

ひび割れを有する RC 覆工の初期劣化進展とその考察 (1)

- 乾湿繰返し作用に対する性能 -

金沢工業大学(現,石川建設工業) ○学生員 長 正人

金沢工業大学大学院 学生員 木谷 理志

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主劣化要因が異なる。したがって、用途に応じた主劣化要因を明確にした上で覆工の耐久性能を検討する必要がある。そこで、筆者らは事前の調査結果に基づき、主劣化要因として乾湿繰返し作用を抽出し、曲げひび割れなどの未貫通なひび割れを有する覆工の耐久性能を把握することを目的とした実験的研究を行っている。本文は乾湿繰返し作用が作用する覆工の初期の鉄筋腐食の進展とそれが曲げ性能に与える影響について述べたものである。

2. 実験概要

(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 の配合は施工実績から 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 は曲げ試験用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 点曲げ載荷で行った。その開口幅は 0.1～0.2mm および 0.2～0.4mm 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図 2 に示す分割鉄筋¹⁾を埋設した供試体を作製した。なお、分割鉄筋を埋設した供

表 1 モルタルの示方配合

W/C (%)	S/C	単位量 (kg/m ³)			フロー (mm)	空気量 (%)	モルタル 温度 (°C)
		W	C	S			
55	3	273	496	1487	169±5	2.2±0.3	19±3

注) 普通ポルトランドセメント, 陸砂(新潟県南魚沼産都六日市町産)

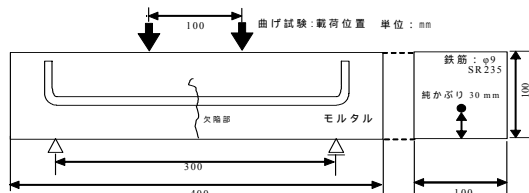


図 1 曲げ試験用供試体

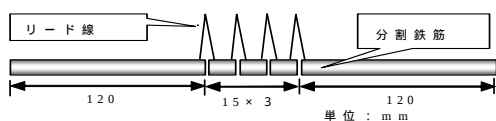


図 2 分割鉄筋

試体では曲げ載荷による破壊を防ぐために、腐食速度を測定する供試体中には、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) 養生条件: 実際の覆工の構築工程を考慮し、図 3 に示す初期養生を行った。その後、表 2 に示す条件で促進養生を施した。気中養生を施した供試体は、劣化をほとんど受けない基本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乾湿繰返し作用を促進させるため、ひび割れ開口面以外の 5 面にエポキシ系樹脂を塗布した。

(3) 試験方法とその評価項目: 表 3 に鉄筋腐食の照査指標を、表 4 に強度特性の照査指標を示す。中性化深さの測定はフェノールフタレイン法によった。

3. 実験結果およびその考察

(1) 初期(材齢 30 日, 1.5cycle)の中性化による鉄筋腐食: 乾湿繰返し養生および気中養生の養生条件別の中性化深さを図 4 に示す。図 4 よりひび割れの無い箇所では中性化の進行は認められなかった。乾湿繰返し養生の場合、ひび割れ(表面のひび割れ開口幅 0.11～0.31mm)を有すると 4～7mm の中性化が認められた。また、気中養生(環境条件: 20℃, 60%RH, CO₂ 濃度 0.1%)の場合、ひび割れ(ひび割れ開口幅 0.19～

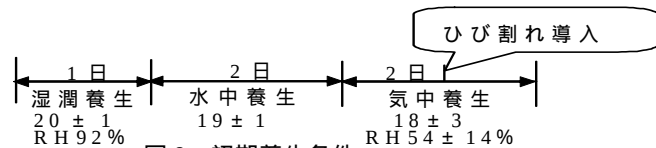


図 3 初期養生条件

表 2 促進養生条件

気中養生	20℃, 60% RH
促進乾湿繰返し養生	乾燥状態: 20℃, 60% RH, 4 day 湿潤状態: 30℃, 95% RH, 10 day

注) 乾燥状態と湿潤状態を合わせて 1cycle とする。

表 3 鉄筋腐食の照査指標

測定項目	照査指標
腐食電流の測定	腐食速度
鉄筋腐食減量の測定	腐食減量
中性化深さの測定	中性化深さ

表 4 強度特性の照査指標

試験名	照査指標
圧縮試験	圧縮強度, 静弾性係数
曲げ試験	曲げ耐力

キーワード: トンネル覆工, ひび割れ, 鉄筋腐食, 構造性能, 耐久性能

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

0.37mm)を有すると、乾湿繰り返し養生の場合よりも若干多い8～12mmの中性化が認められた。なお、鉄筋軸方向では中性化の進行は認められなかった。ここで、現在提案されているコンクリート中の中性化予測式のうち高田・魚本式²⁾を用いて、気中養生のひび割れの無い箇所で中性化深さが約10mmに達する期間を推定すると約4年となった。この対応期間はコンクリートの場合であり、モルタルの場合はさらに予測される中性化速度が遅くなることが考えられる。この結果から、幅が0.1mm以上のひび割れを有することにより、乾湿繰り返し養生および気中養生にもかかわらず相当に早く中性化が進行することがわかる。

一方、この段階における鉄筋の腐食状況を示したのが図5および図6である。養生条件にかかわらず初期のマクロセル腐食は認められなかった。これは、表面からの中性化の進行が鉄筋の位置まで達していないことから推測できる。

