

Chương 3: THANH CHỊU KÉO HOẶC NÉN ĐÚNG TÂM

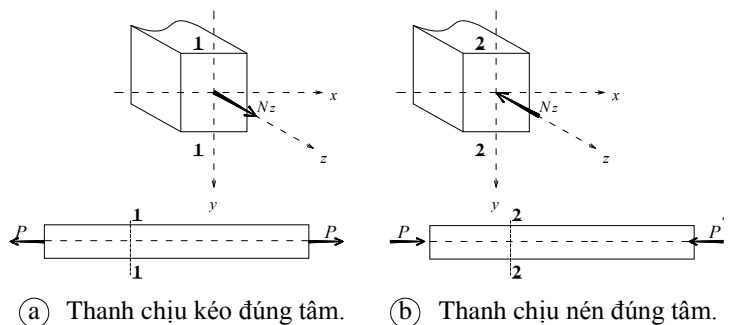
Mục tiêu chương:

Trình bày về khái niệm thanh chịu kéo (hoặc nén) đúng tâm; cách xác định lực dọc, vẽ biểu đồ lực dọc; cách xác định ứng suất trên mặt cắt ngang, mặt cắt nghiêng; cách xác định biến dạng và chuyển vị; các xác định các đặc trưng cơ học của vật liệu thông qua các thí nghiệm. Từ đó thiết lập được điều kiện bền theo quan điểm ứng suất phép và tính toán ba bài toán cơ bản.

3.1. KHÁI NIỆM

Định nghĩa: Một thanh được gọi là chịu kéo hoặc nén đúng tâm khi trên mọi mặt cắt ngang của thanh chỉ có một thành phần nội lực là lực dọc N_z .

- $N_z > 0$: khi hướng ra ngoài mặt cắt (thanh chịu kéo).
- $N_z < 0$: khi hướng vào trong mặt cắt (thanh chịu nén).



Hình 3.1 Thanh chịu kéo và thanh chịu nén đúng tâm

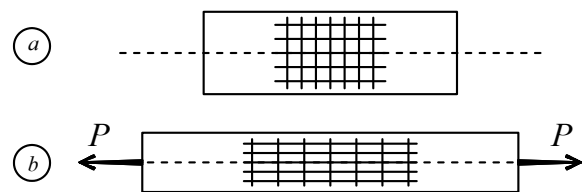
Thanh chịu kéo (nén) đúng tâm khi thanh chịu 2 lực bằng nhau và trái chiều ở hai đầu dọc trục thanh. Ví dụ: Trường hợp chịu lực của dây cáp cần trục, trường hợp ống khói chịu nén do trọng lượng bản thân, trường hợp chịu lực của các thanh trong giàn, ...

3.2. ỨNG SUẤT TRÊN MẶT CẮT NGANG

3.2.1. Thí nghiệm:

Để tính ứng suất trên mặt cắt ngang ta làm thí nghiệm với thanh mặt cắt ngang chữ nhật chịu kéo đúng tâm (Hình 3.2a).

Trước khi cho thanh chịu lực, vạch lên mặt thanh những đường thẳng song song với trục tượng trưng cho các thớ dọc và những đường vuông góc với trục thanh tượng trưng cho các mặt cắt ngang, chúng tạo thành mạng lưới ô vuông.



Hình 3.2: Biến dạng của thanh chịu nén đúng tâm.

Sau khi tác dụng lực, thanh bị biến dạng. Quan sát thấy: các đường thẳng song song và vuông góc với trục thanh vẫn còn song song và vuông góc với trục nhưng mạng lưới ô vuông đã trở thành mạng lưới ô chữ nhật (Hình 3.2b).

3.2.2. Các giả thiết:

Từ những quan sát của thí nghiệm, rút ra được những giả thiết về tính chất biến dạng của thanh chịu kéo (nén) đúng tâm:

- Trong quá trình biến dạng mặt cắt ngang của thanh luôn luôn giữ phẳng và vuông góc với trục của thanh.
- Trong quá trình biến dạng, các thớ dọc không ép lên nhau cũng không đẩy nhau ra.
- Các thớ dọc có biến dạng bằng nhau (tuân theo định luật Hooke).

3.2.3. Ứng suất trên mặt cắt ngang:

Lực dọc là tổng của các ứng suất pháp:
$$N_z = \int_F \sigma_z \cdot dA \quad (2.4a)$$

Do các thớ dọc của thanh đều giãn dài ra như nhau nên ứng suất pháp σ_z tại mọi điểm trên mặt cắt ngang phải có giá trị bằng nhau: $\sigma_z = \text{const}$.

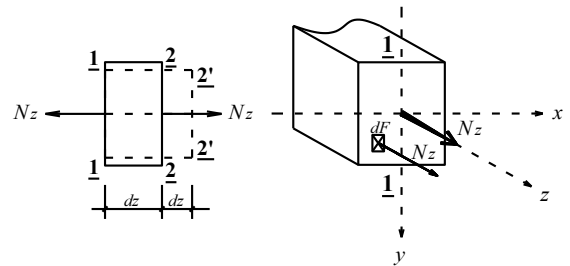
Từ công thức (2.4a) sẽ có:

$$N_z = \sigma_z \cdot A \quad \rightarrow \quad \sigma_z = \frac{N_z}{A} \quad (3.1)$$

Với: $\rightarrow N_z$: Lực dọc của thanh.

$\rightarrow A$: Diện tích mặt cắt ngang thanh.

Dấu của ứng suất pháp σ_z cùng dấu với lực dọc N_z .



Hình 3.3: Ứng suất trên mặt cắt ngang.

3.3. BIẾN DẠNG CỦA THANH

3.3.1. Biến dạng dọc:

3.3.1.1. Định nghĩa: Biến dạng dọc là biến dạng dài theo phương dọc thanh.

