

## 鉄筋コンクリート部材の経時変化を捉える実験技術

構造物技術研究部 コンクリート構造研究室

副主任研究員 渡辺 健

### 1. はじめに

供用中の鉄筋コンクリート部材では，時間の経過とともにコンクリートが収縮することや，鋼材が腐食することで，かぶりのはく落や構造物としての機能が低下する可能性が問題となっている．ここでは，このような鉄筋コンクリート部材の問題を実験的に捉え，評価することに焦点をあてた研究を紹介する．

### 2. コンクリートの経時変化を捉える計測技術

#### 2.1. はじめに

コンクリートに発生するひび割れを正確に予測するためには，収縮・クリープなどコンクリートの体積変化を把握することが重要となる．ここでは，微小な体積変化を捉える画像解析法や，体積変化の駆動力の一つと考えられている水分量を捉える中子法を用いた研究を示す．

#### 2.2. 画像解析法によるひずみの計測<sup>1)</sup>

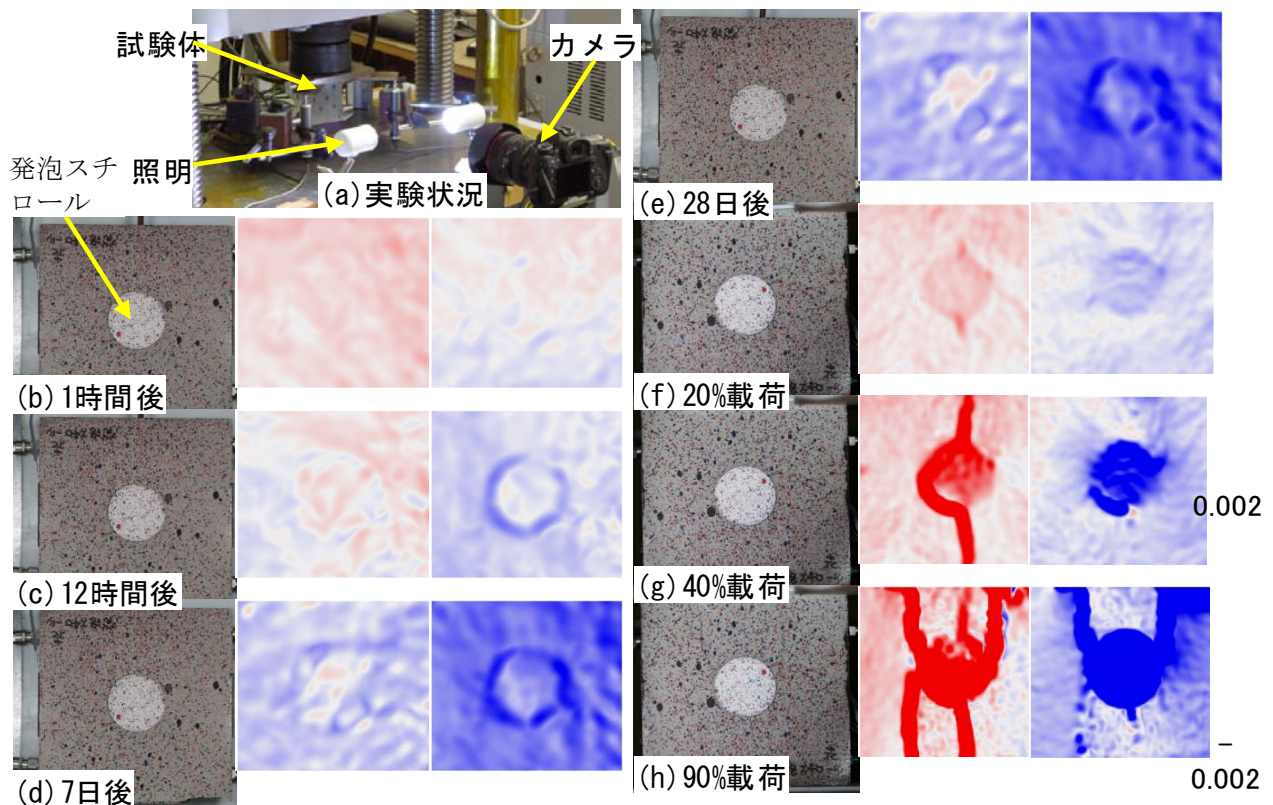


図1 画像解析法により捉えられたコンクリートの経時変化  
(左より「撮影画像」「最大主ひずみ」「最小主ひずみ」を示す.)

