

PRCウエル主鉄筋定着用モルタルの改良試験

技術本部	土木技術第二部	荒井信章
土木本部	土木部	渡部利文
技術研究所	材工研グループ	鈴木雅博
技術本部	土木技術第二部	中井将博

概要：PRC ウエルの主鉄筋定着用モルタルであるマルチモルタルは、普通ポルトランドセメントをベースとして生産されている。JIS R 5210 の改訂により、普通ポルトランドセメントのセメント中の塩化物イオン総量が規制緩和された。それにより、マルチモルタルは塩化物量の規制値 ($0.3\text{kg}/\text{m}^3$) を超過する可能性が考えられる。そこで、配合を早強ポルトランドセメントに変更し、塩化物量を規制値内に抑えることとした。セメントベースの変更に伴い適切な性状となる配合を検討し、品質確保および施工確認を行った。

Key Words：普通ポルトランドセメント、規制緩和、塩化物量、早強ポルトランドセメント

1. はじめに

PRC ウエル工法は、プレキャスト部材を接合・圧入後、各部材を貫通したシース孔に予め定着用モルタルを注入し、その後主鉄筋を挿入・定着させ PRC 構造を構築するものである。マルチモルタルは、PC ウエル工法研究会により、PRC ウエルの主鉄筋定着用モルタルとして開発された。

2003年11月20日にJIS R 5210が改訂され、普通ポルトランドセメントのセメント中の塩化物イオン総量が0.02%以下から0.035%以下に規制緩和された。それにより、従来のマルチモルタルは普通ポルトランドセメントをベースとしているため、マルチモルタル中の塩化物量は規制値である $0.3\text{kg}/\text{m}^3$ を超過する可能性が考えられた。

そこで、マルチモルタルの配合を塩化物イオン総量の少ない早強ポルトランドセメントに変更し、常に塩化物量を規制値内に抑えることとした。

配合設計試験では、セメントベースの変更と珪砂の産地、混和剤、遅延剤の影響を確認し、練り混ぜ後の品質が適切となるような配合の検討を行った。その後、配合設計試験で得た配合を使用し、実施工における問題点等の確認を目的とした施工確認試験を行った。

本稿は配合設計試験および施工確認試験についての報告と、実施工例の紹介である。

2. 配合設計試験

2.1 使用材料

マルチモルタルの配合設計を行うにあたり、材料は各工場（関東・九州）で生産するため工場の近隣で材料の納入が容易かつ安価であることを選定理由とし、関東および九州産の珪砂および早強ポルトランドセメントを使用し試験を行った。



荒井信章



渡部利文



鈴木雅博



中井将博

関東産珪砂および早強ポルトランドセメントを使用したマルチモルタル(以下 関東マルチモルタル)と、九州産珪砂を使用したマルチモルタル(以下 九州マルチモルタル)の使用材料を表-1, 表-2に示す。

また、早強ポルトランドセメントを使用することから、硬化時間が短縮され必要な材料性能が得られなくなることが懸念されるため、混和剤は従来の配合で使用しているフローリック (フローリック GS) から、早強ポルトランドセメント用のポゾリス (GF-1720(H)) への材料変更の検討も行った。

表-1 関東マルチモルタル使用材料一覧

材料区分	銘 柄	密度(g/cm ³)	記 号
セメント	早強ポルトランドセメント (三菱マテリアル)(横瀬製)	3.14	C
珪砂	秩父 ^{※1} または日光 珪砂3号	2.60	S3
	秩父 ^{※1} または日光 珪砂4号	2.60	S4
	秩父 ^{※1} または日光 珪砂5号	2.60	S5
混和剤	フローリック ^{※2} フローリック GS	-	SP
	ポゾリス GF-1720(H)	-	PZ
遅延剤	ポゾリス No.89(NMB)	-	Pz89

※1: 従来のマルチモルタルの珪砂産地

※2: 従来のマルチモルタルに使用する混和剤

表-2 九州マルチモルタル使用材料一覧

材料区分	銘 柄	密度(g/cm ³)	記 号
セメント	早強ポルトランドセメント (三菱マテリアル)(黒崎製)	3.14	C
珪砂	玄海 珪砂3号	2.59	S3
	玄海 珪砂4号	2.59	S4
	玄海 珪砂5号	2.59	S5
混和剤	ポゾリス GF-1720(H)	-	PZ
遅延剤	ポゾリス No.89(NMB)	-	Pz89

2.2 配合

表-3に配合表(セメント100に対する質量比率)を示す。普通ポルトランドセメントから早強ポルトランドセメントに変更することから凝結時間が短縮される懸念がある。そこで、硬化遅延性減水剤を使用し、必要な材料性能を得るために、最適な使用量の検討を行うこととした。PC ウェル工法研究会の超遅延性無収縮高強度モルタルの配合に関する試験報告書¹⁾において、添加量をセメント重量に対し0.22%使用していること、および普通ポルトランドセメントと硬化遅延性減水剤を使用した早強ポルトランドセメントの凝結時間にほとんど差異がないことから、硬化遅延性減水剤の添加率をセメント重量の0.1~0.3, 0.5, 0.7%で実施した。

表-3 配合表

配合名 関東 九州	W/C(%)	S/C(%)	材料構成 (質量比率 Cを100とする)							
			セメント C	水 W	珪砂			混和剤		遅延剤 Pz89
					S3	S4	S5	SP	PZ	
B・B'	45	60	100	45	15	15	30	-	1.0	-
BF	45	60	100	45	15	15	30	1.0	-	-
M-1	45	60	100	45	15	15	30		1.0	0.10
M-2	45	60	100	45	15	15	30		1.0	0.20
M-3	45	60	100	45	15	15	30		1.0	0.30
M-4	45	60	100	45	15	15	30		1.0	0.50
M-5	45	60	100	45	15	15	30		1.0	0.70

