

九州工業大学 助教授 渡辺 明
九州工業大学 大学院 O石井啓文
新日本コンクリート 前原昭一郎

1. まえがき

曲作モーメントを受ける部材は、中立軸の両側でそれぞれ引張応力と圧縮応力が働く。一般に、コンクリート部材の引張側にあらかじめ圧縮応力を与えて、コンクリートの見かけ上の引張強度を増大させたものがプレストレストコンクリートである。この場合、プレストレスの導入は、将来、荷重によって引張応力を生ずる部分に対して充分大きく、反対に圧縮応力を生ずる部分にはできるだけ影響を及ぼさないように効果的に行なわれることが肝要である。

ところが、一般に、フレテンション方式のPC矢板のような薄肉構造物では、鋼線の偏心が充分にとれないこと、施工上の理由などから鋼線に対称配置とし、断面にプレストレスを等分布させる方法が採られ、導入し得るプレストレスは部材引張側に必要な値というよりはむしろ、圧縮側の許容圧縮応力度によって制限され、限られた断面での自由な強度設計が行なわれ難い現状にある。

また、フレテンション方式PC桁、PC枕木などのように、断面のプレストレスを偏分布させ得る場合でも、鋼線が直線配置であるためプレストレス量は桁全長にわたって一定となり、不経済な設計とならざるを得ない。一方、フレテンション方式の構造物ではこのことが不可能だろうか。

筆者らは、鋼線と部分的にカット（これを便宜上“カッティング”と名付ける）すれば、圧縮側に必要なプレストレスが導入されているという弊害が除け、かつ、ポストテンション方式における曲線配置に匹敵するプレストレス分布が得られるのではないかと考えた。この場合、鋼線切断後のボンド定着は充分で、その伝達長は一定とする。ただし、この矢板ではカッティングの時期は地中への打込み後とする。なんとすれば、このような薄肉コンクリート部材ではカッティングによるプレストレスの再分布に基く変形のため、打込み時に座屈し施工が困難となるからである。

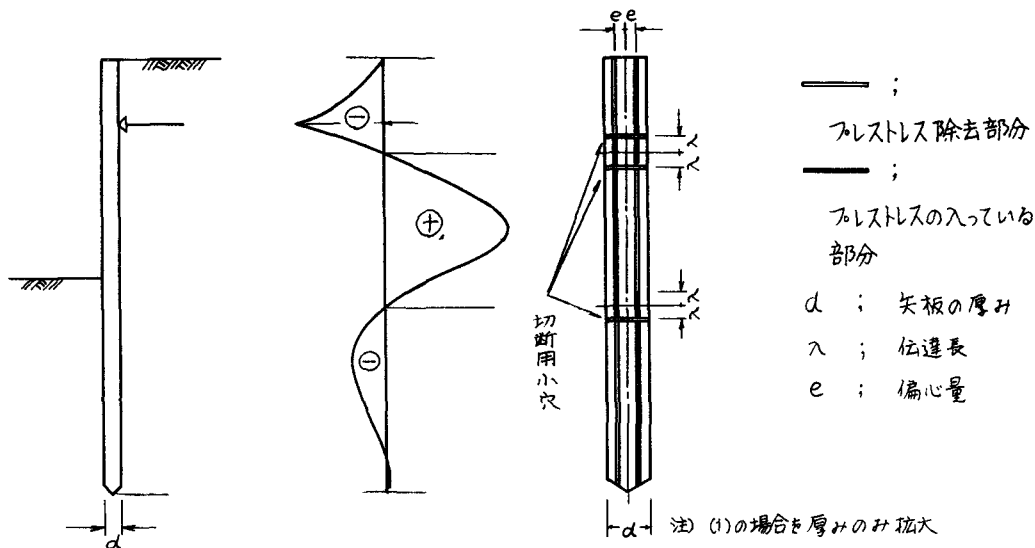
本工法を筆者らは *Post-Eccentric Pretension* (略称PEP) 工法と名付ける。

