

## 論文 スランプ低下の大きさがコンクリートの圧送性に及ぼす影響

西泊 雄太\*1・橋本 紳一郎\*2・根本 浩史\*3・伊達 重之\*4

**要旨：**スランプの低下の大きさがコンクリートの品質及び圧送性に及ぼす影響を検討するため、最初に、スランプの低下に影響が予想される静置条件の違いを検討した。その結果、練混ぜ直後のコンクリートに対して静置の場合にコンクリートの性状への影響が大きく、それらは最大せん断応力の値や圧送の初期段階の圧送性に影響することを確認した。次に、スランプの低下の大きさがコンクリートの品質及び圧送性に及ぼす影響を検討した。その結果、同一のスランプのコンクリートでも、スランプの低下が大きいかほど最大せん断応力の値が高くなり、初期の圧送性は低下し、最終的な圧送状態が異なることを確認した。

**キーワード：**圧送性, スランプの低下, ベーンせん断試験, ポンプ主油圧, 加速度

## 1. はじめに

近年、コンクリートポンプ工法は殆どの建設工事において採用され、必要不可欠な施工技術となっている。その中で、施工現場では、ポンプ車の入れ替え作業やトラブル等により、一時的にコンクリートを静置する場合があります。コンクリートの流動性が低下する状況が多くみられる。コンクリートを静置した状態により、流動性が低下するが、その要因として、水和反応に伴うコンクリートの凝結・固化の他に、セメント粒子の凝集によるコンクリートの粘度・降伏値の増大が挙げられる。それらは施工現場において、閉塞等の搬送効率の低下や充填効率の悪化に伴う硬化後のコンクリートの品質低下に繋がっていることが予測される。しかし、これらの事を事前に予測したうえでコンクリートを製造することは難しく、またコンクリートを静置することにより、コンクリートの性状に及ぼす影響は明確となっていない。

また、同一のスランプを有するコンクリートでも、レディミクストコンクリート工場での練上がりから施工現場での打込みに至るまでに経過した時間やスランプの低下の大きさにより、コンクリートの品質や状態が異なることが予測される。これに対し、橋本ら<sup>1)</sup>は、初期スランプの異なる試験条件において、練混ぜ後すぐのコンクリートと所定の経過時間までスランプを低下させたコンクリートのフレッシュ性状の違いを明らかにしている。しかし、これらはスランプを基準としたコンクリートの性状の評価に留まり、スランプの低下の大きさによるコンクリートの品質及び圧送性の違いについて、詳細が検討されていない。

また、セメント粒子の凝集は、セメント粉体量が大きく影響していることが考えられ、根本ら<sup>2)</sup>は、セメント

粉体量の多いスランプフロー管理のコンクリート配合について、異なる静置条件において、セメント粒子の凝集がコンクリートの品質や圧送性に及ぼす影響を明らかにしている。しかし、スランプ管理の普通コンクリート配合は、セメント粉体量が比較的少なく、時間経過に伴うセメント粒子の凝集がコンクリートの品質や圧送性に及ぼす影響は不明確である。そのため、施工現場において、普通コンクリートを使用した際に、セメント粒子の凝集が要因で閉塞等の施工不良が依然として懸念されている。

以上から、本研究ではスランプ管理の普通コンクリート配合に対し、シリーズ1では、スランプの低下したコンクリートの性状に影響を及ぼすことが予想される静置条件の違いがコンクリートのフレッシュ性状に及ぼす影響を検討し、シリーズ2では、スランプの低下の大きさが、同一のコンクリートの品質及び圧送性に及ぼす影響について検討を行った。

## 2. 静置後の攪拌の有無の違いがコンクリートのフレッシュ性状に及ぼす影響 (シリーズ1)

## 2.1 実験概要

本研究では、同一配合のコンクリートに対し静置条件の異なる2水準を設定することで、静置条件の違いがコンクリートのフレッシュ性状に及ぼす影響を検討した。

## (1) コンクリートの配合及び使用材料

使用材料及びコンクリートの配合を表-1、表-2に示す。コンクリートの配合条件は、水セメント比:52%、細骨材率:46%、単位セメント量:340kg/m<sup>3</sup>程度とした。また、コンクリートの目標スランプ:18±2.5cm、目標空気量:4.5±1.5%とした。

