

- Ht. 3, (1951), 及びシャック、応用伝熱127ページ。
- (4) Mech. Eng. Dec, 1954. vol, 76. No. 12. 10 22ページ。
- (5) 菅原菅雄, 蒸気ボイラー及び蒸気原動機, 108 ページ
- (6) 菅原菅雄, 蒸気罐, 下巻106ページ第10, 35図(入口部分は3重管)
- (7) Mech. Eng. 1953~5, vol. 75, No. 5, 363 ~ 368 ページ; 日本機械学会, 伝熱に関する講習会前刷(昭和30年5月)40ページ, 原子力発電の伝熱問題, 43ページ(Na-蒸気熱交換器は二重管式)47ページ(全溶接二重管式の熱交換器が使用される); 原子力工業, vol. 1, No. 5, Aug. 1 955, 12ページ(二重管式熱交換器)
- (8) Mech. Eng. 1955. Feb. vol. 77, No. 2, 124 ページ (Uranium Reactor); 原子力工業,

- vol. 1, No. 3, Jun. 1955. 21 ページ、
重水炉(鉛重な二重管); 日本機械学会, 伝熱に関する講習会前刷(昭和30年5月)40 ページ、原子力の伝熱問題, 50ページ(第4図, 第6図a, b)
- (9) 日本機械学会誌, 昭和27年6月, 15ページ(Lyon)
- (10) Eng., vol. 173, No. 4484, Jan. 4. 1952. 22 ページ
- (11) 日本機械学会誌昭和30年8月 611ページ
- (12) (11)の 625ページ
- (13) 日本機械学会誌昭和30年5月 338ページ
- (14) Trans. A. S. M. E. 1954. 10.

英文題目

Method of Numerical Solution of Riccati's Generalised Equation in Heat Transfer, Katsuhisa MURAKAWA.

PS コンクリートはりの設計計算について

加 賀 美 一 二 三

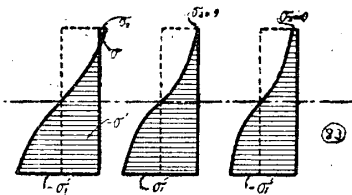
緒 言

前報⁽⁵⁾にてコンクリートの圧縮応力分布に放物線を用いたプレテンションはりの設計計算法について述べたのであるが, 本文 I においてはプレテンションはりに一般はり断面の放物線式⁽¹⁰⁾を用いた場合について記述し, II において同様放物線式によるポストテンションはりの設計計算法について述べたものである。

I プレテンションはりの場合

1 PSコンクリートはりの図心位置

図-1 維応力の分布



前報⁽⁵⁾の図-1 についての(1)式と同じ。

2 はり断面の算定

図-1 において維応力⁽¹⁰⁾σ, σ'は

$$\sigma, \sigma' = \frac{P}{A} \mp \frac{M}{\int n \sqrt{\frac{v}{y}} v df} n \sqrt{\frac{v}{y}}$$

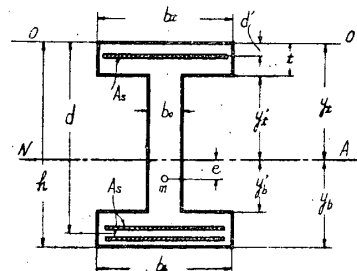
この場合の縁維応力 σ_2, σ_1' は

$$\sigma_2, \sigma_1' = \frac{P}{A} \mp \frac{M}{\int n \sqrt{\frac{v}{y}} v df}$$

プレストレス導入時;

前項の縁維応力第2項の分母を図-2 について求めると

図-2 はり断面の関係



$$\int n \sqrt{\frac{v}{y}} v df = \nu' (y_t A_t - y_t' A_t') + \nu (y_b A_b - y_b' A_b')$$

ここに, $A_t = b_t y_t$, $A_t' = (b_t - b_w) y_t'$, $A_b = b_w y_b$, $A_b' = (b_b - b_w) y_b'$, cm^2 , ν, ν'' = 前報⁽³⁾の記号と同じ, 0.375 及び 0.454

しかるときは

$$\sigma_2 = \frac{P}{A} - \frac{P e}{\nu' A_u + \nu A_l} \geq \sigma_{tp} \quad (a)$$

$$\sigma_1' = \frac{P}{A_c} + \frac{P_e}{\nu' A_u + \nu A_l} \leq \sigma_{cp} \quad (b)$$

ここに, $A_u = y_t A_t - y_t' A_t'$, $A_l = y_b A_b - y_b' A_b'$, cm^2

P, A_c, e, σ_{tp} は前報⁽⁵⁾の記号と同じ

設計荷重時 ;

$$\sigma_2 = \frac{P_e}{A_c} - \frac{P_e e}{\nu' A_u + \nu A_l} + \frac{M_T}{\nu A_u + \nu' A_l} \leq \sigma_{cw} \quad (c)$$

$$\sigma_1' = \frac{P_e}{A_c} + \frac{P_e e}{\nu' A_u + \nu A_l} - \frac{M_T}{\nu A_u + \nu' A_l} \geq \sigma_{tw} \quad (d)$$

ここに, $P_e, M_T, \sigma_{cw}, \sigma_{tw}$ は前報の⁽⁵⁾の記号と同じ

所要断面要素 ;

