

論文 無機系モルタルで補修した部材の付着性等に関する実験的研究

富井 孝喜*¹・小澤 郁夫*²・岡井賢一*³・森山 守*⁴

要旨：無機系材料はコンクリートと同等の弾性係数、熱膨張係数を有することから、大面積断面修復工に適していると考えた。そこで、打継ぎ面を設けた供試体を用いて、直接一面せん断試験および梁曲げ試験を行い、打継ぎ面の付着性状について検討を行った。各試験において、無機系材料とコンクリートとの付着性を補うためのジベル筋やFRPグリッドを併用した補強法などとの比較検討を行い、その剥落防止効果やひび割れ分散効果、曲げ耐力向上効果などの有効性を確認した。

キーワード：補強、補修、無機系グラウトモルタル、断面修復、打継ぎ

1. はじめに

近年、塩害を受けたコンクリート構造物の腐食劣化の問題が多く取り上げられているが、その補修補強が急務になっている。塩害補修の方法としては、塩分浸透部や脆弱部をはつり除去した後断面修復する工法が多く用いられてきたが、そのほとんどは部分的な補修であったため、コンクリート橋桁全面を断面修復するような大規模な施工実績がなかった。そのため、断面修復材とコンクリートとの付着性状において不明な点があった。断面修復工において、一般的に強度や付着性に優れた有機系のポリマーモルタル等が使用されてきたが、薄厚大面積修復では、有機系の材料では弾性係数がコンクリートと比べ小さく断面性能が変化してしまうことや、熱膨張係数が大きく温度の影響を受けやすいので、ひび割れや剥落の危険性が大きいと判断し、無機系材料を選定した。しかし、無機系材料ではやはりその付着性に問題があり、ジベル筋やFRPグリッドを併用する補強方法を提唱し、橋桁下面を想定した打継ぎ面を設けた供試体を用いて、一面せん断試験、梁曲げ試験を行い、付着面におけるせん断耐荷性、曲げ変形による断面修復部のひび割れ、剥離状況を検証し、無機系断面修復材と既設コンクリートとの付着性状等の把握とその補強方法の有効性の確認を行った。

2. 供試体形状及び試験方法

2. 1 一面せん断試験³⁾

既設構造物と断面修復部との間には、荷重による応力の伝達に差が生じることが想定される。このとき、付着面に発生するせん断力を一面せん断試験によってモデル化し、ジベル筋、FRP

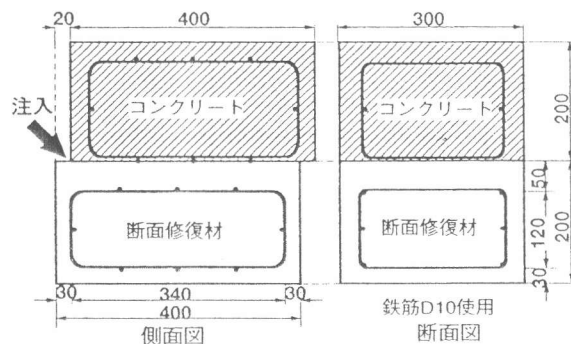


図-1 一面せん断試験供試体

- * 1 株式会社大林組 土木技術本部技術第五部技術課 (正会員)
- * 2 株式会社大林組 北陸支店手取川工事事務所
- * 3 日本道路公団 金沢管理局小松管理事務所
- * 4 日本道路公団 金沢管理局小松管理事務所

グリッド等を用いた数種の供試体において、せん断抵抗性や付着面破壊状況を比較検討した。一面せん断試験に用いた供試体の基本形状を図-1に示す。まず図のような既設コンクリート部分を想定したRC基材を作成し、付着面を鉄筋かぶり部分までウォータージェットによってはつり取った後、断面修復材を実際の断面修復工を想定し逆打ち注入した。この時、付着面付近以外でのせん断破壊を防止するため、断面修復材部にも図のような鉄筋を配した。使用したコンクリートの配合を表-1に、断面修復材の配合とその特性を表-2に示す。コンクリート、修復材とも打設後1日で脱型し気中養生とした。

表-1 コンクリート配合

w/c (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m ³)					Gmax (mm)	試験時の圧縮強度 (N/mm ²)
		セメント	水	細骨材	粗骨材	混和剤		
30.0	38.2	550	165	627	1053	5.500	20	73.8