## (2) 試験水準

\*1 福岡大学大学院 工学研究科建設工学専攻 (学生会員)

\*2 千葉工業大学 創造工学部都市環境工学科 准教授 工博 (正会員)

\*3 清水建設株式会社 土木技術本部基盤技術部 コンクリートグループ グループ長 工修 (正会員)

\*4 東海大学 工学部土木工学科 教授 工博 (正会員)

本研究では、静置条件の違いがコンクリートの性状に及ぼす影響を評価するため、練混ぜ直後フレッシュ性状試験及び変形性評価試験を各配合において実施した後、静置時間を30分で一定として表-3に示す2水準でコンクリート試料を静置し、その後同様の試験を実施した。配合 No.1 は、30分経過後コンクリート試料を練スコップで攪拌せず、各種試験に使用した。またコンクリートの練混ぜには水平二軸強制練りミキサ(公称容量 60L)を使用し、試験室内環境は、室内温度：20℃、室内湿度：60%の条件下で一定とし、試験を実施した。試料は、試験室内で練混ぜ後、受け容器の上から蓋をして、湿潤状態に保ち静置した。

### (3) 試験項目

#### 1) フレッシュ性状試験

コンクリートのフレッシュ性状試験では、スランプ試験 (JISA 1101)、空気量試験 (JISA 1128) のほか、ベーンせん断試験を実施した。本研究では、スランプの低下によるコンクリートの性状の変化を評価するため、スランプ値を1mm単位で測定した。また、圧力条件下でのコンクリートの脱水特性を評価するため、加圧ブリーディング試験を JSCE-F502-2010 に従い測定した。

#### 2) ベーンせん断試験

本研究では、フレッシュ性状試験において、手動ベーンせん断試験を各配合で実施した。ベーン試験の実施状況を写真-1に示す。本試験は、所定の容器に試料を充填した後、ベーン試験機を挿入、回転させて試料のせん断応力を簡易に測定できる試験であり、平野ら<sup>3)</sup>は普通コンクリートにて、ベーン試験で得られる最大せん断応力が精密回転粘度計で得られるせん断力の結果をより顕著に示していることから、時間経過によるコンクリートせん断力を測定する簡易手法として、本試験を各配合で実施した。

#### 3) コンクリートの変形性評価試験

コンクリートの圧送性評価試験は、変形性評価試験装置(図-1)を使用し、フレッシュコンクリートの変形性評価試験方法(JSCE-F509)に準拠した。変形性評価試験は、図-1の直管部及びテーパ管部にコンクリートを詰め、締め固め棒を用いて、テーパ管部の先端部分まで空隙がなくなるように締め固めた後、仰角10°、ピストン速度1.25cm/sで圧送し、圧送状態の目視確認、平均ポンプ主油圧の測定を行った。また、テーパ管部に加速度センサーを4箇所取り付け加速度の測定<sup>4)</sup>を行い(図-1)、得られた結果をFFT解析し、コンクリートの圧送性を評価した。

## 2.2 結果及び考察

### (1) フレッシュ性状試験結果

各配合のフレッシュ性状試験結果を表-4に、スラン

表-1 使用材料

	記号	概要
水	W	地下水
セメント	C	普通ポルトランドセメント, 密度: 3.16g/cm <sup>3</sup>
細骨材	S	海砂, 密度: 2.59g/cm <sup>3</sup>
粗骨材	G1	砕石(1005), 表乾密度: 2.80g/cm <sup>3</sup>
	G2	砕石(2010), 表乾密度: 2.83g/cm <sup>3</sup>
混和剤	Ad1	高性能AE減水剤(ポリカルボン酸エーテル系)
混和剤	Ad2	AE剤(アルキルエーテル系陰イオン界面活性剤)

表-2 コンクリートの配合

配合No.	W/C (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m <sup>3</sup> )					
			W	C	S	G	Ad1	Ad2
1	52	46	175	337	802	1024	3.7	1.346
2								

表-3 試験水準

配合No.	試験水準	概要
1	静置	練混ぜ後30分まで受け容器にてコンクリートを静置し続けた状態
2	攪拌	配合No.1と同一条件下でコンクリート試料を静置し、その後、強制2軸ミキサにて試料を30秒間攪拌した状態