上縁側 ; (a), (c) 式関係より

$$\nu A_u + \nu' A_l \geq \frac{M_T}{\sigma_{cw} - \mu \sigma_{tp}} \quad (2)$$

下縁側 ; (b), (d) 式関係より

$$\nu A_u + \nu' A_l \geq \frac{M_T}{\mu \sigma_{cp} - \sigma_{tw}} \quad (3)$$

ここに, μ は前報⁽⁵⁾の記号と同じ, 0.85

3 導入プレストレス P の偏心量の決定

(a) 式より

$$e = \frac{\nu' A_u + \nu A_l}{A_l} \quad (4)$$

4 全設計曲げモーメントに対する応力

上縁側, $\frac{M_T}{\nu A_u + \nu' A_l} \leq \sigma_{cw} \quad (5)$

下縁側, $\frac{M_T}{\mu(\nu A_u + \nu' A_l)} \leq \sigma_{cp} \quad (6)$

5 鋼線断面積の決定

(d) 式より

$$P = \frac{M_T A_c}{0.85(\nu' A_u + \nu A_l + A_c e)} \quad (7)$$

$$\left. \begin{aligned} \text{上縁部, } & -\frac{E_s}{E_c} \left\{ \frac{P_e e}{\nu' A_u + \nu A_l} \frac{n''}{\sqrt{(y_t)}} - \frac{M_T}{\nu A_u + \nu' A_l} \frac{n'}{\sqrt{(y_t)}} \right\} \\ \text{下縁部, } & +\frac{E_s}{E_c} \left\{ \frac{P_e e}{\nu' A_u + \nu A_l} \frac{n'}{\sqrt{(y_b)}} - \frac{M_T}{\nu A_u + \nu' A_l} \frac{n''}{\sqrt{(y_b)}} \right\} \end{aligned} \right\} \quad (12)$$

ここに,

$(y_t), (y_b)$ = 図心軸より上側, 下側の鋼線図心までの距離, cm

n', n'' = コンクリート応力分布放物線次数,

1.5, 5 次

$$A_s + A' = \frac{P}{\sigma_{sp}} \quad (8)$$

ここに, σ_{sp} = 鋼線の PS 導入時の許容張引応力, kg/cm^2

6 P だけによる下縁応力

(b) 式より

$$\sigma_1' = \frac{P}{A_c} + \frac{P_e}{\nu' A_u + \nu A_l} \leq \sigma_{cp} \quad (9)$$

7 PS とはり自重並びに全設計曲げモーメントによる部材応力の合成

はり自重による場合 ;

上縁応力,

$$\frac{P}{A_c} - \frac{P_e}{\nu' A_u + \nu A_l} + \frac{M_{Dl}}{\nu A_u + \nu' A_l} \geq \sigma_{tp}$$

下縁応力,

$$\frac{P}{A_c} + \frac{P_e}{\nu' A_u + \nu A_l} - \frac{M_{Dl}}{\nu A_u + \nu' A_l} \leq \sigma_{cp} \quad (10)a$$

有効プレストレスと M_T の働く場合 ;

上縁応力,

$$\frac{P_e}{A_c} - \frac{P_e e}{\nu' A_u + \nu A_l} + \frac{M_T}{\nu A_u + \nu' A_l} \leq \sigma_{cw}$$

下縁応力,

$$\frac{P_e}{A_c} + \frac{P_e e}{\nu' A_u + \nu A_l} - \frac{M_T}{\nu A_u + \nu' A_l} \geq \sigma_{tw} \quad (10)b$$

8 近似計算法に対する補正

(1) PS 導入直後のコンクリートの弾性ヒズミに対する補正

$$\sigma_s = \frac{E_s}{E_c} \frac{P}{A_c} \quad (11)$$

(2) 設計荷重作用時の有効 PS による合成応力の補正

(3) 等価断面の照査計算

$$A_i = A_c + (\gamma_a - 1)(A_s + A_s') \quad (13)$$

$$\bar{y}_t = \frac{A_c \bar{y} + (\gamma_a - 1)(A_s d + A_s' d')}{A_c + (\gamma_a - 1)(A_s + A_s')} \quad (14)$$

$$\bar{y}_b = h - \bar{y}_t$$

ここに,

y_t, y_b = 等価断面の場合の図心より上, 下縁
応力までの距離, cm

A_1, r_a, \bar{y}, d, d' = 前報⁽⁵⁾の記号に同じ

9 撓みの計算

はりの応力分布に n 次放物線を適用して撓み式を求めてみる。

いま $\rho = \sigma^n / E, \sigma^{(10)} = M / \sqrt{\frac{v}{y}} vdf$ とすると、曲率半径 ρ は

$$\rho = \frac{vE \left(\int^n \sqrt{\frac{v}{y}} vdf \right)^n}{M^n}$$

また、 $\rho \doteq d^2y/dx^2$ なる関係より撓みを δ とすると

$$y = \delta = \frac{- \int \int M^n dx dx}{vE \left(\int^n \sqrt{\frac{v}{y}} vdf \right)^n} \quad (15)$$

この(15)式は n 次放物線応力分布の一般はりの撓みの式である。

例として図-3の単純はりに対する等分布荷重 w について撓みを計算すると、(15)式の分子値は

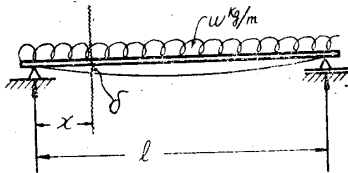


図-3

$$\text{分子値} = \frac{b^n (ax-b)^{n+2}}{(n+1)(n+2)a^{n+2}} + \frac{nb^{n-1}(ax-b)^{n+3}}{(n+2)(n+3)a^{n+2}} + c_1 x + c_2$$

$$\text{ここに, } c_1 = \frac{b^n \left(-\frac{b}{2}\right)^{n+1}}{(n+1)a^{n+1}} - \frac{nb^{n-1} \left(-\frac{b}{2}\right)^{n+2}}{(n+2)a^{n+1}}$$

$$\tau_{eys}' = \frac{\mu S}{y_t^n \int^n \sqrt{\frac{v}{y}} vdf} \left(y_t^{\frac{1}{\mu}} - y'^{\frac{1}{\mu}} \right)$$

$$\tau_{eys} = \frac{\mu S}{b_0 y_t^n \int^n \sqrt{\frac{v}{y}} vdf} \left\{ b_0 (y_s'^{\frac{1}{\mu}} - y_s^{\frac{1}{\mu}}) + b_t (y_t^{\frac{1}{\mu}} - y_s'^{\frac{1}{\mu}}) \right\}$$

