

曲げひび割れを有する覆工コンクリートの性能変化に関する研究

金沢工業大学 学生会員 ○新谷 克朗*¹
金沢工業大学 正会員 木村 定雄*¹

1. はじめに

地中に構築されるトンネル構造物は半永久的に供用され、それに要求される性能を維持し続ける必要がある。そのため、その経時変化を予測し、効率的な補修や補強を行う必要がある¹⁾。トンネル構造物は様々な地盤環境中に構築され、種々の用途で供用されることを考慮すると、トンネル構造物に求められる性能は、個々の条件によって異なる。さらに、トンネル建設当初に施工時荷重の影響を受けて、覆工にひび割れが生じる場合がある。そのため、トンネル構造物の性能を評価するにあたっては、その影響も十分に考慮する必要がある。

以上のことを踏まえ、既往の研究ではトンネル内環境を考慮した覆工コンクリートのモデル化試験を過去14年間にわたり行ってきた。

本研究は在来トンネルを前提としたトンネル覆工コンクリートをモデル化し、トンネル内環境、初期欠陥のひび割れを模擬することにより、曲げ耐力ならびに、鉄筋の腐食といった耐久性の経時変化を試験的に把握することを目的とする。

2. 試験概要

2.1 供試体のモデル化

表1に供試体の配合を示す。また、図1に供試体概要を示す。供試体は二次覆工、開削工法の覆工コンクリートをモデル化し、水セメント比は55%、100×100×400mmのモルタルの角柱供試体を作製した。鉄筋はSR235-φ9を純かぶり30mmで配筋した。一方、施工時や供用の初期段階において、覆工コンクリートにひび割れが生じている場合が少なくない。そこで、材齢5日目に変位制御により曲げひび割れを導入して、初期欠陥のひび割れを模擬した。導入したひび割れ開口幅は0.2mm程度、0.4mm程度とした。さらに、比較のために、曲げひび割れを導入しない供試体も設けた。劣化因子の侵入をひび割れ発生面のみに限定するため、曲げひび割れ導入後、導

入面を除く5面をエポキシ樹脂でコーティングした。

2.2 トンネル内環境条件

表2に本研究で再現したトンネル内環境条件を示す。乾湿繰返し環境(以下、DW環境)、塩化物イオン侵入+乾湿繰返し環境(以下、CH環境)、乾燥環境(以下、D環境)を再現した。この環境条件は、道路また鉄道トンネルなどのトンネル内環境を調査して、選定したものである²⁾。また、表3は試験で使用した供試体の材齢を示したものである。

表1 供試体の配合

W/C (%)	S/C	単位量(kg/m ³)		
		W	C	S
55	3.0	275	499	1500

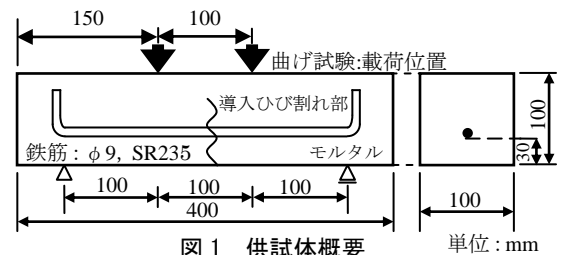


図1 供試体概要

表2 本研究で再現したトンネル内環境条件

トンネル内環境	環境条件(1サイクル)				週/1サイクル
	乾燥状態	日数	湿潤状態	日数	
乾湿繰返し(DW)	温度20°C 湿度60%RH	4日	温度30°C 湿度95%RH	10日	2週間
塩化物イオン侵入 +乾湿繰返し(CH)	温度20°C 湿度60%RH	5日	水温30°C 塩分濃度3%	2日	1週間
乾燥(D)	温度20°C 湿度60%RH	-	-	-	-

表3 供試体の材齢

トンネル内環境	材齢
乾湿繰返し(DW)	14年0ヶ月
塩化物イオン侵入+乾湿繰返し(CH)	13年11ヶ月
乾燥(D)	14年0ヶ月

2.3 試験結果の評価方法

モデル化した覆工コンクリートの曲げ耐力を曲げ試験により評価し、その曲げ耐力より鉄筋断面積を逆算して求める。そしてそのモデル化した覆工コンクリートから鉄筋を取り出し、実際の断面積と比較することにより評価する。

これらの試験は材齢1か月、6か月、6年、および材齢13年11か月～14年の期間に実施している。

3. 試験結果およびその考察

3.1 曲げ耐力の評価

表4に試験結果一覧を示す。14年度は圧縮試験を行なわなかったため圧縮強度および静弾性係数は過去に行なった試験結果の平均値を用いた。供試体全シリーズの中で著しい曲げ耐力の低下が見られたのは、水セメント比55%、単鉄筋、塩化物イオン侵入+乾湿繰返し環境、導入ひび割れ0.4mm程度(以下、0.55-RC-CH-0.4W)である。

このようになった理由として、導入ひび割れが0.4mm程度と比較的大きかったため塩化物イオンが侵入しやすかったと考えられる。

3.2 耐久性の評価

表5に鉄筋断面積一覧を示す。鉄筋断面積は試験曲げ耐力より逆算して求めた。計算式を以下に示す。

$$M_u = bd^2 \times pf_u \times \left(1 - \frac{pf_u}{1.7f'_c}\right) \quad (1)$$

$$A_s = \frac{1.7f'_c bdf_u - \sqrt{(1.7f'_c bdf_u)^2 - 4f_u^2 (1.7f'_c bM_u)}}{2f_u^2} \quad (1)'$$