表-2 断面修復材配合および特性*1

単位量 (kg/m ³)			付着強度 (N/mm ²)	引張強度 (N/mm ²)	膨張係数 (10 ⁻⁶ /°C)	弾性係数 (N/mm ²)	試験時の圧縮強度 (N/mm ²)
結合材	水	混和剤					
1905	286	14.3	1.5*2	3.9 (28日)	8.4	2.8 (28日)	70.0

*1 品質試験を行った代表値 *2 逆打ち振動下での室内試験値 (14日養生)

ジベル筋量、FRPグリッドの有無、付着面処理方法の種類などを考慮して設定した実験ケースを表-3に示す。ジベル筋、FRPグリッド等の設置方法を図-2に、ジベル筋設置位置を図-3に示す。また使用したジベル筋の材質、FRPグリッドの特性等を表-4に示す。左官仕上げ材料はポリマーセメントモルタルを使用し、はつり面の凹凸が平滑になるように仕上げた。

表-3 実験ケース

ケース	研り面処理	ジベル筋量 (本数)	FRPグリッド	備考
1	ウォータージェット	0	なし	
2	〃	φ8:2本	〃	鉄筋比 0.09%
3	〃	φ8:4本	〃	鉄筋比 0.18%
4	ウォータージェット+左官仕上げ	0	〃	
5	ウォータージェット	φ8:2本	タイプA	クロスビッチ @20

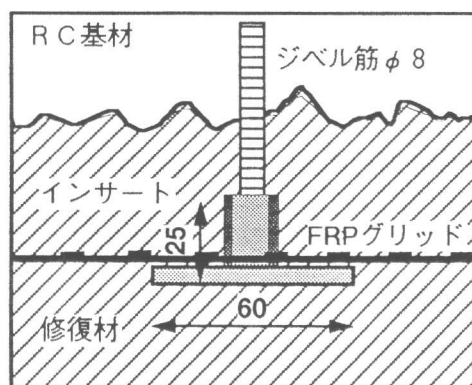


図-2 ジベル筋、FRPグリッド設置詳細

表-4 補強材詳細

ジベル筋	SUS304全ネジボルト (径8mm) に定着用インサートを固定したもの * 定着用インサート SUS304ナットに径6mm SUS丸鋼 (l=6cm) 2本溶接					
FRPグリッド	材料	構造	降伏応力	引張弾性率	断面積	
タイプA	炭素繊維+エポキシ	絡み織	3.53GPa	230.4GPa	0.45mm ² /本	
タイプB	炭素繊維+ビニルエステル	クロスラミネート	1.18GPa	98.1GPa	4.4mm ² /本	

直接せん断試験における荷重方法を図-4に示す。荷重は一方方向荷重とした。このとき鉛直方向（ずれ）と水平方向（開閉）の相対変位を同時に測定した。

2. 2 梁曲げ試験 ^{1), 2), 3)}

曲げ変形を受けたときの断面修復部の一体化低下による剝離や剝落が懸念されるため、打継ぎ面を設けた梁供試体を作成し、曲げ破壊試験を行いひび割れや剝離状態を検討した。梁曲げ試験に使用した供試体寸法を図-5に示す。

