

報告 硬練りコンクリートの適切なコンシステンシー評価方法の開発

越澤 哲*¹・坂田 昇*²・渡邊 賢三*³・信田 佳延*⁴

要旨:スランプ 0~6cm 程度の硬練りコンクリートは、スランプ試験ではコンクリートが硬すぎるためコンシステンシーが異なる場合でも試験値に差が出にくい傾向にある。そこで硬練りコンクリートのより適切な評価方法について実験的に検討し、その結果打撃スランプ試験によって振動による変形のしやすさを評価できるとともに空気量を予測できることが分かった。また、アジテータ車のドラム回転時の油圧を計測することによるコンクリートのコンシステンシー評価についても検討し、測定される駆動圧力からコンシステンシーをある程度予測可能であることが分かった。

キーワード: 硬練りコンクリート, コンシステンシー, 評価試験

1. はじめに

コンクリートのコンシステンシーの評価は、それぞれコンクリートの軟らかさに応じて適切な方法によって行われている。例えば、ゼロスランプの超硬練りコンクリートの場合は JSCE-F-507 に規定される RCD 用コンクリートのコンシステンシー試験方法¹⁾を、スランプ 0~6mm 程度のコンクリートの場合は JSCE-F-501 に規定される振動台式コンシステンシー試験方法によって評価される。さらに有スランプの硬練りからスランプ 21cm 程度の軟練りまでのコンクリートについては、一般にスランプ試験によって評価される。また、スランプ 21cm 以上の高流動コンクリートや水中不分離性コンクリートについてはスランプフロー試験²⁾によってそのコンシステンシーが評価される。本検討で対象としたスランプ 0~6cm 程度のコンクリートは、振動台式コンシステンシー試験が現場では容易に行えないことから、通常スランプ試験で評価されている。しかしながらスランプ試験ではコンクリートが硬すぎてスランプに差

が出にくい傾向にあるため、スランプ 0~6cm 程度のコンクリートの現場における、より適切なコンシステンシー評価方法について実験的に検討した。

また、硬練りコンクリートの品質の全量計測を目的に、アジテータ車のドラム回転時の油圧によるコンクリートのコンシステンシー評価について検討した。

2. 新しい評価試験方法の提案

2. 1 打撃スランプ試験

有スランプの硬練りコンクリートの場合、特にパイプレータによる振動締め性能が要求される。しかし、振動台式コンシステンシー試験は現場では容易に行うことができず、またスランプ試験はコンシステンシーが異なる場合でもコンクリートが硬すぎてスランプ値に差が出にくい傾向にある。そこで、スランプ試験を行い、スランプしたコンクリートに軽微な振動を与えることによってそのスランプ増加分を測定し、スランプと増加分の両者からコンクリートのコ

*1 鹿島建設(株)建設総事業本部土木技術本部工務部技術課(正会員)

*2 鹿島技術研究所 土木技術研究部 主任研究員 工博(正会員)

*3 鹿島技術研究所 土木技術研究部 研究員(正会員)

*4 鹿島技術研究所 土木技術研究部 グループ長 工修(正会員)

