

V-46

連続鉄筋コンクリート舗装の
ひびわれ幅に関する一検討

セメント協会研究所	正会員	吉本 徹
新東京国際空港公団	正会員	阿部洋一
運輸省港湾技術研究所	正会員	佐藤勝久
宇都宮大学工学部	正会員	佐藤良一

1. はじめに

連続鉄筋コンクリート舗装(以下CRCP)において、ひびわれ部で十分な荷重伝達を得るためにひびわれ幅の制御が必要である。従来、このひびわれの制御はVetterの式¹⁾に基づいて鉄筋比を定め、経験的に舗装表面から版厚の1/3の位置に配筋することにより行われていた。しかし、ひびわれ幅を設計の段階から定量的に検討されることはなく、さらに荷重伝達に最も影響すると思われる版厚方向のひびわれ幅の分布についてはその実体さえ議論されていないと思われる。そこで本研究では鉄筋とコンクリートとの間の付着に基づいた版厚方向のひびわれ幅の分布を予測し得る算定式²⁾に基づいて、実際の気象条件と配筋位置がひびわれ幅の版厚方向分布に及ぼす影響について検討した。

2. ひびわれ制御設計式の誘導²⁾

ひびわれ幅の算定式は鉄筋の偏心を考慮した、次の基礎方程式に基づいて導かれた。

$$\frac{d^2 \delta x}{dx^2} = (1 + \frac{np}{\rho}) \cdot \frac{U_s}{A_s E_s} \cdot \tau x$$

ここで、

$$1/\rho : 1+e^2/(I_o/A_o)$$

$\delta x, \tau x$: 任意の位置xでのコンクリートと鉄筋との間のすべり量と付着応力

n : 有効弾性係数比(E_s/E_o , E_o :有効弾性係数, $E_o=E_c/(1+\phi)$, ϕ :クリープ係数)

A_o, I_o, E_o : コンクリートの断面積, 断面2次モーメント, 弾性係数

A_s, E_s, U_s : 鉄筋の断面積, 弾性係数, 周長

e, p : コンクリートの断面図心から鉄筋までの距離, 鉄筋比(A_s/A_o)

この基礎方程式を所定の境界条件のもとで解き、さらに微小項を無視することにより、最大ひびわれ間隔 l_{max} 、版厚方向で上縁、鉄筋位置、下縁のそれぞれのひびわれ幅 w_u, w, w_l は次のように導かれた。なお、付着特性は図1のようにモデル化した(τ_o, τ_c :領域III, IVの付着応力で領域の長さはいずれも l_o, l_c である)。

$$l_{max} = \frac{2}{np} \left\{ -\frac{\epsilon_{rr} - (1 - K_R)\epsilon}{\epsilon_{o, max}} - \frac{\rho U_s}{\rho} \right\} \cdot \frac{\eta_1}{\eta_2}$$

$$w_u = \frac{1+np/\rho}{1+np/\rho} \cdot w + \left[\frac{1-\rho/\rho_s}{1+np/\rho} \cdot \frac{np}{\rho} \cdot \{\epsilon_{sx}\}_{x=l_o+l_c} \right. \\ \left. + \frac{1+np/\rho}{1+np/\rho} \cdot \epsilon_{rr} - \epsilon_{rr, u} \right] \cdot l_{max}$$

$$w = -\frac{2(1+np/\rho)\eta_1}{2\eta_1/l_{max} + np/\rho \cdot \eta_2} \cdot \{\epsilon_{rr} - (1 - K_R)\epsilon\}$$

$$w_l = \frac{1+np/\rho}{1+np/\rho} \cdot w + \left[\frac{1-\rho/\rho_s}{1+np/\rho} \cdot \frac{np}{\rho} \cdot \{\epsilon_{sx}\}_{x=l_o+l_c+l_c} \right. \\ \left. + \frac{1+np/\rho}{1+np/\rho} \cdot \epsilon_{rr} - \epsilon_{rr, l} \right] \cdot l_{max}$$

ここで

$$\eta_1 = \frac{1}{\sqrt{A_1}} + l_o \left\{ 1 + \left(\frac{l_c}{l_o} \right) \right\} + \frac{1}{2} \sqrt{A_1} l_o^2 \left\{ 1 + 2 \left(\frac{l_c}{l_o} \right) + \xi \left(\frac{l_c}{l_o} \right)^2 \right\} \\ \eta_2 = 1 + \sqrt{A_1} l_o \left\{ 1 + \xi \left(\frac{l_c}{l_o} \right) \right\}, \quad A_1 = (1+np/\rho) \cdot \frac{U_s}{A_s E_s} \cdot K_s$$

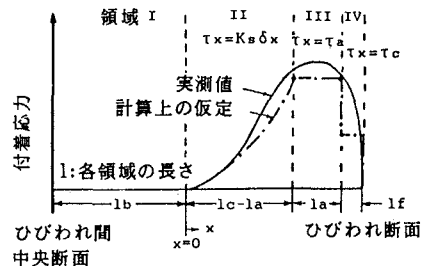


図1 付着応力の材軸方向分布

$$\{\varepsilon_{sx}\}_{x=10+1r} = \Delta\varepsilon\{g_c - 1 + \sqrt{A_1 g_s} l_a (1 + \xi \frac{l_r}{l_a})\} + \varepsilon_{rr}$$

