

# かぶりコンクリートの曲げひび割れが鉄筋腐食の分布に与える影響

維持管理工学研究室 服部祐介

## 1. はじめに

鉄筋コンクリート構造物は、腐食の生じやすい鉄筋をかぶりコンクリートが保護することによって、高い耐久性を有している。しかし、鉄筋コンクリートにはひび割れの発生が許容されているため、劣化因子はひび割れを通じて構造物内に侵入し、耐久性に大きな影響を及ぼす。

本研究では、曲げひび割れに着目し、持続荷重を加えた状態（死荷重に相当）で生じているひび割れと、除荷後（活荷重に相当）に残留しているひび割れの2種類の曲げひび割れを対象とし、ひび割れ性状が鉄筋の腐食性状、腐食分布にどのような影響を与えるかを把握することを目的とした。

## 2. 実験概要

### 2.1 供試体概要

曲げひび割れ供試体の形状を図-1に、使用した配合を表-1に示す。全ての供試体でかぶりを20mmと

して内部にD10鉄筋を配筋した。各配合、各試験期間において逆方向の打設方向を模擬するためかぶりを80mmとして打設を行った。それぞれの実験要因を表-2に示す。

また、塩分浸透状況を比較するため、PC供試体(100×100×600mm)を作製した。15mmのPC鋼棒を使用し、外径20mmのゴムチューブをシースとして用いた。

### 2.2 実験手順

打設翌日に脱型し、1ヶ月間湿布養生を行った。養生期間終了後、各供試体に所定のひび割れ幅を後述する方法にて導入した。クラックスケールを用いてひび割れ幅を測定すると同時にひび割れ発生位置を確認した。供試体上部中央に口の字型の塩ビ板(L250×W90mm×H50mm)を貯水槽として設置し、3%NaCl溶液を3日間貯留し、NaCl溶液を抜いて4日間乾燥させる劣化促進を所定の期間行った。PC供試体については、ひび割れ導入は行わず、1ヶ月

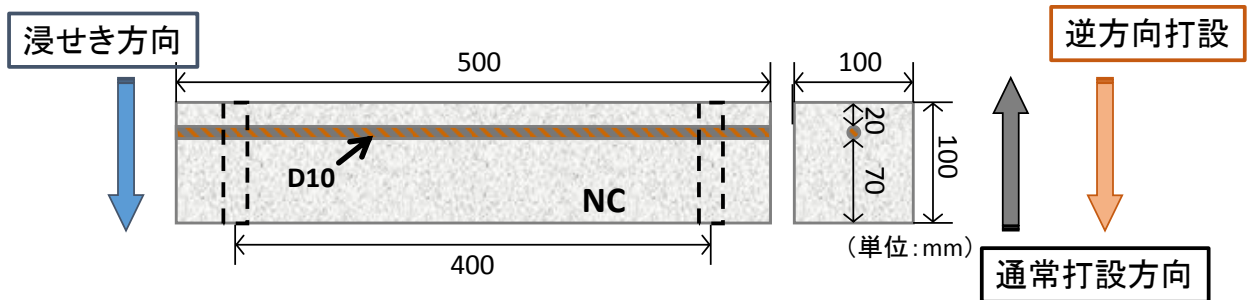


図-1 曲げひび割れ供試体の形状

表-1 コンクリート配合表

W/C	単位質量 (kg/m <sup>3</sup> )				
	水	セメント	細骨材	粗骨材	AE 減水剤
0.40	180	449	768	874	1.123
0.55	180	327	868	875	0.817

表-2 実験要因一覧

要因	検討対象
ひび割れ導入方法	持続曲げ荷重によるひび割れ, 除荷後の残留ひび割れ
ひび割れ幅	0mm, 0.2mm, 0.4mm
かぶり	20mm (各配合×1で逆方向打設)
水セメント比	40%, 55%
劣化促進期間	1ヶ月, 3ヶ月

間の湿布養生後、一軸圧縮により圧縮強度の 1/3 のプレストレス力を導入した。プレストレス力導入後、曲げひび割れ供試体と同様に貯水槽を設置し、劣化促進を行った。

## 2.3 ひび割れ導入方法の違い

### 2.3.1 持続荷重供試体

養生期間終了後、ボルト挿入のための穴を削孔し、載荷スパン 400mm の一点集中曲げ載荷にてひび割れ導入を行った。載荷中のひび割れ幅をクラックスケールで測定し、所定のひび割れ幅に達した時点で載荷を終了し、除荷した。供試体曲げ載荷時の引張側が上となるように I 型鋼に設置し、両端のボルトを締めることにより持続荷重を作用させ、供試体に再度所定のひび割れ幅を生じさせた状態で劣化促進を行った。

