

[1040] 高強度軽量コンクリートのポンプ圧送性に関する実験研究

正会員 ○和美 広喜 (鹿島建設技術研究所)
 田村 直久 (鹿島建設技術研究所)
 小森 浩之 (鹿島建設技術研究所)
 笠井 浩 (鹿島建設技術研究所)

1. はじめに

近年、鉄筋コンクリート構造物の高層化に伴い、高強度の軽量コンクリートの採用が要望されているが、高強度軽量コンクリートのポンプ圧送については、水平圧送実験による検討がなされているものの、実際の施工実績がほとんどないのが現状である。

今回、建築基準法第38条による大臣の認定を受けて、地上20階建の高層集合住宅を建設する機会が得られ、その15階から20階までにスランプロス低減型高性能減水剤を用いた設計基準強度 $270\text{kgf}/\text{cm}^2$ の高強度軽量コンクリートが採用された。

本研究は、その実際の施工において、ポンプ圧送時の管内圧力及びコンクリートの品質を測定し、高強度軽量コンクリートのポンプ圧送性について実験的に検討したものである。

2. 実験計画

2.1 実験内容

軽量コンクリートのポンプ圧送性については、これまでに $270\text{kgf}/\text{cm}^2$ 程度の強度のものについて水平圧送実験によって検討がなされている^{1) 2) 3) 4) 5)}。しかし、水平配管で低吐出圧力であるため、軽量骨材特有の圧力吸水を伴う場合のコンクリートの品質変化や圧送性を実際の高所圧送を考えた上で評価出来ていたかどうか疑わしく、実際の工事に対してはある程度の安全率を見込んで計画せざるを得なかった。

従って、垂直配管もあり、ある程度高い吐出圧力が得られる実際の工事で実測することで、高強度軽量コンクリートのポンプ圧送性を適切に評価できるものと考え、20階建高層集合住宅建設で18階梁床(垂直配管約50m)のコンクリート打設時を利用して実験を行った。

実験は、①計画吐出量を20、30、40、50、60 m^3/h とした場合の水平及び垂直配管の圧力損失を求めるためと、②通常の施工時のコンクリートの圧送による品質変化及び圧力損失を求めるために実施したものである。

2.2 使用材料

使用材料は以下に示すとおりである。

- セメント：普通ポルトランドセメント(T社製)、比重3.16
- 細骨材：荒川産粗目砂と佐原産細目砂を75：25の割合で混合使用した。絶乾比重2.55、吸水率1.80%
- 粗骨材：非造粒型人工軽量骨材(M社製)、絶乾比重1.29、含水率27.0%
- 化学混和剤：ヒドロキシ系複合体と天然樹脂酸塩を主成分とするAE減水剤(Y社製)、特殊水溶性高分子化合物とポリアルキルアリルスルホン塩を主成分とする高性能減水剤(D社製)

2.3 コンクリートの計画調査と製造

表-1にコンクリートの計画調査を示す。

コンクリートの製造は、図-1に示すように、セメント、骨材、水、AE減水剤をミキサに投入し20~30秒練り混ぜた後、高性能減水剤を時差添加し、更に30~40秒練り混ぜる方法とした。

表-1 コンクリートの計画調査

水セメント比 (%)	スランプ (cm)	空気量 (%)	細骨材率 (%)	単位水量 (kg/m ³)	絶対容積 (ℓ/m ³)			重量 (kg/m ³)			混和剤 (%)	
					セメント	細骨材	粗骨材	セメント	細骨材	粗骨材	AE減水剤	高性能減水剤
46	12 ↓ 21	5.0	50.0	180	124	323	323	391	843	417	0.3	0.8

2.4 コンクリートポンプ及び配管計画

(1) コンクリートポンプ

コンクリートポンプは、ピストン式 (M社製) で最大ピストン前面圧82.24kgf/cm²、コンクリートシリンダ径205mmのものを用いた。

(2) 配管計画

図-2に配管計画を示す。P₁~P₄は、管内圧力検出管である。配管径は、地上水平及び垂直が125mm、打設階水平が100mmである。

2.5 試験項目及び試験方法

(1) 試料の採取方法

フレッシュコンクリート及び硬化コンクリートの試験のための試料は、圧送前後ともほぼ同じ時間帯になるように採取した。従って、圧送前後で必ずしも同一生コン車から試料を採取しているとは限らない。

