

鋼繊維補強モルタルの曲げ試験と鋼繊維補強コンクリートの摩耗試験

北海道工業大学 正員 犬塚 雅生
 正員 畑中 裕
 正員 坂口 敬
 学生員 道端 雅昭
 学生員 三井 喜一

1 まえおき

本研究は、プレーンコンクリートに対して、鋼繊維補強コンクリートが、どの程度有効であるか、また骨材の品質や単位セメント量などの材料と配合条件と養生の条件がタイヤチェーンにより、鋼繊維補強コンクリート舗装に及ぼす、すりへり性状がどうであるか等について研究したものであり、鋼繊維補強モルタルの曲げ性状と、鋼繊維補強コンクリートの摩耗性状とを行なったものである。取り上げた因子は鋼繊維混入量(モルタル、コンクリート容積に対する混入率)、方向性等である。鋼繊維混入によりモルタルやコンクリートの曲げ強度、変形能力、乾燥収縮、ひびわれなどの改善に関して、これまで多くの研究が行われているが、本実験では、取り上げた鋼繊維についてモルタルの曲げ強度向上のためと鋼繊維補強コンクリートの最適配合をみいだすこと及び摩耗量の減少を主眼とする。これは寒冷地での道路における輪打ちぼれや、タイヤチェーンやスバイクタイヤなどによる路面のすりへり防止への応用に着眼したものである。

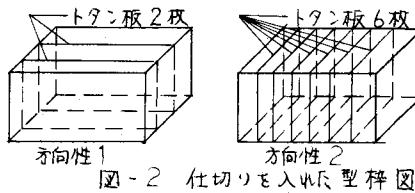
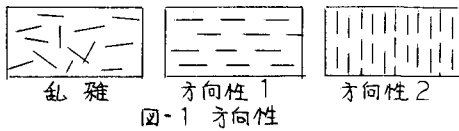
2 試験方法

1) 鋼繊維補強モルタル試験

本試験は実験計画法に基づき、表-1のように主要因子水準を取り上げ直交表L₂₇(表-2)を組み解析を行なった。セメントは日鉄普通ポルトランドセメントを用い、細骨材は標準砂を用いた。鋼繊維は住友ISファイバーを用いた。モルタルの配合は単位セメント量は50kgとし、セメント骨材比は1:2とし表-1の因子及び水準により、配合した。モルタルの練りませは手練りで行い、ファイバーボールが出来ないように鋼繊維を手でほぐしながら、モルタル中に十分に均等に分散するように混ぜ合せた。供試体は4×4×16cmの3連角柱供試体とし、掃固めは一層に詰込み、バイブレーター振動機を用い10秒間振動掃固めを行ったのち、にてでならした。成型した供試体を材令1日で脱型し、材令14日まで、水中養生(水温20°C±2°C)とし、曲げ試験は中央載荷法とした。方向性の各水準については、図-1のようにした。3種類の方向性をとるために図-2のように、トタン板で仕切りを行なった。

因子	1	2	3
鋼繊維量 F	0%	2%	4%
方向性 A	乱雑	方向性1	方向性2
水セメント比 E	50%	55%	60%

表-1 モルタル曲げ試験の因子及び水準



NO	F	A	E
1			1
2	1	1	2
3			3
4			1
5	1	2	2
6			3
7			1
8	1	3	2
9			3
10			1
11	2	1	2
12			3
13			1
14	2	2	2
15			3
16			1
17	2	3	2
18			3
19			1
20	3	1	2
21			3
22			1
23	3	2	2
24			3
25			1
26	3	3	2
27			3

表-2 L₂₇直交表

2) 鋼繊維補強コンクリート摩耗試験

2種の鋼繊維(実験1として住友ISファイバー、実験2として日本鋼管TESUSA)とについて6因子3

水準を取り上げ直交表(表-3)を細め解析した。配合は単位セメント量を350kgとし、表-4の因子及び水準により配合した。コンクリートの練りませは曲げ試験と同様に行った。供試体は5×15×40cmの角柱供試体とし、成型した供試体は材令2日で脱型し、材令28日まで気

