

組合せ鋼材巻立て補強工法による高架橋柱の耐震補強工事

東急建設（株） 正会員 ○黒岩 俊之，正会員 伊藤 正憲，正会員 前原 聡
東急建設（株） 正会員 笠倉 亮太，正会員 三輪 昌義
東京急行電鉄（株） 正会員 宮蔭 和人

1. はじめに

兵庫県南部地震で鉄道施設が大きな被害を受けたことを踏まえて，既設構造物の耐震性を検証し，今後起こりうる大地震に備え，順次耐震補強が着々と実施されている．耐震補強を推進していくうえで，都市部の高架橋における耐震補強工事の課題として，高架下利用がされている場合や，道路もしくは他の構造物などと近接するなど，施工スペースの確保が困難な狭隘部での施工が挙げられる．

本稿では，そのような施工条件に対応できる「組合せ鋼材巻立て補強工法」（以降，CB フープ工法）の特徴と工法開発の経緯，高架橋柱の耐震補強に適用した施工事例を報告する．

2. 工法概要

CB フープ工法は，図-1 に示すように，高架橋柱を対象とした耐震補強工法であり，組立て式補強鋼材と吹付けモルタルで構成された工法である．

CB フープ工法の特徴は，補強帯鉄筋を4分割したところにある．それぞれの材料は軽量化を図り，重

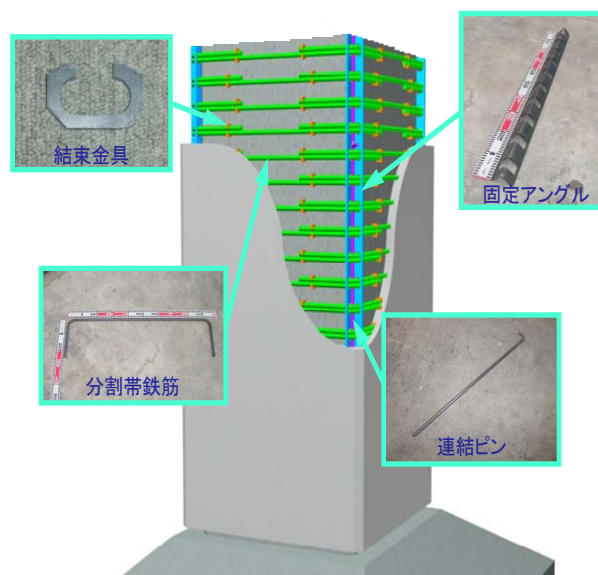


図-1 CB フープ工法の概要

機を必要とせず人力で組み立てられるとともに，分割することで狭隘部での施工を可能としている．分割帯鉄筋は，固定アングル鋼材およびくさび状の丸鋼（連結ピン）により躯体隅角部で緊結され，さら

