

## Chương 4

### SILÔ - BUNKE

#### 4.1 KHÁI NIỆM CHUNG

Silô - bunke là loại kết cấu dùng để chứa vật liệu rời: cát đá, xi măng, clinke, lúa, bắp, đậu, phân bón... được làm bằng bê tông cốt thép.

Khi  $H/D \geq 1,5$  gọi là silô

$H/D < 1,5$  gọi là bunke

với:  $H$  - chiều cao;  $D$  - đường kính.

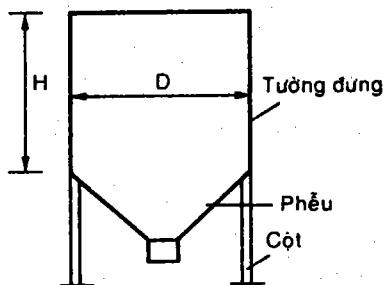
Khi chứa vật liệu rời giữa thành và vật liệu có góc ngoại ma sát, phát sinh lực ma sát ngược chiều với trọng lượng bản thân của vật liệu. Lực ma sát này làm cho luật phân bố áp lực ngang của vật liệu lên thành tường thay đổi. Cường độ áp lực ngang có một giá trị nhất định.

Dung trọng, góc nội ma sát và hệ số ma sát của vật liệu rời có thể tham khảo theo bảng 4.1.

Bảng 4.1

Vật liệu	Dung trọng tiêu chuẩn $\gamma$ (daN/m <sup>3</sup> )	Góc nội ma sát $\phi$	Hệ số ma sát $f$
Vôi cục	1200	35°	0,5
Xi măng	1600	30°	0,5
Đá, sỏi	2000	30°	0,5
Than	800	35°	0,5
Lúa, lúa mì	800	25°	0,4
Bắp	450	30°	0,4
Bột	600	40°	0,3

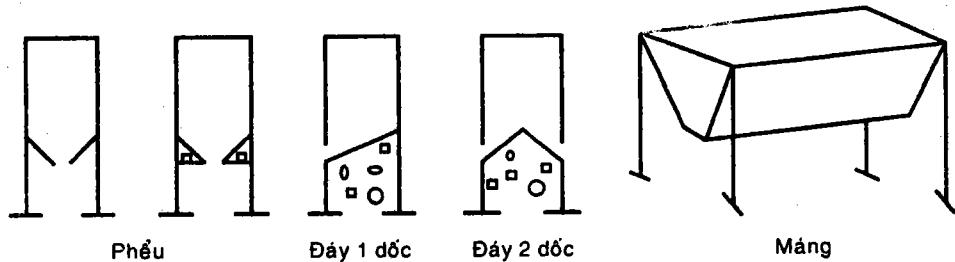
Chiều dày của thành tường thường được thiết kế là hằng số, thường được thiết kế thành từng cụm (nhóm), không thiết kế từng cái riêng rẽ. Thiết diện ngang có thể hình vuông, chữ nhật, tròn, đa giác...



**Hình 4.1 Silô - bunke**

## 4.2 BUNKE

Mặt bằng bunke có dạng hình vuông, chữ nhật, tròn, đa giác: dạng đơn hay nhóm, toàn khối hay lắp ghép, thường có các dạng sau:



**Hình 4.2 Các dạng bunke**

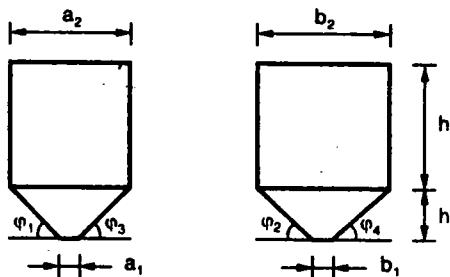
Tường đứng và nghiêng của bunke, chịu áp lực của vật liệu chứa, chịu áp lực của tải trọng tức thời, thường xuyên và trọng lượng bản thân. Trong tính toán thường bỏ qua lực ma sát của vật liệu chứa và tường đứng khi vật liệu chuyển dịch. Bunke là một hộp cứng làm việc như một kết cấu không gian chịu tác dụng của tải trọng. Trong tính toán, để đơn giản phân thành hai cấu kiện riêng biệt: tường đứng của bunke và tường nghiêng của phễu.

## 4.3 TÍNH TOÁN BUNKE

### 4.3.1 Xác định kích thước hình học

Thể tích bunke

$$V_B = a_2 b_2 h_2 + \frac{h_1}{6} [(2a_2 + a_1)b_2 + (2a_1 + a_2)b_1] \quad (4.1)$$



Hình 4.3 Kích thước bunke

**Chú ý:** Khi thiết kế bunke cần phải xét góc nghiêng của phễu đối với mặt phẳng nằm ngang  $\alpha \geq \varphi$  (góc ma sát của vật liệu chứa với tường).

### 4.3.2 Xác định áp lực của vật liệu lên tường bunke

Do chiều cao của bunke nhỏ, để đơn giản tính toán bỏ qua lực ma sát của vật liệu lên tường

#### 1- Tường đứng

Áp lực đứng tiêu chuẩn tại điểm bất kỳ có chiều cao  $h$ :

$$p_d^c = \gamma.h \quad (4.2)$$

với:  $\gamma$  - dung trọng của vật liệu

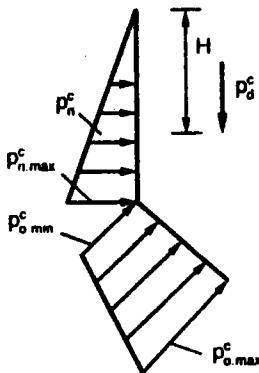
$h$  - chiều cao của lớp vật liệu phía trên điểm đang xét.

Áp lực ngang tiêu chuẩn tại điểm bất kỳ có chiều cao  $h$ :

$$p_n^c = k\gamma.h \quad (4.3)$$

với  $k$  là hệ số áp lực ngang phụ thuộc vào góc  $\varphi$  (góc dốc tự nhiên của vật liệu).

$$k = \operatorname{tg}^2(45^\circ - \frac{\varphi}{2}) \quad (4.4)$$



**Hình 4.4 Áp lực lên tường bunker**

## 2- Tường nghiêng (phễu)

Áp lực ngang tiêu chuẩn tác dụng lên tường nghiêng:

$$p_o^c = m_o \gamma \cdot h \quad (4.5)$$

$$m_o = \cos^2 \alpha + k \sin^2 \alpha \quad (4.6)$$

với  $\alpha$  là góc nghiêng của phễu đối với mặt phẳng nằm ngang, phụ thuộc vào loại vật liệu chứa.

**Bảng 4.2 Góc nghiêng  $\alpha$  của phễu**

Vật liệu	Lúa mì	Või	Klinke	Than cục	Than bùn	Xi măng
Góc $\alpha$	25°	30 + 35°	33°	40 + 45°	15°	30°

Trường hợp vật liệu chứa cao hơn mặt phẳng nằm ngang cần phải xét đến vượt tải này, lúc đó giả thiết vật liệu phủ tạo thành một góc  $\varphi$  so với mặt phẳng ngang.

Áp lực ngang tiêu chuẩn tác dụng lên tường đứng:

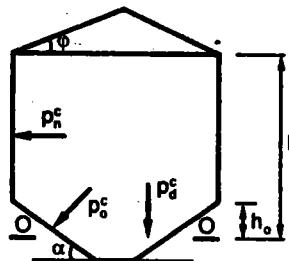
$$p_n^c = \gamma \cdot h \cos^2 \varphi \quad (4.7)$$

Áp lực đứng tiêu chuẩn tác dụng lên mặt phẳng ngang O-O:

$$p'_d = \gamma(h + h_o \cot \varphi \cdot \operatorname{tg} \varphi) \quad (4.8)$$

Áp lực ngang tiêu chuẩn tác dụng lên tường nghiêng:

$$p_o^c = \gamma \cdot \cos^2 \alpha (h + h_o \cot \varphi \cdot \operatorname{tg} \varphi + h \cdot \operatorname{tg}^2 \alpha \cdot \cos^2 \varphi) \quad (4.9)$$



**Hình 4.5 Áp lực lên tường - phễu**

**Áp lực tính toán:**

$$p_i = n \cdot p_i^c \quad (4.10)$$

$n = (1 + 1,3)$  là hệ số tin cậy.

Trong một số trường hợp để đơn giản tính toán, áp lực ngang tác dụng lên tường nghiêng có thể đưa về dạng phân bố đều (áp lực trung bình).

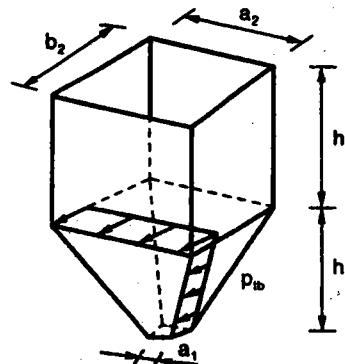
**Tường nghiêng có dạng hình thang**

- Bunke có tường đứng:

$$p_{tb} = 1,3\gamma \cdot h_1 \frac{m_o}{3} \left( 1 + \frac{a_1}{a_1 + a_2} + \frac{3h_2}{h_1} \right) \quad (4.11)$$

- Bunke không có tường đứng:

$$p_{tb} = 1,3\gamma \cdot h_1 \frac{m_o}{3(a_1 + a_2)} (2a_1 + a_2) \quad (4.12)$$



**Hình 4.6**

**Tường nghiêng có dạng tam giác ( $a_1 = 0$ ) hoặc  $a_1$  rất nhỏ so với  $a_2$**

- Bunke có tường đứng:

$$p_{tb} = 1,3\gamma \cdot h_1 \frac{m_o}{3} \left( 1 + \frac{3h_2}{h_1} \right) \quad (4.13)$$

- Bunke không có tường đứng:

$$p_{tb} = 1,3\gamma \cdot h_1 \frac{m_o}{3} \quad (4.14)$$

trong đó:  $m_o = \cos^2 \alpha + k \sin^2 \alpha$  (4.15)

Trong thiết kế cần kể thêm hệ số động  $k_d$ , nhằm xét đến việc tăng áp lực khi rót vật liệu.

**Bảng 4.3 Hệ số động  $k_d$**

Khối tích vật liệu/thể tích bunke	1/2	1/3	1/4	1/5	<1/6
$K_d$	1,4	1,3	1,2	1,1	1

### 4.3.3 Xác định ứng lực kéo trong tường bunke

#### 1- Phương ngang

*Đối với tường đứng (cắt 1 dải có  $b = 1$  đơn vị)*

Dưới tác dụng của áp lực tải ngang của vật liệu chứa làm phát sinh ứng lực kéo trong tường

$$N_{n1} = \frac{p_n \cdot b_2}{2} \quad (4.16)$$

$$N'_{n1} = \frac{p_n \cdot a_2}{2} \quad (4.17)$$

*Đối với tường nghiêng (phễu)*

$$N_{n2} = \frac{P_o^* b' \sin \alpha_1}{2 \sin^2 \alpha_3} \quad (4.18)$$

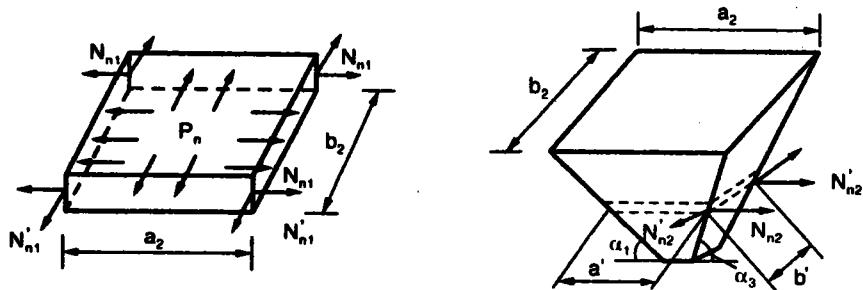
$$N'_{n2} = \frac{P_o^* a' \sin \alpha_2}{2 \sin^2 \alpha_4} \quad (4.19)$$

trong đó:  $P_o^*$  - tổng áp lực đứng của vật liệu và của thành đứng, của trọng lượng bản thân tường tác dụng tại cao trình đang xét.

$$P_o^* = n\gamma \cdot h m_o + n_g \gamma_t \delta_t \cos \alpha_3 \quad (4.20)$$

$\gamma_t$  - khối lượng riêng của tường bê tông

$\delta_t$  - chiều dày của tường bê tông.

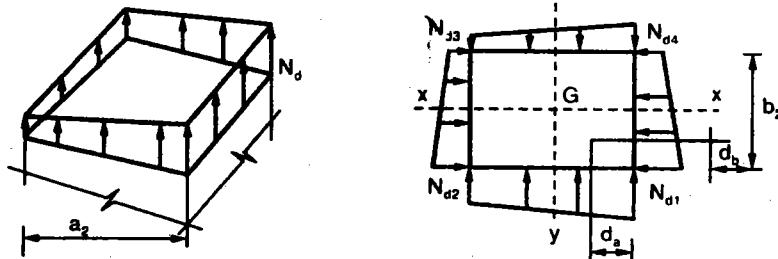


Hình 4.7

## 2- Phương đứng

### Đối với tường đứng

Ứng lực kéo theo phương đứng phân bố không đều, tập trung ở các góc phễu, để đơn giản tính toán, xem ứng lực kéo theo phương đứng phân bố đều dọc theo tường.



Hình 4.8

Ứng lực kéo trong thành tường đứng của bunker không đổi xứng xác định theo:

$$N_{d1} = \frac{G}{2(a_2 + b_2)} t_x \cdot t_y \quad (4.21)$$

$$N_{d2} = \frac{G}{2(a_2 + b_2)} (2 - t_x) \cdot t_y \quad (4.22)$$

$$N_{d3} = \frac{G}{2(a_2 + b_2)} (2 - t_x) \cdot (2 - t_y) \quad (4.23)$$

$$N_{d4} = \frac{G}{2(a_2 + b_2)} t_x \cdot (2 - t_y) \quad (4.24)$$

trong đó:  $G = G_1 + G_2$

$G_1$  - trọng lượng bản thân tường bunker

$G_2$  - trọng lượng của vật liệu chứa

$t_x, t_y$  - hệ số phân phối, phụ thuộc vào kích thước của bunker và vị trí trọng tâm  $G$  của bunker.

Nếu  $d_a/a_2 = 0,5$  thì  $t_x = 1$ ; nếu  $d_b/b_2 = 0,5$  thì  $t_y = 1$ .

Các trường hợp khác lấy theo bảng 4.3.

**Bảng 4.3** Hệ số  $t_x, t_y$

$d_a/a_2$	Hệ số $t_x$			$d_b/b_2$	Hệ số $t_y$		
	$a_2/b_2 = 1$	$a_2/b_2 = 1,5$	$a_2/b_2 = 2$		$a_2/b_2 = 1$	$a_2/b_2 = 1,5$	$a_2/b_2 = 2$
0,3	1,60	1,66	1,72	0,3	1,60	1,55	1,51
0,4	1,30	1,33	1,36	0,4	1,30	1,27	1,25
0,45	1,15	1,16	1,18	0,45	1,15	1,14	1,13
0,5	1,00	1,00	1,00	0,5	1,00	1,00	1,00
0,55	0,85	0,83	0,82	0,55	0,85	0,86	0,87
0,6	0,70	0,67	0,64	0,6	0,70	0,73	0,74
0,7	0,40	0,33	0,28	0,7	0,40	0,45	0,48

### Đối với tường nghiêng (phễu)

- Lực kéo đứng trong tường nghiêng của phễu xác định theo:

$$N_{dri} = \frac{N_{di}}{\sin \alpha_i} \quad (4.25)$$

$$N_{di} = G_1 + G_2$$

trong đó:  $G_1, G_2$  - thay đổi theo chiều sâu, do đó cần chia nhiều đoạn, mỗi đoạn lấy giá trị trung bình để tính.

$\alpha_i$  - góc nghiêng của tường nghiêng đang xét so với mặt phẳng ngang.

- Lực nén lên cột đỡ:

Nếu bunke đối xứng, lực nén lên mỗi cột:  $P = \frac{G}{4} \quad (G = G_1 + G_2)$  (4.26)

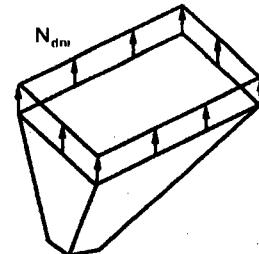
Nếu bunke không đối xứng (4 cột):

$$P_1 = \frac{G}{4} t_x \cdot t_y \quad (4.27)$$

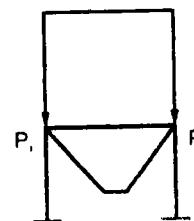
$$P_2 = \frac{G}{4} (2 - t_x) t_y$$

$$P_3 = \frac{G}{4} (2 - t_x)(2 - t_y)$$

$$P_4 = \frac{G}{4} t_x (2 - t_y)$$



**Hình 4.9**



**Hình 4.10**

## 4.4 XÁC ĐỊNH MÔMEN UỐN TRONG TƯỜNG BUNKER

Dưới tác dụng của áp lực ngang trong tường đứng và tường nghiêng (phễu) xuất hiện mômen uốn.

### 4.4.1 Tường đứng

Tách riêng từng tường riêng rẽ, mỗi tường xem là bản hình chữ nhật. Tính như bản sàn, chịu tác dụng của tải trọng phân bố dạng tam giác, điều kiện liên kết ở các cạnh.

*Đối với cạnh trên:*

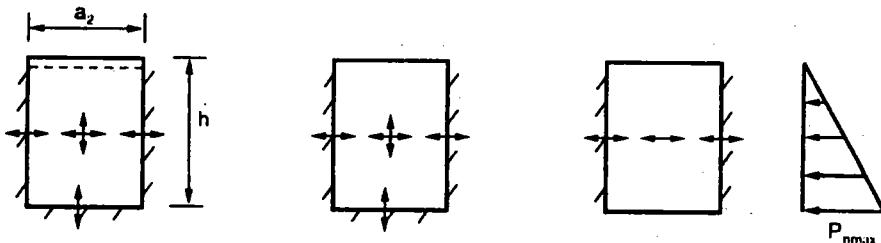
- Liên kết ngầm: nếu có liên kết bắn sàn BTCT dỗ toàn khói.
- Liên kết tự do: nếu không có liên kết bắn sàn BTCT dỗ toàn khói.
- Liên kết tựa đơn: nếu có đầm theo chu vi.

*Đối với cạnh dưới:*

- Liên kết ngầm: liên kết với phễu BTCT dỗ toàn khói, có đầm vòng BTCT.
- Liên kết tự do: liên kết với phễu bằng thép.

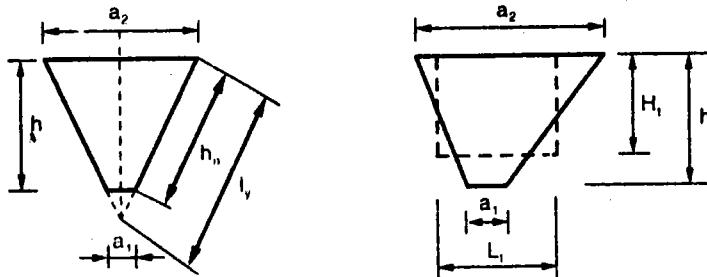
*Đối với tường bên (hai cạnh bên): ngầm.*

Sơ đồ tính



**Hình 4.11** Sơ đồ tính tường đứng và dạng tải trọng

#### 4.4.2 Tường nghiêng (phễu)



Hình 4.12 Hình dáng tường nghiêng

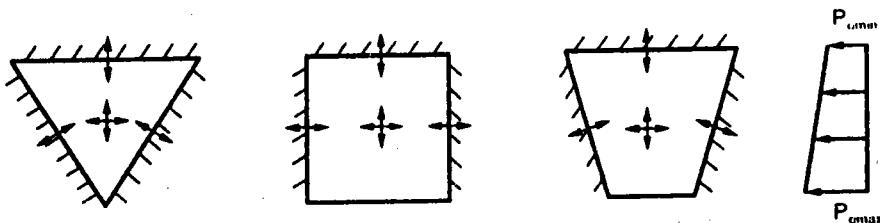
- Khi tỷ số  $\frac{a_2}{a_1} \geq 4$ : tính như bản tam giác (kéo dài hai cạnh xiên để tạo thành tam giác), chiều cao của tam giác tính theo:

$$l_y = h_n \frac{a_2}{a_2 - a_1} \quad (4.28)$$

- Khi tỷ số  $\frac{a_2}{a_1} < 4$ : tính như bản hình thang
- Khi tỷ số  $\frac{a_2}{a_1} < 4$ : trong trường hợp bản hình thang có dạng không đối xứng, đưa về tính bán chữ nhật tương đương ( $H_t, L_t$ ) (H.4.13b)

$$L_t = \frac{2}{3} a_2 \left( \frac{2a_1 + a_2}{a_1 + a_2} \right); \quad H_t = h - \frac{a_2}{6} \left( \frac{a_2 - a_1}{a_1 + a_2} \right) \quad (4.29)$$

Điều kiện liên kết: các cạnh của tường nghiêng được xem là ngầm (đỗ toàn khói).

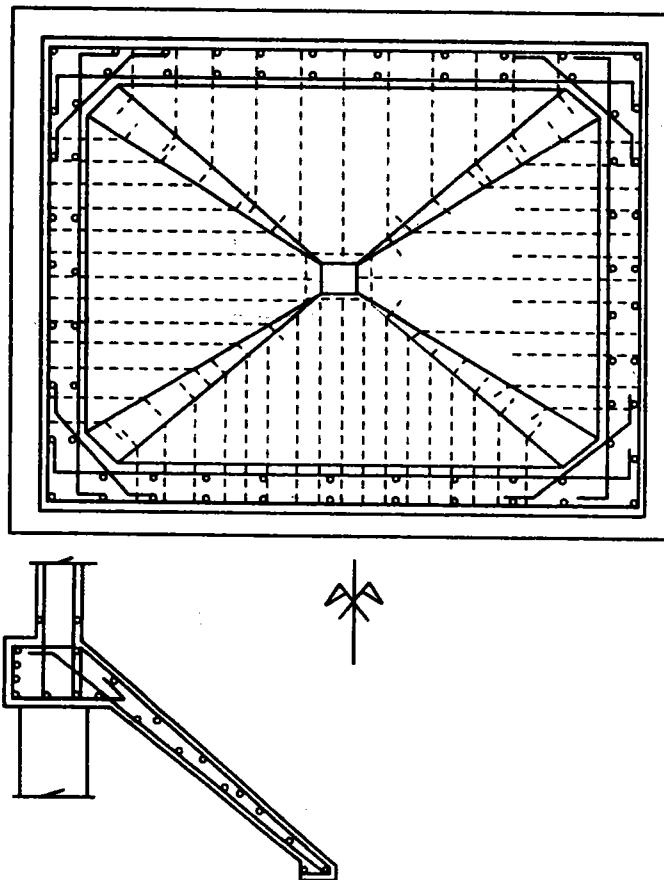


Hình 4.13 Sơ đồ tính của phễu và dạng tải trọng

Các giá trị mômen ở nhịp và gối xác định dựa vào các bảng tra.

#### 4.4.3 Tính cốt thép trong tường đứng và phễu

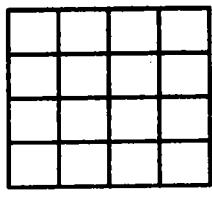
Tính như cấu kiện chịu kéo lệch tâm.



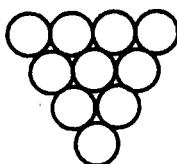
**Hình 4.14** Bố trí cốt thép trong phễu

#### 4.5 SILÔ

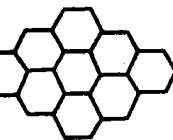
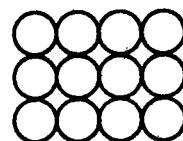
Silô là loại kho chứa vật liệu rời, silô có thể thiết kế đơn, từng nhóm, mặt bằng có dạng tròn, vuông, chữ nhật, lục giác, đa giác... Hệ thống cột đỡ thường bố trí ở các góc, chỗ tiếp giáp giữa các góc tường.



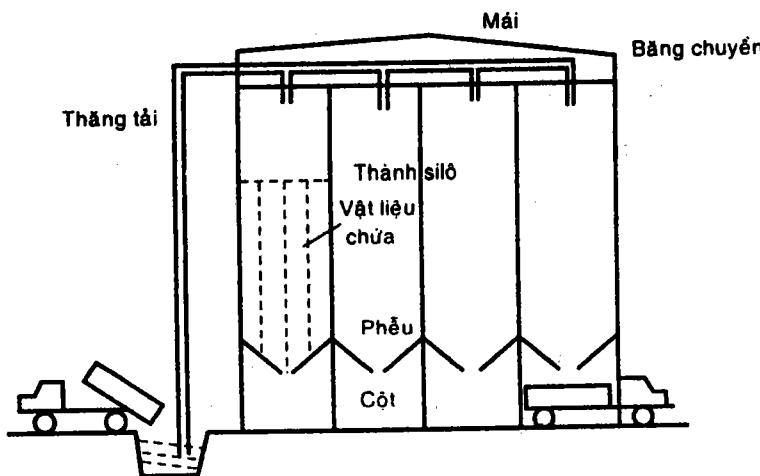
Dạng vuông



Dạng tròn



Dạng đa giác



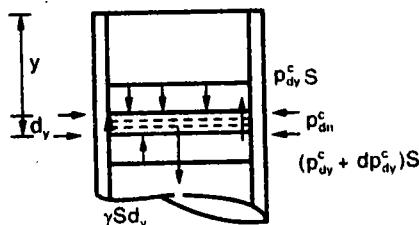
Hình 4.15 Hệ thống cụm silô

#### 4.5.1 Xác định áp lực vật liệu chứa lên thành

Tải trọng tiêu chuẩn:

Đặt:  $p_{dy}^c$  - áp lực đứng

tiêu chuẩn của vật liệu chứa  
trên một đơn vị diện tích ở  
chiều sâu  $y$ ;  $u$  - chu vi của silô;  
 $S$  - diện tích.



Hình 4.16

Xét một phân tố vật liệu  $dy$  ở độ sâu  $y$

Áp lực đứng tiêu chuẩn tác dụng tại mặt trên phân tố  $dy$  là:  $p_{dy}^c S$

Khối lượng của phân tố  $dy$  là:  $\gamma \cdot S \cdot dy$

Áp lực đứng tiêu chuẩn tác dụng tại mặt dưới phân tố  $dy$  là:

$$(p_{dy}^c + dp_{dy}^c)S$$

Áp lực ngang của thành do vật liệu chứa là:  $p_{ny}^c$ , áp lực ngang này phát sinh lực ma sát trong thành phân tố  $dy$  là:  $f p_{ny}^c u d_y$ ,

$$\text{Đặt: } k = \frac{p_{ny}^c}{p_{dy}^c} = \frac{1 - \sin \varphi}{1 + \cos \varphi} = \tan^2(45^\circ - \frac{\varphi}{2}) \quad (4.30)$$

là hệ số áp lực ngang;  $f$  - hệ số ma sát  
 $\varphi$  - góc ma sát trong của vật liệu chứa.

$$\text{Từ đó: } p_{ny}^c = k p_{dy}^c$$

Phương trình cân bằng áp lực đứng của phân tố  $dy$ :

$$\gamma S d_y + p_{dy}^c S - (p_{dy}^c + dp_{dy}^c) S - k f p_{dy}^c u d_y = 0 \quad (4.31)$$

$$\text{Rút gọn: } d_y = \frac{S d p_{dy}^c u d_y}{\gamma - k f u d p_{dy}^c} \quad (4.32)$$

Lấy tích phân theo  $dy$ , ta có:

$$y = -\frac{S}{fku} \ln(\gamma - \frac{fku}{S} p_{dy}^c) + c \quad (4.33)$$

với  $c$  là hằng số tích phân, xác định từ điều kiện biên: tại  $y = 0$  thì  $p_{dy}^c = 0$  từ đó  $c = \frac{S}{fku} \ln \gamma$ , thay  $c$  vào (4.33).

$$y = \frac{S}{fku} [\ln \gamma - \ln(\gamma - \frac{fku}{S} p_{dy}^c)] \quad (4.34)$$

$$y = \frac{S}{fku} \ln\left(\frac{1}{1 - \frac{fku}{\gamma S} p_{dy}^c}\right) \quad (4.35)$$

$$\text{mà: } \frac{1}{1 - \frac{fku}{\gamma S} p_{dy}^c} = e^{\frac{fku}{\gamma S} y}; \quad e^{-\frac{fku}{\gamma S} y} = 1 - \frac{fku}{\gamma S} p_{dy}^c \quad (4.36)$$

Áp lực đứng:

$$p_{dy}^c = \frac{\gamma S}{fku} (1 - e^{-\frac{fku}{\gamma S} y}) \quad (4.37)$$

Áp lực ngang:

$$p_{dy}^c = \frac{\gamma S}{f u} (1 - e^{-\frac{fku}{\gamma S} y}) \quad (4.38)$$

Đặt:  $r = \frac{S}{u}$ ;  $\xi = \frac{fky}{r}$  thì:

$$\text{Áp lực đứng: } p_{dy}^c = \gamma y \frac{(1 - e^{-\xi})}{\xi} \quad (4.39)$$

$$\text{Áp lực ngang: } p_{ny}^c = k \gamma y \frac{(1 - e^{-\xi})}{\xi} \quad (4.40)$$

Đặt  $\frac{(1 - e^{-\xi})}{\xi} = j$  ta được:

Áp lực đứng:

$$p_{dy}^c = \gamma y j \quad (4.41)$$

$$\text{Áp lực ngang: } p_{ny}^c = k \gamma y j \quad (4.42)$$

**Chú thích:** Khi  $y \rightarrow \infty$  thì hàm  $e^{-\frac{fky}{S}} \rightarrow 0$  do đó:

$$p_{dy}^c = \frac{\gamma S}{fku} \quad \text{và} \quad p_{ny}^c = \frac{\gamma S}{fu}$$

Lực ma sát ở thành silô:  $f_{ms} = f p_{ny}^c$

Ở phần phễu silô: áp lực đứng và ngang vẫn xác định theo công thức trên, trong đó  $y$  là khoảng cách từ mặt vật liệu chứa đến tiết diện đang xét.

Áp lực tiêu chuẩn của vật liệu tác dụng thẳng góc với thành tường nghiêng (phễu) xác định theo:  $p_a^c = m_o p_{dy}^c$

trong đó:

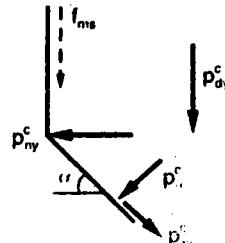
$$m_o = \cos^2 \alpha + k \sin^2 \alpha \quad (4.43)$$

Áp lực tiêu chuẩn của vật liệu tác dụng theo phương tiếp tuyến với thành tường nghiêng (phễu) xác định theo:  $p_v^c = m'_o p_{dy}^c$  trong đó:

$$m'_o = (1 - k) \sin \alpha \cos \alpha \quad (4.44)$$

Áp lực tiêu chuẩn tổng cộng:

$$p = \sqrt{(p_a^c)^2 + (p_v^c)^2} \quad (4.45)$$



Hình 4.17

### Tải trọng tính toán

*Áp lực tính toán = áp lực tiêu chuẩn x hệ số vượt tải n (n = 1,3)*

- Hệ số điều kiện làm việc  $m$ : Khi xác định áp lực trong tường silô do áp lực ngang của vật liệu rời chưa xét hiện tượng động khi thoát vật liệu và một số hiện tượng khác (áp lực phân bố không đều theo chu vi, tác dụng của nhiệt độ, chuyển dịch của khối vật liệu...).

• - Hệ số gia tăng áp lực phụ  $a$ : Khi xác định ứng lực trong tường và đáy silô, ngoài áp lực cơ bản của vật liệu rời còn phải xét thêm áp lực phụ, nên cần thiết phải đưa vào hệ số gia tăng áp lực phụ  $a$ .

- Hệ số điều chỉnh dùng để tính toán  $a_o$ :  $a_o = \frac{a}{m}$

Hệ số  $a_o$  có các giá trị riêng biệt tùy loại sơ đồ: silô đơn, silô nhóm trong, silô nhóm ngoài, silô nhóm so le.

Các trị số  $a, m, a_o$  lấy theo bảng 4.4.

**Bảng 4.4** *Hệ số a, m, a<sub>o</sub> (dùng khi tính toán cốt thép ngang của tường, phễu, đáy silô bằng BTCT)*

Dạng silô	a	m	a <sub>o</sub>
Silô tròn đơn, vùng dưới bằng 2/3 chiều cao	2	1	2
Silô tròn đơn, vùng trên bằng 1/3 chiều cao	1	1	1
Silô tròn đơn, toàn bộ chiều cao	1	1	1
Silô tròn liên tục, silô ngoài, vùng dưới bằng 2/3 chiều cao	2	1	2
Silô tròn liên tục, silô ngoài, vùng trên bằng 1/3 chiều cao	1	1	1
Silô tròn liên tục, silô trong, vùng dưới bằng 2/3 chiều cao	2	2	1
Silô tròn liên tục, silô trong, vùng trên bằng 1/3 chiều cao	1	1	1
Silô tròn liên tục, xen kẽ, silô ngoài, vùng dưới bằng 2/3 chiều cao	2	0,85	2,36
Silô tròn liên tục, xen kẽ, silô ngoài, vùng trên bằng 5/6 chiều cao	1	1	1
Silô tròn liên tục, xen kẽ, silô ngoài, vùng giữa từ 2/3 đến 5/6 chiều cao	1	0,5	2
Silô tròn liên tục, xen kẽ, silô trong, vùng dưới bằng 2/3 chiều cao	1	1	1
Silô tròn liên tục, xen kẽ, silô trong, vùng trên bằng 1/3 chiều cao	2	1,70	1,18
Bản đáy, đầm đáy, phễu silô chứa dạng hạt	1	1	1
Bản đáy, đầm đáy, phễu silô chứa dạng bột	1,25	1	1,25

*Ghi chú:* Trong tính toán cho phép lấy  $a_o = 1$ , nếu phía trong mỗi silô có hệ thống giảm áp.

## 4.5.2 Tính toán silô

### 1- Hệ thống mái

Tùy theo hệ kết cấu bao che, tính toán như mái nhà công nghiệp. Trên mặt đứng của silô là bản nắp tính như sàn phẳng.

### 2- Thành tường silô

#### a- Xác định chiều dày thành tường

Bề dày tối thiểu của thành tường:

$$\delta_t \geq \delta_{\min} = \frac{N_k^c - 300F_a}{100m_b R_k} \quad (4.46)$$

trong đó:  $N_k^c = \frac{p_{ny}^c D}{2}$  (daN/m) - áp lực kéo tiêu chuẩn (4.47)

$m_b = 0,9$  - hệ số điều kiện làm việc của bê tông

$R_k$  - cường độ chịu kéo của bê tông;  $D$  - đường kính của silô.

Chiều dày thành tường có thể tham khảo như sau:

- Silô tròn:  $D = 6m: \quad \delta_t \geq 18cm$

$D = 12m: \quad \delta_t \geq 24cm$

$D = 18m: \quad \delta_t \geq 27cm$

$D = 24m: \quad \delta_t \geq 30cm$

- Silô vuông:  $3 \times 3m$  thì  $\delta_t \geq 16cm$

#### b- Xác định nội lực

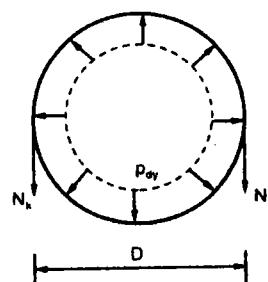
**Áp lực ngang:** Xem áp lực ngang của vật liệu phân bố đều theo chu vi tại tiết diện y bất kỳ. Cắt theo phương ngang từng dải có chiều cao từ  $1 \div 2m$  để tính:

- Silô tròn:

$$\text{Lực kéo: } N_k = p_{dy} \frac{D}{2} \quad (4.48)$$

Tính cốt thép, tính như cấu kiện chịu kéo đúng tâm:

$$F_a = \frac{N_k}{R_a} \quad (4.49)$$



Hình 4.18

- Silô vuông hay chữ nhật:

Mômen uốn tại gối:

$$M_A = M_B = M_C = M_D = -\frac{p_{ny}}{2} \left( \frac{a^3 + b^3}{a + b} \right) \quad (4.50)$$

Mômen tại nhịp theo cạnh ngắn  $b$ :

$$M_1 = p_{ny} \frac{b^2}{8} - |M_A| \quad (4.51)$$

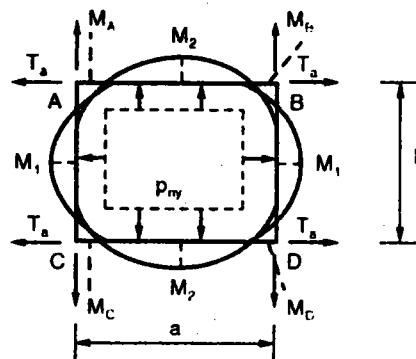
Theo cạnh dài  $a$ :

$$M_2 = p_{ny} \frac{a^2}{8} - |M_A| \quad (4.52)$$

Lực kéo:

$$T_a = p_{ny} \frac{b}{2}; \quad T_b = p_{ny} \frac{a}{2} \quad (4.53)$$

Tính cốt thép: mỗi thành là cấu kiện chịu kéo lệch tâm, cốt thép bố trí hai lớp.

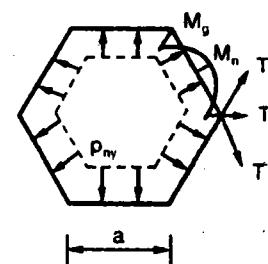


Hình 4.19

- Silô đa giác:

Lực kéo tách thành  $T$  được phân tích thành những lực song song với cạnh đa giác:

$$T = p_{ny} \frac{a}{2}$$



Hình 4.20

$$T_1 = \frac{T}{\sin \alpha}; \quad T_2 = \frac{T}{\operatorname{tg} \alpha} \quad (4.54)$$

Tại một nút tính cho hai thành kề nhau.

Lực kéo tổng hợp:

$$T' = T_1 + T_2 = T \left( \frac{1 + \cos \alpha}{\sin \alpha} \right) \quad (4.55)$$

Mômen uốn tại gối:

$$M_g = p_{ny} \frac{a^2}{12} \quad (4.56)$$

Mômen uốn tại nhịp:

$$M_n = p_{ny} \frac{a^2}{24} \quad (4.57)$$

Tính cốt thép: mỗi thành là cấu kiện chịu kéo lệch tâm, cốt thép bố trí hai lớp.

#### Bảng tóm tắt nội lực của thành silô đa giác

Đa giác có số cạnh	Lực kéo tổng hợp T'	Mômen
3	0,288a p <sub>ny</sub>	
4	0,500a p <sub>ny</sub>	
5	0,688a p <sub>ny</sub>	$M_g = p_{ny}a^2/12$
6	0,865a p <sub>ny</sub>	$M_n = p_{ny}a^2/24$
8	1,205a p <sub>ny</sub>	
10	1,530a p <sub>ny</sub>	

#### Silô nhóm

Khi các silô cùng chứa vật liệu, nội lực trong tường silô sẽ giảm do trừ khử nhau. Để an toàn khi tính toán tách riêng từng silô riêng để tính. Tuy nhiên còn tùy thuộc vào vị trí trong hay ngoài mà có hệ số  $a_o$  thích hợp, từ đó dẫn đến  $p_{ny}$  khác nhau.

Áp lực đứng: Trong thành tường phân bố đều theo chu vi, không xét ảnh hưởng của ma sát.

- Silô tròn: lực nén đúng tâm

$$N = n \frac{D}{2} (\gamma \gamma - p_{dy}^c) \quad kN/m \quad (4.58)$$

- Silô khác: lực nén đúng tâm

$$N = nr(y\gamma - p_{dy}^c) \quad kN/m \quad (4.59)$$

trong đó:  $n = 1,3$ ;  $D$  - đường kính

$$r = \frac{S}{u} \quad \text{- bán kính thủy lực.}$$

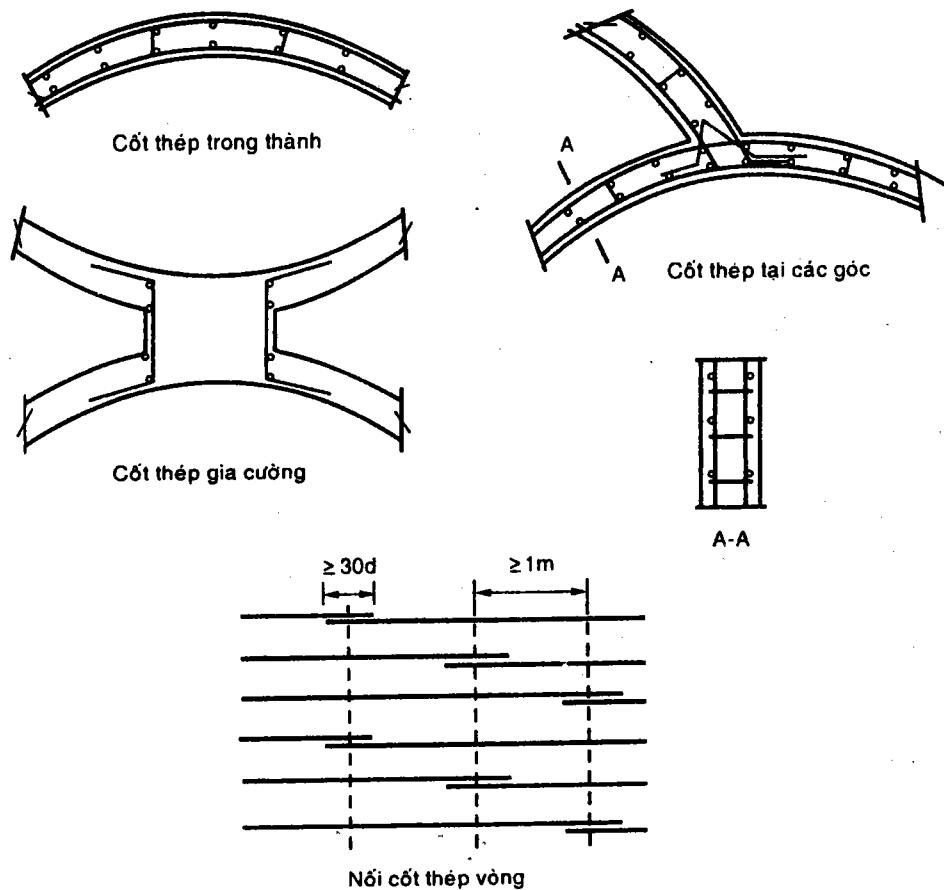
Kiểm tra cường độ của tường chịu nén đúng tâm theo lực  $N$ .

Lực nén lớn nhất trong tường silô tại gối tựa tường lên bần đáy, lên dầm đáy hoặc lên móng.

#### 4.5.3 Cấu tạo tường silô

Cấu tạo cốt thép:

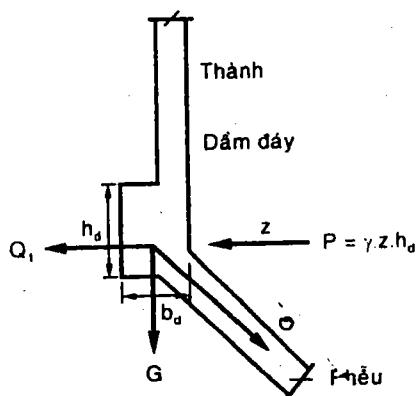
- Chiều dày tường không đổi suốt chiều cao để tiện thi công (coffa trượt), cốt thép bố trí hai lớp đối xứng, cốt thép bố trí dạng rời.
- Cốt thép ngang vòng có  $\Phi \leq 16$ , khoảng cách  $a \leq 200$  được hàn vào cốt đứng.
- Mỗi nối cốt thép có thể dùng hàn hoặc nối buộc  $l_n = 30\Phi$ . Tại một tiết diện, số lượng cốt thép nối không lớn hơn  $1/4$  số lượng cốt thép tại tiết diện đó.
- Cốt thép đứng có  $\Phi \geq 10$  khoảng cách  $a = 300 \div 350$  đối với tường ngoài và  $a = 400 \div 500$  đối với tường trong.
- Trường hợp tường silô có lỗ cửa, thì lỗ cửa được đóng khung bằng hai lớp cốt thép ngang và đứng: lượng cốt thép gia cường này không được nhỏ hơn lượng cốt thép bị cắt theo mỗi phương và  $\Phi \leq 16$ . Xung quanh lỗ phải gia cường cốt đai kín và cấu tạo như cột BTCT trong khoảng không nhỏ hơn 80cm. Nếu gia cường quá khó khăn, có thể đặt khung thép hình bao quanh lỗ cửa, lúc đó các thành bị cắt phải hàn vào thép hình.



Hình 4.21 Cấu tạo cốt thép thành silô

#### 4.5.4 Dầm đáy silô

Dầm đáy silô thông thường được tựa lên các cột đỡ theo chu vi: là dầm thẳng nếu silô có dạng vuông, chữ nhật, đa giác. Là dầm cong nếu silô có dạng hình tròn. Dầm đáy chịu tải trọng gồm: trọng lượng bê tông của nắp, thành và chính nó  $G$  và áp lực ngang của vật liệu chứa  $P$ .



Hình 4.22

$G$  được phân thành  $C_1$  và  $Q_1$ ;  $C_1$  gây nén cho phễu còn  $Q_1$  gây kéo trong đầm;  $P$  là áp lực của vật liệu chứa trong phạm vi chiều cao đầm ( $h_d$ ), gây ra kéo trong đầm.

Tổng lực theo phương ngang:

$$Q = Q_1 + P \quad (4.60)$$

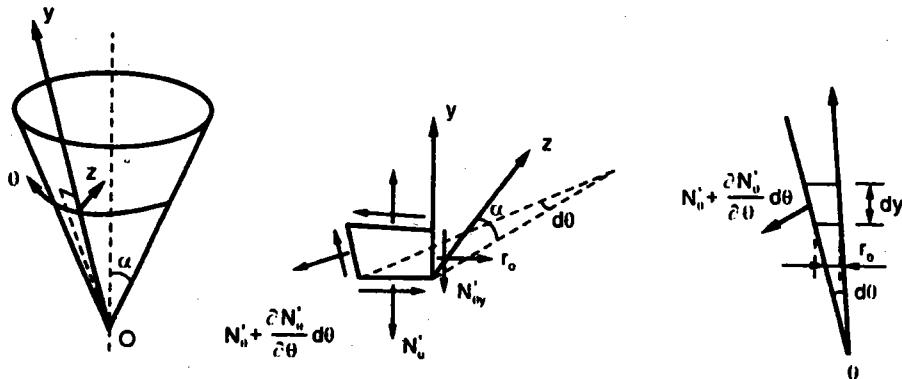
Tổng lực theo phương đứng  $G$ :

$$\text{Với: } Q_1 = \frac{G}{\operatorname{tga}}; \quad C_1 = \frac{G}{\sin \alpha} \quad (4.61)$$

- Nếu cột đỡ là vỏ thì  $G$  không gây ra nội lực cho đầm.
- Nếu hệ thống đỡ là cột thì đầm là cấu kiện chịu uốn xoắn.

#### 4.5.5 Phễu

##### 1- Phễu có dạng hình nón cục



Hình 4.23

Tính theo lý thuyết hình nón tròn xoay, phương trình vi phân cơ bản của vỏ tròn xoay có dạng:

$$N'_0 = -p_z y \operatorname{tga} \quad (4.62)$$

$$\frac{1}{y^2} \frac{\partial(N'_{y0} y^2)}{\partial y} = -\frac{1}{y \sin \alpha} \frac{\partial N'_0}{\partial \theta} - p_\theta \quad (4.63)$$

$$\frac{1}{y} \frac{\partial(N'_{y0} y)}{\partial y} = -\frac{1}{y \sin \alpha} \frac{\partial N'_{y0}}{\partial \theta} + \frac{N'_0}{Y} - p_y \quad (4.64)$$

- Đối với tải là trọng lượng bản thân là  $g$ , ta có:

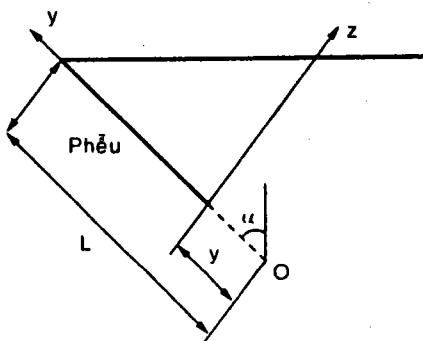
$$p_z = -q \sin \alpha; \quad p_y = -q \cos \alpha; \quad p_\theta = 0$$

Từ (4.64) có kết quả:

$$N_y' = -\frac{q}{2} \frac{(L^2 - y^2)}{y \cos \alpha} \quad \text{và} \quad N_0' = qy \cdot \operatorname{tg} \alpha \sin \alpha \quad (4.65)$$

trong đó  $L, y, \alpha$  lấy theo hình 4.24.

Như vậy, phễu chịu tác dụng của lực kéo là  $T_1 = N_y'$  và lực kéo vòng  $T_2 = N_0'$ .



Hình 4.24

- Đối với tải là áp lực của vật liệu chứa, ta có:

$$p_z = -\gamma(L - y) \cos \alpha; \quad p_y = p_0 = 0$$

Từ (4.64) có kết quả:

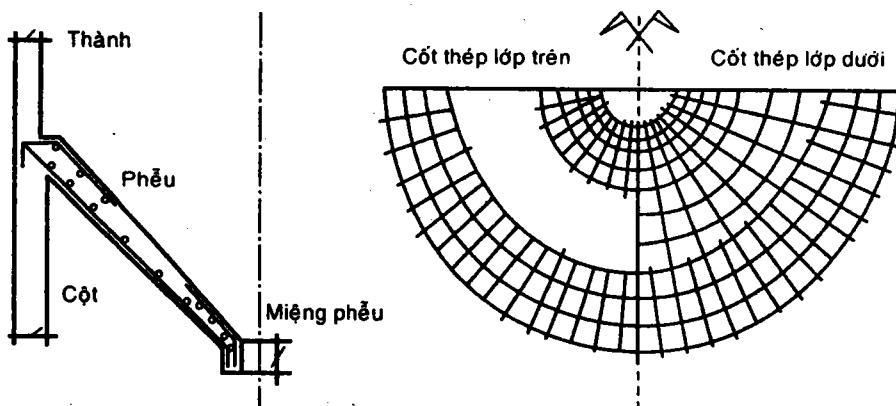
$$N_y' = -\frac{\gamma \sin \alpha}{2y} \left( \frac{L^2}{3} - Ly^2 + \frac{2y^3}{3} \right) \quad \text{và} \quad N_0' = \gamma \sin \alpha (L - y)y \quad (4.66)$$

trong đó  $L, y, \alpha$  lấy theo hình 4.24.

Như vậy, phễu chịu tác dụng của lực nén là  $T_2 = N_y'$  và lực kéo vòng  $T_2 = N_0'$ .

**Tính cốt thép:** cốt thép trong phễu được tính toán từ kết quả tổ hợp nội lực do các dạng tải tác dụng gồm trọng lượng bản thân và do áp lực của vật liệu chứa. Cốt thép tính như cấu kiện chịu kéo hoặc nén đúng tâm.

Thông thường tính cốt thép tại ba tiết diện: miệng phễu, giữa và đáy phễu.



**Hình 4.25** Bố trí cốt thép phễu dạng hình nón cục

## 2- Phễu có dạng hình tháp

Thành của phễu hình tháp tính tương tự như phễu dạng hình nón. Tuy nhiên ngoài các lực kéo, phễu còn chịu mômen uốn cục bộ ngoài mặt phẳng của thành phễu.

Ứng lực kéo trên đơn vị chiều dài tại cao trình  $z$ :

$$N_z = (a_0 n_1 p_{dy}^z + n_2 g \cos \alpha) \frac{a}{\sin \alpha} \quad (4.67)$$

Ứng lực kéo trên đơn vị chiều dài tại cao trình  $z$

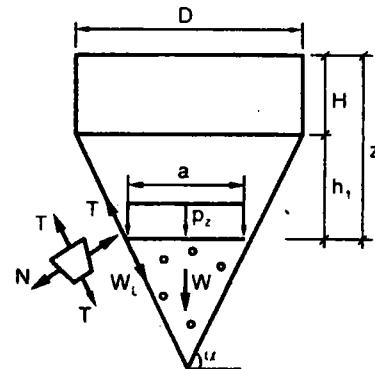
$$T_z = (a_0 n_1 p_{dy}^z \frac{a}{4 \sin \alpha} + n_2 \frac{W}{\pi \cdot a \sin \alpha} + n_1 \frac{W_L}{\pi \cdot a \sin \alpha}) \quad (4.68)$$

Mômen uốn cục bộ được tính toán từ việc tách mỗi thành phễu thành một ô bǎn độc lập có dạng tam giác hoặc hình thang. Mỗi ô bǎn xem như một bǎn chịu uốn chịu tải trọng do áp lực vật liệu chứa có phương thẳng góc bǎn. Mỗi ô bǎn có sơ đồ tính là ba cạnh ngầm, cạnh thứ tư (đáy phễu) được xem là tự do.

