

[1085] ガラス繊維と超速硬セメントを用いた吹付けモルタルの施工方法及び諸性状

正会員○牛島 栄(鉄道総合技術研究所)
 正会員 鳥取誠一(鉄道総合技術研究所)
 正会員 宮田尚彦(鉄道総合技術研究所)
 正会員 峰松敏和(住友セメント 製品事業部)

1 まえがき

近年、コンクリート構造物の耐久性に関する種々の問題が社会的な話題となっており、これらコンクリート構造物の劣化・変状に対する補修・補強工法の確立が急がれている。

補修・補強工法としては、現在、ライニング等により劣化の進行を妨げようとする補修工法、桁増設や鋼板接着のような補強工法、セメントモルタルまたは鋼繊維補強モルタルを用い吹付けによって補修・補強する工法〔1, 2〕等があり、構造物の劣化状況や補修・補強箇所に応じて適用されている。一方、主として建築の分野においては、外・内装材及び二次製品としてGRC (Glass Fiber Reinforced Cement) の利用が活発で、ガラス繊維による力学的改善効果や薄層補強効果及び鋼繊維の腐食による美観の問題等を勘案した場合、ガラス繊維の土木分野での適用も有望と考えられる。著者らは、このような観点から、土木分野における補修・補強用材料としてのGRCの利用に着目し、GRC吹付けパネルを二次製品として製造している吹付けシステム及び配合を用いて、耐アルカリガラス繊維の耐久性を中心とした検討を実施した〔3〕。その結果耐アルカリガラス繊維の耐久性は、他の種類のガラス繊維より良好であることが把握できたが、実験に用いたシステム及び配合は、現場適用性に問題があることも明らかとなった。

本研究は、以上のような観点に基づき、ガラス繊維の土木分野での利用を目的として、コンクリート構造物の補修・補強工法へガラス繊維を適用するための問題点である現場施工可能な吹付けシステムの開発を行い、さらに本システムによって得られるGRCの強度性状等を把握し、GRC吹付け補修工事における施工条件等を検討した結果について述べるものである。

2 現状の吹付けシステムにおける問題点

2.1 二次製品製造システム

GRC吹付けパネル製造システムは、製造行程が十分に管理された工場内での製品製造を前提として開発されたシステムであるため、土木現場等での利用は基本的に不可能である。特に、補修・補強工事に関しては、(1)高架橋等のスラブや梁下面への上向き施工ができない。(2)構造物供用中に生ずる振動条件下での施工に問題がある。(3)吹付け能力が小さいため大面積・多量施工が困難である等の問題点を有している。

また、本システムに用いられる配合や使用材料を現在土木構造物の補修・補強に用いられているSFRC (Steel Fiber Reinforced Concrete) の吹付けと比較すると表-1となり、GRC吹付けパネル製造システムは、S/Cが小さいため単位セメント量が非常に大きく、単位水量も大きな配合で、また骨材も一般的でないなど、土木用の補修補強材料としては、経済性の面からの改善も加える必要があると考えられる。

表-1 SFRC及びGRCの配合及び使用材料の一例

配合	文献	S/C	W/C	単位量 (kg/m ³)			
				セメント	骨材	水	繊維
SFRC	1	3	28	527	1580	147	118
	2	4	50	420	1680	210	80
GRC	3	0.75	36	897	692	333	49
使用材料	SFRC			GRC			
セメント	早強セメント [文献1] 超速硬セメント [文献2]			普通セメント			
骨材	天然砂			けい砂6号			
その他	ラテックス [文献1]			急結材 ポリマー			

2.2 現状の土木構造物補修・補強用吹付けシステムへのガラス繊維の適用

図-1は、土木構造物の補修・補強工事での利用実績の多いSFRC吹付けシステム〔2〕を

用い、単に鋼繊維をガラス繊維に置き替えた場合の曲げ荷重-変形試験結果を示したものである。すなわち、超速硬セメント、骨材、及びガラス繊維（チョップドストランド 1=25mm）をミキサで混練した後、これを吹付け機へ投入し、圧送後、ノズル先端で水を加えた乾式吹付け方法で作成した15×15×53cmの供試体によるもので、供試体作製方法や試験方法は 4.1と同じとした。

この結果に基づくと、単にSFRCの吹付けシステムにガラス繊維を適用した場合、ガラス繊維による補強効果はほとんど認められず、曲げ強度、圧縮強度及び曲げタフネスのいずれも同一繊維混入率のGRC吹付けパネル工法によるものより大きく劣っている。また、 $V_f=1\%$ のSFRCとの比較 [4] においても1/2程度の曲げ強度で、ガラス繊維による靱性改善効果が若干認められる以外はプレーンモルタルよりも劣っている。

