

応力緩和状態を考慮したCPひび割れ幅解析に関する研究

名古屋工業大学大学院 ○学生員 服部 鋭啓

名古屋工業大学工学部 正会員 上原 匠

名古屋工業大学工学部 正会員 梅原 秀哲

1. はじめに

近年、コンクリート構造物の大型化に伴いセメントの水和熱による温度ひび割れが問題となっている。しかし、このひび割れを完全に防止することは、経済的に不可能な場合が多い。そのため、ひび割れ発生を容認し、そのひび割れ幅を耐久性に支障のない範囲内に納めることが要求される。その際重要となるのが、ひび割れ幅を精度よく推定することである。本研究では、JCIマスコンクリート温度応力研究委員会で開発されたCPひび割れ幅法¹⁾において、ひび割れの発生による応力緩和状態を表現するために、台形型の応力解放領域を用いて解析を行い、壁状供試体の実験結果²⁾と比較検討を行った。

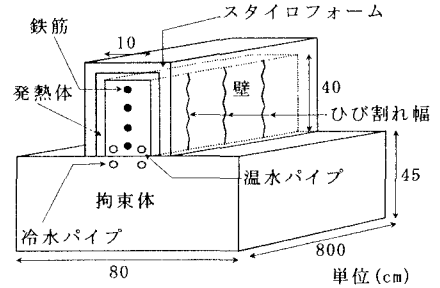


図-1 壁状供試体

2. 実験概要

実験は図-1に示す小型化された高さ40cm幅10cmの壁状供試体で行われた。この供試体は壁厚が薄く、セメントの水和熱の発生による温度が逃げ易いため、水和熱の代わりに、ヒーター（面状発熱体）で加熱・保温して外部から温度をコントロールしている。その際の計画温度履歴を図-2に示す。面状発熱体は片面だけに張り付けてあるため1～2℃の温度差が生じたが、断面内の温度は一定とみなした。ひび割れ幅に影響する壁部の配筋筋は、D13が10cm間隔で配置されており鉄筋比は1.27%である。

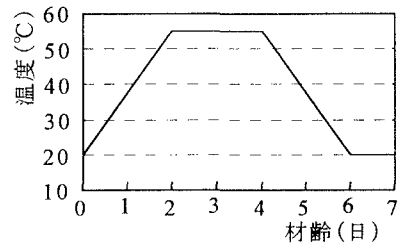


図-2 計画温度履歴

3. 解析概要および結果

3.1 矩形モデル

図-3に、応力解放領域に矩形モデルを用いたCPひび割れ幅法で解析を行った結果のひび割れ幅の高さ方向の分布を示す。表-1に解析条件を示す。また、温度は計画温度を用い、断面内は温度一定とした。壁下部のひび割れ幅は実測値より大きく安全側に評価しているが、上部のひび割れ幅は危険側の評価となった。これは、ひび割れ発生に伴いひび割れ付近の応力は緩和されるが、壁状構造物の場合、拘束体付近では応力緩和が小さく拘束体から離れるに従って大きくなる。しかし矩形モデルでは、応力解放領域が壁の下部も上部も同じで応力緩和を充分表現できないため、適用限界が生じるものと考えられる。

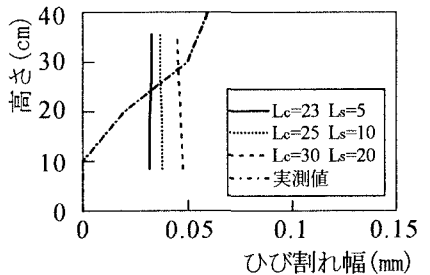


図-3 矩形モデル解析結果

3.2 台形モデル

より精度良くひび割れ幅を推定するために、図-4に示す台形モデルの応力解放領域を用いて解析を行った。台形モデルにおけるコンクリートひずみ $\Delta \epsilon_c$ と鉄筋ひずみ $\Delta \epsilon_s$ の求め方を以下に示す。図-4のようにデカルト座標 (x, y) と一般座標 (ξ, η) を定めると

$$x = N_1(\xi, \eta)L_{cu} + N_2(\xi, \eta)L_{cb} \quad (1)$$

$$N_1 = \frac{1}{4}(1 - \xi)(1 + \eta) \quad N_2 = \frac{1}{4}(1 - \xi)(1 - \eta)$$

とおける。

節点①、②の変位を u_1, u_2 とすると任意の変位 u は

$$u = N_1(\xi, \mu)u_1 + N_2(\xi, \eta)u_2 \quad (2)$$

表-1 解析条件

熱膨張係数	($1/^\circ\text{C}$)	0.00001		
圧縮強度	(kgf/cm^2)	$300t/(4.5+0.95t)$		
引張強度	(kgf/cm^2)	$1.4 \times \sqrt{f_c'} (t)$		
弾性係数	(kgf/cm^2)	$15000 \times \sqrt{f_c'} (t)$		
付着損失等価領域 (cm)		5	10	20
応力解放領域 (cm)		23	25	30
外部拘束係数	R_N	0.851		
	R_{M1}	0.646		
	R_{M2}	2.677		

となる。

したがって任意のコンクリートのひずみ $\Delta \varepsilon_c$ は

$$\Delta \varepsilon_c = \frac{\partial u}{\partial x} = -\frac{(1+\eta)u_1 + (1-\eta)u_2}{L_{cb} + L_{cu} + \eta(L_{cu} - L_{cb})} \quad (3)$$

