

速硬軽量無収縮モルタルを利用した 鋼板巻き立て工法

久保昌史

鋼板巻き立てによる耐震補強工事では、既設コンクリートと補強鋼板の隙間の充てん材として、比重1.3程度の軽量無収縮モルタルが使用されることが多い。しかし、このモルタルは硬化開始が10～12時間程度であるため硬化までの養生時間が長くなる課題があった。そこで、従来品よりも硬化時間の早い速硬軽量無収縮モルタルを開発し、近鉄四日市駅のラーメン高架橋鉄筋コンクリート柱の耐震補強工事に適用した。その結果、従来は分割してモルタル打設をしなければならなかった柱においても1回打設が可能となり工期短縮に大きく寄与した。

キーワード：速硬軽量無収縮モルタル、鋼板巻き立て工法、モルタル充填、かみ合わせ継手

1. はじめに

鋼板巻き立てによる耐震補強工事において、補強目的がせん断補強やじん性補強である場合、鋼板と躯体の間に充てんする無収縮モルタルの圧縮強度は $5\text{N}/\text{mm}^2$ 以上あればよいとされており¹⁾、現在、この性能を満足した比重1.3程度の軽量無収縮モルタル（以下、軽量モルタル）が使用されている。

これによりモルタル注入時に鋼板に作用する側圧が低減するため、鋼板の変形防止用の支保工の簡素化が可能となり、工期短縮やコスト縮減に寄与している。

しかし、軽量モルタルの硬化開始時間は一般に10～12時間程度であり、狭あい箇所では支保工が設置できず鋼板に作用する側圧が大きくなる場合は分割して打設することから、硬化養生時間が必要になり工期短縮効果が低減する。

施工が可能な範囲で硬化時間が早くなれば養生時間が低減されるため、条件によっては連続的なモルタル打設が可能となり、このような制約条件下であっても工期短縮が実現できる。

そこで、今回、従来品よりも硬化時間の早い軽量モルタル（以下、速硬軽量モルタル）を開発し、近鉄四日市駅構内のラーメン高架橋鉄筋コンクリート柱の耐震補強工事に適用した。

本報は、開発に際して行った各種試験の結果および、適用した工事の概要について報告する。

2. 材料性能の確認

(1) 開発した材料

開発した速硬軽量モルタルは、プレミックスタイプで、比重約1.20、材齢28日の圧縮強度 $5\text{N}/\text{mm}^2$ 以上、凝結時間（始発）120分以内の性能を有する。モルタル充填作業に必要な30分以上の可使用時間を有しながら2時間以内で硬化する特長を有している。

成分は、セメントに混和材や石膏、特殊軽量骨材を混合した従来品に、速硬性を有するカルシウムアルミネート系の成分を加えている。

5～30℃の温度環境に対応するために硬化促進剤や遅延剤の添加量の違いにより、常温用と低温用の2種類がある。

標準配合を表—1に示す。

開発は後述するとおり、鉄道駅舎となっている高架橋耐震補強工事現場からの、従来品と同等の性能を有したまま硬化時間を2時間以内にしてほしいという要望に応える形で着手し、完成までに約1年を要した。

(2) 要求性能

材料を開発するにあたって、要求性能および試験項目は表—2のように設定した。

表—1 標準配合

区分	粉体量(kg)	練混ぜ水(kg)	練上り量(ℓ)
1 m ³ あたり	705 (59袋)	506	1,000
1袋あたり	12 (1袋)	8.6	約17.0

表-2 要求性能

項目	試験項目 (準拠基準)	要求性能 (目標スペック)
流動性	J ₁₄ ロート流下時間 (JSCE-F 541)	4 ~ 10 秒
練上り容重	単位容積質量 (JIS A 1171)	1.30 kg/L 以下
材料分離 抵抗性	ブリーディング率 (JIS A 1123)	0%
無収縮性	膨張収縮率 (JSCE-F 542)	0%以上膨張
塩化物量	塩化物量 (JASS 5T-502)	0.3 kg/m ³ 以下
圧縮強度	圧縮強度 (JIS A 1108)	σ_{28d} 5 N/mm ² 以上
凝結時間	凝結時間 (JIS A 1147)	2.0 h 以下 (始発)
可使時間	ゲルタイム ^{*1}	30 分以上
シマリ性状	硬化時間 ^{*2}	180 分以内