注] SP・PZは粉体であるため、水量に加算しない。

Pz89は後添加用を想定しているために、単位水量に加算しない。

B'は珪砂の配合が関東(秩父)産である。

2.3 マルチモルタルの練混ぜ方法

図-1にマルチモルタルの混練方法を示す。練混ぜは最初に硬化遅延剤加えることなくセメントを練混ぜ(一次混練),その後,5分静置して硬化遅延剤を加えて再混練(二次混練)を行った。硬化遅延剤の添加は,M-1~5のみとした。練混ぜはハンドミキサーを用いた。

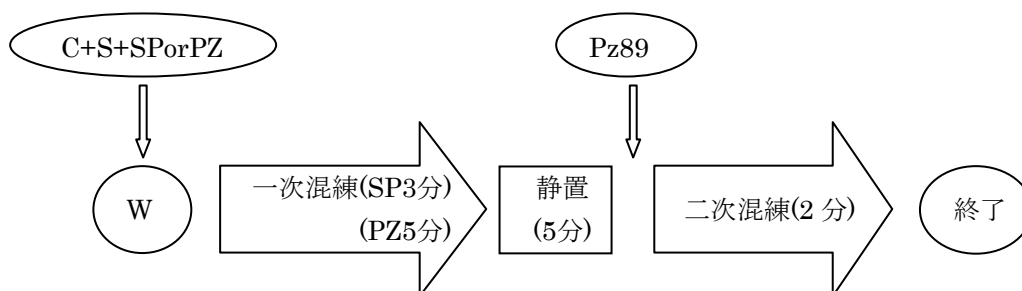


図-1 マルチモルタルの混練方法

2.4 試験項目

試験項目と必要な材料性能は以下のとおりである。

- ・J14漏斗の流下時間 …………… 6時間まで5秒から12秒。(PCグラウトの規格値を準用している。)

JSCE-F 531「PCグラウトの流動性試験方法」²⁾に準拠して実施する。

- ・圧縮強度試験 …………… σ_{28} 40N/mm²以上

圧縮強度試験はJIS A 1108「コンクリートの圧縮強度試験方法」³⁾に準拠して実施する。

- ・ブリーディング率 …………… 0%

改良1.5m鉛直管法を参考とし、 $\phi 15.2$ mmPC鋼材のかわりにD41を使用し、内径 $\phi 68$ mmを実施工に近い $\phi 78$ mmとして試験を実施した。

1本の鉄筋を中心に配置し、長さ1.7mのPVC製透明シース(内径: $\phi 78$ mm)を垂直に静置し、h0の高さまでグラウトを注入した後、管上端に蓋をした。ただし、蓋の中心に設けた孔と鉄筋の隙間は密閉しなかった。グラウトの注入終了時、グラウトの注入開始より3、6時間後のブリーディング水の厚さおよびグラウトの高さを測定しブリーディング率を算出する。

- ・塩化物量試験 …………… コンクリート中の塩化物総量 0.30kg/m³以下

塩化物量の測定には、塩素分析のモール法を基本原理とした塩分量測定計であるカンタブを使用し、測定する。

2.5 試験結果

2.5.1 J14 漏斗の流下時間

試験結果を下記に示す。

1) 遅延剤を使用しない場合の珪砂産地比較について

表-4 B比較表 (珪砂産地別比較表)

	流下時間 (sec)				結果	備考
	0(h) 経過時	3(h) 経過時	6(h) 経過時	規格値		
関東 B (日光)	9.8	19.9	—	6~12	OUT	混和剤：ポゾリス GF-1720(H)
関東 B' (秩父)	8.4	22.3	—		OUT	混和剤：ポゾリス GF-1720(H)
関東 BF (日光)	12.8	—	—		OUT	混和剤：フローリック フローリック GS 注) フローリック GS は粘性が高い
九州 B	8.9	25.3	—		OUT	混和剤：ポゾリス GF-1720(H)

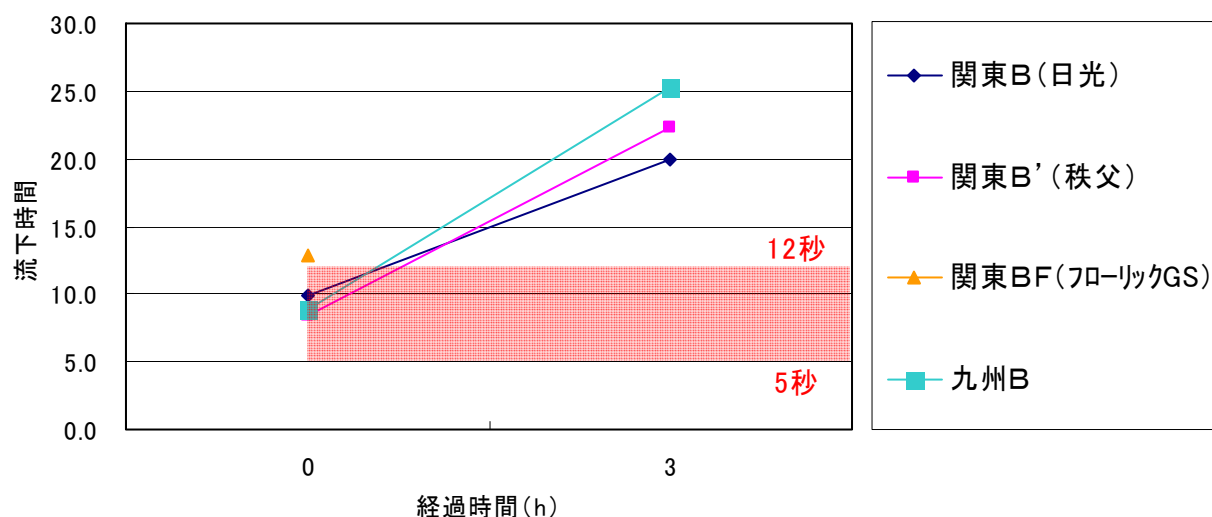


図-2 J14漏斗 流下時間 (Bタイプのみ)