図心軸の位置においては

$$\tau_{ey80} = \frac{\mu S}{b_0 y_t^n \int^n \sqrt{\frac{v}{y}} vdf} \left\{ b_0 y_s'^{\frac{1}{\mu}} + b \left(y_t^{\frac{1}{\mu}} - y_s'^{\frac{1}{\mu}} \right) \right\} \quad (19)''$$

$$c_2 = \frac{b^n (-b)^{n+2}}{(n+1)(n+2)a^{n+2}} - \frac{nb^{n-1} (-b)^{n+3}}{(n+2)(n+3)a^{n+2}}$$

$$a = w/2, b = wl/2$$

直線応力分布の場合すなわち $n=1$ とすると径間中央においての撓みは

$$\delta = \frac{5}{384} \frac{w l^4}{vE \int^n \sqrt{\frac{v}{y}} vdf} \quad (15)'$$

(15)' 式に数値をあてはめて計算すると $\delta = (5/384) (wl^4/EI)$ なる一般式で計算した値と一致する。

10 龜裂發生時の曲げモーメントの計算

$$Mc_r = M_T + \sigma_{ct} (vA_n + v'A_1) \quad (16)$$

ここに、 σ_{ct} = 龜裂荷重の場合のコンクリートの曲げ引張応力, kg/cm^2

11 破壊曲げモーメントの計算

中立軸が突縁中にある場合;

$$M_u = bd^2 \sigma_{cy} \left(\frac{p r_y}{\alpha + \beta p r_y} \right) \quad (17)$$

中立軸が腹部中にある場合; $M_u = bd^2 \sigma_{cy} p r_y j$

$$(18)$$

(17), (18)式は前報⁽⁵⁾の場合と同様である。

12 斜張應力の計算

前報⁽⁵⁾の図-3について計算すると

$$T = \frac{dM}{y_t^n \int^n \sqrt{\frac{v}{y}} vdf} \int_{y_s}^{y_t} z y^n dy$$

y_s なる位置のせん断応力 τ_{eys} は

$$\tau_{eys} = \frac{\mu S}{b y_t^n \int^n \sqrt{\frac{v}{y}} vdf} \left\{ z_1 (y_s'^{\frac{1}{\mu}} - y_s^{\frac{1}{\mu}}) + z_2 \left(y_t^{\frac{1}{\mu}} - y_s'^{\frac{1}{\mu}} \right) \right\} \quad (19)$$

この τ_{eys} は突縁と腹部との接続位置にて2値となり

もし突縁中の端部を無視するときは、はり幅一定の場合となり

$$\tau_{eys} = \frac{\mu S y_t}{\int_n^n \sqrt{\frac{v}{y}} v df}, \quad \mu = \frac{n}{n+1} \quad (20)$$

プレストレスによる場合のせん断応力いわゆる第2次せん断応力は前報⁽⁵⁾の図-4の関係より

$$\tau_{pys} = \frac{\Delta T}{b_0 d l A_c} \left\{ (y_t - y_s) \left(1 - \frac{\Delta T e_0}{\nu' A_u + \nu' A_l} \right) \right\} \quad (21)$$

この場合 y_s の位置における純せん断応力は

$$\tau_{ys} = \tau_{eys} - \tau_{pys} \quad (22)$$

亀裂発生後は

$$\tau_{ys} = \frac{S (y_t^{\frac{1}{\mu}} - y_s^{\frac{1}{\mu}})}{b_0 y_t^{\frac{1}{\mu}} (d - \nu y_t)} \quad (23)$$

図心軸における τ は $y_s = 0$ となるから

$$\tau = \frac{S}{b_0 j d} \quad (23)'$$

コンクリート断面の図心よりある距離にある点に働いている斜張応力度 σ_1 は

$$\sigma_1 = \frac{\sigma_y}{2} - \sqrt{\frac{\sigma_y^2}{4} + \tau^2} \quad (24)$$

ここに、 τ_y は有効プレストレスと荷重による曲げ応力の和

13 付着応力の計算

$$\tau_0 = \frac{S}{U j b} \quad (25)$$

ここに、 U は前報⁽⁵⁾の記号に同じ

II ポストテンションはりの場合

1 PSコンクリートはりの図心位置

プレテンションはりの場合と同様にして計算できる。

2 はり断面の算定

プレストレス導入時(はりの中央部において) ;

$$\sigma_2 = \frac{P}{A_c} - \frac{P e}{\nu' A_u + \nu' A_l} + \frac{M_{D1}}{\nu A_u + \nu' A_l} \geq \sigma_{tp} \quad (a)$$

$$\sigma_1' = \frac{P}{A_c} + \frac{P e}{\nu' A_u + \nu' A_l} - \frac{M_{D1}}{\nu A_u + \nu' A_l} \leq \sigma_{cp} \quad (b)$$

設計荷重作用時(はりの中央部において) ;

$$\sigma_2 = \frac{P_e}{A_c} - \frac{P_e e}{\nu' A_u + \nu' A_l} + \frac{M_T}{\nu A_u + \nu' A_l} \leq \sigma_{cw} \quad (c)$$

$$\sigma_1' = \frac{P_e}{A_c} + \frac{P_e e}{\nu' A_u + \nu' A_l} - \frac{M_T}{\nu A_u + \nu' A_l} \geq \sigma_{tw} \quad (d)$$

所要断面要素(はりの中央部において) ;

上縁側 ; (a), (c) 式関係より

$$\nu A_u + \nu' A_l \geq \frac{M_T - \mu M_{D1}}{\sigma_{cw} - \mu \sigma_{tp}} \quad (2)$$

下縁側 ; (b), (d) 式関係より

$$\nu A_u + \nu' A_l \geq \frac{M_T - \mu M_{D1}}{\mu \sigma_{cp} - \sigma_{tw}} \quad (3)$$

ここに、 $\mu = P_e / P, 0.85$

はりの中央部以外の断面においても M_{D1} (はりの自重による曲げモーメント), M_T を各断面について計算すれば, (2), (3) 式によつて断面要素を照査計算することができる。

3 導入プレストレス P 及びその偏心量

$$(a), (b) \text{ 式の関係より, } P = (\sigma_{cp} + \sigma_{tp}) \frac{A_c}{2}, \quad (4)$$

