

[225] 軽量コンクリート高所圧送における圧送性と品質変化に関する考察

正会員 松尾 忠（佐藤工業中央技術研究所）
 正会員 ○ 鬼塚 雅嗣（佐藤工業中央技術研究所）
 鳩村 喜吉（佐藤工業建築本部）

1. はじめに

コンクリートポンプによる軽量コンクリートの高所圧送では、人工軽量骨材の圧力吸水に伴うコンクリートの品質変化や管内圧力損失の増加が生じやすい。そこで、設計上の要求品質を満足し、かつポンプの閉そくを生じさせずに圧送するためには、施工計画の段階でコンクリートの圧送性や品質変化を予測する必要がある。コンクリートの圧送性については、現在までに理論解析や実験研究が多く行われてきている。しかし、圧送負荷を算定する場合の基礎となる管内圧力損失についてはコンクリートのレオロジイ定数のみから理論的に求めることは難しく、実測値やそれに関する実験定数を求めた上でそれを予測することが実用的であると言われている。^{1)~5)}また、圧送前後におけるコンクリートの品質変化についても過去の実績から予測していることが多い。

本報告は、従来のものより品質を向上させた指定スランプ20cm、単位水量176kg/m³の軽量コンクリート（2種）を高所圧送した場合の管内圧力や圧送前後のコンクリートの品質変化を実測し、コンクリートの圧送性に影響を及ぼす要因について考察したものである。

2. 測定概要

2.1 測定計画

(1) 因子と水準

ポンプ圧送条件として、打設階と吐出量を表-1に示す水準に設定した。

(2) コンクリートの材料と調合

人工軽量骨材は、造粒型であるビルトンを使用した。使用した骨材の物性試験結果を表-2に示す。

指定スランプは、圧送によるスランプ低下を2cmと予測し、20cmとした。また、コンクリートの品質向上を図るために、単位水量を180kg/m³以下に押さえた。使用したコンクリート調合を表-3に示す。

(3) コンクリートポンプおよび輸送管

コンクリートポンプは、各階打設における圧送負荷を算定し、これとポンプの圧送能力を比較検討することによって、表-4に示す油圧ピストン式の3機種を選定した。輸送管は、圧送抵抗を少なくするため、水平管・垂直管とも5B管とし、高圧が作用する約50mの高さまでは、高圧仕様のものを用いた。バンド管は、コンクリートポンプを設置した1階立上がり部で1mR、打設階で0.5mRを使用した。

(4) 測定項目と方法

表-1に示した圧送条件に応じ、圧送前後のコンクリートの品質変化を測定した。また、測定対象としているコンクリートのポンプ圧送時における管内圧力やコンクリートポンプの運転状態を測定した。これらの測定項目と方法を表-5に、管内圧力計測管取付け位置を図-1に示す。

表-1 因子と水準

因 子	水 準
打 設 階	19F, 20F, 28F
吐 出 量	20, 30, 40m ³ /h

表-2 骨材の物性試験結果

種類	絶乾比重	表乾比重	水吸率(%)	ふるい通過率(%)							
				0.15	0.3	0.6	1.2	2.5	5	10	20
細骨材 川砂	2.55	2.59	1.73	2.61	5	32	53	69	84	96	100
	ビルトン	1.60	1.86	1.61	2.71	13	24	41	60	91	100
	粗骨材 ビルトン	1.24	1.60	2.88	6.41	—	—	—	—	4	55

表-3 軽量コンクリートの調合

設計基準強度(kg/cm ²)	温度補正呼び強度(kg/cm ²)	水セメント比	スランプ(cm)	細骨材率(%)	単位水量(kg/m ³)	重量調合(kg/m ³)			AE減水(%)		骨材単位容積重量(kg/m ³)	Wd(Wd×%)
						セメント	細骨材	粗骨材	川砂	ビルトン		
180	30	210	56.0	20	51.3	176	315	482	254	410	315	1649

