

高強度コンクリートのポンプ圧送による配管のすり減りに関する報告

Report of Pipe Inside Decrease by Pumping Methods with High Strength Concrete

立松 和彦* 高見 錦一*
山崎 順二*

要 旨

51階建て超高層建物において、CFT柱へのコンクリート圧入および各階スラブへのコンクリート圧送を行った。高強度コンクリートについて高所圧送時の管内圧力損失係数を測定し、圧送による鉛直配管内部のすり減りについて、打設量との関係ならびに各配管への負荷総量との関係について検討した。その結果、すり減り量は打設量だけでなく、打設速度やK値に代表されるコンクリートの粘性も加味した、負荷総量との高い相関性が確認できた。

キーワード：ポンプ圧送／配管／すり減り／K値／高強度コンクリート／CFT

1. はじめに

近年の超高層RC造およびCFT造等において、高強度コンクリートをコンクリートポンプで圧送あるいは圧入する事例が多くなっている。その際に使用されるコンクリートポンプ車は、打設するコンクリートの管内圧力損失（K値）や打設速度、および打設高さなどから、圧送あるいは圧入に必要な能力を有した機種が選定される。また、圧送に用いる配管径や種類（超高压管、高压管）の選定も重要となる。

コンクリート打設に用いる配管は、打設するコンクリートによって内側が徐々にすり減ってゆく。すり減り量は、打設数量、打設速度、コンクリートの粘性などに比例すると考えられるので、それらの要因を加味した各配管への負荷の総量と密接に関係していると推察される。しかし、そのような「負荷の総量」を計算した事例やすり減り量を検討した事例はほとんど見られない。そこで本報告では、51階建ての超高層建物においてCFT柱への高強度コンクリート圧入およびスラブコンクリートの圧送を行った事例について、配管のすり減り量と打設数量、負荷の総量などを検討した結果について報告する。

2. 施工概要

2.1 建物概要

対象とした建物は、CFT造地下1階地上51階の共同住宅である。¹⁾構造体は柱がCFT柱、梁はSC梁、床はデッキスラブという構成である。

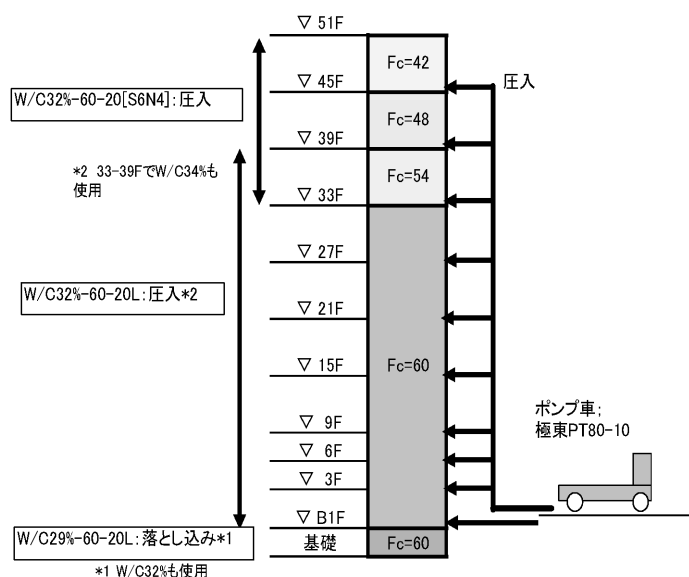


図-1 CFTコンクリートの圧入の概要

2.2 コンクリート打設

今回の対象となるコンクリートは、CFT柱へ圧入したものおよびスラブへ圧送したものである。それぞれ、同じ1本の鉛直配管によって当該部分へ圧送されている。CFT柱コンクリートは $F_c60 \sim 42 \text{ N/mm}^2$ 、スラブコンクリートはすべて $F_c30 \text{ N/mm}^2$ である。当該配管を用いて打設したコンクリートは約 $14,500 \text{ m}^3$ である。図-1に、CFTコンクリートの圧入の概要を示す。9階より上では1回の圧入で6層分の高さを圧入している。なお、CFTコンクリートは1工場で、スラブコンクリートは8工場に納入されている。ポンプ車は、K社製PT80-10（ピストン前面圧最大値 12.25 N/mm^2 ）を使用した。