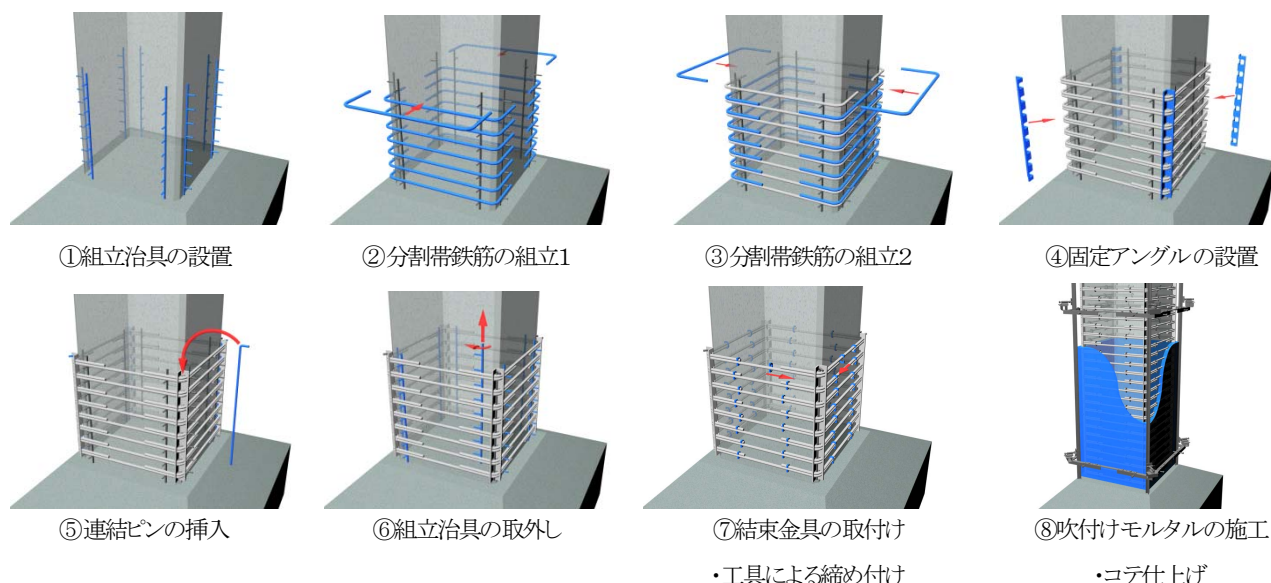


図-2 施工フロー図

キーワード 耐震補強，高架橋柱，狭隘部施工，吹付けモルタル，せん断耐力，変形性能

連絡先 〒150-8340 東京都渋谷区 1-16-14 東急建設株式会社 土木総本部 土木技術部 TEL 03-5466-5272

に結束金具を設置することで帯鉄筋として機能することになる。なお、固定アングルは、分割帯鉄筋を一体化させる効果と同時に、帯鉄筋を所定のピッチに配置する段取り筋の役割も果たし、鉄筋の組み立て精度の確保につながっている。実施工においては、鉄筋組立て後、吹付けモルタルの施工を行い補強が完了する。

3. 施工方法

図-2 に CB フープ工法の施工手順を示す。

- 1) 補強する既設柱に 4 分割した鉄筋を配筋するためのラック状の組立治具を設置
- 2) 分割した帯鉄筋の組立 1
- 3) 分割した帯鉄筋の組立 2
- 4) 固定アングルの設置
- 5) 帯鉄筋と固定アングルとの間に連結ピンを挿入
- 6) 組立治具の取外し
- 7) 帯鉄筋の継手部に結束金具を取付け、専用工具を用いて結束金具を締め付ける
- 8) 吹付けモルタルの施工、コテ仕上げ

写真-1 に組立が完了した状況を示すが、鉄筋組立の試験施工では、高さ 6m、幅 900mm 程度の高架橋柱の施工時間としては約 1.5 時間で鉄筋を組み立てることができた。

写真-2 に狭隘部での施工前後の状況を示す。既設躯体と配管の間が 150mm 程度の狭隘部においても、通常箇所と同等の効率で、施工が可能であることを確認している。

4. 試験施工

耐震補強の実工事で課題となるのがひび割れの抑制である。特に、都市部における鉄道高架橋の耐震補強工事は、列車振動下で既存高架橋柱に吹付け施工しても、有害なひび割れが発生しないことが要求される。そこで、実施工前に写真-3、写真-4 に示すような実高架橋柱（□800×1500mm×2 本）を対象として試験施工を行った。試験施工の対象とした高架橋柱は、列車振動の影響を受け易い条件下となる営業線の線路分岐直下の柱とした。この高架橋柱に CB フープ工法を適用し、列車振動を受けたモルタルのひび割れの発生状況と、ひび割れ対策について最も効果的な手法について検討を行った。

表-1 に吹付けで施工する高強度繊維補強モルタルの基本物性値、表-2 に各種ひび割れ対策条件を示



写真-1 鉄筋組立完了



写真-2 狭隘部施工前後の状況



写真-3 試験施工状況（吹付けモルタル）



写真-4 試験施工完了

表－1 モルタルの基本物性値

試験方法	項目	物性値
JIS A 1171	曲げ強さ	11.7N/mm ²
	圧縮強さ	72.0N/mm ²
	接着強さ	2.7N/mm ²
	長さ変化率	0.067%
	中性化深さ	0mm

表－2 ひび割れ対策条件

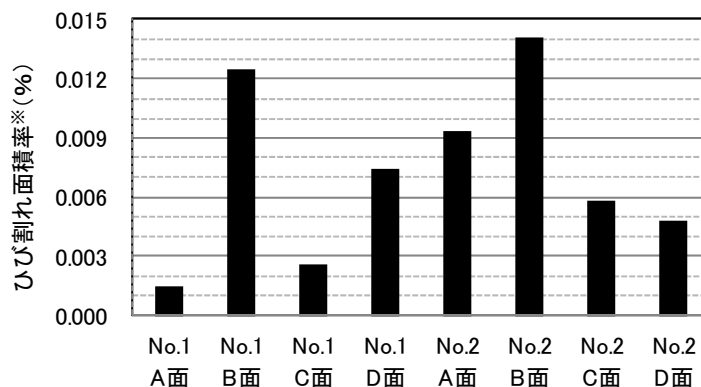
項目	No.1 A面	No.1 B面	No.1 C面	No.1 D面	No.2 A面	No.2 B面	No.2 C面	No.2 D面
繊維添加率 (vol%)	0.05	0.05	0.1	0.1	0.05	0.05	0.05	0.05
収縮低減剤塗布* (回数)	1	－	1	－	1	－	2	1
メッシュの有無**	有	有	－	－	－	－	－	－

