

繊維混入吹付けモルタルの力学的特性および凍結融解抵抗性

Mechanical Properties and Freeze-thaw Resistance of Fiber Mixed Spraying Mortar

北海道開発土木研究所 ○正 員 吉田 行 (Susumu YOSHIDA)
北海道開発土木研究所 正 員 田口 史雄 (Fumio TAGUCHI)
室蘭工業大学 フェロー 岸 徳光 (Norimitsu KISHI)
三井建設 (株) フェロー 三上 浩 (Hiroshi MIKAMI)

1. はじめに

昨今、トンネルや高架橋からのコンクリート片の剥離、剥落事故が発生し、社会的な問題となっている。これらの事故は、第3者に被害を及ぼす可能性が高いことから、早急な対策が求められている。このため、コンクリート構造物の補修や補強に関する技術開発が各所で行われているが、現在行われている補修や補強工法の多くは、樹脂系モルタル使用によるコスト高の問題や、連続繊維シートを用いた場合、その固定に手間と時間を必要とするなどの課題を擁している。

このような背景のもと、補修補強のコスト低減および工期短縮の観点から、連続繊維をメッシュ状に加工したものと、その固定に比較的安価で簡易な短繊維混入吹付けモルタルを組み合わせた新しいコンクリートの補修補強工法の開発を目指し、その適用性について、小型模型を用いた力学試験や模擬トンネルを用いた施工性に関する試験を行ってきた^{1),2)}。本報文では、補修補強材として用いた繊維混入吹付けモルタルの力学特性および凍結融解抵抗性について検討を行った。さらに、吹付け厚さの中間にアラミドメッシュを設置して吹付けモルタルとアラミドメッシュを組み合わせた場合の曲げ特性および凍結融解抵抗性についても検討を行った。

2. 実験概要

2.1 使用材料

表-1に使用材料を、表-2、3に使用した短繊維および連続繊維メッシュの詳細を示す。吹付けモルタルのみの試験においては、実験施設内で練混ぜおよび吹付け

を行い(以下、室内試験と表記)、アラミドメッシュを組み合わせた試験では、実施工を想定し、模擬トンネルを用いた施工性確認実験²⁾と併せて屋外の実験場で練混ぜおよび吹付けを行った(以下、実証試験と表記)。このため、細骨材は同じ産地ではあるがロットの異なる2種類となり、室内試験では表乾状態を随時管理し、実証試験では、使用前に倉庫内の砂山を攪拌して表面水率の測定を行った。短繊維は、親水性がありセメントとの付着が良好で化学的抵抗性も高いビニロン繊維を用いた。連続繊維メッシュには、耐震補強での使用実績も多いアラミドを用いた。アラミド繊維メッシュは、吹付けモルタルに混入する短繊維長との組合せを考慮し、メッシュの格子間隔を15、30mmの2水準とした。

2.2 短繊維混入吹付けモルタルの配合

表-4に短繊維混入吹付けモルタルの配合とフレッシュ性状を示す。モルタルはコスト抑制を考慮して無機系モルタルとし、配合は、吹付けモルタルとして使用実績が多い配合を参考にして単位セメント量を420kg/m³、セメントと細骨材の質量比を1:4とした。配合試験では、実際に吹付けを行い、吐出性状が良好となるように単位水量を調整して、まず繊維無混入のプレーンモルタル配合を決定した。繊維混入モルタルの配合は、プレーン配合に外割で各種繊維を混入し、実際に吹付けを行って吐出性状を確認し、脈動や吹付けによる材料分離などが起こらないよう混和剤のみでコンシステンシーを調整した。なお、アラミドメッシュと組み合わせたケース(実証試験)については、繊維長6および12mmの混入率1.5%の配合のみで試験を行った。

表-1 使用材料

セメント	普通ポルトランドセメント 密度 3.16g/cm ³
細骨材	苫小牧市樽前産海砂 (室内試験) 密度 2.69g/cm ³ , 吸水率 1.04% (実証試験) 密度 2.68g/cm ³ , 吸水率 1.12%
高性能減水剤	ポリグリコールエステル誘導体 (SP)
減水剤	ポリオール複合体 (AD)

