

# ひび割れを有する RC 覆工の初期劣化進展とその考察 (2)

## - 塩化物イオン(Cl<sup>-</sup>)の浸入に対する性能 -

金沢工業大学 (現,不二商) 学生員 阿部 雅孝  
 金沢工業大学 (現,カネサン建設) 丸山 高生  
 金沢工業大学 正会員 木村 定雄

### 1. はじめに

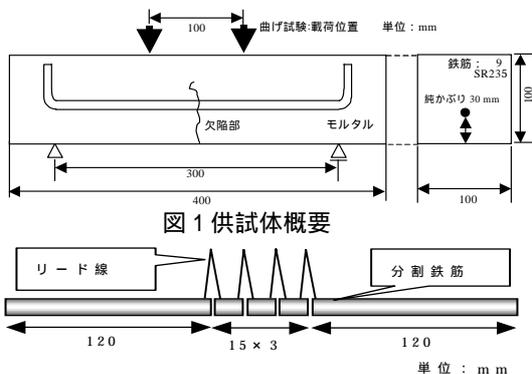
トンネルの覆工は用途に応じてその内環境が異なる。したがって、用途に応じた主劣化要因に対して耐久的な覆工を構築する必要がある。そこで、筆者らは事前の調査結果に基づき、主劣化要因として塩化物イオン(Cl<sup>-</sup>)の浸入を抽出し、曲げひび割れなどの未貫通なひび割れを有する覆工の性能を把握することを目的とした実験研究を行っている。本文はCl<sup>-</sup>の浸入が覆工の初期の鉄筋腐食に及ぼす影響とそれが曲げ性能に与える影響について述べている。

### 2. 実験概要

2.1 覆工のモデル化:表1に示す配合のモルタルで覆工コンクリートをモデル化した。表1の配合は実績からW/Cを選定し、ブリーディング試験からその量が最も少なくなるS/Cを選定したものである。図1は曲げ供試体の諸元を示したものである。初期欠陥をモデル化したひび割れの導入は3点曲げ荷重で行った。その開口幅は0.1mm~0.2mmおよび0.2mm~0.4mmの2ケースに大別した。なお比較のためにひび割れを導入しない供試体もあわせて作製した。鉄筋の腐食速度を直接的に把握するために分割鉄筋<sup>1)</sup>(図2参照)を供試体に埋設した。なお、分割鉄筋を埋設した供試体ではひび割れ導入時の曲げ荷重に

表1 モルタルの示方配合

W/C (%)	S/C	単位量 (kg/m <sup>3</sup> )			フロー値 (mm)	空気量 (%)	モルタル温度 (°C)
		W	C	S			
55	3.0	273	496	1487	169 ± 5	2.2 ± 0.3	19.0 ± 3.0



よる破壊を防ぐために、全面をエポキシ系樹脂で被膜した補強鉄筋もあわせて埋設した。

2.2 養生条件:初期養生は打設後からの5日間とし、その条件は図3に示すとおりである。その後、表2に示す促進養生を行った。気中養生を施す供試体は、劣化をほとんど受けない養生条件として設定したものである。なお、ひび割れ面からのみCl<sup>-</sup>の浸入を促進させるために、ひび割れ開口面以外の5面にはエポキシ系樹脂を塗布した。

2.3 試験方法と照査指標:促進養生による鉄筋腐食と強度特性は表3の照査指標により評価した。Cl<sup>-</sup>浸入深さは表4に示す方法によった。

### 3. 実験結果とその考察

3.1 初期 (材齢30日, 3cycle) のCl<sup>-</sup>の浸入による鉄筋腐食:Cl<sup>-</sup>の浸入深さを図4および図5に示す。図4はひび割れ開口幅とひび割れ内へのCl<sup>-</sup>浸入深さの関係を示したものである。ひび割れ開口幅0.1~0.2mmのケースではかぶりを超えて約50mmまでCl<sup>-</sup>が浸入していた。また開口幅が0.2mm~0.4mmのケースでは60mmを超えてCl<sup>-</sup>が浸入していた。一方、ひび割れのない箇所では約10mmのCl<sup>-</sup>浸透が認められた。図5はひび割れ内面から鉄筋軸方向へのCl<sup>-</sup>の浸透深さを示したものであり、

