

高流動コンクリート（フローイングコンクリート）を用いた躯体の施工 Construction of Structural Concrete for Flowing Concrete

高源 進*
Susumu Kougen

高橋 良**
Ryou Takahashi

西山 直洋***
Naohiro Nishiyama

中田 善久****
Yoshihisa Nakata

有坂 七郎*****
Shichirou Arisaka

要 約

本報は、高流動コンクリートを用いて施工した東京電力(株)技術開発センターの施工記録を報告するものである。ここで用いたフローイングコンクリートの特徴は、流動性が高く、軽微な締固めによりコンクリートを打設することができ、省力化ならびに品質の向上を目的に開発されたコンクリートである。このコンクリートを適用した箇所は、地下1階部分で、構造はSRC造、コンクリート打放し仕上げとなっている。この部分は、階高が4.5mもあり十分な締固めを行うことができないため、品質並びに充填性の向上を目的とし、フローイングコンクリートを用いた。このコンクリートは、当社技術研究所も参画しているフローイングコンクリート研究会で研究開発されたものであり、このような高流動コンクリートを用いて大規模な建築物の施工を行ったのは、当社としては初めてのことである。

目 次

- § 1. はじめに
- § 2. 工事概要
- § 3. フローイングコンクリートとは
- § 4. 実大模擬施工実験
- § 5. 実構造物への適用
- § 6. まとめ

§ 1. はじめに

近年、建設業界においてコンクリート工事の省力化とコンクリートの品質向上を目的とした高流動コンクリートの研究開発が進められている。この要因の一つとして、化学混和剤の開発が急速に進んだことが挙げられる。これらのコンクリートは、流動性が高く、型枠の隅々まで流動することから軽微な締固めだけでコンクリートを打

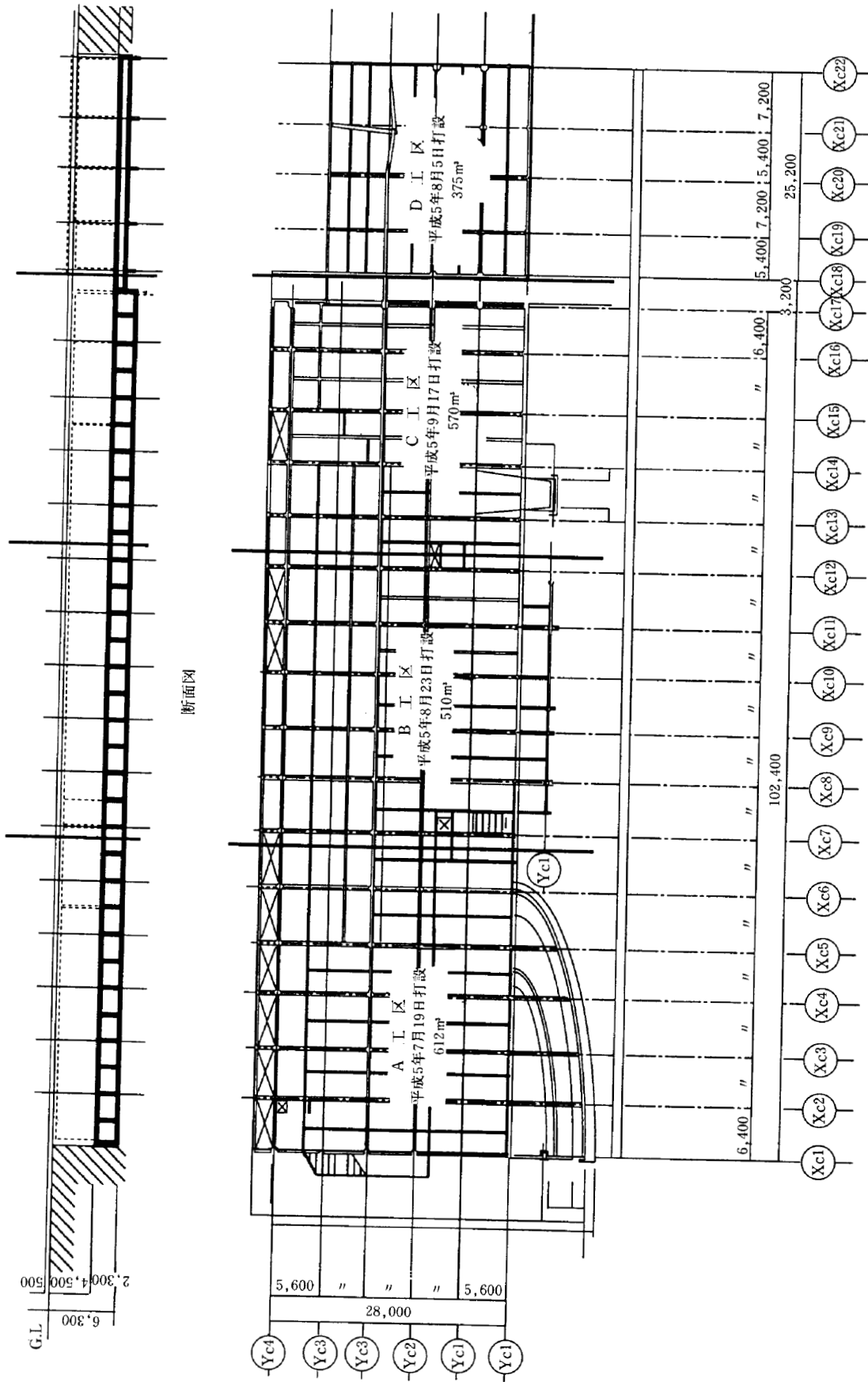
設することができ、工事の省力化ならびに品質の向上が可能なものである。当社においても、フローイングコンクリートの研究会に参画し、高流動コンクリートの研究開発に取り組んでいる。