以上より、ひび割れ(表面のひび割れ開口幅 0.1～0.4mm)を有する場合、ひび割れなどの欠陥を想定していない中性化予測式は適用できないことがわかった。したがって、本来コンクリート中の中性化が進行し、鉄

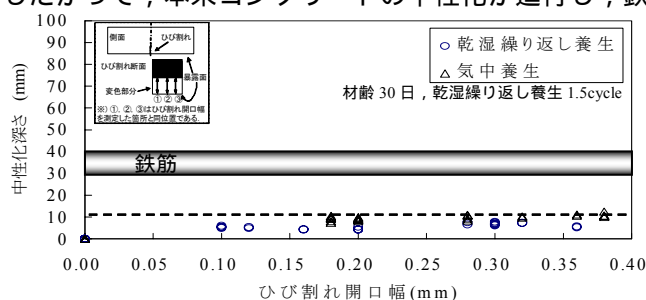


図4 中性化の測定

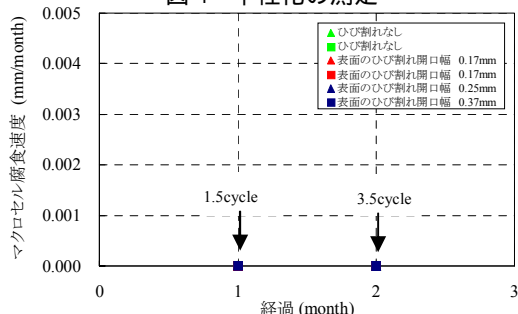


図5 乾湿繰り返し養生の鉄筋腐食

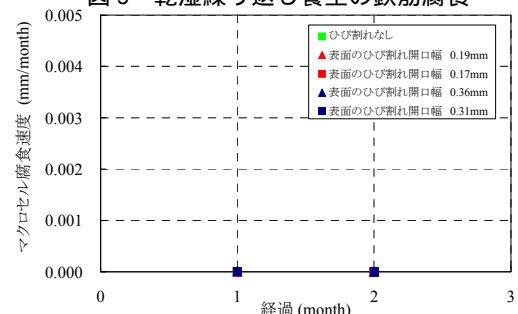


図6 気中養生の鉄筋腐食

筋が腐食することで剥離、剥落や曲げ性能の低下が生じる。したがって、鉄筋腐食を直接的に把握し、それらの性能を評価することが重要であると考えられる。

(2) 初期(材齢30日, 1.5cycle)曲げ性能: 曲げ性能は、曲げ耐力によって評価した。曲げ耐力に与える影響としては、圧縮強度、鉄筋の降伏点およびひび割れの導入の影響が挙げられる。表5の強度特性に示すように、圧縮強度には若干の差異がみられたが、初期の曲げ耐力にはそれらの影響はほとんどないものと考えられる。また図7をみると、ひび割れの大きさにかかわらず、その導入による曲げ耐力への影響はないものと判断できる。また、ひび割れ(表面のひび割れ開口幅 0.1～0.4mm)を導入したときの鉄筋ひずみは 200 μ ～600 μ であり、事前に鉄筋は降伏していないことを確認している。

したがって、曲げ性能の指標となる曲げ耐力に初期の養生条件の差異による影響はないと判断できる。

4. まとめ

初期の耐久性能の評価では、幅が0.1mm以上のひび割れを有することで中性化は相当に早く進行することがわかった。また中性化は鉄筋位置まで進行していないため、鉄筋の腐食は認められなかった。したがって、初期の耐久性能の評価では、ひび割れなどの欠陥を有する場合には鉄筋腐食の潜伏期が相当に短くなることが予想される。今後は初期以降の鉄筋腐食の進展状況を詳細に把握する予定である。

表5 強度特性

照査指標	データ数N	平均値m	偏差	変動係数V
圧縮強度 [N/mm ²]	6	42	5.29	12.49%
静弾性係数 [N/mm ²]	6	2.05 $\times 10^4$	594.92	2.90%
曲げ耐力 [kN $\cdot$ 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。

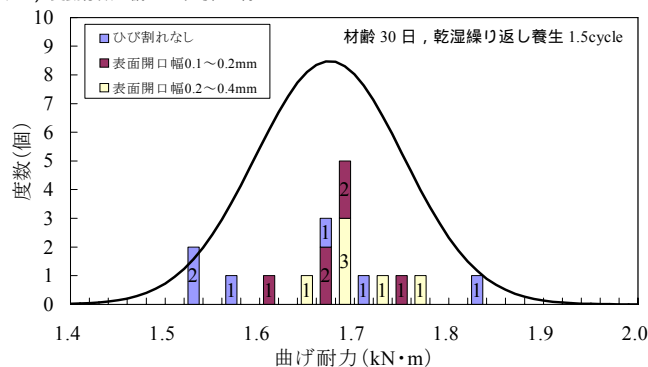


図7 曲げ耐力

参考文献

- 宮里心一, 大即信明, 小長居彰祐: 分割鉄筋を用いたマクロセル電流測定法の実験的・理論的検討, コンクリート工学年次論文集, Vol.23, No.2, 2001
- 魚本武人, 高田良章: コンクリート中の中性化速度に及ぼす要因, 土木学会論文集, No.451, V-17, 1992.8