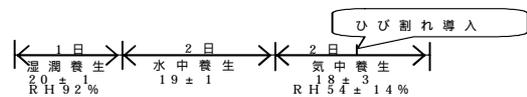


図3 初期養生条件

表2 促進養生条件

ケース	条件 (1cycle)	日数
塩化物イオンの浸入	塩水浸漬 (30°C, 塩分濃度3%)	2日
	乾燥 (20°C, RH60%)	5日

表3 照査指標

	試験・測定方法	照査項目
鉄筋腐食	鉄筋腐食の測定	腐食速度
	硝酸銀噴霧法	Cl <sup>-</sup> の浸入深さ
強度特性	圧縮試験	圧縮強度、静弾性係数
	曲げ試験	曲げ耐力

表4 測定条件

促進養生条件	測定方法	照査指標	反応条件
塩化物イオンの浸入	硝酸銀噴霧法	Cl <sup>-</sup> の浸入深さ	セメント質量の0.15%

キーワード：トンネル覆工，塩化物イオン，ひび割れ，鉄筋腐食，構造性能，耐久性

連絡先：〒921-8501 石川県石川郡野々市町扇が丘7-1 TEL：076-248-8426 FAX：076-294-6713

ひび割れのない表面とほぼ同じ10mm程度の浸透が認められた。なお、図6は初期ひび割れを導入した時のひび割れ深さを示したものである。これより、初期に導入したひび割れの深さまではCl<sup>-</sup>が浸入していないことが分かる。また、鉄筋附着部にCl<sup>-</sup>が浸入していたことから、未貫通なひび割れの導入により鉄筋とモルタルの附着部の隙間からCl<sup>-</sup>が浸入することで、鉄筋の不動態皮膜の破壊領域が広がるものと考えられる。

鉄筋のマクロセル腐食速度を図7に示す。表面開口幅が0.1mm~0.2mmおよび0.2mm~0.4mmのケースにおいて若干の腐食の進行が認められ、その速度は表面開口幅が大きいほど大きくなることわかる。なお、曲げ試験後の供試体の内部観察から若干の鉄筋腐食が認められた。腐食表面積は0.1mm~0.2mmのケースでは約3cm<sup>2</sup>、また0.2mm~0.4mmのケースでは約6cm<sup>2</sup>であった。このことから、表面開口幅が大きくなると腐食表面積が大きくなる傾向が認められた。また、0.2mm~0.4mmのケースでは鉄筋にわずかながら孔食もみられた。これらのことから、表面開口幅が大きくなることによってCl<sup>-</sup>の浸入量が多く、また鉄筋腐食に必要なO<sub>2</sub>とH<sub>2</sub>Oの供給量が増加していたものと考えられる。

3.2 初期（材齢30日）の曲げ性能：曲げ性能は曲げ耐力によって評価した。曲げ耐力に影響を与える要因は圧縮強度、Cl<sup>-</sup>の浸入、鉄筋の降伏点や腐食およびひび割れ導入の影響が挙げられる。圧縮試験から求めた圧縮強度また静弾性係数の結果を表5に示す。なお、初期にひび割れを導入した際の鉄筋ひずみは200~600μであり、事前に鉄筋が降伏していないことを確認している。曲げ試験から求めた曲げ耐力の結果を表5および図8に示す。圧縮強度は若干の差異がみられたが、曲げ耐力にはほとんど影響していない。図8中には鉄筋に若干の腐食が見られた供試体も含まれているがその影響は小さいものと考えられる。したがって、初期の曲げ性能の評価において鉄筋の降伏点や腐食、Cl<sup>-</sup>の浸入および初期のひび割れ導入による影響は小さいと考えられる。