### 2.3.2 残留ひび割れ供試体

養生期間終了後、持続荷重供試体と同様に載荷スパン 400mm の一点集中曲げ載荷にてひび割れ導入を行った。残留ひび割れ供試体では、一旦所定のひび割れ幅より大きくなるように載荷し、除荷した後に目標とする幅のひび割れが残留するようにクラックスケールで測定をしながら導入した。残留ひび割れ供試体は持続荷重供試体の様に I 型鋼に設置することなく、劣化促進を行う。

## 2.4 評価項目

所定の劣化促進期間終了後、500mm の供試体を 150+200+150mm にコンクリートカッターを用いて切断し、中央の 200mm の供試体を鉄筋に平行に割裂した。割裂面に硝酸銀水溶液を噴霧し、最大浸透深さ、鉄筋位置での供試体軸方向への浸透幅を測定した。その後、ひび割れ発生位置にて深さ 40mm まで 10mm 毎の試料採取を行い、塩化物イオン量を分析

した。割裂した供試体から鉄筋をはつり出し、鉄筋の腐食面積率、質量減少率を算出した。また、3D スキャナを用い、鉄筋の断面減少状況を確認し、これら評価項目からひび割れ導入方法やひび割れ発生位置が鉄筋腐食、分布に与える影響について検討を行った。

## 3. 塩分浸透状況の評価

### 3.1 塩分浸透分布

供試体割裂後の硝酸銀呈色の例を写真-1 に示す。残留ひび割れ供試体では鉄筋とコンクリート間の付着破壊によって、鉄筋位置において供試体軸方向の浸透幅が広がっていることが確認できた。劣化促進期間の長期化による影響は表れず、残留ひび割れ供試体の供試体軸方向の浸透幅は劣化促進早期に到達可能な範囲まで到達したことが考えられる。しかし、持続荷重供試体では、引張ひずみが生じていることで、コンクリート内部の細孔が開いた状態となり塩分の浸透を容易にしたため、劣化促進期間の経過に伴い供試体軸方向の浸透幅が増加した。

逆方向打設供試体においては、同水セメント比、同ひび割れ幅の供試体と比較すると、浸漬面からの

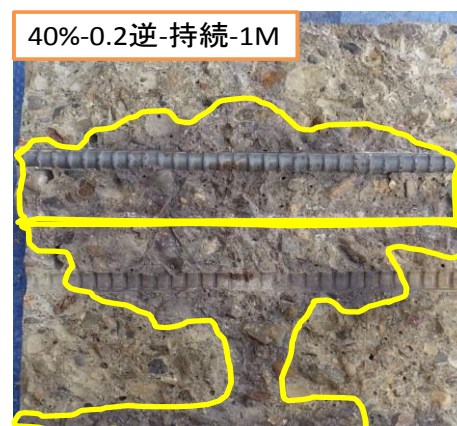


写真-1 硝酸銀呈色の例

塩分浸透が顕著であることが確認され、最大浸透深さ、軸方向の浸透幅も大きな値を示した。主な原因としては、打設後のブリーディングによる水分移動により浸漬面付近で高水セメント比となったことが挙げられる。また、持続荷重を加えているにもかかわらず、残留ひび割れ供試体と同程度の浸透幅を示した。

### 3.2 塩化物イオン量測定結果

劣化促進期間 3 ヶ月におけるひび割れ発生位置での塩化物イオン量測定結果を図-2 に示す。持続荷重供試体では、水セメント比、ひび割れ幅、劣化促進期間の塩化物イオン量への影響は確認されず、残留ひび割れ供試体では、どちらの劣化促進期間でも高