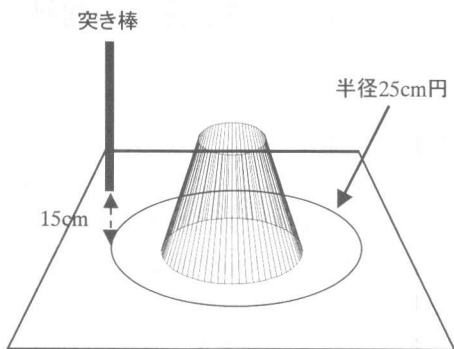


図-1 打撃スランプ試験

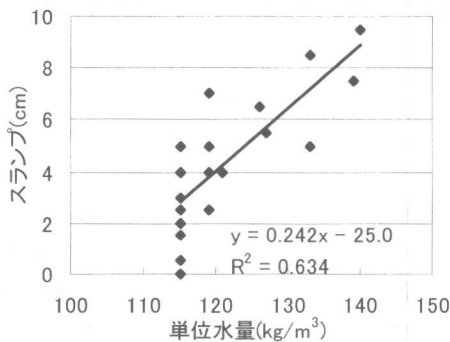


図-2 単位水量とスランプの関係

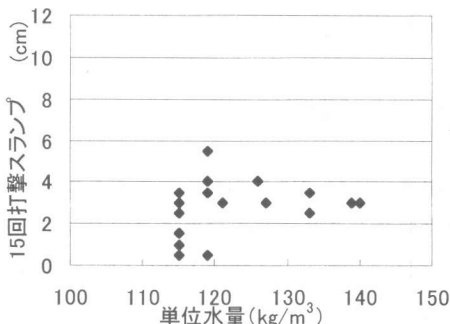


図-3 単位水量と15回打撃スランプの関係

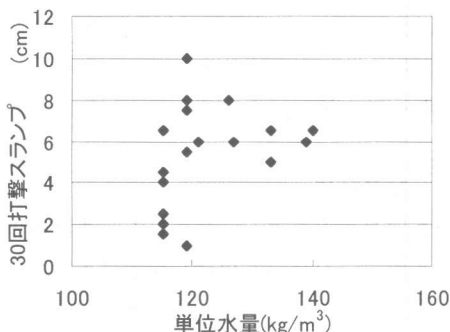


図-4 単位水量と30回打撃スランプの関係

表-1 使用材料

材料	記号	摘要
セメント	C	高炉セメント B 種 比重：3.01 ブレン値：3930 cm ² /g
細骨材	S	栃木県産 比重：2.52 F.M：3.91
粗骨材	G	栃木県産 比重：2.59 F.M：7.21
混和剤	AE 減水剤 AE 助剤	ポリカルボン酸系 天然樹脂酸系

表-3 試験方法

コンクリート試験	規格	備考
スランプ試験	JIS A 1101	
打撃スランプ試験	-	提案した試験方法
空気量	JIS A 1128	
コンクリート温度	温度計による	
圧縮強度試験	JIS A 1108	材齢 (適宜 14,28,91 日)

表-2 標準配合

種類	W/C (%)	s/a (%)	空気量 (%)	Gmax (mm)	単位量 (kg/m ³)				AE 減水剤	AE 助剤
					W	C	S	G		
外部	55	30	4.0	80	115	210	586	1405	C×0.25%	適宜*
内部	79	35			119	150	698	1330		

ンシステンシーを評価する方法を考案した。

具体的な試験方法を以下に示し、その概要を図-1に示す。まず、JIS A 1101-1997 に準じてスランプ試験を行い、そのスランプを S_0 (cm)、スランプフローを F_0 (cm) とする。 S_0 および F_0 を測定後、スランプコーンの中心から 25cm の位置に突き棒を自由落下させることによってスランプ板に打撃を与える。そのときの突き棒の落下高さは 15cm 一定とする。打撃は 1 秒に 1 回と

し、打撃回数 15 回、30 回の時点でのスランプ、スランプフローを測定し、それぞれ S_{15} , F_{15} , S_{30} , F_{30} とする。増加分はそれぞれ打撃前後の測定値の差によって求め、その値をそれぞれ、打撃スランプおよび打撃フローとした。

