

# 論文 打込み時のスランプの大きさに及ぼす構造要因・施工要因の影響に関する研究

大友 健<sup>\*1</sup>・府川 徹<sup>\*2</sup>・新藤 竹文<sup>\*3</sup>・坂田 昇<sup>\*4</sup>

**要旨**：一般的なコンクリートく体構築工事を対象として、異なる断面形状や寸法、配筋条件を有する様々な部位を、異なる方法によって施工した場合の、打込み時のスランプの大きさを調査した。この結果、良好な施工に必要なスランプの大きさには、主に部材の最小横寸法と鋼材量、最小せん断鉄筋あきなどの構造上の要因が影響していることが明らかとなった。

**キーワード**：スランプ、施工性能、鋼材量、鉄筋あき、配筋方法、打込み

## 1. はじめに

コンクリート構造物の形状や内部の鋼材配置は、耐震設計手法の変更、部材の薄肉化等に応じてより複雑になってきている。配筋条件や構造条件に対して、打設するコンクリートのワーカビリティが適合していないことが施工時の充てん不良の原因になると考えられている<sup>1)</sup>。著者らは、初期欠陥を未然に防ぎ、高耐久かつ高信頼性をもったコンクリート構造物を構築するためには、コンクリートの施工性能を的確に評価できる手法が必要である<sup>2)</sup>と考え、このような手法に関する研究を継続している<sup>3)</sup>。

性能照査型の考え方を取入れたコンクリート標準示方書[施工編]<sup>4)</sup>では、コンクリートのワーカビリティは粗骨材の最大寸法とスランプで設定してよいとし、一般的な構造物でかつ施工条件が標準的な場合に対応して、構造物の種類や構造条件に応じた打込み時のスランプの標準値を示している。しかしながら、良く知られているように、断面形状・寸法における「一般の場合」と「小さい・複雑な場合」あるいは鋼材の配置における「一般の場合」と「密な場合」の区分、あるいはスランプ自体の設定の範囲がおおまかであることは否めないのが実情である。

本研究では、一般的なコンクリートく体構造物の構築工事を対象として、異なる断面形状や寸法・配筋条件を有する様々な部位を異なる方法によって施工する場合の、打込み時のスランプ（ここでは、レディーミクストコンクリートの受入れ試験時のスランプ試験により得られた圧送直前のスランプ値のこととし、以下施工スランプと呼ぶ）を調査した。そして、この施工スランプの大きさに及ぼす鋼材量や鉄筋あきなどの構造上の要因と打込み方法などの施工上の要因について考察した。

## 2. 調査対象と項目

調査の対象とした構造物は、著者らが無作為に選んだものであって、地上・地中に構築される水槽やカルバート、あるいはフーチングや橋脚・擁壁など、いわゆるコンクリートく体と呼ばれる構造物である。レディーミクストコンクリートによって施工され、粗骨材の最大寸法は20mm、発注時のスランプの仕様は8cmあるいは12cm(AE減水剤を用いたコンクリート)である。仕様のスランプに対して、実際の施工スランプは、スランプの許容変動幅内での上越し、目標スランプの変更、流動化、高性能AE減水剤コン

\*1 大成建設（株）技術センター土木技術研究所土木構工法研究室主席研究員 博(学術)（正会員）

\*2 大成建設（株）技術センター土木技術研究所土木構工法研究室主任研究員（正会員）

\*3 大成建設（株）技術センター土木技術研究所土木構工法研究室チームリーダー 博(工)（正会員）

\*4 鹿島建設（株）技術研究所土木構造・材料グループチーフ兼上席研究員 博(工)（正会員）

クリートへの  
変更などによ  
って調整され  
ているが、こ  
ではその調整  
方法は区別し  
ていない。

コンクリー  
トは、ポンプ車  
のブームある  
いは100m程度  
以下の配管に  
よって小運搬  
してから打ち  
込まれ、φ  
50mm の棒状

内部振動機によって締め固められたものである。  
いわゆる施工時の初期欠陥は発生していない構  
造物を対象として調査した。

実際の打込み時の施工スランプとその時の施  
工条件は、実際に施工を担当した現場技術者か  
らヒアリングした。ヒアリングにあたっては、  
コンクリート標準示方書改訂資料<sup>5)</sup>に示される  
「構造条件と施工要因を考慮したスランプの選  
定」に示された項目をもれなく評価できるよう  
にした。この資料に示される構造条件に関する  
項目を表-1に示す。調査構造物の構造条件は図  
-1に示すように幅があるもので、一般の構造物  
といっても非常に多様なものであった。