*:5日間シート養生後、低級アルコール系収縮低減剤(150g/m²)を塗布

**:2軸ビニロンメッシュを仕上げ層にコテで埋込み

す。ひび割れ対策の効果を確認するため、補強完了後2カ月までひび割れ観察を行った。

図－3 に各条件(面)におけるひび割れ面積率を示す。モルタル表面の乾燥が影響して発生したと考えられる微細なひび割れが観察されたものの、列車振動による有害なひび割れの発生は確認されなかった。各種ひび割れ対策のなかで最もひび割れが抑制できた条件は、No.1-A面であり、次いでNo.1-C面であった。施工性・経済性を考慮した場合、No.1-C面の条件(補強繊維添加率0.1vol%、収縮低減剤塗布1回)がひび割れ対策として最も効果的であると考えられた。したがって、養生方法として収縮低減剤の塗布あるいは、躯体表面を塗装することを標準とした。



※ひび割れ面積(幅×長さ)を各対象面の面積で除した百分率

図－3 各面におけるひび割れ面積率

5. 補強の効果

(1) 実験概要

CB フープ工法により補強した柱の耐震性能は、せん断耐力および変形性能について載荷試験を行い確認した。

表－3 に本実験に用いた試験体の諸元および補強内容を示す。補強前の試験体はせん断破壊先行とし、2層式ラーメン高架橋によく見られるせん断スパンが短く、補強前のせん断耐力が極端に少ないものを想定した。No.1は縮小試験体での変形性能および分割タイプの固定アングルの影響の確認、No.2はせん断耐力の確認、およびNo.3は実大規模での変形性能の確認を主な目的とした。図－4に試験体配筋図を、表－4、表－5に使用

用材料の諸性状を示す。

No.1, No.3の載荷試験は、一定の軸方向圧縮力を作用させた状態で、水平方向に正負交番載荷を行った。軸力(N)は、地震時に高架橋柱に作用する軸圧縮応力(3N/mm²)を参考に、No.1はN=750kN, No.3

表－3 試験体一覧

試験体 No.	補強前				補強			
	断面寸法 (mm)	軸方向 鉄筋	帯鉄筋	a/d	吹付厚さ (mm)	帯鉄筋	連結ピン	固定 アングル
1	500×500	SD345 D22-28本	SR235 φ6ctc50	2.74	45	SD345 D10ctc50	SR235 φ9	分割タイプ t=6mm
2	500×500	SD390 D22-28本	SR235 φ6ctc220	2.74	45	SD345 D10ctc200	SR235 φ9	連続タイプ t=6mm
3	800×800	SD345 D35-24本	SR235 φ9ctc150	2.67	70	SD345 D19ctc90	SR235 φ13	連続タイプ t=9mm

表－4 鋼材の降伏強度

種別	降伏強度 (N/mm ²)	備考
D35	391	No.3
D22	442	No.2
D22	378	No.1
D19	381	No.3
D10	383	No.1,2
φ9	373	No.3
φ6	356	No.1,2