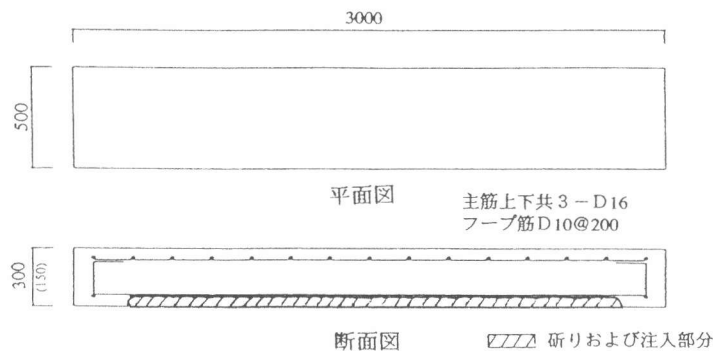


図-5 梁曲げ試験供試体

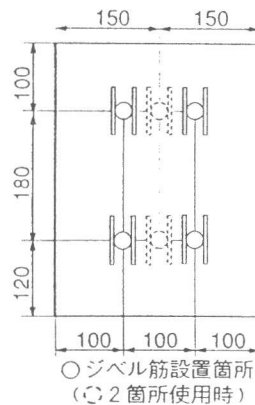


図-3 ジベル筋設置位置

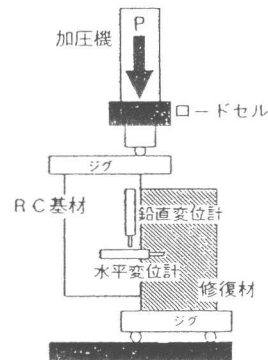


図-4 一面せん断試験装置

供試体の作製方法は、梁コンクリート打設養生後付着面を鉄筋かぶり厚相当の深さまでウォータージェットでは取り取り、その部分に断面修復材を逆打注入した。気中養生後、荷重試験を行った。コンクリートの配合や使用した断面修復材は一面せん断試験のものと同様である。荷重方法は、図-6のような装置で梁中央部一点荷重とし、一方向繰り返し荷重した。修復部ひび割れ発生時で1サイクル、梁下端筋降伏時を2サイクル、曲げ破壊時を3サイクルとして荷重した。表-5に示すようにジベル筋のピッチ、FRPグリッドの有無や種類をかえた6種類の供試体を作成した。ジベル筋の配置を図-7に示す。

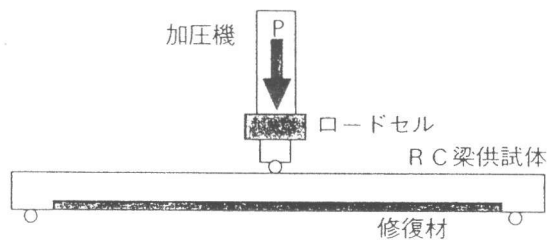


図-6 梁曲げ試験装置

表-5 梁曲げ試験実験ケース

ケース	切り面処理	ジベル筋量	FRPグリッド	備考
1	ウォータージェット切り	なし	なし	
2	〃	2-φ8@500	なし	4本/m ² (0.04%)に相当
3	〃	2-φ8@250	なし	16本/m ² (0.08%)に相当
4	〃	2-φ8@500	タイプA	クロスピッチ@20
5	〃	なし	タイプA	〃
6	〃	2-φ8@500	タイプB	クロスピッチ@50

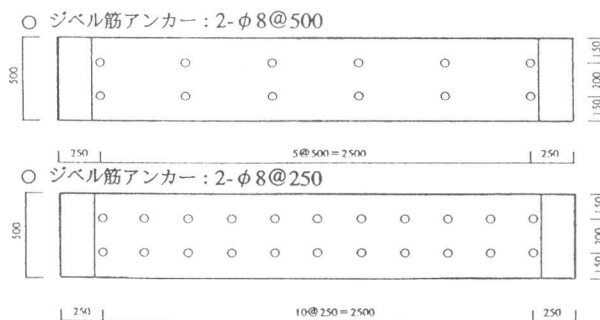


図-7 梁曲げ試験ジベル筋配置図

3. 試験結果と考察

3. 1 一面せん断試験

載荷時の荷重と水平変位（コンクリートと断面修復部との界面付近に現れるひび割れの開き）との関係を図-8に示す。

このグラフより水平変位が大きく増加しているところをひび割れ発生時の荷重とみなした。根直方向の変位はせん断破壊が起きるまでほとんど変化がなかった。ひび割れ発生時のせん断強度と破壊時のせん断強度とを合わせて図-9に示す。無補強の場合、界面での破壊を起こしており、ひび割れ発生時のせん断強度が 0.49 N/mm^2 程度で最も小さい値を示している。この時点で付着面に剝離が生じるとするとRC示方書に示さ

