

吹付けモルタルによる鉄道高架橋柱の耐震補強

○ハザマ	技術研究所	正会員	山下英俊
ハザマ	土木本部	正会員	庄野 昭
ハザマ	広島支店		佐藤忠明
J R西日本	岡山支社		大石武男

1. はじめに

阪神・淡路大震災以来、各機関において高架橋柱の耐震補強工法が行われているが、そのほとんどが鋼板巻き補強工法を採用している。鋼板巻き補強工法は、確実性、経済性、信頼性において最も実績があり、施工空間上の制約が少ない場所では、優れた工法と思われる。しかし、鋼板の搬入、設置に重機が必要なこと、広い作業スペースを要すること等の施工面と、鋼板の防錆処理が必要なこと等のメンテナンス面での課題も残っている。このため、この鋼板巻き補強工法の課題を改善するために、多くの耐震補強工法が（財）鉄道総合技術研究所などの各機関から提案¹⁾されている。ここでは、J R西日本 岡山支社内で試験的に施工した吹付けモルタル工法²⁾について報告する。

2. 鉄道高架橋柱の耐震補強工法

鉄道ラーメン高架橋柱部材の設計の基本的考え方は、せん断破壊による脆性的な破壊を防止し、地震エネルギーを変形性能によって吸収できる靱性率を確保することにある。このため、現有せん断耐力が設計せん断耐力よりも小さい場合にはせん断補強を行い、同時に現有靱性率が設計靱性率よりも小さい場合には靱性補強を行うこととしている。

この設計の考え方に従い、図-1に示す本吹付けモルタル工法以外にも炭素繊維シート、アラミド繊維シートを用いた工法、FRP吹付け工法、プレキャスト型枠工法など、材料面や施工面で工夫を凝らした各種補強工法が現在提案されている。

3. 吹付けモルタルによる耐震補強工法

3. 1 吹付けモルタルの特徴

当初、鋼管柱やコンクリート充填鋼管柱などの鋼製橋脚をセメント系材料で被覆することを目的に吹付けモルタルの性能試験³⁾を進めていた。直径 1.7m、高さ 0.5m の鋼管の内部にコンクリートを充填した大型のリング供試体に、市販のプレミックスの吹付けモルタル3種類を 20mm の厚さで吹き付け、ひび割れ試験を実施した。その結果、ひび割れ発生時期に多少の相違が見られたものの、いずれも数十cm間隔でひび割れが生じ、最終的には剥離するものも見られた。そこで、吹付け厚さやコテ仕上げの施工性を損なわない範囲で、より収縮量の少ない吹付けモルタルに改良し、さらにワイヤーメッシュやビニロンメッシュの中間配置、パラフィン系の水性養生剤の塗

