

## [60] 鋼繊維混入による軽量コンクリートの耐凍結融解性能の改善

正会員 ○石 田 裕 哉 (岐阜大学大学院)  
 正会員 岩 瀬 裕 之 (岐阜大学工学部)  
 正会員 六 郷 恵 哲 (岐阜大学工学部)  
 正会員 小 柳 洽 (岐阜大学工学部)

## 1. まえがき

本研究は、耐凍結融解性能が普通コンクリートに比べて劣っている軽量コンクリートを対象に選ぶことによって、コンクリートの耐凍結融解性能の改善に及ぼす鋼繊維混入の効果の程度とマトリックスの強度・鋼繊維の寸法と混入量といった改善に適した条件とを、通常の凍結融解試験(300サイクル)によつて比較的短期間に明らかにすることを目的としたものである。また同時に軽量骨材あるいは供試体の乾燥による軽量コンクリートの耐凍結融解性能の改善効果について検討した。

## 2. 実験概要

セメントは早強ポルトランドセメントを使用し、骨材はJシリーズを除く各シリーズにはブレウェッチングした表乾状態の造粒型軽量粗骨材(比重:1.30 含水率:3.8%)および同細骨材(比重:1.95 含水率:8.7%)を使用し、Jシリーズには絶乾状態の造粒型粗骨材および同細骨材を使用した。鋼繊維は、フラット状の $\Phi 1.0 \times 40$ mm(アスペクト比40)、 $\Phi 0.5 \times 30$ mm(同60)を容積比で0.5%あるいは1.0%、また $\Phi 0.3 \times 18$ mm(同60)を容積比で0.5%、1.0%あるいは2.0%混入した。混和剤は、AE剤(Vinsol)と高性能減水剤(Pz.NL-4000)を併用した。使用した絶乾状態の軽量骨材は次のように調整した。まず、表乾状態の軽量粗骨材および細骨材を110℃の乾燥炉に入れ絶乾状態になるまで乾燥させた後に計量を行ない常温になるまで冷却した後にポリ袋に詰めて貯蔵した。なお打設直前に再び計量を行ない重量変化のないことを確認のうえ使用した。実験に用いたA~Nシリーズの配合を表-1に示す。L~Nシリーズは、他のシリーズに比べ富配合としてマトリックスの強度を高めたものである。凍結融解試験および曲げ強度試験用に角柱供試体(10x10x40cm)、圧縮強度試験用に円柱供試体( $\Phi 10 \times 20$ cm)を作製した。Iシリーズを除く各シリーズとも材令1日で脱型し、材令14日まで水中養生を行なった後に凍結融解試験ならびに強度試験に供した。また、各シリーズごとに圧縮および曲げ供試体の荷重変位曲線をX-Yレコーダに記録した(圧縮供試体の検長:18cm、曲げ試験はモーメントスパン10cmの三等分点載荷で載荷点下で変位を測定)。Iシリーズは、材令1日で脱型し材令14日まで水中養生を行なった後に実験室内において供試体の重量がほとんど変化しなくなるまで気中養生を行ない、凍結融解試験1日前に水中に浸漬後、凍結融解試験を開始した。またI、J、Kシリーズは、凍結融解試験途中において一旦凍結融解試験を中断し約2ヶ月間水中に浸漬後、試験を再開した。凍結融解試験方法は、ASTM-C-666A法(水中における急速凍結融解試験法)を用いて凍結最低温度を-18℃、融解最高温度を+5℃とし、1日6サイクルの凍結融解試験を行なった。ほぼ20サイクルごとに凍結融解試験用供試体(各シリーズとも2本)の重量および一次共振たわみ振動周波数を測定した。

## 3. 結果と考察

実測したコンクリートのスランプ、空気量、強度ならびに耐久性指数を表-2に示す。なおL、M、Nシリーズにおいて空気量が小さくなっているのは、マトリックスを高強度化するため空気非連行性の高性能減水剤のみを用いたためである。凍結融解サイクル数と相対動弾性係数の関係を図-1~14に示す。