*建築研究グループ

表－１ CFTコンクリートの調合

調合記号	使用したセメント	水結合材比(%)	細骨材率(%)	単 位 量 (kg/m ³)					使 用 部 位
				セメント	水	細骨材	粗骨材	混和剤	
29L	L	29.0	49.1	603	175	769	812	8.14	基礎
32L	L	32.0	51.0	547	175	821	804	5.47	基礎～33－39F
34L	L	34.0	51.7	515	175	846	804	5.41	33－39F
32S6N4	SFC+N	32.0	49.8	328+219	175	808	828	5.20	33－39F～45－51F

2.3 使用したコンクリートの調合

表－１に、CFTコンクリートの調合を示す。Fcおよび、圧入高さなどによって使い分けることとしている。大別すると、低熱ポルトランドセメントを用いた調合と、シリカフェュームセメントと普通ポルトランドセメントを混合した調合の２種類である。スランプフローはすべて60cmとしている。また、スラブコンクリートは、呼び強度33、スランプ18cmが標準であるが、その水セメント比は44%である（組合の標準配合変更により、38階から上では47%とした）。また、冬期は温度補正を考慮して41%とした。なお、22階から上ではすべてスランプ21cmとした。

3. 圧送圧力および配管すり減り量の測定方法

3.1 圧力計測およびK値

圧力計測は、スラブでは15階、28階、42階、51階の圧送時に、CFTでは9－15F（図－３中の記号（以下同）；L9F）、21－27F（L21F）、33－39F（L33F,S6N4 33Fの２回実施）、45－51F（S6N4 45F）の圧入時に実施した。計測によって得られた圧力値から、鉛直方向の自重分を補正し、建築学会の指針²⁾にもとづいて鉛直管の圧力損失係数（K値）を求めた。

3.2 配管内側すり減り量の測定

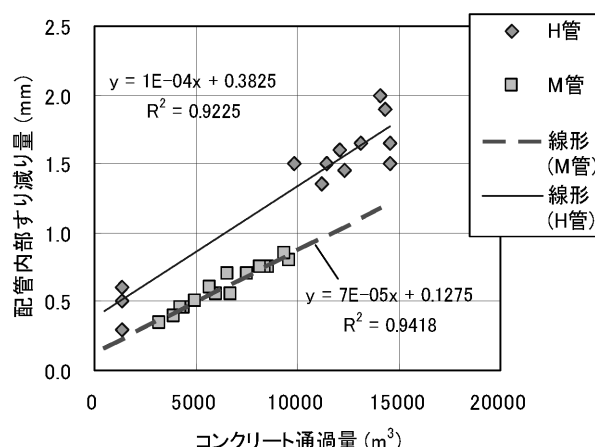
配管内側のすり減り量の測定は、51階スラブ打設後に超音波厚さ計（精度0.1mm）で行った。１本の管に対して管長の中央付近で、同じ高さで90度直行方向に２点の管厚さを測定し、その平均値を管厚さの測定値とした。すり減り量は、それぞれの管の新品時の厚さ（規格値とした）から上記測定値を減じた数値とした。管の材質は、超高压管（H管； $t=6.6\text{mm}$ ）・高压管（M管； $t=4.5\text{mm}$ ）ともに一般構造用炭素鋼鋼管STK400（JIS G 3444）である。このH管およびM管は新品を設置して使用したものである。鉛直管はすべて５インチ管で地上から18階までH管、18階から39階までがM管、39階から上はS管を用いた。S管は普通管（通常、 $t=2.3\text{mm}$ が多い）であるが管にかかる負荷および打設数量から判断して中古品を使用した。なお、15－18階のH管４本（10.5m分）につ

いては、圧送負荷の見直しにより、事故防止のため49階スラブ打設直前にM管からH管へ変更した。本報での検討対象は３階から上のH管およびM管である。

4. コンクリート打設量あるいは負荷の総量と配管内部すり減り量との関係

4.1 打設量とすり減り量との関係

打設量すなわち工事記録に記載された、作業所への生コン納入量をコンクリート通過量とした。厳密には先送りモルタル分が加わり、打設終了後の鉛直管内の残コンを減じるべきであるが、その量は100m³前後の打設量に対してそれぞれ1m³程度であるので、ここでは無視することとした。各配管のコンクリート通過量と配管内部すり減り量との関係を図－２に示す。コンクリート通過量が大きくなるほど、すり減り量も大きくなる。管の種類にかかわらず、コンクリート通過量とすり減り量とは高い相関性が認められる。すなわち配管の種類が１種類のみであればコンクリート通過量（＝打設量）からすり減り量を予測できると考えられる。