表－5 圧縮強度の一覧

試験体 No.	コンクリート (N/mm ²)	モルタル (N/mm ²)
1	33.2	67.7
2	36.5	52.0
3	28.0	65.5

注1)コンクリートの最大粗骨材寸法

No.1,2 Gmax=13mm

No.3 Gmax=20mm

注2)モルタルは吹付け後の圧縮強度

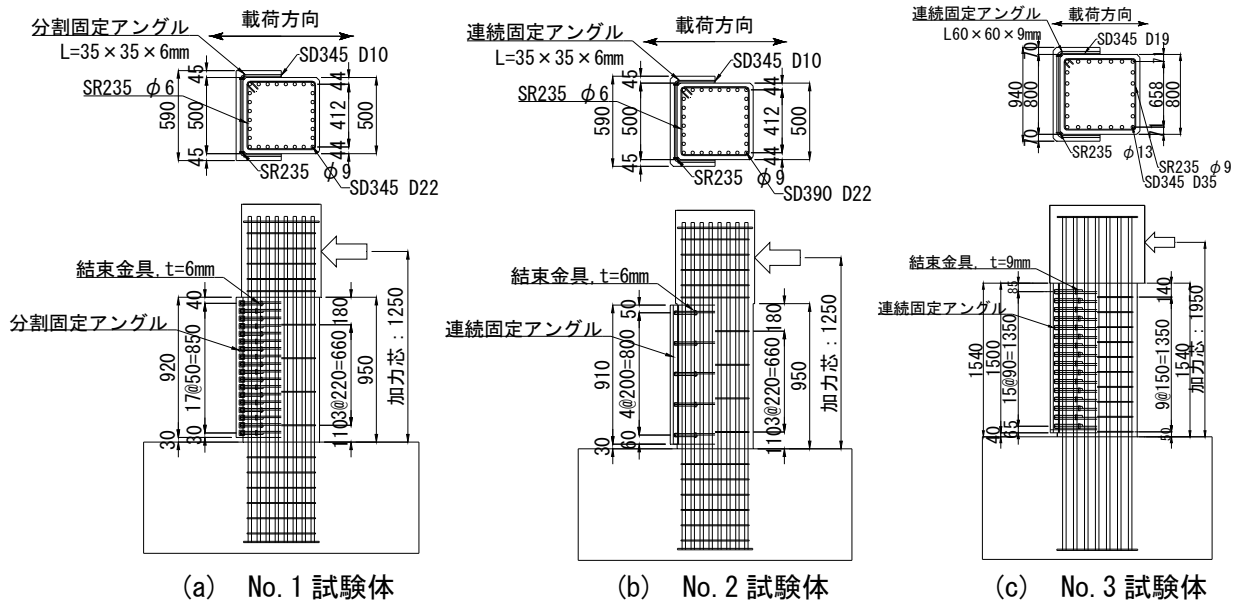


図-4 試験体配筋図

は $N=1920\text{kN}$ とした。載荷パターンは、軸方向鉄筋が降伏した変位を降伏変位 (δ_y) とし、この降伏変位を基準とした 3 サイクル載荷とした。No. 2 は、軸力を導入せずに単調増加による水平載荷を行った。

(2) 実験結果

図-5 に No. 2 の荷重-変位関係を、写真-5 に破壊状況を示す。図中には、RC 標準¹⁾により求めた曲げ耐力 (P_u) およびせん断耐力 (V_y) の算定値と、二羽らの研究²⁾によるせん断スパン比の影響を考慮した V_y を示す。No. 2 は、曲げひび割れが徐々に斜めひび割れに移行し、500kN 付近で柱の引張側上部から圧縮側下部に向けて斜めひび割れが発生した。既設帯鉄筋は 572kN、分割帯鉄筋は 550kN で降伏ひずみに

到達してせん断破壊した。最大荷重は 642kN であり、算出したせん断耐力 $V_y = 392\text{kN}$ および 538kN を大きく上回ることが確認された。以上のことから、吹付けモルタルおよび補強帯鉄筋が既設柱部分と一体となって挙動しており、RC 標準を適用できる破壊形態と考えられる。

No. 1, No. 3 の荷重-変位関係を図-6, 図-7 に、破壊状態を写真-6, 写真-7 に示す。図中には、既往の研究³⁾において、モルタル吹付けによる巻立て補強に対して提案されている骨格曲線を示す。No. 1 は、軸方向鉄筋の降伏後、 $4\delta_y$ でモルタルの剥離が観察され、 $6\delta_y$ の正側で柱基部の圧壊が進み、負側で荷重低下した。No. 3 は、軸方向鉄筋の降伏後、2

