

報告

[1003] 高流動コンクリートの実構造物への適用

梶田秀幸^{*1}・江口 清^{*2}・中込 昭^{*3}・小野義徳^{*4}

1. はじめに

筆者らが開発してきた高流動コンクリートは、高い流動性と分離抵抗性をもつコンクリートで、締め固めを要さずに優れた充填性が得られる。その特性を活かし、施工欠陥の防止による耐久性の向上及び打設の省人化・合理化を図ることを目的として開発したものである。また、レディーミックスコンクリート工場（以下レミコン工場と略記）での製造を考慮し、高炉スラグ微粉末あるいはフライアッシュを用いた2成分系の高流動コンクリートである。本コンクリートについては、既に室内実験及び実大実験を実施し、基礎的物性や施工性等を把握しており、独自の施工ガイドライン、調合設計マニュアル及び品質管理マニュアル等（以下、総称する場合には施工マニュアルと呼ぶ）を整備している。

高流動コンクリートを適用した建物では、2階の梁の一部にプレキャスト部材を使用し合理化を図っているが、プレキャスト梁部材下には下がり壁、薄壁等が配置されているため、通常のコンクリートでは打設が困難であり、十分な充填性が期待できない。そこで、当該壁に欠陥を生ずることのないよう、高流動コンクリートを適用することが有効と考えられ、1階立ち上がりの躯体コンクリートに適用した。

ここでは、施工マニュアルに従って高流動コンクリートを施工し、良好な構造体を構築できたことを報告する。また、高流動コンクリートの品質及び施工性に関する試験結果に若干の考察を加えたものも併せて報告する。

2. 工事概要

2.1 建物概要

建物の概要を表-1に、また、1階平面図を図-1に示す。

2.2 高流動コンクリートの適用範囲

高流動コンクリートは、建物の1階立ち上がり梁下までの柱、壁に適用した。打設量は115m³である。また、プレキャスト梁の適用範囲及びその部分の壁の有無・形状を図-1に示す。

3. 高流動コンクリートの製造方法

高流動コンクリートの製造に関しては、調合設計マニュアルに従った。高流動コンクリートの品質の管理目標値は表-2に示す通りである。

3.1 レミコン工場

高流動コンクリートは特殊なコンクリートであるため、製造可能なレミコン工場は設備面等から

表-1 建物概要

所在地	三重県員弁郡 藤原町
用途	独身寮
構造	R C 造
階数	地上3階
敷地面積	3.112.94m ²
建築面積	494.40m ²
延床面積	1.252.29m ²
軒高	9.8m
最高高さ	11.70m

*1 前田建設工業(株) 技術研究所建築材料施工研究室（正会員）

*2 前田建設工業(株) 技術研究所次長（正会員）

*3 前田建設工業(株) 技術研究所建築材料施工研究室副室長、工修（正会員）

*4 小野田セメント(株) セメント・コンクリート研究所主席研究員、工修（正会員）

限定される。特に、ミキサの練り混ぜ性能の面からは、調合設計マニュアルで強制練りミキサであることが条件となってい。また、高流动コンクリートの混和材（高炉スラグ微粉末）の貯蔵面からは、保有サイロが多く簡易仮設サイロの設置が必要ないことが望ましい。今回は上記の両条件を満たすレミコン工場を選定した。表-3に、使用ミキサの仕様を示す。

3.2 使用材料及び調合

使用材料及び調合を決定するまでに実施した試験練り及びその検討結果のフローを、図-2に示す。また、決定した使用材料及び調合を表-4, 5に示す。

3.3 練り混ぜ

材料一括投入後3分間練り混ぜを行った。1バッチ 1.25m^3 を4バッチ（ 5.0m^3 ）練り混ぜ、トラックアジテーターに積載した（合計23台）。

4. 高流动コンクリートの打設方法

高流动コンクリートの打設に関しては、施工ガイドラインに従った。

4.1 型枠の設計

高流动コンクリートの型枠の設計にあたり、最も配慮しなければならないのは側圧である。高流动コンクリートの側圧は液圧に近いと考えられるため、型枠・支保工は液圧に耐えるよう設計した。