- ・ 日光, 秩父, 九州ともに練混ぜ直後 (0時間) では流下時間にほとんど差がなかった。
- ・ 3時間後の流下時間は日光<秩父<九州の順であり, 5秒程度のばらつきが見られる。
- ・ ポゾリス GF-1720(H)を用いた場合, フローリックGSを用いた場合に比べ4秒程度短かった。
- ・ フローリックGSを用いたものは, 硬化が速く粘性が高いため, 3時間後には測定不能(J14ロートを通過しない)となった。
- ・ ポゾリス (早強用) を用いたものは, 6時間後には測定不能(J14漏斗を通過しない)となった。

上記結果より, 遅延剤を使用しない場合の配合は, 硬化の速度が速く, いずれも使用不可であることが確認された。

2) 遅延剤効果について

表-5 遅延剤比較表

	流下時間 (sec)				結果	備考
	0(h) 経過時	3(h) 経過時	6(h) 経過時	規格値		
関東 B	9.8	19.9	—	6~12	OUT	6時間後測定不能
関東 M-1	7.4	11.9	27.6		OUT	
関東 M-2	7.2	11.6	14.6		要検討	規格値外だが十分な流動性を有する
関東 M-3	7.1	10.2	11.8		OK	
関東 M-4	8.8	10.3	11.2		OK	
関東 M-5	9.3	11.2	13.3		要検討	規格値外だが十分な流動性を有する
九州 B	8.9	25.3	—		OUT	6時間後測定不能
九州 M-1	8.8	16.1	20.8		OUT	
九州 M-2	8.2	11.3	12.5		要検討	規格値外だが十分な流動性を有する
九州 M-3	8.8	11.9	12.3		要検討	規格値外だが十分な流動性を有する
九州 M-4	10.8	12.9	13.6		要検討	規格値外だが十分な流動性を有する
九州 M-5	11.1	13.9	14.4		要検討	規格値外だが十分な流動性を有する

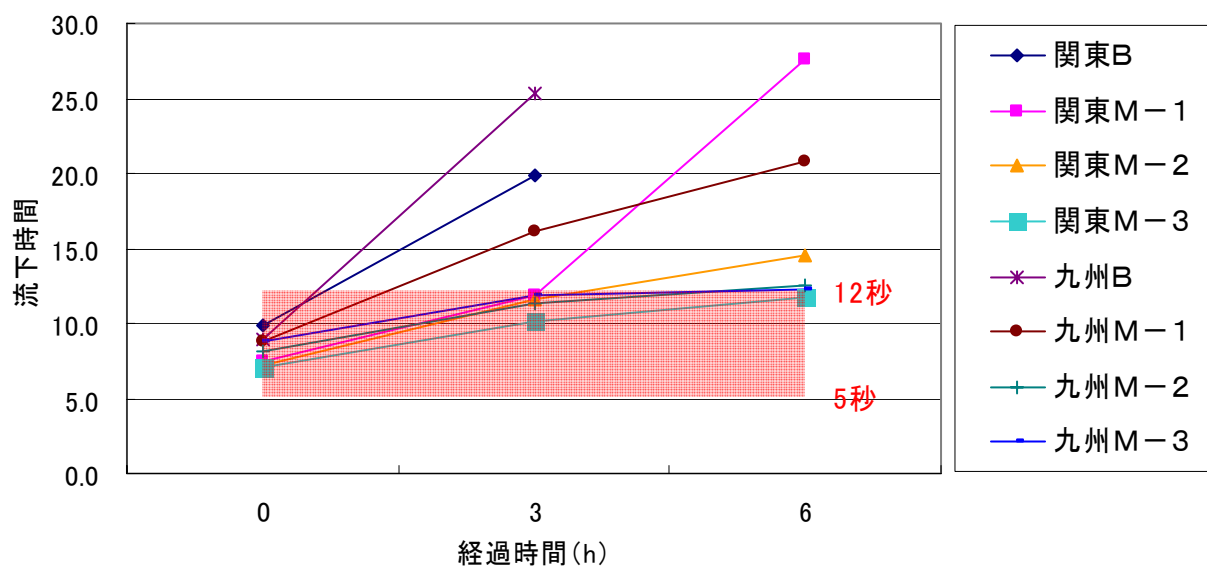


図-3 J14漏斗 流下時間 (全体)

- ・ 関東、九州タイプとも遅延剤による効果は見られたが、規格値を通過するものは、関東 M-3・M-4 のみであった。しかし、M-3・M-4 より添加量を増やした M-5 では規格値を満足しておらず、遅延剤の添加量 0.2%以上についての 6 時間後の流下時間は、概ね 15 秒以下であった。
- ・ 関東タイプは遅延剤を入れることで練混ぜ直後 (0 時間) の流下時間が約 2 秒短縮された。
- ・ 九州タイプは遅延剤を入れても練混ぜ直後 (0 時間) の流下時間に影響は見られなかった。

上記結果より、遅延剤を添加することで、硬化時間を遅らせることが可能であることが確認された。PC グラウトの規格値である 6~12 秒を満足することは困難であったが、遅延剤を 0.2%以上添加することで 6 時間後の J14 漏斗の流下時間約 15 秒以内となり、ある程度の流動性が得られることが確認された。

2.5.2 圧縮強度試験

圧縮強度試験の結果を下記に示す。

表-6 圧縮強度比較

タイプ	σ_{28} (N/mm ²)
関東 B	82.6
関東 B-1	80.8
関東 B-F	72.1
関東 M-1	83.0
関東 M-2	84.6
関東 M-3	81.1
関東 M-4	76.6
関東 M-5	73.3
九州 B	73.4
九州 M-1	78.4
九州 M-2	80.4
九州 M-3	76.4
九州 M-4	73.4
九州 M-5	67.5

