

## [110] 超速硬セメントと鋼繊維を用いた吹付けモルタルの諸性状

正会員 ○ 峰 松 敏 和 (住友セメント中央研究所)  
 正会員 内 田 美 生 (住友セメント中央研究所)  
 松 崎 邦 彦 (住友セメント中央研究所)  
 佐 藤 雅 男 (住友セメント中央研究所)

## 1 まえがき

最近、コンクリート構造物の劣化が各方面で問題となっているが、これら劣化構造物の耐久性改善を目的とした補修・補強工事も多数実施されている。補修・補強工事の方法としては種々の工法が提案実用化されているが、これらの1つに鋼繊維で補強した超速硬セメントモルタルを吹付け工法で施工する補修方法(以下、超速硬SF吹付け工法と呼ぶ)がある。

本工法による補修・補強工事は鉄道高架橋を主体としてかなりの施工実績があり、工事方法や補修・補強効果の確認試験等についてはすでに報告した<sup>1)</sup>。また、この超速硬SF吹付けモルタルの強度性状等に関する報告も存在はする<sup>2)</sup>が、実験数が少なく、その性状を十分に把握するには至っていない。

本研究は、このような観点から、超速硬SF吹付けモルタルの諸性状を把握するために実施したフィールドテストの結果について述べるもので、圧縮強度や曲げ強度に及ぼす各種吹付け条件の影響および繊維付着率やリバウンド量等について検討した。また、本工法による補修・補強効果を総合的に判断するためモデル化した梁についての試験も実施した。

## 2 実験概要

## 2.1 実験計画および実験方法

(a) 圧縮および曲げ強度に関する実験として、材令との関係、水セメント比との関係、吹付け圧力との関係および吹付け時の振動の有無の影響等について検討した。本来、吹付けコンクリートの強度試験はパネルから切り出した供試体を用いることとなっている<sup>3)</sup>が、本実験においては極く短時間での試験が必要であるため、15×15×53cmの鋼製型枠を用い、両方の短側面を開放し、これを60°の角度に設置して吹付けを行い供試体を作成した。試験は上記供試体にキャッピングを施し、先ず、曲げ強度および曲げタフネスの試験(JCISF4に準拠)を行い、さらに曲げ切片を用いて圧縮強度試験を実施した。また、これらの試験の大部分は超速硬SF吹付けモルタルおよび超速硬吹付けモルタルであるが、一部、普通セメントに急結剤を添加したものについても試験した。

(b) 繊維付着率等の諸物性の把握試験として、上記供試体を用いて単位容積重量および繊維付着率の試験を実施した。また、80×80×20cmの普通コンクリートパネルを垂直に設置し、水平方向から吹付けた超速硬SFモルタル試料(打継目強度試験用 文献4参照)についても同様な試験を行い、さらに、リバウンド率も求めた。これらの試験方法は、単位容積重量は気中および水中重量から求め、この供試体をクラッシャーで粉砕し鋼繊維を回収して繊維付着率を求めた。また、リバウンド率は、上記の繊維付着率とリバウンド中に含まれる繊維量および概値である吐出時の配合から計算によって求めた。

(c) 補修・補強効果を総合的に判断するために、モデル梁の試験を実施した。試験は図-1に示す普通コンクリート梁を作成し、梁下面のかぶりコンクリートを鉄筋位置までハツリ取り、このハツリ部に超速硬SFモルタルを吹付け、元の大きさまで断面を回復し供試体とした。試験はハツリを行わない梁(未補修)、ハツリのみで吹付けを行った梁(ハツリ)およびハツリ面に打継目処理剤としてプライマーを塗布した後に吹付けを行った梁(プライマー)の3種類とした。旧コンクリートの材令は3ヶ月以上とし、試験は吹付け後1週で行い、プライマーの塗布は吹付け前1日とした。また、本試験と同時に直接引張による打継目強度試験も実施した。

## 2.2 吹付けシステム

吹付けは、図-2に示すシステムで実施した。本工法においては、超速硬セメントが接水後数分で硬化を開始するため、湿式吹付けが不可能で乾式とならざるを得ないが、所定の吐出配合を得るため次のような改良を加えた。すなわち、吹付け機がほぼ定量的に材料を吐出できることに着目し、供給される水を自

