

## Chương 4

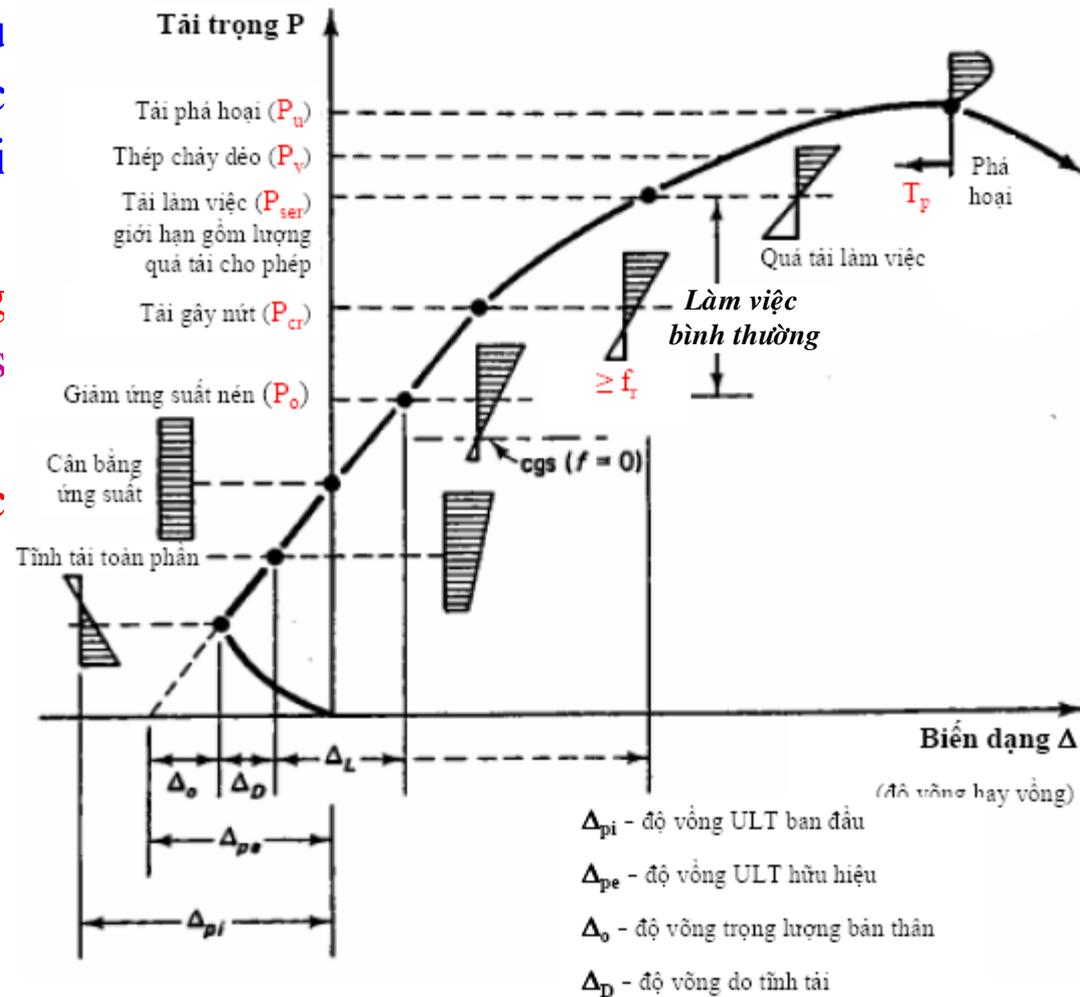
# KIỂM TRA ỨNG SUẤT THEO BS 8110:1997

- 4.1 Các giai đoạn kiểm tra ứng suất
- 4.2 Các điều kiện tính toán
- 4.3 Ví dụ tính toán

# 4.1. CÁC GIAI ĐOẠN KIỂM TRA ỨNG SUẤT

□ Theo BS 8110:1997, cấu kiện BTULT cần được kiểm tra TTUS ở 2 giai đoạn:

- Giai đoạn truyền ứng lực trước (*prestress transfer*).
- Giai đoạn làm việc bình thường (SLS)