### 3. 打込みにくさに関する技術者の感覚の評価

表-1に示した条件のうち、部材の最小横寸法、  
高さ方向の断面変化、せん断筋の配置状態に関  
するランク分けは「現場技術者の感覚」によっ  
ていていると考えてよい。図-2には、構造条件の数  
値データと現場技術者が評価したランクとの関  
係を示す。また、図-3は、このランクとスラン  
プの大きさとの関係を示したものである。

コンクリートの打設状況が直接確認できる場  
合には小さいスランプが選定されている。また

表-1 構造条件と施工要因を考慮したスランプの選定<sup>5)</sup>

大項目	中項目	小項目	示方書 等における記載	ランク	内容	スランプの選定範囲(cm)					スランプ フロー(cm)
						8	12	15	18	21	
A) 部材の断面形状や寸法											
A-1) 部材の 最小横寸法 の大きさ			記載なし	ランク1	打込み場所が直接確認できる						
				ランク2	打込み場所が目視で確認できる						
				ランク3	打込み場所が目視で確認できない						
				ランク4	内部振動機が入らない						
A-2) 高さ方向の 断面寸法 の変化			記載なし	ランク1	下から上まで同じか上が大きい						
				ランク2	下から上まで同じだが型枠の高さが大きい						
				ランク3	下より上が小さいまたは型枠が傾いている						
				ランク4	複雑あるいは狭窄である						
B) 鋼材の配置状況											
B-1) 鋼材の最小 水平あき または 鉛直あき	60~ 200mm			ランク-1	無筋						
				ランク0	200mm以上						
				ランク1	100~200mm						
				ランク2	60~100mm						
				ランク3	60mm以下						
B-2) 鋼材量	100 ~350 kg/m <sup>3</sup>			ランク-1	無筋						
				ランク0	100kg/m <sup>3</sup> 以下						
				ランク1	100~200kg/m <sup>3</sup>						
				ランク2	200~350kg/m <sup>3</sup>						
B-3) 鋼材の段数 パイプレータの投入可能場所 から型枠面までの距離と解釈	記載なし			ランク1	25cm以内						
				ランク2	25cm~50cm						
				ランク3	50cm以上						
B-4) せん断筋の 配置状態 せん断補強 筋(中子筋) の多少と解釈	記載なし			ランク1	打込み場所で作業ができる						
				ランク2	ポンプ筒先がどこでも入る						
				ランク3	ポンプ筒先が入る場所が限定される						
				ランク4	ポンプ筒先は入らないが内部振動機が入る						
				ランク5	内部振動機が入らない						