この原因としては、ガラス繊維がミキサ混練や吹付け機の回転及び圧送によって解繊、破損するため、ガラス繊維の有効性が十分発揮されないのみならず、ガラス繊維の比表面積が大きくなり水分吸着現象を起し、吹付けモルタルに欠陥を作るためと考えられる。実際、供試体破断面では10mm以下の短いモノフィラメント状のガラス繊維が多数認められ、このような解繊、破損したガラス繊維はセメントによるアルカリアタックの可能性も大きくなると考えられる。また、繊維付着量も混入量より幾分少ないようであった。

すなわち、上記結果を参考とすると、ガラス繊維を土木構造物の補修・補強工事に適用するためには、ガラス繊維による補強効果をより有効に導き出すため、ガラス繊維の解繊、破損を極力小さくでき、現場施工が可能なGRC吹付けシステムを開発するのが得策と考えられる。

3 新に開発された現場施工用GRC吹付けシステム

ガラス繊維の解繊・破損を少なくするためにガラス繊維の混入方法及び位置が問題となる。今回新たに開発した図-2に示す吹付けシステムにおけるガラス繊維の混入方法及び混入位置は、ガラス繊維カッピングユニットで繊維をエアモータにより稼動するカッターで切断し、供給ユニットのコンプレッサーによってノズル手前の材料圧送ホースに添加し問題点を解決した。なお、それぞれのユニットは別系統であるためレギュレーターを配置し、エアモータの回転数及びローピングの増減によってガラス繊維を任意の混入率とすることが可能である。

また、超速硬セメントを使用するため乾式吹付けとならざるを得ないが、乾式吹付けは水量の調節をノズルマンの経験にたよるという欠点があり、所定の吐出配合を得ることに問題があるため、従来の吹付けシステムを改良したシステム [4] を用いた。

4 現場施工用GRC吹付けシステムによるGRC吹付けモルタルの諸性状

上記システムを用いて作製したGRC吹付けモルタルの諸性状を把握するとともに、これを従来のGRC二次製品や現在、補修・補強工事に適用されているSFRC吹付けモルタルと比較し本GRC吹付けモルタルが実用に耐えるか否かを判断することを目的とし、さらに実際に適用す

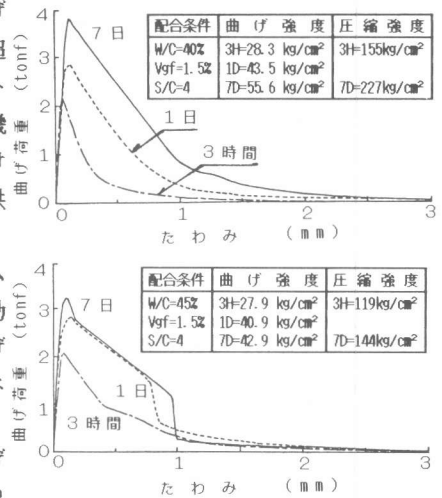


図-1 現状の吹付けシステムへのガラス繊維の適用結果

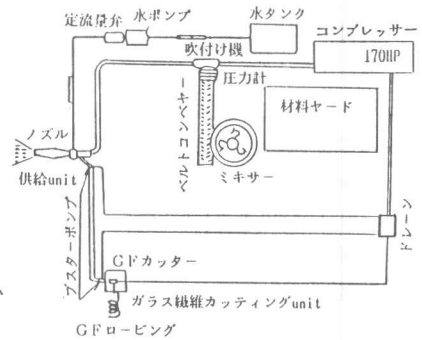


図-2 吹付けシステム

る場合の配合等についても検討することとした。

4.1 試験方法

GRC吹付けパネルの試験方法としては、厚さ1cm程度の薄板によるものが一般的となっている[5]が、土木用途の試験としては、SFRCの試験に準じる方が良くと判断し、SFRC指針(案)[6]及び文献[4]を参考として、短時間での試験が可能である15×15×53cmの曲げ強度試験用型枠に吹付けを行い、これを供試体とし、曲げ強度及び曲げタフネス、曲げ折片による圧縮強度、単位容積重量等の測定を行い、繊維混入率の影響、砂セメント比の影響、水セメント比の影響等について検討した。