(2) 粗骨材含水率

粗骨材含水率は、フレッシュコンクリートを5mmフルイで水中でふるい、セメントペーストを洗い落して表面水を拭き取った骨材を110℃で48時間乾燥し、乾燥前後の重量差から求めた。

(3) スランプ・フロー・温度

スランプは、JIS A 1101「スランプ試験方法」によった。また、スランプ試験時にスランプフロー及びコンクリート温度を測定した。

(4) 空気量・単位容積重量

空気量は、JIS A 1128「まだ固まらないコンクリートの空気量の、圧力による試験方法 (空気室圧力方法)」に準じて測定した。また、空気量測定後の試料を用いて単位容積重量を測定した。

(5) 圧縮強度

供試体は、軽量型枠を用いて圧送前後に7日強度用及び28日強度用を生コン車1台につき各3本を目標として採取した。圧縮強度は、JIS A 1108「コンクリートの圧縮強度試験方法」に準じた。

(6) 実質吐出量

通常圧送時の実質吐出量は、ピストンストローク長、ストローク数、コンクリートシリンダ径及び生コン車1台を圧送するのに要する時間を実測して求めた。なお、ストローク数は、コンクリートポンプ切替回数を電磁オシログラフに記録されたポンプ油圧波形から読み取り、単位時間 (分) 当りに換算したものである。

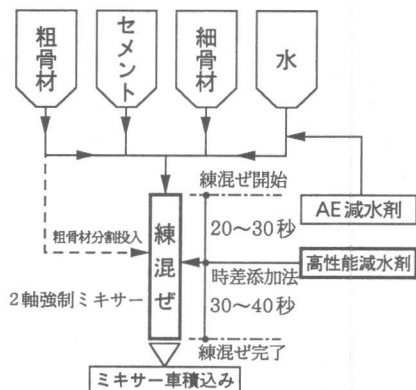


図-1 コンクリートの製造方法

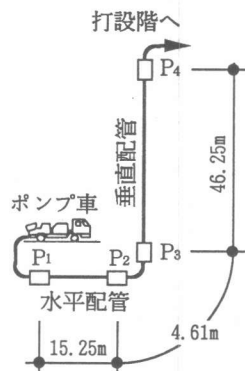


図-2 配管計画

計画吐出量圧送時の実質吐出量は、実測ストローク数から算出した理論吐出量に通常圧送時の容積効率の平均値を乗じて求めた。

(7) ポンプ油圧及びピストン前面圧

ポンプ油圧は、ポンプ車のオイルポンプに油圧変換器を取付けて測定した。ピストン前面圧は、ポンプ油圧と無負荷時の油圧ロスの実測値を用い、ポンプ油圧シリンダとコンクリートシリンダの断面積比より算出した。

(8) 管内圧力

管内圧力は、図-4に示すように、管内のコンクリートの圧力をウレタンゴム製のダイヤフラムを介してオイルチャンバ内のオイルに伝達させ、そのオイルの圧力を圧力変換器で検出し、電磁オシログラフに圧力波形として記録した。

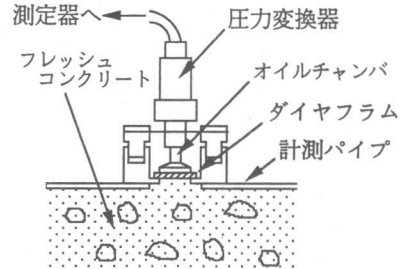


図-4 管内圧力検出管

3. 実験結果及び考察

表-2に実験結果を総括して示す。

3.1 粗骨材含水率

図-5に圧送前後の粗骨材含水率の分布を示す。

粗骨材含水率は、圧送により1.7~3.6% (95%信頼区間) 増加する。この場合のピストン前面圧は、平均で30.6kgf/cm² ($\sigma = 2.36\text{kgf/cm}^2$)であった。しかし、今回の実験では粗骨材含水率の試験を圧送前後で対応して行っていないので、圧送圧力による影響は明確でない。圧送前の粗骨材含水率は、平均で23.8%であり、生コン工場での粗骨材含水率試験結果よりも3.2%小さい値を示した。これは、生コン工場での値は粗骨材(人工軽量骨材)そのものの試験結果であるのに対して、今回現場ではフレッシュコンクリートより5mmフルイで試料を採取したため、含水率の小さい細骨材の一部が混入し、見掛上含水率が小さくなったものと考えられる。