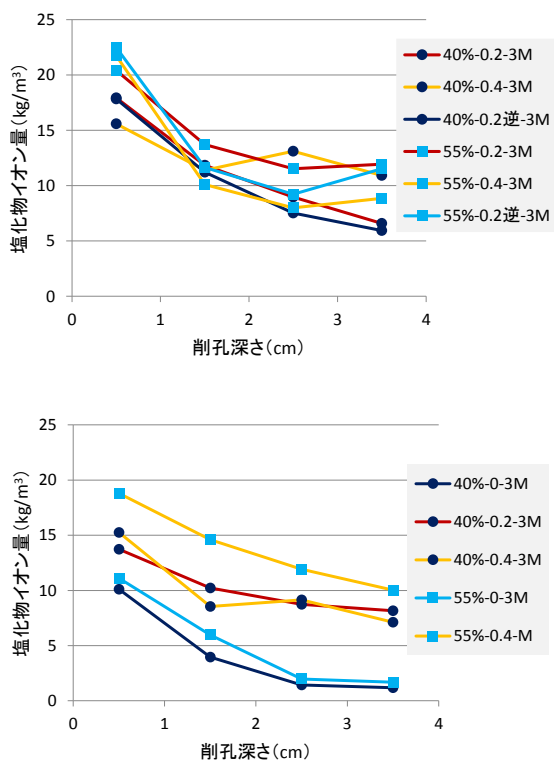


図-2 塩化物イオン量結果 (上/持続, 下/残留)

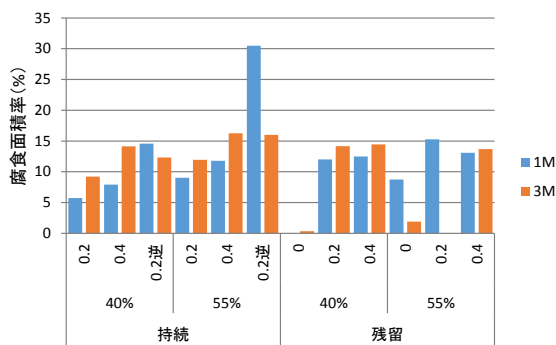


図-3 鉄筋の腐食面積率

水セメント比の配合で大きな値を示した。また、削孔深さが深い位置では高水セメント比の配合で大きな値を示したが、劣化促進期間 3 ヶ月においては、その差が小さくなっていったため、高水セメント比の配合では塩化物イオンの浸透が容易であるのに対して、低水セメント比の配合では塩化物イオンの浸透に時間を要すると考えられる。

## 4. 鉄筋腐食状況の評価

### 4.1 鉄筋腐食面積率

腐食面積率の算出結果を図-3 に示す。劣化促進初期には、一旦大きな荷重をかけ、所定の残留ひび割れを再現している残留ひび割れ供試体の方が、鉄筋とコンクリート間に付着破壊が生じているため、塩化物イオンが鉄筋に沿って広範囲に浸透し、腐食面積が大きくなったと考えられる。しかし、さらに劣化促進を行った場合、持続的に引張ひずみを生じさせている持続荷重供試体では、引張ひずみが生じていることにより、ひび割れから供試体内に侵入した塩化物イオンがコンクリート中に浸透しやすくなり、腐食面積が増大したものと考えられる。

逆方向打設供試体においては、劣化促進期間が長くなった場合でも腐食面積率が小さくなった。これまで逆方向打設による水分移動の影響は見られたが、これについては、コンクリート硬化時にブリーディングにより、鉄筋の浸とコンクリートの間に空隙が発生したことが要因として考えられる。

### 4.2 鉄筋質量減少率

質量減少率の算出結果を図-4 に示す。質量減少率においても、劣化促進期間 1 ヶ月の残留ひび割れ供試体で大きな値を示した。劣化促進期間 3 ヶ月では、

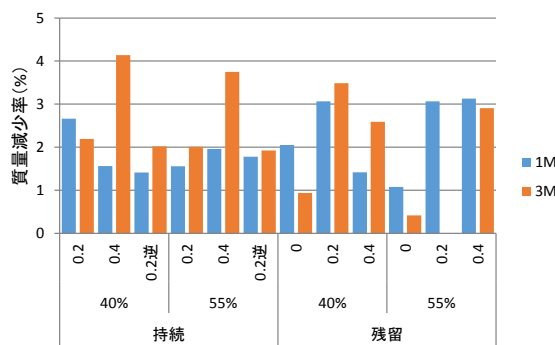


図-4 鉄筋の質量減少率

引張ひずみが生じていることで、持続荷重供試体の質量減少率が増加した。しかし、ひび割れ幅 0.4mm の持続荷重供試体では大幅に質量減少率が増加する結果となった。

#### 4.3 鉄筋腐食の関係

全ての供試体の鉄筋腐食面積率と質量減少率の関係を図-5 に示す。なお、グラフ左下付近にある黄色のプロットのデータはひび割れ導入を行っていない供試体のデータである。持続荷重供試体では、腐食面積率が微増に対して、質量減少率では大幅に増加している供試体も見られたことから劣化促進期間が長くなるにつれ鉄筋腐食が深くなる傾向であると考えられる。残留ひび割れ供試体では、腐食面積率、質量減少率ともに劣化促進期間の影響を受けておらず、ある程度一定の値を示した。

