

正会員 〇和美 広喜(鹿島建設技研)
 同 柿崎 正義(同上)
 同 柚原 治美(住友金属鉱山)

I はじめに

最近の建築工事における現場内のコンクリートの運搬手段は、極一部の建物を除いて、ほとんどがコンクリートポンプ工法によっている。これとともに、コンクリートポンプ工法に関する研究も多くあり、普通コンクリートや軟練りの軽量コンクリートの場合には、圧送圧力や圧送によるコンクリートの特性について実験的、理論的に検討され、かなりの精度で圧送限界を推定することが可能となっている。

しかし、近年、軟練りコンクリートの弊害を少なくするため、単位水量の少ない軽量コンクリートの施工が要求されており、種々実験検討され、実施例もあるが、尚々よく品質変化などに関する問題も多い。

また、最近では、これらの問題を解決するため、流動化軽量コンクリートの圧送実験研究も行なわれているが、まだ実際の現場への適用例も少ないようである。

従って、本研究は、通常使用されている軽量コンクリート(以下標準コンクリートという)と流動化軽量コンクリート(以下流動化コンクリートという)の水平圧送実験により、圧送性および圧送によるコンクリートの品質について検討し、単位水量の少ない軽量コンクリートのポンプ圧送の可能性を究明するものである。

II 実験概要

1. 実験内容

コンクリートポンプの圧送計画に必要な管内圧力損失および圧送によるコンクリートの品質を知る目的で

表-1 実験要因

コンクリートの種類	混和剤の種類	計画スランプ(cm)	計画吐出量(m ³ /h)
標準	AE剤	16	20
	AE減水剤	19	30
流動化	ベースAE剤	ベース	40
		流動化	18
	流動化剤	15	21
		18	50

表-1に示す実験要因により、水平圧送実験を行った。

2. コンクリートポンプおよび配管

図-1に実験用配管を示す。配管は、58径であり、水平直管部分を100mとし、25m間隔で5本の管内圧力検出管を配置した。

コンクリートポンプは、横形単動、複列油圧ピストン式であり、最大設計吐出量65m³/h、最大吐出圧力55.2kg/cm²、コンクリートシリンダ径195mmのものである。

3. コンクリートの調合

表-2にコンクリートの計画調合を示す。調合は、造粒形人工軽量骨材を用いた1種軽量コンクリートである。混和剤はアニオン系AE剤、陰イオン系AE減水剤および非空気連行性ナフタリン系流動化剤を使用した。

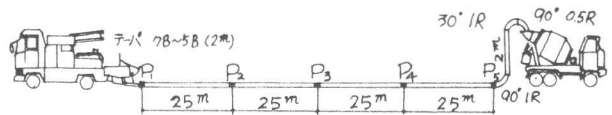


図-1 実験用配管

表-2 コンクリートの調合

コンクリートの種類	計画スランプ(cm)	水セメント比(%)	細骨材率(%)	単位水量(kg/m ³)	容積(%)			重量(%)			混和剤量(L)
					セメント	砂	砂利	セメント	砂	砂利	
標準	22	56.5	55.8	199	111	365	290	352	953	452	
	19	56.5	55.8	191	107	372	295	338	971	460	0.025
	16	56.5	55.8	179	100	383	303	317	1000	473	
標準	22	57.0	53.8	191	106	359	309	335	937	482	
	19	57.0	53.8	183	102	366	314	321	955	490	0.20
	16	57.0	53.8	172	96	375	322	302	979	502	
流動化	18*	56.5	55.8	188	105	375	297	333	979	463	AE剤 0.025
	15*	56.5	55.8	175	98	386	306	310	1007	477	流動化剤 0.4
	12*	56.5	55.8	172	96	389	308	304	1015	480	

* ベースコンクリートのスランプ

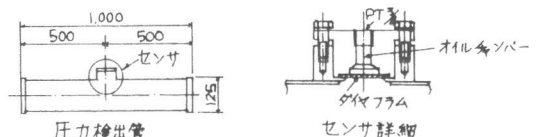


図-2 管内圧力検出管

4. 測定項目および測定方法

(1) 管内圧力

管内圧力は、図-2に示すように、ゴム製のダイヤフラムを介してオイルチャンバー内に伝達された油圧を圧力変換器で検出した。

(2) 実質吐出量

実質吐出量は、ピストンストローク数を測定し、それに容積効率を考慮して求めた。容積効率は、生コン車1台分のコンクリート(5.5m³)を圧送するに要するピストンストローク数を測定して求めた。