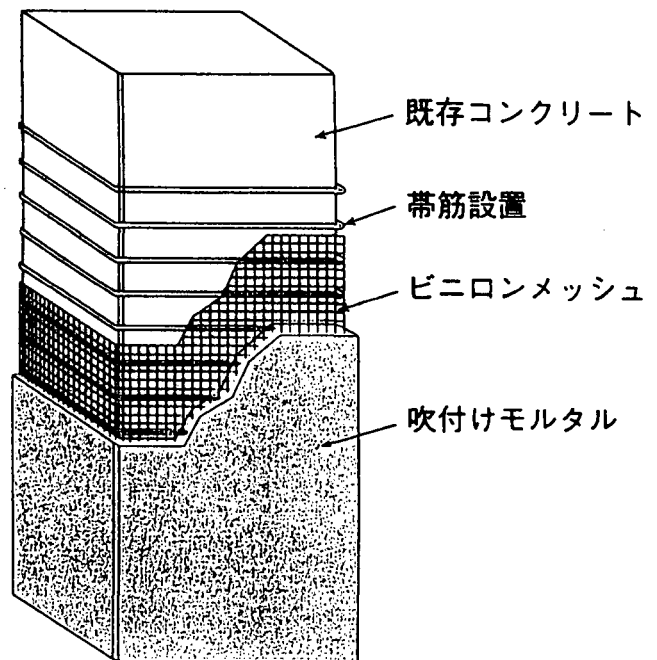


図-1 吹付けモルタル工法の概要

キーワード：耐震補強、吹付けモルタル、補強帯鉄筋、カプラー継手

茨城県つくば市荻間字西向515-1 TEL:0298-58-8814、Fax:0298-58-8819

表－1 吹付けモルタルの品質

項 目	試 験 結 果	試 験 方 法
圧縮強度	材齢 28 日で 600 kg f/cm ² 以上	JIS A 1108 「コンクリートの圧縮強度試験方法」
曲げ強度	材齢 28 日で 90 kg f/cm ² 以上	JIS R 5201 「セメントの物理試験方法」
静弾性係数	3 × 10 ⁵ kg f/cm ²	1/3 割線弾性係数
コンクリートとの付着強度	26 kg f/cm ²	建研式接着力試験機
乾燥収縮量	材齢 28 日で 0.04 % 以下	JIS A 1129 「モルタル及びコンクリートの長さ変化試験方法」
凍結融解抵抗性	300 サイクルで異常なし	土木学会規準
中性化深さ	材齢 7 日で 0.00 mm 材齢 56 日で 0.05 mm	温度 20℃、炭酸ガス濃度 10 %、気圧 3 kg f/cm ² の促進試験
塩化物イオン浸透量	表面からの深さ 0 ～ 1 cm で 0.163 % " 1 ～ 2 cm で 0.012 %	3 % NaCl 溶液 8J 時間浸漬、16 時間乾燥の繰り返し試験

布をパラメータとした同様なひび割れ試験を実施した。その結果、改良したモルタルとビニロンメッシュおよび養生剤を組み合わせることで、ひび割れの発生を大幅に抑制できることが確認できた。

この材料開発によって得られた吹付けモルタルは、ポルトランドセメント、粒度調整した珪砂、膨張材料、プラスチック系短繊維、鉱物質微粉末、減水剤などを材料としている。吹付け補強に用いるモルタルの品質を表－1 に示す。本モルタルは、既設コンクリート柱と補強帯鉄筋の間に十分充填され、補強帯鉄筋を覆うことにより、鉄

筋によるコンクリート拘束効果を発揮させるとともに、鉄筋の腐食を防止する目的で使用する。そのため、耐久性に関する項目が重要である。鉄筋の腐食を抑制する性能としての中性化深さ試験では、対比した普通モルタル（W/C=32 %、スランプ 12 cm）の 3 % 以下と極めて小さく、また、塩化物イオン浸透試験では、対比した AE コンクリート（W/C=50 %、スランプ 8 cm）の 1/4 ～ 1/10 以下であり、凍結融解試験結果でも、同当以上の性能を有している。このことから吹付けモルタルは、鋼材に対するかぶりを 2 cm 以上とすることで、通常のコンクリートと同等以上の防錆効果を有すると言える。

実施工においては、補強帯鉄筋の径およびカプラーの寸法を考慮し、吹付け厚さを 50 mm とした。

3. 2 補強帯鉄筋の特徴

補強帯鉄筋は、既設コンクリート柱を囲み確実に接続することによって、はじめて補強効果が保証される。したがって、補強帯鉄筋の継手には、表－2、図－1 に示す樹脂系の充填材を用いたカプラー継手とした。

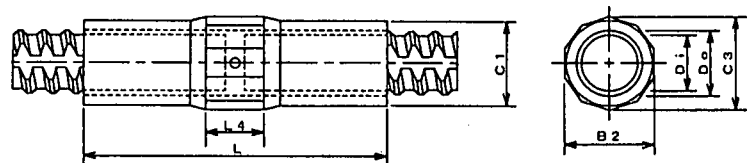
3. 3 吹付けモルタルによる耐震補強の特徴

吹付けモルタル補強の構造は、図－1 に示したとおり単純であり、既存高架橋柱の補強に必要な量の鉄筋を巻き、特殊なモルタルを吹き付けることにより一体化するものである。本工法の特徴を設計、施工面で整理すると以下のとおりである。

表－2 カプラー継手の概要

単位：mm

呼び名	継手外径					カプラー 全長 L	ねじ部形状寸法		
	円形		十 角 形				ピッチ P	内径 D i	谷径 D o
	直径 C 1	対辺 B 2	対角 C 3	長さ L 4					
D19	29	31	32.6	30	110	8	18.9	22.3	
D22	34	36	37.9	30	125	9	21.8	25.6	



