

# 報告 トラックアジテータから排出されるコンクリートの流下速度とスランプ値との関係

大友 健\*1・橋本 貴之\*2・畠山 峻一\*3・渡邊 高也\*4

**要旨:** 4 現場のスランブの仕様と配合が異なるコンクリートについて、トラックアジテータ排出時にシュートを流下するコンクリートの画像でのピーク速度と平均の流量を測定した。その結果、流量の大小によりシュート流下速度は大きく変化するが、同じ流量で比較した場合、スランブが大きいほど流下速度が大きくなること、流下速度はシュートの傾斜角度にも影響するが、この影響をマニング式の応用により補正できることが確認された。異なった工種の現場の異なる配合間の比較においても、スランブの大きさと流下速度に一定の関係が見いだせることは、画像によるスランブ値の連続全数監視システムの汎用性を示すものとする。

**キーワード:** スランブ, 荷卸しコンクリート, 全数管理, 流下速度, 塑性粘度, PRISM

## 1. はじめに

著者らは、現場打ちコンクリートの施工における生産性向上と構造体の品質向上の観点から、工場での練混ぜから打込み完了までの生コン情報をリアルタイムにクラウドサーバで閲覧できるようにすることで全ての工事関係者間で共有し出荷～運搬～打込みと品質の管理を支援するシステムを各土木工事現場で展開している。

2018 年度には、「建設現場の生産性を飛躍的に向上するための革新的技術の導入・活用に関するプロジェクト」(以下、PRISM と称する) を利用し、「共通のクラウドを構築しての生コン情報の電子化」と「映像の活用による(発注者の)確認検査省力化」を、国土交通省の直轄工事において試行し、これら手法の生産性と品質の向上への寄与を検証した<sup>2)</sup>。これに対して、「将来は CIM モデルと連携することで、維持管理段階でも参照できる情報にして戴ければ一層有効なのではないか」との意見を PRISM の評価委員会より受けている。

これを受け、2019 年度の PRISM の試行においては、図-1 に示すように、コンクリートの打込み履歴(構造物内での位置情報を含む)と生コン車 1 台毎の品質記録を構造物 CIM モデルに統合し、構造物の維持管理への活用を可能とするとともに、施工者としてのアカウントビリティを向上できる手法を検討している<sup>3)</sup>。

本報告は、上述のコンクリートの品質記録のうち、施工の確実性を担保するものとして、生コン車から荷卸しするコンクリートのスランブ値の全数取得の可能性を検討するために行なった調査結果をまとめたものであり、異なった仕様・配合のコンクリートについて、シュートを流下するコンクリートの速度とスランブとの関係を考

### 「クラウド上で共有した動画を含む生コン情報の CIM モデル連携」

コンソーシアム構成員: 大成建設、成和コンサルタント、横浜国立大学、ソイルアンドロックエンジニアリング、パナソニックアドバンステクノロジー、エム・エス・ティー、応用技術  
 試行場所: 天ヶ瀬ダム

・コンクリートの施工効率化と品質向上に効果のある 製造～運搬～打込みのクラウド管理システム(2018年度試行)の、画像活用機能を高度化、打込み位置の定義機能を追加することで、スランブ/単位水量試験の全数化と検査結果の発注者承認の省力化を図り、全生コン車の品質情報の CIM モデルとの連携を目指す

### CIM モデルとの連携方法検討

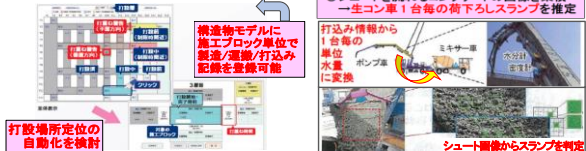


図-1 2019 年度 PRISM の内容(国交省 HP<sup>4)</sup>を編集)



図-2 単位水量とシュート流下画像の全数測定状況

\*1 大成建設 土木本部土木技術部 専任部長(技術担当) 博(学術) (フェロー会員)