いま、PSP 150矢板について本工法による抵抗モーメントの増加を計算してみると、0.48 t-mであり、これは従来の工法の場合の抵抗モーメント 1.68 t-m の 29%に相当する。

PEP矢板の設計にあたっては、1) 外力モーメントの分布を的確に知ること。2) 矢板内部の外力モーメントに対応する抵抗モーメント分布（プレストレス再分布）を生じしめること、すなわち、適切なカッティング位置を決定すること。などの2項目につき充分検討されなければならない。

1)については実際に打込まれた状態で矢板にかかる分布荷重、剪断力、モーメント、たわみおよびたわみ角などの理論的確立が必要であり、したがって、その計算法を提案し、2)については、カッティングの方法と若干の検討を行なう。

2. カッティングの方法



(1) 錨定矢板の場合 (2) モーメント図 (3) カッティング位置

図-1 カッティング例

外力によって圧縮応力を生ずる側の区間、つまりフレストレスを除去する区間から伝達長を差し引いた部分のボンドをなくす目的で、同部分のPC鋼線にあらかじめ発泡スチロールパイプを取りつけておく。また、カッティング箇所には鋼線に垂直にあらかじめビニールパイプを取りつけてあり、ガス切断用の小穴を設ける。矢板の地中深く埋め込まれた部分に対しては、ガスによる切断が困難となるので、高圧電流による切断を行なう。

3. 矢板の計算法

矢板の計算にあたって、主側土圧はどのように扱うか、その区間をどう取扱うか、また、根入部の抵抗力をどう取扱うかで、従来いろんな計算法が提議されている。筆者らは、主側側と $p_1 = K_a \gamma z + K_{a0}$

受側側と q の計算において一般に用いられている Chang の式 $P_2 = E_s y_2$ を用いることにした。し

$$\text{たがって、} EI \frac{d^4 y_1}{dz^4} = -p_1 = -(K_1 \gamma + K_2) \dots \dots (1) \quad EI \frac{d^4 y_2}{dz^4} = -P_2 = -E_s y_2 \dots \dots (2)$$

ここに、 p_1 ; 主側側の矢板に働く水平分布荷重。 P_2 ; 受側側の矢板に働く水平分布荷重。

y_1 ; 主側側の矢板のたわみ。

y_2 ; 受側側の矢板のたわみ。

γ ; 矢板の深さ。

K_a ; 主側土圧係数。

γ ; 土の単位体積重量。

q ; 載荷重。

EI ; 部材の曲げ剛性。

E_s ; 土の弾性係数。

$$K_1 = K_a \gamma, \quad K_2 = K_a \cdot q$$

なお、土の弾性係数 E_s の値はいろんな方法で推定されるが、筆者らは

$$E_s = k_k B, \quad k_k = 0.691 N^{0.405}, \quad B ; \text{部材の幅}, N ; N \text{値} \dots \dots (3)$$

を用いることにした。

Changの式によると、埋込始端ではたわみか最大で反力が最大となる。ところが、砂地盤のごとき粘着力 $C=0$ となるような場合、 $p_2=0$ となって不合理が生ずる。この解決法として、たとえば、埋込始端付近で塑性領域を考慮してフイの計算と解く長・竹下氏らの方法が提案されているが、筆者らは、主肋土圧が効く区間を決める意味からも、埋込始端下 $k\beta^{-1}$ (k ; 1より小さい定数、 $\beta^{-1} = \sqrt[4]{\frac{4EI}{ES}}$; 特性長) の奥に原点を定め、それより上側に主肋が効くとし、それより下側には Changの式が適用できるとして、それぞれ主肋区間、受肋区間と名付けた。そして、実験によって各土質に応ずる k の値を導くことにした。