図－2 カプラー継手の概要

表-3 試験条件

試験体	b × D (mm) [既設断面]	M/QD (脚部)	コンクリート 圧縮強度 (kg f/cm ²)	主筋 (主筋比)	既設断面帯筋		モルタル 圧縮強度 (kg f/cm ²)	軸 力	破壊モード		
					脚部 (補強筋比)	一般部 (補強筋比)				脚部 (補強筋比)	一般部 (補強筋比)
No.1	900 × 900 [800 × 800]	3.33	354	SD295 2D-D32 (2.48 %)	SR235 9 φ @150 (0.11 %)	SR235 9 φ @300 (0.05 %)	SD490 D19@90 (0.72 %)	SD490 D19@180 (0.36 %)	定軸力 240tonf (柱基部既設断面 で 37.5 kg f/cm ²)	曲げ破壊	
No.2			345				ワイヤー 6 × 19 9 φ @20 (0.36 %)	ワイヤー 6 × 19 9 φ @40 (0.18 %)		868	曲げ破壊
No.3			360				SD490 D19@80 (1.09 %)	SD490 D19@180 (0.36 %)		765	曲げ破壊

表-4 比較用試験条件

試験体	b × D (mm)	M/QD (脚部)	コンクリート 圧縮強度 (kg f/cm ²)	主筋 (主筋比)	帯 筋		鋼板補強 (SM400)	モルタル 圧縮強度 (kg f/cm ²)	軸 力	破壊モード
					脚部 (補強筋比)	一般部 (補強筋比)				
無補強	800 × 800	3.75	338	SD295 20D-32 (2.48 %)	SR235 9 φ @150 (0.11 %)	SR235 9 φ @300 (0.05 %)	なし	なし	定軸力 240tonf (3.75(kg f/cm ²))	曲げ降伏後せん断破壊
6 mm 鋼板巻き	830 × 830		364				t=6 mm	441		曲げ破壊

