

ひび割れを有する SFRC 覆工の初期劣化進展とその考察 （乾湿繰返し作用および塩化物イオンの浸入に対する性能）

金沢工業大学(現,青山機工) ○学生員 今井 亮英
金沢工業大学(現,名工建設) 学生員 吉田 行生
金沢工業大学 正会員 木村 定雄

1. はじめに

トンネルの用途は様々でありトンネル内の環境が異なる。したがって覆工が劣化する場合の劣化要因は、その用途に応じて異なるものと考えられる。一方、既存のトンネル覆工にはひび割れなどの欠陥を有していることが多く、これにより劣化進展が加速されることも考えられる。本報告は欠陥を有する鋼繊維補強コンクリート(SFRC)覆工を対象として、乾湿繰返し作用および塩化物イオン(Cl^-)の浸入を受ける場合の初期の劣化進展とそれが曲げ性能に与える影響を実験により把握した結果を述べたものである。

2. 実験概要

2.1 SFRC 覆工のモデル化と実験の概要：表 1 は示方配合とフレッシュ性状を示したものである。覆工の実績調査¹⁾に基づいて W/C は 55%とした。また SF 混入率は 0.64%とした。曲げ試験用供試体の形状寸法は 100×100×400mmとした。図 1 および表 2 に初期養生条件および促進劣化の養生条件を示す。表 2 中の養生条件は実際のトンネル内の環境を考慮して選定したものである。また、供試体には材齢 5 日目に未貫通な曲げひび割れを変位制御により導入して欠陥をモデル化した。

表 1 示方配合とフレッシュ性状

W/C	S/C	SF混入率 (%)	単位量(kg/m ³)			ベースモルタル フロー値(mm)	SF混入後 フロー値 (mm)	空気量 (%)	モルタル 温度(°C)
			W	C	S				
0.55	3.0	0.64	273	496	1487	176±6	163±10	2.0±1.0	16.0±3.0

注) SF 形状は両端フック付結束型
SF 長は 43mm, ϕ 0.75mm

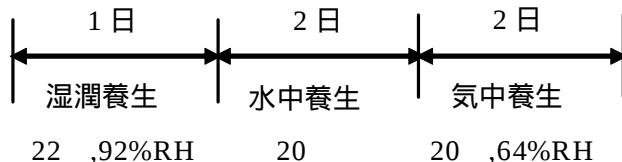


図 1 初期養生条件

表 2 実験ケースと促進養生条件

実験ケース名	劣化要因	促進養生条件(1サイクル)			
		乾燥状態	日数	湿潤状態	日数
0.55-SF-DW	乾湿繰返し作用	20°C, 60%RH	4日	30°C, 95%RH	10日
0.55-SF-CH	塩水浸漬+乾湿繰返し作用	20°C, 60%RH	5日	30°C, Cl^- 3%浸漬	2日
0.55-SF-N	基準(気中養生)	20°C, 60%RH			

なお、導入したひび割れは開口幅の大きさにより 0W シリーズ、0.2W シリーズ、2.0W シリーズに大別し、各々のシリーズの供試体を 2 体ずつ作製した。表 3 はその詳細を示したものである。なお、表中のひび割れ深さはひび割れ導入時に曲げ供試体の側面から観察した結果である。

2.2 乾湿繰返し作用と塩化物イオンの浸入に対する評価：表 4 に実験ケース別の評価指標を示す。乾湿繰返し作用の場合は中性化深さを指標とした。一方、 Cl^- の浸入の場合は表面からの浸入深さ(横断方向)、ひび割れ内面からの浸透深さ(縦断方向)およびひび割れ面の目視による鋼繊維の腐食範囲を指標とした。

2.3 初期の構造性能の評価：構造性能は主として曲げ性能で評価した。SFRC は破断した後も荷重を保持でき無筋コンクリートと異なった特性をもつ。そこで、この特性を評価できるようにするため、曲げ耐力、曲げタフネスおよび曲げ引張強度¹⁾を指標とした。また、曲げ性能の結果は信頼性領域を把握するために密度関数を用いて整理した。一方、2.0W シリーズでは、曲げひび割れ導入時に部材のもつ終局耐力を超える荷重を作用させているため 0W および 0.2W シリーズと同様に扱って構造性能を評価できない²⁾。0W および 0.2W シリーズと 2.0W シリーズを分けて、それぞれの曲げ性能を評価することとした。