※1 350 ml のポリカップにモルタルを 2/3 程度まで入れ、5 分間毎にカップ間で3回移し変える動作を行い、ポリカップを傾けてもモルタルがカップに残り、流動性がなくなる時間をゲルタイムとした

※2 モルタルをポリ袋に入れ、密封し、触手により硬化時間の測定を行い、表面に概ね爪あとが残らなくなった時間を硬化時間とした

この要求性能を満足するために試作品を製造し、室内における物性確認試験、およびモックアップ試験体による施工性能確認試験を実施した。

(3) 物性確認試験

室内における物性確認試験は、5、10、20、30℃の環境下で行った。

ここで、5、10℃環境下は低温用、20、30℃は常温用とした。

なお、30℃環境下では可使時間が短くなる可能性があったため、別途、遅延剤を 0.6% 添加した試験も行った。

材料の練混ぜ条件および方法を表-3 に示す。

室内試験結果の一覧を表-4 および図-1 示す。

30℃環境下のみ遅延剤を用いるの必要があったが、目標とした要求性能を低温用、常温用とも満足し、速硬軽量モルタルとして問題がないことを確認した。

圧縮試験の結果、材齢 3 時間 (5℃環境下のみ材齢 4 時間) の強度は 1.39 ~ 3.23 N/mm² となり、強度発現性に優れることが確認できた。初期材齢の強度発現は低温用、常温用とも温度が高いほど速いが、材齢 28 日では大きな差は見られず、9 N/mm² 前後とほぼ

表-3 練混ぜ条件および方法

項目	内容
練混ぜ条件	高速ハンドミキサーによる 1 袋 (12 kg) 練りとする。
練混ぜ方法	練混ぜ容器 (ペール缶) に所定量の清水を入れ、ハンドミキサーで攪拌しながら材料を投入し、材料投入完了後 90 秒間練り混ぜる。

表-4 試験結果

環境条件	5℃	10℃	20℃	30℃		
	低温	低温	常温	常温		
プレミックス材				遅延剤		
				無	有	
練上り温度 (℃)	5.0	12.0	21.0	31.0	33.0	
J14 漏斗 流下時間 (秒)	直後	7.5	6.9	5.9	5.1	5.3
	5 分後	7.6	6.8	5.9	5.2	5.3
	10 分後	7.7	7.0	6.1	6.7	5.7
	15 分後	7.9	7.0	6.2	13.8	7.0
	20 分後	7.9	7.1	6.2	-	8.1
	25 分後	7.7	7.4	7.6	-	9.2
	30 分後	7.8	7.5	8.0	-	10.0
単位容積質量 (kg/L)	1.22	1.22	1.21	1.19		
ブリーディング率 (%)	-	-	0.0	-		
塩化物量 (kg/m ³)	-		0.04	-		
	-			-		
凝結時間 (分)	始発	-	90	65	-	
	終結	-	140	135	-	
ゲルタイム (分)	95	60	36	15	32	
硬化時間 (分)	165	95	65	35	135	
膨張収縮率 (%)	材齢 1 日	-	-	0.38	-	
	材齢 7 日	-	-	0.39	-	