$$\text{打撃スランプ} = S_{15} \text{ (or } S_{30}) - S_0 \quad (1)$$

$$\text{打撃フロー} = F_{15} \text{ (or } F_{30}) - F_0 \quad (2)$$

2.2 実験概要

実験は、単位セメント量 150kg/m³ および

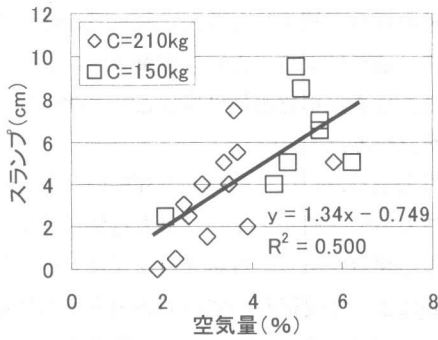


図-5 空気量とスランプの関係

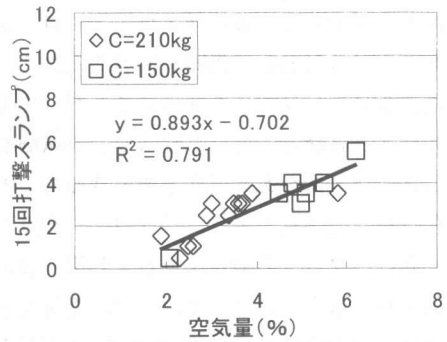


図-6 空気量と15回打撃スランプの関係

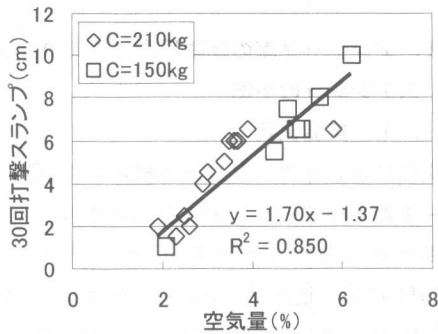


図-7 空気量と30回打撃スランプの関係

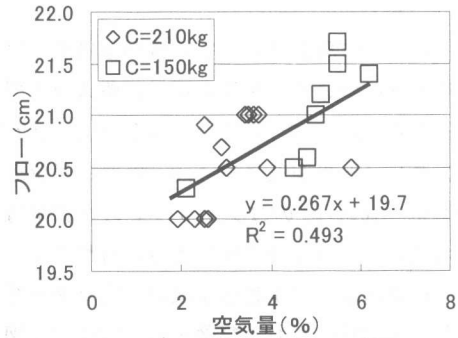


図-8 空気量とフローの関係

210kg/m³の2種類のコンクリートについて、単位水量および空気量を要因として行った。ここで、単位セメント量 150kg/m³のコンクリートはダム内部コンクリートを、単位セメント量 210kg/m³のコンクリートはダムの外部コンクリートをそれぞれイメージしたものである。使用材料およびコンクリート配合を表-1および表-2にそれぞれ示す。試験項目および試験方法は表-3に示すとおりである。

2.3 実験結果および考察

単位水量とスランプ、単位水量と15回打撃スランプ、単位水量と30回打撃スランプの関係をそれぞれ図-2、図-3および図-4に示す。図に示すように単位水量とスランプには若干の相関があるものの、相関係数は0.63と低く、また単位水量と打撃スランプにはほとんど相関がない結果となった。また、図には示さないが、単位水量とスランプフロー、単位水量と打撃フローにはほとんど相関がない結果となった。空気量とスランプ、15回打撃スランプ、30回打撃

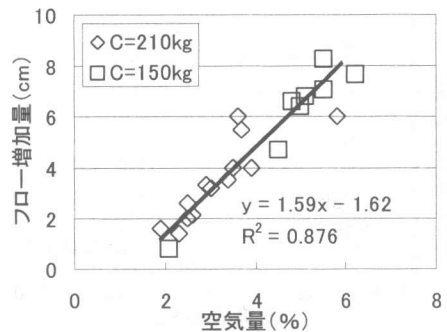


図-9 空気量と30回打撃フローの関係

スランプの関係をそれぞれ図-5、図-6および図-7に示す。図に示すように、空気量とスランプの相関係数が0.50であるのに対し、空気量と打撃スランプの相関係数は、15回打撃で0.79、30回打撃で0.85とともに相関が高い結果となった。一般に空気量が適度に多いコンクリートはスランプが大きくなり、ワーカビリティが良くなるが、今回の結果から、空気量を多くすることによって振動に対する変形性が増加するものと考えられる。また、逆に考えれば、

打撃スランプ試験による打撃スランプはコンクリート中の空気量と高い相関があることから、振動による変形しやすさを評価できるだけでなく、スランプ試験とともに打撃スランプ試験を行うことで空気量のある程度予測できるものと考えられる。空気量とスランプフロー、空気量と30回打撃フローの関係をそれぞれ図-8および図-9に示す。図に示すように、空気量と打撃フローの相関係数は0.88であり、空気量と打撃スランプの間にも高い相関があることが分かった。