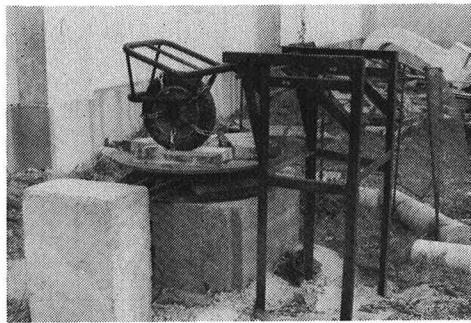


写真-1 摩耗試験機

乾(18°C)、水中(水温20°C±2°C)、凍結融解(12時間+10°C、12時間-20°Cを1サイクル)し、摩耗試験を行った。摩耗試験機は写真1に示すようなものを製作した。回転速度は約60^{km}/hrとし20分間で1、07万回転とした。タイヤは13×3.00を使用し、チェーンは5本を等間隔に配した。タイヤ空転圧は1.0^{kg}/cm²とし、載荷重量は5kgとした。

因子	水準		
	1	2	3
繊維量 F	0%	2%	3%
骨材比 A	1:2	1:3	1:4
最大粒径 E	10 ^{mm}	15 ^{mm}	20 ^{mm}
AE剤 D	0%	3%	6%
水セメント比 C	50%	55%	60%
養生 B	気乾	水中	凍結融解

表-4 摩耗試験の因子及び水準

NO	F	A	E	D	C	B
1						
2	1	1	1	1	1	1
3						
4	1	2	1	2	2	2
5						
6	1	3	1	3	3	3
7						
8	1	3	2	2	2	2
9						
10	2	1	1	1	2	3
11						
12	2	2	1	2	3	1
13						
14	2	2	2	3	2	2
15						
16	2	3	1	3	1	2
17						
18	2	3	2	2	2	3
19						
20	3	1	2	2	1	2
21						
22	3	2	1	3	1	3
23						
24	3	2	2	3	2	1
25						
26	3	3	1	3	2	1
27						

表-3 L₂₇直交表

3 試験結果ならびに考察

1) 曲げ試験

実験の結果、曲げ強度は表-5に示す値である。分散分析表は表-6、主効果グラフは図-3である。分析の結果から、3因子のうち方向性が有意となり、乱雑と方向性1が高い強度を示した。過去のデータ(※2)からは方向性1が高い強度を示しているが、本実験では乱雑と方向性1との強度を比較して顕著な差は認められない。その原因として、供試体のモルタル打設後バイブレーターに鋼繊維が沈殿したため、引張側の繊維混入率が4%をこえ横方向繊維が軸方向繊維を拘束して強度を増加させた事と、繊維長に比して供試体寸法が十分でないことによると考えられる。鋼繊維を混入することによって、従来のモルタルよりも曲げ強度は約2倍の強さを示した。鋼繊維量を5%入れた予備試験では、練りませのときに鋼繊維がからみあって、ファミリーボールができ強度が低下した。

要因	平方和	S ²	自由度	平均平方和	V	F=V ₀ /V _e	因子寄与率 P
F	2316.78	2	1158.39	1.19	10.13%		
A	11683.44	2	5841.72	5.99	51.11%*		
E	2611.98	2	1305.99	1.34	11.43%		
ExF	8590.97	4	2147.74	2.20	18.79%		
e'	15615.91	16	975.99		8.54%		

表-6 曲げ試験の分散分析表

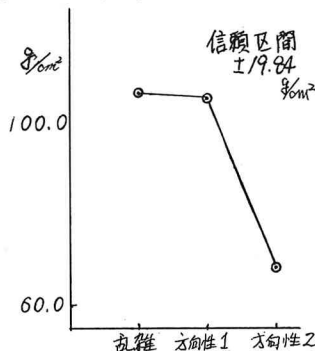


図-3. モルタル曲げ強度と混入繊維の方向

NO	曲げ強度 ^{kg} /cm ²
1	80.61
2	125.77
3	79.87
4	67.22
5	79.26
6	94.27
7	76.19
8	79.19
9	64.84
10	100.04
11	106.76
12	135.70
13	117.91
14	100.37
15	180.08
16	70.22
17	63.23
18	59.99
19	105.73
20	165.49
21	113.36
22	104.48
23	211.87
24	44.72
25	56.90
26	61.21
27	68.75

