

# 乾式吹付工法と炭素繊維グリッドを併用した耐震補強工法



発表者：早田 和紀

所属協会名：建設業協会中国ブロック協議会

発表会社名：株式会社 加藤組 土木課 (〒728-0013 広島県三次市十日市東一丁目8-13) .

## 1. はじめに

半永久構造物として考えられてきた鉄筋コンクリート構造物における劣化、特に1980年以前に建設された構造物の中には、必ずしも地震に対して強いとは言えない構造物が少なからず存在し、私たちの生活に供されています。このような構造物は、非常に強い地震動を受けると倒壊等含めて相当な被害を受けることが予想され、私たちの生命・財産・生活が脅かされることも予想されます。そこで、このような構造物を早急に耐震補強することが社会的課題である。

既存の鉄筋コンクリート(RC)構造物のせん断補強法としては、鋼板巻立て工法、コンクリート巻立て工法、連続繊維シート貼付工法などが主に用いられている。しかし、鋼板巻立て工法は重機械を要する。コンクリート巻立て工法は鉄筋の組立や型枠の設置を必要とする。連続繊維シート貼付工法においては、コンクリート表面が湿潤状態では施工できないなどの欠点を有している。

道路橋の多くが水環境に立地していること、さらに海岸に近い地域にも多く存在することを考慮すると、耐久性の良いポリマーセメントモルタルの乾式吹付け工法を使用した補強工法が効果的と思われる。

また、河川内橋脚のように河積阻害率が問題となるような場合では、耐久性の面からも補強による断面増し厚量を小さくできる利点、さらに施工性が良好であるため、工期を大幅に短縮することが可能である。

そこで、軽量かつ高強度な炭素繊維グリッドと、施工性・耐久性の良いポリマーセメントモルタルの乾式吹付け工法を用いた、コンクリート構造物の新たな耐震補強工法として、アキタ建設(株)(山口県)と福山大学工学部及び(株)クリテック・ジャパンと共同開発した耐震補強工法としての有効性の評価を行ったその施工性能及び品質性能について各種の性能試験結果を踏まえて今回紹介する。

## 福山大学での実証実験の様子



## 2. 耐震補強工法の特長 (DSPCG工法：NETIS登録 CG-070011)

「炭素繊維グリッドと乾式吹付モルタルを併用した耐震補強工法」は、既存の耐震補強工法と比較して以下のような特徴を有しています。



炭素繊維グリッド



Sto乾式吹付け工法

### 《施工性に優れ、迅速施工が可能》

- ① 炭素繊維グリッドは軽量 ( $1\sim 2\text{Kg}/\text{m}^2$ ) で施工が容易。
- ② Sto乾式吹付け工法は、湿式吹付け工法と異なり、機材が小規模であり小回りが利き、施工性が良好。
- ③ 乾式吹付け工法は、吹付け速度が速いため、締固め効果が大きく、母材との付着性が良好。

### 《補強に伴う断面の増加が少ない》

- ① 炭素繊維グリッド(縦筋、横筋が同一平面内) 圧縮強度 $1,400\text{N}/\text{mm}^2$
- ② Sto乾式吹付けモルタルの吹付け厚は、 $30\sim 40\text{mm}$ 程度。グリッド表面  $+15\text{mm}$
- ③ 河積阻害等の制約および橋脚基礎への負担増加の問題に対応。

