

総括1 プレストレストコンクリート工学編

注意: テキストを含め参考図書から丸写しせず、要約して記述すること。

・日本語が正しく使われていない場合や、解答が丁寧に記述されていない場合は、解読不能と判断され、採点で不利益が生じることがあります。

課題1 以下の設問に答えなさい。

- ① 鉄筋コンクリートに代えて、プレストレストコンクリートを採用する理由を簡単に説明しなさい。
- ② 以前は内ケーブル方式が推奨されていましたが、現在は外ケーブル方式が推奨されています。その要因について、簡単に説明しなさい。
- ③ PC技術を利用した架設工法について簡単に説明しなさい。
※工法名・採択理由(特徴)・施工方法など(一例でよい)

総括1 プレストレストコンクリート工学編

課題2 図に示す断面を持つ梁に関する設問に答えなさい。

断面寸法: $B=1000\text{mm}$, $b=200\text{mm}$, $t=200\text{mm}$, $d=1500\text{mm}$, $h=1600\text{mm}$.

※注意: 今回純断面は、シースの断面を含めて計算すること。(実務では含めない。今回計算軽減のため。)

材料等の値は次の通りである。

■コンクリート

$$f'_{ck} = 40\text{N/mm}^2 \quad (\text{緊張時: } f'_{ck} = 30\text{N/mm}^2)$$

■緊張材: PC鋼棒1号

$$f_{puik} = 1500\text{N/mm}^2$$

■有効緊張力: $Pe = 3.20 \times 10^6\text{N}$

■死荷重: 自重+永久荷重 $Md = 2.70 \times 10^6\text{N}\cdot\text{m}$

■活荷重: $Ml = 1.20 \times 10^6\text{N}\cdot\text{m}$

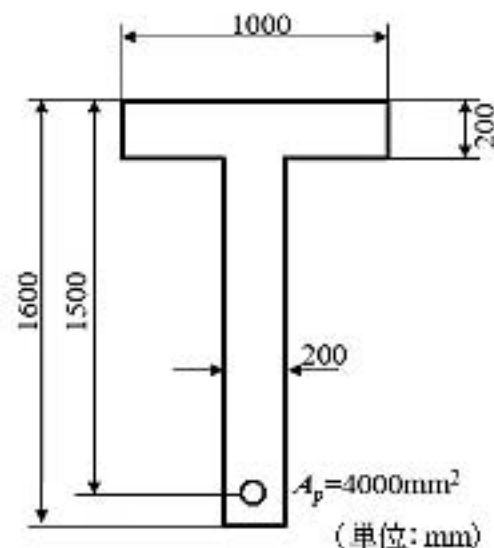
①プレストレス導入直後の照査(弾性体)

②供用時の照査(弾性体)

③終局状態での抵抗曲げモーメントの照査

※材料係数 $\gamma_c = 1.3$ 材料係数 $\gamma_s = 1.0$

※構造物係数 $\gamma_i = 1.0$



応力-ひずみ関係のモデル化

供用時の状態

弾性領域内: $\sigma = \varepsilon \times E$ が成立。

コンクリートの弾性係数

f'_{ck} (N/mm ²)		18	24	30	40	50	60	70	80
E_c (kN/mm ²)	普通コンクリート	22	25	28	31	33	35	37	38
	軽量骨材コンクリート	13	15	16	19	—	—	—	—