3-1. 座標系

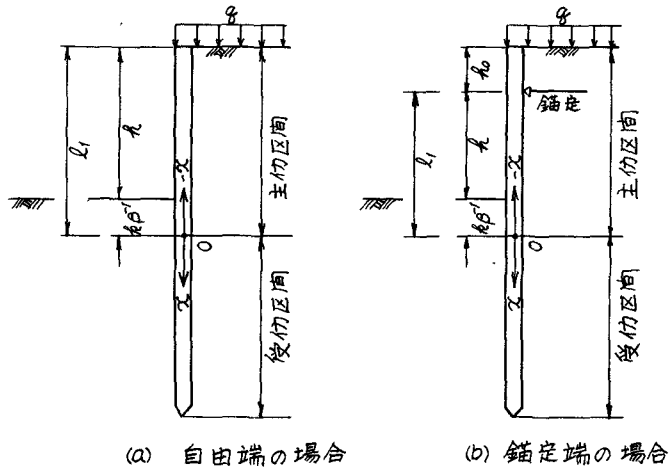


図-2 座標系

図-2のように右寸法を定める。

3-2. 理論式

計算の便利のため、 $C=0$ 、残留水圧 $p_w=0$ とする。

3-2-1. 一般式

a) 主肋側

(1)式の微分方程式を解くと、

$$y_1 = \alpha_1 x^5 + \alpha_2 x^4 + C_1 x^3 + C_2 x^2 + C_3 x + C_4 \quad (4) \quad y_1' = 5\alpha_1 x^4 + 4\alpha_2 x^3 + 3C_1 x^2 + 2C_2 x + C_3 \quad (5)$$

$$y_1'' = 20\alpha_1 x^3 + 12\alpha_2 x^2 + 6C_1 x + 2C_2 \quad (6) \quad y_1''' = 60\alpha_1 x^2 + 24\alpha_2 x + 6C_1 \quad (7)$$

$$y_1'''' = 120\alpha_1 x + 24\alpha_2 \quad (8)$$

こゝに、 $\alpha_1 = K_1/120EI$ 、 $\alpha_2 = K_2/24EI$ 、 C_1, C_2, C_3, C_4 ; 積分定数 である。

b) 受肋側

(2)式の微分方程式を解くと、

$y_2 = e^{\beta x} (C_5 \cos \beta x + C_6 \sin \beta x) + e^{\beta x} (C_7 \cos \beta x + C_8 \sin \beta x)$ こゝに C_5, C_6, C_7, C_8 ; 積分定数である。

根入長が $\pi\beta^{-1}$ 以上の場合、埋込み長は無限としても誤差は少ないということが確かめられているの²⁾

で、埋込み長は無限として計算を行う。そこで、 x が無限のとき y が有限であることから $C_7 = C_8 = 0$ したがって、

$$y_2 = e^{-\beta x} (C_5 \cos \beta x + C_6 \sin \beta x) \dots\dots (9) \quad y_2' = \beta e^{-\beta x} \{-C_5 (\cos \beta x + \sin \beta x) + C_6 (\cos \beta x - \sin \beta x)\} \quad (10)$$

$$y_2'' = 2\beta^2 e^{-\beta x} (C_5 \sin \beta x - C_6 \cos \beta x) \dots\dots (11) \quad y_2''' = 2\beta^3 e^{-\beta x} \{C_5 (\cos \beta x - \sin \beta x) + C_6 (\cos \beta x + \sin \beta x)\} \quad (12)$$

$$y_2'''' = -4\beta^4 e^{-\beta x} (C_5 \cos \beta x + C_6 \sin \beta x) \dots\dots (13)$$

3-2-2. 積分定数の決定

a) 自由端の場合

$$x = -(l + k\beta^{-1}) = l_1 \quad \text{のとき} \quad y_1'' = 0, \quad y_1''' = 0$$

$$x = 0 \quad \text{のとき} \quad y_1 = y_2, \quad y_1' = y_2', \quad y_1'' = y_2'', \quad y_1''' = y_2'''$$