3.3.1.2. Xác định biến dạng dọc:

Xét một đoạn thanh có chiều dài dz chịu kéo đúng tâm, sau tác dụng của lực bị giãn dài ra là δdz :

- Biến dạng dài tương đối của đoạn dz :
$$\epsilon_z = \frac{\delta dz}{dz} \quad (3.2a)$$

- Theo định luật Hooke có biến dạng dài tương đối:
$$\epsilon_z = \frac{\sigma_z}{E} \quad (3.2b)$$

- Từ (3.2a) và (3.2b) có biến dạng dài của đoạn thanh dz :

$$\delta dz = \epsilon_z \cdot dz = \frac{\sigma_z}{E} \cdot dz = \frac{N_z}{E \cdot A} \cdot dz \quad (3.2c)$$

- Biến dạng dài tương đối của cả chiều dài L :
$$\Delta L = \int_L \delta dz = \int_L \frac{N_z}{E \cdot A} \cdot dz \quad (3.3)$$

+ Khi $\frac{N_z}{E \cdot A} = \text{const}$ trên toàn bộ chiều dài L :
$$\Delta L = \frac{N_z \cdot L}{E \cdot A} \quad (3.4)$$

+ Khi $\frac{N_z}{E \cdot A} = \text{const}$ trên từng đoạn chiều dài L_i :
$$\Delta L = \sum \Delta L_i = \sum \frac{N_{z_i} \cdot L_i}{E_i \cdot A_i} \quad (3.5)$$

+ Khi $E.A = \text{const}$ trên toàn bộ chiều dài L :
$$\Delta L = \frac{\Omega(N)}{E.A} \quad (3.6)$$

Trong đó: $\rightarrow E$: Môđun đàn hồi, phụ thuộc vào vật liệu, có thứ nguyên [lực/(chiều dài)²], đơn vị N/m^2 và được xác định từ thí nghiệm.

$\rightarrow E.A$: Độ cứng của thanh khi kéo hoặc nén đúng tâm.

$\rightarrow \Omega(N)$: Diện tích biểu đồ lực dọc trên toàn bộ chiều dài L .

3.3.2. Biến dạng ngang:

Khi thanh chịu kéo hoặc nén đúng tâm, ngoài biến dạng dọc, thanh cũng bị biến dạng ngang. Biến dạng ngang là biến dạng dài theo phương vuông góc với trục thanh.

Nếu ta chọn z là trục thanh, x và y là các phương vuông góc với z . Các biến dạng tương ứng với các phương lần lượt là $\epsilon_z, \epsilon_x, \epsilon_y$ và giữa chúng có mối quan hệ sau:

$$\epsilon_x = \epsilon_y = -\mu \cdot \epsilon_z \quad (3.7)$$

Trong đó: $\rightarrow \mu$: Hệ số Poisson (hệ số nở ngang) và có giá trị $0 \leq \mu \leq 0,5$.

$\rightarrow (-)$: Biến dạng theo phương dọc và ngang ngược nhau.

Bảng 3.1: Môđun đàn hồi và hệ số Poisson của một số vật liệu.

Vật liệu	E (kN/cm ²)	μ
Thép (0,15-0,20)%C	2.10^4	0,25-0,33
Thép lò xo	$2,2.10^4$	0,25-0,33
Thép niken	$1,9.10^4$	0,25-0,33
Gang xám	$1,15.10^4$	0,23-0,27
Đồng	$1,2.10^4$	0,31-0,34
Đồng thau	$(1,0-1,2).10^4$	0,31-0,34
Nhôm	$(0,7-0,8).10^4$	0,32-0,36
Gỗ dọc thớ	$(0,08-0,12).10^4$	
Bê tông		0,08-0,18
Cao su	0,8	0,47

3.3.3. Ví dụ:

Cho thanh chịu lực như hình vẽ:

1, Vẽ biểu đồ lực dọc N_z .

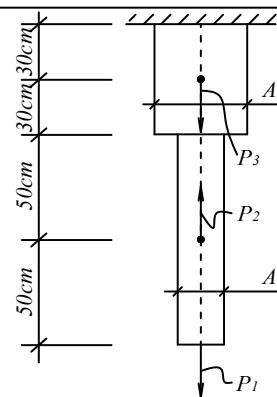
2, Tính ứng suất trên mặt cắt mỗi đoạn.

3, Xác định biến dạng dài toàn phần của thanh.

Biết: Thanh đồng nhất có $E = 2.10^4 \text{ kN/cm}^2$

Tiết diện: $A_1 = 10 \text{ cm}^2$ và $A_2 = 20 \text{ cm}^2$.

Tải trọng: $P_1 = 30 \text{ kN}$; $P_2 = 40 \text{ kN}$; $P_3 = 20 \text{ kN}$.



◆ **Lời giải:**

1, Vẽ biểu đồ lực dọc N_z (Hình 3.4b):

- Đoạn 1: $N_1 = + P_1 = + 30\text{kN}$.
- Đoạn 2: $N_2 = -P_2 + N_1 = -40 + 30 = -10\text{kN}$.
- Đoạn 3: $N_3 = N_2 = -10\text{kN}$.
- Đoạn 4: $N_4 = + P_3 + N_3 = 20 - 10 = 10\text{kN}$.

2, Ứng suất trên mặt cắt mỗi đoạn:

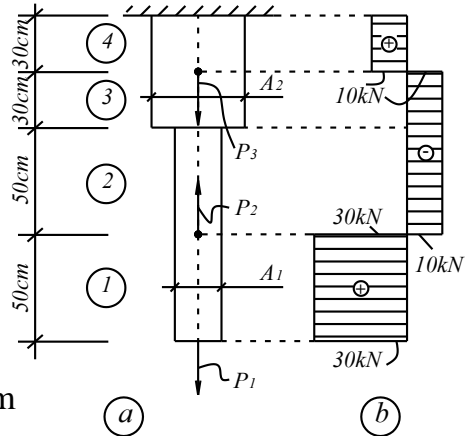
- Đoạn 1: $\sigma_1 = \frac{N_1}{A_1} = \frac{30}{10} = 3\text{kN/cm}^2$
- Đoạn 2: $\sigma_2 = \frac{N_2}{A_1} = \frac{-10}{10} = -1\text{kN/cm}^2$
- Đoạn 3: $\sigma_3 = \frac{N_3}{A_2} = \frac{-10}{20} = -0,5\text{kN/cm}^2$
- Đoạn 4: $\sigma_4 = \frac{N_4}{A_2} = \frac{10}{20} = 0,5\text{kN/cm}^2$

3, Xác định biến dạng dài toàn phần ΔL :

$$\Delta L = \sum_i \frac{N_{zi} \cdot L_i}{E_i \cdot A_i} = \frac{N_1 \cdot L_1}{E \cdot A_1} + \frac{N_2 \cdot L_2}{E \cdot A_1} + \frac{N_3 \cdot L_3}{E \cdot A_2} + \frac{N_4 \cdot L_4}{E \cdot A_2}$$

$$= \frac{30 \cdot 50}{2 \cdot 10^4 \cdot 10} + \frac{-10 \cdot 50}{2 \cdot 10^4 \cdot 10} + \frac{-10 \cdot 30}{2 \cdot 10^4 \cdot 20} + \frac{10 \cdot 30}{2 \cdot 10^4 \cdot 20} = 0,005\text{cm}$$

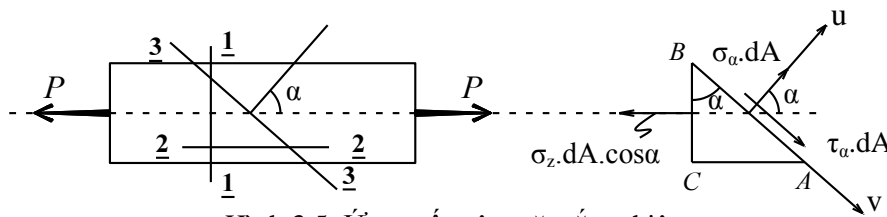
Biến dạng dọc $\Delta L > 0$ có nghĩa là thanh bị dài ra.



