

V-152 連続拘束を受けるマスコンクリートの最大ひびわれ幅の予測方法について

株式会社大本組 正会員 櫻井 実
宇都宮大学工学部 正会員 佐藤良一
宇都宮大学工学部 正会員 氏家 勳

1. はじめに

連続拘束を受ける鉄筋コンクリート部材の最大ひびわれ幅を予測する際には、ひびわれ間中央断面のコンクリートの応力と鉄筋のひずみ分布の的確な評価が極めて大切である。筆者らは、既に、既設の拘束体からの拘束力、鉄筋の引張力および内部拘束を考慮した最大ひびわれ幅の予測方法を提案した¹⁾。本文では鉄筋比が比較的大きい場合について、実測値と予測値を比較し、本方法の妥当性や問題点を検討する。

2. 解析理論の概要¹⁾

本方法は、ひびわれ幅算定の対象とする部位(図-1に示す斜線部、以下解析断面という)を取り出し、これを拘束体および鉄筋から拘束力を受ける引張部材とする考え方を採用している。拘束体からの連続的な拘束は、材軸方向のある位置における解析断面のコンクリートの変位量に比例するとして取り入れた。

ひびわれ間の任意断面における釣り合い条件(図-2参照)、および微小要素の釣り合い条件(図-3参照)より、温度および応力の履歴を考慮し得る基礎方程式が次のように得られた。

領域Ⅰ(全断面有効領域)

$$\frac{d^2 \varepsilon_{ct,i}}{dx^2} = \frac{kB}{\{AE\}_e} \varepsilon_{ct,i} \quad (1)$$

領域Ⅱ(鉄筋とコンクリートのすべり領域)

$$\frac{d\delta x}{dx} = -\left\{1 + \frac{Ac(x)g_1(ti)}{AsEs}\right\} \varepsilon_{ct,i} + \frac{1}{AsEs} \{Ac(x)F(ti-1) + Ps + Pf + k \int_0^x B(x) \int_0^x \varepsilon_{ct,i} dx dx\} + \varepsilon_{s,\Delta T} \quad (2)$$

$$\frac{d^2 \delta x}{dx^2} = \left\{1 + \frac{AsEs}{Ac(x)g_1(ti)}\right\} \frac{Us}{AsEs} \tau x + \frac{1}{Ac(x)g_1(ti)} \left[\frac{dAc(x)}{dx} g_1(ti) \{ \varepsilon_{ct,i} - F(ti-1) \} - k \cdot B(x) \int_0^x \varepsilon_{ct,i} dx \right] \quad (3)$$

境界条件は次のように定める。

$$\begin{aligned} x=0 &: \varepsilon_{ct,i} = \{ \varepsilon_{ct,i} \}_{x=0}, \\ & d\varepsilon_{ct,i}/dx = 0 \\ x=a &: \delta x = 0, \quad d\delta x/dx = 0 \\ x=Q_{max}/2 &: d\delta x/dx = Ps/AsEs + \varepsilon_{s,\Delta T} \\ & - \{ \varepsilon_{ct,i} \}_{x=Q_{max}/2} \end{aligned}$$

変形の適合条件は鉄筋の平均ひずみはコンクリートの拘束ひずみ

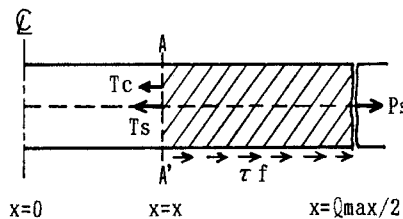


図-2 断面の釣り合い条件

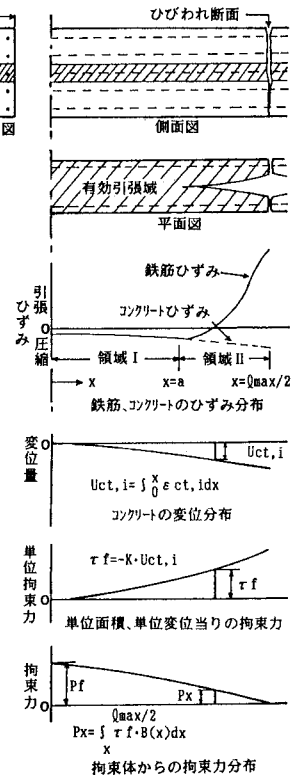


図-1 ひずみ、変位、拘束力等の分布の概念図

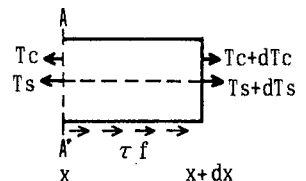


図-3 微小要素の釣り合い条件

に等しいとし、図4に示すフローに基づいて数値計算した。計算に必要な諸物性値は表-1に示す値を用いた。

4. 実験値²⁾と計算値の比較

図-5は、供試体の断面諸元であり、その長さは15mである。それぞれの断面中央高さの実測拘束度はNo.1の場合0.73、No.2の場合0.75であり、解析ではこれらの値を用いた。表-2は各供試体の温度の経時変化を示したものである。温度応力は実測拘束度を用い、応力履歴を考慮して求めたが、それによるひびわれ発生材令はNo.1で6.2日、No.2で6.9日と実測値とほぼ等しかった。