表-5

曲げ強度

2) 摩耗試験

摩耗実験1, 2の結果は表-7に示す。実験1の分散分析表は表-8に示す。実験1において有意となった繊維量、骨材比、AE剤、水セメント比、養生については、主効果として図4~8に示す。摩耗実験2の分散分析表は表-9に示す。これにより水セメント比と養生が有意となり主効果

グラフは図-10, 11に示す。特に鋼繊維量を図-9に示した。これらのグラフは摩耗量を示しているのど、値の低い程、良い結果を持っている。双方の結果より鋼繊維量を増大することにより、摩耗量の減少は、より表われている。特に実験1, 2において鋼繊維混入率3%に良い結果を得た。またAE剤を3%入水ると摩耗量は減少を示し、水セメント比は50%が良い値を出した。写真2, 3のようになる。

NO.	実験1	実験2
1	0.062	0.025
2	0.092	0.083
3	0.225	0.149
4	0.108	0.067
5	0.278	0.250
6	0.091	0.027
7	0.213	0.198
8	0.039	0.046
9	0.045	0.065
10	0.199	0.159
11	0.052	0.049
12	0.065	0.065
13	0.087	0.049
14	0.116	0.044
15	0.235	0.130
16	0.076	0.040
17	0.311	0.089
18	0.056	0.055
19	0.090	0.067
20	0.013	0.080
21	0.060	0.082
22	0.137	0.131
23	0.067	0.038
24	0.083	0.065
25	0.036	0.032
26	0.102	0.089
27	0.162	0.094

表-7 鋼繊維補強コンクリートの摩耗量

要因	平方和	自由度	平均平方和	$F = \frac{V}{V_e}$	因子寄与率
F	0.017316	2	0.008658	9.67	11.49%
A	0.007525	2	0.003763	4.20	4.99%
E	0.000231	2	0.000116	0.13	0.16%
D	0.013905	2	0.006953	7.77	9.23%
C	0.012771	2	0.006386	7.14	8.47%
B	0.097164	2	0.048582	54.28	64.47%
e'	0.012529	14	0.000895		1.19%

表-8 摩耗実験1 分散分析表

要因	平方和	自由度	平均平方和	$F = \frac{V}{V_e}$	因子寄与率
F	0.003906	2	0.001953	2.77	5.69%
A	0.000450	2	0.000225	0.32	0.66%
E	0.000099	2	0.000050	0.07	0.15%
D	0.003474	2	0.001737	2.46	5.06%
C	0.009954	2	0.004977	7.06	14.50%
B	0.047214	2	0.023607	33.49	68.76%
ExF	0.004305	4	0.001076	1.59	3.13%
e'	0.007050	10	0.000705		2.05%