また(a)式より e 値の略値として

$$e = \frac{P(\nu A_u + \nu' A_l) + M_{D1} A_c - \sigma_{tp} A_c (\nu A_u + \nu' A_l)}{P A_c} \quad (5)$$

もし $\sigma_{tp} = 0$ であれば

$$e = \frac{P(\nu A_u + \nu' A_l) + M_{D1} A_c}{P A_c} \quad (5)'$$

4 プレストレス導入直後及び全設計曲げモーメントに対する応力

(1) プレストレス導入直後の場合 (a), (b) 式による。

(2) 全設計荷重の作用した場合

(a) 式を有効プレストレスにて表わし, (c) 式に代入すれば

$$\frac{M_L + (1 - \mu) M_{D1} + M_{D2}}{\nu A_u + \nu' A_l} \leq \sigma_{cw} - \mu \sigma_{tp} \quad (6)$$

(b), (d) 式関係より

$$\frac{M_L + (1 - \mu) M_{D1} + M_{D2}}{\nu A_u + \nu' A_l} \leq \mu \sigma_{cp} - \sigma_{tw} \quad (7)$$

ここに、 M_{D2} ははり自重以外の静荷重による曲げモーメントとする。

5 鋼線断面積及びケーブルの配置

σ_{sp} をプレストレス導入時の鋼線の許容引張応力(略0.75 σ_{su} , σ_{su} = 鋼線の引張破壊応力)とすると

$$A_g = \frac{P}{\sigma_{sp}} \quad (8)$$

1本のケーブルに用いる鋼線数を定めると、

ケーブルの数が定まる。しかるときは鋼線ケーブルの配置を仮定し、次表のごとき計算によりはり下縁より鋼線の図心までの距離 y_{bs} を求めることができる。

ケーブル数, 本	はり下縁より各ケーブル位置までの距離, cm	鋼線本数 (鋼線面積を無視) を用いたときのモーメント
a	y_a	$a y_a$
b	y_b	$b y_b$
:	:	:
n	y_n	$n y_n$
Σm		$\Sigma m y$

$$y_{bs} = \frac{\Sigma m y}{\Sigma m} \quad (9)$$

6 鋼線の導入プレストレス及び有効プレストレス

(1) 鋼線の導入プレストレス

施工時のプレストレス ; σ_0 , kg/cm^2

チャック及びジャツキにおける磨擦力 ;

σ_1 , kg/cm^2

$$\sigma_1 = r \sigma_0, \quad r = 0.03$$

ケーブル延長にそう磨擦力 ; σ_2 , kg/cm^2

$$\sigma_2 = f (\sigma_0 - \sigma_1) l$$

ここに, l = ケーブル長, m

$$f = 0.2 \sim 0.35, \quad \%/m$$

ケーブルの曲げ上げによる磨擦力

σ_3 , kg/cm^2

$$\sigma_3 = (\sigma_0 - \sigma_1) (1 - e^{-\mu \tan \theta})$$

ジャツキにおける鋼線の滑り量 Δl による減少応力 ; σ_4 , kg/cm^2

$$\sigma_4 = E_s \Delta l / l$$

ここに, $E_s = 1,950,000 \text{ kg/cm}^2$, $\Delta l = 0.2 \sim 0.3 \text{ mm/cm}$ 程度 考えているケーブルによるプレストレス導入直後の

鋼線応力 ; σ_G , kg/cm^2

$$\sigma_G = \sigma_0 - \Sigma \sigma$$

弾性変形による鋼線応力の減少 ;

ポストテンションはりにおいては、後で緊張する鋼線によるコンクリートの弾性変形によって、それ以前に緊張した鋼線に応力の減少が生ずるものであつて、 $H+1$ 番目から N 番目のケ

ーブルが H のケーブル位置のコンクリートに与えている見かけの圧縮応力 σ_{cH} は

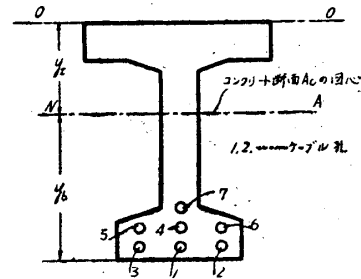


図 - 4 ポストテンションはりの断面図

$$\sigma_{cH} = \sum_{G=H+1}^N \left(\frac{P}{A_c} + \frac{P e}{\nu' A_u + \nu A_l} \sqrt{\frac{e_H}{y_b}} \right)$$

ここに, $P = P.S$ 導入直後の緊張力, kg

$e =$ 導入 $P.S$ の偏心量, cm

$e_H =$ コンクリート断面の図心に対する

考えているケーブルの偏心距離, cm , そして e_H はケーブルの位置がコンクリート断面の図心軸より下側にあるときは正, 上側にあるときは負である。

いまケーブルがはり全長にわたつて直線にて配置されている場合は、コンクリートのひずみとケーブルのひずみとが等しいと仮定でき、しかるときは第 H 番目のケーブルの緊張応力の減少量 σ_{sH} は近似的に次式にて求められる。

$$\sigma_{sH} = \sum_{G=H+1}^N \frac{E_s}{E_c} \left(\frac{P}{A_c} + \frac{P e}{\nu' A_u + \nu A_l} \sqrt{\frac{e_H}{y_b}} \right)$$

ここに, $P = (\sigma_G - \sigma_{sH}) A_B$

ケーブルが曲げ上げられ、ケーブルにより $P.S$ を導入される有効長が短くなる場合には、 σ_{sH} に与える P の影響は近似的に l_G/l_H , (ここに l_G は $(H+1)$ 番目より N 番目までのケーブルの平均有効長) に比例すると考えられるから

$$\sigma_{sH} = \sum_{G=H+1}^N \frac{E_s}{E_c} \frac{l_G}{l_H} \left(\frac{P}{A_c} + \frac{P e}{\nu' A_u + \nu A_l} \sqrt{\frac{e_H}{y_b}} \right)$$

上式中の P には σ_{sH} を含んでいるから、 σ_{sH} についての 2 次式となるので、この式をとりて σ_{sH} がえられる。この σ_{sH} の減少量は緊張力の 4 ~ 5 % 程度と考えられている。

