

[53] 鋼繊維補強コンクリートの摩耗について

正会員 ○犬塚雅生 (北海道工業大学 工学部)

正会員 堀口 敬 (北海道工業大学 工学部)

1. まえがき

近年、寒地の道路面や水路面の摩耗による損害が問題とされ、その抵抗性を向上させて、構造物の耐用年限を延長することが望まれている。また、損害を受けた部分を修復することも多い。いずれの場合も、コンクリートの薄層オーバーレイが可能であれば、その利点は多い。しかし、コンクリート単味では構造本体との一体性を保つ点で不安定となり、適当な補強手段を必要とする。鋼繊維補強コンクリート(SFRC)とすることも、その解決方法の一案であり、材料としての力学的性質と摩耗性状に関する資料が必要である。

一方、摩耗現象は、すり磨きやひつかき等の形態によつて影響因子もその寄与率も常に変化する。また、時間経過によつて生ずる現象であるため、結果が安定して得られる実験方法についても議論が多い。現在、入手可能なSFRCの摩耗についての資料は、対象とする構造物や状況について、その都度に計画されて得たものが多く、様々の研究成果を相互に比較することも難しい。

本報告では、簡便で実験装置が得やすいという理由で、ロサンゼルス摩耗試験機を取り上げ、その摩耗減重量を、ドラムの回転数を500毎に区切つて測定した。この試験に取り扱つた因子は、(1)鋼繊維混入量 (2)養生条件 (3)単位セメント量 の3因子とし、 L_{16} の直交表に割当てた配合の供試体を用いた。また、この一連の試験に対応させて、(1)曲げ強度試験 (2)圧縮強度試験 (3)衝撃試験 を行ない、これら4シリーズの試験について分散分析を行ない、主効果の判定を行なうと共に、これらの試験シリーズ間の相関を求めた。なを、これらの試験は、同一の実験計画であるから、同一配合、同一養生の試料について、各シリーズの試験を行なつたものである。

2. 実験概要

因子及び水準については表1に示す。鋼繊維については、市販のカットワイヤー(φ0.6mm,長さ32mm)を用いた。養生条件において、水中養生は20℃で28日迄、冷凍養生は14日迄20℃気乾(湿度75%)の後28日迄/日サイクル(-20℃と0℃)で冷凍をくり返す。

供試体の実験計画は各シリーズ同一であり、その配列と実験結果を表2に示す。全供試体の単位水量を175Kgに保つた。この理由は、これ迄のスパイクタイヤによるSFRCの摩耗試験で、単位セメント量とW/Cとは大体同じ寄与率を持ち、前者がやゝ高いので、両者を1つの要因とするためである。

表1 因子及び水準

因子	水準1	水準2
鋼繊維混入量 F	0%	1%
養生環境 E	水中養生	冷凍養生
単位セメント量 C	350Kg	400Kg

混和剤は、AE剤をセメント重量の0.04%混入した。

粗骨材率は60%に保つた。コンクリートの練り混ぜは強制練りミキサーを用い、投入順序はG-S-C-(W+AE)-(SF)とし、各投入毎に1分間 最後を2分間混合とした。鋼繊維は、ミキサー上で20mmフルイを通して落下させ分散を図つた。各シリーズの同一配合供試体は、同一バッチより製作した。試料の材令は28日とし、摩耗試験の第1区間(0~500回転)以外は同一日に行つた。各シリーズの試験要領は次のようなものである。

2.1 摩耗試験

摩耗試験はJISA 1121に準じ、粗骨材の代りに3個の立方供試体(合計で約2700gr)をロサンゼルス摩耗試験機のドラムに入れ、鋼球を6個用いて500回転毎に計量を行なう。供試体は75×75×400mmの角柱供試体をダイヤモンドカッターで切断して成形した。従つて、供試体がすべて20mmフルイを通

過する時は、摩耗量 / . 00となる。最終は2500回転とした。回転数の区間を500回にした理由は、毎回の摩耗率を0.25~0.75の範囲に収める区切りやすい回転数のためである。第1区間(0~500回)は σ_{28} に行ない(打設順序をランダムイズ)、1週間遅れて第2区間、さらに1週間遅れて第3区間と続けた。この区間と区間の間、供試体を室内に保管したため約20grの重量減を伴ったので、毎区間で摩耗前後の重量を計量し摩耗率を算定したものである。