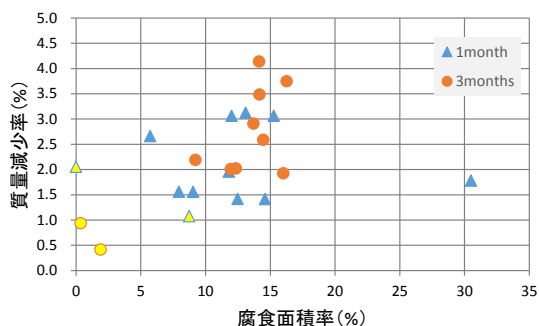


図-5 腐食面積率と質量減少率の関係

#### 5. 鉄筋腐食分布の評価

##### 5.1 腐食箇所とひび割れの関係

供試体からはつり出した鉄筋の様子をひび割れ発生位置（赤線）と共に写真-2 に示す。持続荷重供試体ではひび割れ発生位置のごく近くで鉄筋腐食が発生しているのに対して、残留ひび割れ供試体では、ひび割れ発生位置からある程度離れた位置まで鉄筋かぶり面側で腐食が及んでいることが分かった。

##### 5.2 断面減少とひび割れの関係

3D スキャナで得た断面性状とひび割れ発生位置を図-6 に示す。本研究で用いた鉄筋の公称断面積は  $71.33\text{mm}^2$  である。それぞれの鉄筋でひび割れ発生位置から 20mm 程度離れた位置までが断面減少の著しい範囲であることが認められた。劣化促進期間 1 ヶ月では、残留ひび割れ供試体の方が顕著な断面減少

が認められたが、劣化促進期間 3 ヶ月の場合では、持続荷重供試体では断面減少の範囲が狭く、かつ、より深い鉄筋腐食が生じている傾向にある。一方、残留ひび割れ供試体では、持続荷重供試体に比べて広い範囲である程度の鉄筋腐食が生じていると考えられる。

#### 6. まとめ

- (1) 残留ひび割れ供試体では、付着破壊によって供試体軸方向への浸透が大きくなり、持続荷重供試体出は、引張ひずみによって塩化物イオンが拡散する。
- (2) 劣化促進初期では、残留ひび割れ供試体の鉄筋腐食が著しいが、劣化促進の継続により鉄筋腐食が進行するのは持続荷重供試体であった。
- (3) ひび割れ発生位置から 20mm 程度の位置までが伝面減少の著しい範囲であり、劣化促進期間 3 ヶ月の持続荷重供試体で断面減少が狭い範囲となっており、深い腐食が生じていると考えられる。

#### 参考文献

- 1) 塚原絵万, 他: ひび割れを有するコンクリート中の鉄筋腐食に関する基礎的研究, コンクリート工学年次論文集, 第11巻, 第1号, 2000年
- 2) 金田尚志, 他: 塩化物測定用ポータブル型蛍光X線分析装置の開発, コンクリート工学年次論文集, Vol.29, No.1, 2007

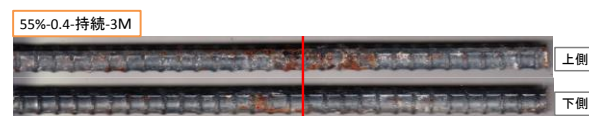


写真-2 鉄筋腐食とひび割れ発生位置

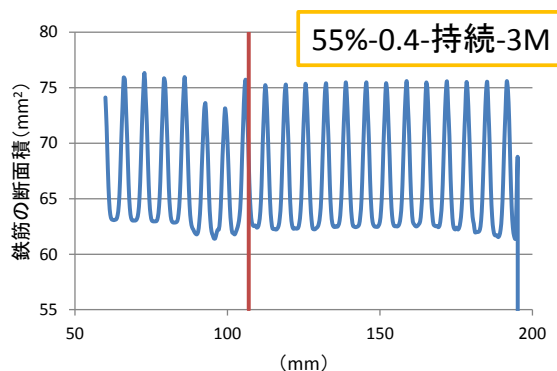


図-6 断面減少とひび割れ発生位置