

V-5 コンクリートの摩耗機構に関する研究(その3)

北海道工業大学工学部 正員 堀口 敬
 " 広谷 昌紀
 " 原 智光
 " 松本 勝弘

1. はじめに

本研究は、脆性材料に対して大きなダメージを与える表面摩耗に関するセメント系コンクリートの摩耗挙動を検討し、その摩耗機構を解明することを主目的としている。前々報¹⁾では、コンクリート系複合材料の摩耗は、マトリックスの摩耗がインクルージョンの摩耗に先行すること、そのマトリックスの摩耗量は、水セメント比と直線関係があることおよび各種の繊維補強がマトリックスの耐摩耗性の向上に有効であること等を報告した。更にコンクリートの摩耗に関しては、表面骨材率および粗骨材の最大粒径が大きく影響することを報告した。前報²⁾では、統計的手法を用いてコンクリートの配合因子に関する有意性を検討し、マトリックスの耐摩耗性の向上に対して繊維およびシリカフェームの混入が有効であることを報告した。本報告では、上述した繊維とシリカフェームに関する更に詳しい耐摩耗性に関する検討を行ったものである。

2. 実験概要

表-1 繊維補強モルタルの因子と水準

2.1 配合計画

本報告では、まず繊維の混入率、形状あるいは材質がどのように繊維補強モルタル(以下FRMと呼ぶ)の耐摩耗性に影響するかを検討するために20種類の配合を使

因 子	水 準				
	1	2	3	4	5
繊維の種類 Tf	鋼繊維 (A) φ0.55x30mm	鋼繊維 (B) φ0.55x15mm	ポリエチレン繊維 (A) φ0.8x30mm	ポリエチレン繊維 (B) φ0.5x40mm	アラミド繊維 (B) φ12μx6mm
繊維の混入率 Vf(%)	0.5	1.0	1.5	2.0	—

用して摩耗試験を行った。その因子と水準を表-1に示す。各種類の配合に関して供試体は、3本作成しその平均値で検討を行うこととした。更にシリカフェームの混入がどのようにコンクリートの耐摩耗性に影響するかを検討する目的で、シリカフェームのセメントに対する代替率を0%から30%まで変化させたコンクリートの配合における摩耗試験を実施した。なお繊維補強モルタルの場合の水セメント比は全て45%とし、セメント細骨材比(c:s)を1:2とした。シリカフェーム混入コンクリートの場合は、水セメント比を40%、細骨材比(s/a)を40%とし粗骨材の最大粒径を15mmとした。

2.2 使用材料

セメントは普通ポルトランドセメントを使用した。モルタル中に混入した補強短繊維は、鋼繊維A,B,ポリエチレン繊維A,B,およびアラミド繊維の5種類である。その詳しい形状は、表-1に示す。また混和材として国産シリカフェーム(18~20m²/g, SiO₂含有量90%以上)を、減水剤はナフタリンスルホン酸塩が主成分のものを、骨材については日高産の川砂、川砂利を使用した。

2.3 供試体の作製

練り混ぜたモルタル、およびコンクリートは、型枠に各々突き棒で突きながら打設し、テーブルバイブレータで外側から締め固め表面仕上げはコテで入念に行った。打設後のモルタル及びコンクリート供試体は、材令1日で脱型し、その後気乾養生し、実験日の前日に摩耗供試体を水中にいれ材令28日で実験を行った。気乾養生は室温20℃、湿度60%以上の恒温室で行った。また摩耗試験に用いる供試体は、直径15cm厚さ5cmの円柱供試体を用い同一供試体を3本用意した。

2.4 実験方法

摩耗試験機は、供試体を3本のアームにより試験機の中央に固定し水を充填し上下運動させることにより中にある8個の金属球(φ14mm)で供試体表面を損傷させる構造となっている。振動数は8Hzで振幅は25mmである。摩耗損失量の測定は、ピペットを用いて入念に水を注入して行い、その体積をコンクリートの摩耗損失量とした。平均摩耗速度は摩耗損失量を摩耗表面積で除したものである。また、平均摩耗速度は、単位時間当りの平均摩耗深さであり、試験時間60分における平均摩耗深さとした。