\*2 大成建設 技術センター社会基盤研究部水理研究室 課長代理

\*3 大成建設 技術センター生産技術開発部スマート技術開発室 主任

\*4 大成建設 土木本部土木技術部技術・品質推進室 課長

察した。

PRISM の試行は、天ヶ瀬ダム流入部の構築工事<sup>3)</sup>の現場において図-2 に示すような方法で行なっているが、ここでのスランプ値推定手法が様々なコンクリートにも適用できるかを事前に評価しようとしたものである。

## 2. シュートを流下する性状に関する計測

### 2.1 計測項目

品質試験方法と実施時諸特性との相関性評価研究委員会の報告<sup>5)</sup>では、通常のコンクリート工事において、コンクリートの状態を目視観察してコンクリートの性状を判断できる技術者がいる場合には「生コンがシュートを落ちる状態を見て性状を確認する」行為がおこなわれているとしている。また、各種のいわゆる傾斜フロー試験器が考案され実験が行われており<sup>6)</sup>、傾斜を流れるコンクリートの速度とコンシステンシーに相関があることは自明と思える。しかしながら、実際にトラックアジテータのシュートの流れをスランプ値として評価できるかどうか、それが実際の現場レベルで活用できるかどうかの検討例は、未だ少ない<sup>7)</sup>と考える。

これらの研究では、スランプの大きさ、傾斜角度の影響を要因としているが、実際にアジテータからポンプホッパへの投入状況を見ると、どのくらいドラムを回してコンクリートを投入しているかが、流下速度に最も影響を与えているように思える。図-3 の上図は、図-2 のシステムにより測定される流速の変化状態の例であるが、トラックアジテータのオペレータがポンプホッパの空き状況に合わせて投入速度を脈動的に変化させている。

本報告の計測では、シュート流下の撮影画像から、図-3 の下図に示すように、この脈動のピークをサンプリングし、流下速度（ピーク平均）と定義した。ここで流

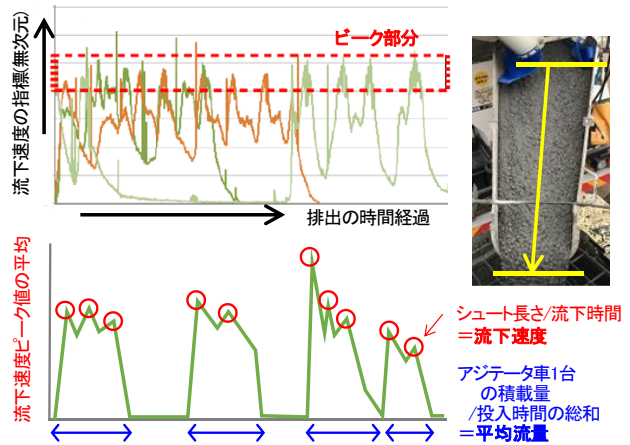


図-3 流下速度と流量の定義

下速度は、採取した画像でシュート上を流れ落ちる時間を目測で計測し、シュート長さをこれで除して算出した。また流量については、トラックアジテータ1台の投入にかかった時間（休止時間を除くもの）を計測し、積載量をかかえる時間で除することで流量（平均）とした。

### 2.2 コンクリートの仕様と配合

計測を行なった4現場のコンクリートの仕様と配合を表-1 に示す。スランプの実測値も同表に示す。各々のスランプの形状を図-4 に示す。

配合Aと配合Bは同じスランプ12cmの仕様であるが、配合Aはトンネルのインパート用であり、勾配を持って仕上げる都合上12cmを下回るスランプが荷卸しのターゲットとされている。一方配合Bはやや高密度な配筋のボックスカルバートの構築用で、ポンプによる圧送を伴うことから14cm程度のスランプがターゲットとされた相違がある。配合Cは前出の天ヶ瀬ダムの構築物での仕様であり、大深度の低所への圧送の必要から15cmの仕

