

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

森 一 汐 川 孝
永 井 康 淑

Some Field Investigations on Pumpability or Low-Slump Artificial Lightweight Aggregate Concrete and Work Study of Concrete Placement in Situ

Hajime Mori Takashi Shiokawa
Yasuyoshi Nagai

Abstract

The report is concerned with pumpability of low-slump artificial lightweight aggregate concrete placed in situ. 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 and that prewetting of aggregates is more effective for pumpability than increasing slump. Useful information relative to manpower based on work measurements in in-situ placement of the low-slump lightweight concrete was also obtained.

概 要

当社と三菱重工業株式会社の共同研究にもとづき開発された定置式コンクリートポンプDC～60Mの試作機による低スランプ人工軽量骨材コンクリートの圧送性と圧送性に影響を及ぼす要因の分析、および同機を用いて行われるコンクリート打設作業の作業時間、作業工数等を作業測定で求めることを主たる目的に、同機を使用せる現場において調査を行った。その結果、スランプ10～15cmの低スランプ人工軽量骨材コンクリートでも水平圧送距離180M程度を吐出能力40～60M³/hrで圧送できるが、その圧送性は従来考えていたスランプよりもむしろ骨材の事前吸水率に大きな影響をうけ、吸水率25%以上であればスランプの影響は小さくなり低スランプコンクリートでも高スランプコンクリートとあまり変わらない圧送性が得られること、また打設作業の労務工数はかなり増加するが、その主たる原因はポンプの圧送性にあること等、低スランプ人工軽量骨材コンクリートのポンプ圧送に関するいくつかの貴重な資料を得た。

1. 調査概要

1.1. 工事概要

1.1.1. 調査建物およびコンクリート打設概要

調査建物は北九州市小倉区中央卸売市場青果棟新築工事で鉄骨造2階建の中、主として2階床スラブにおける約3000M³のコンクリートを本試作機を用いて昭和49年3月より27区画に分けて打設しようとするものである。圧送方法は試作機を地上に設置し、テーパ管を用いて7"φから5"φに配管径をしばった後、垂直に約7M立上げてから水平に配管し、1回における配管距離を水平換算長さで約100～180Mに、さらに1回のコンクリート打設量は100～150M³となるように計画されている。

1.1.2. コンクリートポンプ試作機 本機は当社と三菱重工業株式会社が協力して行った圧送試験にもとづき、三菱重工にて低スランプ人工軽量骨材コンクリート用ポンプとして設計試作したもので、シリンダのストローク長およびオイルポンプ容量が可変（傾転角レバーにて1/1～1/4）になっており、ポンプの油圧ゲージが100kg/cm²を越す等、圧送が困難になったときこれら进行操作することにより閉塞をさけるように工夫されている等、従来の機種と異ったいくつかの特徴もっている。

1.1.3. 使用コンクリート 使用されたコンクリートは、宇部軽骨（非造粒形）およびニチライト（造粒形）のタイプの異なる2種類の骨材による人工軽量骨材コンクリートで、吐出口での目標スランプ15cmの

性	最大吐出量		65m/h (普通コンクリート)	40m/h (軽骨コンクリート)
	最大輸送距離	普通コンクリート	水平	200m
傾斜			150m	100m
垂直			70m	50m
軽骨コンクリート		水平	150m	100m
		傾斜	100m	70m
		垂直	50m	30m

普通コンクリートに関しては最大輸送距離は一般建築配合(スランブ19-22cmセメント30kg/m³以上)について適用する。
 最大吐出量は普通コンクリートで距離50m、軽骨コンクリートで15m(スランブ10cmで125A管)以下で得られるものとしスランブ10cmの軽骨コンクリートでは距離100mでは20m³/hの吐出量である。

機	吐出方式	水送又はエア方式
最大管径寸法(150A管の場合)	コンクリートポンプ	玉砂利50mm、砂石40mm
コンクリートポンプ用最大ストローク	180mm×1,500mm(送給時1,450mm)	
ピストンの最大ストローク数	32回/min	
ポンプ容量	0.4m ³	
アジテータ最高回転数	19r.p.m	
油タンク容量	500ℓ	
オイルポンプ	可変容量(コンクリートポンプ用)	定容量(アジテータ用)
コンクリートポンプ用オイルポンプ吐出量×吐出圧	268ℓ/min×0.7kg/cm ²	80ℓ×210 "
アジテータ用オイルポンプ吐出量×吐出圧	最大35ℓ/min×80kg/cm ²	
原動機の形式	各種外付形三相4極電動機	
出力	45kW(4P)200/220V 連続定格	
操作方式	コントロールパネルによる集中制御	
ポンプ本体(パワーユニット以外の部)	2700kg	
パワーユニット	1510kg	
合計	4210kg	

