

人工軽量骨材コンクリートの高所圧送

高橋 久雄
中根 淳
小松 晃

概要

人工軽量骨材コンクリートの品質は、プラントから現場到着時までの間には、ほとんど変化しないが、圧送前後でかなり変質する。時に圧送中におけるスランブ低下は、圧送高さが高くなるほど大きく、57mの高所では、平均4.4cmの低下を示した。しかし、圧送前後の強度上の変化は、ほとんど無かった。

ポンプ車の能力については、スクイズクリートPC-100型4インチ管の場合約40m、PC-125型5インチ管の場合約60mまでの圧送高さなら、充分適用できることがわかった。

1. まえがき

人件費の高騰と建設労働者の質量の低下に伴ない、現場における労務工数を減少する工法として、昭和40年以來コンクリートポンプの使用は、著しい増加をみせた。しかし、一方コンクリートの品質としては、ポンパビリチーの面のみ強調されすぎて、本来あるべき姿としてのワーカビリチーや固まったコンクリートの品質に対する配慮が欠けていたと思われる。

ポンプアップ工法を適用する上で、最も問題となるのは、人工軽量骨材コンクリートを圧送する場合で、諸問題の大半は、ここから派生しているといっても過言ではない。

当組施工の東洋ホテルにおいても、コンクリートポンプ工法が採用され、しかも人工軽量骨材コンクリートを、最高57mの高所へ圧送することになったので、計画の当初には若干の問題を含んでいた。そこで下層階の施工より随時、現場測定を行ない、圧送によるコンクリートの品質変化、ポンプ圧送能力の調査検討をして、今後施工されるであろう同種の建物の施工資料とすべく、一連の現場実験を行なった。

2. 実験概要

2.1. 調査現場

建物の概要および打設の段取りは、図一1～2に示した。人工軽量骨材コンクリートを打設したのは、12階以上の部分である。このうち現場測定を実施したのは、12階、15階、塔屋3階の計3回である。コンクリートの1回の打設量が基準階で約500m³となり、ポンプ車2台を同時に使用した。ポンプ車の機種は、スクイズクリートPC-100型4インチ管およびPC-125

型-5インチ管を使用した。

パイプ長さは、図一1～2に示した如くであるが、これを表一1の水平換算率に従って換算すると表一2のような値を得た。

項目	単位	4B管	5B管	6B管
垂直管	1m分	4	5	6
0.5mベンド管	90°ベンド分	12		
1.0mベンド管	90°ベンド分	9		
ゴムホース	5～8mホース	30		
テーパー管	1本	7B→6B	6B→5B	6B→4B
		4	10	20

表一1 水平換算率

階数	打設高さ(m)	12階		15階		塔屋3階	
		原直	換算	原直	換算	原直	換算
12	12	33.6	294.2	33.8	14.8	215.8	
15	15	42.2	306.1	42.2	264.6		
塔屋・3階		57.0	424	57.0	385		
		54.9		54.9			

表一2 各階水平換算長さ

2.2. 実験項目と方法

実験は次のような目的に従って3回に分けて行なった。

測定項目	実験1 (12階)			実験2 (15階)			実験3 (塔屋3階)		
	プラント	圧送前	圧送後	プラント	圧送前	圧送後	プラント	圧送前	圧送後
スランブ	○	○	○	○	○	○	○	○	○
フロー	○	○	○	○	○	○	○	○	○
空気量	○	○	○	○	○	○	○	○	○
単位容重	○	○	○	○	○	○	○	○	○
コンクリート温度	○	○	○	○	○	○	○	○	○
骨材吸水率	○	○	○	○	○	○	○	○	○
圧縮強度		○	○		○	○		○	○
引張り強度			○			○			○
最大油圧		○			○				
ローター回転数		○			○				
圧送能力		○			○				
備考	PC-100			PC-100 PC-125			PC-125		
	PC-125			バリックS			バリックS		
	バリックS			プラスチック			プラスチック		
			ボゾリス100N						