図-10 および図-11 に空気量がほぼ同じコンクリートについて、単位水量と打撃スランプの関係を示す。ここで、単位セメント量 150kg/m^3 のコンクリートの空気量は $5.0\sim 6.2\%$ 、単位セメント量 210kg/m^3 のコンクリートの空気量は $3.4\sim 3.9\%$ であった。図に示すように打撃スランプは、単位水量にかかわらずほぼ一定である結果となった。図-10 および図-11 において、図-7の空気量と打撃スランプの関係を用いて空

気量の影響を補正した結果を図-12、図-13に示す。補正により、さらに打撃スランプは一定値に近づき、単位水量にはほとんど関係ないことが分かる。

以上より、スランプ $0\sim 6\text{cm}$ 程度のコンクリートにおいて、同一スランプでも打撃スランプは異なる場合があり、打撃スランプが大きいほど振動によって変形しやすいものと考えられる。また、打撃スランプによって空気量を予測できるものと考えられる。

3. アジテータ車の駆動圧力によるコンシステンシーの予測

3.1 実験概要

実験に供したコンクリート材料および配合は表-1 および表-2 に示すとおりである。練り上がったコンクリート 3m^3 をアジテータ車 (10t) に積み込んだ。そして、ドラムの回転数 3.5rpm 時において、図-14 に示すように、油圧モータから電気出力を計測し、電気出力から油

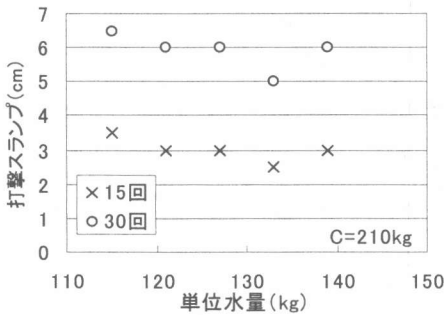


図-10 単位水量と打撃スランプの関係 (C=210kg/m³)

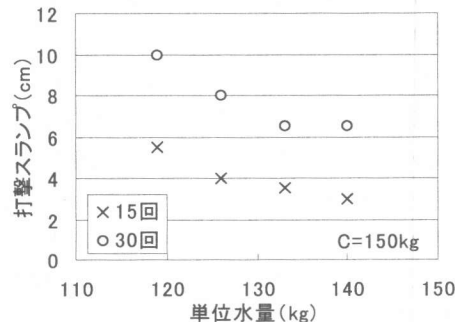


図-11 単位水量と打撃スランプの関係 (C=150kg/m³)

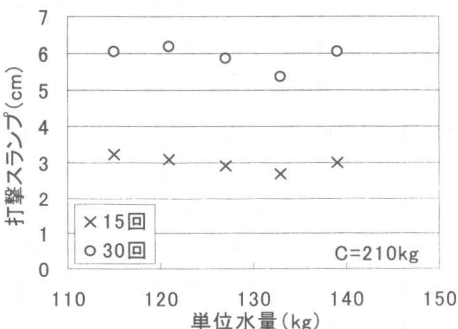


図-12 単位水量と打撃スランプの関係 (空気量の影響補正後) (C=210kg/m³)

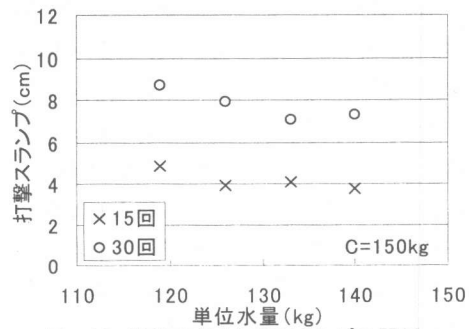


図-13 単位水量と打撃スランプの関係 (空気量の影響補正後) (C=150kg/m³)