Áp lực do vật liệu chịu tác dụng lên mỗi ô bǎn tại cao trình  $z$ :

$$q = a_0 n p_u^c = a_0 n p_z^c \cos \alpha \quad (4.69)$$

trong đó  $\alpha$  là góc nghiêng của phễu đối với mặt nằm ngang.



**Hình 4.26**

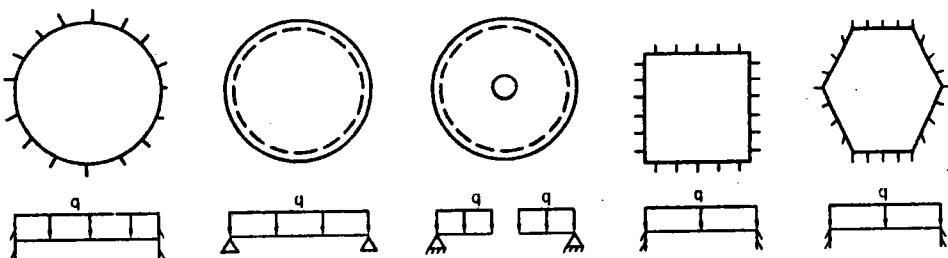
Dạng tải trọng tác dụng lên ô bǎn là hình thang

Giá trị mômen tại nhịp và gối của ô bǎn dùng các bảng tra.

### 3. Bǎn đáy phễu

Bǎn đáy có dạng hình vuông, chữ nhật, tròn, đa giác... có khoét lỗ hoặc không. Bǎn đáy được đặt lên các đầm xung quanh và tựa lên các cột theo chu vi.

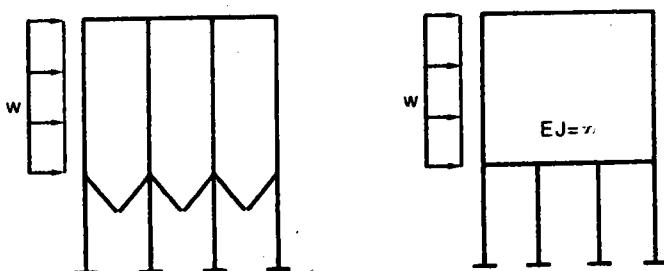
Tính toán bǎn đáy giống như sàn phẳng. Sơ đồ tính là bǎn tựa đơn hoặc ngàm theo chu vi. Chịu tải trọng gồm trọng lượng bǎn thân và vật liệu chứa. Chiều dày bǎn đáy chọn sao cho trong bǎn không bố trí cốt đai, cốt xiên, độ vồng, đầm bảo liên kết với cột, đầm vòng (nội lực trong bǎn đáy dùng bảng tra).



Hình 4.27 Sơ đồ tính bǎn đáy

### 4.5.6 Cột đỡ silô

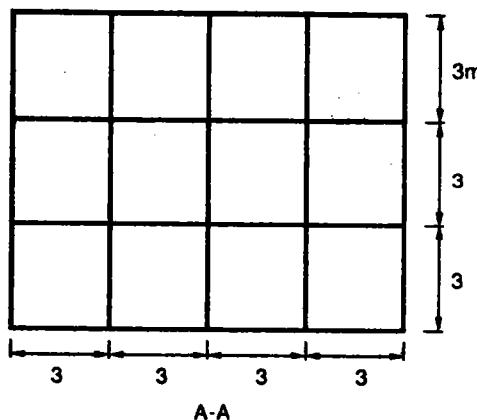
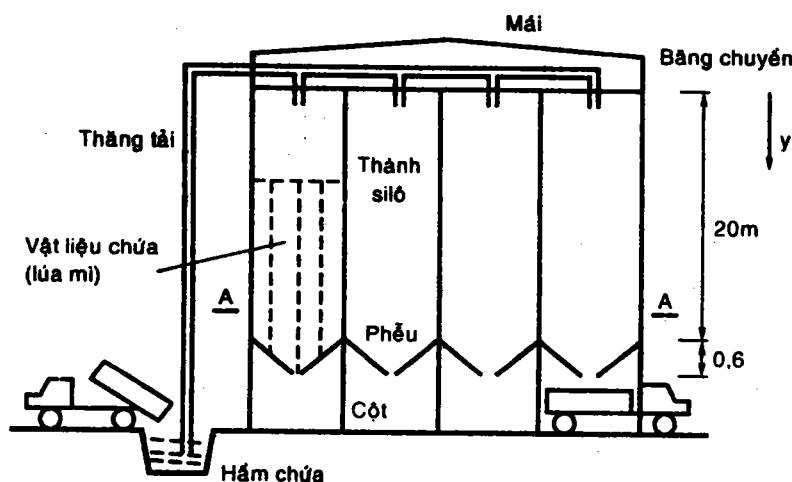
Cột đỡ silô có chiều cao thấp so với thành, không cần thiết kế giằng. Thành silô đóng vai trò như đầm ngang có độ cứng vô cùng. Hệ cột được xem là khung phẳng hoặc khung không gian, chịu tác dụng của tải trọng gió, trọng lượng silô và vật liệu chứa. Cột tính như cấu kiện chịu nén lệch tâm.



Hình 4.28 Sơ đồ tính cột silô chịu tải trọng gió

## 4.6 BÀI TẬP

**4.1** Hãy xác định nội lực tác dụng lên thành phần và phễu của silô, có kích thước như hình 4.29. Cho biết: silô chứa lúa mì, chiều dày thành silô 150mm, chiều dày phễu 200mm, được thiết kế bằng BTCT.



**Hình 4.29** Hệ thống cụm silô

**Giải****1- Tính nội lực trong thành silô**

Áp lực đứng tiêu chuẩn tác dụng lên thành silô tại độ sâu  $y$  là:

$$p_{dy}^c = \frac{\gamma S}{fku} (1 - e^{-\frac{fku}{S}})$$

trong đó:  $S = a^2$ ,  $u = 4a$ ,  $r = \frac{S}{u}$ ,  $k = \tan^2(45^\circ - \frac{\Phi}{2}) = 0,406$ ,  $f = 0,4$

Áp lực ngang tiêu chuẩn tác dụng lên thành silô tại độ sâu  $y$  là:

$$p_{ny}^c = kp_{dy}^c$$

Lực ma sát ở thành silô:  $f_{ms} = fp_{ny}^c$

Áp lực kéo đúng tâm trên một đơn vị chiều cao tường:

$$N_k = \frac{n.a.a_o p_{ny}^c}{2}$$

trong đó:  $n = 1,3$ ;  $a_o = 1$ .

Mômen uốn tính toán tác dụng lên một đơn vị chiều cao tường:

$$M_g = \frac{n.a^2.a_o p_{ny}^c}{12};$$

$$M_n = \frac{n.a^2.a_o p_{ny}^c}{24}$$

Ứng lực nén tính toán trong tường silô trên đáy silô do trọng lượng vật liệu chứa truyền đến tường thông qua lực ma sát:

$$N_y^i = n.r(\gamma.y - p_{dy}^c)$$

Áp lực nén tổng cộng:

$$N_n = N_y^i + nfp_{dy}^c + G_y$$

trong đó:  $G_y = nh\gamma_b$  - trọng lượng bản thân tường tính trên 1m chiều dài

$$n = 1,1, \gamma_b = 2500 \text{ daN/m}^3$$

$h$  - chiều dày của tường.

Bảng kết quả tính toán nội lực trong thành silô

y (m)	$p_{dy}^c$ (daN)	$p_{ny}^c$ (daN)	$f_{ms}$ (daN)	$N_k$ (daN)	$M_g$ (daNm)	$M_n$ (daNm)	$N_y^l$ (daN)	$N_n$ (daN)
1	719	292	116	569	284	142	79	608
2	1299	527	210	1028	514	257	294	1330
3	1765	716	286	1397	698	349	619	2143
4	2141	869	347	1695	847	423	1033	3030
5	1443	991	396	1934	967	483	1518	3977
6	2687	1091	436	2127	1064	531	2060	4972
7	2883	1171	468	2293	1141	570	2649	6005
8	3041	1235	493	2408	1204	601	2375	7069
9	3168	1286	514	2508	1254	627	3931	8158
10	3271	1328	531	2589	1295	647	4611	9267
11	3353	1361	544	2655	1327	664	5311	10390
12	3420	1388	555	2707	1354	677	6026	11530
13	3473	1410	564	2750	1375	687	6754	12680
14	3516	1428	571	2784	1392	696	7492	13840
15	3551	1442	576	2811	1406	702	8238	15000
16	3579	1453	581	2833	1417	708	8990	16170
17	3601	1462	584	2851	1426	712	9749	17350
18	3620	1470	587	2866	1433	716	10510	18520
19	3634	1475	590	2877	1439	719	11280	19700
20	3646	1480	592	2887	1443	721	12050	20890

## 2- Tính nội lực của phễu

Phễu chịu tác dụng của:

- Áp lực của vật liệu chứa
- Tác dụng của trọng lượng bản thân phễu
- Trọng lượng của vật liệu chứa trong phễu.

Phễu làm việc chịu kéo đúng tâm theo phương ngang, chịu kéo theo phương kinh tuyến trong tiết diện vòng, đồng thời chịu uốn ngoài mặt phẳng.

a- Áp lực tiêu chuẩn của vật liệu tác dụng thẳng góc với mặt phẳng nghiêng:

$$p_u^c = m_o p_{dy}^c$$

trong đó:  $m_o = \cos^2 \alpha + k \sin^2 \alpha = 0,894$  ( $\alpha = 25^\circ$ )

$$p_u^c = m_o p_{dy}^c = 0,894 \times 3646 = 3245 \text{ daN/m}^2$$

b- Áp lực tiêu chuẩn của vật liệu tác dụng theo phương tiếp tuyến với mặt phẳng nghiêng:

$$p_{ly}^c = m_o p_{dy}^c$$

trong đó:  $m_o' = (1 - \kappa) \sin \alpha \cos \alpha = 0,228$  ( $\alpha = 25^\circ$ )

$$p_{ly}^c = m_o' p_{dy}^c = 0,228 \times 3646 = 831 \text{ daN/m}^2$$

Lực kéo trên một đơn vị chiều dài:

$$N = \frac{a_o n p_a^c a}{2 \sin \alpha} = \frac{1,3 \times 3245 \times 3}{2 \sin 25^\circ} = 14995 \text{ daN}$$

Lực kéo dọc trên đơn vị chiều dài của tiết diện ngang:

$$N_k = \frac{a_o n p_a^c a}{4 \sin \alpha} + \frac{n P}{4a \sin \alpha}$$

trong đó  $P$  là trọng lượng bản thân của phễu và trọng lượng vật liệu chứa trong phễu.

Trọng lượng của phễu:

$$\begin{aligned} g &= \frac{(a_1 + a_2)}{2} \delta \cdot h \cdot \gamma \cdot n \\ &= \frac{(3 + 0,6)}{2} 0,2 \times 1,53 \times 2500 \times 1,1 = 1514,7 \text{ daN} \end{aligned}$$

Thể tích của phễu:

$$\begin{aligned} V &= \frac{h}{6} [a_2^2 + (a_1 + a_2)^2 + a_1^2] \\ &= \frac{0,6}{6} [3^2 + (3 + 0,6)^2] + 0,0^2 = 1,65 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Trọng lượng vật liệu chứa tác dụng lên phễu:

$$g_1 = \frac{\gamma \cdot V}{4} = \frac{800 \times 1,656}{4} = 341 \text{ daN}$$

$$P = g + g_1 = 1514,7 + 341 = 1855,7 \text{ daN}$$

Vậy:  $N_k = \frac{a_o n p_a^c a}{4 \sin \alpha} + \frac{n P}{4a \sin \alpha}$

$$= \frac{1,3 \times 3646 \times 3}{4 \sin 25^\circ} + \frac{1,1 \times 1377}{4 \sin 25^\circ} = 9307,5 \text{ daN}$$

c- Áp lực tính toán của vật liệu tác dụng thẳng góc với mặt phẳng nghiêng:

$$q = n \cdot a_o p_a^c = 1,3 \times 3245 = 4219 \text{ daN/m}^2$$

Tính nội lực trong thành phễu, tính gần đúng là bản tam giác ngầm ba cạnh chịu tác dụng của tải trọng là  $q$ .

## Chương 5

### KẾT CẤU MÁI VỎ

#### 5.1 KHÁI NIỆM CHUNG

Hiện nay cũng như trong tương lai, các công trình xây dựng dân dụng và công nghiệp, nhất là nhà công nghiệp một tầng có khẩu độ lớn, sẽ chiếm tỷ lệ đáng kể. Để đáp ứng yêu cầu về mặt kinh tế, phải có giải pháp hình khối mặt bằng công trình hợp lý nhất. Ngoài ra, kết cấu mái vỏ không gian còn phải đáp ứng cao nhất các yêu cầu về chức năng, thẩm mỹ kiến trúc, công nghệ, để phù hợp với nền công nghiệp hóa ngành xây dựng.

Kết cấu mái vỏ không gian bằng bê tông cốt thép là một trong các kết cấu mái không gian được dùng trong các công trình xây dựng, nó có khả năng chịu lực lớn, tiết kiệm được vật liệu xây dựng, ngoài ra nó còn chịu được tải trọng động cao, không “nhạy cảm” trước các biến dạng lớn và không đều của nền móng công trình.

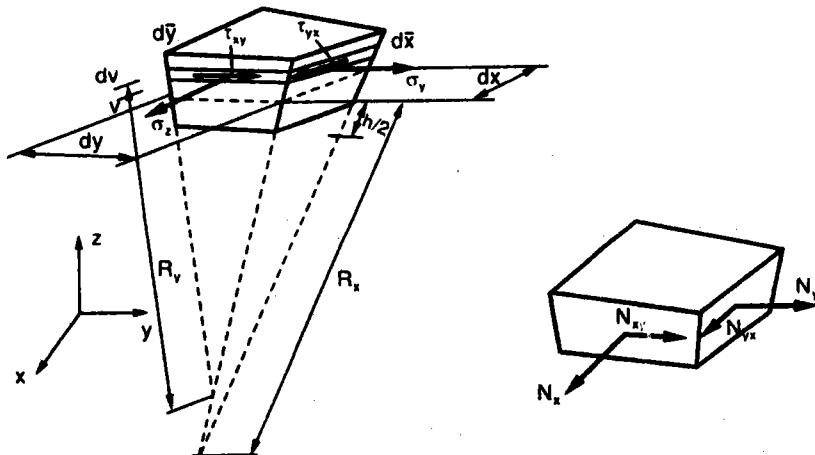
#### 5.2 LÝ THUYẾT PHI MÔMEN

Các giả thiết trong lý thuyết phi mômen gồm:

- Vật liệu vỏ là đึng hướng và tuân theo định luật Hooke.
- Bề dày vỏ là nhô sao cho độ cứng uốn có thể bỏ qua, hay nói cách khác là bỏ qua mômen uốn xuất hiện trong vỏ.
- Các ứng suất trong vỏ là phân bố đều theo chiều dày của vỏ và hợp lực của chúng là các nội lực màng, nằm trong mặt trung bình của vỏ.
- Dọc theo biên vỏ các phản lực cũng có phương tiếp tuyến với mặt trung bình của vỏ.
- Các biến dạng do lực màng sinh ra không bị cản trở.

Tuy nhiên, thực tế khó có thể đảm bảo các giả thiết trên, do đó lý thuyết phi mômen chỉ mô tả một hệ nội lực với độ chính xác nhất định (nhất là tại các vùng biên vò vẫn tồn tại mômen).

Xét vò có chiều dày không đổi  $h$ . Lấy ra một phân tố vò, có hình chiếu lên mặt phẳng ngang  $xy$  tại mặt trung bình) là hình chữ nhật  $d_x \times d_y$ . Các thiết tuyến thuộc các mặt phẳng song song với các mặt phẳng tọa độ  $xz$  và  $yz$  có các bán kính cong là  $R_y$  và  $R_x$ .



**Hình 5.1**

Theo hình vẽ ta có:

$$\frac{dy}{dy} = \frac{R_y + v}{R_y} \quad \text{và} \quad \frac{dx}{dx} = \frac{R_x + v}{R_x} \quad (5.1)$$

Trên các mặt cắt này có các ứng suất  $\sigma_x, \sigma_y, \tau_{xy}, \tau_{yx}$  mà hợp lực của chúng là:

$$N_x = \frac{1}{d_y} \int_{-\frac{h}{2}}^{\frac{h}{2}} \sigma_x dv \cdot dy = \int_{-\frac{h}{2}}^{\frac{h}{2}} \sigma_x \left(1 - \frac{v}{R_y}\right) dv \quad (5.2)$$

Theo giả thiết trên, các ứng suất trong vò là phân bố đều theo chiều dày vò nên:

$$N_x = \sigma_x \int_{-\frac{h}{2}}^{\frac{h}{2}} \left(1 + \frac{v}{R_y}\right) dv = \sigma_x \left(v + \frac{v^2}{2R_y}\right) \Big|_{-\frac{h}{2}}^{\frac{h}{2}} = \sigma_x h \quad (5.3)$$

Tương tự:

$$N_y = \sigma_y \int_{-\frac{h}{2}}^{\frac{h}{2}} (1 + \frac{v}{R_x}) dv = \sigma_y h \quad (5.4)$$

$$N_{xy} = \tau_{xy} \int_{-\frac{h}{2}}^{\frac{h}{2}} (1 + \frac{v}{R_y}) dv = \tau_{xy} h \quad (5.5)$$

$$N_{yx} = \tau_{yx} \int_{-\frac{h}{2}}^{\frac{h}{2}} (1 + \frac{v}{R_x}) dv = \tau_{yx} h \quad (5.6)$$

Theo luật đối xứng của ứng suất tiếp  $\tau_{xy} = \tau_{yx}$  thì:

$$N_{xy} = N_{yx} \quad (5.7)$$

Như vậy, theo giả thiết trên một thiết kế tuyến bất kỳ của mặt trung gian các lực mảng gồm lực pháp tuyến và lực tiếp tuyến sẽ tồn tại và nằm trong mặt phẳng tiếp xúc với mặt trung bình (các mômen uốn, mômen xoắn: không xét đến).

Trong quá trình nghiên cứu trạng thái mảng của vỏ thay vì tìm các ứng suất thành phần, ta có thể tìm các nội lực thành phần mà cụ thể là các lực mảng:

$$N_x = \sigma_x h; \quad N_y = \sigma_y h; \quad N_{xy} = N_{yx} = \tau_{xy} h \quad (5.8)$$

### 5.3 LÝ THUYẾT MÀNG

Xét một phân tố cong ( $dq, dp$ ) hình 5.2b, có hình chiếu lên mặt phẳng nằm ngang  $xy$  (H.5.1a). Quan hệ giữa  $dx, dy$  với  $dq, dp$  cho bởi:

$$dx = dp \cos \Phi; \quad dy = dq \cos \theta \quad (5.9)$$

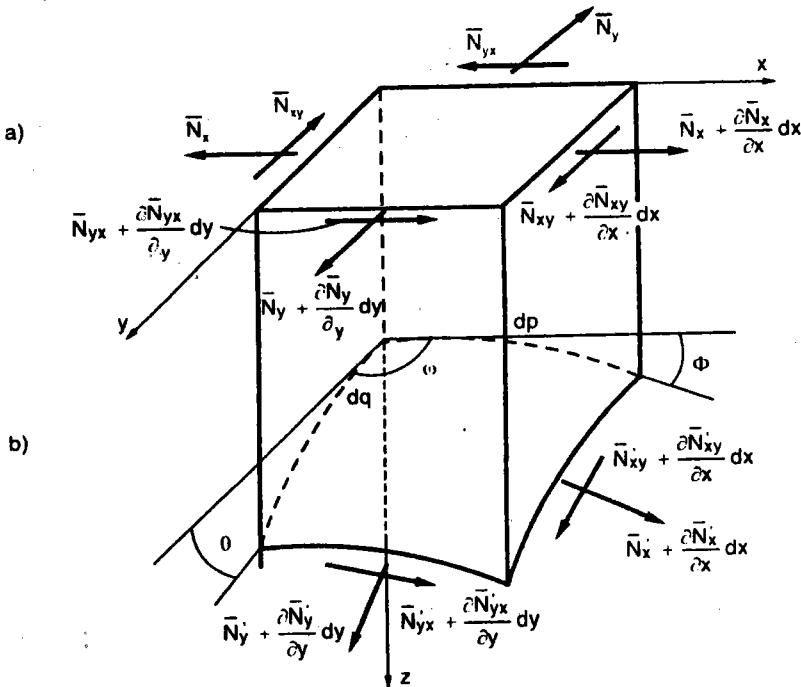
Mối quan hệ giữa  $N_x$  và  $\bar{N}_x$ ; giữa  $N_y$  và  $\bar{N}_y$

$$\bar{N}_x dy = N'_x \cos \Phi \cdot dq \quad \text{hoặc} \quad \bar{N}_x = N'_x \frac{\cos \Phi}{\cos \theta} \quad (5.10)$$

$$\bar{N}_y dx = N'_y \cos \theta \cdot dp \quad \text{hoặc} \quad \bar{N}_y = N'_y \frac{\cos \theta}{\cos \Phi} \quad (5.11)$$

và  $\bar{N}_{xy} dx = N'_{xy} \cos \theta \cdot dq$  (5.12)

mà  $\bar{N}_{xy} = N'_{xy}$  (5.13)



**Hình 5.2** Lý thuyết mảng trong vò

Phương trình cân bằng trên mặt phẳng xy:

$$\Sigma X = \frac{\partial \bar{N}_x}{\partial x} + \frac{\partial \bar{N}_{yx}}{\partial y} + \bar{p}_x = 0 \quad (5.14)$$

hay  $\Sigma Y = \frac{\partial \bar{N}_y}{\partial y} + \frac{\partial \bar{N}_{xy}}{\partial x} + \bar{p}_y = 0 \quad (5.15)$

trong đó  $\bar{p}_x$  và  $\bar{p}_y$  được tạo thành từ  $p_x$  và  $p_y$  của phân tố có hình chiếu lên mặt xy.

Diện tích của phân tố là:

$$dA = \frac{dx \cdot dy}{\cos \Phi \cdot \cos \theta} \sin \varpi = dx \cdot dy \frac{\sqrt{1 - \sin^2 \Phi \cdot \sin^2 \theta}}{\cos \Phi \cdot \cos \theta} \quad (5.16)$$

do đó:  $\bar{p}_x dx \cdot dy = p_x dx \cdot dy \frac{\sqrt{1 - \sin^2 \Phi \cdot \sin^2 \theta}}{\cos \Phi \cdot \cos \theta}$  (5.17)

và  $\bar{p}_x = p_x \frac{\sqrt{1 - \sin^2 \Phi \cdot \sin^2 \theta}}{\cos \Phi \cdot \cos \theta}$  (5.18)

Mối liên hệ giữa  $\bar{p}_y$  và  $p_y$ , và giữa  $\bar{p}_z$  và  $p_z$  cũng tương tự.

Từ  $\Sigma Z = 0$ . Ta có:

$$N'_x \sin \Phi \cdot dq = \bar{N}_x \frac{\cos \theta}{\cos \Phi} \sin \Phi \cdot dq = \bar{N}_x \tan \Phi \cdot dy = \bar{N}_x \frac{\partial z}{\partial x} dy \quad (5.19)$$

$$N'_y \sin \theta \cdot dp = \bar{N}_y \frac{\partial z}{\partial y} dx \quad (5.20)$$

$$N'_{xy} \sin \theta \cdot dq = \bar{N}_{xy} \tan \theta \cdot dy = \bar{N}_{xy} \frac{\partial z}{\partial y} dy \quad (5.21)$$

$$N'_{yx} \sin \Phi \cdot dq = \bar{N}_{yx} \frac{\partial z}{\partial x} dx \quad (5.22)$$

Phương trình cân bằng theo phương  $Z$ :

$$-\bar{N}_x \frac{\partial z}{\partial x} dy + [\bar{N}_x \frac{\partial z}{\partial x} dy + \frac{\partial}{\partial x} (\bar{N}_x \frac{\partial z}{\partial x}) dy \cdot dx] \quad (5.23)$$

$$\frac{\partial}{\partial x} (\bar{N}_x \frac{\partial z}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y} (\bar{N}_y \frac{\partial z}{\partial y}) + \frac{\partial}{\partial x} (\bar{N}_{xy} \frac{\partial z}{\partial y}) + \frac{\partial}{\partial y} (\bar{N}_{yx} \frac{\partial z}{\partial x}) + \bar{p}_x = 0 \quad (5.24)$$

với  $\bar{N}_{yx} = \bar{N}_{xy}$  (5.25)

$$\begin{aligned} \bar{N}_x \frac{\partial^2 z}{\partial x^2} + \bar{N}_y \frac{\partial^2 z}{\partial y^2} + 2\bar{N}_{xy} \frac{\partial^2 z}{\partial x \cdot \partial y} + \frac{\partial z}{\partial x} (\frac{\partial \bar{N}_x}{\partial x} + \frac{\partial \bar{N}_{xy}}{\partial y}) + \\ + \frac{\partial z}{\partial y} (\frac{\partial \bar{N}_x}{\partial y} + \frac{\partial \bar{N}_{xy}}{\partial x}) + \bar{p}_x = 0 \end{aligned} \quad (5.26)$$

Ta có:

$$\bar{N}_x \frac{\partial^2 z}{\partial x^2} + \bar{N}_y \frac{\partial^2 z}{\partial y^2} + 2\bar{N}_{xy} \frac{\partial^2 z}{\partial x \cdot \partial y} = -\bar{p}_z + \bar{p}_x \frac{\partial z}{\partial x} + \bar{p}_y \frac{\partial z}{\partial y} \quad (5.27)$$

$$\bar{N}_x = \frac{\partial^2 F}{\partial y^2} - \int \bar{p}_x dx; \quad \bar{N}_y = \frac{\partial^2 F}{\partial x^2} - \int \bar{p}_y dy; \quad \bar{N}_{xy} = \frac{\partial^2 F}{\partial x \partial y} \quad (5.28)$$

$$\frac{\partial^2 F}{\partial x^2} \frac{\partial^2 z}{\partial y^2} - 2 \frac{\partial^2 F}{\partial x \partial y} \frac{\partial^2 z}{\partial x \partial y} + \frac{\partial^2 F}{\partial y^2} \frac{\partial^2 z}{\partial x^2} = q \quad (5.29)$$

$$q = -\bar{p}_{xx} + \bar{p}_x \frac{\partial z}{\partial x} + \bar{p}_y \frac{\partial z}{\partial y} + \frac{\partial^2 z}{\partial x^2} \int \bar{p}_x dx + \frac{\partial^2 z}{\partial y^2} \int \bar{p}_y dy \quad (5.30)$$

Phương trình (5.27) gọi là phương trình vi phân của vò.

Phương trình (5.29) gọi là phương trình hàm ứng suất của vò.

Nếu phương trình mặt vò có dạng:

$$z = f(x, y) \quad (5.31)$$

Đặt:  $\frac{\partial^2 z}{\partial x^2} = \frac{1}{r_x} = r$  - độ cong theo phương  $x$

$\frac{\partial^2 z}{\partial y^2} = \frac{1}{r_y} = t$  - độ cong theo phương  $y$

$$\frac{\partial^2 z}{\partial x \partial y} = \frac{1}{r_{xy}} = s \text{ - độ cong xoắn} \quad (5.32)$$

$$\frac{\partial z}{\partial x} = p; \quad \frac{\partial z}{\partial y} = q$$

$$K = \frac{1}{r_x} \frac{1}{r_y} \quad (5.33)$$

với  $K$  gọi là độ cong Gauss.

#### 5.4 PHÂN LOẠI VÒ

Vò được gọi là vò trượt khi có độ cong xoắn

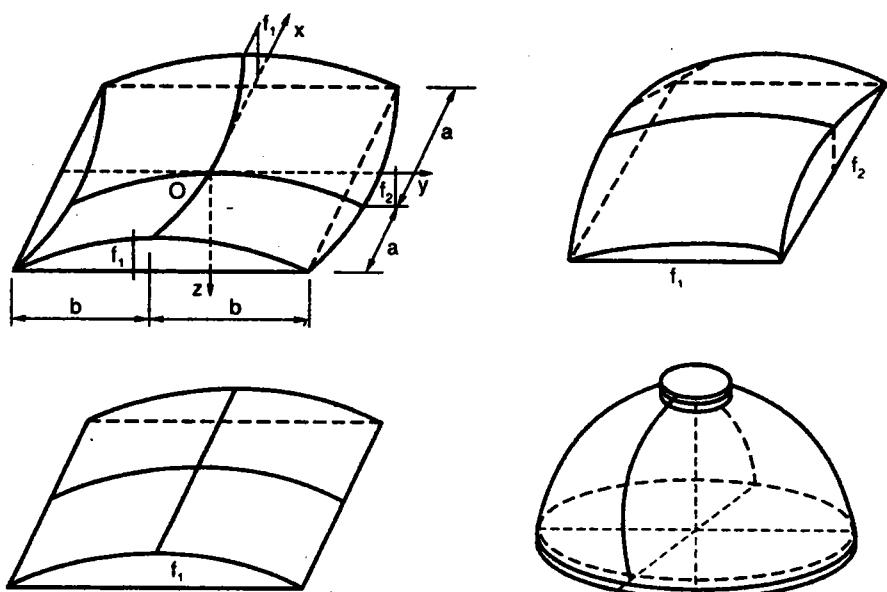
$$\frac{\partial^2 z}{\partial x \partial y} = \frac{1}{r_{xy}} = s = 0$$

Theo dạng hình học hoặc bề mặt vò, có nhiều loại. Thường sử dụng độ cong Gausse để phân loại vò. Nếu:

$K > 0$  thì vò được hình thành bởi hai họ đường cong cùng hướng: các vò elliptic paraboloid, vò cầu.

$K = 0$  thì vò được hình thành bởi một họ đường cong: vò trụ, vò hình nêm.

$K < 0$  thì vò được hình thành bởi hai họ đường cong có hướng ngược chiều nhau: vò hyperbolic paraboloid.



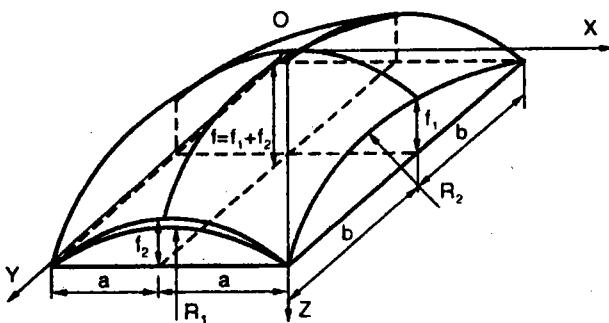
**Hình 5.3 Các dạng mái vòi thông dụng**

### **5.5 MÁI VÒ THOẢI CONG HAI CHIỀU CÓ MẶT BẰNG VUÔNG HOẶC CHỮ NHẬT CÓ ĐỘ CONG DƯƠNG**

Mái vò thoái là loại vò có độ vòng tại đỉnh  $f$  không quá  $1/5$  chiều dài cạnh ngắn của vò trên mặt bằng. Mái vò thoái cong hai chiều có mặt bằng vuông hoặc chữ nhật thường được dùng rộng rãi trong các công trình. Đối với mái vò có khẩu độ từ  $20 \div 30m$ ; chiều dày của vò có thể lấy tối thiểu từ  $6 \div 7cm$ ; do đó có thể giảm được khối lượng bê tông, cốt thép tới  $20 \div 30\%$ . Mái vò này có dạng paraboloid với phương trình:

$$Z = f_1 \frac{x^2}{a^2} + f_2 \frac{y^2}{b^2} \quad (5.34)$$

trong đó:  $f_1 + f_2 = f \leq \frac{1}{5} 2a$       ( $a \leq b$ )      (5.35)



**Hình 5.4 Sơ đồ mái vòm hai chiều có độ cong dương**

Dựa vào lý thuyết tổng quát về loại vòm thoái, để xác định nội lực, mômen uốn, mômen xoắn và các chuyển vị của vòm dưới tác dụng của tải trọng bất kỳ từ hệ phương trình vi phân do V.Z. Vlaxôp đưa ra:

$$\nabla^2 \nabla^2 \varphi + Eh \nabla k \omega = 0 \quad (5.36)$$

$$\nabla^2 k \varphi - D \nabla^2 \nabla^2 \omega = -q(x, y) \quad (5.37)$$

trong đó  $\varphi$ ,  $\omega$  là các hàm ứng suất và hàm chuyển vị.

Dựa vào kết quả tính chính xác và thực nghiệm cho thấy các loại vòm thoái chịu chủ yếu là các lực màng  $N_x$ ,  $N_y$  (nén hoặc kéo theo phương  $x$ ,  $y$ ) và lực tiếp tuyến  $N_{xy}$ . Còn mômen uốn chỉ tập trung ở một phần diện tích rất nhỏ gần các kết cấu biên. Vì thế người ta dùng lý thuyết phi mômen để giải các bài toán cho vòm thoái, sau đó có xét tới ảnh hưởng cục bộ của mômen cũng đem lại kết quả khá chính xác. Việc tính toán vòm thoái có thể tiến hành theo trình tự sau:

### 5.5.1 Xác định nội lực (lực màng) $N_x$ , $N_y$ , $N_{xy}$

Xác định nội lực (lực màng)  $N_x$ ,  $N_y$ ,  $N_{xy}$  từ phương trình sau:

$$\nabla^2 k \varphi = k_1 \frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^2} + k_2 \frac{\partial^2 \varphi}{\partial y^2} = -q(x, y) \quad (5.38)$$

Hàm ứng suất  $\varphi(x, y)$  liên hệ với các nội lực bằng các biểu thức sau:

$$N_x = \frac{\partial^2 \phi}{\partial y^2}; \quad N_y = \frac{\partial^2 \phi}{\partial x^2}; \quad N_{xy} = -\frac{\partial^2 \phi}{\partial x \partial y} \quad (5.39)$$

và độ cong của  $k_1, k_2$  liên hệ với mặt vỏ bằng các biểu thức:

$$k_1 = \frac{\partial^2 z}{\partial x^2}; \quad k_2 = \frac{\partial^2 z}{\partial y^2}; \quad k_{12} = \frac{\partial^2 z}{\partial x \partial y} \quad (5.40)$$

Nếu mặt vỏ có phương trình  $Z = f_1 \frac{x^2}{a^2} + f_2 \frac{y^2}{b^2}$  thì:

$$k_1 = \frac{2f_1}{a^2}; \quad k_2 = \frac{2f_2}{b^2}; \quad k_{12} = 0 \quad (5.41)$$

Cả hai  $k_1, k_2$  đều mang dấu dương, do đó tích số  $k_1 k_2 > 0$ : vỏ có độ cong Gausse dương.

$$\text{Bán kính cong: } R_1 = \frac{1}{k_1}; \quad R_2 = \frac{1}{k_2} \quad (5.42)$$

Các nội lực  $N_x, N_y, N_{xy}$  sinh ra trong vỏ không chỉ phụ thuộc vào kích thước hình học mặt vỏ, tải trọng tác dụng lên vỏ mà còn phụ thuộc vào độ cứng của các kết cấu biên. Các kết cấu biên phải đảm bảo cho vỏ luôn luôn ở trạng thái cân bằng giữa nội và ngoại lực, vì thế các kết cấu biên là một trong những bộ phận quan trọng, chúng cùng tham gia chịu lực với vỏ.

Căn cứ vào độ cứng và khả năng tiếp thu các nội lực từ vỏ truyền vào các kết cấu biên, phân ra ba trường hợp sau:

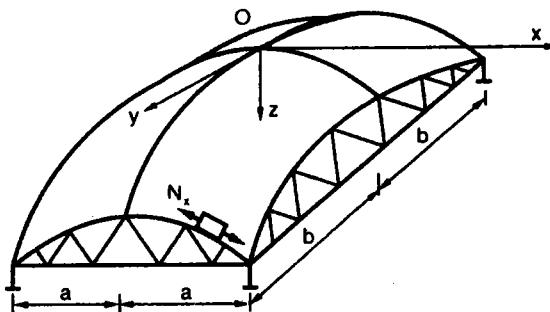
### *Trường hợp 1*

Kết cấu biên là dàn hay những vòm cung có thanh giằng với độ cứng vô hạn. Khi các nội lực truyền vào, các kết cấu này có khả năng biến dạng dọc theo các đường biên nằm trong mặt phẳng kết cấu. Đối với các nội lực tác dụng theo phương thẳng góc với mặt phẳng kết cấu biên thì những kết cấu này không có khả năng tiếp thu. Từ đó có thể nêu các điều kiện biên sau đây đối với các nội lực trong vỏ.

- Khi  $x = \pm a$ ;  $N_x = 0$ ;  $N_y \neq 0$ ;  $N_{xy} \neq 0$

- Khi  $x = \pm b$ ;  $N_x \neq 0$ ;  $N_y = 0$ ;  $N_{xy} \neq 0$

(5.43)



**Hình 5.5 Mái vò với kết cấu biên là dàn phẳng**

Phương trình (5.39) còn viết dưới dạng:

$$\frac{\partial^2 \phi}{\partial x^2} + \mu \frac{\partial^2 \phi}{\partial y^2} = -\frac{q(x, y)}{k_2} \quad (5.44)$$

trong đó:  $\mu = \frac{k_2}{k_1}$  (5.45)

Xét trường hợp tải trọng đứng và phân bố đều thì:

$$q(x, y) = q = \text{hằng số}$$

Hàm ứng suất  $\phi(x, y)$  vừa thỏa mãn phương trình (5.44) vừa thỏa mãn các điều kiện biên (5.43). Hàm ứng suất  $\phi(x, y)$  có thể chọn dưới dạng đa thức sau:

$$\begin{aligned} \phi(x, y) = & a_1(x^2 - a^2)(y^2 - b^2) + a_2x^2(x^2 - a^2)(y^2 - b^2) + \\ & a_3y^2(x^2 - a^2)(y^2 - b^2) + \dots + a_ny^2(x^2 - a^2)(y^2 - b^2) \end{aligned} \quad (5.46)$$

trong đó:  $a, b$  - nửa chiều dài các cạnh trên mặt bằng

$a_1, a_2, \dots, a_n$  - các hệ số tự do cần xác định.

Để xác định các hệ số tự do  $a_1, a_2, a_n$ , bằng cách lấy đạo hàm riêng hai lần, lần lượt theo  $x$  và theo  $y$  của (5.46) rồi thế vào phương trình (5.44) ta được phương trình có chứa các hệ số  $a_1, a_2, \dots, a_n$  cần tìm:

$$\begin{aligned} & 2a_1(y^2 - b^2) + 2a_2(6x^2 - a^2)(y^2 - b^2) + 2a_3y^2(y^2 - b^2) + \\ & + \mu[a_1(x^2 - a^2) + 2a_2x^2(x^2 - a^2) + 2a_3(x^2 - a^2)(6y^2 - b^2)] = -\frac{q}{k_2} \end{aligned} \quad (5.47)$$

Tại mọi điểm trên mặt vò ta thiết lập được một phương trình có dạng như (5.47). Số điểm chọn tất nhiên phải bằng số hệ số tự do  $a_1, a_2, \dots, a_n$ .

Giả sử chọn ba điểm có tọa độ như sau:

$$A(x = 0; y = 0); \quad B(x = 0; y = \frac{b}{\sqrt{2}}); \quad C(x = \frac{a}{\sqrt{2}}; y = 0) \quad (5.48)$$

Thế các giá trị  $x, y$  vào (5.45) ta có ba phương trình đại số với các ẩn số cần tìm là  $a_1, a_2, a_3$  sau:

$$-a_1(\mu + \lambda) + a_2b^2 + a_3\mu b^2 = -\frac{q}{2a^2k_2}$$

$$-a_1(\mu + 0,5\lambda) + 0,5a_2b^2 - a_3(0,25\lambda + 2\mu)b^2 = -\frac{q}{2a^2k_2} \quad (5.49)$$

$$-a_1(0,5\mu + \lambda) - a_2b^2(2 + 0,25\frac{\mu}{\lambda}) + 0,5a_3b^2 = -\frac{q}{2a^2k_2}$$

trong đó:  $\lambda = \frac{b^2}{a^2}$  (5.50)

Giải hệ phương trình (5.49) tìm được:

$$a_1 = (1,5\frac{\mu}{\lambda} + 1,5\frac{\lambda}{\mu} + \frac{0,5}{\mu} + 17,125)\frac{q}{a^2k_2\alpha}$$

$$a_2 = (3\mu - 0,75\lambda + 0,5\frac{\lambda}{\mu})\frac{q}{a^2b^2k_2\alpha} \quad (5.51)$$

$$a_3 = (3\frac{\lambda}{\mu} - 0,25)\frac{q}{a^2b^2k_2\alpha}$$

trong đó:  $\alpha = 31,75\mu + 3\frac{\mu^2}{\lambda} + 3\frac{\lambda^2}{\mu} + 32,75\lambda + 1$  (5.52)

Từ kết quả của các hệ số  $a_1, a_2, a_3$  từ (5.51) ta sẽ tìm được giá trị các nội lực  $N_x, N_y, N_{xy}$  dưới dạng các hàm giải tích cho bất kỳ các kích thước mặt bằng:

$$\begin{aligned} N_x(x, y) &= 2a_1(x^2 - a^2) + 2a_2x^2(x^2 - a^2) + \\ &\quad + 2a_3(x^2 - a^2)(6y^2 - b^2) \end{aligned} \quad (5.53)$$

$$N_y(x, y) = 2a_1(y^2 - a^2) + 2a_2(6x^2 - a^2) + 2a_3y^2(y^2 - b^2) \quad (5.54)$$

$$N_{xy}(x, y) = -4a_1xy - 4a_2y(2a^3 - xa^2) - 4a_3x(3y^3 - yb^2) \quad (5.55)$$

Nếu mặt bằng mái hình vuông  $a = b$ , chịu tải phân bố đều  $q$ , ta có:

$$f_1 = f_2; \quad R_1 = R_2 = \frac{2f_1}{a^2} = \frac{1}{R}; \quad \mu = \lambda = 1 \quad (5.56)$$

Từ (5.53 - 5.55) tìm được:

$$a_1 = 0,2885 \frac{qR}{a^2}; \quad a_2 = a_3 = 0,0385 \frac{qR}{a^4} \quad (5.57)$$

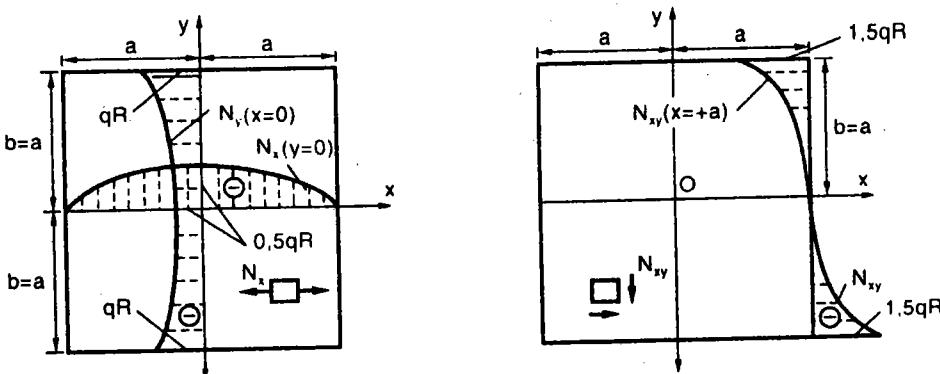
Các nội lực tại các tiết diện đặc trưng:

$$N_x(y=0) = 0,577 \frac{qR}{a^2} (x^2 - a^2) + 0,077 \frac{qR}{a^4} (x^4 - 2x^2a^2 + a^4) \quad (5.58)$$

$$N_y(x=0) = -0,577qR + 0,077 \frac{qR}{a^2} (6y^2 - a^2) \quad (5.59)$$

$$N_{xy}(x=a) = -qR(1,154 \frac{y}{a} + 0,308 \frac{y^3}{a^3}) \quad (5.60)$$

Từ đó ta vẽ được các biểu đồ nội lực tại các tiết diện giữa vò với các giá trị lớn nhất và nhỏ nhất (H.5.6).



**Hình 5.6** Biểu đồ  $N_x$ ,  $N_y$ ,  $N_{xy}$  của mái vò có mặt bằng hình vuông

Từ đó ta có thể xác định được các nội lực nén, kéo chính theo công thức trong lý thuyết sức bền vật liệu:

$$N_{k.ch}^{n.ch} = \frac{N_x + N_y}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{N_x - N_y}{2}\right)^2 + N_{xy}^2} \quad (5.61)$$

Góc nghiêng của các mặt phẳng tác dụng của các lực nén, kéo chính được xác định theo:

$$\operatorname{tg} 2\alpha_1 = \frac{2N_{xy}}{N_x - N_y}; \quad \operatorname{tg} 2\alpha_2 = -\frac{2N_{xy}}{N_x - N_y} \quad (5.62)$$

Nếu mặt bằng mái hình vuông  $a = b$ , chịu tải phân bố đều  $q$ , ta có:

Tại tâm vỏ có:  $N_x(0,0) = N_y(0,0) = 0,5qR$  và  $N_{xy}(0,0) = 0$

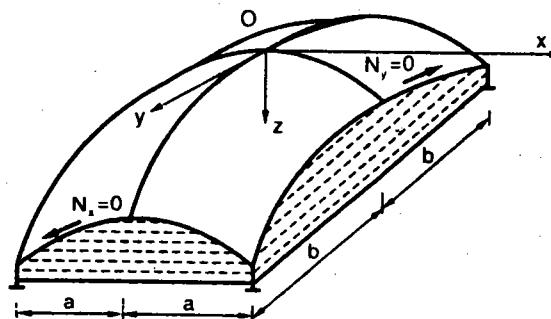
$$N_{k.ch}^{n.ch} = N_x = N_y = 1,5qR \quad (5.63)$$

$$\operatorname{tg} 2\alpha_1 = +\infty; \quad \operatorname{tg} 2\alpha_2 = -\infty \quad \text{hay} \quad \alpha_1 = \alpha_2 = 45^\circ \quad (5.64)$$

### Trường hợp 2

Kết cấu biên là các đầm tường hay dàn cứng bằng bê tông cốt thép. Các kết cấu biên loại này có độ cứng rất lớn trong mặt phẳng, có thể xem như không bị biến dạng dọc theo các đường biên của vỏ và do đó bản thân vỏ tại ngay sát biên cũng không bị biến dạng dưới tác dụng của các lực  $N_x, N_y$ . Vậy điều kiện biên như sau:

- Khi  $x = \pm a$ ;  $N_x = 0$ ;  $N_y = 0$ ;  $N_{xy} \neq 0$
- Khi  $y = \pm b$ ;  $N_x = 0$ ;  $N_y = 0$ ;  $N_{xy} \neq 0$



Hình 5.7 Mái vỏ tựa lên các đầm, tường cứng

Để thỏa mãn (5.65) chọn hàm ứng suất có dạng sau:

$$\begin{aligned} \varphi(x, y) = & a_1(x^4 - 6x^2a^2 + 5a^4)(y^4 - 6y^2b^2 + 5b^4) \\ & + a_2(x^8 - \frac{22}{9}x^6a^2 + \frac{13}{9}x^4a^4)(y^4 - 6y^2b^2 + 5b^4) \\ & + a_3(x^4 - 6x^2a^2 + 5a^4)(y^8 - \frac{22}{9}y^6b^2 + \frac{13}{9}y^4b^4) \end{aligned} \quad (5.66)$$

Tương tự như trường hợp 1, ta có thể xác định được các số hạng tự do  $a_1, a_2, a_3$ . Cho bất kỳ kích thước mặt bằng mái nào theo công thức sau:

$$\begin{aligned} a_1 &= \frac{q}{60k_2a^6(\lambda^2 + \mu\lambda)} \\ a_2 &= \frac{q - a_1k_2a^6(11,4\lambda^2 + 9,552\mu\lambda)}{k_2a^{10}(21,655\lambda^2 + 0,972\mu\lambda)} \\ a_3 &= \frac{q - a_1k_2a^6(9,552\lambda^2 + 11,4\mu\lambda)}{k_2a^{10}(0,972\lambda^4 + 21,655\mu\lambda^3)} \end{aligned} \quad (5.67)$$

Và các nội lực tính theo công thức sau:

$$\begin{aligned} N_x &= 12a_1(x^4 - 6x^2a^2 + 5a^4)(y^2 - b^2) \\ &\quad + 12a_2(x^8 - \frac{22}{9}x^6a^2 + \frac{13}{9}x^4a^4)(y^2 - b^2) \\ &\quad + 4a_3(x^4 - 6x^2a^2 + 5a^4)(14y^6 - \frac{55}{3}y^4b^2 + \frac{13}{3}y^2b^4) \end{aligned} \quad (5.68)$$

$$\begin{aligned} N_y &= 12a_1(x^2 - a^2)(y^4 - 6y^2b^2 + 5b^4) \\ &\quad + 4a_2(14x^6 - \frac{55}{3}x^4a^2 + \frac{13}{3}x^2a^4)(y^4 - 6y^2b^2 + 5b^4) \\ &\quad + 12a_3(x^2 - a^2)(y^8 - \frac{22}{9}y^6b^2 + \frac{13}{9}y^4b^4) \end{aligned} \quad (5.69)$$

$$\begin{aligned} N_{xy} &= 16a_1(x^3 - 3xa^2)(y^3 - 3yb^2) \\ &\quad + 16a_2(2x^7 - \frac{11}{3}x^5a^2 + \frac{13}{9}x^3a^4)(y^3 - 3yb^2) \\ &\quad + 16a_3(x^3 - 3xa^2)(2y^7 - \frac{11}{3}y^5b^2 + \frac{13}{9}y^3b^4) \end{aligned} \quad (5.70)$$

Từ đó ta có thể xác định được các nội lực nén, kéo chính theo công thức trong lý thuyết sức bền vật liệu:

$$N_{k.ch}^{n.ch} = \frac{N_x + N_y}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{N_x - N_y}{2}\right)^2 + N_{xy}^2} \quad (5.71)$$

Góc nghiêng của các mặt phẳng tác dụng của các lực nén, kéo chính được xác định theo:

$$\operatorname{tg}2\alpha_1 = \frac{2N_{xy}}{N_x - N_y}; \quad \operatorname{tg}2\alpha_2 = -\frac{2N_{xy}}{N_x - N_y} \quad (5.72)$$

Nếu mặt bằng mái hình vuông  $a = b$ , chịu tải phân bố đều  $q$ , ta có:

$$f_1 = f_2; \quad R_1 = R_2 = \frac{2f_1}{a^2} = \frac{1}{R}; \quad \mu = \lambda = 1 \quad (5.73)$$

Từ (5.63) tìm được:

$$a_1 = 0,00833 \frac{qR}{a^6}; \quad a_2 = a_3 = 0,0365 \frac{qR}{a^{10}} \quad (5.74)$$

Các nội lực tại các tiết diện đặc trưng

$$\begin{aligned} N_x(y=0) &= -0,09996 \frac{qR}{a^2} (x^4 - 6x^2a^2 + 5a^4) \\ &\quad - 0,0438 \frac{qR}{a^8} (x^8 - \frac{22}{9}x^6a^2 + \frac{13}{9}x^4a^4) \end{aligned} \quad (5.75)$$

$$\begin{aligned} N_y(x=0) &= 0,4998 \frac{qR}{a^2} (x^2 - a^2) \\ &\quad + 0,073 \frac{qR}{a^6} (11x^6 - \frac{55}{3}x^4a^2 + \frac{13}{3}x^2a^4) \end{aligned} \quad (5.76)$$

$$\begin{aligned} N_{xy}(x=a) &= 0,26656 \frac{qR}{a^3} (x^3 - 3xa^2) + 0,4302 \frac{qR}{a^3} (x^3 - 3xa^2) \\ &\quad + 0,1168 \frac{qR}{a^7} (2x^7 \frac{11}{3}x^5a^2 + \frac{13}{9}x^3a^4) \end{aligned} \quad (5.77)$$

Tại  $(0,0)$  tâm vỏ có:

$$N_x(0,0) = N_y(0,0) = -0,5qR \quad \text{và} \quad N_{xy}(0,0) = 0$$

$$N_{k.ch}^{n.ch}(0,0) = -0,5qR \quad (5.78)$$

Tại  $(a,a)$  có:

$$N_x(a,a) = N_y(a,a) = 0 \quad \text{và} \quad N_{xy}(a,a) = -1,64qR \quad (5.79)$$

$$N_{k.ch}^{n.ch}(a,a) = N_x = N_y = \mp 1,64qR \quad (5.80)$$

$$\alpha_1 = -45^\circ; \quad \alpha_2 = 45^\circ$$

Tại  $(\frac{a}{2}, \frac{a}{2})$  có:

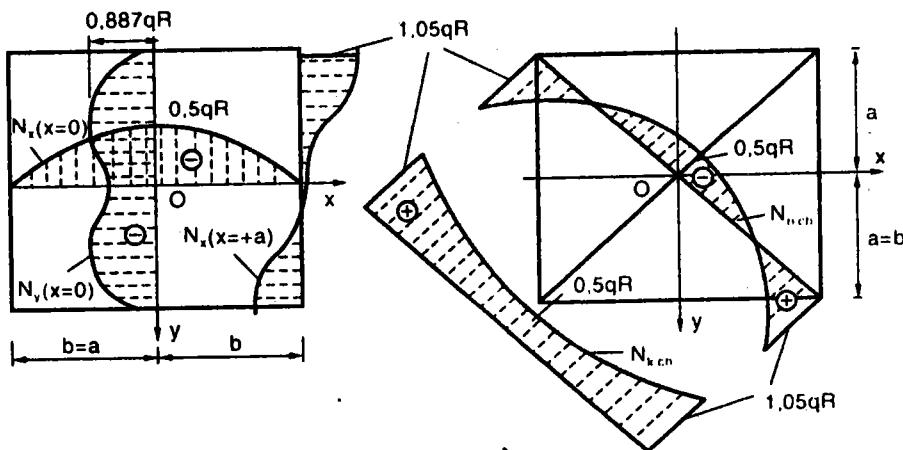
$$N_x(\frac{a}{2}, \frac{a}{2}) = N_y(\frac{a}{2}, \frac{a}{2}) = -0,48qR$$

$$\text{và} \quad N_{xy}(\frac{a}{2}, \frac{a}{2}) = -0,25qR \quad (5.79)$$

$$N_{k.ch} \left( \frac{a}{2}, \frac{a}{2} \right) = -0,23qR \quad (5.81)$$

$$\alpha_1 = -45^\circ; \quad \alpha_2 = 45^\circ$$

Từ đó ta vẽ được các biểu đồ nội lực tại các tiết diện giữa vò với các giá trị lớn nhất và nhỏ nhất và các biểu đồ lực nén, kéo chính tại các tiết diện đi qua các đường chéo mặt bằng mái (H.5.7). Trên hình ta thấy biểu đồ thay đổi dấu chứng tỏ ứng suất kéo chính chỉ xuất hiện tại các góc của vò và tác dụng song song với đường chéo mặt bằng mái vò.