表-1 コンクリートの仕様と配合、スランプの実測値

配合記号	セメントの種類	呼び強度 (N/mm <sup>2</sup> )	粗骨材の最大寸法 (mm)	スランプ (cm)	空気量 (%)	水セメント比 W/(C+F) (%)	細骨材率 (%)	単位量 (kg/m <sup>3</sup> )							実測のスランプ (cm)
								水 W	セメント C	膨張材 F	細骨材 S	粗骨材 G	AE減水剤	高性能AE減水剤	
A	普通	40	20	12	4.5	45.1	42.6	174	386	-	736	1014	4.25	-	12.0
B	普通	30	20	12	4.5	50.0	46.8	167	334	-	845	982	4.18	-	14.0
C	低熱	30	20	15	4.5	50.0	45.9	175	335	15	788	966	2.80	-	16.0*
D	中庸熱	40	20	18	4.5	48.0	47.2	169	332	20	855	964	-	2.82	20.0

\*3回の平均



図-4 スランプの状態

表-2 流量と流下速度の測定値

配合記号	A	A	B	B	C	C	C	D	D	D	D
測定No.	①	②	①	②	①	②	③	①	②	③	④
スランプ (cm)	12.0	12.0	14.0	14.0	16.0	16.5	15.5	20.0	20.0	20.0	20.0
シュート長さ (m)	1.40	1.40	1.65	1.65	1.65	1.65	1.65	1.65	1.65	1.65	1.65
シュート角度	22°	20°	20°	20°	19°	19°	19°	23°	23°	16°	17°
積載量 (m³)	4.25	4.25	4.00	4.00	4.25	4.25	4.25	4.00	4.00	4.00	4.00
荷卸し時間 (min)	10.00	8.00	3.50	4.92	3.50	3.63	3.78	3.43	4.20	3.17	4.33
流量(平均) (m³/hr)	26	32	69	49	73	70	67	70	57	76	55
流下秒数(ピーク平均) (sec)	4.9	4.2	2.3	2.8	2.0	2.0	2.2	1.9	2.0	2.1	2.2
流下速度(ピーク平均) (m/sec)	0.29	0.33	0.72	0.59	0.83	0.83	0.75	0.87	0.83	0.79	0.75

表-3 流下秒数の変動状態

配合記号	A	A	B	B	C	C	C	D	D	D	D
測定回	①	②	①	②	①	②	③	①	②	③	④
流下時間	2.9	3.0	1.9	2.0	1.5	1.5	1.4	1.6	1.4	1.5	1.6
読み値 (sec)	3.4	3.1	1.9	2.1	1.7	1.6	1.5	1.6	1.6	1.6	1.7
	3.4	3.6	1.9	2.2	1.7	1.6	1.7	1.6	1.6	1.6	1.9
	3.5	3.8	2.0	2.4	1.8	1.7	1.8	1.6	1.6	1.7	2.0
	4.4	3.9	2.1	2.4	1.8	1.7	1.8	1.7	1.6	1.8	2.1
	4.6	3.9	2.1	2.5	1.8	1.8	1.9	1.7	1.8	1.8	2.1
	4.8	4.0	2.2	2.7	1.8	1.8	1.9	1.9	2.0	1.9	2.1
	5.2	4.1	2.2	2.9	1.8	1.8	2.0	1.9	2.1	2.0	2.2
	5.6	4.2	2.5	3.0	1.9	1.9	2.1	1.9	2.1	2.0	2.2
	5.7	4.2	2.7	3.0	2.0	2.0	2.2	1.9	2.1	2.0	2.2
	6.0	4.2	2.8	3.1	2.1	2.1	2.4	2.0	2.2	2.1	2.2
	6.2	4.6	2.9	3.4	2.3	2.2	2.6	2.1	2.4	2.5	2.2
	6.8	4.6	3.4	4.1	2.3	2.2	2.8	2.2	3.0	2.5	2.4
	7.0	4.7	4.1	5.5	2.3	2.2	3.0	2.4	3.0	2.6	2.4
		5.0			2.7	2.3	3.4	2.9	3.6	3.0	2.6
		5.1			2.8	2.3	3.5	3.5		3.4	2.7
中央10測定の平均値 (sec)						2.5		3.6		3.8	
						2.8				4.4	
						2.9					
	4.9	4.2	2.3	2.8	2.0	2.0	2.2	1.9	2.0	2.1	2.2