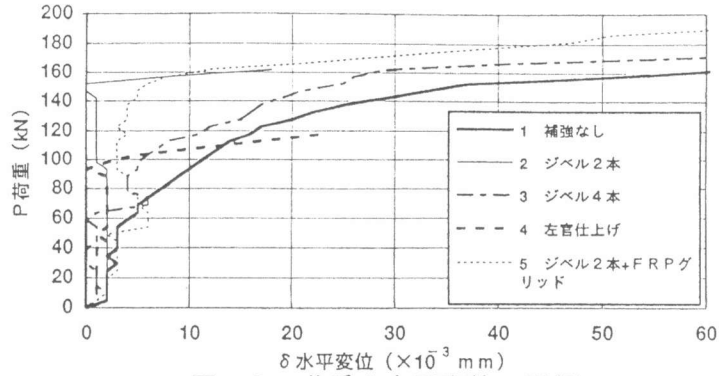


図-8 荷重と水平変位の関係

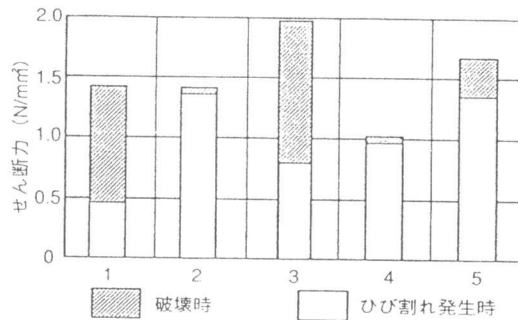
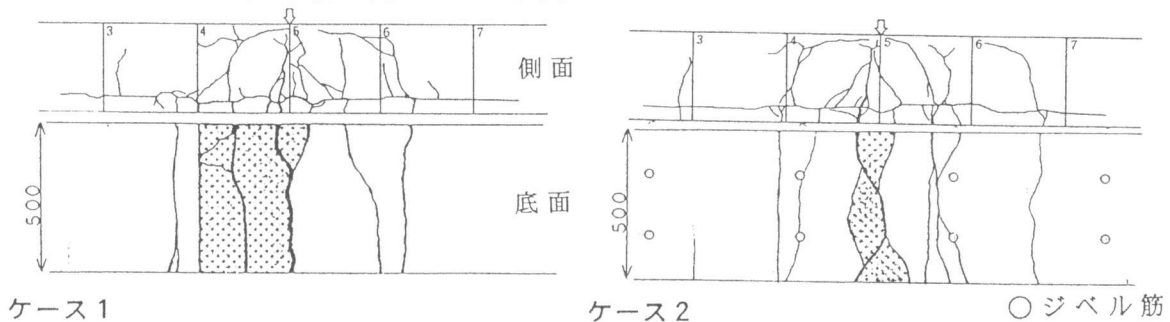


図-9 ひび割れ発生時と破壊時のせん断強度

れている許容応力度法によるせん断応力度 0.5 N/mm^2 を下回っており、何かしらの補強対策を講じる必要がある。ケース3、5の補強を施したものは、全てジベル筋周囲のインサート背面での破壊がおきており、界面での剝離は見られなかった。なお、ひび割れ発生時のせん断強度はジベルアンカーが2本の場合が最も高い結果となった。ひび割れ発生時のせん断強度について、ジベル筋比 0.09% 程度まではその効果が比例的に向上する傾向にあるが、ジベル筋比 0.18% では今回採用したインサートの形状により修復材の断面欠損が起きてしまい、逆に低下してしまう。しかし、破壊時のせん断強度では最も大きな値を示しており、破壊に至るまでのせん断抵抗性は、ある程度までジベル筋量に比例するものであることがわかる。ケース4の付着面に左官仕上げを施したものは、ひび割れ発生からせん断破壊に至るまで短時間で起きてしまい、なおかつせん断抵抗性も最も低い。ケース5のFRPグリッドを併用したものと併用しないケース2とを比較してみるとひび割れ発生時のせん断強度は同等であるが、破壊時の強度は高くなっている。破壊もFRPグリッド設置断面付近で起きており、所々グリッドが破断している。