Hình 5.8

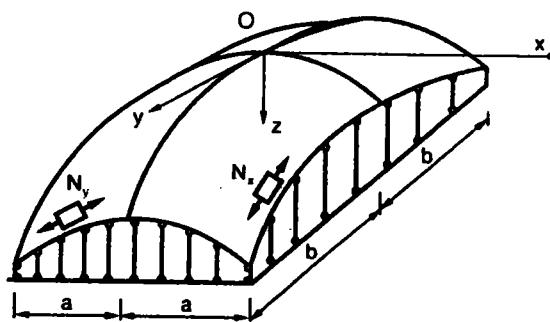
a) Biểu đồ  $N_x$ ,  $N_y$ ,  $N_{xy}$  của mái vò có mặt bằng hình vuông

b) Biểu đồ  $N_{n.ch}$ ,  $N_{k.ch}$

### Trường hợp 3

Khi các kết cấu biên là các hàng cột theo các kiểu như trên các gối khớp di động, để đảm bảo cho vò có các chuyển vị tự do dọc theo các biên. Trường hợp này các dãy cột không tiếp thu lực tiếp tuyến  $N_{xy}$  nên tại các mép biên lực  $N_{xy}$  luôn luôn bằng không. Điều kiện biên sẽ là:

- Khi  $x = \pm a$ ;  $N_x = 0$ ;  $N_y \neq 0$ ;  $N_{xy} = 0$
- Khi  $y = \pm b$ ;  $N_x \neq 0$ ;  $N_y = 0$ ;  $N_{xy} \neq 0$



**Hình 5.9** Mái vò tựa trên các hàng cột

Chọn hàm ứng suất  $\phi(x, y)$  với 5 số hạng như sau:

$$\begin{aligned}\phi(x, y) = & a_1(x^4 - 2x^2a^2 + a^4)(y^4 - 2y^2a^2 + b^4) \\ & + a_2(x^4 - 2x^2a^2 + a^4) \times (y^6 - 2y^4b^2 + y^2b^4) \\ & + a_3(x^6 - 2x^4a^2 + x^2a^4)(y^4 - 2y^2b^2 + b^4) \\ & + a_4(x^4 - 2x^2a^2 + a^4)(y^8 - 2y^6b^2 + y^4b^4) \\ & + a_5(x^8 - 2x^6a^2 + x^4a^4)(y^4 - 2y^2b^2 + b^4)\end{aligned}\quad (5.83)$$

Để xác định các hệ số tự do  $a_i$  phải dùng phương pháp vi phân.

Nếu mặt bằng mái hình vuông  $a = b$ , chịu tải phân bố đều  $q$ , ta có kết quả sau:

$$a_1 = 0,1426 \frac{qR}{a^6}; a_2 = a_3 = 0,06771 \frac{qR}{a^3}; a_4 = a_5 = 0,55378 \frac{qR}{a^{10}} \quad (5.84)$$

Nội lực tính theo các công thức sau:

$$\begin{aligned}N_x = & 0,1426 \frac{qR}{a^6} (x^4 - 2x^2a^2 + a^4)(12y^2 - 4a^2) \\ & + 0,0677 \frac{qR}{a^8} [(x^4 - 2x^2a^2 + a^4)(30y^4 - 24a^2y^2 + 2a^4) \\ & + (x^6 - 2x^4a^2 + x^2a^4)(12y^2 - 4a^2)] \\ & + 0,55378 \frac{qR}{a^{10}} [(x^4 - 2x^2a^2 + a^4)(56y^6 - 60a^6y^4 + 12y^2a^4) \\ & + (x^8 - 2x^6a^2 + x^4a^4)(12y^2 - 4a^2)]\end{aligned}\quad (5.85)$$

$$\begin{aligned}
 N_y &= 0,1426 \frac{qR}{a^6} (12x^4 - 4a^2)(y^4 - 2y^2a^2 + a^2) \\
 &\quad + 0,0677 \frac{qR}{a^8} [(12x^4 - 4a^2)(y^6 - 2a^2y^4 + y^2a^4) \\
 &\quad + (30x^4 - 24x^2a^2 + 2a^4)(y^4 - 2y^2a^2 + a^4)] \\
 &\quad + 0,55378 \frac{qR}{a^{10}} [(12x^2 - 4a^2)(y^8 - 2a^2y^6 + y^4a^4) \\
 &\quad + (56x^6 - 60x^4a^2 + 12x^2a^4)(y^4 + 2y^2a^2 + a^4)] \quad (5.86)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 N_{xy} &= -0,1426 \frac{qR}{a^6} (4x^3 - 4xa^2)(4y^3 - 4ya^2) \\
 &\quad - 0,0677 \frac{qR}{a^8} [(4x^3 - 4xa^2)(6y^5 - 8a^2y^3 + 2ya^4) \\
 &\quad + (6x^5 - 8x^3a^2 + 2xa^4)(4y^3 - 4ya^2)] \\
 &\quad - 0,55378 \frac{qR}{a^{10}} [(4x^3 - 4xa^2)(8y^2 - 12a^2y^5 + 4y^3a^4) \\
 &\quad + (8x^7 - 12x^5a^2 + 4x^5a^4)(4y^3 - 4ya^2)] \quad (5.87)
 \end{aligned}$$

Tại tiết diện dọc theo các đường chéo mặt bằng, tức là tại các điểm có tọa độ  $x = y$ , ta có:

$$\begin{aligned}
 N_x(x = y) &= N_y(x = y) \\
 &= 0,5704 \frac{qR}{a^6} (3x^6 - 7x^4a^2 + 5x^2a^4 - a^6) \\
 &\quad + 0,4354 \frac{qR}{a^8} [(21x^8 - 56x^6a^2 + 50x^4a^4 - 16x^2a^6 + a^8)] \\
 &\quad + 2,2151 \frac{qR}{a^{10}} [(17x^{10} - 50x^8 + 52x^6 - 22x^4 + 3x^2a^8)] \quad (5.88)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 N_{xy} &= -0,5704 \frac{qR}{a^6} (x^6 - 2x^4a^2 + x^2a^4) \\
 &\quad - 0,2708 \frac{qR}{a^8} [(12x^8 - 28x^6a^2 + 20x^4a^4 - 4x^2a^6)] \\
 &\quad - 2,2151 \frac{qR}{a^{10}} [(16x^{10} - 40x^8a^2 + 32x^6a^4 - 8x^4a^6)] \quad (5.89)
 \end{aligned}$$

Dựa vào các công thức trên ta tính được các giá trị từng điểm và trên cơ sở đó sẽ được các biểu đồ nội lực tại các tiết diện  $x = 0$ ;  $y = 0$ ;  $x = y$  và theo công thức (5.71) tìm được các lực nén, kéo chính cho trong bảng 5.1 và bảng 5.2.

**Bảng 5.1** Các giá trị nội lực  $N_x, N_y$  tại tiết diện  $y = 0$

$x/a$	$N_x = N_y(x = 0)$	$N_x = N_y(y = 0)$
0,00	-0,435	-0,435
0,30	-0,395	-0,499
0,50	-0,361	-0,358
0,70	-0,286	-0,978
0,80	-0,196	-0,775
0,85	-0,138	-0,160
0,90	-0,075	+1,031
0,95	-0,024	+3,028
1,00	-0,000	+6,113

Thừa số chung:  $qR$

**Bảng 5.2** Các giá trị nội lực  $N_x, N_y, N_{xy}$  và  $N_{k.ch}, N_{n.ch}$  tại tiết diện  $x = y$

$x/a$	$N_x$	$N_y$	$N_{xy}$	$N_{k.ch}$	$N_{n.ch}$
0,00	-0,435	-0,435	0,000	-0,435	-0,435
0,50	-0,300	-0,300	0,271	-	-
0,70	-0,175	-0,175	-0,115	-0,200	-0,060
0,80	-0,0312	-0,0312	-0,396	-0,365	=0,427
0,85	-0,100	-0,100	-0,413	-0,313	-0,513
0,90	-0,1125	-0,1125	-0,314	-0,201	-0,427
1,00	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

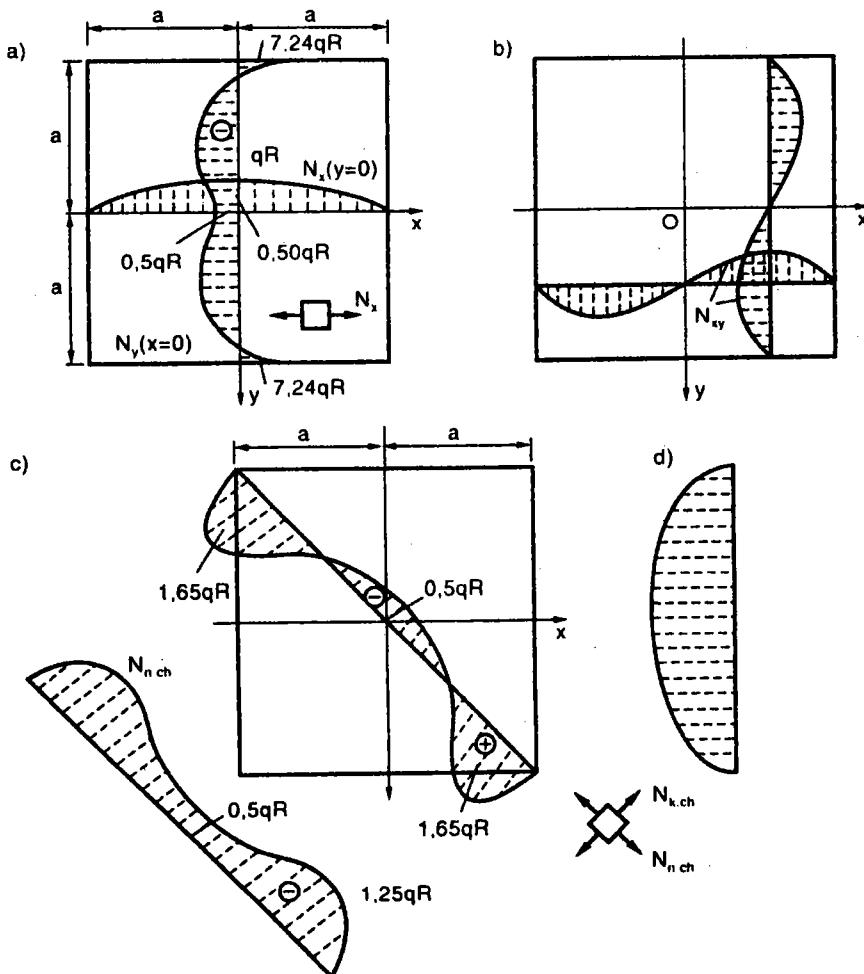
Thừa số chung:  $qR$

Qua kết quả tính toán trên cho thấy, khác với hai trường hợp đầu, biểu đồ nội lực  $N_y$  (tác dụng theo chiều song song với các mép biên) biến đổi dấu, có nghĩa ở vùng biên có xuất hiện nội lực kéo đáng kể, tuy nhiên chỉ tập trung ở những khu vực mép biên mà thôi.

Tại các tiết diện  $x = \pm a$  hay  $y = \pm a$  có thể tính được lực kéo đó theo công thức sau:

$$\begin{aligned}
 N_x(y = \pm a) &= N_y(x = \pm a) = \\
 &= 8qR \left\{ \left[ \frac{0,1426}{a^4} (x^4 - 2x^2a^2 + a^4) \right] + \frac{0,0677}{a^8} [(x^4 - 2x^2a^2 + a^4)a^4 + .] \right\} \\
 &\quad + (x^6 - 2x^4a^2 + x^2a^4)a^2 \\
 &\quad + \frac{0,55378}{a^{10}} [(x^4 - 2x^2a^2 + a^4)a^6 + (x^8 - 2x^6a^2 + x^4a^4)a^2] \quad (5.90)
 \end{aligned}$$

Dựa vào công thức (5.90) vẽ được biểu đồ biến thiên lực kéo tác dụng song song với các đường biên.



**Hình 5.10** a) Biểu đồ nội lực  $N_x$  tại tiết diện  $x = 0; y = 0$   
 b) Biểu đồ nội lực  $N_{xy}$  tại tiết diện bất kỳ  
 c) Biểu đồ nội lực kéo, nén chính  $N_{k,ch}, N_{n,ch}$   
 d) Biểu đồ nội lực  $N_x$  tại tiết diện  $y = \pm a$

### 5.5.2 Xác định mômen uốn và độ vông

Trong các loại vỏ thoái mômen uốn chỉ xuất hiện tại một vùng không rộng gần các kết cấu biên vì thế ngoài các nội lực  $N_x$ ,  $N_y$ ,  $N_{xy}$  được xác định theo lý thuyết phi mômen, chúng ta cần phải xác định giá trị mômen uốn do tải trọng gây ra.

Phương trình vi phân quan hệ giữa độ vông và hàm ứng suất có dạng:

$$-D\left(\frac{\partial^4 w}{\partial x^4} + 2\frac{\partial^4 w}{\partial x^2 \partial y^2} + \frac{\partial^4 w}{\partial y^4}\right) + \frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^2} k_2 + \frac{\partial^2 \varphi}{\partial y^2} k_1 + q = 0 \quad (5.91)$$

trong đó:

$$D = \frac{EJ}{(1 - \nu^2)} \approx \frac{Eh^3}{12} \quad (5.92)$$

$h$  - chiều dày vỏ;  $E$  - môđun biến dạng của vật liệu.

Trên cơ sở các biểu đồ nội lực  $N_x$  (tại vùng biên trong cả ba trường hợp tính toán) đều có thể coi  $N_x$  là hàm tuyến tính.

$$N_1 \approx Ax \quad (5.93)$$

trong đó  $A = \operatorname{tg} \alpha$  là độ dốc của biểu đồ  $N_x$ .

$$N_y = \frac{\partial^2 \varphi}{\partial y^2} = -Ehk_2 \varpi \quad (5.94)$$

Sau khi bỏ qua thành phần  $2\frac{\partial^4 \varpi}{\partial x^2 \partial y^2}$  và  $\frac{\partial^4 \varpi}{\partial y^4}$ , thế (5.92), (5.93) vào (5.91) tìm được phương trình vi phân sau:

$$\frac{S}{4} \frac{d^4 \varpi}{dx^4} + \varpi = \frac{1}{Ehk_2^2} (q + k_1Ax) \quad (5.95)$$

với:  $S = 0,76\sqrt{R_2 h}$  (5.96)

Chọn hàm chuyển vị:

$$D\varpi = \frac{S^2}{2} (C_1 e^{-\varphi} \sin \varphi + C_2 e^{-\varphi} \cos \varphi) + \frac{S^4}{4} (q + k_1 AS\varphi) \quad (5.97)$$

với:  $\varphi = \frac{x}{S}$

Để tìm nghiệm của (5.95) dựa vào các điều kiện biên ban đầu. Có hai loại điều kiện biên:

- Khi vò có liên kết khớp với các kết cấu biên:

$$\left. \begin{array}{l} w = 0 \\ \frac{\partial w}{\partial x} \neq 0 \end{array} \right|_{x=0} \quad (\text{góc xoay})$$

$$\left. \begin{array}{l} M_x = 0 \\ Q_x \neq 0 \end{array} \right|_{x=0} \quad (5.98)$$

$$C_1 = 0; \quad C_2 = -\frac{1}{2} S^2 q \quad (5.99)$$

$$\text{do đó: } w = -\frac{1}{D} \frac{S^4}{4} q e^{-\varphi} \cos \varphi + \frac{S^4}{4} (q + k_1 A S \varphi) \quad (5.100)$$

$$\text{và: } M_x = -D \frac{d^2 w}{dx^2} = \frac{S^2 q}{2} e^{-\varphi} \sin \varphi \quad (5.101)$$

$$\text{Thay } S = 0,76\sqrt{R_2 h} \text{ vào (5.100)} \quad (5.102)$$

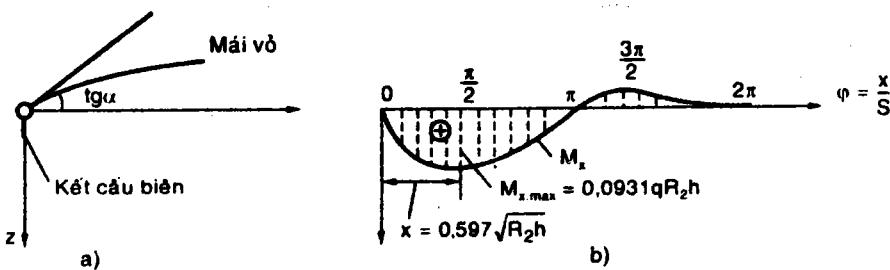
$$\text{Ta có: } M_x = 0,289 q R_2 h e^{-\varphi} \sin \varphi \text{ với } \varphi = \frac{x}{S} \quad (5.103)$$

Mômen uốn lớn nhất:

$$M_{x \max} = 0,0931 q R_2 h \quad (5.104)$$

tại tiết diện  $x = 0,597\sqrt{R_2 h}$ .

Biểu đồ mômen uốn tắt dần, chứng tỏ vùng mômen uốn chỉ tập trung ở ngoài mép biên vò.



**Hình 5.11 a)** Sơ đồ liên kết khớp giữa vò với kết cấu biên

**b)** Biểu đồ mômen khi vò liên kết khớp với kết cấu biên

- Khi vò liên kết ngầm với các kết cấu biên thì điều kiện biên ban đầu sẽ là:

$$\left. \begin{array}{l} w = 0 \\ \frac{\partial w}{\partial x} \neq 0 \end{array} \right|_{(x=0)} \quad M \neq 0 \quad (5.105)$$

Nghiệm riêng của (5.94) là:

$$w = -\frac{1}{D} S^4 q e^{-\varphi} \cos \varphi + \frac{S^4}{4} (q + k_1 A S \varphi) \quad (5.106)$$

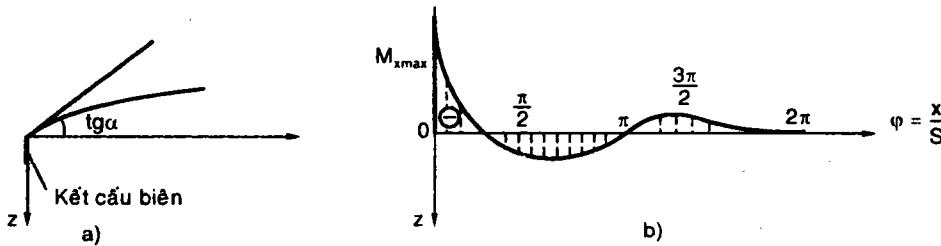
và  $M_x = -D \frac{d^2 w}{dx^2} = -\frac{S^2 q}{2} + S k_1 A e^{-\varphi} \cos \varphi + \frac{S^2}{2} q e^{-\varphi} \sin \varphi \quad (5.107)$

Mômen uốn lớn nhất:

$$M_{x \max} = \frac{S^2}{2} (q + S k_1 A) \quad (5.108)$$

tại tiết diện  $x = 0$ .

Biểu đồ mômen uốn tắt dần, chứng tỏ vùng mômen uốn chỉ tập trung ở ngoài mép biên vỏ.



**Hình 5.12** a) Sơ đồ liên kết ngầm giữa vỏ với kết cấu biên  
b) Biểu đồ mômen khi vỏ liên kết ngầm với kết cấu biên

## 5.6 NGUYÊN TẮC THIẾT KẾ CẤU TẠO

Bê tông dùng cho mái vỏ tối thiểu phải có mác 200.

Chiều dày mái vỏ không nhỏ hơn 6cm và tăng dần tại các tiết diện gần biên, như tránh thay đổi đột ngột để tránh gây ra những vùng tập trung ứng suất cục bộ.

Khi chiều dày vỏ lớn hơn 9cm, cần đặt hai lớp thép nhất là tại những vị trí tiếp giáp giữa bản với các kết cấu biên và vùng mômen đổi dấu cũng cần đặt hai lớp cốt thép đường kính từ  $6 \div 10mm$  với khoảng cách không quá 100mm.

Đối với mái vỏ tựa lên các dãy cột thường phải tăng chiều dày bê tông để tạo thành những dầm cong chịu kéo và bố trí cốt thép dọc trong dầm cong này.

Từ kết quả tính toán nội lực, mômen và độ vông của vỏ tại các tiết diện khác nhau. Dưới tác dụng của tải trọng đứng phân bố đều trên bề mặt vỏ, trong vỏ chủ yếu sinh ra lực kéo, nén và mômen uốn cục bộ tại các mép biên vỏ.

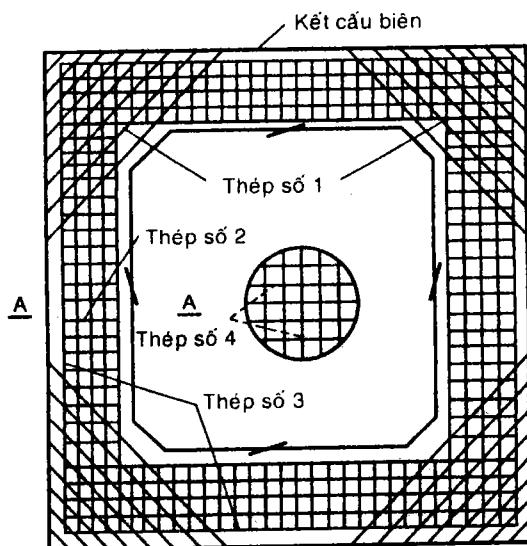
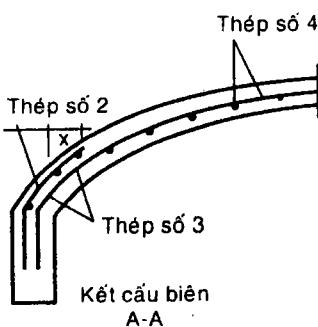
Từ lực nén tính cốt thép như cấu kiện chịu nén đúng tâm: do bê tông chịu nén tốt nên thường cốt thép này thường đặt theo cấu tạo ( $\Phi = 6$ ,  $a = 200 \div 250$ ), cốt thép này còn có tác dụng hạn chế biến dạng do co ngót, từ biến hay do thay đổi nhiệt độ (thép số 4).

Từ lực kéo tính cốt thép như cấu kiện chịu kéo đúng tâm: cốt thép này cần đặt ở chính giữa tiết diện để tránh lệch tâm (thép số 3).

Từ các lực kéo chính, nén chính tính cốt thép như cấu kiện chịu kéo, nén đúng tâm: cốt thép này cần đặt tại các góc thăng góc với đường phân giác và đặt ở chính giữa tiết diện để tránh lệch tâm (thép số 1).

Từ mômen tính cốt thép như cấu kiện chịu uốn, đặt thăng góc với các biên và cốt thép này rải đều trong miền chịu kéo (thép số 2).

Để đảm bảo điều kiện kinh tế, cần phải khống chế bằng các chỉ tiêu hao tổn vật liệu: bê tông từ  $0,08 \div 0,10 m^3/m^2$ , cốt thép từ  $8 \div 11 daN/m^2$ .



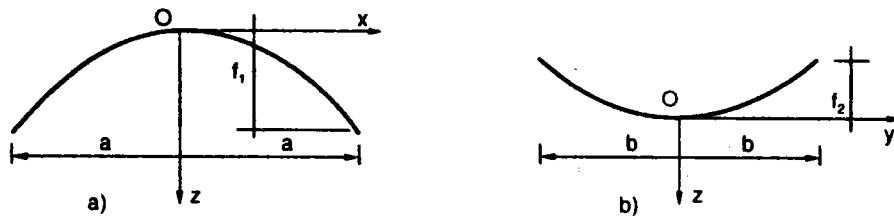
**Hình 5.13** *Mặt bằng bố trí cốt thép trong mái vò  
(thép số 1, 2, 3, 4 đặt theo tính toán)*

## 5.7 MÁI VỎ THOẢI CONG HAI CHIỀU CÓ MẶT BẰNG VUÔNG HOẶC CHỮ NHẬT CÓ ĐỘ CONG ÂM

### 5.7.1 Loại 1

Loại 1 gồm các loại mặt vỏ có phương của đường cong chính song song với các cạnh biên mặt bằng mái. Mặt vỏ này do hai đường cong ngược chiều nhau trượt lên nhau hợp thành. Nếu có một đường cong parabol bậc hai với dây cung  $2a$  và chiều mũi tên  $f_1$  hướng theo chiều dương của trục  $Oz$  được coi là đường chuẩn để một đường cong parabol thứ hai với dây cung  $2b$  và chiều mũi tên  $f_2$  hướng theo chiều âm của trục  $Oz$  trượt lên, sẽ được mặt hyperbol paraboloid có phương trình sau:

$$Z = f_1 \frac{x^2}{a^2} - f_2 \frac{y^2}{b^2} \quad (5.109)$$



**Hình 5.14** a) Đường parabol có độ cong dương  
b) Đường parabol có độ cong âm

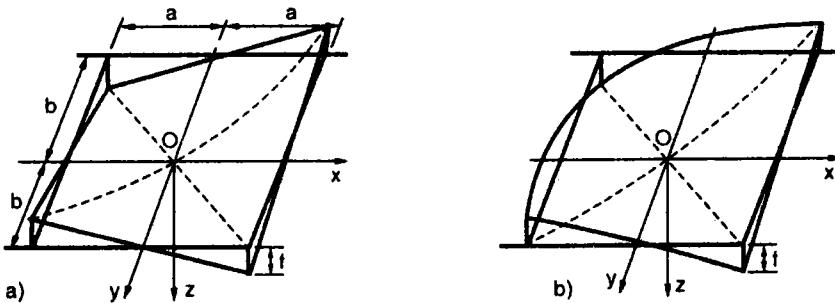
Độ cong chính của mặt vỏ:

$$k_1 = \frac{\partial^2 Z}{\partial x^2} = \frac{2f_1}{a} > 0; \quad k_2 = \frac{\partial^2 Z}{\partial y^2} = -\frac{2f_2}{b} < 0; \quad k_{12} = \frac{\partial^2 Z}{\partial x \partial y} = 0 \quad (5.110)$$

Do tích số của  $k_1 \cdot k_2 < 0$  nên gọi vỏ có độ cong Gausse âm, loại vỏ này cũng là loại vỏ trượt như loại vỏ có độ cong Gausse dương.

### 5.7.2 Loại 2

Loại 2 bao gồm các mái vỏ mà phương cong của mặt vỏ trùng với phương đường chéo đáy vỏ.

**Hình 5.15** Vô cong âm theo chiều đường chéo

a) Khi biên vỏ là đường thẳng

b) Khi biên vỏ là đường cong

Phương trình của mặt vỏ có dạng:

$$Z = Cxy \quad (5.111)$$

$$C - \text{hằng số: } C = \frac{f}{ab} \quad (5.112)$$

Các phương trình của các mặt cong chính của vỏ không trùng với hệ trục tọa độ nên  $k_x \neq k_1$  và  $k_y \neq k_2$ . Đọc theo các trục tọa độ  $Ox$  và  $Oy$  có các độ cong:

$$k_x = \frac{\partial^2}{\partial x^2} (Cxy) = 0; \quad k_y = \frac{\partial^2}{\partial y^2} (Cxy) = 0$$

$$k_{xy} = \frac{\partial^2}{\partial x \partial y} (Cxy) = C = \frac{f}{ab} \quad (5.113)$$

Tính toán mái vò có độ cong hai chiều khác nhau về cơ bản giống mái vò có độ cong hai chiều cùng dấu, chỉ chú ý là  $k_{xy} \neq 0$ . Vì thế phương trình cân bằng trên cơ sở lý thuyết phi mômen có dạng sau:

$$\nabla_k^2 \varphi = -k_y \frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^2} + 2k_{xy} \frac{\partial^2 \varphi}{\partial x \partial y} + k_x \frac{\partial^2 \varphi}{\partial y^2} = -q \quad (5.114)$$

Khác với sự làm việc của vỏ có độ cong Gausse dương, trong vỏ có độ cong Gausse âm, dưới tác dụng của tải trọng phân bố đều các nội lực theo chiều độ cong dương là nén còn các nội lực theo chiều độ cong âm là kéo. Vùng uốn cục bộ của vỏ có độ cong Gausse âm rộng hơn vùng uốn của vỏ có độ cong Gausse dương.

Phương trình cân bằng của mái vò có phương trình mặt vò  $Z = Cxy$  có dạng:

$$\frac{\partial N_x}{\partial x} + \frac{\partial N_{xy}}{\partial y} + X = 0 \quad (5.115)$$

$$\frac{\partial N_y}{\partial y} + \frac{\partial N_{xy}}{\partial x} + Y = 0 \quad (5.116)$$

$$k_x N_x + 2k_{xy} N_{xy} + k_y N_y = pX + qY - Z \quad (5.117)$$

trong đó:  $N_x, N_y, N_{xy}$  - các nội lực hình chiếu xuống các trục trong mặt phẳng  $xOy$

$X, Y, Z$  - các thành phần tải trọng chiếu xuống các trục  $Ox, Oy, Oz$   
 $p, q$  - các thông số Môn-giơ tính theo các công thức sau:

$$p = \frac{\partial Z}{\partial x} = \frac{\partial}{\partial x}(Cxy) = C.y \quad (5.118)$$

$$q = \frac{\partial Z}{\partial y} = \frac{\partial}{\partial y}(Cxy) = C.x \quad (5.119)$$

Thay các giá trị trên vào (5.117) tìm được:

$$N_{xy} = \frac{C(X_y + Y_x) - Z}{2C} \quad (5.120)$$

Thay  $N_{xy}$  theo (5.120) vào (5.115 và 5.116), rồi tiến hành lấy tích phân lần lượt theo  $x$  và  $y$  sẽ tìm được các nội lực  $N_x$  và  $N_y$  theo:

$$N_x = - \int \left( \frac{\partial N_{xy}}{\partial y} + X \right) dx + f_1(y) \quad (5.121)$$

$$N_y = - \int \left( \frac{\partial N_{xy}}{\partial x} + Y \right) dY + f_2(x) \quad (5.122)$$

Các hàm  $f_1(y), f_2(x)$  có thể tìm được từ các điều kiện biên của mái vò.

Xét trường hợp mái vò chịu tải phân bố đều trên mặt vò (trọng lượng bùn thân các lớp cấu tạo vò):  $g_1$ , thì thành phần tải trọng  $X = 0; Y = 0$  và

$$Z = g_1 \sqrt{1 + \left( \frac{\partial z}{\partial x} \right)^2 + \left( \frac{\partial z}{\partial y} \right)^2} = g_1 \sqrt{1 + C^2(x^2 + y^2)} \quad (5.123)$$

Thay các giá trị  $X, Y, Z$  vào (5.118) tìm được:

$$N_{xy} = \frac{g_1}{2} \sqrt{\frac{1}{C^2} + x^2 + y^2} \quad (5.124)$$

Tích phân (5.118) tính được:

$$N_x = \frac{g_1}{2} y \ln(x + \sqrt{\frac{1}{C^2} + x^2 + y^2}) + f_1(y) \quad (5.125)$$

$$N_y = \frac{g_1}{2} x \ln(y + \sqrt{\frac{1}{C^2} + x^2 + y^2}) + f_2(x) \quad (5.126)$$

Để xác định  $f_1(y)$  và  $f_2(x)$  trong (5.125; 5.126) cần căn cứ vào điều kiện biên của vò.

Nếu kết cấu biên không có khả năng tiếp thu được các nội lực thẳng góc với mặt phẳng kết cấu đó (dàn, vòm) thì điều kiện biên sẽ là:

Khi  $x = \pm a$ ;  $N_x = 0$ ;  $N_y \neq 0$ ;  $N_{xy} \neq 0$

Khi  $x = \pm b$ ;  $N_x \neq 0$ ;  $N_y = 0$ ;  $N_{xy} \neq 0$  (5.127)

Thay các giá trị của  $x$ ,  $N_x$  trong (5.127) vào (5.125) tìm được:

$$f_1(y) = -\frac{g_1}{2} y \ln(\pm a + \sqrt{\frac{1}{C^2} + a^2 + y^2}) \quad (5.128)$$

$$f_2(x) = -\frac{g_1}{2} x \ln(\pm b + \sqrt{\frac{1}{C^2} + b^2 + x^2}) \quad (5.129)$$

Đưa các giá trị của  $f_1(y)$ ,  $f_2(x)$  vào lại (5.125), (5.126) tìm được:

$$N_x = \frac{g_1}{2} y \ln \left( \frac{x + \sqrt{\frac{1}{C^2} + x^2 + y^2}}{\pm a + \sqrt{\frac{1}{C^2} + a^2 + y^2}} \right) \quad (5.130)$$

$$N_y = \frac{g_1}{2} x \ln \left( \frac{y + \sqrt{\frac{1}{C^2} + x^2 + y^2}}{\pm b + \sqrt{\frac{1}{C^2} + b^2 + x^2}} \right) \quad (5.131)$$

Trong các công thức (5.130; 5.131) các dấu (+) hoặc (-) trước  $a$  và  $b$  lấy theo dấu của  $x$  và  $y$ .

Xét trường hợp mái vò chịu tải phân bố đều trên mặt bằng hình chiếu của vò (hoạt tải):  $g_2$ , thì thành phần tải trọng  $X = 0$ ;  $Y = 0$  và  $Z = g_2$ .

Nếu mặt bằng của vỏ là hình vuông ( $a = b$ ) thì ta có:

$N_x = N_y = 0$  tại mọi điểm trên mặt vỏ:

$$N_{xy} = -\frac{g_2}{2C} = -\frac{g_2 a^2}{2f} = \text{const} \quad (5.132)$$

Các lực nén chính và kéo chính bằng:

$$N_{k.ch}^{n.ch} = \frac{N_x + N_y}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{N_x - N_y}{2}\right)^2 + N_{xy}^2} = \pm N_{xy} \quad (5.133)$$

Hướng của các lực nén chính theo hướng mặt cong dương còn hướng các lực kéo chính theo hướng mặt cong âm.

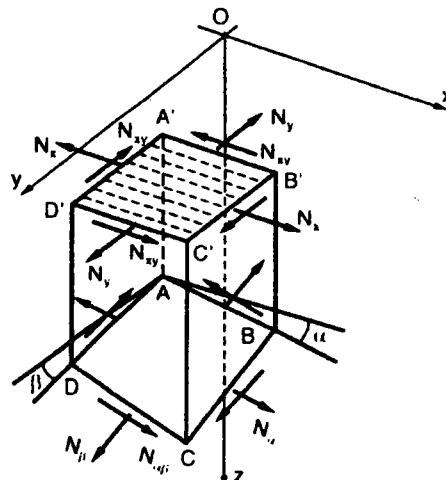
Vậy các nội lực thực tác dụng trong các tiết diện vỏ theo các công thức sau:

$$\begin{aligned} N_\alpha &= N_x \frac{\sqrt{1 + p^2 + q^2}}{1 + q^2}; & N_\beta &= N_y \frac{\sqrt{1 + p^2 + q^2}}{1 + q^2} \\ N_{\alpha\beta} &= N_{xy} + N_y \frac{pq}{1 + p^2}; & N_{\beta\alpha} &= N_{yx} + N_x \frac{pq}{1 + q^2} \end{aligned} \quad (5.134)$$

Tuy nhiên trong vỏ thoái có thể xem:

$$N_\alpha = N_x; \quad N_\beta = N_y; \quad N_{\alpha\beta} = N_{\beta\alpha}$$

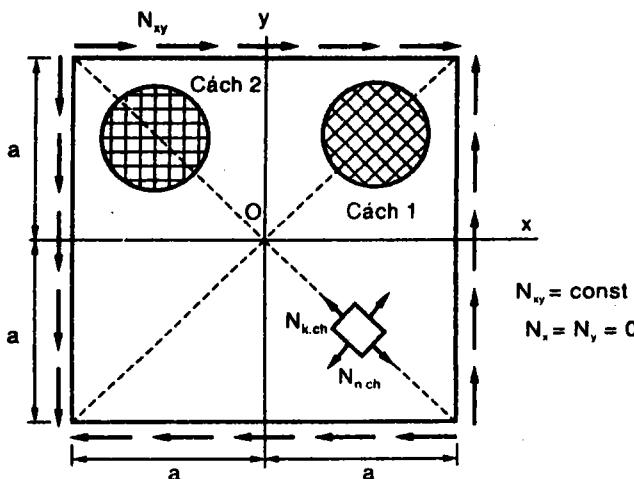
vì:  $1 + p^2 \approx 1; \quad 1 + q^2 = 1; \quad p \cdot q \approx 0; \quad 1 + p^2 + q^2 \approx 1$  (5.135)



**Hình 5.16** ABCD - phân tố mặt vỏ  
A'B'C'D' - hình chiếu trên mặt phẳng xOy

### 5.7.3 Nguyên tắc cấu tạo

Cốt thép đặt trong mái vò có độ cong khác dấu chủ yếu dựa vào giá trị lực kéo chính theo chiều cong âm. Có thể bố trí cốt thép trong vò bằng một trong hai cách sau (H.5.17).



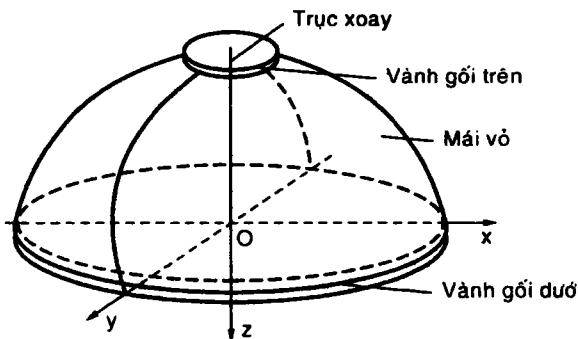
**Hình 5.17** Mặt bằng bố trí cốt thép mái vò thoái cong hai chiều khác dấu

**Cách 1:** Cốt thép chịu lực đặt theo phương có độ cong âm, cốt thép cấu tạo đặt theo phương có độ cong dương. Có thể dùng cốt thép rời hoặc dùng lưới thép, cần uốn cong theo mặt cong của mặt vò và đặt theo hai chiều song song với đường chéo của mặt bằng mái.

**Cách 2:** Cốt thép chịu lực đặt theo cả hai chiều song song với trục tọa độ  $xOy$  hay song song với các đường biên.

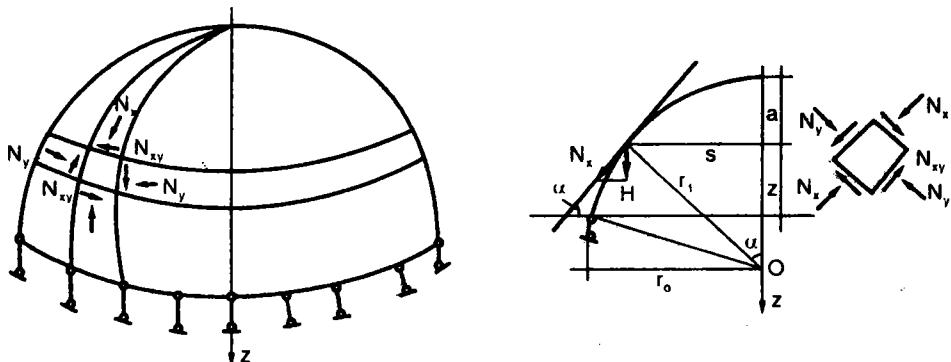
## 5.8 VỎ CẦU

Mái vò cầu là một trong những vỏ tròn xoay có bán kính cong không đổi, được tạo ra bởi một đường cong xoay quanh trục. Mái vò gồm hai bộ phận chính là vỏ và kết cấu vành. Sơ đồ tính của vỏ tùy thuộc vào điều kiện liên kết của vành dưới với kết cấu đỡ nó: là khớp lý tưởng hay gối tựa đàn hồi.



Hình 5.18 Vò cầu

### 5.8.1 Xác định nội lực trong vỏ theo điều kiện gối tựa khớp lý tưởng



Hình 5.19

Các gối khớp được bố trí liên tục dọc theo vành gối và trùng với hướng tiếp tuyến của vỏ. Trong một phần tử được tách ra bởi các tiết diện kinh tuyến và vĩ tuyến chỉ có các lực tác dụng là  $N_x$ ,  $N_y$ ,  $N_{xy}$ . Nếu tải tác dụng đối xứng trực thì lực  $N_{xy} = 0$  (theo lý thuyết phi mômen).

Xét điều kiện cân bằng lực trong từng phần vòm được cắt ra bằng một tiết diện song song với mặt nằm ngang, có thể tìm được lực kinh tuyến:

$$N_x = -\frac{Q}{2\pi r \sin \alpha} \quad (5.136)$$

Hình chiếu ngang của  $N_x$  chính là lực xô ngang  $H$ :

$$H = -N_x \cos \alpha = -\frac{Q}{2\pi r} \operatorname{ctg} \alpha \quad (5.137)$$

trong đó:  $\alpha$  - góc mở biến thiên của phần vò được tách ra

$Q$  - tổng tải trọng trên toàn bộ mặt chòm cầu được giới hạn bởi góc  $\alpha$ .

Ký hiệu:

$$N_x = -N_1; N_y = -N_2; N_{xy} = 0; k_x = \frac{1}{R_1}; k_y = \frac{1}{R_2} \quad (5.138)$$

Phương trình tổng quát:

$$\frac{N_1}{R_1} + \frac{N_2}{R_2} = -q \quad (5.139)$$

với  $q$  là thành phần tải trọng thẳng góc với mặt vò.

Trường hợp mái vò cầu thì  $R_1 = R_2 = R$ :

$$N_1 + N_2 = -qR \quad (5.140)$$

- Nếu tải trọng là trọng lượng bán thân vò tính trên một đơn vị diện tích mặt vò là  $g$  thì:

$$q = g \cos \alpha; \quad Q = 2\pi R a g \quad (5.141)$$

$$\text{trong đó: } a = R(1 - \cos \alpha); \quad r = R \sin \alpha \quad (5.142)$$

Từ đó tìm được:

$$N_1^g = -\frac{Rg}{1 + \cos \alpha}; \quad N_2^g = -gR \cos \alpha + \frac{gR}{1 + \cos \alpha} \quad (5.143)$$

Tại  $\alpha = 0$  ta có:

$$N_1^g = -\frac{Rg}{2} \text{ (nén)}; \quad N_2^g = -\frac{Rg}{2} \text{ (nén)} \quad (5.144)$$

Tại  $\alpha = \frac{\pi}{2}$  ta có:

$$N_1^g = Rg \text{ (kéo)}; \quad N_2^g = Rg \text{ (kéo)} \quad (5.145)$$

$$\text{Tại } \alpha = 51^\circ,49' \text{ có } \quad N_2^g = 0 \quad (5.146)$$

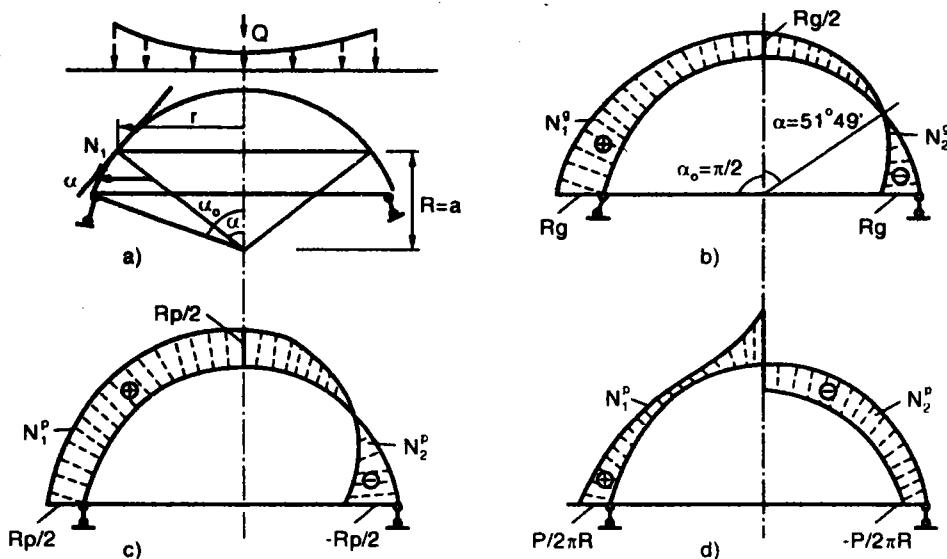
- Nếu tải trọng là hoạt tải phân bố đều trên mặt phẳng nằm ngang tính trên một đơn vị diện tích mặt vò là  $p$  thì:

$$N_1^p = -\frac{Rp}{2}; \quad N_2^g = -\frac{Rp}{2} \cos 2\alpha \quad (5.147)$$

- Nếu tải trọng là lực tập trung tại đỉnh vòm là  $P$  thì:

$$N_1^P = -\frac{P}{2\pi R \sin^2 \alpha}; \quad N_2^P = -N_1^P \quad (5.148)$$

Dạng biểu đồ  $N_1, N_2$  ứng với các dạng tải trọng khác nhau được thể hiện trên hình 5.20.



**Hình 5.20 a) Sơ đồ tính toán mái vòm cầu**

**b) Biểu đồ  $N_1, N_2$  do trọng lượng bản thân vòm  $g$**

**c) Biểu đồ  $N_1, N_2$  do hoạt tải  $p$**

**d) Biểu đồ  $N_1, N_2$  do tải trọng tập trung  $P$  đặt tại đỉnh vòm**

Trường hợp tại đỉnh vòm có lỗ cửa tròn đối xứng qua trục xoay của vòm (cửa lấy ánh sáng, thông gió) các nội lực được xác định như trên nhưng tải trọng  $P$  trong (5.139), (5.140) cần trừ bớt phần mất đi do lỗ cửa (đối với tải trọng  $g, p$ ).

Các nội lực  $N_1, N_2$  được tính như sau:

- Do trọng lượng bản thân  $g$ :

$$N_1^g = \frac{Rg}{\sin^2 \alpha} (\cos \alpha_1 - \cos \alpha); \quad N_1^g = N_2^g \quad (5.149)$$

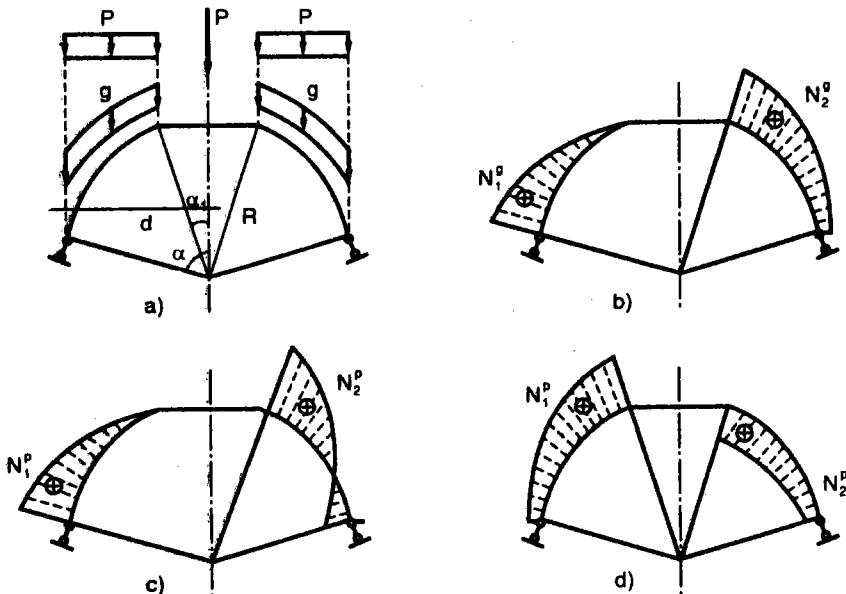
- Do tải phân bố đều trên mặt phẳng nằm ngang  $-p$ :

$$N_1^p = \frac{Rp}{2} \left(1 - \frac{\sin^2 \alpha_1}{\sin^2 \alpha}\right); \quad N_{21}^p = Rp \left(\cos^2 \alpha - \frac{1}{2} + \frac{\sin^2 \alpha_1}{2 \sin^2 \alpha}\right) \quad (5.150)$$

- Do tải trọng tập trung  $P$  tại đỉnh vòm (được truyền qua đai trên) các nội lực được tính như sau:

$$N_1^P = \frac{P}{2\pi R \sin^2 \alpha} ; N_2^P = -N_1^P \quad (5.151)$$

Dạng biểu đồ  $N_1$ ,  $N_2$  trong trường hợp đỉnh vòm có lỗ cửa ứng với các dạng tải trọng khác nhau được thể hiện trên hình 5.21.



**Hình 5.21 a) Sơ đồ tính toán mái vòm cầu có lỗ ở đỉnh**

b) Biểu đồ  $N_1$ ,  $N_2$  do trọng lượng bản thân vỏ  $g$

c) Biểu đồ  $N_1$ ,  $N_2$  do hoạt tải  $p$

d) Biểu đồ  $N_1$ ,  $N_2$  do tải tập trung  $P$  đặt tại đỉnh vòm

### 5.8.2 Xác định nội lực trong vỏ theo điều kiện gối tựa đàn hồi

Trong thực tế xây dựng, vỏ cầu không làm việc trong điều kiện gối tựa tự do theo kiểu khớp lý tưởng mà được liên kết đàn hồi với các kết cấu biên: vành gối trên và dưới.

Vì vậy tại vùng gần biên sẽ xuất hiện mômen uốn  $M_o$  và lực xô ngang  $H_o$  theo phương bán kính. Các nội lực trên có thể xác định từ điều kiện cân bằng các biến dạng của vỏ với các biến dạng của các kết cấu biên.