表 3 表面開口幅とひび割れ深さの範囲

シリーズ名	表面開口幅(mm)	ひび割れ深さ(mm)
0W	0.00	0.00
0.2W	0.15~0.21	52~62
2.0W	1.60~2.24	87~90

表 4 試験名と照査指標

実験ケース名	浸透量深さ測定方法	照査指標	反応条件
0.55-SF-CH	硝酸銀噴霧法	Cl^- 浸入深さ	セメント質量×0.15%
0.55-SF-DW	フェノールフタレイン法	中性化深さ	pH8.2~10以上
0.55-SF-N	フェノールフタレイン法	中性化深さ	pH8.2~10以上
全ケース	目視	鋼繊維の腐食	—

キーワード：トンネル覆工，ひび割れ，長期性能，塩害，鋼繊維補強コンクリート

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

3. 実験結果および考察

3.1 乾湿繰返し作用および塩化物イオンの浸入：図2は乾湿繰返し作用および気中養生を受けた供試体の表面開口幅と中性化深さの関係を示したものである。group

をみると、0W、0.2W、2.0W シリーズのひび割れなし部の横断方向への中性化は認められない。これに対して group をみると 0.2W シリーズで中性化深さが 8～11mm、また group をみると 2.0W シリーズで 23～37mm の中性化が認められた。一方、group、group、group ではともに鋼繊維の腐食が認められなかった。これらのことから、材齢 30 日の初期の劣化進展では幅が 0.2mm 以上のひび割れを有する場合、その内部への中性化は早期に進行することがわかる。図3は表面開口幅と Cl⁻ 深さの関係を示したものである。group をみると、0W、0.2W、2.0W シリーズのひび割れなし部の横断方向への Cl⁻ の浸入深さが 10～13mm である。group

をみると、0.2W シリーズでは 10～39mm、また group をみると 2.0W シリーズでは 100mm の Cl⁻ の浸入が認められた。group と group を比較すると、0.2W シリーズでは縦断方向への Cl⁻ の浸透が認められないのに対して 2.0W シリーズでは 3～20mm の Cl⁻ の浸透が認められた。一方、腐食範囲をみてみると、0.2W シリーズでは鋼繊維の腐食が認められないのに対して 2.0W シリーズでは供試体下面から 43～50mm の範囲で鋼繊維の腐食が認められた。これらのことから表面開口幅が大きくなると Cl⁻ の浸入深さが大きくなり、とくに 2.0W のケースでは、部材高(100mm)に達することがわかる。ま