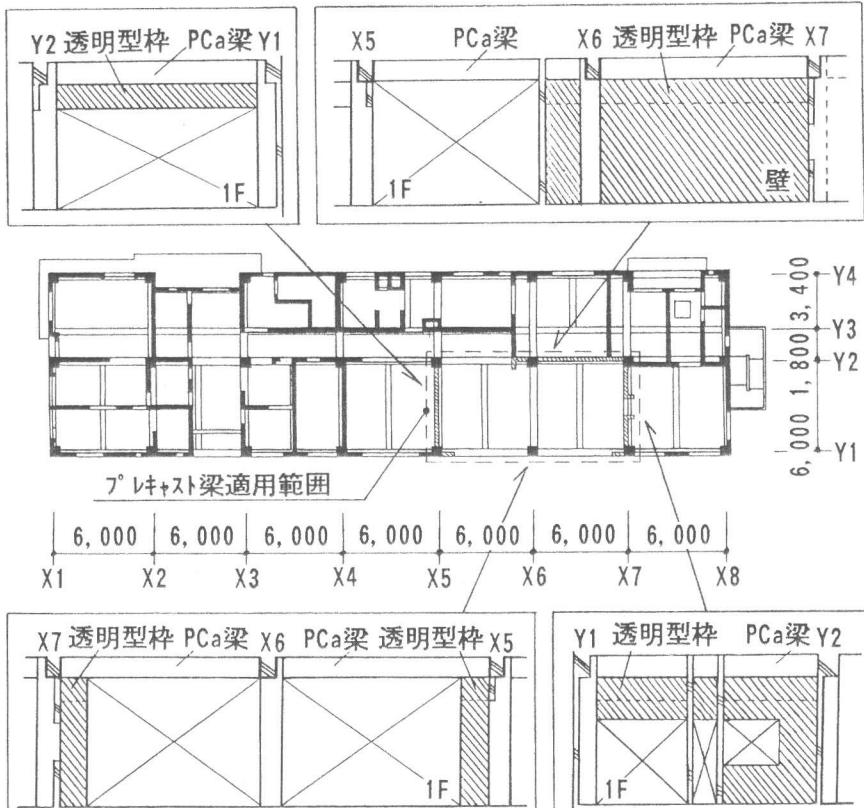


図-1 1階平面図及びプレキャスト梁適用範囲とその部分の壁の形状

表-2 高流动コンクリートの管理目標値

フレッシュコンクリート	スランプフロー	$60 \pm 5\text{cm}$
	V F (S)値	下がり 17cm 以上
	空気量	$4.0 \pm 1.5\%$
	フリーディング量	$0.3\text{cm}^3/\text{cm}^3$ 以下
	硬化コンクリート	圧縮強度 $600\text{kN}/\text{cm}^2$ （標準養生、28日）以上

表-3 使用ミキサの仕様

ミキサ	I社製
ミキサ形式	可変速式2軸強制練り（油圧駆動式）
混練り容量	1.5m^3
ミキサ能力	$110\text{m}^3/\text{h}$ (軟練りコンクリートの場合)

