

6. 超高層建物における高強度コンクリートの 圧送性と品質に関する調査研究

高見 錦一 崎山 和隆
立松 和彦 野口 高次^{*1}

要 旨

地上22階のRC造の超高層住宅の躯体コンクリートに、設計基準強度300～360kgf/cm²の高強度コンクリートを使用し、ポンプ圧送によって施工した。ポンプの圧送性とコンクリートの品質変化について調査した結果、管内圧力損失は大きくなるものの、コンクリートの品質にはほとんど変化がなく、高強度コンクリートについても十分に高所圧送が可能なことを確認した。

キーワード

高強度コンクリート／高所圧送／管内圧力／圧力損失

目 次

1. はじめに
2. 工事概要
3. 調査概要
4. 調査結果
5. 管内圧力損失（K値）の算定
6. ま と め

6. STUDY ON THE CONVEYABILITY AND QUALITY OF HIGH-STRENGTH CONCRETE FOR SKYSCRAPERS

Kin-ichi Takami Kazutaka Sakiyama
Kazuhiko Tatematsu Takaji Noguchi

Abstract

In the construction of a 22 story-high residential skyscraper with a framework of reinforced concrete, high-strength concrete was pumped up under pressure using a concrete pump. A study of the conveyability of the pump and changes in the quality of the concrete revealed that although the pressure loss in the pipe increases, the quality of the concrete is hardly affected. It could thus be confirmed that high-strength concrete is also well-suited for conveyance to high elevations.

* 東京本店建築部工事課

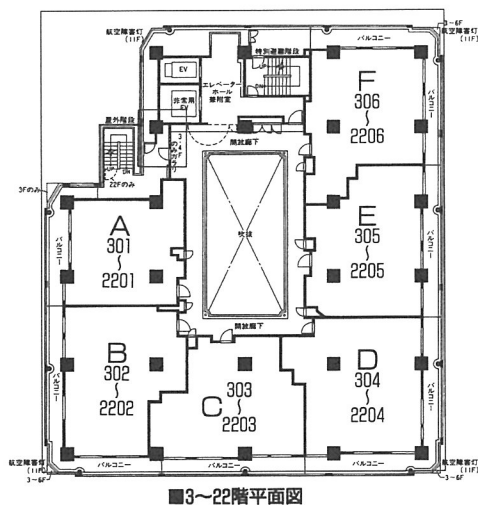
1. はじめに

高強度コンクリートは、水セメント比が低く、また高性能AE減水剤を使用しているため、同一スランパの普通コンクリートに比べて非常に粘性が高い。そのために、ポンプ圧送時の管内圧力損失は普通コンクリートに比べて大きくなり、圧送困難が予測され、さらに圧送によって、スランパや空気量の低下等が考えられる。高強度コンクリートの圧送時の管内圧力損失および、コンクリートの性状変化を調査し、今後増大する高強度コンクリートの圧送に関するデータを収集し整備することが急務である。

この度、藤和志木マンション新築工事において、高強度コンクリートの高所圧送を行い、ポンプの圧送性とコンクリートの品質変化について調査を行ったので、その結果を以下に報告する。

2. 工事概要

圧送試験を行った建物は、表－1 および図－1 に示す地下1階、地上22階の超高層RC構造の集合住宅である。本建物に使用したコンクリートの設計基準強度は、300～420kgf/cm²である。コンクリート打設は、VH分離工法で行い、柱はコンクリートバケットを用い、梁・床は油圧ピストン式のコンクリートポンプ車で圧送した。使用したポンプ車の仕様を表－2 に示す。また、使用したコンクリートの材料を表－3 に、圧送計測を実施した階の調査を表－4 に示す。