様とされていた。配合Dはスランプ 18cm の仕様で、実際のスランプ値も 20cm と大きいコンシステンシーを持つものである。いずれのコンクリートも非常にプラスチックな状態のものであった。粗骨材はいずれも砕石（粗骨材の最大寸法 20mm）で、細骨材は山砂単独あるいは山砂+砕砂の組み合わせによるものである。

2.3 シュート流下性状の計測値

計測を行なった4配合についての流量と流下速度の計測値を表-2に示す。配合A・配合Bについてはトラックアジテータ2車を、配合Cについては3車、配合Dについては4車の測定を行なった。配合A・B・Dは続けて2台ないし4台の測定であるが、配合Cは3車の測定タイミングが異なるのでスランプを各々に測定している。これについては、3回の測定値の平均の16cmを用いて以下のデータを整理した。

配合Aの現場のトラックアジテータのシュートは二つ折りタイプのショートリーチであり、それ以外はロングの一本物である。A・B・Cの現場ではシュートの角度はおおむね20°であったが、配合Dの現場では、付けるポンプ車の車体によって同じトラックアジテータでも23°と16°程度と傾斜が大きく変わった。流量は、実際の工事での測定であるため、結果的に構造部位ごとの打設速度に依存して決まるものとなっている。

表-3には、流下速度（ピーク平均）を算出するために測定した流下秒数の変動状態を示す。流下秒数が大きくなると、急に読み値が大きくなる傾向がある。これはポンプホッパーのコンクリート残量がまだある状態で少しの量を継ぎ足して投入している状態を計測している影響と考えられる。そのため読み値の上下を切り、中央10点の平均値を流下秒数（ピーク値）として採用した。

3. 流下速度とスランプの関係

図-5に、流量と流下速度との関係を示す。流量が多いほどシュート流下速度は大きくなるが、スランプの相違を考慮した補助線を記入すると、同じ流量で比較した場合、スランプが大きいほどシュート流下速度が大きくなる傾向が見て取れる。配合Dでシュート角度が23°と16°で異なる場合には、16°の場合の流下時間が23°に

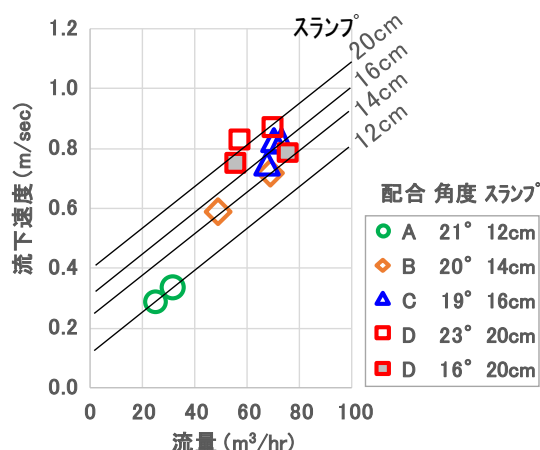


図-5 流量と流下速度の関係

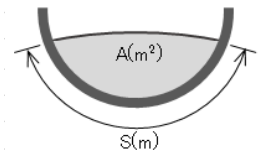
くらべて明らかに遅くなっていた。

シュートの傾斜角度の影響について、開水路において流れが等流の場合に経験則として得られている Manning式における傾斜角度の影響項を参照して補正を試みた。

Manning式では、式(1)に示すように、流速は粗度係数と径深、傾斜角度より算定される。傾斜が変化した場合でも粗度係数は一定であるため、式(2)のように、傾斜角度を修正した場合の角度は、基準の角度とその時の径深