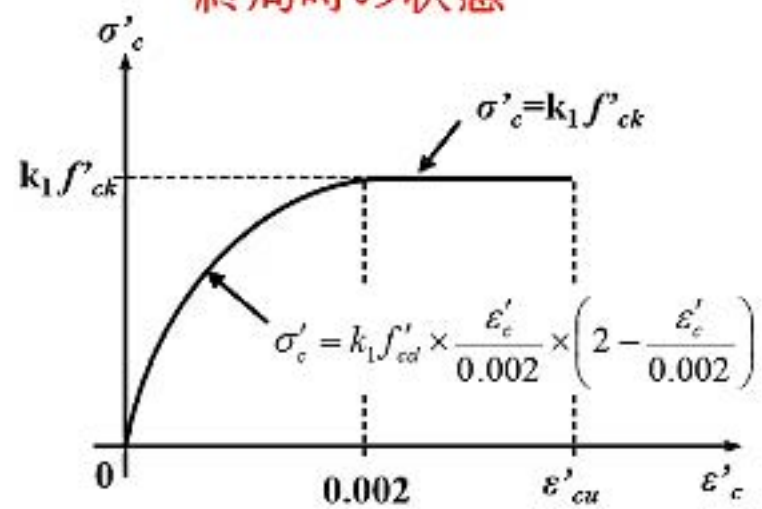
参考 6頁 コンクリートの強度

コンクリートの応力-ひずみ関係

導入時 供用・終局時



終局時の状態



$$k_1 = 1 - 0.003 f'_{ck} \leq 0.85$$

$$\varepsilon'_{cu} = \frac{155 - f'_{ck}}{30000} \quad 0.0025 \leq \varepsilon'_{cu} \leq 0.0035$$

ここで、 f'_{ck} の単位はN/mm²

曲線部の応力ひずみ式

$$\sigma'_c = k_1 f'_{cd} \times \frac{\varepsilon'_c}{0.002} \times \left(2 - \frac{\varepsilon'_c}{0.002} \right)$$

緊張材およびコンクリートの応力度の限界値(設計強度)

条件	緊張材	コンクリート
緊張中	$f_{pd} = 0.8f_{puk}$ または $0.9f_{pyk}$	$f_{tde} = K_1 (f_{tk} / \gamma_c)$ (曲げ引張強度)
緊張直後	$f_{pd} = 0.7f_{puk}$ または $0.85f_{pyk}$	$f'_{cd} = f'_{ck} / 1.7$ (曲げ圧縮強度) $f'_{cd} = 1/2 f'_{ck}$ (軸方向圧縮強度)
使用限界状態	$f_{pd} = 0.7f_{puk}$ または $0.85f_{pyk}$	$f_{tde} = K_1 (f_{tk} / \gamma_c)$ (曲げ引張強度) $f'_{cd} = 0.4 f'_{ck}$ (曲げ及び軸方向圧縮強度)

・PC構造に対する示方書による制限

コンクリートの縁引張応力度 $\leq f_{tde}$

f'_{ck} : コンクリートの設計基準強度・・・圧縮

f_{tde} : 寸法効果を考慮したコンクリートの設計基準強度・・・引張

$$f_{tde} = \frac{k_1 f_{tk}}{\gamma_c} \quad k_1 = \frac{0.6}{h^{1/3}} \quad f_{tk} = 0.23 f'_{ck}{}^{2/3} \quad \text{ただし、} 0.4 \leq k_1 \leq 1.0$$

$\gamma_c = 1.0$ h : 部材高さ[m]

総括1 プレストレストコンクリート工学編

課題2

①プレストレス導入直後の照査(弾性体)

設計基準強度: 緊張時 $f'_{ck} = 30\text{N/mm}^2$

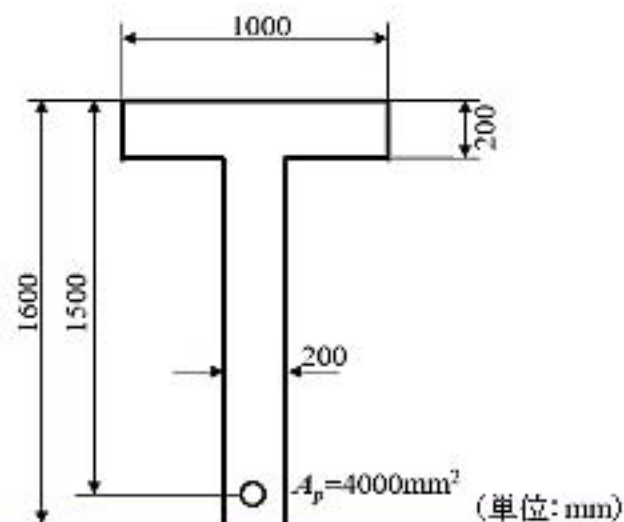
有効緊張力: $P_t = ? \text{ N}$

②供用時の照査(弾性体)