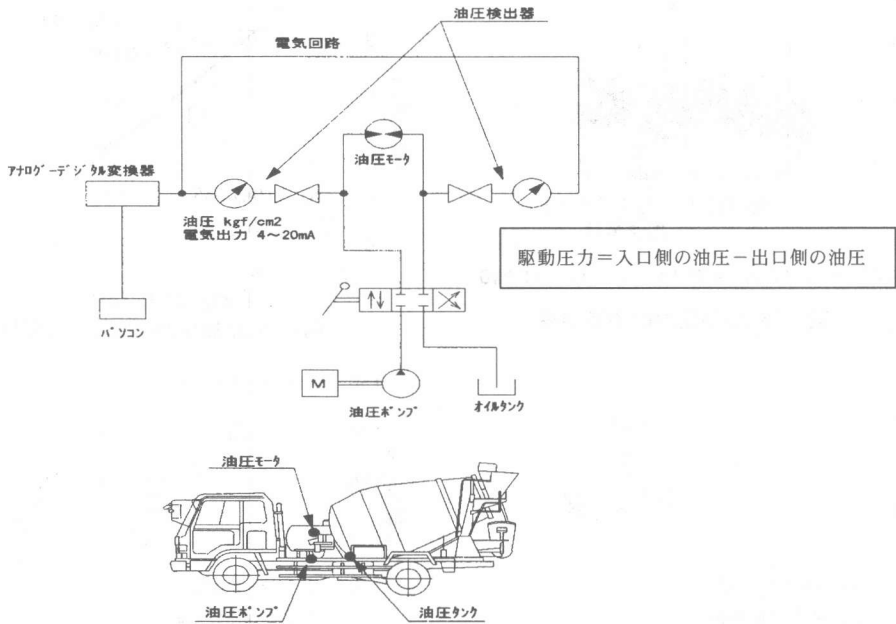


図-14 駆動圧力測定の概要

表-4 計測に使用した機器仕様

名称	型式	仕様
油圧検出器	KH15-C34	入力最大 35N/mm ² 電気出力 4~20mA
アナログ デジタル変換器	XL200	4~20mA 入力 12bit (4096) 分解能
パーソナル コンピュータ	PC9801Lt/540t	ノート型

圧を算出した。計測に使用した機器の仕様は表-4に示すとおりである。電気出力は、パソコン上では、4mAが0、20mAが4095としてデジタル変換されて入力されるため、次式によって油圧に変換した。

$$p = D \times 35 / 4095 \quad (3)$$

ここで、

p : 油圧 (N/mm²)

D : デジタル変換値

駆動圧力は油圧モータの入口側の油圧と出口側の油圧の差となるため、油圧モータの入口側と出口側の両方に油圧検出器を設置した。

コンクリートプラントにおける練混ぜの際のミキサ負荷値とコンクリートのスランプの間に相関関係があることは一般に認知されている³⁾。ここでは、アジテータ車の油圧モータの発生トルクと駆動圧力

と駆動圧力に間に次式の関係があり、回転数が一定の場合、発生トルクは駆動圧力に比例することから、駆動圧力とスランプの関係について検討することとした。

$$T = P \cdot q \cdot n / (2 \cdot \pi \cdot 100) \quad (4)$$

ここで、

T : 油圧モータの発生トルク (Nm)

P : 駆動圧力 (N/mm²)

q : 1回転当たりの所要流量 (ml/rev)

n : 機械効率

油圧モータの油圧を計測後、アジテータ車よりコンクリートをサンプリングし、スランプ試験、打撃スランプ試験および空気量試験を行った。

3.2 実験結果および考察

駆動圧力の測定結果の一例を図-15に示す。また、駆動圧力とスランプの関係を図-16に示す。図に示すように、駆動圧力とスランプの間には高い相関があることが分かる。このことから、スランプ0~6cm程度のコンクリートにおいても、駆動圧力を測定することによって、全量のコンクリートのコンシステンシーをある程度