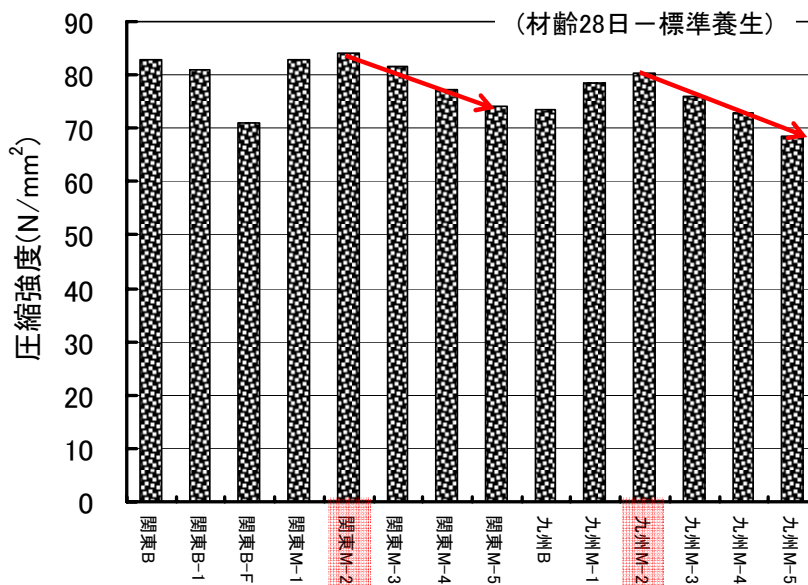


図-4 圧縮強度一覧

- ・ 関東、九州マルチモルタルともに、遅延剤の添加率を0.2%より増加するに伴い、圧縮強度は低減した。
- ・ 設計基準強度は、いずれの場合も40N/mm²以上である。
- ・ 圧縮強度は、遅延剤添加率が0.2%以上になると強度低下を確認した。遅延剤添加率は0.2%が適当である。

2.5.3 ブリーディング率

ブリーディング率の結果を表-7に示す。実験状況を写真-1、写真-2に示す。

これまでの試験で、M-2 配合（遅延剤添加率 0.2%）が適当であると考えられるため、以下の検討は M-2 について行った。

表-7 ブリーディング率試験 一覧表

No	配合名	h0 (mm)	3(h) 経過時 hw(mm)	6(h) 経過時 hw(mm)	6(h) 経過時 hg(mm)	ブリーディング率(%)		膨張率 20(h)経過時 (%)
						3(h) 経過時	6(h) 経過時	
1	関東 M-2	1610	0	0	1609	0.0	0.0	-0.06
2	九州 M-2	1606	0	0	1605	0.0	0.0	-0.06
3	九州 M-2	1605	0	0	1604	0.0	0.0	-0.06

- ・ マルチモルタルはブリーディングを起こさなかった。また体積変化は-0.06%と無収縮タイプの0~-0.5%以内の収縮率であった。



写真-1 マルチモルタル注入状況



写真-2 マルチモルタル注入完了

2.5.4 塩化物量試験

塩化物量の測定結果を表-8に示す。

表-8 塩化物量測定 一覧表

産地	使用機器	比率 1	比率 2	比率 3	塩化物 イオン量 1 (kg/m ³)	塩化物 イオン量 2 (kg/m ³)	塩化物 イオン量 3 (kg/m ³)	塩化物イオン量 平均値 (kg/m ³)	規格値 (kg/m ³)
関東	カンタブ	0.007	0.007	0.007	0.030*	0.030*	0.030*	0.030	0.3
九州	カンタブ	0.007	0.007	0.007	0.030*	0.030*	0.030*	0.030	0.3

※：カンタブの読みの下限值での値

- ・塩化物含有量は0.03 kg/m³であり規格値の0.3kg/m³以内であった。

2.5.5 配合試験考察

- ・早強ポルトランドセメントを使用したマルチモルタルの塩化物量は規制値(0.3kg/m³)を大きく下回り、品質確保に問題がない。
- ・早強ポルトランドセメントを使用したマルチモルタルの配合は、練り混ぜ直後の流動性を得るために、混和剤に早強ポルトランドセメント用混和剤のポゾリス GF-1720(H)が適当である。
- ・珪砂の産地により流動性の違いが生じることが確認されたが、著しい差異ではなかった。
- ・6時間後の流動性について、遅延剤添加率0.2%以上のものはPCグラウトの規格値を外れるが、十分な流動性を有している。
- ・圧縮強度は、遅延剤添加率が0.2%以上になると強度低下を確認した。遅延剤添加率は0.2%が適当である。

以上より、早強ポルトランドセメントを使用したマルチモルタルの配合は「M-2」とし、施工確認試験を行うものとした。配合表を表-9に示す。

表-9 配合表

配合名 関東 九州	W/C(%)	S/C(%)	材料構成 (質量比率 Cを100とする)							
			セメント C	水 W	珪砂			混和剤		遅延剤 Pz89
					S3	S4	S5	SP	PZ	
M-2	45	60	100	45	15	15	30	—	1.0	0.20

3. 施工確認試験

「2.配合設計試験」の結果で得た配合を用い、実施工において問題点等の確認を目的とした施工実証試験を行った。試験内容は、実際のPRCウエルの施工を想定し、マルチモルタルを充填した塩ビ管に鉄筋を挿入する鉄筋挿入試験とシース内に雨水等が貯まった場合を想定したマルチモルタルの水中自由落下試験を行った。

3.1 配合

材料は、関東・九州の各々の材料とし、配合は「2.配合設計試験」の結果で得た「M-2」タイプとした。配合表を表-10に示す。

表-10 施工実証試験配合表

配合名	セメント 産地	珪砂 産地	材料構成 (質量比率 Cを100とする)						
			セメント C	水 W	珪砂			混和剤 PZ	遅延剤 Pz89
					S3	S4	S5		
関東M-2	横瀬	日光	100	45	15	15	30	1.0	0.20
九州M-2	黒崎	玄海	100	45	15	15	30	1.0	0.20