設計基準強度: $f'_{ck} = 40\text{N/mm}^2$

有効緊張力: $P_e = 3.20 \times 10^6 \text{ N}$

■緊張材: PC鋼棒1号 $f_{puk} = 1500\text{N/mm}^2$



発生する応力度に対する検討(照査)

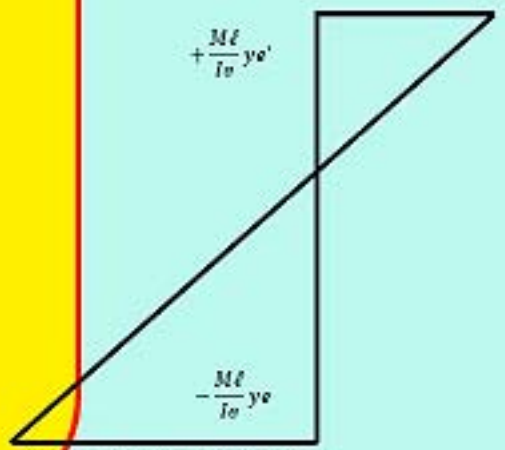
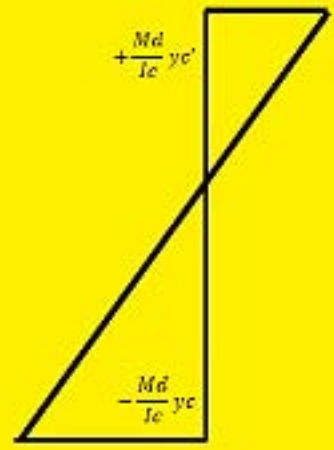
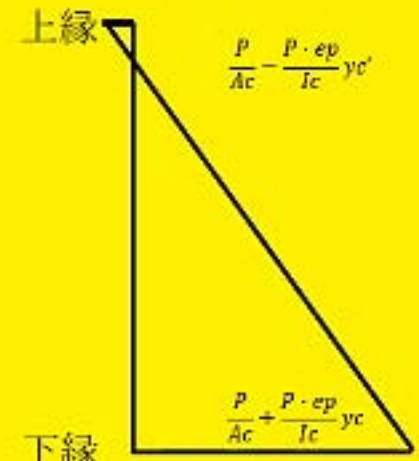
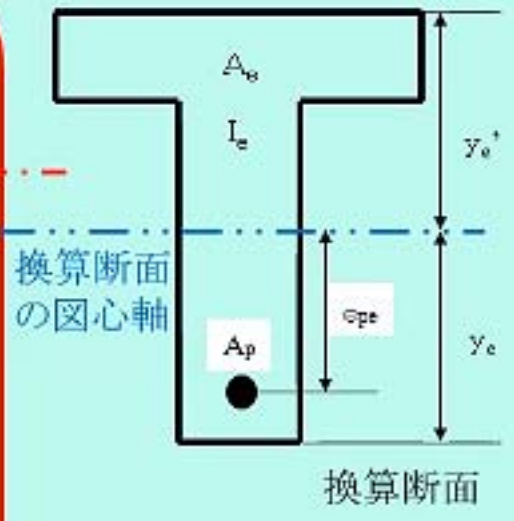
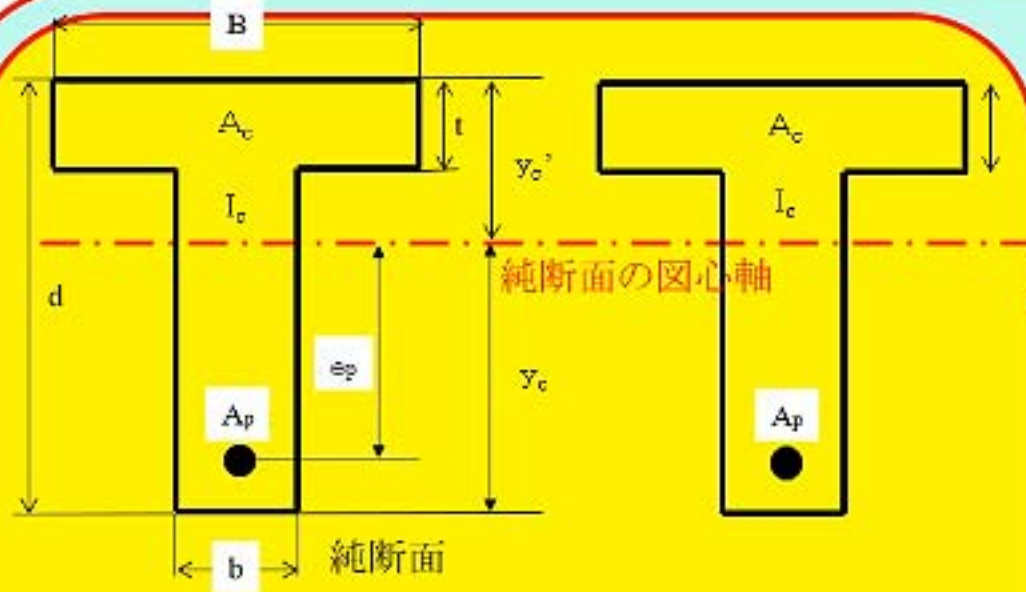
・各載荷重に対する上下縁の応力