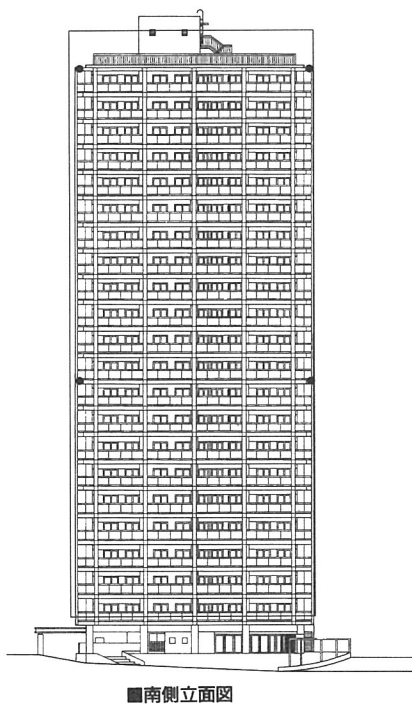
図－1 設計図

表－1 工事概要

工事名称	(仮称) 藤和志木マンション新築工事
施工場所	埼玉県朝霞市朝志ヶ丘2丁目 586-1
工期	H 5 年 7 月 5 日～H 7 年 3 月 31 日
建物用途	共同住宅 (住宅戸数 126戸)
敷地面積	3392.06㎡
建築面積	675.26㎡
延べ床面積	12718.61㎡
構造	高強度鉄筋コンクリート構造(A-HRC構造)
階数	地下1階 地上22階 PH2階
軒高	63.35m
最高高さ	71.30m

表－2 ポンプ車仕様

機種名	L1000BS (三菱)
形式	油圧ピストン式
最大吐出量	標準: 100㎡/h 高圧: 60㎡/h
ホッパ容量	0.35㎡
シリンダ容量	φ205×2050mm 2個
輸送管径	125A



表－3 コンクリート使用材料

セメント	普通ポルトランドセメント	比重	3.16		
細骨材	荒川・葛生・佐原混合	比重	2.64	粗粒率	2.75
粗骨材	碎石 2005	比重	2.70	実積率	60%
混和剤	レオビルド SP-9HIS (ポゾリス)				

表－4 調合表

打設階	呼び強度	水セメント比 (%)	スランプ (cm)	空気量 (%)	細骨材率 (%)	単位量 (kg/m ³)				
						セメント	水	細骨材	粗骨材	混和剤
11	375	48.9	20	3.5	48.6	348	170	879	950	3.65
12	375	45.3	20	3.5	47.6	375	170	850	958	4.88
17	330	45.8	20	3.5	49.3	371	170	882	929	5.56
20	315	46.9	20	3.5	49.5	362	170	890	929	5.79
22	315	46.9	20	3.5	49.5	362	170	890	929	5.79

表－5 計測機器

圧力計	ダイヤフラム型圧力計	PWF-100	(東京測器製)
アンプ	シグナルコンディショナー	CDV-55A	(共和電業製)
動ひずみ計	データアナライザー	DAA-100A	(共和電業製)

3. 調査概要

コンクリートの品質変化の調査は11階と22階の梁・スラブ打設時に行い、ポンプの管内圧力の計測は、12、17、20階および22階の梁・スラブ打設時に行った。

コンクリートの品質変化は、圧送前後におけるフレッシュコンクリートの性状と圧縮強度について、その変化を調べた。また、管内圧力は輸送管にダイヤフラム型の圧力計を、配管の根本、鉛直配管最下部、および鉛直配管最上部の3カ所に取り付け、動ひずみ計で計測した。計画吐出量は、油圧ポンプの回転数で制御することとし、油圧ポンプ回転数が1500・1200・900rpmの3水準と圧送の休止状態の計4水準とした。

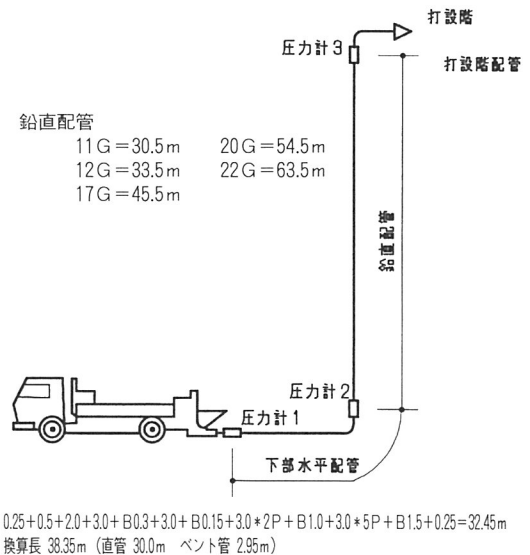
管内圧力計測に用いた計測器を表－5に、圧力計の取り付け位置および各階の配管状況を図－2に示す。配管長は、ベンド管では実長の3倍、テーバ管、フレキシブルホースでは2倍に換算して算出した。