(3) ピストン前面圧

ピストン前面圧は、油圧シリンダーとコンクリートシリンダーの断面積の比、突刺した主油圧および無負荷時の油圧より算出した。

(4) 圧送前後のコンクリートの試験

管内圧力測定時と平行して、スランプ、フロー、空気量、単位容積重量、粗骨材の吸水率の試験と圧縮強度用の供試体を採取した。

III 実験結果および考察

表-3に本実験結果を総括して示す

1. ポンプ圧送性

(1) 管内圧力波形

今回の実験では、図-3に示すように、ピストンのストロークの開始時に最大圧力を示すもの(a)、ピストンが押し始めると徐々に管内圧力が上昇しピストンのストロークの終了時に最大圧力を示すもの(b)とがある。前者の傾向は、AE剤標準コンクリートと流動化コンクリートでかつ吐出量が多い場合に表われ、後者の傾向は、AE減水剤標準コンクリートの場合に表われた。

これは、粗骨材の圧力吸水およびコンクリートの空気量の影響によるものと思われる。一般的に骨材の圧

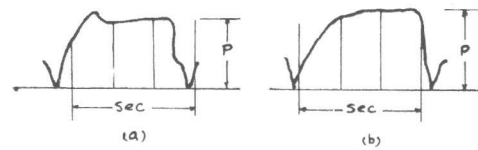


図-3 管内圧力波形

表-3 実験結果

コンクリートの種類	No.	計画スラップ(cm)	計画吐出量(%)	実質吐出量(%)	ピストン前面圧(kg/cm ²)	管内圧力(kg/cm ²)					スラップ(cm)		フロー(cm)		空気量(%)		単重(t/m ³)		粗骨材吸水率(%)		圧縮強度(kg/cm ²)									
						P ₁	P ₂	P ₃	P ₄	P ₅	圧送前	圧送後	圧送前	圧送後	圧送前	圧送後	圧送前	圧送後	圧送前	圧送後	圧送前	圧送後	7日	28日	7日	28日				
AE剤	1	20	20.1	9.8	7.3	4.3				0.3	23.6	23.2	48.0	48.5	3.7	2.6	1978	1978												
	2	30	30.5	11.1	9.3	6.0	4.0	2.0	0.4		21.5		38.0																	
	3	40	40.2	12.5	11.2	7.6	5.1	2.7	0.5		22.3		41.0			2.6		1908	25.8	26.1	25.1	31.4	198	278						
	4	50	51.2	14.1	13.0	8.5	5.6	3.2	0.6		22.3		41.5																	
	5	20	19.4	9.8	8.4	5.1	3.3	1.3	0.2	20.6	21.2	35.5	40.0	2.6	2.6	1931	1906													
	6	30	30.0	13.2	11.7	8.5	5.6	2.2	0.6		19.6		38.0																	
	7	40	39.5	16.4	14.6	10.5	6.8	2.9	0.7		20.4		40.6			2.4		1920	25.6	25.8	23.7	28.5	20.9	286						
	8	50	49.0	19.4	17.3	12.8	8.0		0.8		18.6		34.0																	
	9	20	19.0	13.0	10.4	7.0	4.1		0.2	14.0	14.7	28.0	28.5	3.2	3.2	1945	1952													
	10	30	28.4	17.0	14.3	10.3	6.6		0.4		10.0		24.0																	
	11	40	38.8	19.9	17.3	12.9	8.0	2.7	0.6		9.2		23.0			3.5		1928	26.5	26.4	23.7	29.6	21.4	284						
	12	50	49.0	23.4	21.6	15.6	9.5	3.4	0.9		7.1		22.0																	
AE減水剤	13	20	19.8	8.2	7.7	4.7	2.8	1.2	0.2	22.0	21.6	38.0	41.0	4.9	4.8	1891	1903													