全プレストレス導入直後の考えている鋼線の引張応力 σ_{sp} は

$$\sigma_{sp} = \sigma_G - \sigma_{sh}, \text{ kg/cm}^2 \quad (10)$$

(2) 鋼線の有効プレストレス

PS導入以後におけるコンクリートの収縮,

$$\Delta P = \frac{\left(kP - \frac{M_{Dt}}{\nu A_u + \nu' A_l} \sqrt{\frac{e}{y_b}} \right) \left(n' - \frac{E_s}{E_c} \right) A_s + S_t A_s E_s + \alpha P}{1 + k A_s n'} \quad (11)$$

ここに、 $n' = E_s(1 + \phi_t) / E_c$

$\phi_t =$ コンクリートのクリープ特性

$$k = \frac{1}{A_c} + \frac{e}{\nu' A_u + \nu A_l} \sqrt{\frac{e}{y_b}}, \text{ 1/cm}^2$$

$e = y_b - y_{bs}, \text{ cm}$

$y_{bs} =$ はり下縁より鋼線の図心までの距離, cm, (9)式の値

$S_t =$ コンクリートの乾燥収縮量

$A_s =$ 全鋼線断面積, cm^2

$\alpha =$ 鋼線のクリープ量(鋼線の材質、製造方法により異なり、その強度のみより判断できないが、冷間加工にて4~10%程度であり、クリープの大部分が最初の数日で生じてしまうと考えられる)

註、コンクリートのクリープ特性⁽²⁾：

状	態	ϕ_t
水	中	0.5~1.0
	非常に湿気のあるとき	1.5~2.0
	一般の室外	2.0~3.0
	乾燥した空気中	2.5~4.0

コンクリートのクリープ特性は一般に表値のようであるが、プレストレス導入時の σ_c と終期強度 σ_{cx} との比

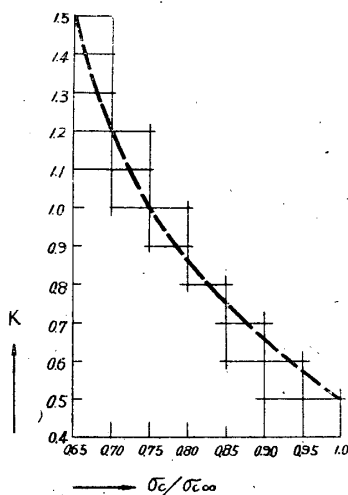


図-5 クリープ特性の修正係数

に関係する。すなわち σ_c/σ_{cx} の0.75を界として表の ϕ_t の値に図-5より求められる係数を乗じた値をクリープ特性とする。そしてポストテンションはりの場合にはこの修正係数は $0.6k^{(2)}$ と

クリープ及び鋼線のクリープによる鋼線応力の減少量 ΔP ⁽³⁾⁽⁴⁾は次式にて示される。

して用いられよい。 σ_{cx} は次の値をとつてよいと考えられる。

普通ポルトランドセメント 1.30 σ_{c2} ;

早強ポルトランドセメント 1.15 σ_{c2} ;

また構造物の寸法により次のような%でクリープ特性標準値を調整する必要があるとされている。

構造物の最小寸法;

75cm以上~150cm未満 : 10%減

構造物の最小寸法; 150cm以上: 20%減

コンクリートの乾燥収縮量;

一般に乾燥収縮量は次の表値⁽²⁾が用いられる。

収縮ひずみ, 10^{-4}

状	態	部材最小寸法		
		20cm未満	20cm以上~75cm未満	75cm以上
水	中	0	0	0
空気中	非常に湿つた場合	1.25	1.0	0.75
	一般の場合	2.5	2.0	1.5
	乾燥した場合	3.75	3.0	2.25

以上(11)式にて ΔP の値が求められれば、有効緊張力 P_e は $P_e = P - \Delta P$

この場合の鋼線応力が有効プレストレス σ_{se} であつて次式にて求められる。

$$\sigma_{se} = P_e / A_s, \text{ kg/cm}^2 \quad (12)$$

7 等価断面の照査計算

この場合はケーブル中にグラウチングを実施して後の死荷重及び設計荷重作用時について、等価断面を以て照査計算すればよいと考えられる。

図-6について

$$A_i = A_e' + (\gamma_a - 1) A_s \quad (13)$$

$$\bar{y}_t = \frac{A_e' \bar{y} + (\gamma_a - 1) A_s d}{A_e' + (\gamma_a - 1) A_s} \quad (14)$$

ここに、 $A_i =$ 等価断面積, cm^2

$\gamma_a = \sigma_s / \sigma_c$, σ_s はPS導入時には σ_{sp} ,

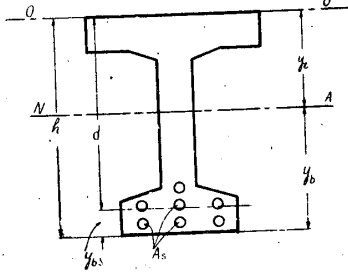


図-6. 等価断面の場合の断面記号

全設計荷重作用時には σ_{se} , σ_{ct} はコンクリートの許容圧縮応力

$$\text{ント} - A(h - y_{bs}) / A_c', \text{ cm} \quad (15)$$

$$A_c' = A_c - A, \text{ cm}^2$$

$$A_c = \text{はりの全断面積, cm}^2$$

$$A = \text{ケーブル孔の面積, cm}^2$$

$$\bar{y}_b = h - \bar{y}_t, \text{ cm}$$

$$\bar{y}_t, \bar{y}_b = \text{PS コンクリートはりの等価断面の}$$

図心より上縁, 下縁維までの距離, cm

(1) PS導入時 (はりの中央部において)

$\bar{y} = \{00$ 軸に関するはり断面 A_c の1次モー

$$\text{上縁維, } \sigma_2 = \frac{A_s \sigma_{sp}}{A_c} - \frac{A_s \sigma_{sp} e}{\nu' A_{ui} + \nu A_l} + \frac{M_{D1}}{\nu A_{ui} + \nu' A_{li}} \geq \sigma_{tp} \quad (16)$$

$$\text{下縁維, } \sigma_1' = \frac{A_s \sigma_{sp}}{A_c} + \frac{A_s \sigma_{sp} e}{\nu' A_{ui} + \nu A_l} - \frac{M_{D1}}{\nu A_{ui} + \nu' A_{li}} \leq \sigma_{cp} \quad (17)$$