動記録式の流量計と定流量弁で制御し、所定の配合を得ることとした。また、吐出配合は一定時間中に吐出する量を求め、上記水量と混練配合から求めることとし吐出配合を管理した。

### 2.3 使用材料および基本配合

使用材料の一覧を表-1に示す。また、基本的な配合条件は、超速硬および普通セメントの双方ともセメント砂比を1:4、繊維混入率を1vol.% (78.5kg/m<sup>3</sup>)とし、水セメント比は30~70%の範囲で変化させた。

## 3 実験結果

### 3.1 圧縮および曲げ強度

図-3は、圧縮又は曲げ強度と材令との関係を示したもので、鋼繊維の有無およびセメント種類の違いの比較である。この図に基づく、超速硬セメントと急結剤を添加した普通セメントとの強度発現性は大きく異なることが明らかで、超速硬セメントは吹付け後、単に形を保持するにとどまらず、極く初期から強度発現のための水和反応が進行していることが推察され、さらに、長期的にも安定した強度発現性を有することがわかる。また、鋼繊維による補強効果は、いずれのセメントにおいても圧縮および曲げ強度の双方に認められる。特に、圧縮強度は打込みによるSFRCの場合、他の改善効果と比較してあまり顕著でないが、吹付けの場合は補強効果が明確で、これは繊維の配向性<sup>5)</sup>と考えられる。

図-4は、超速硬系吹付けモルタルの圧縮又は曲げ強度とセメント水比との関係で、試験材令3時間、1日および7日の結果である。この図に基づく、本実験における強度とセメント水比との関係は鋼繊維の有無によって若干異なっている。すなわち、鋼繊維による補強のない超速硬吹付けモルタルは、本実験の範囲でほぼ直線的に変化しているが、鋼繊維で補強した超速硬SF吹付けモルタルにおいては、C/W=2.2 (W/C=45%)程度の点で傾きが異なっており、水セメント比の小さいものは、大きいものと比較して強度発現性が劣っている。この原因としては、本実験に用いた供試体が短時間での試験を実施するため三方向が拘束された型枠で作製したため、低水セメント比の部

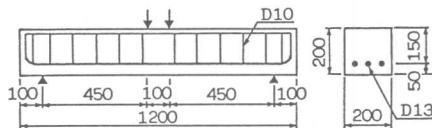


図-1 モデル梁試験用供試体

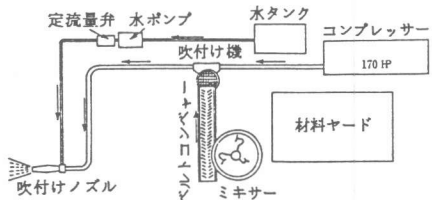


図-2 吹付けシステム

表-1 使用材料

セメント	超速硬セメント $\rho=3.04$ 普通ポルトランドセメント $\rho=3.16$
細骨材	鬼怒川産川砂 $\rho=2.64$ F.M.=2.98
鋼繊維	0.5×0.5×25 mm 波型せん断、 引張強度=74.6 Kg/cm <sup>2</sup>
急結剤	セメント系急結剤