東京電力(株)技術センター会議棟は、SRC造で打放しコンクリート仕上げとなっている。また、施工条件が厳しいため品質並びに充填性の向上のためワーカビリティの良いフローイングコンクリートを用いて施工を行った。ここでの施工条件を述べれば、以下のとおりである。①打放しコンクリートである。②階高が4.5mである。③柱・梁接合部における鉄筋・鉄骨の配筋が過密である。④建物の形状より十分な締固めができない。

当工事ではフローイングコンクリートを地下1階部分の約2,000m³に用いており、このような大規模な建築物に高流動コンクリートを適用したのは、当社としては初めてのことである。

本報は、この施工に当たり、研究開発されたフローイングコンクリートの施工方法を検討するために行った予備実験、施工方法および品質管理について述べたものである。

* 東京建築(支)東電技術センター(出)所長
** 東京建築(支)東電技術センター(出)副所長
*** 技術研究所建築技術課副課長
**** 技術研究所建築技術課
***** 技術部副部長



図一1 建物概要図

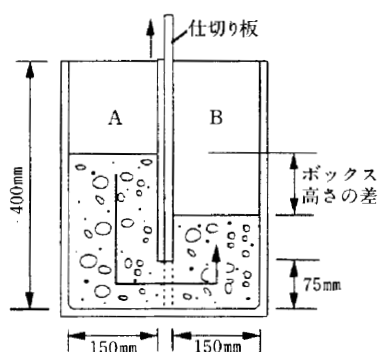


図-2 ボックス試験装置

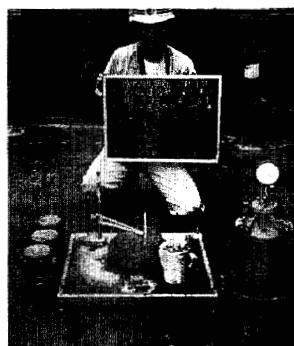


写真-1 普通コンクリートのスランプ試験状況



写真-2 フローイングコンクリートのスランプ試験状況

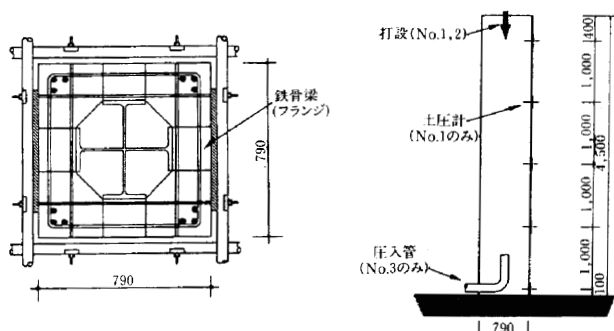


図-3 試験体概要図

- ②設計基準強度は、 $180\sim 600\text{kgf/cm}^2$ ($17.7\sim 58.9\text{MPa}$)程度とし、一般的に用いられている建築用コンクリートの調査をベースとする。
- ③打ち込み、締固め作業を軽減し、工事の迅速化と経済性を図る。
- ④す、豆板がない密実なコンクリートを得る。