写真-1 ベーン試験実施状況

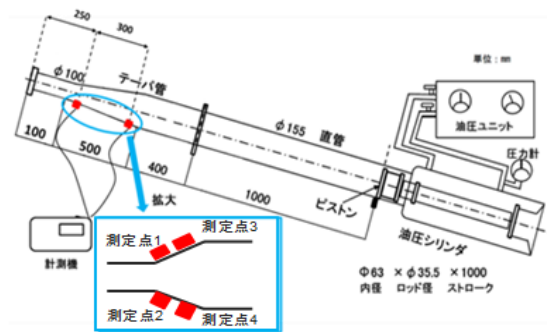


図-1 変形性評価試験装置(横断面図)及び加速度センサー取り付け位置(上面図)

表-4 コンクリートのフレッシュ性状試験結果

配合No.	試験条件	練混ぜ直後			経時後		
		スランプ (cm)	空気量 (%)	最大せん断応力 ( $\times 10^4$ Pa)	スランプ (cm)	空気量 (%)	最大せん断応力 ( $\times 10^4$ Pa)
1	静置	19.5	6.0	4.75	13.5	4.2	7.54
2	攪拌	17.7	6.0	5.22	17.5	7.4	5.22

プと最大せん断応力の関係を図-2 に示す。練混ぜ直後のコンクリートに対し、配合 No.1 では空気量は3割、スランプは3割程度低下し、最大せん断応力は6割程度増加したのに対し、配合 No.2 は攪拌に伴い空気量が2割増加しているが、スランプの低下がほとんど見られず最大せん断応力も変化しなかった。配合 No.1 は、静置によるスランプ及び空気量が低下したことで最大せん断応力が増加し、配合 No.2 は攪拌により空気量は増加したが、スランプの変化が小さく最大せん断応力の増加に影響しなかった。以上より、時間経過後のコンクリートの性状変化に及ぼす要因は、せん断応力の増加の影響が大きいと考えられ、静置条件の異なる2水準のコンクリートの特性を、最大せん断応力により示すことができた。しかし、空気量の増減及びその割合がコンクリートのせん断応力に及ぼす影響については、今後の検討課題とする。

### (2) 加圧ブリーディング試験結果

練混ぜ直後及び各配合における試験開始から120秒までの加圧ブリーディング試験結果を図-3、試験開始60秒時の最大せん断応力と加圧脱水量の関係を図-4 に示す。練混ぜ直後のコンクリートは、標準曲線C側に位置し、粘性が多く加圧による脱水量が少ない配合であることを示した。それに対し、配合 No.1 は加圧開始初期において脱水量が多く、試験全体においても脱水量に違いを示した。この結果は赤嶺<sup>5)</sup>らが示したセメントペーストの結果と同様の傾向を示し、配合 No.1 は経過時間に伴いセメント粒子が凝集構造を形成することで見かけ上の粒子の比表面積が減少して自由水が増加したため、加圧開始初期から試験全体までの脱水量の増加につながったと考えられる。これに対し、配合 No.2 は、静置状態のコンクリートを攪拌することで、練混ぜ直後に近い比表面積になったため加圧初期から練混ぜ直後のコンクリートの脱水量と同様の傾向を示したと考えられる。従って、静置条件の異なる2水準を比較することで、圧力条件下、特に加圧初期段階におけるコンクリートの脱水特性に違いを示した。

### (3) 変形性評価試験結果

最大せん断応力と変形性評価試験装置を用いて算出した各配合における平均ポンプ主油圧の関係を図-5 に示す。コンクリートの圧送状態は、全ての配合において、圧送全体を通して順調圧送であった。平均ポンプ主油圧は、配合 No.1>練混ぜ直後>配合 No.2 の順で高い値を示し、最大せん断応力の変化と同様の傾向を示した。これは、最大せん断応力の増加に伴い、コンクリートの流動抵抗が増大したことで、管内における圧送負荷が大きくなり油圧が上昇したことを示している。練混ぜ後30分時の各配合における計測時間と加速度の関係を図-6、最大せん断応力と加速度波形を定量的に評価するためFFT