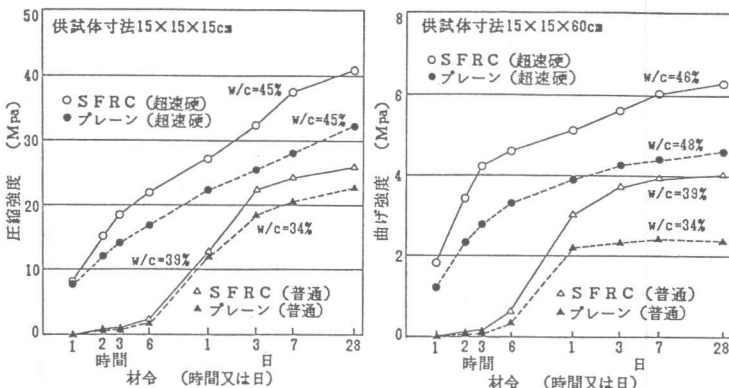


図-3 圧縮および曲げ強度と材令との関係

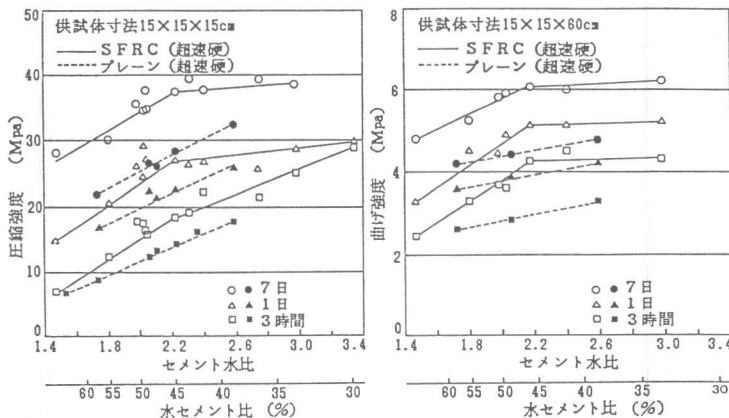


図-4 圧縮および曲げ強度とセメント水比との関係

分で空気の巻込みが多くなり、供試体自体の密実性がそこなわれたためと考えられ、これは下記に示す単位容積重量と水セメント比との関係からも推察される。なお、実際の施工においてはスラブ・梁等の広い面積に吹付け施工されるため、本結果に見られるような低水セメント比での強度発現性の低下は小さくなるが、スラブ梁接合部等においては、ある程度の空気の巻込みも考えられ、経済性等を加味すると $W/C = 40 \sim 45\%$ 程度が最適と思われる。

図-5は、吹付け機の圧力が超硬SF吹付けモルタルの圧縮および曲げ強度に及ぼす影響を明らかにするために実施した試験結果である。本実験の条件は、圧送ホース長さ30m、直径1.5インチで、供試体の水セメント比はいずれも45%程度である。本結果から、圧縮および曲げ強度の双方とも吹付け機圧力によっても強度が変化することが明らかで、本条件においては、吹付け圧0.25Mpa以上で施工の方が望ましいと判断される。なお、この吹付け機圧力は条件によって異なり、圧送ホース径が大きい場合や長い場合は、より大きな圧力で施工の方がよいと思われる。

本工法による補修工事は構造物供用時に実施する機会が多いため、振動を受けた場合の強度性状を把握しておくことは非常に重要である。図-6は、この振動の影響を把握するために実施した試験結果で、振動の有無が圧縮強度に及ぼす影響である。なお、振動有は、実際の鉄道高架橋下で吹付けを行い作製した供試体で、振動数は0.3~1.0Hz、加速度は1~3G程度である。本結果によると、超硬SF吹付けモルタルの圧縮強度は、ほとんど振動の影響を受けておらず、振動条件下での施工が可能であることを示している。

図-7は、曲げ強度試験時に測定した荷重-変形曲線から換算曲げ強度を求め、曲げ強度との関係を示したものである。この図において、換算曲げ強度は、曲げ強度に関係なくほとんど同一強度となっており、これは、打込みによる超硬SFRCの実験における同一種類の繊維を用いた場合と同様な傾向にある。すなわち、文献<sup>6)</sup>において述べられているように超硬セメントマトリックスと鋼繊維との付着が非常に強固であるため繊維が破断し荷重が急激に低下するため、これを改善するには引張強度の大きい繊維を用いればよいことは十分に推察される。

### 3.2 単位容積重量および繊維付着率

図-8は、単位容積重量比と水セメント比との関係である。ここで単位容積重量比とは実測の単位容積重量と空気量を0とした吐出配合の合計値との比である。この結果によると、単位容積重量比はいずれの場合も水セメント比の小さいものほど低下しており、吹付けコンクリートは低水セメント比のものほど密実性がそこなれることが明らかで、さらにこの傾向は鋼繊維を用いた場合により顕著である。また、供試体の場合とパネルの場合とを比較すると、パネル吹付けの方が若干大きな単位容積重量比となっており、低水セメント比での低下の度合も若干小さくなっている。