	14	30	29.8	13.0	11.8	8.1	4.9	2.5	0.3		20.0		35.0																	
	15	40	40.2	16.7	14.8	10.7	6.6	3.7	0.5		19.6		34.0			4.2		1889	25.3	25.6			200	275						
	16	50	49.0	19.2	17.4	12.3	7.2	4.1	0.6		19.4		33.5																	
	17	20	19.0	12.2	9.7	6.2	3.8	1.6	0.2	20.0	17.8	34.0	30.0	5.2	3.4	1892	1917													
	18	30	28.4	16.8	14.7	10.3	6.2	2.7	0.4		13.0		26.0																	
	19	40	38.8	21.0	18.4	13.5	8.3	3.9	0.5		13.5		26.5			5.1		1869	26.1	26.3			204	234						
	20	50	48.1	23.4	21.0	14.8	9.3	4.4	0.6		12.2		25.5																	
	21	20	18.0	18.3	12.3	7.8	4.5	1.8	0.2	15.3	12.2	28.0	25.5	6.6	4.8	1862	1883													
	22	30	27.1	22.4	17.7	12.9	7.7	2.8	0.3		9.5		23.0																	
	23	40	37.0	26.1	20.9	15.6	8.9	3.6	0.5		8.3		22.0			3.5		1881	25.7	26.0			182	238						
	24	50	46.0	30.1	25.5	18.4	11.2	4.6	0.6		8.2		22.0																	
流動化	25	20	19.6	7.7	6.4	4.2	2.6	1.4	0.2	24.5	22.0	49.0	38.0	1.8	1.5	1928	1945													
	26	30	29.8	9.8	9.4	6.3	4.1	2.3	0.3	19.5	22.2	34.5	41.0	2.7																
	27	40	39.5	13.3	12.3	8.8	5.6	3.1	0.5		21.1		40.0			1.3		1956	25.3	25.9			223	305						
	28	50	49.0	15.4	14.8	10.6	6.6	3.9	0.7		21.5		40.5																	
	29	20	19.4	11.2	9.5	6.1	3.6	1.8	0.2	21.7	12.6	37.0	26.5	3.2	1.4	1940	1973													
	30	30	28.9	14.4	12.4	9.2	5.6	2.8	0.4	14.3	9.8	27.0	23.0	3.7																
	31	40	39.5	18.6	16.1	12.0	7.9	3.9	0.6		9.1		22.5			2.2		1945	25.9	26.7			204	262						
	32	50	46.9	20.8	19.2	13.9	8.4	4.7	0.7		9.5		23.0																	
	33	20	17.4	16.7	10.7	7.2	3.9	1.9	0.2	14.1	8.1	27.5	22.0	3.6	2.1	1931	1908													
	34	30	27.8	17.8	14.5	10.3	6.3	2.9	0.4	10.1	7.6	23.0	21.0	4.0																
	35	40	37.7	23.9	20.0	14.7	8.7	3.7	0.4		7.2		21.0			2.7		1945	26.2	26.5			218	281						
	36	50	46.0	28.8	23.8	19.2	12.1	6.3	0.8		6.8		21.0																	