数回の試験練りの結果、軽微な締固めで十分な充填性が得られるスランプは24～26cm（スランプフロー50～60cm、ボックス高さの差8cm以下）とした。この中で、ボックス試験装置の概要を図-2に示す。

また、普通コンクリートとフローイングコンクリートのスランプ試験の状況を写真-1および写真-2に示す。

§ 2. 工事概要

フローイングコンクリートを用いた建物の概要を下記に示す。

工事名称：技術開発センター建物会議棟新築工事

工事場所：横浜市鶴見区江ヶ崎4-17

企業先：東京電力株式会社

設計：(株)第一工房、東電設計(株)

管理：東京電力新研究所建設工事事務所

施工：西松建設(株)東京建築支店

建物用途：会議室

構造：SRC造

敷地面積：46,014.76m²

建築面積：3,799m²

延床面積：9,911.36m²

この建物の中でフローイングコンクリートは、地下1階部分に適用した。この建物概要図を図-1に示す。

§ 3. フローイングコンクリートとは

フローイングコンクリートの基本的考え方を以下に記す。

①セメントは、普通ポルトランドセメントを主体にし特殊混和剤により高流動性を得る。

§ 4. 実大模擬柱施工実験

4-1 実大模擬柱実験概要

(1) 実験内容

適用対象構造物は、鉄骨鉄筋コンクリートの独立柱で、梁との取合部は鉄骨と鉄筋が複雑に入り組んでおり、また、打設高さが4.5mで表面打放し仕上げであるためコンクリート打設には高度な施工技術が要求される。

このような部分に充填性の優れたフローイングコンクリートを用いると共に、打設方法を変えてコンクリート仕上り性状の確認を行った。

(2) 試験体

試験体概要図は図-3に示すような型状で3本の柱について打設実験を行った。

試験体No. 1～2については、鉄骨・鉄筋コンクリート構造とし、No. 3は無筋にて行った。

また、鉄骨はクロスH型鋼 (H-450×200×9×19) で、鉄筋は主筋が12-D25、フープ筋がD13@100の仕様で行った。なお、コンクリート硬化後試験体を切断するため鉄骨を木製とした。

(3) 材料および調合

表-1 使用材料

主要材料	種類
セメント	普通ポルトランドセメント（比重 3.16）
細骨材	君津産（比重 2.59, FM 2.60）
粗骨材	葛生産石灰砕石（比重 2.68, FM 6.60）
混和剤	ポリカルボン酸系と特殊水溶性高分子

表-2 コンクリートの調合

粗骨材 最大寸 法 (mm)	水セメ ント比 (%)	細骨 材率 (%)	単位 (kg/m ³)				
			水	セメント	細骨材	粗骨材	特殊混 和剤 B
20	60	49.0	180	300	870	935	6.00

表-3 打設方法

No.	打設方法	打設速度
1	最上部より投入し1mごとに打止め、 型枠バイブレータを30秒間加振しな がら順次打設	0.5m ³ /min
2	最上部より投入し一気に打設	2m ³ /min
3	下部より圧入	1m ³ /min

使用材料は表-1に、また調合を表-2に示す。

なお、本実験においては試験練りの結果、単位水量を180kg/m³で行った。

(4) 製造および運搬

コンクリートの製造は、JIS工場において二軸強制練りミキサ（容量3m³）により2m³を2回練りとし、運搬は5m³載ミキサー車を使用した。混練から打設開始時間を30分で計画した。

