

鋼繊維補強コンクリートの基礎的性状

北海道工業大学 正員 犬塚雅生
正員 堀口敬
正員 原田勝男
学生員 五ノ嵐園
学生員 片山康弘

1 あえがき

モルタルあるいはコンクリートの曲げ引張強度を改善する目的で鋼繊維を、補強材として用いる方法が数年来研究されている。しかしながら鋼繊維補強モルタルコンクリートの強度特性を合理的に示す指標についてはいまだ確立されていない。

モルタルやコンクリートに短い鋼繊維を混入しその強度を改善しようとした研究報告は、わが国では多くの研究がある。特性上、特に耐衝撃抵抗の必要ロケット発射台、耐爆構造物、穿鑿あるいはコンクリートくい、高い曲げ強度あるいはすりへり抵抗を必要とする高速道路、飛行場の滑走路、また引張りひびわれを少なくするための構造物たとえばコンクリートターフ鉄筋が腐食する恐れのある新中構造物、韌性あるいは延性を必要とするはり等の引張部分でスターラップのかわりに利用することが考えられすでに実用に供されている場合もある。

繊維の付着の重要性もわがせない事実であるが、ここでは鋼繊維補強モルタルの鋼繊維の方向性を考慮した曲げ強度と鋼繊維補強コンクリートの圧縮強度及び韌性等を検討したものである。

2 実験方法

2-1 モルタル実験

材料として鋼繊維は市販されている鋼繊維を使用し繊維に付着した油を除去して、その後水で十分に洗浄した。セメントは普通ポルトランドセメントを使用しモルタルミキサーを用い鋼繊維はアレミックス法により練りまぜた。供試体は $4 \times 4 \times 16 \text{ cm}$ の角柱供試体を同一配合につきそれぞれ個用兼し振動締固めを行ない材令14日で実験を行なった。

2-2 コンクリート実験

鋼繊維はモルタルの場合と同様、材料を使用した。

コンクリートの供試体は $10 \times 20 \text{ cm}$ の円柱供試体を同一配合にて2年用免し3層に分けて、振動締固め固めを行なった。供試体は材令1日で脱型し、材令14日まで水中標準養生とし前もって同一配合の供試体を圧縮試験にて破壊しそのらの破壊荷重の60%と90%の荷重を載荷荷重とした。

これによって得られ応力歪曲線において応力サイクル(零応力から、変形を経て再度零応力にもどす)で、描かれるエンベロープカーブで囲まれた面積を韌性の指標とすることにした。

3. 実験計画について

実験順序は乱数表により、決定し、それぞれの因子及び水準は表1,2に示した。

表1の繊維の方向性の水準には乱雑、方向性1、方向性2の3水準をとったが、方向性1は軸方向に平行にとり、方向性2は軸方向に直角にとった。養生方法としてサイクル養生とは冷凍庫で、 $\pm 20^{\circ}\text{C}$ で1日2サイクル養生したものである。

銀繊維混入量は容積比で示した。

モルタル

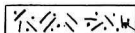
因子及びその水準 表-1

	影響因子	水準1	水準2	水準3
G	銀繊維混入量	0%	1%	2%
H	水・セメント比	58%	50%	42%
E	方向性	乱雑	方向性1	方向性2
F	セメント・細骨材比	1:1	1:2	1:3
D	養生	水中	サイクル	気乾
C	AE剤混入量	0%	3%	6%

乱雑

方向性1

方向性2



銀繊維 *

コンクリート

因子及びその水準 表-2

	影響因子	水準1	水準2	水準3
G	銀繊維混入量	0%	1%	2%
H	水・セメント比	58%	50%	42%
F	セメント・細骨材・粗骨材比	1:1:1	1:1:2	1:2:3
C	AE剤混入量	0%	3%	6%

