基礎およびスラブを対象とした コンクリートの圧送作業におけ る作業効率と機械効率に関する 一考察

CONSIDERATION OF WORK EFFICIENCY AND MECHANICAL EFFICIENCY OF CONCRETE FORCE FEED WORK INTENDED FOR FOOTING BEAM AND SLAB

高尾武志 — * 1 和美廣喜 — * 2

キーワード：
コンクリートポンプ工法, 理論吐出量, 実吐出量, 作業効率,
機械効率

Keywords:
Concrete pumping method, Theoretical discharge rate, Actual
discharge rate, Working efficiency, Mechanical efficiency

Takeshi TAKAO — * 1 Hiroki WAMI — * 2

It is important to understand the content of the concrete force feed work and the pumpability beforehand to advance a concrete practice smoothly and safely when the concrete pumping method was adopted. A lot of researches on the concrete pumping method have been reported so far. However, the research that evaluates the working efficiency is extremely little. Moreover, the influence on the pumpability is not understood. In the present study, I conduct surveys of the force feed work and the mechanical efficiency of a concrete pump on actual construction fields. And, the numerical value that suits a present concrete pump industrial method is analyzed.

1. はじめに

コンクリート工事におけるコンクリートの現場内での運搬は、コンクリートポンプ工法が一般的に採用されている。コンクリートポンプ工法は、コンクリートを打込み箇所まで大量かつ迅速に運搬し、連続した打込みが可能な工法であり、コンクリート工事の一連の作業の中でも主要な部分を占めている。コンクリートポンプ工法を採用し、コンクリート工事を円滑かつ安全に進め、またコンクリートの品質を確保するためには、コンクリートポンプの作業内容や圧送性について事前に把握することが重要である。日本建築学会の「コンクリートポンプ工法施工指針・同解説」においても、コンクリートポンプ工法を採用した場合の施工計画で配慮すべき項目が掲げられている。また、コンクリートの圧送計画においては事前にコンクリートポンプ車の台数を算定する必要があり、その算定に大きく影響を及ぼす機械効率および作業効率の算定式および一般値が記されている。

しかしながら、近年では山砂・川砂の使用が制限されるようになり、砕石や砕砂が多く使用されるなど骨材事情に変化がみられる。砕石・砕砂は山砂・川砂と比較して扁平形状のものが多く、ポンプの圧送性を低下させると考えられる。コンクリートについてもセメントの種類の多様化や、混和材の開発により幅広い調合が可能となり、コンクリートポンプ車に関しても新しい機種が開発されるなど、コンクリートポンプ工法を取巻く環境は大きく変化している。その

ため、これまでに使用されてきたコンクリートポンプ工法施工指針・同解説に記されている数値においても検討が求められる。そこで、本研究では現在のコンクリートポンプ工法に適合する数値の分析を行うため、実際の現場でコンクリートポンプの機械効率および圧送作業の実態調査を行う。

2. 既往の研究と本研究の位置づけ

コンクリートポンプ工法の圧送性に関する研究は、現在までも多数報告されている。しかしながらそれらは超高層建築や特殊部位への圧送といった特別な環境下におけるものや、高強度コンクリートや高流動コンクリートといった特殊コンクリートを使用したものなどが一般的である。いずれにおいても、特殊な条件下によるものが多く、普通コンクリートを使用した場合や、コンクリートの運搬に配管を使わずブームのみを使用したような比較的規模の小さな現場における調査は極めて少ない。

実際にコンクリートポンプ工法の圧送性を分析し、工事計画への運用を目的とした研究としては、毛見らのコンクリートポンプ工法によるコンクリートの圧送量に関する研究¹⁾があげられる。コンクリートポンプの一日の作業内容から作業効率を求め、コンクリートポンプの機械効率や、その他圧送条件から平均圧送量を算出するので、非常に有用な分析が可能である。しかしながら、この調査は1971年に報告されたものであり、当時と比べ現在では骨材事情やコ

¹⁾ 島根大学大学院総合理工学研究科 大学院生
(〒690-0823 松江市西川津町1257)

²⁾ 島根大学総合理工学部 教授・博士(工学)

¹⁾ Graduate Student, Interdisciplinary Faculty of Science and Engineering, Shimane Univ.

²⁾ Prof., Interdisciplinary Faculty of Science and Engineering, Shimane Univ., Dr. Eng.