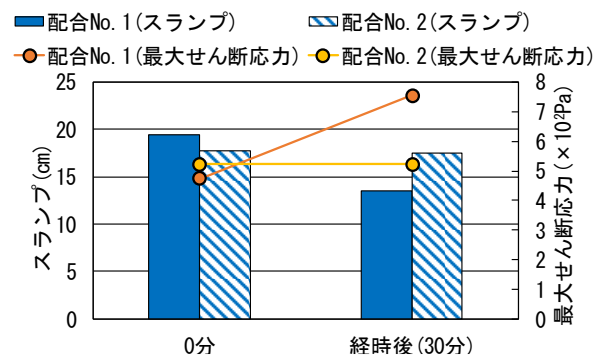


図-2 スランプと最大せん断応力の関係

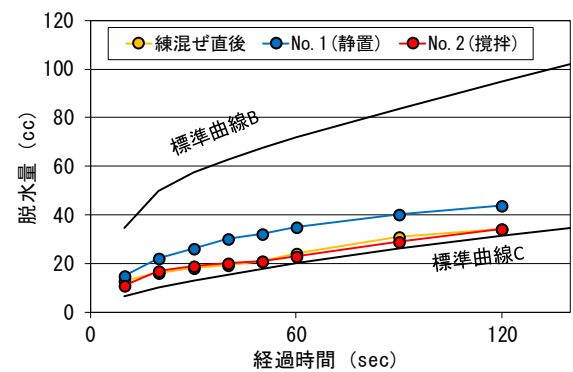


図-3 加圧ブリーディング試験結果 (120 秒まで)

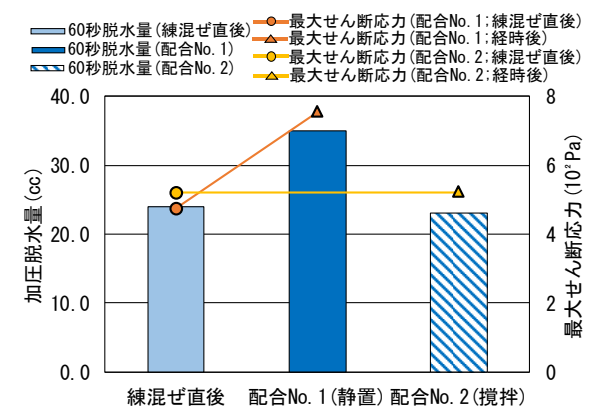


図-4 最大せん断応力と加圧脱水量の関係

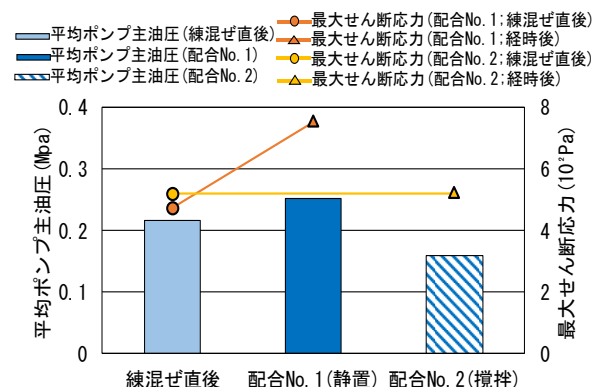


図-5 最大せん断応力と平均ポンプ油圧の関係

解析（高速フーリエ変換）を行い（図-7），得られた最大せん断応力と加速度のピーク値の関係を図-8 に示す。圧送開始初期と比較すると，配合 No.1 では加速度波形に大きな乱れが生じたのに対し，配合 No.2 の波形に乱れは確認できなかった。また，加速度ピーク値は，平均ポンプ主油圧と同様に，配合 No.1>練混ぜ直後>配合 No.2 の順に高い値を示し，最大せん断応力の変化と同様の傾向を示した。これは，最大せん断応力の増加に伴い，コンクリートの流動性が低下し，コンクリート中の粗骨材の管壁との衝突加速度が大きくなったことを示している。