* 銀繊維方向の拘束は薄トタル板のしきり板を使用した。例へば方向性1に付ては、写真1のようなものである。

表-3 L27 直交表

M	G	H	E	F	D	GD	C	GC
1					/	/	/	/
2	/	/	/	/	2	22	2	22
3					3	33	3	33
4					/	/	2	22
5	/	2	2	2	2	22	3	33
6					3	33	/	/
7					/	/	3	33
8	/	3	3	3	2	22	/	/
9					3	33	2	22
10					/	23	/	23
11	2	/	2	3	2	31	2	31
12					3	12	3	12
13					/	23	2	31
14	2	2	3	/	2	31	3	12
15					3	12	/	23
16					/	23	3	12
17	2	3	/	2	2	31	/	23
18					3	12	2	31
19					/	32	/	32
20	3	/	3	2	2	13	2	13
21					3	21	3	21
22					/	32	2	13
23	3	2	/	3	2	13	3	21
24					3	21	/	32
25					/	32	3	21
26	3	3	2	/	2	13	/	32
27					3	21	2	13

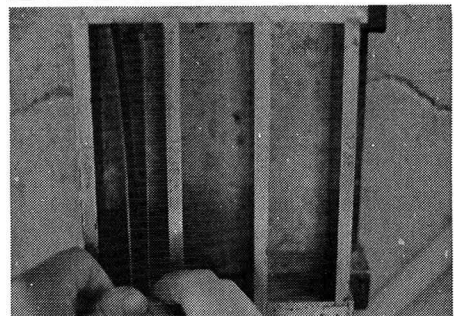
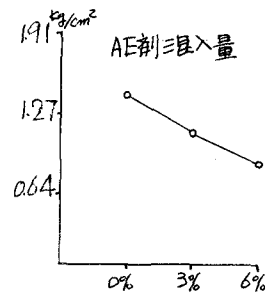
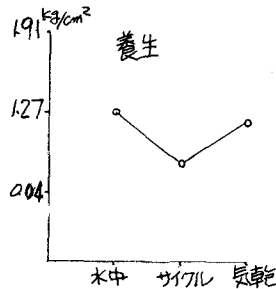
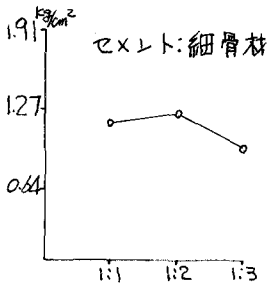
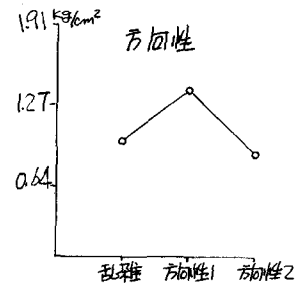
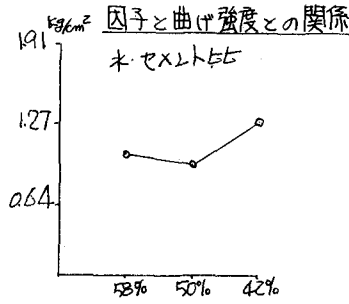
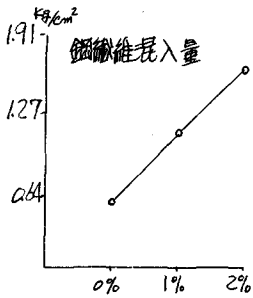


写真1 方向性作業時

4 鋼繊維補強モルタル実験結果



4-1 鋼繊維補強モルタルと曲げ強度に関する考察

影響を与える因子としては含水率27%で鋼繊維混入量が最大となり、ついで方向性(含水率25%)と、AE剤混入量(含水率50%)となり、セメント量(含水率44%)、養生(含水率43%)はほとんど曲げ強度に影響しなかりなかった。

因子と曲げ強度との関係を上図に示すと、鋼繊維補強モルタルの曲げ強度を増加させるには、鋼繊維混入量とセメント量を増加させAE剤混入量を少なくし、方向性を方向性1にして養生を水中養生にし、作業性の劣化の少ない範囲にすると鋼繊維補強モルタルの曲げ強度は向上するように思われる。

しかし、鋼繊維をモルタルに混入する場合、繊維の互いのからみ合いボウリングによって、ワーカビリティ、あるいは繊維の分散性の低下を引き起し、かつモルタル中に気隙を生じやすくする。

これらの低下は強度を減少させる原因となり、また鋼繊維混入量が制限される原因ともなる。実際に鋼繊維混入量を0% 1% 2% 4% とし実験したか、4%の鋼繊維混入量ではワーカビリティが極度に低下するようである。

