

## 報告 特殊グラウト材の耐震補強工事・鋼板巻立て工法への適用

近藤直孝\*<sup>1</sup>・半田 実\*<sup>2</sup>・福嶋一秋\*<sup>3</sup>・柳沢直仁\*<sup>3</sup>

要旨：阪神大震災以降、耐震補強工事に多用されている鋼板巻立て工法について、エマルジョンを併用する場合と併用しない場合の2種のプレミックス特殊グラウト材を用い、その充填性を検証した。その結果、特殊グラウト材は注入口の閉塞や材料分離などが起こらず、またポンプにかかる負荷も少なく施工できた。ただし、間隙幅10mmの柱への注入の場合、間隙の最狭部が5mm以下の箇所ではモルタル充填が不十分となるので、鋼板巻立ての際間隙の最狭部を5mm以上にする必要がある。また、アンカーボルトは鋼板の変位を抑制するが、モルタル充填の支障となることがあり、その配置にも注意する必要がある。

キーワード：鋼板巻立て工法、無収縮グラウト材、耐震補強工事、鋼板変位、ポンプ吐出圧

### 1. はじめに

構造物に対する耐震補強工事は、昨年1月の阪神大震災が起こる以前から、特に関東・東海地区の学校などの公共施設を中心として進められていた[1]。しかし、阪神大震災での被災に対する緊急復旧工事以降、その工事進捗は著しく加速されている。今回の震災で被害を受けた鉄道の高架橋コンクリート柱はせん断破壊によるものとされ、その復旧方法については、主として柱の外側に鋼板を巻き付け、鋼板と柱との間に無収縮モルタル等で充填する方法が行われた[2]。

現在、全国各地で実施されている柱の耐震補強工法のうち、鋼板巻立て工法ではセメント系、樹脂系の2通りの充填材が使われている。セメント系充填材は基材コンクリートと物性性状が近く、補修・補強材料に適している。一方、樹脂系充填材は硬化速度や接着性、耐ひび割れ性の点においてセメント系充填材より優れた性状を有する[3]が、厚みのある充填では充填材が高温になる問題や硬化収縮するという問題がある。また、価格もセメント系に比べ高価になる。そのため、巻立て厚みの薄い施工(5mm以下)では樹脂系充填材が、ある程度の厚みの施工(5mm以上)ではセメント系充填材が採用される傾向にある。セメント系充填材にはポリマーセメントや無収縮グラウト材が用いられている。しかし、従来のグラウト材ではコンクリート柱や鋼板との接着性もさることながら、充填性も必ずしも十分とは言えない。また、鋼板巻立ての施工方法に関する具体的条件とその結果報告も少ないのが現状である。

昨年、耐震補強用の無収縮グラウト材料として、砂の最大粒径を1mm以下に調整したプレミックスした特殊グラウト材が開発された。この特殊グラウト材には、エマルジョン(EVA)を併用しないタイプの特殊無収縮グラウト材Aと併用するタイプの特殊無収縮グラウト材Bがある。この2種類のグラウト材A、Bを用いて実寸大のコンクリート柱により、充填高さ、間隙幅と充填性の関連等、鋼板巻立て施工について検討したので報告する。

### 2. 試験方法

\*1電気化学工業(株) 青海工場 セメント・特殊混和材研究所(正会員)

\*2電気化学工業(株) 青海工場 セメント・特殊混和材研究所、部長代理(正会員)

\*3電気化学工業(株) 青海工場 セメント・特殊混和材研究所

## 2. 1 鋼板巻立て工法の概要

道路橋・鉄道橋のコンクリート橋脚の耐震補強工事に用いられる「鋼板巻立て工法」には、図-1に示すように「ポンプ圧入方法」と「トレミー方法」がある。充填高が高い場合には、モルタルを落とし込むトレミー方法は適さない。そこで本試験では、注入高さが4m以上の場合を設定し、ポンプ圧入方法のみを検討した。