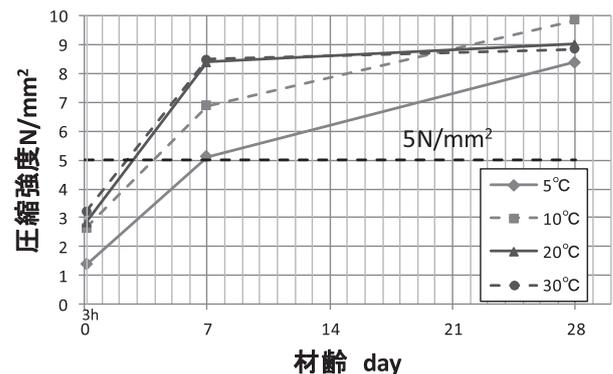


図-1 材齢と圧縮強度の関係

同一の値となった。

硬化時間については、従来品が 12 時間程度であるのに対し、全環境下において 3 時間以内であり、速硬性も確認した。なお、施工時に重要となる可使時間について、指標となるゲルタイムはいずれも 30 分以上となり、従来通りの取り扱いが可能であることが分かった。

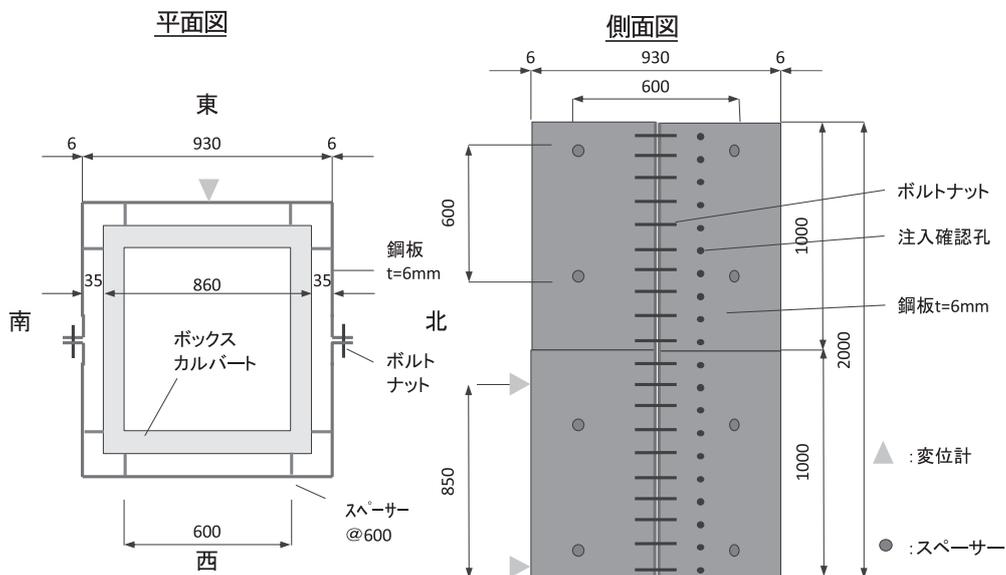
(4) 施工性能確認試験

モックアップ試験体の概要を写真—1, 図—2 に示す。試験体はプレキャスト部材のボックスカルバート(860×860×2,000 mm, 壁厚 130 mm) を直立させ, これを囲うように断面方向にコの字型に2分割, 鉛直方向に2分割した鋼板を建て込み, ボルトナットで接合した。板の下端から 50, 850 mm の高さの位置に, 変位計を取り付け, グラウト注入時に測定を行った。試験実施時は 10 月下旬で外気温が 20℃ 以下であったため, 低温用の材料を用いて試験を行った。

グラウトは 1 袋 12 kg のプレミックス材であり, 注入の際には 1 袋ごとに練混ぜを行い, 1 層目を 800 mm の高さまで, 2 層目を天端まで 1,200 mm 注入した。注入完了 2 時間後にモルタルの充填性を確認するため鋼板を取り外し, モルタルが充填されているかの確認も行った。