以上から，練混ぜ直後のコンクリートに対して，異なる静置条件では，静置による影響が大きく，これはスランプの大きさよりも最大せん断応力の値に顕著に示されていた。また，静置状態のコンクリートの圧送性に関しては，加圧脱水特性や，平均ポンプ主油圧，加速度波形及び加速度のピーク値の結果は，圧送初期の値が高い傾向を示しており，最大せん断応力の傾向と同様であった。

### 3. スランプの低下がコンクリートの性状に及ぼす影響（シリーズ2）

#### 3.1 実験概要

本研究では，同一のスランプを有するコンクリートに対し，スランプの低下がコンクリートの性状や圧送性に及ぼす影響を検討した。

##### （1）コンクリートの配合及び使用材料

コンクリートの配合表を表-5 に示す。シリーズ1にて静置条件下にあるコンクリートの性状変化が著しかったことから，本研究ではシリーズ1と同一の使用材料（表-1）及びコンクリート配合（水セメント比：52%，細骨材率：46%，単位セメント量：340kg/m<sup>3</sup>程度）を使用し，静置条件下におけるスランプの低下の大きさを変化させた場合のコンクリートのフレッシュ性状への影響を検討した。また練混ぜ時は，混和剤により練混ぜ直後のスランプ値を調整して目標スランプを 18±2.5cm（配合 No.1），12±2.5cm（配合 No.4），8±2.5cm（配合 No.6）とし，各目標スランプのコンクリートを，それぞれ所定のスランプ（12，8，5cm）まで低下させ，スランプの低下の大きさによるコンクリートの性状の違いを評価した。なお，練混ぜ時の目標空気量を 4.5±1.5%とし，低下したコンクリートのスランプは許容値（±2.5cm）を満たしたものを同一とした。

##### （2）試験水準

本研究では，試験に使用するコンクリートは全ての配合において静置条件を一定とするため，シリーズ1と同様の試験室内環境で試験を実施した。またコンクリートは，練混ぜ後受け容器の上から蓋をして，湿潤状態に保ち静置し，試験実施時に随時受け容器から採取した。

