

人工軽量骨材コンクリートのポンプ圧送について

——低スランプ軽量コンクリートに関連して——

高橋久雄
永井康淑

Study on Pumping of Artificial Lightweight Aggregate Concrete

——In Relation to Low Slump Concrete——

Hisao Takahashi
Yasuyoshi Nagai

Abstract

The pumpability of low-slump artificial lightweight aggregate concrete (slump 10~15 cm) was studied using a newly developed concrete pump. As a result of testing, it was concluded that lightweight concrete of slump of 10 to 15 cm is pumpable to a satisfactory degree in a horizontal pipeline up to 180 m in length. After testing the capacity of the new concrete pump, a volume of 3,600 m³ of concrete was pumped on an actual job. There is little change in concrete quality if there has been sufficient water absorption by the lightweight aggregate. It is important to control water absorption of aggregate, fineness modulus of fine aggregate and stability of slump.

概 要

低スランプ(10~15cm)の人工軽量骨材コンクリートをポンプ圧送するための定置式コンクリートポンプを試作した。本報告はこのコンクリートポンプを使用して性能試験および工事現場での実用の際に行ったコンクリートの試験結果を示した。その結果所要スランプ15cmのコンクリートを3600m³打設する実績を得ると共に低スランプコンクリートの圧送に対し明るい見通しを得た。しかし、コンクリートの品質管理(例えば軽量骨材の適正吸水量確保、細骨材のFM管理、安定したスランプ管理)あるいは低スランプコンクリートの工事計画、の重要性を痛感した。まだ固まらないコンクリートの品質変化(スランプ、空気量)は高スランプのものに比べ大きい粗骨材の吸水率を大きくすることによって変化を少なくすることができた。その他、軽量コンクリートのポンプ圧送性に影響を与えている主なものについて論じている。

1. まえがき

高層ビルを鉄骨造とする場合、床スラブのみにコンクリートを使用する工法が近年多く採用されている。このスラブ用コンクリートとして軽量骨材を使用し、低スランプによる打込みが、性能向上に有効であるため多く用いられている。この場合、工事現場内のコンクリート運搬で垂直部はコンクリートエレベーター、水平部はコンクリートポンプ、が省力化になるので採用されている。しかし、低スランプ(10~15cm)の軽量コンクリートをポンプ圧送するには解決しなければならないいろいろな問題がある。

当社では低スランプの軽量コンクリート(第1, 2種)のポンプ圧送試験¹⁾を行ってきた。その試験結果に基づき、定置式コンクリートポンプDC-60Mを共

同試作し、性能試験ならびに実施工事におけるコンクリートの品質試験を行った。

当報告書はそれらの試験のうち主にコンクリートの品質変化と低スランプの軽量コンクリートをポンプ圧送するのに必要な事項について述べた。なお、当報告に関連してほかに作業分析調査²⁾、輸送管の管内圧力調査³⁾がある。

2. DC60Mの性能試験(A試験)

2.1. DC60M型コンクリートポンプの仕様

DC60Mは低スランプの軽量コンクリートを水平圧送するため開発した定置式コンクリートポンプである。当機の仕様は既報^{2),3)}したようにオイルポンプに負荷制限器を装備しており圧送が困難になった時、自動的に吐出量を減少させて圧送圧力を小さくする。更にシ

リンダーのストローク長およびオイルポンプ容量が可変（手動操作）になっているため同様に吐出量を減少して圧送圧力を下げ閉塞トラブルを少なくできるようにしている。また、工事現場内の小運搬を容易にするように5分割できる定置式とし、1ブロックの最大重量は1500kgである。