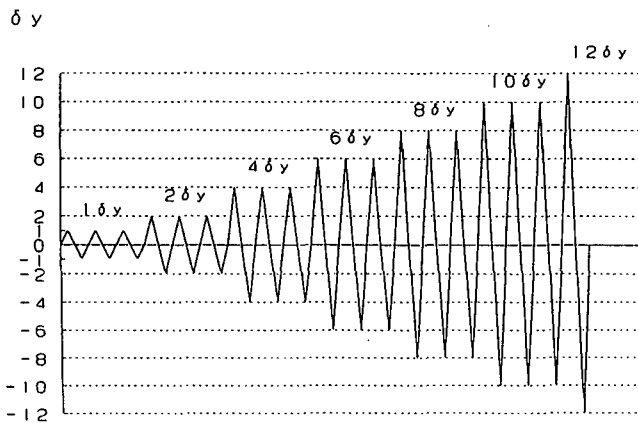


図-3 加力サイクル

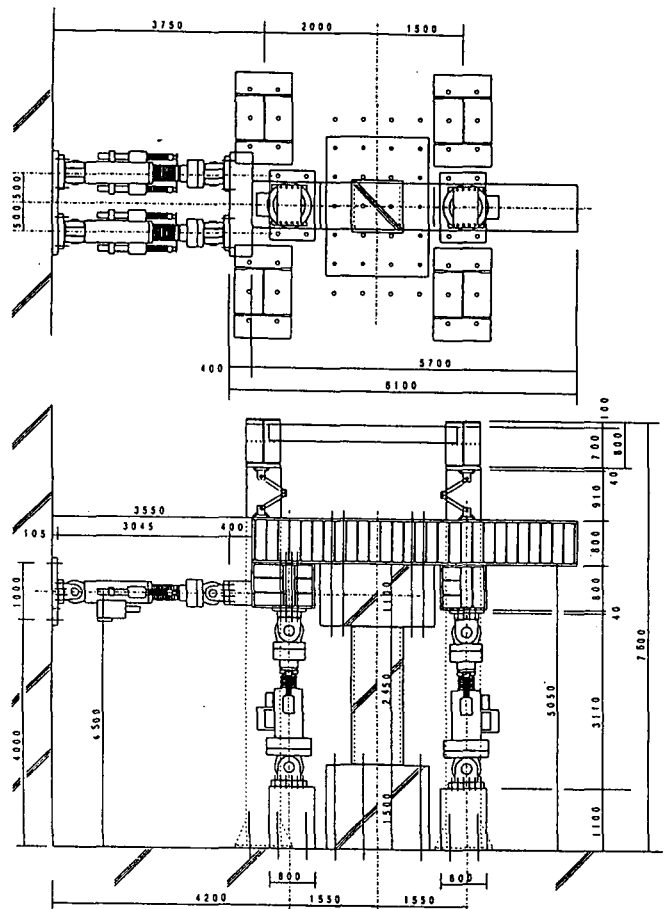


图-4 加力装置

- ①補強目的に応じて補強帯鉄筋量（帯鉄筋の強度、径、間隔）の調整が可能である。
- ②補強帯鉄筋の継手を機械式継手とすることから、曲げ破壊の終局時まで帯鉄筋の拘束効果が期待できる。
- ③セメント系材料による耐久的な被覆材（吹付けモルタル）で補強帯鉄筋を保護するため、腐食、火災、衝突など化学的、物理的耐久性に富む。
- ④軽量な材料を使用するため、重機が不要である。
- ⑤プレミックス材料を使用するため、容易に安定した品質の吹付けモルタルを製造できる。
- ⑥モルタル表面をコテ仕上げするため、美観上優れている。

表－５ 主要結果一覧

試験体	降伏耐力 P_y (tf)	降伏変位 δ_y (mm)	最大耐力 P_{max} (tf)	終局変位 δ_u (mm)	靱性率 (δ_u/δ_y)	破壊形式
無補強	8 1	2 1. 0	8 7	4 3. 6	2. 1	曲げ降伏後のせん断破壊
6mm鋼板	8 1	1 2. 9	9 7	1 3 5. 0	1 0. 5	曲げ破壊
No. 1	8 1	1 8. 2	1 0 4	1 6 4. 3	9. 0	曲げ破壊
No. 2	7 9	1 7. 9	1 0 4	1 5 6. 5	8. 7	曲げ破壊
No. 3	7 8	1 6. 7	1 1 0	1 9 7. 2	1 1. 8	曲げ破壊

3. 4 吹付け補強による耐震補強効果

変形性能の改善等の補強効果を確認するために、昭和 40 年当時の RC 1 層ラーメン高架橋の柱断面 (80 cm × 80 cm) を実寸で模擬した 3 試験体の水平交番載荷実験を実施した。また、合わせて同様な試験方法によった無補強試験体、6 mm 鋼板 (SM400) 巻き補強試験体の結果⁴⁾と比較した。それぞれの試験体条件を表－ 3、表－ 4 に示す。

載荷試験は、図－ 3 に示すように、一定軸力 240 ton を与え、加力点位置における降伏変異 δ_y を基準として $\pm 1, 2, 4, 6, 8, 10, 12 \delta_y$ の所定の変位において各 3 サイクルずつの正負交番とした。各試験体の荷重－変位関係の包絡線を図－ 4 に重ねて示した。主な試験結果を表－ 5 に示す。

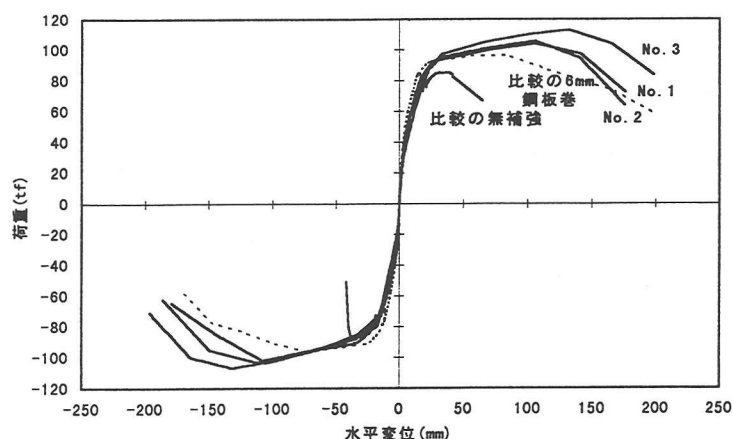
以上の試験結果から、吹付け補強が鋼板巻き補

強と同程度の補強効果を有することが確認された。補強帯鉄筋量 (D19 を標準) は、せん断補強および靱性補強に対する安全性の検討を行って計算から求めるが、標準的なラーメン高架橋柱に対しては、せん断補強区間で 200 mm 間隔、靱性補強区間で 60 ～ 100 mm 間隔に配置することとなる。

