

超高層ビル建築工事におけるコンクリートの圧送

Concrete Pumping on Construction of High-Rise Building (UOB PLAZA Building)

高橋 秀樹*
Hideki Takahashi

若月 鐵之**
Tetsuyuki Wakatsuki

植竹 弘***
Hiroshi Uetake

筑紫 義明****
Yoshiaki Chikushi

近藤 操可*****
Moriyoshi Kondo

西山 直洋*****
Naohiro Nishiyama

宮下 剛士*****
Takeshi Miyashita

要 約

シンガポールにおいて、高さ280 mの超高層ビルの建設が行われ、最上階に至るまでの全てのコンクリート施工が、地上からコンクリートポンプを用いて行われた。

本施工は、既往の実績では例を見ない普通コンクリートの高所圧送であったため、その施工途中においてコンクリートのポンプ圧送性を検討する実験を交えながら施工を進めた。

実験結果から IHI 社製 IPG 60 ST-18 N のポンプを用い、配管径 5 インチ (125 A) で、吐出量を 30 m³/h 以下にすることにより、280 m までの高所圧送は可能で、圧送前後におけるコンクリートの品質もほとんど変化ないことが確認できた。

その結果、外国での使用実績は初めてとなった国産の高圧型コンクリートポンプを使用し、地上から直接最上階までのコンクリート圧送に成功し、工事を順調に終了させることができた。

目 次

- § 1. はじめに
- § 2. 工事概要
- § 3. コンクリートのポンプ圧送計画
- § 4. コンクリートポンプ圧送記録
- § 5. おわりに

§ 1. はじめに

UOB (大華銀行) プラザビルは、大華銀行グループの象徴として、またシンガポールの金融および商業の中心地のなかでも際だったオフィスビルとなるよう、シンガポールの商業の中心地であるラッフルズ・プレース地域に建設され、完成の折はアジア地域で一番高いビルの一つとなる。

UOB プラザビルの基本的構成は、66階建商業ビル(ウエストタワー、高さ280m)と既存 UOB ビル(イーストタワー)とを結ぶポディウム 6 階建および地下 3 階の駐車場より成り立っている。

このビルの施工に際し、コンクリートポンプを用いて、地上から直接コンクリートを圧送できる垂直高さの限界は、一般に 150~160 m 程度が目安とされていたが、東京

*技術研究所地質研究課副課長

**香港(支) UOB (工) 課長

***香港(支) ブギスシティ(出) 副所長

****香港(支) ブギスシティ(出) 工事係長

*****機材部機械課副課長

*****技術研究所建築技術課副課長

*****技術研究所原子力課係長

都庁の実績（高さ243mへの軽量コンクリートの圧送）を踏まえ、普通コンクリートで高さ280mへの挑戦が行われることになった。そのため、コンクリートポンプによる高所圧送計画に加えて、施工途中におけるコンクリートについての性状に関する試験を行いつつ、またコンクリートポンプについては圧送能力や管内圧力の測定など圧送性を検討する実験を交えながら施工を進めた。

以下、その圧送概要について報告する。

§2. 工事概要

名 称：UOB（The United Overseas Bank）プラザ

所 在 地：1 Bonham Street, Singapore

発 注 者：The United Overseas Bank

設 計 者：丹下健三・都市・建築研究所（基本計画）

Architect 61（建築）

Ove Arup & Partners（構造）

J. Roger Preston & Partners（設備）

施 工 者：西松・ラムチャン JV

施工期間：1990年7月26日より100週

敷地面積：8,421 m^2 （2,457坪）

建築面積：4,602 m^2 （1,392坪）

延べ面積：115,258 m^2 （34,865坪）

構 造：SRC造、RC造

階 数：地下3階、地上66階

高 さ：最高高さ 279.8m（海拔）

基準階 階 高 4.1m

基準階 天井高 2.75m

コンクリート施工数量：約35,000 m^3

UOBプラザビルの概念図を Fig. 1 に示す。

§3. コンクリートのポンプ圧送計画

近年、コンクリートポンプは油圧機器の高圧化を含む圧送機械能力の向上により、中継無しで高所への圧送が可能となり、東京都庁の工事では地上243mまで軽量コンクリートの圧送が実施された。