*ベースコンクリートのスランプを示す。

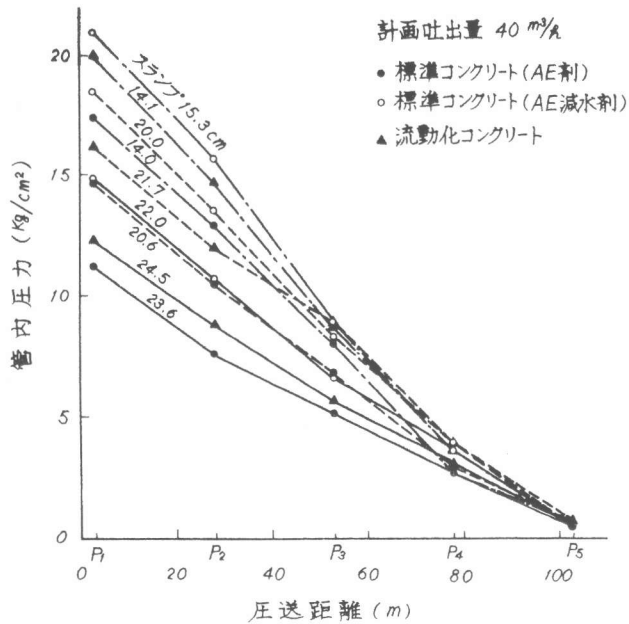


図-4 圧送距離と管内圧力の関係

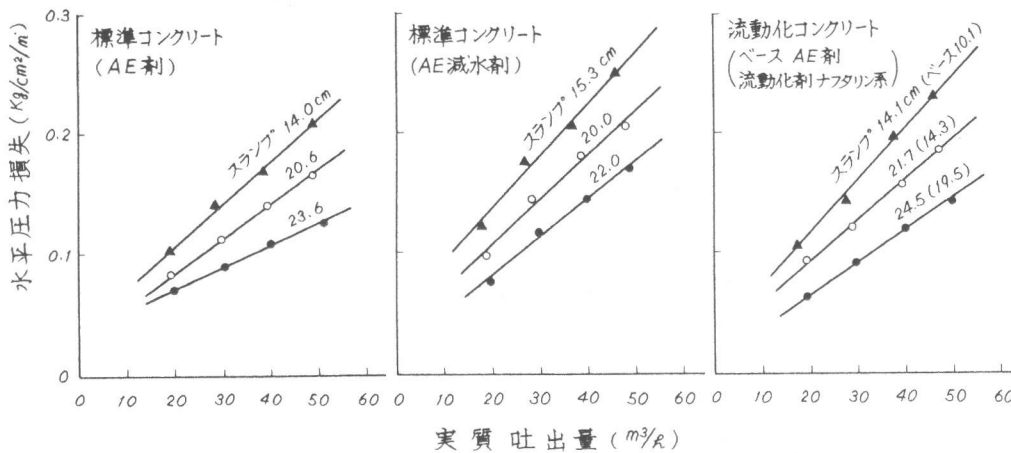


図-5 実質吐出量と水平圧力損失の関係

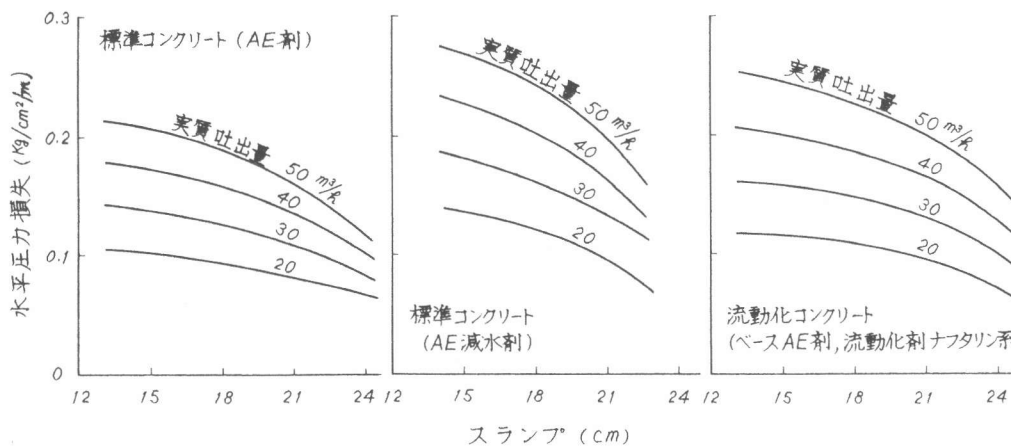


図-6 スランプと水平圧力損失の関係

力吸水および空気量の多いコンクリートほど圧縮性³⁾に富み圧力の急激な変化がないが、今回の場合は、粗骨材の吸水率がほぼ一定である⁴⁾ので、空気量の多少によらず圧力波形が異なつたものと思われる。

(2) 圧力損失

図-4の圧送距離と管内圧力の関係の一例を示す。

管内圧力の勾配は、既往の研究³⁾⁴⁾では、ポンプの根元³⁾⁴⁾に近いほど大きい傾向を示していたが、今回の実験ではそれほど顕著ではなく、ほぼ普通コンクリートの管内圧力分布³⁾と同じような傾向を示した。これは、今回用いた粗骨材の吸水率が25.3~26.5であり、既往の実験よりも著しく大きかったことによるものと思われる。

従つて、直管1m当りの圧力損失は、 P_1 と P_2 の圧力差をその区間の距離(100m)で除して求めたも実用的な範囲ではさしつかえないものと考えられる。

このようにして求めた実質吐出量と圧力損失の関係を図-5に示す。また、図-5をもとにして、各実質吐出量別にスランプと圧力損失の関係を示すと図-6のとおりである。

圧力損失は、実質吐出量の増加に伴い直線的に大きくなり、スランプが大きくなるほど小さくなる。AE減水剤標準コンクリートの圧力損失は、AE剤標準コンクリートよりも20~30%程度大きく、その傾向は低スランプになるほど顕著である。流動化コンクリートの圧力損失は、スランプ24cmの場合ベースコンクリート(スランプ18cm)よりも20~30%程度小さくなるが、スランプ21cmの場合ベースコンクリート(スランプ15cm)とほぼ同程度である。従つて、ポンプ圧送性の改善を目的として

流動化コンクリートを採用する場合には、流動化後のスランプを21cm以上にしなければ効果がない。また、流動化コンクリートの圧力損失は、同一スランプのAE剤標準コンクリートより20%程度大きく、AE減水剤