## 2. 2 試験方法

### (1) 使用材料及び機器

本試験に用いた材料及び機器を表-1に示す。

### (2) コンクリート柱寸法

コンクリート柱寸法は2種類とした。これは、従来、一回の注入では従来2m程度とされていた注入高さをそれ以上に高くした場合の影響を調べる目的で、柱高さ6m (No.1) と4m (No.2) の2本を準備した。なお、コンクリート表面にチッピングを行い、前処理に塗膜養生剤を塗布した。

### (3) 鋼板型枠の巻立て

「コ」の字に加工された2枚の鋼板を、コンクリート柱をはさむように組み付け、接合面をM12ボルトを高さ方向700mm、幅方向350mm間隔で固定した。また、間隙幅保持および鋼板のたわみ防止のためにアンカーを柱両サイドの所定の箇所に取り付けた。さらに、翌日に充填状況を確認する必要から事前に離型剤を鋼板に塗布しておき、脱型を容易にできるようにした。また、柱と鋼板の間隙は3通りを検討した。表-2にコンクリート柱の寸法および間隙幅を示す。

### (4) 特殊グラウト材

本試験には、プレミックスタイプの特殊グラウト材2種を用いた。この材料は、従来の無収縮グラウト材中の砂の最大粒径を1mm以下に調整し、狭い間隙への充填性を高めたものである。特に、グラウト材Bは砂の粒度分布が0.6~0.3mmの間に約85%を占めており、充填性を向上させている。さらにエマルジョンを併用して用いることにより、鋼板との付着性能を高めている。表-3に砂の粒度構成を、表-4にグラウト材の主な物性値を示す。

### (5) モルタルの練り混ぜ方法

モルタルはグラウトミキサーに所定の水量を投入した後、あらかじめ砂がプレミックスタイプの特殊グラウト材を投入し、90秒間練り混ぜた。

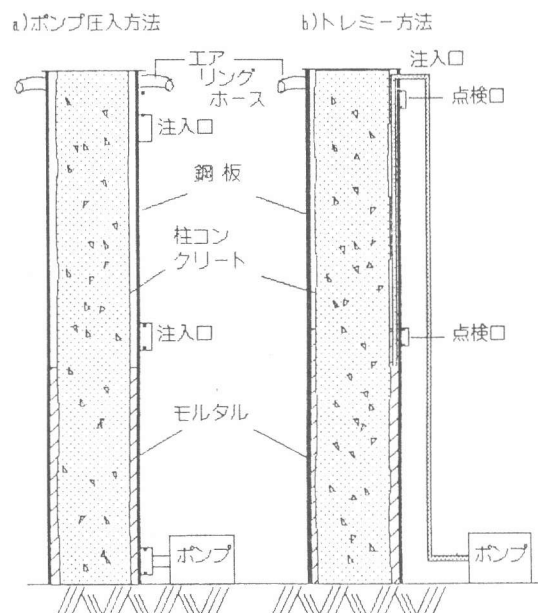


図-1、鋼板巻立工法の概念

表-1 使用材料及び機器

	名称	製品名、仕様
使用材料	充填材	グラウト材A、B
	塗膜養生剤	RIS 211E 4倍液 (EVA系)
	水	工業用水
	鋼板	SS400 t=6mm
	ボルト・ナット	SS400 M12
使用機器	モルタルミキサー	100%グラウトミキサー MG-100
	ポンプ	スライス式モルタルポンプ MM-75
	ホース	低圧ホース φ50mm L=10m
	変位計	高感度変位計 CDP-25
	データロガー	TDS-601

表-2 コンクリート柱寸法及び間隙幅

柱	コンクリート柱寸法(mm)			間隙幅(mm)	
	幅	奥行	高さ	(内容積 m <sup>3</sup> )	
No.1	600	600	6000	30(0.44)	10(0.14)
No.2	1200	550	4000	30(0.43)	20(0.29)

表-3 グラウト材中の砂の粒度分布

グラウト材	砂の粒度構成(%)			
	1mm-0.6mm	0.6-0.3	0.3-0.15	0.15mm-
A	41.0	33.0	20.0	6.0
B	0.5	85.0	14.0	0.5