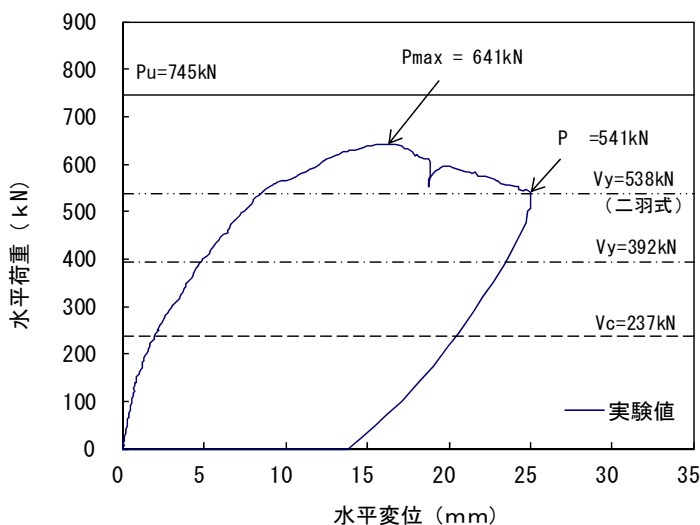


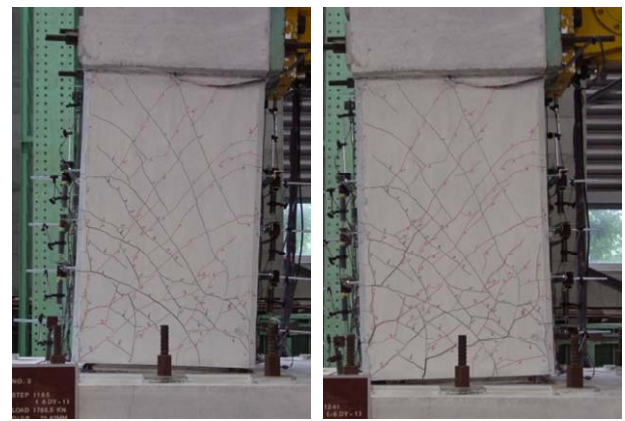
図-5 荷重変位曲線 (No. 2)



写真-5 試験体破壊状況 (No. 2)



6 δy -6 δy
写真-6 試験体破壊状況 (No. 1)



6 δy -6 δy
写真-7 試験体破壊状況 (No. 3)

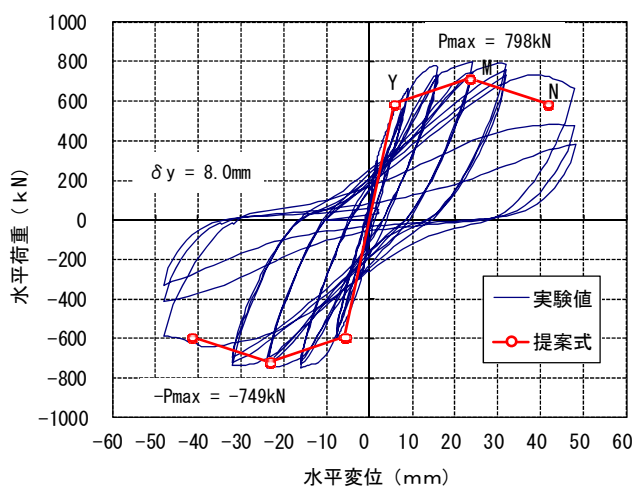


図-6 荷重変位曲線 (No. 1)

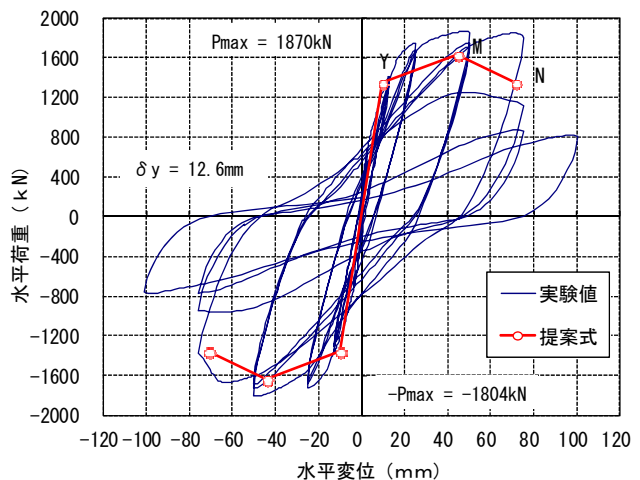


図-7 荷重変位曲線 (No. 3)

δy で柱基部が圧壊し、 $6\delta y$ の負側で荷重低下した。補強によって、どちらの試験体の破壊形態も、せん断破壊型から曲げ破壊型へ移行したと考えられる。図-6、図-7 より、No. 1、No. 3 の荷重-変形関係は、既往の手法により算定した部材降伏点 (Y 点)、最大耐荷力点 (M 点) および終局点 (N 点) を包絡する結果となった。

以上の実験結果をまとめる。

- (1) CB フープ工法で補強した柱部材のせん断耐力は、RC 標準に示される棒部材のせん断耐力の設計式により評価できることを確認した。
- (2) せん断破壊する試験体を CB フープ工法により補強することで、破壊形態を曲げ破壊型へ移行できることが実大規模の試験体で確認できた。
- (3) CB フープ工法により補強した柱部材の変形性能は、同種の既往の実験により提案された手法に