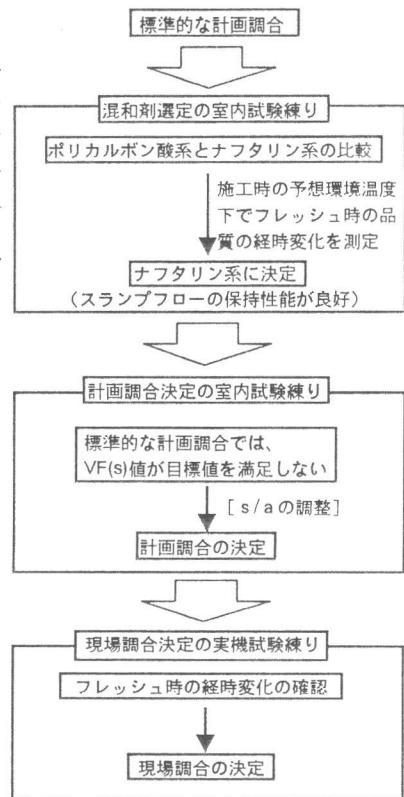


図-2 使用材料及び調合決定までの試験練りフロー

また、型枠の浮き上がり及びセメントペーストの漏れも懸念されるため、その防止対策を施した。その他、充填状況を確認するためプレキャスト梁下に透明型枠を設置した（図-1参照）。

4.2 運搬

コンクリートはトラックアジテーターで現場まで約40分間運搬後、ブーム式コンクリートポンプ車により圧送した。コンクリートポンプの仕様を表-6に示す。

4.3 打込み

打込み順序は、最初にプレキャスト梁適用範囲（図-1参照）の部材から打込んだ。

その後は、図-1に示すX8・Y1の柱から、原則として、X方向はX1に向かってY方向はY4に向かって筒先を移動して打込んだ。打込み方法は、原則として、柱から打込み、自重の作用によりコンクリートを流动させて壁型枠内に充填させた。但し、プレキャスト梁下の下がり壁中央部、打上がり最上部等の自重の作用が殆どない部位については振動締めを行った。

5. 試験項目及び方法

高流動コンクリートの製造及び打設にあたり実施した試験項目及びその方法を以下に示す。また、試験項目によっては、比較のため普通コンクリート（呼び強度:210kgf/cm², スラブ:18cm, 粗骨材最大寸法:20mm）についても試験を実施した。

5.1 コンクリートの品質

高流動コンクリートの品質試験項目及びその方法に関しては、品質管理マニュアルに従った。

(1) フレッシュコンクリートの品質

高流動コンクリートで実施したフレッシュ時の品質試験の項目、方法及び頻度を表-7に示す。また、普通コンクリートについては、荷卸し時において、スランプ試験、空気量及びコンクリート温度の測定を行った。

(2) 圧縮強度

表-4 使用材料

セメント	O社製普通ポルトランドセメント 比重3.16
混合材	高炉スラグ微粉末 比重2.89 比表面積6000cm ² /g
細骨材	a)藤原石灰石碎砂 比重2.67 f.m.=2.72 a):b) b)長良川川砂 比重2.57 f.m.=1.67 =8:2
粗骨材	a)町屋川玉碎石 比重2.65 f.m.=6.95 a):b) b)藤原石灰石碎石 比重2.70 f.m.=6.91 =6:4
高性能AE 減水剤	N社製 ナフタリン系

表-5 調合表

水結合材比 (%)	細骨材率 (%)	単位重量(kg/m ³)					S.P. 添加量 (B×%)*
		W	C	Slag	S	G	
34.0	55.0	170	225	275	909	749	1.8

*. B=C+Slag

表-6 コンクリートポンプの仕様

形式	油圧ピストン式
最大吐出量	110m ³ /h
最大吐出圧力	52.7kgf/cm ²
シリンダー径	220mm

表-7 高流動コンクリートの品質試験

試験項目	試験方法	回数		
		出荷時	荷卸し時	筒先
スランプフロー試験	土木学会規準	全トラックアジャーテーター	全トラックアジャーテーター	3回
V.F.(S) 試験	土木学会規準の機器を使用	1回/3台	1回/3台	同上
空気量の測定	JIS A 1128	同上	同上	同上
温度の測定	温度計	同上	同上	同上
ブリーディング試験	JIS A 1123	1回	-	-
凝結試験	ASTM C 403	1回	-	-
フレッシュコンクリートの全体的性状の把握	目視	全トラックアジャーテーターについて	-	-
圧縮強度試験および静弾性係数の測定	JIS A 1108	-	3回*1	1回*1
中性化試験*3	促進中性化試験建築学会(案)	-	1回	-
	暴露中性化試験*2	-	1回	-
長さ変化試験*3	JIS A 1129 (タイヤルケージ法)	-	1回	-
凍結融解*3	JIS A 6204 附属書2	-	1回	-