表-3 アラミド繊維メッシュの物性値

格子間隔 (mm)	保証耐力 (kN/m)	弾性係数 (Gpa)	引張強度 (Gpa)	破断歪み (%)
15	50	118	2.06	1.75
30				

表-2 ビニロン短繊維の物性値

繊維長 L(mm)	直径 D(mm)	アスペクト比 L/D	弾性係数 (Gpa)	引張強度 (Gpa)	破断ひずみ (%)
6	0.10	60	25.0	1.10	—
12		120			
30	0.66	45.5	29.4	0.88	7.0

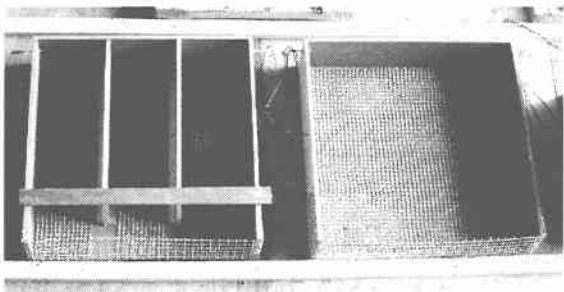
表－4 配合およびフレッシュ性状

配合	短繊維			W/C (%)	単位量 (kg/m ³)			AD (C×%)	SP (C×%)	フロー値	空気量 (%)
	材質	長さ (mm)	混入率 (vol%)		W	C	S				
プレーン	—	—	—	49	205	420	1680	—	—	142	5.5
6mm0.5%	ビニロン	6	0.5					0.25	—	130	5.6
6mm1.0%			1.0					0.35	—	118	6.0
6mm1.5%			1.5					—	0.5	115 (115)	6.8 (7.0)
12mm0.5%		12	0.5					0.35	—	127	5.6
12mm1.0%			1.0					—	1.0	118	5.6
12mm1.5%			1.5					—	1.0	111 (113)	5.3 (6.5)
30mm0.5%		30	0.5					—	—	138	5.0
30mm1.0%			1.0					0.25	—	136	4.7
30mm1.5%			1.5					0.25	—	127	4.7

※ () 付数値は実証試験における値

2.3 モルタルの練混ぜおよび吹付け

室内試験用モルタルは、容量 0.2m³ の強制練りミキサを用いて練混ぜた。実証試験用モルタルは、吹付け場所の近くに簡易プラントを設置して 0.5m³ の強制練りミキサを用いて練混ぜた。吹付けは、空気圧送式の吹付け機を用いて湿式方式で行った。吹付けには直径 50mm のマテリアルホースを使用し、実験施設の配置状況を考慮して搬送距離は水平距離で 40m とした。吹付け圧送圧力は吐出状況等の施工性を見ながら適宜調整した。なお、実証試験における吹付けは、模擬トンネル内に型枠を設置し吹き付けた。



図－1 供試体型枠

2.4 供試体の作製

吹付けモルタルの圧縮強度試験用供試体は、JSCE-F 561 に準拠し図－1（右）に示すように下端を解放した木製型枠（60×60×30cm）に吹付け、試験材齢に合わせて吹付け面から内部方向にφ10cm でコアリングし、コンクリートカッターで高さ 20cm に成形した。供試体の養生は、吹付け後、供試体全面をブルーシートで包み、翌日脱型して試験材齢まで 20℃ の水中養生を行った。曲げ強度試験用の供試体は 10×10×40cm の角柱とし、圧縮用と同様に下端を解放した木製型枠（65×60×15cm）に吹き付け、養生後試験材齢に応じてコンクリートカッターで切り出し成型した。また、アラミドメッシュを挿入した吹付けモルタル供試体の作製は、図－1（左）に示すように型枠に仕切りを設けて供試体寸法よりも一回り大きめのボックスを作製して、まず供試体厚さの半分程度までモルタルを吹き付け、供試体内部にメッシュが収まるように約 8×38cm 四方の大きさに加工したアラミドメッシュを吹付け面に設置し、再び型枠が充填されるまでモルタルを吹き付けた。その後、他の供試体と同様に養生を行い、コンクリートカッターで成型した。