(5) 打設

打設はブーム型ピストン式ポンプ車で行い、打設方法および打設速度を表-3に示す。

(6) 品質管理

生コンプラントの出荷時および現場荷取時において、フレッシュコンクリートの品質管理を行った。

管理目標は、スランプフロー50±5cm、空気量4±1%で行った。

(7) 試験項目

①充填性

打設時において、最上部およびアクリル透明型枠部より目視にて観察するとともに流動勾配を測定した。

また硬化後、ダイヤモンドカッターにて柱を切断し鉄骨まわりの充填状況の確認を行った。

②施工性

当実験は実施工を想定し、側圧測定、圧送圧力、バイ

表-4 物性試験

	試験項目	試験方法
フレッシュ	スランプフロー 空気量 フリージング コンシステンシ ボックス高さの差	JIS A 1101 JIS A 1118 JIS A 1123 Vロート 15×30×40cm 開口高7.5cm
	硬化	圧縮強度 充填性状

表-5 室内試験結果

フレッシュコンクリートの性状					圧縮強度 (kgf/cm ²)	
スランプ (cm)	フロー (cm)	ボックス高さの差 (cm)	空気量 (%)	コンクリート温度 (°C)	材令 7日	材令 28日
23.5	47×48	5.0	3.5	16.0	204	302

ブレータの効果およびコンクリートの均し易さ等、施工を対象とした種々の項目の確認を行った。

③分離抵抗性

高流動コンクリートの最も重要な性能の一つに分離抵抗性がある。そこで、コアは、高さ方向に4箇所（上部15cm、上部より90cm、下部より90cmおよび下部より15cm）、1箇所につき1試験体より3本（コアの間隔は5cm）合計12本採取した。ただし、試験体No.3は、打設方法が下部から圧入したため上面からコアを3本多く採取した。採取したコアよりグルコン酸ナトリウム溶液による硬化コンクリートのセメント量判定試験方法¹⁾により単位セメント量を判定し、フローイングコンクリートの流動性、分離抵抗性および打設方法の影響を検討した。

④物性

フレッシュコンクリートおよび硬化コンクリートの物性試験を表-4について行った。

4-2 実大模擬柱施工実験結果

(1) 室内実験結果

実大模擬施工実験に先立ち、予め室内実験として、現状の生コンプラントの材料を用いて、試し練りを行った。室内実験結果を表-5に示す。

(2) 施工実験結果

①コンクリートの品質

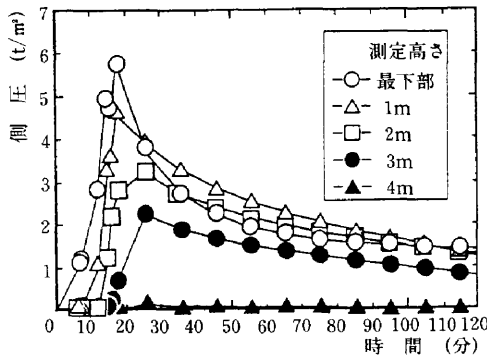
生コンプラントおよび荷卸し時における、フレッシュコンクリートの性状と圧縮強度試験結果を表-6に示す。

フローイングコンクリートのスランプ、スランプフロー、ボックス高さの差および空気量は、運搬時間約30分にほとんど影響がみられなかった。

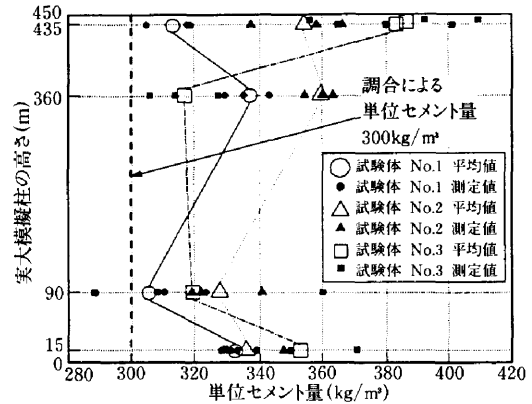
ボックス試験におけるボックス高さの差は、プラントおよび荷卸し時において2~5cmであった。