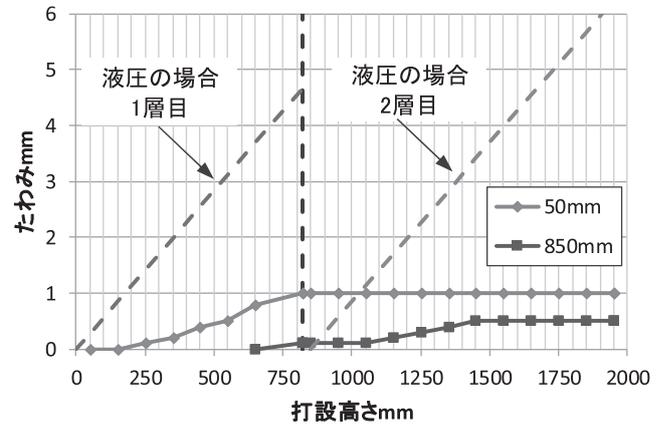
写真—1 モックアップ試験体



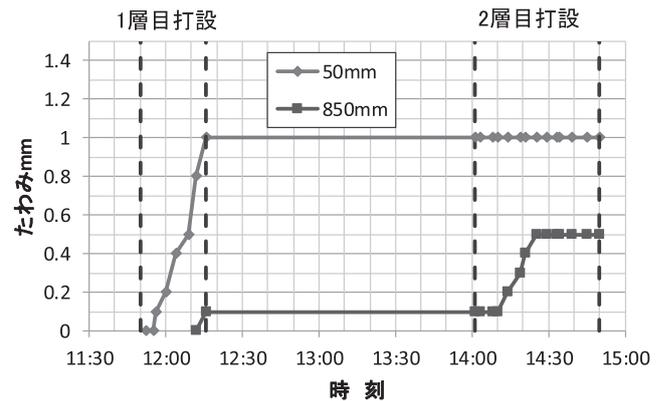
図—2 モックアップ試験体概要

たわみの測定結果を図—3, 4 に示す。ここで, 2 層目打設前に 850 mm 地点に 0.1 mm の変位が生じているのは 1 層目部分の鋼板の変位が影響していると考えられる。

たわみはモルタルの液圧が作用したと仮定した場合の最大値は 1 層目で 4.25 mm, 2 層目で 6.52 mm であっ



図—3 打設高さとなわみの関係



図—4 打設時刻となわみの関係

たが実測では1層目で1.00 mm, 2層目で0.50 mm となり, 安全側の結果であることが明らかとなった。

また, 1層目は2層目打設中も増加が見られなかった。これは, 注入中に下層より凝結が開始し, 注入全量が液圧として作用しなかったことが考えられる。

写真-2に鋼板撤去後, はつり後のモルタルの充填状態を示す。モルタルは隙間なく充填されており, 空隙などは見られなかった。また, 1層目と2層目の打継ぎ部に脆弱部は見られず, 充填性は良好であった。

表-5 近鉄四日市駅耐震補強工事の年度別施工数量

断面 (mm)	800 × 800	900 × 900	1,000 × 1,000	合計
高さ (mm)	2,700 ~ 4,100	2,700 ~ 4,100	1,500 ~ 4,100	
2013年度	52	21	3	76
2014年度	43	30	14	87
2015年度	76	16	34	126
2016年度	14			14
合計	185	67	51	303

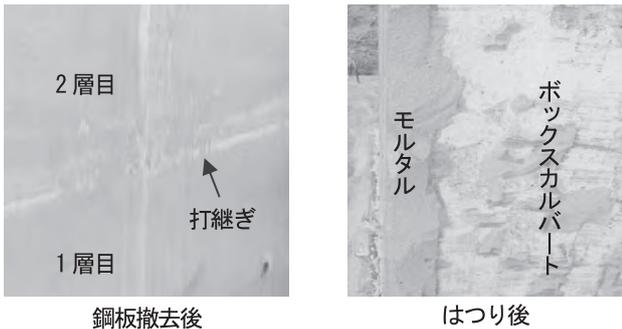


写真-2 モルタル充填状況

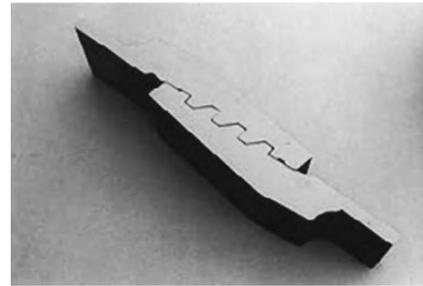


写真-3 かみ合わせ接手

3. 工事概要

速硬軽量モルタルを適用した近畿日本鉄道名古屋線近鉄四日市駅耐震補強工事は, 鉄道駅舎となっている鉄道高架橋の柱の耐震補強で, 駅施設や店舗, 事務所などが供用されていた。