表一 DC-60Mの主な仕様

種類	F _o kg/cm ²	Air %	W/C %wt	S/A %vol	スランブ cm	混和材	kg/M ³			
							W	C	S	A
宇部軽骨	180	5	58.1	48.1	15	ウインゾール	186	320	829	551
ニチライト	180	5	56.5	48.1	15	チューポール	181	320	843	540

表二 使用コンクリートの割合

硬練りである。

1.2 調査計画

1.2.1 ポンプの圧送性に関する調査

調査はポンプの圧送性と圧送性に影響を及ぼす要因について行うこととし、圧送性については調査対象とした打設区画に搬入される全てのミキサー車を対象に各車毎の正味圧送時間を測定し単位圧送時間(分/M³)を算出して分析を行った。また、圧送性に影響を及ぼす要因については表一3に示す項目について調査することとし、ミキサー車5台毎に必要な項目の測定を行った。但し当現場では性質の異なる2種類のコンクリートを打設区画、打設日を変えれば等量打設することになっていたため、これについて2水準で調査することとし、各々について2区画ずつ調査するように計画したが、ニチライトについては当初圧送性が非常に悪く、骨材吸水率を25%以上に上げたものについて更に2区画分の追加調査を行った。

分析項目	調査項目	調査方法
圧送性	圧送時間(分/M ³)	ミキサー車1台ごとに圧送時間、傾転角レバーの時間を30秒間隔のワークサンプリングによって求める。
	圧送調整比	
圧送性に影響を及ぼす要因	配管距離(M)	各ミキサー車に対応する配管距離
	骨材種別	宇部軽骨およびニチライト軽骨
	スランブ(CM)	ミキサー車5台毎に、ポンプ投入前と吐出後のものについて試料を採取し、JISA1108、JISA1118等で試験した。
	空気量(%)	
	骨材吸水率(%)	

表三 調査項目と調査方法

調査量	調査日	調査区画	コンクリート量(M ³)	ミキサー車(台)	備考
宇部軽骨	4/26	U-1	155	37	
	7/11	U-2	150	36	
	5/10	N-1	116	27	
	6/14	N-2	105	23	
ニチライト	7/10	N-3	109	22	骨材吸水率を上げて再度調査
	7/27	N-4	142	27	

表四 調査区画と調査量

1.2.2 コンクリート打設作業分析

本試作機によるコンクリートの打設作業について、作業研究を行うこととし、作業時間分析についてはポンプの圧送性調査で測定した資料を流用することとし、また、作業分析調査および作業工数調査については宇部およびニチライト軽骨コンクリートで打設される区画の中1区画ずつを選びコンクリートの打設作業に投入された(打設前の配管準備作業、打設後の片付け、大工、設備工、オペレータ作業は除く)作業員全員を対象に1分間隔のタイムスタディで作業測定を行った。

2. コンクリートの圧送性

2.1 コンクリートの単位圧送時間

各ミキサー車毎のコンクリートの単位圧送時間(分/M³)を骨材別に、ただし、ニチライトについては更に骨材吸水率の改良前後に分けて度数分布化したものを図1~3に示す。分布の形はいずれも中央値が左に片寄ったもので、圧送性の悪いものは尖度が小さく、右流れになっている。

単位圧送時間は宇部軽骨コンクリートで0.6~3.2分/M³ 中央値1.3分/M³(47M³/hr)と仕様性能を上まわる良好な圧送性を示している。一方、ニチライト軽骨コンクリートでは骨材の事前吸水率の改良前と改良後で大きな違いを示し、改良前(骨材吸水率約20%)では、1.0~6.6分/M³、中央値1.7分/M³(35M³/hr)であったのに対し、改良後(骨材吸水率約25%以上)のものでは0.6~1.8分/M³、中央値1.1分/M³(59M³/hr)とバラツキの小さい、しかも仕様性能を大きく上回る圧送性を示した。

2.2 傾転角レバー比

各調査区画の単位圧送時間における傾転角レバー比を図4に、また、調査区画U-1、N-1、N-4について各ミキサー車毎の単位圧送時間と傾転角レバー比(レバー比が複合の場合はその合成したもの)を算出しグラフ化したものを図5に示す。