### 《耐久性が良好》

- ① 炭素繊維グリッドは、鋼材と異なり錆びない。したがって、耐久적입니다。
- ② Sto乾式吹付けモルタルは耐久性に富み、中性化がほとんど生じません。

### 《コストの低減が可能》

- ① 工期の大幅な短縮、それに伴うコストの低減が可能です。
- ② 補強後の維持管理費も削減でき、ライフサイクルコストの面でも極めて有利。

## 3. 耐震補強の方法



①ウォータージェットによる  
下地処理



②炭素繊維グリッドの  
設置



③Sto 乾式吹付けモルタルの吹付

→

→

#### 4. 耐震補強の効果

新工法で補強した試験体は、図-1の通り、大変形を受けても、等価減衰定数（耐震性）が低下しません。

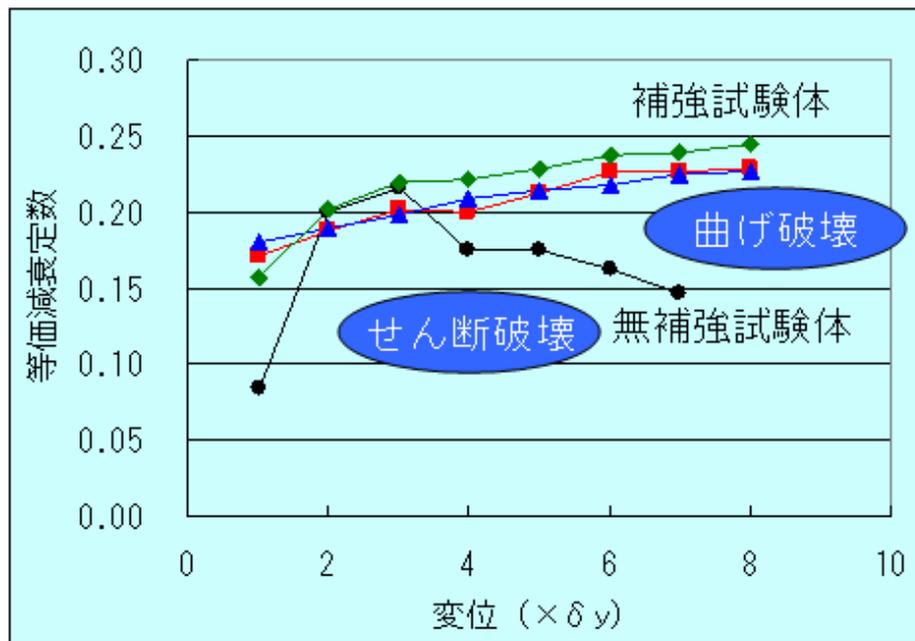
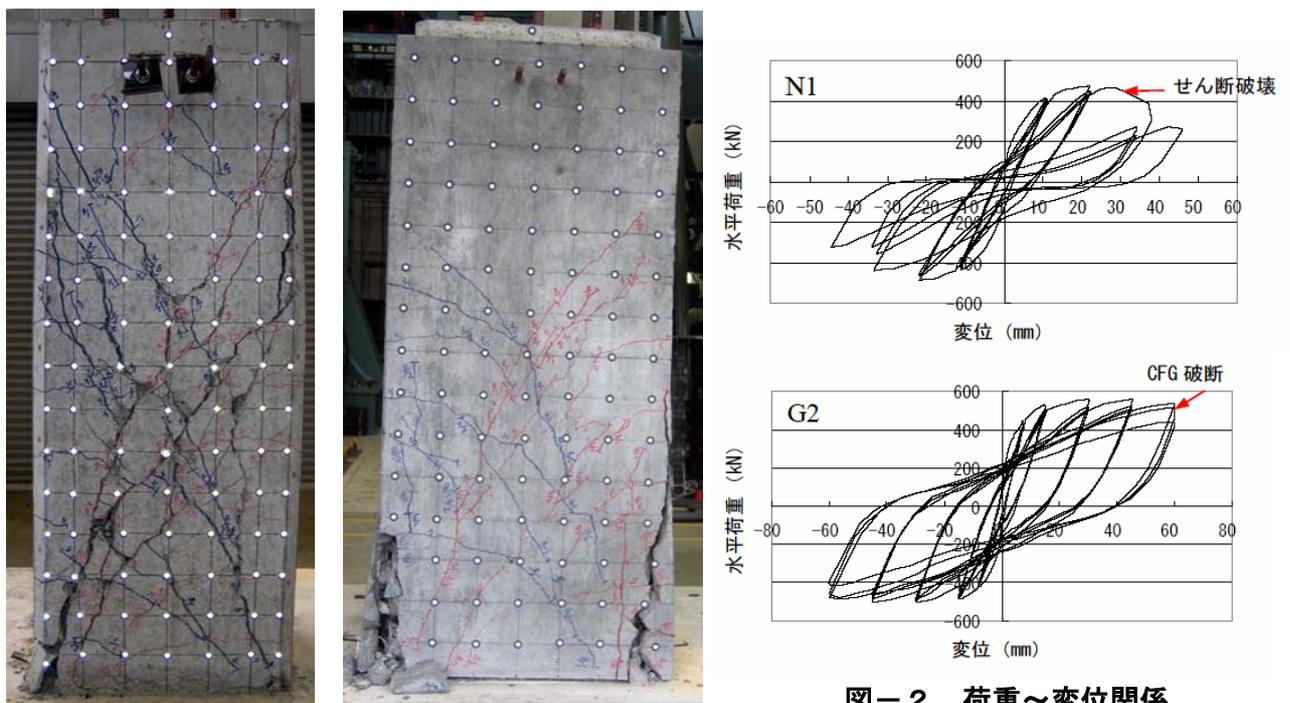


