PC定着長決定法に関する一考察

神戸大学工学部　正員　藤井　学

§1. 序言

プレテンショニングPC部材においては，緊張材はこれとコンクリート間の付着によって定着される。従って定着域における肌圧応力分布ないしは定着長を求めることが重要な問題であり，従来多くの実験的,理論的研究が行なわれてきた。理論的研究においては，これらはある仮定のもとに成立しているのは当然であるが，その仮定が実際有効適切であるかどうかについては多くの疑問が残されている。

従来の理論的研究の基本的な考え方を大別すると次の3つに分けられる。

1) 肌圧応力に摩擦係数を乗じたもの付着応力とする（Swida，Janney，渡辺氏等）

2) 任意点の付着応力は，コンクリートと鋼材間の相対変位に正比例する（福田氏）。またその比例定数はコンクリートのせん断弾性係数である（Butler氏）。

3) 相対変位と導入力との関係を実験的に求め，これを釣合方程式に導入する（Holmjanski，坂氏）。

まず 1) においては，肌圧応力を求めるのに，コンクリートを完全弾性体と仮定して,平面弾性学によっているが，例えばSwidaの解によれば，鋼材の接線方向の応力はコンクリートの圧縮強度以上にも達することがある。それだけの引張応力を認めることはかなりの誤差が伴なうものと考えられる。本文では，この点に着目し，肌圧応力算定上の仮定について考察し，一算定法を提案する。

§2. 肌圧応力算定式の誘導

図-1に示すように，コンクリート断面（内径 r_1，外径 r_2）にプレストレスが導入されると，材端付着の断面では，接線方向応力 σ_t は，コンクリートの引張強度 σ_{tu} を超過する部分が生ずる。ここでは，1) σ_{tu} を超過した部分には半径方向に無数のひびわれが発生しているものと仮定する。従ってこの域では接線方向応力 $\sigma_t = 0$ とする。2) $\sigma_t < \sigma_{tu}$ の部分（$r > r_c$）のコンクリートおよび鋼材は完全弾性体とする。この部分では平面弾性学を適用して,各応力を算定する。

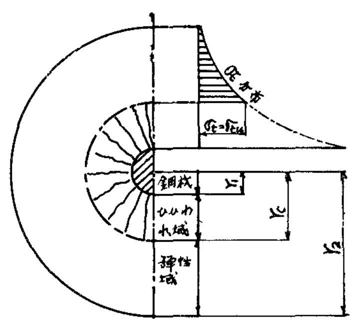

図-1 計算の仮定

1) 鋼材の応力および変位

材端から任意の点の鋼材（半径 r_0）表面（$r=r_1$）の肌圧応力 σ_r および変位 u_s は次式となる。

$$\sigma_r = \sigma_t = \frac{E_s}{1-\mu_s}\left(\frac{r_x}{r_1}-1\right) + \frac{\mu_s}{1-\mu_s}\Delta\sigma_x \tag{1}$$

$$u_s = r_x - r_1 \tag{2}$$

ここに μ_s，E_s：鋼材のポアソン比，弾性係数，$\Delta\sigma_x = -(\sigma_{xi} - \sigma_x)$，$\sigma_{xi}$：初期緊張応力，$\sigma_x$：導入後の任意点 x の鋼材応力，r_1, r_x：σ_{xi} のとき鋼材半径，導入後の x 点での鋼材半径。

2) コンクリートの応力および変位

a) $r \geq r_c$ ：この部分コンクリート弾性体と考え，内圧としてコンクリートの引張強度σ_{tu}を，また軸方向応力(は一様分布)を作用させた場合の変位 u_{c1} は次式で与えられる。

$$u_{c1}=\frac{\sigma_{tu}\,r_c^3}{E_c(r_2^2-r_c^2)}\left\{(1-\mu_c)+(1+\mu_c)\frac{r_2^2}{r_c^2}\right\}+\frac{\mu_c r_c}{E_c}\frac{\Delta\sigma_x}{n} \quad \cdots\cdots(3)$$

b) $r_1 \leqq r \leqq r_c$ ：円周方向応力は働かないと考えられるので，ひびわれとひびわれとで区分された扇形のエレメントの釣合より $r=r_1$ における半径方向応力σ_rは