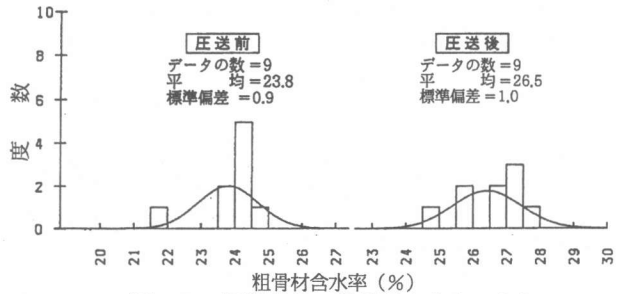


図-5 圧送前後の粗骨材含水率の分布

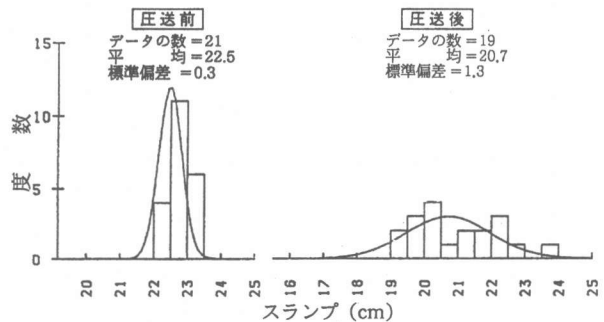


図-6 圧送前後のスランプの分布

3.2 スランプ及びフロー

図-6及び図-7に圧送前後のスランプ及びフロー値の分布を示す。

スランプは、圧送により1.2~2.4cm (95%信頼区間) 減少し、ばらつきも大きくなる。フロー値は、圧送により5.9~10.9cm (95%信頼区間) 減少した。これは、

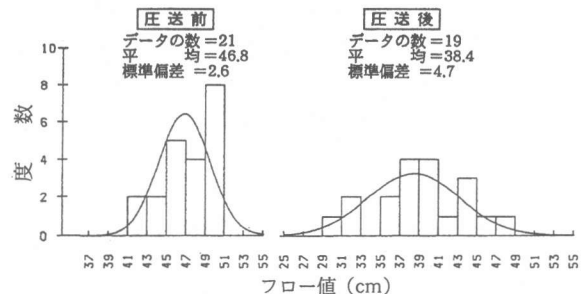


図-7 圧送前後のフロー値の分布

単位容積重量は、圧送により0.041~0.071t/m³ (95%信頼区間) 増加した。これは、圧送による粗骨材含水率の増加によるものと考えられる。

3.4 圧縮強度

図-9に圧送前後の圧縮強度(材令28日)の分布を示す。

圧縮強度は、圧送前後について平均値の差の検定を行った結果、有意差は認められなかった。従って、圧送による粗骨材含水率の増加に伴う水セメント比の低減は、圧縮強度の増大にはつながらないと考えられる。

3.5 コンクリートの管内圧力

図-10及び図-11に計画吐出量で圧送したときの各測定点の管内圧力の分布を示す。これより、水平及び垂直配管の管長1m当りの圧力損失を求め、実質吐出量と圧力損失の関係を示すと図-12のとおりである。これまで、設計基準強度が210kgf/cm²前後のコンクリートにおいては、骨材の種類、単位水量、細骨材率など調査が変わっても、スランプが同じであれば圧力損失もほぼ同じであると言われていたが、今回の実験による水平配管の圧力損失は、AE減水剤を用いた軽量コンクリートのスランプ18cmの圧力損失⁴⁾⁵⁾と同程度であった。