*1. 詳細は下表による

回数	養生	材齢(日)			
		3	7	28	91
1	標準	-	-	○	○
	現場水中	-	-	○	-
2	標準(荷卸し)	○	◎	○	◎
	標準(筒先)	-	-	○	-
3	現場水中	○	◎	○	○
	標準	-	-	○	○
	現場水中	-	-	○	-

◎静弾性係数測定

*2.

暴露中性化試験は、翌日脱型後暴露開始、材齢6ヶ月、1年、3年、5年に中性化深さを測定する。測定箇所は供試体4面全面を測定する。

*3.

本試験は現在計測中である。

高流動コンクリートは、荷卸し時及び筒先で採取した供試体（ $\phi 10 \times 20\text{cm}$ ）について、圧縮強度試験及び静弾性係数の測定を実施した。試験の方法及び頻度については表-7に示す。また、普通コンクリートは、荷卸し時に採取した供試体（ $\phi 10 \times 20\text{cm}$ ）について、圧縮強度試験及び静弾性係数の測定を実施した（表-8参照）。

(3) 圧送前後のコンクリート温度

高流動コンクリートの硬化発熱特性を把握する目的で、簡易断熱試験体を製作し、圧送前後それぞれのコンクリートについて内部温度を測定した。試験体の形

状、寸法及び測定点を図-3に示す。また、普通コンクリートも同様に内部温度を測定した。

(4) 耐久性

高流動コンクリートは、荷卸し時に採取した供試体（ $\square 10 \times 10 \times 40$ ）について、耐久性試験を実施した。試験の項目、方法及び頻度については表-7に示す。また、普通コンクリートは、荷卸し時に採取した供試体（ $\square 10 \times 10 \times 40$ ）について、促進中性化試験、暴露中性化試験及び長さ変化試験を実施した。試験方法、試験頻度については、高流動コンクリートの場合と同様である。

5.2 コンクリートの施工性

(1) 圧送性

高流動コンクリートの圧送性を把握するため、打込み速度及びコンクリートポンプの主油圧を測定した。

(2) 側圧

高流動コンクリートの型枠・支保工は、液圧に耐えるよう設計する。そのため、セパレーター及び端太間隔が通常より小さくなり、経済性の点で不利となる。そこで、図-1に示すX4・Y1の柱及びX4通りのY1-Y2間の壁において土圧計により側圧を測定し、高流動コンクリート用の型枠設計をより合理的に行うための資料とした。土圧計の設置位置を図-4に示す。