Hình 3.4: Biểu đồ lực dọc N_z .

3.4. ỨNG SUẤT TRÊN MẶT CẮT NGHIÊNG

Để xác định ứng suất trên mặt cắt nghiêng bất kỳ có pháp tuyến hợp với trục thanh một góc α , tưởng tượng tách khỏi thanh một phân tử bằng các mặt cắt 1-1, 2-2 và 3-3 (Hình 3.5):



Hình 3.5: Ứng suất trên mặt cắt nghiêng.

- Nếu gọi dA là diện tích mặt cắt nghiêng AB thì diện tích mặt phẳng cắt BC là $dA \cdot \cos\alpha$.
- Mặt cắt nghiêng AB có hai thành phần: ứng suất pháp σ_α và ứng suất tiếp τ_α . Hợp lực của chúng là: $\sigma_\alpha \cdot dA$ và $\tau_\alpha \cdot dA$.
- Viết phương trình hình chiếu của tất cả các lực lên phương u và v . Ta có:

$$\begin{cases} \sum u = \sigma_\alpha \cdot dA - \sigma_z \cdot dA \cdot \cos\alpha \cdot \cos\alpha = 0 \\ \sum v = \tau_\alpha \cdot dA - \sigma_z \cdot dA \cdot \cos\alpha \cdot \sin\alpha = 0 \end{cases} \rightarrow \begin{cases} \sigma_\alpha = \sigma_z \cdot \cos^2\alpha = \frac{\sigma_z}{2} \cdot (1 + \cos 2\alpha) \\ \tau_\alpha = \frac{\sigma_z}{2} \cdot \sin 2\alpha \end{cases} \quad (3.8)$$

Từ công thức (3.8) rút ra nhận xét:

- Ứng suất pháp σ_α đạt giá trị lớn nhất khi $\cos 2\alpha = 1$ (tức $\alpha = 0$: mặt cắt nghiêng trở thành mặt cắt ngang) và đạt giá trị nhỏ nhất khi $\cos 2\alpha = -1$ (tức $\alpha = \pi/2$: mặt cắt nghiêng trở thành mặt cắt dọc).
- Ứng suất tiếp τ_α đạt giá trị lớn nhất khi $\sin 2\alpha = 1$ (tức $\alpha = \pi/4$) và đạt giá trị nhỏ nhất khi $\sin 2\alpha = -1$ (tức $\alpha = 3\pi/4$).

Để thấy được sự liên hệ giữa các ứng suất trên hai mặt cắt nghiêng vuông góc, xét ứng suất trên mặt cắt nghiêng có pháp tuyến hợp với trục thanh góc $(\alpha + \pi/2)$:

- Từ công thức (3.8), thay α bằng $(\alpha + \pi/2)$. Ta sẽ có:

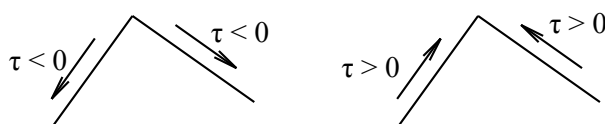
$$\begin{cases} \sigma_\alpha = \frac{\sigma_z}{2} \cdot (1 - \cos 2\alpha) \\ \tau_\alpha = -\frac{\sigma_z}{2} \cdot \sin 2\alpha \end{cases} \quad (3.9)$$

- Từ công thức (3.8) và (3.9), rút ra kết luận:

+ Mặt cắt nguy hiểm của thanh chịu kéo hoặc nén chính là mặt cắt ngang.

+ Tổng ứng suất pháp trên hai mặt cắt nghiêng vuông góc với nhau là một hằng số (luật bất biến của ứng suất pháp).

+ Ứng suất tiếp trên hai mặt cắt vuông góc với nhau bằng nhau về trị số và ngược dấu nhau (luật đối ứng của ứng suất tiếp / Hình 3.6).



Hình 3.6: Luật đối ứng của ứng suất tiếp.

3.5. CÁC ĐẶC TRƯNG CƠ HỌC CỦA VẬT LIỆU

Muốn hiểu rõ đặc trưng cơ học của vật liệu, thường làm thí nghiệm kéo nén để quan sát tính chất và quá trình biến dạng của các loại vật liệu khác nhau kể từ lúc mới bắt đầu chịu lực cho đến khi bị phá hủy.

Căn cứ vào biến dạng của mẫu thí nghiệm khi bị phá hủy, chia vật liệu làm hai loại: vật liệu dẻo và vật liệu giòn.

Vật liệu dẻo: là những vật liệu bị phá hoại sau khi đã có biến dạng lớn (quan sát được bằng mắt trong điều kiện bình thường). Ví dụ: thép, đồng, nhôm...

Vật liệu giòn: là những vật liệu bị phá hoại ngay khi biến dạng còn rất bé (không quan sát được bằng mắt trong điều kiện bình thường). Ví dụ: gang, đá, bê-tông...

3.5.1. Thí nghiệm kéo:

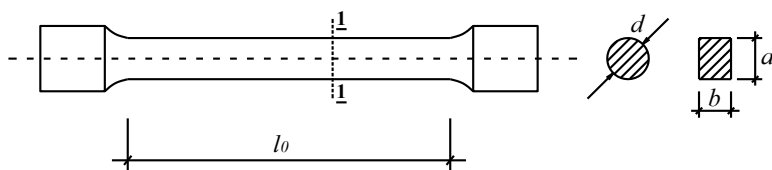
3.5.1.1. Mẫu thí nghiệm (Hình 3.7):

Mẫu thí nghiệm kéo thường là thép (hoặc gang) với tiết diện tròn hoặc chữ nhật:

- Mẫu có tiết diện tròn:

+ Mẫu dài: $l_0 = 10d_0$.

+ Mẫu ngắn: $l_0 = 5d_0$.



Hình 3.7: Mẫu thí nghiệm kéo.