表2. 実験計画及び結果

L16					摩耗試験					曲げ試験	圧縮試験	衝撃試験	
No.	F	E	C	初期重量	1 0 ~500	2 501 ~1000	3 1001 ~1500	4 1501 ~2000	5 2001 ~2500			kg/m ²	kg/m ²
1	1	1	1	2655.0	.300	.461	.453	.518s	.348s	42.3	318.7	2	3
2	1	1	1	2679.5	.315	.485	.513	.594s	.856s	39.8	325.2	1	2
3	1	1	2	2708.0	.298	.220	.289	.610	.692	43.5	376.9	1	2
4	1	1	2	2706.5	.260	.237	.289	.464	.446s	43.6	349.2	1	2
5	1	2	1	2620.5	.504	.793	.695s	(1.000) v		35.7	219.8	1	2
6	1	2	1	2763.5	.374	.842s	(1.000) v			23.1	194.4	2	3
7	1	2	2	2700.0	.345	.675s	(1.000)			38.0	243.7	1	2
8	1	2	2	2672.5	.413	.749s	.757	.686	(1.000)	28.4	262.8	1	2
9	2	1	1	2784.0	.275	.263	.526	.417	.335	52.1	396.9	5	47
10	2	1	1	2757.0	.288	.229	.306	.336	.507	52.0	387.7	6	16
11	2	1	2	2735.5	.227	.177	.394s	.381	.331	43.6	433.2	4	30
12	2	1	2	2738.0	.196	.171	.288	.449	.417	52.8	453.8	4	21
13	2	2	1	2667.0	.507	.868s	(1.000) v			34.8	253.3	8	20
14	2	2	1	2773.0	.446	.850s	(1.000) v			35.9	268.9	3	16
15	2	2	2	2816.0	.261	.400	.721	.527s	.519	33.0	297.9	4	20
16	2	2	2	2777.0	.261	.621	.656s	(1.000)		43.1	317.3	3	24

2.2 曲げ強度試験及び圧縮強度試験

前述の柱状供試体について、10cm間隔の3等分点載荷を行ない破壊時の曲げモーメントから強度を算定した。また、圧縮強度試験は、曲げ強度試験の終了した供試体を75×75mmの加圧板にはさんで行ない平均値を測定値とした。

2.3 衝撃試験

前述の柱状供試体をコンクリート床上に置いたフレームの上に単純支持の状態セットし、上面中央にプラスチック円筒をガイドとして直立させ、上辺2mから鋼球(直径4.6mm, 重量41.0gr)を円筒中を通って繰り返し落下させた。肉眼による可視亀裂の発生時を処女亀裂発生衝撃回数とし、供試体が分離又は底辺を床に接触させた時を破壊回数として記録した(底辺に接触する迄、約28mm)。

3. 実験結果と考察

測定結果を試料番号について示すと表2のようである。摩耗試験における摩耗率を(1.000)と記入されたものは、その区間にドラム内の試料片がすべて20mmフルイを通過するように小さくなつてしまつたことを示す。これらの数字に付した記号は、s(for split)が割裂、v(for vanish)が粉体となつて消滅したことを示す。この表にみるように、sやvの出現に伴ない実験結果が不安定となり、同一条件下の供試体にも差が大きくなる傾向がある。これらの結果を区間毎に分散分析すると表3のようである。第3区間以降では(1.000)が見られるので、数値の変動の契機や傾向を見ることにし、分散分析を第3区間迄示す。供試体は、最初の立方体から逐次丸味を帯びて粉体に近づくので、各区間の主たる摩耗メカニズムに差が生じる。

第1区間と第2区間との間における主効果のF値の変化は著しく、供試体の角の部分の破壊と球表面の摩耗とに差のあることが窺われる。材令28日程度では養生環境の影響が強く、他の因子を支配することが見られ、水準の幅が過大であったと思われる。試料状態をSFR Cについて見ると、No. 9～No. 12ではSFが植毛された

表-3 摩耗率の分散分析表

因子	df	第1区間 (500回転)			第2区間 (501~1000回転)		
		ms (×10)	F 値	判定	ms (×10)	F 値	判定
F (SF量)	1	75.72	4.01		74.40	9.20	※
E (養生)	1	565.20	29.96	※※	701.15	85.69	※※
C (セメント)	1	349.62	18.53	※※	191.19	23.40	※※
F×E	1	0.41	0.02		12.71	1.56	
F×C	1	96.64	5.12	※	2.81	0.34	
E×C	1	81.67	4.33		2.81	0.34	
誤差	9	18.87			8.17		