傾転角レバーはポンプのオペレーターが操作することにより吐出量を可変にできるものであるが、今回の

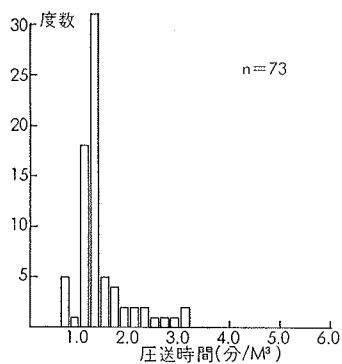


図-1 庄送時間の度数分布 (U-1, U-2)

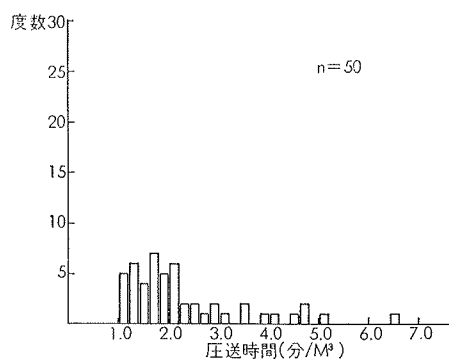


図-2 庄送時間の度数分布 (N-1, N-2)

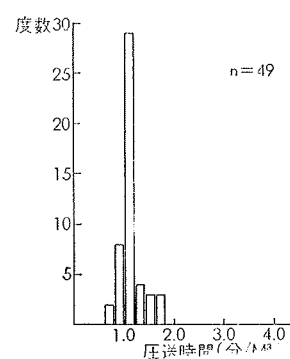


図-3 庄送時間の度数分布 (N-3, N-4)

調査では調査区画N-3を除き、全てのレバー操作が最大レバー比1/1で庄送するのが困難となった場合のみ、そのレバー比を低減したもので、庄送中のレバー比はそのままそのときの庄送性を表わしていると考えてさしつかえない。但し図-5に見られる如く単位庄送時間と傾転角レバー比の対応は非常なバラツキをも

っており、しかもそれはレバー比の低減にしたがって一層大きくなっている。この主たる原因は、本機が吐出量調整機構として傾転角レバーの他にストローク長が可変になっておりこれがコンクリートの性状等によってある程度自動的に作用する結果と推察される。

2.3. 庄送性に影響を及ぼす要因

前述の如く、コンクリートの庄送性はかなりの範囲でバラツキを持っており、それら庄送性に影響を及ぼすと思われる要因を表-3に示す項目について撰び相関分析あるいは回帰分析にもとづく検討を行った。

2.3.1. 骨材の事前吸水率 庄送時間と骨材事前吸水率の関係を調べるため、骨材別に庄送時間を縦軸に、吸水率を横軸にとってグラフ化したものを図-6、図-7に示す。