補強した柱は, 断面寸法 800 × 800 mm, 900 × 900 mm, 1,000 × 1,000 mm, 高さ 1,500 ~ 4,100 mm で合計 303 箇所, 施工期間は 2013 ~ 16 年度の 4 年間であった。

駅舎部の施工箇所を図-5に, 年度別の施工数量を表-5に示す。

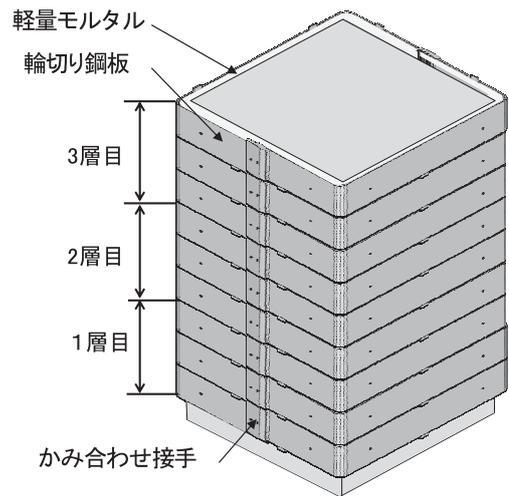


図-6 輪切りかみ合わせ工法

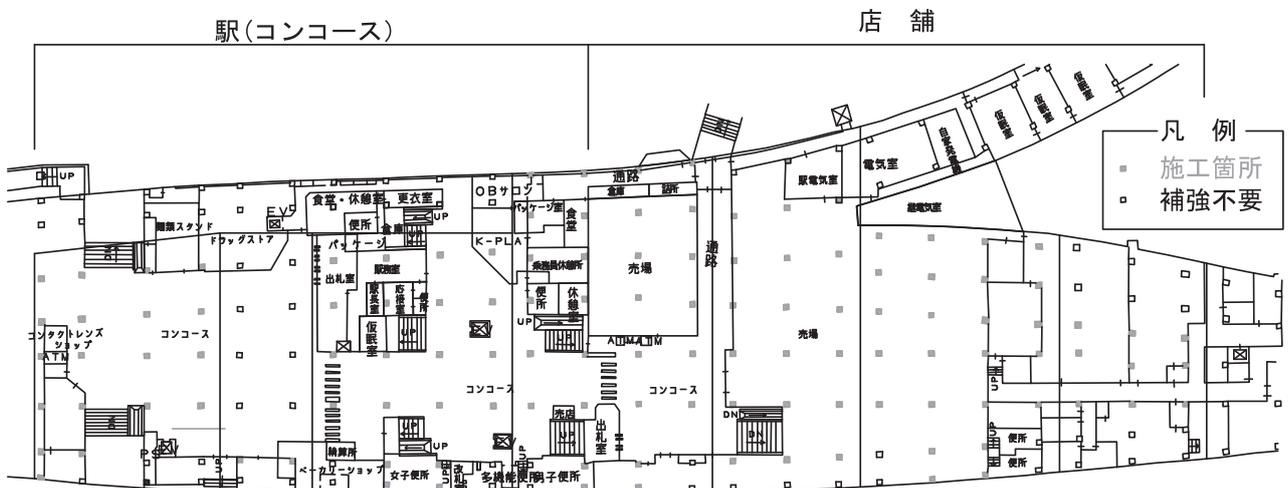


図-5 駅(コンコース), 店舗の施工箇所(2階)

工事を実施するにあたっては、資材搬入に大型重機を使用することができず火気の使用が好ましくなかったことから溶接を用いず人力施工が可能な工法であること、仮囲いなどの支障面積を最小限にして利用者の動線を確認しかつ工事日数をなるべく少なくして店舗への補償費用を少なくすることが求められた。