4. 実高架橋柱への適用

J R 西日本においては、大震災以後、山陽新幹線を優先に鋼板巻き工法などの耐震補強を行い、96 年度までに高速区間の 9 割強が終了した。しかし、残りの 1 割弱や在来線などまだ多くの高架橋柱の補強が残されている。今までは、作業空間が比較的広く重機作業が可能な場所がほとんどであったが、今後は高架下を利用している場所など重機作業が困難な場所が多くなる。今までも、鋼板巻き補強以外の工法の検討をしており、今回その一工法として前述の吹付けモルタル工法を試験的に採用した。

補強効果については前述の通り鋼板巻き工法と同等であることが確認されているので、試験施工の目



図－ 5 試験結果



写真－ 1 全景

表－６ 施工条件

	項 目	条 件	備 考
鉄筋設置工 鉄筋継手工	天 候	特になし	
	温 度	特になし	
	湿 度	特になし	
	鉄筋間隔	2 D 区間 1 0 cm 間隔 2 D 区間以外 2 0 cm 間隔	計算書参照
	鉄筋固定	鉄筋設置用ガイドにて固定	
モルタル吹付け工	天 候	特になし、上部工の排水処理必要	
	温 度	2 ～ 3 5 ℃	
	湿 度	特になし	
	吐出量、吐出圧	0.3 ～ 0.6 m ³ / h, 7 kg f / cm ² 以下	
	養生方法、期間	シートで全面を覆う（足場の外側） 2 日程度（常温にて）	
	鉄筋かぶり	2 cm 以上	モルタル厚さ管理 用ガイドによる

的は、主として施工性や歩掛りの確認とした。対象は写真－１に示す岡山支社内の１層ラーメン高架橋８本とし、断面は 0.8 × 0.8m、高さは 6.6m である。表－６に施工条件を、表－７に品質管理項目を示す。施工上の制限は、鉄筋設置工、鉄筋継手工においては特にないが、モルタル吹付け時の温度制限を設定している。また、品質管理項目については、設計通り補強帯鉄筋を設置することと、将来にわたっても補強効果を確保するために、特に吹付けモルタルの品質について設定している。以下に、吹付けモルタル工の作業手順を示す。

- ①準備工：地盤の掘削、足場工、柱断面寸法の測定および鉄筋加工、ガイドの発注
- ②コンクリート面の清掃：既設柱と吹付けモルタルの付着を阻害する汚れの除去（写真－２）
- ③帯鉄筋設置用ガイドの取付け：柱の面取り部に帯鉄筋を設置するためのガイドの設置（写真３）
- ④補強帯鉄筋の設置：コ形に曲げ加工した帯鉄筋２本を突き合わせてカプラーにて接続、エポキシ樹脂の注入による固定（写真４，５，６）
- ⑤吹付けモルタル厚さ管理用ガイドの設置：吹付けモルタルの厚さを管理するためのガイドの設置（写真－７）
- ⑥シーラ塗布：既設柱への水分の吸収防止および吹付けモルタルの接着力の向上（写真－８）
- ⑦モルタルの吹付け（１層目）：補強帯鉄筋が隠れる程度（３ｃｍ程度）の吹付け（写真－９）
- ⑧粗均し：既設柱と補強帯鉄筋の間にモルタルを十分充填するための粗均し
- ⑨ビニロンメッシュの取り付け：モルタルのひび割れ防止用メッシュの取り付け（写真－１０）
- ⑩モルタルの吹付け（２層目）：仕上げ面まで（２ｃｍ程度）の吹付け（写真－１１）
- ⑪金ゴテ仕上げ：コテ仕上げは２～３回（写真－１２）
- ⑫養生剤塗布：乾燥や日射による初期ひび割れ防止のための塗布（写真－１３）
- ⑬雑工：モルタル厚さ管理用ガイドに設置した目地材の撤去とモルタルによる跡詰め（写真－１４）
- ⑭後処理工：足場解体、埋め戻し

