

(V-40) RCはりの最大ひびわれ間隔に関する寸法効果

長岡技術科学大学大学院 学生員 趙 唯堅
長岡技術科学大学建設系 正会員 丸山 久一
長岡技術科学大学建設系 正会員 清水 敬二
長岡技術科学大学大学院 学生員 鈴木 秀門

1. まえがき

RCはりの曲げひびわれ間隔の算定について、過去の各提案式の中では、モデル供試体の実験結果によるものが多い。モデル供試体の実験結果に基づいて作られた最大ひびわれ間隔と幅の算定式は、そのまま寸法の異なる供試体あるいは実構造物に適用していいのか、ひびわれ性状に関して寸法効果があるかないかについて、まだ明かにされていない。本研究では、最大ひびわれ間隔に寸法効果が存在することを実験的に明らかにしたうえで、この種の寸法効果の評価式を提案した。

2. 最大ひびわれ間隔の寸法効果

周知のように、実験から得られたひびわれ間隔のデータは非常にばらついている。それは、ひびわれ間隔の定まる現象が非常に複雑であり、ひびわれ間隔に影響を及ぼす要因が多く、またひびわれ現象は本来ランダム的な特徴を持つことに原因があるほか、寸法効果の影響も考えられる。いま、最も単純に1本の鉄筋を持つRC引張部材モデルを考えると、力の釣合条件から次式に示す定常状態の最大ひびわれ間隔に関する古典的な理論式が得られる。

$$L_{max} = 2\zeta A_c \sigma_t / u \tau_{max} \dots \dots \dots (1)$$

ここに、 A_c はコンクリート断面積、 σ_t はコンクリートの引張強度、 u は鉄筋の周長、 τ_{max} はひびわれ間の平均付着応力の最大値、 ζ は断面内のコンクリート引張応力分布に関する係数である。

この理論式によれば、最大ひびわれ間隔と最小ひびわれ間隔の比 $L_{max}/L_{min}=2$ となり、個々のひびわれ間隔が $L_{min} \sim L_{max}$ の間にランダム的に発生する。また、個々の供試体にとって長さ $2\zeta A_c \sigma_t / u \tau_{max}$ のひびわれ間隔が生じるのは極端のケースであり、多くの場合はむしろそれよりやや小さくなる。したがって、理論上、最大ひびわれ間隔の推定に(1)式を用いれば、100%の保証率が得られ、すなわち最大ひびわれ間隔の超過確率が0となる。しかし、残念ながら、実際に L_{max}/L_{min} の値が2よりはるかに大きいことはいままで行われた数多くの実験結果(例えば¹⁾)によって明かである。その原因は上述のランダム性と概念的に多少違って、著者らはそれを部材長さ方向に沿ったコンクリート引張強度の不均一性(周期不等の波動)に起因すると考えている。(1)式の中で τ_{max} は付着応力のある長さ区間における平均値であるのに対し、 σ_t は各々の断面の引張強度を表しているため、両者は比例関係であろうがなかろうが、コンクリート引張強度自体が持つ大きなばらつきはそのままひびわれ間隔のところに現れる。そこで、コンクリート引張強度や圧縮強度など材料特性の寸法依存性と同一ように、供試体単体の最大(最小)ひびわれ間隔もその供試体の長手方向の長さによって値が異なり、すなわち断面寸法に対する供試体長さの比率による寸法効果(正確に言うと形状効果)が存在すると考えられる。

3. 実験検証および評価方法

そこで、著者らが行った6体のRC

はり供試体(詳細は参考文献²⁾を参照)の実験結果を用い、等曲げモーメント区間の長さを数種類の長さに仮想的に分割する方法で、この種の寸法効果を調べた。供試体の数が少なく、また配筋状態がそれぞれ違う

表-1 分割長さが異なる場合のひびわれ間隔特性値

分割長さ (cm)	$\bar{L}_{min}$ (cm)	$\bar{L}_{av}$ (cm)	$\bar{L}_{max}$ (cm)	$\frac{\bar{L}_{max}}{\bar{L}_{av}}$	$\frac{\bar{L}_{max}}{\bar{L}_{min}}$	$\frac{\bar{L}_{max}}{\bar{L}_{max}(150)}$
150 (6体)	4.1	9.7	14.3	1.47	3.49	1.00
75 (12体)	5.6	9.7	13.6	1.40	2.43	0.95
50 (18体)	6.0	9.7	12.8	1.32	2.13	0.90