ように残り、No. 13～No. 16では脱け落ち、SFの所が細孔として残る。

実験シリーズ毎にdf(自由度)の総計は15とし、F検定において判定を行ない、1%危険率、5%危険率で有意となつた時にそれぞれ※※及び※を付す。

第1区間における摩耗率について有意因子の主効果グラフを描くと図1～2, 第2区間について図3～6のようである。供試体の形状が角張っている段階では、単位セメント量の増加が、SFの耐摩耗機能を生起させていることが見られる。良好な養生条件で硬化したSFR CはSFを残してコンクリート部が脱落し、SFによる緩衝材料として機能することが観察された。試験結果が時間(回転数)によつて変化するため、測定目的によつて回転数を限定しなければならない。第1区間では、ドラム内での試料の落下による影響が大きいように思われたが、衝撃試験よりも圧縮や曲げの試験に相関性の高い結果を得た。

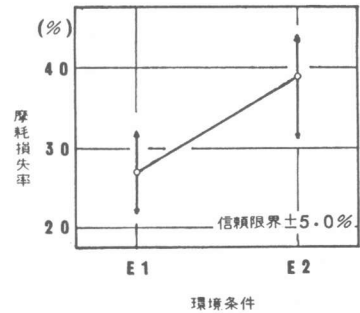


図-1 環境条件と摩耗損失率の効果グラフ

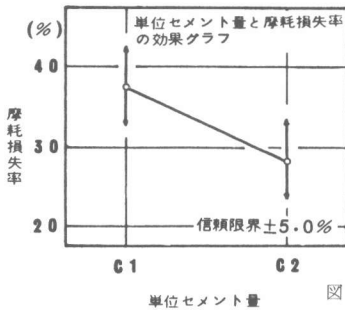
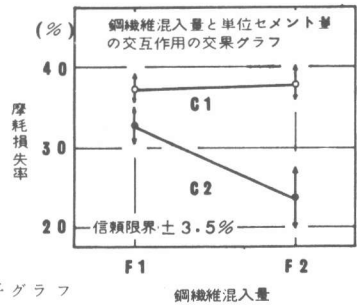


図-2 第1区間の有意因子グラフ



第2区間の主効果グラフ

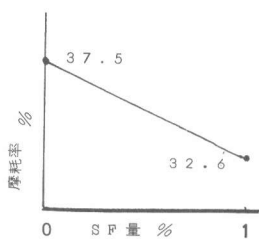


図3 鋼繊維の影響

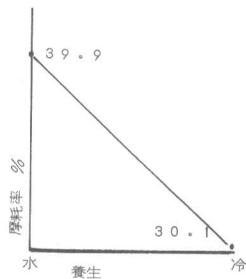


図4 養生環境の影響

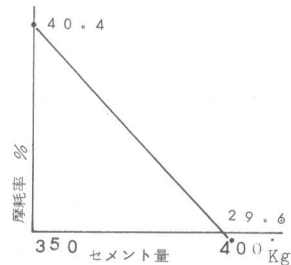


図5 単位セメント量

材料試験の有意検定については表4に示めす。有意因子について主効果グラフを示めすと図6-9のようである。それぞれのシリーズで、特有の有意因子を持ち、破壊メカニズムの相異を窺がわせる。

因子	df	曲げ強度試験			圧縮強度			衝撃試験 (亀裂発生)			衝撃試験 (破壊時)		
		ms	F value	**	ms	F value	**	ms	F value	**	ms	F value	**
F	1	273.6	18.9	**	1696.0	33.6	**	45.6	36.3	**	1936.0	39.3	**
E	1	771.7	53.2	**	69469.	121.1	**				72.3	1.5	
C	1	34.3	2.4		8548.	17.1	**	5.1	4.0	*			
error		52.5	df=10		5990.	df=12		1.3	df=13		49.2	df=12	