表-4 傾斜角度による流下速度の補正結果

配合記号	A		B		C			D				
測定No.	①	②	①	②	①	②	③	①	②	③	④	
流下速度(角度修正前) (m/sec)	0.29	0.33	0.72	0.59	0.83	0.83	0.75	0.87	0.83	0.79	0.75	
流下断面積(平均)A (cm <sup>2</sup> )	496	531	531	460	491	473	499	447	385	536	410	
潤辺 S (cm)	56.1	57.9	57.9	54.3	55.9	54.9	56.3	53.6	50.3	58.2	51.6	
径深 R (cm)	8.8	9.2	9.2	8.5	8.8	8.6	8.9	8.3	7.7	9.2	7.9	
tan θ	tan20° = 0.364		0.404	0.364	0.364	0.364	0.344	0.344	0.344	0.404	0.287	0.306
流下速度(角度修正後) (m/sec)	0.27	0.33	0.72	0.59	0.85	0.85	0.77	0.82	0.78	0.89	0.82	



の各々の比の関数により表わされる。

$$V = \frac{1}{n} R^{2/3} I^{1/2}, \quad n = \frac{1}{V} R^{2/3} I^{1/2} \quad (1)$$

ここで、

$n$ : マニングの粗度係数 (m<sup>-1/3</sup>・s)

$R$ : 径深 (m) (=流下断面積 A (m<sup>2</sup>) ÷ 潤辺 S (m))

$I$ : 勾配 (-) (=tanθ)

$$n = n_m$$

$$\frac{1}{V} R^{2/3} I^{1/2} = \frac{1}{V_m} R_m^{2/3} I_m^{1/2}$$

$$V = V_m \left(\frac{R}{R_m}\right)^{2/3} \left(\frac{I}{I_m}\right)^{1/2} \quad (2)$$

ここで、

$V$ : 補正後の流下速度 (m/s),  $V_m$ : 実測の流下速度 (m/s)

$R$ : 補正後の径深 (m),  $R_m$ : 実測の径深 (m)

$I$ : 補正後の傾斜角度 (=tanθ),

$I_m$ : 実測の傾斜角度 (=tanθ<sub>m</sub>)

表-4 には、シュート角度が 20° を基準として、傾斜角度の相違を補正した場合の流下速度を示した。この表には平均流速が仮に実測のピーク速度の 1/2 であったとして求めた流下断面積と、その時の潤辺と径深の計算値も示したが、流下断面積そのものが流量の影響を大きく受け傾斜角度の影響より大きいと考えられること、シュート角度 20° の時の径深がデータとして直接得られていないことと、得られた径深がおおむね 8~9 であり結果的にあまり差がないことから、補正には、式(2)の  $V_m$  に乗ずる第 2 項である角度の影響項 tan θ の比の平方根の部分のみを使用した。

図-6 に、流量と補正した流下速度の関係を示す。シュート角度により異なっていた配合 D の速度について、前述の補正により傾斜の影響が除かれたことがわかる。

図-6 上には、配合 C のコンクリートの施工時に、流量を大きく変化させた場合の平均の（ピークではないの意味）流下速度のデータを破線として示す。この時、流量が 0 m<sup>3</sup>/hr の時に流速が 0 m/sec に漸近する累乗曲線に近似する傾向が得られた。そこで図-7 では、スランブ値ごとに累乗近似線を重ねた。