2.2. 圧送試験の計画

コンクリートの調合、輸送管の配管および試験内容は次のように計画した。

2.2.1. コンクリートの調合 コンクリートの調合は表-1に示す。

2.2.2. 輸送管の配管 輸送管の配管は図-1に示す。水平換算長さは建築学会の換算表⁴⁾を準用しそれぞれ101, 131, 167mである。

2.2.3. 試験の組合せおよび試験内容 試験の組合せおよび試験内容は表-2に示す。

2.3. DC60M性能試験の結果

所要スランプ10, 15cmに対し荷卸し地点でそれぞれ9.3~12.2, 14.5~17.4cmのコンクリートを圧送した。圧送によるコンクリートの品質変化は図-2および表-3に示した。スランプ、空気量のロス、空気量のロス、空気量のロスは既報¹⁾の試験結果とほぼ同量であった。スランプロスの程度は骨材の圧力吸水特性と大きな関係があり一概には云えないが、事前吸水量がある値以上に確保されていればスランプ10, 15cmの場合でそれぞれ2, 1cm（平均値）程度であった。圧送されたコンクリートの圧縮強度および割裂強度は圧送前のものに比し若干大きくなった。

試験に供したコンクリートの総量は32.5m³であったが、その間閉塞することなく試験を終了した。ピストン前面圧、管内圧力、等は既報¹⁾の結果とほぼ同程度であった（図-4, 7参照）。

3. DC60Mの現場応用

3.1. 工事前の準備圧送試験（B試験）

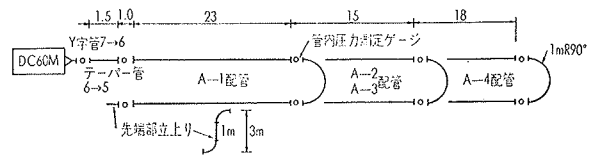
性能試験でほぼ満足すべき結果が得られたので実際の工事に適用した。ここで報告するものはそのうちの

試験	所要スランプ (%)	所要空気量 (%)	W/C (%)	S/a (%)	単水量 (kg/cm ³)	セメント (kg/cm ³)	細骨材 (kg/cm ³)	粗骨材 (kg/m ³)	備考
A	15	5	57.1	48.5	183	320	840	452	宇部軽骨
	10	5	54.0	48.0	173	320	842	464	
B	15	5	58.1	48.1	186	320	829	551	宇部軽骨 B,C試験
C	15	5	56.5	48.0	181	320	843	540	ニチライ C試験

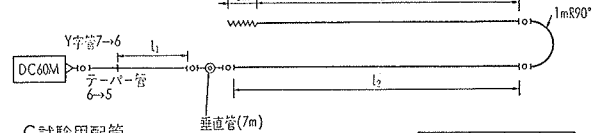
コンクリート仕様：第1種軽量コンクリート、 $\rho = 1.81/m^3$
 宇部軽骨 FM=6.49(A), 6.41(B,C), ニチライ FM=6.55
 細骨材 FM=2.70(A), 2.71(B,C-宇部), 2.65(C-ニチライ)
 表乾比重 2.56(A), 2.56(B,C-宇部), 2.57(C-ニチライ)

表-1 コンクリートの調合

A試験用配管(水平配管のみ)



B試験用配管(垂直管7m+水平管)



C試験用配管

DC60Mより垂直管頂部まではB-2配管と同じ
 それ以後は打設箇所の実状によって若干異なるが圧送長さはB-2とほぼ同じ

試験名称	l ₁	l ₂	l ₃
B-1	3	50	45
B-2	10	47	42
B-3,4	25	41	36

図-1 輸送管の配管(5インチ管使用)