表-9 摩耗実験2 分散分析表

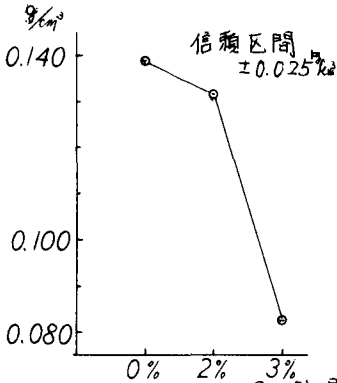


図-4 コンクリート摩耗量と混入繊維量

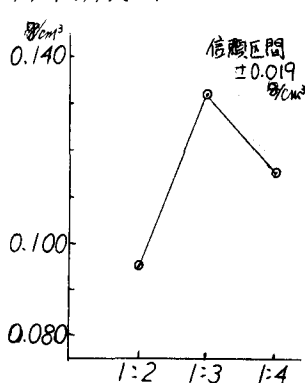


図-5 コンクリート摩耗量と骨材比

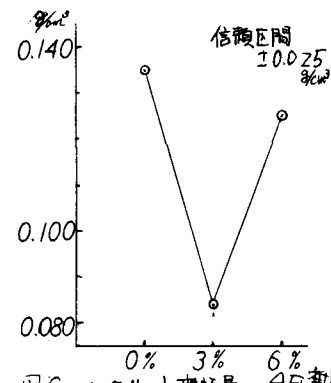


図-6 コンクリート摩耗量とAE剤

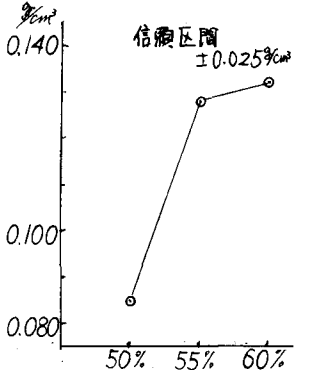


図-7 コンクリート摩耗量と水セメント比

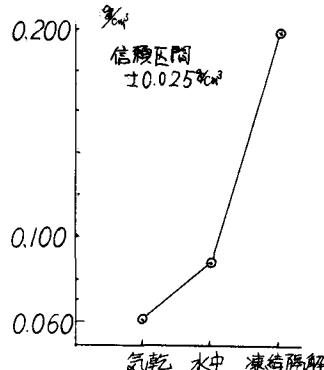


図-8 コンクリート摩耗量と養生条件

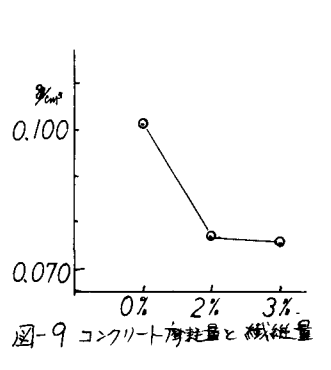
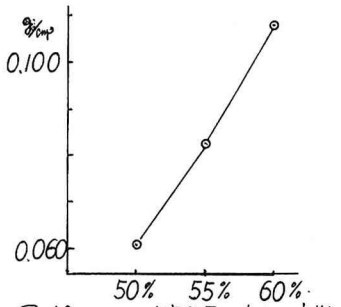


図-9 コンクリート摩耗量と繊維量



信頼区間
 $\pm 0.018 \%_{cm^2}$

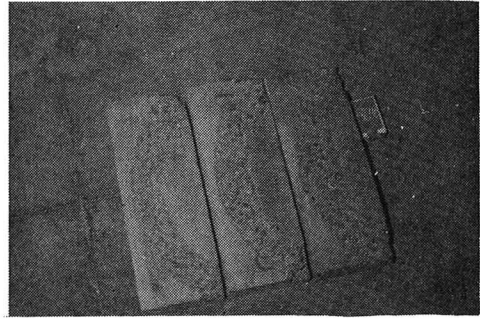
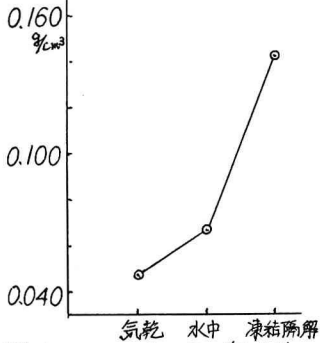


図-10 コンクリート磨耗量と水セメント比



信頼区間
 $\pm 0.024 \%_{cm^2}$

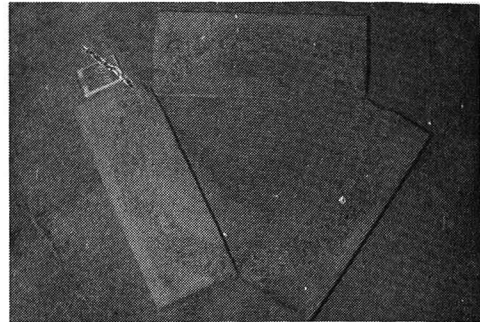


図-11 コンクリート磨耗量と養生条件

上-写真2 下-写真3

4 まとめ

- 1) 鋼繊維混入により、モルタルの曲げ強度が増大する。またその混入については軸方向繊維とその拘束繊維について最適量が存在するようである。
- 2) 養生期間における凍結融解は、極めて大きい影響を与える。
- 3) AE剤については、通常コンクリートと同様の影響が見られる。
- 4) 適量の鋼繊維混入により磨耗量が減少する。

5 参考文献

- 1) 田口玄一 「実験計画法 上」 1962年発行 丸善
- 2) 戸川一夫, 荻木謙一 「金属繊維補強モルタルコンクリートの曲げ強度特性」 C.J Vol.12, NO.4 April 1974
- 3) 小林一輔 「繊維補強コンクリート」 コンクリート工学 Vol.15, NO.3, March 1977
- 4) 三和久勝 他 「コンクリート舗装のすりへり抵抗に関する室内試験」 日本道路公団試験所報告第1~第7報