という境界条件から積分定数を求めると

$$C_1 = -2l_1 (5\alpha_1 l_1 + 2\alpha_2) \dots\dots (14) \quad C_2 = 2l_1^2 (10\alpha_1 l_1 + 3\alpha_2) \dots\dots (15)$$

$$C_3 = -2l_1 \{5\alpha_1 l_1 (4l_1 \beta - 3) + 6\alpha_2 (l_1 \beta - 1)\} / \beta^2 \dots\dots (16) \quad C_4 = 2l_1 \{5\alpha_1 l_1 (2l_1 \beta - 3) + 3\alpha_2 (l_1 \beta - 2)\} / \beta^3 \dots\dots (17)$$

$$C_5 = C_4 \dots\dots (18) \quad C_6 = -2l_1^2 (10\alpha_1 l_1 + 3\alpha_2) / \beta^2 \dots\dots (19)$$

b) 固定端の場合

$$x = -(l + k\beta^{-1}) = l_1 \quad \text{のとき} \quad y_1 = 0, \quad y_1'' = -m_0 / EI$$

$$x = 0 \quad \text{のとき} \quad y_1 = y_2, \quad y_1' = y_2', \quad y_1'' = y_2'', \quad y_1''' = y_2'''$$

こゝに、 m_0 は固定点にかゝる固定点上の土圧によるモーメント

という境界条件から積分定数を求めると、

$$C_1 = \frac{1}{3} \cdot \beta^3 \frac{a_1 a_6 + a_4 a_5 - a_2 a_6 - a_3 a_5}{a_1 a_4 - a_2 a_3} \dots\dots (20) \quad C_2 = -\beta^2 \frac{a_1 a_6 - a_3 a_5}{a_1 a_4 - a_2 a_3} \dots\dots (21)$$

$$C_3 = \beta \frac{a_1 a_6 - a_3 a_5 - a_4 a_6 + a_2 a_6}{a_1 a_4 - a_2 a_3} \dots\dots (22) \quad C_4 = \frac{a_4 a_5 - a_2 a_6}{a_1 a_4 - a_2 a_3} \dots\dots (23)$$

$$C_5 = C_4 \dots\dots (24) \quad C_6 = -\frac{1}{\beta^2} C_2 \dots\dots (25)$$

こゝに、

$$a_1 = (l_1 \beta)^3 - 3l_1 \beta + 3 \dots\dots (26) \quad a_2 = l_1 \beta (l_1^2 \beta^2 - 3l_1 \beta + 3) \dots\dots (27)$$

$$a_3 = 2l_1 \beta^3 \dots\dots (28) \quad a_4 = 2\beta^2 (l_1 \beta - 1) \dots\dots (29)$$

$$a_5 = -3l_1^4 (\alpha_1 l_1 + \alpha_2) \dots\dots (30) \quad a_6 = -(20\alpha_1 l_1^3 + 12\alpha_2 l_1^2 + m_0 / EI) \dots\dots (31)$$

$$m_0 = -\int_0^{h_0} K_a (y z + q) (h_0 - z) dz = \frac{1}{2} \cdot K_a h_0^2 (y h_0 + 3q) \dots\dots (32)$$

以上を用いて下記の諸値が求まる。

$$\text{たわみ} \dots\dots y, \quad \text{たわみ角} \dots\dots \theta = y', \quad \text{曲げモーメント} \dots\dots M = -EI y''$$

$$\text{剪断力} \dots\dots S = -EI y''', \quad \text{分布荷重} \dots\dots p = -EI y'''' \dots\dots (33)$$