(2) 設計荷重作用時 (はりの中央部において)

$$\text{上縁維, } \sigma_2 = \frac{P - \Delta P}{A_c} - \frac{(P - \Delta P) e}{\nu' A_{ui} + \nu A_l} + \frac{M_T}{\nu A_{ui} + \nu' A_{li}} \leq \sigma_{cw} \quad (18)$$

$$\text{下縁維, } \sigma_1' = \frac{P - \Delta P}{A_c} + \frac{(P - \Delta P) e}{\nu' A_{ui} + \nu A_l} - \frac{M_T}{\nu A_{ui} + \nu' A_{li}} \geq \sigma_{tw} \quad (19)$$

ここに, A_{ui}, A_{li} は $(\bar{y}_t A_{ti} - \bar{y}_t' A_{ti}')$, $(\bar{y}_b A_{bi} - \bar{y}_b' A_{bi}')$,

$A_{ti}, A_{ti}', A_{bi}, A_{bi}'$ は等価断面図心軸に関する上縁側, 下縁側の等価面積, cm^2

8 亀裂発生時の曲げモーメント

プレテンションハリの場合と同様に

$$M_{cr} = M_T + (\sigma_{ct} - \sigma_{tw})(\nu A_{ui} + \nu' A_{li}) \quad (20)$$

ここに, σ_{ct} はコンクリートの曲げ引張応力 kg/cm^2 , σ_{tw} , A_{ui}, A_{li} は前項と同じ

この場合, 全荷重に対する亀裂安全率

$$; M_{cr}/M_T$$

活荷重に対する亀裂安全率

$$; (M_{cr} - M_D)/M_L$$

9 破壊曲げモーメントの計算

破壊曲げモーメントの計算は [1], 11項の場合と同様に計算しようと考えられる。(21), (22)式にあたる。

10 ケーブルの曲げ配置及びはりの応力計算

(1) 曲げモーメント図

はりの全スパンに亘り照査計算しようとする主要点の全設計荷重曲げモーメントを計算し, 曲げモーメント図を図-7のように画く。

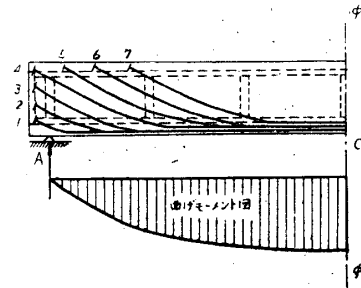


図-7 はりの曲げモーメント図とケーブルの曲げ上げ配置

(2) ケーブルの曲げ上げ配置

ケーブルの最大傾斜は $\tan \theta = 0.45$, $\theta = 24^\circ 14'$ を超過しないようにすること, そして曲げ上げの最小曲率半径 R は約 4 m とし, 曲げモーメント図を参考にしながら図-7のようにケーブルの曲げ上げの配置をする。

(3) はり各点の応力計算

ケーブルの曲げ上げ位置が定まったならば, 支点から照査計算しようとする数ヶ所の位置において, 前述の計算と同様の順に計算すればよい。

11 斜張応力の計算

(1) ケーブルの曲げ上げとそのせん断力
ケーブル1本の曲げ上げによつて生じるせん断

力 S_p は次式にて表わされる。

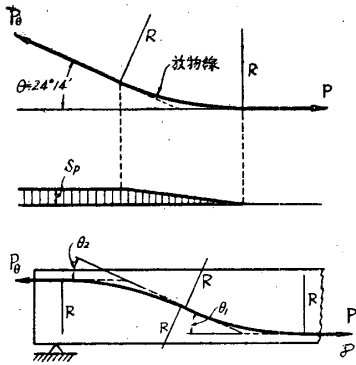


図-8 ケーブルの曲げ上げとそのせん断力の関係

$$P_\theta = P_e e^{\mu \tan \theta} = A_s \sigma_{se} e^{\mu \tan \theta}$$

$$S_p = A_s \sigma_{se} e^{\mu \tan \theta} \sin \theta = A_s \sigma_{se} e^{\mu \tan \theta} \tan \theta, \text{ kg} \quad (23)$$

ここに、 σ_{se} = 鋼線の有効プレストレス kg/cm^2

μ = ケーブルと鋼線の摩擦係数

0.35

θ = ケーブルの曲げ上げ角度

$|\theta_1| + |\theta_2| + \dots$

(2) はりの全スパンに亙り全設計荷重時及び全静荷重時せん断力⁽⁷⁾

誘起せん断力状態図⁽⁷⁾は図-9(a)のようになり、これにもとづいて全設計荷重せん断力を

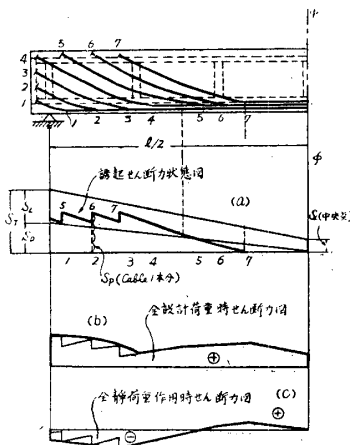


図-9 せん断力図

求めると(b)図のようになり、また全静荷重作用時せん断力を求めると(c)図のようになる。

(b), (c) 図とも安全側として太線のせん断力により、斜張応力の計算位置を定めて照査計算すればよい。

(3) 斜張応力の計算

【にて誘導した(20)を用いて図心軸におけるせん断応力 τ_{eyso} を求める。すなわち

$$\tau_{eyso} = \frac{\mu S_y t}{\int^n \sqrt{\frac{v}{y}} v df} \quad (24)$$

ここに、式中の記号は I, 12 項に同じ

(24) をせん断応力 τ とし、圧縮応力中の主引張応力 σ_1 を計算するには、プレテンションの場合と同様に次式となる。

$$\sigma_1 = \frac{\sigma_y}{2} - \sqrt{\frac{\sigma_y^2}{4} + \tau^2} \quad (25)$$