注 1) 骨材の上段は絶乾重量、下段は表乾重量を示す。

2) 気乾単位容積重量は、JASS5の算定式 $Wd = (G_0 + S_0 + S'_0 + 125C_0 + 120)1000$ による。

表-4 使用したコンクリートポンプ

打設階(階)	19			20			28		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C
最大吐出量(m ³ /h)	100	65	65	100	65	65	100	65	65
コンクリートシリnder径(mm)	φ 215	φ 180	φ 205	φ 215	φ 180	φ 205	φ 215	φ 180	φ 205
油圧シリンダー径(mm)	φ 95	φ 100	φ 120	φ 95	φ 100	φ 120	φ 95	φ 100	φ 120
最高ストローク長(mm)	1600	1450	1650	1600	1450	1650	1600	1450	1650
最高主油圧(kg/cm ²)	230	210	240	230	210	240	230	210	240
理論吐出圧(kg/cm ²)	44.9	64.8	82.2	44.9	64.8	82.2	44.9	64.8	82.2
最高ピストン前面圧(kg/cm ²)	42	55	78	42	55	78	42	55	78

3. 測定結果および考察

3.1 まだ固まらないコンクリートの品質

圧送前後のまだ固まらないコンクリートの品質試験結果を各打設階ごとに平均してまとめたものを表-6に示す。

スランプは、圧送前の平均20.6cmに対し圧送後は平均18.8cmであり、1.8cm低下した(図-2参照)。また、

圧送前のスランプが同一であっても圧送前後のバラツキは大きい。全体としては、圧送前のスランプが小さい程、圧送前後のスランプ低下は大きい傾向にある。圧送前のスランプと圧送前後のスランプ低下の関係を明確にするために、各吐出量ごとあるいは各打設階ごとに検討したところ、20階の測定結果については明瞭な関係が得られた(図-3参照)。この原因としては、20階では粗骨材の吸水率が26%と他の測定階より3%程度小さく、圧送による粗骨材の加圧吸水による影響が顕著に表われたものと考える。

また、吐出圧である実ピストン前面圧と圧送前後のスランプ低下の関係を図-4に示す。実ピストン前面圧が増加するにともない、圧送前後のスランプ低下は大きくなっている。しかし、粗骨材の事前吸水率が高いためかその値は既往の報告より小さい。

その他、圧送前後で、フローは平均3.3cm、空気量は平均1.2%減少し、単位容積重量は平均66kg/cm³增加した。ブリージング量は、圧送前後ともに0.15

表-6 まだ固まらないコンクリートの品質試験結果

cm³/cm³以下と小さかった。粗骨材吸水率は圧送後に増加するものと予想したが、圧送前後で明瞭な差異は認められなかつた。

測定階	スランプ(cm)			フロー(cm)			空気量(%)			コンクリート温度(°C)			単位容積重量(kg/m ³)			粗骨材吸水率(%)			ブリージング量(CC/cm ³)		
	工場出荷時	圧送前	圧送後	工場出荷時	圧送前	圧送後	工場出荷時	圧送前	圧送後	工場出荷時	圧送前	圧送後	工場出荷時	圧送前	圧送後	工場出荷時	圧送前	圧送後	工場出荷時	圧送前	圧送後
19F	21.5	20.6	18.0	39.0	38.0	29.7	5.5	5.1	4.6	11.7	12.1	13.2	1762	1770	1842	29.2	29.0	0.14	0.12		
20F	21.0	20.2	18.3	37.0	36.2	30.8	5.3	5.3	4.2	12.0	11.2	11.3	1777	1773	1835	26.0	26.5	0.14	0.12		
28F	21.0	20.5	18.9	37.0	36.5	34.9	5.5	5.5	3.5	21.0	21.5	20.5	1830	1840	1840	28.6	28.5	0.14	0.12		

注 1) 数値は12回の平均値。ただし、粗骨材吸水率は6回の平均値、ブリージング試験は1回の測定値である。

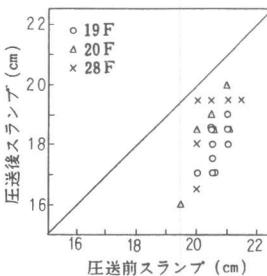


図-2 圧送前後のスランプ変化

3.3 コンクリートの圧送性

(1) 実ピストン前面圧

実吐出量と実ピストン前面圧の関係を図-5に示す。実ピストン前面圧は、実吐出量が多くなるにつれて直線的に増加している。19, 20階打設時の実ピストン前面圧は、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」からの推定値と近似しているにもかかわらず、28階打設時には推定値より約15kg/cm²(実吐出量30m³/hの場合)小さい。実ピストン前面圧は、管内圧力損失を集積したものであるため、この原因については(3)項で考察する。