これら累乗近似線に基づき流量が 30m<sup>3</sup>/hr および 60m<sup>3</sup>

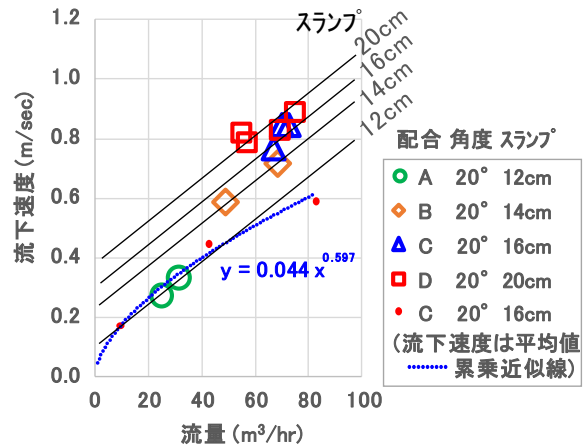


図-6 流量と補正した流下速度の関係

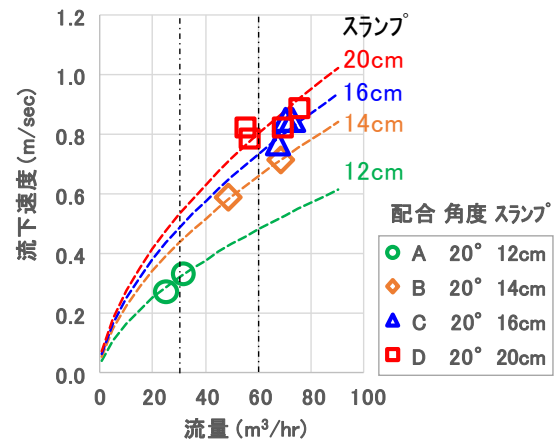


図-7 流量と補正した流下速度の関係の累乗曲線による近似

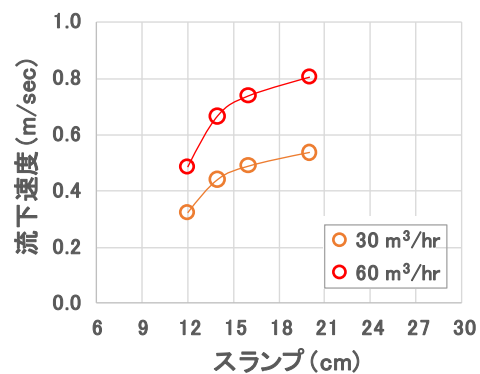


図-8 スランブと流下速度の関係

表-5 異なるスランプでのコンシステンシー特性

コンクリート種別	スランプ (cm)	スランプフロ (mm)	500mmフロー到達(s)	B型回転粘度計		S漏斗* 流下時間(s)
				塑性粘度 (Pa·sec)	降伏値 (Pa)	
スランプ	9.0	217	-	6.20	104.3	5.1
	18.5	295	-	7.21	46.3	4.4
コンクリート	21.2	353	-	7.36	29.9	4.1
	23.2	423	-	7.98	34.7	3.8
高流動	25.7	512	-	7.06	28.3	4.2
コンクリート	27.2	656	6.9	7.37	26.7	3.6
リート	27.5	700	7.2	8.36	21.1	4.4

\*塩ビ製の管を縦に配置し、内部にモルタルを充填した後、引き上げ、内部のモルタルが全て排出される時間を測定する 試験方法 この実験では、長さ150mmで、内径が13mm・16mm・20mmの3種の管を用いた測定を行い、この平均の流下時間を示した。

1hrの時のスランプと流下速度の関係を示すと図-8のようになる。同じ流量で比較した場合、異なった工種の現場の異なる配合の間であっても、スランプの大きさと流下速度には一定関係が見いだせるものとなった。

#### 4. コンシステンシー特性と流下速度の関係の考察

一般にスランプの大きさはコンクリートの降伏値と逆相関があるとされており、文献6にもこのことが示されていた。一方、流動速度との関係としては、著者らの研究<sup>8)</sup>では、高流動コンクリートの流動速度について、フロー速度の逆数がスランプフローと線形関係があり、かつモルタルの粘性特性とも一定の関係があるとした考察を行っている。

表-5には、著者の一部らが行なった既往の研究<sup>9)</sup>において、スランプ領域から高流動領域までを、セメントと骨材を同じとした条件で、目標スランプを連続的に変化させたプラスチックなコンクリートにおいて、コンシステンシー特性の変化を調査した結果を示す。ここで、スランプ18cmを下回るコンクリートでは回転翼型粘度計を用いたツーポイント法による測定が困難であったため、コンクリートをウェットスクリーニングして得たモルタルの粘度特性をB型回転粘度計で測定している。また流下速度の直接的な指標として、ウェットスクリーニングモルタルのS漏斗流下時間(試験方法は表-4に付記)の測定値も示した。

図-9には、スランプとこれらモルタルの粘性特性値の関係を示す。スランプが大きくなると、降伏値は小さく塑性粘度はやや大きくなる。高流動コンクリート領域では降伏値の低下が頭打ちとなり粘度があがることから、S漏斗流下時間はスランプ24cm程度を最小とした下に凸の変化傾向となるようにも見える。これは大きいコンシステンシーをプラスチックな状態で得るためにはコンクリートに一定の粘性が必要となる事象を示しているものと考えられる。