表一3 測定項目およびサンプリング場所

- 〔実験 1〕 同一調合のコンクリートを同一高さへ圧送するに際し、ポンプ機種の相違による影響を調べる。
- 〔実験 2〕 混和剤の種類がポンプ圧送に及ぼす影響。
- 〔実験 3〕 高所圧送時における人工軽量骨材コンクリートの品質変化を調べ前 2 回の実験結果と比較する。

なお測定項目およびサンプリングの場所を表-3 に示す。

2.3. 使用材料とコンクリートの調合

使用材料は表-4 に、各実験における基準調合を表-5 に示した。

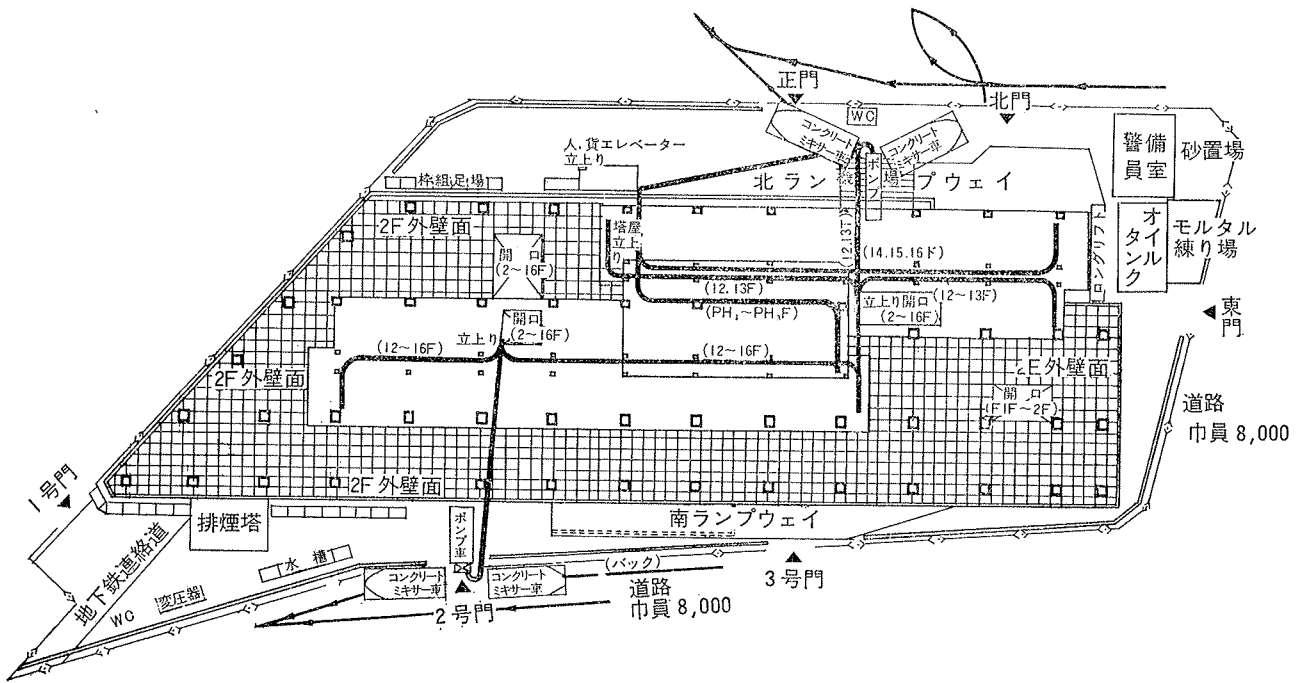


図-1 平面図

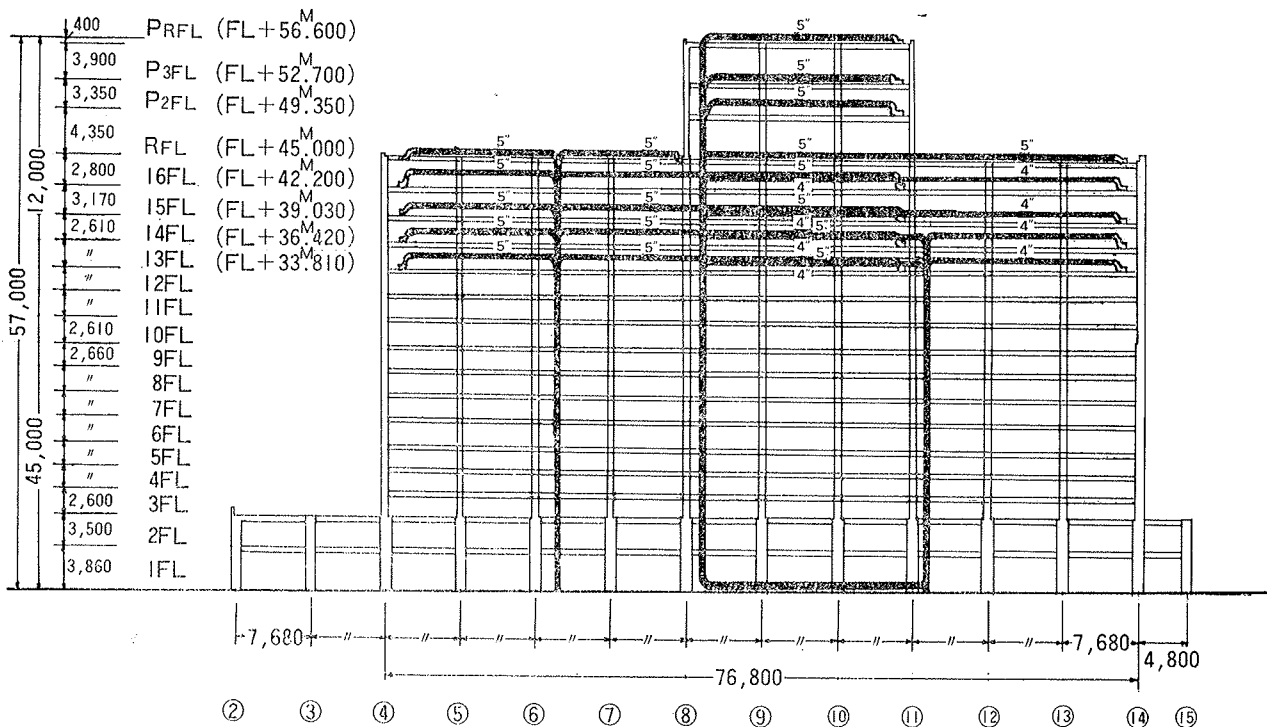


図-2 断面図

項目	種類	細骨材	粗骨材
		川砂	人工軽量骨材 ライオナイト
産地		徳島県 吉野川	大阪セメント備 高知
最大寸法(mm)		2.5	20
比重	絶乾	2.55	1.29
	表乾	2.60	1.39
吸水量(%)		1.6	3.0
有機不純物		合格	
洗い試験(%)		1.0	
単位容積重量 (kg/m ³)		1.620	0.850
	実積率(%)	63.5	60.0
粗粒率		2.77	6.58

表一四 骨材試験成績表

試料	記号	設計条件				水セメント比	配合割合							
		設計スランプ	骨材大きさ	混和剤	水		セメント	フライアッシュ	水	粗骨材	細骨材	送粉量	送粉率	
第1回	A	4月30日	160	21	20	パリックス	51.3	52.5	30	30	155	894	421	0.720
	A-1	5月29日	150	21	20	・	54.1	53.0	33	30	159	894	439	0.700
	B	5月29日	150	21	20	ボンブス S100-N	55.9	58.5	33	30	205	923	430	0.900
第2回	C	5月29日	150	21	20	プラスト クリート	53.6	53.5	33	30	193	955	421	1.449
	A-2	6月13日	150	21	20	パリックス	54.1	54.0	33	30	155	937	414	0.720