ンクリートの種別・調合、ポンプ車の性能が大きく変化しており、コンクリートポンプの作業効率、機械効率についての検討が求められる。

本研究は、現行のコンクリートポンプ工法に関する調査によりコンクリートポンプの作業効率および機械効率について正確に捉え、コンクリート工事の円滑化や安全性の向上へ寄与することを目的とするものであり、実際の工事中の現場においてコンクリートポンプの作業効率および機械効率についての測定を行う。この調査により現在の生コン工場での調合面や、コンクリートポンプ車の性能に基づいた実用的な情報を得ることが可能である。

3. 調査概要

3.1 研究対象の条件

本研究では、コンクリートの現場内での運搬にブームと配管を併用した場合、およびブームのみを使用した場合の2現場についての調査を行った。ブームと配管を併用した現場として大型ショッピングセンターの新築工事、ブームのみを使用した現場として大学施設の新築工事を調査対象とした。

(1) ショッピングセンター

ショッピングセンターの建築規模は、建築面積 17,917 m² の鉄骨造 4 階建て (本棟)、および建築面積 16,038 m² の鉄骨造 3 階建て (別棟) である。本調査では本棟基礎梁および別棟 3 階床スラブについての測定を行った。総打込み量は 4 万 m³ を超え、1 日の打込み量は 100m³ 前後である。そのうち生コン車 10 台前後の連続したコンクリート工事について調査を行った。

各施工部位の形状は表 1 に示すとおりである。本棟基礎梁はスパン 9m で、スパン中間に足場を設けその上に配管を行っている。配管長さは水平換算長さで最大 49m、随時配管を取り外し、最小長さは 17m である。別棟 3 階床スラブはスパン 9m で、デッキプレートと RC の複合床スラブ構造であり、スラブ厚は 170mm である。配管長さは水平換算長さで最大 82m、基礎梁同様、随時配管を取り外し、その最小長さは 57m である。いずれにおいても打込みは一層打ちによるもので、パイプレータ 3 機により締固めを行う。使用コンクリートポンプ車は、基礎梁では極東開発工業 PY110-25 および PY115A-26、床スラブでは PY110-25 を使い、ブーム先端に輸送管を接続した配管である。また、3 階床スラブ施工時は、ブームを立ち上げることで鉛直方向へのコンクリートの運搬を行うが、その立ち上がりはおおよそ 8m である。使用するコンクリートは表 4 に示すスランプ 15 cm の普通コンクリートを用い、コンクリートの供給は生コン車 1 台付および 2 台付によるものである。

(2) 大学施設

大学施設の建築規模は、建築面積約 73.1 m² の RC 造 2 階建てである。基礎梁への総打込み量はおよそ 150m³ であり、本調査では生コン車 20 台分の連続した基礎梁のコンクリート工事について測定を行った。スパン 5.7m で、施工部位の形状は表 1 に示すとおりである。打込みは一層打ちによるもので、パイプレータ 2 機により締固めを行う。コンクリートポンプ車はニイガタコンクリートポンプ URBAN&McSWING11FB-264 を使い、ブームを使用することにより直接施工部位へとコンクリートを圧送する。使用するコンクリートは表 4 に示すスランプ 15 cm の普通コンクリートを用い、コンクリートの

供給は生コン車 1 台付によるものである。

3.2 調査項目および方法

(1) コンクリートポンプの圧送作業分析

コンクリートポンプ工法における作業開始から終了までの作業内容と順序を図 1 に示す。全圧送作業時間には、ポンプ圧送運転時間の他に、損失時間が含まれている。損失時間としては図に示すような段取り替え、生コン車待ち、生コン車入替え、休憩および事故がある。

表 1 コンクリート工事詳細		
建物用途	施工部位	ポンプ機種
ショッピングセンター	基礎梁	極東開発工業 PY110-25
		極東開発工業 PY115A-26
	床スラブ	極東開発工業 PY110-25
大学施設	基礎梁	ニイガタコンクリートポンプ URBAN & McSWING 11FB-264

表 2 使用コンクリートポンプ車性能表			
形式	極東開発工業		新潟鉄工所
	PY110-25	PY115A-26	URBAN&McSWING 11FB-264
シリンダ数	2	2	2
シリンダ径	225 mm	225 mm	210 mm
ストローク長	1650 mm	1650 mm	1600 mm
吐出量	[標準]: 110 m ³ /h	[標準]: 115 m ³ /h	[標準]: 15~125 m ³ /h
	[高圧]: 75 m ³ /h	[高圧]: 80 m ³ /h	[高圧]: 10~72 m ³ /h
吐出圧力	[標準]: 4.4 MPa	[標準]: 4.6 MPa	[標準]: 4.12 MPa
	[高圧]: 6.4 MPa	[高圧]: 6.6 MPa	[高圧]: 7.06 MPa