S3：珪砂3号 S4：珪砂4号 S5：珪砂5号

PZ：ポゾリス GF-1720(H) Pz89：ポゾリス No.89(NMB)

3.2 試験装置および測定項目

3.2.1 鉄筋挿入試験

20mの塩ビパイプ ($\phi=75\text{mm}$) をシース ($\phi=80\text{mm}$) と仮定し、マルチモルタルの注入を行い、実際の鉄筋 (D41：ねじ節鉄筋) を挿入した。

配合および注入条件について、2種類を比較した(図-5)。

【試験詳細】

No.1 関東マルチモルタル No.2 九州マルチモルタル No.3 九州マルチモルタル(水あり)

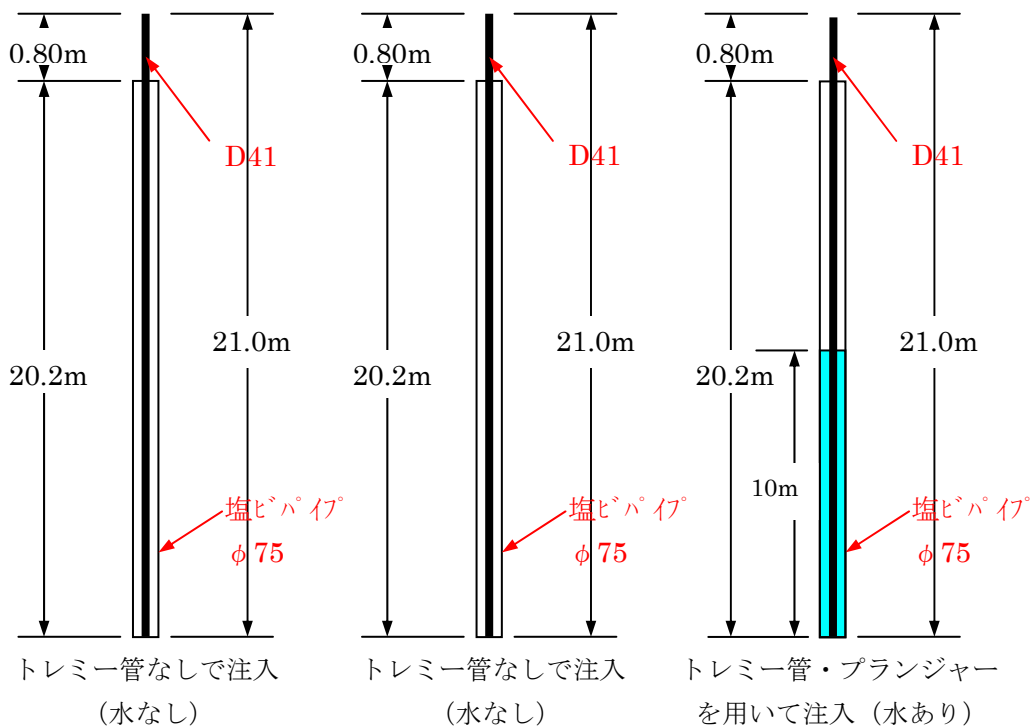


図-5 鉄筋挿入試験

【注入方法】

- ①②：注入口を塩ビ管内壁に近づけて、マルチモルタルが管内面を沿って流れるように(自由落下させないように)注入した。
- ③：トレミー管およびプランジャーを用い、水中自由落下しないように注入した。

【鉄筋挿入】

- ①：マルチモルタル注入直後に挿入し施工性を確認した。マルチモルタル注入直後の施工性確認後、鉄筋を引き抜き6時間経過後、再挿入し施工性を確認した。
- ②③：マルチモルタル注入直後に挿入し施工性を確認した。