表-4 特殊グラウト材の物性値

	C/S	W/C (%)	J <sub>14ロート</sub> 流下値 (sec)	初期膨張収縮率 (%)	ブリーディング (%)	圧縮強度 N/mm <sup>2</sup>			付着強度(建研式引張り)N/mm <sup>2</sup>		付着せん断強度(鋼板面)N/mm <sup>2</sup>
						1日	7日	28日	7日	28日	28日
A	1/1	38	6±2	+0.29	0	27.8	61.8	70.0	0.87	1.04	3.86
B	1/1	40	6±2	+0.48	0	11.0	29.7	37.8	2.18	2.45	6.37

## (6) モルタルの注入方法

練り上がったモルタルは直ちにモルタルポンプホッパーに移し、スクイズ式モルタルポンプにて1.2m<sup>3</sup>/hrで注入した。この速度は全ての試験で一定とした。No.1柱には地上0.3mと2.2mの2箇所に注入口を設け、打上げたモルタルが3mに到達したところで、注入口を切り替えて注入を行った。No.2柱は0.3m地点にのみ注入口を設けた。注入口径は25.4mmで行った。

## 2.3 試験項目

### (1) モルタル充填速度とポンプ吐出圧

各高さエアリング用として設けられた孔よりモルタルがオーバーフローした時の、充填開始からの経過時間とモルタルポンプの圧力計の値(吐出圧)を記録した。エアリング孔位置は地上より0.4/1.0/1.7/2.3/3.0/3.7/4.3/4.9/5.5m (No.2柱は3.0mまで)に設置した。

### (2) 鋼板の変位量

変位計を地上0.7/1.0/2.65/3.0/4.6/4.9m (No.2柱は3.0mまで)に取り付け、モルタルの打ち上がりとともに変化する変位量を一定時間毎に測定した。

図-2に各計器類の配置個所を示す。

### (4) モルタルの充填性

打設翌日に充填状態をハンマリングテストにより確認した。その後鋼板を脱型し、モルタルの充填性を目視にて観察した。目視の要点は、ボイド、クラック、モルタルの分離の有無等とした。