2.5 試験項目

圧縮強度試験および圧縮靱性試験は、JSCE-G 551 に準拠して材齢 7 日および 28 日で試験を行った。

曲げ強度および曲げ靱性試験は JSCE-G 552 に準拠し

て材齢 28 日で試験を行った。

繊維混入吹付けモルタルの耐久性試験として凍結融解試験を行った。試験は、JIS A 1148 に準拠して材齢 28 日より試験を開始した。

3. 試験結果および考察

3.1 圧縮強度および圧縮靱性

図－2 および図－3 に材齢 7 日および 28 日におけるモルタルの圧縮強度および圧縮靱性係数をそれぞれ示す。

圧縮強度は材齢の経過とともに増加しているが、繊維長 30mm の混入率 1.5% のケースを除くと繊維混入の有無および混入率による明確な差は、特に材齢 28 日ではあまり見られなかった。一方、繊維長 30mm のケースでは、混入率の増加とともに強度が増加する傾向が見られ、特に混入率 1.5% では強度が大きかった。室内試験と実証試験に関しては、表－4 に示したとおり実証試験の方が空気量は若干多くなる傾向が見られたが、圧縮強度には殆ど差が見られず、練混ぜ量や骨材の管理法などの違いによる影響は認められなかった。

圧縮靱性は、繊維長 12mm では、圧縮強度と同様、混入率が多くなるほど低下する傾向が見られた。繊維長 12mm の場合、モルタル練混ぜ時にファイバーボールが生じやすい傾向もみられており、これらはアスペクト比が他のものよりも大きいことが影響しているとも考えられるが、原因の特定はできなかった。しかし、繊維長 30mm では、圧縮強度と同様に繊維混入率が高くなるほ