## (1) 鋼繊維の寸法の影響

圧縮強度300 kgf/cm<sup>2</sup>程度のコンクリートマトリックスに、寸法の異なる鋼繊維を0.5%混入したB、D、Fシリーズを比較した場合、鋼繊維の直径が小さいほど、すなわち鋼繊維の表面積が大きいほど鋼繊維混入による耐凍結融解性能の改善効果は大となった。また鋼繊維を1.0%混入したC、E、Gシリーズの場合も同じ傾向がみられた。B、Cシリーズの耐凍結融解性能が劣っている原因としては鋼繊維のアスペクト比が小さいため付着力を十分に確保できないこともあげられる。付着の増大という観点からみれば、アスペクト比が大きいほど耐凍結融解性能の改善効果は大となると予想される。

表-1 コンクリートの配合

シリーズ名	鋼 織 維			単 位 量 (kg/m <sup>3</sup> )					Vinsol	NL-4000	備 考
	寸法	混入率	全表面積 x10 <sup>3</sup> (cm <sup>2</sup> /m <sup>3</sup> )	W	C	S	G	Fiber	Cx%	Cx%	
A				158	320	538	538	0	0.06	0	普通強度 マトリックス
B	φ1.0x40mm	0.5%	2.0	158	320	534	534	39.3	0.06	0.3	
C	φ1.0x40mm	1.0%	4.0	158	320	530	530	78.5	0.06	0.6	
D	φ0.5x30mm	0.5%	4.0	158	320	534	534	39.3	0.06	0.4	
E	φ0.5x30mm	1.0%	8.0	158	320	530	530	78.5	0.06	0.8	
F	φ0.3x18mm	0.5%	6.7	158	320	658	439	39.3	0.10	0	
G	φ0.3x18mm	1.0%	13.4	158	320	653	435	78.5	0.10	0.05	
H	φ0.3x18mm	2.0%	20.1	158	320	643	429	157.0	0.10	1.0	
I				158	320	538	538	0	0.06	0	気中養生・試験中断
J				222	320	604	424	0	0.10	0	絶乾骨材・試験中断
K	φ0.3x18mm	1.0%	13.4	158	320	653	435	78.5	0.10	1.0	試験中断
L	φ0.3x18mm	0.5%	6.7	177	640	588	392	39.3	0	3.0	高強度 マトリックス
M	φ0.3x18mm	1.0%	13.4	177	640	584	389	78.5	0	3.0	
N	φ0.3x18mm	2.0%	20.1	177	640	574	383	157.0	0	3.0	

## (2) マトリックス強度の影響

鋼繊維を混入していない高強度軽量コンクリートの耐凍結融解試験性能は、予備試験によるとスランプが小さいコンクリートの場合は改善されるが、スランプが大きいコンクリート場合は改善されなかった。マトリックスを高強度化しφ0.3x18mmの鋼繊維を0.5%以上混入したL, M, Nシリーズの耐久性指数はいずれも80%以上となり、鋼繊維混入による軽量コンクリートの耐凍結融解性能の改善効果がみられた。つまりマトリックスを高強度化して鋼繊維とマトリックスとの付着を高めることによって耐凍結融解性能は改善された。またL, M, Nシリーズの結果からわかるように鋼繊維混入率を変化させても耐凍結融解性能はほぼ同程度であった。鋼繊維混入量をさらに少なくした場合やコンクリートマトリックスの圧縮強度を低下させた場合については今後検討を行なう予定である。

## (3) 鋼繊維混入量の影響

鋼繊維を0.5%混入したシリーズ(B, D, F)と1.0%混入したシリーズ(C, E, G)を比較した場合、空気量が異なっているために明確な結論は得にくいものの、必ずしも鋼繊維混入量を増しても耐凍結融解性能は改善されないものと考えられる。

## (4) 乾燥の影響

凍結融解試験を途中で約2カ月間中断し、20℃の水中に貯蔵した後に試験を再開したI, J, Kシリーズの凍結融解サイクル数と相対動弾性係数の関係を図-9~11に示す。この図において、矢印は試験の中断、再開を示している。供試体を乾燥させたIシリーズと乾燥させた骨材を使用したJシリーズは、凍結融解試験を中断するまでは乾燥の処理を行っていないAシリーズに比べ耐凍結融解性能が向上しているが、試験再開後は耐凍結融解性能の急激な低下がみられた。鋼繊維を混入することによって耐凍結融解性能がある程度改善されたKシリーズにおいては、凍結融解試験の中断再開に起因する急激な性能低下は認められなかった。I, Jシリーズでの供試体中の凍結可能水量は初期養生期間(2週間)中

