

RC造縮小試験体に生じた曲げひび割れの実大スケールへの読み替え方法に関する研究  
その2 各損傷量の評価手法の提案

正会員 ○沙拉依丁 沙吾提\*<sup>1</sup> 同 松川 和人\*<sup>2</sup> 同 権 淳日\*<sup>1</sup>

ひび割れ本数 損傷量の評価 RC

同 崔 琥\*<sup>2</sup> 同 中埜 良昭\*<sup>3</sup>

1. はじめに

その1での1/4縮小試験体と実大試験体における分析より、縮小試験体と実大試験体のひび割れ本数に差が生じることによってひび割れ幅やひび割れ長さの関係が変化することが分かった。本稿では縮小試験体と実大試験体のひび割れ幅、長さ、本数の関係を議論し、縮小試験体によって得られたひび割れ幅、長さなどのデータを実大スケールへと読み替える手法を提案する。

2. 曲げひび割れ本数とひび割れ幅及び長さの関係

2.1 曲げひび割れ本数とひび割れ幅の平均値の関係

曲げひび割れ幅の合計値 $\Sigma W_f$ と曲げひび割れ幅の平均値 $W_{av}$ の間に式(1)、(2)の関係が成り立つ。続いて図1に実大及び縮小試験体の同一部材角での、幾何学的ひび割れモデル<sup>1)</sup>を示す。同図より、 $\alpha$ を縮小率、 $n$ をひび割れ本数、 $k_n$ をひび割れ本数の比と定義すれば、式(3)~(5)の関係が得られる。

$$\Sigma W_f = n * W_{av} \tag{1}$$

$$\frac{\Sigma W_{f,縮}}{\Sigma W_{f,実}} = \frac{n_{縮} * W_{av,縮}}{n_{実} * W_{av,実}} = k_n \frac{W_{av,縮}}{W_{av,実}} \tag{2}$$

$$\Sigma W_f = R_f * (D - x_n) \tag{3}$$

$$\frac{\Sigma W_{f,縮}}{\Sigma W_{f,実}} = \frac{R_f * \alpha(D - x_n)}{R_f * (D - x_n)} = \alpha \tag{4}$$

$$\frac{W_{av,縮}}{W_{av,実}} = \alpha / k_n \tag{5}$$

式(5)を用いると、特定の縮小率 $\alpha$ におけるひび割れ本数の比 $k_n$ と曲げひび割れ幅平均値の比の関係は図2のように曲線で表される。それぞれの曲線は、ひび割れ本数の比 $k_n$ が増加し1に近づくに伴い、曲げひび割れ幅平均値の比は縮小率に減少しつつ漸近する。この曲線を「幅一本数曲線」と称する。また、図3に前述した縮小試験体と実大試験体のピーク時における $\Sigma W_f$ 及び $W_{av}$ の比較を示す。その結果、 $\Sigma W_f$ の比は縮小率0.25に等しく、また、 $W_{av}$ の比はほぼ $\alpha$ が0.25の曲線上にプロットされ、式(5)の妥当性を裏付けている。

2.2 曲げひび割れ本数と曲げひび割れ幅の最大値の関係

曲げひび割れ幅の最大値 $max W_f$ と曲げひび割れ幅の合計値 $\Sigma W_f$ の関係は式(6)、(7)で表すことができる。 $n_f$ <sup>1)</sup>は $\Sigma W_f$ と $max W_f$ の比であり、縮小試験体と実大試験体の $n_f$ の比を $k_{n_f}$ と定義する。 $k_{n_f}$ と両試験体の $max W_f$ の比は(8)のような関係になる。ここで、式(8)と式(5)の形状は同様であるため、 $max W_f$ の比と $n_f$ の比の関係も図2の幅一本数曲線で表される。

$$\Sigma W_f = n_f * max W_f \tag{6}$$

$$\frac{\Sigma W_{f,縮}}{\Sigma W_{f,実}} = \frac{n_{f,縮} * max W_{f,縮}}{n_{f,実} * max W_{f,実}} = k_{n_f} \frac{max W_{f,縮}}{max W_{f,実}} \tag{7}$$

$$\frac{max W_{f,縮}}{max W_{f,実}} = \frac{\Sigma W_{f,縮}}{\Sigma W_{f,実}} / k_{n_f} = \alpha / k_{n_f} \tag{8}$$

図2の縮小率0.25の時の幅一本数曲線に、上述の縮小試験体と実大試験体のピーク時における $max W_f$ をプロットし、図4に示す。その結果、 $max W_f$ の比もほぼ式(8)の曲線上にプロットされた。

