

[1086] 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例

正会員○内田美生（住友セメント 製品事業部）
 正会員 田中喜樹（日本開発土木 技術部）
 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）

1 まえがき

GRC (Glass Fiber Reinforced Cement)は建築用の内・外装材に用いられるプレキャスト二次製品として活発に利用されている。一方、ガラス繊維による力学的補強効果や薄層での補強効果を考慮した場合、土木構造物の補修・補強工事へガラス繊維を適用することも非常に有望と考えられる。

しかしながら、GRC二次製品製造に用いられているスプレーアップ工法は、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ものであるため、土木構造物の補修・補強工事への適用が基本的に困難であった。

そこで、著者らは、新たに、現場施工が可能なGRC吹付けシステムを開発すると共に、このGRC吹付けモルタルの基礎的な性状を文献[1]において検討した。その結果、本システムによって作製したGRC吹付けモルタルは、ガラス繊維による補強効果が十分に認められ、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適合性がかなり高いと判断された。

本報告は、このGRC吹付け工法の現場適合性の確認を目的とした模擬トンネルにおける施工実験結果及び実際の施工例について述べるものであって、施工例としては、鉄道構造物の代表的な補修箇所と考えられる(1) 供用中のトンネルにおける補修工事、(2) 供用中の架道橋における補修工事の2事例について示す。

2 模擬トンネルにおける施工性実験

GRC吹付け工法を実際の現場に適用する場合の問題点を把握することを目的として、模擬トンネルへの吹付け実験を実施し、その施工性を確認した。

2.1 実験方法

実験に用いた模擬トンネルは図-1に示す形状寸法で、H型鋼を組み立て、耐水合板を取り付けたものである。吹付けのシステムは文献[1]と同様で、ガラス繊維の混入方法及び混入位置は、ロービング繊維をカッティングユニットで切断し、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た。また、吹付け方法は乾式工法で、流量計及び定流量弁を用いて水量を管理し、キャリブレーションを行い目標吐出配合を得た。

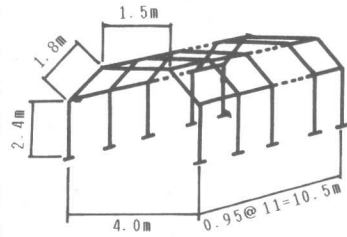


図-1 模擬トンネルの概略図

試験項目は、施工性の確認を主な目的とし、水平、斜め上向き及び上向き吹付けの確認、施工能力の確認、連続吹付け時のトラブルの有無、広い面積での吹付け状態、1回で吹付けできる厚さの確認及び圧送距離の検討等を実施した。

実験に用いた使用材料及び配合を表-1に示す。

2.2 模擬トンネルにおける施工性実験結果

本システムの現場吹付け工法としての実用性を確認する目的で実施した試験結果では、以下のことが明らかとなり、

表-1 模擬トンネル試験に用いた配合及び使用材料

配合	S/C	M/C (%)	VF (%)	単位量 (kg/m ³)			
				セメント	骨材	水	繊維
	2	45	2.0	638	1276	287	54
使用材料							
セメント	超速硬セメント			ρ=3.04			
骨材	鬼怒川産川砂			Max=5mm, ρ=2.64			
繊維	耐アルカリガラス繊維 (cem-FIL)			ρ=2.70			

2、3の吹付け工程上の問題点を考慮した施工を実施すれば、補修・補強工法として現場への適用が可能であると判断できた。

(1) 吹付け方向；吹付け方向としては、上向き、水平方向等の全ての方向に何ら問題なく施工が可能であった。

(2) 施工能力；本システムの施工能力は、繊維混入率2%で、最大 $0.8\text{m}^3/\text{時間}$ 程度であった。これはカッティングユニットの切断速度及び供給ユニットの圧送能力から決定され、繊維混入率を小さくすると施工能力は増大した。なお、この施工能力は、GRC吹付けライニングや橋梁下面からの吹付けによる補修工事等への適用に際しての問題は小さいと考えられるが、時間当りの施工性を要求されるNATM工法等における吹付けコンクリートへガラス繊維を利用するにはガラス繊維の供給方法を改善し、施工能力を増大させる必要がある。