(3) 充填状況

高流動コンクリートの充填状況、特に、通常のコンクリートでは打設が困難な箇所の充填状況を目視によって確認した。

表-8 普通コンクリートの強度試験

	材齢(日)		
	7	28	91
標準養生	○	◎	○
現場水中養生	-	◎	-

◎静弾性係数測定

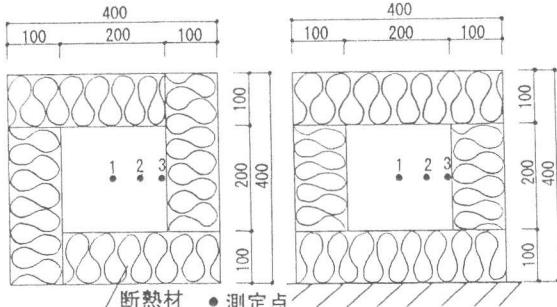


図-3 簡易断熱試験体の概要

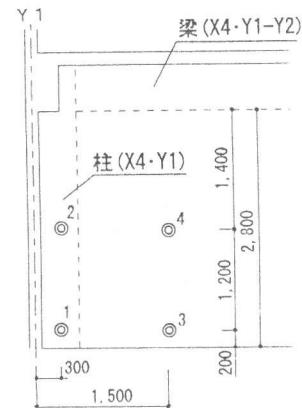


図-4 土圧計設置位置

表-9 高流動コンクリートの
荷卸し時の品質試験結果

トラックア ジテーク -No.	スランプ フロー (cm)	VF(S) 値 (cm)	空気量 (%)	コンクリー ト温度 (°C)	その他
1	65.0	24.8	4.1	23.0	-
2	62.5	-	-	24.0	-
3	64.0	-	-	24.0	-
4	65.0	-	-	23.0	-
5	59.0	23.0	3.7	24.0	-
6	57.5	-	-	25.0	フリーリーディング量: 0.09cm ³ /cm ³ 凝結始発:14-15. 終結:17-10
7	57.3	21.5	4.2	25.0	-
8	59.0	-	-	26.0	-
9	57.0	-	-	26.0	-
10	56.0	22.3	4.0	25.0	-
11	55.0	-	-	24.0	-
12	56.5	-	-	25.0	-
13	59.0	21.0	4.2	24.0	-
14	56.0	-	-	24.0	-
15	58.0	-	-	25.0	-
16	56.5	23.0	3.8	25.0	-
17	59.5	-	-	24.5	-
18	62.0	-	-	24.0	-
19	57.0	-	4.4	24.0	-
20	62.8	20.5	-	25.0	-
21	65.0	-	-	22.0	-
22	63.0	23.5	4.3	23.0	-
23	56.0	-	-	22.0	-

6. 試験結果及び考察

6. 1 コンクリートの品質

(1) フレッシュコンクリートの品質

高流動コンクリートの荷卸し時の品質試験結果を表-9に、トラックアジテーター間の品質の変動を図-5に示す。トラックアジテーター間の品質の変動は小さく、荷卸し時では全ての品質項目が管理目標値を満足した。しかし、圧送後のスランプフロー及びVF(S)値は、圧送前に比べ低下する傾向にあることが認められた。逆に、空気量は圧送後に若干大きくなる結果となった。

(2) 圧縮強度

高流動コンクリート及び普通コンクリートの圧縮強度試験の結果の一部を図-6に示す。高流動コンクリートは、材齢28日の標準養生供試体の圧縮強度が管理目標値を満足した。

(3) 圧送前後のコンクリート温度履歴

簡易断熱試験体中心

部の温度履歴を図-7に示す。高流動コンクリート及び普通コンクリートとも、温度上昇量及び上昇速度は、圧送前に比べて圧送後のほうが若干大きい。これは、輸送管の摩擦、加圧による影響等種々の要因が考えられるが、それを特定することはできない。今後、このメカニズムについては明らかにしていく必要がある。

6. 2 コンクリートの施工性

(1) 圧送性

コンクリートポンプの吐出速度及び主油圧を図-8に示す。トラックアジテーター1台ごとの平均吐出速度は総平均で $37.6\text{m}^3/\text{h}$ となり、一般的なコンクリート吐出速度と同程度であった。

コンクリートポンプの圧送時の負荷は通常のコンクリートに比べ大きいが、高性能のコンクリートポンプを使用すれば、通常のコンクリートと同程度の速度で圧送・打込みができるといえる。