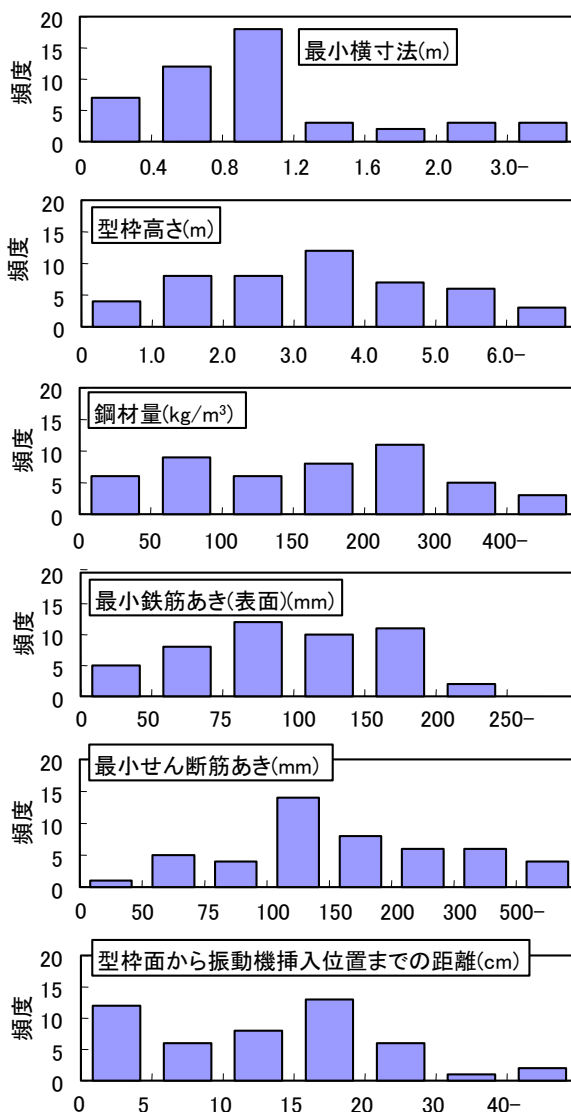


図-1 調査構造物の構造条件

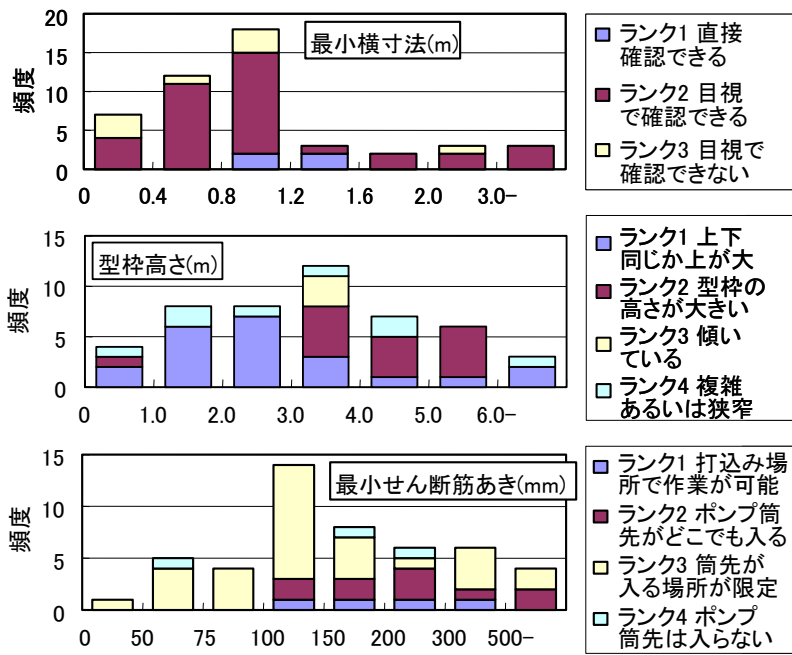


図-2 構造条件と技術者が評価したランクの関係

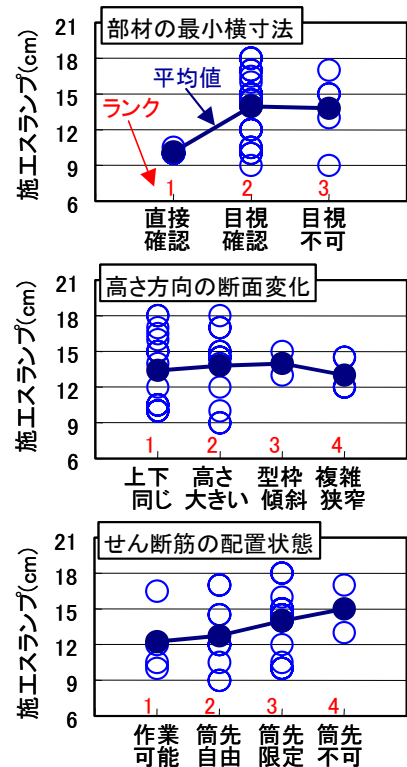


図-3 ランクと施工スランプの関係

型枠が傾斜しているあるいは複雑である場合には小さいスランプでは施工が困難と考えられる。せん断筋のあきが小さくなりポンプ吐出口が型枠内部に入りにくくなるほど大きいスランプが選定されるようになっている。打ち込み場所の視認性は部材横寸法のみで決まるわけではなく、型枠が高いからといって、必ずしも打ち込みにくいわけでもないようである。一方、せん断筋の配置状態の影響は、あきが 150mm 程度を境に変化する傾向が見受けられる。