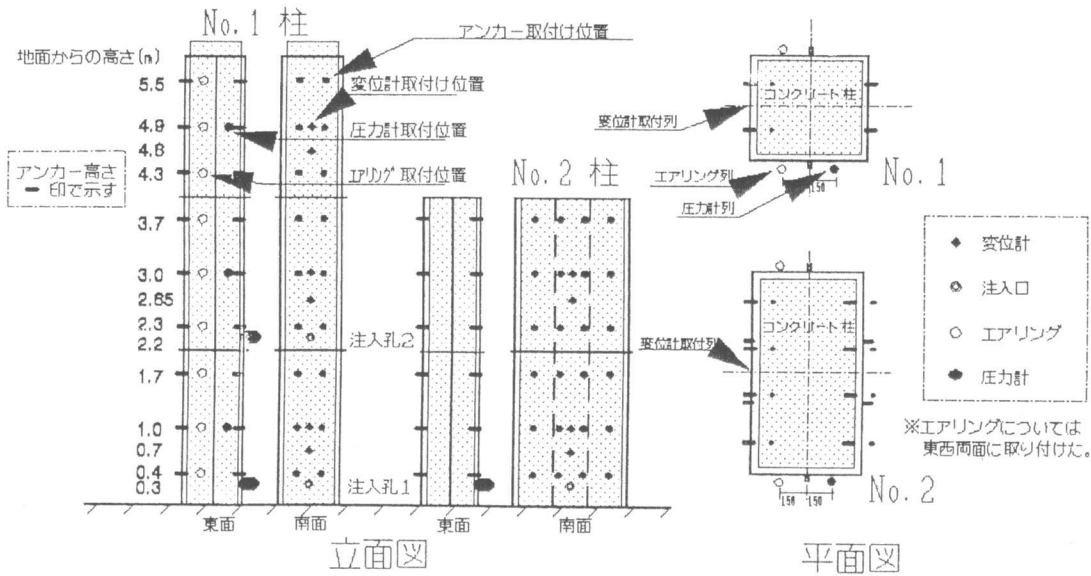


図-2 試験コンクリート柱の計器類配置図

### 3. 結果と考察

#### 3. 1 グラウト材Aによる注入試験

##### (1) ポンプ吐出圧力とモルタル充填速度

ポンプ吐出圧は、注入高さが高くなるにつれてポンプにかかる負荷は増していくが、6mの打設でも最大 $1\text{kgf/cm}^2$ 以下にとどまった(図-3)。

注入開始から終了までの時間と打設容積から求めた実測注入速度はいずれも $1.0\sim 1.3\text{m}^3/\text{hr}$ となり、打ち上げ速度は間隙 $10\text{mm}$ を除き、 $0.22\sim 0.26\text{m}/\text{分}$ であった(間隙 $10\text{mm}$ は $0.65\text{m}/\text{分}$ )。また、試験全体を通して、材料に起因する施工トラブルまたはモルタルの材料分離や注入口( $25.4\text{mm}$ )の閉塞等の問題は生じなかった。すなわち、注入速度が $1.3\text{m}^3/\text{hr}$ 以下で、打ち上げ速度が $0.22\sim 0.65\text{m}/\text{分}$ という条件の施工で、十分な施工性が得られた。これは、使用した特殊無収縮グラウト材の砂の粒度構成及びモルタルの流動性の効果によるものと考えられる。

##### (2) 鋼板の変位量

図-4にモルタルの充填とともに変化する鋼板の変位量を地上 $0.7\text{m}$ 地点で測定した結果を示す。測定は他の高さでも行ったが、測定点中最も低い $0.7\text{m}$ 地点の変位量が最も高い値を示した。No.1柱はNo.2柱より変位量が多い。これは柱の高さの違いに起因するとともに、アンカーの設置数にも影響されていると考えられる。

No.2柱にて $4\text{m}$ の充填を行ったところ、最大変位量は $3.6\text{mm}$ (間隙幅 $30\text{mm}$ の場合)となった。この変位量が多いと見るか、小さいと見るかは別として、アンカーの取付間隔が大きき要因としてあげられる。鋼板の変位量を小さくする

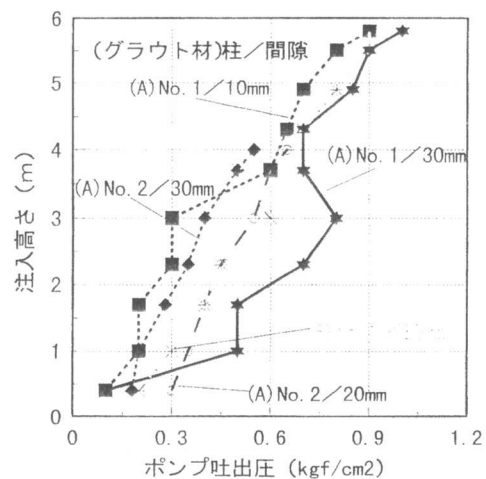


図-3 ポンプ吐出圧の変化

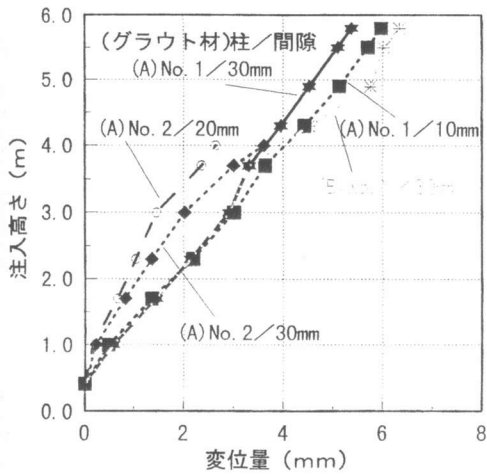


図-4 鋼板の変位量 (0.7m地点での測定値)