表-2

スランプ空気量強度ならびに耐久性指数

シリーズ名	スランプ (cm)	空気量 (%)	単位重量 (kg/m <sup>3</sup> )	圧縮強度 (kgf/cm <sup>2</sup> )	曲げ強度 (kgf/cm <sup>2</sup> )	耐久性 指数(%)
A	10.0	4.6	1810	375	—	16
B	19.0	5.1	1801	301	—	15
C	6.5	4.4	1854	285	—	14
D	18.0	4.8	1795	325	—	22
E	5.5	3.3	1876	322	—	11
F	1.5	6.1	1937	337	57	29
G	1.0	6.4	1943	310	53	72
H	0.5	2.8	2103	377	81	7
I	9.0	4.6	1810	375	—	52
J	11.0	6.1	1851	307	—	48
K	2.0	8.6	1911	306	54	53
L	19.0	1.4	2160	734	88	91
M	13.0	1.1	2202	740	88	92
N	7.0	1.0	2293	763	113	89

または凍結融解試験中にはほとんど変化しないが、凍結融解作用を受けたのちの長期間の浸漬により供試体中の凍結可能水量が増大し、耐凍結融解性能が低下したものと考えられる。したがって、構造物が長期間湿潤状態にあるような場合には、乾燥させた軽量骨材を使用する方法や構造物を乾燥させる方法による耐凍結融解性能の改善を期待することに対しては、今後さらに検討が必要であると考えられる。

(5) 荷重変位曲線および靱性  
普通強度の軽量コンクリートに $\phi 0.3 \times 18 \text{ mm}$ の寸法の鋼繊維を0.5%, 1.0%混入したシリーズ(F, G)また高強度軽量コンクリートに同じ鋼繊維を0.5%, 1.0%あるいは2.0%混入したシリーズ(L, M, N)の代表的な曲げおよび圧縮供試体の荷重変位曲線を図-15および16に示す。また、それぞれのシリーズの圧縮靱性および曲げ靱性を表-3に示す。

鋼繊維を混入していない曲げ供試体は脆性的に破壊し荷重変位曲線は計測できなかった。しかしながら普通強度のマトリックスに鋼繊維を0.5%混入したFシリーズまたは1.0%混入したGシリーズとも最大耐力点後急激な荷重の低下があるものの、鋼繊維混入による靱性の改善効果がみられる。次に高強度マトリックスに鋼繊維を0.5%混入したIシリーズにおいてはやはりひび割れ発生後荷重の急激な低下がみられるが、鋼繊維を1.0%混入したMシリーズではひび割れ発生後荷重の急激な低下はみられず2.0%混入したNシリーズにおいては、ひび割れ発生後荷重が増大している。つまり