第2区間の摩耗率と他の試験の相関は表5に示す。

表4-材料試験の分散分析と因子の有意判定表

摩耗率と圧縮強度に高い負の相関が見られる。ロサンゼルス試験のような、供試体に衝撃が加えられる摩耗も、測定値の有意因子は圧縮強度と同一になる。従って、SFRCの摩耗抵抗の推定は、一軸圧縮強度によって可能であることが窺がえる。また、衝撃抵抗は他の性質との相関が低く、ほぼ独立的にSF混入量で支配される。

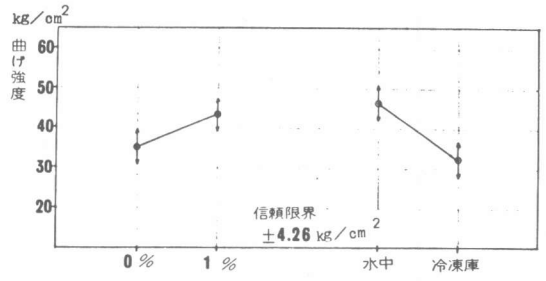


図-6 曲げ強度と鋼繊維混入量及び養生条件との関係

4. 結論

(1) 衝撃摩耗を受けるSFRCでは養生の影響が大きく、若材令時の凍結融解が大きく摩耗抵抗を下げる傾向がある。

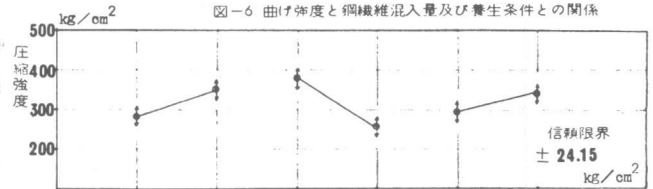


図-7 圧縮強度と鋼繊維混入量及び養生条件及び単位セメント量との関係

(2) SFRCの摩耗抵抗の主効果は圧縮強度により推定することができる。

(3) SFRCの摩耗シミュレーションは適当な前処理として一定回転数で摩耗させた後、ロサンゼルス試験の準用により安定した試験結果を得ることができる。

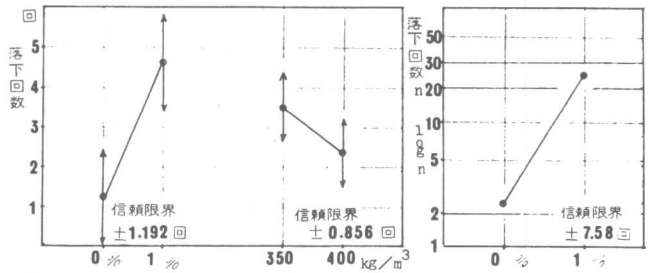


図-8 ひび割れ発生時における落下回数と鋼繊維混入量及び単位セメント量との関係

(4) SFRCの衝撃抵抗は、他の性質と異なる影響因子を持つようであり、同一ポテンシャルエネルギーの繰り返し衝撃に対する抵抗値はSF混入により飛躍的に改善される。

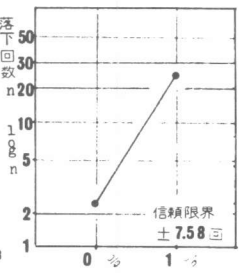


図-9 破壊時における落下回数と鋼繊維混入量との関係

(5) 本実験の水準範囲内で圧縮強度と摩耗率

とθ関係は図10のような直線関係にあるようである。

表5-各試験の相関係数の一覧表

	曲げ試験	圧縮試験	衝撃 (亀裂)	衝撃 (破壊)
摩耗試験	0.802	0.921	0.099	0.371
曲げ試験		0.861	0.304	0.488
圧縮試験			0.270	0.511
衝撃 (亀裂)				0.700

1) 犬塚他「鋼ファイバーコンクリートの諸性質について」土木学会

第3/回年次講演会講演概要集 第5部 81-82 昭和51年10月

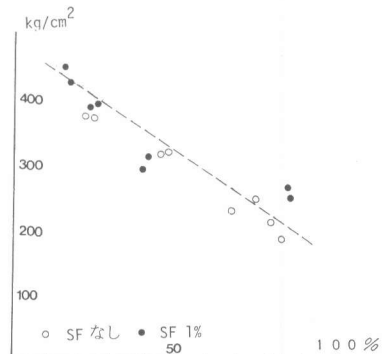


図-10 摩耗率と圧縮強度の関係