$$\sigma_r=-\sigma_{tu}\cdot\frac{r_c}{r_1} \qquad (4)$$

同様にして $r_1 \leqq r \leqq r_c$ の範囲における任意点の応力は(4)式で $r_1=r$ として与えられる。これに軸方向応力を考慮すると，r方向の変位 u_{c2} は

$$u_{c2}=\int_{r_1}^{r_c}\frac{1}{E_c}\left(-\frac{r_c}{r}\sigma_{tu}-\mu_c\frac{\Delta\sigma_x}{n}\right)dr=-\frac{r_c}{E_c}\left\{\sigma_{tu}\log\left(\frac{r_c}{r_1}\right)+\frac{\mu_c\Delta\sigma_x}{n}\left(1-\frac{r_1}{r_c}\right)\right\} \qquad (5)$$

従って，$r=r_1$ におけるコンクリート変位は

$$u_c=|u_{c1}|+|u_{c2}| \quad \cdots\cdots\cdots\cdots(6)$$

ここに，μ_c，E_c：コンクリートのポアソン比，弾性係数，$n=E_s/E_c$

以上，$r=r_1$ における釣合，適合条件より，(1)と(4)，(2)と(6)式とを連立して，肌圧応力σ_rおよびひびわれ発生域 r_c を求めることができる。

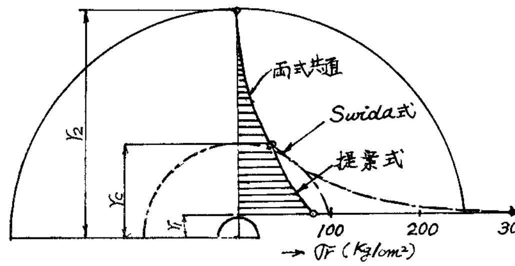

図-2 杭端断面のσ_r分布の比較

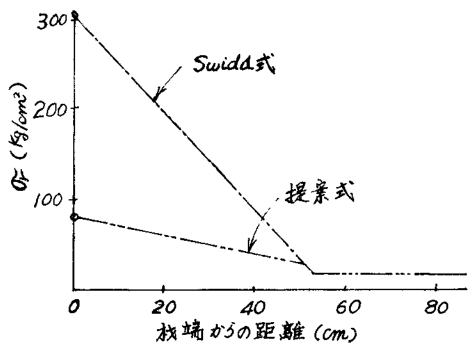

図-3 肌圧応力分布の比較

§3. 数値計算例および Swida式との比較

Swida氏の論文で用いられた諸数値を用いると次のとおりである。

$r_0=5.65^{mm}$，$\mu_c=1/6$，$\mu_s=1/3$，$n=5$，$r_2=56.5^{mm}$，$\sigma_{xi}=120\,kg/mm^2$，$\sigma_{tu}=30\,kg/cm^2$

これらの数値を用いて，杭端断面でのσ_r分布を求めると，図-2のようになる。$r=r_1$ での肌圧応力は，Swida式によると，$308\,kg/m^2$（円周方向応力もこの値と等しい）であるのに対し，引張強度以上となる部分にはひびわれが発生するものと仮定して求めた式によると，肌圧応力σ_rは $83.4\,kg/cm^2$ となり，約1/4程度に減少している。また，いま簡単のために，σ_xを直線変化するものとして，杭軸に沿う肌圧応力分布を求めると図-3のようになる。いま平均肌圧応力（σ_rを直線分布と仮定）をσ_{rm}，固着的付着応力をτ_1とすると，定着長Lは，$L=\sigma_{xi}\cdot r_0/4(f\sigma_{rm}+\tau_1)$，ここに$f$は摩擦係数。いま，$f=0.2$，$\tau_1=30\,kg/cm^2$と仮定すれば，Swida式では $L=52\,cm$，提案式では $81\,cm$ となる。f および τ_1 の値を実験的に求めるのが困難であるので，両式の正否について速断できないが，コンクリートの引張強度を $300\,kg/cm^2$ 程度認めざるを得ない弾性理論解では，定着長算定にかなり無理があるものと考えられる。

なお提案式より求めたひびわれ範囲は $r_c/r_1 \doteqdot 2.78$ となり，コンクリート表面までひびわれを到達させないようにするためには，鋼杭径の約3倍程度の径のコンクリートで巻く必要があることがわかる。