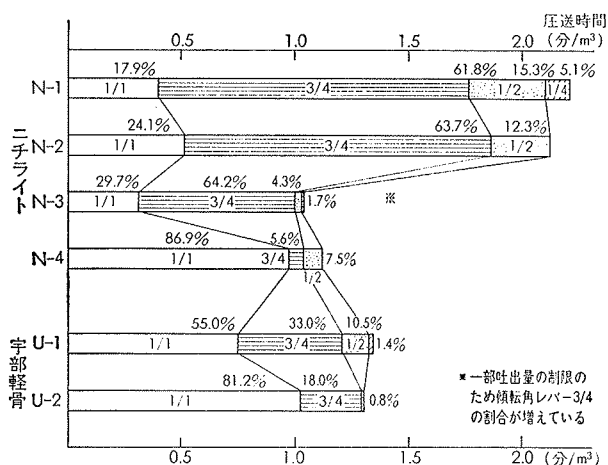


図-4 傾転角レバー比

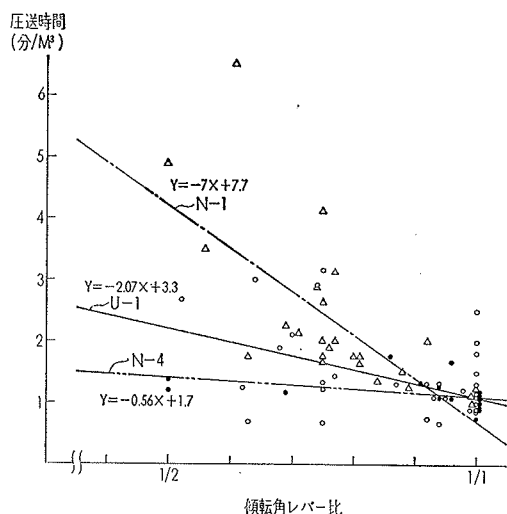


図-5 庄送時間と傾転角レバー比

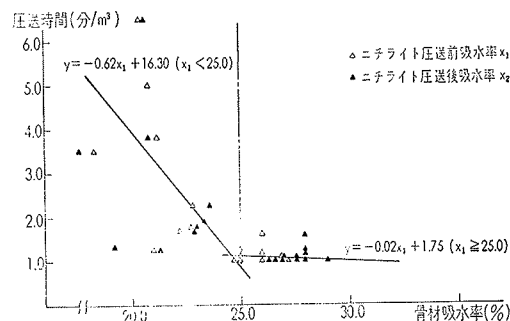


図-6 庄送時間と骨材吸水率の関係 (ニチライト)

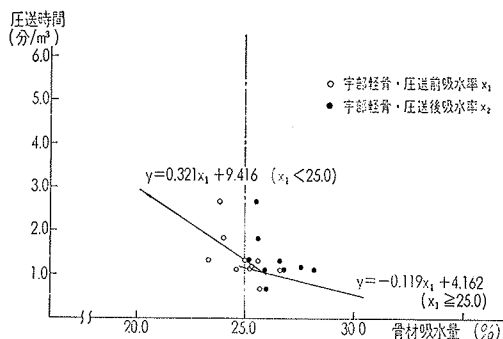


図-7 庄送時間と骨材吸水率の関係 (宇部軽骨)

図より、骨材吸水率25%前後を境にして圧送時間と骨材吸水率の関係に相違がみられ、特にニチライトにおいては骨材吸水率が25%以上で非常に高い圧送性を示し、しかもそれ以上の吸水率では圧送時間のあまり変わらない安定した値を示すが骨材吸水率25%未満では吸水率と圧送時間に大きな逆相関を示し、事前吸水率の低さはそのまま圧送性の低下につながるという、全く性質を異にした結果を示している。

宇部軽骨の場合、データ数が少くその関係は明瞭でないが、ニチライトと同様に骨材吸水率25%以上の場合安定した高い圧送性を示すのに対し、骨材吸水率25%未満ではやはり吸水率の低下にともない圧送時間は長くなり、ニチライトと同様の傾向を示している。

2.3.2. スランプ 事前吸水率25%以上と以下のものに分けて圧送時間とスランプの関係を検討した。その結果、図-8に示す如く吸水率25%以上の場合両骨材種別ともほとんどスランプと圧送時間の間に相関性がみられず、10cm位の低スランプでも高スランプのコンクリートとあまりかわらない圧送性が得られていることがわかった。これに対して、骨材吸水率が25%未満の場合は図-9に示す如くスランプとの間に高い相関性がみられ、スランプが硬くなるにつれて圧送性が悪くなる傾向が明瞭にうかがえる。

2.3.3. 骨材種別 二種類の骨材種別に対して、前述の圧送時間と骨材吸水率および圧送時間とスランプ

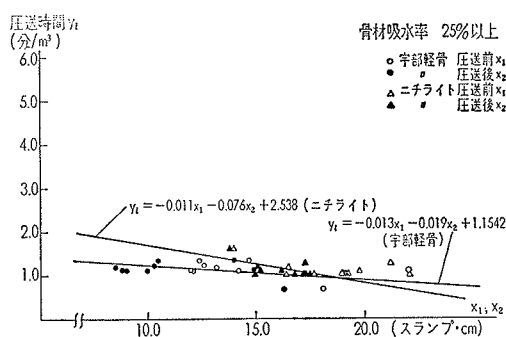


図-8 圧送時間とスランプの関係 (骨材吸水率25%以上)

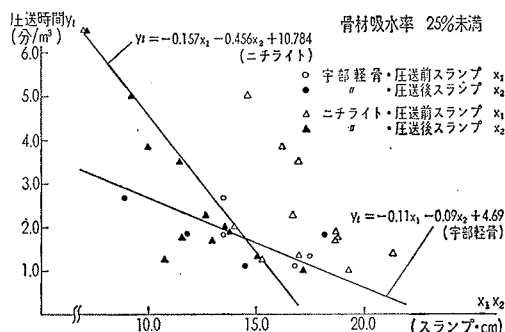


図-9 圧送時間とスランプの関係 (骨材吸水率25%未満)