ここに、 σ_y は断面図心における縦応力であるから、 $\sigma_{y=1} = P_e/A_c$ 、 $P_e = P - \Delta P$ である。

12 撓みの計算

I の場合と同様許容設計計算の範囲では、撓みは直線応力分布の場合としても差支えない程度と考えられるので次式によつてよい。

(1) プレストレスによる撓み

図-10の曲げモーメント図中の M, M_0 は導入プレストレス P に各断面の e を乗ずることによ

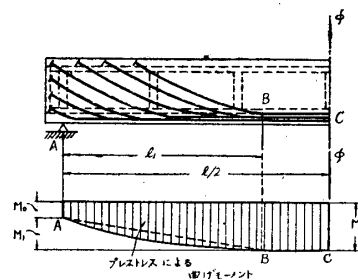


図-10 プレストレスによる曲げモーメント図

りえられる。曲げモーメント図の AB 間が直線変化となる場合;

$$\delta_p = \frac{1}{2 A_c E_c I_c} (3 M l^2 - 4 M_1 l^3) \quad (26)$$

曲げモーメント図の AB 間が放物線変化となる場合;

$$\delta_p = \frac{1}{24 E_c I_c} (3 M l^2 - 2 M_1 l^3) \quad (26)'$$

(2) 死、活荷重による撓み

$$\delta_D = \frac{5}{384} \frac{W_D L^4}{E_c I_e} \quad (27)$$

$$\delta_L = \frac{5}{48} \frac{M_L L^2}{E_c I_e} \quad (28)$$

ここに、 I_c = 図心についてのコンクリート断面の2次モーメント、 cm^4

I_e = 等価断面の2次モーメント、 cm^4 、すなわち

$$I_c + (\gamma_a - 1) \{A_s (d - \bar{y}_t)^2\}, \bar{y}_t \text{ は 7 項 前出}$$

$$l = \text{はりスパン, cm}$$

(3) 反り

全設計荷重が作用した場合、下向きの反りを生じないようにするためには、型枠に5mm程度の反りをつけておくことが安全と考えられる。

13 鋼線の作業緊張力及び伸びの計算

鋼線の緊張ははりの中央に関して対称的にケーブルの両端で同時に緊張作業を行うものとして計算する。

(1) はりの中央における作業緊張力

全鋼線の緊張終了後におけるはり中央の緊張応力は(10)式の σ_{sp} であるが、ケーブルが曲げ上げられケーブルによつてプレストレスを導入される有効長が短くなる場合は、II、6項の場合の次式にこの場合の条件を入れて計算すれば、各ケーブルのコンクリートの弾性変形による緊張力の減少に対する補正値がえられ、これを加えれば作業緊張力が求められる。

$$\sigma_{sH} = \sum_{G=H+1}^N \frac{E_s l_G}{E_c l_H} \left(\frac{A_s \sigma_{sp}}{A_c} + \frac{A_s \sigma_{sp} e}{\nu' A_u + \nu A_l} \sqrt{\frac{e_H}{y_b}} \right) \quad (29)$$

(29)式中の l_G/l_H の計算は次表によると便宜である。

ケーブル番号	ケーブルの長さm	ケーブル番号				
		H-J	K	L	M	
N	l_N	l_N/l_M (D)	D/C	G/G	F/I	I/H
M	l_M	l_M/l_L (C)	C/B	F/F	F/E	
L	l_L	l_L/l_K (B)	B/A	E		
K	l_K	l_K/l_J (A)				
H-J	l_J	l_J/l_J				

ケーブル番号に対する y_b, e 及び e_H の値は

ケーブル番号	y_b, cm	ケーブル番号			
		H	J	K	M
		e	e_H	e	e_H
N	y_b, N	—	—	e_{K-M}	e_N
K-M	$y_b, K-M$	—	—	e_{H-J}	e_{K-M}
H-J	$y_b, H-J$	e_{H-J}	e_{H-J}		

N番目(最後のケーブル)のはり中央の作業緊張力は $\sigma_{sp} \times (1本のケーブルの鋼線量, cm^2)$ であるが、それ以前の番号のケーブルに対しては以上の l_G/l_H 及び $1/A_c + \{e/(\nu' A_u + \nu A_l)\} e_H/y_b$ の値を求め、各ケーブルごとに σ_{sH} の値を計算するに当つては前記の2表の各行に相当する値を乗じたものの和を求め、各ケーブルとも導入緊張力に加えることによりはり中央における作用緊張力 σ_{spw} が求められる。

(2) ジャツキにおける作業緊張力

チャックと鋼線との間に滑りがない場合とある場合とになるが、これは前記の6項の計算に関連ある場合であつて、前者においては各ケーブルごとにケーブル端における実際作業緊張力 σ_{spw} は

$$\sigma_{spw} = \sigma_{sp} (e^{\mu \tan \theta + fl}) (1 + \gamma) \quad (30)$$

ここに、 σ_{spw} = 各ケーブルの作業緊張力, kg

γ, μ, θ, f = 6項の記号に同じ

l = 各ケーブルの長さ, m

(水平部, 曲線部, 傾斜直線部の計)

後者においては6項における σ_4 を計算して(30)式の値を加えたものでよい。そしてともに各ケーブル最大作業力をその鋼線断面積で除した値が、プレストレス導入時の許容引張応力 σ_{sp} 以下であればよいことになる。

(3) 伸びの計算

ケーブルを直線部 l_1 , 曲線部 l_2 , 傾斜部 l_3 及びはり外部 l_4 とし、この区間の平均応力 $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ 及び σ_4 とすると

$$\left. \begin{aligned} \sigma_1 &= \overline{\sigma_{spw}} \left(1 + \frac{1}{2} fl_1 \right) \\ \sigma_2 &= \frac{1}{2} \overline{\sigma_{spw}} \{ f(2l_1 + l_2) + 2(1 - e^{\mu \tan \theta}) \} \\ \sigma_3 &= \frac{1}{2} \overline{\sigma_{spw}} \{ f(2l_1 + 2l_2 + l_3) + 2e^{\mu \tan \theta} \} \\ \sigma_4 &= \overline{\sigma_{spw}} (1 + \gamma) \{ f(l_1 + l_2 + l_3) + e^{\mu \tan \theta} \} \end{aligned} \right\} \quad (31)$$