3. 実験結果

3.1 FRMの実験結果

FRMの摩耗試験、圧縮試験、曲げ試験の実験結果をまとめると表-2になる。圧縮試験、曲げ試験はJIS R 5201に準じて実施し3本の供試体の平均を示した。FRMの耐摩耗性の指標(S_{fu})が繊維混入率とアスペクト比との積で表されるとき、FRMの平均摩耗速度(W_{frm})は次式で表すことができる³⁾

$$W_{frm} = W_m (1 - S_{fu}) \quad \dots (1)$$

ここで W_m はモルタルの平均摩耗速度で、水セメント比によりほぼ決定される値である。また S_{fu} は、

$$S_{fu} = C_1 [V_f \cdot l / (\pi \cdot d)]^{C_2} \quad \dots (2)$$

で示され C_1, C_2 は定数である。

図-1は、 S_{fu} と $V_f \cdot l / (\pi \cdot d)$ の関係を示した図である。

表-2 繊維補強モルタルの実験結果

No.	Tf	Vf	平均摩耗深さ (mm)			圧縮強度 (Mpa)	曲げ強度 (Mpa)
			15min	30min	60min		
1	1	1	1.394	2.680	4.607	44.347	9.626
2	1	2	1.408	2.603	4.263	42.807	11.002
3	1	3	1.335	2.622	4.306	47.145	11.638
4	1	4	1.107	2.229	3.656	50.965	14.730
5	2	1	1.408	2.559	4.738	50.030	5.563
6	2	2	1.228	2.486	4.389	50.723	5.663
7	2	3	1.263	2.524	4.306	53.041	6.020
8	2	4	1.175	2.268	4.199	52.190	6.516
9	3	1	1.461	2.748	4.714	40.723	8.853
10	3	2	1.296	2.393	4.374	40.918	9.177
11	3	3	1.370	2.345	4.035	42.587	9.397
12	3	4	1.238	2.316	3.787	44.209	9.317
13	4	1	1.245	2.404	4.238	42.807	5.446
14	4	2	1.114	2.316	4.107	41.317	5.492
15	4	3	1.107	2.258	4.027	41.667	6.865
16	4	4	1.063	2.170	3.605	42.816	6.003
17	5	1	1.490	2.734	4.384	40.766	9.593
18	5	2	1.311	2.534	4.355	40.638	10.290
19	5	3	1.566	2.637	4.064	44.066	10.356
20	5	4	1.092	1.923	3.379	41.276	11.423

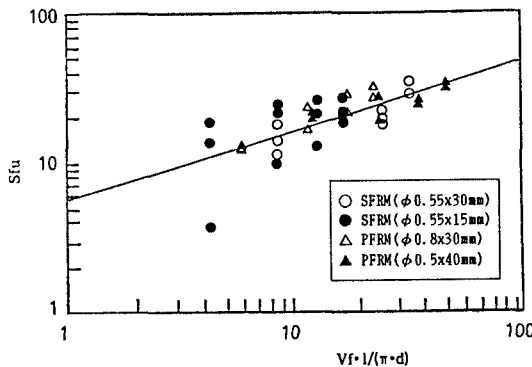


図-1 S_{fu} と $V_f \cdot l / (\pi \cdot d)$ との関係

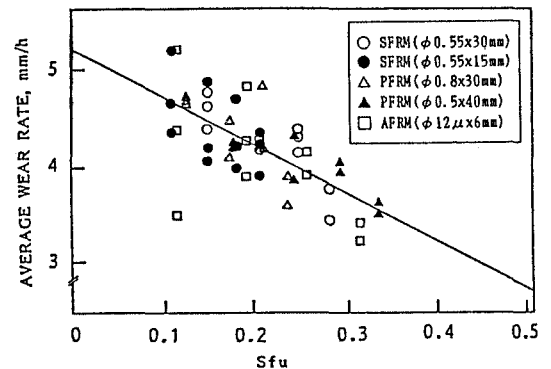


図-2 平均摩耗速度と S_{fu} との関係

図-1の結果を用いて(2)式の C_1, C_2 を計算すると $C_1=0.463, C_2=0.455$ が得られた。アラミド繊維の場合は、鋼繊維とポリエチレン繊維とによる(2)式の関係とは異なった結果となった。これは鋼繊維、ポリエチレン繊維に比較してアラミド繊維の径が非常に小さいために三次元的にランダムな分散性が得られなかったことにも起因するものと考えられる。このため、アラミド繊維のみの C_1, C_2 を計算すると、 $C_1=0.139, C_2=0.723$ となった。図-2は、本実験で求められた W_{frn} を縦軸に取り、 S_{fu} を横軸に表した図である。この図から S_{fu} の増加にともない W_{frn} は直線的に減少することがわかる。

