

1. まえがき

鉄筋コンクリート(RC)構造物の設計に限界状態設計法の採用が検討されているが、中でもひびわれは重要な問題の一つである。これまで多くのひびわれ幅の評価法が提案されているが、得られたひびわれ幅にかなりの相異が認められる¹⁾。既往のこれらの方法は主要な因子と実験定数から構成されるものであり、理論的に裏付けられた方法として確立された段階に至っていないと考えられる。これは、RC部材中の鉄筋周辺に内部ひびわれが発生しコンクリートが「様に変形しないことなどに起因して、ひびわれ幅がかぶり、鉄筋間隔および有効引張断面積等の多くの要因の影響を受けるが、これらの影響の評価が極めて難しいためと考えられる。

一方、著者らはこれまでLNタンクを対象として低温度下のRC部材の変形特性について実験的および解析的研究を実施し、ひびわれ幅についても解析を試みてきた。得られた解析結果は良好であったが、実験結果と比較した数は少なく、ごく限られた範囲に対してのみ認められるものであった²⁾。

本報告は、鉄筋比、鉄筋径、コンクリート強度、軸力および温度をパラメータとする20体のRC曲げ部材に対して得られた解析結果を示して著者らの方法の適用性を調べることおよび既往の代表的なひびわれ幅の算定式であるCEB-FIPコード式³⁾、森田式⁴⁾、角田式⁵⁾、Gergely-Lutz式⁶⁾などの低温度下のひびわれ幅に対する適用性をひびわれ間隔と鉄筋の平均ひずみの計算結果に基づいて検討し、低温度下のひびわれ幅の合理的な算定に資するための基礎資料を得ることを目的とするものである。

2. 基礎方程式

ひびわれ解析の基礎となる方程式は次式で示される。

$$\frac{d^2 \delta x}{dx^2} = \frac{U_s}{A_s E_s} \{1 - \psi(\eta)\} \tau_x, \quad \frac{d \delta x}{dx} = f(\eta), \quad \frac{\tau_x}{\tau_{max}} = e^{\frac{\ln \{ (e-1) \delta x / \delta_{max} + 1 \}}{(e-1) \delta x / \delta_{max} + 1}} \quad \begin{array}{l} A_s: \text{鉄筋断面積}, U_s: \text{鉄筋周長} \\ E_s: \text{鉄筋弾性係数} \end{array}$$

ここで、 $\psi(\eta)$ 、 $f(\eta)$ は中立軸高さ η のみの関数であることを意味し、部材の断面諸元や材料物性値を表わす定数が含まれている。

上式に立脚する著者らの解析法は、用いた付着応力-すべり量($\tau_x - \delta x$)曲線に対してRC部材中の付着応力分布を厳密に解析するとともに最大の特長を有する手法であって、これに基づいてひびわれ間隔や鉄筋およびコンクリートの平均ひずみを算定し、ひびわれ幅を求めようとするものである。

3. 供試体

実験に供したRC部材の断面諸元は図1に示すとおりである。このうち、Fシリーズは高強度コンクリートを、他のシリーズは普通コンクリートを用いて作製した。実験温度は常温と-60℃であり、BとDシリーズは-120℃においても実験を行なった。なお、Fシリーズの実験温度はいずれも常温である。

4. 結果

ひびわれ幅は鉄筋とコンクリートの平均ひずみの差とひびわれ間隔の積として表わされるが、図2は常温下の鉄筋平均ひずみの荷重増加に伴う推移について、

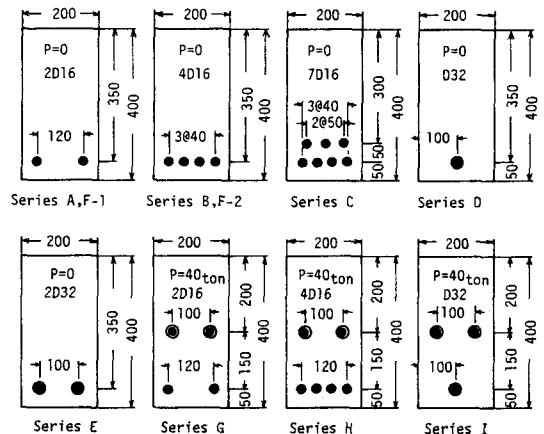


図1 供試体の断面諸元 (P:軸力, 単位: mm)

前述の5つの方法により得られた値と実験値を比較した結果の1例を示したものである。許容応力度付近では付着による鉄筋の最大ひずみと平均ひずみの差が200μ程度であって、CEB-FIPコードを除けば、既往の実用算定式による値は実験値とよく一致しているといえる。しかし、低温度下の場合、図3に示すように、森田、角田およびGergely-Lutzの方法は、温度低下によるコンクリートの強度増加を考慮しても平均ひずみを大きく、すなわち付着の効果を過小評価する。これは常温下の実験結果に基づいて付着の効果を評価しているためである。