表-5 コンクリートポンプの測定項目および方法

測定項目	測定方法
油ポンプ回転数	ポンプ車回転計より目測する。
ストローク回数	10ストローク所要時間より1分間当りのストローク数を測定する。
実吐出量	ミキサー車1台分(5.5m ³)の圧送所要時間を測定して逆算する。
作動油温度	ポンプ車油温計より目測する。
主油圧	パイプに圧力計測管を取り付け、圧力計測管から1ストローク圧送最高圧をストレインアンプで增幅して電磁オシロに記録させる。
管内圧力	打設階配管長さ
	打設階の各階ごとの本数。長さおよびフレキシブルホースの配管方法を測定する。

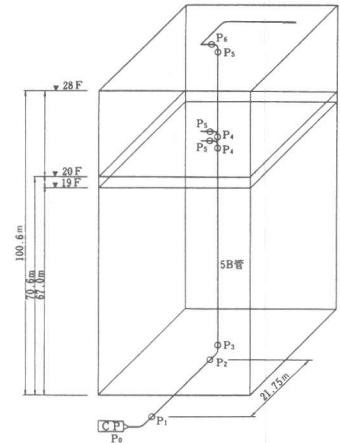


図-1 管内圧力計測管取り付け位置

表-6 まだ固まらないコンクリートの品質試験結果

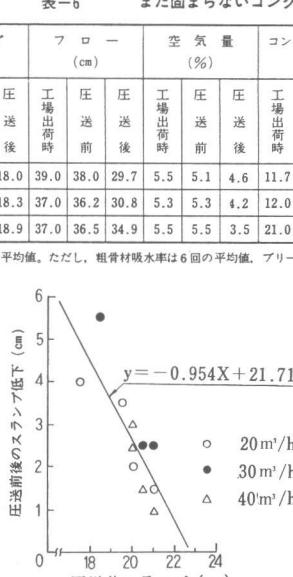


図-3 圧送前スランプと圧送前後のスランプ低下(20F)

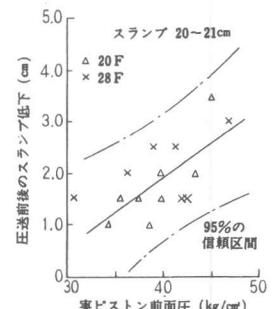


図-4 実ピストン前面圧と圧送前後のスランプ低下

(2) 管内圧力分布

コンクリート圧送時の管内圧力分布を図-6に示す。管内圧力は従来の測定と同じように実吐出量が多くなるにつれて増加しているとともに、ポンプに近いほど圧力勾配は大きくなっている。

また、管内圧力との関係の一例を図-7に示す。スランプ19と21cmでは、ピストン前面圧(P_0)で約8kg/cm²の圧力差が生じていることがわかる。また、スランプが小さくなるにつれて測定区間の圧力差は大きくなり、その傾向はポンプに近くなるほど顕著である。

(3) 管内圧力損失

a. 水平管・垂直管

圧送前スランプが20~21cmの場合における実吐出量と管内圧力損失との関係を図-8に示す。管内圧力損失は、実吐出量が多くなるに従い直線的に増加するとともに、前記指針のデータに近似しているものもある。しかし、測定値のバラツキは同一階で小さいものの、各打設階での平均値に、そのバラツキ以上の差異が見られ、特に28階において小さい。

この原因を明らかにするために、コンクリートの品質とコンクリートポンプの性能の面から考察する。まず、コンクリートの品質では、圧送前スランプと粗骨材吸水率の影響について考える。