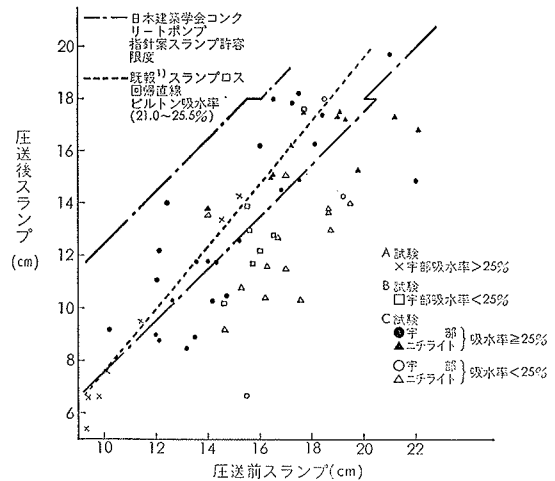


図-2 圧送前後のスランプ変化

所要スランプ	水平換算長さ(m)	圧送量(m ³)	試験項目			備考
			コンクリートポンプ	練上りコンクリート	硬化コンクリート	
10	101	11	ポンプゲージ圧 ポンプストローク コンクリート吐出量 油温 アジテーター油圧、回転 圧送圧力	スランプ、フロー 空気量 単位容重 コンクリート温度 粗骨材吸水量	圧縮強度 割裂強度	天候 晴時々 くもり 気温 9.5~ 15.0°C
15	131	6.5	30m地点騒音 振動 45KW電動機の諸データ			天候 晴時々 くもり 気温 7.5~ 9.2°C
15	167	7				

表-2 試験の組合せ(A試験)

試験名称	スランプロス (cm)	空気量ロス (%)	単位容重増減 (kg/m ³)	圧縮強度増減 (kg/cm ²)	割裂強度増減 (kg/cm ²)
A試験	0.4~4.9 (2.9)	0.1~3.0 (1.8)	0~40 (16)	-1~26 (12)	0.4~2.4 (1.3)
B試験	1.1~6.6 (1.9)	0.3~1.9 (1.2)	5~47 (22)	-2~46 (20)	0.9~4.7 (2.8)
C試験	0~5.8 (3.0)	0.1~2.3 (1.1)	0~49 (20)	-23~33 (2)	-

()内は平均値

表-3 圧送コンクリートの品質変化

準備圧送試験で当工事に於ける配管型式と同一である。

3.1.1. コンクリートの調査 コンクリートの調査は当工事と同じで表-1に示した。

3.1.2. 輸送管の配管 配管は図-1に示したように垂直管7mを含んでいるのがこれまでの試験と変わったところである。また、垂直管とコンクリートポンプY字管との間隔を3種類に変えて圧送圧力の変化を調査した。この場合輸送管の全長はすべて同一とした。

3.1.3. 試験の組合せおよび試験内容 試験の組合せおよび試験内容は表-4に示す。

3.1.4. 準備圧送試験の結果 所要スランブ15cmに対し荷卸し地点でのスランブ14.6~17.7cmのコンクリートは圧送によって図-2および表-3に示すように品質変化した。圧送によるコンクリートの品質変化は性能試験(A試験)の結果とほぼ同じであったがスランブ変化のみは大きかった。原因の一つには粗骨材の事前吸水量がA試験で平均27.5%あったのに対し22.9%と少なかったことがあげられる。

垂直管とポンプY字管との距離が3, 10, 25mに変化した時のピストン前面圧は10mの場合が小さくその他では若干大きくなった。垂直管は7m程度あっても圧送圧力の増大にはあまり寄与しないと思われる。空気量を減少させたものは圧送量、試験回数が少なかったため明白な結果を得ていない。準備圧送試験を行なった結果DC60M型コンクリートポンプを本工事に使用しても支障ないことが確認できた。

3.2. 実際のコンクリート圧送工事への適用(C試験)

適用対称の工事現場および圧送工事の概要は次の通りである。

建物規模：鉄骨造2階建、建築面積2.5万m²

工 期：昭和49年3月~8月(コンクリートのみ)

打 設 量：3600m³ (2階床スラブのみ)、27ブロック 100~150m³/ブロック

圧送長さ：140~180m (水平換算長さ⁴⁾)

配管型式はB試験とほぼ同じ

調 合：表-1に示す

圧送工事に伴いコンクリートを採取して品質試験を行った。その内訳は表-5に示す。

3.2.1. 圧送工事の経過 軽量粗骨材の事前吸水量を図-3に示した。工事初期は吸水量が少なかったことあるいは低スランブコンクリートに不馴れなことであってスムーズに圧送作業が進まないこともあった。しかし次第に順調な圧送作業が行えるようになり全工程の平均圧送量は25.5m³/hr になった。荷卸し地点のコンクリートスランブは平均16.4cm (σ=3.4cm, n=58)であった。所要スランブ15cmの当工事では床