## 4.2. CÁC ĐIỀU KIỆN TÍNH TOÁN

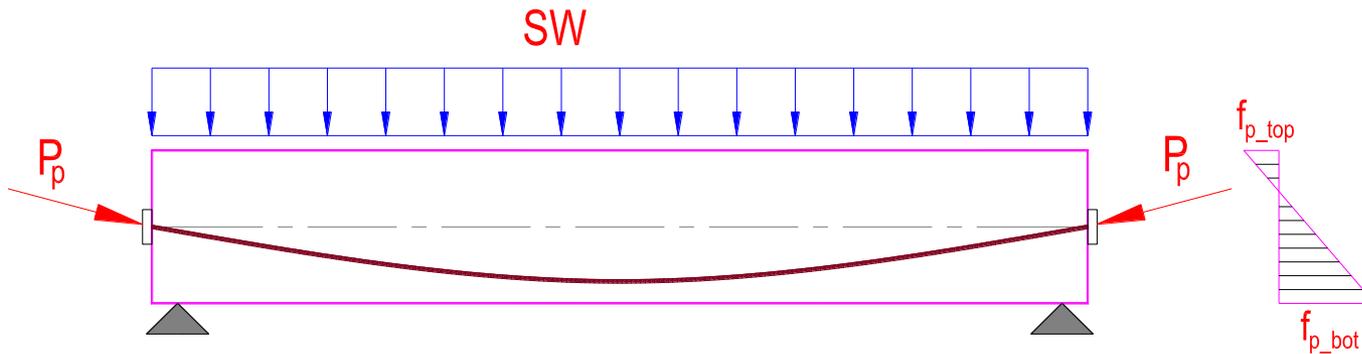
### □ Phân loại ứng xử của kết cấu ULT theo BS 8110:1997:

Phân loại (Classification)	Loại 1 (Class 1)	Loại 2 (Class 2)	Loại 3 (Class 3)
Chế độ ứng xử	Không có ứng suất kéo	Có ứng suất kéo nhưng <i>không xuất hiện vết nứt</i>	Cho phép xuất hiện vết nứt nhưng bề rộng vết nứt không vượt quá <i>giá trị cho phép (*)</i>
Đặc trưng tiết diện để kiểm tra ứng suất	Tiết diện nguyên $I_g$	Tiết diện nguyên $I_g$	<u>Tiết diện nguyên</u> $I_g$

- (\*) Bề rộng vết nứt giới hạn khi tính theo *Ứng xử loại 3*:
  - Cấu kiện trong *môi trường khắc nghiệt*: 0.1mm
  - Các trường hợp khác: 0.2mm
- Tải trọng dùng để tính toán ứng suất ở *giai đoạn truyền ULT và giai đoạn làm việc là tải trọng tiêu chuẩn*.

## 4.2. CÁC ĐIỀU KIỆN TÍNH TOÁN

### ❖ Kiểm tra ứng suất giai đoạn truyền ứng lực trước:



*Quy ước:*

- Ứng suất nén: (-)
- Ứng suất kéo: (+)

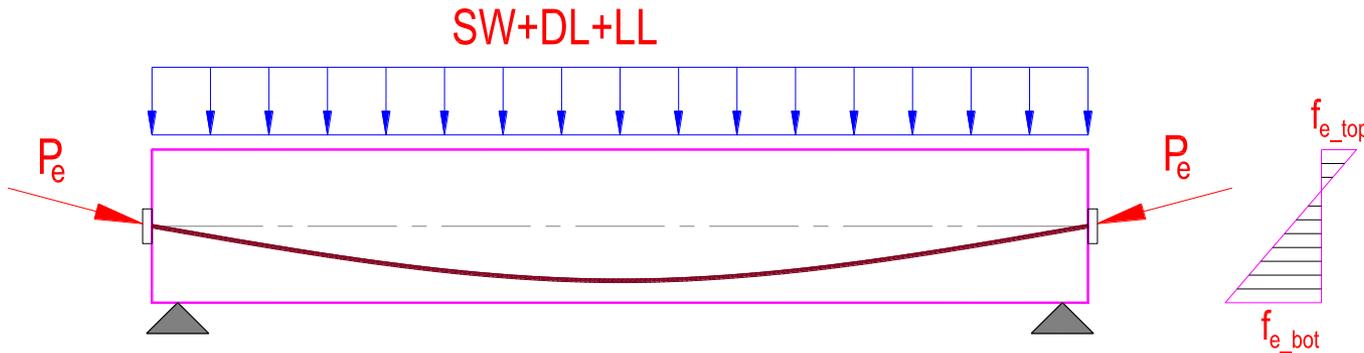
$$\sigma_p = \sigma_{P_p} + \sigma_{M_{bal}} + \sigma_{M_{SW}} \leq [\sigma_p] \quad (4.1)$$