導入直後: $P = P_t$ プレストレス力 P の作用 死荷重 M_d の作用

使用状態: $P = P_e$ 活荷重 M_l の作用

※断面・ひずみ分布・応力分布・力の図を書いてみると理解しやすいです。

➤上辺と下辺の応力の和を求め、表中の限界値と比較して安全性を検証する。



①プレストレス導入直後の状態

- ・プレストレス直後:PC鋼材のプレストレス力 P_t が最大で、作用荷重は自重のみの最小の状態
- ・断面下縁で圧縮応力が最大になり、上縁では最小の圧縮応力が生じる。

$$\text{上縁: } \sigma'_{ct} = \frac{P_t}{A_c} - \frac{P_t \cdot e_p}{I_c} y'_c + \frac{M_d}{I_c} y'_c$$

σ'_c : コンクリート上縁の応力度

σ_c : コンクリート下縁の応力度

$$\text{下縁: } \sigma_{ct} = \frac{P_t}{A_c} + \frac{P_t \cdot e_p}{I_c} y_c - \frac{M_d}{I_c} y_c$$

P_t : 緊張作業直後のプレストレス力

M_d : 部材の自重による曲げモーメント

e_p : コンクリート純断面の図心軸とPC鋼材図心間の偏心距離

A_c : コンクリート純断面の断面積 (シースの断面積を除く)

I_c : コンクリート純断面の図心軸に関する断面二次モーメント

y_c, y'_c : 断面の上縁、下縁と純断面図心軸との距離

②使用状態の設計荷重が作用した場合

- ・一般にPC鋼材引張力が $P_e = \eta P_t$ (η :プレストレスの有効係数)に減少していると考える。
- ・PC鋼材断面積は換算断面積で考慮する。

$$\text{上縁: } \sigma'_{ce} = \frac{P_e}{A_c} - \frac{P_e \cdot e_p}{I_c} y'_c + \frac{M_d}{I_c} y'_c + \frac{M_\ell}{I_e} y'_e$$

M_ℓ : 自重以外の永久荷重、
変動荷重による曲げモーメント

I_e : 換算断面の図心軸に関する
断面二次モーメント

$$\text{下縁: } \sigma_{ce} = \frac{P_e}{A_c} + \frac{P_e \cdot e_p}{I_c} y_c - \frac{M_d}{I_c} y_c - \frac{M_\ell}{I_e} y_e$$