仕上げを直下おさえ(モノリシック)工法としたがほぼ日没までに全作業を終了しており低スランブコンクリートの特性は分離しにくいことなどのほかにここにも生かされた。

3.2.2. コンクリートの品質変化 圧送によるコンクリートの品質変化を図-2および表-3に示す。一般的には高スランブ(22~23cm)コンクリートに見られるスランブロスより大きい変化を示している。この傾向は空気量についても云えるが単位容重の変化はさほどなかった。

3.2.3. 低スランブコンクリート圧送工事の結果

圧送されたコンクリートの品質変化(スランブ, 空気量)は高スランブのものに比し大きくなるが、強度の変化はあまりなかった。所要スランブ15cmの実工事現場で3600m³の圧送工事を消化したが本工法に対し明るい見通しを得た。しかし、荷卸し地点に於けるス

垂直管とポンプ間距離(m)	空気量 (%)	圧送量 (m ³)	試 験 項 目			備 考
			コンクリートポンプ	練上りコンクリート	硬化コンクリート	
3	5	9	ポンプゲージ圧 ポンプストローク コンクリート吐出量	スランブ, フロー 空気量 単位容重 コンクリート温度	圧縮強度 割裂強度	天気 晴 気温 11°C 天候 快晴
10	5	9	油 温 アジテーター油圧, 回転 圧送圧力	コンクリート温度 粗骨材吸水量		
25	5	9	45KW電動機の諸ア ーター			
25	空気量を半減したもの	4.5				

表-4 試験の組合せ(B試験)

回数	日 時	打設量 (m ³)	粗骨材銘柄	試 験 項 目			コンクリート品質試験
				ポンプ	コンクリート品質	ポンプ稼働	
1	4:8	145	宇部	-	○	-	コンクリート品質試験 スランブ, フロー 空気量, 単位容重 粗骨材吸水量 コンクリート温度, 圧縮強度
2	4:26	153	"	-	○	○	
3	5:10	114	ニチライト	-	○	○	
4	6:14	110	"	-	○	○	
5	7:10	111	"	-	○	○	
6	7:11	156	宇部	-	○	○	
7	7:27	152	ニチライト	-	○	○	
8	8:27	275	宇部	○	○	-	

表-5 品質試験の日程(C試験)

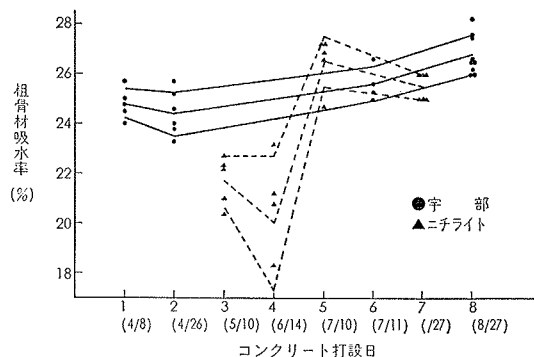


図-3 事前吸水量の変化(C試験)

ランプのパラツキは高ランプのものより大きく、品質変化の少ない安定した低ランプコンクリートを製造することが必要である。また、圧送時に品質変化の少ないコンクリートあるいは低ランプコンクリートの施工方法、など今後とも研究調査が必要である。

4. 低ランプ軽量コンクリート圧送のまとめ

一般に圧送が困難になるのは次の原因による場合が考えられる。

- ① 軽量骨材の圧力吸水が大きい
- ② 圧送距離が長い
- ③ 低ランプのコンクリート
- ④ 分離したコンクリート
- ⑤ 配管の配列が複雑なとき
- ⑥ コンシステンシーが不安定なとき
- ⑦ その他

ここではこれまでの一連の圧送試験（文献1）、2）、3）および当報告）を通じて得た知識のうち、軽量コンクリートがポンプ圧送を困難にしている問題について考え、その主なものの対策を論じる。