3. 2 梁曲げ試験

曲げ破壊時のひび割れ状況を図-10に示す。



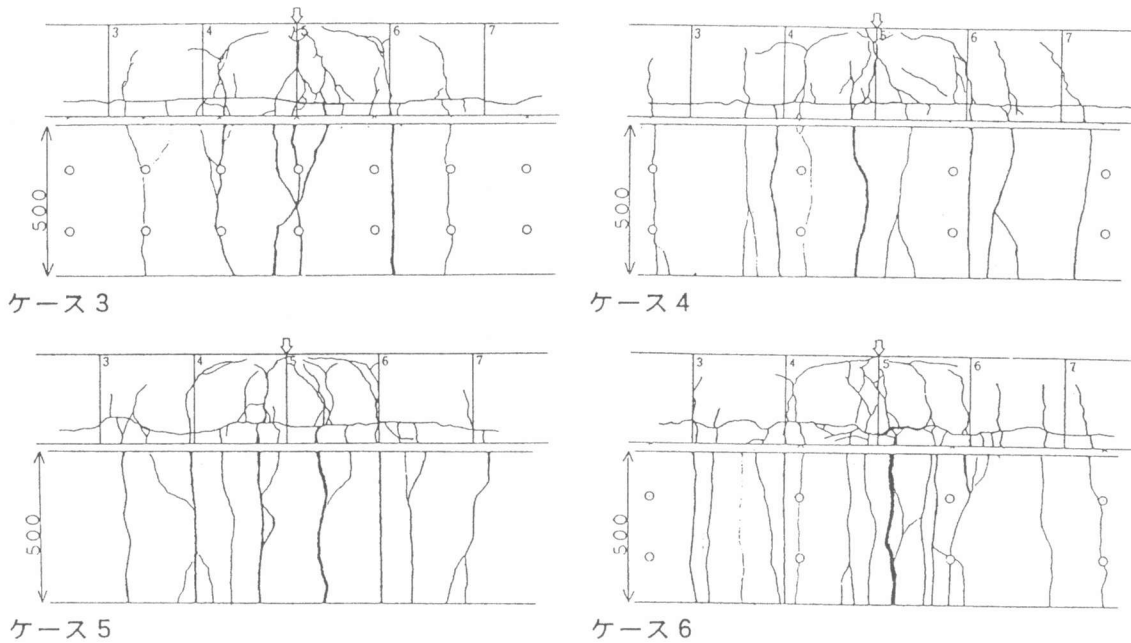


図-10 ひび割れ状況図

ケース1の修復材のみの場合、修復材部に入ったひび割れの本数は比較的少ないが、ひび割れ幅が大きい。図中の3～7間全体が剝離しており、その内の着色部が剝落を起こした。ケース2のジベル筋ピッチの広い方ではひび割れによってジベル筋と縁が切れている部分（図の4～6間）での剝離が確認され、着色部が剝落した。ケース3では、ひび割れ本数は多くなるが、ひび割れ幅は小さくなっている。完全に剝離しているところがあるが、ジベル筋インサートに絡まり、剝落を防止していた。ケース4～6のFRPグリッドを配したものはひび割れ幅がかなり小さくなり、広く分散しているのがわかる。また、修復材の大きな浮きやゆるみ等は確認されなかった。このことから、ジベル筋による剝落防止効果、FRPグリッドによるひび割れ分散効果と剝離防止効果が確認された。

また、目視によるコンクリートと修復材との界面に水平方向のひび割れが確認された時の荷重から、梁の平均せん断応力度式（式-1）より求めた値を図-11に示す。FRPグリッドなしの場合の3ケースについて、せん断応力は0.3N/mm²程度でほとんど差が見られなかった。

梁曲げ試験における付着面のひび割れ発生時の応力には、ジベル筋量との関係が見られなかったが、FRPグリッドありのものについてはせん断応力がおよそ0.5N/mm²となり、無補強に比べてせん断抵抗性への効果が認められた。図-12に各サイクルにおける荷重測定結果を示す。修復部表面のひび割れ発生荷重は全てほぼ同じ値であ