- Mẫu có tiết diện chữ nhật: $\frac{a}{b} = 1 - 5$

+ Mẫu dài: $l_0 = 11,3\sqrt{A_0}$.

+ Mẫu ngắn: $l_0 = 5,6\sqrt{A_0}$.

Trong đó: $\rightarrow l_0$: Chiều dài chuẩn ban đầu.

$\rightarrow d_0$: Đường kính ban đầu của tiết diện tròn.

$\rightarrow a, b$: Kích thước ban đầu của tiết diện chữ nhật.

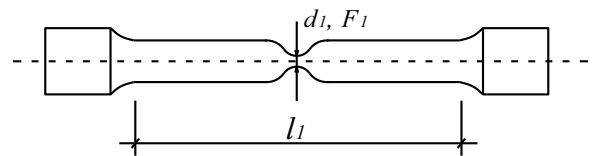
$\rightarrow A_0$: Diện tích ban đầu của tiết diện chữ nhật.

3.5.1.2. Thí nghiệm kéo với vật liệu dẻo (thép):

◆ Tiến hành thí nghiệm:

Để thí nghiệm được chính xác, hai đầu mẫu thí nghiệm (vị trí cặp vào máy) được gia công có kích thước lớn hơn.

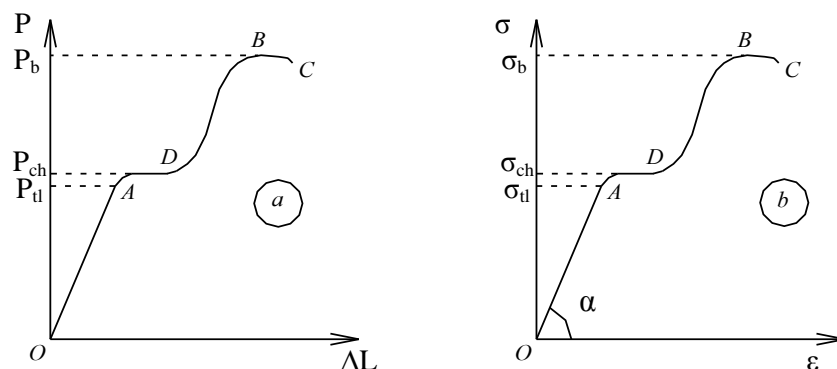
Sau khi cặp mẫu vào máy, tăng lực dần từ 0 cho đến khi mẫu bị đứt (Hình 3.8). Đồ thị biểu diễn quan hệ giữa lực kéo P và độ biến dạng dài tuyệt đối ΔL của mẫu thí nghiệm có dạng như hình 3.9a.



Hình 3.8: Dạng đứt “cổ thắt” của mẫu thép khi kéo.

◆ **Phân tích kết quả:** Từ biểu đồ kéo chia quá trình chịu lực của vật liệu làm ba giai đoạn: giai đoạn đàn hồi, giai đoạn chảy và giai đoạn cứng cổ.

Giai đoạn đàn hồi (đoạn OA): Vật liệu làm việc tuân theo định luật Hooke: quan hệ giữa lực tác dụng và biến dạng là bậc nhất. Ứng với giai đoạn này có: lực kéo lớn nhất P_{tl} và giới hạn tỷ lệ $\sigma_{tl} = P_{tl} / A_0$.



Hình 3.9: Các biểu đồ của thí nghiệm kéo vật liệu dẻo.

a, Biểu đồ kéo vật liệu dẻo.

b, Biểu đồ quy ước kéo ϵ - σ vật liệu dẻo.

Giai đoạn chảy (đoạn AD): Tương quan giữa P và ΔL là một đường nằm ngang. Đặc điểm của giai đoạn này là lực kéo không tăng trong khi đó biến dạng vẫn cứ tăng. Trị số lực tương ứng với giai đoạn này là P_{ch} và giới hạn chảy là $\sigma_{ch} = P_{ch} / A_0$.

Giai đoạn cứng cổ (đoạn DBC): Sau biến dạng chảy, vật liệu bị biến cứng nên ở giai đoạn này lực có tăng biến dạng mới tăng. Quan hệ giữa lực kéo và biến dạng là một đường cong. Trị số lực cao nhất trong giai đoạn này là P_b và giới hạn bền $\sigma_b = P_b / A_0$.

Nếu chiều dài mẫu sau khi đứt (Hình 3.8) là L_1 và diện tích mặt cắt ngang nơi đứt là F_1 thì ta có các đặc trưng cho tính dẻo của vật liệu như sau:

- **Biến dạng dài tương đối** (tính bằng phần trăm):
$$\delta = \frac{l_0 - l_1}{l_0} \cdot 100\% \quad (3.10)$$

- **Độ thắt tỷ đối** (tính bằng phần trăm):
$$\psi = \frac{A_0 - A_1}{A_0} \cdot 100\% \quad (3.11)$$

♦ **Biểu đồ $\sigma - \epsilon$:**

+ Từ biểu đồ P- ΔL (Hình 3.9a) suy ra biểu đồ tương quan giữa ứng suất $\sigma_z = P/F_0$ và biến dạng dài tương đối $\epsilon_z = \Delta L/l_0$ (Hình 3.9b).

+ Biểu đồ $\sigma - \epsilon$ có hình dạng giống biểu đồ P- ΔL và từ biểu đồ này có thể xác định được môđun đàn hồi của vật liệu E: $E = \sigma/\epsilon = \tan\alpha$.

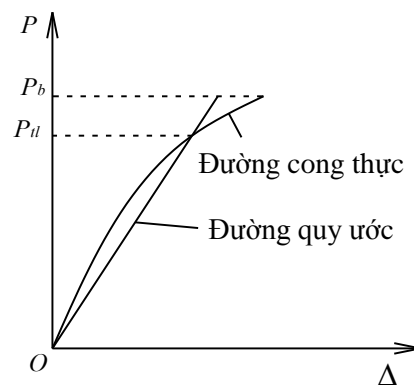
3.5.1.3. Thí nghiệm kéo với vật liệu giòn (gang):

- Mẫu thí nghiệm và cách tiến hành thí nghiệm tương tự như đối với vật liệu dẻo.
- Biểu đồ kéo vật liệu giòn (Hình 3.10) không có đoạn thẳng mà cong ngay từ đầu:

+ Vật liệu giòn thường bị phá hoại ngay khi biến dạng còn rất nhỏ.

+ Vật liệu giòn không có giới hạn tỉ lệ, giới hạn chảy mà chỉ có giới hạn bền σ_b .