図-1 等価粘性減衰定数による耐震補強効果の評価  
(福山大学工学部での実大試験体による確認試験より)

《実大試験体による補強効果確認試験の結果》



左(N1)：無補強試験体  
( $3 \delta y$ )

右(G2)：新工法による補強試験体  
( $8 \delta y$ )

図-2 荷重～変位関係

## 5. ポリマーセメントモルタルの充填状況

実大試験体による確認実験終了後、試験体を切断しポリマーセメントモルタルのグリッド背面への充填状況を確認した。

写真-1は、グリッドの重ね継手部分におけるポリマーセメントモルタルの充填状況を示したものであり、母材コンクリートとグリッド間及びグリッドどうし間においても、空隙や未反応のモルタルが視認できず、接着面が極めて良好であり、確実に充填されていることがわかり、この例からもSto乾式吹付工法が、非常に優れた工法であることが判る。



《柱基礎部から1,000mの位置》



《柱基礎部から1,200mm付近》

写真-1 (ポリマーセメントモルタルのグリッド背面への充填状況)

## 6. 品質性能

Sto乾式吹付工法によって形成されたポリマーセメントモルタルの品質性能に関する特徴を以下に列記する。

- ① 高速、高圧吹付けにより、グリッド背面の細部に渡り充填できる。(写真-1)
- ② ポリマーセメントモルタルに含まれるポリマー効果をより一層高め、強い付着力により、接着仲介材を使用せずとも、母体に強固に付着させることができる。これにより、母体との界面における再劣化や付着不良による界面破断をなくす。
- ③ 交通振動下における床版下面等の補修においてもその優れた付着性が発揮される。
- ④ 緻密に形成された断面には空隙ができず、水密性に富み鉄筋腐食を引き起こす劣化因子の進入を阻止する。

### 6-1 耐久性能の向上

Sto乾式吹付け工法による高速、高圧充填により形成された断面は水密性の極めて高いものになるとともに、混入されているポリマーにより形成されるポリマーフィルムの効果と相乗して優れた耐久性能を示す。

このことは、現在社会問題となっているコンクリート構造物の劣化の原因となる有害物質のコンクリート構造物への進入を阻止し、構造物自体の耐久性を高める要因となる。九州大学との共同研究において、その優れた耐久性能の向上についても証明されている。

### 6-1-1 中性化抵抗性

中性化促進試験の結果によれば、吹付けモルタルと普通セメントモルタルを比較した場合、図-3より、概ね水セメント比が40%の普通モルタルと同程度の中性化抵抗性を有することが判る。これは通常の場合に補修に用いる普通セメントモルタルの水セメント比が50~60%の範囲にあり、これらと比較した場合に高い中性化抵抗性を示している。