y'_e, y_e : 断面の上縁、下縁と
換算断面図心軸との距離

総括1 プレストレストコンクリート工学編

課題2

③終局状態での抵抗曲げモーメントの照査

※材料係数 $\gamma_c = 1.3$ 材料係数 $\gamma_s = 1.0$

※構造物係数 $\gamma_i = 1.0$

設計基準強度: $f'_{ck} = 40\text{N/mm}^2$

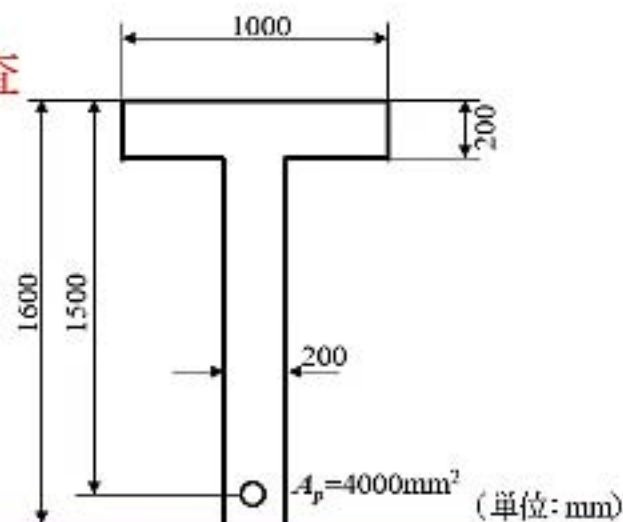
有効緊張力: $Pe = 3.20 \times 10^6\text{N}$

■緊張材: PC鋼棒1号

$f_{puk} = 1500\text{N/mm}^2$

■死荷重: 自重+永久荷重 $Md = 2.70 \times 10^6\text{N}\cdot\text{m}$

■活荷重: $Ml = 1.20 \times 10^6\text{N}\cdot\text{m}$



終局限界状態に対する検討

- PC部材が断面破壊の終局限界状態に至るとひび割れが発生し、内部応力の分布はRCと本質的に同じになる。
- 部材断面に作用する終局荷重作用時の曲げモーメントが、部材断面の保有している破壊抵抗モーメント以下であることを照査。

$$\gamma_i \frac{S_d}{R_d} \leq 1.0$$

γ_i : 構造物係数

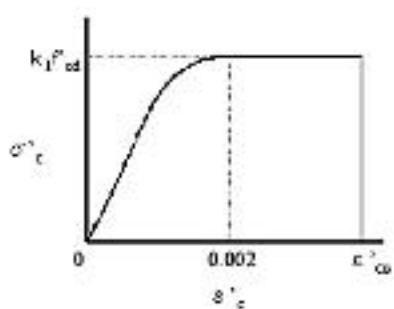
S_d : 設計断面力

R_d : 設計断面耐力

破壊抵抗曲げモーメントの計算

基本条件

- ・縦ひずみは中立軸からの距離に比例。
- ・コンクリートの引張強度は無視。
- ・コンクリートおよびPC鋼材の応力-ひずみ曲線は示方書モデル。
- ・コンクリートの圧縮応力の分布は、等価応力ブロック。
- ・引張鋼材はPC鋼材のみを考慮、PC鋼材図心位置を有効高さ。



$$k_1 = 1 - 0.003 f'_cd \leq 0.85$$

$$\epsilon'_{cu} = \frac{155 - f'_cd}{30000} \quad 0.0025 \leq \epsilon'_{cu} \leq 0.85$$

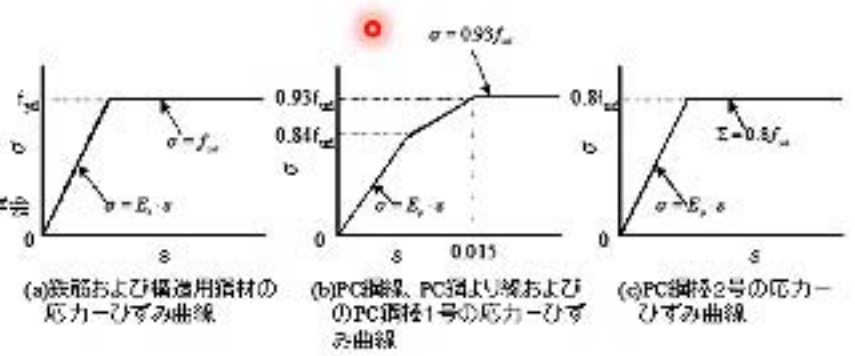
ここで、 f'_cd の単位はN/mm²

曲線部の応力ひずみ式

$$\sigma'_c = k_1 f'_cd \times \frac{\epsilon'_c}{0.002} \times \left(2 - \frac{\epsilon'_c}{0.002} \right)$$