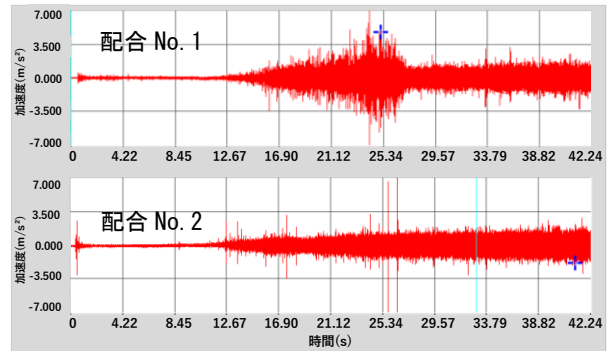


図-6 計測時間と加速度の関係（圧送初期 40 秒）

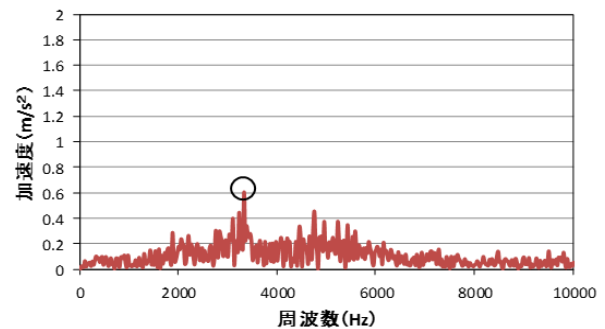


図-7 周波数と加速度の関係（配合 No. 1：FFT 解析後）

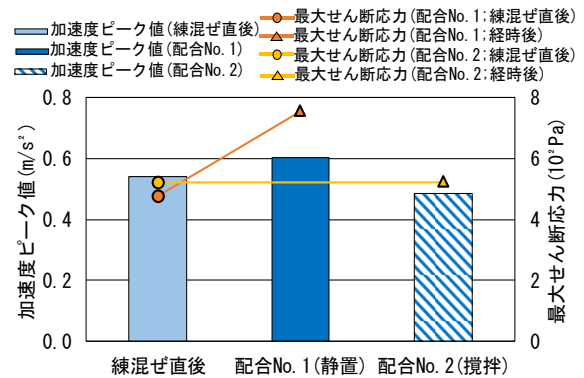


図-8 最大せん断応力と加速度ピーク値の関係（測定点 2）

表-5 コンクリートの配合

試験水準	配合 No.	W/C (%)	S/a (%)	単位量 (kg/m <sup>3</sup> )						
				W	C	S	G	Ad	AE	
初期SL18.0±2.5cm	No. 1	52	46	175	337	802	1024	C×%		
SL18.0±2.5cm→12.0±2.5cm	No. 2									
SL18.0±2.5cm→8.0±2.5cm	No. 3									
初期SL12.0±2.5cm	No. 4									
SL12.0±2.5cm→8.0±2.5cm	No. 5									
初期SL8.0±2.5cm	No. 6									
SL8.0±2.5cm→5.0±2.5cm	No. 7									



表一6 コンクリートのフレッシュ性状試験結果  
及びコンクリートの圧送状態

配合 No.	試験条件	スランブ (cm)	空気量 (%)	最大せん断応力 ( $\times 10^2$ Pa)	経過時間 (分)	圧送状態
No. 1	SL=18cm	18.5	3.0	4.98	-	順調
No. 2	SL=18→12cm	12.0	2.7	5.91	15	不安定→順調
No. 3	SL=18→8cm	9.0	2.6	7.07	45	閉塞
No. 4	SL=12cm	12.5	5.0	5.22	-	順調
No. 5	SL=12→8cm	9.5	4.0	6.61	22	閉塞
No. 6	SL=8cm	9.0	4.7	6.15	-	不安定→閉塞
No. 7	SL=8→5cm	5.5	3.6	6.84	13	不安定→閉塞

(3) 試験項目

本研究では、シリーズ1と同様の試験を実施した。また、スランブ試験では、所定のスランブまで低下した際のスランブの実測値及び必要した経過時間の測定を行い、スランブの低下が、同一のスランブ値を有するコンクリートの性状に及ぼす影響を評価した。

3.2 結果及び考察

(1) フレッシュ性状試験結果

各配合におけるフレッシュ性状試験結果及びコンクリートの圧送状態を表一6に、各スランブ(18±2.5cm, 12±2.5cm, 8±2.5cm, 5±2.5cm)と最大せん断応力の関係を図-9に示す。コンクリートの圧送状態は既往の研究<sup>4)</sup>を参考に、順調、不安定、閉塞の3水準で評価した。なお、スランブの低下による経過時間は最大で45分であった。また、各配合において空気量の違いによるコンクリートの性状変化が懸念されるが、これについてはシリーズ1と同様に空気量による最大せん断応力への影響は小さいと考える。練混ぜ直後の配合No.1, 4, 6について比較すると、初期スランブの低い配合ほど最大せん断応力が大きい値を示した。また、全ての配合において、最大せん断応力は練混ぜ直後よりもスランブが低下したコンクリートの方が大きい値を示した。

同一のスランブ(12cm, 8cm)を有する配合No.2, 4及び配合No.3, 5, 6でそれぞれ比較したところ、スランブの低下が最も大きい配合No.3の最大せん断応力が最も大きな値を示した。以上から、スランブの低下の大きさにより、同一のスランブのコンクリートでも、コンクリートの性状が異なり、それらはせん断応力の値によって示された。

(2) 変形性評価試験結果

各配合において、変形性評価試験装置を用いて得られた平均ポンプ主油圧とポンプ主油圧の変動係数の関係を図-10、時間経過とともにスランブの低下が顕著に現れた配合No.1, 2, 3と同一のスランブを有する配合No.4(スランブ:12cm), 配合No.6(スランブ:8cm)の最大せん断応力と平均ポンプ主油圧の関係を図-11に示す。