2.3 ひび割れ本数とひび割れ長さの関係

ひび割れ総長さ $\Sigma L$ とひび割れ一本当たりの平均長さ $L_{av}$ の関係を式(9)、(10)で表すことができる。ここでは、曲げひび割れすべてが断面中立軸位置まで進展するものとし、縮小試験体と実大試験体の $L_{av}$ の間に図1の関係、すなわち $L_{av}$ (縮小試験体では $\alpha * L_{av}$ )の長さのひび割れが $n_{実}$ ( $n_{縮}$ )本生じている状態を仮定する。これによって $L_{av}$ の比は式(11)で表すことができる。式(11)を式(10)に代入すると(12)が得られる。

$$\Sigma L = n * L_{av} \tag{9}$$

$$\frac{\Sigma L_{縮}}{\Sigma L_{実}} = \frac{n_{縮} * L_{av,縮}}{n_{実} * L_{av,実}} = k_n \frac{L_{av,縮}}{L_{av,実}} \tag{10}$$

$$\frac{L_{av,縮}}{L_{av,実}} = \alpha \tag{11}$$

$$\frac{\Sigma L_{縮}}{\Sigma L_{実}} = \alpha * k_n \tag{12}$$

式(12)より、特定の縮小率における縮小試験体と実大試験体のひび割れ本数の比 $k_n$ と総長さ $\Sigma L$ の比の関係は図5のようになる。この直線を以下より長さ一本数曲線と称する。また、図6は $\alpha$ が0.25の長さ一本数曲線に