コンクリートの応力-ひずみ曲線

出典：2002年制定コンクリート標準示方書（社）土木学会



(a)鉄筋および構造用鋼材の応力-ひずみ曲線

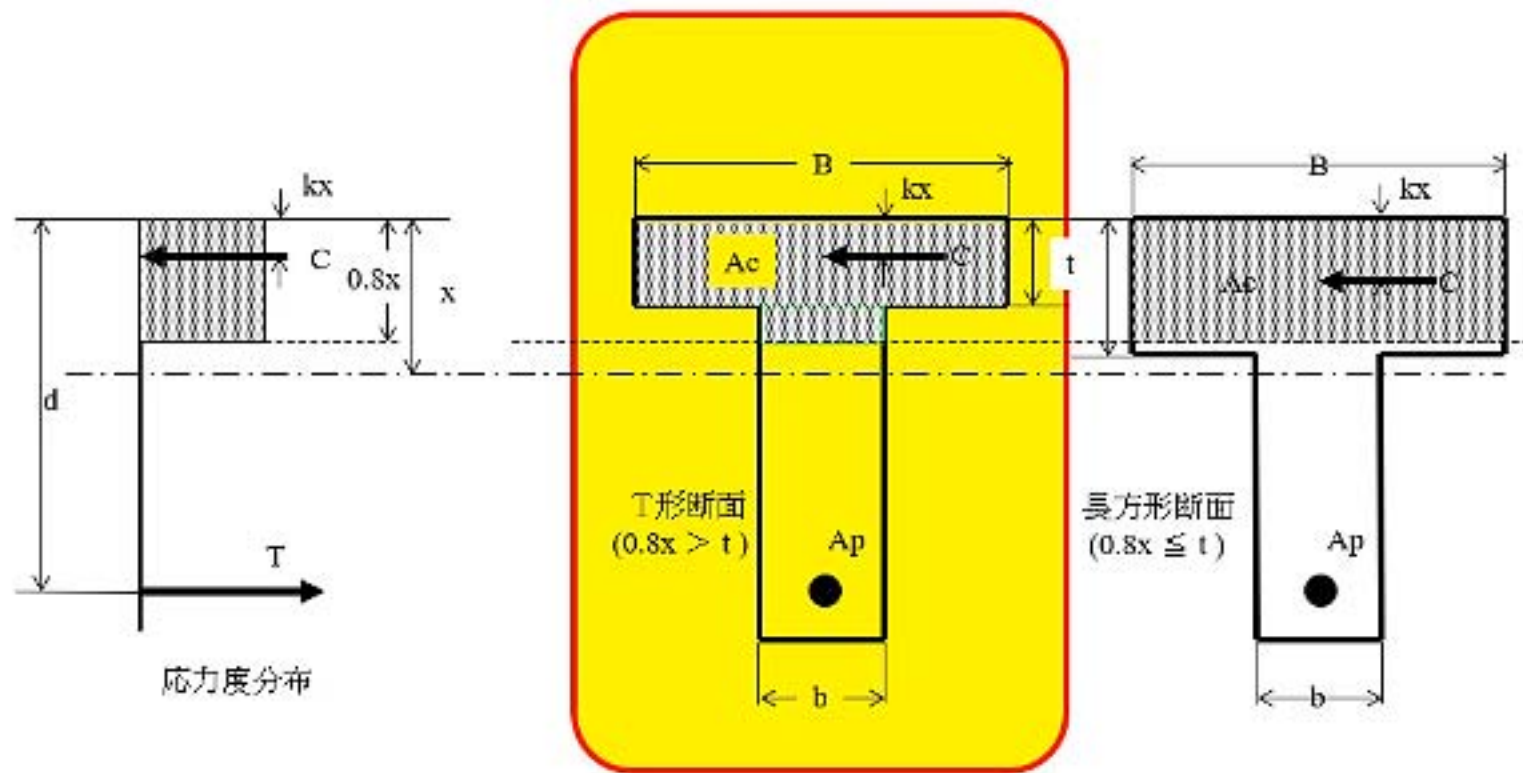
(b)PC鋼線、PC鋼より線およびPC鋼柱1号の応力-ひずみ曲線

(c)PC鋼線2号の応力-ひずみ曲線

鋼材のモデル化された応力-ひずみ曲線

出典：2002年制定コンクリート標準示方書（社）土木学会

- 圧縮域の判定: 圧縮域が長方形かT形かにより圧縮合力の計算方法が異なる。➤ T形と仮定



仮定: 圧縮領域はT形で, 緊張材は降伏

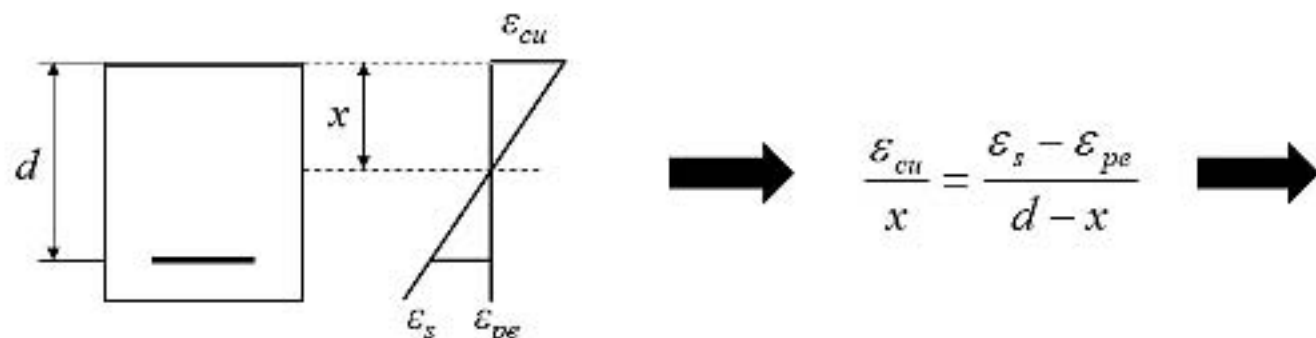
仮定の確認は,

➤ 先ず, 力の釣り合いから, 中立軸の位置 x を求め圧縮域を判定

・コンクリート圧縮力の合力 C
圧縮域がT形の場合 ($0.8x > t$)
 $C = 0.85f_{cd}\{Bt + (0.8x - t)b\}$

・鋼材引張力の合力 T
 $T = 0.93f_{pud}A_p$

➤ 次に, 平面保持の法則から, 緊張材の降伏の有無を判定



➤ 仮定の確認ができれば, 上縁から圧縮合力までの長さ kx を求め, 最後に抵抗モーメントを求め, 安全性について判定する.

・破壊抵抗曲げモーメントの計算

$$M_r = T(d - kx)$$

③終局状態での抵抗曲げモーメントの照査 道路橋示方書

・終局荷重作用時の荷重の組み合わせ

(1) $1.3 \times (\text{死荷重}) + 2.5 \times (\text{活荷重} + \text{衝撃})$

(2) $1.0 \times (\text{死荷重}) + 2.5 \times (\text{活荷重} + \text{衝撃})$

(3) $1.7 \times (\text{死荷重} + \text{活荷重} + \text{衝撃})$

(4) $1.3 \times (\text{死荷重} + \text{地震の影響})$

(5) $1.0 \times (\text{死荷重}) + 1.3 \times (\text{地震の影響})$

・単純桁の場合は、地震時の検討は通常必要ないので、(1)と(3)の組合せで計算する。

レポートは、計算過程を含め、必要に応じて図や説明文を加えて、丁寧に仕上げてください。

※スライド動画の式は、タイプミスの可能性もあり、参考程度とし、必ず各自で導いて計算を進めてください。