UOBプラザビルは、地上280mと都庁の高さをさらに上回るため、コンクリートポンプで直接普通コンクリートの圧送が可能か否かの検討を進めた。

3-1 コンクリートの仕様

コンクリートの仕様は、普通ポルトランドセメントを使用した普通コンクリートで凝結遅延型の流動化剤（DARACEM 100）を添加しスランプ18～20cmとなっ

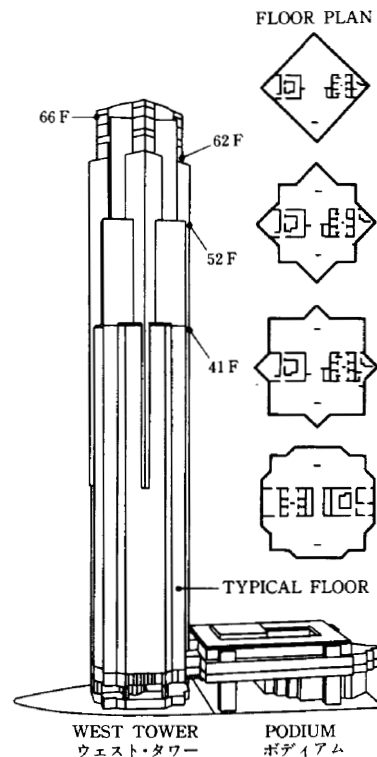


Fig.1 UOBプラザビル概念図

ている。

使用したコンクリートの配合をグレード別に Table 1 に示す。

3-2 コンクリートポンプ

(1) コンクリートポンプの選定

高層部の床は約200 m^2 、これを1日6時間程で打設することとし、ポンプ車の能力を時間当たり最大40 m^3 で計

Table.1 コンクリート配合表

配合グレード	30	40	50
設計強度〔N / mm^2 〕	30	40	50
目標スランプ〔mm〕	180～200	180～200	180～200
W / C〔%〕	47	41	31
単位セメント量〔kg / m^3 〕	300	400	520
単位水量〔kg / m^3 〕	170	165	160
単位細骨材量〔kg / m^3 〕	820	820	670
単位粗骨材量〔kg / m^3 〕	1,040	1,020	1,080
混和剤名称	Daracem*1	Daracem*1	Daracem*1
最大骨材寸法〔mm〕	20	20	20
打設箇所	46～65階*2 全階スラブ	31～45階*2	B3～30階*2
打設量〔 m^3 〕	15,500	5,940	6,630

*1 凝結遅延形流動化剤

*2 コアウォール

画した。

配管径5インチ(125A)で最上階圧送時の圧送負荷を算定すると137kgf/cm²(13.4MPa)となり余裕率1.25を見込むと予想吐出圧力171kgf/cm²(16.8MPa)となる。したがって、最大吐出圧力180kgf/cm²(17.7MPa)のコンクリートポンプを使用し、高圧用の配管を用いれば中継無しで圧送が可能との結論に達した。

コンクリートポンプはIHI社製IPG60ST-18Nを使用することとし、その主要諸元をTable 2に示す。

(2) コンクリートポンプの固定

コンクリートポンプは、垂直圧送距離が長いと、かなりの振動が生じた。したがって、輸送管の振動を吸収できるようにポンプは4ヶ所の脚を防振ゴム板を介して固定した。

Table 2 IPG60ST-18N主要諸元

コンクリート ポ ン プ	形 式		ピストン式
	最大吐出量（理論）		61m³/h
	吐出圧力		180kgf/cm²
	輸 送 距 離	150 A	
		125 A	
	最大骨材寸法	150 A	50mm
		125 A	40mm
	コンクリートスランプ		5～23cm
	シリンダ径×ストローク長		178mm～1,524mm
シリンダ数		2	
ホッパ容量		0.4m³	
配 管 洗 淨 （オプション）	方 式		水洗
	水 ポ ン プ	形 式	ピストン式
		締切圧力	65kgf/cm²
		吐出圧力×吐出量	40kgf/cm²×320ℓ/min
エ ン ジ ン	形 式		4サイクル空冷ディーゼル
	最高出力		328PS/2,200rpm
	燃料タンク容量		200ℓ
重 量			6,240kg