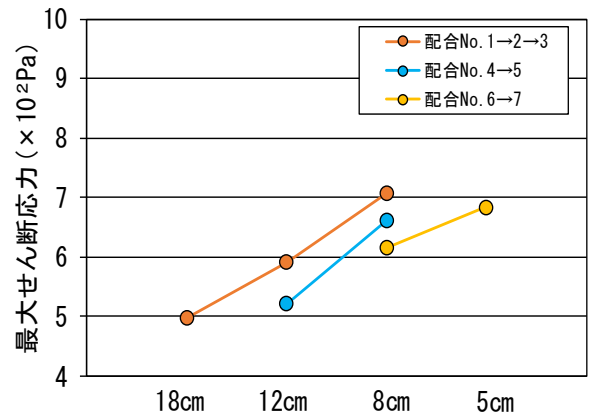


図-9 スランブと最大せん断応力の関係

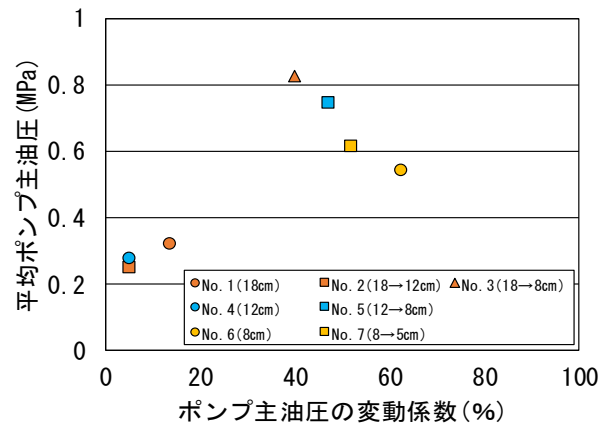


図-10 平均ポンプ主油圧とポンプ主油圧の変動係数の関係

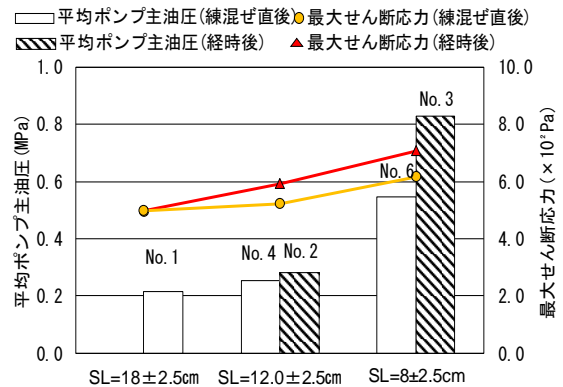


図-11 最大せん断応力と平均ポンプ主油圧の関係

各スランブにおいて、スランブの低下に伴いポンプ主油圧の変動係数が大きくなり、コンクリートの管内における圧力の変動が大きくなった。同一のスランブを有する配合No.2, 4(スランブ:12cm), 配合No.3, 6(スランブ:8cm)で比較すると、スランブの低下に伴い、平均ポンプ主油圧は増加し、配合No.3において、平均ポンプ主油圧が最も高い値を示した。これは、最大せん断応力の値と同様の傾向を示しており、同一のスランブを有するコンクリートにおいて、スランブの低下の大きさに伴い、

コンクリートの圧送状態に違いを確認した。

また、図-10にてスランブの低下に伴い、管内での圧力の変動に違いが見られたコンクリート配合 No.1, 2, 3 の計測時間と加速度波形の関係を図-12、時間経過とともにスランブの低下が顕著に現れた配合 No.1, 2, 3 と同一のスランブを有する配合 No.4 (スランブ: 12cm), 配合 No.6 (スランブ: 8cm) の最大せん断応力と加速度のピーク値の関係を図-13 に示す。加速度波形を比較すると、スランブの低下に伴い加速度波形の乱れに違いが生じ、配合 No.3 は乱れを生じた後に閉塞した。このことから、スランブの低下の大きさに伴いコンクリート中の骨材と管壁との衝突による振動特性の違いを加速度波形にて示した。加速度のピーク値は、スランブの低下する順に高くなる傾向を示した。また、同一のスランブを有する配合 No.3, 6 (スランブ: 8cm) で比較すると、配合 No.3 において加速度ピーク値が最も高い値を示した。

以上から、スランブの低下の大きさによって、同一のスランブでもコンクリートの性状は異なり、このことは最大せん断応力の値において確認した。また、圧送性に関しては、スランブの低下が大きいかほど平均ポンプ油圧、加速度波形及び加速度のピーク値に違いが表れており、これらは最大せん断応力においても同様の傾向を示した。