3.2.2 水中自由落下試験

4mの透明パイプに水を入れ、マルチモルタルを水中落下させた場合の状況を確認した。その後、鉄筋の挿入を行った(図-6)。

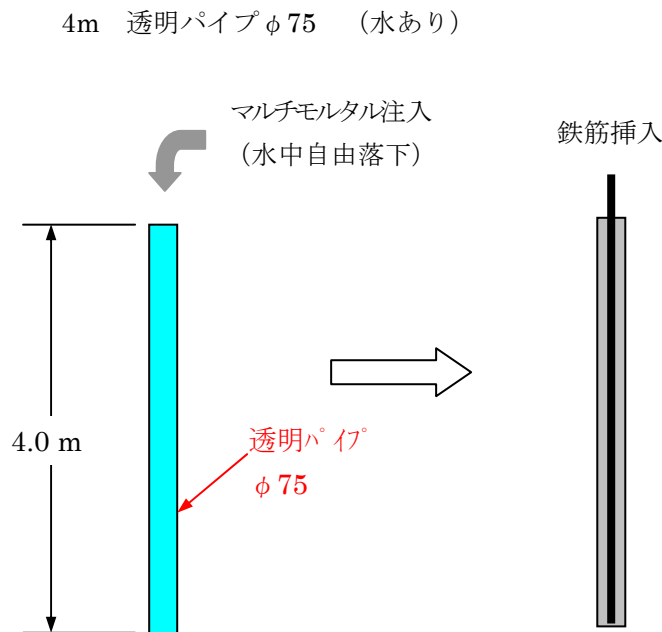


図-6 マルチモルタル水中自由落下試験

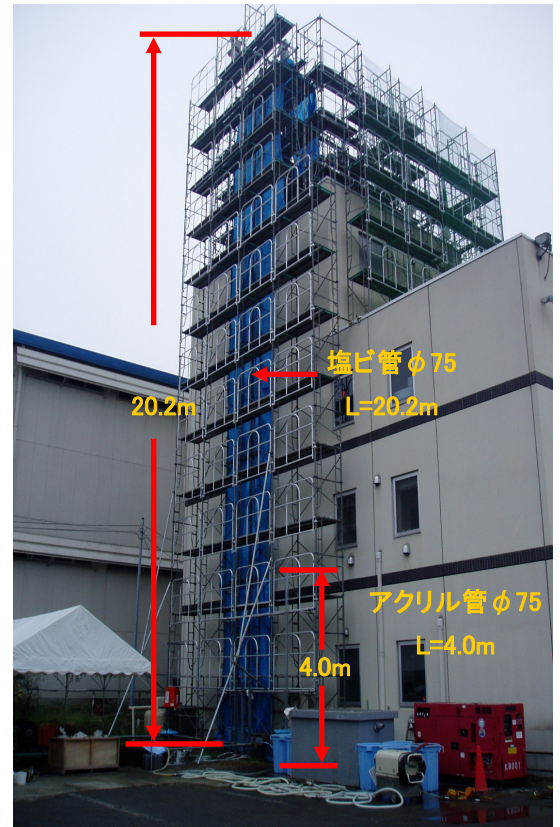


写真-3 水中自由落下試験

3.3 試験結果

3.3.1 鉄筋挿入試験

マルチモルタルの流動試験結果を表-11に、挿入試験結果を表-12に示す。

表-11 遅延剤比較表

	流下時間 (sec)			備考
	0(h)経過時	3(h)経過時	6(h)経過時	
関東 M-2	6.5	8.9	14.5	規制値 5~12 秒
九州 M-2	5.3	8.6	— ※	規制値 5~12 秒

※3時間経過時までの試験結果に差異がないこと、および室内試験時の数値に比べ小さいことより15秒以内と予測し試験を行わなかった。

表-12 挿入試験残尺

	0(h)経過時 残尺(m)	6(h)経過時 残尺(m)	設計残尺 (m)	差(m)	判定
No.1 関東マルチモルタル	0.78	0.78	0.80	0.00	OK
No.2 九州マルチモルタル	0.78	—	0.80	0.00	OK
No.3 九州マルチモルタル (水あり)	1.53	—	0.80	0.73	OUT

- ・ 塩ビ管内に水がない場合(No.1 No.2), マルチモルタルを管壁部に沿わして注入することで, 鉄筋の挿入に支障はなかった.
- ・ 塩ビ管内に水がない場合(No.1), 流下時間15秒程度(6時間経過時点)の場合でも, 鉄筋の挿入に支障はなかった.
- ・ 塩ビ管内に水が存在する場合(No.3), トレミー管とプランジャーを使用し注入したものの, 注入最中にトレミー管が詰まり, 注入ができなくなった. 振動をあてて注入は完了したが, 鉄筋は高止まりした. プランジャーが有効に作用したか, 確認することはできなかった.



写真-4 注入状況 (トレミー管なし)



写真-5 注入状況 (トレミー管あり)

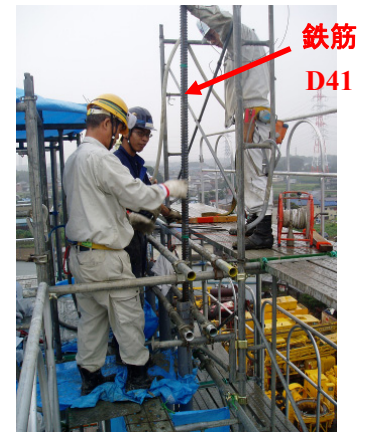


写真-6 鉄筋挿入状況

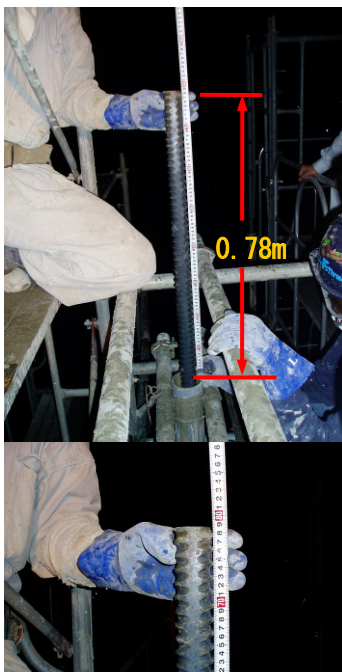


写真-7 No.1
(6時間後)

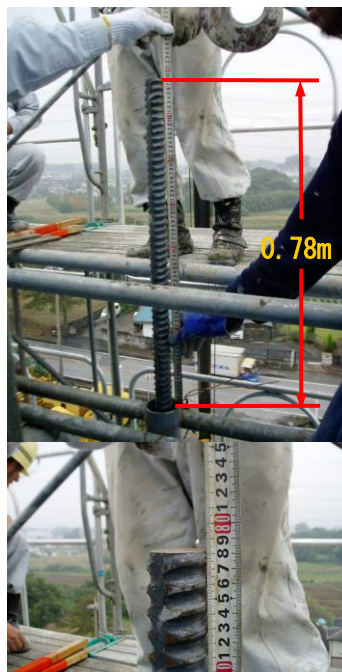


写真-8 No.2
(0時間後)

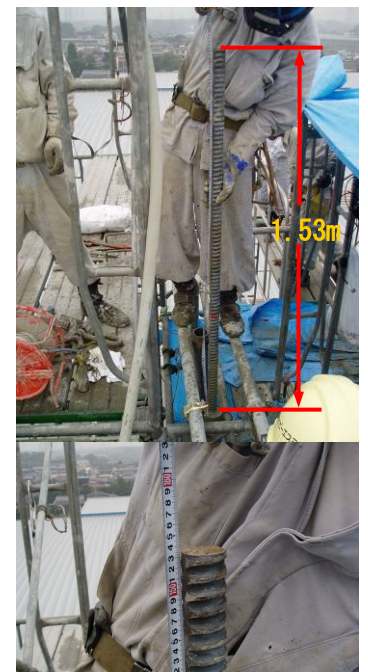


写真-9 No.3
(0時間後)

3.3.2 マルチモルタル水中自由落下試験

試験後の状況を写真-10, 写真-11に示す.