ここで、bは供試体幅(mm)、dは有効高さ(mm)、pは鉄筋比(%), f_u は鉄筋の引張強度(N/mm²), f'_c は圧縮強度(N/mm²), A_s は鉄筋断面積(mm²)である。著しい鉄筋断面積の低下が見られたのは、表4の試験結果一覧と同様に0.55-RC-CH-0.4Wである。図2にD環境とCH環境の経過年と鉄筋断面積低下量の関係を示す。【1】は全体の基準とするD環境を模擬した鉄筋の断面積を示したグラフである。3mm²程度の差があるが誤差の範囲内だと思われる。【2】はCH環境を模擬した鉄筋の断面積を示したグラフである。14年度では、導入ひび割れなしを基準として、導入ひび割れ0.4mmは、26%低下していた。【3】はD環境の導入ひび割れ0.4mmとCH環境の導入ひび割れ0.4mmの断面積を示したグラフである。14年度では、D環境を基準として、CH環境は20%低下していた。また、図3は、供試体から取り出した鉄筋の状態である。実際に0.55-RC-CH-0.4Wは腐食が激しく、断面積で比較すると曲げ耐力を逆算して算出したものが42.8mm², 実測値が43.1mm²と0.7%の差であった。

この結果より、0.55-RC-CH-0.4Wが最も腐食しやすい環境状態であり、曲げ耐力の低下は鉄筋断面積の低下に起因するとわかる。

表4 試験結果一覧

供試体	材齢1.6か月,6年平均値		曲げ耐力 平均 [kN・m]				
	圧縮強度 [N/mm ²]	静弾性係数 [N/mm ²]	材齢1か月	材齢6か月	材齢6年	材齢14年	
0.55-RC-D	0W	42.26	2.09 × 10 ⁴	1.60	1.68	1.62	1.57
	0.2W			1.65	1.73	1.57	1.60
	0.4W			1.67	1.67	1.61	1.50
0.55-RC-CH	0W	53.82	2.43 × 10 ⁴	1.77	1.83	1.66	1.62
	0.2W			1.67	1.68	1.71	1.72
	0.4W			1.75	1.64	1.56	1.20
0.55-RC-DW	0W	43.06	2.27 × 10 ⁴	1.56	1.72	1.58	1.42
	0.2W			1.72	1.65	1.53	1.50
	0.4W			1.69	1.61	1.52	1.58

表5 鉄筋断面積一覧

供試体	鉄筋断面積(mm ²)					
	材齢1か月	材齢6か月	材齢6年	材齢14年	材齢14年 実測値	
0.55-RC-D	0W	57.9	61.0	58.7	56.9	60.1
	0.2W	60.4	63.6	57.3	58.5	59.4
	0.4W	60.1	60.1	57.8	53.6	61.5
0.55-RC-CH	0W	63.8	66.1	59.6	58.2	59.9
	0.2W	59.4	59.8	60.9	61.3	58.7
	0.4W	63.0	58.8	55.8	42.8	43.1
0.55-RC-DW	0W	57.3	63.7	58.1	51.9	60.8
	0.2W	66.1	63.2	58.3	57.1	60.8
	0.4W	60.3	57.3	53.9	56.1	60.1

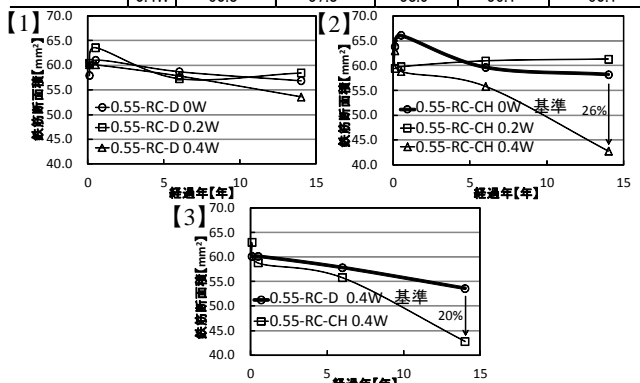


図2 経過年と鉄筋断面積低下量

(a)乾燥環境(0.55-RC-D-0.4W)

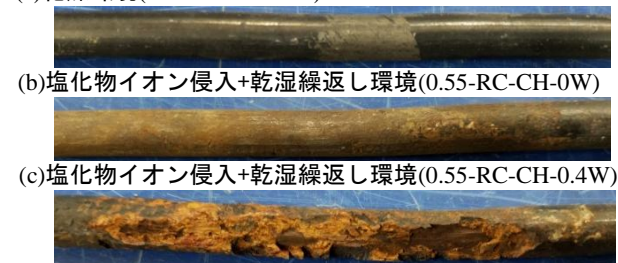


図3 供試体から取り出した鉄筋の状態

4. まとめ

再現したトンネル内環境条件、導入ひび割れ幅ごとに曲げ耐力ならびに、耐久性を評価した結果、塩化物イオン侵入+乾湿繰返し環境、導入ひび割れ0.4mm程度が最も腐食しやすい環境条件であった。

5. 参考文献

- 1) 木村定雄, 安田亨: トンネルの性能規定化の動向とマネジメント, 建設マネジメント勉強会 Summer School 2008 建設マネジメントを考える, pp.109-120, 2008.8.
- 2) 木村定雄, 三村聡, 吉田行生, 水上優: 未貫通なひび割れを有する覆工コンクリートの初期劣化進展とその考察, トンネル工学研究論文・報告集, Vol.13, pp.45-52, 2003.11.