より、評価できることが確認できた。

6. 施工事例

(1) 工事概要

補強対象の高架橋柱は、2 層式 3 径間ラーメン高架橋の柱 63 本である。図-8 に耐震補強工事を行う高架橋の標準構造図を示す。

本工事では高架橋柱に側道が近接しており、道路側の作業スペースの確保が困難であった。このような狭隘箇所での耐震補強工事は、一般に労力と施工期間を要するため、工事費が増大する原因となっていた。さらに、本工事終了後、引続き高架下商業施設の建築工事が行われる予定であり、短期間での施工が必要であった。そこで、狭隘部での施工、短期施工が可能な工法として CB フープ工法が適用された。

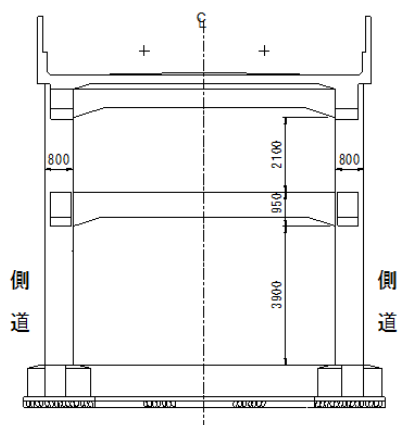


図-8 標準構造図

(2) 鋼材の組立

鋼材の組立作業を写真-8 に示す。CB フープ工法は、補強材に分割帯鉄筋を用いているため各部材が軽く、近接する道路により作業スペースの確保が難しい箇所（幅 40 cm 以下）での組立も円滑に作業を行うことができた。

(3) モルタル吹付け

モルタル吹付けは所定のかぶりを確保するために目標となる定規を設けて行った。吹付け定規は 4 面から長ねじを締めつけて固定を行い、躯体を傷つけないようアンカーレスで施工できるものである。また、柱幅に合わせてフレームを調整できるようにした（写真-9）。

吹付け作業を写真-10 に示す。補強後の状況を写真-11 に示す。

(4) 工期

63 本中の 4 本を先行して施工し、その後、残り 59 本を約 3 ヶ月で施工することができた。

さらに、高架下に商業施設や電気設備等が設置されている場所においても、耐震補強工事による撤去・復旧範囲の縮小が期待できることから、付帯工事を含めた耐震補強事業全体に対する進捗率向上や事業費圧縮にも効果があると考えられる。

7. おわりに

都市部の鉄道高架橋などで施工スペースの確保が困難な狭隘部の施工にも対応するための耐震補強工法として CB フープ工法を考案し、ひび割れ対策のほか、せん断耐力および変形性能を確認した実大規模の載荷実験結果などを踏まえて、狭隘箇所のある耐



写真-8 鋼材の組立状況



写真-9 吹付け定規の設置状況

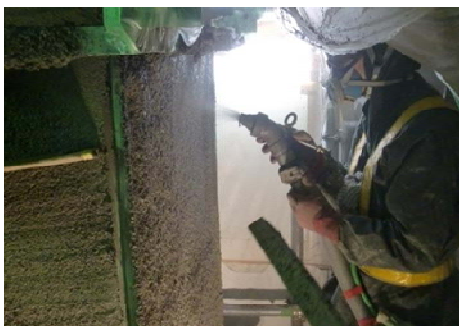


写真-10 モルタル吹付け作業



写真-11 施工完了

震補強工事に適用した。

最後に、平成 23 年 3 月に発生した東北地方太平洋沖地震により市民生活を支える重要な社会基盤である土木構造物が甚大な被害を受けた。本報告が地震災害に備えた対策の一助となれば幸いである。

謝辞

本工法の構造性能の評価において、(公財) 鉄道総合技術研究所にご指導いただきました。ここに、関係各位に感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 鉄道総合技術研究所：鉄道構造物等設計標準・同解説(コンクリート構造)，丸善，2004
- 2) 二羽淳一郎，山田一字，横沢和夫，岡村甫：せん断補強鉄筋を用いない RC はりのせん断強度式の再評価，土木学会論文集，第 372 号/Ⅴ-5，1986
- 3) 前田友章，岡本大，谷村幸裕，庄野昭，中村敏晴：補強鋼材と吹付けモルタルで補強した RC 柱の変形性能算定手法，土木学会第 64 回年次学術講演会概要集，2009.9