Ứng suất cho phép [f <sub>p</sub> ]	Kết cấu ULT loại 3 (Class 3)
Ứng suất nén	0.50f <sub>ci</sub>
Ứng suất kéo	0.36√f <sub>ci</sub>

- Tổ hợp kiểm tra: 1.00 SW + 1.00 PT-Transfer

## 4.2. CÁC ĐIỀU KIỆN TÍNH TOÁN

### □ Kiểm tra ứng suất giai đoạn làm việc:



Quy ước:

- Ứng suất nén: (-)
- Ứng suất kéo: (+)

$$\sigma_e = \sigma_{P_e} + \sigma_{M_{bal}} + \sigma_{M_q} \leq \sigma_e \quad (4.2)$$

Ứng suất cho phép [ $f_e$ ]	Kết cấu ULT loại 3 (Class 3)
Ứng suất nén	$0.33f_{cu}$
Ứng suất kéo	$0.80\sqrt{f_{cu}} \times DF (*)$

- Tổ hợp kiểm tra: 1.00 SW + 1.00 DL + 1.00 LL + 1.00 PT-Final

hệ số

## 4.2. CÁC ĐIỀU KIỆN TÍNH TOÁN

### □ Kiểm tra ứng suất giai đoạn làm việc (tt):

- (\*) Có thể tính toán chi tiết giá trị ứng suất kéo cho phép theo *BS 8110:1997, part 1- section 4.3.4.3*:

Table 4.2 — Design hypothetical flexural tensile stresses for class 3 members

Group	Limiting crack width mm	Design stress for concrete grade		
		30 N/mm <sup>2</sup>	40 N/mm <sup>2</sup>	50 and over N/mm <sup>2</sup>
a) Pre-tensioned tendons	0.1	—	4.1	4.8
	0.2	—	5.0	5.8
b) Grouted post-tensioned tendons	0.1	3.2	4.1	4.8
	0.2	3.8	5.0	5.8
c) Pre-tensioned tendons distributed in the tensile zone and positioned close to the tension faces of the concrete	0.1	—	5.8	6.3
	0.2	—	6.3	7.3

Table 4.3 — Depth factors for design tensile stresses for class 3 members

Depth of member mm	Factor
200 and under	1.1
400	1.0
600	0.9
800	0.8
1 000 and over	0.7

NOTE Intermediate values are found by interpolation.

## 4.2. CÁC ĐIỀU KIỆN TÍNH TOÁN

### □ Kiểm tra ứng suất giai đoạn làm việc (tt):

➤ Khi bổ sung cốt thép thường trong vùng chịu kéo của bê tông, ứng suất kéo cho phép được phép lấy tăng theo hàm lượng cốt thép bổ sung:

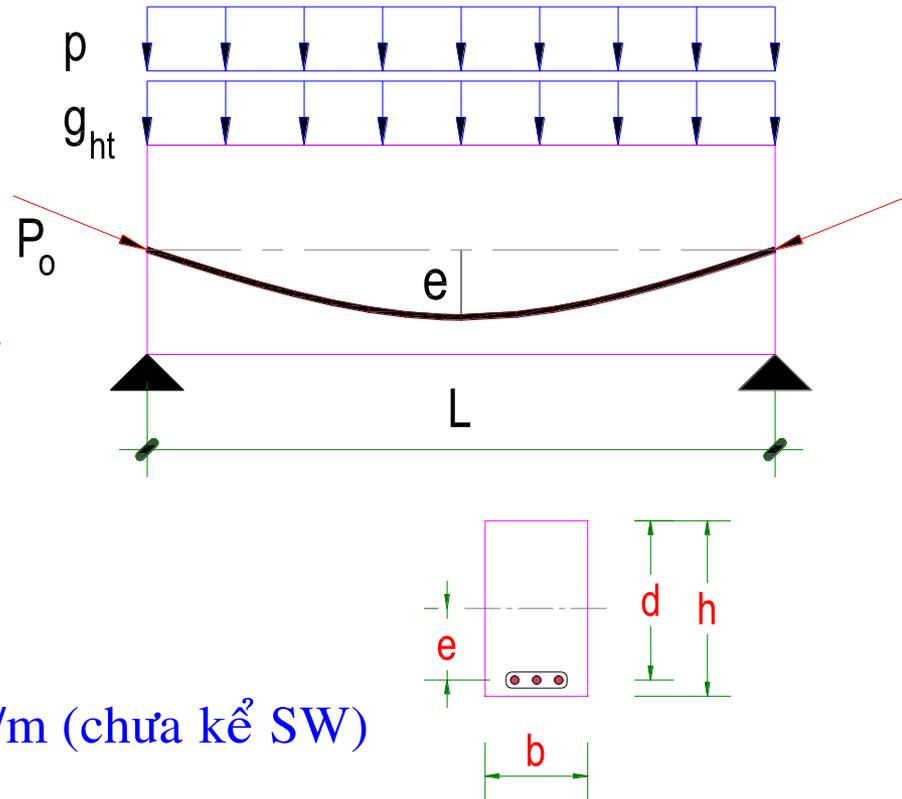
- Đối với 1% lượng thép thường bổ sung: +3MPa.
- Đối với các trường hợp khác: tăng theo tỉ lệ với  $\max = +0.25f_{cu}$ .