また、実験に用いた材料は、構造物の供用条件下での施工に実績の多い超速硬セメント、一般の細骨材である川砂及び耐アルカリガラス繊維(cem-FIL)のロービングを25mmに切断したものをを用いた。

4.2 試験結果

3に示した現場施工用GRC吹付けシステムを用いたGRC吹付けモルタルの繊維混入率が曲げ荷重-変形曲線に及ぼす影響(材令7日)を図-3に示し、図-4に曲げ強度(MOR)、曲げ比例限界強度(LOP)及び圧縮強度と繊維混入率との関係を示す。

これらの試験結果に基づくガラス繊維による曲げ変形状の改善効果が非常に明確で、繊維混入率の増加にともない曲げ強度、タフネスとも大きく改善されることかわかる。一方、LOP及び圧縮強度は、ガラス繊維による補強効果がほとんど認められず、これは、これまで報告された試験結果と同様である。また、本GRC吹付けモルタルの性状をSFRCの吹付けと比較すると、繊維混入率の小さい領域では、曲げ強度及び変形能の双方とも同程度、または、GRCの方が若干勝っているが、ガラス繊維混入率2%以上では、曲げ強度、変形能とも大きく改善されている。これは、SFRCにおける吹付け施工時の繊維混入率が1.5~2%程度が限界で、それ以上の補強効果が期待できないのに対し、本システムにおけるGRCの場合は、砂セメント比2で、Vf=3%程度のガラス繊維の混入が可能で、補修・補強用材料としてより有効に適用できると考えられる。また、本システムによるGRC吹付けモルタルと二次製品用GRC吹付けとの比較は、配合及び試験方法が異なるため一概に比較できないが、本システムにおけるGRCの方が若干劣っている程度で、当初の目的であるガラス繊維の現場施工への適用は、本システムによって十分に達成できると推察される。

図-5及び図-6は、水セメント比が本システムによるGRC吹付けモルタルの性状に及ぼす影響を検討したもので、砂セメント比及び繊維混入率を一定とし、水セメント比を変化させたGRC吹付けモルタルの試験結果の

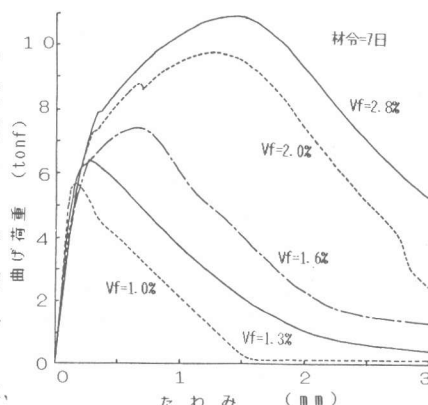


図-3 現場施工用GRCにおける繊維混入率の影響

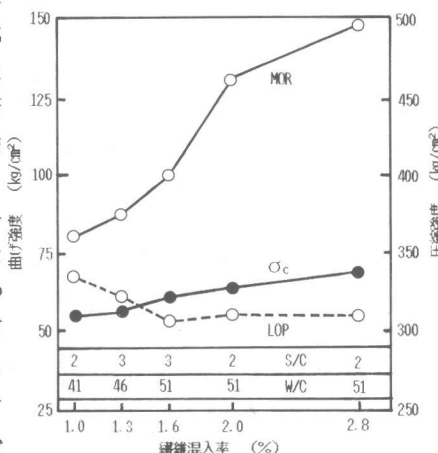


図-4 繊維混入率が現場施工用GRCの強度特性に及ぼす影響

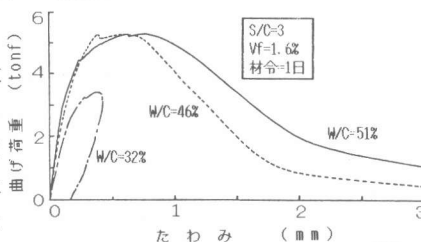


図-5 現場施工用GRCにおける水セメント比の影響

比較である。

これらの図において、W/C=32%のGRC吹付けモルタルは、曲げ試験において支点部が圧壊し、強度を求めることができなかった。また、圧縮強度においても、他のW/C=46%及びW/C=51%の場合の1/2程度で、満足できる性状が得られなかった。この原因としては、供試体自体の密実性が非常に悪く、単位容積重量が他よりかなり小さいことがあげられ、これは、ガラス繊維は表面積が大きく繊維表面に付着する水量が多いため、ある量以上の水量でないとその能力を発揮できないことが推察される。また、本実験の範囲においては、W/C=46%とW/C=51%との間に明確な差は認められなかった。