4. 計算例

a) 自由端の場合 $h = 150 \text{ cm}, E = 40 \times 10^4 \text{ kg/cm}^2, I = 416.7 \text{ cm}^4, y = 1.6 \text{ t/m}^3, K_a = 1/3, B = 40 \text{ cm}, N = 10,$

b) 固定端の場合 $h = 100 \text{ cm}, E = 40 \times 10^4 \text{ kg/cm}^2, I = 416.7 \text{ cm}^4, y = 1.6 \text{ t/m}^3, h_0 = 50 \text{ cm}$

$$K_a = 1/3, \quad B = 40 \text{ cm}, \quad N = 10$$

として、各 q の値についてのグラフと書くところ、 $k = 0.4$

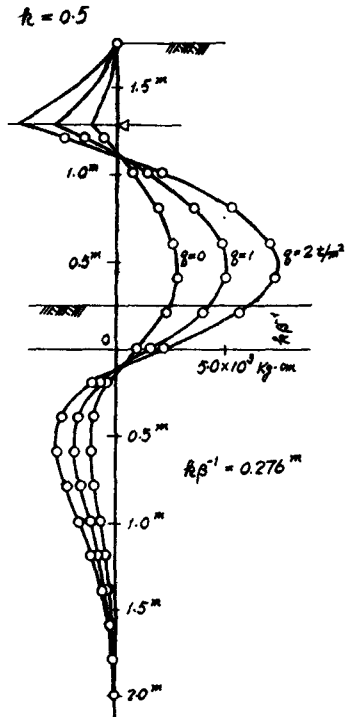
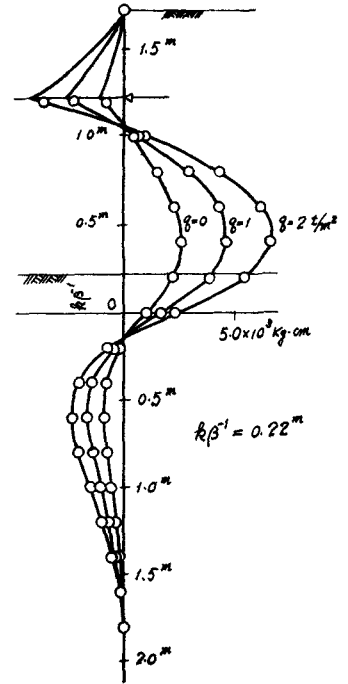
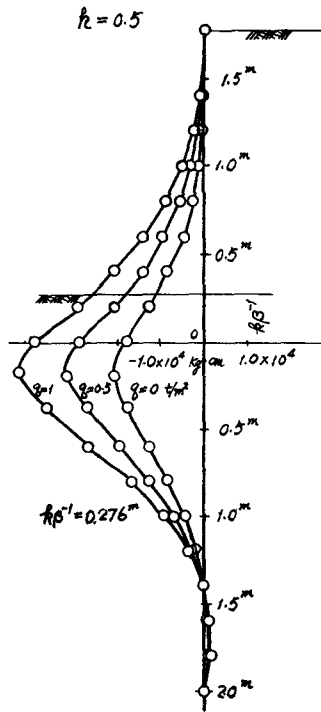
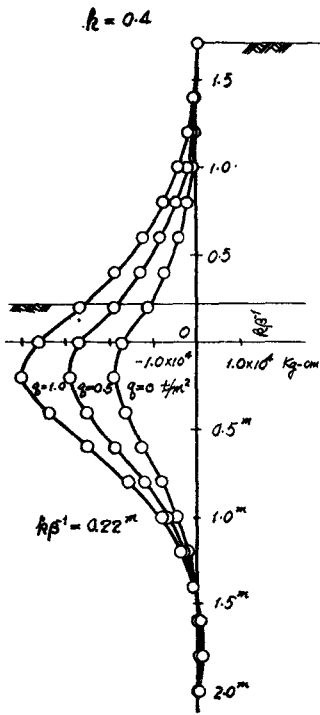


図-3 モーメント図

5. 実験

筆者らは、理論解析の適否を検討する目的でPEP矢板についての現場実験、ならびに、室内実験を行った。なお、現在も引き続き実験中である。

参考文献

- 1), 2) 土質工学ハンドブック 土質工学会編