圧送前スランプと管内圧力損失の関係が比較的明瞭に表されている20階での測定例を図-9に示す。これによるとスランプが1cm増加すると、管内圧力損失は水平管・垂直管とも約0.02kg/cm²低下する。しかし、この値は図-8に示される各打設階間にによる差異よりも小さいことと平均値としてのスランプが1cm異なることは考えにくいため、図-8において圧送前スランプの影響は少ないものと言える。

圧送前スランプが20~21cmの場合における粗骨材吸水率と管内圧力損失の関係を図-10に示す。これによると粗骨材吸水率が増加するにともない管内圧力損失は低下する傾向がある。しかし、28階では19階より粗骨材吸水率が高いにもかかわらず、管内圧力損失は低下している。この原因については、他の要因を考える必要がある。

コンクリートポンプは、表-4に示した3機種を使用したが、これらの大きな違いは最大理論吐出圧力とともに吐出弁の形式である。それぞれのコンクリートポンプを使用した場合の実吐出量と容積効率の関係を図-11に示す。28階で使用した管弁形式のC機種は、他の2機種に比べてセメントベースト分の漏れが少ないとされている。一方、容積効率が低く、コンクリートシリンダー内に水や空気を大量に吸入すると、これが管壁のセメントペースト分を減少させるため、管面との摩擦抵抗が大きくななる

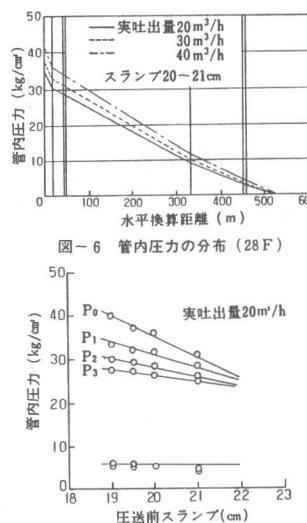


図-6 管内圧力の分布(28F)

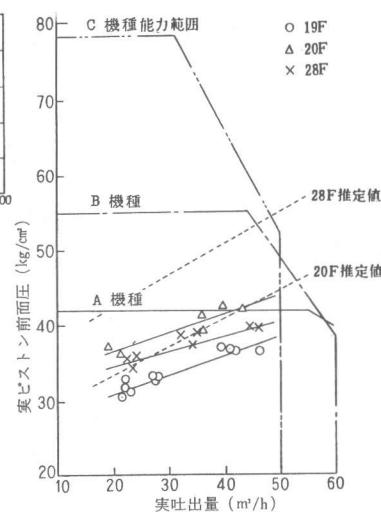


図-5 実吐出量と実ピストン前面圧の関係
(スランプ20~21cmの場合)

図-7 圧送前スランプと管内圧力の関係
(20F)

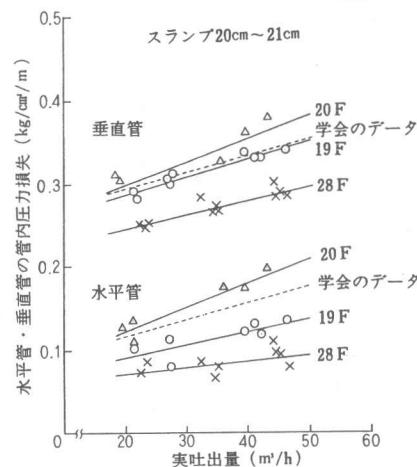


図-8 実吐出量と管内圧力損失の関係

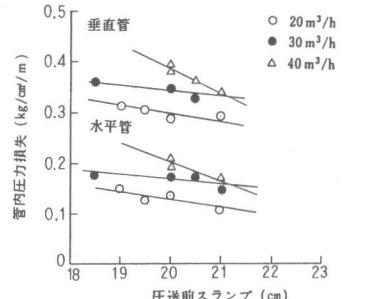


図-9 圧送前スランプと管内圧力損失の関係(20F)

とも言われている。したがって、管内圧力損失が小さくなる原因の一つとして、管弁形式による容積効率の向上が考えられる。

以上のことから、28階の管内圧力損失や実ピストン前面圧が19階、20階より小さくなつた原因是、粗骨材吸水率とともにコンクリートポンプの機種による違いである可能性が高い。また、これらの影響の程度は、図-12の概念図で表わすことができる。

b. ベンド管

1階立上がり部に設置した曲率半径1mの座付きベンド管の管内圧力損失と実吐出量との関係を図-13に示す。これに関するばらツキが大きく、一定の値を得ることが難しい。前記指針では、ベンド管の管内圧力損失を水平管の3倍に換算することにしており、その値も図中に示した。