こうした厳しい制約条件下に対して「輪切りかみ合わせ工法（写真—3，図—6）」が採用された。

本工法は、輪切りした補強鋼板の接合に予め工場で溶接した鋸刃状の機械式の「かみ合わせ継手」を用いた鋼板巻立て工法で、現場では溶接の必要がないため、工期の短縮や品質の確保が可能となる。

輪切りする補強鋼板は上下方向・断面方向に分割して鋼板1枚の重量を30～50kg程度にしたもので、人力による鋼板の運搬・組立てが可能となり、重機が使用できない狭あい環境下で効果を発揮する。

補強鋼板には規格化されている平鋼を使用するため鋼板製作期間が短縮される。

また、輪切り鋼板に予め溶融亜鉛めっきによる防食を施すことで、防食塗装が不要または簡素化され、人通りの多い連絡通路や営業中の事務所や店舗直近での施工にも適している。

本工事では、1パーツ30～40kg（高さ約300mm，2分割）になるように分割した溶融亜鉛めっきを施した厚さ6mmの補強鋼板を、台車で運搬し二人で組み立てた（写真—4）。

駅や店舗は営業しながらの工事が基本のため仮囲いは最小限にする必要があり、また場内の仮置き場は限定的であったため、鋼板のモルタル充填にあたっては支保工を用いないことにした。

速硬軽量モルタル開発前の初年度76本は、従来の軽量モルタルを使用した。鋼板に作用する側圧を計算し、支保工が要らない高さに3分割してモルタルを打設した。下の層が硬化するまで次の層が打設出来ないため、養生時間が12時間以上必要となりかつ日中は駅や店舗の営業時間中で施工ができないため1本あたりの施工期間は3日間を要した。

開発した速硬軽量モルタルは、2年目から使用し柱227本に対して適用した。

硬化時間を2時間に縮めることができたため養生がほとんど不要となり、1日でモルタル打設が可能となった（写真—5）。

その結果、1本あたりの施工時間は1.5日間に半減し工期短縮に寄与した。

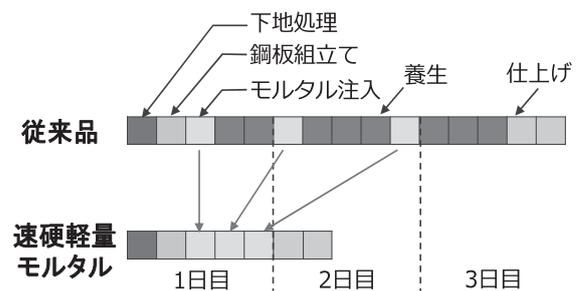
速硬軽量モルタルと従来の軽量モルタルの1本あたりの施工期間の比較を図—7に示す。



写真—4 鋼板組立状況



写真—5 モルタル充填状況



図—7 施工期間の比較



補強前

補強後

写真—6 補強状況

また、副次的な効果として速硬軽量モルタルは充填後、短時間で硬化するため、日中の営業時間内に硬化前の充填モルタルが鋼板から流出し利用者に対する事故のリスクもなくなった。

補強状況を写真—6に示す。

4. おわりに

速硬軽量モルタルを開発して、駅舎や店舗を有する鉄道高架橋の耐震補強工事に適用した。

その結果、柱を補強する作業日数が半減し全体工期の縮減に寄与することができた。

また、本材料はその後も改良を続け、材料練混ぜ時に発生する粉塵を90%程度低減させる機能の付与を実現している。

今後も現場の要望に応える開発を続け、商品価値を高め、採用現場を増やしていきたい。

JCM A

《参考文献》

- 1) (株)日本鉄道施設協会：土木工事標準仕様書（東日本旅客鉄道(株)編），p26-1. 2010年11月

【筆者紹介】

久保 昌史（くぼ まさふみ）
清水建設(株)
主査