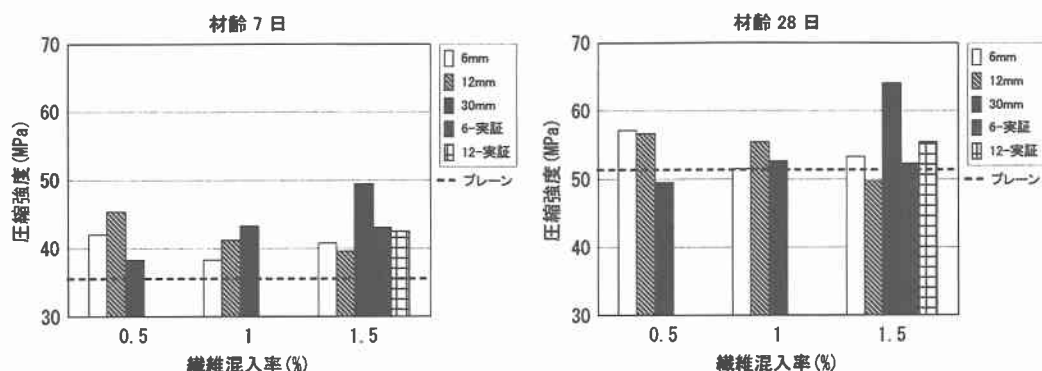


図-2 圧縮強度

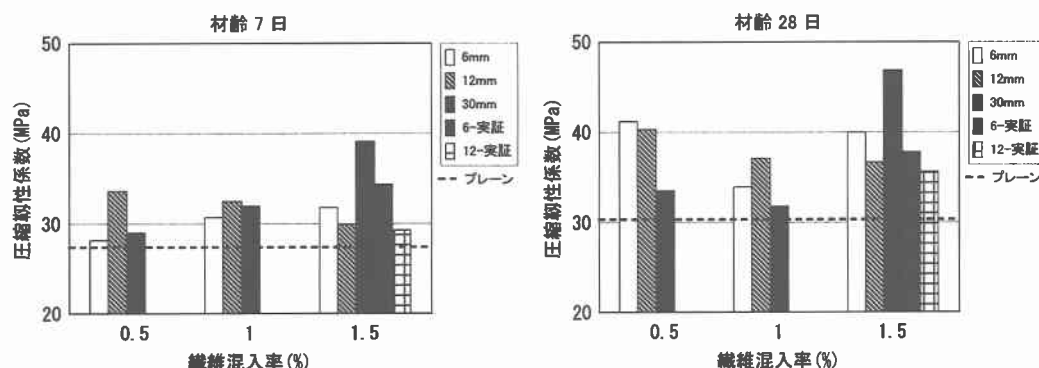


図-3 圧縮靱性係数

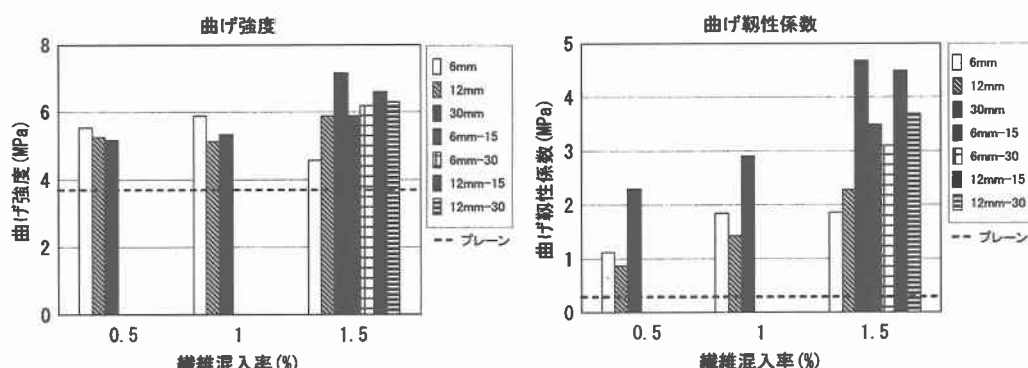


図-4 曲げ試験結果

ど圧縮靱性は増加しており、この繊維が諸特性の改善に有効である可能性が考えられる。室内試験と実証試験に関しては、圧縮強度と同様大きな差は見られなかった。

3.2 曲げ強度および曲げ靱性

図-4に材齢28日におけるモルタルの曲げ強度および曲げ靱性係数を示す。

曲げ強度は、繊維を混入することでプレーンより増加したが、繊維長の違いによる明確な差は見られなかった。混入率に関しては、1.5%で繊維長の違いによる差が多少見られるものの、その差は小さかった。また、アラミドメッシュを挿入した場合（凡例表記○mm-△の○は繊維長、△はメッシュの格子間隔）、繊維長6、12mmともに強度は増加しており、特に繊維長6mmで顕著となった。しかし、メッシュの格子間隔の違いによる明確な差は見られなかった。

曲げ靱性係数は、混入率が高くなるほど増加する傾向

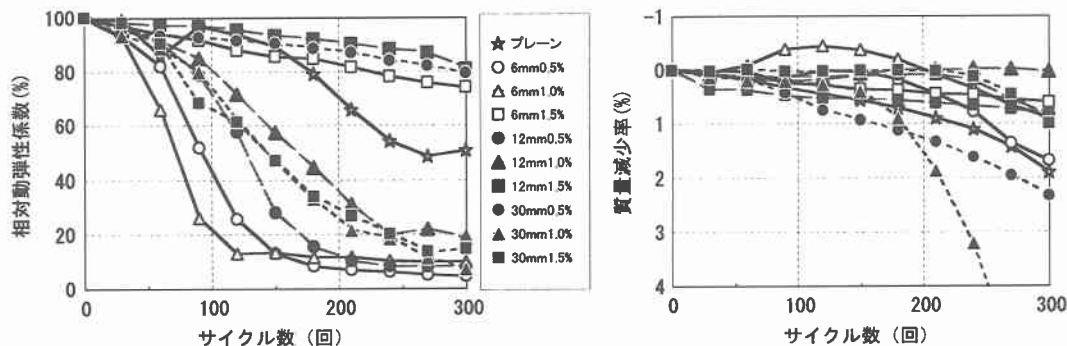
が見られた。特に、繊維長30mmでは他のケースよりも改善されており、混入率を1.5%としたケースは靱性係数が特に大きかった。これらのことから、30mmの繊維は、コンクリート片の剥落防止性能を改善する可能性が高いことがわかる。

一方、実証試験においては、アラミドメッシュの挿入により、靱性能はメッシュが無い場合に比べて1.6~2倍程度向上しており、メッシュ格子間隔が小さいほど効果的であった。このことから、アラミドメッシュと繊維混入吹付けモルタルを組み合わせることで、靱性能を大きく改善できることが明らかとなり、コンクリート片の剥落防止対策として有効であることがわかった。