Để xác định  $M_o$ ,  $H_o$  tại các tiết diện tiếp giáp giữa vỏ với kết cấu biên (vành trên, dưới) được giải từ hệ phương trình (P. L. Pasternac):

$$\theta_g^{vo} + \theta_p^{vo} + \theta_P^{vo} + \theta_{M_o}^{vo} + \theta_{H_o}^{vo} = \theta_{MO}^{goi} + \theta_{H_o}^{goi} \quad (5.152)$$

$$\Delta_g^{vo} + \Delta_p^{vo} + \Delta_P^{vo} + \Delta_{M_o}^{vo} + \Delta_{H_o}^{vo} = \Delta_{MO}^{goi} + \Delta_{H_o}^{goi} \quad (5.153)$$

Các biến dạng  $\theta, \Delta$  được xác định theo các công thức sau:

Do mômen  $M_o$ :

$$\begin{aligned} \theta_{M_o}^{vo} &= -\frac{S}{D} M_o; & \Delta_{M_o}^{vo} &= -\frac{S^2}{2D} M_o \sin \alpha_o \\ \theta_{M_o}^{goi} &= \frac{12r_o^2}{E_g b_g h_g} M_o; & \Delta_{M_o}^{goi} &= \frac{12r_o^2}{E_g b_g h_g^3} M_o \end{aligned} \quad (5.154)$$

Do lực xô ngang  $H_o$ :

$$\begin{aligned} \theta_{H_o}^{vo} &= -\frac{S^2}{2D} H_o \sin \alpha_o; & \Delta_{H_o}^{vo} &= -\frac{S^3}{2D} H_o \sin^2 \alpha_o \\ \theta_{H_o}^{goi} &= \frac{12r_o^2}{E_g b_g h_g^3} H_o e; & \Delta_{H_o}^{goi} &= \frac{H_o r_o^2}{E_g b_g} \end{aligned} \quad (5.155)$$

Do trọng lượng bản thân g:

$$\theta_g^{vo} = \frac{2Rg}{F_g} \sin \alpha_o; \quad \Delta_g^{vo} = \frac{Rg}{Eh} \sin \alpha_o \left( \frac{1}{1 + \cos \alpha_o} - \cos \alpha_o \right) \quad (5.156)$$

$$\Delta_g^{goi} = \frac{R^3 g}{E_g F_g} \left( \frac{\cos \alpha_o \sin^2 \alpha_o}{1 + \cos \alpha_o} \right) \quad (5.157)$$

Do hoạt tải phân bố đều  $p$ :

$$\theta_p^{vo} = \frac{19Rp}{6Eh} \sin \alpha_o \cos \alpha_o; \quad \Delta_p^{vo} = \frac{R^2 p}{Eh} \sin \alpha_o (\cos \alpha^2 + \frac{7}{12}) \quad (5.158)$$

$$\Delta_p^{goi} = \frac{R^3 p}{2E_g F_g} (\cos \alpha_o \sin^2 \alpha_o) \quad (5.159)$$

Do lực tập trung  $P$ :

$$\theta_P^{vo} = 0; \quad \Delta_P^{vo} = -\frac{7}{12} \cdot \frac{P}{Eh \pi \sin \alpha_o}; \quad \Delta_P^{goi} = \frac{Pr_g}{2E_g F_g \pi R \sin \alpha_o} \quad (5.160)$$

trong đó:  $S = 0,76$ ;  $h$  - chiều dày vỏ;  $E$  - môđun biến dạng của vật liệu vỏ

$E_g, F_g, b_g, h_g$  - môđun biến dạng, diện tích tiết diện ngang, bề rộng, chiều cao tiết diện của vành gối

$r_o$  - bán kính hình tròn chu vi mép dưới của vỏ

$r_g$  - bán kính vòng tròn qua tâm vành gối.

Từ (5.154, 5.155) sẽ xác định  $M_o, H_o$ , từ đó xác định được mômen uốn trong vỏ ở vùng gần biên theo công thức:

$$M_x = M_o(\cos\varphi + \sin\varphi)e^{-\varphi} - SH_o \sin\varphi \sin\varphi e^{-\varphi} \quad (5.161)$$

trong đó:  $S = 0,76\sqrt{Rh}$ ;  $\varphi = \frac{x}{S}$

Lực vòng (theo phương vĩ tuyến) xác định từ:

$$N_2 = N_2^g + N_2^P + N_2^P + N_2^{M_o} + N_2^{H_o} \quad (5.162)$$

Đối với vỏ không có lỗ trên đỉnh thì:

$$\begin{aligned} N_2 &= Rg(\cos\alpha - \frac{1}{1+\cos\alpha}) + Rp(\cos^2\alpha - \frac{1}{2}) \frac{P}{2\pi R \sin^2\alpha} + \\ &+ \frac{2R}{S^2} M_o e^{-\varphi} (\sin\varphi - \cos\varphi) + \frac{2R}{S} H_o \sin\varphi e^{-\varphi} \cos\varphi \end{aligned} \quad (5.163)$$

*Chú ý:* góc  $\alpha$  tính từ đường trục ở giữa vỏ; góc  $\varphi$  tọa độ góc từ mép biên của vỏ.

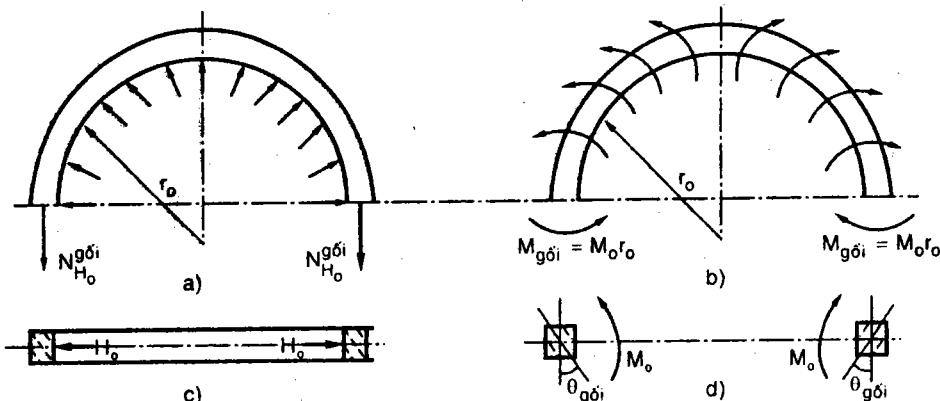
Biểu đồ mômen uốn và biểu đồ lực vòng  $N_2$  trong vỏ có gối tựa đàn hồi được thể hiện trên hình 5.22.

Vành gối tựa làm việc như cầu kiện chịu kéo lệch tâm. Lực kéo xác định theo:

$$N = (N_1^g + N_1^P + N_1^P) \cos\alpha_o \cdot r_o - H_o r_o \quad (5.164)$$

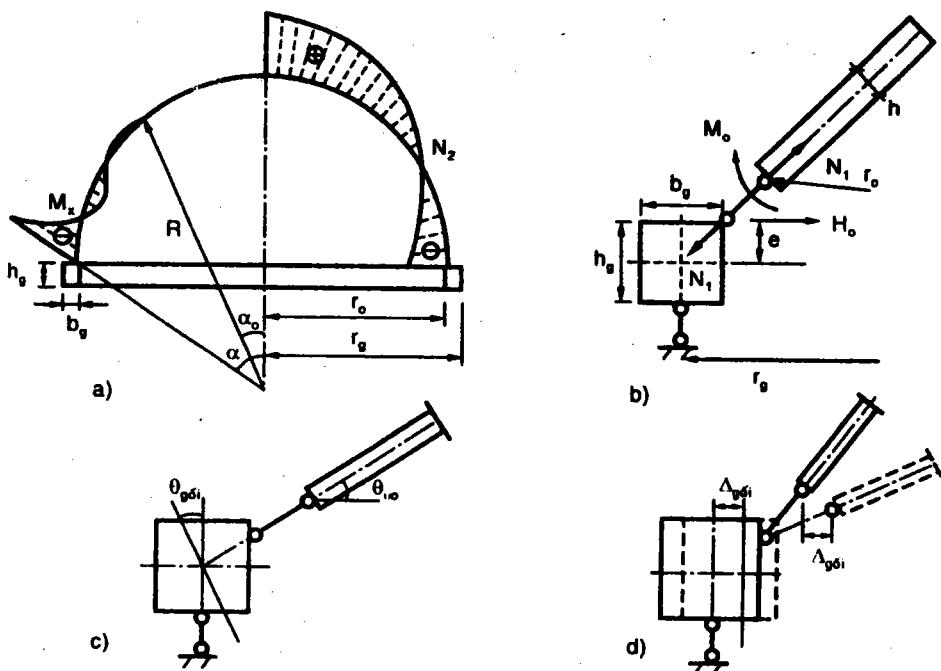
và mômen:  $M = M_o r_o$  (5.165)

với  $r_o$  là bán kính kể từ mép biên dưới của vỏ.



**Hình 5.22** Sơ đồ tính toán vỏ cầu có xét tới liên kết đàn hồi giữa vỏ và vành gối

a) Sơ đồ tính toán; b) Sơ đồ tính toán gối tựa; c, d) Chiều dương của các chuyển vị xoay và chuyển vị thẳng của vành gối và của vỏ



**Hình 5.23** Sơ đồ tính toán vành gối dưới tác dụng của  $H_o$  và  $M_o$

Các yêu cầu cấu tạo:

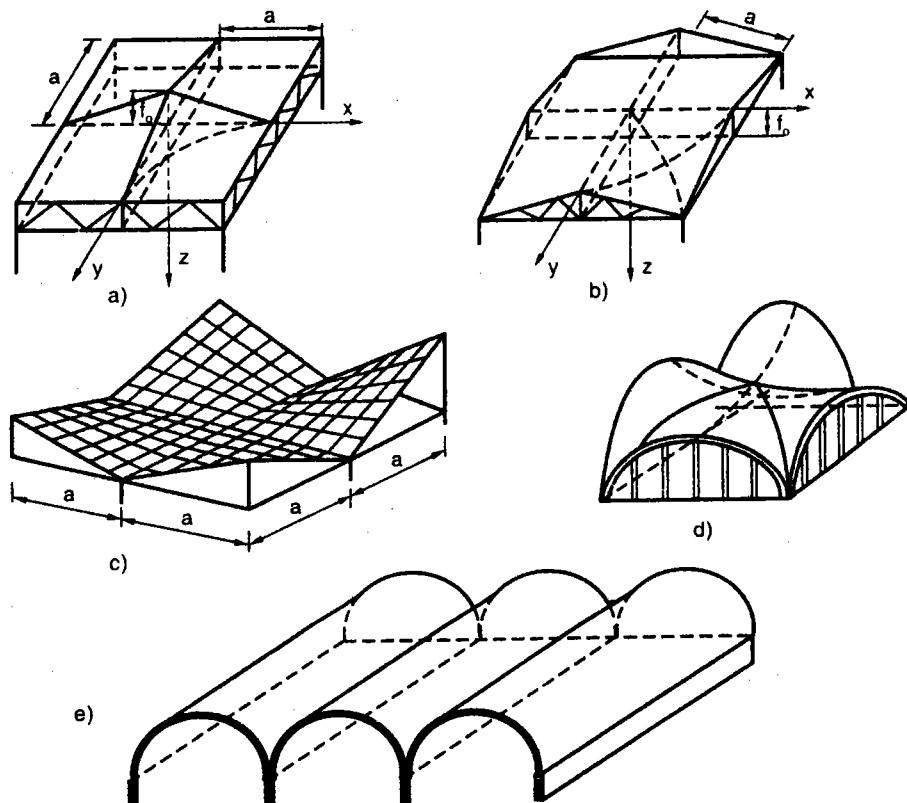
Cũng như các mái vòm khác, vòm cầu thoái phần lớn mặt vòm chịu nén, cốt thép thường đặt theo cấu tạo  $\Phi = 6$ ,  $a = 150 \div 200\text{mm}$ . Ở vùng gần gối (vành dưới, trên) cốt thép đặt theo kinh tuyến tính từ mômen uốn  $M_x$  chọn  $\Phi = 6 \div 8\text{mm}$ . Ở vùng này cần bố trí hai lớp cốt thép để tiếp thu các lực vòng  $N_2$  (kéo hoặc nén).

Vành dưới tính toán như cấu kiện chịu kéo lệch tâm. Cốt thép chịu kéo trong vành dưới cần được uốn cong theo những vòng tròn đồng tâm, các cốt thép này nên dùng nối hàn, nên chọn  $\Phi \geq 20\text{mm}$ .

Vành trên xung quanh lỗ cửa trên đỉnh mái tính toán như cấu kiện chịu nén lệch tâm.

## 5.9 CÁC MÁI VÒM TỔ HỢP

Trong thực tế, đối với các mái nhà có nhịp khá lớn, người ta thường kết hợp nhiều mái vòm đơn lại với nhau để tạo thành mái vòm tổ hợp. Các mái vòm đơn có thể là: vòm trụ, vòm cong hai chiều dương, vòm cong hai chiều âm... Các kết cấu biên có thể là dàn phẳng có cánh song song, tam giác...

**Hình 5.24** Các dạng mái vò tổ hợp

a, b, c) Mái vò tổ hợp từ các vò có các đường biên là đường thẳng

d) Mái vò tổ hợp từ bốn mặt vò có độ cong hai chiều khác nhau và các đường biên cong; e) Mái vò tổ hợp từ nhiều vò trụ

Các vò đơn khi được liên kết với nhau làm liệc cùng nhau trong một hệ thống thống nhất.

Xét mái vò tổ hợp (H.2.24a), phương trình mặt mái vò có dạng:

$$z = -f_o - \frac{f_o}{a^2} xy + \frac{f_o}{a} (x + y) \quad (5.166)$$

Mái vò tổ hợp (H.2.24b), phương trình mặt mái vò có dạng:

$$z = \frac{f_o}{a^2} xy \quad (5.167)$$

Có các độ cong theo hai chiều  $x, y$  bằng không.

$$k_x = \frac{\partial^2 z}{\partial x^2} = 0; \quad k_y = \frac{\partial^2 z}{\partial y^2} = 0 \quad \text{và} \quad k_{xy} = -\frac{f_o}{a^2} \quad (5.168)$$

Vì thế phương trình vi phân có dạng:

$$k_{xy} \frac{\partial^2 \phi}{\partial x \partial y} = \frac{2f_o}{a^2} \cdot \frac{\partial^2 \phi}{\partial x \partial y} = -q \quad (5.169)$$

Dựa vào điều kiện biên của từng bài toán. Cụ thể như trên hình 5.24a:

Khi  $x = 0$  thì  $N_{xy} = 0$ ;  $x = \pm a$  thì  $N_x = 0$

$y = 0$  thì  $N_{xy} = 0$ ;  $y = \pm b$  thì  $N_y = 0$  (5.170)

Hàm ứng suất được chọn có dạng sau:

$$\phi(xy) = a_1(x^4 - 6x^2a^2 + 5a^4)(y^4 - 6y^2a^2 + 5a^4) \quad (5.171)$$

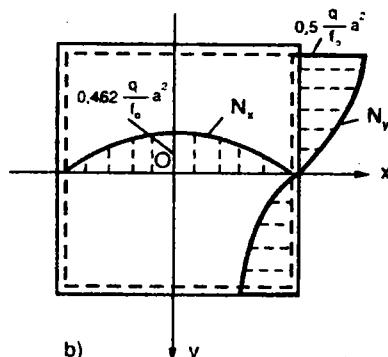
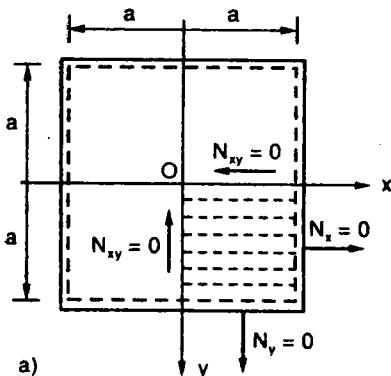
$$\text{Từ đó tìm được: } a_1 = -\frac{q}{128a^4 f_o} \quad (5.172)$$

Nội lực xác định theo công thức:

$$N_x = \frac{\partial^2 \phi}{\partial y^2} = +\frac{12q}{128a^4 f_o} (x^4 - 6x^2a^2 + 5a^4)(y^2 - a^2) \quad (5.173)$$

$$N_y = \frac{\partial^2 \phi}{\partial x^2} = -\frac{16q}{128a^4 f_o} (x^3 - 3xa^2)(y^3 - 3ya^2) \quad (5.174)$$

Từ các công thức trên có thể vẽ được các biểu đồ nội lực sau:



**Hình 5.25 a) Sơ đồ nội lực trong vỏ tổ hợp**

**b) Biểu đồ  $N_x, N_y$**

Từ kết quả tính toán trên, mái vỏ tổ hợp có thể xem như một mái vỏ đơn đặc biệt để tính toán.

## 5.10 BÀI TẬP

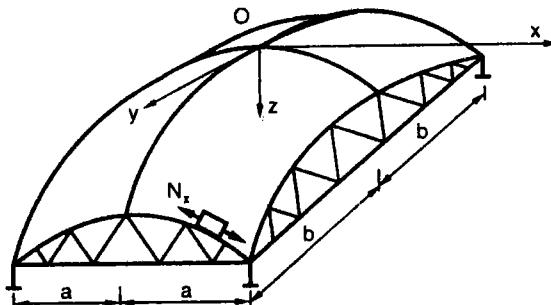
**5.1** Thiết kế mái vò cong hai chiều, cho biết các số liệu tính toán như sau:

Mặt bằng mái hình vuông có kích thước:  $2a = 30m$ ,  $2b = 30m$ ;  $f_1 = f_2 = 2,5m$ ; chiều dày trung bình của mái  $h = 70mm$ , trọng lượng bản thân các lớp cấu tạo mái:  $q = 700daN/m^2$ . Mái vò với kết cấu biên là dàn phẳng.

**Giải**

Mái vò này có dạng paraboloid với phương trình:

$$Z = 2 \frac{x^2}{15^2} + 2 \frac{y^2}{15^2}; \quad f_1 + f_2 = f \leq \frac{1}{5} 2a$$



**Hình 5.26** Mái vò với kết cấu biên là dàn phẳng

Các hệ số:  $\lambda = \frac{b^2}{a^2} = 1$ ;  $k_1 = k_2 = \frac{2f_1}{a^2} = 0,22$

$$R_1 = R_2 = \frac{1}{k_1} = 45m; \quad \mu = \frac{k_1}{k_2} = 1$$

$$\alpha = 31,75\mu + 3\frac{\mu^2}{\lambda} + 3\frac{\lambda^2}{\mu} + 32,75\lambda + 1 = 71,5$$

$$a_1 = (1,5\frac{\mu}{\lambda} + 1,5\frac{\lambda}{\mu} + 0,5\frac{1}{\mu} + 17,125)\frac{q}{a^2 k_2 \alpha} = 40,385$$

$$a_2 = (3\mu - 0,75\lambda + 0,5\frac{\lambda}{\mu})\frac{q}{a^2 b^2 k_2 \alpha} = 0,024$$

$$a_3 = (3\frac{\lambda}{\mu} - 0,25)\frac{q}{a^2 b^2 k_2 \alpha} = 0,024$$

Các lực màng  $N_x, N_y, N_{xy}$  dưới dạng các hàm giải tích cho bất kỳ các kích thước mặt bằng:

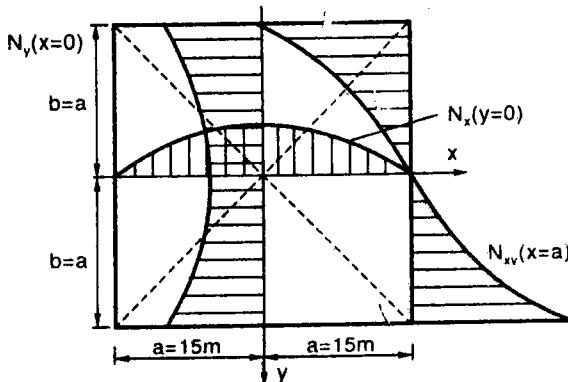
$$N_x(x, y) = 2a_1(x^2 - a^2) + 2a_2x^2(x^2 - a^2) + 2a_3(x^2 - a^2)(6y^2 - b^2)$$

$$N_y(x, y) = 2a_1(y^2 - a^2) + 2a_2(6x^2 - a^2) + 2a_3y^2(y^2 - b^2)$$

$$N_{xy}(x, y) = -4a_1xy - 4a_2y(2a^3 - xa^2) - 4a_3x(3y^3 - yb^2)$$

Xét điểm bất kì  $A(x, y)$ . Các lực màng được tóm tắt trong bảng sau:

Điểm	Tọa độ x	Tọa độ y	$N_x$ (daN/m)	$N_y$	$N_{xy}$	$N_{k.ch}$	$N_{n.h}$	$\operatorname{tg}2\alpha$
1	0	0	-15750	-15750	0	-15750	-15750	0
2	a/4	0	-14910	-16660	0	-16660	-14910	0
3	a/2	0	-12270	-19380	0	-19380	-12270	0
4	3a/4	0	-7487	-23930	0	-23930	-7487	0
5	a	0	-0	-30290	0	-30290	0	0
1	0	0	-15750	-15750	0	-15750	-15750	0
6	0	b/4	-16660	-14910	0	-16660	-14910	0
7	0	b/2	-19380	-12270	0	-19380	-12270	0
8	0	3b/4	-23930	-7487	0	-23930	-7487	0
9	0	b	-30290	0	0	-30290	0	0
5	a	0	0	-30290	0	-30290	0	0
10	a	b/4	0	-28540	-9283	-31270	2729	-0,647
11	a	b/2	0	-23170	-19380	-34170	11000	-1,673
12	a	3b/4	0	-13850	-31350	-39030	25180	-4,528
13	a	b	0	0	-46040	-46040	-46040	$\infty$
9	0	b	-30290	0	0	-30290	0	0
14	a/4	b	-28540	0	-9238	-31270	2729	0,647
15	a/2	b	-23170	0	-19380	-34170	11000	1,673
16	3a/4	b	-13850	0	-31350	-39030	25180	4,528
13	a	b	0	0	-46040	-46040	46040	$\infty$
1	0	0	-15700	-15700	0	-15700	-15750	0
17	a/4	b/4	-15760	-15760	-1742	-17500	-14020	$\infty$
18	a/2	b/2	-14990	-14990	-7499	-22870	-7118	$\infty$
19	3a/4	3b/4	-11060	-11060	-21130	-32190	10060	$\infty$
13	a	b	0	0	-46040	-46040	-46040	$\infty$



**Hình 5.27** Biểu đồ các lực mảng  $N_x(y = 0)$ ;  $N_y(x = 0)$ ;  $N_{xy}(x = a)$

Xét tại điểm có  $(x = a, y = 0)$  ta có: Mômen uốn lớn nhất tại gối:

Tại vị trí cách gối một đoạn  $x$  được xác định theo:

$$S = 0,76\sqrt{R_2 h} = 1,349; \quad x = 0,597\sqrt{R_2 h} = 1,06m$$

$$\varphi = \frac{x}{S} = 0,786$$

$$M_x = \frac{S^2}{2} q e^{-\varphi} \sin \Phi = 205,304 \text{ kNm/m}$$

Tính cốt thép cho mái vò:

Lực kéo chính lớn nhất:  $N = 46040kdaN$ :

$$F_{a1} = \frac{N}{R_a} = \frac{46040}{2300} = 20,02cm^2$$

chọn  $\Phi 16a100 (F_a = 20,10cm^2)$  (cốt thép số 1)

Lực nén tại tâm O:  $N = 15750daN$ :

$$F_{a4} = \frac{N - R_n F_b}{R_a} = \frac{15750 - 90 \times 100 \times 7}{2300} \leq 0cm^2$$

cốt thép đặt theo cấu tạo chọn  $\Phi 6a250 (F_a = 1,132cm^2)$  (cốt thép số 4)

Đọc theo gối tựa chịu lực nén nhỏ nên cốt thép đặt theo cấu tạo:  $\Phi 6a200 (F_a = 1,415cm^2)$  (cốt thép số 3)

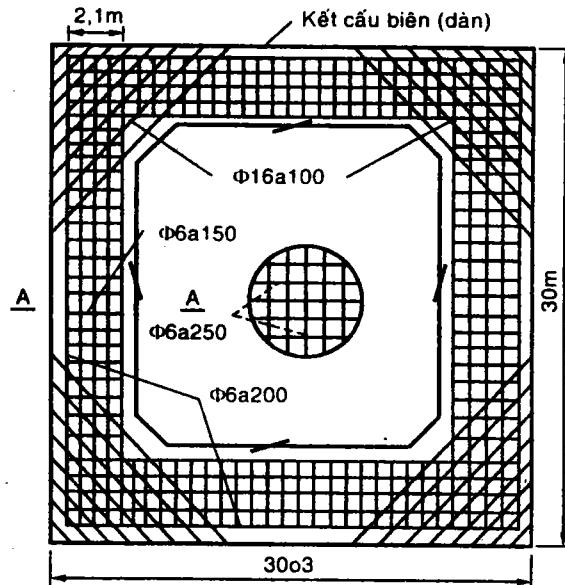
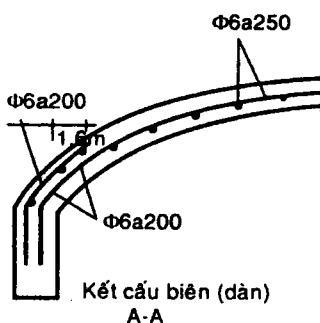
Mômen uốn lớn nhất:  $M = 205,304daNm$

$$A = \frac{M}{R_n b h_o^2} = \frac{20530}{90 \times 100 \times 5,5^2} = 0,075; \quad \alpha = 0,078$$

$$F_{a2} = \frac{\alpha R_n b h_o}{R_a} = 1,689 \text{ cm}^2$$

chọn  $\Phi 6a150$  ( $F_a = 1,9 \text{ cm}^2$ ) (cốt thép số 2)

Bố trí cốt thép như sau:



**Hình 5.28** Mặt bằng bố trí cốt thép trong mái vò

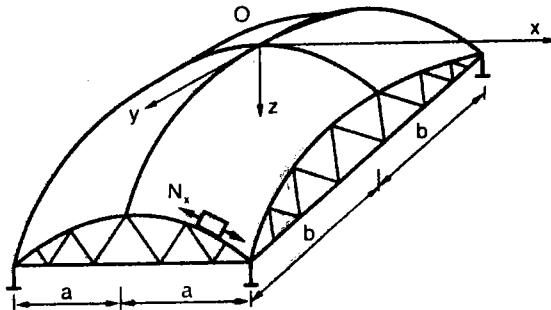
**5.2** Thiết kế mái vò cong hai chiều, cho biết các số liệu tính toán như sau:

Mặt bằng mái hình chữ nhật có kích thước:  $2a = 25m$ ,  $2b = 20m$ ;  $f_1 = f_2 = 2m$ ; chiều dày trung bình của mái  $h = 70mm$ , trọng lượng bả thân các lớp cấu tạo mái:  $q = 650 \text{ daN/m}^2$ . Mái vò với kết cấu biên là dàn phẳng.

### Giải

Mái vò này có dạng paraboloid với phương trình:

$$Z = 2 \frac{x^2}{12,5^2} + 2 \frac{y^2}{10^2}; \quad f_1 + f_2 = f \leq \frac{1}{5} 2a$$



**Hình 5.29** Mái vò với kết cấu biên là dàn phẳng

$$\text{Các hệ số: } \lambda = \frac{b^2}{a^2} = 0,64; \quad k_1 = \frac{2f_1}{a^2} = 0,026$$

$$R_1 = \frac{1}{k_1} = 39,063m; \quad \mu = \frac{k_1}{k_2} = 0,64$$

$$k_2 = \frac{2f_2}{b^2} = 0,04; \quad R_2 = \frac{1}{k_1} = 25m$$

$$\alpha = 31,75\mu + 3\frac{\mu^2}{\lambda} + 3\frac{\lambda^2}{\mu} + 32,75\lambda + 1 = 46,12$$

$$a_1 = (1,5\frac{\mu}{\lambda} + 1,5\frac{\lambda}{\mu} + 0,5\frac{1}{\mu} + 17,125)\frac{q}{a^2 k_2 \alpha} = 47,143$$

$$a_2 = (3\mu - 0,75\lambda + 0,5\frac{\lambda}{\mu})\frac{q}{a^2 b^2 k_2 \alpha} = 0,044$$

$$a_3 = (3\frac{\lambda}{\mu} - 0,25)\frac{q}{a^2 b^2 k_2 \alpha} = 0,062$$

Các lực màng  $N_x$ ,  $N_y$ ,  $N_{xy}$  dưới dạng các hàm giải tích cho bất kì các kích thước mặt bằng:

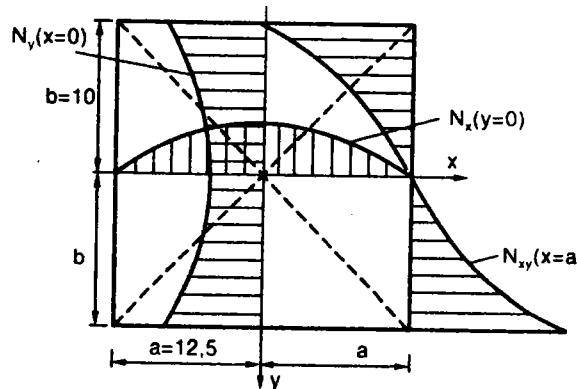
$$N_x(x, y) = 2a_1(x^2 - a^2) + 2a_2x^2(x^2 - a^2) + 2a_3(x^2 - a^2)(6y^2 - b^2)$$

$$N_y(x, y) = 2a_1(y^2 - a^2) + 2a_2(6x^2 - a^2) + 2a_3y^2(y^2 - b^2)$$

$$N_{xy}(x, y) = -4a_1xy - 4a_2y(2a^3 - xa^2) - 4a_3x(3y^3 - yb^2)$$

Xét điểm bất kì  $A(x, y)$ . Các lực màng được tóm tắt trong bảng sau:

Điểm	Tọa độ x	Tọa độ y	$N_x$ (daN/m)	$N_y$	$N_{xy}$	$N_{k.ch}$	$N_{n.ch}$	$\operatorname{tg} 2\alpha$
1	0	0	-12790	-8062	0	-12790	-8062	0
2	$a/4$	0	-12120	-8574	0	-12120	-8574	0
3	$a/2$	0	-9996	-10110	0	-10110	-9996	0
4	$3a/4$	0	-6123	-12680	0	-12680	-6123	0
5	$a$	0	0	-16260	0	-16260	0	0
1	0	0	-12790	-8062	0	-12790	-8062	0
6	0	$b/4$	-13520	-7630	0	-13520	-7630	0
7	0	$b/2$	-15700	-6279	0	-15700	-6279	0
8	0	$3b/4$	-19330	-3832	0	-19330	-3832	0
9	0	$b$	-24420	0	0	-24420	0	0
5	$a$	0	0	-16260	0	-16260	0	0
10	$a$	$b/4$	0	-15320	-6069	-17430	2123	-0,792
11	$a$	$b/2$	0	-12430	-12720	-20370	7942	-2,046
12	$a$	$3b/4$	0	-7421	-20530	-24580	17150	-5,534
13	$a$	$b$	0	0	-30090	-30090	30090	$\infty$
9	0	$b$	-24420	0	0	-24420	0	0
14	$a/4$	$b$	-23020	0	-5920	-24450	1433	0,514
15	$a/2$	$b$	-18720	0	-12480	-24960	6242	1,334
16	$3a/4$	$b$	-11210	0	-20320	-26690	1548	3,626
13	$a$	$b$	0	0	30090	30090	30090	$\infty$
1	0	0	-12790	-8062	0	-12790	-8062	0
17	$a/4$	$b/4$	-12800	-8111	-1117	-13050	-7859	0,476
18	$a/2$	$b/2$	-12180	-7817	-5078	-15520	-4470	2,33
19	$3a/4$	$3b/4$	-8985	-5851	-13720	-21220	6389	8,754
13	$a$	$b$	0	0	-30090	-30090	-30090	$\infty$



Hình 5.30 Biểu đồ các lực mảng  $N_x(y = 0)$ ;  $N_y(x = 0)$ ;  $N_{xy}(x = a)$

Xét tại điểm có ( $x = a, y = 0$ ) ta có: Mômen uốn lớn nhất tại gối:

Tại vị trí cách gối một đoạn  $x$  được xác định theo:

$$S = 0,76\sqrt{R_2 h} = 1,005$$

$$x = 0,597\sqrt{R_2 h} = 0,79m$$

$$\varphi = \frac{x}{S} = 0,786$$

$$M_x = \frac{S^2}{2} q e^{-\varphi} \sin \Phi = 105,911 \text{ daNm/m}$$

Tính cốt thép cho mái vò: Bêtông mác 200,  $R_a = 2300 \text{ daN/cm}^2$

Lực kéo chính lớn nhất:  $N = 30090 \text{ daN}$ :

$$F_{a1} = \frac{N}{R_a} = \frac{30090}{2300} = 13,08 \text{ cm}^2$$

chọn  $\Phi 14a120 (F_a = 12,83 \text{ cm}^2)$  (cốt thép số 1)

Lực nén tại tâm O:  $N = 12790 \text{ daN}$ :

$$F_{a4} = \frac{N - R_n F_b}{R_a} = \frac{12790 - 90 \times 100 \times 7}{2300} \leq 0 \text{ cm}^2$$

cốt thép đặt theo cấu tạo chọn  $\Phi 6a250 (F_a = 1,132 \text{ cm}^2)$  (cốt thép số 4)

Đọc theo gối tựa chịu lực nén nhỏ nên cốt thép đặt theo cấu tạo:  $\Phi 6a200 (F_a = 1,415 \text{ cm}^2)$  (cốt thép số 3)

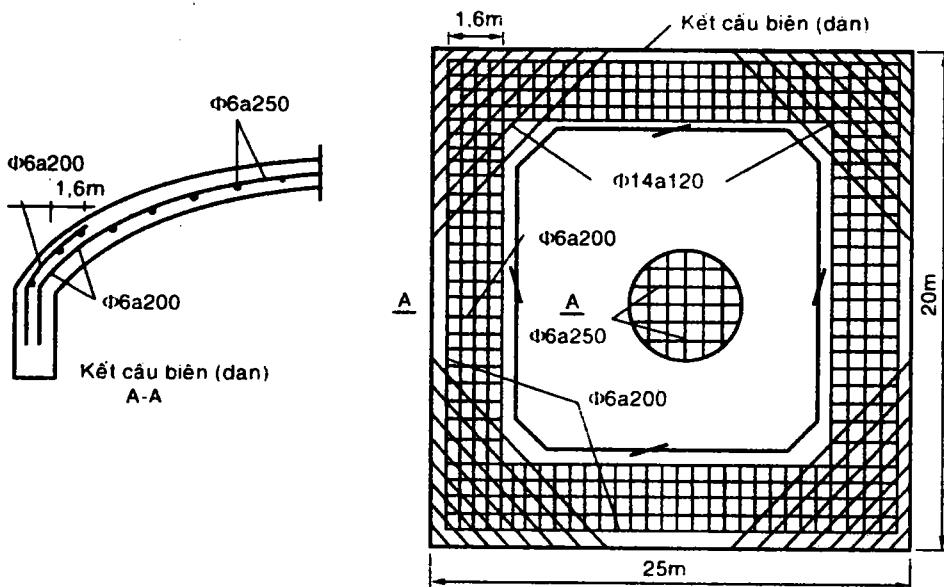
Mômen uốn lớn nhất:  $M = 105,911 \text{ daNm}$

$$A = \frac{M}{R_n b h_o^2} = \frac{10591}{90 \times 100 \times 5,5^2} = 0,039; \quad \alpha = 0,04$$

$$F_{a2} = \frac{\alpha R_n b h_o}{R_a} = 0,854 \text{ cm}^2$$

chọn  $\Phi 6a200 (F_a = 1,415 \text{ cm}^2)$  (cốt thép số 2)

Bố trí cốt thép như sau:



**Hình 5.31** Mặt bằng bố trí cốt thép trong mái vò

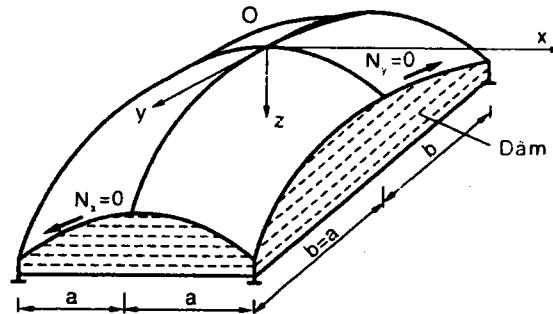
**5.3** Thiết kế mái vò cong hai chiều, cho biết các số liệu tính toán như sau:

Mặt bằng mái hình chữ nhật có kích thước:  $2a = 60m$ ,  $2b = 60m$ ;  $f_1 = f_2 = 3,5m$ ; chiều dày trung bình của mái  $h = 100mm$ , trọng lượng bảm thân các lớp cấu tạo mái:  $q = 700daN/m^2$ . Mái vò với kết cấu biên là đầm cứng.

### Giải

Mái vò này có dạng paraboloid với phương trình:

$$Z = 3,5 \frac{x^2}{30^2} + 3,5 \frac{y^2}{30^2}; \quad f_1 + f_2 = f \leq \frac{1}{5} 2a$$



**Hình 5.32** Mái vò tựa lên các đầm, tường cứng

Các hệ số:  $\lambda = \frac{b^2}{a^2} = 1$ ;  $k_1 = k_2 = \frac{2f_1}{a^2} = 7,778 \cdot 10^{-3}$

$$R_1 = R_2 = \frac{1}{k_1} = 128,571m; \quad \mu = \frac{k_1}{k_2} = 1$$

$$a_1 = \frac{q}{60k_2a^6(\lambda^2 + \mu\lambda)} = 1,029 \cdot 10^{-6}$$

$$a_2 = \frac{q - a_1 k_2 a^6 (11,4\lambda^2 + 9,552\mu\lambda)}{k_2 a^{10} (21,655\lambda^2 + 0,972\mu\lambda)} = 5,56 \cdot 10^{-12}$$

$$a_3 = \frac{q - a_1 k_2 a^6 (9,552\lambda^2 + 11,4\mu\lambda)}{k_2 a^{10} (0,972\lambda^4 + 21,655\mu\lambda^3)} = 5,56 \cdot 10^{-12}$$

Các lực mảng tính theo công thức sau:

$$\begin{aligned} N_x &= 12a_1(x^4 - 6x^2a^2 + 5a^4)(y^2 - b^2) \\ &\quad + 12a_2(x^8 - \frac{22}{9}x^6a^2 + \frac{13}{9}x^4a^4)(y^2 - b^2) \\ &\quad + 4a_3(x^4 - 6x^2a^2 + 5a^4)(14y^6 - \frac{55}{3}y^4b^2 + \frac{13}{3}y^2b^4) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} N_y &= 12a_1(x^2 - a^2)(y^4 - 6y^2b^2 + 5b^4) \\ &\quad + 4a_2(14x^6 - \frac{55}{3}x^4a^2 + \frac{13}{3}x^2a^2)(y^4 - 6y^2b^2 + 5b^4) \\ &\quad + 12a_3(x^2 - a^2)(y^8 - \frac{22}{9}y^6b^2 + \frac{13}{9}y^4b^4) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} N_{xy} &= 16a_1(x^3 - 3xa^2)(y^3 - 3yb^2) \\ &\quad + 16a_2(2x^7 - \frac{11}{3}x^5a^2 + \frac{13}{9}x^3a^4)(y^3 - 3yb^2) \\ &\quad + 16a_3(x^3 - 3xa^2)(2y^7 - \frac{11}{3}y^5b^2 + \frac{13}{9}y^3b^4) \end{aligned}$$

Từ đó ta có thể xác định được các nội lực nén, kéo chính theo công thức:

$$N_{k.ch}^{n.ch} = \frac{N_x + N_y}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{N_x - N_y}{2}\right)^2 + N_{xy}^2}$$

Góc nghiêng của các mặt phẳng tác dụng của các lực nén, kéo chính được xác định theo:

$$\operatorname{tg} 2\alpha_1 = \frac{2N_{xy}}{N_x - N_y}; \quad \operatorname{tg} 2\alpha_2 = -\frac{2N_{xy}}{N_x - N_y}$$

Xét điểm bất kì  $A(x, y)$ . Các lực màng được tóm tắt trong bảng sau:

Điểm	Tọa độ x	Tọa độ y	$N_x$ (daN/m)	$N_y$	$N_{xy}$	$N_{k.ch}$	$N_{n.ch}$
1	0	0	-45000	-45000	0	-45000	-45000
2	a/4	0	-41860	-28880	0	-41860	-28880
3	a/2	0	-34270	-23470	0	-34270	-23490
4	3a/4	0	-22280	-76920	0	-76920	-22280
5	a	0	0	0	0	0	0
1	0	0	-45000	-45000	0	-45000	-45000
6	0	b/4	-28880	-41860	0	-41860	-28880
7	0	b/2	-23490	-34270	0	-34270	-23490
8	0	3b/4	-76920	-22280	0	-76920	-22280
9	0	b	0	0	0	0	0
5	a	0	0	0	0	0	0
10	a	b/4	0	0	24190	-24190	24190
11	a	b/2	0	0	40480	-40480	40480
12	a	3b/4	0	0	64560	-64560	64560
13	a	b	0	0	94690	-94690	94690
9	0	0	-45000	-45000	0	-45000	-45000
14	a/4	b/4	-26930	-26930	4997	-31920	-21930
15	a/2	b/2	-18390	-18390	10900	-29290	-7491
16	3a/4	3b/4	-31970	-31970	38910	-70880	6939
13	a	b	0	0	94690	-94690	94690

Xét tại điểm có ( $x = a, y = 0$ ) ta có:

$$A = tga = \frac{\partial(N_x)}{\partial x} = 3567: \text{độ dốc của biểu đồ } N_x.$$

$$S = 0,76\sqrt{R_2 h} = 2,725$$

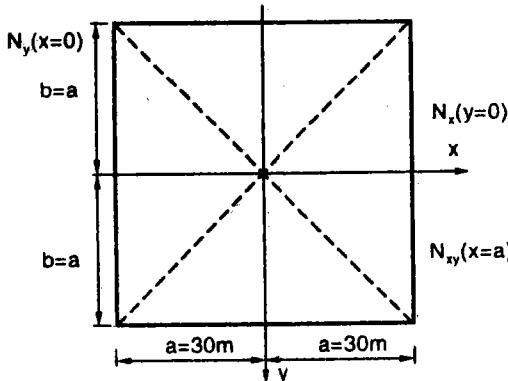
$$\varphi = \frac{x}{S} = 11,009$$

và

$$M_x = -D \frac{d^2 \varpi}{dx^2} = -\frac{S^2 q}{2} + Sk_1 Ae^{-\varphi} \cos \varphi + \frac{S^2}{2} q e^{-\varphi} \sin \varphi$$

$$= -2599 \text{ daNm/m}$$

$$x = 0,597\sqrt{R_2 h} = 2,141 \text{ m}$$



**Hình 5.33** Biểu đồ các lực mảng  $N_x(y = 0)$ ;  $N_y(x = 0)$ ;  $N_{xy}(x = a)$

Tính cốt thép cho mái vò: Bêtông mác 250,  $R_a = 2800 \text{ daN/cm}^2$

Lực kéo chính lớn nhất:  $N = 94690 \text{ daN}$ :

$$F_{a1} = \frac{N}{R_a} = \frac{95690}{2800} = 33,82 \text{ cm}^2$$

chọn  $\Phi 16a120 (F_a = 33,50 \text{ cm}^2)$  bố trí làm 2 lớp (cốt thép số 1)

Lực nén tại tâm O:  $N = 450000 \text{ daN}$ :

$$F_{a4} = \frac{N - R_n F_b}{R_a} = \frac{450000 - 110 \times 100 \times 10}{2800} \leq 0 \text{ cm}^2$$

cốt thép đặt theo cấu tạo chọn  $\Phi 6a250 (F_a = 1,132 \text{ cm}^2)$  (cốt thép số 4).

Dọc theo gối tựa chịu lực nén nhỏ nên cốt thép đặt theo cấu tạo:  $\Phi 6a200 (F_a = 1,415 \text{cm}^2)$  (cốt thép số 3)

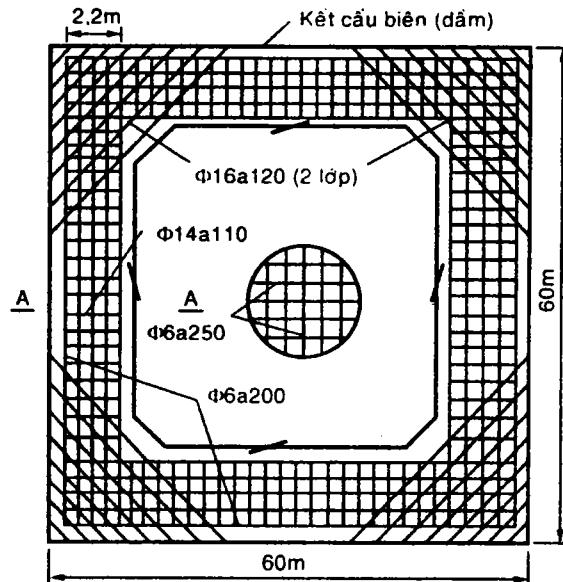
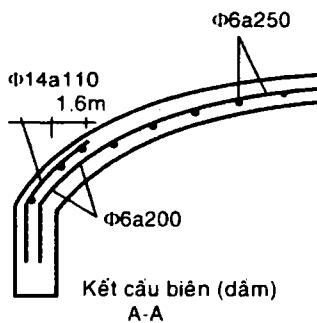
Mômen uốn lớn nhất:  $M = 2599 \text{daNm}$

$$A = \frac{M}{R_n b h_o^2} = \frac{259900}{110 \times 100 \times 8,5^2} = 0,327; \quad \alpha = 0,412$$

$$F_{a2} = \frac{\alpha R_n b h_o}{R_a} = 13,75 \text{cm}^2$$

chọn  $\Phi 14a110 (F_a = 13,99 \text{cm}^2)$  (cốt thép số 2)

Bố trí cốt thép như sau:

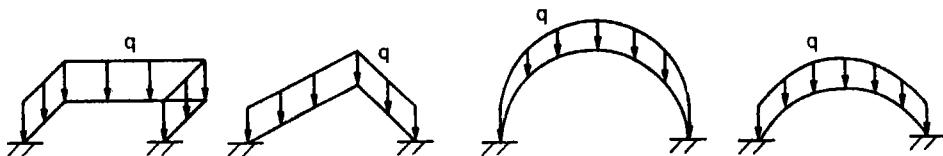


**Hình 5.34** Mặt bằng bố trí cốt thép trong mái vô

# CẤU KIỆN CHỊU UỐN - XOẮN

## 6.1 KHÁI NIỆM CHUNG

Trong kết cấu BTCT hầu như ta không gặp hiện tượng xoắn thuận túy mà chỉ gặp xoắn cùng với uốn. Các cấu kiện chịu uốn - xoắn thường gặp là các dầm có mặt bằng bằng hình gãy góc, các cung tròn, các dầm limon cầu thang...



**Hình 6.1** Các cấu kiện chịu uốn - xoắn thường gặp

Khả năng chịu xoắn của cấu kiện BTCT kém so với khả năng chịu uốn, do đó cấu kiện chịu xoắn dễ xuất hiện khe nứt.

Với trường hợp xoắn thuận túy ( $M_u = 0$ ), mômen xoắn gây nên ứng suất tiếp mà tổng hợp của chúng sẽ là các ứng suất kéo chính và ứng nén chính nghiêng  $45^\circ$  so với trục cấu kiện. Khi ứng suất kéo chính vượt quá khả năng chịu kéo của bê tông sẽ gây nên các vết nứt vuông góc với phương ứng suất kéo chính, tức là vết nứt sẽ nghiêng với trục dầm một góc  $45^\circ$ .

Trường hợp cấu kiện vừa chịu xoắn vừa chịu uốn thì sự làm việc của nó phức tạp hơn. Các vết nứt sẽ tạo nên tiết diện vênh gồm ba phía chịu kéo và một phía chịu nén. Sự phá hoại theo tiết diện vênh sẽ bắt đầu khi ứng suất trong cốt thép vùng kéo đạt đến giới hạn chảy hoặc ứng suất trong vùng bê tông chịu nén đạt đến cường độ của nó.

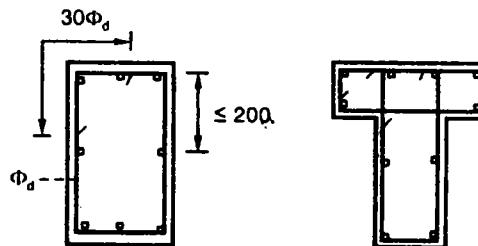
## 6.2 CẤU TẠO

Cấu kiện chịu xoắn thường có tiết diện đặc, cũng có thể có tiết diện rỗng nhưng tỷ số các cạnh phải nhỏ hơn 3/1. Tiết diện thường gấp: hình vuông, chữ nhật, chữ T...

Để chịu được mômen xoắn, trong cấu kiện chịu uốn - xoắn cần phải đặt cốt dọc theo chu vi tiết diện và cốt đai khép kín.

Các cốt dọc cần phải được neo chắc vào gối với chiều dài  $L_{neo} \geq 30\Phi_d$ . Cốt đai trong khung buộc cần phải có hai đầu chập với nhau một đoạn không nhỏ hơn 30 lần đường kính của nó. Các cốt ngang trong khung hàn cần được làm thành vòng kín, đầu mút được hàn chắc với cốt dọc. Cấu kiện có tiết diện chữ T, I cần đặt cốt đai thành vòng kín trong cả sườn và cánh.

Khi cạnh của tiết diện  $\leq 200mm$  đặt ít nhất hai cốt dọc, với cạnh  $> 200mm$  đặt ít nhất ba cốt dọc và khoảng cách giữa hai cốt dọc không quá  $200mm$ .



**Hình 6.2** Cấu tạo cấu kiện chịu uốn xoắn

## 6.3 KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU

Đặc trưng làm việc của cấu kiện chịu uốn - xoắn được xác định trên cơ sở của tỷ số:

$$\chi = \frac{M_x}{M}$$

trong đó:  $M_x$  - mômen xoắn;  $M$  - mômen uốn

$\chi = 0$  - cấu kiện chịu uốn thuần túy

$\chi \rightarrow \infty$  - cấu kiện chịu xoắn thuần túy.

Thí nghiệm cấu kiện chịu xoắn thuần túy, mômen xoắn gây nên ứng suất tiếp mà tổng hợp của chúng sẽ là các ứng suất kéo chính và ứng suất nén chính nghiêng  $45^\circ$  so với trục của cấu kiện. Các ứng suất kéo chính khi vượt quá khả năng chịu kéo của bê tông sẽ gây ra các vết nứt vuông góc với phương ứng suất kéo chính, có nghĩa là các vết nứt sẽ nghiêng  $45^\circ$  so với trục dầm.

Trường hợp cấu kiện chịu uốn - xoắn thì sự làm việc của nó phức tạp hơn. Các vết nứt sẽ tạo nên tiết diện vênh gồm ba phía chịu kéo và một phía chịu nén. Sự phá hoại theo tiết diện vênh sẽ bắt đầu khi ứng suất trong cốt thép chịu kéo đạt đến giới hạn chảy hoặc ứng suất của bê tông chịu nén đạt đến cường độ chịu nén.

#### 6.4 CÁC GIẢ THIẾT TÍNH TOÁN

Cấu kiện có chịu mômen xoắn  $M_x$  cần được tính toán kiểm tra khả năng chịu lực theo tiết diện vênh trong không gian với các giả thiết:

- Bỏ qua sự chịu lực của bê tông vùng kéo.
- Vùng nén được quy ước xem là phẳng và chéo với trục dọc của cấu kiện, ứng suất trong bê tông vùng nén xem là phân bố đều và đạt đến cường độ tính toán của nó.
- Ứng suất trong cốt dọc và cốt đai cắt qua vùng kéo của tiết diện đang khảo sát lấy bằng cường độ tính toán của nó.
- Ứng suất trong cốt dọc chịu nén lấy bằng cường độ tính toán của nó.

Cấu kiện chịu uốn - xoắn chịu đồng thời các nội lực  $M$ ,  $M_x$  và  $Q$ . Việc tính toán có kể đồng thời 3 nội lực đó khá phức tạp và cũng chưa có được cách tính hoàn hảo. Vì vậy, đối với cấu kiện chịu uốn - xoắn được tính toán kiểm tra theo hai sơ đồ:

*Sơ đồ 1:* Do tác dụng đồng thời của mômen uốn  $M$  và mômen xoắn  $M_x$ , vùng nén của tiết diện vênh sẽ nằm về phía vùng nén do  $M$ .

*Sơ đồ 2:* Do tác dụng đồng thời của lực cắt  $Q$  và mômen xoắn  $M_x$ , vùng nén của tiết diện vênh sẽ theo mép tiết diện song song

với phương tác dụng của  $Q$  (các giá trị  $M$ ,  $M_x$ ,  $Q$  dùng trong tính toán lấy tại tiết diện thẳng góc với trục dọc cấu kiện và đi qua trọng tâm của vùng nén của tiết diện vênh).