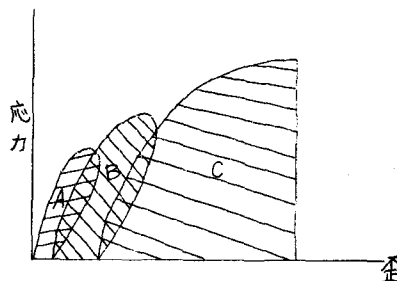
5 鋼繊維補強コンクリート実験結果

鋼繊維補強コンクリートの歪グラフの内部面積は、右図のように60%内部面積、90%内部面積、破壊内部面積として、プランメーターで測定した。

A: 60%内部面積

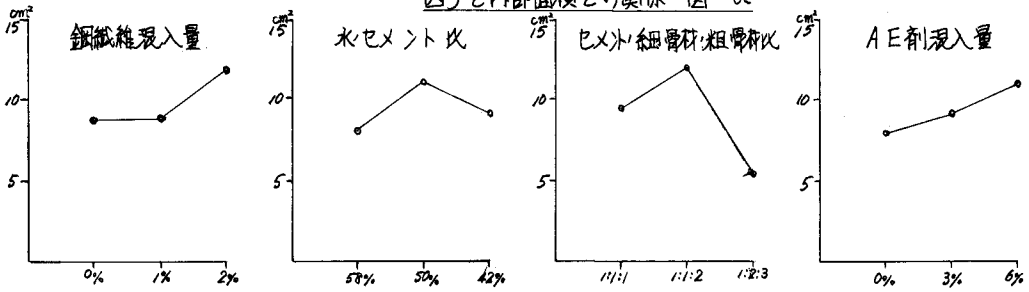
B: 90%内部面積

C: 破壊内部面積



5-1 歪60%内部面積

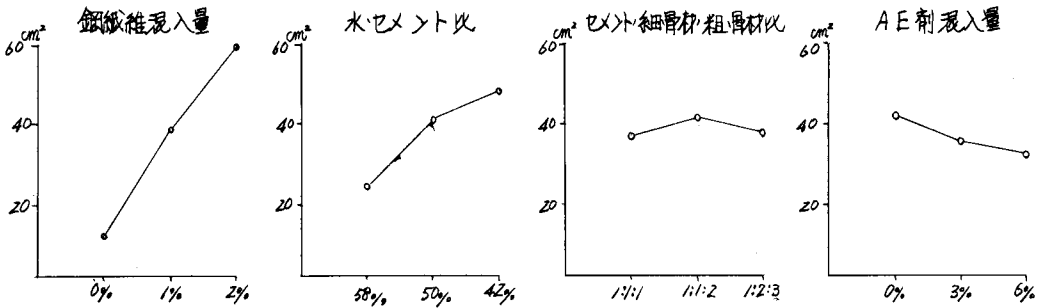
因子と内部面積との関係 図-a



影響を与える因子としては、寄与率16.7%でセメント・細骨材・粗骨材比が最大となりついで鋼鉄比量(5.3%)であることがわかった。水セメント比とAE剤量は寄与率が0%でほとんど歪グラフの内部面積に影響しないことがわかった。主効果と応力歪グラフの内部面積との関係を図aに示すと鋼鉄比量を増加させ水セメント比を50%付近にしセメント・細骨材・粗骨材比を1:1:2にしてAE剤量を増加させると内部面積は増加する。