(2) 側圧

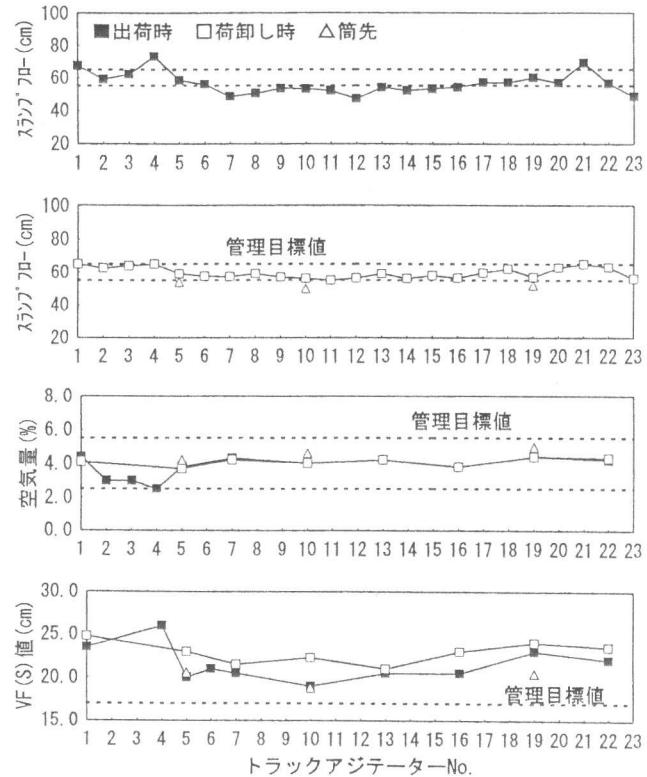


図-5 トラックアジテーター間の品質の変動

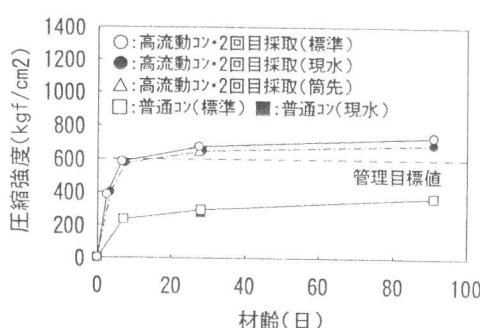


図-6 圧縮強度試験結果

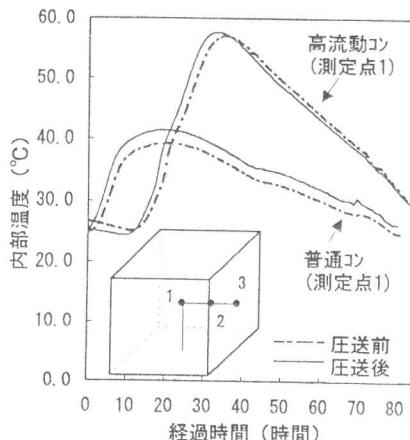


図-7 簡易断熱温度履歴

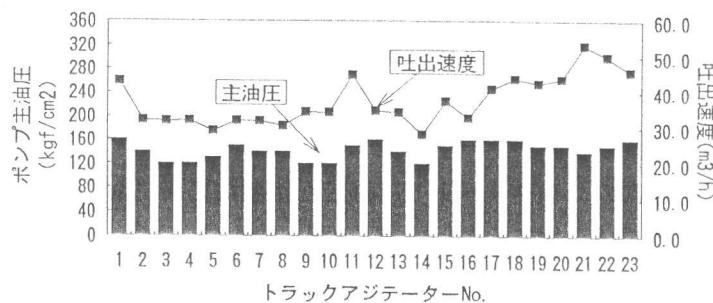


図-8 コンクリートポンプの吐出速度と主油圧

当該柱・壁の打上がり高さの経時変化を図-9に示す。当該部分のコンクリートは、まず、図-1に示すX4・Y2の柱から打込み、流動させ、その後X4・Y1の柱から打設したため、打上がり高さ1.1mから1.4mの間に待ち時間が生じた。打上がり高さと側圧の関係を図-10に示す。一般的に、高流動コンクリートの側圧は液圧に近いと考えられるが、この結果によると、コンクリートの側圧は液圧までには至らず、打込み直後においても液圧の70%前後であった。原因として、打込み速度が低いことが考えられるが、図-9に示すように打上がり高さ1.1mまでは打上がり速度13.2m/h、高さ1.4mから2.8m（天端）までは速度9.3m/hであり、通常の打上がり速度と大差ない。また、コンクリートの流動性にも影響されるが、当該部分に打込まれたコンクリートの荷卸し時のスランプフローは59cmであり、流動性に欠けるということはない。今後も、側圧のデータを収集し、本結果の妥当性を確認した上で型枠設計の合理化を図りたい。なお、全ての型枠は破壊せず、セメントペーストの漏れも認められなかった。