表一五 コンクリートの基準調査表

3. 実験結果

3.1. 実験 1

ポンプ機種別のコンクリート品質変化および圧送能力の測定結果を表一六に示す。

機種	試験項目	圧送前	圧送後	圧送による変化	圧送能力
		cm	cm	cm	
PC-100 4インチ管 試料数6の 平均	スランプ	23.0	21.7	-1.3	〔12階〕 最大油圧 124kg/cm ² 圧送量 28m ³ /hr
	空気量	3.27%	2.97%	-0.3%	
	骨材吸水率	4.0%	7.3%	+3.3%	
	コンクリートの 単位容積重量	1.845 t/m ³	1.866 t/m ³	+0.021 t/m ³	
4 W圧縮強度	256 kg/cm ²	256 kg/cm ²	0 kg/cm ²	〔15階〕 最大油圧 130kg/cm ² 圧送量 28m ³ /hr	
PC-125 5インチ管 試料数6の 平均	スランプ	22.7	20.3 (21.4)	-2.4 (-1.3)	〔12階〕 最大油圧 109kg/cm ² 圧送量 30m ³ /hr
	空気量	3.10%	2.90%	-0.2%	
	骨材吸水率	4.5%	8.1%	+3.6%	
	コンクリートの 単位容積重量	1.848 t/m ³	1.871 t/m ³	0.023 t/m ³	
4 W圧縮強度	257 kg/cm ²	263 kg/cm ²	+6 kg/cm ²	〔15階〕 最大油圧 117kg/cm ² 圧送量 33m ³ /hr	

()内は特異点を除いた値

表一六 ポンプ機種別の圧送性

それによれば、コンクリートの性状は、ワーカビリティおよび4週圧縮強度とも機種による差はほとんど認められなかった。しかしポンプ車の能力は、機種によって若干の差が生じた。すなわち最大油圧と時間当たりの圧送量に差が認められた。ポンプの最高油圧から判断するとPC-100型4インチ管の組合せでは、垂

直高さが約40m前後がその圧送能力の限界に近いことが分かった。

3.2. 実験 2

混和剤別に見たコンクリートの品質変化の測定値を表一七に示す。

混和剤	平均スランプ cm	空気量	単位容積重量	粗骨材の吸水率	4 W圧縮強度	
		%	kg/l	%	kg/cm ²	
パリックス	圧送前	24.5	2.2	1.855	3.2	268
	圧送後	22.8	2.7	1.895	7.8	261
	圧送による変化	-1.7	+0.5	+0.040	+4.6	-7
ボゾリス	圧送前	24.8	1.1	1.869	3.22	266
	圧送後	23.0	1.7	1.911	7.9	265
	圧送による変化	-1.8	+0.7	0.042	+4.7	-1
ブラクスト	圧送前	24.8	2.1	1.800	3.0	257
	圧送後	23.1	3.0	1.855	5.7	261
	圧送による変化	-1.7	+0.9	0.055	+2.7	+4

表一七 混和剤別に見たコンクリートの品質変化

それによるとコンクリートのポンプ圧送におよぼす混和剤の影響は、事実上差がないと判断しても良いほど小さく、コンクリートの品質変化は、人工軽量骨材の多孔性、圧送の高さなどの他の要因の影響力の大きさに比べ、無視し得るほど小さい。