打設階配管

0.25+B1.0+3.0+B0.3+3.0*2P+2.0+B0.3+B0.15+3.0+T1.0+F7.0=23.75m
換算長 35.25m (直管 14m・ベント管 1.75m・テーバ管71.0m・フレキシブルホース 7.0m)

鉛直配管

11G=30.5m 20G=54.5m
12G=33.5m 22G=63.5m
17G=45.5m



図－2 配管状況および圧力計取り付け位置

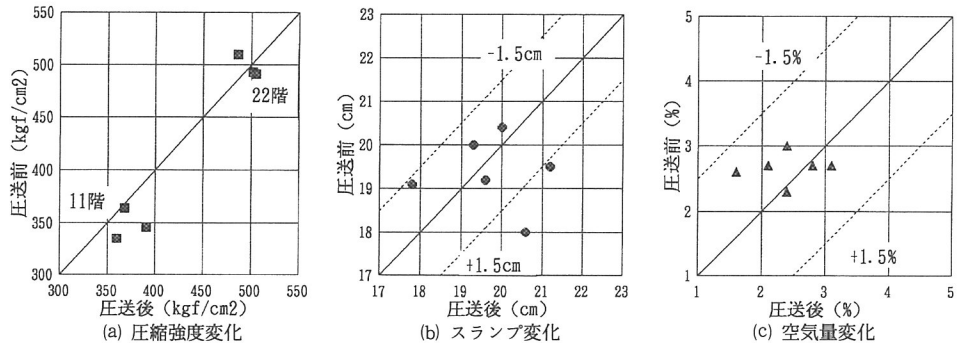
4. 調査結果

4.1 コンクリートの品質変化

コンクリートの品質変化は、圧送前にアジテーター車から採取した試料と圧送後にポンプ筒先から採取した試料で、圧送前後のフレッシュコンクリートの性状と圧縮強度について調査した。

その調査結果を表－6 および図－3 に示す。

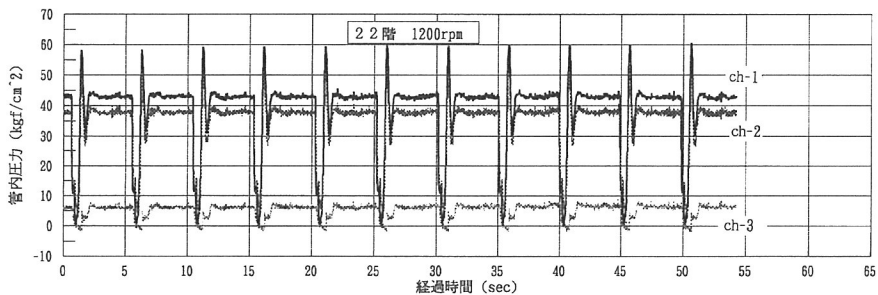
スランプ、空気量ともそれぞれ $\pm 1.5\text{cm}$ 、 $\pm 1.5\%$ の範囲にほぼ収まっている。圧縮強度は標準養生の28日強度で評価し、11階では、圧送後の強度が圧送前のものより若干大きくなっているが、22階ではほぼ同じ値を示している。



図－3 コンクリートの品質変化

表－6 コンクリートの品質変化一覧

部 位	油圧ポンプ 回転数 (rpm)	ス ラ ンプ (cm)		空 気 量 (%)		温 度 (℃)		圧 縮 強 度 (kgf/cm²)			
		前	後	前	後	前	後	材 令 7 日		材 令 28 日	
								前	後	前	後
11 階	1500	20.0	19.3	3.0	2.4	33.0	33.0	292	297	364	368
	1200	19.5	21.2	2.7	2.1	33.0	32.5	278	300	335	360
	900	18.0	20.6	2.6	1.6	33.0	33.0	283	306	346	391
22 階	1500	19.1	17.8	2.7	3.1	20.0	20.5	403	409	491	505
	1200	20.4	20.0	2.3	2.4	21.0	21.0	398	394	493	502
	900	19.2	19.6	2.7	2.8	21.0	21.0	417	416	510	486