従って、今回の実験のように高性能減水剤を用いた富調合のコンクリートの場合には、スランプでポンプ圧送性を評価することは極めて不合理なことであり、フレッシュコンクリートの流動性をスランプにかわる物理量として表現する必要があることを示唆するものと考えられる。

また、図-13に通常圧送時(スランプ: $\overline{SL}=22.5\text{cm}$, $\sigma_{SL}=0.3\text{cm}$, 実質吐出量: $\overline{Q}=48.37\text{ m}^3/\text{h}$, $\sigma_Q=4.77\text{ m}^3/\text{h}$)の圧力損失の分布を示す。これより水平及び垂直配管の圧力損失の平均の差の検定を行うと、水平配管の圧力損失は垂直配管の圧力損失より0.083~0.139kgf/cm²/m (95%信頼区間) 小さいことがわかった。

水平配管の圧力損失は、理論的には垂直配管の圧

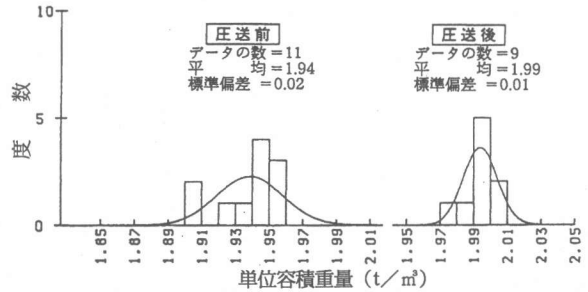


図-8 圧送前後の単位容積重量の分布

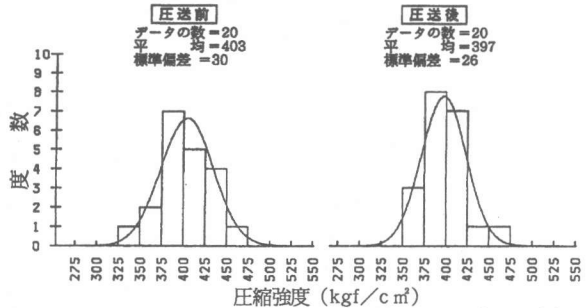


図-9 圧送前後の圧縮強度(材令28日)の分布

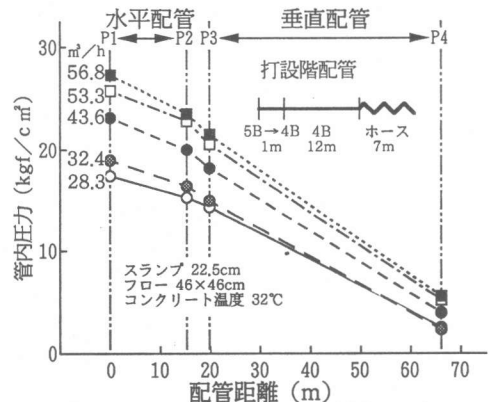


図-10 管内圧力分布(計測No.15)

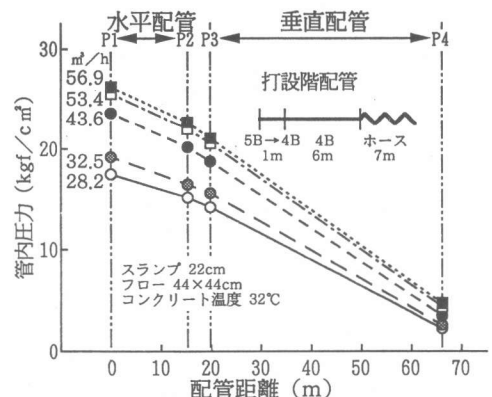


図-11 管内圧力分布(計測No.17)

力損失からコンクリートの単位容積重量分を差引いた値となる。ところが、今回のフレッシュコンクリートの単位容積重量は圧送前で $1.939\text{t}/\text{m}^3$ 、圧送後で $1.995\text{t}/\text{m}^3$ であるので、これによる圧力損失は、 $0.19\sim 0.20\text{kgf}/\text{cm}^2/\text{m}$ となり、前述の両配管の圧力損失の平均の差より大きくなっている。即ち、水平配管の圧力損失は、垂直配管の圧力損失からコンクリートの重量分を差引いた値より大きくなっている。