- ε_{rr} : 鉄筋位置コンクリートの自由収縮ひずみで温度変化ひずみと乾燥収縮ひずみの和
 $\varepsilon_{rr,u}, \varepsilon_{rr,l}$: コンクリートの上・下縁の自由収縮ひずみ
 ε : コンクリートの自由収縮ひずみが鉄筋によってのみ拘束されたひずみ
 $\varepsilon_{c,max}$: f_t/E . (f_t :コンクリートの引張強度)
 ε_{sx} : 任意の位置 x における鉄筋ひずみ
 K_R : 拘束度（拘束されたひずみを自由収縮ひずみで割ったもの）
 $1/\rho_u, 1/\rho_l$: $1+e(e+d)/(I_o/A_o), 1-e\{h-(e+d)\}/(I_o/A_o)$
 d, h : コンクリート上縁から鉄筋までの距離, 版厚
 g_c, g_s : $\cosh\{\sqrt{A_1}(l_o-l_a)\}, \sinh\{\sqrt{A_1}(l_o-l_a)\}$

3. 考察

解析の対象は、版厚35cm、鉄筋(D19SD40)の配筋ピッチが12.5cmで、鉄筋比0.65%の断面を有するCRCPである。諸物性値は実測から、 $K_s=40000\text{kgf/cm}^2$, $\xi=0.5$, $l_a=5.0D_s$, $l_r=2.5D_s$, $K_R=1.0$ (K_s :付着刚性, ξ :付着応力の低減率で $\tau_o/\tau_s, D_s$:鉄筋径)とした。また、コンクリートの弾性係数は標準養生のものを、クリープ係数はJSCEの算定式により、それぞれ材令毎に求めた。図2は右に版厚方向の実測自由収縮ひずみ分布を表し、図の左には計算した最大ひびわれ幅の分布を示した。ここで計算値は、内部拘束の影響を無視し、Compensation Lineを用いて求めたものである。なお、 ε は 1×10^{-6} とした。

9/21 6:38の材令の場合、つまり自由収縮ひずみが表面側の方が大きい場合はひびわれ幅は小さく、かつ版厚方向に均一に制御されていることがわかる。このことから偏心配筋の妥当性が認められる。

一方、表面側の自由収縮ひずみの方が小さい、9/21 14:38の材令では $l_{max}=162\text{cm}$ とした場合、ひびわれ幅は下側に向かって大きくなっているものの、その値は小さい。しかし、この時点での自由収縮ひずみにより最大ひびわれ間隔（そのとき $l_{max}=454\text{cm}$ となる）が決まるとすれば、自重を考慮して求めた、コンクリート上縁、鉄筋位置、下縁でのひびわれ幅はそれぞれ0.12mm, 0.32mm, 0.71mmと特に下縁のひびわれ幅が大きい。これは自由収縮ひずみの分布で、下縁の方が上縁よりもひずみが大きいにもかかわらず、鉄筋を図心よりも上方に配筋させたことが主原因と考えられる。

4. 結論

CRCPの鉄筋は、表面側の自由収縮ひずみが大きい場合、断面中央より上方に配筋させることにより、ひびわれ幅を制御し得ることが解析上ではあるが、わかった。

しかし、日射等でコンクリートの表面側の収縮ひずみが小さく、さらにその収縮分布により、最大ひびわれ間隔が決まる場合には鉄筋の上方への偏心配筋は、逆効果になることもあり得ることがわかった。

したがって、版厚方向ひびわれ幅を年間を通して最小にするために、鉄筋の配筋位置は気象条件を考慮して決定する必要がある。

【参考文献】1) C.P.Vetter: Stresses in Reinforced Concrete due to Volume Changes, Transactions, ASCE, Vol. 98, pp. 1039~1053, 1933 2) 佐藤良一、佐藤勝久、阿部洋一: 連続鉄筋コンクリート舗装のひびわれ制御設計方法、第43回セメント技術大会講演集、1989

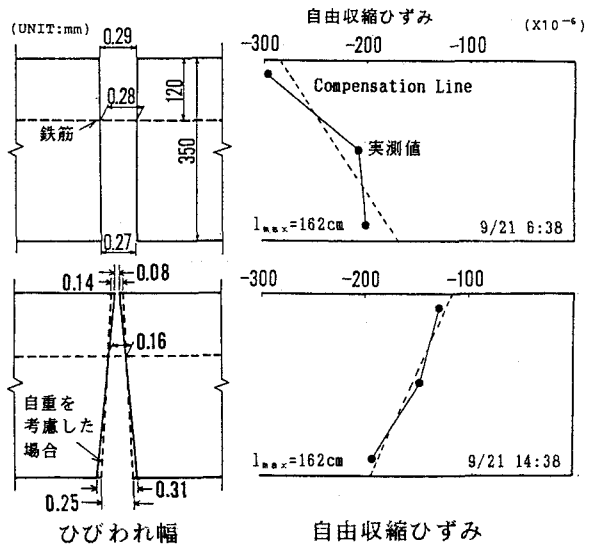


図2 版厚方向の自由収縮ひずみと
そのときのひびわれ幅の計算値