(3) トラブルの有無；ガラス繊維混入率2%程度の連続吹付け作業においては何ら問題なく施工可能であったが、 $V_f=3\%$ 以上ではカッティング部での切断不良や供給部の管径の問題からガラス繊維が閉塞する場合があった。

(4) 吹付け厚さ；1回の吹付けで可能な最大吹付け厚さは3cm程度で、それ以上ではガラス繊維の層状はく離が生じた。しかし、実際の施工においては、比較的広い面積での施工となるため吹付け部をローテーションすることで解決できる。

(5) 広い面積への施工；吹付け工法の本来の目的であって何ら問題はなかった。また、吹付け終了後のGRCは一体化しており、大型のGRCパネルを得ることができた。

(6) 圧送距離；圧送距離としては、ガラス繊維と他の材料が別系統であるため材料自体は吹付け機の能力に応じて圧送できる。しかし、ガラス繊維の供給部は、繊維の解繊・破損を極力小さくすること及び繊維閉塞によるトラブルを少なくすることを目的として、圧送距離を5m程度と短くしたが、カッティング部及び供給部が比較的コンパクトであったため吹付け施工上何ら問題はなかった。

なお、本施工実験に用いたGRC吹付けモルタルの材料特性試験としては、試験機の都合上 $15\times 15\times 53\text{cm}$ の型枠に直接吹付けを行い作製した供試体の材令3時間における曲げ強度のみの測定とし、曲げ強度は $71\text{kg}/\text{cm}^2$ であった。

3 供用中のトンネルにおける補修工事

上記施工性実験結果及び文献[1]の試験結果をふまえ、供用中の鉄道トンネルのライニング補修工事にこのGRC吹付け工法を適用し、施工上の問題点を把握するとともに、同時にポリマーセメントモルタル吹付け補修工事を実施し、双方の経年変化を比較検討することとした。

3.1 補修トンネルの概要

補修を実施したトンネルは、供用後76年を経た非電化単線トンネルである。図-2に補修トンネルの断面図を示す。また、トンネルの覆工はレンガ造で、補修前の劣化状況としては、凍害及び経年によるレンガ表面の劣化や肌落が顕著で、1部に目地切れによるレンガのゆるみも認められた。また、目地及びレンガ表面からの浸透水による漏水があり、冬季にはこれがつららまたは結氷となり、導水工による集水とレンガ表面の風化防止対策が必要と考えられる。

3.2 施工工程及び品質管理試験結果

GRC吹付け工法による施工は、上記トンネルの中央付近の長さ10m(施工面積約 150m^2)の区間で、吹付け厚さを10mm、仕上げ吹付けは無しで実施した。施工工程は以下とした。

① 高圧洗浄機による附着煤煙及び劣化したレンガの除去

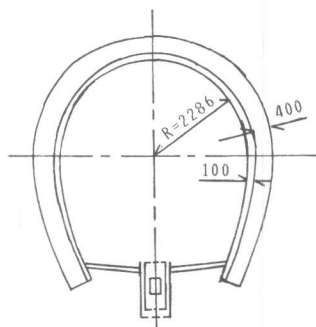


図-2 補修トンネルの断面図

②導水工による集水

③欠損部穴埋め等の下地処理

④ガラス繊維補強超速硬セメントモルタルの吹付け工

また、施工は全て列車終了後の夜間作業とし、GRC吹付け工は2日間の作業工程とした。

GRC吹付けに用いた配合及び使用材料を表-2に示す。

なお、施工開始時に繊維閉塞によるトラブルが生じたが、これは、初めてのGRC現場吹付け工事で、作業不慣れによるものであって、これによる工事期間の延長はなかった。

本補修工事における材料の品質管理試験は、30×30×8cm程度の母型から切り出した4×4×16cmの供試体を用い、材

令7日及び28日で曲げ強度、曲げ変形及び圧縮強度試験を実施した。試験結果を表-3に示す。また、施工現場において、建研式の付着試験機を用い打継目付着強度試験を実施したが、大部分が旧構造体のレンガ部で破断し、付着強度を求めることができなかった。