超硬SF吹付けモルタル中の繊維付着率を吐出時の繊維混入率との割合で示し、これと水セメント比との関係を図-9に示す。本結果においても水セメント比の小さいものほど繊維付着率が小

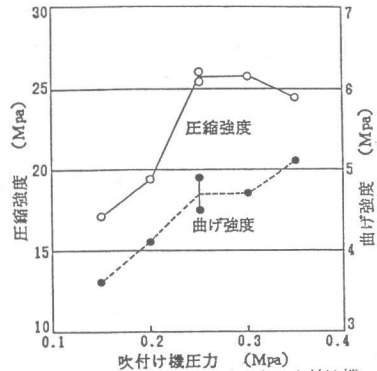


図-5 圧縮および曲げ強度と吹付け機圧力との関係

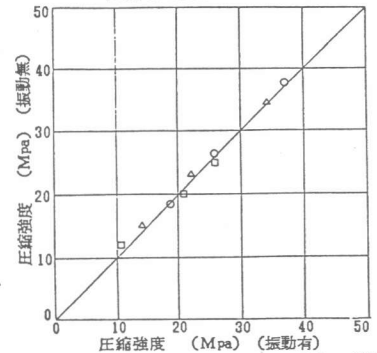


図-6 圧縮強度に及ぼす振動の有無の影響

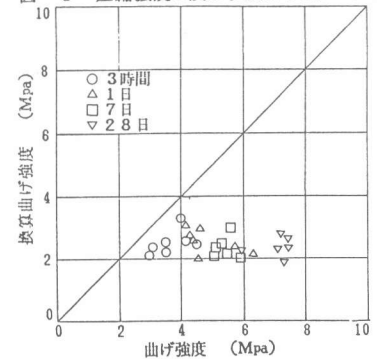


図-7 曲げ強度と換算曲げ強度との関係

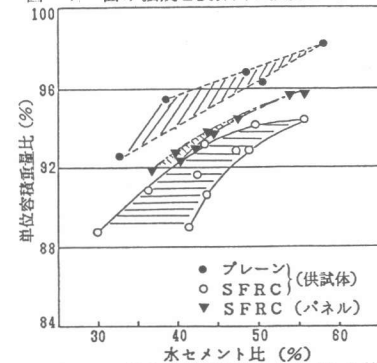


図-8 単位容積重量比と水セメント比との関係

さく、この結果を裏がえせば水セメント比が小さいものほど鋼繊維のリバウンドが多くなることを示している。なお、本結果において、供試体の場合とパネルの場合との繊維付着率を比較すると両者の間に明確な差は認められなかった。

図-10は、パネルに吹付けられた超速硬SFモルタル中の鋼繊維とリバウンド中に含まれる鋼繊維の量から求めた鋼繊維およびマトリックスのリバウンド率と水セメント比との関係である。本結果からも低水セメント比のものほどリバウンド率が大きくなるのが明らかで、特に鋼繊維のリバウンド率はマトリックスの2~3倍となっている。本結果に基づいて、付着時に所定の繊維混入率を得るための吐出繊維混入率を求めると、 $W/C=45\%$ の時、付着繊維混入率1vol.%を得るには吐出配合で1.5vol.%、これに繊維の配向性を加味して打込みによる場合と同等の性能を得る場合でも1.25vol.%程度必要となる。

### 3.3 モデル梁による補強効果の確認

図-11はモデル梁試験における主鉄筋の荷重-ひずみ曲線、図-12は同時に求めたスターラップの荷重-ひずみである。また、終局体力と同一条件で求めた直接引張による打継目強度試験結果も示す。これらの図において、補修した梁は剛性が改善されており、終局耐力も未補修<ハツリ<プライマーの順に大きくなっている。また、スターラップのひずみも同様に大きく改善されており、本モデル梁においては下層のみの吹付け補修であるにもかかわらず鋼繊維によるせん断補強効果が非常に明確である。一方、補修梁であるハツリとプライマーとを比較すると、終局耐力およびスターラップのひずみともプライマーの方が優れており、これは打継目強度試験の結果からプライマーの方がより一体化しているためと考えられる。これらの結果に基づくと、梁の引張領域である下面に吹付けられた超速硬SFモルタルは載荷荷重の一部を負担していることが明らかで、さらに超速硬SFモルタルと旧コンクリート梁とはプライマーはもちろんのことハツリの場合でも十分に一体化して挙動していると考えられる。