図-3は、2種類の長さ異なる同径の鋼繊維を用いた繊維補強モルタルの摩耗試験結果を示したものである。図から実測値と推定値とはほぼ一致しているがアスペクト比の大きい鋼繊維の場合は高い繊維混入率において実測値と推定値に多少のバラツキが見受けられる。

図-4は、アスペクト比が異なるポリエチレン繊維補強モルタルの摩耗速度の推定値と実測値の比較を表したものである。実測値は、ほぼ推定値と一致しているが、アスペクト比が小さく、かつ繊維混入率が高い場合は実測値と推定値の差が大きくなるがわかる。

図-5は、アラミド繊維補強モルタルに関する図である。実測値と推定値は、ほぼ一致するが、全体的にバラツキも大きい。

各FRMの耐摩耗性を比較するため繊維混入率2%のFRMの平均摩耗速度が同配合の普通モルタルのそれに対してどの程度の耐摩耗効果を示すかを計算すると鋼繊維Aで32.1%、鋼繊維Bで22.0%の減少となり、ポリエチレン繊維では、Aで29.6%、Bで33.0%となる。アラミド繊維については、37.2%減少した。つまり繊維混入率と同じ場合では、アスペクト比が最も大きいアラミド繊維が高い耐摩耗性を示すことになる。

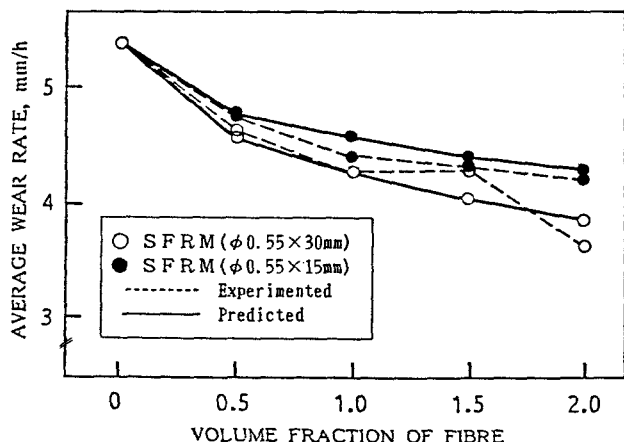


図-3 FRMの平均摩耗速度と繊維混入率との関係(鋼繊維)

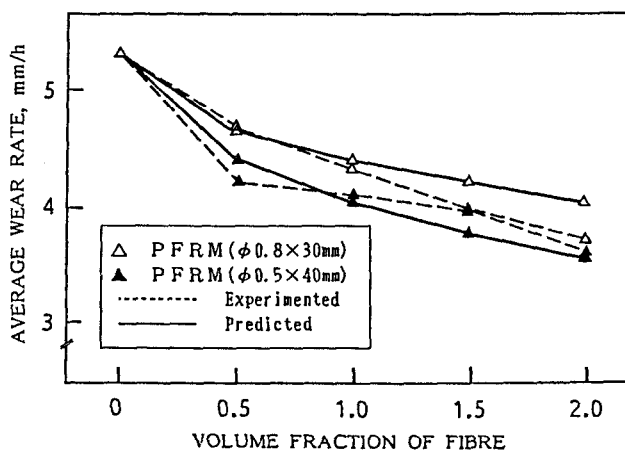


図-4 FRMの平均摩耗速度と繊維混入率との関係(ポリエチレン繊維)

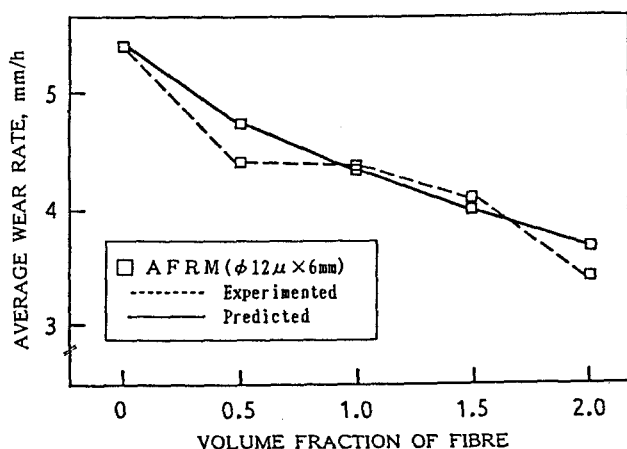


図-5 FRMの平均摩耗速度と繊維混入率との関係(アラミド繊維)