3.3. 実験 3

実験3の圧送高さは、この建物としても最高の高さである。そこで、前2回の実験の結果を引用し、圧送高さによる品質変化をまとめたものが表一八である。

圧送距離	サンプリング 場所	平均スランプ cm	骨材の平均 吸水率 %	コンクリートの 単位容積重量 t/m ³	空気量 %	4 W 圧縮強度 kg/cm ²	
							圧送前
12階 垂直高さ 294m	水平換算 長さ 294m	圧送前	22.7 (22.7)	4.5	1.848	3.1	257
		圧送後	20.3 (21.4)	8.1	1.871	2.9	263
		圧送中の変化	-2.4 (-1.3)	+3.6	0.023	-0.2	+6
15階 垂直高さ 306m		圧送前	24.5	3.2	1.855	2.2	268
		圧送後	22.8	7.8	1.895	2.7	261
		圧送中の変化	-1.7	+4.6	0.040	+0.5	-7
塔屋3階 垂直高さ 57m		圧送前	23.1 (23.4)	3.6	1.854	3.4	257
		圧送後	18.7 (21.3)	6.9	1.911	2.5	266
		圧送中の変化	-4.4 (-2.1)	+3.3	0.057	-0.9	+9

()内は特異点を除いた値

表一八 圧送高さによるコンクリートの品質変化

この結果では、スランプ、フロー以外のコンクリートの性状は、圧送高さが変わってもそれほど大きな差は認められなかった。しかし特にスランプについては、圧送高さが高いほどスランプロスも大きくまたバラツキも大きい。このことは、高所になればなるほど、圧送上かなり無理な施工条件の時間帯が長かったことを示している。さらに注目すべきは、圧送高さの相違に