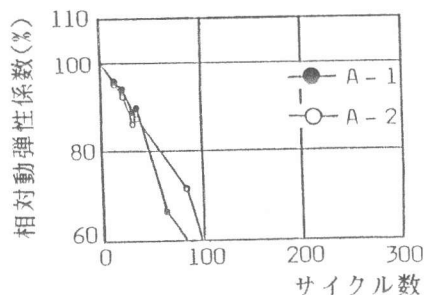


図-1

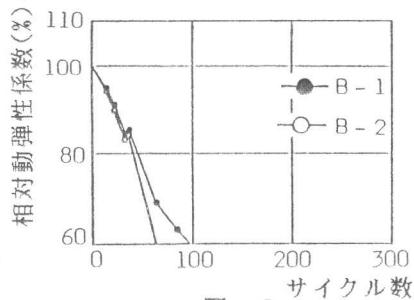


図-2

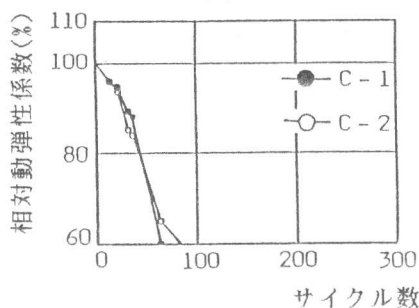


図-3

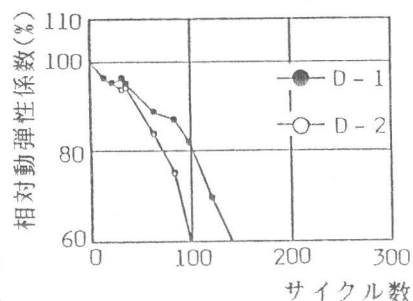


図-4

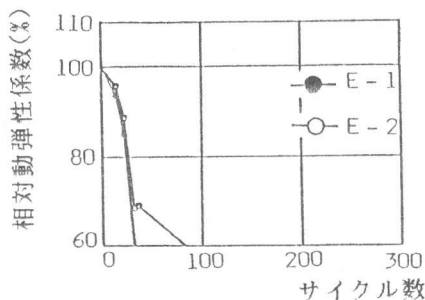


図-5

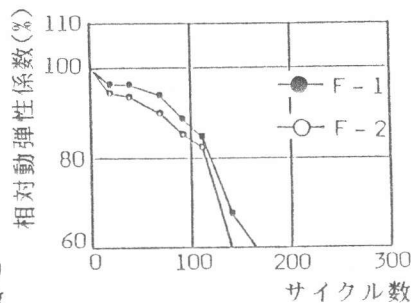


図-6

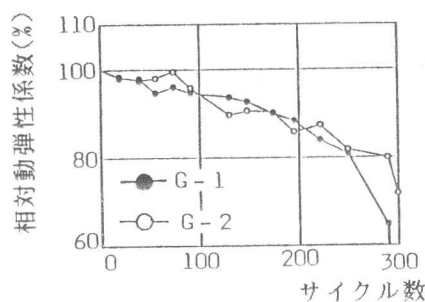


図-7

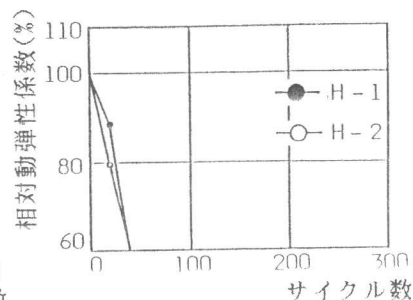


図-8

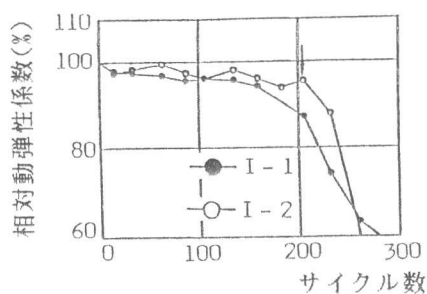


図-9

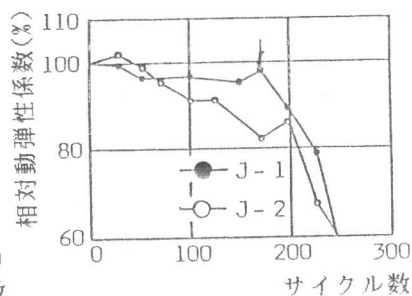


図-10

鋼繊維を混入することによって靱性は飛躍的に改善され、さらにマトリックスを高強度化することによってより一層の改善がみられる。

圧縮供試体の荷重変位曲線からも曲げ供試体の場合と同様に鋼繊維混入率を増加させるほどまたマトリックスを高強度化するほど靱性は改善された。

したがって鋼繊維を混入することによって耐凍結融解試験性能を改善する場合には、供試体を乾燥させる方法、乾燥させた軽量骨材を用いる方法によっては改善されなかったコンクリートの靱性をも改善することができる。

#### (6) 単位容積重量

マトリックスが普通強度で鋼繊維を混入していないAシリーズではコンクリートの単位容積重量が1.8であるが、マトリックスを高強度化しΦ0.3 x 18mmの鋼繊維を1.0%混入したMシリーズにおいてはコンクリートの単位容積重量2.2になっており、マトリックスの高強度化及び鋼繊維混入による単位容積重量の増加傾向がみられる。このためにさらに比重の小さい軽量骨材を使用することによって単位容積重量を小さくした鋼繊維補強軽量コンクリートについて今後試験を行なう予定である。

#### 4. まとめ

鋼繊維の混入によってコンクリート、特に軽量コンクリートの耐凍結融解試験性能を改善するには、鋼繊維の直径を小さくして鋼繊維の付着面積を増加させたりマトリックスの強度を高めたりする方法により鋼繊維とマトリックスとの付着を高めることが重要なことが明かとなった。

圧縮強度が700 kgf/cm<sup>2</sup>程度の高強度軽量コンクリートにΦ0.3 x 18mmの鋼繊維を0.5%以上混入した場合には、耐久性指数は80%以上となった。