4.まとめ

① スランプおよびフローは、圧送前後でそれぞれ平均

1.8cmおよび3.3cm低下した。これらの低下は、圧送前のスランプやフローが小さい程、吐出圧力が高いほど大きい傾向にあった。また、これらの要因により、圧送後のバラツキは大きかった。

② 管内圧力損失の測定値はバラツキが小さいものの、各打設階での平均値にはそのバラツキ以上の差異が見られた。その中で、19階、20階打設時の管内圧力損失は、前記指針のデータと近似したが、28階打設時には前記データより0.03～0.08kg/cm²/m小さい値を示した。これらの差異が生じた原因としては、粗骨材吸水率とともにコンクリートポンプの機種（主として弁形式）による違いである可能性が高い。この他、管内圧力損失については、圧送前スランプや実吐出量が大きく影響することを再確認した。

謝辞

御指導いただいた明治大学向井教授、篠日建設設計の方々および御協力いただいた関係諸氏に対し、深く感謝の意を表します。

<参考文献>

- 1) 烏田、森永他：コンクリートポンプの管内圧送性に関する研究、日本建築学会論文報告集、1978.11.12
- 2) 山根、嵩、佐久田他：コンクリートポンプの圧送負荷の算定、竹中技術研究報告、vol.19、1978.4
- 3) 佐久田、嵩、山根：軽量コンクリートの高所圧送実験、日本建築学会大会梗概集、1972
- 4) 西野、田中：新都心6番目の超高層新宿野村ビルの施工、施工、1979.3
- 5) 柿崎・原田他：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、第1回コンクリート工学年次講演会講演論文集、1979
- 6) 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

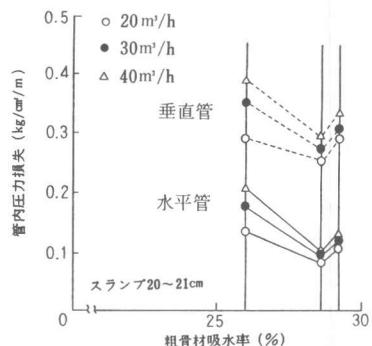


図-10 粗骨材吸水率と管内圧力損失の関係(20F)

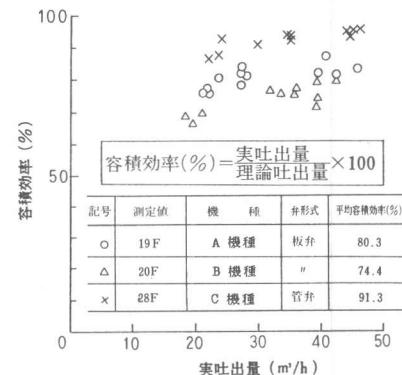


図-11 実吐出量と容積効率の関係

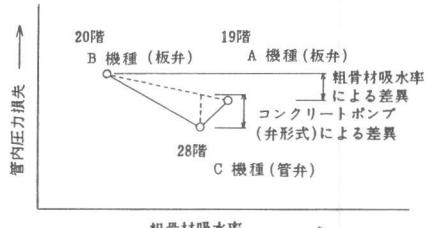


図-12 粗骨材吸水率・コンクリートポンプと管内圧力損失の関係(概念図)

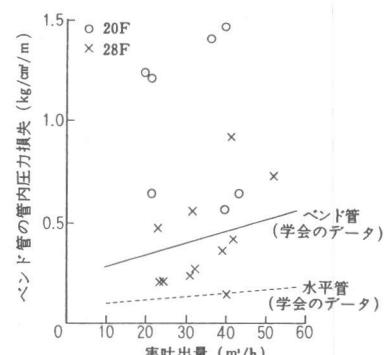


図-13 実吐出量とベンド管の管内圧力損失との関係(1F立上り部のR=1.0mの座付ベント管)