(3) シャットオフバルブ

高所圧送において、圧送の一時停止時、あるいは圧送終了後の輸送管内洗浄時に開閉使用するコンクリート輸送ライン上のバルブとして、円筒垂下タイプとロータリータイプのものを使用した。

3-3 輸送管

(1) 輸送管の仕様

輸送管の径はすべて125Aとし、その管厚は圧送数量を予想しての摩耗度、および当該高さ圧送時の管内圧を考慮して決定した。その仕様をTable 3に示す。

(2) 輸送管の固定

高層ビル圧送の地上水平管の配管は

- a. 曲がり管を少なく
- b. パイプラインを長く
- c. 固定は念を入れてしっかり

の3点が基本である。しかし、当初の配管ラインは、現場の工事進行を優先したために、a.を軽視する結果となった。

当初の配管状況をPhoto 1に示す。

このパイプラインは、ポンプ吐出口から短距離区間でUターンし、更に直角に曲がるものであった。このため階高が高くなって、背圧が大きくなるに従い、輸送管の振動が極度に増し、コンクリートホッパーのひずみ等、予期しない現象を発生させる原因となった。

そこで、コンクリート吐出口より21mを直線ラインに変更し、パイプは鉄骨フレームにUボルトで固定した。

変更後の配管状況をPhoto 2に示す。

§4. コンクリートポンプ圧送記録

4-1 超高層階コンクリート圧送実験

(1) 実験概要

UOBプラザビルにおける高層階圧送実験は、1991年9月に60階(H=247.5m)で実施した。

その際、コンクリート配管内の圧力の計測および圧送前後のコンクリートの品質試験等を実施し、その結果が

Table 3 使用した輸送管の仕様

種 類	径	寸 法				重量 kg	材 質	使用箇所
		外径mm	内径mm	肉厚mm	長さm			
高圧 160 k	125 A	139.8	126.6	6.6	4.1	97.2	STPG410	ポンプー40階
中圧 70 k	125 A	139.8	130.8	4.5	4.1	70.1	S S 400	41階ー最上階
低圧 45 k	125 A	135.0	130.4	2.3	3.0	24.6	S T K 400	打設階 水平配管



Photo 1 水平配管



Photo 2 水平配管立上がり部状況

ら $H=280\text{ m}$ まで圧送可能かどうかの検討を行った。

実験で打設したコンクリートのグレードは30. コンクリートポンプ車は IPG60ST-18N を使用して60階スラブ約 70 m^3 を生コン車12台 (5.5 m^3 積載/台) で打設を行った。

(2) 実験方法

①ポンプ圧送圧力計測

生コン車毎に設定吐出量 ($10, 20, 30\text{ m}^3/\text{h}$) を定め、各々についてポンプ主油圧 (P_0)、管内圧力 ($P_1 \sim P_4$) の計測および全ストローク数より、容積効率を算出した。

圧力の計測には、圧力センサー (ひずみゲージ式変換器) を使用し、電磁オシロに記録した。圧力センサーの取付位置は、水平配管ではコンクリートの重量の影響を避けるため、配管の上側、垂直配管ではベンド管の外周側とした。