従つて伸びの量 $\Delta l_1, \Delta l_2, \Delta l_3$ 及び Δl_4 は次式にて示される。

$$\left. \begin{aligned} \Delta l_1 &= \frac{1}{E} \overline{\sigma_{spw}} l_1 \sigma_1 \\ \Delta l_2 &= \frac{1}{2E} \overline{\sigma_{spw}} l_2 \sigma_2 \\ \Delta l_3 &= \frac{1}{2E} \overline{\sigma_{spw}} l_3 \sigma_3 \\ \Delta l_4 &= \frac{1}{E} \overline{\sigma_{spw}} l_4 \sigma_4 \end{aligned} \right\} \quad (32)$$

曲げ上げ部分のない場合は $\Delta l_2, \Delta l_3$ が不要なく、 Δl_4 は次式となる。

$$\Delta l_4 = \frac{1}{E} \overline{\sigma_{spw}} l_4 (1 + fl_1)(1 + r)$$

以上伸びは Δl の総和であらわされる。

(4) ケーブルの緊張作業表

緊張作業を行うためにあらかじめ緊張作業表を計算しておく必要がある。そしてジャツキの断面積を考慮して圧力計の指示値を用意する。

14 横はりの計算

(1) 曲げモーメント及びせん断力

この場合は一般に活荷重による値を用いればよい。

(2) 活荷重に対して有効な横はり断面の計算

主はりの床板厚と腹部寸法を仮定して、コンクリート断面について M_L に対する上縁、下縁応力 σ_{cw}, σ_{tw} を計算し、設計荷重に対しては下縁に引張応力が生じないようにする。この場合下縁のプレストレスは $\sigma_{tw}/0.85$ を導入すればよい。はり上縁も主はりと目地コンクリートの間にコンクリートの収縮や荷重のため引張応力の生じないよう $\sigma_{cw} = 5 \text{ kg/cm}^2$ 程度を導入する。

(3) 鋼線量及び鋼線位置の計算

導入緊張力 P は(4)式と同様にて

$$P = \frac{(\sigma_{cp} + \sigma_{tp}) A_c}{2} \quad (33)$$

有効緊張力の上限限界値は、設計荷重作用時の許容引張応力を σ_{saw} ($0.55 \sigma_{su}, \sigma_{su}$ は鋼線引張破壊応力) とすれば

$$\sigma_{se} = \sigma_{saw} - (E_s/E_c) \sigma_{tw}$$

故に鋼線の緊張応力 σ_{sp} は $\sigma_{se}/0.85$ となる。

この場合の所要鋼線断面積は

$$A_s = \frac{P}{\sigma_{sp}} \quad (34)$$

鋼線の偏心量 e は(5)式にて $M_{D1} = 0$ とすればよく、

$$e = \frac{(\nu A_u + \nu' A_l)(P - \sigma_{tp} A_c)}{P A_c} \quad (35)$$

はり下縁より鋼線図心までの距離 y_{bs} は y_{b-e} である。次に A_s の配置を定め (c), (d) 式にて上縁、下縁応力を照査し、この横はりのせん断力 S に対して (24), (25) 式により斜張応力の照査計算をする。さらに 8, 9 項の亀裂発生時及び破壊曲げモーメントの計算と同時に安全率を照査する。また13項にならい上側及び下側ケーブルに対する作業緊張力及び伸びの計算をするとは勿論である。

15 支承の計算

コンクリートの収縮ひずみ及びクリープひずみは、はりの架設前にはほぼその 1/3 程度を終了し、残りがその後において生ずるものと仮定し、また温度変化は $25 \sim 30^\circ \text{C}$ として計算すればよいと考えられる。

16 床版(主はり突縁)の計算

荷重は等分布荷重とし、衝げき係数を加味し応力、鉄筋量の計算は次のようにする。

(1) 設計荷重作用時に、全断面有効とし引張縁応力が許容引張応力 σ_{tw} を超えないようにする。

(2) 鉄筋量は(1)で計算した全コンクリートの引張応力を負わせる。

(3) 横締めによつて導入される床版部のプレストレスは安全のため考慮しない。

以上の他安全側のため組立鉄筋を用心鉄筋として適当に配置する。

結 言

本文説述のようにプレストレスコンクリートのプレテンション及びポストテンションはりについて、放物線応力分布を採用した設計計算法を述べたものであつて、前報⁽⁶⁾記述の理由によ

り本設計計算法を提案する次第である。

参 考 文 献；

- (1) 前報⁽⁵⁾掲示の諸文献
- (2) 「プレストレスコンクリート及び合成桁研究発表 講演概要」土木学会, 日本建築学会, 1954
- (3) 「プレストレスコンクリートの部」土木工学ポケットブック, 1954
- (4) 佐伯俊一, 「プレストレスコンクリート桁の設計実例とその解説」土木技術, 第7, 8, 10, 12号, 1954
- (5) 著者「プレストレスコンクリートはりの設計計算について」, 山口大学工学部学報, 第5巻第1号, 1954
- (6) G. Magnel, 「Prestressed Concrete.」, 1954, London.
- (7) Y. Guyon, 「Béton Précontraint, Etude Théorique et Expérimentale.」, 1953, Paris.
- (8) 猪股俊司, 「プレストレスコンクリート構造物におけるケーブル緊張作業」, 日本セメント技術協会誌, 第36巻2, 3号, 1955
- (9) H. J. Cowan; 「Balanced Design of P S Concrete Beams」, ACI. Vol. 26. 8, 1955.
- (10) 著者「鉄筋コンクリート部材において偏心軸方向力を受ける場合の応力並びに許容設計に関する研究」土木学会論文集第29号, 1955.