表 3 接続配管の水平換算長さ	
施工部位	配管の水平換算長さ(m)
基礎梁	17~49
床スラブ	57~82

表 4 コンクリートの調合							
施設名	セメント	水	細骨材	粗骨材	水セメント比	細骨材率	スランプ
	(kg/m ³)				(%)		(cm)
ショッピングセンター	344	177	802	959	51.5	46.8	4.5
大学施設	398	183	747	942	46	45.2	4.5

図 1 コンクリートポンプ工法の作業内容と順序

そこで、コンクリートポンプの圧送作業分析では、全圧送作業時間を図に示す項目ごとに分けて時間の測定を行った。その測定結果をもとに次式よりコンクリートポンプの作業効率(η_w)を算出し、圧送条件ごとの分析を行った。

$$\eta_w = (T_p / T_w) \times 100 \quad \dots \dots \dots (1)$$

η_w : 作業効率(%)

T_p : ポンプ圧送運転時間(分)

T_w : 全圧送作業時間(分)

(2) コンクリートポンプの機械効率

コンクリートポンプの機械効率は、生コン車1台分のコンクリートを圧送するのに要するピストン切り替え回数を測定し、コンクリートポンプの実吐出量、理論吐出量を算出することで求めた。

コンクリートポンプの機械効率(η_m)は次式により求めることができる。実際にコンクリートを圧送する場合、コンクリートシリンダ内にコンクリートが100%充填されることはなく、一般的に実際の吐出量はシリンダの容積よりも少なくなる。コンクリートポンプの機械効率は、実吐出量とシリンダの容積から求める理論吐出量の比である。

$$\eta_m = (Q / Q_{th}) \times 100 \quad \dots \dots \dots (2)$$

η_m : 機械効率(%)

Q : 実吐出量(m^3/h)

Q_{th} : 理論吐出量(m^3/h)

$$Q = (V / T) \times 60 \quad \dots \dots \dots (3)$$

V : 生コン車の容積(m^3)

T : 生コン車1台分のコンクリート圧送に要する時間(分)

$$Q_{th} = \{ (\pi / 4 \times D^2 \times St \times N) / T \} \times 60 \quad \dots \dots \dots (4)$$

N : 生コンクリート車1台分のコンクリートの圧送に要するピストンの切り替え回数(回)

D : コンクリートシリンダ径(m)

St : コンクリートシリンダストローク(m)

T : 生コン車1台分のコンクリート圧送に要する時間(分)

4. 調査結果

4.1 コンクリートポンプの圧送作業分析

(1) ショッピングセンター

ショッピングセンターについての測定はコンクリート量にして261 m^3 、生コン車台数では58台に及んだ。図1～図3にコンクリート圧送作業における作業時間の1日の測定例を示す。

いずれの条件においても、ある一定の間隔で大きな損失時間を要していることがわかる。ここでの段取り替えとは配管の取替え作業を示す。この配管の取替え作業は、およそ生コン車2～3台に1回の割合で行われており、1回の取替え作業には10～15分の時間を要している。また、この配管の取替え作業が損失時間の大部分を占めており、これが作業効率に大きな影響を与えている。

生コン車1台付では生コン車入れ替え時間が生じる。本調査の場合、2台付けにおいても生コン車待ち時間が多く発生したため、作業効率ではあまり変化がみられなかった。生コン車2台付けの場合、円滑な配車計画を行うことで作業効率の向上が見込まれる。床スラブの施工では、生コン車入れ替え時間、生コン車待ち時間はみられなかった。これは、床スラブが基礎梁に比べて単純な構造をし

図1 コンクリートポンプの全圧送作業時間の内訳
(ブームと配管の併用、ポンプ車PY110-25、
生コン車1台付、基礎梁の施工の一例)

図2 コンクリートポンプの全圧送作業時間の内訳
(ブームと配管の併用、ポンプ車PY110-25、
生コン車2台付、基礎梁の施工の一例)

図3 コンクリートポンプの全圧送作業時間の内訳
(ブームと配管の併用、ポンプ車PY110-25、
生コン車2台付、床スラブの施工の一例)

図4 コンクリートポンプの全圧送作業時間の内訳
(ブームのみ使用、ポンプ車URBAN &
McSWING11FB-264、
生コン車1台付、基礎梁の施工の一例)

ているため、打込みの把握が容易であり、円滑な配車計画が可能であったためと考えられる。また、床スラブでは大きな段取り替え以外の段取り替えに要する時間も比較的少ない。これも、基礎梁に比べ単純な床スラブの構造が、打込み箇所の移動を容易なものとしているためである。