図-10では、図-8の縦軸値をコンクリートの流下速

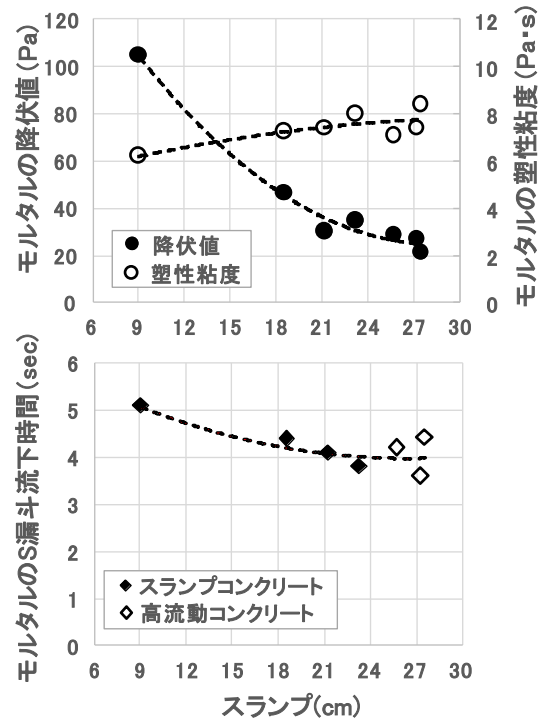


図-9 コンシステンシー特性に及ぼすスランプの影響

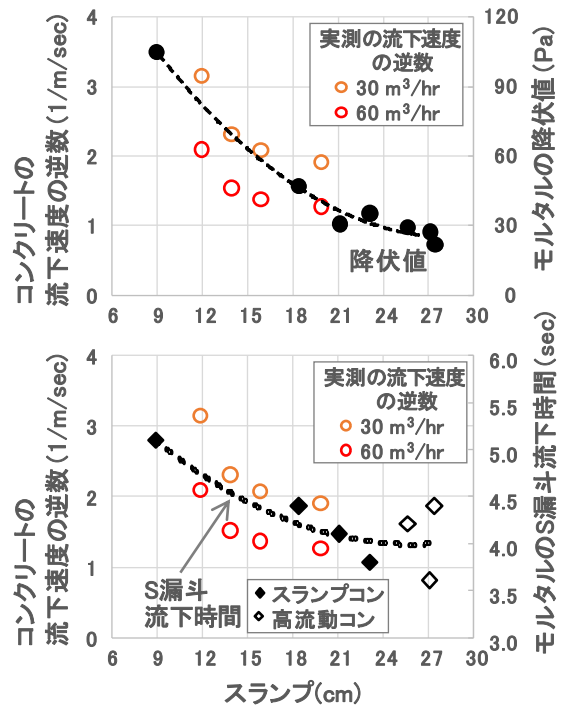


図-10 シュート流下速度の逆数のスランプによる変化傾向とコンシステンシー指標の変化傾向との比較

度の逆数に変換して図-9に重ね合わせた。これは文献8の知見に準じて、スランプの大きさとコンクリートの流下速度の逆数との関係を示したものである。ここで、コンクリートの流下速度の逆数の変化傾向はモルタルのS漏斗流下時間の変化傾向とより適合するようである。

本報告においてはコンクリートのシュート流下速度の測定はスランプ 12cm～20cm の範囲で行っているが、この測定範囲内においても、図-8 に示すようにスランプが大きくなるほどコンクリートの流下速度の増加の程度が小さくなっている。この傾向は、図-9 でモルタルの S 漏斗流下時間がスランプ 24cm 程度を最小とした下に凸の変化傾向を示すようなスランプが 20cm を超える流動性のコンクリートの粘性特性の変化傾向を反映したものと考えられる。

## 5. まとめ

4 現場のスランプの仕様と配合が異なるコンクリートを対象として、トラックアジテータ排出時にシュートを流下するコンクリートのピーク速度と平均の流量を測定した。その結果について整理し考察を加えることで、以下が明らかとなった。