### 4 結論

本報告は、超速硬SF吹付けモルタルの諸性状について述べたが、その結果、種々の特性が明らかとなり、より優れた補修・補強効果を得るための吹付け条件を把握することができた。

#### 参考文献

- 1) 浅野他 "超速硬セメントと鋼繊維を用いた吹付けコンクリートによる急速補修工事" コンクリート工学Vol.23, No.2, Feb.1985
- 2) 福井他 "超速硬セメントを使用した鋼繊維補強吹付けコンクリートに関する一実験" JCI SFRCに関するシンポジウム発表報告集 1977年11月
- 3) JCI "繊維補強コンクリートの試験方法に関する規準"
- 4) 峰松他 "超速硬セメントコンクリートと既設コンクリートとの打継目付着特性" 第40回セメント技術大会, 1986年5月
- 5) 中原他 "鋼繊維補強コンクリートの吹付け工法への応用" JCI SFRCに関するシンポジウム発表報告集, 1977年11月
- 6) 峰松他 "超速硬セメントを用いた鋼繊維補強コンクリートの力学的特性について" 第5回JCI 年次講演会講演論文集, 1983年

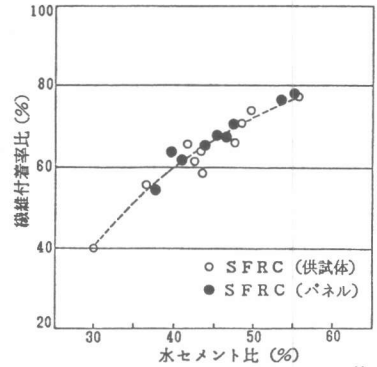


図-9 付着繊維率比と水セメント比との関係

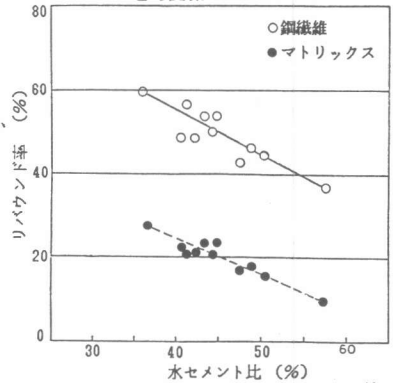


図-10 リバウンド率と水セメント比との関係

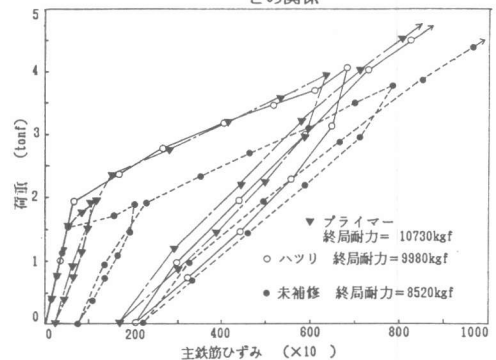


図-11 モデル梁主鉄筋の荷重-ひずみ曲線

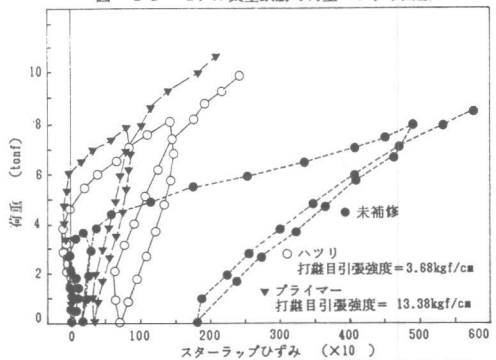


図-12 モデル梁スターラップの荷重-ひずみ曲線