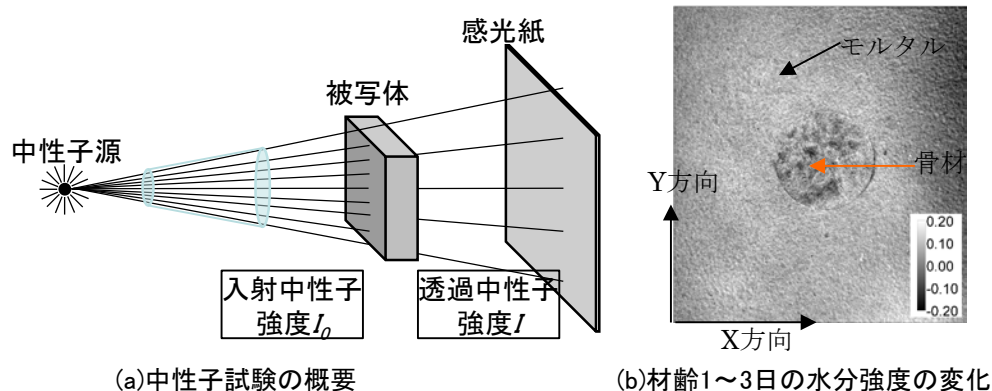


図 2 中性子線を用いて捉えたコンクリートの水分量の変化

画像解析法は、対象物を撮影したデジタル画像を構成する各ピクセルの情報を利用し、対象物の形状、寸法および位置などを把握する手法である。対象物に物理的な影響を全く与えずに、その形状、寸法および位置などを簡便に評価可能な手法であり、RC 構造物表面に発生しているひび割れ検出など、土木分野でも実用化されている。図 1 に、中心に直径が 30mm、高さが 10mm である発泡スチロールを配置したコンクリート実験体に対する計測状況を示す。画像相関法では、約 2230 万画素を有する画像から移動最小 2 乗法により要素寸法を 0.01mm として実験体の約  $86 \times 83 \text{mm}^2$  の領域の主ひずみを算出した。計測の結果、脱型後、12 時間後には中心の発泡スチロール付近で最小ひずみが卓越して発生しており、28 日後には最小主ひずみがほぼ全域で増加しており、乾燥に伴い実験体が収縮している様子がわかる。

また、この実験体を上下方向に載荷すると、画像解析では荷重が最大値の 20% 程度に達した際、目視では判別できないひび割れが発泡スチロールの上下縁に発生したことをひずみ分布より確認し、さらに荷重の増加に伴いひび割れが進展したことを捉えている。

### 2.3. 中性子による水分分布の計測<sup>2)</sup>

図 2 に、中性子線を用いて捉えたコンクリートの水分量の変化を示す。これは、物質を透過する際に原子核と中性子線の相互作用により生じる減衰特性を利用した非破壊可視化技術である。中性子は物質内の元素や分子、試料の密度や厚さを因子として減衰するが、特に水素に対しては強い吸収・散乱の作用を示すため、水分の存在の有無の測定に適している。図 2(b) に、材齢が 1~3 日において変化したコンクリート実験体の水分強度を示す。白色は水分強度が増加した領域、黒色水分強度が低下した領域を示しており、この結果から粗骨材では水分量が減少し、粗骨材近傍のモルタルでは増加したことが分かる。