の関係における分析資料にもとづいて検討を行った。その結果両者とも骨材吸水率25%以下の場合骨材吸水率およびスランプの圧送性に及ぼす影響は大きくなるが、ニチライト軽骨のほうが回帰直線の傾きが大きく、吸水率の低下およびスランプの低下にともなう圧送性の低下が宇部軽骨に比してより大きく表われ、非造粒形に比して造粒形の方が圧送しにくいといわれる一端をのぞかせた。

しかしながら、骨材吸水率が25%以上である場合は両種別ともに安定した高い圧送性を示しており、両者の間に明確な相違も認められない。人工軽量骨材コンクリートのポンプ圧送における骨材の事前吸水の重要性がここにあらためて認識される。

2.3.4. 空気量 今回の調査における空気量の変動はポンプ圧送前で6~8%, 圧送後で4~6%の範囲であり、圧送性との相関分析を行った結果、相関係数は宇部軽骨コンクリートで0.12~0.30, ニチライト軽骨コンクリートで0.22~0.04と共に相関性は認められなかった。

2.3.5. ポンプ配管の長さ 今回の調査におけるポンプ配管の長さの変化は各区画毎で、水平換算距離にして約180M~100Mの範囲であり、圧送性との相関分析を行った結果、相関係数は宇部軽骨コンクリートで0.26, ニチライト軽骨コンクリートで-0.03と共に相関性は全く認められなかった。

3. コンクリート打設作業における作業研究

3.1. 時間分析

調査した6区画のコンクリート打設作業時間を各日毎に単位圧送時間のかたちでまとめて図-10に示す。図に示される如く、コンクリートの打設時間はポンプの正味圧送時間、配管盛替時間、ミキシー車待時間、ポンプ中断時間で構成される。この中、ポンプの正味圧

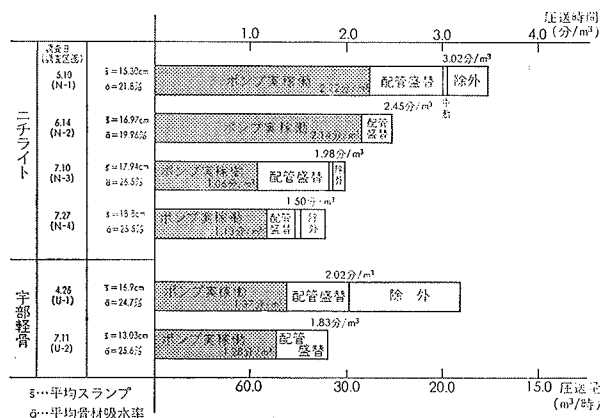


図-10 コンクリートの単位圧送時間

送時間は前述の如くコンクリートの性状によって左右されるもので、今回の工事では打設作業側による影響は含まれていない。また、配管の盛替時間はこの作業によってポンプ圧送作業が中断された時間で、圧送作業と併行して行なわれたもの、例えば前もって配管の移動、接続のある部分行った時間については含まれていない。図で分るように、コンクリート打設の作業時間はポンプの圧送性に大きく影響をうけるが、打設日によってはミキサー車待による無駄な時間が相当量含まれているのがわかる。

3.2. 作業分析および工数分析

本試作機で行った低スランプ人工軽量骨材コンクリートによる床スランプ打設作業の単位作業とそれに含まれる要素作業およびその内容をまとめて表-5に、また宇部（調査区画U-1）およびニチライト（調査区画N-1）における打設開始から終了までの作業測定の結果をまとめて図-11に示す。