図－4 管内圧力測定結果例

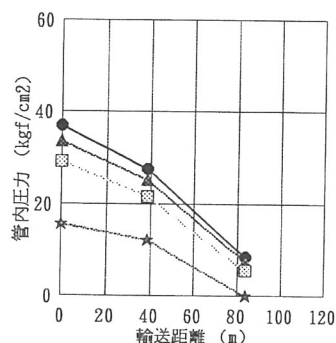
4.2 圧送管の管内圧力

管内圧力を計測したときのフレッシュコンクリートの性状を表－7に、圧送管の管内圧力の代表的な経時変化を図－4に示す。また、圧送管の圧力分布を図－5に示が、その管内圧力は、図－4の圧力の平らな部分を平均したものであり、輸送距離は、バンド管では実長の2倍に、テーパ管では3倍にして計算した換算距離である。

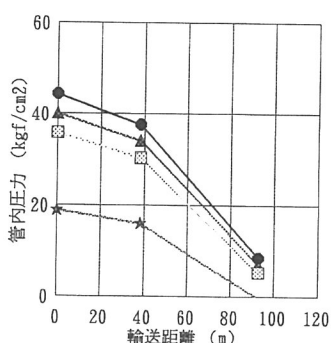
油圧ポンプ回転数が高いほど管内圧力は大きくなり、また単位セメント量が高いほど水平配管の管内圧力差が大きくなった。また、鉛直管高さが高いほど管内圧力差が大きくなった。

表-7 フレッシュコンクリート性状

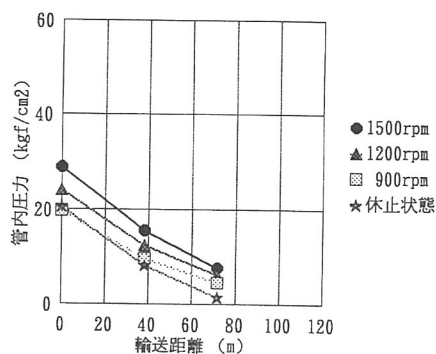
階数	スランプ (cm)	空気量 (%)	フロー (cm)	温度 (℃)
12	18.8	3.9	32×33	34.5
17	21.5	3.9	38×42	29.0
20	20.0	4.2	33×34	23.5
22	20.4	2.3	36×37	21.0



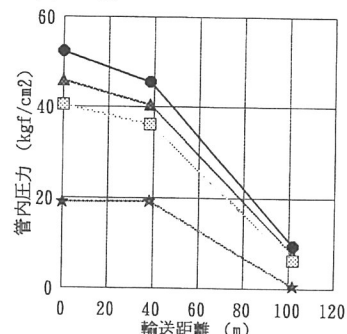
(b) 17階



(c) 20階



(a) 12階



(d) 22階

図-5 管内圧力分布

5. 管内圧力損失(K値)の算定

コンクリートポンプにかかる配管全体の圧送負荷は日本建築学会「コンクリートポンプ工法施工指針」では、下式のように配管の摩擦抵抗と鉛直管におけるコンクリート自重との和によって示されている。摩擦抵抗は管内圧力損失(K値)と配管の水平換算長さとの積であり、ベンド管、テーバ管、フレキシブルホースの水平換算係数は、それぞれ3、2、2である。

$$P = K(L + 3B + 2T + 2F) + 0.1WH$$

P : コンクリートポンプに加わる圧送負荷 (kgf/cm²)

K : 水平管の管内圧力損失 (kgf/cm²/m)

L : 直管の長さ (m)

B : ベンド管の長さ (m)

T : テーバ管の長さ (m)

F : フレキシブルホースの長さ (m)

W : コンクリートの単位容積重量 (t/m³)

H : 圧送高さ (m)

実吐出量と管内圧力損失の関係を図-6に示す。吐出量は、ピストンの1ストローク時間とポンプのシリンダ容量より理論吐出量を求め、それにポンプの容積効率を0.92として実吐出量を算定した。図中には、通常のスランプ21cm、配管125Aの場合の管内圧力損失を点線で示した。

水平管の管内圧力損失は単位セメント量が多いほど大きな値となり、単位セメント量の一番多い12階のコンクリートでは通常のコンクリートの4倍近い値となった。

鉛直管の管内圧力損失は圧送高さが高いほど大きくなり、圧送高さが63.5mの22階では通常の場合の6倍の値である。20階と22階では鉛直管と水平管の管内圧力損失の差がコンクリートの単位容積質量を上回っている。