- Sự liên hệ giữa lực kéo và biến dạng không theo định luật Hooke. Tuy nhiên, trong giới hạn chịu lực thông thường, một số vật liệu giòn làm việc không sai định luật Hooke nhiều nên để việc tính toán được đơn giản mà vẫn đảm bảo mức độ chính xác thay đoạn cong bằng đoạn thẳng (đường qui ước).

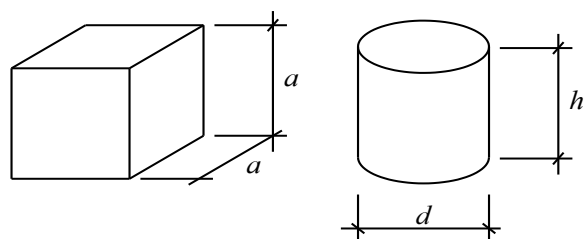


Hình 3.10: Biểu đồ kéo vật liệu giòn.

3.5.2. Thí nghiệm nén:

3.5.2.1. Mẫu thí nghiệm (Hình 3.11):

- Mẫu gang, thép chịu nén: $d < h \leq 3.d$
- Mẫu bê tông chịu nén: Mẫu chuẩn là khối lập phương có kích thước $a = 15\text{cm}$. Tuy nhiên, đối với những mẫu thí nghiệm có kích thước khác chuẩn thì cần có hệ số quy đổi (Bảng 3.2):



Hình 3.11: Mẫu thí nghiệm vật liệu nén.

Bảng 3.2: Hệ số quy đổi mẫu bê tông nén về mẫu chuẩn.

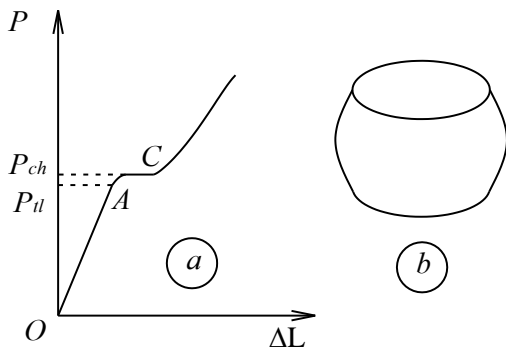
Hình dáng và kích thước mẫu	Hệ số q/đổi	Hình dáng và kích thước mẫu	Hệ số q/đổi
1. Mẫu lập phương cạnh a:		2. Mẫu hình trụ (d; h):	
+ a = 10cm	0,91	+ d = 7,14cm; h = 14,3cm	1,16
+ a = 15cm	1,00	+ d = 10cm; h = 20cm	1,16
+ a = 20cm	1,05	+ d = 15cm; h = 30cm	1,20
+ a = 30cm	1,10	+ d = 20cm; h = 40cm	1,24

3.5.2.2. Thí nghiệm nén với vật liệu dẻo (Hình 3.12):

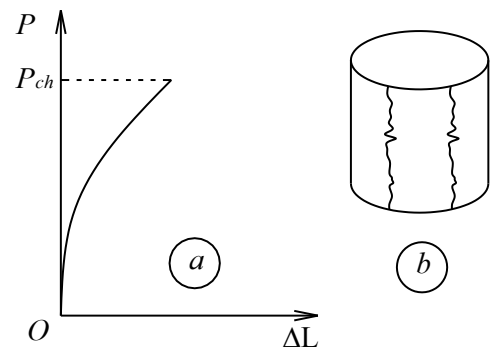
Biểu đồ nén vật liệu dẻo (Hình 3.12a) chỉ xác định được giới hạn tỷ lệ và giới hạn chảy, không xác định được giới hạn bền do sự phình ngang của mẫu làm cho diện tích mặt cắt ngang mẫu liên tục tăng lên. Sau thí nghiệm mẫu có dạng hình trống (Hình 3.12b).

3.5.2.3. Thí nghiệm nén với vật liệu giòn (Hình 3.13):

Biểu đồ nén vật liệu giòn tương tự biểu đồ kéo vật liệu giòn (Hình 3.13a).



Hình 3.12: Kết quả TN nén vật liệu dẻo.
a, Biểu đồ nén vật liệu dẻo.
b, Mẫu thí nghiệm sau khi nén.



Hình 3.13: Kết quả TN nén vật liệu giòn.
a, Biểu đồ nén vật liệu giòn.
b, Mẫu thí nghiệm sau khi nén.

Nghiên cứu các thí nghiệm kéo và nén vật liệu dẻo và giòn thấy rằng:

- **Đối với vật liệu dẻo:** Giới hạn chảy khi kéo và khi nén thì như nhau.
- **Đối với vật liệu giòn:** giới hạn bền khi kéo bé hơn nhiều so với giới hạn bền khi nén. Và khi chịu kéo cũng như khi chịu nén vật liệu giòn đều bị phá hoại khi biến dạng còn rất bé.

3.6. MỘT SỐ HIỆN TƯỢNG PHÁT SINH KHI VẬT LIỆU CHỊU LỰC

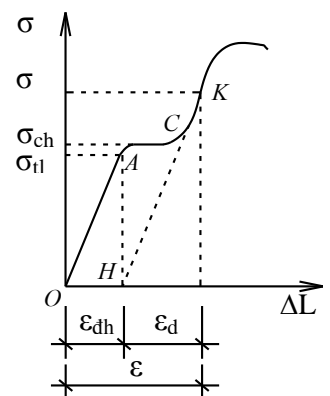
3.6.1. Biến dạng đàn hồi và biến dạng dư (Hình 3.14):

Trong thí nghiệm, sau khi ứng suất đạt tới giá trị σ nào đó, nếu dừng lại rồi cho giảm tải về 0, ta nhận thấy:

Khi mẫu làm việc trong giai đoạn đàn hồi ($\sigma < \sigma_{tl}$): Quá trình biến dạng mang tính thuận nghịch, biến dạng hoàn toàn đàn hồi và tuân theo định luật Hooke.

Khi mẫu làm việc vượt quá giai đoạn đàn hồi ($\sigma > \sigma_{tl}$): Quá trình không thuận nghịch, biến dạng gồm phần đàn hồi và phần không đàn hồi (gọi là biến dạng dư hay biến dạng dẻo):

$$\epsilon = \epsilon_{dh} + \epsilon_d.$$



Hình 3.14: BD đàn hồi & BD dư của vật liệu.

3.6.2. Biến dạng cứng nguội:

Ở thí nghiệm trên, nếu vật liệu làm việc ngoài giới hạn đàn hồi, khi giảm ứng suất về 0, đồ thị đạt điểm H trên (Hình 3.14).