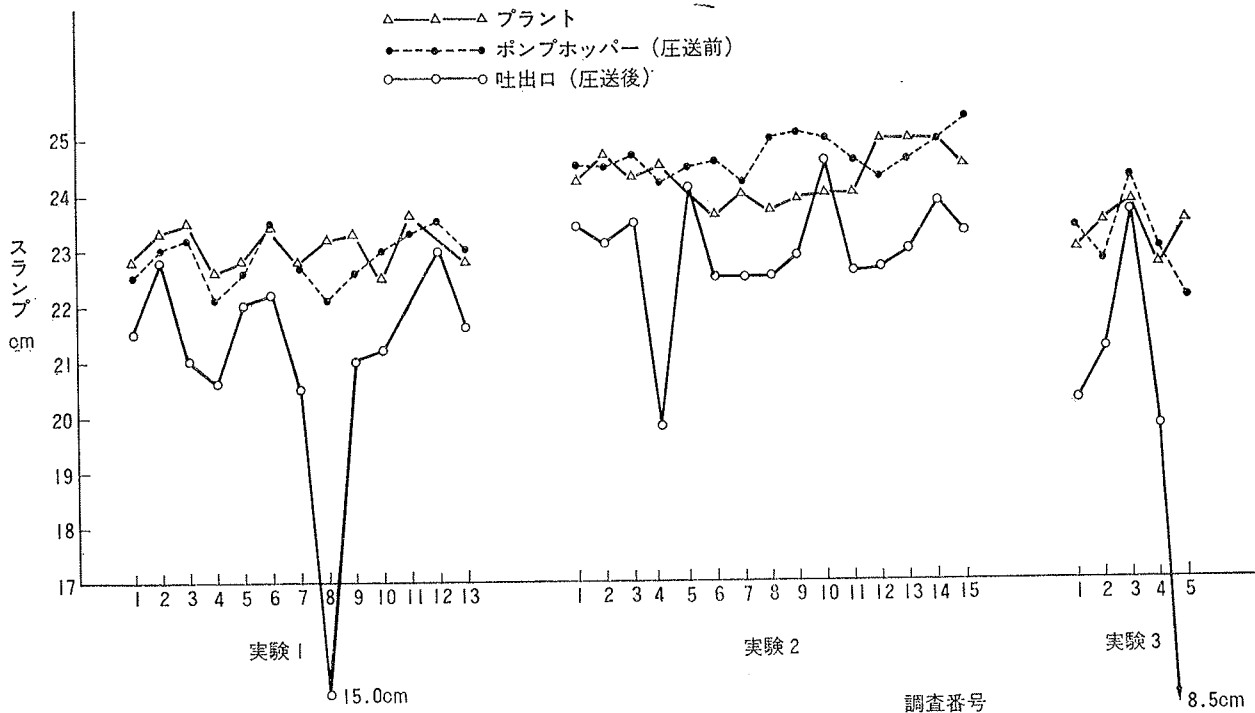


図-3 スランブの変動

よるスランブロスの変化は、骨材の吸水率の増分だけでなく、これと同程度あるいはそれ以上に影響力のある別の要因が存在することが推察された。すなわち圧送後の骨材の吸水率、圧送高さ、圧送圧が変わっても表-8から明らかなようにほとんど変化しなかった。この現象の一つの原因としては、骨材品質のバラツキによるとも考えられるが、やはり圧送圧の上昇ほどには、骨材が吸水しなかったと考えるべきであろう。

4. 考察

4.1. 圧送前後のコンクリートの品質変化

4.1.1. スランブ 圧送前後のスランブ値を図-3に示す。この図からも明らかなように、個々のスランブロスについては、2cm以上の場合も多く、また圧送高さが高くなるほど、さらに圧送前のスランブが低いほど圧送後のスランブ変動が大きくなる。目測ではあるが、この現場では、圧送前のスランブが21cm程度以下の場合には、圧送が著るしく困難となる現象が見られた。

スランブロスの最大の原因は、骨材吸水率の増分であると思われるが、前節で述べたように、圧送圧が高くなっても吸水量はそれほど大きくならないにもかかわらず、ポンプの最大油圧が高いほどワーカビリティが低下するという事は、吸水率以外の原因があると推察される。

4.1.2. フロー フローは、スランブと同様一般に

圧送後において小さくなるが、図-4に示したように、スランブの低下以上に低下するので、ワーカビリティの判定には、スランブとフローの両方を合わせ考慮しなければならない。

4.1.3. 空気量 コンクリートに空気を混入することは、特に人工軽量骨材コンクリートの場合、ワーカビリティを改善するために非常に役立っている。しかし、適当な分散剤あるいは減水剤等の使用により空気