<参考文献>(1) 橋大介、大野義郎、黒木一美、岡田武二：高強度軽量コンクリートの耐凍結融解性能に関する研究、第6回コンクリート工学年次講演会論文集、1984年、PP. 237-240。

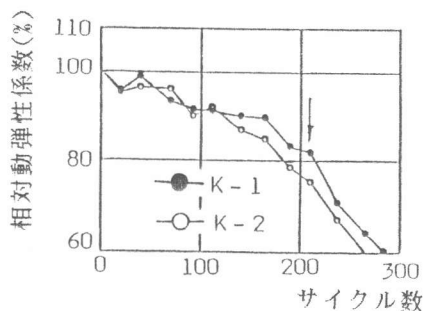


図-1 1

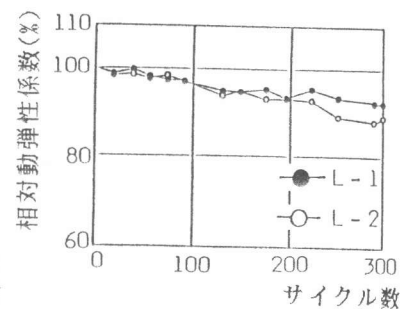


図-1 2

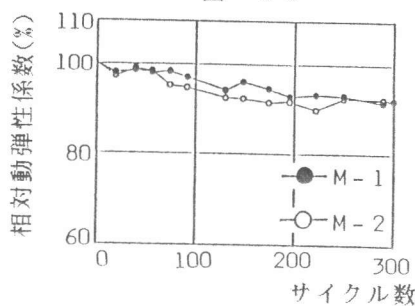


図-1 3

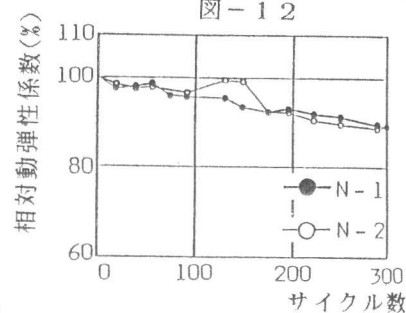


図-1 4

表-3

圧縮および曲げ靱性

シリーズ名	圧縮靱性 (kgf・cm)	曲げ靱性 (kgf・cm)
F	1710	115
G	2490	195
L	3130	230
M	4110	450
N	5480	545

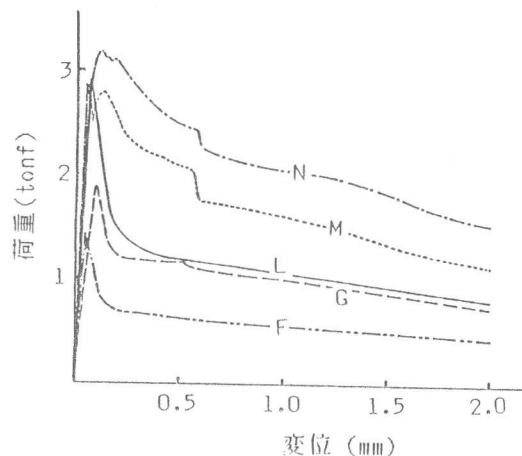


図-1 5 荷重変位曲線 (曲げ)

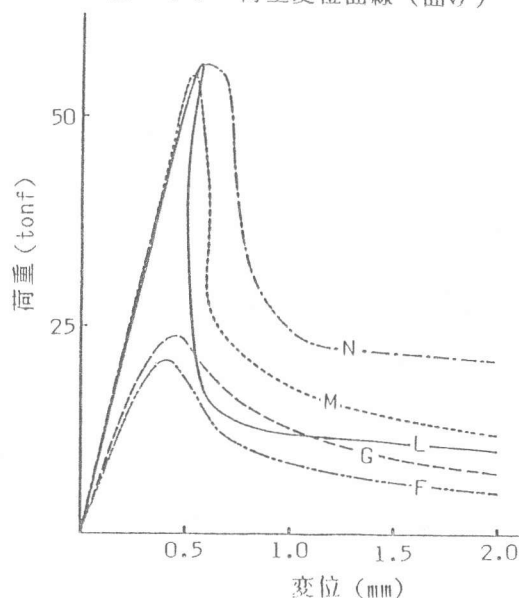


図-1 6 荷重変位曲線 (圧縮)