平均作業	要素作業	作業内容
ポンプ周りの作業（主）	ミキサー車待	ミキサー車をポンプ受口まで誘導する作業
	シュートセット	ミキサー車のシュートをおろしセットする作業
	コンクリートかき落とし	ミキサー車のシュートに残ったコンクリートのかき落とし作業
	コンクリート捨て	ホッパーよりこぼれたコンクリートを捨いかたつける作業
	ポンプケレン・水洗い	ポンプに付着したコンクリートのケレン・水洗い作業
準備・片付け作業（主）	配管固定	キッカーその他で配管を固定する作業
	状態をみる	作業の進行状態及び寸法のチェックなど
	道具の運搬	道具の運搬作業
	全手移動	休憩、その他による全手の移動
コンクリート打設作業（主）	コンクリート均し・打設	打設されたコンクリートを均したり、ホースの先を保持する作業
	パイプブレークかけ	打設されたコンクリートにパイプブレークをかけしめ固める作業
	ホース押え、移動	フレキシブルホースを押えて固定したり、移動させる作業
	配管嵩上げ	配管の長さ位置を変えるために管を取除き、取付移動する作業
	コンクリート打設合図	コンクリート打設、配管嵩上げ中等の合図する作業
準備・片付け作業（主）	鉄骨洗ひ	主として鉄骨梁部分に附着したノロをホースで洗い流す作業
	配管水洗い	嵩上げ配管の付着コンクリートの水洗い作業
	放水	コンクリート打設前に型枠に放水する作業
床面仕上げ作業（主）	スコップならし	スコップによるコンクリートの均し作業
	コンクリートならし	大型のコテのような道具でコンクリートを大まかにならす作業
	クッペン	コンクリート面をクッペンの道具を用いてたたき押える作業
官	木ゴテ・金ゴテ押え	木ゴテ及び金ゴテによるコンクリート表面の左官仕上げ作業

表-5 作業分析結果

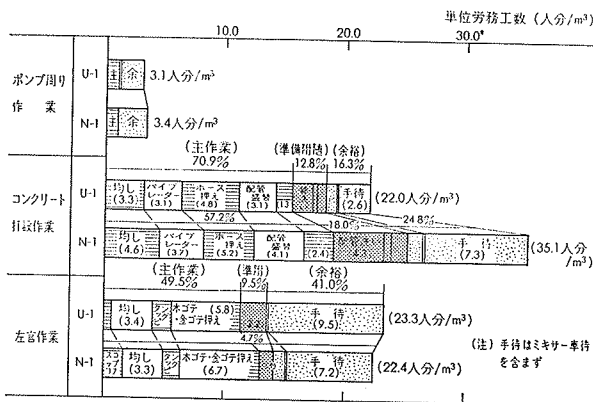


図-11 コンクリート打設作業における単位労務工数および作業区分率

打設区画U-1 はポンプ周り作業に土工1人、コンクリート打設作業に土工9人、女人夫2人、左官工7人が従事し、打設区画N-1 ではポンプ周り作業に土工1人、コンクリート打設作業に土工11人、女人夫3人、左官工6人が従事して行ったもので、各労務工数の集計にあたってはミキサー車待による時間、作業者が他作業に従事した時間、行方不明中の時間は除外して算出した。

調査結果から、区画U-1 のコンクリート打設作業は労務工数 22人分/M³、に対し作業余裕率16.3%であり、この場合の投入作業人数は当日のポンプ圧送能力（平均吐出量30M³/hr）およびコンクリートのワーカビリティ（吐出口での平均スランプ14cm）等の条件に対してほぼ適正であったように思われる。区画N-1 では、労務工数35.1人分/M³ に対し作業余裕率24.8%で、単位労務工数および作業余裕率ともに前者に比して多くなっている。この理由としては作業者が幾分多めに投入されていたことと当日のポンプ圧送性が前者の時に比して非常に悪く（平均吐出量20M³/hr）圧送に時間がかかったためである。

なお、過去に我々がスランプ 20cm、平均吐出量55 M³/hr で打設された場合の調査ではコンクリートの打設作業に要した労務工数は11人分/M³ であり、コンクリートが硬くなると必要な作業人数の増加とポンプ圧送性の低下にとともに、単位労務工数は大巾に増加する傾向がみられる。

左官作業の労務工数はコンクリート打設中に投入されたものであるが、全搬に余裕率が高く、この時間帯だけに限ればかなり余分に投入されていたように思われる。

4. あとがき

以上、試作機 DC-60M によるコンクリートの圧送性と圧送性に影響を及ぼす要因分析およびコンクリート打設作業の作業研究による検討を行い、いくつかの貴重な資料を得ることができた。しかし、これらは1つの現場における、しかも限られた期間、限られた回数より得られたものであり、今後施工管理の資料として広く用いるためには更に多くの調査が必要であり、更に広い分析および資料の信頼性を高める上においても今後期待するところは大きい。

なお、本調査を実施するに当たり、三菱重工業株式会社、宇部セメント試験課の方々および当社本店工務部、福岡支店工務部、小倉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。