## 6.5 TÍNH TOÁN CẤU KIỆN CHỊU UỐN - XOẮN CÓ TIẾT DIỆN CHỮ NHẬT

**Điều kiện hạn chế:**

- Mọi cấu kiện chịu mômen xoắn cần thỏa mãn điều kiện (nhằm hạn chế bể rộng khe nứt) sau:

$$M_x \leq 0,1R_n \cdot b^2 h \quad (6.1)$$

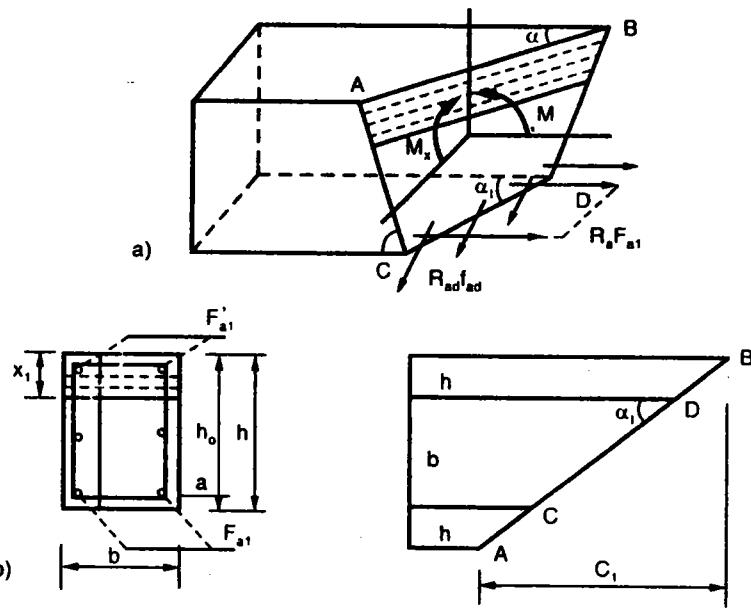
trong đó  $b$  là cạnh bé của tiết diện.

$$\text{Và lực cắt: } Q \leq k_o \cdot R_n \cdot b h_o^2 \quad (6.2)$$

( $k_o$  lấy giống cấu kiện chịu uốn).

### 6.5.1 Tính toán theo sơ đồ 1

Do  $M$  và  $M_x$



Hình chiếu của tiết diện vênh ABCD  
mặt phẳng thẳng góc với trục dầm

c)

**Hình 6.3 Sơ đồ tính toán với  $M$  và  $M_x$**

Sơ đồ tính toán tiết diện vênh ABDE thể hiện trên (H.6.3). Cạnh chịu nén AB nghiêng so với trục dầm một góc  $\alpha$ , có hình chiếu lên phương ấy là  $C_1$ . Cạnh DE nghiêng với trục dầm một góc  $\alpha_1$ . Ứng suất trong bê tông chịu nén đạt đến  $R_n$  và tác dụng vuông góc với AB. Ứng suất trong cốt dọc chịu kéo đạt đến  $R_a$  và trong cốt dọc chịu nén đạt đến  $R'_a$  và hướng theo trục thanh. Nội lực tính toán trong mỗi nhánh cốt dai là  $R_{ad}f_d$  và hướng theo trục của nó.

Chiếu tiết diện vênh ABDE lên phương vuông góc với trục dầm sẽ được hình 6.3b như là tiết diện thẳng góc, với  $x_1$  là chiều cao vùng nén.

- Phương trình hình chiếu của các lực lên phương trục dầm:

$$\Sigma X = 0 \Leftrightarrow R_a \cdot F_{a1} - R'_a \cdot F'_{a1} - R_n AB \cdot x_1 \cdot \sin \alpha = 0 \quad (6.3)$$

với:  $AB \cdot \sin \alpha = b$  hay  $R_a \cdot F_{a1} - R'_a \cdot F'_{a1} - R_n \cdot b x_1 = 0 \quad (6.4)$

Ta thấy (6.4) giống cấu kiện chịu uốn.

- Phương trình cân bằng mômen lấy đối với trục đi qua trọng tâm vùng bê tông chịu nén và theo phương AB:

$$\begin{aligned} \frac{\Sigma M}{F_n} = 0 &\Leftrightarrow M \sin \alpha + M_x \cos \alpha = \\ &= R_a \cdot F_{a1} \sin \alpha (h_o - \frac{x_1}{2}) + \Sigma R_{ad} \cdot f_d \cos \alpha (h_o - \frac{x_1}{2}) \end{aligned} \quad (6.5)$$

Trong phương trình bỏ qua ảnh hưởng của cốt dọc chịu nén và các cốt dai cắt qua cạnh BD và AE, cả cốt dai chịu nén theo cạnh AB.

Gọi  $u$  là khoảng cách giữa các cốt dai:

$$\Sigma f_d = \frac{f_d}{u} DE \cos \alpha_1 \quad \text{mà} \quad DE = \frac{b}{\sin \alpha_1} \quad \text{nên:}$$

$$\Sigma f_d = f_d \cdot \frac{b \cos \alpha_1}{u \sin \alpha_1} \quad \text{mà} \quad \frac{\cos \alpha_1}{\sin \alpha_1} = \frac{C_1}{2h + b} \quad \text{do đó:}$$

$$\Sigma R_{ad} \cdot f_d = \frac{R_{ad} \cdot f_d}{u} \cdot \frac{b C_1}{(2h + b)}$$

Đặt:  $q_d = \frac{R_{ad} \cdot f_d}{u}$  (6.6)

Thay (6.6) vào (6.5), rồi chia cả hai vế cho  $\cos\alpha$  và đặt  $M_x$  thành thừa số chung ở vế trái ta có:

$$M_x(1 + \frac{M}{M_x} \cdot \operatorname{tg}\alpha) = R_a \cdot F_{a1} \cdot \operatorname{tg}\alpha \cdot (h_o - 0,5x_1) + q_d \frac{bC_1}{2h + b} (h_o - 0,5x_1) \quad (6.7)$$

$$\text{Chú ý: } \operatorname{tg}\alpha = \frac{b}{C_1}$$

Đem tách riêng  $M_x$  ở vế trái, dùng dấu bất đẳng thức để thể hiện điều kiện về cường độ và sau khi biến đổi ta được:

$$M_x \leq \frac{R_a \cdot F_{a1} (h_o - 0,5x_1)(1 + m_{d1} \cdot C_1^2)b}{C_1 + v \cdot b} \quad (6.8)$$

$$\text{trong đó: } v = \frac{M}{M_x}$$

$$m_{d1} = \frac{q_d}{R_a \cdot F_{a1} (2h + b)} = \frac{R_{ad} \cdot f_d}{R_a \cdot F_{a1} (2h + b) u} \quad (6.9)$$

với  $m_{o1}$  lấy theo công thức thực nghiệm:

$$m_{o1} = \frac{1}{[2 + 4v \sqrt{\frac{b}{2h + b}}](2h + b)b} \quad (8.9)$$

Đồng thời trị số  $m_d$  cần lấy trong phạm vi:

$$m_{o1} \leq m_{d1} \leq 3m_{o1} \quad (8.10)$$

Nếu xảy ra  $m_{d1} < m_{o1}$ , thì ta nhân  $R_a F_a$  trong công thức (6.4)

$$\text{và (6.8) với tỷ số } k = \frac{m_{d1}}{m_{o1}}$$

với  $C_1$  là hình chiếu của vùng nén lên phương trục dọc của cầu kiện.

Tiến hành tính toán với tiết diện nguy hiểm nhất nhưng đồng thời không lớn hơn  $2h + b$ .

Trong (6.8) giá trị  $C_1$  vẫn chưa biết, xác định  $C_1$  bằng điều kiện cực tiểu của vế phải, tức lấy đạo hàm của vế phải (6.8) theo  $C_1$ , rồi cho đạo hàm đó bằng không, tìm được  $C_{o1}$ , nhưng theo nghiên cứu thực nghiệm thì:

$$C_{o1} \leq 2h + b \quad (6.11)$$

$$\frac{dM_x}{dC_1} = 0 \rightarrow C_{o1} = -\frac{b}{\chi} + \sqrt{\frac{b^2}{\chi^2} + \frac{R_a \cdot F_{a1}}{R_{ad} \cdot f_d} \cdot u(2h + b)} \leq (2h + b) \quad (6.12)$$

trong đó:  $\chi = \frac{M_x}{M} = \frac{1}{v}$  (8.13)

Thay (6.12), (6.13) vào (6.8) rút gọn được:

$$C_{o1} = -vb + \sqrt{v^2 b^2 + \frac{1}{m_{d1}}} \leq 2h + b \quad (8.14)$$

Điều kiện sử dụng:

$$x_1 \leq \alpha_o \cdot h_o \quad (8.15)$$

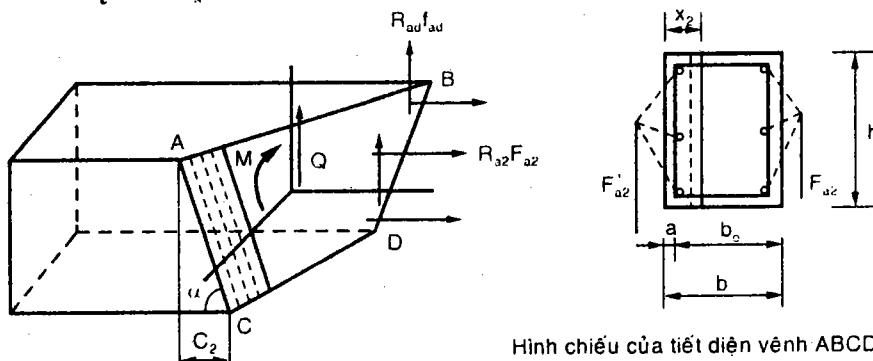
với  $x_1$  xác định từ (6.4).

Nếu (1.15) không thỏa mãn phải tăng kích thước tiết diện hoặc tăng mác bê tông. Thay  $C_{o1}$  (6.12) vào (6.8) ta được:

$$M_x \leq \frac{R_a \cdot F_{a1} (h_o - 0,5x_1)(1 + m_{d1} \cdot C_{o1}^2)b}{C_{o1} + v \cdot b} \quad (6.16)$$

### 6.5.2 Tính toán theo sơ đồ 2

Do  $Q$  và  $M_x$



Hình chiếu của tiết diện vênh ABCD  
mặt phẳng thẳng góc với trục dầm

**Hình 6.4** Sơ đồ tính toán với  $Q$  và  $M_x$

Sự phá hoại xảy ra theo tiết diện vênh với vùng néo nằm theo cạnh bên (cạnh  $h$ ) của tiết diện.

**Điều kiện:**

Nếu cấu kiện chịu uốn - xoắn thỏa điều kiện:

$$T = \frac{6M_x}{b^2(3h - b)} \leq R_k \text{ hay } M_x \leq \frac{1}{6} R_k \cdot b^2 (3h - b) \quad (6.17)$$

với  $T$  là giá trị ứng suất tiếp theo lý thuyết dẻo.

$$\text{Khi: } \chi = \frac{M_x}{M} \leq 0,2; \quad Q \leq k_o \cdot R_n \cdot b \cdot h_o \quad (6.18)$$

thì nội lực do xoắn nhỏ, không cần tính cốt ngang chịu  $M_x$  mà cốt đai đặt theo cấu tạo, trường hợp này, khi tính theo sơ đồ 1 chỉ tính với  $M$ , không xét  $M_x$ .

Cũng lập luận như trong phần tính theo sơ đồ 1, xác lập các phương trình cân bằng tính theo sơ đồ 2 như sau:

Phương trình cân bằng hình chiếu:

$$R_a \cdot F_{a2} - R_n \cdot h x_2 - R'_a \cdot F'_{a2} = 0 \quad (6.19)$$

Phương trình cân bằng mômen:

$$M_x \leq \frac{R_a \cdot F_{a2} (b_o - 0,5x_2)(1 + m_{d2} \cdot C_2^2)h}{(1 + \frac{Qb}{2M_x})C_2} \quad (6.20)$$

trong đó:  $F_{a2}, F'_{a2}$  - diện tích tiết diện cốt thép chịu kéo và chịu nén đặt dọc theo cạnh  $h$  như trên hình (6.4b)

$b_o$  - khoảng cách từ trọng tâm cốt thép chịu kéo  $F_{a2}$  đến mép chịu nén của tiết diện.

$$m_{d2} = \frac{R_{ad} \cdot f_d}{R_a \cdot F_{a2} (2b + h)u} \quad (6.21)$$

với:  $m_{o2} = \frac{1}{[2 + 4v\sqrt{\frac{h}{2b + h}}](2b + h)h} \quad (6.22)$

$$m_{o2} \leq m_{d2} \leq 3m_{o2} \quad (6.23)$$

Hình chiếu của vùng nén lên trực dọc của cấu kiện là  $C_2$  được xác định với tiết diện nguy hiểm nhất nhưng đồng thời lấy  $C_2$  không lớn hơn  $2b + h$ .

Hình chiếu tiết diện nghiêng nguy hiểm nhất  $C_{o2}$  xác định tương tự như  $C_{o1}$ , từ điều kiện khả năng chịu lực cực tiểu lý thuyết của cấu kiện.

Lấy đạo hàm về phai của (6.20) theo  $C_2$  và cho đạo hàm đó bằng không.

$$\frac{dM_x}{dC_2} = 0 \rightarrow C_{o2} = \sqrt{\frac{R_a \cdot F_{a2} \cdot u(2b + h)}{R_{ad} \cdot f_d}} \leq 2b + h \quad (6.24)$$

hay:  $C_{o2} = \frac{1}{\sqrt{m_{o2}}} \leq 2b + h$  (6.25)

Thế  $C_{o2}$  ở (6.25) vào (6.20) ta được:

$$M_x \leq \frac{R_a \cdot F_{a2} (b_o - 0,5x_2)(1 + m_{d.2} \cdot C_{o2}^2)h}{(1 + \frac{Qb}{2M_x})C_{o2}} \quad (6.26)$$

Khi thỏa mãn điều kiện:

$$M_x \leq 0,5Qb \quad (6.27)$$

thì có thể thay việc kiểm tra theo (6.26) bằng cách kiểm tra theo (6.28)

$$Q + \frac{3M_x}{h} \leq Q_{db} \quad (6.28)$$

với:  $Q_{db} = \sqrt{8 \cdot R_k \cdot b \cdot h_o^2 \cdot q_d}; \quad q_d = \frac{R_{ad} \cdot F_d}{u}$

(giống cấu kiện chịu uốn).

Điều kiện sử dụng:

$$x_2 \leq \alpha_o \cdot b_o \quad (6.29)$$

Để tận dụng hết khả năng chịu lực của cốt dọc và cốt đai cần thỏa mãn điều kiện:

$$0,5 \leq \frac{R_{ad} \cdot f_d \cdot h}{R_a \cdot F_{a2} \cdot u} \leq 1,5 \quad (6.30)$$

## 6.6 THỰC HÀNH TÍNH TOÁN

Việc tính toán cấu kiện chịu uốn - xoắn tương đối phức tạp, thường chỉ thực hiện loại bài toán kiểm tra.

Khi đã có các nội lực tính toán:  $M, M_x, Q$ .

Bài toán kiểm tra có thể tóm tắt theo trình tự sau:

1- Chọn sơ bộ kích thước tiết diện cấu kiện, sau đó kiểm tra theo (8.1) và (8.2).

2- Kiểm tra xem có cần tính cốt đai chịu xoắn hay cốt đai chỉ cần đặt theo cấu tạo theo (8.15).

3- Sơ bộ xác định và bố trí cốt dọc cốt đai trong cấu kiện:

- Từ mômen uốn  $M$ , tính cốt dọc cho cấu kiện chịu uốn  $F_a$  và  $R'_a$ . Bố trí cốt thép dọc trong tiết diện  $F_a$ ,  $R'_a$  theo cạnh  $b$  của tiết diện lớn hơn lượng cốt thép đã tính được khoảng 20 đến 30%.

- Bố trí thêm cốt dọc theo cạnh  $h$  của tiết diện (xem phần cấu tạo cốt thép).

- Từ  $Q$ , tính cốt đai như cấu kiện chịu uốn, tính được  $u_{tt}$ ,  $f_d$ . Sau đó bố trí cốt đai và bước cốt đai nhỏ hơn  $u_{tt}$  khoảng 10 ÷ 20%.

Đến đây coi như đã biết toàn bộ lượng cốt thép đã có trong tiết diện.

#### 4- Kiểm tra khả năng chịu lực:

##### a- Kiểm tra theo sơ đồ 1:

- Kiểm tra theo (6.1) và (6.2).

- Tính  $q_d$  (6.6),  $m_{d1}$  (6.8),  $m_{o1}$  (6.9).

- Kiểm tra theo (6.10)

- Nếu  $m_{d1} < m_{o1}$ , tính  $k = m_{d1}/m_{o1}$ ; nếu  $m_{d1} > m_{o1}$ , lấy  $k = 1$

- Tính  $x_1$  theo  $kR_a \cdot F_{a1} - R'_a \cdot F'_{a1} - R_n \cdot bx_1 = 0$  và  $x_1 \leq \alpha_o \cdot h_o$

- Tính  $C_{o1}$  theo (6.13) (nếu  $m_{d1} > 3m_{o1}$ , lấy  $m_{d1} = 3m_{o1}$  để tính  $C_{o1}$ ).

- Kiểm tra  $C_{o1} \leq 2h + b$ . Nếu  $C_{o1} > 2h + b$  thì lấy  $C_{o1} = 2h + b$  để kiểm tra khả năng chịu lực theo:

$$M_x \leq \frac{kR_a \cdot F_{a1}(h_o - 0,5x_1)(1 + m_{d1} \cdot C_{o1}^2)b}{C_{o1} + v.b}$$

##### b- Kiểm tra theo sơ đồ 2 (tương tự như sơ đồ 1)

- Tính  $q_d$  (6.6),  $m_{d2}$  (6.21),  $m_{o2}$  (6.22).

- Kiểm tra theo (6.23)

- Nếu  $m_{d2} < m_{o2}$ , tính  $k = m_{d2}/m_{o2}$ ; nếu  $m_{d2} > m_{o2}$ , lấy  $k = 1$

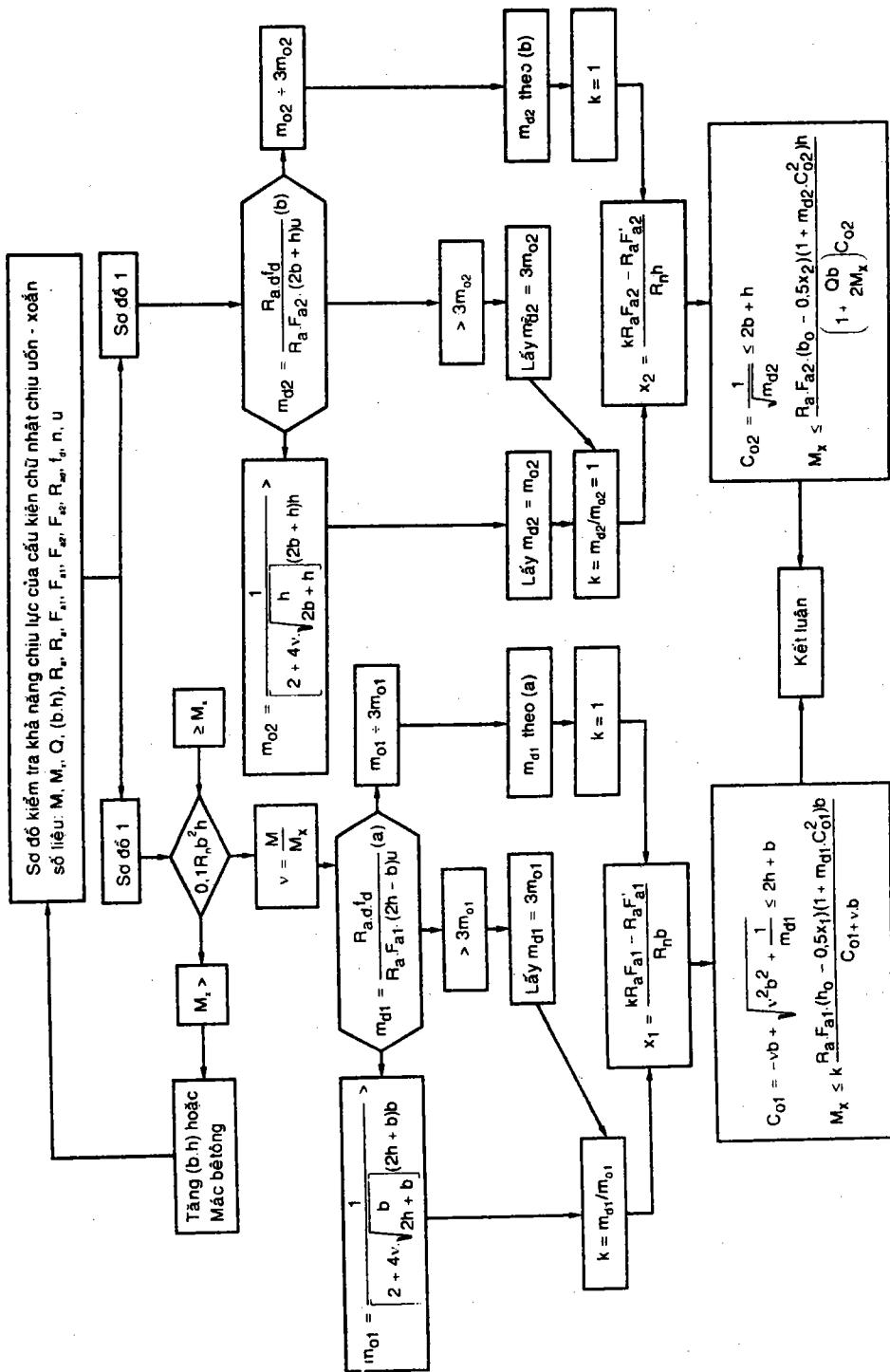
- Tính  $x_2$  theo  $kR_a \cdot F_{a2} - R'_a \cdot F'_{a2} - R_n \cdot hx_2 = 0$  và  $x_2 \leq \alpha_o \cdot b_o$

- Tính  $C_{o2}$  theo (6.25) (nếu  $m_{d2} > 3m_{o2}$ , lấy  $m_{d2} = 3m_{o2}$  để tính  $C_{o2}$ ).

- Kiểm tra  $C_{o2} \leq 2b + h$ . Nếu  $C_{o2} > 2b + h$  thì lấy  $C_{o2} = 2b + h$  để kiểm tra khả năng chịu lực theo:

$$M_x \leq \frac{R_a \cdot F_{a2}(b_o - 0,5x_2)(1 + m_{d2} \cdot C_{o2}^2)h}{(1 + \frac{Qb}{2M_x})C_{o2}}$$

Tóm tắt trình tự kiểm tra khả năng chịu lực của cấu kiện chịu uốn - xoắn  
chịu uốn - xoắn được tóm tắt trong sơ đồ sau:



## 6.7 BÀI TẬP

**6.1** Một dầm BTCT chịu uốn - xoắn, có kích thước tiết diện ngang và bố trí cốt thép sơ bộ như hình 6.5. Hãy kiểm tra khả năng chịu lực cho dầm.

Số liệu tính toán:

$$R_a = 2600 \text{ daN/m}^2$$

$$R_{ad} = 2000 \text{ daN/m}^2$$

$$R_n = 90 \text{ daN/m}^2$$

$$F_{a1} = 3\Phi 20(9,42)$$

$$F'_{a1} = 2\Phi 12(2,26); \quad M = 4500 \text{ daNm}; \quad Q = 2500 \text{ daN}$$

$$M_x = 1500 \text{ daNm}; \quad k_o = 0,35; \quad b = 350; \quad h = 450$$

1- Kiểm tra sơ đồ 1 do  $M$  và  $M_x$

Kiểm tra:  $M_x \leq 0,1R_n \cdot b^2 \cdot h = 496,1 \cdot 10^3 \text{ daNm}$  (thỏa)

Tính các hệ số:

$$q_d = \frac{R_{ad} f_d}{u} = \frac{2000 \times 0,503}{15} = 67,067 \text{ daN/cm}$$

$$v = \frac{M}{M_x} = 3$$

$$\begin{aligned} m_{d1} &= \frac{q_d}{R_a \cdot F_{a1}(2h + b)} \\ &= \frac{67,067}{2600 \times 9,42(2 \times 45 + 35)} = 2,191 \cdot 10^{-5} \end{aligned}$$

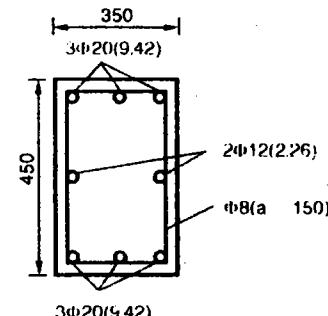
$$m_{o1} = \frac{1}{[2 + 4v\sqrt{\frac{b}{2h + b}}](2h + b)b} = 2,737 \cdot 10^{-5}$$

$$\text{Vì } m_{o1} > m_{d1} \text{ và } k = \frac{m_{d1}}{m_{o1}} = 0,8$$

$$x_1 = \frac{kR_a F_{a1} - R'_a F'_{a1}}{R_n b} = -1,553 \text{ cm}; \quad x_1 \leq \alpha_o \cdot h_o \text{ (thỏa)}$$

$$C_{o1} = -vb + \sqrt{v^2 b^2 + \frac{1}{m_{d1}}}$$

$$= 113,072 \text{ cm} \leq 2h + b = 125 \text{ cm} \text{ (thỏa)}$$



Hình 6.5: Bố trí cốt thép sơ bộ

Kiểm tra:

$$M_x = 1500 \leq \frac{kR_a F_{a1}(h_o - 0,5x_1)(1 + m_{d1} C_{o1}^2)b}{C_{o1} + v.b}$$

$$= 1702 \text{ daNm} \quad (\text{thỏa})$$

2- Kiểm tra sơ đồ 2 do  $Q$  và  $M_x$

Số liệu tính toán:

$$Q = 2500 \text{ daN}; M_x = 1500 \text{ daNm}$$

$$F_{a2} = F'_{a2} = 2\Phi 20 + 2\Phi 12(7,421)$$

Tính các hệ số:

$$q_d = \frac{R_{a,d} f_d}{u} = \frac{2000 \times 0,503}{15} = 67,067 \text{ daN/cm}$$

$$v = \frac{M}{M_x} = 3$$

$$m_{d2} = \frac{q_d}{R_a F_{a2}(2b + h)}$$

$$= \frac{67,067}{2600 \times 7,421(2 \times 35 + 45)} = 3,023 \cdot 10^{-5}$$

$$m_{o2} = \frac{1}{[2 + 4v\sqrt{\frac{h}{2b + h}}](2b + h)h} = 2,033 \cdot 10^{-5}$$

Vì  $m_{o2} \leq m_{d2} \leq 3m_{o2}$  lấy  $k = 1$

$$C_{o2} = \sqrt{\frac{1}{m_{d2}}} = 181,89 \text{ cm} > 2b + h = 115 \text{ cm}$$

Do đó lấy  $C_{o2} = 2b + h = 115 \text{ cm}$  để kiểm tra.

$$x_2 = \frac{kR_a F_{a2} - R'_a F'_{a2}}{R_n b} = 0; \quad x_2 \leq \alpha_o \cdot b_o \quad (\text{thỏa})$$

Kiểm tra:

$$M_x = 1500 \leq \frac{kR_a F_{a2}(b_o - 0,5x_2)(1 + m_{d2} C_{o2}^2)h}{(1 + \frac{Qb}{2M_x})C_{o2}}$$

$$= 2577 \text{ daNm} \quad (\text{thỏa})$$

Kết luận: Bố trí cốt thép trong đầm đủ khả năng chịu uốn - xoắn.

## PHỤ LỤC

**Phụ lục 1 Cường độ tiêu chuẩn, cường độ tính toán và môđun dàn hồi của một số nhóm thép**

Nhóm cốt thép	Cường độ tiêu chuẩn $R_{sc}$ $daN/cm^2$	Cường độ tính toán, ( $daN/cm^2$ )			Môđun dàn hồi $E_s$ $daN/cm^2$
		Vẽ kéo $R_s$	Vẽ nén $R'_s$	Tính cốt ngang, $R_{sd}$	
A-I	2400	2300	2300	1800	2100000
A-II	3000	2800	2800	2200	2100000
A-III	4000	3600	3600	2800	2100000
A-IV	6000	5000	4000	4000	2000000
A-V	8000	6400	-	-	1900000
AT-IV	6000	5000	-	-	1900000
AT-V	8000	6400	-	-	1900000
AT-VI	10000	8000	-	-	1900000
B-II với $d = 3mm$	19000	12300	-	-	2000000
$d = 4mm$	18000	11600	-	-	2000000
$d = 5mm$	17000	11000	-	-	2000000
B <sub>p</sub> -II với $d = 3mm$	18000	11600	-	-	2000000
$d = 4mm$	17000	11000	-	-	2000000
$d = 5mm$	16000	10300	-	-	2000000
C-I	2200	2000	2000	1600	2100000
C-II	3000	2600	2600	2100	2100000
C-III	4000	3400	3400	2700	2000000
C-IV	6000	5000	3600	4000	2000000

**Phụ lục 2 Môđun dàn hồi của bê tông**

Loại bê tông	Giá trị $E_b \times 10^3$ ( $daN/cm^2$ ) ứng với mác thiết kế vẽ nén							
	150	200	250	300	350	400	500	600
Bê tông nặng								
- Khô cứng tự nhiên	210	240	265	290	310	330	360	360
- Chưng hấp	190	215	240	260	280	300	325	340

**Phụ lục 3 Cường độ tính toán gốc của bê tông**

Cường độ và ký hiệu	Giá trị cường độ ( $daN/cm^2$ ) theo mác bê tông về nén							
	150	200	250	300	350	400	500	600
Nén: $R_n$	65	90	110	130	155	170	215	250
Kéo: $R_k$	6	7,5	8,8	10	11	12	13,4	14,5

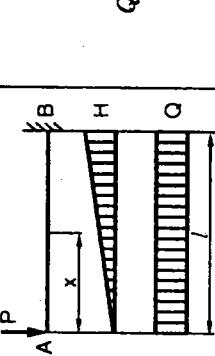
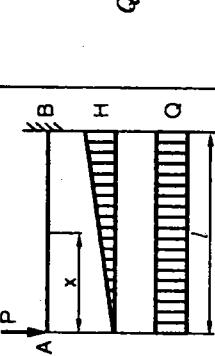
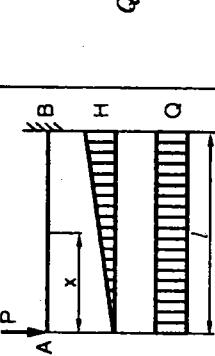
**Phụ lục 4 Giá trị của hệ số  $\alpha_0$** 

Cường độ tính toán chịu kéo của cốt thép $R_s$ ( $daN/cm^2$ )	Hệ số $\alpha_0$ ứng với mác chịu nén của bê tông				
	200	250+300	350+400	500	600
3000	0,62	0,58	0,55	0,52	0,48
4000	0,58	0,55	0,55	0,50	0,45
5000	0,55	0,55	0,52	0,45	0,42
6000	0,50	0,48	0,45	0,42	0,40

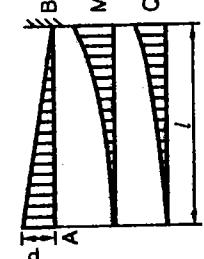
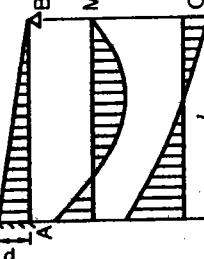
**Phụ lục 5 Quan hệ giữa các hệ số  $a$ ,  $\gamma$  và  $\alpha$** 

$\alpha$	$\gamma$	A	$\alpha$	$\gamma$	A	$\alpha$	$\gamma$	A
0,01	0,995	0,01	0,22	0,890	0,196	0,43	0,785	0,337
0,02	0,990	0,02	0,23	0,885	0,204	0,44	0,780	0,343
0,03	0,985	0,03	0,24	0,880	0,211	0,45	0,775	0,349
0,04	0,980	0,039	0,25	0,875	0,219	0,46	0,770	0,354
0,05	0,975	0,048	0,26	0,870	0,266	0,47	0,765	0,359
0,06	0,970	0,058	0,27	0,865	0,235	0,48	0,760	0,365
0,07	0,965	0,068	0,28	0,860	0,241	0,49	0,755	0,370
0,08	0,960	0,077	0,29	0,855	0,248	0,50	0,750	0,375
0,09	0,955	0,085	0,30	0,850	0,255	0,51	0,745	0,380
0,10	0,950	0,095	0,31	0,845	0,262	0,52	0,740	0,385
0,11	0,945	0,104	0,32	0,840	0,269	0,53	0,735	0,390
0,12	0,940	0,113	0,33	0,835	0,275	0,54	0,730	0,394
0,13	0,935	0,122	0,34	0,830	0,282	0,55	0,725	0,399
0,14	0,930	0,130	0,35	0,825	0,289	0,56	0,720	0,403
0,15	0,925	0,139	0,36	0,820	0,295	0,57	0,715	0,408
0,16	0,920	0,147	0,37	0,815	0,301	0,58	0,710	0,412
0,17	0,915	0,156	0,38	0,810	0,309	0,59	0,705	0,416
0,18	0,910	0,164	0,39	0,805	0,314	0,60	0,700	0,420
0,19	0,905	0,172	0,40	0,800	0,320	0,61	0,695	0,424
0,20	0,0	0,180	0,41	0,795	0,326	0,62	0,690	0,428
0,21	0,895	0,188	0,42	0,790	0,332			

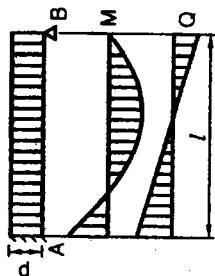
**Phụ lục 6** Lực cắt, mômen uốn, góc xoay, độ vông của đàm đơn giản

Số đợt	Phản lực, lực cắt	Mômen uốn	Góc xoay	Độ vông
1		$M_x = -Px$ $M_B = -Pl$ $Q_x = -P$	$0_x = -\frac{P}{2EJ}(l^3 - x^2)$ $0_A = -\frac{Pl^2}{2EJ}$	$f_x = \frac{P}{6EJ}(2l^3 - 3l^2x + x^3)$ $f_A = \frac{Pl^3}{3EJ}$
2		$M_x = -\frac{Px^2}{2}$ $M_B = -\frac{Pl^2}{2}$ $Q_x = -px$	$0_x = -\frac{P}{6EJ}(l^3 - x^3)$ $0_A = -\frac{Pl^3}{6EJ}$	$f_x = \frac{P}{24EJ}(3l^4 - 4l^3x + x^4)$ $f_A = \frac{Pl^4}{8EJ}$
3		$M_x = -\frac{Px^3}{6l}$ $M_B = -\frac{pl^2}{6}$	$0_x = -\frac{P}{24EJl}(l^4 - x^4)$ $0_A = -\frac{pl^3}{24EJl}$	$f_x = \frac{P}{120EJl}(4l^5 - 5l^4x + x^5)$ $f_A = \frac{pl^4}{30EJ}$

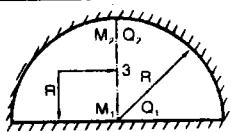
**Phụ lục 6** Lực cắt, momen uốn, góc xoay, độ vông của đàm đơn giản (tiếp theo)

 $B = \frac{pl}{2}$ $Q_x = -P(x - \frac{x^2}{2l})$ $P_x = P(1 - \frac{x}{l})$	$M_x = -\frac{Px^2}{2}(1 - \frac{x}{3l})$ $M_B = -\frac{pl^2}{3}$	$0_x = -\frac{P}{24EI}(4x^3/l - x^4 - 3l^4)$ $0_A = -\frac{pl^2}{8EJ}$	$f_x = \frac{P}{120EI}(11l^5 - 15l^4x + 5lx^4 - x^5)$ $f_A = \frac{11pl^4}{120EJ}$
 $Q_x = \frac{pl}{10}(4 - 10\frac{x}{l} + 5\frac{x^2}{l^2} + 5\frac{x^3}{l^3})$ $A = \frac{2}{5}pl$ $B = \frac{1}{10}pl$	$M_x = -\frac{pl^2}{30}(2 - 12\frac{x}{l} + 15\frac{x^2}{l^2} - 5\frac{x^3}{l^3})$ $M_A = -\frac{pl^2}{15}$	$\theta_x = \frac{pl^2x}{120EI}(8 - 24\frac{x}{l} + 20\frac{x^2}{l^2} - 5\frac{x^3}{l^3})$ $\theta_B = -\frac{pl^3}{120EJ}$	$f_{x2} = \frac{pl^2x^2}{420EJ}(4 - 8\frac{x}{l} + 5\frac{x^3}{l^2} - \frac{x^3}{l^3})$ $f_{B2} = \frac{pl^4}{426,6EJ}$ $f_{max} = \frac{pl^4}{418,6EJ}$ (tại $x = 0,553l$ )

**Phigure 6** Lực cắt, momen uốn, góc xoay, độ vông của dầm đơn giản (tiếp theo)

 $Q_x = pl\left(\frac{5}{8} - \frac{x}{l}\right)$ $A = \frac{5}{8}pl$ $B = \frac{3}{8}pl$ $M_x = -\frac{pl^2}{8}(1 - \frac{5x}{l} + \frac{4x^2}{l^2})$ $M_A = -\frac{pl^2}{8}$ $M_{\max} = \frac{9}{128}pl^2$ $(tại x = 0,625l)$ $M = 0$ tại $x = l/4$	$0_x = \frac{pl^2x}{48EJ}(\frac{8x^3}{l^2} - 15\frac{x}{l} + 6)$ $0_B = -\frac{pl^3}{48EJ}$ $M_x = -\frac{pl^2x^2}{24EJ}(\frac{x^2}{l^2} - \frac{5x}{2l} + \frac{3}{2})$ $f_x = \frac{pl^2x^2}{24EJ}(\frac{x^2}{l^2} - \frac{5x}{2l} + \frac{3}{2})$ $Tại x = l/2$ $f_{\theta} = \frac{pl^4}{192EJ}$ $f_{\max} = \frac{pl^4}{185EJ}$ $(tại x = 0,579l)$	$\theta_x = -\frac{p_1}{6EJ}(l^3 - x^3) - \frac{p_2 - p_1}{24EJl}(l^4 - x^4)$ $M_x = -p_1\frac{x^2}{2} - \frac{p_2 - p_1}{6l}x^3$ $M_B = \frac{2p_1 + p_2}{6}l^2$ $p_x = p_1 + \frac{p_2 - p_1}{l}x$ $B = \frac{p_1 + p_2}{2}l$	$\theta_x = \frac{p_1}{EJ}(\frac{l^4}{8} - \frac{l^3x}{6} + \frac{x^4}{24}) + \frac{p_2 - p_1}{EJl}(\frac{l^5}{30} - \frac{l^4x}{24} + \frac{x^5}{120})$ $f_x = \frac{p_1}{EJ}(\frac{l^4}{8} - \frac{l^3x}{6} + \frac{x^4}{24}) + \frac{p_2 - p_1}{EJl}(\frac{l^5}{30} - \frac{l^4x}{24} + \frac{x^5}{120})$ $\theta_A = -\frac{3p_1 + p_2}{24EJ}l^3$ $f_A = \frac{11p_1 + 4p_2}{120EJ}l^4$
---	--	---	--

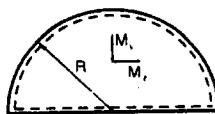
**Phụ lục 7 Mômen uốn trong bǎn có hình dáng đặc biệt chịu tải phân bố đều p**



$$M_1 = -0.0731pR^2; Q_1 = -0.491pR$$

$$M_2 = -0.0584pR^2; Q_2 = -0.412pR$$

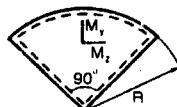
$$W_3 = 0,00202 \frac{pR^4}{D}$$



$$M_x = 0,0515pR^2 = 0,0328P$$

$$M_y = 0,0868pR^2 = 0,0522P$$

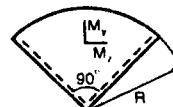
$$P = \frac{\pi R^2}{2} p$$



$$M_x = 0,0353pR^2 = 0,0450P$$

$$M_y = 0,0381pR^2 = 0,0486P$$

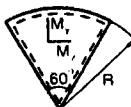
$$P = \frac{\pi R^2}{4} p$$



$$M_x = 0,1430pR^2 = 0,1884P$$

$$M_y = 0,1260pR^2 = 0,1608P$$

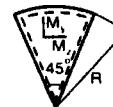
$$P = \frac{\pi R^2}{4} p$$



$$M_x = 0,0255pR^2 = 0,0487P$$

$$M_y = 0,0243pR^2 = 0,0464P$$

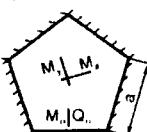
$$P = \frac{\pi R^2}{6} p$$



$$M_x = 0,0183pR^2 = 0,0466P$$

$$M_y = 0,0161pR^2 = 0,0411P$$

$$P = \frac{\pi R^2}{8} p$$

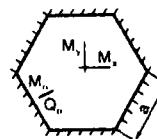


$$M_x = M_y = 0,032150(1 + \mu)p a^2$$

$$\bar{\mu} = 0,004171 \frac{p a^4}{D}$$

$$M_o = -0,109389p a^2$$

$$Q_o = 0,95527p a$$



$$M_x = M_y = 0,09835(1 + \mu)p a^2$$

$$\bar{\mu} = 0,009979 \frac{p a^4}{D}$$

$$M_o = -0,153484p a^2$$

$$Q_o = 1,337428p a$$

**Phụ lục 8 Diện tích tiết diện cốt thép dạng lưới ( $cm^2/m$ )**

Bước cốt thép (cm)	Đường kính thép (mm)							
	6	6/8	8	8/10	10	12	14	16
7	4,04	5,61	7,19	9,20	11,21	16,16	21,99	28,71
7,5	3,77	5,24	6,71	8,59	10,47	15,08	20,52	26,80
8	3,54	4,91	6,29	5,05	9,81	14,14	19,24	25,13
9	3,14	4,37	5,59	4,16	8,72	12,57	17,10	22,33
10	2,83	3,93	5,03	6,44	7,85	11,31	15,39	20,10
11	2,57	3,57	4,57	5,85	7,14	10,28	13,99	18,27
12	2,36	3,28	4,19	5,37	6,54	9,43	12,83	16,75
12,5	2,26	3,14	4,02	5,15	6,28	9,05	12,31	16,08
13	2,18	3,02	3,87	4,95	6,04	8,70	11,84	15,46
14	2,02	2,81	3,59	4,60	5,61	8,08	10,99	14,36
15	1,89	2,62	3,35	4,29	5,23	7,54	10,26	13,40
16	1,77	2,46	3,14	4,03	4,91	7,07	9,62	12,56
17	1,66	2,31	2,96	3,79	4,62	6,65	9,05	11,82
18	1,57	2,18	2,79	3,58	4,36	6,28	8,55	11,17
19	1,49	2,07	2,65	3,39	4,13	5,95	8,10	10,58
20	1,42	1,97	2,52	3,22	3,93	5,66	7,70	10,05

**Phụ lục 9 Hệ số kể đến sự thay đổi áp lực gió  
theo độ cao và dạng địa hình**

Độ cao (m)	Dạng địa hình			Độ cao (m)	Dạng địa hình		
	A	B	C		A	B	C
3	1,00	0,80	0,47	30	1,37	1,22	0,89
5	1,07	0,88	0,54	40	1,43	1,28	0,97
10	1,18	1,00	0,66	50	1,47	1,34	1,03
15	1,24	1,08	0,74	60	1,51	1,38	1,08
20	1,29	1,13	0,80				

*Bảng giá trị áp lực gió theo bản đồ phân vùng áp lực gió  
trên lãnh thổ Việt Nam*

Vùng áp lực gió trên bản đồ	I	II	III	IV	V
$W_a$ ( $daN/m^2$ )	65	95	125	155	185

**Phụ lục 10 Bảng tra diện tích cốt thép**

Đường kính (mm)	Diện tích tiết diện ngang ( $\text{cm}^2$ ), ứng với số thanh									Trọng lượng 1m dài (daN/m)	Đường kính (mm)
	1	2	3	4	5	6	7	8	9		
6	0,283	0,566	0,849	1,132	1,415	1,698	1,981	2,264	2,547	0,222	6
8	0,503	1,006	1,509	2,012	2,515	3,018	3,521	4,024	4,527	0,395	8
10	0,785	1,57	2,355	3,14	3,925	4,71	5,495	6,28	7,065	0,616	10
12	1,131	2,262	3,393	4,524	5,655	6,786	7,917	9,048	10,179	0,888	12
14	1,539	3,078	4,617	6,156	7,695	9,234	10,773	12,312	13,851	1,208	14
16	2,011	4,022	6,033	8,044	10,055	12,066	14,077	16,088	18,099	1,579	16
18	2,545	5,09	7,635	10,18	12,725	15,27	17,815	20,36	22,905	1,998	18
20	3,142	6,284	9,426	12,568	15,71	18,852	21,994	25,136	28,278	2,466	20
22	3,801	7,602	11,403	15,204	19,005	22,806	26,607	30,408	34,209	2,984	22
24	4,524	9,048	13,572	18,096	22,62	27,144	31,668	36,192	40,716	3,551	24
25	4,909	9,818	14,727	19,636	24,545	29,454	34,363	39,272	44,181	3,854	25
26	5,309	10,618	15,927	21,236	26,545	31,854	37,163	42,472	47,781	4,168	26
28	6,158	12,316	18,474	24,632	30,79	36,948	43,106	49,264	55,422	4,834	28
30	7,069	14,138	21,207	28,276	35,345	42,414	49,483	56,552	63,621	5,549	30
32	8,043	16,086	24,129	32,172	40,215	48,258	56,301	64,344	72,387	6,314	32
34	9,079	18,158	27,237	36,316	45,395	54,474	63,553	72,632	81,711	7,127	34
36	10,18	20,36	30,54	40,72	50,9	61,08	71,26	81,44	91,62	7,991	36
40	12,56	25,12	37,68	50,24	62,8	75,36	87,92	100,48	113,04	9,860	40

**Phụ lục 11 Hệ số  $\chi_1$  để xác định phần tải trọng truyền theo mỗi phương của bản chũ nhặt chịu tải trọng phân bố đều  $q$ :  $q_1 = \chi_1 q$ ;  $q_2 = (1 - \chi_1)q$** 

Tỉ số $l_2/l_1$	Hệ số $\chi_1$ ứng với các sơ đồ								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1,00	0,5000	0,7143	0,7143	0,8333	0,8333	0,5000	0,6667	0,6667	0,5000
1,10	0,5942	0,7854	0,6320	0,8798	0,7744	0,5942	0,7454	0,5780	0,5942
1,20	0,6747	0,8383	0,5410	0,9120	0,7079	0,6747	0,8057	0,4923	0,6747
1,30	0,7407	0,8772	0,4637	0,9340	0,6359	0,7407	0,8510	0,4126	0,7407
1,40	0,7935	0,9057	0,4151	0,9505	0,5657	0,7935	0,8848	0,3434	0,7935
1,50	0,8351	0,9268	0,3346	0,9620	0,4966	0,8351	0,9101	0,2888	0,8351
1,60	0,8676	0,9425	0,2767	0,9704	0,4324	0,8676	0,9291	0,2345	0,8676
1,70	0,8931	0,9543	0,2327	0,9766	0,3872	0,8931	0,9435	0,1956	0,8931
1,80	0,9130	0,9633	0,1972	0,9813	0,3239	0,9130	0,9545	0,1607	0,9130
1,90	0,9287	0,9702	0,1621	0,9849	0,2818	0,9287	0,9631	0,1341	0,9287
2,00	0,9412	0,9756	0,1351	0,9877	0,2381	0,9412	0,9697	0,1111	0,9412

**Phụ lục 12 Số liệu tính toán bản hai phương**

Mômen dương giữa bản:  $M_1 = m_{i1}P$ ;  $M_2 = m_{i2}P$  với  $P = pL_1L_2$

Mômen âm trên gối:  $M_I = -k_{i1}P$ ;  $M_{II} = k_{i2}P$

i - ký hiệu số sơ đồ ( $i = 1, 2 \dots 11$ ).