4. まとめ

0.1mm以上のひび割れを有することによりCl<sup>-</sup>の浸入は相当に早く、鉄筋腐食の潜伏期はないと考えたほうがよい。一方、鉄筋位置までCl<sup>-</sup>が浸入して不動態皮膜が破壊し鉄筋腐食が進行しても材齢初期の段階ではそれが曲げ耐力に及ばず影響は小さい。今後は、ひび割れ幅の違いによる鉄筋腐食の進行の差異を把握する予定である。

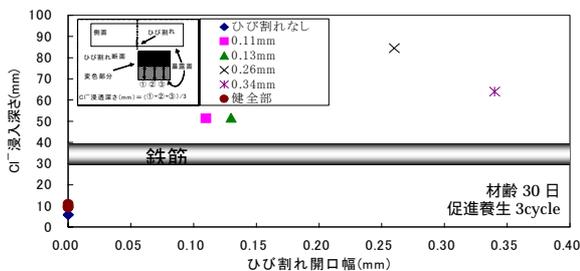


図4 表面からのCl<sup>-</sup>浸入深さ

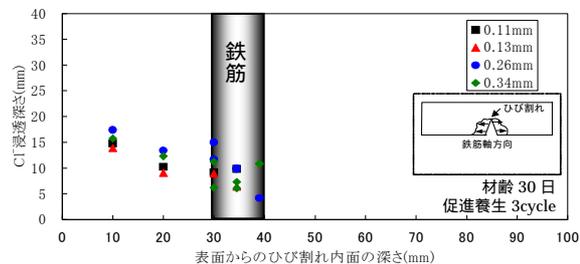


図5 鉄筋軸方向のCl<sup>-</sup>浸透深さ

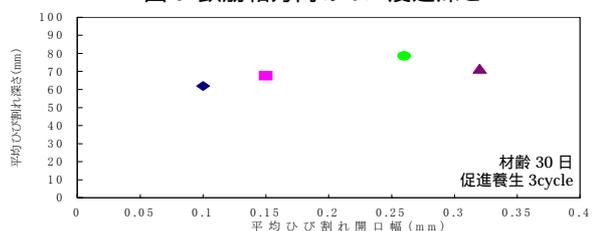


図6 ひび割れ導入時のひび割れ深さ

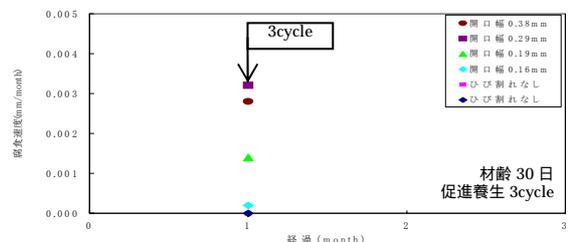


図7 鉄筋の腐食速度

表5 強度特性

評価指標	データ数	平均値	偏差	変動係数
圧縮強度[N/mm <sup>2</sup> ]	6	42	5.29	12.49%
静弾性係数[N/mm <sup>2</sup> ]	6	2.05 × 10 <sup>4</sup>	594.92	2.90%
曲げ耐力[kN・m]	18	1.67	0.08	4.68%

注1) 表中の偏差は不偏分散を平方根したものである  
 注2) 変動係数は偏差を平均値で除したものである

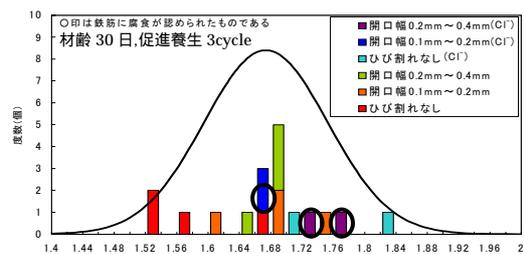


図8 曲げ耐力

参考文献 1) 宮里心一, 大即信明, 小長井彰祐: 分割鉄筋を用いたマクロセル電流測定の実験的・理論的検討, コンクリート年次論文集, Vol.23, 2, 2001