Nếu tăng tải, ứng suất tăng lên và đồ thị sẽ tăng theo đường HK của quá trình giảm tải lần trước, sau đó mới theo một đường cong củng cố mới. Hiện tượng này gọi là hiện tượng biến cứng nguội.

Hiện tượng biến cứng nguội là hiện tượng làm tăng giới hạn tỷ lệ nhưng làm giảm độ dẻo của vật liệu.

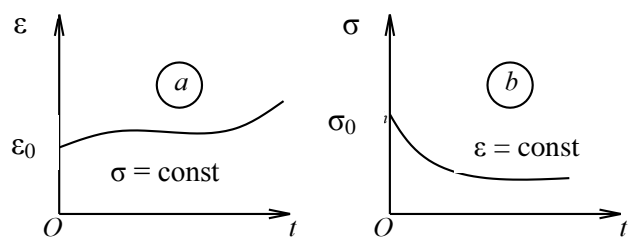
Trong thực tế, thường phải loại trừ hiện tượng biến cứng nguội để khôi phục tính dẻo ban đầu của vật liệu nhưng có lúc lợi dụng hiện tượng này để tăng bền bề mặt chi tiết (như trong chế tạo thép cường độ cao hay trong thi công bê tông ứng suất trước).

3.6.3. Ảnh hưởng của thời gian - Hiện tượng từ biến và hiện tượng chùng ứng suất:

Theo thời gian, khi các tác động bên ngoài lên vật thể không thay đổi, ứng suất và biến dạng trong vật thể cũng có những thay đổi:

- Nếu ứng suất trong vật thể là hằng số khi biến dạng của vật thể thay đổi theo thời gian là hiện tượng từ biến (Hình 3.16a).

- Nếu ứng suất trong vật thể thay đổi theo thời gian khi biến dạng của vật thể là hằng số là hiện tượng chùng ứng suất (Hình 3.16b).



Hình 3.16: Ảnh hưởng của thời gian đến vật liệu.
a, Đường cong từ biến b, Đường cong chùng ứng suất.

3.6.4. Ảnh hưởng của nhiệt độ - Hiện tượng lưu biến.

Nhiệt độ là yếu tố ảnh hưởng rất lớn đến tính chất của vật liệu:

- Ở nhiệt độ thấp, tính dẻo của vật liệu giảm, tính giòn tăng.
- Ở nhiệt độ cao, các đặc trưng cơ học của phần lớn vật liệu bị giảm.

3.7. PHƯƠNG PHÁP TÍNH ĐỘ BỀN CỦA KẾT CẤU THEO ỨNG SUẤT CHO PHÉP

3.7.1. Ứng suất cho phép [σ]:

Trong thực tế, tải trọng đặt lên công trình có thể vượt quá tải trọng thiết kế, điều kiện làm việc công trình có thể chưa được xét một cách đầy đủ. Vì vậy, trong tính toán độ bền của kết cấu công trình, để đơn giản và thiên về an toàn, ứng suất hoặc tổ hợp các ứng suất phát sinh tại từng vị trí của kết cấu không vượt quá một trị số giới hạn xác định nào đó. Trị số này gọi là ứng suất cho phép và được xác định theo công thức:

$$[\sigma] = \frac{\sigma_0}{n} \quad (3.12)$$

Với: + σ_0 : Ứng suất nguy hiểm, xác định trực tiếp từ thí nghiệm, phù thuộc loại vật liệu.

→ Đối với vật liệu giòn, ứng suất nguy hiểm σ_0 là giới hạn bền.

→ Đối với vật liệu dẻo ứng suất nguy hiểm σ_0 là giới hạn chảy.

+ n : Hệ số an toàn, có ý nghĩa về mặt kỹ thuật và kinh tế, thường do nhà nước quy định. Hệ số an toàn phù thuộc vào các yếu tố sau:

- Phương pháp công nghệ sản xuất vật liệu, và thi công kết cấu.
- Mức độ tin cậy của các số liệu về tải trọng.
- Phương pháp và kết quả tính toán.
- Điều kiện làm việc cụ thể của kết cấu.
- Ý nghĩa kinh tế, xã hội của công trình ...

3.7.2. Điều kiện bền và ba bài toán cơ bản:

Muốn đảm bảo sự làm việc an toàn khi thanh chịu kéo hoặc nén đúng tâm, ứng suất trong thanh phải thỏa mãn điều kiện bền: “ **Ứng suất lớn nhất trên mặt cắt ngang của thanh chịu kéo hoặc nén đúng tâm không được vượt quá ứng suất cho phép**”:

$$|\sigma|_{\max} = \left| \frac{N}{A} \right|_{\max} \leq [\sigma] \quad (3.13)$$

Từ điều kiện bền, có ba dạng bài toán cơ bản:

3.7.2. 1. Kiểm tra bền:

- Các số liệu cho trước: Ứng suất cho phép $[\sigma]$ của vật liệu, tiết diện A của thanh, tải trọng tác dụng N .
- Kiểm tra điều kiện bền theo công thức (3.13).
- Nhận xét kết quả kiểm tra: Sau khi xác định được ứng suất lớn nhất, đem so sánh ứng suất này với ứng suất cho phép:
 - + Nếu $0 \leq [\sigma] - |\sigma|_{\max} < 5\% \cdot [\sigma]$: Công trình đạt điều kiện an toàn.
 - + Nếu $[\sigma] - |\sigma|_{\max} \geq 5\% \cdot [\sigma]$: Công trình quá an toàn (thừa bền), không tiết kiệm.

3.7.2. 2. Chọn kích thước cho mặt cắt:

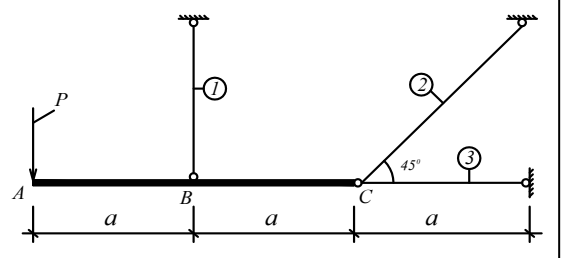
- Các số liệu cho trước: Ứng suất cho phép $[\sigma]$ của vật liệu, tải trọng tác dụng N .
- Từ điều kiện bền (3.13) tìm kích thước tiết diện:
$$A \geq \frac{|N|}{[\sigma]} \quad (3.13a)$$

3.7.2. 3. Xác định tải trọng cho phép:

- Các số liệu cho trước: Ứng suất cho phép $[\sigma]$ của vật liệu, tải trọng tác dụng N .
- Từ điều kiện bền (3.13) tìm tải trọng cho phép tác dụng:
$$|N| \leq A \cdot [\sigma] \quad (3.13b)$$

3.7.3. Ví dụ:

Cho hệ như hình vẽ, xác định tải trọng cho phép $[P]$ theo điều kiện bền của các thanh 1, 2, 3. Cho biết $[\sigma] = 16 \text{ kN/cm}^2$, $A_1 = 2 \text{ cm}^2$, $A_2 = 1 \text{ cm}^2$, $A_3 = 2 \text{ cm}^2$.