配管形状および圧力計測位置を Fig. 2 に示す。

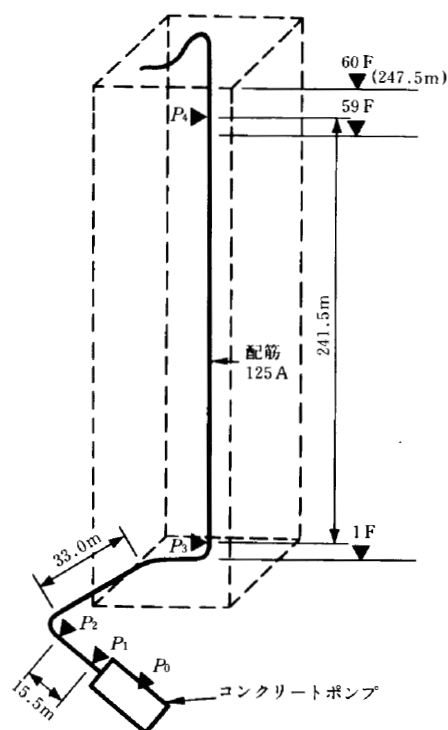


Fig.2 配管形状および圧力計測位置

②フレッシュおよび硬化コンクリートの試験

圧送前後におけるコンクリートの品質変化を調査するため、フレッシュコンクリートの試験 (スランプ、空気量、コンクリート温度、単位容積重量) を実施し、その際に、圧縮強度用の供試体採取も併せて行い、硬化コンクリートの試験 (圧縮強度と単位容積重量) を実施した。

フレッシュコンクリートの試験は、出荷、荷卸、筒先の3地点で、供試体の採取は、荷卸、筒先の2地点で実施した。

試験に供するコンクリートは、荷卸、筒先が同一となることが望ましいため、コンクリートポンプのホッパーでフェノールフタレインを撒布しコンクリートに着色して、筒先でそれが確認できるようにして行った。

また、供試体は、 $\phi 10 \times 20$ の円柱供試体 (JIS 規格に準拠) と1辺が 15 cm の立方供試体 (BS 規格に準拠) の2種類の採取を行った。

試験一覧を Table 4 に示す。

(3) 実験結果および考察

①ポンプ圧送実験

a. コンクリートの配管圧力について

Fig. 3 に管内圧力計測結果の一例を示す。計測の結果、 P_3 が P_1, P_2 より大きな値となっていた。上流側の圧力が下流側圧力より低いということは物理的にはありえない。さらに、圧送停止状態にコンクリートの自重によって配管根元にかかる圧力に比べ、 P_3 の方が小さいこと

Table. 4 試験一覧

ミキサー車 No.	ポンプ 圧送試験 設定 吐出量 m³/h	フレッシュ コンクリート試験			硬化コンクリート試験									
		出 荷	荷 卸	筒 先	荷 卸					筒 先				
					10φ×20		15×15×15			10φ×20		15×15×15		
					標準	現 水	現 水			標準	現 水	現 水		
					28D	7 D	28D	7 D	28D	28D	7 D	28D	7 D	28D
1		①~③	①~③	①~③				■	■				■	■
2		①~③	①~③	①~③										
3	10	①~④	①~⑤	①~⑤			○	■	■			○	■	■
4		①~③	①~③	①~③										
5	30	①~④	①~⑤	①~⑤	○	○	○	■	■	○	○	○	■	■
6		①~③	①~③	①~③										
7	20	①~④	①~⑤	①~⑤			○	■	■			○	■	■
8		①~③	①~③	①~③										
9	20	①~④	①~⑤	①~⑤			○	■	■			○	■	■
10		①~③	①~③	①~③										
11		①~③	①~③	①~③										
12		①~③	①~③	①~③										
〔凡 例〕		① スランプ ② コンクリート温度 ③ 外気温 ④ 空気量 ⑤ 単位容積量			○ 10φ×20 …… 3本 ■ 15×15×15 …… 1本 供試体本数 10φ×20 …… 36本 15×15×15 …… 20本									

等を考慮すると管内圧力がセンサーに正確に伝達されていなかったものと思われる。

次に、垂直管 1 m 当りの管内圧力損失を Fig. 4 に示す。

b. 容積効率について

容積効率は吐出量に拘らず 73~78% の範囲で通常のコンクリート (80~90%) よりは若干小さかった。

この原因としては、以下のことが考えられる。

- ・単位セメント量が大いことによる粘性
- ・粗骨材の角ばった形状
- ・粗粒率の大きい砂

C. 限界垂直輸送距離の検討

計測結果から、理論吐出量とポンプ主油圧の関係を Fig. 5 に示す。

次に、Fig. 5 の理論吐出量と主油圧の関係から限界垂直輸送距離を求める。

限界垂直輸送距離 L_{vmax} は、機械圧送能力線の上限值 P_k と主油圧のピーク値 P_{max} の差を垂直圧力損失 ΔP_v で除して求める。

$$L_{vmax} = \frac{(P_k - P_{max}) / (D/d)^2}{\Delta P_v} \quad (\text{m})$$

[D : コンクリートシリンダー径, d : 油圧シリンダー径]