尚、普通セメントモルタルの促進条件は温度20℃、湿度60%、CO<sub>2</sub>濃度5%であり、吹付けモルタルの促進条件が温度40℃、湿度60%、CO<sub>2</sub>濃度7%と異なっているため、魚本・高田が提案している中性深さ予測式を用いて換算した値で比較している。

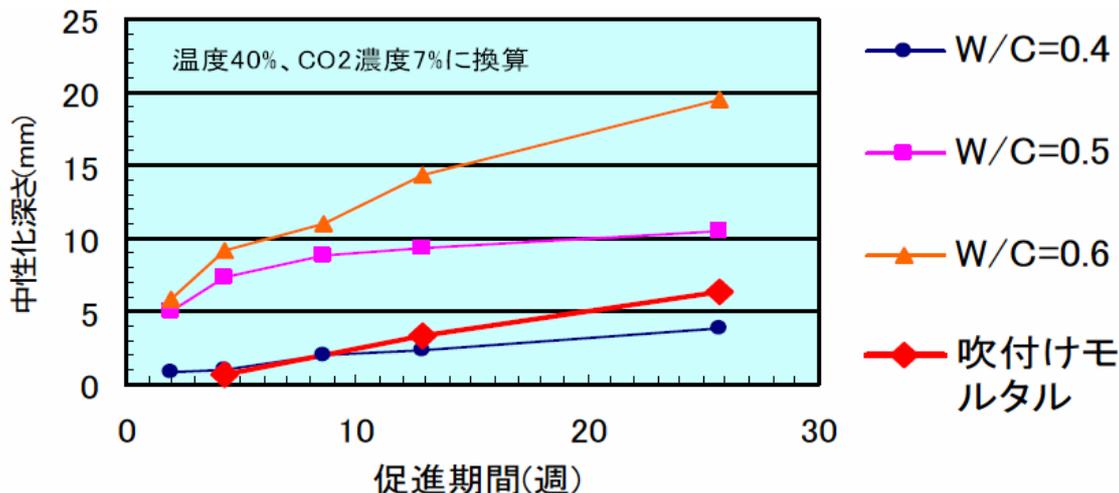


図-3 促進中性化試験

### 6-1-2 塩分浸透阻止性能

塩分浸透阻止性能については、中性化抵抗性と同様に普通セメントモルタルと比較した場合は図-4より、水セメント比40%の普通モルタルよりもかなり高い塩分浸透阻止性能を有することを示している。