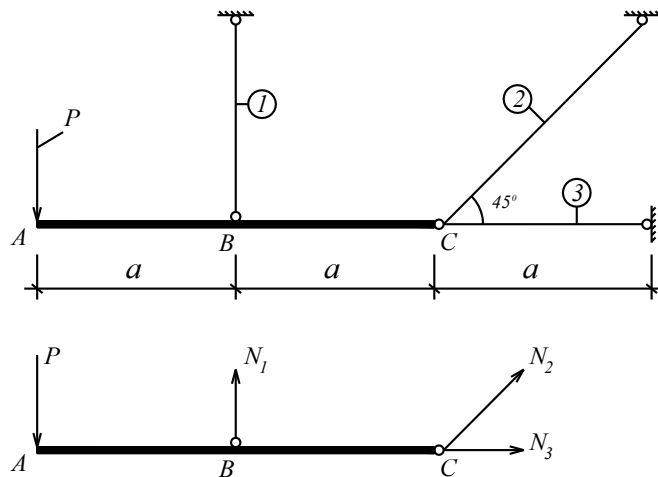
◆ **Lời giải:**

- Xác định lực dọc N_1, N_2, N_3 của các thanh:

+ Xác định N_1 : $\sum Y = 0 \rightarrow N_1 = P$

+ Xác định N_2 : $\sum M_B = 0 \rightarrow P \cdot a + N_2 \cdot a \cdot \cos 45^\circ = 0 \rightarrow N_2 = \frac{-P}{\cos 45^\circ} = -P\sqrt{2}$

+ Xác định N_3 : $\sum X = 0 \rightarrow N_3 = N_2 \cdot \cos 45^\circ = -\frac{N_2}{\sqrt{2}} = P$



Hình 3.17: Phân tích lực tác dụng lên hệ.

- Từ điều kiện bền, xác định tải trọng cho phép $[P]$ của các thanh 1, 2 và 3:

+ Thanh 1: $\sigma_1 = \frac{N_1}{A_1} = \frac{2P}{A_1} \leq [\sigma] \rightarrow P \leq \frac{[\sigma] \cdot A_1}{2} = \frac{16 \cdot 2}{2} = 16 \text{ kN}$ (1)

+ Thanh 2: $|\sigma_2| = \frac{|N_2|}{F_2} = \frac{P\sqrt{2}}{F_2} \leq [\sigma] \rightarrow P \leq \frac{[\sigma] \cdot F_2}{\sqrt{2}} = \frac{16 \cdot 1}{\sqrt{2}} = 11,3 \text{ kN}$ (2)

+ Thanh 3: $\sigma_3 = \frac{N_3}{A_3} = \frac{P}{A_3} \leq [\sigma] \rightarrow P \leq [\sigma] \cdot A = 16 \cdot 2 = 32 \text{ kN}$ (3)

Từ các giá trị của (1), (2), (3) có $P = 11,3 \text{ kN}$.

3.8. BÀI TOÁN SIÊU TĨNH

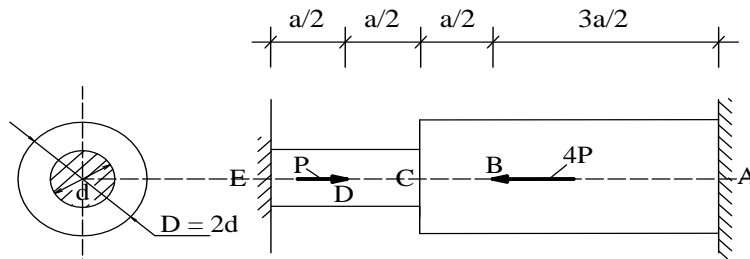
3.8.1. Định nghĩa:

Bài toán siêu tĩnh là bài toán nếu chỉ với các phương trình cân bằng tĩnh học sẽ không đủ để giải quyết tất cả các phản lực hay nội lực trong hệ.

3.8.2. Cách giải:

Để giải được bài toán siêu tĩnh, ngoài những phương trình cân bằng tĩnh học cần bổ sung thêm những phương trình mô tả điều kiện biến dạng của hệ (gọi là những phương trình biến dạng) sao cho tổng số các phương trình được thiết lập vừa đủ bằng số ẩn phản lực hay nội lực cần tìm.

Ví dụ: Cho dầm chịu kéo nén có tiết diện tròn đặc đồng chất (Hình vẽ).



Xác định $[P]$ để dầm bền biết kích thước $d = 2\text{cm}$; $a = 0.5\text{m}$ và $[\sigma] = 16\text{ kN/cm}^2$.

◆ **Lời giải:**

- Giải phóng liên kết tại E và tại A xuất hiện lực dọc N_E (giả sử N_E là lực kéo).

- Xác định lực dọc trên các đoạn:

$$+ N_{ED} = N_E \qquad + N_{DB} = N_E - P \qquad + N_{BA} = N_E + 3P$$

- Tìm N_E :

+ Biến dạng tại E bằng 0, có:

$$\Delta L_E = \frac{N_E \cdot a}{2E \cdot A^{ED}} + \frac{(N_E - P) \cdot a}{2E \cdot A^{DC}} + \frac{(N_E - P) \cdot a}{2E \cdot A^{CB}} + \frac{(N_E + 3P) \cdot 3a}{2E \cdot A^{AB}} = 0$$

+ Triển khai và tính toán ra kết quả: $N_E = -P/3$

- Ứng suất lớn nhất phát sinh trong dầm: $\sigma_{\max} = \left\{ \left| \sigma_{\max}^{AC} \right| = \frac{16P}{3\pi d^2}; \left| \sigma_{\max}^{CE} \right| = \frac{8P}{3\pi d^2} \right\} = \frac{16P}{\pi d^2}$

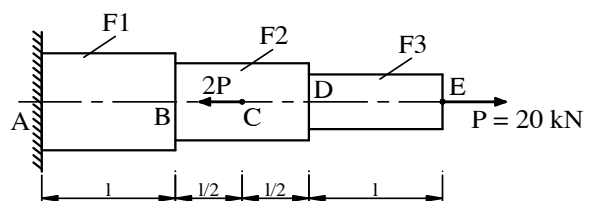
- Xác định $[P]$: $\sigma_{\max} = \frac{16P}{3\pi d^2} \leq [\sigma] \Rightarrow P \leq \frac{3\pi d^2 [\sigma]}{16} = 37.68\text{KN}$. Vậy $[P] = 37.68\text{KN}$.