以上の施工手順に従った、橋脚柱１本あたりの作業時間は、③～⑥の補強帯鉄筋の設置に約半日、⑦～⑫

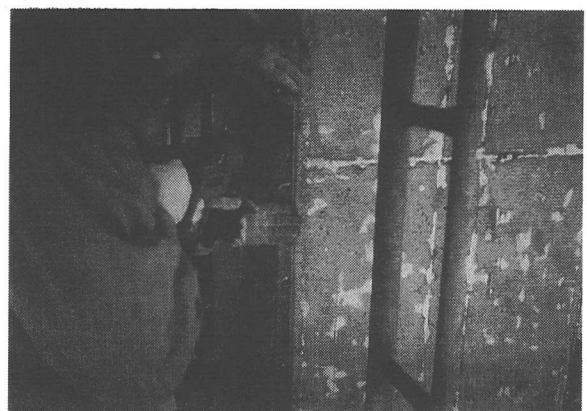
表－ 7 品質管理項目

	項 目	方 法	許 容 値	備 考
鉄筋設置用 ガイド設置工	防錆処理	目視 ミルシート	キズがないこと 規格内	
	突起の間隔	スケール	設計± 1 0 mm	
鉄筋設置工	曲げ半径	スケール	2 D ± 1 0 mm	
	長 さ	スケール	設計± 1 0 mm	
	間 隔	スケール	設計± 1 0 mm	ガイドの確認でも可
	品 質	ミルシート	規格内	
鉄筋継手工	防錆処理	目視 ミルシート	キズがないこと 規格内	
	かん合長さ	マーカの目視	マーカ内	
	品 質	ミルシート	規格内	
	コンクリート注入力	目視	端部からのあふれ出し確認	
	グラウト剤の品質	ミルシート	規格内	
モルタル厚さ 管理用ガイド	防錆処理	目視 ミルシート	キズがないこと 規格内	
	SSタイトの品質	ミルシート	規格内	
モルタル 吹付け工	モルタルの品質	ミルシート	規格内	
	現場管理	スランプ 圧縮強度	8 ～ 12 ± 2.5 cm σ 28 で 50N/mm ² 以上	
	モルタル厚さ	モルタル厚さ管理 用ガイドにて	5.0 cm ± 0.5 cm	

のモルタル吹付けは気温に大きく左右されるが約 1 日、⑬の雑工に約半日を要する。掘削工や足場工を除いた吹付けモルタル工法（③～⑬間）での作業時間は約 2 日であった。