3.3 施工後3ヶ月の追跡調査結果

GRC吹付け終了後約3ヶ月経過した時点での補修トンネルを追跡調査した結果によると、GRC吹付けモルタルは仕上げ吹付けがないためガラス繊維が表面に見えるモロイ感じがするが、ひびわれは全く認められず、漏水跡も認められなかった。一方、同時に施工したポリマーセメントモルタル吹付けは、導水工付近を中心にひびわれが認められ、漏水及び漏水に伴う黒い斑点が認められ、ガラス繊維によるひびわれ抑制効果が伺い知れる。なお、GRC及びポリマーセメントモルタルの双方ともたたき点検の結果は良好で、本来の施工目的であるレンガの風化防止対策として十分に目的を達成していると思われる。

4 供用中の橋梁における補修工事

GRCを用いた吹付け工法の適用箇所として橋梁関係の補修・補強工事が考えられ、構造物の供用を妨げることなく、橋梁下面からの補修・補強ができるため有望である。そこで供用中の橋長10m程度の複鉄筋単スラブ桁を対象とし、GRC吹付け工法で下面からの補修工事を行い、さらに、補修前後の鉄筋ひずみやたわみの測定を実施し、その有効性を検討することとした。

4.1 補修橋梁の概要

補修を実施した橋梁は、図-3に示すような形状寸法のもので、桁高が小さいためたわみが大きく、また腹鉄筋のかぶりが小さいため腹鉄筋にそったひびわれが多数発生している。これまでも、ひびわれへの樹脂注入やライニングが実施されているが、十分な効果を得るには至っていない。そこで、本橋梁の補修工法としてGRC吹付け工を下面から行い、桁高を若干大きくし、補強効果を期待した補修工事を実施することとした。

4.2 補修概要及び施工工程

GRCによる吹付け補修は、図-3に示した橋梁の桁部全体（下

表-2 供用中のトンネル補修に用いた配合及び使用材料

配合	S/C	W/C (%)	VF (%)	単用量 (kg/m³)		
				セメント	骨材	水
	3	45	2.0	512	1535	230
使用材料						
セメント	超速硬セメント ρ=3.04					
骨材	鬼怒川産川砂 Max=5mm, ρ=2.64					
繊維	耐アルカリガラス繊維 (cem-FIL) ρ=2.70					

表-3 トンネル補修の品質管理試験結果

試験材令	強度試験結果 (kgf/cm²)		
	曲げ強度	LOP	圧縮強度
7日	130	100	328
28日	149	120	383

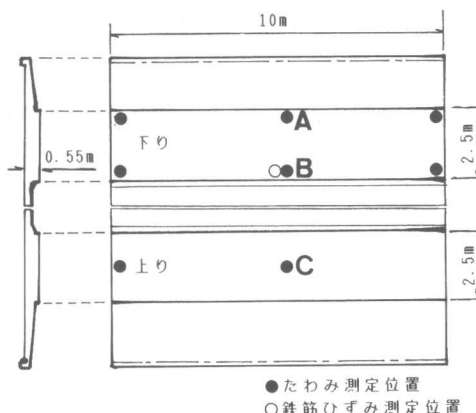


図-3 補修橋梁の概略図



図-4 橋梁補修の施工工程

面及び側面)に、厚さ5cm (GRC=45mm, 仕上げ吹付け=5mm, 施工面積約50m²)の吹付けを行うこととした。このGRC吹付けによって増加する死荷重による曲げモーメントは3%程度で、鉄筋応力度に対してもほとんど問題とならない。また、桁を全断面有効とした場合の設計上の列車荷重と衝撃による縁応力度は、本構造物の構造上、補修後でもかなり大きく算定されるが、ガラス繊維による補強効果は、この点に対しても有効と考えられる。