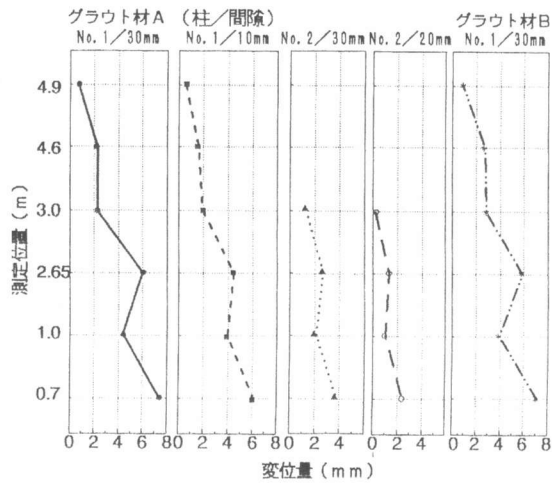


図-5 鋼板の変位量 (充填終了時)

ためには、アンカーのピッチを細かく配置する必要がある。

また、充填が終了した時の各高さでの鋼板の変位量を図-5に示した。鋼板の下部(低い測定位置)では全体的に変位量が大きくなっている。一方、2.65m地点の鋼板の変位量が1m、3m地点での変位量より高い値を示したが、これはコンクリート柱と鋼板の間隙幅保持のために設けたアンカーボルトの影響による。試験柱には1、3、4.9mの位置にアンカーボルトを設置しており、これらの位置では変位量は小さいが、鋼板中央部のアンカーボルトの拘束を受けない位置(2.65m)では、下部の方が上部より鋼板が大きく膨らむことがわかる。

### (3) モルタル充填性の評価

充填翌日に、ハンマリングテストによって充填性を調べた。

No.1、No.2柱とも中央部より下側は、空洞を叩いたような音がせず、充填性良好と判断された。しかし、上端に行くにしたがってアンカーボルト周りに空洞音が聞こえるようになり充填が十分でない箇所ができていた。具体的には、アンカーボルトの左上、右上という方向性は無いが、斜め上5cm程度からアンカーの真上方向にかけて空隙音が確認された。特に、最上部のアンカー上部の空隙音は大きい。この傾向は柱のサイズの違いや間隙幅に関係なく、その原因は、下方からのモルタルの流れがアンカーボルトによって阻害され、アンカーの上方に回り込まないためと考えられる。したがって、一番上に配置するアンカーについてはできるだけ柱の最上部に配置した方が良いと思われる。

次に、鋼板を脱型し、硬化モルタル表面の観察を行った。観察した様子を写真1~4に示す。結果はポイド、クラックは全く観察されなかった(写真-1、2)。しかしながら、柱の最上部で、アンカー上部分が少し凹になっている様子がわかる(写真-3)。また、No.1柱(0.6×0.6×6m)間隙幅30mmでは表面に多少気泡が残っており、柱の中央より上部方向に多く見られた(写真-3)。この原因を推定すると、気泡を含むモルタルがある部分で鋼板に付着した形で動きが止まり、下方からの押し上げ(新しいモルタルとの置換)を受けなかったため気泡が残ったまま硬化したと思われる。

No.1柱・間隙幅10mmでは局部的にモルタルが充填されていない箇所

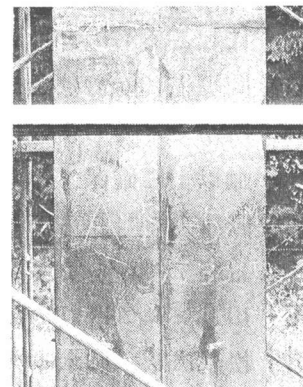


写真-1 脱型後

が認められた(写真-4)。この部分はコンクリート柱の不陸または鋼板の変形等の理由により、間隙の実寸法が5mm以下になっていたことが確認された。現状では、間隙幅5mm以下ではグラウト材の充填は困難と判断されるので、間隙幅の最狭部を少なくとも5mm以上にする必要がある。実施工においては、鋼板とコンクリート柱の間隙幅は20mm以上で行う方が、未充填箇所を防ぐためには好ましいと思われる。