## 4.3. VÍ DỤ TÍNH TOÁN

Truyền ứng lực

□ **Ví dụ 4.1:** Kiểm tra ứng suất ở giai đoạn nén trước và giai đoạn làm việc tại tiết diện giữa nhịp dầm BTULT căng sau (class 3) có các thông số sau:

- $b=500\text{mm}$ ,  $h=600\text{mm}$ ,  $d=500\text{mm}$ .
- Nhịp dầm  $L=10\text{m}$ .
- Bê tông: C40,  $f_{ci}=0.7f_{cu}$ .
- Cáp ULT: ASTM A416 Grade 1860.
- Cáp ULT bố trí 1xST13-5.
- Ứng suất căng ban đầu  $f_{po}=80\%f_{pu}$ .
- Tổn hao ứng suất ngắn hạn:  $10\%f_{po}$ .
- Tổn hao ứng suất dài hạn:  $10\%f_{po}$ .
- Tải hoàn thiện tiêu chuẩn:  $g_{ht}=8\text{ kN/m}$  (chưa kể SW)
- Hoạt tải tiêu chuẩn:  $p=16\text{ kN/m}$ .



## Trình tự thực hiện

### ❖ Bước 1: Xác định dữ liệu đề bài

- Bê tông C40  $\Rightarrow f_{cu} = 40 \text{ MPa} \Rightarrow f_{ci} = 0.7 * f_{cu} = 28 \text{ MPa}$
- Cáp ASTM A416 Gr1860  $\Rightarrow f_{pu} = 1860 \text{ MPa}$
- Ứng suất căng ban đầu của cáp:  $f_{po} = 0.8 * f_{pu} = 1488 \text{ MPa}$
- Ứng suất căng cáp tại giai đoạn truyền ULT:

$$f_{pp} = f_{po} - 0.1 \times f_{po} = 1488 - 0.1 \times 1488 = 1339.2 \text{ MPa}$$

- Ứng suất căng hữu hiệu của cáp:

$$f_{pe} = f_{po} - 0.2 \times f_{po} = 1488 - 0.2 \times 1488 = 1190.4 \text{ MPa}$$

- Diện tích tiết diện ngang của cáp:

$$A_{ps} = n \times A_{lps} = 1 \times 5 \times 98.71 = 493.55 \text{ mm}^2$$

- Lực căng cáp tại giai đoạn truyền ULT:

$$P_p = f_{pt} * A_{ps} = 1339.2 * 493.55 * 10^{-3} = 660.96 \text{ kN}$$

- Lực căng hữu hiệu của cáp:

$$P_e = f_{pe} * A_{ps} = 1190.4 * 493.55 * 10^{-3} = 587.52 \text{ kN}$$

- Độ lệch tâm e:

$$e = d - \frac{h}{2} = 500 - \frac{600}{2} = 200\text{mm}$$

- Xác định đặc trưng của dầm:

$$A_b = b \times h = 500 \times 600 = 3 \times 10^5 \text{mm}^2$$

$$W_b = \frac{bh^2}{6} = \frac{500 \times 600^2}{6} = 3 \times 10^7 \text{mm}^3$$

- Tải trọng bản thân dầm:  $g_{bt} = \gamma_{bt} * b * h = 25 * 0.5 * 0.6 = 7.5\text{kN/m}$