- (1) シュートを流れるコンクリートの流量の大小によりシュート流下速度は大きく変化する。
- (2) シュート流下速度はシュートの傾斜角度にも影響する。この影響は、開水路において流れが等流の場合に経験則として得られている Manning 式における傾斜角度の影響項を参照することで補正できる。
- (3) 同じ流量で比較した場合、スランプが大きいほど流下速度が大きくなる。
- (4) スランプが大きくなるほど、流下速度の増加の程度が小さくなる傾向は、スランプコンクリートや高流動コンクリートのプラスティシティーの確保に係る粘性特性の変化傾向を反映したものと考えられる。

異なった工種の現場の、異なる生コン工場の異なる材料の配合間においても、スランプの大きさとシュートを流下する速度に一定の関係が見いだせることは、1.において述べる経緯により検討している「画像によるスランプ値の連続全数監視システム」の汎用性を示す一つの事象と考える。

本検討では、シュートを流れる画像からピーク流速を任意に抽出してデータ化したが、実際の工事では、トラックアジテータの運転手がポンプホッパの状況を見ながら、随時シュートに流すコンクリートの流量を調整しており人為的要素による変化要因が非常に大きいものとなっている。現在、天ヶ瀬ダム流入部の構築工事現場において試行しているシステムでは、シュート流下画像をリアルタイムに連続取得して、この投入状況の相違による流速の変化に及ぼす流量の影響やシュート傾斜角度の影響を AI の利用により考慮する手法を使用している。

今後、さらに様々なコンクリートのシュート流下画像を採取分析することで、配合や材料の相違についても考慮できるようになることを期待するものである。

最後になりますが、本研究は、2019 年度 PRISM において、「大成建設、成和コンサルタント、横浜国立大学、ソイルアンドロックエンジニアリング、パナソニックアドバンステクノロジー、エム・エス・ティー、応用技術コンソーシアム」の業務内容の一部であること、また、画像の取得にあたって、大成建設の川野雄毅、西嶋望、矢部和史、小林祐樹の各氏の協力を得たことを付記します。

## 参考文献

- 1) 北原剛：現場イノベーションの最新事例(1)現場打ちコンクリートの新しい管理手法，土木学会「現場イノベーションプロジェクト」シンポジウム，2017.6
- 2) 大友健ほか：「生コン情報電子化」が打込み作業の生産性向上に及ぼす効果，コンクリート工学，Vol.57，No.11，pp.861-869，2019.11
- 3) 大友健ほか：「生コン情報の電子化」の展開－PRISM による現場打ちコンクリート工の生産性向上と品質管理の高度化の検証－，コンクリート工学，Vol.58，No.1，pp.39-44，2020.1
- 4) 国土交通省大臣官房技術調査課ホームページ，<http://www.mlit.go.jp/common/001302424.pdf>
- 5) 綾野克紀ほか：委員会報告 品質試験方法と実施工時諸特性との相関性評価研究委員会，コンクリート工学年次論文集，Vol.31，No.1，pp.27-36，2009.7
- 6) 阿部果林ほか：傾斜フロー試験によるコンクリートのフレッシュ性状評価に関する研究，コンクリート工学年次論文集，Vol.26，No.1，pp.1245-1251，2004.7
- 7) 湯本哲也ほか：トラックアジテータのシュートを流れるコンクリートの速度に関する一考察，平成 27 年度日本大学理工学部学術講演会予稿集 B24，pp.79-80，2015.12
- 8) 大友健ほか：ポンプ圧送あるいはアジテータを受け高流動コンクリートの粘性の変化に関する研究，コンクリート用化学混和剤の性能評価シンポジウム論文集，pp.II-45-52，2002.12
- 9) 大友健ほか：スランプ領域から高流動領域までの流動性を有する高性能 AE 減水剤を用いたコンクリートのコンシステンシー評価に関する研究，コンクリート用化学混和剤の性能評価シンポジウム論文集，pp.II-39-44，2002.12