### 3. 2 グラウト材Bによる注入試験

エマルジョン(EVA)を併用するグラウト材Bの注入試験は、No.1柱の間隙幅30mmについてのみ行った。その結果、ポンプ吐出圧、鋼板変位量(図-3、4に併記)やモルタルの注入性、さらにアンカーボルト周りの未充填箇所の存在等、いずれもグラウト材Aと大きな違いはなかった。したがって、グラウト材Bを用いた場合も、アンカーボルトの配置やモルタルの圧送速度等、グラウト材Aと同様の課題が残った。

### 4. まとめ

特殊グラウト材による鋼板巻立て工法への適用を検討した結果、以下のことが明らかとなった。

- (1) 注入口25.4mm、注入速度 $1.2\text{m}^3/\text{hr}$ というモルタル注入条件下において、本試験に使用した特殊無収縮グラウト材は材料分離や注入口の閉塞が起こらず、順調な施工ができる。
- (2) ポンプ吐出圧は、柱高6mで $1.0\text{kgf}/\text{cm}^2$ 、柱高4mでは $0.65\text{kgf}/\text{cm}^2$ であり、ポンプにかかる負荷は少ない。
- (3) 充填が終了した時点の鋼板の変位量は、高さ方向のアンカーピッチを700mmとする場合、高さ6m柱は7.3mm、高さ4m柱は3.6mmという結果であった。
- (4) アンカーによる鋼板の変位抑制効果は大きい。しかし柱の上部ではアンカーによりモルタルが充填されない領域ができる。アンカーの配置や施工方法は今後の課題である。
- (5) 硬化表面に気泡が残る場合が見られたが、これはモルタルの流れが局部的に止まった箇所に起こるものと推測される。
- (6) 間隙幅10mmではコンクリート柱と鋼板の間隔に誤差が生じて、間隙幅が5mm以下になる箇所ができてしまい、この部分ではモルタルが充填されない。実施工においては最狭部を5mm以上に確保するためには、柱と鋼板の間隙幅を20mm以上にすることが好ましい。

### 参考文献

- [1] 日経アーキテクチャ編：地震に強い建築、日経PB出版センター、1995
- [2] 川越 洋：既設の鉄道橋梁等の耐震補強、橋梁、pp8-12,1996.3
- [3] 松里広昭、岡本享久、窪川豊之：最近の補修・補強材料について、コンクリート工学、Vol133, No. 12, pp. 33-42, 1995.12

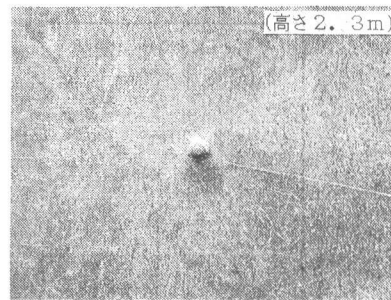


写真-2 アンカーボルト周辺

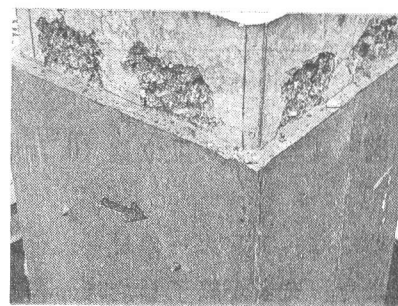


写真-3 柱・最上部

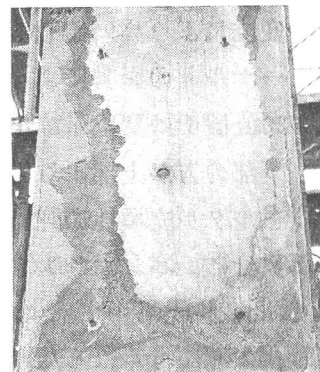


写真-4 間隙10mm柱の表面