

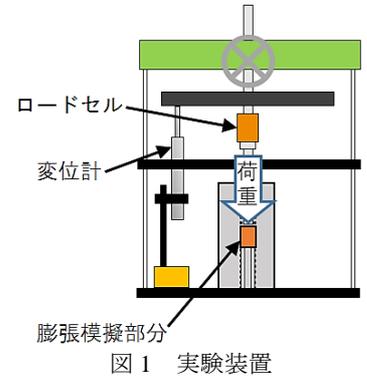
# コンクリート表面ひび割れ幅からベイズ更新により推定される鉄筋腐食膨張率の検討

京都大学  
京都大学  
関西大学

学生会員 ○辻岡 章雅  
正会員 平野 裕一, 服部 篤史, 河野 広隆  
正会員 石川 敏之

## 1. はじめに

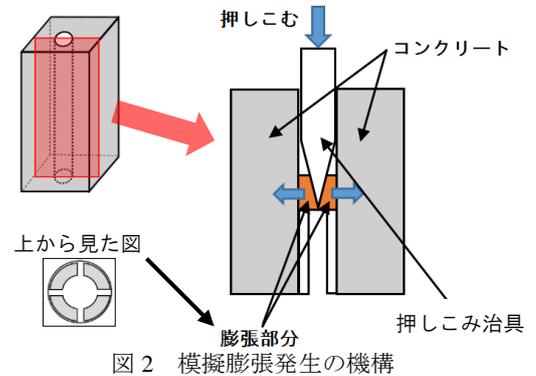
コンクリート構造物中の鉄筋の腐食膨張により引き起こされるかぶりの剥離を未然に防ぐためには、内部状態を把握したうえで適切な補修が必要となる。鉄筋腐食が外部から観察できないことから、内部状態を把握するための方法として、外部から計測できる表面ひび割れ幅から推定する方法が挙げられる。本研究では、鉄筋腐食膨張を模擬した载荷実験により得られた鉄筋腐食膨張率と表面ひび割れ幅の関係を用い、表面ひび割れ幅からベイズ更新により確率論的に推定される鉄筋腐食膨張率を考察した。



## 2. 実験概要

### 2.1 実験要因・供試体・実験方法

かぶりを 10, 15, 20mm の 3 種類, 鉄筋膨張部分長さを 25, 50mm の 2 種類とし, それぞれ 3 体ずつ作製した。鉄筋径を  $\phi 20\text{mm}$  とした。100×100×400mm のコンクリート供試体を鉄筋位置が空洞になるように打設し, 図 1 に示した実験装置を用いて, 図 2 と写真 1 のように押しこみ治具を上から押しこむことで, 鉄筋腐食膨張を模擬できるようにし, 押しこみ変位から鉄筋膨張率を算出した。押しこみ変位 0.5mm ごとに, 供試体表面の中央高さ付近に発生した縦ひび割れの幅をクラックスケールで計測した。供試体側面に縦ひび割れが確認できた時点までのデータを軸ひび割れ段階として用いた。



### 2.2 ベイズ更新による鉄筋腐食膨張率の推定

既往の研究<sup>1)</sup>や今回の実験結果から, 鉄筋腐食膨張率  $x(\%)$  と表面ひび割れ幅  $y(\text{mm})$  の関係は指数関数  $y = ae^{bx}$  で近似できると仮定した。今回の研究では, この 2 つの係数のうち, 一方を固定し, もう一方を変数とし, 変数とした係数の平均値分布にベイズ更新を適用した。変数とした係数の平均値分布と母集団分布はともに正規分布に従うと仮定し, 固定した係数の値および両分布の平均値と分散は, かぶり, 鉄筋径が同じである既往の研究<sup>2)</sup>から設定した。今回の実験で得られた  $(x,y)$  データを 1 点ずつ尤度としてベイズ更新を繰り返し, 算出した変数の 95%(2.5%~97.5%)信頼区間を基にして, ある表面ひび割れ幅に対する鉄筋腐食膨張率の 95%信用区間を算出した。表面ひび割れ幅は 0.1, 0.2, 0.3mm の 3 種類を準備し, 表面ひび割れ幅による結果の差を考察した。コンクリート強度を考える際に, 不良率を 5% とし信頼区間を 95% とする手法が一般的にとられているため, 今回の研究でも考察する信頼区間は 95% とし, その信頼区間でも鉄筋腐食膨張率の幅が十分小さいか確認した。