表一六 フレッシュコンクリートの性状と圧縮強度試験結果

実験No.	試料採取場所	経過時間(分)	フレッシュコンクリートの性状							圧縮強度 (kgf/cm ²)			
			スランブ(cm)	フロー(cm)	ボックス高さの差(cm)	Vロート流下時間(秒)	空気量(%)	ブリージング量(m ² /cm ²)	コンクリート温度(℃)	材令7日		材令28日	
										標準	現場	標準	現場
1	プラント	直後	24.0	50×49	5.0	6.1	4.5	0.13	14.0	210	171	303	252
	荷卸し	30分	24.0	47×46	5.0	—	4.3	—	15.0				
2	プラント	直後	24.5	50×52	4.0	5.2	3.7	0.16	15.0	199	162	290	243
	荷卸し	30分	24.5	50×48	4.0	—	4.2	—	15.0				
3	プラント	直後	25.5	53×53	2.0	7.3	4.2	0.17	15.0	204	160	296	245
	荷卸し	30分	25.0	50×50	3.0	—	4.3	—	14.0				



図一四 側圧測定結果 (No.1試験体)



図一五 実大模擬柱単位セメント量の分布



写真一三 実大模擬柱状況

V型ロート試験における流下時間は、5～8秒であった。フローイングコンクリートは、V型ロート中を流下する際の粗骨材どうしの接触による干渉はなく、流下時間は早い傾向がみられた。

ブリージング量は、0.2 ml/cm²以下となった。JASS 5解説に示されたブリージング量の目安は、0.5 ml/cm²以下とされており、今回の実験ではこれを十分満足する結果が得られた。

経時変化試験は、実験No. 2のコンクリート (4m³) から、荷卸し時にて、約100ℓのコンクリートを採取し実施した。コンクリートの練り混ぜから、90分経過したフローイングコンクリートの品質変化は極めて小さく、所要の品質を満たしていた。

材令7日および材令28日の圧縮強度は、標準養生の場合、室内実験結果とほぼ同値となった。現場養生における圧縮強度は、標準養生に比し、幾分低めとなったが、温度条件を考慮すると標準養生に近い値となる。

②打設状況

No. 1 試験体は、高さ4.5mの型枠最上部よりコンクリートを投入し、約1m間隔に軽微な締固めを行い打設した。半透明型枠部および上部から充填状況を観察し、鉄骨および鉄筋等の複雑な条件にもかかわらず、コンクリートの充填性は良好であった。

No. 2 試験体は、最上部より締固めを行わずに、高さ4.5mまで一度に打設した。コンクリートの充填状況はほぼ良好であった。最下部において、幾分粗骨材が集まった部分が観察された。これは、打設開始時に試験体上部の鉄骨部位にコンクリートが接し、粗骨材が飛散したためと思われる。

直接上部から打設する場合、投入方法を考慮すると共に軽微な締固めが必要と考えられる。

No. 3 試験体は、下部より締固めを行わずに、高さ4.5mまで圧入した。圧入管の設置および取り外し方法等を考慮する必要もあるが、No. 1およびNo. 2 試験体に比し、コンクリートの充填性は最良であった (写真一三参照)。

③流動状況

フローイングコンクリートの流動勾配は緩やかな傾向を示した。軽微な締固めにより試験体の下部から上部にわたり、ほぼフラットにコンクリートは打ち上がった。

④側圧測定

No. 1 試験体におけるコンクリートの側圧測定結果を

表一七 使用骨材

骨材	種類	最大寸法	絶乾比重	吸水率 (%)	実績率 (%)
細骨材	君津産山砂	2.5mm	2.56	1.38	—
粗骨材	葛生産砕石	20mm	2.64	1.54	58.3

表一八 フローイングコンクリートの調合

最大寸法 (mm)	水セメント比 (%)	細骨材率 (%)	単位量 (kg/m³)			
			水	セメント	細骨材	粗骨材
20	59.0	50.5	177	300	894	906

図一四に示す。

側圧の最大値は、最下部において、約 6 tf/m² (58.8Kpa) であった。各測定位置における側圧は、測定開始より 30 分後から緩やかに下降しはじめ、120 分後にはほぼ同値となった。