$\frac{L_2}{L_1}$	Sơ đồ 1		Sơ đồ 2		Sơ đồ 3			
	$m_{i1}$	$m_{i2}$	$m_{21}$	$m_{22}$	$k_{21}$	$m_{31}$	$m_{32}$	$k_{32}$
1,00	0,0365	0,0365	0,0334	0,0273	0,0892	0,0273	0,0334	0,0893
1,05	0,0364	0,0341	0,0343	0,0252	0,0895	0,0293	0,0325	0,0883
1,10	0,0399	0,0330	0,0349	0,0231	0,0892	0,0313	0,0313	0,0867
1,15	0,0414	0,0314	0,0353	0,0213	0,0885	0,0332	0,0302	0,0844
1,20	0,0426	0,0298	0,0357	0,0196	0,0872	0,0348	0,0292	0,0820
1,25	0,0440	0,0282	0,0359	0,0179	0,0859	0,0363	0,0280	0,0791
1,30	0,0425	0,0268	0,0359	0,0165	0,0843	0,0378	0,0269	0,0760
1,35	0,0461	0,0253	0,0358	0,0152	0,0827	0,0391	0,0258	0,0726
1,40	0,0469	0,0240	0,0357	0,0140	0,0808	0,0401	0,0248	0,0688
1,45	0,0475	0,0225	0,0353	0,0128	0,0790	0,0411	0,0237	0,0654
1,50	0,0480	0,0214	0,0350	0,0119	0,0772	0,0420	0,0228	0,0620
1,55	0,0484	0,0201	0,0346	0,0109	0,0754	0,0427	0,0219	0,0585
1,60	0,0485	0,0189	0,0341	0,0101	0,0735	0,0433	0,0208	0,0553
1,65	0,0486	0,0179	0,0338	0,0093	0,0718	0,0437	0,0198	0,0519
1,70	0,0488	0,0169	0,0333	0,0086	0,0701	0,0441	0,0190	0,0489
1,75	0,0486	0,0158	0,0329	0,0080	0,0685	0,0443	0,0181	0,0460
1,80	0,0485	0,0148	0,0326	0,0075	0,0668	0,0444	0,0172	0,0432
1,85	0,0484	0,0140	0,0321	0,0069	0,0653	0,0445	0,0165	0,0407
1,90	0,0480	0,0133	0,0316	0,0064	0,0638	0,0445	0,0157	0,0332
1,95	0,0476	0,0125	0,0310	0,0060	0,0624	0,0444	0,0144	0,0359
2,00	0,0473	0,0118	0,0303	0,0056	0,0610	0,0443	0,0142	0,0338

**Phụ lục 12** Số liệu tính toán bàn hai phương (tiếp theo)

$\frac{L_2}{L_1}$	Sơ đồ 4			Sơ đồ 5			Sơ đồ 6			
	$m_{41}$	$m_{42}$	$k_{41}$	$m_{51}$	$m_{52}$	$k_{51}$	$m_{61}$	$m_{62}$	$k_{61}$	$k_{62}$
1,00	0,0267	0,0180	0,0694	0,0180	0,0267	0,0694	0,0269	0,0269	0,0625	0,0625
1,05	0,0267	0,0161	0,0680	0,0199	0,0265	0,0705	0,0282	0,0255	0,0655	0,0590
1,10	0,0266	0,0146	0,0667	0,0218	0,0262	0,0708	0,0292	0,0242	0,0675	0,0558
1,15	0,0264	0,0131	0,0650	0,0236	0,0258	0,0710	0,0301	0,0228	0,0691	0,0522
1,20	0,0261	0,0118	0,0633	0,0254	0,0254	0,0707	0,0309	0,0214	0,0703	0,0488
1,25	0,0257	0,0108	0,0616	0,0271	0,0248	0,0700	0,0314	0,0202	0,0710	0,0454
1,30	0,0254	0,0097	0,0599	0,0287	0,0242	0,0689	0,0319	0,0188	0,071	0,0421
1,35	0,0250	0,0088	0,0582	0,0302	0,0235	0,0678	0,0320	0,0176	0,0711	0,0391
1,40	0,0245	0,0080	0,0565	0,0316	0,0229	0,0660	0,0323	0,0165	0,0709	0,0361
1,45	0,0240	0,0072	0,0550	0,0329	0,0222	0,0641	0,0324	0,0154	0,0703	0,0334
1,50	0,0235	0,0066	0,0534	0,0341	0,0214	0,0621	0,0324	0,0144	0,0695	0,0310
1,55	0,0230	0,0060	0,0519	0,0352	0,0207	0,0599	0,0323	0,0134	0,0686	0,0286
1,60	0,0226	0,0056	0,0506	0,0362	0,0200	0,0577	0,0321	0,0125	0,0678	0,0265
1,65	0,021	0,0051	0,0493	0,0369	0,0193	0,0555	0,0319	0,0117	0,0668	0,0245
1,70	0,0217	0,0047	0,0476	0,0376	0,0186	0,0531	0,0316	0,0109	0,0657	0,0228
1,75	0,0212	0,0043	0,0466	0,0383	0,0179	0,0507	0,0313	0,0097	0,0645	0,0211
1,80	0,0208	0,0040	0,0454	0,0388	0,0172	0,0484	0,0308	0,0096	0,0635	0,0196
1,85	0,0204	0,0037	0,0443	0,0393	0,0165	0,0461	0,0306	0,0089	0,0622	0,0183
1,90	0,0199	0,0034	0,0432	0,0396	0,0158	0,0439	0,0302	0,0084	0,0612	0,0169
1,95	0,0196	0,0032	0,0422	0,0398	0,0152	0,0418	0,0299	0,0078	0,0599	0,0160
2,00	0,0193	0,0030	0,0412	0,0400	0,0146	0,0397	0,0294	0,0074	0,0588	0,0147

**Phụ lục 12** Số liệu tính toán bản hai phương (tiếp theo)

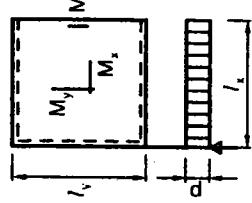
$\frac{L_2}{L_1}$	Số đố 7				Số đố 8				Số đố 9			
	$m_{T1}$	$m_{T2}$	$k_{T1}$	$k_{T2}$	$m_{B1}$	$m_{B2}$	$k_{B1}$	$k_{B2}$	$m_{E1}$	$m_{E2}$	$k_{E1}$	$k_{E2}$
1,00	0,0226	0,0198	0,0556	0,0417	0,0198	0,0226	0,0417	0,0556	0,0179	0,0179	0,0417	0,0417
1,05	0,0231	0,0184	0,0560	0,0385	0,0213	0,0221	0,0450	0,0545	0,0187	0,0171	0,0437	0,0394
1,10	0,0234	0,0169	0,0565	0,0350	0,0226	0,0212	0,0481	0,0530	0,0194	0,0161	0,0450	0,0372
1,15	0,0236	0,0154	0,0564	0,0319	0,0238	0,0206	0,0507	0,0511	0,0200	0,0150	0,0461	0,0349
1,20	0,0236	0,0142	0,0560	0,0292	0,0249	0,0198	0,0530	0,0491	0,0204	0,0142	0,0468	0,0325
1,25	0,0236	0,0132	0,0552	0,0267	0,0258	0,0189	0,0549	0,0470	0,0207	0,0133	0,0473	0,0303
1,30	0,0235	0,0120	0,0545	0,0242	0,0266	0,0181	0,0565	0,0447	0,0208	0,0123	0,0475	0,0281
1,35	0,0233	0,0110	0,0536	0,0222	0,0272	0,0172	0,0577	0,0424	0,0210	0,0115	0,0474	0,0262
1,40	0,0230	0,0102	0,0526	0,0202	0,0279	0,0162	0,0588	0,0400	0,0210	0,0107	0,0473	0,0240
1,45	0,0228	0,0094	0,0516	0,0185	0,0282	0,0154	0,0593	0,0377	0,0209	0,0100	0,0469	0,0223
1,50	0,0225	0,0086	0,0506	0,0169	0,0285	0,0146	0,0597	0,0354	0,0208	0,0093	0,0464	0,0206
1,55	0,0221	0,0079	0,0495	0,0155	0,0289	0,0138	0,0599	0,0332	0,0206	0,0086	0,0459	0,0191
1,60	0,0218	0,0073	0,0484	0,0142	0,0289	0,0130	0,0599	0,0312	0,0205	0,0080	0,0452	0,0177
1,65	0,0214	0,0067	0,0473	0,0131	0,0290	0,0123	0,0597	0,0293	0,0202	0,0074	0,0446	0,0164
1,70	0,0210	0,0062	0,0462	0,0120	0,0290	0,0116	0,0594	0,0274	0,0200	0,0069	0,0438	0,0152
1,75	0,0206	0,0058	0,0452	0,0112	0,0290	0,0109	0,0589	0,0256	0,0197	0,0064	0,0431	0,0141
1,80	0,0203	0,0054	0,0442	0,0102	0,0288	0,0103	0,0583	0,0240	0,0195	0,0060	0,0423	0,0131
1,85	0,0200	0,0050	0,0432	0,0095	0,0286	0,0097	0,0576	0,0225	0,0192	0,0056	0,0415	0,0122
1,90	0,0196	0,0046	0,0422	0,0088	0,0284	0,0092	0,0570	0,0212	0,0190	0,0052	0,0408	0,0113
1,95	0,0192	0,0043	0,0413	0,0082	0,0282	0,0086	0,0562	0,0198	0,0186	0,0049	0,0400	0,0107
2,00	0,0189	0,0040	0,0404	0,0076	0,0280	0,0081	0,0555	0,0187	0,0183	0,0046	0,0392	0,0098

**Phụ lục 12** Số liệu tính toán bǎn hai phuong (tiếp theo)

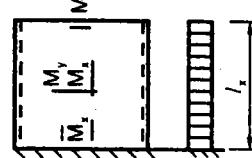
$\frac{L_2}{L_1}$	Sơ đồ 10				Sơ đồ 11			
	$m_{10-1}$	$m_{11-1}$	$k_{10-1}$	$k_{10-2}$	$m_{11-1}$	$m_{11-2}$	$k_{11-1}$	$k_{11-2}$
1,00	0,0099	0,0457	0,0510	0,0853	0,0457	0,0099	0,0853	0,0510
1,10	0,0102	0,0492	0,0574	0,0930	0,0421	0,0094	0,0777	0,0448
1,20	0,0102	0,0519	0,0636	0,1000	0,0389	0,0087	0,0712	0,0397
1,30	0,0100	0,0540	0,0700	0,1062	0,0362	0,0079	0,0658	0,0354
1,40	0,0097	0,0552	0,0761	0,1115	0,0336	0,0070	0,0609	0,0314
1,50	0,0095	0,0556	0,0821	0,1155	0,0311	0,0059	0,0562	0,0279

**Phụ lục 13** Sơ liệu tính toán bùn chũ nhợt chịu tải phần bố đều

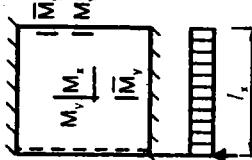
Sơ đồ 1



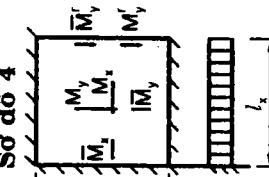
Sơ đồ 2



Sơ đồ 3



Sơ đồ 4



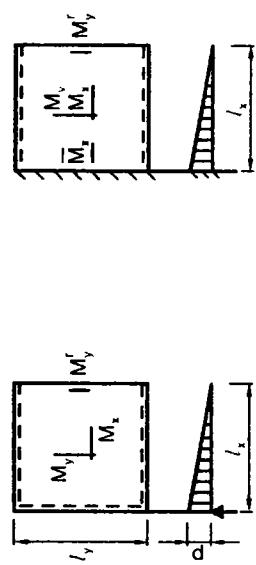
Sơ đồ	Độ vông mômen	Thứ số							$\frac{p l_y^4}{D}$ . Tính mômen $M_x$ : $p l_x^2$ , Tính mômen $M_y$ : $p l_y^2$
		0.30	0.40	0.50	0.60	0.70	0.80	0.90	
1	$t_o$	0.00149	0.00245	0.00348	0.00449	0.00543	0.00620	0.00711	0.00779
	$M_x$	0.0082	0.0126	0.0161	0.0184	0.0198	0.0207	0.0202	0.0195
	$M_y$	0.131	0.0220	0.0317	0.0413	0.0505	0.0580	0.0669	0.0735
	$t_i$	0.00285	0.00451	0.00615	0.00767	0.00892	0.00968	0.01084	0.01158
	$M'_y$	0.0256	0.00415	0.0575	0.0724	0.0848	0.0922	0.1037	0.1108
2	$t_o$	0.00029	0.00072	0.00134	0.00211	0.00297	0.00387	0.00474	0.00554
	$M_x$	-0.0069	-0.0056	-0.0031	-0.0011	0.0053	0.0090	0.0120	0.0144
	$M_y$	0.0017	0.0056	0.0111	0.0182	0.0261	0.0353	0.0436	0.0514
	$M'_x$	-0.4308	-0.3687	-0.3091	-0.2513	-0.2066	-0.1702	-0.1416	-0.1182
	$t_i$	0.00076	0.00182	0.00319	0.00475	0.00635	0.00780	0.00904	0.01003
	$M'_y$	0.0056	0.0153	0.0288	0.0436	0.0594	0.0736	0.0858	0.0955

**Phụ lục 13** Số liệu tính toán bản chử nhát chịu tải phân bố đều (tiếp theo)

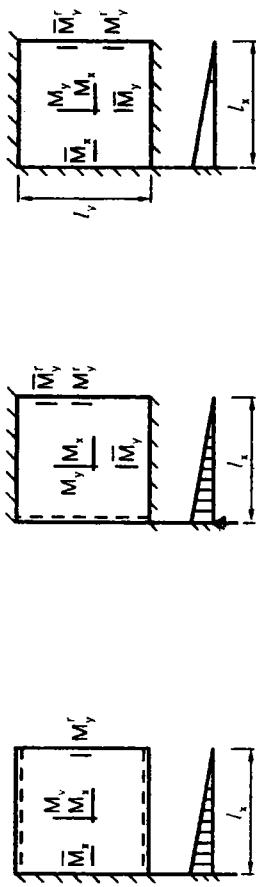
3	$f_0$	0,00093	0,00122	0,00147	0,00167	0,00185	0,00202	0,00216	0,00227	0,00245	0,00256	0,00259
	$M_x$	0,0077	0,0090	0,0098	0,0104	0,0103	0,0096	0,0086	0,0073	0,0055	0,0033	0,0011
	$M_y$	0,0117	0,0171	0,0217	0,0251	0,0284	0,0315	0,0336	0,0351	0,0378	0,0403	0,0415
	$\bar{M}_y$	-0,0377	-0,0472	-0,0557	-0,0612	-0,0662	-0,0707	-0,0744	-0,0771	-0,0805	-0,0828	-0,0833
	$f_i$	0,00160	0,00212	0,00243	0,00256	0,00264	0,00270	0,00274	0,00277	0,00281	0,00284	0,00286
	$M'_y$	0,0230	0,0307	0,0361	0,0403	0,0426	0,0438	0,0442	0,0445	0,0447	0,0449	0,0450
	$\bar{M}'_y$	-0,0693	-0,0782	-0,0846	-0,0852	-0,0854	-0,0853	-0,0850	-0,0848	-0,0846	-0,0845	-0,0845
4	$f_0$	0,00026	0,00056	0,00086	0,00114	0,00138	0,00158	0,00176	0,00193	0,00219	0,00238	0,00249
	$M_x$	-0,0048	-0,0014	0,0015	0,0044	0,0062	0,0076	0,0087	0,0084	0,0077	0,0052	0,0025
	$M_y$	0,0026	0,0070	0,0118	0,0170	0,0208	0,0236	0,0257	0,0275	0,0316	0,0362	0,0402
	$\bar{M}_x$	-0,3833	-0,2783	-0,2004	-0,1476	-0,1106	-0,0865	-0,0691	-0,0559	-0,0387	-0,0248	-0,0139
	$\bar{M}_y$	-0,0131	-0,0242	-0,0335	-0,0416	-0,0493	-0,0561	-0,0616	-0,0664	-0,0734	-0,0793	-0,0830
	$f_i$	0,00067	0,00129	0,00183	0,00219	0,00248	0,00263	0,00271	0,00276	0,00281	0,00284	0,00286
	$M'_y$	0,0078	0,0173	0,0268	0,0333	0,0384	0,0413	0,0426	0,0435	0,0443	0,0449	0,0450
	$\bar{M}'_y$	0,0333	-0,0545	0,0709	-0,0798	0,0837	-0,0848	-0,0850	-0,0851	-0,0848	-0,0846	-0,0845

**Phụ lục 14** Số liệu tính toán bén chìu nhát chịu tải phần bố tam giác

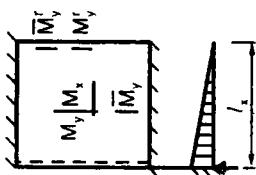
Số dô 1



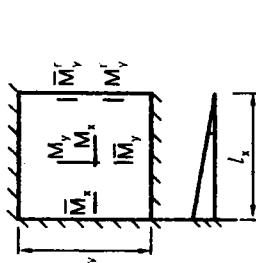
Số dô 2



Số dô 3



Số dô 4



Số dô	Độ vông mômen	Thừa số							Tính độ vông: $\frac{pl^4}{D}$ , Tính mômen $M_t$ : $pl_x^2$ , Tính mômen $M_y$ : $pl_y^2$
		0,30	0,40	0,50	0,60	0,70	0,80	0,90	
1	$f_0$	0,00051	0,00089	0,00127	0,00165	0,00204	0,00242	0,00284	0,00311
	$M_x$	0,0045	0,0071	0,0094	0,0111	0,0123	0,0131	0,0134	0,0133
	$M_y$	0,0045	0,0078	0,0112	0,0149	0,0187	0,0225	0,0258	0,0290
	$f_t$	0,00085	0,00149	0,00202	0,00245	0,00283	0,00307	0,00323	0,00336
	$M_x^r$	0,0086	0,0138	0,0190	0,0234	0,0271	0,0297	0,0313	0,0327
	$M_y^r$	0,00009	0,00021	0,00042	0,00069	0,00098	0,00132	0,00166	0,00200
2	$f_0$	-0,0016	-0,0001	0,0018	0,0038	0,0058	0,0078	0,0094	0,0108
	$M_x$	0,0005	0,0015	0,0032	0,0057	0,0087	0,0120	0,0150	0,0181
	$M_y$	-0,1504	-0,1342	-0,1158	-0,1003	-0,0864	-0,0746	-0,0655	-0,0574
	$\bar{M}_x$	0,00021	0,00049	0,00087	0,00132	0,00171	0,00209	0,00239	0,00261
	$f_t$	0,0015	0,0041	0,0077	0,0122	0,0162	0,0200	0,0229	0,0251
	$M_y^r$	0,00295	0,00574	0,00951	0,01330	0,01710	0,02090	0,02470	0,02880

Phụ lục 14 Số liệu tính toán bản chử nhặt chịu tải phân bố tam giác (tiếp theo)

	$f_0$	0,00032	0,00044	0,00056	0,00071	0,00081	0,00090	0,00098	0,00105	0,00114	0,00120	0,00124
	$M_x$	0,0044	0,0067	0,0077	0,0079	0,0078	0,0076	0,0070	0,0063	0,0050	0,0031	0,0009
	$M_y$	0,0038	0,0059	0,0079	0,0098	0,0115	0,0131	0,0145	0,0158	0,0180	0,0198	0,0208
	$\bar{M}_x$	-0,0138	-0,0186	-0,0227	-0,0262	-0,0294	-0,0322	-0,0344	-0,0365	-0,0393	-0,0414	-0,0425
	$\bar{M}_y$	0,00052	0,00065	0,00075	0,00080	0,00080	0,00074	0,00066	0,00057	0,00047	0,00036	0,00023
3	$f_i$											
	$M_x^r$	0,0073	0,0099	0,0115	0,0119	0,0118	0,0113	0,0106	0,0096	0,0083	0,0064	0,0042
	$\bar{M}_y^r$	-0,0212	-0,0227	-0,0228	-0,0202	-0,0178	-0,0155	-0,0132	-0,0113	-0,0092	-0,0070	-0,0046
	$f_0$	0,00008	0,00016	0,00025	0,00039	0,00054	0,00067	0,00074	0,00081	0,00102	0,00116	0,00123
	$M_x$	-0,0009	-0,0001	0,0015	0,0033	0,0049	0,0064	0,0073	0,0073	0,0066	0,0044	0,0020
	$M_y$	0,0008	0,0021	0,0036	0,0054	0,0074	0,0094	0,0108	0,0118	0,0138	0,0162	0,0188
	$\bar{M}_x$	-0,1369	-0,1147	-0,0196	-0,0728	-0,0565	-0,0453	-0,0390	-0,0345	-0,0260	-0,0182	-0,0112
	$\bar{M}_y$	-0,0048	-0,0079	-0,0117	-0,0160	-0,0202	-0,0241	-0,0272	-0,0301	-0,0347	-0,0382	-0,0412
	$f_i$	0,00017	0,00030	0,00044	0,0057	0,0060	0,0059	0,0057	0,0053	0,0046	0,0035	0,0023
4	$M_x^r$	0,0024	0,0048	0,0068	0,0083	0,0092	0,0099	0,0099	0,0095	0,0082	0,0063	0,0011
	$\bar{M}_y^r$	-0,0083	-0,0131	-0,0158	-0,0166	-0,0164	-0,0156	-0,0138	-0,0119	-0,0100	-0,0074	-0,0046

**Phụ lục 15** Số liệu tính toán băn hình tam giác chịu tải phần bố đều, phân bố tam giác

$P = pl^2 \frac{\sqrt{3}}{4} \approx 0,433pl^2$		$M_x = 0,00930 pl^2 = 0,0215P$ $M_y = 0,00980 pl^2 = 0,0226P$ $\bar{M}_\sigma = -0,02136 pl^2 = -0,0493P$	$M_x = 0,00930 pl^2 = 0,0215P$ $M_y = 0,00980 pl^2 = 0,0226P$ $\bar{M}_y = 0,00930 pl^2 = 0,0215P$
$P = pl^2 \frac{\sqrt{3}}{12} \approx 0,1433pl^2$		$M_x = 0,00373 pl^2 = 0,02584P$ $M_y = 0,00227 pl^2 = 0,01573P$ $\bar{M}_\sigma = -0,00752 pl^2 = -0,0621P$	$M_x = 0,00344 pl^2 = 0,02383P$ $M_y = 0,00224 pl^2 = 0,01552P$ $\bar{M}_\sigma = -0,00681 pl^2 = -0,0472P$
$M_x = 0,00739 pl^2 = 0,0512P$ $M_y = 0,00425 pl^2 = 0,0294P$		$M_x = 0,00373 pl^2 = 0,02584P$ $M_y = 0,00227 pl^2 = 0,01573P$ $\bar{M}_\sigma = -0,00752 pl^2 = -0,0621P$	$M_x = 0,00344 pl^2 = 0,02383P$ $M_y = 0,00224 pl^2 = 0,01552P$ $\bar{M}_\sigma = -0,00681 pl^2 = -0,0472P$
$M_x = 0,00425 pl^2 = 0,0294P$		$M_x = 0,00373 pl^2 = 0,02584P$ $M_y = 0,00227 pl^2 = 0,01573P$ $\bar{M}_\sigma = -0,00752 pl^2 = -0,0621P$	$M_x = 0,00344 pl^2 = 0,02383P$ $M_y = 0,00224 pl^2 = 0,01552P$ $\bar{M}_\sigma = -0,00681 pl^2 = -0,0472P$

**Phụ lục 15** Số liệu tính toán bán hình tam giác chịu tải  
phân bố đều, phân bố tam giác (tiếp theo)

$P = pl^2 \frac{\sqrt{3}}{6} \approx 0,2887 pl^2$		$M_x = 0,01063pl^2 = 0,0368P$ $M_y = 0,01139pl^2 = 0,0395P$ $\bar{M}_\sigma = -0,01430pl^2 = -0,0495P$	$M_x = 0,00468pl^2 = 0,01621P$ $M_y = 0,00552pl^2 = 0,01912P$ $\bar{M}_\sigma = -0,01119pl^2 = -0,03888P$ $\bar{M}_B = -0,01335pl^2 = -0,0462P$	$P = 0,707pl$		$M_x = 0,0063pl^2 = 0,0378P$
$P = \frac{pl^2}{2}$		$M_x = 0,0139pl^2 = 0,0278P$		$M_x = 0,0717pl = 0,01014P$ $M_y = 0,0106pl^2 = 0,0574P$		

**Phụ lục 16** Số liệu tính toán bǎn hai phuong, chịu tải trọng dạng tam giác

Mômen dương giữa bǎn và mômen âm trên gối:

$$M_1 = \alpha_1 P; M_2 = \alpha_2 P; M_I = -\beta_1 P; M_{II} = -\beta_2 P; M_{I,B} = -\alpha_{1,B} P$$

$$M_{I,H} = \alpha_{1,H} P; M_{II,B} = -\alpha_{2,B} P; M_{II,H} = -\alpha_{2,B} P; P = \frac{1}{2} p L_1 L_2$$

$\frac{L_2}{L_1}$	Số đố 1						Số đố 2						Số đố 3					
	$\sigma_1$	$\alpha_2$	$\beta_1$	$\beta_{I,H}$	$\beta_{II,B}$	$\alpha_1$	$\alpha_2$	$\beta_{I,H}$	$\beta_{II,B}$	$\beta_2$	$\alpha_1$	$\alpha_2$	$\beta_1$	$\beta_2$	$\alpha_1$	$\alpha_2$	$\beta_1$	$\beta_2$
1.0	0.0184	0.0206	0.0448	0.0562	0.0332	0.0206	0.0184	0.0562	0.0332	0.0446	0.0216	0.0194	0.0502	0.0588				
1.1	0.0205	0.0190	0.0477	0.0538	0.0302	0.0218	0.0160	0.0576	0.0353	0.0411	0.0229	0.0178	0.0515	0.0554				
1.2	0.0221	0.0173	0.0495	0.0506	0.0271	0.0227	0.0137	0.0580	0.0357	0.0372	0.0236	0.0161	0.0521	0.0517				
1.3	0.0229	0.0156	0.0504	0.0470	0.0237	0.0231	0.0112	0.0577	0.0376	0.0336	0.0239	0.0145	0.0522	0.0477				
1.4	0.0235	0.0137	0.0508	0.0431	0.0204	0.0233	0.0090	0.0569	0.0380	0.0302	0.0241	0.0131	0.0519	0.0432				
1.5	0.0241	0.0120	0.0510	0.0387	0.0168	0.0233	0.0072	0.0556	0.0382	0.0276	0.0241	0.0117	0.0514	0.0387				

**Phụ lục 16** Số liệu tính toán bốn hai phương, chịu tải trọng dạng tam giác (tiếp theo)

$\frac{L_2}{L_1}$	Sơ đồ 4				Sơ đồ 5				Sơ đồ 6			
	$\alpha_1$	$\alpha_2$	$\beta_1$	$\beta_2$	$\alpha_1$	$\alpha_2$	$\beta_1$	$\beta_2$	$\alpha_1$	$\alpha_2$	$\beta_1$	$\beta_2$
1,0	0,0194	0,0216	0,0588	0,0502	0,0246	0,0172	0,0538	0,0598	0,0172	0,0246	0,0598	0,0538
1,1	0,0211	0,0198	0,0614	0,0480	0,0248	0,0163	0,0538	0,0553	0,0178	0,0244	0,0640	0,0535
1,2	0,0228	0,0178	0,0633	0,0435	0,0250	0,0153	0,0535	0,0510	0,0180	0,0242	0,0677	0,0533
1,3	0,0243	0,0153	0,0644	0,0418	0,0250	0,0142	0,0529	0,0469	0,0182	0,0244	0,0709	0,0533
1,4	0,0257	0,0132	0,0650	0,0396	0,0247	0,0128	0,0522	0,0429	0,0180	0,0249	0,0739	0,0536
1,5	0,0271	0,0120	0,0652	0,0357	0,0245	0,0114	0,0514	0,0390	0,0177	0,0261	0,0765	0,0555

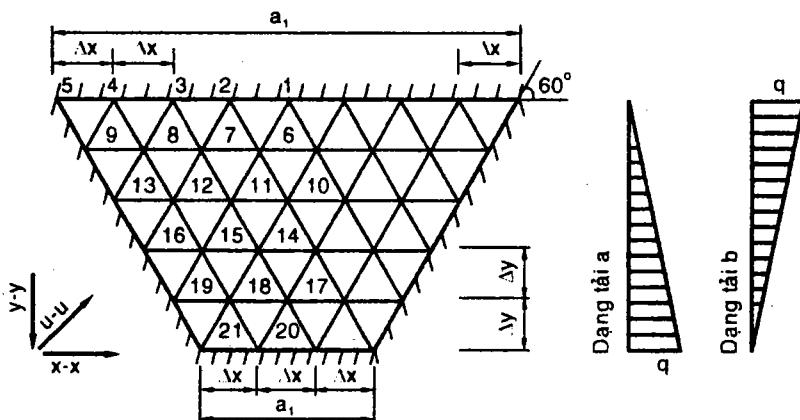
**Phụ lục 17** Độ vông  $w$  tại tâm của tam chữ nhật ( $a \times b$ ) ngâm theo chu vi chịu tải phân bố đều  $q$ 

$$w = \alpha \cdot q \frac{a^4}{D} \text{ với } D = \frac{E_b h^3}{12(1 - \mu^2)} \text{ (độ cứng trụ)}$$

 $\alpha$  - hệ số;  $h$  - chiều dày của tấm;  $\mu$  - hệ số poát-xông;  $a < b$ 

$b/a$	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2,0
$\alpha$	0,00126	0,00150	0,00172	0,00191	0,00207	0,00220	0,00230	0,00238	0,00245	0,00249	0,00254

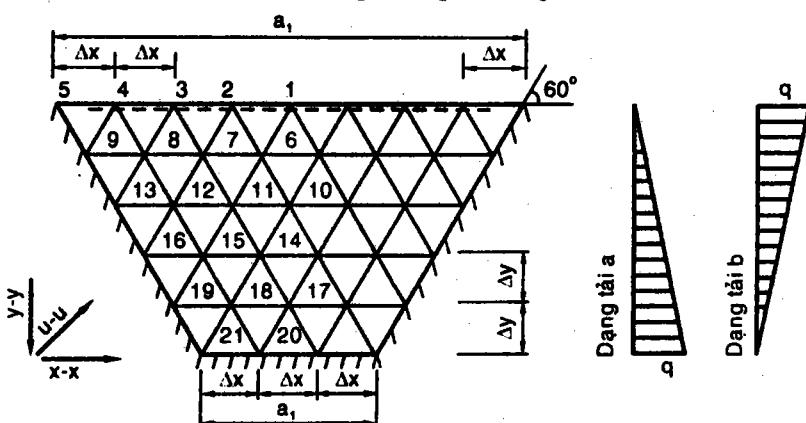
**Phụ lục 18** Số liệu tính toán bản hình thang chịu tải phân bố dạng tam giác



$$a_1 = \frac{3}{8} a_2; \quad M_u = \mu_u q \Delta x^2; \quad M_x = \mu_x q \Delta x^2; \quad M_y = \mu_y q \Delta x^2$$

Điểm	Dạng tải a			Dạng tải b			Điểm
	$\mu_u$	$\mu_x$	$\mu_y$	$\mu_u$	$\mu_x$	$\mu_y$	
1	-	-0.0685	-0.4110	-	-0.1098	-0.6588	1
2	-	-0.0569	-0.3417	-	-0.0961	-0.5767	2
3	-	-0.0301	-0.1806	-	-0.0598	-0.3591	3
4	-	-0.0074	-0.0443	-	-0.0186	-0.1118	4
5	0	0	0	0	0	0	5
6	-	0.0488	-0.0105	-	0.0830	0.1390	6
7	-	0.0161	0.0022	-	0.0630	0.1444	7
8	-	-0.0318	0.0167	-	0.0015	0.1146	8
9	-0.0443	-0.0315	-0.0166	-0.1118	-0.0885	-0.0419	9
10	-	0.1679	0.2171	-	0.1888	0.3210	10
11	-	0.1201	0.1829	-	0.1537	0.2805	11
12	-	-0.0604	0.1180	-	0.0135	0.1499	12
13	-0.2003	-0.1584	-0.0751	-0.3356	-0.2656	-0.1258	13
14	-	0.2041	0.2521	-	0.1736	0.1745	14
15	-	0.0411	0.1296	-	0.0510	0.1237	15
16	-0.4049	-0.3205	-0.1518	-0.4638	-0.3671	-0.1739	16
17	-	0.1418	0.0931	-	0.0854	-0.0543	17
18	-	0.0935	0.0376	-	0.0386	-0.0773	18
19	-0.4219	-0.3604	-0.1707	-0.3754	-0.2971	-0.1408	19
20	-	-0.0832	-0.4993	-	-0.0559	-0.3354	20
21	-0.1805	-0.1805	-0.1805	-0.1184	-0.1184	-0.1184	21

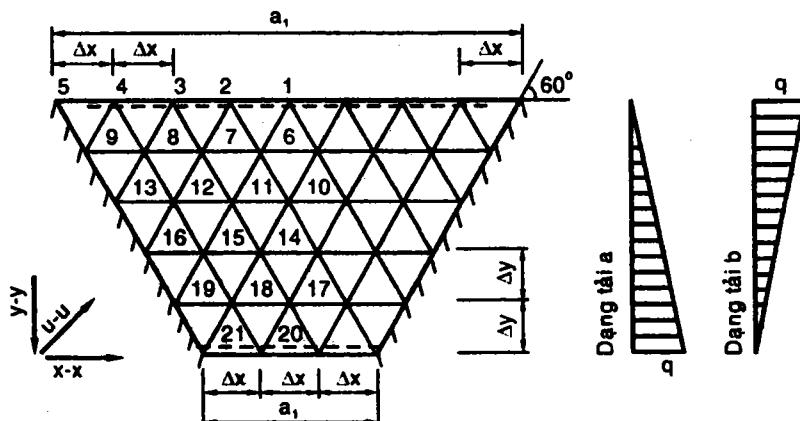
**Phụ lục 18** Số liệu tính toán bản hình thang chịu tải  
phân bố dạng tam giác (tiếp theo)



$$a_1 = \frac{3}{8} a_2; \quad M_u = \mu_u q \Delta x^2; \quad M_x = \mu_x q \Delta x^2; \quad M_y = \mu_y q \Delta x^2$$

Điểm	Dạng tải a			Dạng tải b			Điểm
	$\mu_u$	$\mu_x$	$\mu_y$	$\mu_u$	$\mu_x$	$\mu_y$	
1	-	0	0	-	0	0	1
2	-	0	0	-	0	0	2
3	-	0	0	-	0	0	3
4	-	0	0	-	0	0	4
5	0	0	0	-	0	0	5
6	-	0,1195	0,1728	-	0,1979	0,4472	6
7	-	0,0539	0,1405	-	0,1291	0,3764	7
8	-	-0,0455	0,0755	-	-0,0141	0,2243	8
9	-0,0866	-0,0686	-0,0325	-0,1896	-0,1501	-0,0707	9
10	-	0,2272	0,2841	-	0,2773	0,3847	10
11	-	0,1614	0,2437	-	0,2239	0,3731	11
12	-	-0,0332	0,1225	-	0,000	0,1803	12
13	-0,3020	-0,3497	-0,1656	0,5170	-0,4093	-0,1939	13
14	-	0,2367	0,2510	-	0,2291	0,1757	14
15	-	0,0399	0,1148	-	0,0397	0,0377	15
16	-0,5111	-0,4046	-0,1917	-0,6472	-0,5124	-0,2427	16
17	-	0,1538	0,0618	-	0,1058	-0,1055	17
18	-	0,0945	0,0073	-	0,0402	-0,1291	18
19	-0,5220	-0,4132	-0,1960	-0,4890	-0,3871	-0,1834	19
20	-	-0,0918	-0,5510	-	-0,0705	-0,4230	20
21	-0,1980	-0,1980	-0,1980	-0,1480	-0,1480	-0,1480	21

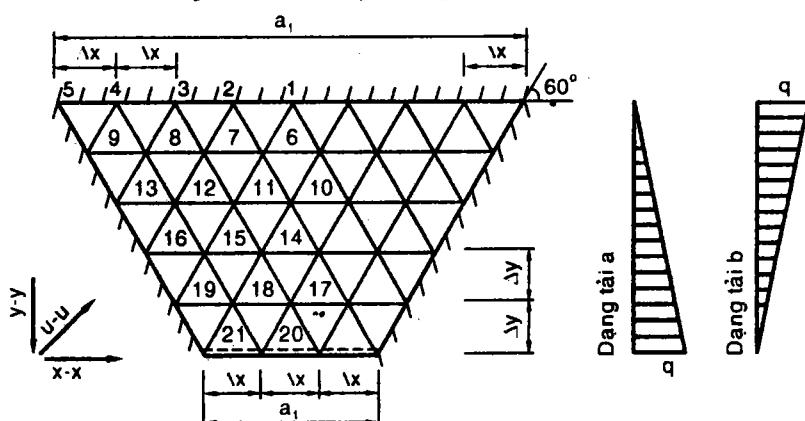
**Phụ lục 18** Số liệu tính toán bản hình thang chịu tải  
phân bố dạng tam giác (tiếp theo)



$$a_1 = \frac{3}{8} a_2; \quad M_u = \mu_u q \Delta x^2; \quad M_x = \mu_x q \Delta x^2; \quad M_y = \mu_y q \Delta x^2$$

Điểm	Dạng tải a			Dạng tải b			Điểm
	$\mu_u$	$\mu_x$	$\mu_y$	$\mu_u$	$\mu_x$	$\mu_y$	
1	-	0	0	-	0	0	1
2	-	0	0	-	0	0	2
3	-	0	0	-	0	0	3
4	-	0	0	-	0	0	4
5	0	0	0	0	0	0	5
6	-	0,1349	0,1742	-	0,2097	0,4483	6
7	-	0,0541	0,1435	-	0,1292	0,3788	7
8	-	-0,0560	0,0771	-	-0,0222	0,2225	8
9	-0,0922	-0,0730	-0,0346	-0,1938	-0,1535	-0,0727	9
10	-	0,2708	0,2940	-	0,3201	0,4434	10
11	-	0,1804	0,2529	-	0,2385	0,3802	11
12	-	0,0545	0,1261	-	-0,0163	0,1831	12
13	-0,3303	-0,4579	-0,2169	-0,5386	-0,4264	-0,2020	13
14	-	0,3062	0,2956	-	0,2818	0,2068	14
15	-	0,0241	0,1313	-	0,0275	0,0503	15
16	-0,5935	-0,4699	-0,2226	0,7102	-0,5623	-0,2663	16
17	-	0,2747	0,2520	-	0,1984	0,0383	17
18	-	0,1528	0,1263	-	0,0845	-0,0381	18
19	-0,6956	-0,5507	-0,2609	0,6217	-0,4922	-0,2332	19
20	-	0	0	-	0	0	20
21	0	0	0	0	0	0	21

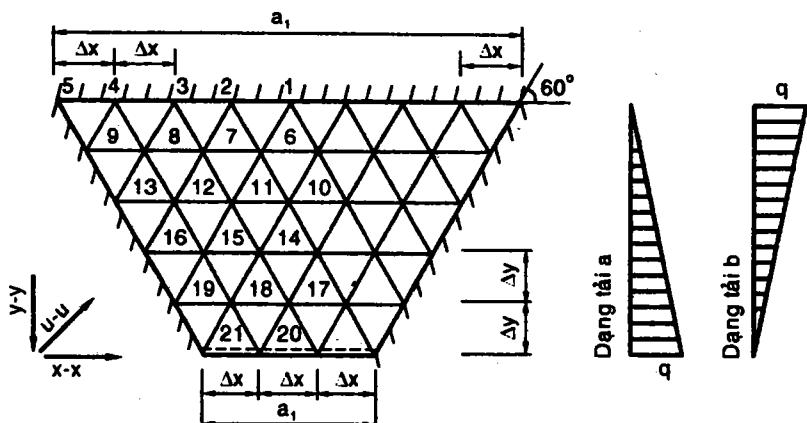
**Phụ lục 18** Số liệu tính toán bản hình thang chịu tải  
phân bố dạng tam giác (tiếp theo)



$$a_1 = \frac{3}{8} a_2; \quad M_u = \mu_u q \Delta x^2; \quad M_x = \mu_x q \Delta x^2; \quad M_y = \mu_y q \Delta x^2$$

Điểm	Dạng tải a			Dạng tải b			Điểm
	$\mu_u$	$\mu_x$	$\mu_y$	$\mu_u$	$\mu_x$	$\mu_y$	
1	-	-0,0765	-0,4590	-	-0,1152	-0,6910	1
2	-	-0,0629	-0,3774	-	-0,1001	-0,6006	2
3	-	-0,0322	-0,1935	-	-0,0613	-0,3677	3
4	-	-0,0076	-0,0456	-	-0,0188	-0,1126	4
5	0	0	0	0	0	0	5
6	-	0,0547	-0,0287	-	0,0870	0,1268	6
7	-	0,0147	-0,0026	-	0,0609	0,1374	7
8	-	-0,0393	0,0130	-	-0,0031	0,1123	8
9	-0,0456	-0,0361	-0,0171	-0,1126	-0,0892	-0,0422	9
10	-	0,2003	0,2183	-	0,2106	0,3221	10
11	-	0,1329	0,1919	-	0,1623	0,2823	11
12	-	-0,0411	0,1053	-	0,0016	0,1507	12
13	-0,2160	-0,1709	-0,0810	-0,3461	-0,2740	-0,1298	13
14	-	0,2630	0,2922	-	0,2132	0,2014	14
15	-	0,0270	0,1457	-	0,0316	0,0745	15
16	-0,4681	-0,3705	-0,1755	-0,5061	-0,4006	-0,1898	16
17	-	0,2492	0,2671	-	0,1574	0,0623	17
18	-	0,1458	0,1476	-	0,0734	-0,0037	18
19	-0,6042	-0,4783	-0,2266	-0,4750	-0,3761	-0,1781	19
20	-	0	0	-	0	0	20
21	0	0	0	-	0	0	21

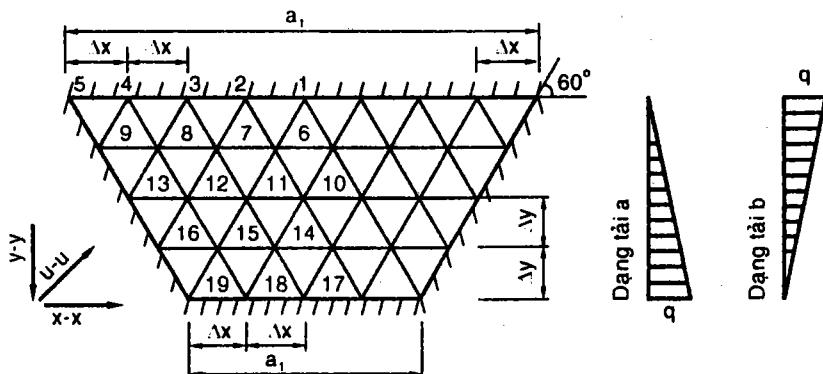
**Phụ lục 18** Số liệu tính toán bản hình thang chịu tải  
phân bố dạng tam giác (tiếp theo)



$$a_1 = \frac{1}{2} a_2; \quad M_u = \mu_u q \Delta x^2; \quad M_x = \mu_x q \Delta x^2; \quad M_y = \mu_y q \Delta x^2$$

Điểm	Dạng tải a			Dạng tải b			Điểm
	$\mu_u$	$\mu_x$	$\mu_y$	$\mu_u$	$\mu_x$	$\mu_y$	
1	-	-0,0767	-0,4600	-	-0,0941	-0,5465	1
2	-	-0,0649	-0,3896	-	-0,0832	-0,4994	2
3	-	-0,0359	-0,2153	-	-0,0532	-0,3193	3
4	-	-0,0093	-0,0456	-	-0,0170	-0,1022	4
5	0	0	0	0	0	0	5
6	-	0,0546	0,0191	-	0,0720	0,1472	6
7	-	0,0290	0,0277	-	0,0605	0,1451	7
8	-	-0,0260	0,0545	-	0,0092	0,1111	8
9	-0,0563	-0,0441	-0,0209	-0,1022	-0,0809	-0,0383	9
10	-	0,1646	0,3027	-	0,1454	0,2923	10
11	-	0,1400	0,2583	-	0,1293	0,2519	11
12	-	-0,0002	0,1383	-	0,0245	0,1309	12
13	-0,2374	-0,1878	-0,0890	-0,2921	-0,2312	-0,1095	13
14	-	0,1629	0,3297	-	0,1119	0,1633	14
15	-	0,0995	0,1851	-	0,0554	0,0642	15
16	-0,4238	-0,3354	-0,1586	-0,3673	-0,2907	-0,1377	16
17	-	0	0	-	0	0	17
18	-	0	0	-	0	0	18
19	0	0	0	-	0	0	19

## **Phụ lục 18 Số liệu tính toán bản hình thang chịu tải phân bố dạng tam giác (tiếp theo)**



$$a_1 = \frac{1}{2} a_2; \quad M_u = \mu_u q \Delta x^2; \quad M_x = \mu_x q \Delta x^2; \quad M_y = \mu_y q \Delta x^2$$

**Phụ lục 19** Số liệu tính toán bôan chữ nhật chịu tải tập trung

$$M_1 = \alpha_1 P; \quad M_2 = \alpha_2 P; \quad M_I = -\beta_1 P; \quad M_{II} = -\beta_2 P$$

$\frac{l_2}{l_1}$	Sơ đồ 1		Sơ đồ 2			
	$\alpha_1$	$\alpha_2$	$\alpha_1$	$\alpha_2$	$\beta_1$	$\beta_2$
1,00	0,146	0,146	0,108	0,108	0,094	0,094
1,10	0,162	0,143	0,118	0,104	0,113	0,083
1,20	0,179	0,141	0,128	0,100	0,126	0,074
1,30	0,198	0,140	0,136	0,096	0,139	0,063
1,40	0,214	0,138	0,143	0,092	0,149	0,055
1,50	0,230	0,137	0,150	0,088	0,156	0,047
1,60	0,244	0,135	0,156	0,086	0,162	0,040
1,70	0,258	0,134	0,160	0,083	0,167	0,035
1,80	0,270	0,132	0,162	0,080	0,171	0,030
1,90	0,280	0,131	0,165	0,078	0,174	0,026
2,00	0,290	0,130	0,168	0,076	0,176	0,022

**Phụ lục 20** Sổ liệu tính toán bản hình tam giác chịu tải  
phân bố tam giác

$$\lambda = \frac{l}{8}; \text{ độ vồng } z = \alpha \frac{p\lambda^4}{D}$$

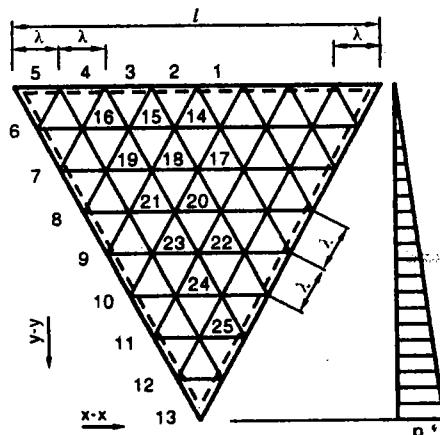
$$\text{Độ cong: } \frac{1}{\rho_{x,y}} = \gamma_{x,y} \frac{p\lambda^2}{D}$$

$$\text{Mômen: } M_x = \eta_x p\lambda^2$$

$$M_y = \eta_y p\lambda^2$$

$$\text{Phản lực: } R = \beta p\lambda$$

$$\text{Độ cứng trụ: } D = \frac{Eh^3}{12(1 - \mu^2)}$$



Điểm	$\alpha$	$\gamma_x$	$\gamma_y$	$\eta_x$	$\eta_y$	$\beta$
1	0	0	0	0	0	0,409
2	0	0	0	0	0	0,351
3	0	0	0	0	0	0,189
4	0	0	0	0	0	-0,018
5	0	0	0	0	0	-0,123
6	0	0,1279	-0,1279	-0,1066	0,1066	0,027
7	0	0,1848	-0,1848	-0,1540	0,1540	0,300
8	0	0,1585	-0,1585	-0,1321	0,1321	0,590
9	0	0,0594	-0,0594	-0,0495	0,0495	0,866
10	0	-0,0824	0,0824	0,0686	-0,0686	0,953
11	0	-0,2119	0,2119	0,1766	-0,1766	0,877
12	0	-0,2364	0,2364	0,1970	-0,1970	0,478
13	0	0	0	0	0	-0,227
14	0,40440	-0,1107	-0,1521	0,1361	0,1705	-
15	0,29368	-0,0551	-0,1510	0,0802	0,1602	-
16	0,12790	0,0379	-0,1452	-0,0137	0,1389	-
17	0,72617	-0,2364	-0,2557	0,2790	0,2951	-
18	0,60796	-0,1770	-0,2513	0,2189	0,2808	-
19	0,31273	-0,0175	-0,2329	0,0563	0,2358	-
20	0,79707	-0,3259	-0,2718	0,3712	0,3261	-
21	0,47120	-0,1453	-0,2405	0,1854	0,2648	-
22	0,75283	-0,4444	-0,1990	0,4776	0,2730	-
23	0,53064	-0,3084	-0,1679	0,3364	0,2193	-
24	0,44827	-0,4483	-0,0327	0,4537	0,1074	-
25	0,23638	-0,4728	0,1249	0,4519	-0,0461	-

**Phụ lục 20** Số liệu tính toán bản hình tam giác chịu tải phân bố tam giác (tiếp theo)

$$\lambda = \frac{l}{8}; \text{ độ võng } z = \alpha \frac{p\lambda^4}{D}$$

$$\text{Độ cong: } \frac{1}{\rho_{x,y}} = \gamma_{x,y} \frac{p\lambda^2}{D}$$

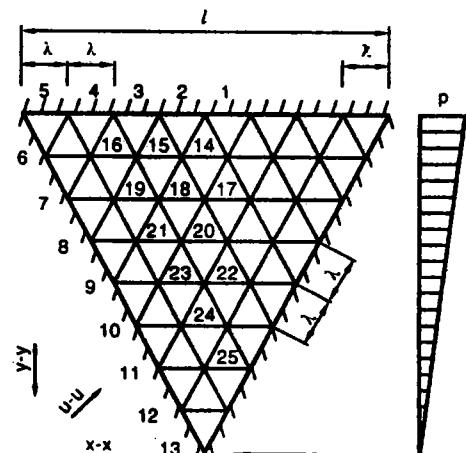
$$\text{Mômen: } M_u = \eta_u p\lambda^2$$

$$M_x = \eta_x p\lambda^2$$

$$M_y = \eta_y p\lambda^2$$

$$\text{Phản lực: } R = \beta p\lambda$$

$$\text{Độ cứng trụ: } D = \frac{Eh^3}{12(1 - \mu^2)}$$



Điểm	$\alpha$	$\gamma_x$	$\gamma_y$	$\eta_u$	$\eta_x$	$\eta_y$	$\beta$
1	0	0	0,8543	-	-0,1424	-0,8543	1,638
2	0	0	0,7348	-	-0,1225	-0,7348	1,491
3	0	0	0,4366	-	-0,0728	-0,4366	1,087
4	0	0	0,1289	-	-0,0215	-0,1289	0,557
5	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0,0967	-0,0322	-0,1289	-0,1021	-0,0483	0,503
7	0	0,3170	0,1057	-0,4226	-0,3346	-0,1585	0,948
8	0	0,5048	0,1683	-0,6730	-0,5328	-0,2524	1,206
9	0	0,5372	0,1791	-0,7162	-0,5670	-0,2686	1,164
10	0	0,4014	0,1338	-0,5352	-0,4237	-0,2007	0,846
11	0	0,1907	0,0636	-0,2534	-0,2013	-0,0954	0,402
12	0	0,0420	0,0140	-0,0560	-0,0443	-0,0210	0,069
13	0	0	0	0	0	0	0
14	0,32036	-0,0896	-0,1001	-	0,1063	0,1150	-
15	0,23075	-0,0444	-0,1288	-	0,0659	0,1362	-
16	0,09671	0,0373	-0,1235	-	-0,0168	0,1173	-
17	0,59925	-0,2240	-0,3535	-	0,2829	0,3909	-
18	0,48728	-0,1550	-0,3193	-	0,2082	0,3452	-
19	0,22027	0,0467	-0,1950	-	-0,0142	0,1872	-
20	0,55699	-0,2725	-0,2334	-	0,3114	0,2788	-
21	0,28450	-0,0120	-0,1145	-	0,0311	0,1165	-
22	0,40235	-0,2994	-0,0321	-	0,3047	0,0820	-
23	0,25267	-0,1030	0,0207	-	0,0995	-0,0035	-
24	0,14877	-0,1488	0,1175	-	0,1292	-0,0927	-
25	0,04196	-0,0839	0,1144	-	0,0659	-0,1005	-

**Phụ lục 20** Số liệu tính toán bản hình tam giác chịu tải  
phân bố tam giác (tiếp theo)

$$\lambda = \frac{l}{8}; \text{ độ võng } z = \alpha \frac{p\lambda^4}{D}$$

$$\text{Độ cong: } \frac{1}{\rho_{x,y}} = \gamma_{x,y} \frac{p\lambda^2}{D}$$

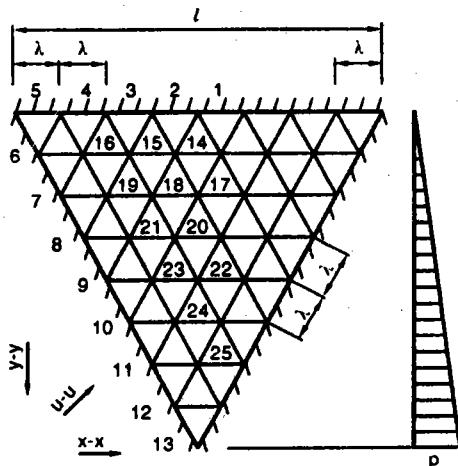
$$\text{Mômen: } M_u = \eta_u p\lambda^2$$

$$M_x = \eta_x p\lambda^2$$

$$M_y = \eta_y p\lambda^2$$

$$\text{Phản lực: } R = \beta p\lambda$$

$$\text{Độ cứng trụ: } D = \frac{Eh^3}{12(1 - \mu^2)}$$



Điểm	$\alpha$	$\gamma_x$	$\gamma_y$	$\eta_u$	$\eta_x$	$\eta_y$	$\beta$
1	0	0	0,2891	-	-0,0482	-0,2891	0,345
2	0	0	0,2367	-	-0,0394	-0,2367	0,281
3	0	0	0,1202	-	-0,0200	-0,1202	0,132
4	0	0	0,0280	-	-0,0047	-0,0280	0,007
5	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0,0210	0,0070	-0,0280	-0,0221	-0,0105	0,061
7	0	0,1006	0,0335	-0,1341	-0,1062	-0,0503	0,271
8	0	0,2239	0,0746	-0,2985	-0,2363	-0,1119	0,565
9	0	0,3204	0,1068	-0,4271	-0,3382	-0,1602	0,819
10	0	0,3272	0,1091	-0,4361	-0,3454	-0,1636	0,926
11	0	0,2268	0,0756	-0,3025	-0,2394	-0,1134	0,816
12	0	0,0757	0,0252	-0,1010	-0,0790	-0,0379	0,496
13	0	0	0	0	0	0	0
14	0,10840	-0,0393	0,0297	-	0,0343	-0,2332	-
15	0,06914	-0,0089	0,0058	-	0,0080	-0,0048	-
16	0,02098	0,0272	-0,0119	-	-0,0252	0,0074	-
17	0,25736	-0,1124	-0,1048	-	0,1298	0,1235	-
18	0,20117	-0,0655	-0,1004	-	0,0821	0,1113	-
19	0,07962	0,0419	-0,0700	-	-0,0303	0,0630	-
20	0,29962	-0,1553	-0,1334	-	0,1776	0,1593	-
21	0,14427	0,0111	-0,0838	-	0,0029	0,0820	-
22	0,28610	-0,2200	-0,0886	-	0,2348	0,1253	-
23	0,17610	-0,0661	-0,0509	-	0,0746	0,0619	-
24	0,15113	0,1511	0,0060	-	0,1301	0,0192	-
25	0,07573	-0,1541	0,0500	-	0,1431	-0,0248	-