これは、既往の研究¹⁾²⁾によると軽量コンクリートの場合ポンプに近いほど、すなわちコンクリートにかかる圧力が大きいほど圧力損失が大きくなるという結果があり、今回の実験では水平配管の圧力測定は、ポンプに近い部分で行われたためと考えられる。

従って、軽量コンクリートのポンプ圧送性を評価するためには、コンクリートの材料物性の他に圧送圧力を考慮した実験及び理論的検討が必要である。

4. むすび

高強度軽量コンクリートのポンプ圧送性に関しては、本実験の範囲であれば、品質や施工面で実用上問題とならないことが明らかとなった。

しかし、軽量コンクリートのポンプ圧送性は軽量骨材の圧力吸水によ

って著しく異り、フレッシュコンクリートの単位容積重量が軽量骨材の圧力吸水によって増加し、それが硬化コンクリートの気乾単位容積重量にどのように影響するのか明らかでない。また、本実験のような高性能減水剤を用いた富調合のコンクリートの場合には、通常のコンクリートに比べて圧力損失が極めて大きくなるなどの現象があった。これらの解明が今後の研究課題である。

本実験にあたっては、三菱重工(株)、第一工業製薬(株)、秩父生コン所沢工場、日本メサライト工業(株)の各位に多大な御協力をいただきましたことを心より感謝致します。

参考文献

- 1) 和美 広喜他：低スランプ人工軽量骨材コンクリートのポンプ圧送性に関する研究、鹿島建設技術研究所年報、第22号、昭和48年度
- 2) 嵩 英雄他：低スランプ軽量コンクリートの水平圧送性に関する実験的研究、コンクリート工学、VOL.13、No.5、1975年5月
- 3) 池田 正志他：コンクリートポンプによる高流動化コンクリートの水平圧送に関する実験 その2、日本建築学会大会学術講演梗概集、昭和53年9月
- 4) 和美 広喜他：標準および流動化コンクリートのポンプ圧送性に関する実験研究、日本建築学会大会学術講演梗概集、昭和54年9月
- 5) 和美 広喜他：人工軽量コンクリートのポンプ圧送性に関する実験研究、コンクリート工学協会年次講演会講演論文集、第1回、1979年

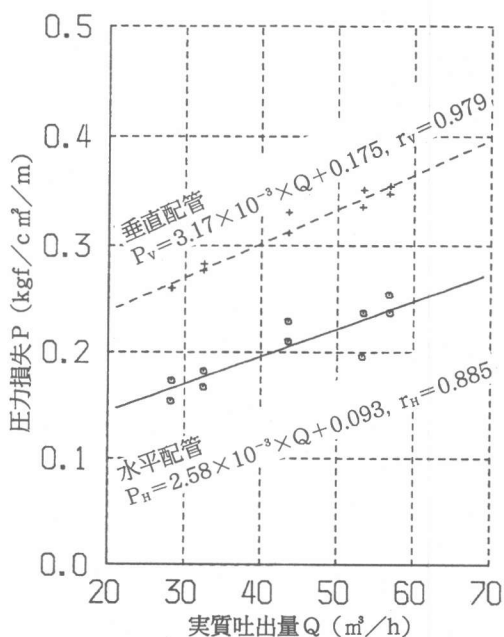


図-12 実質吐出量と圧力損失の関係

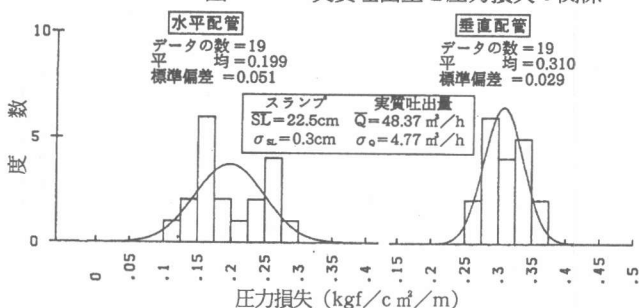


図-13 水平及び垂直配管の圧力損失の分布