

神戸大学工学部 正員 藤井 学
 大阪市役所 正員〇梶木 俊
 神戸大学大学院 山沢正史

1. まえがき

PC定着部の補強対策として、従来用心鉄筋を配置するか、あるいは何らかの方法で定量的な応力値が得られた場合、許容応力度法的な取扱いがなされている。しかし、これらの補強法ではひびわれ発生後の変形量(ひびわれ幅, 鉄筋応力)についての情報は不明である。

したがって、ここではPC中間定着部に生じる局部応力に注目し、それに起因するひびわれが発生した場合のひびわれ制御法について検討し、ひびわれ幅に及ぼす諸要因に対して考察した。

2. 解析計画概要

突起, 切欠き及び埋込みの3種のPC中間定着部を対象とし、図1に示すようにそれぞれモデル化した。有限要素法による定着部の応力解析結果に基づき、各々図2に示す位置及び方向にひびわれを設定した。これらの想定ひびわれへの影響要因として、鉄筋量, 鉄筋配置位置, 鉄筋径(付着長), 鋼材曲げ上げ角 θ (突起, 切欠き), コンクリートのクリープ等を逐次数値解析を行った。また許容応力度法による補強法と比較検討した。

3. 鉄筋によるひびわれ制御法¹⁾²⁾

①板定: ①鉄筋とコンクリートは弾性体, ②鉄筋の付着応力は三角形分布(図3参照), ③鉄筋の付着長は鉄筋径により一定(D10は15cm, D13は20cm, D16は20~30cm)。

②プレストレス導入時: 図3に示すようにひびわれ面に鉄筋が配置された場合を想定し、鉄筋位置におけるひびわれ幅変化量及び各記号を、それぞれ図4と表1に定義する。板定①より重ね合わせの法則が成立し、位置*i*における変位の適合条件

$$W_i^0 = W_i + \sum_{j=1}^N \delta_{ij} \quad \dots (1)$$

コンクリートの局部変位, 鉄筋の伸び量及びひびわれ幅の関係は、

$$\Delta \delta_i = a_{li} \sin \theta_i^0 - W_i \quad \dots (2)$$

板定①より鉄筋の伸び量は、

$$\Delta l_i = (2l_i / 3 A_s E_s) V_i \quad \dots (3)$$

変位 δ_{ij} と δ_{ij}^0 は V_j に比例すると考えると、

$$\delta_{ij} = a_{ij} V_j \quad \dots (4), \quad \delta_{ij}^0 = b_{ij} V_j \quad \dots (5)$$

したがって、コンクリートの局部変位は、

$$\Delta \delta_i = \delta_{ii} - \delta_{ii}^0 = (a_{ii} - b_{ii}) V_i \quad \dots (6)$$