次に、図-7はS/C=2、Vf=1.0%、W/C=41%及びS/C=3、Vf=1.6%、W/C=51%のGRC吹付けモルタルの各材令における曲げ荷重-変形曲線で、図-8はこれらの比較である。なお、これらの水セメント比は先に述べた水セメント比の影響及び繊維混入率を考慮し、ダレ等がおこらず、比較的密実な吹付けができた水セメント比である。これらの傾向は、GRCの吹付けにおいてはガラス繊維による補強効果を導きだす配合が砂セメント比や繊維混入率によってある程度限られることを示唆し、実際GRC二次製品においてもガラス繊維の特性を導きだす配合となっている。また、本実験においては、S/C=4、Vf=1.6%の場合の吹付けも実施したが、吹付けが可能な水セメント比が60%以上で、吹付け直後のGRCの状態が非常にゆるく、補修・補強用のGRCとしては実用性に欠けるため検討を取りやめた。

図-7及び8において、本GRC吹付けモルタルは超速硬セメントの効果によって極く短時間から強度を発現し、材令とともに増大すること明らかで、また、短時間での強度発現性は、水セメント比や砂セメント比によって影響されるが、それ以降の曲げ強度は繊維混入率に影響されることが明らかである。

5 まとめ

GRCの現場施工を目的として新たに開発した吹付けシステムによって作製したGRCは、ガラス繊維の有する優れた特性を十分に発揮でき、コンクリート構造物の補修・補強用の材料及び工法としての実用性は非常に高いと判断される。また、本GRCを実際に適用するための配合等に関する関係もある程度把握することができた。

参考文献

- [1] 黒田、今木、石橋、小林：火害を受けた鉄道高架橋の復旧工事、コンクリート工学Vol.20, No.2, Feb. 1982
- [2] 浅野、西岡、峰松：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
- [3] 牛島、宮田、石井：ガラス繊維を用いた吹付けモルタルの特性、土木学会第41回年次学術講演会、1986
- [4] 峰松、内田、松崎、佐藤：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、第8回コンクリート工学年次講演会論文集、1986
- [5] GRC研究委員会：GRCの曲げ、比重および吸水率の試験方法に関する研究、1979
- [6] 日本コンクリート工学協会：繊維補強コンクリートの試験方法に関する基準、1984

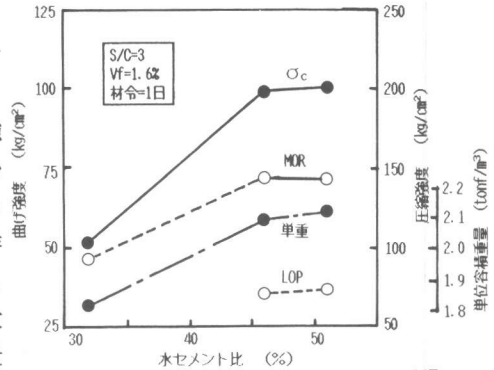


図-6 水セメント比が現場施工用GRCの性状に及ぼす影響

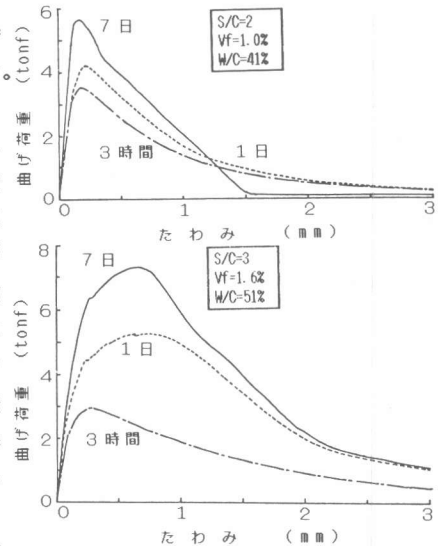


図-7 現場施工用GRCにおける砂セメント比の影響

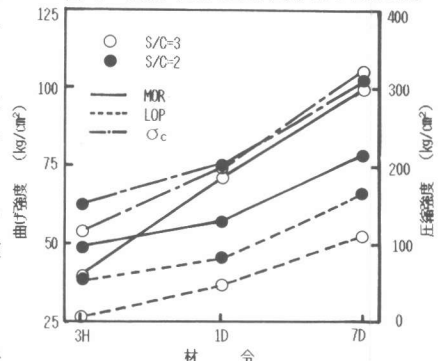


図-8 砂セメント比が現場施工用GRCの強度特性に及ぼす影響