図-4に本補修工事の施工工程を示す。施工工程は補修工事としての実績が多いSFRC吹付けに準じ、また、作業は列車終了後の夜間作業で、全工程6日間、吹付け工は3日間とした。吹付けに用いた材料及び配合を表-4に示す。

4.3 品質管理試験結果及び補強効果確認試験結果

表-5に3.2と同様な方法で実施した品質管理試験結果を示す。本試験結果においては、文献[1]や3の試験施工と比較して小さめの強度となったが、これは施工に用いた骨材に若干問題があったためと考えられる。また、本補修工事における補強効果を確認するため、図-3に示した各測定点で列車荷重による鉄筋ひずみ及び構造物のたわみを補修前及び後に測定した。測定方法は、SFRCを用いた同種補修工事[2]における効果確認試験と同じとした。

測定結果の平均値の一覧を表-6に、補修前後の測定結果の一例を図-5に示す。

これらの結果に基づくと、桁剛性の変化に伴ない、列車荷重による鉄筋ひずみは1/2程度に減少し、また、構造物のたわみも40%程度小さく、顕著な補強効果が認められた。

5 まとめ

ガラス繊維を構造物の補修・補強工事に適用することを目的として開発したGRC吹付け工法を用いた施工実験の結果はいずれも比較的良好であった。また、これらの施工において明らかとなった施工効率の向上やトラブル防止及び吹付けコンクリートへのガラス繊維の適用を可能とするため、ガラス繊維の添加位置の検討等を実施し、より優れた補修・補強工法とするためシステムを改良中である。

参考文献

- [1] 牛島, 鳥取, 宮田, 峰松: 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, 第9回コンクリート工学年次講演会論文集, 1987
- [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

表-4 供用中の橋梁補修に用いた配合及び使用材料

配合	S/C	W/C (%)	V/C (%)	単位量 (kg/m ³)		
				砂	骨材	水
GRC	3	45	2.0	515	1545	232
仕上げ吹付	3	45	-	526	1578	232
使用材料						
セメント	超速硬セメント ρ=3.04					
骨材	鬼怒川産川砂 Max=10mm, ρ=2.67					
繊維	耐アルカリガラス繊維(ccm-FIL) ρ=2.70					

表-5 橋梁補修の品質管理試験結果

試験材令	強度試験結果(kgf/cm ²)		
	曲げ強度	LOP	圧縮強度
7日	67	38	179
28日	94	57	272

表-6 補修工事による構造物の変化

測定項目	補修前	補修後	補修後 補修前	
	橋梁中央部たわみ (mm)	下り	1.382	0.809
上り		1.985	1.137	0.75
鉄筋	ひずみ (×10 ⁻⁶)	47.46	22.98	0.48
	応力度 (kg/cm ²)	99.67	48.26	

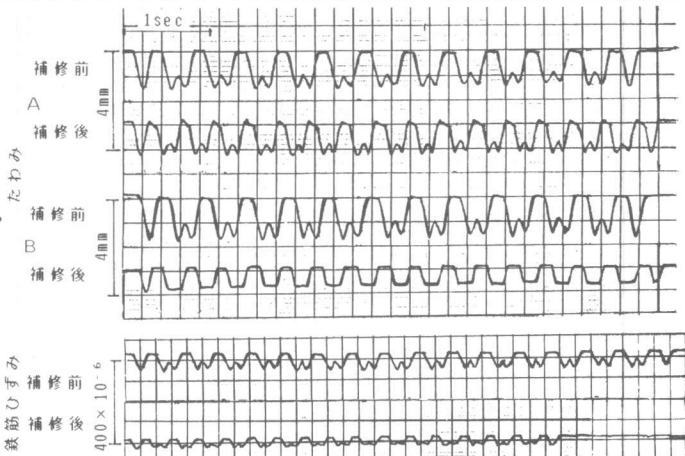


図-5 補修前後の動的測定結果の一例