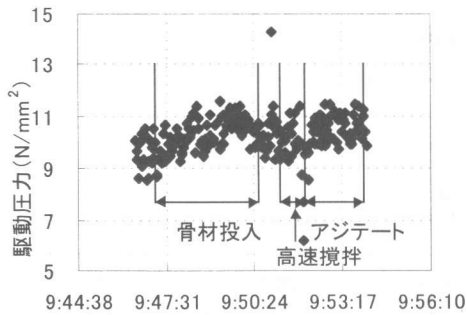


図-15 駆動圧力の測定結果

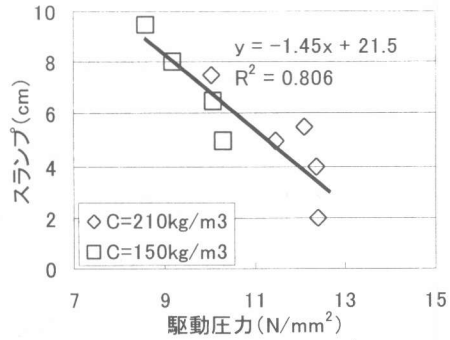


図-16 駆動圧力とスランプの関係

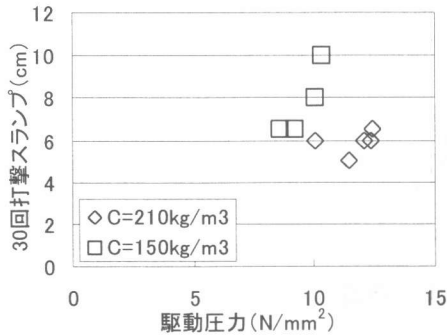


図-17 駆動圧力と30回打撃スランプの関係

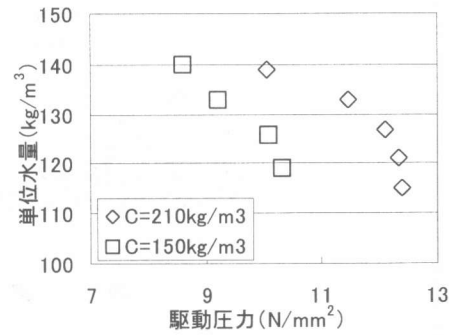


図-18 駆動圧力と単位水量の関係

予測できるものと考えられる。図-17に駆動圧力と30回打撃スランプの関係を示す。図に示すように、駆動圧力と30回打撃スランプの間にはほとんど相関がない結果となった。図-18に駆動圧力と単位水量の関係を、図-19に駆動圧力と空気量の関係をそれぞれ示す。図に示すように、駆動圧力と単位水量の間には高い相関があり、駆動圧力と空気量の間にはほとんど相関がない結果となった。これらのことから、駆動圧力はコンクリート中の単位水量を評価することができ、スランプをある程度予測できるものの、空気量の増減等による振動による変形のしやすさは評価できないものと考えられる。

4. まとめ

スランプ 0~6cm の硬練りコンクリートについて適切なコンシステンシー評価方法として打撃スランプ試験を実施した結果、スランプ試験では差のなかったコンクリートについても振動による変形のしやすさを評価できる可能性を見出した。

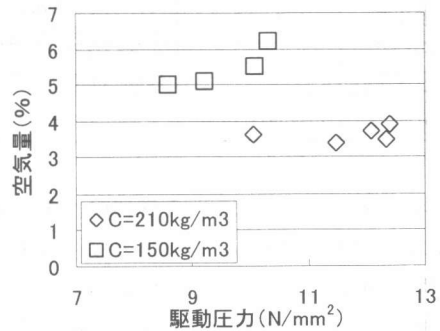


図-19 駆動圧力と空気量の関係

またアジテータ車の駆動圧力を測定することによってコンクリートのコンシステンシーをある程度予測できるものと考えられる。

参考文献

- 例えば日本ダム協会, RCD 工法施工研究会 : RCD 工法施工の手引き, pp13-14, 1994. 6
- 例えば土木学会 : 高流動コンクリート施工指針, pp160-161, 1998. 7
- 例えば全国生コンクリート工業組合連合会 : 生コン工場品質管理ガイドブック, p185, 1980. 9