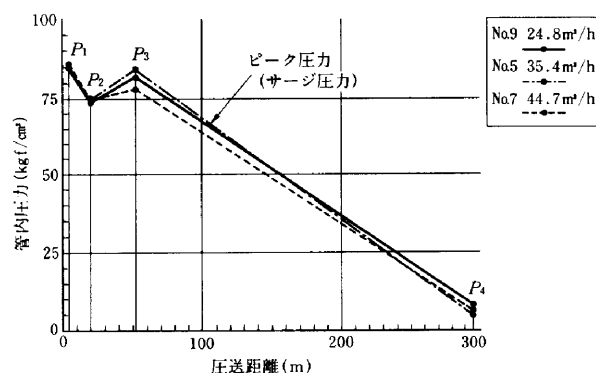


Fig.3 管内圧力測定結果

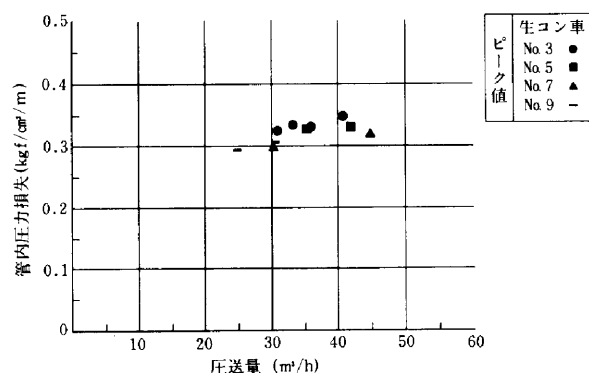


Fig.4 垂直管1m当りの管内圧力損失

Fig. 6 に計測結果を基に限界垂直輸送距離を計算した結果を示す。

Fig. 6 より、本機による限界圧送高さは、吐出量を30 m^3/h 以下にすることにより、280 m までの圧送は可能と判断された。

②フレッシュコンクリート試験

出荷および圧送前後におけるスランプ、空気量、コンクリート温度、単位容積重量の変化を Fig. 7 に示し、次に各試験における圧送前後の品質変化について述べる。

a. スランプ

一般に普通コンクリートのポンプ圧送は、圧送前後にそれほど差はなく、配管距離が長くなった場合に1 cm 程度の低下が認められるようである。

今回の試験では、圧送前後のスランプはばらつきがあったものの、その差は1 cm 以内で試験による誤差と考えられ、圧送の影響はほとんどみられなかった。

b. 空気量

空気量は幾分減少(0.1~0.8%)していた。これは、圧送による影響と考えられるが、エントラップトエア

の不安定な気泡が時間とともに減少する経時的な変化が主として考えられる。

c. コンクリート温度

一般に、圧送によりコンクリートの温度は、1℃程度上昇するようである。

しかし、今回の試験では、圧送後のコンクリート温度が減少していた。この原因としては、圧送による温度上昇も生じたものと思われるが、60 F ではその高さから気温が下がっており、外気温の低下によるものと考えられる。