## 5. まとめ

本研究で得られた結論を以下に示す。

- (1) 異なる静置条件がコンクリートのフレッシュ性状に与える影響を検討した結果、攪拌と比べ静置の方が性状の変化が大きく、これはスランブの大きさよりも最大せん断応力の値に顕著に示された。
- (2) 攪拌をしたコンクリートに比べ静置状態のコンクリートの圧送性は、加圧脱水特性や、平均ポンプ主油圧、加速度波形及び加速度のピーク値の結果は、各試験の値が高い傾向を示しており、最大せん断応力の傾向と同様であった。
- (3) スランブの低下の大きさによって、同一のスランブであっても、コンクリートの性状は異なり、このことは最大せん断応力の値において確認した。
- (4) 圧送性に関しては、同一のスランブであっても、スランブの低下が大きいかほど、平均ポンプ油圧、加速度波形及び加速度のピーク値に違いが表れており、これらは最大せん断応力においても同様の傾向を示した。

## 参考文献

- 1) 根本浩史, 田之倉誠, 橋本紳一郎, 吉田匠悟: 2000m を超える長距離圧送におけるコンクリートの配合及び品質管理に関する一考察, コンクリート工学年次論

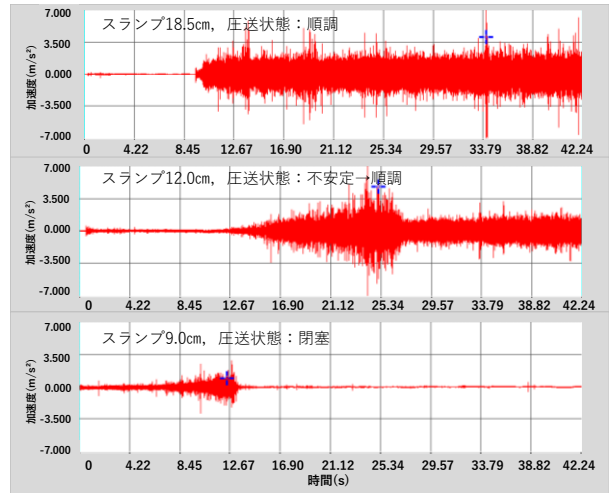


図-12 計測時間と加速度波形の関係  
(上から配合 No. 1, No. 2, No. 3)

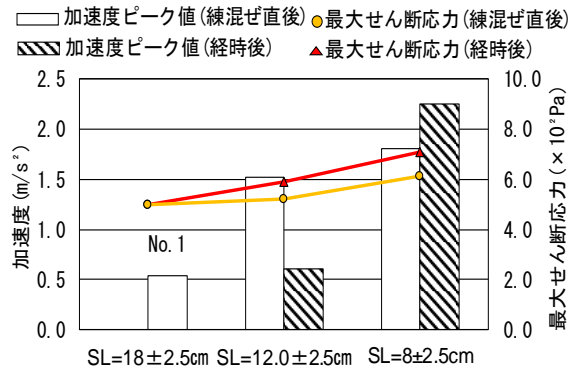


図-13 最大せん断応力と加速度ピーク値の関係  
(測定点 2)

文集, Vol.54, No.8, pp.768-776, 2016.8

- 2) 橋本紳一郎, 江本幸雄, 橋本典親, 伊達重之: スランブプロスの大きさがコンクリートの施工性に与える影響, コンクリート工学年次論文集, Vol.32, No.1, pp.1295-1300, 2010
- 3) 萩谷俊祐, 中田善久, 平野修也, 湯本哲也: 増粘剤含有高性能 AE 減水剤を用いて普通コンクリートに流動性を付与させるための調合条件に関する一考察, 日本コンクリート工学年次論文集, Vol.40, No.1, pp.1125-1130, 2018
- 4) 橋本紳一郎, 江本幸雄, 伊達重之, 橋本典親: コンクリートのポンプ圧送性簡易評価手法の検討, コンクリート工学年次論文集, Vol.34, No.1, pp.1186-1191, 2012
- 5) 赤嶺糸織, 伊波咲子, 山田義智, 細川佳史: 凝集や水和によるセメントペーストの粘度変化に関する基礎的研究, セメント・コンクリート論文集, Vol.66, pp.653-660, 2012