$$\tau = \frac{Q S Y}{B I Z} \quad \text{式-1}$$

Q : 荷重
 $S Y$: 梁断面における中立軸に関する修復材部の断面1次モーメント
 $I Z$: 梁断面の断面2次モーメント

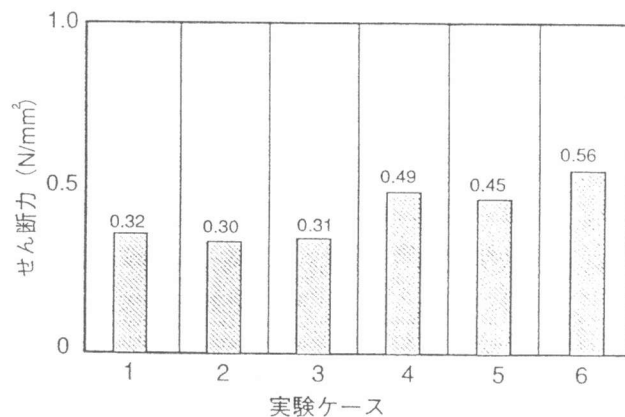


図-11 ひび割れ発生時のせん断応力

る。鉄筋降伏時の荷重については健全な梁での計算値とほぼ一致しており、FRPグリッドを配したものの（ケース4～6）については1割程度の降伏耐力の増加が見られる。特にケース6のFRPグリッドタイプBを使用したものについては最大荷重が大幅に向上している。

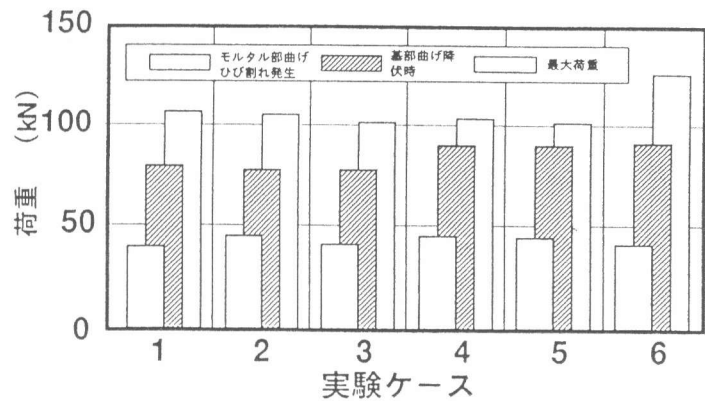


図-12 各サイクルにおける荷重測定結果

4. まとめ

公共性の高い橋梁の塩害補修では、塩分浸透部や劣化部分の斫り除去において有効断面を損なうことはできない。原則として鉄筋かぶり部分での断面修復になるため、修復材と鉄筋とを定着させることができないため、断面修復材自体の付着力とせん断伝達力に期待する設計となっている。しかし、交通荷重による繰り返し荷重や振動を受けること、逆打ち注入による補修であること等から、剥離や剥落の危険性が大きい。以上のことを踏まえて、今回の実験から以下のようなことがわかった。

- ①補修部がせん断破壊する場合、せん断抵抗性は打ち継ぎ部の表面粗度に影響される。
- ②無機系断面修復材自体の付着力や表面粗度によるせん断抵抗性のみでは、一体性の確保は難しい。
- ③打継ぎ部分の許容せん断応力度は少なくとも 0.5N/mm^2 （RC示方書）以上を確保し、また修復部の剥落を防止するためにも、今回のウォータージェットはつり面においては一定量（約0.04%～0.09%）のジベル筋を配す必要がある。（設計による必要せん断力は別途検討要）
- ④FRPグリッドを併用することにより、剥離や剥落防止やひび割れ分散効果、じん性向上の効果が期待でき、引張耐力もその強度に比例して向上する。

今後はさらに以下に示す項目を実施する予定である。

- ①本補修方法の耐久性を確認するための曲げ疲労試験や凍結融解試験
- ②今回の試験結果を検証する上で実際の橋梁の挙動に即した方法による実施工での計測と観察

[参考文献]

- 1) 佐藤 貢一、小玉 克己、吉川 弘道：FRPとポリマーモルタルを用いたRC梁の補修に関する研究、コンクリート工学論文集 12-1 1990
- 2) 佐藤 貢一、小玉 克己：FRPとポリマーモルタルで補修したRC梁の曲げ性状に関する研究、コンクリート工学論文集 13-2 1991
- 3) 長瀧 重義、岡本 享久、曾我 寿孝：断面修復した鉄筋コンクリートのはりの力学挙動と合理的補修設計法の提案、コンクリート工学論文集 12-1 1990
- 4) 安田 敏夫、原田 暁、佐々木 祐三、岡井 賢一：逆打ち、振動下での断面修復材料の付着強さ試験方法、土木学会年次論文集 1995 V-237
- 5) 富井 孝喜、小澤 郁夫、渋谷 芳昭、森山 守：振動条件下での断面修復材の付着強さに関する実験的考察、土木学会年次論文集 1995 V-238