5-2 歪90%内部面積

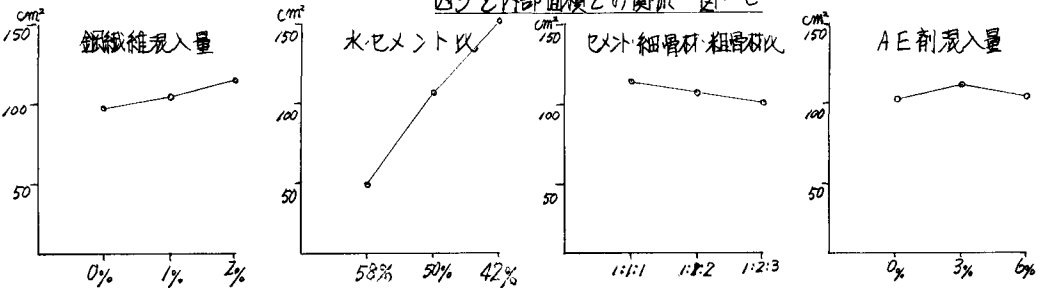
因子と内部面積との関係 図-b



影響を与える因子としては寄与率61%鋼鉄比混入量が最大となりついで水セメント比(寄与率0%)であるがセメント・細骨材・粗骨材比、AE剤量(寄与率0%)がまったく90%の内部面積に影響しないと思われる。図-bに示すように鋼鉄比量の増加にともない内部面積が非常に大きくなっている。水セメント比の減少にともない内部面積は増加する。

5-3 破壊時内部面積

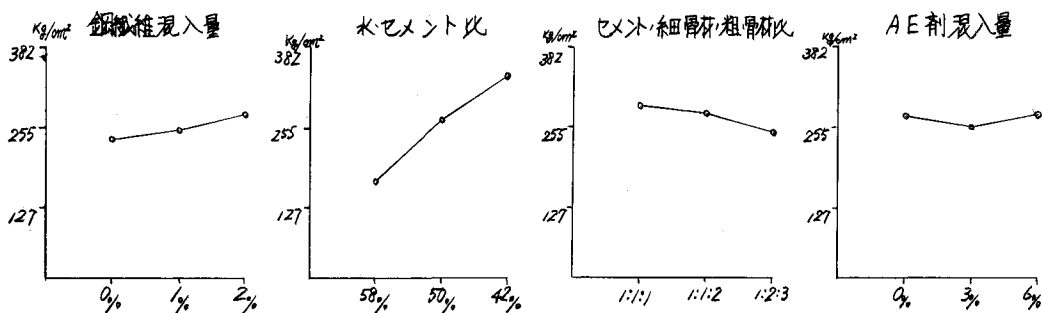
因子と内部面積との関係 図-c



影響を与える因子としては、寄与率48%で、水セメント比が最大となり、鋼繊維混入量(寄与率26%)、セメント：細骨材：粗骨材(寄与率63%)、AE剤混入量(0.5%)となったので、水セメント比以外の因子は影響しないと思われる。主効果と破壊荷重との関係を図-4に示すと、水セメント比を小さくすることによって内部面積が、小さくなり他の因子の増減は内部面積に影響しないことがわかる。

5-4 破壊荷重

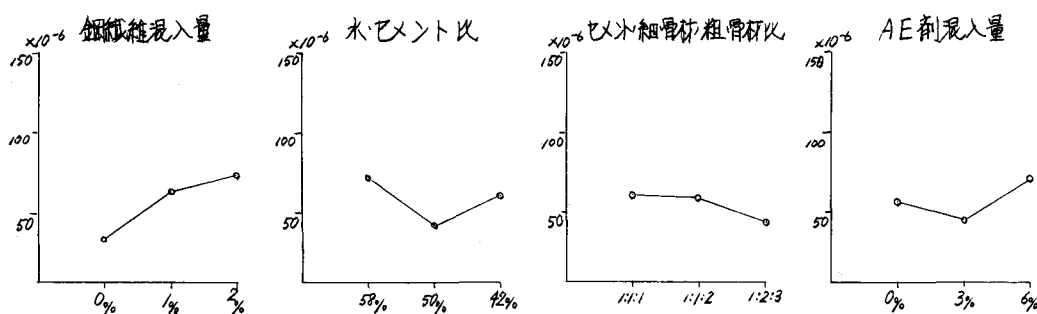
因子と破壊荷重との関係 図-4



影響を与える因子としては寄与率53%で水セメント比が最大となり、鋼繊維混入量(寄与率24%)、セメント：細骨材：粗骨材(寄与率63%)、AE剤混入量(0.4%)となったので、水セメント比以外の因子は影響しないと思われる。主効果と破壊荷重との関係を図-4に示すと、破壊荷重を増加させるのに鋼繊維を増加させ、水セメント比を小さくしてセメント：細骨材：粗骨材を小さくすると破壊荷重を増加させることができると思われる。