図－２ コンクリート通過量とすり減り量の関係

4.2 負荷の計算

負荷は、式(1)、式(2)に示すように、K値をもとにして1日の打設量および配管長などから計算した。K値は、図-3および図-4の計測結果をもとに、表-2のように設定した。表中の打設速度欄に記載があるのは実際の打設時間と打設量からの計算値である。打設速度欄に記載がある欄のK値は実測からの計算値であり、斜体のK値は実測値および調査などから推定した値である。これらの負荷を、打設日ごとに、それぞれの配管について計算し、(一定期間の)総和を求めたものが負荷の総量となる。前述したように15-18階のH管4本(10.5m分)は、49階床打設以降の使用なので約1ヶ月間(49、50、51階スラブ、45-51階CFT圧入)の負荷の総量によるすり減りとなる。

(1) CFTの場合

$$P=V\times K\times(\sum L)+K\times lh+c$$
 (1)

ここに、

P：負荷 [N/mm² × m³]

V：1日の打設量 [m³]

K：K値 [N/mm² / m]

ΣL：当該管から上部の鉛直配管長[m]

lh：打設階水平配管長 [m]

c：CFT圧入口にかかる負荷×CFT柱のコンクリート量 [N/mm² × m³]

ただし打設階水平配管は20m、cの計算においては圧入高さ（3階分あるいは6階分）の1／2の高さおよび柱のコンクリート量として計算した。

(2) スラブの場合

$$P=V\times K\times(\sum L)+K\times lh$$
 (2)

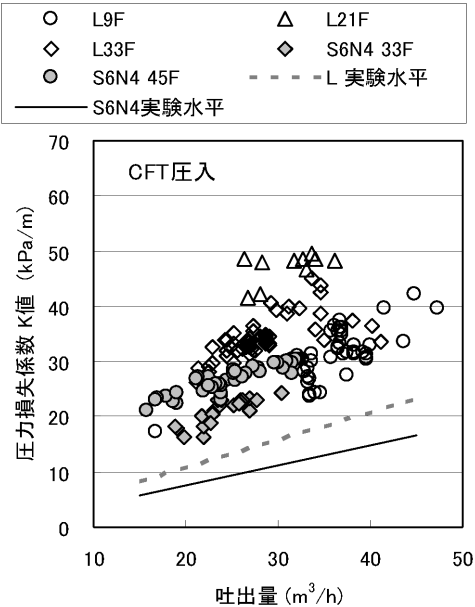


図-3 CFT圧入時のK値（鉛直）

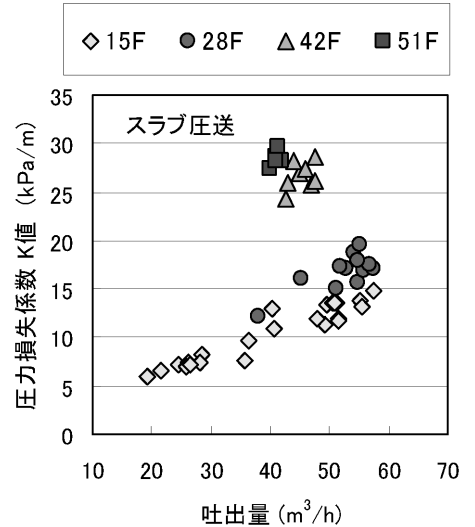


図-4 スラブ圧送時のK値（鉛直）

表-2 負荷の計算に用いたK値

CFT	セメント	L	L	L	L	L	L	L	S6N4	S6N4	S6N4
	圧入区間	3-6F	6-9F	9-15F	15-21F	21-27F	27-33F	33-39F	33-39F	39-45F	45-51F
	打設速度 m³/h	—	—	37	—	32	—	30	25	—	27
	K値 MPa/m	0.027	0.027	0.03	0.035	0.045	0.04	0.038	0.02	0.023	0.026