図-4 には、最小横寸法と部材高さあるいは最小せん断筋あきとの関係において高さ方向の断面寸法に関するランクおよびポンプ筒先の状態に関するランクをプロットした。この図から判断すると、部材の最小横寸法が 0.5m 以下であると部材高さにかかわらず複雑であると評価されている。また型枠高さが 3.5m を超えると打ち込みには高いと判断されている。ポンプの筒先の配置については、最小せん断筋あきが 150mm 程度を境として筒先の設置位置が限定されると感じられるようである。最小横寸法が 1m 以下の場合には、最小せん断あきの大小にかかわらず吐出口位置が限定されたとの評価が多くなった。

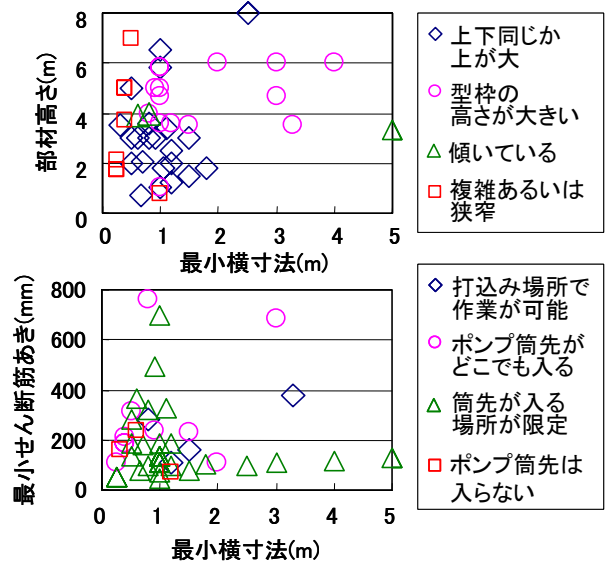


図-4 最小横寸法と部材高さ・せん断筋あきとの関係

#### 4. 構造要因が施工スランプに及ぼす影響

図-5 には、構造要因に関する各定量化値と施工スランプの大きさとの関係を示す。全データをそのままプロットした場合、鋼材量が大きくなるほど施工スランプも大きくなる傾向は認められるものの一定の鋼材量に対するスランプの幅が大変大きく広がっている。また、表面部の最小

あき・せん断筋のあきとスランプの関係もそれほど明確ではない。そこで、3.において得られた知見から、図-6 においては、部材の最小横寸法(B)を0.5m以下、0.5 mを超え1.0mまで、1.0m超の3水準に、最小せん断筋あき(SC)を150mm以下と150mmを超える場合の2水準に分け、各々の組み合わせに対して構造要因の定量値と施工スランプの大きさとの関係を示した。

この結果、最小横寸法が1.0m以下の場合に限ってみれば、図中に破線により示すように、大まかではあるが、良好な施工に必要な最小のスランプ値の境界が認められるようである。すなわち、鋼材量が50kg/m<sup>3</sup>から250 kg/m<sup>3</sup>へと大きくなるにつれ、最小鉄筋あきが200mから50mmへと小さくなるにつれ、各々必要な最小スランプが9cmから15cmに変化するものとなった。最小せん断筋あきについても、表面部のあきに対する変化傾向と同様に、あきが200m~50mと小さくなるにつれ、最小スランプが9cm~15cmに変化していた。最小横寸法が0.5m以下の場合には、細破線に示すように、0.5m~1.0mの場合に比べて施工に必要なスランプが3cm程度大きくなると見受けられた。