ため、ここで各種のひびわれ間隔の特性値（最小、平均、最大）について、全部供試体の平均値を用いることとした。まず、実際にひびわれが生じた断面を境界に等曲げモーメント区間の長さをおおよそ150cm（6体相当）、75cm（12体相当）および50cm（18体相当）の3種類に分割し、それから長さ別に各仮想供試体の最小、最大ひびわれ間隔を抽出し、その平均値を求めた。全体の平均ひびわれ間隔は分割長さと同値の9.7となる。その結果は表-1に示す。分割長さ150cm、75cmおよび50cmの仮想供試体それぞれの最小ひびわれ間隔平均値 $\bar{L}_{min}$ は4.1cm、5.6cmおよび6.0cm、最大ひびわれ間隔平均値 $\bar{L}_{max}$ は14.3cm、13.6cmおよび12.8cm、最大ひびわれ間隔平均値と平均ひびわれ間隔の比 $\bar{L}_{max}/\bar{L}_{av}$ は1.47、1.40および1.32、最大ひびわれ間隔平均値と最小ひびわれ間隔平均値との比 $\bar{L}_{max}/\bar{L}_{min}$ は3.49、2.43、および2.13となった。また、分割長さ150cmの最大ひびわれ間隔平均値を1とすると、75cmと50cmの場合はそれぞれ0.95と0.90であった。すなわち、供試体の相対的長さが短いほど、得られた最大ひびわれ間隔の値が小さくなる。これが尾坂らの研究¹⁾ではノッチ法で求めた最大または最小ひびわれ間隔はノッチを設けない長い両引供試体の実験結果と一致しない原因と思われ、本来ひびわれが生じないかもしれないコンクリート引張強度の大きい断面に、ノッチを入れることによって人為的にひびわれを発生させてしまったからであると考えられる。

以上の結果をもとに、本研究では、供試体長さによる最大ひびわれ間隔の寸法効果を統計処理の手法で定量的に表すことを試みた。具体的に、仮想供試体の長さ（検長） L_e と引張鉄筋の付着重心（表面積重心）と同一図心をなすコンクリート有効断面積の平方根 $\sqrt{A_{ce}}$ との比を横軸に取り、各分割長さの最大ひびわれ間隔平均値 $L_{max,e}$ と150cm長さの最大ひびわれ間隔 $L_{max(150)}$ との比を縦軸に取り、上記の実験結果をプロットすると、図-1のようになる。そして、次の回帰式が得られた。

$$L_{max,e}/L_{max(150)} = 1/(0.95+0.62\sqrt{A_{ce}}/L_e) \cdots \cdots (2)$$

ただし、この式は、供試体長さが150cmの最大ひびわれ間隔 $L_{max(150)}$ を基準として得られたものであり、検長150cmの場合の $L_e/\sqrt{A_{ce}}$ 比は6体平均して約12.5である。 $L_e/\sqrt{A_{ce}}$ が無限大に近づく場合、(2)式の予測では $L_{max,e}/L_{max(150)}$ は1.05に収束するが、実構造物を考えると、 $L_e/\sqrt{A_{ce}}$ がそれほど大きくなりないので、実用上、 $L_e/\sqrt{A_{ce}} > 12$ の場合、寸法効果の影響を無視してもよい。 $L_e/\sqrt{A_{ce}} < 12$ の場合の換算関係は(2)式を変形して次のようになる。

$$L_{max} = \alpha_1 \cdot L_{max,e} \cdots \cdots (3)$$

$$\alpha_1 = 0.95 + 0.62\sqrt{A_{ce}}/L_e \geq 1.0 \cdots \cdots (4)$$

ここに、 L_{max} は十分細長い（ $L_e/\sqrt{A_{ce}} \geq 12$ ）部材の最大ひびわれ間隔推定値、 $L_{max,e}$ はモデル供試体の最大ひびわれ間隔観測値、 α_1 は細長比による寸法効果を表す換算係数である。 α_1 の評価について、今後より多くの実験データの蓄積が望まれる。

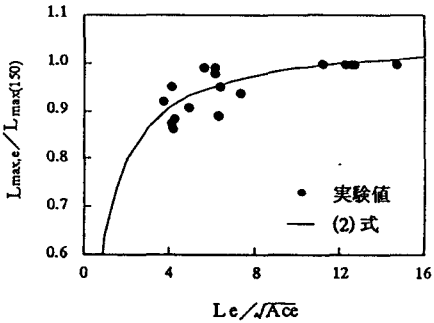


図-1 最大ひびわれ間隔の寸法効果

4. 結 論

供試体の相対長さが短いほど、最大ひびわれ間隔の実測値は小さくなるという寸法効果が存在する。断面寸法に対して比較的長さの短いモデル供試体の実験で直接に最大ひびわれ間隔を対象として得られた算定式は、必ずしもそれより細長い供試体、あるいは実際の構造物の最大ひびわれ間隔および幅を安全側に算出しているとは言えず、むしろ過小評価するおそれがある。

【参考文献】 1) 尾坂芳夫・大塚浩司・満木泰郎・小林茂敏：マッシュなコンクリートに埋め込まれた異形鉄筋の定着破壊性状と群効果に関する研究，土木学会論文集，第402号，pp153-161，1990.8 2) 趙 唯堅・丸山久一・清水敬二・大高昌彦：多段配筋を有するRCはりの曲げひびわれ性状，コンクリート工学年次論文報告集15-2，pp.365-370，1993