d. 単位容積重量

圧送の影響というほどの顕著な差はほとんどみられなかった。

③硬化コンクリート試験

出荷および圧送前後の圧縮強度、単位容積重量の変化を Fig. 8 に示し、次に各試験における圧送前後の品質変化について述べる。

a. 圧縮強度

今回の圧縮強度試験の結果からは、立方および円柱供試体とも圧送により僅かではあるが増加傾向を示した。しかし、ばらつきも少なく圧送の影響はみられなかった。

なお、円柱供試体は、立方供試体よりも圧縮強度が低

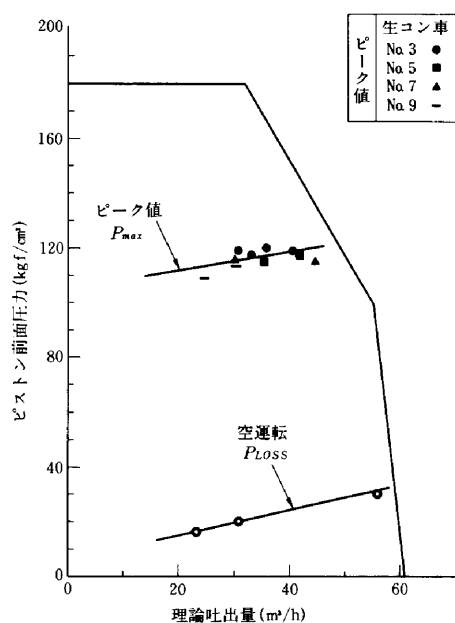


Fig.5 理論吐出量と主油圧の関係

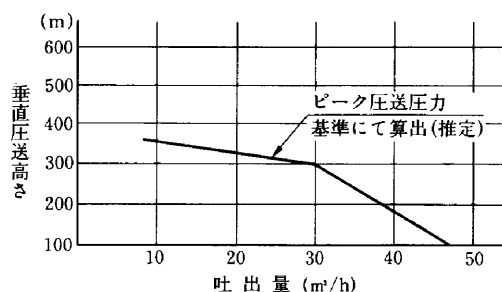


Fig.6 限界垂直輸送距離

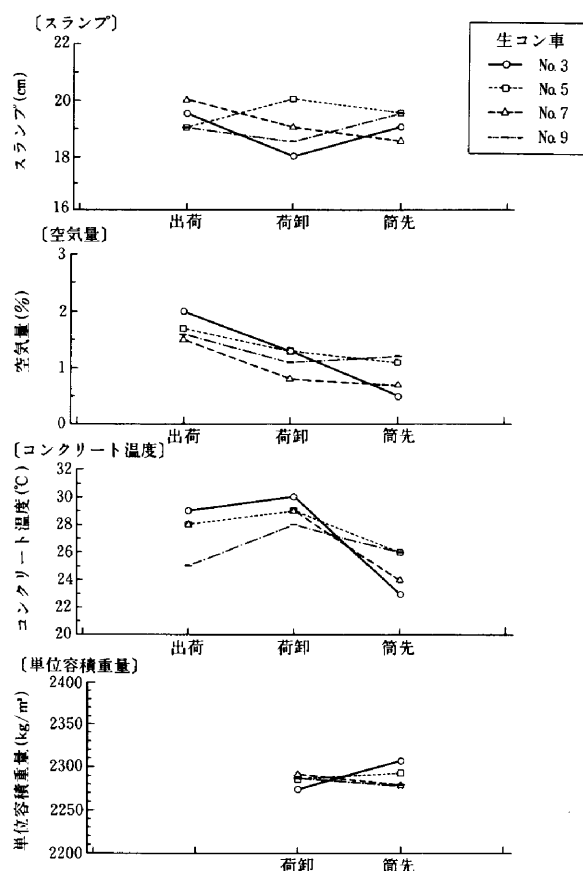


Fig.7 圧送前後におけるフレッシュコンクリートの変化

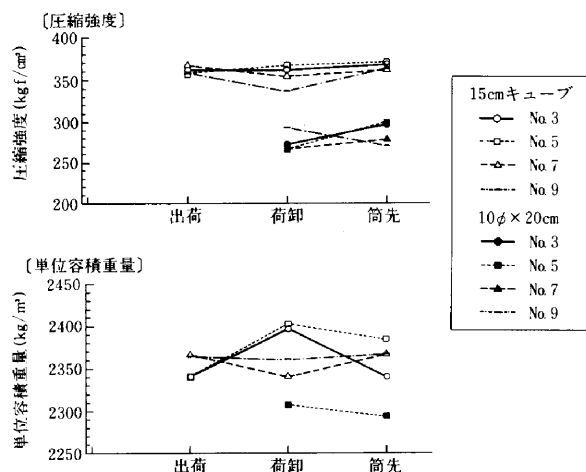


Fig.8 圧送前後における硬化コンクリートの変化

い値を示しているが、これは供試体の形状により立方供試体の方が約15%程度強度が高くなることによるものと判断される。

b. 単位容積重量

各供試体毎の単位容積重量に多少ばらつきはあるが、特に圧送による差は認められない。しかし、供試体別では多少の差（平均値で約3%）が生じており、原因としては、圧送の影響というより試料の採取方法などによるものが考えられる。