ひびわれ幅等の計算は、温度変化が比較的小さいので、ひびわれ発生後直ちに最終安定温度時で行った。

表-3はひびわれ幅等の実測値と計算値を示したものである。なお、最大ひびわれ間隔は断面高さ方向の各位置での値を用いて求めるべきであるが、ここでは高さ中央のみを解析の対象とした。この表によれば、計算によるひびわれ幅と鉄筋応力度は実測値と比較的よく一致している。また、鉄筋比の効果も表現されている。しかし、ひびわれ間隔は計算値の方が大きく、特に鉄筋比が大きい場合、その差は著しい。また、No.2の場合、最大ひびわれ間隔時のひびわれ幅および鉄筋応力度は最小ひびわれ間隔時のものより小さい値となっているが、これについては実験および解析の両面から検討する必要がある。

5. まとめ

本解析方法はひびわれ幅および鉄筋応力度については比較的精度よく予測しうる。しかし、ひびわれ間隔については大きく評価する傾向のあることも明らかとなった。今後は特にバネの特性について検討したい。

《参考文献》1)佐藤ほか:マッパ[®]な鉄筋コンクリート部材の最大ひびわれ幅の予測、第11回コンクリート工学年次論文報告集、1989(投稿中) 2)首都高速道路公団:マスコングリのひびわれ制御実験報告書、1985

表-1 材料等の諸物性値

項目	計算に用いた定数および式
コンクリート	圧縮強度 引張強度 $f'c, te = [0.229 \ln(te) + 0.24] f'c, 28$ $f_t, te = [0.2632 \ln(te) + 0.273] f_t, 28$ ($0.5 \leq te \leq 1.58$) (te :有効材令)
	弾性係数 クリープ係数 $Ec, te = [1.437 f'c, te / T_c 28 - 0.440] Ec, 28$ $\phi te = 0.87 \int_0^{te} Ec, t \cdot e^{-0.17t} dt$
	付着応力-すべり曲線 $\tau x = \tau \max(x) e^{\frac{\ln[(e-1)\delta x / \delta \max(t)+1]}{(e-1)\delta x / \delta \max(t)+1}}$
付着	付着強度 $\tau \max = 140 \text{ kgf/cm}^2$ (ひびわれ近傍は除く)
	付着強度時のすべり量 $\delta \max(t) = 0.4$ (ひびわれ発生時)
	ひびわれ近傍の付着強度の低下 $\tau \max(x) = \frac{x}{3.5 \delta_s} \tau \max$ x : ひびわれ断面からの距離 δ_s : 鉄筋径
	付着クリープ $\delta \max(t_i) = (1.0 + 2.6 t_i) \delta \max(t_1)$ ($0 \leq t_i \leq 0.1$) $= (1.26 + \frac{t_i - 0.1}{3.0(t_i - 0.1) + 6.0}) \delta \max(t_1)$ (t_1 : ひびわれ発生材令) ($0.1 < t_i < 8.0$)
拘束	拘束力と変位の関係 $\tau f(x) = K \cdot U(x)$
	バネ定数 $K = 110 \text{ kgf/cm}^2 / \text{cm}$ ($p = 0.25\%$) $K = 32 \text{ kgf/cm}^2 / \text{cm}$ ($p = 0.65\%$) $L/H = 2$ の時の拘束度が0.28(ACI207委員会)になるように設定

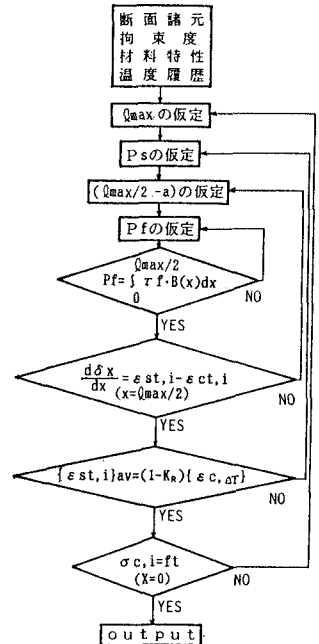


図-4 解析フローの概略図

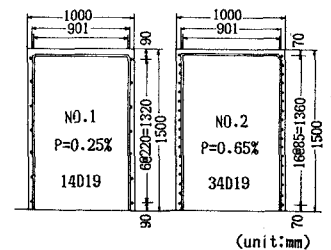


図-5 供試体の断面諸元

表-2 温度の経時変化

供試体	打設温度 (°C)	最高平均温度 (°C)	ひびわれ発生時温度 (°C)	最終安定温度 (°C)
No.1	24.0	60.5(1.48日)	27(6.8日)	20.6(10.7日)
No.2	12.5	42.2(1.95日)	14(7.1日)	6.4(14.1日)

表-3 実験値と計算値の比較

供試体	鉄筋比 (%)		ひびわれ間隔 (cm)		ひびわれ幅 (mm)		鉄筋応力度 (kgf/cm²)		拘束力 Pf (ton)		ひびわれ断面でのコンクリートの変位量 (mm)		鉄筋張力 Ps (ton)	
			最大	最小	最大	最小	最大	最小	最大	最小	最大	最小	最大	最小
No.1	0.25	計算値	721	361	0.36	0.29	2433	1964	30.54 (13.9)*	12.74 (5.8)*	-2.06	-1.58	12.94 (8.3)	11.26 (5.1)
		実験値	380	240	0.40		2266							
No.2	0.65	計算値	1474	737	0.17	0.20	1240	1461	10.73 (12.6)*	6.33 (7.4)*	-1.72	-1.44	6.86 (8.1)	8.13 (9.6)
		実験値	190	160	0.19**		1029							

*コンクリート応力 (kgf/cm²) **未貫通ひびわれを含む