CÂU HỎI ÔN TẬP CHƯƠNG 3

- 1, Thế nào là thanh chịu kéo (nén) đúng tâm ? Cho ví dụ.
- 2, Các dạng biến dạng của thanh chịu kéo (nén) đúng tâm và cách xác định chúng?
- 3, Nêu một số hiện tượng phát sinh khi vật liệu chịu lực và cho ví dụ với mỗi hiện tượng?
- 4, Cho biểu điều kiện bền và các bài toán cơ bản đối với thanh chịu kéo (nén) đúng tâm.
- 5, Vì sao có thể nói kéo hoặc nén đúng tâm là một dạng chịu lực hợp lý của thanh?

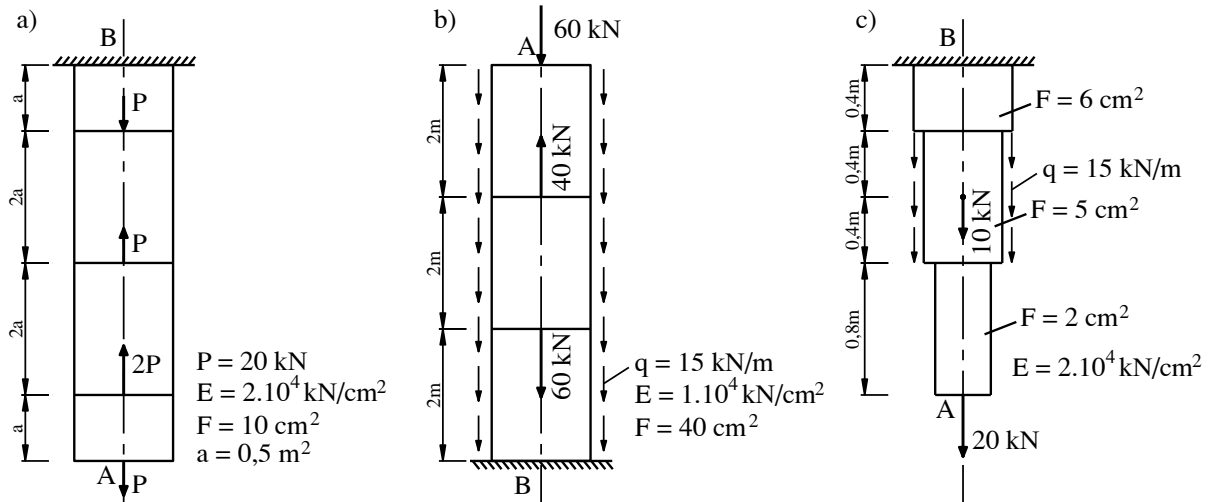
BÀI TẬP THỰC HÀNH CHƯƠNG 3

Bài 3.1: Cho thanh chịu lực (Hình 3.18). Vẽ biểu đồ lực dọc, ứng suất pháp và chuyển vị của các mặt cắt của thanh.



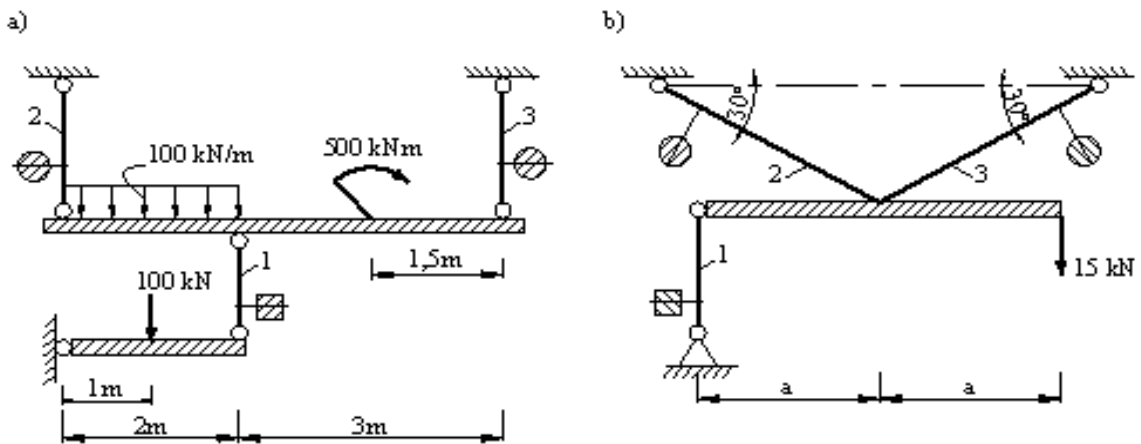
Hình 3.18: Bài tập 3.1.

Bài 3.2: Cho các thanh chịu kéo (nén) đúng tâm (Hình 3.19). Vẽ biểu đồ lực dọc và ứng suất pháp và tính chuyển vị điểm A.



Hình 3.19: Bài tập 3.2.

Bài 3.3: Cho hệ thống thanh chịu lực (Hình 3.20). Xác định kích thước mặt cắt ngang của các thanh đánh số trên hình vẽ, biết rằng ứng suất cho phép $[\sigma] = 16000 \text{ N/cm}^2$.

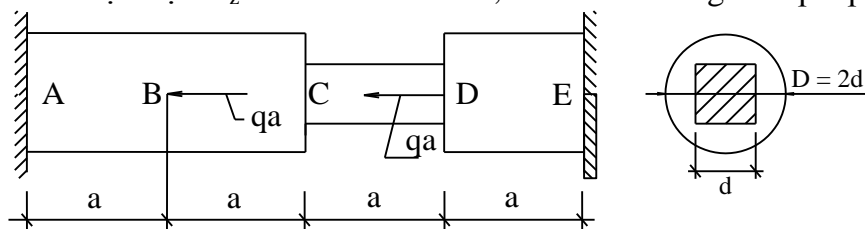


Hình 3.20: Bài tập 3.3.

Bài 3.4: Cho dầm siêu tĩnh (Hình 3.21). Xác định:

a, Vẽ biểu đồ lực dọc N_z .

b, Vẽ biểu đồ ứng suất pháp σ_z .



Hình 3.21: Bài tập 3.4.