**Phụ lục 20** Số liệu tính toán bản hình tam giác chịu tải phân bố tam giác (tiếp theo)

$$\lambda = \frac{l}{8}; \text{ độ võng } z = \alpha \frac{p\lambda^4}{D}$$

$$\text{Độ cong: } \frac{1}{\rho_{x,y}} = \gamma_{x,y} \frac{p\lambda^2}{D}$$

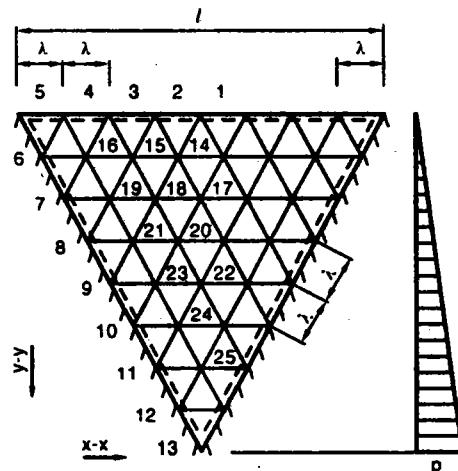
$$\text{Mômen: } M_u = \eta_u p\lambda^2$$

$$M_x = \eta_x p\lambda^2$$

$$M_y = \eta_y p\lambda^2$$

$$\text{Phản lực: } R = \beta p\lambda$$

$$\text{Độ cứng trụ: } D = \frac{Eh^3}{12(1 - \mu^2)}$$



Điểm	$\alpha$	$\gamma_x$	$\gamma_y$	$\eta_u$	$\eta_x$	$\eta_y$	$\beta$
1	0	0	0	-	0	0	0,253
2	0	0	0	-	0	0	0,194
3	0	0	0	-	0	0	0,078
4	0	0	0	-	0	0	-0,069
5	0	0	0	0	0	0	-0,041
6	0	0,0427	0,0142	-0,0569	-0,0451	-0,0213	0,126
7	0	0,1537	0,0512	-0,2050	-0,1623	-0,0769	0,369
8	0	0,2815	0,0938	-0,3753	-0,2971	-0,1408	0,651
9	0	0,3612	0,1204	-0,4816	-0,3813	-0,1806	0,869
10	0	0,3466	0,1155	-0,4621	-0,3658	-0,1733	0,942
11	0	0,2317	0,0772	-0,3089	-0,2446	-0,1158	0,815
12	0	0,0759	0,0252	-0,1012	-0,0801	-0,0379	0,551
13	0	0	0	0	0	0	0
14	0,19923	-0,0690	-0,0925	-	0,0844	0,1040	-
15	0,13020	-0,0185	-0,0740	-	0,0324	0,0871	-
16	0,04271	0,0448	-0,0548	-	-0,0356	0,0473	-
17	0,34902	-0,1489	-0,1456	-	0,1732	0,1705	-
18	0,27456	-0,0891	-0,1343	-	0,1114	0,1491	-
19	0,11104	0,0525	-0,0847	-	-0,0384	0,0759	-
20	0,35235	-0,1819	-0,1294	-	0,2034	0,1597	-
21	0,17047	0,0114	-0,0742	-	0,0010	0,0728	-
22	0,31006	-0,2386	-0,0697	-	0,2502	0,1095	-
23	0,19076	-0,0715	-0,0324	-	0,0769	0,0444	-
24	0,15581	-0,1558	0,0209	-	0,1523	0,0051	-
25	0,07583	-0,1518	0,0560	-	0,1424	-0,0307	-

**Phụ lục 20. Số liệu tính toán bản hình tam giác chịu tải phân bố tam giác (tiếp theo)**

$$\lambda = \frac{l}{8}; \text{ độ vông } z = \alpha \frac{p\lambda^4}{D}$$

$$\text{Độ cong: } \frac{1}{\rho_{x,y}} = \gamma_{x,y} \frac{p\lambda^2}{D}$$

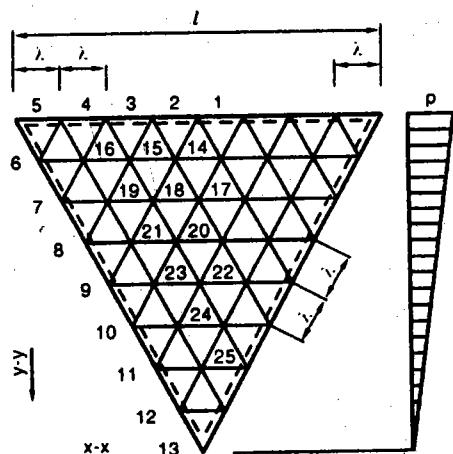
$$\text{Mômen: } M_u = \eta_u p\lambda^2$$

$$M_x = \eta_x p\lambda^2$$

$$M_y = \eta_y p\lambda^2$$

$$\text{Phản lực: } R = \beta p\lambda$$

$$\text{Độ cứng trụ: } D = \frac{Eh^3}{12(1 - \mu^2)}$$



Điểm	$\alpha$	$\gamma_x$	$\gamma_y$	$\eta_u$	$\eta_x$	$\eta_y$	$\beta$
1	0	0	0	-	0	0	1,359
2	0	0	0	-	0	0	1,220
3	0	0	0	-	0	0	0,827
4	0	0	0	-	0	0	0,284
5	0	0	0	0	0	0	-0,163
6	0	0,1697	0,0566	-0,2262	-0,1791	-0,0848	0,745
7	0	0,4900	0,1633	-0,6534	-0,5173	-0,2450	1,279
8	0	0,6866	0,2289	-0,9155	-0,7247	-0,3433	1,477
9	0	0,6642	0,2214	-0,8856	-0,7011	-0,3321	1,318
10	0	0,4612	0,1537	-0,6149	-0,4868	-0,2306	0,896
11	0	0,2056	0,0685	-0,2741	-0,2170	-0,1028	0,396
12	0	0,0424	0,0141	-0,0565	-0,0448	-0,0212	0,092
13	0	0	0	0	0	0	0
14	0,60141	-0,1765	-0,4787	-	0,2563	0,5081	-
15	0,42489	-0,0787	-0,4158	-	0,1480	0,4289	-
16	0,16966	0,0856	-0,2674	-	-0,4100	0,2531	-
17	0,88314	-0,3339	-0,4814	-	0,4142	0,5372	-
18	0,71617	-0,2288	-0,4250	-	0,2996	0,4631	-
19	0,32037	0,0754	-0,2390	-	-0,0356	0,2264	-
20	0,72033	-0,3541	-0,2204	-	0,3908	0,2794	-
21	0,36621	-0,0121	-0,0828	-	0,0259	0,0848	-
22	0,47637	-0,3567	0,0266	-	0,3522	0,0329	-
23	0,29803	-0,1197	0,0783	-	0,1066	-0,0584	-
24	0,16318	-0,1632	0,1638	-	0,1359	-0,1366	-
25	0,04241	-0,0848	0,1327	-	0,0627	-0,1186	-

**Phụ lục 20** Số liệu tính toán bản hình tam giác chịu tải  
phân bố tam giác (tiếp theo)

$$\lambda = \frac{l}{8}; \text{ độ vồng } z = \alpha \frac{p\lambda^4}{D}$$

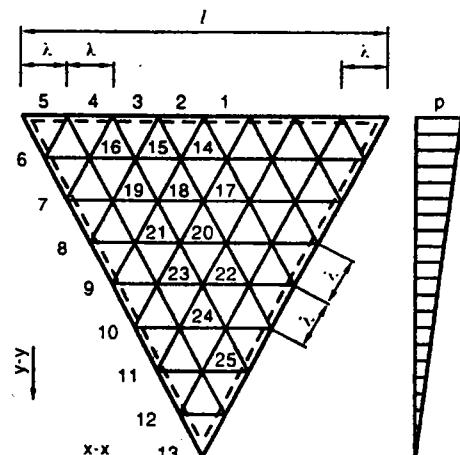
$$\text{Độ cong: } \frac{1}{p_{x,y}} = \gamma_{x,y} \frac{p\lambda^2}{D}$$

$$\text{Mômen: } M_x = \eta_x p\lambda^2$$

$$M_y = \eta_y p\lambda^2$$

$$\text{Phản lực: } R = \beta p\lambda$$

$$\text{Độ cứng trục: } D = \frac{Eh^3}{12(1 - \mu^2)}$$



Điểm	$\alpha$	$\gamma_x$	$\gamma_y$	$\eta_x$	$\eta_y$	$\beta$
1	0	0	0	0	0	1,661
2	0	0	0	0	0	1,544
3	0	0	0	0	0	1,177
4	0	0	0	0	0	0,506
5	0	0	0	0	0	-0,350
6	0	0,3643	-0,3643	-0,3036	0,3036	0,460
7	0	0,3777	-0,3777	-0,3147	0,3147	0,066
8	0	0,1931	-0,1931	-0,1609	0,1609	0,304
9	0	-0,0594	0,0594	0,0495	-0,0495	0,204
10	0	-0,2692	0,2692	0,2243	-0,2243	0,940
11	0	-0,3506	0,3506	0,2922	-0,2922	0,489
12	0	-0,2558	0,2558	0,2132	-0,2132	0,009
13	0	0	0	0	0	-0,246
14	1,00184	-0,2408	-0,6214	0,3444	0,6615	-
15	0,76100	-0,1559	-0,5755	0,2518	0,6015	-
16	0,36428	0,0324	0,4876	0,0488	0,4822	-
17	1,59414	-0,4667	-0,7287	0,5881	0,8065	-
18	1,36079	-0,3855	-0,6862	0,4998	0,7504	-
19	0,74195	-0,1231	-0,5639	0,2171	0,5845	-
20	1,52324	-0,5882	-0,5016	0,6718	0,5996	-
21	0,93505	-0,3468	-0,3923	0,4122	0,4501	-
22	1,21592	-0,6806	-0,1760	0,7100	0,2895	-
23	0,87561	-0,5353	-0,1134	0,5542	0,2026	-
24	0,60642	-0,6064	0,1499	0,5814	-0,0488	-
25	0,25581	-0,5116	0,2969	0,4621	-0,2117	-

**Phụ lục 20** Số liệu tính toán bản hình tam giác chịu tải  
phân bố tam giác (tiếp theo)

$$\frac{\lambda_x}{\lambda_y} = 0,50; \text{độ vồng } z = \alpha \frac{p\lambda_x^4}{D}$$

$$\text{Độ cong: } \frac{1}{\rho_{x,y}} = \gamma_{x,y} \frac{p\lambda_x^2}{D}$$

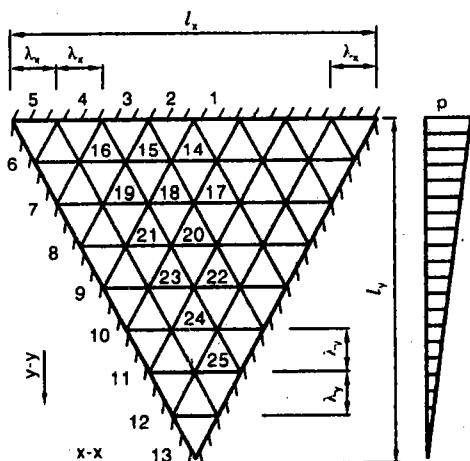
$$\text{Mômen: } M_x = \eta_x p\lambda_x^2$$

$$M_y = \eta_y p\lambda_y^2$$

$$\text{Phản lực: } R = \beta p\lambda_x$$

$$\text{Độ cứng trụ: } D = \frac{Eh^3}{12(1-\mu^2)}$$

$$\lambda_x = \frac{l_x}{8}; \quad \lambda_y = \frac{l_y}{8}$$



Điểm	$\alpha$	$\gamma_x$	$\gamma_y$	$\eta_x$	$\eta_y$	$\beta$
1	0	0	1,1146	-0,1858	-1,1146	2,391
2	0	0	0,9670	-0,1612	-0,9670	2,175
3	0	0	0,5861	-0,0977	-0,5861	1,521
4	0	0	0,1765	-0,0294	-0,1765	0,559
5	0	0	0	0	0	0
6	0	1,2424	0,0294	-1,2473	-1,2365	1,782
7	0	1,7609	0,0675	-1,7721	-1,3610	2,219
8	0	1,3700	0,0790	-1,3832	-1,3073	1,736
9	0	0,7485	0,0572	-0,7580	-0,1819	1,079
10	0	0,3030	0,0296	-0,3080	-0,0801	0,576
11	0	0,0817	0,0116	-0,0836	-0,0252	0,251
12	0	0,0070	0,0032	-0,0075	-0,0044	0,062
13	0	0	0	0	0	0
14	2,22914	-0,5905	-0,5222	0,6775	0,6206	-
15	1,63865	-0,3423	-0,4352	0,4148	0,4924	-
16	0,70591	0,2268	-0,2541	-0,1845	0,2163	-
17	2,44725	-0,9015	-0,2839	0,9488	0,4341	-
18	1,99651	-0,6416	-0,2297	0,6798	0,3366	-
19	0,90423	0,1881	-0,0889	-0,1732	0,0576	-
20	1,30455	-0,6495	0,0537	0,6406	0,0546	-
21	0,65504	-0,0055	0,0774	-0,0074	-0,0765	-
22	0,54332	-0,4148	0,1120	0,3861	-0,0429	-
23	0,33595	-0,1285	0,1008	0,1118	-0,0794	-
24	0,12636	-0,1264	0,0583	0,1166	-0,0372	-
25	0,02918	-0,0584	0,0207	0,0549	-0,0109	-

**Phụ lục 20** Số liệu tính toán bản hình tam giác chịu tải phân bố tam giác (tiếp theo)

$$\frac{\lambda_x}{\lambda_y} = 0,75; \text{độ võng } z = \alpha \frac{p\lambda_x^4}{D}$$

$$\text{Độ cong: } \frac{1}{\rho_{x,y}} = \gamma_{x,y} \frac{p\lambda_x^2}{D}$$

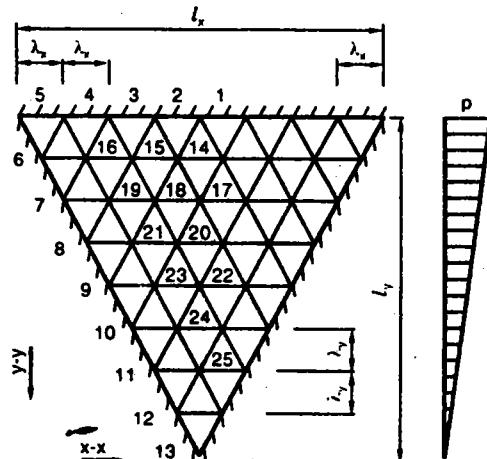
$$\text{Mômen: } M_x = \eta_x p\lambda_x^2$$

$$M_y = \eta_y p\lambda_x^2$$

$$\text{Phản lực: } R = \beta p\lambda_x$$

$$\text{Độ cứng trụ: } D = \frac{Eh^3}{12(1 - \mu^2)}$$

$$\lambda_x = \frac{l_x}{8}; \quad \lambda_y = \frac{l_y}{8}$$



Điểm	$\alpha$	$\gamma_x$	$\gamma_y$	$\eta_x$	$\eta_y$	$\beta$
1	0	0	1,1097	-0,1850	-1,1097	2,106
2	0	0	0,9622	-0,1604	-0,9622	1,908
3	0	0	0,5835	-0,0973	-0,5835	1,331
4	0	0	0,1761	-0,0294	-0,1761	0,511
5	0	0	0	0	0	0
6	0	0,4696	0,0559	-0,5627	-0,1342	1,009
7	0	0,9874	0,1031	-1,0046	-0,2677	1,682
8	0	1,0884	0,1280	-1,1097	-0,3094	1,706
9	0	0,7949	0,1097	-0,8132	-0,2421	1,246
10	0	0,3894	0,0678	-0,3781	-0,1327	0,668
11	0	0,1148	0,0282	-0,1195	-0,0473	0,251
12	0	0,0144	0,0061	-0,0154	-0,0085	0,051
13	0	0	0	0	0	0
14	2,98637	-0,2622	-0,3222	0,3159	0,3659	-
15	0,72419	-0,1490	-0,2997	0,1989	0,3245	-
16	0,31303	0,0981	-0,2102	-0,0631	0,1938	-
17	1,46605	-0,5265	-0,4262	0,5976	0,5139	-
18	1,20279	-0,3856	-0,3686	0,4470	0,4328	-
19	0,55394	0,0949	-0,1927	-0,0628	0,1769	-
20	1,05655	-0,5156	-0,1093	0,5338	0,1953	-
21	0,54094	-0,0253	-0,0126	0,0274	0,0168	-
22	0,56125	-0,4232	0,1029	0,4060	-0,0323	-
23	0,34967	-0,1381	0,1156	0,1188	-0,0926	-
24	0,14304	-0,1430	0,1235	0,1225	-0,0997	-
25	0,02884	-0,0577	0,0561	0,0483	-0,0465	-

**Phụ lục 20.8** Số liệu tính toán bản hìn tam giác chịu tải  
phân bố tam giác (tiếp theo)

$$\frac{\lambda_x}{\lambda_y} = 1,00; \text{ độ vồng } z = \alpha \frac{p\lambda_x^4}{D}$$

$$\text{Độ cong: } \frac{1}{\rho_{x,y}} = \gamma_{x,y} \frac{p\lambda_x^2}{D}$$

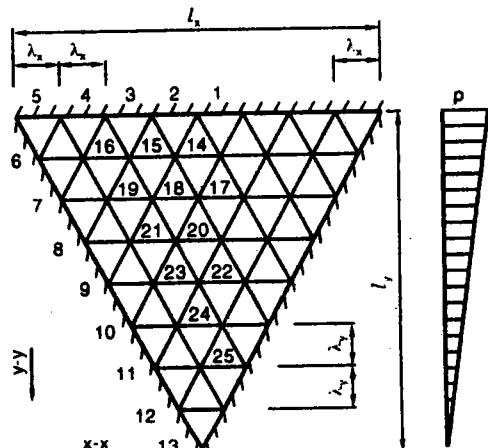
$$\text{Mômen: } M_x = \eta_x p\lambda_x^2$$

$$M_y = \eta_y p\lambda_x^2$$

$$\text{Phản lực: } R = \beta p\lambda_x$$

$$\text{độ cứng trụ: } D = \frac{Eh^3}{12(1 - \mu^2)}$$

$$\lambda_x = \frac{l_x}{8}; \quad \lambda_y = \frac{l_y}{8}$$



Điểm	$\alpha$	$\gamma_x$	$\gamma_y$	$\eta_x$	$\eta_y$	$\beta$
1	0	0	0,9571	-0,1595	-0,9571	1,849
2	0	0	0,8261	-0,1377	-0,8261	1,672
3	0	0	0,4948	-0,0825	-0,4948	1,174
4	0	0	0,1473	-0,0246	-0,1473	0,510
5	0	0	0	0	0	0
6	0	0,1767	0,0460	-0,1844	-0,0755	0,605
7	0	0,4933	0,1127	-0,5120	-0,1950	1,185
8	0	0,6975	0,1611	-0,7243	-0,2774	1,446
9	0	0,6581	0,1573	-0,6843	-0,2670	1,282
10	0	0,4265	0,1092	-0,4447	-0,1803	0,818
11	0	0,1682	0,0503	-0,1765	-0,0783	0,316
12	0	0,0292	0,0110	-0,0311	-0,0158	0,031
13	0	0	0	0	0	0
14	0,47856	-0,1310	-0,1626	0,1581	0,1844	-
15	0,34753	-0,0692	-0,1789	0,0990	0,1905	-
16	0,14728	0,0530	-0,1514	-0,0277	0,1425	-
17	0,83876	-0,3079	-0,3968	0,3741	0,4481	-
18	0,68480	-0,2180	-0,3531	0,2768	0,3896	-
19	0,31286	0,0591	-0,2068	-0,0246	0,1969	-
20	0,72519	-0,3526	-0,2119	0,3878	0,2707	-
21	0,37265	-0,0201	-0,0915	0,0354	0,0948	-
22	0,47715	-0,3543	0,0149	0,3519	0,0442	-
23	0,29998	-0,1228	0,0574	0,1133	-0,0369	-
24	0,15539	-0,1554	0,1349	0,1329	-0,1090	-
25	0,03653	-0,0731	0,1006	0,0563	-0,0884	-

**Phụ lục 20** *Số liệu tính toán bằn hình tam giác chịu tải phân bố tam giác (tiếp theo)*

$$\frac{\lambda_x}{\lambda_y} = 1,50; \text{ độ võng } z = \alpha \frac{p \lambda_x^4}{D}$$

$$\text{Độ cong: } \frac{1}{\rho_{x,y}} = \gamma_{x,y} \frac{p \lambda_x^2}{D}$$

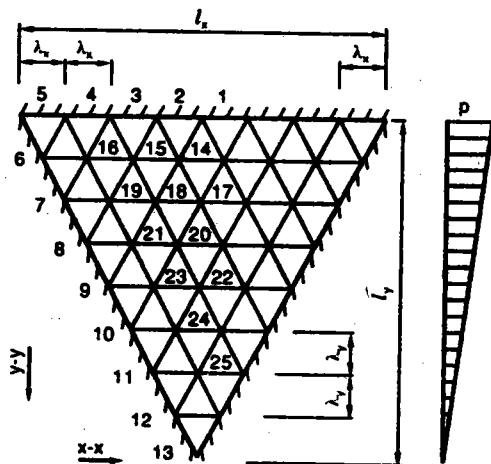
$$\text{Mômen: } M_x = \eta_x p \lambda_x^2$$

$$M_y = \eta_y p \lambda_x^2$$

$$\text{Phản lực: } R = \beta p \lambda_x$$

$$\text{Độ cứng trụ: } D = \frac{E h^3}{12(1 - \mu^2)}$$

$$\lambda_x = \frac{l_x}{8}; \quad \lambda_y = \frac{l_y}{8}$$



Điểm	$\alpha$	$\gamma_x$	$\gamma_y$	$\eta_x$	$\eta_y$	$\beta$
1	0	0	0,6625	-0,1104	-0,6625	1,452
2	0	0	0,5663	-0,0942	-0,5663	1,310
3	0	0	0,3300	-0,0550	-0,3300	1,936
4	0	0	0,0960	-0,0160	-0,0960	0,470
5	0	0	0	0	0	0
6	0	0,0427	0,0029	-0,0432	-0,0100	0,296
7	0	0,1314	0,0629	-0,1419	-0,0848	0,629
8	0	0,2367	0,1404	-0,2601	-0,1799	0,914
9	0	0,2991	0,1902	-0,3142	-0,2401	1,027
10	0	0,278	0,1823	-0,3090	-0,2287	0,895
11	0	0,1825	0,1161	-0,2018	-0,1465	0,525
12	0	0,0768	0,0292	-0,0817	-0,0420	0,077
13	0	0,0393	-0,0221	-0,0356	0,0156	0
14	0,14721	-0,0432	-0,0211	0,0467	0,0283	-
15	0,10402	-0,0182	-0,0619	0,0285	0,0649	-
16	0,04267	0,0187	-0,0816	-0,0051	0,0785	-
17	0,30398	-0,1190	-0,2621	0,1627	0,2819	-
18	0,24447	-0,0774	-0,2427	0,1179	0,2556	-
19	0,10752	0,0294	-0,1579	-0,0031	0,1530	-
20	0,31453	-0,1568	-0,2313	0,1954	0,2574	-
21	0,15771	-0,0009	-0,1293	0,0224	0,1294	-
22	0,26222	-0,1975	-0,0965	0,2136	0,1294	-
23	0,16348	-0,0647	-0,0356	0,0707	0,0464	-
24	0,11764	-0,1176	0,0660	0,1066	-0,0464	-
25	0,04468	-0,0894	0,1139	0,0704	-0,0991	-

**Phụ lục 20** Số liệu tính toán bản hình tam giác chịu tải  
phản bối tam giác (tiếp theo)

$$\frac{\lambda_x}{\lambda_y} = 2,00; \text{độ vồng } z = \alpha \frac{p \lambda_x^4}{D}$$

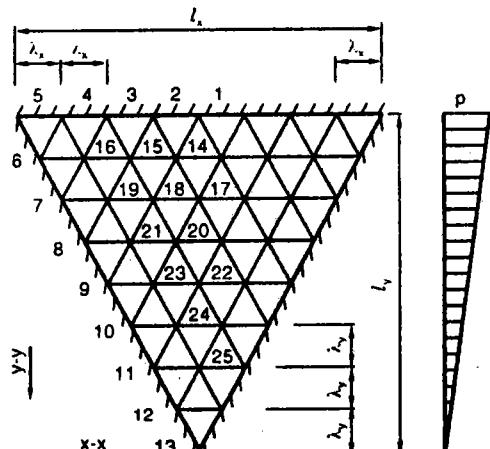
$$\text{Độ cong: } \frac{1}{\rho_{x,y}} = \gamma_{x,y} \frac{p \lambda_x^2}{D}$$

$$\begin{aligned}\text{Mômen: } M_x &= \eta_x p \lambda_x^2 \\ M_y &= \eta_y p \lambda_x^2\end{aligned}$$

$$\text{Phản lực: } R = \beta p \lambda_x$$

$$\text{Độ cứng trụ: } D = \frac{E h^3}{12(1 - \mu^2)}$$

$$\lambda_x = \frac{l_x}{8}; \quad \lambda_y = \frac{l_y}{8}$$



Điểm	$\alpha$	$\gamma_x$	$\gamma_y$	$\eta_x$	$\eta_y$	$\beta$
1	0	0	0,4587	-0,0765	-0,4587	1,170
2	0	0	0,3872	-0,0645	-0,3872	1,051
3	0	0	0,2231	-0,0372	-0,2231	0,759
4	0	0	0,0652	-0,0109	-0,0652	0,425
5	0	0	0	0	0	0
6	0	0,0163	-0,0163	-0,0136	0,0136	0,171
7	0	0,0430	0,0223	-0,0467	-0,0295	0,391
8	0	0,0851	0,0867	-0,0996	-0,1009	0,600
9	0	0,1234	0,1518	-0,1487	-0,1724	0,750
10	0	0,1368	0,1850	-0,1676	-0,2078	0,776
11	0	0,1134	0,1586	-0,1397	-0,1775	0,611
12	0	0,0680	0,0637	-0,0786	-0,0750	0,213
13	0	0,0659	-0,0659	-0,0549	0,0549	0
14	0,05734	-0,0179	0,0165	0,0151	-0,0136	-
15	0,03947	-0,0053	-0,0228	0,0091	0,0237	-
16	0,01631	0,0069	-0,0514	0,0017	0,0502	-
17	0,12780	-0,0538	-0,1691	0,0820	0,1781	-
18	0,10089	-0,0310	-0,1598	0,0577	0,1650	-
19	0,04295	0,0150	-0,1094	0,0033	0,1069	-
20	0,14252	-0,0737	-0,1834	0,1043	0,1957	-
21	0,06880	0,0049	-0,1068	0,0129	0,1060	-
22	0,13239	-0,1040	-0,1133	0,1228	0,1306	-
23	0,08043	-0,0285	-0,0564	0,0379	0,0611	-
24	0,06798	-0,0680	0,0157	0,0654	-0,0043	-
25	0,03293	-0,0659	0,0743	0,0535	-0,0634	-

**Phụ lục 20** Số liệu tính toán bản hình tam giác chịu tải  
phân bố tam giác (tiếp theo)

$\frac{l_x}{l_y}$		$M_x = \alpha_x P$	$M_y = \alpha_y P$	$P = \frac{l_x l_y}{3} p$		$M_x = \alpha_x P ; \bar{M}_u = -\beta_u P$	$M_y = \alpha_y P ; \bar{M}_v = -\beta_v P$	$P = \frac{l_x l_y}{3} p$
	$\alpha_x$	$\alpha_y$	$x$	$\alpha_y$	$\beta_u$	$\beta_v$		
0,50	0,0404	0,0273	0,0212	0,0123	0,0413	0,0262		
0,55	0,0407	0,0289	0,0211	0,0130	0,0410	0,0308		
0,60	0,0408	0,0300	0,0209	0,0137	0,0405	0,0332		
0,65	0,0408	0,0312	0,0207	0,0143	0,0401	0,0352		
0,70	0,0409	0,0322	0,0204	0,0150	0,0395	0,0372		
0,75	0,0410	0,0333	0,0201	0,0157	0,0390	0,0392		
0,80	0,0409	0,0343	0,0198	0,0164	0,0387	0,0409		
0,85	0,0408	0,0353	0,0195	0,0170	0,0376	0,0423		
0,90	0,0405	0,0362	0,0191	0,0176	0,0370	0,0434		
0,95	0,0399	0,0369	0,0187	0,0182	0,0361	0,0443		
1,00	0,0391	0,0377	0,0183	0,0187	0,0350	0,0450		
1,10	0,0375	0,0388	0,0175	0,0192	0,0326	0,0459		
1,20	0,0358	0,0397	0,0167	0,0194	0,0300	0,0465		
1,30	0,0343	0,0405	0,0158	0,0193	0,0268	0,0468		
1,40	0,0328	0,0409	0,0149	0,0191	0,0238	0,0469		
1,50	0,0314	0,0411	0,0139	0,0188	0,0211	0,0467		
1,60	0,0302	0,0411	0,0130	0,0185	0,0190	0,0464		
1,70	0,0292	0,0410	0,0121	0,0182	0,0173	0,0460		
1,80	0,0283	0,0408	0,0113	0,0179	0,0157	0,0453		
1,90	0,0276	0,0403	0,0105	0,0176	0,0143	0,0444		
2,00	0,0268	0,0398	0,0098	0,0172	0,0129	0,0430		

**Phụ lục 20** *Số liệu tính toán bǎn hìn̄ tam giác chịu tải phân bố tam giác (tiếp theo)*

$$\frac{\lambda_x}{\lambda_y} = 0,50; \text{ độ võng } z = \alpha \frac{p \lambda_x^4}{D}$$

$$\text{Độ cong: } \frac{1}{\rho_{x,y}} = \gamma_{x,y} \frac{p \lambda_x^2}{D}$$

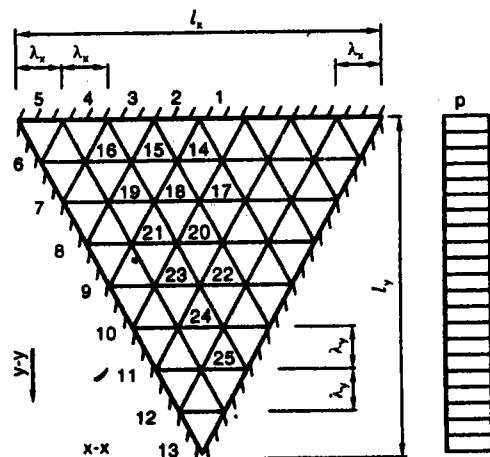
$$\text{Mômen: } M_x = \eta_x p \lambda_x^2$$

$$M_y = \eta_y p \lambda_x^2$$

$$\text{Phản lực: } R = \beta p \lambda_x$$

$$\text{Độ cứng trụ: } D = \frac{Eh^3}{12(1 - \mu^2)}$$

$$\lambda_x = \frac{l_x}{8}; \quad \lambda_y = \frac{l_y}{8}$$



Điểm	$\alpha$	$\gamma_x$	$\gamma_y$	$\eta_x$	$\eta_y$	$\beta$
1	0	0	1,3418	-0,2237	-1,3418	2,656
2	0	0	1,1606	-0,1935	-1,1606	2,388
3	0	0	0,6976	-0,1163	-0,6976	1,592
4	0	0	0,2078	-0,0347	-0,2078	0,460
5	0	0	0	0	0	0
6	0	1,4631	0,0457	-1,4708	-0,2895	2,046
7	0	2,2778	0,0909	-2,2930	-0,4705	2,876
8	0	2,0235	0,1107	-2,0420	-0,4480	2,649
9	0	1,3472	0,0892	-1,3621	-0,3138	2,079
10	0	0,7239	0,0545	-0,7329	-0,1751	1,517
11	0	0,2845	0,0264	-0,2889	-0,0738	1,003
12	0	0,0282	0,0129	-0,0303	-0,0176	0,500
13	0	0	0	0	0	0
14	2,68349	-0,7246	-0,5657	0,8188	0,6864	-
15	1,95896	-0,4031	-0,4787	0,4829	0,5459	-
16	0,63132	-0,2963	-0,2866	-0,2485	0,2372	-
17	3,22220	-1,1963	-0,3729	1,2585	0,5723	-
18	2,62405	-0,8451	-0,3090	0,8966	0,4499	-
19	1,18080	-0,2625	-0,1344	-0,2400	0,0907	-
20	1,97017	-0,9815	0,0129	0,9793	0,1507	-
21	0,98870	-0,0072	0,0605	-0,0029	-0,0593	-
22	1,01650	-0,7717	0,1138	0,7527	0,0148	-
23	0,63065	-0,2448	0,1105	0,2264	-0,0697	-
24	0,32527	-0,3253	0,0783	0,3122	-0,0240	-
25	0,11730	-0,2346	0,0373	0,2284	0,0018	-

**Phụ lục 21 Số liệu tính toán bản hình tam giác chịu tải phân bố đều**

$\frac{l_x}{l_y}$	$M_x = \alpha_x P$ $M_y = \alpha_y P$ $P = \frac{l_x l_y}{2} p$			$M_x = \alpha_x P; \quad M_u = -\beta_u P$ $M_y = \alpha_y P; \quad M_u = -\beta_y P$ $P = \frac{l_x l_y}{2} p$		
	$\alpha_x$	$\alpha_y$	$\alpha_x$	$\alpha_y$	$\beta_u$	$\beta_y$
0,50	0,0396	0,0209	0,0187	0,0089	0,0356	0,0210
0,55	0,0404	0,0224	0,0203	0,0110	0,0365	0,0245
0,60	0,0411	0,0236	0,0209	0,0123	0,0370	0,0267
0,65	0,0418	0,0249	0,0211	0,0133	0,0372	0,0290
0,70	0,0424	0,0260	0,0211	0,0142	0,0372	0,0310
0,75	0,0428	0,0272	0,0210	0,0148	0,0371	0,0328
0,80	0,0432	0,0284	0,0207	0,0153	0,0367	0,0344
0,85	0,0433	0,0298	0,0205	0,0157	0,0361	0,0361
0,90	0,0433	0,0310	0,0202	0,0159	0,0354	0,0372
0,95	0,0431	0,0320	0,0199	0,0162	0,0346	0,0384
1,00	0,0428	0,0332	0,0196	0,0164	0,0338	0,0392
1,10	0,0421	0,0355	0,0190	0,0168	0,0321	0,0407
1,20	0,0413	0,0369	0,0184	0,0171	0,0303	0,0416
1,30	0,0404	0,0376	0,0178	0,0174	0,0284	0,0423
1,40	0,0394	0,0378	0,0171	0,0177	0,0265	0,0429
1,50	0,0385	0,0378	0,0164	0,0178	0,0246	0,0432
1,60	0,0375	0,0378	0,0157	0,0180	0,0225	0,0434
1,70	0,0366	0,0378	0,0149	0,0181	0,0206	0,0434
1,80	0,0355	0,0377	0,0140	0,0181	0,0186	0,0430
1,90	0,0342	0,0377	0,0130	0,0181	0,0167	0,0424
2,00	0,0324	0,0377	0,0117	0,0181	0,0148	0,0413

**Phụ lục 21** Số liệu tính toán bản hình tam giác chịu tải  
phân bố đều (tiếp theo)

$$\frac{\lambda_x}{\lambda_y} = 0,75; \text{ độ võng } z = \alpha \frac{p \lambda_x^4}{D}$$

$$\text{Độ cong: } \frac{1}{\rho_{x,y}} = \gamma_{x,y} \frac{p \lambda_x^2}{D}$$

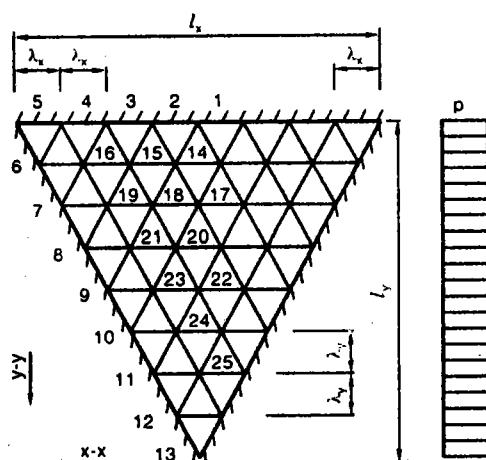
$$\text{Mômen: } M_x = \eta_x p \lambda_x^2$$

$$M_y = \eta_y p \lambda_x^2$$

$$\text{Phản lực: } R = \beta p \lambda_x$$

$$\text{Độ cứng trụ: } D = \frac{E h^3}{12(1 - \mu^2)}$$

$$\lambda_x = \frac{l_x}{8}; \quad \lambda_y = \frac{l_y}{8}$$



Điểm	$\alpha$	$\gamma_x$	$\gamma_y$	$\eta_x$	$\eta_y$	$\beta$
1	0	0	1,3977	-0,2330	-1,3977	2,444
2	0	0	1,2044	-0,2008	-1,2044	2,184
3	0	0	0,7111	-0,1185	-0,7111	1,428
4	0	0	0,2055	-0,0343	-0,2055	0,442
5	0	0	0	0	0	0
6	0	0,5630	0,0772	-0,5758	-0,1710	1,148
7	0	1,2920	0,1406	-1,3155	-0,3559	2,175
8	0	1,5756	0,1850	-1,6064	-0,4476	2,531
9	0	1,3232	0,1734	-1,3521	-0,3939	2,240
10	0	0,8056	0,1219	-0,8259	-0,2561	1,633
11	0	0,3343	0,0623	-0,3447	-0,1180	1,016
12	0	0,0560	0,0236	-0,0600	-0,0330	0,493
13	0	0	0	0	0	0
14	1,24235	-0,3436	-0,3328	0,3990	0,3901	-
15	0,89879	-0,1799	-0,3224	0,2337	0,3524	-
16	0,37532	0,1482	-0,2360	-0,1088	0,2113	-
17	1,99139	-0,7371	-0,5477	0,8284	0,6706	-
18	1,62283	-0,5180	-0,4792	0,5979	0,5655	-
19	0,73625	0,1503	-0,2647	-0,1062	0,2396	-
20	1,58247	-0,7775	-0,2052	0,8117	0,3348	-
21	0,80496	-0,0275	-0,0656	0,0384	0,0702	-
22	0,98360	-0,7395	0,0746	0,7271	0,0487	-
23	0,61384	-0,2441	0,1087	0,2260	-0,0681	-
24	0,33246	-0,3325	0,1535	0,3069	-0,0981	-
25	0,11205	-0,2241	0,0925	0,2087	-0,0551	-

**Phụ lục 21** Số liệu tính toán bản hình tam giác chịu tải phân bố đều (tiếp theo)

$$\frac{\lambda_x}{\lambda_y} = 1,00; \text{độ võng } z = \alpha \frac{p\lambda_x^4}{D}$$

$$\text{Độ cong: } \frac{1}{\rho_{x,y}} = \gamma_{x,y} \frac{p\lambda_x^2}{D}$$

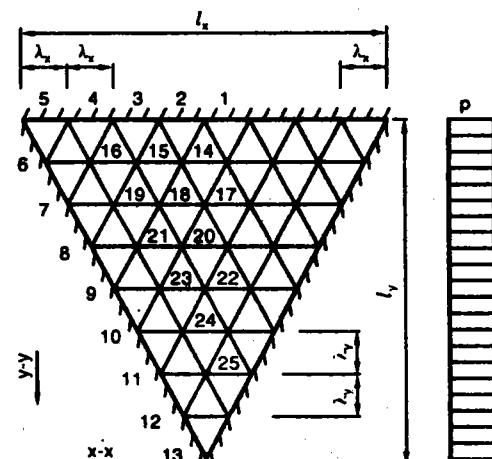
$$\text{Mômen: } M_x = \eta_x p\lambda_x^2$$

$$M_y = \eta_y p\lambda_x^2$$

$$\text{Phản lực: } R = \beta p\lambda_x$$

$$\text{Độ cứng trụ: } D = \frac{Eh^3}{12(1 - \mu^2)}$$

$$\lambda_x = \frac{l_x}{8}; \quad \lambda_y = \frac{l_y}{8}$$



Điểm	a	$\gamma_x$	$\gamma_y$	$\eta_x$	$\eta_y$	$\beta$
1	0	0	1,2547	-0,2091	-1,2547	2,219
2	0	0	1,0721	-0,1787	-1,0721	1,968
3	0	0	0,6232	-0,1039	-0,6232	1,204
4	0	0	0,1784	-0,0297	-0,1784	0,481
5	0	0	0	0	0	0
6	0	0,2141	0,0601	-0,2241	-0,0958	0,577
7	0	0,6496	0,1516	-0,6748	-0,2598	1,515
8	0	1,0074	0,2337	-1,0464	-0,4016	2,118
9	0	1,0600	0,2510	-1,1018	-0,4276	2,204
10	0	0,7986	0,1975	-0,8148	-0,3305	1,796
11	0	0,3987	0,1090	-0,4169	-0,1754	1,116
12	0	0,0927	0,0348	-0,0984	-0,0502	0,481
13	0	0	0	0	0	0
14	0,62733	-0,1825	-0,1446	0,2066	0,1750	-
15	0,44479	-0,0838	-0,1814	0,1141	0,1954	-
16	0,17844	0,0879	-0,1677	-0,0600	0,1530	-
17	1,17677	-0,4494	-0,5116	0,5347	0,5865	-
18	0,95205	-0,3050	-0,4617	0,3819	0,5125	-
19	0,42236	0,1073	-0,2810	-0,0605	0,2531	-
20	1,10230	-0,5443	-0,3396	0,6009	0,4303	-
21	0,55797	-0,0136	-0,1697	0,0419	0,1719	-
22	0,81779	-0,6130	-0,0554	0,6222	0,1576	-
23	0,51131	-0,2048	0,0210	0,2013	0,0131	-
24	0,32460	-0,3246	0,1544	0,2989	-0,1003	-
25	0,11584	-0,2317	0,1584	0,2065	-0,1122	-

**Phụ lục 21** Số liệu tính toán bản hình tam giác chịu tải phân bố đều (tiếp theo)

$$\frac{\lambda_x}{\lambda_y} = 1,50; \text{độ võng } z = \alpha \frac{p \lambda_x^4}{D}$$

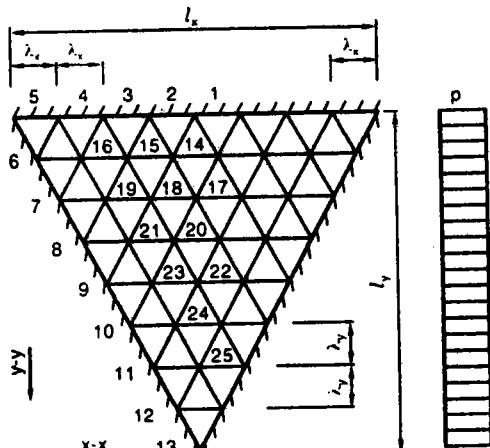
$$\text{Độ cong: } \frac{1}{\rho_{x,y}} = \gamma_{x,y} \frac{p \lambda_x^2}{D}$$

$$\begin{aligned}\text{Mômen: } M_x &= \eta_x p \lambda_x^2 \\ M_y &= \eta_y p \lambda_x^2\end{aligned}$$

$$\text{Phản lực: } R = \beta p \lambda_x$$

$$\text{Độ cứng trụ: } D = \frac{Eh^3}{12(1-\mu^2)}$$

$$\lambda_x = \frac{l_x}{8}; \quad \lambda_y = \frac{l_y}{8}$$



Điểm	a	$\gamma_x$	$\gamma_y$	$\eta_x$	$\eta_y$	$\beta$
1	3	3	0,9215	-0,1536	-0,9215	1,823
2	0	0	0,7729	-0,1288	-0,7729	1,603
3	0	0	0,4291	-0,0715	-0,4291	1,061
4	0	0	0,1169	-0,0195	-0,1169	0,478
5	0	0	0	0	0	0
6	0	0,0520	0,0035	-0,0526	-0,0122	0,318
7	0	0,1771	0,0778	-0,1901	-0,1073	0,780
8	0	0,3466	0,1966	-0,3794	-0,2543	1,313
9	0	0,4777	0,2964	-0,5271	-0,3761	1,708
10	0	0,4898	0,3182	-0,5428	-0,3998	1,774
11	0	0,3577	0,2365	-0,3970	-0,2961	1,393
12	0	0,1607	0,0840	-0,1747	-0,1108	0,613
13	0	0,0947	-0,0533	-0,0858	0,0375	0
14	0,20477	-0,0660	0,0230	0,0622	-0,0120	-
15	0,13276	-0,0208	-0,0458	0,0284	0,0493	-
16	0,05195	0,0349	-0,0869	-0,0204	0,0811	-
17	0,45050	-0,1893	-0,3440	0,2466	0,3756	-
18	0,35592	-0,1133	-0,3224	0,1670	0,3412	-
19	0,14802	0,0599	-0,2143	-0,0242	0,2043	-
20	0,49613	-0,2553	-0,3608	0,3154	0,4033	-
21	0,24086	0,0144	-0,2127	0,0210	0,2103	-
22	0,45203	-0,3487	-0,2081	0,3834	0,2662	-
23	0,27768	-0,1033	-0,1055	0,1209	0,1227	-
24	0,22829	-0,2283	0,0431	0,2211	-0,0051	-
25	0,10763	-0,2153	0,1504	0,1902	-0,1145	-

**Phụ lục 21** Số liệu tính toán bản hình tam giác chịu tải phân bố đều (tiếp theo)

$$\frac{\lambda_x}{\lambda_y} = 2,00; \text{độ võng } z = \alpha \frac{p\lambda_x^4}{D}$$

$$\text{Độ cong: } \frac{1}{\rho_{x,y}} = \gamma_{x,y} \frac{p\lambda_x^2}{D}$$

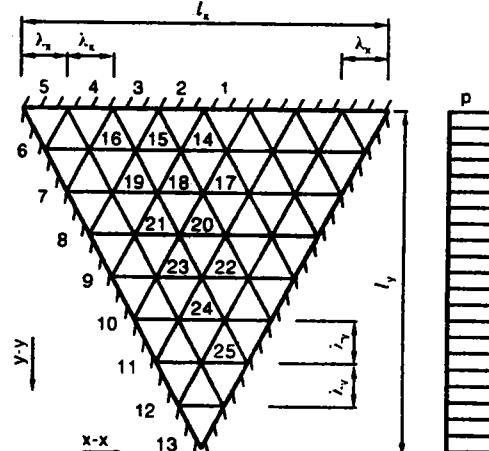
$$\text{Mômen: } M_x = \eta_x p\lambda_x^2$$

$$M_y = \eta_y p\lambda_x^2$$

$$\text{Phản lực: } R = \beta p\lambda_x$$

$$\text{Độ cứng trụ: } D = \frac{Eh^3}{12(1 - \mu^2)}$$

$$\lambda_x = \frac{l_x}{8}; \quad \lambda_y = \frac{l_y}{8}$$



Điểm	$\alpha$	$\gamma_x$	$\gamma_y$	$\eta_x$	$\eta_y$	$\beta$
1	0	0	0,6614	-0,1102	-0,6614	1,507
2	0	0	0,5460	-0,0910	-0,5460	1,318
3	0	0	0,2951	-0,0492	-0,2951	0,890
4	0	0	0,0798	-0,0133	-0,0798	0,450
5	0	0	0	0	0	0
6	0	0,0200	-0,0200	-0,0166	-0,0166	0,184
7	0	0,0596	0,0202	-0,0630	-0,0301	0,468
8	0	0,1264	0,1121	-0,1451	-0,1331	0,835
9	0	0,1973	0,2285	-0,2353	-0,2614	1,219
10	0	0,2359	0,3146	-0,2884	-0,3540	1,481
11	0	0,2096	0,3083	-0,2610	-0,3432	1,444
12	0	0,1295	0,1585	-0,1559	-0,1801	0,884
13	0	0,1440	-0,1440	-0,1200	0,1200	0
14	0,08268	-0,0289	0,0617	0,0186	-0,0569	-
15	0,05381	-0,0050	-0,0042	0,0057	0,0050	-
16	0,01996	0,0139	-0,0543	-0,0048	0,0520	-
17	0,19607	-0,0901	-0,2252	0,1276	0,2402	-
18	0,15104	-0,0464	-0,2148	0,0822	0,2225	-
19	0,05962	0,0318	-0,1483	-0,0071	0,1430	-
20	0,23064	-0,1242	-0,2891	0,1724	0,3098	-
21	0,10645	0,0177	-0,1727	0,0111	0,1698	-
22	0,23115	-0,1870	-0,2217	0,2240	0,2529	-
23	0,13764	-0,0441	-0,1239	0,0648	0,1313	-
24	0,12948	-0,1295	-0,0248	0,1336	0,0464	-
25	0,07200	-0,1440	0,0859	0,1297	0,0619	-

**Phụ lục 22** Số liệu tính toán bản hình chữ nhật chịu tải phân bố tam giác

$$\frac{l_x}{l_y} = 1; \quad \lambda_x = \frac{l_x}{6}; \quad \lambda_y = \frac{l_y}{6}$$

$$\text{Độ vông: } z = \alpha \frac{p \lambda_x^4}{D}$$

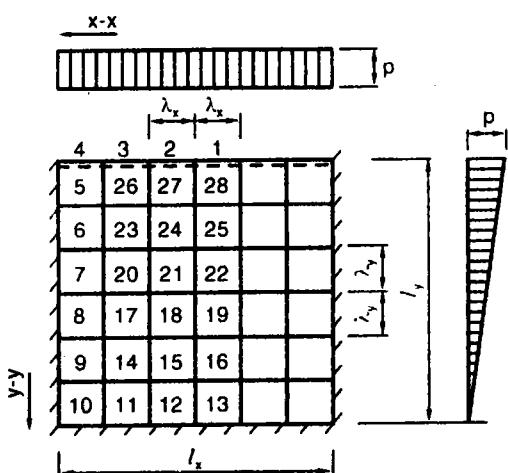
$$\text{Độ cong: } \frac{1}{\rho_{x,y}} = \gamma_{x,y} \frac{p \lambda_x^2}{D}$$

$$\text{Mômen: } M_x = \eta_x p \lambda_x^2$$

$$M_y = \eta_y p \lambda_x^2$$

$$\text{Phản lực: } R = \beta p \lambda_x$$

$$\text{Độ cứng trụ: } D = \frac{E h^3}{12(1 - \mu^2)}$$



Điểm	$\alpha$	$\gamma_x$	$\gamma_y$	$\eta_x$	$\eta_y$	$\beta$
1	0	0	0	0	0	1,495
2	0	0	0	0	0	1,333
3	0	0	0	0	0	0,721
4	0	0	0	0	0	0
5	0	0,7502	0	-0,7502	-0,1250	1,388
6	0	1,0593	0	-0,0593	-0,1765	1,553
7	0	0,9798	0	-0,9798	-0,1633	1,298
8	0	0,6566	0	-0,6566	-0,1094	0,814
9	0	0,2533	0	-0,2533	-0,0422	0,236
10	0	0	0	0	0	0
11	0	0	0,2533	-0,0422	-0,2533	0,152
12	0	0	0,5585	-0,0931	-0,5585	0,503
13	0	0	0,6815	-0,1136	-0,6815	0,631
14	0,12666	0,0259	0,0750	-0,0384	-0,0793	-
15	0,27927	-0,0911	0,1463	0,0667	-0,1311	-
16	0,34075	-0,1230	0,1738	0,0940	-0,1533	-
17	0,32827	0,0483	-0,0400	-0,0417	0,0319	-
18	0,70487	-0,2262	-0,0966	0,2423	0,1343	-
19	0,85528	-0,3008	-0,1122	-0,3210	0,1713	-
20	0,48992	0,0540	-0,1219	-0,0337	0,1129	-
21	1,03888	-0,3292	-0,2700	0,3742	0,3249	-
22	1,24863	-0,4295	-0,3305	0,4846	0,4020	-
23	0,52963	0,0336	-0,1942	-0,0012	0,1886	-
24	1,09288	-0,3446	-0,4018	0,4115	0,4592	-
25	1,31151	-0,4373	-0,4820	0,5177	0,5549	-
26	0,37512	-0,0002	-0,2206	0,0370	0,2206	-
27	0,75000	-0,2325	-0,4071	0,3004	0,4459	-
28	0,89237	-0,2847	-0,4732	0,3635	0,5207	-