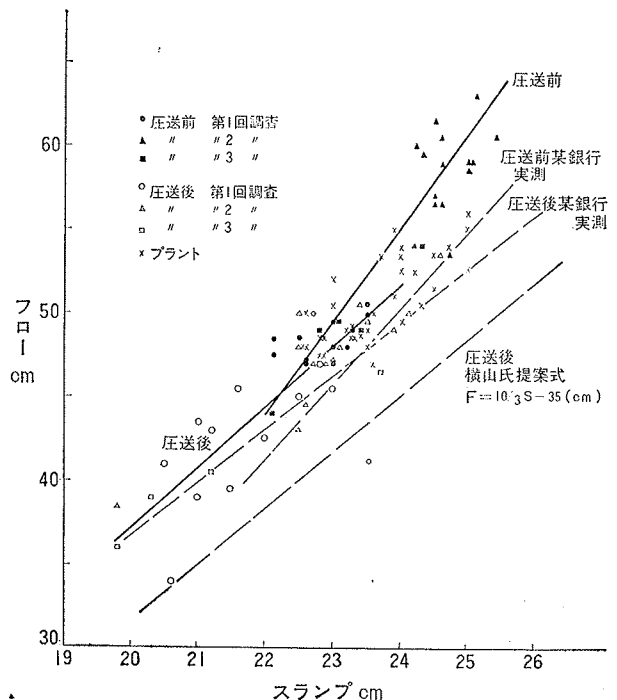


図-4 スランブとフローとの関係

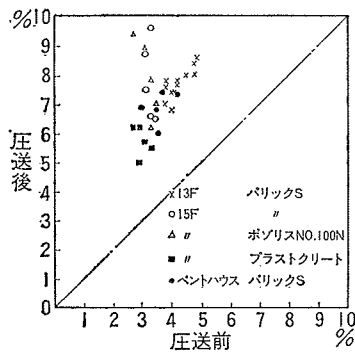
を混入しなくとも充分ワーカビリティの改善はできる。

空気量については、実験2の結果からも明らかなように、ポンプ圧送する際の空気量の変化はほとんど無く、ポンパビリティに大きな影響を及ぼしていない。

4.1.4. 単位容積重量 コンクリートの単位容積重量は、圧送前より圧送後の方が増加するが、注目すべきは、骨材吸水率の増分および空気量の変動より大きな値であったことである。

4.1.5. 粗骨材の吸水率 骨材の吸水率は、生コン車による運搬中には、全く変化は無かった。しかし図一5からも明らかなように吸水率は、ポンプ圧送すると著しく増加するが、圧送高さが変わってもそれほど変わらない。

当現場に使用したライオナイトは、他の軽量骨材と異なり、24時間吸水が約3%と非常に少ないがポンプ圧送することによって、約4%近く増加するので、24時間吸水が少ないからといって、ポンパビリティが他の骨材に比してかならずしも良いとはいえない。この現場の状況では、ポンパビリティは、他の人工軽量骨材を使用したコンクリートと大差ないように思われた。



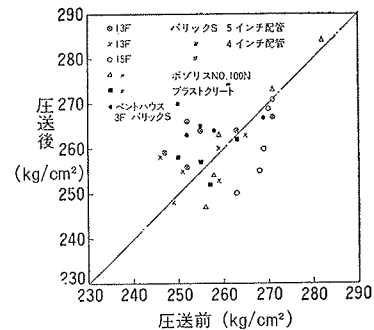
図一5 圧送前後の粗骨材吸水率

4.1.6. 圧縮強度 図一6から明らかなごとく、圧送前後の4週圧縮強度の差は認められない。

4.2. 運搬時間と打設能率

4.2.1. 生コン運搬時間 生コンの運搬時間（待時間も含む）が長いと、ポンパビリティが悪くなり、スランプの低下が大きく、打設が困難となった。特にこの現場では、圧送後のスランプ低下が3cm以上のものはすべて運搬時間が1時間を越えたものであった。

4.2.2. 打設能率 ポンプ車の純圧送能力は、PC100で平均28m³/hr、PC125で33~35m³/hrでかな



図一6 圧送前後の圧縮強度

り高能率であった。しかし1日平均では、かなりの残業時間を含めないと、1日の打設量約500m³を2台では、消化しきれない。

5. まとめ

この調査の結果、コンクリートポンプの使用による人工軽量骨材コンクリートの圧送高さのおよその限界がつかめたとと思われる。

すなわち、スクイズクリート PC100-4インチ管では、約40m、PC125-5インチ管では、約60mの高さまでなら充分適用できることがわかった。さらにうまく扱えば、70mの高所まで圧送できる見通しがつかめた。

ただしこのような難条件下での打設計画を立てる場合には、安易にポンプ車による圧送を採用してはならない。なぜなら、このような難条件下でのポンプ圧送は、ポンプの性能、整備状態、パイプの径および配管状態、ポンプオペレーターの技能、コンクリートの慎重な調合計画および品質管理、生コンの運搬時間および、生コン車の配車計画、打設順序および敏速な段取り換え、型枠計画、現場における連絡、確認等々の条件が整った場合のみ、能率良く打設できるわけで、どれか1ヶ所でも欠点があると、打設能率は低下し、さらにパイプ内の閉塞等不測の事故を招くことになる。

さらに特に注意しなければならないことは、ポンパビリティばかり気にするあまり、コンクリートをむやみに軟かくしないようにすることである。砂率を多くし、単位水量を増し、さらに単位セメント量を増すことは、ポンパビリティはたしかに良くなるが、できあがったコンクリートの品質が劣る場合もある。