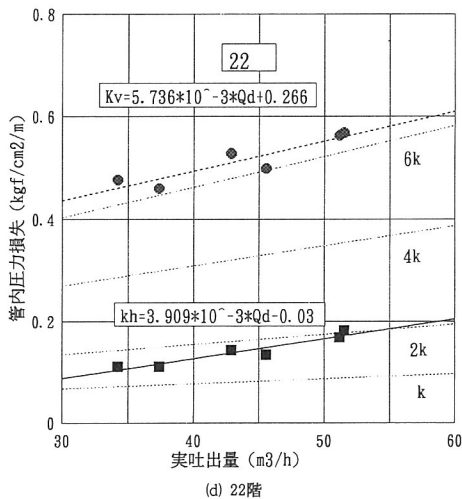
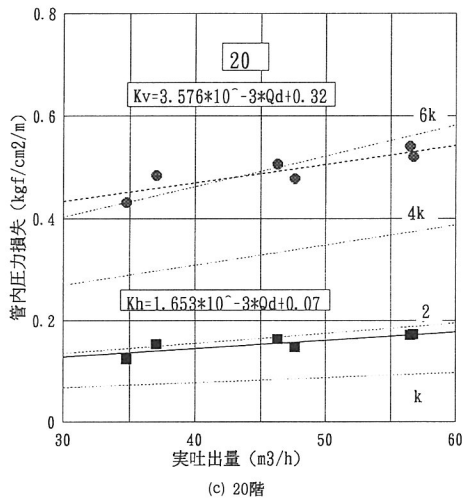
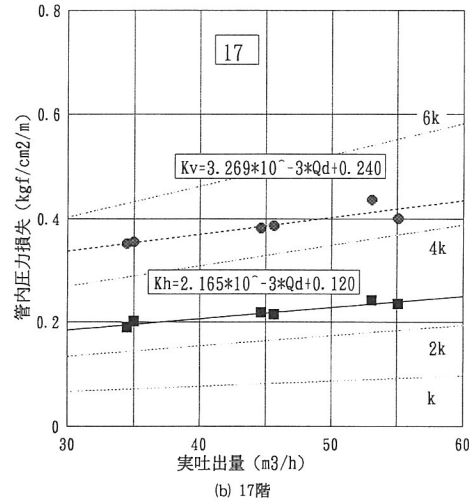
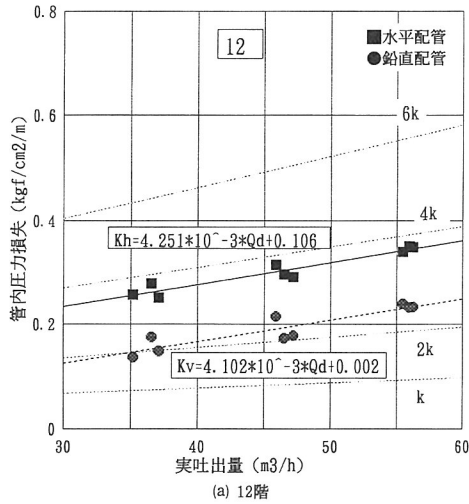


図-6 管内圧力損失

6. まとめ

今回の調査により、以下のことが確認された。

- ① コンクリートの設計基準強度が300~360kgf/cm²で、圧送高さが60m程度であれば、スランプ・空気量・圧縮強度とも大きな品質変化はない。
- ② 圧送速度が大きいほど摩擦抵抗が大きくなり、圧力損失が大きくなる。
- ③ 水セメント比が小さいほど、また単位セメント量が多いほど水平管の圧力損失は大きくなる。例えば、単位セメント量が375kg/m³でW/C=45.3%の場合では、通常のスランプ21cmのコンクリートの約4倍近い圧力損失となる。
- ④ 鉛直管の管内圧力損失は、圧送高さが高いほど大きくなり、45mを越えると鉛直管と水平管の圧力損失の差がコンクリートの単位容積質量を上回る大きさになる。
- ⑤ 高強度コンクリートは単位セメント量が大きく、また、高性能A E減水剤を使用しているため粘性が大きくなり、ポンプ圧送時の管内圧力損失が通常のコンクリートに比べ2~4倍となる。しかし、フレッシュコンクリートの性状および圧縮強度には大きな変化は見られず、高所圧送に支障を来すことはない。