## 3. コンクリート中の鉄筋の経時変化に伴う模擬実験

### 3.1. かぶり押抜きによる模擬実験<sup>3)</sup>

第三者への公衆災害を生じる可能性がある鉄筋の腐食、膨張に伴うかぶりのはく離はく落の発生機構を把握するために、供試体に配置した鉄筋を押抜くことにより鉄筋腐食を模擬した実験を実施した。図 3 に、載荷状況を示す。載荷は、実験機に

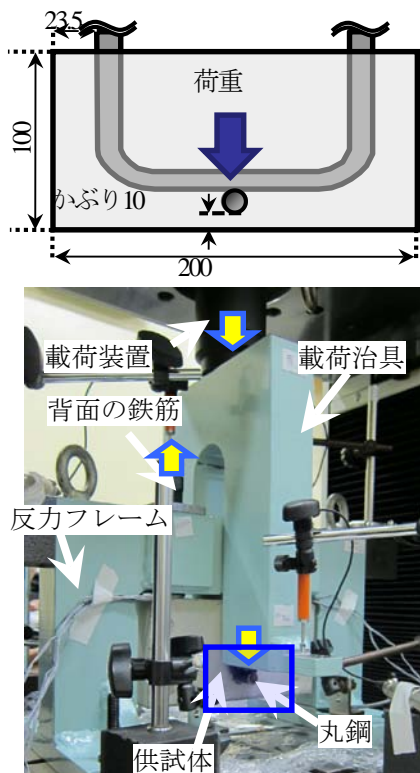


図 3 実験状況

表 1 ひび割れ状況（コンクリートの例）

$c$	$c/\phi$	ひび割れ状況	ひび割れ模式図
5	0.4		はく離ひび割れ 
10	0.8		はく離ひび割れ 
20	1.5		はく離ひび割れ 
30	2.3		鉄筋軸ひび割れ 

\* $c$  : かぶり,  $\phi$  : 鉄筋径

取付した門型の治具を通して、丸鋼の左右端に鉛直荷重を作用させた。供試体の寸法は、幅 200mm、奥行 50mm、高さ 100mm とした。鋼材は、供試体幅中央に丸鋼を貫通させているとともに、その背面に異形鉄筋（以降、背面の鉄筋）を配置している。丸鋼および背面の鉄筋径は、13mm である。

表 1 に、実験より得られたコンクリート供試体のひび割れ状況を示す。かぶりが 5~20mm では、丸鋼端部から斜めひび割れが発生した。その後、荷重の低下とともにひび割れがコンクリート下面に進展した。かぶりが 30mm では、鉄筋直下のコンクリート下面にひび割れが発生した。その後、ひび割れが鉄筋に到達した後に水平方向にひび割れが生じた。かぶりと鉄筋径の比  $c/\phi$  が 2.3 以下でははく離ひび割れが発生し、2.3 では鉄筋軸ひび割れとなった。また、計測した変位から、かぶりが 10~30mm ではかぶりの増加に伴いひび割れが貫通する際の変位量が増加した。腐食による鉄筋の膨張量について様々な見解が報告されており、この模擬実験では、鉄筋の腐食による膨張とかぶりのはく離・はく落に関して定量的な検討が可能になると考えられる。

### 3.2. 電食による腐食の再現実験<sup>4)</sup>

供用中の RC 構造物では、列車荷重等が繰返し作用する一方で、鉄筋の腐食が進行し、鉄筋の断面減少と付着力の変化が同時に発生する。そこで、鉄道高架橋スラブを模擬した RC はりを作製し、鉄筋の腐食と荷重を併用して作用させる模擬実験を実施した（図 4(a)）。繰返し回数が 100 万回~200 万回に達した際に電食により実施した。図 4(b)に荷重後のひび割れ状況を示すが、かぶりがはく落し明らかに修復が必要な状況というよりは、腐食ひび割れが RC 部材の表面で観察される程度の、断面積あたり数%の腐食率にも焦点を当てて検討を進めたものである。