⑤ポンプ圧送性

打設に使用したポンプはブーム型ピストン式であり No.1～3 試験体ともスムーズに打設できた。

作業性および圧送性については、スランプ18cm程度のコンクリートと同様であった。

⑥分離抵抗性

実大模擬柱の高さ方向と推定単位セメント量との関係を図一五に示す。これより試験体 No.1 と No.2 は、試験誤差 10% を考慮しても調合における単位セメント量に比べ若干高い値であったが、コアの大きさや試験体 No.3 の上部については、単位セメント量は多めに推定された。これは、打設方法の違いより、骨材が若干上部まで上がらないためと考えられる。

§ 5. 実構造物への適用

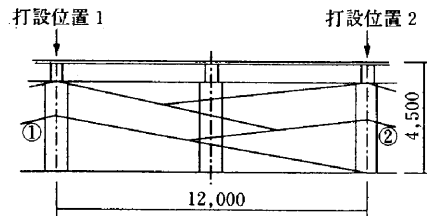
5-1 施工計画

(1) フローイングコンクリートの採用

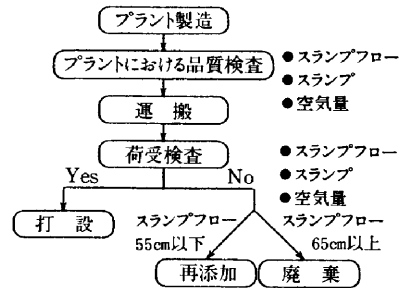
当工事地下 1 階構造物の特徴として、下記のことがあげられる。

- ①立上がり高さが4.5mである。
- ②鉄骨・鉄筋コンクリート造で内部独立柱は超過密な配筋状態となっている。(図一三参照)
- ③独立柱の打込み部分は梁・柱の鉄骨が交差する部分でコンクリート打込開口は極端に狭くなっている。
- ④土に接する外壁部分は梁の鉄骨が邪魔になり、バイブレータが加振出来ない。
- ⑤表面打放しコンクリートであること。

これらの問題に対し、フローイングコンクリートの打



図一六 外壁打設位置



図一七 品質管理体制

設採用を決定した。

(2) コンクリート工事概要

①コンクリートの調合

使用骨材を表一七に、また調合を表一八に示す。

②コンクリートの製造

コンクリートは生コンプラントで2軸強制練りミキサーにて、1回 3 m³ を練り混ぜた。練り混ぜ時間は、材料投入から排出までを40秒とした。

③運搬

アジテーター車により1回6m³を運搬した。生コンプラントから現場までの所要時間は平均20分であり、品質の変化を避けるため、出来るだけ運搬時間を短くした。

④コンクリートの打設

コンクリート打設は外壁立上がりおよび独立柱・梁に分けて打設を行った。また、独立柱は梁より打設し、型枠に沿って自由落下させた。特に、注意を払ったこととして、外壁部分の打設は一箇所できるように長時間の打設は避け、3 m 程度の高さまで打設しスパン (12m 程度) 移動する方法を計画した (図一六参照)。

また、当コンクリートの特徴を出すということを目的に圧入打設を行った。

⑤締め固め

軽微な締め固めを必要とするフローイングコンクリートは、流動しているコンクリートの表面にある気泡を取り除くため、独立柱のコーナー部につき棒にて、つき固めた。

5-2 フローイングコンクリートの品質管理

(1) 品質管理概要

基本とした品質管理フローを図一七に示す。

表一9 品質管理試験項目および方法

試験項目	試験方法
スランプレポート	JIS A 1101
スランプレポートボックス高さの差	水中不分離性コンクリートマニュアルに準拠 15cm×30cm×40cm（開口高さ75mm）
空気量	JIS A 1128
圧縮強度	JIS A 1108

表一10 品質管理測定値・測定頻度

品質管理項目	管理設定値・測定頻度	
	生コンプラント	荷卸し
軸骨材の表面水 ミキサの負荷電流値 練り混ぜ状態	1回/hr 全バッチ測定 目視	— — —
スランプレポート ボックス高さの差 空気量 コンクリート温度 圧縮強度	A工区 45~60cm B工区~D工区 50~65cm 8cm以下 4.5±1.5% 35℃以下 Fc = 225kgf/cm ²	