表1は総数20体のRC部材から得られた平均ひびわれ間隔と平均ひびわれ幅の実測値と各計算値を比較して示したものである。常温下の場合、計算値と実験値の比較の平均値 $\bar{x}$ と標準偏差 σ_x は、全体的には、いずれの方法の場合もおおむね同程度である。一方、低温度下のひびわれ間隔については、既往の方法は過小評価する傾向を示し、ばらつきも大きいことが認められる。ただし、森田と角田の方法は、鉄筋が太くかぶりや鉄筋1本当たりのコンクリートの有効引張断面積が大きい場合には逆に過大評価し、常温と同様の傾向を示す。以上のことから、CEB-FIPコード式は、低温度下の場合に對し鉄筋の平均ひずみを精度よく算定できるので、そのひびわれ幅の評価精度はひびわれ間隔のそれに依存するといえよう。他の既往の式は、低温度下の場合、鉄筋の平均ひずみを過大評価し、さらに断面の条件によってはひびわれ間隔を過小あるいは過大に評価するやうで、ひびわれ幅を精度よく算定するためにはくれら2つの観点からの検討を要する。これらに對し、著者の方法は、ひびわれのミクロな現象は表現できないが、大局的な観点では、現象に即してひびわれ幅を評価しているといえよう。

<参考文献>

- 1) 森田：コンクリートジャーナル，1973，2) 金津ら：平橋 35, 36号
- 3) CEB-FIP Model Code 1979.
- 4) 森田：セメント技術年報，1969
- 5) 角田：コンクリートジャーナル，1970
- 6) Gergely-Lutz：ACI SP20 1968.

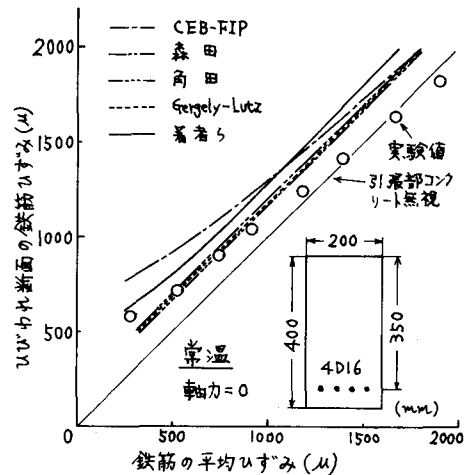


図2 鉄筋の平均ひずみの評価

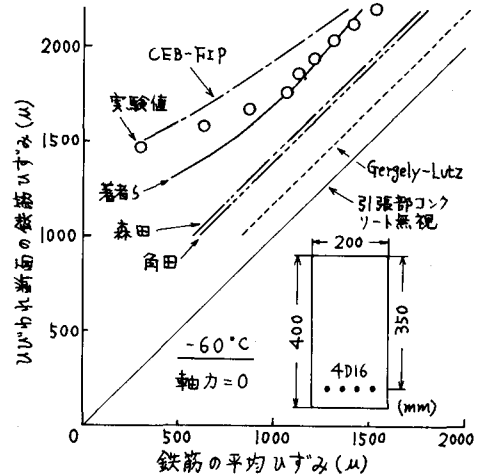


図3 鉄筋の平均ひずみの評価

表1 平均ひびわれ間隔と平均ひびわれ幅の計算値と実験値の比較

	温度 (°C)	供試体 数(鉄筋)	CEB-FIP		森田		角田*		Gergely-Lutz*		著者ら	
			$\bar{x}$	σ_x	$\bar{x}$	σ_x	$\bar{x}$	σ_x	$\bar{x}$	σ_x	$\bar{x}$	σ_x
ひびわれ間隔	常温	7 (D16)	1.13	0.10	0.89	0.10	0.85	0.16	1.26	0.11	0.79	0.20
		3 (D32)	0.67	0.04	0.49	0.02	0.49	0.10	0.99	0.16	0.79	0.22
		10(D16,32)	0.99	0.24	0.77	0.21	0.74	0.22	1.18	0.18	0.79	0.18
	-60	6 (D16)	1.83	0.50	1.44	0.29	1.36	0.57	2.00	0.67	1.08	0.29
		4 (D32)	1.04	0.31	0.71	0.09	0.70	0.21	1.34	0.02	0.97	0.15
		10(D16,32)	1.52	0.58	1.15	0.44	1.09	0.56	1.74	0.61	1.02	0.23
ひびわれ幅	常温	7 (D16)	1.22	0.16	1.04	0.16	0.88	0.23	1.26	0.17	0.97	0.21
		3 (D32)	0.81	0.06	0.64	0.10	0.53	0.06	1.18	0.31	1.01	0.32
		10(D16,32)	1.07	0.24	0.92	0.24	0.78	0.26	1.24	0.22	0.98	0.24
	-60	6 (D16)	1.83	0.53	1.31	0.37	1.02	0.36	1.20	0.20	1.20	0.24
		4 (D32)	1.00	0.37	0.65	0.18	0.55	0.24	0.95	0.18	1.02	0.19
		10(D16,32)	1.47	0.62	1.05	0.45	0.83	0.39	1.10	0.23	1.13	0.23

* 平均値 = 最大値 / 1.5 とした。 $\bar{x}$ = 実験値 / 計算値の平均値， σ_x = 標準偏差

** σ_x = 2000, 3000 (常温下)，3000, 4000 (-60°C)，4000, 5000 (-120°C) で測定 (単位: kg/cm²)