4.1. 軽量骨材の事前吸水量と吸放水性状

軽量コンクリートの圧送性に最も強い影響を与えるのが軽量骨材の加圧・減圧時の吸放水現象である。この現象は骨材内部の気泡組織によって変化するため銘柄あるいは造粒・非造粒タイプによって異なる（図一5⁵⁾）。圧力吸水の少ない骨材はそれだけコンクリートの品質変化に与える影響も少ないので生コン発注に際しては骨材の特性をよく認識し適正な事前吸水量の確保に努めねばならない。事前吸水量が充分であれば最大圧送量が得られ（図一6）、圧送前ランプの高低はさほど影響しないと云うデータもある。また、圧力解除後に放出される水はコンクリート中の骨材とモルタルの付着力を減じ、ひいてはコンクリートの強度を減じることもあるので繰り返しが必要である。

4.2. 軽量コンクリートの管内圧力

軽量コンクリートは普通（川砂利、碎石）コンクリ

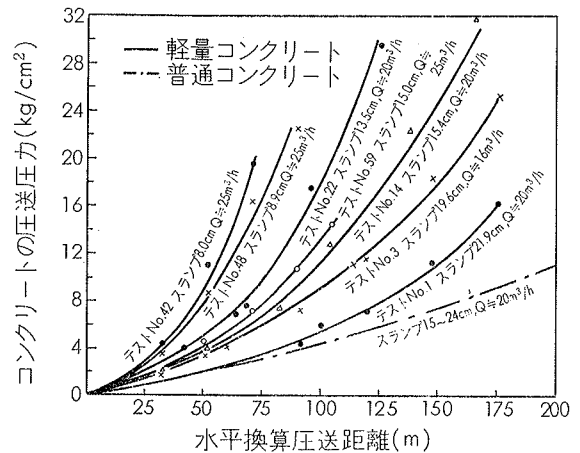
ートに比べ圧送性が劣る。これは軽量コンクリートが圧縮性を有しているため圧送時の脈動に位相差を生じ、また配管根元に於て圧力損失が急増しているためで骨材内部の気泡が影響している。輸送管の各点で管内圧力を計測したのが図一4³⁾である。普通コンクリートの圧力は漸増しているのに対し軽量コンクリートは特に配管根元で急増している。従って実工事中では配管根元部（Y字管、テーパ管、根元近傍での曲管、etc.）に於いて圧力を急増させない対策が必要である。

4.3. コンシステンシーと圧送圧力

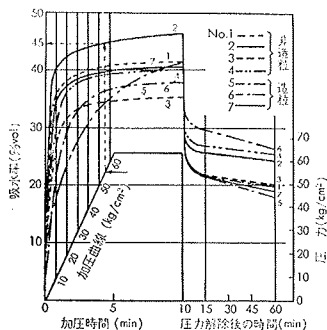
圧送性はコンクリートと管壁の粘着力および流速の影響を受ける。コンシステンシーの良好なコンクリートは圧送圧力が小さく低ランプになるほど圧送圧力は大きくなる。圧送距離が長くなった場合も同様である（図一4）。圧送量を増すためにポンプの回転数を上げた場合も圧送圧力は大きくなる（図一7¹⁾。一般に直管を流動するコンクリートは固体粒⁶⁾と考えられるがテーパ管、曲管では更にコンクリートの内部摩擦抵抗に抗する力が必要になって管内圧力は一層大きくなる。

4.4. 軽量コンクリートポンプ圧送のチェックリスト

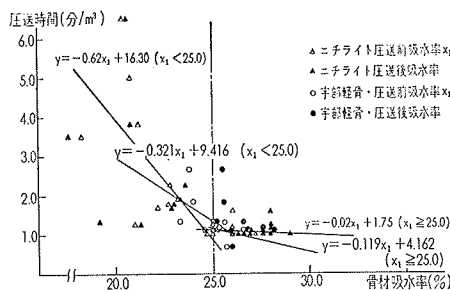
軽量コンクリートをポンプ圧送する際に必要なチェックリストを表一6に掲げた。低ランプのコンクリ