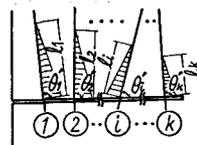


図3 ひびわれと鉄筋

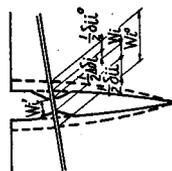


図4 ひびわれ幅変化量

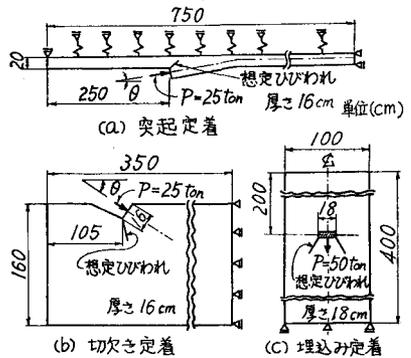


図1 解析対象モデル

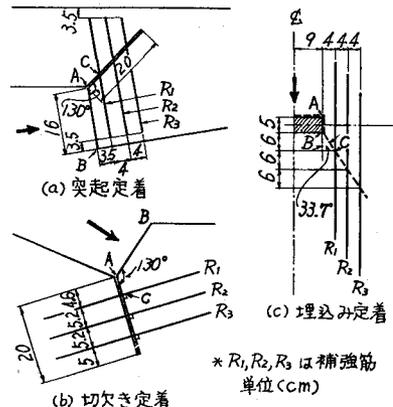


図2 想定ひびわれと補強筋例

表1 解析で用いる記号

記号	説明
W_i^0	位置 <i>i</i> における無補強の場合のひびわれ幅
W_i	" 補強後のひびわれ幅
W_i'	" 鉄筋の抜け出し量
V_i	" 鉄筋の引張力
δ_{ij}	V_j によって位置 <i>i</i> に生じるひびわれ幅減少量
δ_{ij}^0	δ_{ij} のうち、コンクリートの全体的変位(ひびわれ面に対し垂直な成分)
$\Delta \delta_i$	δ_{ij} のうち、 V_i によって生じるコンクリートの局部変位(ひびわれ面に対し垂直な成分)
a_{ij}	V_j が単位力のときの δ_{ij} の値
b_{ij}	" δ_{ij}^0 の値
Δl_i	位置 <i>i</i> における鉄筋の伸び量
l_i	" 鉄筋の付着長
θ_i	" 鉄筋とひびわれ面のなす角度
A_{s_i}	" 鉄筋量
E_s	鉄筋の弾性係数

以上の関係式より、 W_i, V_i, A_s の関係は次の2式で与えられる。

$$\text{式(2), (3), (6)より } W_i = (2l_i \sin \theta_i / 3 A_s i E_s - a_{ii} + b_{ii}) V_i \equiv K_i V_i \quad \dots (7)$$

$$\text{式(1), (4)より } W_i = W_i^0 - \sum_{j=1}^n A_{ij} V_j \quad \dots (8)$$

W_i^0, A_{ij} 及び b_{ij} は、有限要素法を適用して求めることができる。

4) クリープ変形を考慮した場合：図3において位置1のみに鉄筋が配置された場合について考える。 t 時間後の変位の適合条件は、式(7), (8)より、

$$\Delta W_i = W_i^0 \Delta \varphi - a_{ii} \Delta V_i - a_{ii} V_i \Delta \varphi = K_i \Delta V_i \quad \dots (9)$$

$$\therefore (W_i^0 - a_{ii} V_i) \frac{\partial \varphi}{\partial t} - (a_{ii} + K_i) \frac{\partial V_i}{\partial t} = 0 \quad \dots (10)$$

$$\text{解くと、 } W_i^0 - a_{ii} V_i = \text{EXP} \left\{ a_{ii} (C - \varphi) / (a_{ii} + K_i) \right\} \quad \dots (11)$$

$t = 0, \varphi = 0, V_i = V_i^0$ の境界条件では

$$C = \left\{ (a_{ii} + K_i) / a_{ii} \right\} \ln (W_i^0 - a_{ii} V_i^0) \quad \dots (12)$$

(V_i^0 はプレストレスト導入時の位置1における鉄筋力である)

4. 解析結果および考察

前述した諸要因 (θ を除く) とひびわれ幅または鉄筋応力の関係は、突起、切欠き、埋込みにかかわらずほぼ同様の傾向になる結果が得られ、図5~7は突起について示してある。

1) 図5は鉄筋 $N = 1$ から $N = 3$ まで順次増加させたときの点Cのひびわれ幅 W_c と A_s の関係を示すものである。 $N = 2$ と $N = 3$ に注目すれば、両者の補強効果はほとんど変わらない。すなわち、補強筋はなるべく隅角点(埋込みでは定着具)に寄せて配置するのが有効である。

2) 図6, 図7に W_c とクリープ係数 φ の関係、鉄筋 R_1 の引張応力 σ_{s1} と φ の関係を示す。クリープ進行に伴い W_c と σ_{s1} は2~3倍に増加する。これを抑制するには A_s を増大させるのが効果的であるが、必要以上に鉄筋を配筋しても補強効果はほとんど変わらない。またひびわれ幅抑制には、付着長の短い細径の鉄筋を用いるのが有効である。