**Phụ lục 22** Số liệu tính toán bản hình chữ nhật chịu tải phân bố tam giác (tiếp theo)

$$\frac{l_y}{l_x} = 1,0; \quad \lambda_x = \frac{l_x}{6}; \quad \lambda_y = \frac{l_y}{6}$$

$$\text{Độ võng} \quad z = \alpha \frac{p \lambda_x^4}{D}$$

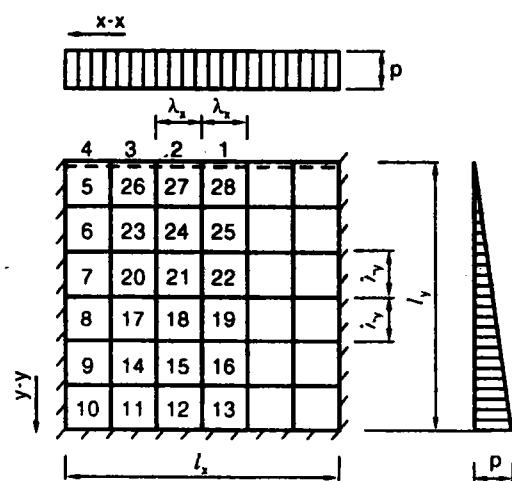
$$\text{Độ cong: } \frac{1}{\rho_{x,y}} = \gamma_{x,y} \frac{p \lambda_x^2}{D}$$

$$\text{Mômen: } M_x = \eta_x p \lambda_x^2$$

$$M_y = \eta_y p \lambda_x^2$$

$$\text{Phản lực: } R = \beta p \lambda_x$$

$$\text{Độ cứng trụ: } D = \frac{E h^3}{12(1 - \mu^2)}$$



Điểm	$\alpha$	$\gamma_x$	$\gamma_y$	$\eta_x$	$\eta_y$	$\beta$
1	0	0	0	0	0	0,444
2	0	0	0	0	0	0,337
3	0	0	0	0	0	-0,021
4	0	0	0	0	0	0
5	0	0,3998	0	-0,3998	-0,0666	0,488
6	0	0,7295	0	-0,7295	-0,1216	0,925
7	0	0,9049	0	-0,9049	-0,1508	1,237
8	0	0,8315	0	-0,8315	-0,1385	1,299
9	0	0,4617	0	-0,4617	-0,0770	0,937
10	0	0	0	0	0	0
11	0	0	0,4617	-0,0770	-0,4617	1,020
12	0	0	0,8981	-0,1497	-0,8981	1,589
13	0	0	1,0583	-0,1764	-0,0583	1,767
14	0,23087	-0,0127	-0,0460	0,0203	0,0481	-
15	0,44906	-0,1381	-0,0527	0,1469	0,0757	-
16	0,52915	-0,1602	-0,0485	0,1683	0,0752	-
17	0,41575	0,0139	-0,1482	0,0107	0,1458	-
18	0,84545	-0,2654	-0,2950	0,3145	0,3392	-
19	1,00976	-0,3286	-0,3498	0,3869	0,4045	-
20	0,45245	0,0420	-0,1244	-0,0212	0,1174	-
21	0,94686	-0,3007	-0,2709	0,3453	0,3210	-
22	1,14061	-0,3875	-0,3299	0,4425	0,3944	-
23	0,36473	0,0479	-0,0771	-0,0351	0,0691	-
24	0,77740	-0,2485	-0,1775	0,2780	0,2189	-
25	0,94160	-0,3284	-0,2196	0,3650	0,2743	-
26	0,19991	0,0307	-0,0351	-0,0248	0,0300	-
27	0,43048	-0,1380	-0,0836	0,1520	0,1066	-
28	0,52302	-0,1851	-0,1044	0,2025	0,1353	-

**Phụ lục 22** Số liệu tính toán bản hình chữ nhật chịu tải phân bố tam giác (tiếp theo)

$$\frac{l_x}{l_y} = 1; \quad \lambda_x = \frac{l_x}{6}; \quad \lambda_y = \frac{l_y}{6}$$

$$\text{Độ vồng: } z = \alpha \frac{p\lambda_x^4}{D}$$

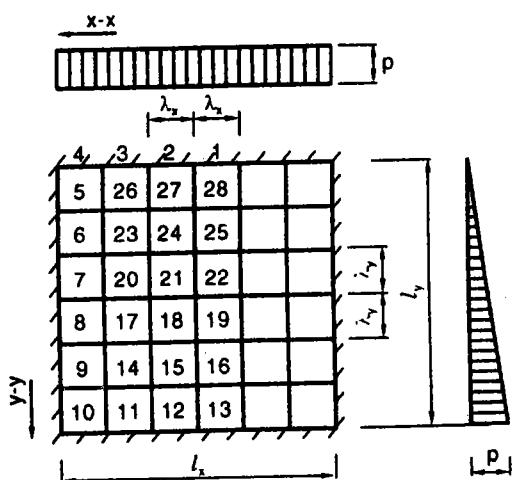
$$\text{Độ cong: } \frac{1}{\rho_{x,y}} = \gamma_{x,y} \frac{p\lambda_x^2}{D}$$

$$\text{Mômen: } M_x = \eta_x p\lambda_x^2$$

$$M_y = \eta_y p\lambda_x^2$$

$$\text{Phản lực: } R = \beta p\lambda_x$$

$$\text{Độ cứng trụ: } D = \frac{Eh^3}{12(1 - \mu^2)}$$



Điểm	$\alpha$	$\gamma_x$	$\gamma_y$	$\eta_x$	$\eta_y$	$\beta$
1	0	0	0,5992	-0,0999	-0,5992	0,578
2	0	0	0,4949	-0,0825	-0,4949	0,468
3	0	0	0,2302	-0,0384	-0,2302	0,157
4	0	0	0	0	0	0
5	0	0,2302	0	-0,2302	-0,0384	0,240
6	0	0,5729	0	-0,5729	-0,0955	0,766
7	0	0,8051	0	-0,8051	-0,1342	1,158
8	0	0,7835	0	-0,7835	-0,1306	1,271
9	0	0,4485	0	-0,4485	-0,0747	0,940
10	0	0	0	0	0	0
11	0	0	0,4485	-0,0747	-0,4485	1,023
12	0	0	0,8615	-0,1436	-0,8615	1,569
13	0	0	1,0110	-0,1685	-0,0110	1,737
14	0,22426	-0,0178	-0,0567	-0,0272	0,0597	-
15	0,43076	-0,1318	-0,0756	-0,1443	0,0975	-
16	0,50550	-0,1495	-0,0764	0,1622	0,1014	-
17	0,39177	0,0024	-0,1567	0,0237	0,1563	-
18	0,78596	-0,2456	-0,3116	0,2975	0,3526	-
19	0,93455	-0,2972	-0,3693	0,3587	0,4188	-
20	0,40256	0,0024	-0,1269	-0,0033	0,1228	-
21	0,82953	-0,2622	-0,2718	0,3075	0,3155	-
22	0,99428	-0,3295	-0,3295	0,3844	0,3844	-
23	0,28643	0,0285	-0,0552	-0,0193	0,0504	-
24	0,60132	-0,1917	-0,1257	0,2127	0,1576	-
25	0,72451	-0,2464	-0,1551	0,2722	0,1962	-
26	0,11513	0,0172	0,0562	-0,0265	-0,0590	-
27	0,24744	-0,0801	0,1064	0,0624	-0,0931	-
28	0,29961	-0,1043	0,1253	0,0835	-0,1079	-

**Phụ lục 22** *Số liệu tính toán bǎn hinh chǔ nhặt chịu tải phân bố tam giác (tiếp theo)*

$$\frac{l_y}{l_x} = 1,0; \quad \lambda_x = \frac{l_x}{6}; \quad \lambda_y = \frac{l_y}{6}$$

Độ vồng:  $z = \alpha \frac{p\lambda_x^4}{D}$

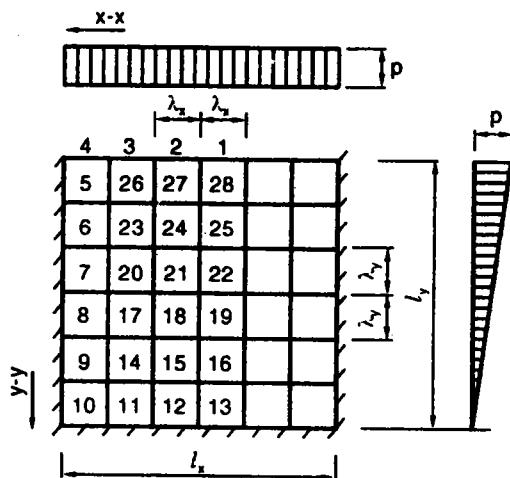
Độ cong:  $\frac{1}{\rho_{x,y}} = \gamma_{x,y} \frac{p\lambda_x^2}{D}$

Mômen:  $M_x = \eta_x p\lambda_x^2$

$$M_y = \eta_y p\lambda_x^2$$

Phản lực:  $R = \beta p\lambda_x$

Độ cứng trụ:  $D = \frac{Eh^3}{12(1 - \mu^2)}$



Điểm	$\alpha$	$\gamma_x$	$\gamma_y$	$\eta_x$	$\eta_y$	$\beta$
1	0,48090	-1,2931	0,2155	1,2571	0	0
2	0,83437	-0,9162	0,1527	0,8908	0	0
3	0,27162	0,2911	-0,0485	-0,2830	0	0
4	0	2,5432	0	-2,5432	-0,4239	3,500
5	0	2,1397	0	-2,1397	-0,3566	2,320
6	0	1,7142	0	-1,7142	-0,2857	1,862
7	0	1,2435	0	-1,2435	-0,2072	1,356
8	0	0,7369	0	-0,7369	-0,1228	0,790
9	0	0,2630	0	-0,2630	-0,0438	0,198
10	0	0	0	0	0	0
11	0	0	0,2630	-0,0438	-0,2630	0,114
12	0	0	0,6124	-0,1021	-0,6124	0,492
13	0	0	1,7593	-0,1265	-0,7593	0,637
14	0,13150	0,0432	0,1054	-0,0608	-0,1126	-
15	0,30620	-0,1012	0,2216	0,0643	-0,2048	-
16	0,37966	-0,1469	0,2692	0,1020	-0,2447	-
17	0,36844	0,0972	0,0164	-0,0999	-0,0325	-
18	0,83404	-0,2711	0,0366	0,2650	0,0086	-
19	1,02856	-0,3890	0,0446	0,3816	0,0203	-
20	0,62174	0,1550	-0,0179	-0,1520	-0,0079	-
21	1,39845	-0,4531	-0,0409	0,4600	0,1164	-
22	1,72202	-0,6471	-0,0510	0,6556	0,1588	-
23	0,85710	0,2077	-0,0226	-0,2040	-0,0120	-
24	1,92193	-0,6222	-0,0587	0,6320	0,1624	-
25	2,36453	-0,8852	-0,0744	0,8976	0,2219	-
26	1,06983	0,2471	-0,0109	-0,2453	-0,0302	-
27	2,38675	-0,7710	-0,0172	0,7739	0,1457	-
28	2,93265	-1,0918	-0,0199	1,0951	0,2018	-

**Phụ lục 22** Số liệu tính toán bản hình chữ nhật chịu tải phân bố tam giác (tiếp theo)

$$\frac{l_y}{l_x} = 1,0; \quad \lambda_x = \frac{l_x}{6}; \quad \lambda_y = \frac{l_y}{6}$$

$$\text{Độ võng: } z = \alpha \frac{p \lambda_x^4}{D}$$

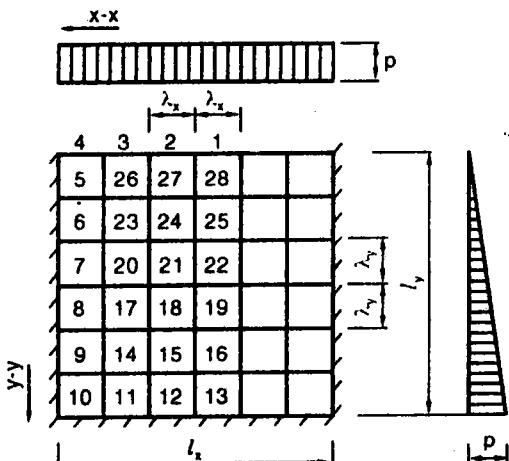
$$\text{Độ cong: } \frac{1}{\rho_{x,y}} = \gamma_{x,y} \frac{p \lambda_x^2}{D}$$

$$\text{Mômen: } M_x = \eta_x p \lambda_x^2$$

$$M_y = \eta_y p \lambda_x^3$$

$$\text{Phản lực: } R = \beta p \lambda_x$$

$$\text{Độ cứng trụ: } D = \frac{E h^3}{12(1 - \mu^2)}$$



Điểm	$\alpha$	$\gamma_x$	$\gamma_y$	$\eta_x$	$\eta_y$	$\beta$
1	0,83852	-0,3528	0,0588	0,3430	0	0
2	0,66213	-0,2226	0,0371	0,2164	0	0
3	0,26317	0,1358	-0,0226	-0,1320	0	0
4	0	2,5263	0	-0,5263	-0,0877	0,269
5	0	0,7036	0	-0,7036	-0,1173	0,677
6	0	0,8787	0	-0,8787	-0,1464	0,993
7	0	0,9670	0	-0,9670	-0,1612	1,251
8	0	0,8511	0	-0,8511	-0,1418	1,294
9	0	0,4643	0	-0,4643	-0,0774	0,928
10	0	0	0	0	0	0
11	0	0	0,4643	-0,0774	-0,4643	1,011
12	0	0	0,9117	-0,1519	-0,9117	1,587
13	0	0	1,0778	-0,1796	-1,0778	1,769
14	0,23215	-0,0085	-0,0388	0,0149	0,0402	-
15	0,45583	-0,1406	-0,0346	0,1464	0,0580	-
16	0,53890	-0,1661	-0,0255	0,1704	0,0532	-
17	0,42554	0,0260	-0,1354	-0,0034	0,1311	-
18	0,87705	-0,2763	-0,2638	0,3203	0,3098	-
19	1,05226	-0,3504	-0,3104	0,4022	0,3688	-
20	0,48350	0,0675	-0,1021	-0,0505	0,0909	-
21	1,03451	-0,3303	-0,2178	0,3666	0,2729	-
22	1,25520	-0,4414	-0,2635	0,4853	0,3371	-
23	0,43934	0,0955	-0,0434	-0,0882	0,0275	-
24	0,97415	-0,3144	-0,0987	0,3308	0,1511	-
25	1,19459	-0,4409	-0,1217	0,4612	0,1951	-
26	0,35181	0,1115	-0,0011	-0,1113	-0,0175	-
27	0,81512	-0,2661	0,0060	0,2651	0,0383	-
28	1,01231	-0,3944	0,0085	0,3930	0,0572	-

**Phụ lục 22** Số liệu tính toán bản hình chữ nhật chịu tải phân bố tam giác (tiếp theo)

$$\frac{l_y}{l_x} = 1,5; \quad \lambda_x = \frac{l_x}{6}; \quad \lambda_y = \frac{l_y}{6}$$

$$\text{Độ vông} \quad z = \alpha \frac{p\lambda_y^4}{D}$$

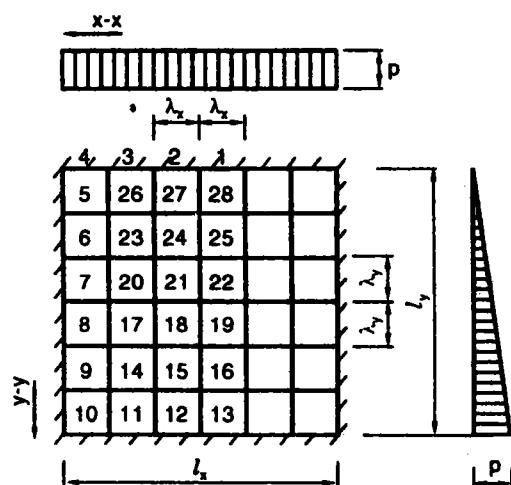
$$\text{Độ cong: } \frac{1}{\rho_{x,y}} = \gamma_{x,y} \frac{p\lambda_y^2}{D}$$

$$\text{Mômen: } M_x = \eta_x p\lambda_y^2$$

$$M_y = \eta_y p\lambda_y^2$$

$$\text{Phản lực: } R = \beta p \lambda_y$$

$$\text{Độ cứng trụ: } D = \frac{Eh^3}{12(1 - \mu^2)}$$



Điểm	$\alpha$	$\gamma_x$	$\gamma_y$	$\eta_x$	$\eta_y$	$\beta$
1	0,83852	0	0,2014	-0,0336	-0,2014	0,253
2	0,66213	0	0,1631	-0,0271	-0,1631	0,194
3	0,26317	0	0,0718	-0,0120	-0,0718	0,036
4	0	0	0	0	0	0
5	0	0,1615	0	-0,1615	-0,0269	0,244
6	0	0,3857	0	-0,3857	-0,0643	0,636
7	0	0,5641	0	-0,5641	-0,0940	0,968
8	0	0,6129	0	-0,6129	-0,1021	1,150
9	0	0,4189	0	-0,4189	-0,0698	0,958
10	0	0	0	0	0	0
11	0	0	0,1862	-0,0310	-0,1862	0,721
12	0	0	0,3860	-0,0643	-0,3860	1,115
13	0	0	0,4639	-0,0773	-0,4639	1,246
14	0,09310	0,0153	-0,0500	0,0070	0,0474	-
15	0,19300	-0,1371	-0,0920	0,1524	0,1149	-
16	0,23196	-0,1753	-0,1063	0,1930	0,1355	-
17	0,13620	0,0486	-0,0539	-0,0396	0,0458	-
18	0,29398	-0,2119	-0,1182	0,2316	0,1535	-
19	0,35759	-0,2862	-0,1442	0,3103	0,1920	-
20	0,12536	0,0587	-0,0288	-0,0539	0,0190	-
21	0,27681	-0,2009	-0,0680	0,2122	0,1014	-
22	0,33898	-0,2798	-0,0848	0,2939	0,1314	-
23	0,08571	0,0456	-0,0102	-0,0439	0,0026	-
24	0,19167	-0,1396	-0,0250	0,1437	0,0482	-
25	0,23560	-0,1977	-0,0316	0,2029	0,0645	-
26	0,03589	0,0220	0,0139	-0,0243	-0,0176	-
27	0,08157	-0,0598	0,0285	-0,0551	-0,0186	-
28	0,10065	-0,0859	0,0343	-0,0802	-0,0200	-

**Phụ lục 22** Số liệu tính toán bản hình chữ nhật chịu tải phân bố tam giác (tiếp theo)

$$\frac{l_x}{l_y} = 1,5; \quad \lambda_x = \frac{l_x}{6}; \quad \lambda_y = \frac{l_y}{6}$$

$$\text{Độ vồng } z = \alpha \frac{k \lambda_x^4}{D}$$

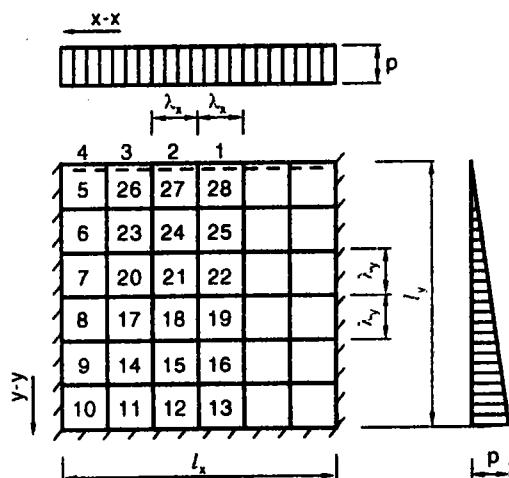
$$\text{Độ cong: } \frac{1}{\rho_{x,y}} = \gamma_{x,y} \frac{p \lambda_x^2}{D}$$

$$\text{Mômen: } M_x = \eta_x p \lambda_x^2$$

$$M_y = \eta_y p \lambda_x^2$$

$$\text{Phản lực: } R = \beta p \lambda_y$$

$$\text{Độ cứng trụ: } D = \frac{E h^3}{12(1 - \mu^2)}$$



	$\alpha$	$\gamma_x$	$\gamma_y$	$\eta_x$	$\eta_y$	$\beta$
1	0	0	0	0	0	0,411
2	0	0	0	0	0	0,354
3	0	0	0	0	0	0,109
4	0	0	0	0	0	0
5	0	0,2104	0	-0,2104	-0,0351	0,360
6	0	0,3691	0	-0,3691	-0,0615	0,664
7	0	0,4291	0	-0,4291	-0,0715	0,852
8	0	0,3605	0	-0,3605	-0,0600	1,856
9	0	0,1777	0	-0,1777	-0,0296	0,613
10	0	0	0	0	0	0
11	0	0	0,3999	-0,0666	-0,3999	0,961
12	0	0	0,6902	-0,1151	-0,6902	1,368
13	0	0	0,7828	-0,1305	-0,7828	1,475
14	0,08886	-0,0243	0,0057	0,0233	-0,0017	-
15	0,15337	-0,0439	0,0445	0,0365	-0,0372	-
16	0,17397	-0,0412	0,0627	0,0307	-0,0559	-
17	0,18027	-0,0340	-0,1285	0,0554	0,1342	-
18	0,32652	-0,0969	-0,2225	0,1340	0,2387	-
19	0,37582	-0,0986	-0,2521	0,1406	0,2686	-
20	0,21455	-0,0283	-0,1447	0,0524	0,1494	-
21	0,40077	-0,1214	-0,2776	0,1677	0,2978	-
22	0,46560	-0,1297	-0,3249	0,1838	0,3465	-
23	0,18453	-0,0174	-0,1109	0,0359	0,1138	-
24	0,35164	-0,1078	-0,2244	0,1451	0,2423	-
25	0,41100	-0,1187	-0,2667	0,1632	0,2865	-
26	0,10523	-0,0076	-0,0583	0,0174	0,0596	-
27	0,20280	-0,0625	-0,1214	0,0828	0,1318	-
28	0,23785	-0,0701	-0,1456	0,0944	0,1572	-

**Phụ lục 22** Số liệu tính toán bản hình chữ nhật  
chịu tải phân bố tam giác (tiếp theo)

$$\frac{l_y}{l_x} = 1,5; \lambda_x = \frac{l_x}{6}; \lambda_y = \frac{l_y}{6}$$

$$\text{Độ vồng: } z = \alpha \frac{p\lambda^4}{D}$$

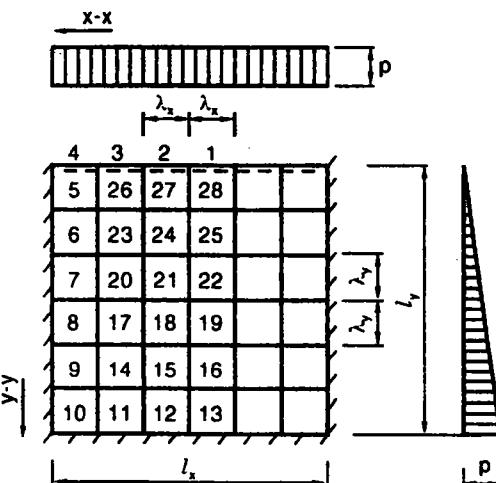
$$\text{Độ cong: } \frac{1}{p_{x,y}} = \gamma_{x,y} \frac{p\lambda_y^2}{D}$$

$$\text{Mômen: } M_x = \eta_x p \lambda_y^2$$

$$M_y = \eta_y p \lambda_y^2$$

$$\text{Phản lực: } R = \beta p \lambda_y$$

$$\text{Độ cứng trụ: } D = \frac{Eh^3}{12(1 - \mu^2)}$$



Điểm	$\alpha$	$\gamma_x$	$\gamma_y$	$\eta_x$	$\eta_y$	$\beta$
1	0	0	0	0	0	0,220
2	0	0	0	0	0	0,154
3	0	0	0	0	0	-0,049
4	0	0	0	0	0	0
5	0	0,2167	0	-0,2167	-0,0361	0,342
6	0	0,4203	0	-0,4203	-0,0700	0,679
7	0	0,5787	0	-0,5787	-0,0964	0,981
8	0	0,6174	0	-0,6174	-0,1029	1,152
9	0	0,04197	0	-0,4197	-0,0700	0,958
10	0	0	0	0	0	0
11	0	0	-0,1865	-0,0311	-0,1865	0,720
12	0	0	0,3872	-0,0645	-0,3872	1,115
13	0	0	0,4655	-0,0776	-0,4655	1,246
14	0,09327	0,0158	-0,0493	-0,0076	0,0467	-
15	0,19358	-0,1376	-0,0904	0,1526	0,1133	-
16	0,23275	-0,1763	-0,1043	0,1937	0,1337	-
17	0,13721	0,0502	-0,0526	-0,0415	0,0442	-
18	0,29674	-0,2140	-0,1150	0,2331	0,1506	-
19	0,36117	-0,2899	-0,1403	0,3133	0,1886	-
20	0,12859	0,0625	-0,0266	-0,0580	0,0162	-
21	0,28495	-0,2070	-0,0633	0,2175	0,0978	-
22	0,34932	-0,2897	-0,0792	0,3029	0,1274	-
23	0,09340	0,0518	-0,0100	-0,0504	0,0014	-
24	0,20984	-0,1530	-0,0258	0,1572	0,0513	-
25	0,25830	-0,2181	-0,0329	0,2235	0,0693	-
26	0,04815	0,0284	-0,0291	-0,0279	0,0018	-
27	0,10892	0,0795	-0,0080	0,0808	0,0213	-
28	0,13436	-0,1144	-0,0104	0,1162	0,0295	-

**Phụ lục 22** Số liệu tính toán bản hình chữ nhật  
chiều dài phân bố tam giác (tiếp theo)

$$\frac{l_y}{l_x} = 1,5; \lambda_x = \frac{l_x}{6}; \lambda_y = \frac{l_y}{6}$$

$$\text{Độ võng: } z = \alpha \frac{p\lambda_y^4}{D}$$

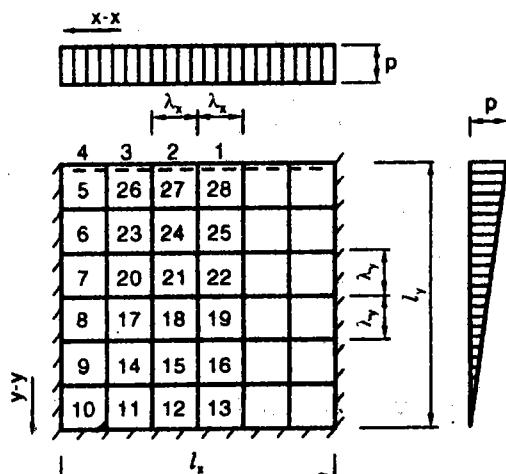
$$\text{Độ cong: } \frac{1}{p_{x,y}} = \gamma_{x,y} \frac{p\lambda_y^2}{D}$$

$$\text{Mômen: } M_x = \eta_x p\lambda_y^2$$

$$M_y = \eta_y p\lambda_y^2$$

$$\text{Phản lực: } R = \beta p\lambda_y$$

$$\text{Độ cứng trụ: } D = \frac{Eh^3}{12(1 - \mu^2)}$$



Điểm	$\alpha$	$\gamma_x$	$\gamma_y$	$\eta_x$	$\eta_y$	$\beta$
1	0	0	0	0	0	1,154
2	0	0	0	0	0	1,015
3	0	0	0	0	0	0,537
4	0	0	0	0	0	0
5	0	0,5509	0	-0,5509	-0,0918	1,196
6	0	0,6951	0	-0,6951	-0,1158	1,251
7	0	0,5985	0	-0,5985	-0,0997	0,998
8	0	0,3964	0	-0,3964	-0,0661	0,642
9	0	0,1634	0	-0,1634	-0,0272	0,242
10	0	0	0	0	0	0
11	0	0	0,0726	-0,0121	-0,0276	0,034
12	0	0	0,1659	-0,0276	-0,1659	0,194
13	0	0	0,2050	-0,0342	-0,2050	0,254
14	0,03630	0,0232	0,0155	-0,0258	-0,0193	-
15	0,08294	-0,0609	0,323	0,0555	-0,0221	-
16	0,10252	-0,0881	0,0390	0,0816	-0,0243	-
17	0,08809	0,0495	-0,0069	-0,0484	-0,0014	-
18	0,19819	-0,1445	-0,0174	0,1474	0,0415	-
19	0,24405	-0,2064	-0,0222	0,2101	0,0566	-
20	0,13301	0,0675	-0,0235	-0,0636	0,0122	-
21	0,29603	-0,2152	-0,0569	0,2247	0,0928	-
22	0,36338	-0,3031	-0,0715	0,3150	0,1221	-
23	0,15446	0,0630	-0,0535	-0,0541	0,0430	-
24	0,33692	-0,2435	-0,01201	0,2635	0,1607	-
25	0,41116	-0,3341	-0,1476	0,3587	0,2032	-
26	0,12243	0,0290	-0,0904	-0,0139	0,0856	-
27	0,25773	-0,1837	-0,1785	0,2135	0,2092	-
28	0,31139	-0,2415	-0,2116	0,2767	0,2519	-

**Phụ lục 22** Số liệu tính toán bản hình chữ nhật  
chịu tải phân bố tam giác (tiếp theo)

$$\frac{l_y}{l_x} = 1,5; \lambda_x = \frac{l_x}{6}; \lambda_y = \frac{l_y}{6}$$

$$\text{Độ võng: } z = \alpha \frac{p\lambda_y^4}{D}$$

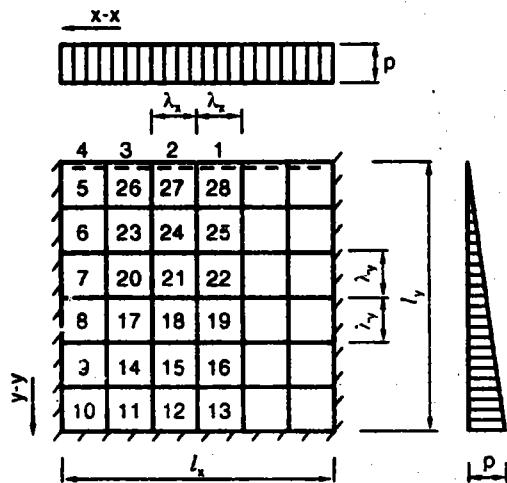
$$\text{Độ cong: } \frac{1}{p_{x,y}} = \gamma_{x,y} \frac{p\lambda_y^2}{D}$$

$$\text{Mômen: } M_x = \eta_x p \lambda_y^2$$

$$M_y = \eta_y p \lambda_y^2$$

$$\text{Phản lực: } R = \beta p \lambda_y$$

$$\text{Độ cứng trụ: } D = \frac{Eh^3}{12(1 - \mu^2)}$$



Điểm	$\alpha$	$\gamma_x$	$\gamma_y$	$\eta_x$	$\eta_y$	$\beta$
1	0,89308	-0,3414	0,0569	0,3319	0	0
2	0,72236	-0,2376	0,0396	0,2310	0	0
3	0,31401	0,0943	-0,0157	-0,0917	0	0
4	0	0,6280	0	-0,6280	-0,1047	0,515
5	0	0,6335	0	-0,6335	-0,1056	0,663
6	0	0,6262	0	-0,6262	-0,1044	0,811
7	0	0,5664	0	-0,5664	-0,0944	0,903
8	0	0,4184	0	-0,4184	-0,0697	0,851
9	0	0,1907	0	-0,1907	-0,1318	0,581
10	0	0	0	0	0	0
11	0	0	0,4291	-0,0715	-0,4291	0,937
12	0	0	0,7912	-0,1318	-0,7912	1,408
13	0	0	0,9185	-0,1531	-0,9185	1,547
14	0,09535	-0,0149	0,0416	0,0079	-0,0391	-
15	0,17583	-0,0522	0,1273	0,0310	-0,1185	-
16	0,20412	-0,0566	0,1659	0,0289	-0,1565	-
17	0,20918	-0,0102	-0,0896	0,0251	0,0913	-
18	0,40820	-0,1252	-0,1303	0,1484	0,1602	-
19	0,48199	-0,1476	-0,1514	0,1728	0,1760	-
20	0,28319	0,0123	-0,0992	0,0043	0,0972	-
21	0,57865	-0,1815	-0,1844	0,2122	0,2146	-
22	0,69258	-0,2279	-0,2135	0,2635	0,2515	-
23	0,31310	0,0410	-0,0591	-0,0311	0,0522	-
24	0,66716	-0,2129	-0,1224	0,2333	0,1579	-
25	0,80829	-0,2823	-0,1468	0,3067	0,1938	-
26	0,31676	-0,0677	-0,0144	0,0653	0,0031	-
27	0,70125	-0,2270	-0,0292	0,2318	0,0670	-
28	0,85875	-0,3150	-0,0363	0,3211	0,0868	-

**Phụ lục 22** Số liệu tính toán bản hình chữ nhật  
chịu tải phân bố tam giác (tiếp theo)

$$\frac{l_y}{l_x} = 1,5; \lambda_x = \frac{l_x}{6}; \lambda_y = \frac{l_y}{6}$$

$$\text{Độ võng: } z = \alpha \frac{p\lambda_y^4}{D}$$

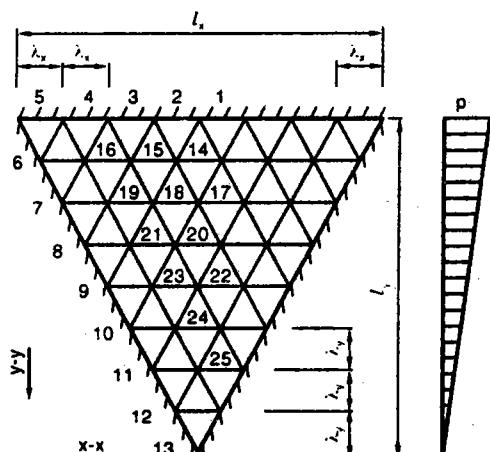
$$\text{Độ cong: } \frac{1}{p_{x,y}} = \gamma_{x,y} \frac{p\lambda_y^2}{D}$$

$$\text{Mômen: } M_x = \eta_x p\lambda_y^2$$

$$M_y = \eta_y p\lambda_y^2$$

$$\text{Phản lực: } R = \beta p\lambda_y$$

$$\text{Độ cứng trụ: } D = \frac{Eh^3}{12(1 - \mu^2)}$$



Điểm	$\alpha$	$\gamma_x$	$\gamma_y$	$\eta_x$	$\eta_y$	$\beta$
1	2,80109	-0,9929	0,1655	0,9654	0	0
2	2,30462	-0,7360	0,1226	0,7155	0	0
3	1,07218	0,1602	-0,0267	-0,1558	0	0
4	0	2,1444	0	-2,1444	-0,3574	3,857
5	0	1,7535	0	-1,7535	-0,2922	2,046
6	0	1,3487	0	-1,3487	-0,2247	1,582
7	0	0,9266	0	-0,9266	-0,1544	1,079
8	0	0,5105	0	-0,5505	-0,0851	0,540
9	0	0,1643	0	-0,1643	-0,0274	0,017
10	0	0	0	0	0	0
11	0	0	0,3695	-0,0616	-0,3695	0,209
12	0	0	0,8542	-0,1423	-0,8542	0,739
13	0	0	1,0525	-0,1754	-1,0525	0,939
14	0,08211	0,0256	0,2048	-0,0597	-0,2091	-
15	0,18983	-0,0636	0,4251	-0,0072	-0,4145	-
16	0,23389	-0,0881	0,5147	0,0023	-0,5000	-
17	0,25526	0,0581	0,785	-0,0712	-0,0882	-
18	0,56859	-0,1854	0,1577	0,1591	-0,1268	-
19	0,69654	-0,2559	0,1883	0,2245	-0,1456	-
20	0,46330	0,0909	0,0067	-0,0920	-0,0219	-
21	1,01747	-0,3288	0,0046	0,3280	0,0502	-
22	1,24288	-0,4508	0,0023	0,4505	0,0728	-
23	0,67433	0,1197	-0,0194	-0,1165	-0,0005	-
24	1,46840	-0,4722	-0,0582	0,4819	0,1369	-
25	1,79024	-0,6437	-0,0754	0,6562	0,1827	-
26	0,87674	0,1400	-0,0157	-0,1337	-0,0077	-
27	1,89347	-0,6061	-0,0313	0,6113	0,1323	-
28	2,30409	-0,8212	-0,0379	0,8276	0,1748	-

**Phụ lục 22** Số liệu tính toán bản hình chữ nhật  
chịu tải phân bố tam giác (tiếp theo)

$$\frac{l_y}{l_x} = 1,5; \lambda_x = \frac{l_x}{6}; \lambda_y = \frac{l_y}{6}$$

$$\text{Độ vồng: } z = \alpha \frac{p\lambda^4}{D}$$

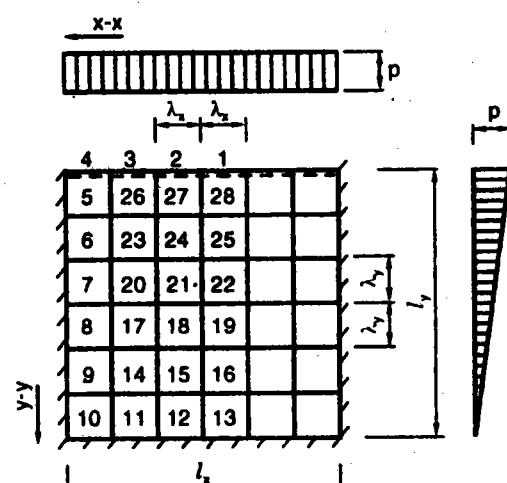
$$\text{Độ cong: } \frac{1}{p_{x,y}} = \gamma_{x,y} \frac{p\lambda^2}{D}$$

$$\text{Momen: } M_x = \eta_x p\lambda_y^2$$

$$M_y = \eta_y p\lambda_y^2$$

$$\text{Phản lực: } R = \beta p\lambda_y$$

$$\text{Độ cứng trụ: } D = \frac{Eh^3}{12(1 - \mu^2)}$$



Điểm	$\alpha$	$\gamma_x$	$\gamma_y$	$\eta_x$	$\eta_y$	$\beta$
1	0	0	0	0	0	1,145
2	0	0	0	0	0	1,070
3	0	0	0	0	0	0,711
4	0	0	0	0	0	0
5	0	0,3370	0	-0,3370	-0,0562	0,979
6	0	0,5017	0	-0,5017	-0,0836	1,081
7	0	0,4800	0	-0,4800	-0,0800	0,907
8	0	0,3240	0	-0,3240	0,0540	0,555
9	0	0,1225	0	-0,1225	-0,0204	0,120
10	0	0	0	0	0	0
11	0	0	0,2756	-0,0460	-0,2756	0,285
12	0	0	0,5360	-0,0893	-0,5360	0,616
13	0	0	0,8277	-0,1046	-0,6277	0,718
14	0,06125	-0,0034	0,0889	-0,0114	-0,0883	-
15	0,11911	-0,0375	0,1627	0,0104	-0,1564	-
16	0,13949	-0,0408	0,1894	0,0092	-0,1826	-
17	0,16200	-0,0135	-0,0512	0,0220	0,0534	-
18	0,31052	-0,0959	-0,1085	0,1139	0,1245	-
19	0,36317	-0,1053	-0,1300	0,1270	0,1476	-
20	0,23999	-0,0263	-0,1511	0,0515	0,1554	-
21	0,45371	-0,1383	-0,2957	0,1876	0,3187	-
22	0,52906	-0,1507	-0,3481	0,2087	0,3732	-
23	0,25085	-0,0362	-0,2097	0,0712	0,2157	-
24	0,46048	-0,1399	-0,3869	0,2044	0,4102	-
25	0,54023	-0,1495	-0,4482	0,2242	0,4731	-
26	0,16850	-0,0317	-0,1939	0,0640	0,1991	-
27	0,30532	-0,0899	-0,3266	0,1443	0,3416	-
28	0,35222	-0,0938	-0,3695	0,1554	0,3851	-

**Phụ lục 22** *Số liệu tính toán bản hình chữ nhật  
chịu tải phân bố tam giác (tiếp theo)*

$$\frac{l_y}{l_x} = 1,5; \lambda_x = \frac{l_x}{6}; \lambda_y = \frac{l_y}{6}$$

$$\text{Độ vông: } z = \alpha \frac{p\lambda_y^4}{D}$$

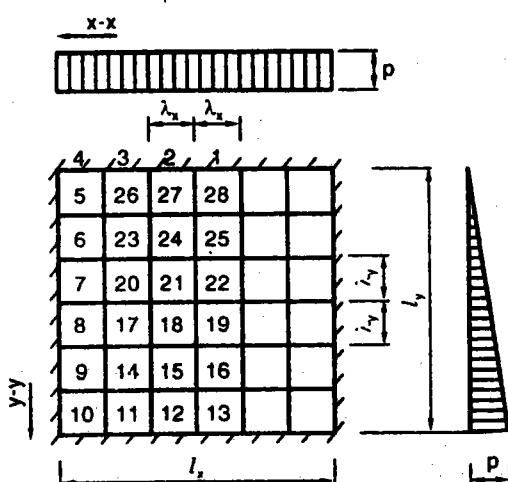
$$\text{Độ cong: } \frac{1}{p_{x,y}} = \gamma_{x,y} \frac{p\lambda_y^2}{D}$$

$$\text{Mômen: } M_x = \eta_x p\lambda_y^2$$

$$M_y = \eta_y p\lambda_y^2$$

$$\text{Phản lực: } R = \beta p\lambda_y$$

$$\text{Độ cứng trụ: } D = \frac{Eh^3}{12(1 - \mu^2)}$$



Điểm	$\alpha$	$\gamma_x$	$\gamma_y$	$\eta_x$	$\eta_y$	$\beta$
1	0	0	0,4582	-0,0764	-0,4582	0,564
2	0	0	0,03992	-0,0665	-0,3992	0,497
3	0	0	0,2183	-0,0364	-0,2183	0,258
4	0	0	0	0	0	0
5	0	0,0970	0	-0,0970	-0,0161	0,134
6	0	0,2423	0	-0,2423	-0,0404	0,493
7	0	0,3326	0	-0,3326	-0,0554	0,749
8	0	0,3069	0	-0,3069	-0,0511	0,816
9	0	0,1610	0	-0,1610	-0,0268	0,622
10	0	0	0	0	0	0
11	0	0	0,3622	0,0604	-0,3622	0,944
12	0	0	0,5994	-0,0999	-0,5994	1,289
13	0	0	0,6700	-0,1117	-0,6700	1,372
14	0,08048	-0,0279	-0,0170	0,0306	0,0216	-
15	0,13320	-0,0370	-0,0006	0,0371	0,0067	-
16	0,14889	-0,0314	0,0089	0,0299	-0,0036	-
17	0,15343	-0,0407	-0,1351	0,0632	0,1419	-
18	0,26615	-0,0771	-0,2306	0,1156	0,2435	-
19	0,30173	-0,0712	-0,2601	0,1145	0,2719	-
20	0,16631	-0,0360	-0,1306	0,0578	0,1366	-
21	0,29660	-0,0879	-0,2419	0,1282	0,2566	-
22	0,33898	-0,0848	-0,2798	0,1314	0,2939	-
23	0,12113	-0,0227	-0,0618	0,0330	0,0655	-
24	0,21950	-0,0660	-0,1208	0,0861	0,1318	-
25	0,25189	-0,0648	-0,1417	0,0884	0,1525	-
26	0,04856	0,0083	0,0543	-0,0007	-0,0530	-
27	0,08871	0,0271	0,0947	0,0113	-0,0902	-
28	0,10183	0,0262	0,1085	0,0081	-0,1042	-

**Phụ lục 22** Số liệu tính toán bản hình chữ nhật  
chịu tải phân bố tam giác (tiếp theo)

$$\frac{l_y}{l_x} = 1,5; \lambda_x = \frac{l_x}{6}; \lambda_y = \frac{l_y}{6}$$

$$\text{Độ võng: } z = \alpha \frac{p \lambda_y^4}{D}$$

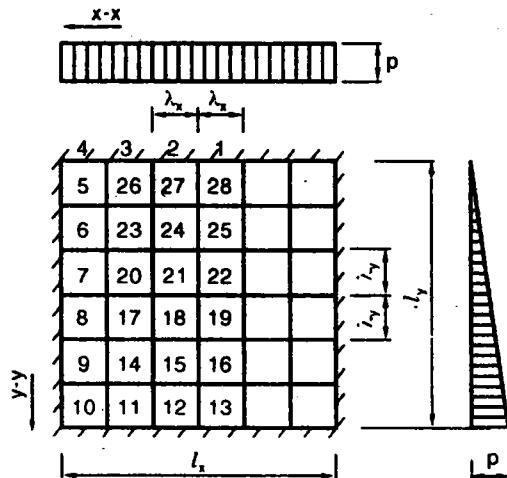
$$\text{Độ cong: } \frac{1}{p_{x,y}} = \gamma_{x,y} \frac{p \lambda_y^2}{D}$$

$$\text{Mômen: } M_x = \eta_x p \lambda_y^2$$

$$M_y = \eta_y p \lambda_y^2$$

$$\text{Phản lực: } R = \beta p \lambda_y$$

$$\text{Độ cứng trụ: } D = \frac{E h^3}{12(1 - \mu^2)}$$



Điểm	$\alpha$	$\gamma_x$	$\gamma_y$	$\eta_x$	$\eta_y$	$\beta$
1	0,10694	-0,1072	0,0179	0,1042	0	0
2	0,08312	-0,0635	0,0106	0,0617	0	0
3	0,03109	0,0471	-0,0078	-0,0458	0	0
4	0	0,1399	0	-0,1399	-0,0233	-0,026
5	0	0,2772	0	-0,2772	-0,0462	0,391
6	0	0,4393	0	0,4393	-0,0732	0,687
7	0	0,5826	0	-0,5826	-0,0971	0,979
8	0	0,6174	0	-0,6174	-0,1029	1,149
9	0	0,4193	0	-0,4193	-0,0698	0,957
10	0	0	0	0	0	0
11	0	0	0,1864	-0,0310	-0,1864	0,720
12	0	0	0,3869	-0,0643	-0,3869	1,114
13	0	0	0,4653	-0,0774	-0,4653	1,245
14	0,09319	0,0160	-0,0492	-0,0077	0,0465	-
15	0,19347	-0,1375	-0,0899	0,1525	0,1128	-
16	0,23264	-0,1763	-0,1036	0,1936	0,1330	-
17	0,13721	0,0509	-0,0518	-0,0423	0,0443	-
18	0,29705	-0,2142	-0,1128	0,2330	0,1485	-
19	0,36167	-0,2908	-0,1374	0,3137	0,1859	-
20	0,12946	0,0651	-0,0241	-0,0611	0,0132	-
21	0,28786	-0,2092	-0,0569	0,2187	0,0917	-
22	0,35328	-0,2944	-0,0710	0,3062	0,1200	-
23	0,09763	0,0596	-0,0042	-0,0589	-0,0057	-
24	0,22175	-0,1620	-0,0111	0,1638	0,0381	-
25	0,27390	-0,2342	-0,0143	0,2370	0,0534	-
26	0,6159	0,0480	0,0055	-0,0489	-0,0135	-
27	0,14452	-0,1062	0,0157	0,1036	0,0019	-
28	0,18023	-0,1607	0,0204	0,1573	0,0064	-

**Phụ lục 22** Số liệu tính toán bản hình chữ nhật  
chịu tải phân bố tam giác (tiếp theo)

$$\frac{l_y}{l_x} = 1,5; \lambda_x = \frac{l_x}{6}; \lambda_y = \frac{l_y}{6}$$

$$\text{Độ võng: } z = \alpha \frac{p\lambda_y^4}{D}$$

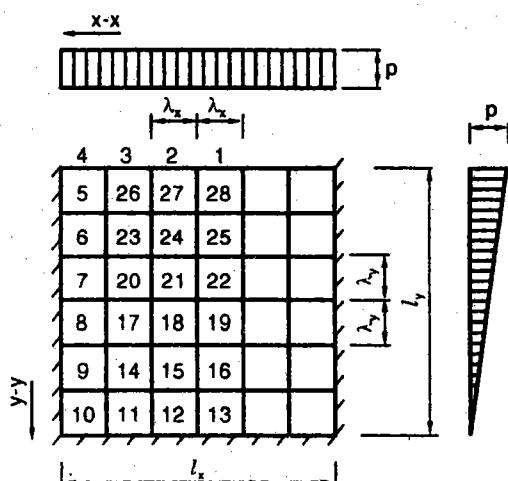
$$\text{Độ cong: } \frac{1}{p_{x,y}} = \gamma_{x,y} \frac{p\lambda_y^2}{D}$$

$$\text{Mômen: } M_x = \eta_x p\lambda_y^2$$

$$M_y = \eta_y p\lambda_y^2$$

$$\text{Phản lực: } R = \beta p\lambda_y$$

$$\text{Độ cứng trụ: } D = \frac{Eh^3}{12(1 - \mu^2)}$$



Điểm	$\alpha$	$\gamma_x$	$\gamma_y$	$\eta_x$	$\eta_y$	$\beta$
1	0,74970	-0,6391	0,1065	0,6214	0	0
2	0,60767	-0,4442	0,0740	0,4318	0	0
3	0,26824	0,1602	-0,0267	-0,1557	0	0
4	0	1,2071	0	-1,2071	-0,2012	2,135
5	0	1,0229	0	-1,0229	-0,1705	1,612
6	0	0,8339	0	-0,8339	-0,1390	1,310
7	0	0,6248	0	-0,6248	-0,1041	0,983
8	0	0,3952	0	-0,3952	-0,0659	0,624
9	0	0,1604	0	-0,1604	-0,0267	0,235
10	0	0	0	0	0	0
11	0	0	0,0713	-0,0119	-0,0713	0,031
12	0	0	0,1639	-0,0273	-0,1639	0,188
13	0	0	0,2030	-0,0338	-0,2030	0,247
14	0,03565	0,0240	0,0165	-0,0268	-0,0205	-
15	0,08197	-0,0602	0,0358	0,0543	-0,0257	-
16	0,10152	-0,0880	0,0437	0,0807	-0,0291	-
17	0,08783	0,0542	-0,0012	0,0540	-0,0079	-
18	0,19973	-0,1459	-0,0019	0,1462	0,0262	-
19	0,24678	-0,2117	-0,0022	0,2121	0,0374	-
20	0,13884	0,0853	-0,0045	-0,0845	-0,0097	-
21	0,31558	-0,2305	-0,0106	0,2323	0,0490	-
22	0,38988	-0,3343	-0,0132	0,3365	0,0690	-
23	0,18531	0,1130	-0,0044	-0,1122	-0,0144	-
24	0,42083	-0,3074	-0,0118	0,3093	0,0630	-
25	0,51974	-0,4451	-0,0150	0,4477	0,0892	-
26	0,22732	0,1343	-0,0011	-0,1341	-0,0213	-
27	0,51432	-0,3752	-0,0001	0,3752	0,0627	-
28	0,63456	-0,5411	-0,0003	0,5410	0,0899	-

## TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Đề cương môn học “Kết cấu bê tông cốt thép 3”, Bộ môn Công trình - Khoa Kỹ thuật Xây dựng, Trường Đại học Bách khoa - Đại học Quốc gia TP Hồ Chí Minh, 2001.
2. Kết cấu bê tông cốt thép, Tiêu chuẩn thiết kế TCVN 5574 - 1991.
3. Tải trọng tác động, TCVN 2737 - 1995.
4. Binoy K. Chatterjee, *Theory and design of concrete shells*, Published in the USA by Chapman and Hall, 29 West 35<sup>th</sup> street, New York NY10001 - 1988.
5. X. P. Timôsenkô, X. Voinopxki - Krige, *Tấm và vỏ*, Nhà xuất bản Khoa học và Kỹ thuật Hà Nội, 1971.
6. V. Baikov, *Kết cấu bê tông cốt thép*, Nhà xuất bản Mockba, 1974.
7. Lê Thanh Huấn, *Kết cấu mái vỏ mỏng bằng bê tông cốt thép*, Nhà xuất bản Xây dựng Hà Nội, 1981.
8. Ngô Thế Phong, Nguyễn Đình Công, Nguyễn Xuân Liên, Nguyễn Phấn Tấn, *Kết cấu bê tông cốt thép*, Nhà xuất bản Khoa học Kỹ thuật Hà Nội, 1990.
9. И. И. Упцкий. Железобетонные конструкции, издательство “Вузгизельник” Киев, 1973.

# KẾT CẤU BÊ TÔNG CỐT THÉP

## TẬP 3: CÁC CẤU KIỆN ĐẶC BIỆT

Võ Bá Tâm

NHÀ XUẤT BẢN  
ĐẠI HỌC QUỐC GIA TP HỒ CHÍ MINH

Khu phố 6, Phường Linh Trung, Quận Thủ Đức, TP HCM

ĐT: 7242181, 7242160 + (1421, 1422, 1423, 1425, 1426)

Fax: 7242194

Email: vnuhp@vnuhcm.edu.vn

*Chịu trách nhiệm xuất bản*

PGS-TS NGUYỄN QUANG DIỄN

*Biên tập*

TRẦN VĂN THẮNG

*Sửa bản in*

PHẠM THỊ ANH TÚ

*Trinh bày bìa*

TRƯỜNG NGỌC TUẤN

In 500 cuốn, khổ 16 x 24 cm

Số đăng ký KHXB: 121-2006/CXB/81-11/ĐHQG-TPHCM

Quyết định xuất bản số: 19/QĐ-DHQG-TPHCM

ngày 15/6/2006 của Nhà Xuất bản DHQG TPHCM

In tại Xưởng in Đại học Bách khoa - ĐHQG TP.HCM

Nộp lưu chiểu tháng 9 năm 2006.