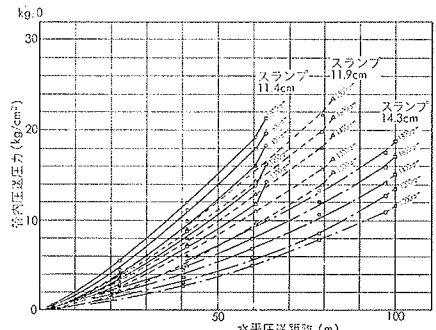
図一4 コンクリートの管内圧力³⁾



図一5 軽量粗骨材の吸水特性⁵⁾



図一6 圧送時間と骨材吸水率²⁾



図一7 ポンプ回転数と圧送圧力¹⁾

コンクリート打込み関係(1)		コンクリート打込み関係(2)		生コン関係		コンクリートポンプ関係													
項目	検討事項	項目	検討事項	項目	検討事項	項目	検討事項												
コンクリートの仕様・条件	ポンプ工法の採否 -コンクリート品質の重要視- ○ポンプ工法のみ ○ポンプ工法+中継ポンプ ○他の方法との併用 コンクリートエレベーター、バケット、コンベア、カート、etc. ○他の方法のみ	打設順序	配管経路との関連(打設したコンクリートへの影響を考慮)	レデーミクストコンクリート工場の選定	JIS表示工場、コンクリート技術者(例えばコンクリート主任技士、etc.)の常駐、運搬時間	ポンプ業者の決定	実績、保有台数、機種選択の自由度、優秀なおオペレーター												
		打設数量、速度	1回に打設する数量・速度は余裕をもって決定する。労働者数とのバランス	材料の受入れ検査	管理試験結果の提示を求めセメント、水、混和剤骨材(試験回数最低限度)粒 度 1回/日 表面水量 2回/日 比重、吸水量、有害物1回/月すりへり減量、安定性、採取地、原石が変更になったとき(レデーミクストコンクリート審査事項)	ポンプ機種	整備状況のチェック 性能には余裕をもたせる。(下向き配管、ブーム付ポンプ使用は圧送困難が多い)												
品質試験	試料採取(JIS A 1115) スランプ(JIS A 1101) 空気量(JIS A 1128, etc.) 温度(棒状暖時計) 軽量コンクリートの気乾比重(JIS A 1116, JASS5T-601) 圧縮強度(JASS5T-603) その他、試験専任者の確保 試験場所の選定(他作業の影響を受けない場所)	型枠強度	打設速度と側圧、片押し打設による型枠変形	検査結果の検討 製造設備	JASS 5, 3 材料の項参照 材料貯蔵設備、パッチングプラント、ミキサ、運搬車、計量、練りませ、品質管理などの状況調査(JIS A 5308)	ポンプの設置	圧送圧力を小さくできる配管経路にする。根管根元のテーパ管、曲管は注意 生コン車の場内動線との関連(2台横づけを原則)												
		労働者数	錫取り(均らし)、締めめに必要な人員は多めに配置。型枠大工、鉄筋工、設備工の合番	パイプレーター	コンクリートの硬軟、打設箇所によって必要台数と機種(棒径)は変える 電源チェック、整備は事前に必ず行なう	管 径	原則として5インチ使用												
荷卸し地点の品質(JASS 5)	指定スランプとの許容差 スランプ(cm) 許容差(cm) 8未満 ± 1.5 8以上18以下 ± 2.5 18をこえる ± 1.5 指定空気量との許容差 種類 許容差(%) 普通コンクリート ± 1.0 軽量コンクリート ± 1.5 軽量コンクリートの指定単位容重との許容差 ± 3.5% 圧縮強度については JIS A 5308 および JASS 5 参照	歩み板の設置	鉄筋乱れの防止 作業のしやすさ	割合の決定	試験練り、混和剤、輸送等のスランプロス(指定スランプの決定)	ポンプ車の整備	配車前にポンプの整備状況、稼働時間をチェックする												
		閉塞コンクリート	廃棄場所、手段の決定 廃棄容器の設置	配管計画 生コン車の動線	交通状況、打設量、運搬時間工場→工事現場(公害にならないよう配慮)、工事現場内(交通整理員の配置)	ポンプ故障	代替ポンプ、輸送管、フレキシブルホースの準備												
		トラブル時の処理	あらかじめトラブルを想定し連絡方法、処理方法を決めておく	打設当日の工場稼働状況	他現場納入コンクリートの調査(誤配達を防ぐ)	圧送時品質変化の限度(JASS 5)	スランプの差 (cm)												
		休憩時間のとり方	変更した場合は連絡もれないように	軽量骨材のプレウェッチング	23~25%以上確保		<table border="1"> <tr> <td>施工級別</td> <td>普通</td> <td>軽 量</td> <td>軽 量</td> </tr> <tr> <td>甲</td> <td>≤18</td> <td>>18</td> <td>≤18 >18</td> </tr> <tr> <td>乙</td> <td>2.0</td> <td>1.5</td> <td>2.5 2.0</td> </tr> </table>	施工級別	普通	軽 量	軽 量	甲	≤18	>18	≤18 >18	乙	2.0	1.5	2.5 2.0
施工級別	普通	軽 量	軽 量																
甲	≤18	>18	≤18 >18																
乙	2.0	1.5	2.5 2.0																
		清掃	打設箇所の整備、型枠内のくず処理、鉄筋コンカケ、サイコロのチェック	細骨材の粒度	JASS 5標準粒度曲線を満足すること。FM≒2.6~2.7, 0.3mmふるい通過率が15%以上のものを使用する		空気量の差 (%) 1.0 (甲、乙とも) 軽量コンクリートの単位容重の差 (%) 3.5 (甲のみ)												
		コンクリートの養生	型枠散水 コンクリート表面への事後散水																