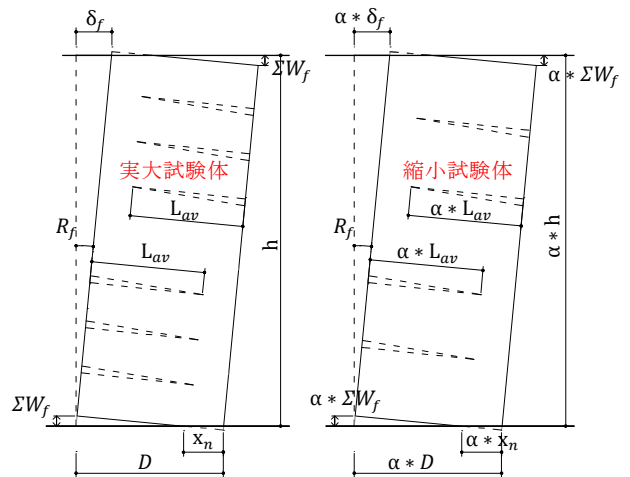


図1 部材変形の幾何学的モデル

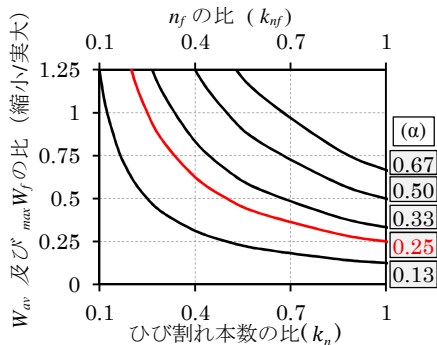


図2 幅-本数曲線

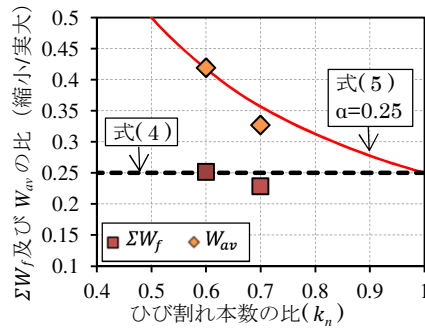


図3  $W_{av}$ の比と幅-本数曲線

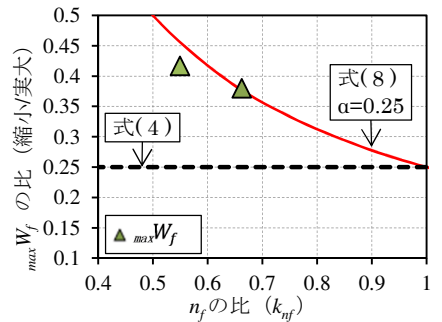


図4  $W_{max}$ の比と幅-本数曲線

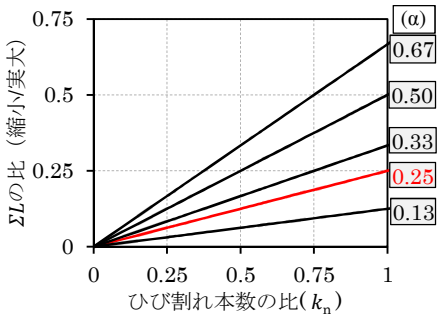


図5 長さ-本数曲線

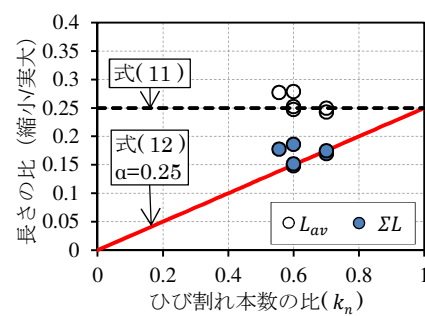


図6  $\Sigma L$ の比と長さ-本数曲線

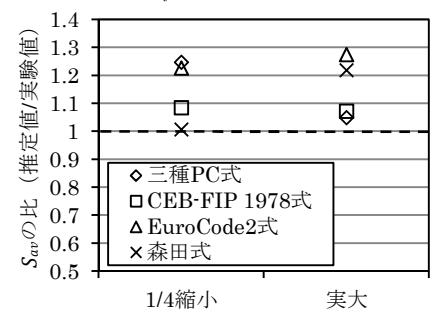


図7  $S_{av}$ 推定式の適用

ひび割れ総長さの実験結果を適用したものである。その結果、 $L_{av}$ の比がほぼ縮小率に等しい値となっているのは式(11)の通りである。さらに、 $\Sigma L$ の比はほぼ式(12)による $\alpha$ が0.25の長さ-本数曲線上にプロットされた。

したがって、 $k_n$ と $k_{nf}$ を推定できれば、これらに対応する幅-本数曲線または長さ-本数曲線上の縮小試験体と実大試験体のひび割れ幅の平均値、最大値または総長さの比をそれぞれ求められる。よって、縮小実験で得られたひび割れ幅や長さなどの実験データの実大スケールへの読み替えが可能となると思われる。ただし、 $k_{nf}$ の推定法については今後実験的検討を要するため、以下では本数の比である $k_n$ の推定法のみを述べる。

### 3. ひび割れ本数の比 $k_n$ の推定

$k_n$ を求めるには、縮小試験体並びに実大試験体のひび割れ本数 $n$ がわかればよい。 $n$ は平均ひび割れ間隔 $S_{av}$ を用いて式(13)によって算定できる。

$$n = \frac{l_{cr}}{S_{av}} + 1 \quad (13)$$

$l_{cr}$ : ひび割れ発生領域で、断面せいの2倍(2D)とする。

平均ひび割れ間隔の推定には以前より様々な推定式が提案されているが、ここではまず、プレストレストコンクリート(Ⅲ種PC)構造設計・施工指針・同解説による提案式<sup>2)</sup>、CEB-FIP Code1978式<sup>3)</sup>、EuroCode2式<sup>4)</sup>、森田式<sup>5)</sup>を用い、上述の1/4縮小及び実大試験体の平均ひび割れ間隔を算定した。その推定値と実験値の比較を図7に示す。同図より、いずれの推定式も実験値を25%の範囲内で表しているが、そのうち両試験体を最も精度よく評価できたCEB-FIP 1978式を以下で用いる。CEB-FIP

1978式は式(14)に示す通りかぶり厚さ $c$ 、鉄筋間隔 $s$ 、鉄筋径 $\phi$ 、有効引張鉄筋比 $\rho_e$ などがパラメータである。

$$S_{av} = 2 \left( c + \frac{s}{10} \right) + k_1 k_2 \frac{\phi}{\rho_e} \quad (14)$$

実際に縮小試験体を設計する場合には、その1で述べたように試験体の力学特性を合わせるのが一般的であり、CEB-FIP 1978式で考慮されている被り厚さや鉄筋間隔などのひび割れ本数に影響する要因を完全に合わせるのはスケールが小さくなるほど難しくなる。これらのパラメータをやむを得ず変化させ設計された縮小試験体のひび割れ損傷は、CEB-FIP 1978式などに代表されるひび割れ平均間隔推定式を用いて、対応する実大試験体のひび割れ本数を推定し、 $k_n$ を求め、最後に式(5)、(12)に基づき、実大試験体の損傷に読み替えることが可能となる。

### 4. まとめ

縮小試験体によって得られたひび割れ幅、長さなどのデータをひび割れ本数の比 $k_n$ を用いて、実大スケールに読み替える手法を提案した。既往の実験データを用い検討した結果、本手法は実験結果を極めてよく評価できた。

また $k_n$ は、既往の平均ひび割れ間隔評価式が、その1で示した縮小及び実大試験体のひび割れ本数を推定可能であったため、その比として評価できることを示した。

### 【参考文献】

- 1) 日本建築学会：鉄筋コンクリート造建物の耐震性能評価指針(案)・同解説 2004
- 2) 日本建築学会：プレストレスト鉄筋コンクリート(Ⅲ種PC)構造設計・施工指針・同解説, 1992.10
- 3) CEB-FIP: Model Code for Concrete Structures, 1978
- 4) A.W.Beeby and R.S.Narayanan: Designers' Handbook to Eurocode 2, 1995
- 5) 森田司郎: ひび割れの制御設計-RC構造の場合- コンクリートジャーナル, Vol.11, No.9, Sep.1973

\*1 東京大学大学院 大学院生  
\*2 東京大学生産技術研究所 助教・博(工)  
\*3 東京大学生産技術研究所 教授・工博

Graduate Student, Graduate School of Engineering, The Univ. of Tokyo  
Research Associate, Institute of Industrial Science, The Univ. of Tokyo, Ph.D.  
Professor, Institute of Industrial Science, The Univ. of Tokyo, Dr.Eng.