本施工にあたっては、現場担当者との十分な打ち合わせを行い、品質管理体制を決定した。

品質管理試験項目および方法を表一9に示す。

(2) 品質管理規定値・測定頻度

本施工におけるコンクリートの品質管理規定値・測定頻度を表一10に示す。

フローイングコンクリートの品質管理は、生コンプラントにおける品質管理および荷卸し時における品質管理とした。

荷卸し時におけるフレッシュコンクリートの流動性はスランプレポートの管理を主体に行った。目標上限値を超えた場合は廃棄とし、また、幾分高い流動性が必要と判断された場合には、フローイングコンクリート用特殊混和剤を所定量添加し、打設することとした。

(3) 施工管理手法

コンクリートの打設は、型枠上部からの投入を基本とし、柱・壁・梁等のコーナー部においては、豆板を防止するため、棒つきを行った。また、型枠下部からの圧入方法によるコンクリートの打設も行い、流動状況および側圧を調べた。

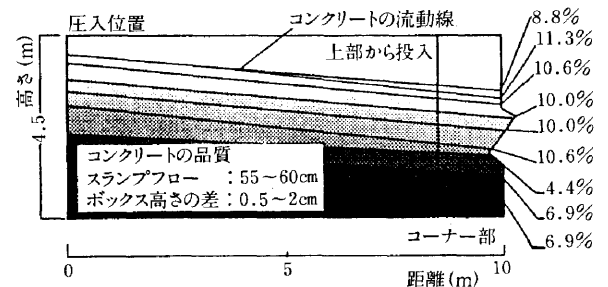
(4) 打設時の流動性

外壁（W-30cm）の内側型枠の床から、50cmの位置に圧入器具を取り付け、ストップバルブを接続し、ホースでポンプ車に継ぎ、通常のポンプ圧でコンクリートを圧入し、流動状況を測定した。

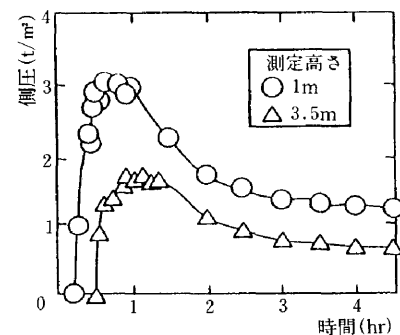
(5) コンクリートの側圧測定

下部よりコンクリートを圧入することにより、側圧が大きくなることを考慮し、内側型枠の床から、1mおよび3.5mの位置に土圧計を取り付けて側圧を測定した。

打設を安全に行うため、管理規定値を施工実験にて確



図一8 コンクリートの流動線



図一9 側圧測定結果

認した 6 tf/m² (58.8KPa) 以下と定め管理を行った。

5-3 施工管理結果

(1) 流動状況

外壁部位に打設したコンクリートの流動線を図一8に示す。図中の勾配値は、コーナー部分における勾配を示す（流動距離8m）。

通常コンクリートが極めて打設し難い条件であったにもかかわらず、流動性は良好であり、コンクリートの先端部分は、約40mまで到達した。また、フローイングコンクリートは、粗骨材とモルタルの分離もなく、通常のポンプ圧力で、圧入位置におけるコンクリートが、ほぼ上部に到達するまで圧入が可能であった。

(2) 側圧測定

コンクリートの側圧測定結果を図一9に示す。

側圧の最大値は、外壁内側型枠の床から1mの測定位置にて約3 tf/m² (29.4KPa)であり、管理上限値とした6 tf/m² (58.8KPa)より、小さい値となった。

管理上限値は、前項において行った独立柱の測定結果から、普通コンクリートとあまり差はないと判断した値である。

本施工における壁部位における側圧は、流れが止まる部分（工区分けの仕切り）についてはそれ以上の側圧になると考えられ、確認の必要がある。また、型枠の仕切り継ぎ目、セパレータ部において、僅かなすきまでも、モルタルの流出が見られ、すきま防止の工夫が必要と考