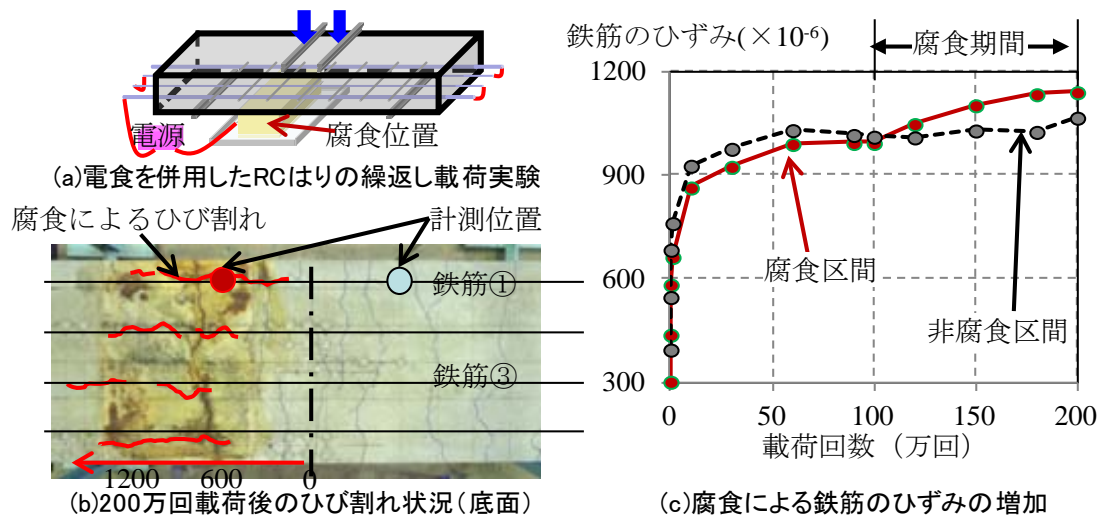


図 4 電食を併用した RC 部材の繰返し載荷実験

図 4(c)に、鉄筋①のひずみ分布を示す。ひずみは 200mm 間隔で配置したゲージを用いて計測した。その結果、腐食区間におけるひずみは、右側スパンの同一距離におけるひずみに対して、電食期間のひずみが増加した。この増加は鉄筋が腐食したことで断面が減少ことを考慮してもみられ、腐食やそれに起因したひび割れに伴い付着力が低下した結果、ひずみが増加ものと推察された。すなわち、高架橋のスラブや桁の耐力、剛性、鉄筋に発生する応力を評価する際には、腐食のみならず疲労による最大付着応力の低下を考慮する必要があることがわかった。

#### 4. おわりに

コンクリート構造物の経時変化を捉える計測手法および模擬実験手法を紹介した。経時変化に伴うコンクリートの動態予測に関する研究は、近年、盛んに実施されている。精度や実験における実現象を再現の点でそれぞれの手法には特徴があるが、その特徴を十分に把握したうえで検討に利用することでさらに多くの知見が得られることが期待される。

#### 参考文献

- 1) 渡辺 健, 大野又稔, 野間康隆: 複数の計測方法によるコンクリートのひび割れ進展評価, 土木学会第68回年次学術講演会, V-236, 2013.
- 2) 大野又稔, 渡辺 健, 沼尾達弥, 舟川勲, 熊倉識政, 松島由布子, 齊藤泰司, 伊藤大介, 川端祐司, 山形 豊, 広田克也, 森田晋也: 中性子ラジオグラフィにおける曇り込み計算を用いた散乱線の考慮, 土木学会第68回年次学術講演会, V-366, 2013.
- 3) 轟 俊太郎, 渡辺 健, 曾我部正道, 谷村幸裕: 鉄筋押抜きによるかぶりコンクリートのはく落に関する検討, コンクリート構造物の補修, 補強, アップグレード論文報告集, Vol.12, pp.69-74, 2012.11
- 4) 元濱浩人, 渡辺 健, 中田裕喜, 本田翔平, 岡本 大, 山内真也, 柳 博文: 電食と繰返し載荷を併用した実験による剛性と鉄筋ひずみの評価, 土木学会第68回年次学術講演会, V-204, 2013.