(3) 充填状況

高流動コンクリートの充填状況を写-1, 2に示す。通常のコンクリートでは打設が困難な箇所であるプレキャスト梁部材下の壁（特に下がり壁）、開口下部の壁、複雑な形状の壁及び薄壁等において良好な充填性が得られた。

7. まとめ

高流動コンクリートを実構造物に適用し、以下の結果が得られた。

(1) 高流動コンクリートの品質に関しては、

- ①フレッシュ時の性状は、トラックアジテーター間による品質の変動は小さく、全ての品質は管理目標値を満足した。
- ②圧縮強度は、管理目標値を満足した。
- ③コンクリート温度は、温度上昇量及び上昇速度とも、圧送前に比べて圧送後のほうが大きい。

(2) 高流動コンクリートの施工性に関しては、

- ①通常のコンクリートでは打設が困難な箇所において良好な充填結果が得られた。
- ②側圧は、液圧までには至らなかった。
- ③コンクリートポンプの圧送時の負荷は、通常のコンクリートに比べ大きいが、高性能のコンクリートポンプを使用することにより対処できる。

総合的に言えば、施工マニュアルにしたがって製造・打設した高流動コンクリートは、所要の品質及び施工性を有し、良好な構造体を構築することができることを確認した。

参考文献

- 1) 松岡康訓ほか：超流動コンクリート「ピオカリート21」の実構造物への適用、大成建設技術研究所報、第25号、pp. 249-266、1992

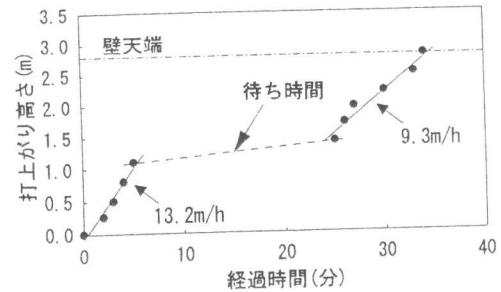


図-9 打上がり高さの経時変化

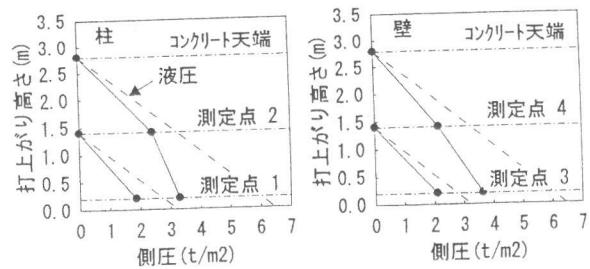
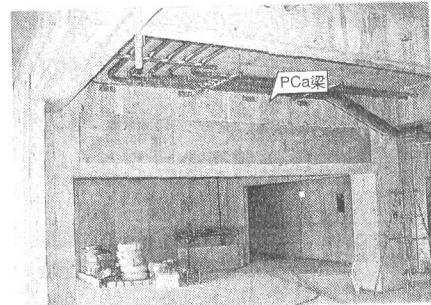
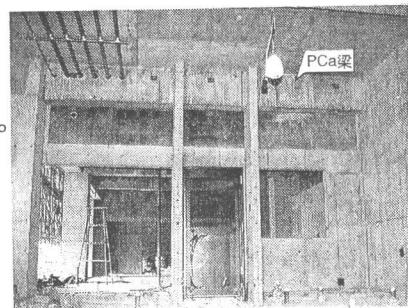


図-10 打上がり高さと側圧



写-1 プレキャスト梁下の
下がり壁の充填状況



写-2 プレキャスト梁下の下がり!
・複数な形状の壁・開口部
の壁・薄壁の充填状況