試験条件は20℃、NaCl濃度10%溶液に浸漬している。

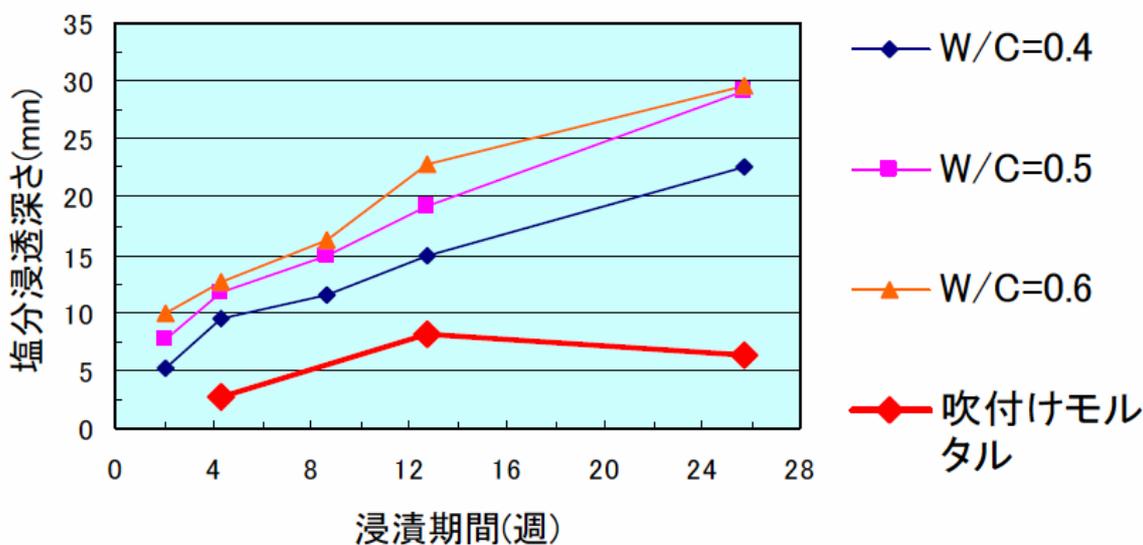


図-4 塩分浸透阻止性能試験

## 7. 結論

Sto乾式吹付け工法と高強度炭素繊維グリッドを併用した方法によって補強されたRC柱試験体を用いた正負交番繰返し載荷試験を行い、新工法の耐震補強方法として有効性の確認を検討し、以下の結論を得た。

- (1) せん断補強が十分でない既存のRC柱を提案工法にて補強した試験体は、大変形の正負交番載荷を受けても履歴ループの形状は紡錘形をしており、最終的な破壊形式も、せん断破壊ではなく柱基部の曲げ破壊であった。
- (2) じん性率および等価粘性減衰定数からみる限り、提案工法によって補強することにより耐震性が大きく向上し、新基準に準拠して耐震設計された試験体と同等以上の耐震性能を付与できることが確認された。
- (3) 提案工法によって曲げ耐力向上型の補強を施した試験体は、補強前の試験体と比較して、曲げ耐力およびじん性が大きく向上した。また、大変形での繰返し載荷においても等価粘性減衰定数の値は低下することなく、非常に優れた耐震性を示した。
- (4) 提案工法によって補強された既存RC道路橋橋脚の耐震性は、道路橋示方書V耐震設計編に基づいて耐震設計を行えば、安全側で評価できる。

## 8. 今後の展望と課題

Sto乾式吹付け工法は、2002年4月に導入と同時に国内各地で実績をつくとともに併行して各種の性能試験、NETISへの登録、東京都建設局の新材料・新工法選定、JR西日本断面修復材の認定材料登録、各都道府県の新工法・新材料登録を行ってきた。

今後は特に、現在、問題となっている橋梁構造物の耐久性強化、補修補強に関連して、Sto乾式吹付け工法と軽量かつ高強度炭素繊維グリッドを併用した補強方法は、その付着性、施工性、耐久性の点で耐震補強方法としては極めて効果的である工法と考えられる。

また、今後の課題としては以下のものが挙げられる。

- ① 材料の安定した供給と品質管理技術の向上。
- ② 吹付けノズルマンの定期的な教育と育成。
- ③ 定期的な機械の点検と修理、維持管理技術の向上。
- ④ 機械設備のメンテナンス技術者の養成。

## 9. 終わりに

このたび「中国地方建設技術開発交流会」に於いて、提案工法を中国地区の皆様にご紹介させていただく機会を与えて頂き感謝いたします。今後、公共事業が減少していくなかでも社会資本の維持補修はむしろ増えていくものと予想されます。コンクリート構造物の補修・補強に適切なソリューションを提供し社会資本の維持に貢献することで時代の要請に応えていきたいと考えております。

- 〈参考文献〉
- ・乾式吹付けと炭素繊維グリッドを併用した補強方法の耐震補強効果, 宮内克之 清水健蔵: コンクリート工学年次論文集Vol. 29, No.3, 2007
  - ・乾式吹付け工法を用いたRC橋脚の曲げ耐力向上型補強, 宮内克之、秋田政人、下枝博之、黒石吉孝: コンクリート工学年次論文集Vol. 31, No.2, 2009
  - ・ポリマーセメントによる乾式吹付工法の塩害、中性化に対する耐久性の検討と日本での施工実績, 松本光昭、窪田昌行、鶴田浩章、佐川康貴: 土木学会西部支部論文
  - ・コンクリートの中性化速度に及ぼす要因, 魚本、高田: 土木学会論文集No. 451/V-17, pp. 119-128, 1992. 8