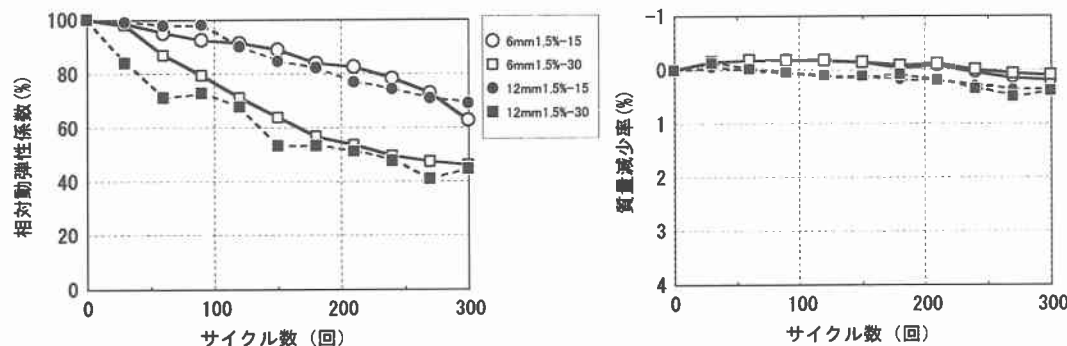
3.3 凍結融解抵抗性

図-5に室内試験における凍結融解試験結果を示す。

プレーンは試験を行った3本の供試体毎にばらつきがあり、90サイクル程度で破壊するものや、最終的に相対



図－５ 室内試験凍結融解試験結果（アラミドメッシュ無し）



図－６ 実証試験凍結融解試験結果（アラミドメッシュあり）

動弾性係数が 80%以上と良好なものもあり、結果として平均 50%程度となった。本試験で用いたモルタルは、細骨材量に対するセメントの割合が 1/4 と少なく、吹付け時に骨材間を埋めるペースト量の割合が少ないため、吹付け供試体内部に欠陥が生じやすく、この様に供試体の部位によってばらつきが生じたものと考えられる。

短繊維を混入した場合、多くのケースで初期段階から急激に相対動弾性係数が低下しており、ブレンを下回る結果となった。しかし、繊維長 6mm および 12mm の場合、繊維混入率を 1.5%と大きくすることにより耐凍害性が改善された。これは、繊維混入により凍結融解による供試体の収縮膨張が抑制されたものと考えられるが、繊維長 30mm では、混入率が 0.5%と少ない方が耐凍害性は向上する結果となった。これらのことから、繊維による拘束効果のみでなく、内部に巻き込まれた空気量や空隙（いわゆる、す）などが複雑に影響しているものと考えられる。今後これらの原因を特定するには、モルタルの気泡組織を含めた組織構造に関する検討が必要である。

図－６に実証試験における凍結融解試験結果を示す。

アラミドメッシュが無い場合には相対動弾性係数が 80%程度と比較的良好だった配合でも、メッシュを挿入することで相対動弾性係数が低下する結果となったが、メッシュの格子間隔が狭いほど低下の程度は小さい傾向が見られた。この結果は、曲げ靱性試験結果と一致しており、格子間隔が狭いほど拘束効果が高かったためと考えられる。凍結融解抵抗性が低下した要因の一つとしては、メッシュとその表裏のモルタルとの間に生じた隙間が考えられ、試験後の供試体を切断することでその存在は確認されている。また、供試体作製時にも既に内部に

空隙（す）が生じており、試験開始前から供試体表面にその存在が確認できるものも見られた。これらのことから、今後は配合を含めた検討が必要である。

４. まとめ

- (1) 短繊維繊維長 30mm で混入率を 1.5%程度まで高めることにより力学特性が向上し、特に靱性能が良好となった。
- (2) 繊維混入吹付けモルタルとアラミドメッシュを組み合わせることで、コンクリート片の剥落防止が期待できることが明らかとなった。
- (3) 短繊維混入率を高めることで凍結融解抵抗性が向上するケースも見られたが、供試体内部に生じる空隙の存在により左右されることが明らかとなり、配合や気泡組織を含めて検討する必要がある。

参考文献

- (1) 栗橋祐介, 田口史雄, 三上浩, 岸徳光 : 短繊維混入吹付けモルタルとアラミドメッシュを併用した補修・補強工法の開発, コンクリート構造物の補修・補強、アップグレードシンポジウム論文報告集, 第 2 巻, pp.7-14, 2002.10
- (2) S.YOSHIDA, F.TAGUCHI, N.KISHI, H.MIKAMI : Corroboration test of shotcrete lining method with short-fiber mixed mortar using prototype tunnel model, Shotcrete for underground support IX, pp.332-329, 2002.11.
- (3) 日本道路公団 : コンクリート片はく落防止対策マニュアル, 平成 12 年 1