❖ **Bước 2:** Xác định ứng suất cho phép của bê tông dầm

- Giai đoạn truyền ULT:

$$[\sigma_p]_n = 0.5 f_{ci} = 0.5 \times 28 = 14\text{MPa}$$

$$[\sigma_p]_k = 0.36 \sqrt{f_{ci}} = 0.36 \times \sqrt{28} = 1.90\text{MPa}$$

- Giai đoạn SLS:

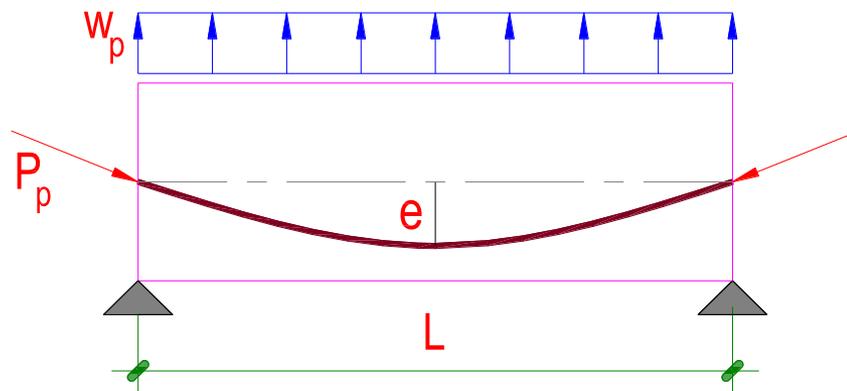
$$\sigma_{e_n} = 0.33 f_{cu} = 0.33 \times 40 = 13.2\text{MPa}$$

$$\sigma_{e_k} = 0.8 \sqrt{f_{cu}} \times DF = 0.8 \times \sqrt{40} \times 0.9 = 4.55\text{MPa}$$

*(A = 600) Tra bảng*

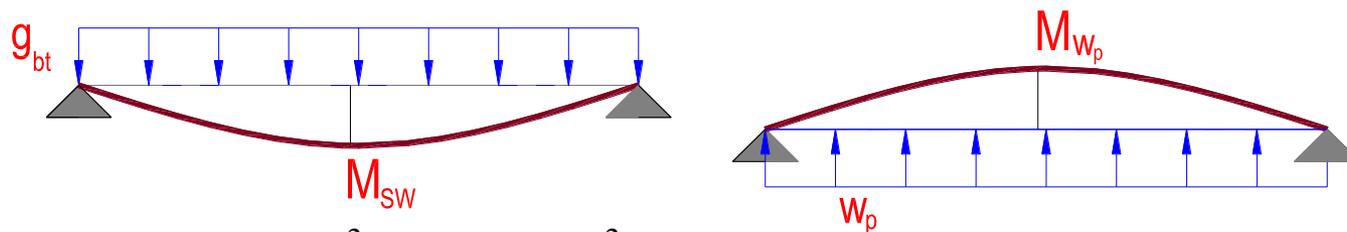
❖ **Bước 3:** Kiểm tra ứng suất tại giữa nhịp dầm ở giai đoạn truyền ULT

- Quy đổi cáp sang TTCB:



$$w_p = \frac{8 \times P_p \times e}{L^2} = \frac{8 \times 660.96 \times 0.2}{10^2} = 10.58 \text{ kN / m}$$

- Xác định momen do tải bản thân và TTCB tại giữa nhịp dầm:



$$M_{sw} = \frac{g_{bt} \times L^2}{8} = \frac{7.5 \times 10^2}{8} = 93.75 \text{ kNm}$$

$$M_{w_p} = \frac{w_p \times L^2}{8} = \frac{10.58 \times 10^2}{8} = 132.25 \text{ kNm}$$

- Xác định ứng suất tại giữa nhịp dầm:

■ Thở trên:

$$\sigma_p^{top} = \sigma_{P_p} + \sigma_{M_{w_p}} + \sigma_{M_{sw}} = -\frac{P_p}{A_b} + \frac{M_{w_p}}{W_b} - \frac{M_{sw}}{W_b}$$

$$\Rightarrow \sigma_p^{top} = -\frac{660.96 \times 10^3}{3 \times 10^5} + \frac{132.25 \times 10^6}{3 \times 10^7} - \frac{93.75 \times 10^6}{3 \times 10^7} = -0.92 \text{MPa} < 0$$