3) W_c に制限値を与えたときの σ_{s1} と A_s の値を表2に示す。 $W_c = 0.05 \text{ mm}$ に制限したとき、 σ_{s1} は小さく、 A_s の低減できる付着長の短い細径の鉄筋使用が合理的である。一方 $W_c = 0.10 \text{ mm}$ の場合、 σ_{s1} を低減するため付着長の長い大径の鉄筋、あるいは高強度の鉄筋が有利である。また突起、切欠きにおいて θ を大きくとることにより、必要鉄筋量を減少させることができる。

4) ひびわれ発生の原因となる引張応力の合力 Z に対する必要鉄筋量 $A_s = Z / \sigma_{sa}$ (σ_{sa} : 許容引張応力) を求め、この値をひびわれ供試体に適用した場合の W_c と σ_{s1} を算出し表3に示す。突起、埋込みにおいて、 σ_{s1} は σ_{sa} を超過しており、許容応力度による補強ではひびわれに対し安全である確証は得られないといえる。

5. あとがき

本解析結果は種々の仮定のもとで求められたものであるため、実際に適用するには実験的照査が必要である。

参考文献 1) 藤井, 北村, 森; プレテンションPC桁端部の水平ひびわれ幅制御について, プレストレストコンクリート, Vol. 16, No. 6, 1974. 3

2) Fujii, Nakajima, Kajimura: Control of Crack Width in Anchorage zone of Post-Tensioned Concrete Members, 8th FIP Report

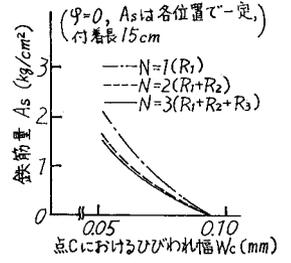


図5 W_c と A_s の関係

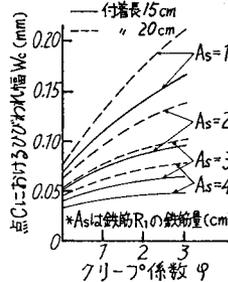


図6 φ と W_c の関係

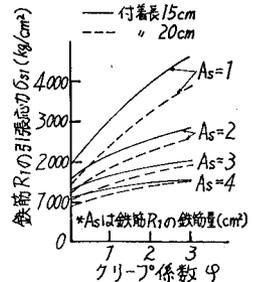


図7 φ と σ_{s1} の関係

表2 補強計算例 ($\varphi = 3$)

付着長 (cm)	θ	$W_c = 0.05 \text{ mm}$		$W_c = 0.10 \text{ mm}$	
		σ_{s1} (kg/cm²)	A_s (cm²)	σ_{s1} (kg/cm²)	A_s (cm²)
突起	5°	1620	4.176	2940	1.968
	7.5°	1600	3.923	2920	1.873
	10°	1580	3.733	2890	1.782
切欠き	5°	990	7.319	1870	3.266
	7.5°	1000	6.811	1900	3.029
	10°	970	6.558	1850	2.908
埋込み	20°	1200	1.986	2190	0.707
	35°	1090	0.882		
	20°	910	2.711	1650	1.125
埋込み	15°	2240	2.980	3970	1.076
	20°	1770	4.158	2990	1.505
	30°	1150	7.349	2000	2.282

表3 許容応力度法による補強との比較 ($\varphi = 3$)

付着長 (cm)	θ	$\sigma_{sa} = 1400 \text{ kg/cm}^2$ (SD24)		$\sigma_{sa} = 1800 \text{ kg/cm}^2$ (SD30)	
		A_s (cm²)	W_c (mm)	A_s (cm²)	W_c (mm)
突起	5°	2.96	0.068	2.31	0.086
	7.5°	2.96	0.065	2.31	0.083
	10°	2.84	0.065	2.21	0.082
切欠き	5°	2.96	0.108	2.31	0.131
	7.5°	2.96	0.102	2.31	0.124
	10°	2.84	0.102	2.21	0.124
埋込み	15°	1.49	0.062	1.16	0.074
	20°	0.91	0.042	0.71	0.049
	35°	0.91	0.054	0.71	0.061
埋込み	15°	3.25	0.047	2.53	0.057
	20°	"	0.060	1.970	0.072
	30°	"	0.084	1.730	0.095

(注) *は許容引張応力 σ_{sa} を超過した値