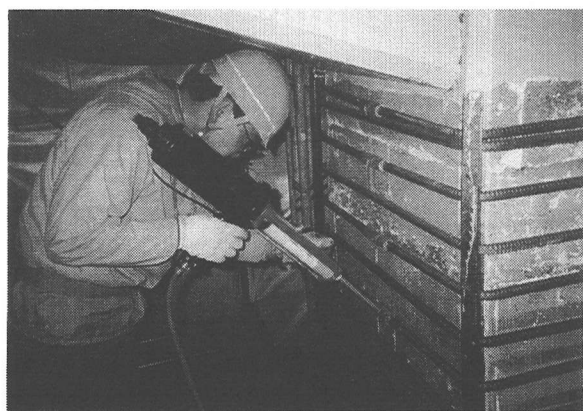
写真－ 2 表面処理状況



写真－ 3 鉄筋設置用ガイド設置状況



写真－４ 帯鉄筋設置状況



写真－６ カプラー注入状況



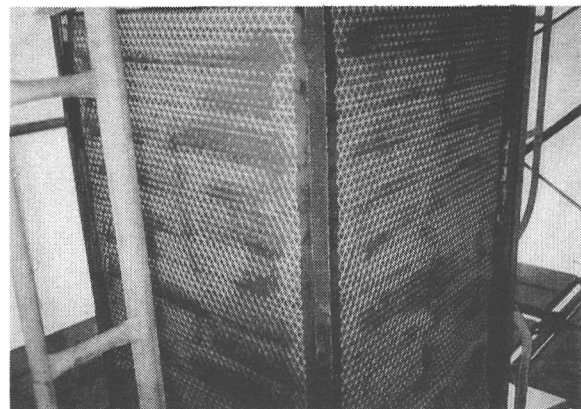
写真－７ モルタル厚さ管理用ガイド設置状況



写真－８ シーラ塗布状況



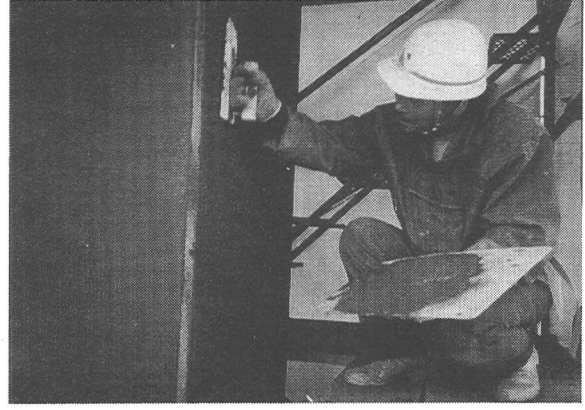
写真－９ モルタル吹付け状況（１層目）



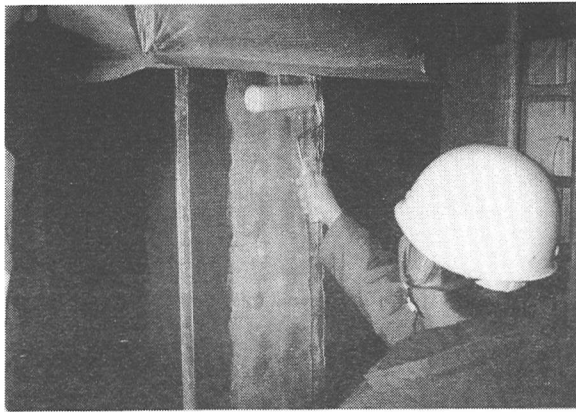
写真－１０ ビニロンメッシュ設置状況



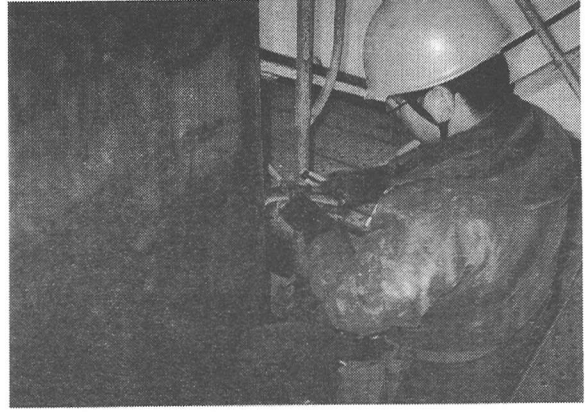
写真－１１ モルタル吹付け状況



写真－１２ 金ゴテ仕上げ状況



写真－１３ 養生剤塗布状況



写真－１４ 目地処理状況

5. おわりに

本吹付けモルタル補強工法については、(財) 鉄道総合技術研究所から「吹付けモルタルによる高架橋柱の耐震補強工法設計・施工指針」が発行されており、鋼板巻き補強工法にかわる耐震補強工法の一工法として位置づけられる。試験施工の結果、高架橋柱 1 本あたりの作業工程は、鋼板巻き補強工法より短縮できることが確認された。今後は、作業スペースの小さいところ、重機作業が困難なところなどでの施工を検討したいと思う。

参考文献

- 1) 渡辺、松本：RC ラーメン高架橋の耐震診断と補強技術、コンクリート工学 No.11, 1996, 11
- 2) (財) 鉄道総合技術研究所：吹付けモルタルによる高架橋柱の耐震補強工法 設計・施工指針、1996, 10
- 3) 庄野、坂本ほか：橋脚補強に用いる吹付けモルタル、第 40 回日本学術会議材料研究連合講演会前刷集、1996, 9
- 4) 佐藤、渡辺、西川、市川：特別講演 兵庫県南部地震で被災した RC 柱の鋼板巻き補強効果、土木学会第 3 回合成構造の活用に関するシンポジウム講演論文集、pp1 ～ 6、1995, 11