最小横寸法が1.0mを超える場合、最小せん断筋あきが150mmよりも大きいときには9cm~

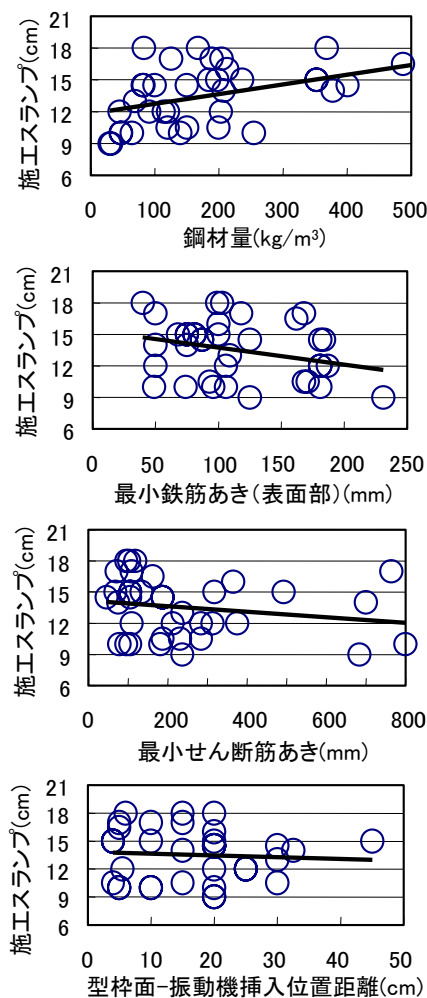


図-5 構造要因に関する各定量値と施工スランプの大きさの関係

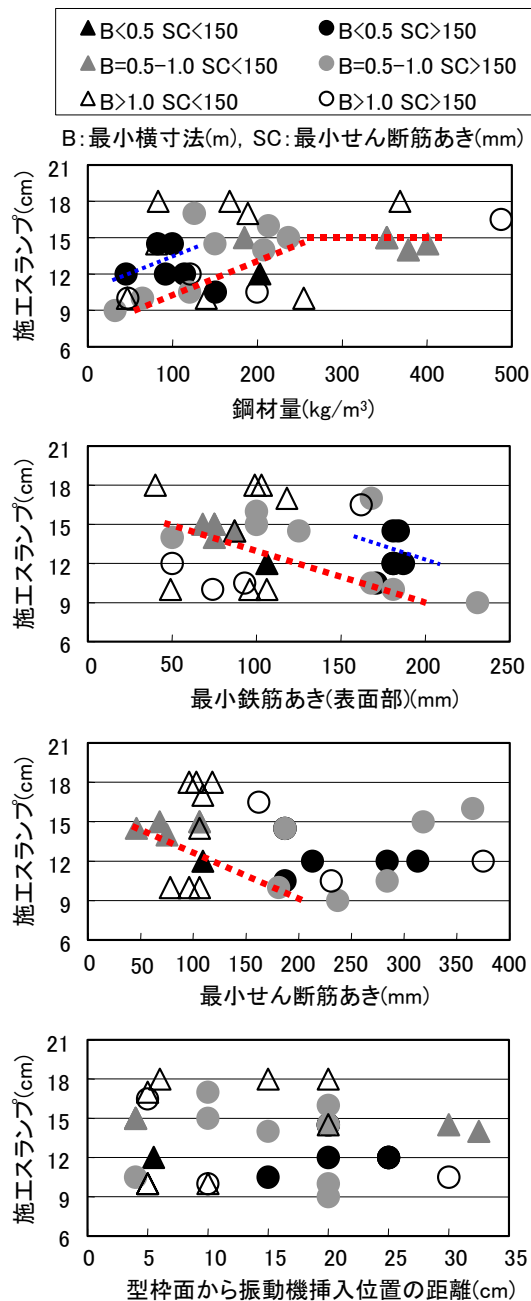


図-6 部材最小横寸法(B)とせん断筋あき(SC)を考慮した場合の施工スランプの大きさ

表-2 施工条件一覧

施工要因	平均	最大	最小
吐出口高さ(m)	1.2	2.5	0.5
吐出口移動距離(m)	2.4	5.0	0.0
1層の打込高さ(cm)	80	200	20
打上がり速度(m/hr)	1.3	4.5	0.2
筒先1か所当り打設量(m <sup>3</sup> /hr・筒先)	23	50	5
打込み作業量(m <sup>3</sup> /hr・人)	3.3	8.2	0.6
締固め作業量(m <sup>3</sup> /hr・台)	7.5	15.6	1.5
内部振動機の挿入間隔(cm)	70	150	20
練混ぜから打終わりまでの時間(hr)	1.0	1.5	0.5
打重ね時間間隔(hr)	1.1	2.5	0.1