押しこみ器具による内部膨張部分の変化を示す



写真 1 膨張模擬<sup>1)</sup>

キーワード 表面ひび割れ幅, 鉄筋腐食膨張率, ベイズ更新, 95%信頼区間

連絡先 〒615-8540 京都市西京区京都大学桂 C クラスター C1 棟構造物マネジメント工学講座 TEL075-383-3321

### 3. 実験結果および考察

a,b を変数とした場合をそれぞれ「変数 a」「変数 b」と記す. 同じかぶりと鉄筋膨張部分長さの 3 体の供試体の実験データ(グラフ横軸. 1 体目の結果を1~4, 2 体目の結果を5~9, 3 体目の結果を10~17 に示す)を 1 点ずつベイズ更新に組みこんだ結果を図 3,4 に示す.

#### 3.1 実験データが十分に確保できている場合

実験データ数が増えるにつれて, 変数 a, b とも, 鉄筋腐食膨張率の95%信頼区間の範囲が小さくなり, 全ての実験データを用いた最小二乗法による結果に近づいた. 変数 a のほうが変数 b よりも 95%信頼区間の幅が小さくなった. また, 表面ひび割れ幅が大きくなって, 95%信頼区間の幅はほとんど変わらなかった. これらのことは, かぶりや膨張部分長さに関係なく確認できた. しかし, 最小二乗法による結果に近いほうの変数は, かぶりや鉄筋膨張長さによって異なり, 目立った傾向は確認できなかった.

#### 3.2 実験データが十分に確保できていない場合

実験データを十分に確保できていない場合として, 得られた実験データ数が最初の 3 点までである場合を考える. 鉄筋腐食膨張率の 95%信頼区間の幅は得られた実験データ数が多い場合と比べて大きく, 実験データを 1 点ずつベイズ更新に組み込むたびに 95%信頼区間が大きく変化しており, 設定した初期値の影響を受けていると考えられる. 変数 a のほうが変数 b よりも 95%信頼区間の幅が小さくなった. また, 変数 b では表面ひび割れ幅が大きくなると 95%信頼区間の幅は大きくなる傾向にあった. これらのことは, かぶりや膨張部分長さに関係なく確認できた. しかし, 最小二乗法による結果に近いほうの変数は, かぶりや鉄筋膨張長さによって異なり, 目立った傾向は確認できなかった.

### 4. 結論

- 1) 実験データが十分に確保できている場合は, 鉄筋腐食膨張率の 95%信頼区間の幅が小さく, 最小二乗法による結果に近づく. 最小二乗法による結果に近い変数はかぶり, 鉄筋膨張長さによって異なっているが, 変数 a のほうが変数 b より 95%信頼区間の幅は小さいことは共通し, 変数 a のほうが鉄筋腐食膨張率の推定範囲を絞ることができると考えられる.
- 2) 実験データ数が十分に確保できていない場合は, 鉄筋腐食膨張率の 95%信頼区間の幅が大きいが, 多くの場合で 95%信頼区間に最小二乗法による結果を含んでおり, 実験データ数が少ない時でも鉄筋腐食膨張率の推定が可能であると考えられる.

### 参考文献

- 1) 平野裕一: コンクリート構造物中の鉄筋膨張模擬装置の技術開発, 平成 26 年度北海道大学総合技術研究会報告集, 10-01, 2014.9
- 2) 荒木弘祐: かぶりコンクリート剥落による第三者損傷防止を目的とした維持管理対策に関する研究, 京都大学大学院博士論文, 2006.3