スラブ	水セメント比	44%	44%	44%	41%	41%	41%	44%	47%	47%	47%	47%
	圧送階	3-15F	15F	16-21F	22-27F	28F	29F	30-37F	38-41F	42F	43-50F	51F
	打設速度 m³/h	—	40	—	—	45	—	—	—	35	—	40
	K値 MPa/m	0.01	0.01	0.014	0.016	0.016	0.016	0.016	0.02	0.025	0.025	0.025

4.3 負荷の総量と配管内部すり減り量との関係

図-5 に負荷の総量と配管種別ごとのすり減り量との関係を示す。また、図-6 は管の区別をせずに相関をみたものである。図-6の方が図-5よりもやや高い相関を示している。この両図および図-4から、以下のことが推測できる。

- 図-4と図-5から、配管の種別（ここでは材質が同じなので厚さの違い）ごとにすり減り量を検討する場合は、負荷の総量で検討するよりもコンクリート通過量で検討した方が相関が高い。
- 図-5と図-6から、負荷の総量で検討することによって、配管の種別（ここでは厚さの違い）に関係なくすり減り量の予測が比較的高い精度で行える可能性がある。すなわち、従来の圧送負荷等の最大値による配管種別の選定に加えて、図-6のようなグラフから、配管内部すり減り量が1.0mmを超えると予測される部分にはH管を、1.0mm未満と予測される部分にはM管を、というような選定手法が考えられる。

5. まとめ

51階建ての超高層建物においてCFT柱への高強度コンクリート圧入およびスラブコンクリートの圧送を行った事例について、配管内部のすり減り量と打設量、負荷の総量などを検討した結果、以下のことが確認できた。

- (1) コンクリート通過量あるいは負荷の総量が大きくなると、配管内部のすり減り量も大きくなる。
- (2) 管の種類にかかわらず、コンクリート通過量とすり減り量とは高い相関性が認められる。
- (3) 負荷の総量で検討することによって、管の種類に関係なく負荷の総量とすり減り量とは高い相関性が認められる。このことにより、すり減り量の予測が比較的高い精度で行える可能性があることを示している。

[参考文献]

- 1) 立松和彦ほか：51階建超高層集合住宅での国内最大級断面のCFT柱へのコンクリート圧入、セメント・コンクリート、No.684, pp.10-17, 2004.2
- 2) 日本建築学会：コンクリートポンプ工法施工指針・同解説、1994

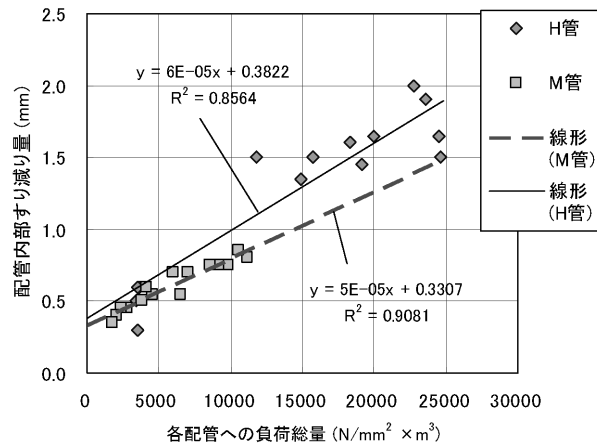


図-5 負荷総量と配管内部すり減り量の関係（配管種別ごと）

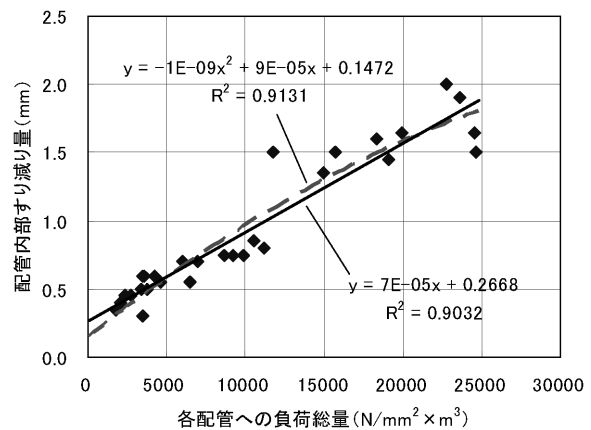


図-6 負荷総量と配管内部すり減り量の関係（配管区別なし）