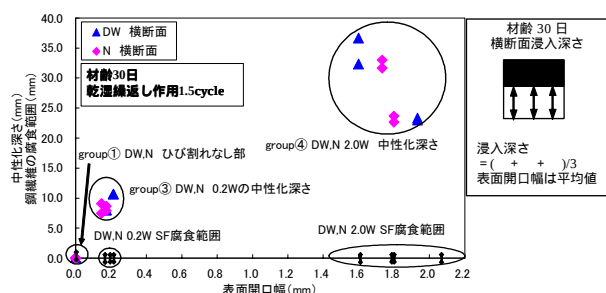


図2 中性化深さと表面開口幅の関係

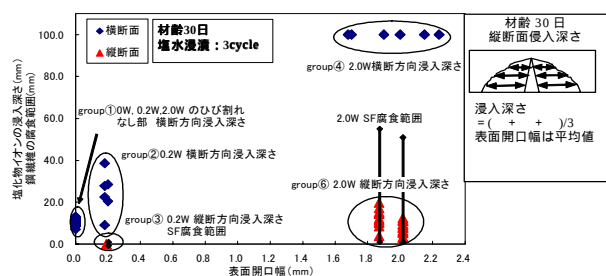


図3 塩分浸入深さと表面開口幅の関係

た、ひび割れ幅が大きいと、その内部に浸入した Cl⁻ が縦断方向へも早期に浸透することがわかる。

3.2 初期の曲げ性能：表5に材齢 30 日における曲げ試験結果を示す。また、図4に鋼繊維本数と曲げタフネスとの関係を示す。SFRC 部材は鋼繊維本数および鋼繊維の分散、配向が曲げ性能に与える影響が大きい。曲げタフネスは鋼繊維の本数と一次の相関がみられる。鋼繊維腐食の影響についてみると、group(2.0W)の一部に鋼繊維の錆が認められたが、錆びている鋼繊維を含めても group(2.0W)では曲げタフネスとの相関が認められる。したがって、初期の劣化進展における曲げタフネスへの影響はないと考えられる。図5は初期に導入したひび割れが曲げタフネスに与える影響を示したものである。group(2.0W)は group(0W,0.2W)に比べて曲げタフネスが低下している。group(2.0W)は初期のひび割れ幅が大きいため、初期のひび割れ導入により、その耐力が低下したものと考えられる。

【参考文献】1) (社)日本鉄鋼連盟・SFRC 構造設計研究会編：鋼繊維補強コンクリート設計施工マニュアル(トンネル編)，2002．11．
2) 矢郷，木村他：鋼繊維補強コンクリートを用いたトンネル覆工板の開発(1)，第56回年次学術講演会，- 014，2001．10．

表5 初期の曲げ性能結果
(材齢 30 日，乾湿繰返し作用：1.5，塩水浸漬：3.0cycle)

曲げ性能	圧縮強度 [N/mm ²]	弾性係数 [N/mm ²]	曲げ耐力 [N/mm ²]		曲げタフネス [N/mm ²]		曲げ引張強度 [N/mm ²]	
			group (0W,0.2W)	group (2.0W)	group (0W,0.2W)	group (2.0W)	group (0W,0.2W)	group (2.0W)
データ数	7	7	8	4	8	4	8	4
平均値	38.85	1.99×10 ⁴	5.76	4.11	4.68	3.15	1.99	1.31
最大値	42.66	2.06×10 ⁴	8.15	4.89	6.39	3.37	2.71	1.38
最小値	35.60	1.93×10 ⁴	3.84	3.56	3.06	2.70	1.35	1.10
偏差	2.74	0.047×10 ⁴	1.39	0.56	1.14	0.32	0.49	0.17
変動係数(%)	7.06	2.34	24.16	13.63	24.35	10.06	24.77	13.15

注) 偏差とは不偏分散の平方根

変動係数は偏差/平均値×100(%)

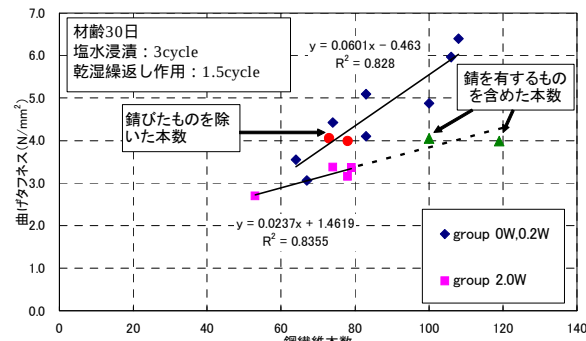


図4 曲げタフネスと鋼繊維の相関図

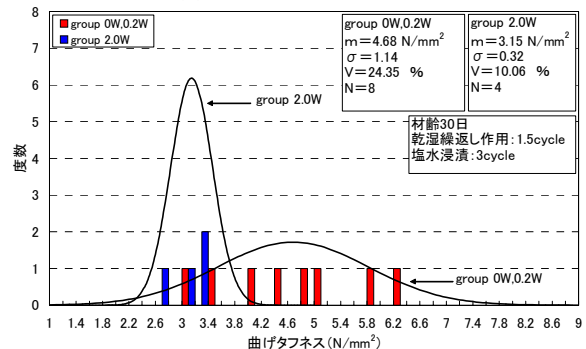


図5 曲げタフネスの密度関数