写真-10 水中自由落下試験後

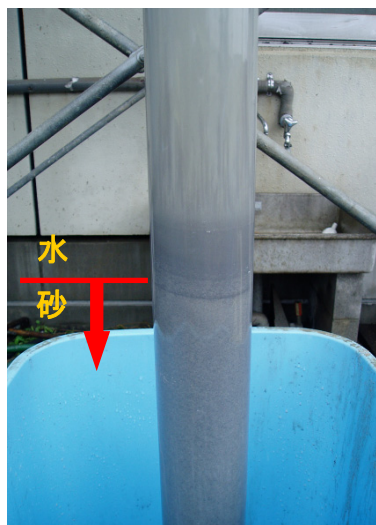


写真-11 材料分離状況

- ・水中を自由落下させることにより材料分離を起こすことを確認した。
鉄筋挿入後の残尺を写真-12, 写真-13に示す.



写真-12 鉄筋挿入状況



写真-13 残尺 0.34m

- ・鉄筋挿入時の残尺0.34mとなり、4mに対し0.34m高止まりした.

3.3.3 施工確認試験考察

- ・塩ビ管内に水が無い場合、マルチモルタルを管壁部に沿わせて注入することで、自由落下による材料分離は発生しなく、鉄筋の挿入に支障はないと思われる.
- ・マルチモルタルは水中を自由落下させることで材料分離を起こし、鉄筋の挿入ができなくなる
- ・マルチモルタルの練り混ぜ後6時間後の流下時間は規制値(5~12秒)を上回る15秒程度であったが、鉄筋の挿入に支障をきたすことはなかった. マルチモルタルにおける流動性の規制値は5~15秒に緩和できる.

4. 実施工例

4.1 実施工場所

工事名：宇賀地橋下部工
 施工時期：平成17年11月28日～12月1日

場所：新潟県魚沼市(旧山古志村)
 施工箇所：基礎(PRC ウェル)部

構造一般図を図-7に示す。

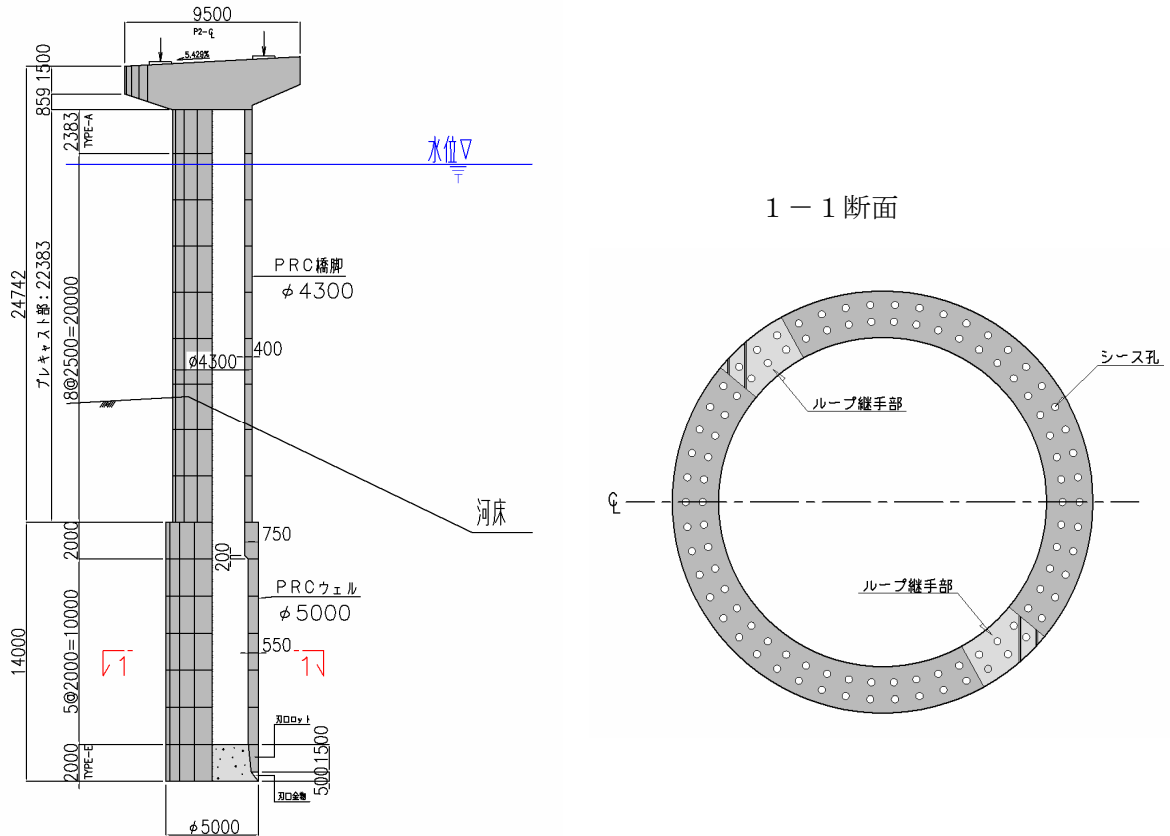


図-7 構造一般図

鉄筋挿入箇所詳細を表-13に示す。

表-13 鉄筋挿入箇所詳細

	シース径 (mm)	シース延長 (mm)	鉄筋径 (mm)	設置箇所 (カ所)	鉄筋高止まり箇所 (カ所)
外側	80	13500	41	50	無
内側	80	12000	41	50	無