12cmのスランプにより施工が可能であるが、最

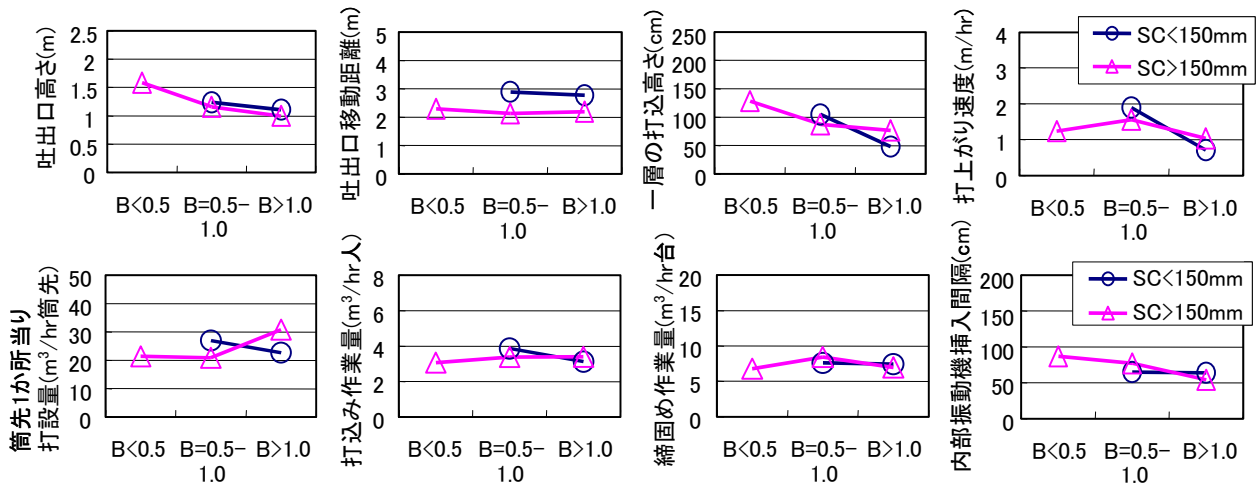


図-7 部材最小横寸法 (B) と最小せん断筋あき (SC) が施工要因に及ぼす影響

小せん断筋あきが 150mm よりも小さい場合には、9cm 程度のスランプで施工できる場合と 18cm 程度のスランプを必要とする場合が混在する状況が見られた。

### 5. 施工に関わる要因に関する考察

本調査の対象構造物は一般的なものとはいえ、図-1 に示すように、その構造条件は様々である。したがって、施工条件についても表-2 に示すように相当に異なっている。

図-7 には、各々の施工要因について、部材最小横寸法と最小せん断筋あきの区分ごとの平均値を示した。最小横寸法が小さい場合には、ポンプ吐出口から打設面までの高さが大きくなる傾向にあり、打込み作業量はやや小さくなるものの一層の打込み高さや内部振動機の挿入間隔はやや大きくなる傾向にあった。最小横寸法が 1.0m 以上の場合には、一層の打込み高さや内部振動機の挿入間隔が 50cm 程度となり一般の土木構造物の打込み方法となっている。最小せん断筋の間隔が小さい場合には、吐出口の高さは同じであるが移動距離が約 1.5 倍になっている。これは、せん断筋の配置が密な場合には、この設置間隔をずらすなどして吐出口を型枠内にいれる処置を行なう都合によるものと考えられる。

図-8 には、鋼材量が異なる場合の施工スランプと打込み時の作業量に関する施工条件を示

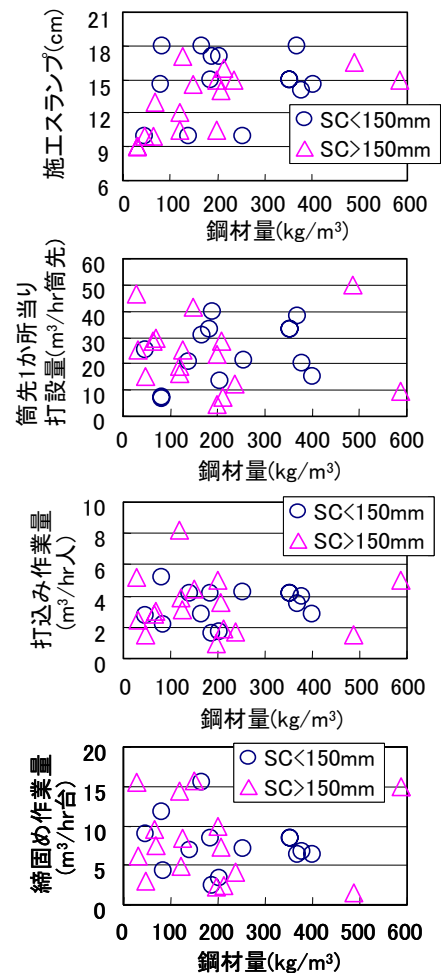


図-8 鋼材量が異なる場合のスランプと施工条件 (SC : 最小せん断筋あき)