表-6 コンクリートポンプ工法のチェックリスト

トの圧送は難易の差はあっても本質的には高スランプのものと変わらない。なお、表-6は主要事項に限定しているので更にJASS 5などの参照が望ましい。

謝辞

本調査を実施するに当り三菱重工業(株)造機部、宇部興産(株)セメント事業部の方々および大林組本店建築本部工務部、福岡支店工務部、西港町工事事務所はじめ多くの方々の御協力をいただいた。茲に明記して謝意を表する。

引用文献

- 1) 高橋、森、中根、永井：低スランプ人工軽量骨材コンクリートのポンプ圧送試験、大林組技研所報、No. 8 (1974)
- 2) 森、永井、汐川：低スランプ人工軽量骨材コンクリートのポンプ圧送性および打設作業分析調査、大林組技研所報、No. 11 (1975)
- 3) 大野、武崎：人工軽量骨材コンクリートのポンプ輸送、三菱重工技報、Vol. 12, No. 4 (1975-7)
- 4) 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(1972)

- 5) 坂田、山根、嵩、佐久田：高圧力下における人工軽量骨材の吸水性状に関する研究、日本建築学会東北大会号、昭和48年10月
- 6) 森水、成田、高木、高田、鳥田：コンクリートポンプの管内圧送圧に関する研究、清水建設研究所報、第16号、昭和45年10月

参考文献

- 1) 岸谷、林、守屋：人工軽量骨材の加圧吸水に関する実験研究、セメントコンクリート、No. 287
- 2) 柚原、森田、古川、山本：人工軽量骨材の圧力下の吸水性状に関する研究、日本建築学会関東支部第44回昭和48年度
- 3) 上村：軽量コンクリート、コンクリート工学、Vol. 13, No. 5 (1975)
- 4) 毛見：コンクリートポンプ工法の施工要領、施工昭和49年11月号~昭和50年7月現在連載中
- 5) ポンプ打ちにおける三者の対立 一米国の場合一建築技術、1969, 7 (Modern Concrete, Feb. 1969より)