となる。

次に、鉄筋ひずみ $\Delta \varepsilon_s$ は式(1)から

$$L_{sb} = \frac{1}{2}(1+\xi)L_{cb} \quad L_{su} = \frac{1}{2}(1+\xi)L_{cu} \quad (4)$$

となる。

よって、任意の一般座標 ξ^* は

$$\xi^* = \left(\frac{2L_{su}}{L_{cu}} - 1\right) \frac{y}{h} + \left(\frac{2L_{sb}}{L_{cb}} - 1\right) \frac{h-y}{h} \quad (5)$$

となる。

したがって、

$$\Delta \varepsilon_s = \frac{u}{L_s} = \frac{L}{L_s} [N_1(\xi, \eta)u_1 + N_2(\xi, \eta)u_2] \quad (6)$$

以上のように $\Delta \varepsilon_c$ 、 $\Delta \varepsilon_s$ が求められれば以下は矩形モデルと同様にひび割れ幅を求めることができる。

解析条件は矩形モデルと同様とし、応力解放領域 L_{cu} 、 L_{cb} 、付着損失等価領域 L_s をパラメータとして解析を行った。本来ならば、 L_{su} 、 L_{sb} とすべきであるが、 $L_{su} \neq L_{sb}$ のときのひび割れ幅に及ぼす影響は少ないことから、 $L_{su} = L_{sb} = L_s$ として解析を行った。図-5に示すように、 L_s 、 L_{cu} を一定にして L_{cb} を変化させると、下部のひび割れ幅に大きな影響を与え、 $L_{cb}=10\text{cm}$ の時 0.009mm 、 $L_{cb}=20\text{cm}$ の時 0.035mm と差が生じた。また、図-6に示すように、 $L_{cb}/L_s=1$ とすると L_s の値によらずほぼ一定の値を示し、実測値に近い値を示す。図-7に示すように、上部のひび割れ幅は L_{cu} のみ影響され、 $L_{cu}=30\sim 50\text{cm}$ の時に実測値とほぼ一致した。台形モデルの場合、高さが高くなればそれに応じて L_{cu} の大きさも変わる。そこで、高さ H と L_{cu} の比を一定と考えた。すなわち、壁部の高さが 40cm であるので $L_{cu}=3/4 H \sim 5/4 H$ の範囲の時にほぼ実測値と一致すると考えられる。以上より、 $L_{cb}/L_s=1$ かつ $L_{cu}=3/4 H \sim 5/4 H$ を用いることで、ひび割れの発生による応力緩和状態を十分に表現できたものといえる。

4. まとめ

1) 応力解放領域に台形モデルを用いることで、ひび割れの発生による応力緩和状態を十分に表現でき、ひび割れ幅を精度良く推定できた。

2) ひび割れ幅は L_s の値によらずにはほぼ同一の値を示すこと、さらに $L_{cb}/L_s=1$ かつ $L_{cu}=3/4 H \sim 5/4 H$ を用いることで、ひび割れ幅を精度良く推定できることが明らかになった。

参考文献

- 1) 日本コンクリート工学会：マスコンクリートの温度ひび割れに関する研究報告 1992年
- 2) 山崎 健敏：壁マスコンクリート構造物の温度ひび割れに及ぼす鉄筋の影響に関する基礎研究 日本建築学会報告集 第470号 pp1~10 1995年4月

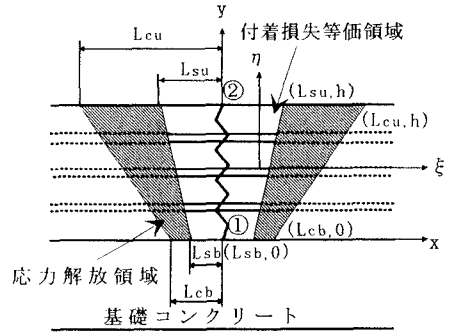


図-4 台形モデル

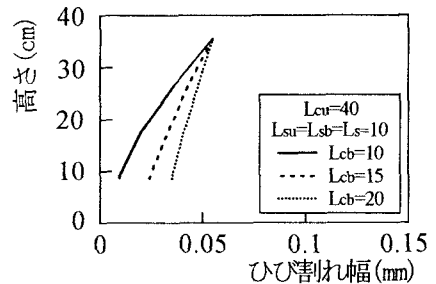


図-5 解析結果 (L_s の影響)

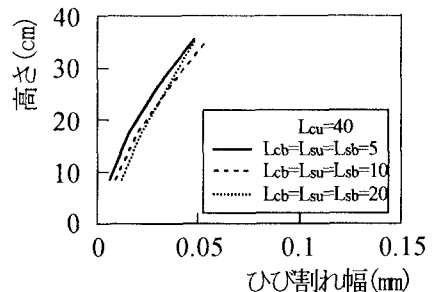


図-6 解析結果 ($L_{cb}/L_s=1$ の場合)

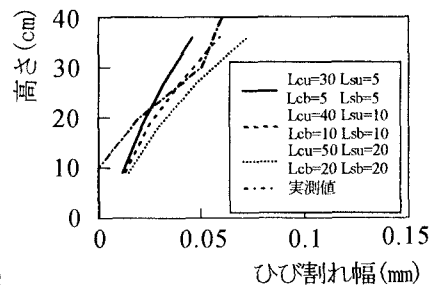


図-7 解析結果 (L_{cu} の影響)