■ Thở dưới:

$$\sigma_p^{bot} = \sigma_{P_p} + \sigma_{M_{w_p}} + \sigma_{M_{sw}} = -\frac{P_p}{A_b} - \frac{M_{w_p}}{W_b} + \frac{M_{sw}}{W_b}$$

$$\Rightarrow \sigma_p^{bot} = -\frac{660.96 \times 10^3}{3 \times 10^5} - \frac{132.25 \times 10^6}{3 \times 10^7} + \frac{93.75 \times 10^6}{3 \times 10^7} = -3.48 \text{MPa} < 0$$

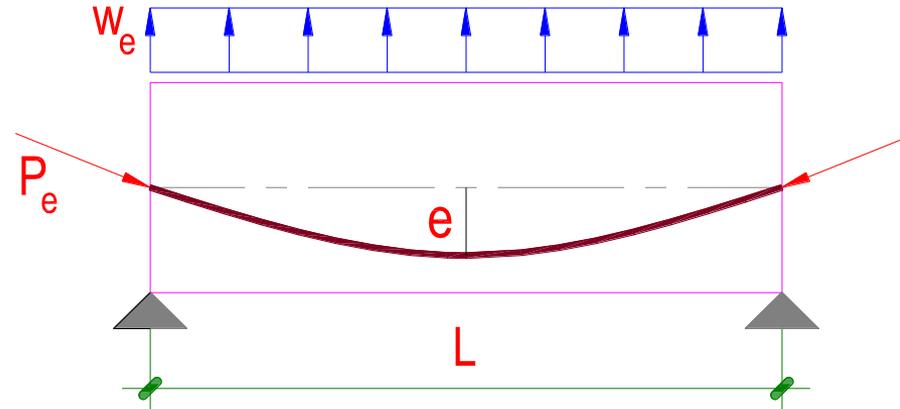
- Nhận xét:

$$|\sigma_p^{top}| = 0.92 \text{MPa} < [\sigma_p]_n = 14 \text{MPa} : ok$$

$$|\sigma_p^{bot}| = 3.48 \text{MPa} < [\sigma_p]_n = 14 \text{MPa} : ok$$

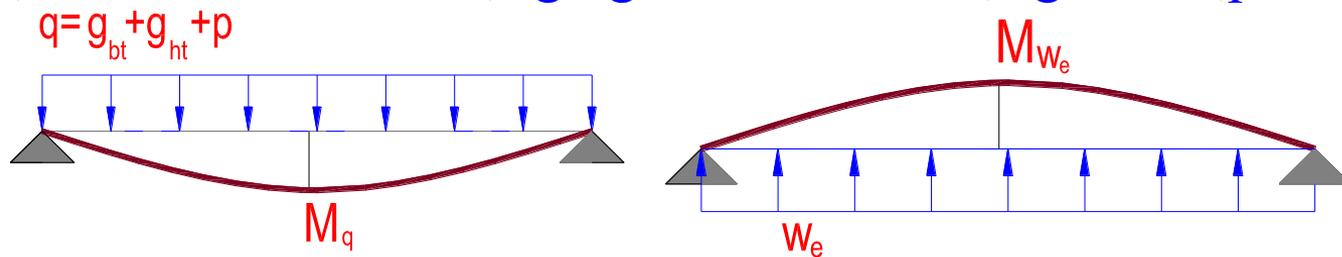
❖ **Bước 4:** Kiểm tra ứng suất tại giữa nhịp dầm ở giai đoạn SLS

- Quy đổi cáp sang TTCB:



$$w_e = \frac{8 \times P_e \times e}{L^2} = \frac{8 \times 587.52 \times 0.2}{10^2} = 9.40 \text{ kN / m}$$

- Xác định momen do tải trọng ngoài và TTCB tại giữa nhịp dầm:



$$M_q = \frac{q \times L^2}{8} = \frac{(7.5 + 8 + 16) \times 10^2}{8} = 393.75 \text{ kNm}$$

$$M_{W_e} = \frac{w_e \times L^2}{8} = \frac{9.40 \times 10^2}{8} = 117.5 \text{ kNm}$$

- Xác định ứng suất tại giữa nhịp dầm:

■ Thớ trên:

$$\sigma_e^{top} = \sigma_{P_e} + \sigma_{M_{w_e}} + \sigma_{M_q} = -\frac{P_e}{A_b} + \frac{M_{w_e}}{W_b} - \frac{M_q}{W_b}$$

$$\Rightarrow \sigma_e^{top} = -\frac{587.52 \times 10^3}{3 \times 10^5} + \frac{117.5 \times 10^6}{3 \times 10^7} - \frac{393.75 \times 10^6}{3 \times 10^7} = -11.17 \text{MPa} < 0$$