標準コンクリートに対しても、スランプ21cmと同程度、スランプ18cmが約10%小さくなる。

2. 圧送によるコンクリートの品質

(1) スランプ

図-7のピストン前面圧とスランプ低下の関係を示す。

圧送によるスランプ低下は、ピストン前面圧が高くなるに従って、大きくなり、既往の実験結果⁴⁾と同傾向を示した。また、コンクリートの種類によってもスランプ低下の程度が異なり、ほぼAE剤、AE減水剤、流動化コンクリートの順にスランプ低下が大きくなる。

流動化コンクリートの場合には、圧送後のスランプがベースコンクリートよりも小さくなるものもある。

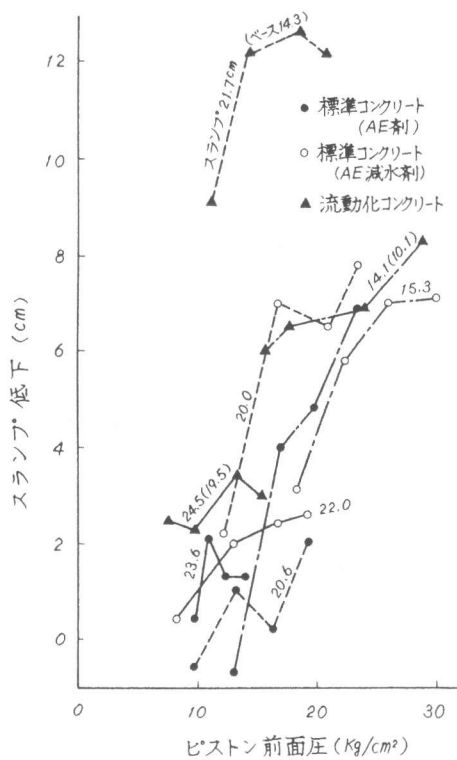


図-7 ピストン前面圧とスランプ低下の関係

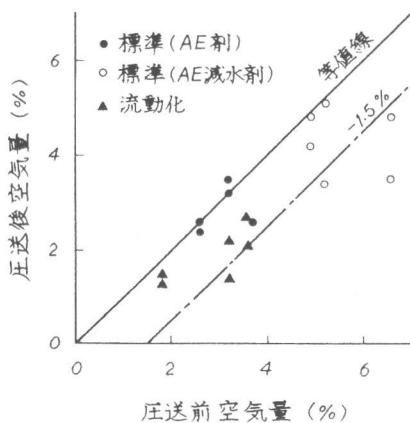


図-8 圧送前後の空気量の変化

しかし、この原因については、ベースコンクリートの単位水量が少ないことも考えられるが、単にこれだけでは説明できないように思われる。また、一般的に圧送前のスランプが小さいほど、スランプ低下が大きいといわれているが、今回の実験からは必ずしもそのようなことはいえない。

(2) 空気量および単位容積重量

図-8に圧送前後の空気量の変化を示す。圧送後の空気量は、圧送前よりも全般的に低下の傾向を示し、その傾向は、AE減水剤および流動化コンクリートが顕著である。

圧送後の単位容積重量は、圧送前のほぼ±30kg/m³程度の範囲にある。

(3) 圧縮強度

AE剤標準コンクリートの圧送後の圧縮強度は、圧送前に対しても、材令7日で11~27%、材令28日で0~4%の低下を示した。

IV むすび

軽量コンクリートのポンプ圧送性および圧送によるコンクリートの品質は、混和剤の種類、調合(特に単位水量の多少)によって複雑に変化する。今回の実験において、圧送性に関しては、これらの影響についてはある程度明らかとなったが、圧送によるコンクリートの品質に関しては、不十分な点が多くあり、今後更に検討を進める予定である。

なお、今回の実験にあたっては、千葉東協生コン(株)高橋氏、住友金属鉱山(株)道下氏、中村氏、石川長播磨重工業(株)辺見氏、花王石鹼(株)杉原氏、鹿島建設(株)技術研究所 原田氏、西田氏、青木氏の御協力を得た。ここに謝意を表します。

参考文献

- 1) 毛見虎雄; コンクリートポンプ工法 彰国社1977
- 2) 森永繁他; コンクリートポンプの管内圧送圧に関する研究, その1, その2 建築学会論文報告集 177, 178号 1970, 11, 12
- 3) 嵩英雄他; コンクリートポンプによる軽量コンクリートの水平圧送に関する研究 建築学会学術講演会梗概集 1973. 10
- 4) 和義広喜他; 低スランプ人工軽量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 1974. 6
- 5) 嵩英雄他; 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性に関する実験, その1, その2 建築学会学術講演会梗概集 1978. 9