(4) 超高層階へのコンクリート圧送の検討

今回の実験結果からは圧送高さが250 mと高かったにも拘らず、圧送前後のコンクリートの性状、品質ともほとんど変化がみられなかった。

また、ポンプの圧送能力においても規格通りの結果が得られ、吐出量30 m³程度以下であれば、高さ280 mのコンクリート圧送は可能であるとの結論が得られた。

しかし、1回の圧送実験だけでは圧送前後における品質の変化も含めたコンクリートのポンプ圧送性を的確に把握することができなかつたと考えられる。今後、このような実験を行うにあたっては、十分な検討をして実験の計画を立案する必要がある。

4-2 超高層階コンクリート圧送記録

製造されたコンクリートは、BS規格に拠っているものの、一部には若干材料分離を呈していたため廃棄されたコンクリートもあったが、各分野工事関係者の努力とコンクリート圧送用機器・制御技術等により地上280 mに至るまでのすべてのコンクリートをポンプを用いて地上から直接、圧送することができた。

以下に、コンクリートの圧送に関わる考察を述べる。

(1) コンクリートの製造・運搬状況

①製造管理

製造されたコンクリートには偏平、長大な粗骨材が混入している等、時折アンワークブルなコンクリートが見受けられ、日本の品質管理より劣っているようであった。

また、パッチャープラントにおける骨材のストックは、すべて野積みで、直射日光や降雨にさらされており、加えて骨材の表面水管理が徹底されていないようで、コンクリートのスランプは、軟練り側にばらつくケースもあった。このため、分離気味のコンクリートについては、シャットオフバルブ付近で、コンクリートの脱水分離による固化現象が認められた。

②運搬

コンクリート打設は交通事情や昼間の暑さを避けるためにほとんど夜間に行った。運搬時間は10～15分程度であり、運搬経過時間によるスランプロスを考慮する必要があまりなく、この点では、好条件下にあった。

(2) 圧送負荷

コンクリートポンプ根元にかかる圧送負荷〔kgf/cm²〕分布をグループ別にプロットし、Fig. 9に示す。この負荷はピストン切り換え直後の始動最大負荷をプロットしたものである。

本図中に240 m高所圧送時の電磁オシログラフに依る圧力波形図を示した。横軸の谷、底辺から次の底辺までは、1ストロークの時間を示す。

Fig. 9 から考察される事項を次に記す。

①グレード(G)別におけるそれぞれの圧力勾配は、G 30とG 40では約7%、G 40とG 50では約10%異なる。一方単位セメント量は、G 30とG 40では約10%、G 40とG 50では約30%異なる。他方、水セメント比の比較では、G 30とG 40では6%、G 40とG 50では10%異なる。このことから高強度コンクリートの圧送負荷を推定する際は、単位セメント量とともに水セメント比を基準にして検討する方がより実情に即するものと思われる。

②垂直配管 5 インチで前面ピストン圧180 kgf/cm² (17.7 MPa) のコンクリートポンプを使用した場合、G 50のコンクリートで高さ約225 m、G 40で高さ約270 m、G 30で高さ約305 mまでしか圧送できない事がわかる。

このことは、圧送実験の結果と一致してくる。

したがって、今後高さ300 m以上へのポンプ圧送を実施する場合、さらに強力なポンプの開発、中継ポンプを置いての2段打ち、あるいは骨材・混和剤等の開発による新しい調合等がなされないと、現状では高強度のコンクリートをコンクリートポンプから直接圧送することは難しいと思われる。