(2)大学施設

大学施設についての測定は、コンクリート量にして90m³、生コン車台数では20台に及んだ。図4にコンクリートポンプ圧送作業における作業時間の1日の測定例を示す。昼を挟んでのコンクリート工事であったため、途中に大きな休憩がとられている。

本調査はブームのみを使用しての打込みのために、配管の取替えといった大きな段取り替えを必要とせず、段取り替えに要する時間が比較的少ない。また、生コン車1台付けであったために生コン車入れ替え時間を要するが、生コン車待ち時間は発生せず円滑な配車計画が行われていた。これは損失時間がある程度均一で、圧送作業の把握が容易であったためであると考えられる。

以上(1)および(2)の結果より圧送作業条件別の作業内容を示すと図5のとおりである。ブームと配管を併用した基礎梁圧送時の作業効率は、生コン車1台付、2台付ともに約45%であった。既往の調査³⁾では、生コン車2台付で行うと1台付よりも20%程度作業効率が大きくなるとされているが、今回の工事では生コン車待ち時間の影響を受け、そのような傾向が認められなかった。生コン車1台付でブームのみを使用した基礎梁圧送時の作業効率は約61%となり、既往の調査³⁾よりも15%以上高い作業効率を示している。これはブームのみによるコンクリート工事の施工性の高さによるものである。ブームと配管を併用した床スラブ圧送時の作業効率は、生コン車2台付で67%であり、既往の調査³⁾の土間よりも18%ほど小さい結果となった。これは床スラブの厚さにも影響される。

図5 圧送条件別の作業内訳

図6 実吐出量と理論吐出量の関係

4.2 コンクリートポンプの機械効率

図6にコンクリートポンプの実吐出量と理論吐出量の関係を示す。この場合、グラフの傾きはポンプの機械効率を示している。コンクリートポンプに接続する配管長さは、50m間隔で条件の整理を行う。本調査では、基礎梁については17~49mであったため0~50m、床スラブについては57~82mであったため51~100mの範囲として、いずれの測定も同一区分であると考えられる。

ブームと配管を併用したコンクリート工事で、基礎梁圧送時におけるコンクリートポンプ車 PY110-25 の機械効率は約74%、PY115A-26の機械効率は約67%であった。いずれも60~80%の範囲で分布している。また、平均値の差の検定を行ったところ、1%水準で有意差があり、平均値の差が認められた。床スラブ圧送時には、コンクリートポンプ車PY110-25で機械効率は約70%であり、70~80%の範囲に分布する。PY110-25による基礎梁および床スラブ圧送時について平均値の差の検定を行ったところ、5%水準で有意差があり、平均値の差が認められた。ブームのみを使用した基礎梁圧送時のコンクリートポンプ車 URBAN&McSWING11FB-264 の機械効率は約61%であり、およそ60~80%の範囲に分布している。

既往の調査³⁾によると、普通骨材を用いたスランブ12~17cmのコンクリートポンプの機械効率は70~90%とされているが、本調査結果は60~80%の範囲に分布しており、その範囲の下限に位置する結果となった。

5. まとめ

ブームのみ使用の場合では配管の取替え作業が必要ないため、段取り替えが比較的スムーズに行われる。そのため、ブームと配管を併用したもの比べても、高い作業効率を得ることができる。本調査では生コン車1台付けによる基礎梁への圧送時で、ブームのみ使用の場合とブームと配管を併用した場合とでは、作業効率に15%以上の差がみられる結果となった。

また、基礎梁と床スラブ、配管での運搬とブームのみでの運搬のように、その作業の複雑さは作業効率へ直接に影響するだけでなく、生コン車の配車計画へも影響を与え、生コン車待ち時間を生じさせる。結果としてこれは作業効率を低下させる原因となり、複雑な作業ほど事前の作業内容の把握が重要であることがうかがえる。

基礎梁施工時の機械効率は、平均値で67~70%、分布範囲はショッピングセンター、大学施設共に60~80%の範囲に分布していた。床スラブ施工時は平均約70%、分布範囲は70~80%と、基礎梁施工時よりも高い数値を示している。しかしながらいずれにおいても既往の調査よりも低い結果となった。

【参考文献】

- 1) 毛見虎雄ら：コンクリートポンプ工法によるコンクリートの圧送量に関する研究，日本建築学会大会学術講演梗概集，No. 1020，1971年11月
- 2) 日本建築学会：コンクリートポンプ工法施工指針・同解説，1995年3月
- 3) 全国コンクリート圧送事業団体連合会：コンクリートポンプ圧送マニュアル，2006年8月

[2009年6月18日原稿受理 2009年8月28日採用決定]