■ Thớ dưới:

$$\sigma_e^{bot} = \sigma_{P_e} + \sigma_{M_{w_e}} + \sigma_{M_q} = -\frac{P_e}{A_b} - \frac{M_{w_e}}{W_b} + \frac{M_q}{W_b}$$

$$\Rightarrow \sigma_e^{bot} = -\frac{587.52 \times 10^3}{3 \times 10^5} - \frac{117.5 \times 10^6}{3 \times 10^7} + \frac{393.75 \times 10^6}{3 \times 10^7} = +7.25 \text{MPa} > 0$$

- Nhận xét:

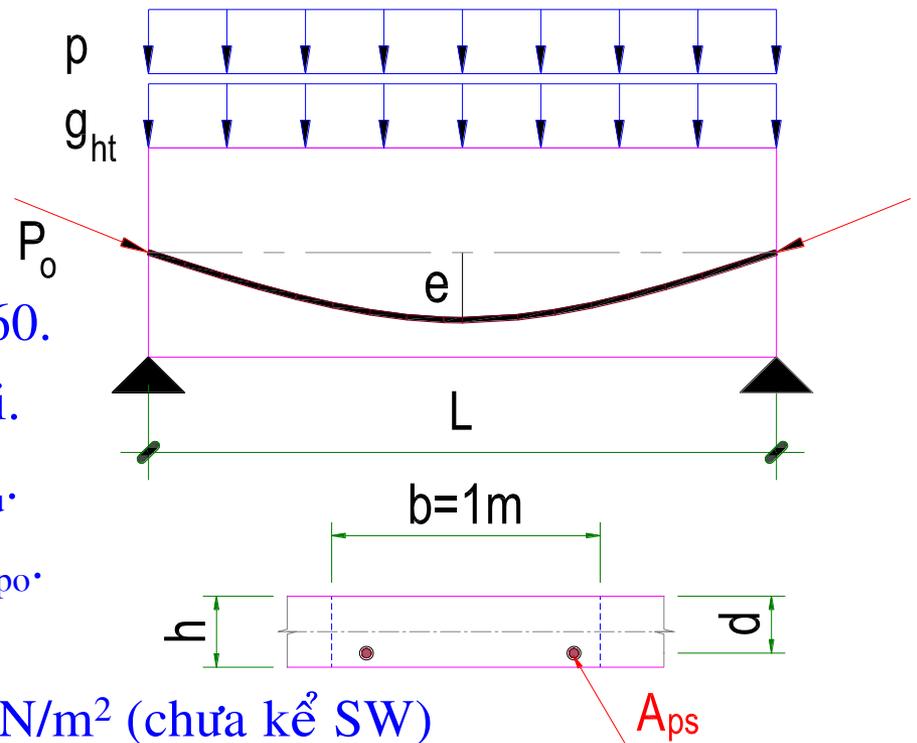
$$\left| \sigma_e^{top} \right| = 11.17 \text{MPa} < \sigma_{e_n} = 13.2 \text{MPa} : \text{ok}$$

$$\left| \sigma_e^{bot} \right| = 7.25 \text{MPa} > \sigma_{e_k} = 4.55 \text{MPa} : \text{not ok}$$

## 4.3. VÍ DỤ TÍNH TOÁN

□ **Ví dụ 4.2:** Kiểm tra ứng suất ở giai đoạn nén trước và giai đoạn làm việc tại tiết diện giữa nhịp của sàn phẳng BTULT căng sau (class 3) có các thông số sau:

- $b=1\text{m}$ ,  $h=220\text{mm}$ ,  $d=170\text{mm}$ .
- Nhịp sàn  $L=8\text{m}$
- Bê tông: C35,  $f_{ci}=25\text{MPa}$ .
- Cáp ULT: ASTM A416 Grade 1860.
- Cáp ULT bố trí (2xST13-3)/ m dài.
- Ứng suất căng ban đầu  $f_{po}=70\%f_{pu}$ .
- Tổn hao ứng suất ngắn hạn:  $10\%f_{po}$ .
- Tổn hao ứng suất dài hạn:  $8\%f_{po}$ .
- Tải hoàn thiện tiêu chuẩn:  $g_{ht}=2\text{ kN/m}^2$  (chưa kể SW)
- Hoạt tải tiêu chuẩn:  $p=5\text{ kN/m}^2$ .