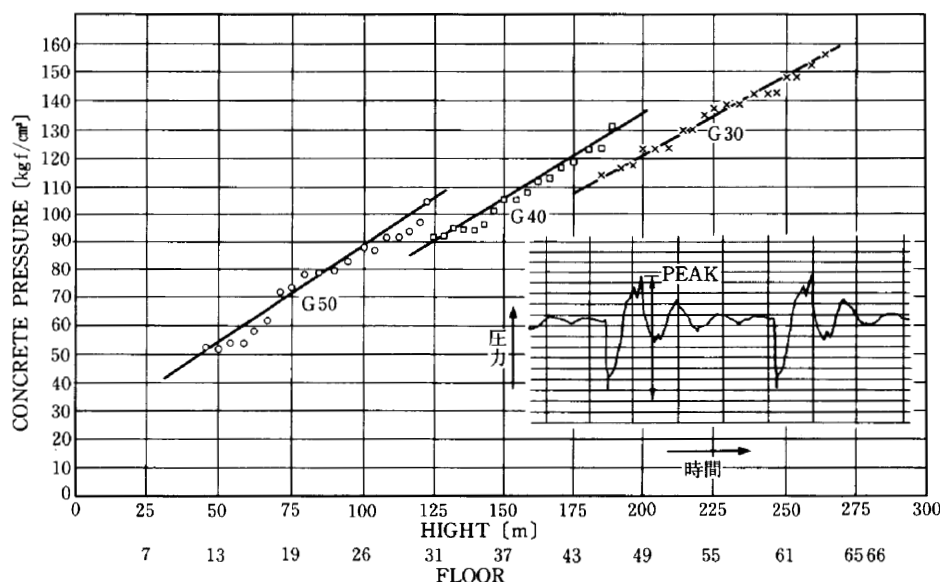


Fig.9 圧力負荷プロットおよび圧力波形

(3) 輸送管

①水平管について

- a. シャットオフバルブは、作業性を考慮するとコンクリートポンプ吐出口より5 m以内に設置するのがよいと思われる。
- b. 水平配管長はコンクリートの背圧を軽減するため垂直高さの約1/3可能であれば100 m程度を考える必要がある。当現場では、エリアが狭いため62 mの配管長が限度であった。
- c. コンクリートポンプ～垂直立上がり管の区間は、直線が理想である。コンクリートポンプへの過度な振動を避けるため止むを得ない場合でも、ポンプ吐出口より20 m以内には、曲がり管を使用するべきではないと思われる。
- d. 垂直立上がり管に向かって、上向き勾配で配管するとよい。これにより先行水が配管内壁全部を浸すことになり、先送りモルタルの先行分離を防止することができる。

②垂直配管について

基準階高が4.1 mであるため、垂直管はこの長さで特注製作した。管の固定はUボルトによる締付け固定とし、各階フロアにUボルト支持のためのL-90×90をアンカーボルトで固定した。

また、垂直振動による輸送管の落下防止のため、5階毎にサポート金具を設けた。

(4) 圧送終了後の処置

計画当初、圧送終了後の輸送管内に残留したコンクリートは、コンクリートミキサ車に戻し、再攪拌したのち、バケットによって当日の打設階、或は他の場所に、打ち

込む予定であった。しかし、タワークレーンのスケジュール調整、打ち込み箇所への運搬方法等の問題が多く、止むなく圧送管内に残留したコンクリートは廃棄処分とした。このことは、経済的な見地からは、非常に大きなロスであり、今後の高所圧送にあっては、より綿密に検討、計画し、可能な限り残留コンクリートの転用を図る必要がある。

§ 5. おわりに

今回、シンガポールにおけるUOBプラザ新築工事の際し、途中250 mでの圧送実験やいくつかの試行錯誤を経た結果、日本国内では余り経験することができない普通コンクリートの280 m高所圧送に成功した。

今後、この成果が普通コンクリートの高所圧送、および高強度コンクリートの圧送、技術の向上に寄与できることを期待してやみません。

最後に、本圧送工事に御指導をいただいた石川島建機コンクリートポンプ事業部の方々、並びにシンガポールのTOWA CONSTRUCTIONの諸氏に厚く御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 服部勇司・内藤龍夫：コンクリートポンプ工法の計画と管理 1987, 鹿島出版会
- 2) 日本建築学会：コンクリートポンプ工法施工指針案・同解説, 1979.11
- 3) 日本土木学会：コンクリートポンプの施工指針(案)1985.11