す。前述のとおり、鋼材量が多くなるに従い施工スランプは大きく設定されている。またせん断筋が密な場合には鋼材量に関わらずスランプを大きく設定している場合もある。これに対し

て、打込み時の作業量は鋼材量に依存していないように見える。すなわち、与えられた構造物の構造条件に対して作業量が一定となるようにスランブの大きさを選定しているものと考えられる。

低スランブのコンクリートに対しては、打込み作業量を小さくして対応する方法も考えられるが、一定以上の密度の配筋に対しては長時間の締固めによっても充てんが不可能であることは実験によっても確かめられている<sup>6)</sup>。

表-2 に示す施工条件のうち、打込み・締固めに関係する条件は幅広く変化しているのに対し、打重ねに関係する要因は、一般の許容値の範囲（打込みまでの時間 1.5 時間以内、打重ね時間 2.5 時間以内）を全て満足している。信頼性の高い構造物を構築する手段として、結果的に、良好なワーカビリティを有するコンクリートを用いて、スムーズに施工を行なうことがより有効となっているのではないかと推察されるものである。

## 6. まとめ

一般的なコンクリート躯体構造物の施工スランブ（現着測定スランブ）と、構造条件・施工条件とを調査し、この関係について考察したところ以下の知見を得た。

- (1) 「現場技術者の感覚」によれば、部材の最小横寸法が 0.5m 以下であると部材高さにかかわらず複雑であると評価され、また型枠高さが 3.5m を超えると打込みには高いと判断される。また、最小せん断筋あきが 150mm 程度より小さくなるとポンプ吐出口の設置位置が制限されると感じられる。
- (2) 部材の最小横寸法が 1.0m 以下の構造物では、良好な施工に必要なスランブ値の下限が認められる。鋼材量が  $50\text{kg/m}^3$  から  $250\text{kg/m}^3$  へと大きくなるにつれ、最小鉄筋あきが 200mm から 50mm へと小さくなるにつれ、各々必要な最小スランブが 9cm から 15cm に変化する。最小横寸

法が 0.5m 以下の場合には、0.5m~1.0m の場合に比べて施工に必要なスランブが 3cm 程度大きくなる傾向がある。

- (3) 実際の施工においては、鋼材量が多くなるに従い施工スランブが大きく設定されている。またせん断筋が密な場合には鋼材量に関わらずスランブを大きく設定している場合もある。これは、与えられた構造物の構造条件に対して作業量が一定となるようにスランブの大きさを選定していることによると考えられる。

本研究は、東京大学前川宏一教授のご指導のもと、鹿島建設株式会社、大成建設株式会社が実施した 2 社共同研究の成果の一部であることを付記します。

謝辞 本研究の実施にあたっては、数多くの現場技術者の皆様のご協力を得ました。ここに深謝いたします。

## 参考文献

- 1) 日本土木工業会土木工事技術委員会：コンクリート構造物の長寿命化にむけての課題と今後のあり方，2004.4
- 2) 新藤竹文，坂田昇，前川宏一：初期欠陥を未然に防ぐコンクリート施工評価技術について，コンクリート工学，Vol.43，No.2，pp.27-34，2005.2
- 3) 府川徹，大友健，坂田昇，新藤竹文：高周波振動を受けたコンクリートのワーカビリティに関する研究，コンクリート工学年次論文集，Vol.27，No.1，pp.1015-1020，2005.6
- 4) 土木学会：コンクリート標準示方書[施工編]（2002 年制定），2002.3
- 5) 土木学会：2002 年版コンクリート標準示方書改訂資料，2002.3
- 6) 前川宏一，新藤竹文，坂田昇：セメント・コンクリートの潜在力と変化する社会への対応，セメント・コンクリート，No.707，pp.8-17，2006.1