$$\sigma_p^{top} = -3.45\text{MPa} < [\sigma_p]_n = 12.5\text{MPa} : ok$$

$$\sigma_e^{top} = -10.57\text{MPa} < \sigma_{e_n} = 11.55\text{MPa} : ok$$

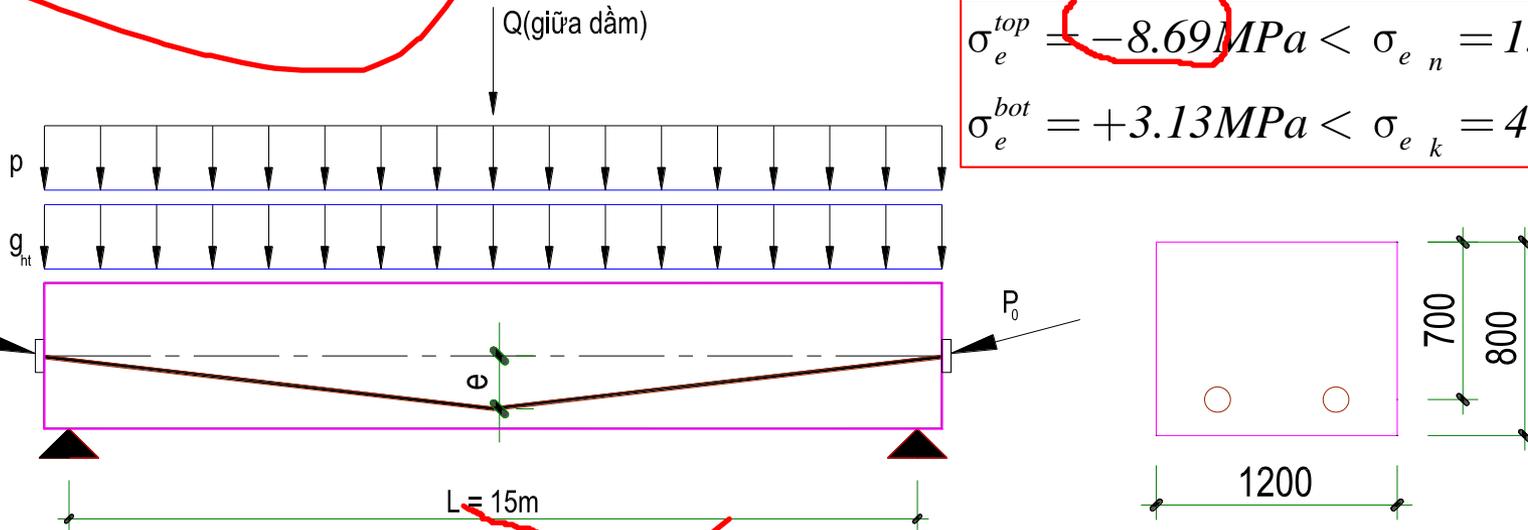
$$\sigma_p^{bot} = -2.86\text{MPa} < [\sigma_p]_n = 12.5\text{MPa} : ok$$

$$\sigma_e^{bot} = +4.82\text{MPa} < \sigma_{e_k} = 5.21\text{MPa} : ok$$

## 4.3. VÍ DỤ TÍNH TOÁN

❑ Ví dụ 4.3: Kiểm tra ứng suất ở giai đoạn làm việc tại tiết diện giữa nhịp dầm BTULT căng sau (class 3) có các thông số sau:

$$\sigma_e^{top} = -8.69 \text{ MPa} < \sigma_{e_n} = 13.2 \text{ MPa} : \text{ok}$$
$$\sigma_e^{bot} = +3.13 \text{ MPa} < \sigma_{e_k} = 4.05 \text{ MPa} : \text{ok}$$



- Bê tông: C40,  $f_{ci} = 0.75f_{cu}$ .
- Cáp ULT: ASTM A416 Grade 1860, bố trí 2xST15-8.
- Ứng suất căng ban đầu  $f_{po} = 80\%f_{pu}$ .
- Tổn hao ứng suất ngắn hạn:  $10\%f_{po}$ , tổn hao ứng suất dài hạn:  $10\%f_{po}$ .
- Tải hoàn thiện tiêu chuẩn lên dầm:  $g_{ht} = 8 \text{ kN/m}$  (chưa kể TLBT)
- Hoạt tải tiêu chuẩn lên dầm:  $p = 10 \text{ kN/m}$ ,  $Q = 100\text{kN}$ .