3.2 シリカフェーム混入コンクリートの実験結果

シリカフェーム混入コンクリートの実験結果を、平均摩耗速度、圧縮強度、および曲げ強度についてまとめたものが表-3である。平均摩耗深さは、モルタルと同じく15分、3

0分、60分ごとの摩耗損失量を摩耗表面積で除して用いた。この試験結果から平均摩耗速度とシリカフェーム混入率についてまとめると図-6になる。

平均摩耗速度は、全体的にはシリカフェームの混入率の増加にともない低下する傾向がみられるが、10%では普通コンクリートとほぼ同程度であり、30%においては逆に20%と比較して増加する傾向がみられた。今回の実験の範囲内では、シリカフェームのセメントに対する代替率が20%のとき平均摩耗速度が最小となった。この値は、普通コンクリートの約70%程度の値である。

表-3 シリカフェーム混入コンクリートの実験結果

シリカフェーム混入コンクリート		平均摩耗深さ (mm)			圧縮強度 (Mpa)	曲げ強度 (Mpa)
No.	SF混入率 (%)	15min	30min	60min		
SF-0	0	1.161	2.233	3.758	41.424	4.442
SF-10	10	1.097	2.141	3.763	49.757	5.173
SF-20	20	0.836	1.442	2.739	52.718	5.224
SF-30	30	0.932	1.874	2.952	53.075	4.494

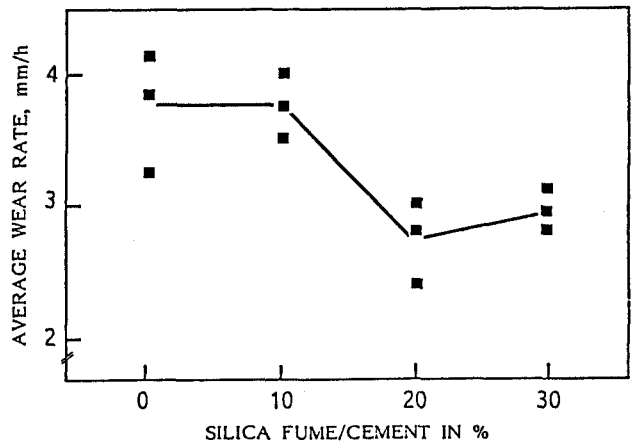


図-6 平均摩耗速度とシリカフェーム混入率との関係

4. まとめ

本報告は、コンクリートの摩耗機構を説明するために繊維およびシリカフェームがモルタル、コンクリートにどのような影響を与えるかを検討した。その結果をまとめると次のようになる。

- (1) 繊維補強モルタルの耐摩耗性は、繊維混入率の増加にともない向上することが明らかになった。
- (2) 繊維補強モルタルの繊維混入率が等しい場合は、アスペクト比の大きい繊維を用いた方が耐摩耗性に対して効果的であることが判明した。
- (3) アラミド繊維補強モルタルは、耐摩耗性に優れた効果を示すことが判明したが、マトリックス中に繊維を均等に分散するためには注意が必要である。
- (4) シリカフェームの混入はマトリックスの耐摩耗性を向上させることに対して効果的である。セメントに対する代替率が20%のとき最適値をとり、この時同配合の普通コンクリートの約30%の耐摩耗性の改善効果があった。

《参考文献》

- 1) 堀口, 長野, 渡辺: コンクリートの摩耗機構に関する研究(その1), 土木学会北海道支部論文報告集, 第41号, PP. 604-609, 1984.
- 2) 堀口, 安保, 佐々木: コンクリートの摩耗機構に関する研究(その2), 土木学会北海道支部論文報告集, 第42号, PP. 465-470, 1985.
- 3) T. HORIGUCHI: SURFACE FATIGUE WEAR OF FIBRE REINFORCED CONCRETE, Proc. of First International Congress, Paris, 1987. (投稿中)