表一11 フレッシュコンクリートの品質管理結果

工 区	生 コン プ ラ ント						荷 卸 し			
	スランブフロー		ボックス高さの差		空 気 量		スランブフロー		空 気 量	
	最小	最大	最小	最大	最小	最大	最小	最大	最小	最大
A	51.5	61.5	0.5	5.5	4.5	6.5	48.0	59.0	4.4	5.8
	平均	58.3cm	平均	2.8cm	平均	5.3%	平均	54.8cm	平均	5.1%
B	57.5	64.0	0.5	3.0	4.5	5.3	55.0	63.5	5.6	5.7
	平均	61.1cm	平均	1.4cm	平均	4.9%	平均	59.0cm	平均	5.7%
C	53.0	65.0	0.5	2.0	3.7	5.5	54.0	61.5	3.7	5.5
	平均	61.1cm	平均	1.2cm	平均	4.5%	平均	57.4cm	平均	4.6%
D	55.5	61.5	1.0	4.0	4.0	5.3	53.0	62.0	3.5	5.1
	平均	58.9cm	平均	2.5cm	平均	4.8%	平均	56.9cm	平均	4.2%

表一12 圧縮強度試験結果 (kgf/cm²)

工 区	採取場所	材令3日	材令7日	材令28日
A工区	プラント	112	174	276
	現 場	109	175	275
B工区	プラント	110	171	253
	現 場	106	173	256
C工区	プラント	104	169	254
	現 場	111	171	257
D工区	プラント	125	193	273
	現 場	132	197	276

えられる。

各測定位置における側圧は圧入開始より、約60分経過後より下降しはじめ、3時間後より緩やかな勾配となった。

(3) 品質管理試験結果

フレッシュコンクリートの品質管理試験結果を表一11に示す。

①スランブフロー

全工区のプラントにおけるスランブフローの平均値は59.6cm、荷卸しにおける平均値は、56.9cmであった。また、製造に際し若干の変動が認められたが、打設日のコンクリート温度にかかわらずプラントおよび荷卸し時ともにスランブフローは45～54cmの範囲内であった。

②ボックスの高さの差

プラントにおけるボックス高さの差の最大値は5.5cm、最小値は0.5cm、平均値は3.8cmであり、目標とした品質管理規定値（8cm以下）を満足できた。

③空気量

フローイングコンクリートの空気量は運搬による経時変化も少なく、目標とした規定値を満足した。

④圧縮強度

圧縮強度試験結果を表一12に示す。材齢28日における圧縮強度はプラント、現場の採取場所にかかわらず何れの工区においても設計基準強度を上回り253～282kgf/cm²（24.8～27.7MPa）の範囲にあった。また打設日の異なった場合でもほぼ同等の強度を得ることができ、フローイングコンクリートの品質を確保することが可能で

あることが確認できた。

§ 6. まとめ

フローイングコンクリートの実構造物への適用を行い、以下の点がいえる。

- 1) フローイングコンクリートは品質管理が容易であった。
- 2) 流動性が良好で、充填性に優れていた。
- 3) バイブレーターをほとんど必要とせず、ポンプ車1台あたり1～2名程度の省人化が計れた。
- 4) 側圧は4.5mの高さで6tf/m²（58.8KPa）と普通コンクリートとあまり差はないが、流れが止まる部分（工区分けの仕切り）については、6tf/m²（58.8KPa）以上の側圧がかかるようであり、確認の必要がある。
- 5) 独立柱などの上部より打ち込んだ部分については、エアの巻き込まれが見られ、表面に1cm程度の気泡が確認された。
- 6) 長距離で流し込んだ場合、色の違いが若干見られた。
- 7) 粘性が低いコンクリートであるため床の均しが非常に容易にできた。

フローイングコンクリートの現場施工を行ったが、使用条件やしっかりとした管理体制を確立すれば、今後のコンクリート工事に不可欠なコンクリートとなることは間違いないものと確信できた。

本施工に当たり多大な御理解と御助言をいただきました東京電力（株）技術センター坂入所長に厚く御礼申し上げます。又、実験から施工に当たり、ご指導・ご協力をしていただきました日本大学笠井教授ならびにフローイングコンクリート研究会の皆様には謝意を表します。

参考文献

- 1) 中田, 笠井, 松井, 湯浅; 硬化コンクリートの単位セメント量判定試験方法に関する研究, 日本建築学会構造系論文集, No.460,1994 (投稿中)。