4.2 施工方法および施工状況

マルチモルタルを注入するシース孔には雨水が貯まっており、マルチモルタルを水中自由落下させた場合、材料分離してしまうことが、**3. 施工確認試験**により確認されている。そこで、マルチモルタルのシース孔へ注入孔の先端をビニール養生した高圧ホースをシース管底まで挿入し、注入圧によりビニールを破って注入を行った。事前に、注入口をシース管底に到達させるまでの間、先端ビニールがモルタルの重量によって破れないことを確認している。

マルチモルタルの注入は、4m程度注入した後、注入口が注入したマルチモルタル内に残るように高圧ホースを3m程度引き抜き、所定量に達するまで繰り返し注入を行った。

注入後、鉄筋の挿入を行った。マルチモルタルの材料分離、鉄筋の高止まり等の問題はなく基礎(PRC ウ

エル)部を施工することができた。

施工フローを図-8に示す。施工状況を写真-14から写真-19に示す。

【高圧ホース詳細】 使用ホース内径：32(mm) 断面積：804(mm²)
 ホース高低差：14m(シース延長)+1.5m(余裕分)=15.5(m)

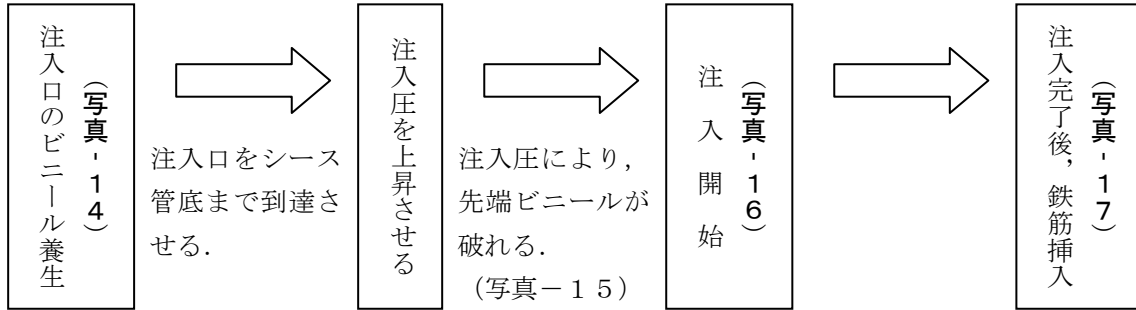


図-8 施工フロー図



写真-14 注入口 養生状況



写真-15 ビニール破断状況

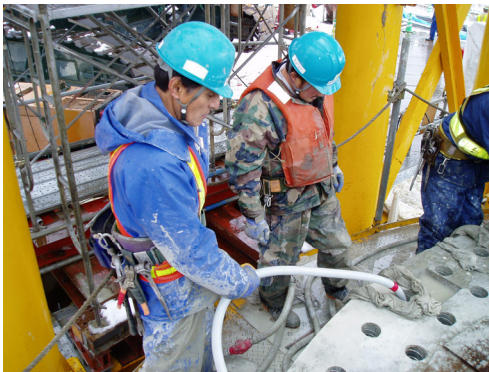


写真-16 注入状況

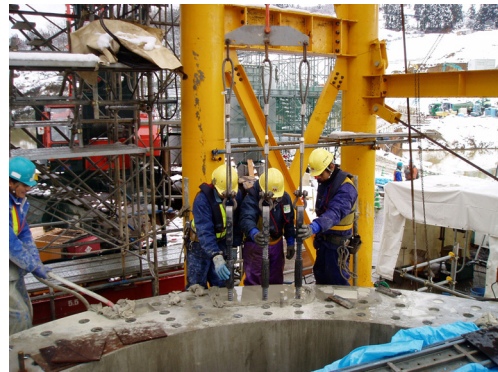


写真-17 鉄筋挿入状況



写真-18 鉄筋挿入状況

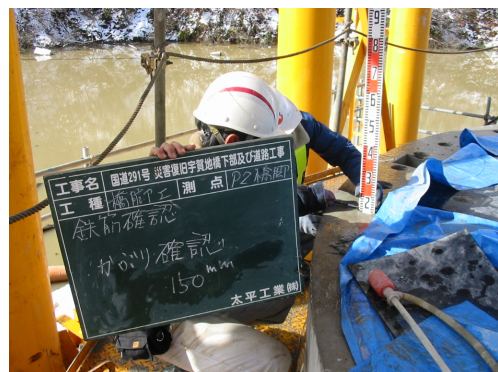


写真-19 鉄筋挿入出来形確認

5. まとめ

PRC ウェル主鉄筋定着用モルタルの改良試験において、配合設計試験では、早強ポルトランドセメントを使用したマルチモルタルは塩化物量の規制値(0.3kg/m³)を大きく下回り、品質確保に問題がないことを確認し、早強ポルトランドセメントを使用したマルチモルタルの配合を決定した。配合は表-14のとおりとする。

表-14 配合表

セメント ベース	W/C (%)	S/C (%)	材料構成 (質量比率 Cを100とする)						
			セメント C	水 W	珪砂			混和剤	遅延剤
					S3	S4	S5	ポゾリス GF-1720(H)	ポゾリス No.89
早強 ポルトランド セメント	45	60	100	45	15	15	30	1.0	0.20

施工確認試験では、マルチモルタルの性状は、練り混ぜ後6時間経過しても鉄筋の挿入に支障が無いことが確認され、水中自由落下した場合にはマルチモルタルは材料分離し、鉄筋の挿入に問題が生じることが確認された。

実施工では、配合設計試験および施工確認試験により得た結果より、高圧ホースを用いた注入方法の妥当性が確認された。

参考文献

- 1) PC ウェル工法研究会：超遅延性無収縮高強度モルタルの配合に関する試験報告書，1998.3
- 2) 土木学会：コンクリート標準示方書 [基準編] 土木学会基準，pp.172-173，2002.3
- 3) 日本規格協会：JIS A 1108：1999
- 4) プレストレスト・コンクリート建設業協会：PC グラウト&プレグラウト PC 鋼材施工マニュアル (改訂版)，2002.10