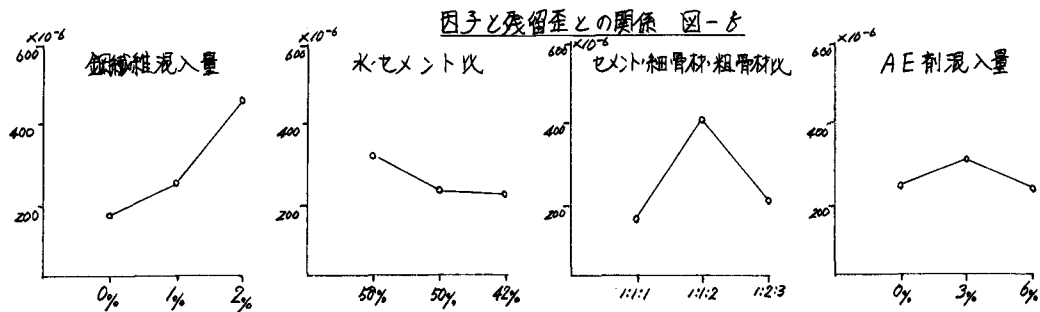
5-5 60%の残留歪

因子と残留歪との関係 図-5



影響を与える要因としては寄与率25%で鋼繊維混入量が最大となりついで水セメント比(寄与率18%)であるが、セメント：細骨材：粗骨材とAE剤混入量は、ほとんど影響しないことがわかった。主効果と残留歪との関係を図-5に示すと、鋼繊維混入量とAE剤混入量を増加すると残留歪が増大すると思われる。また、水セメント比は50%付近で、セメント：細骨材：粗骨材を小さくすると残留歪が小さくなると思われる。

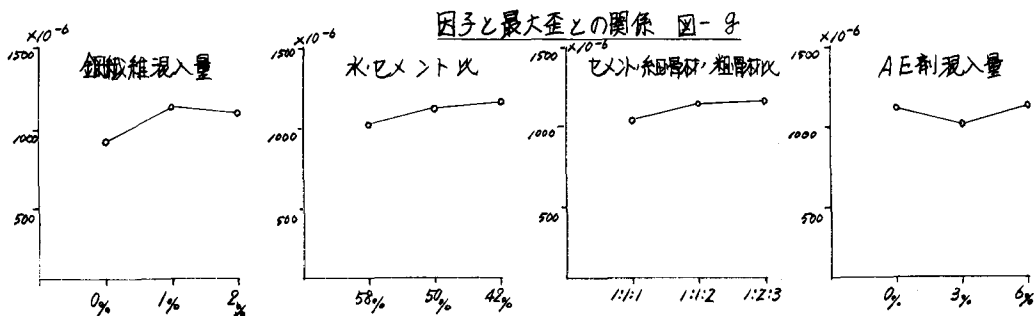
5-6 90%残留歪



影響を与える因子としては寄与率32%で鋼繊維混入量が最大で残りの因子の寄与率は微小となり、こしまったので、ほとんど影響はないと思われる。

主効果と残留歪との関係を図-8に示すと、鋼繊維混入量を増加し水・セメント比を小さくしてセメント：細骨材：粗骨材を1：1：2に取りAE剤量を1%ぐらいにする事によって、残留歪が増える。

5-7 最大歪



影響を与える因子としては、寄与率25%で鋼繊維混入量が最大で残りの因子は0%となり、こしまったのでほとんど影響はないと思われる。主効果と最大歪との関係を図-9に示すと最大歪を増加させるには、鋼繊維混入量、水・セメント比を小さくし、セメント：細骨材：粗骨材を1：2：3にとり、AE剤混入量を1%ぐらいにすることによって、最大歪を増加させることができるようである。

まとめ

以上の結果より考察より鋼繊維の補強によりある程度の曲げ強度の向上が得られたわけであり、鋼繊維の方向性等の拘束には現在のところ施工上の難点があるようである。

鋼繊維補強コンクリートの弾性を判定する1つの基準として、エネルギー損失量を求めたわけであり、S.P.S HAH. の研究結果とほぼ同様な値を示した。

Ref.1: S.P. SHAH "Fiber Reinforced Concrete Properties" ACI JOURNAL
FEBRUARY 1971