

論文 スランプロスの大きさがコンクリートの施工性に与える影響

橋本 紳一郎^{*1}・江本 幸雄^{*2}・橋本 親典^{*3}・伊達 重之^{*4}

要旨：本研究では、練混ぜ後すぐのコンクリートとスランプロスしたコンクリートの施工性について、同一のスランプで間隙通過性試験と変形性評価試験により品質の違いとその影響について検討した。その結果、間隙通過性試験はスランプロスしたコンクリートの流動特性を十分把握でき、同一のスランプ値でも、短時間でのスランプロスが大きい場合、コンクリートの流動性は低下することを明らかにした。変形性評価試験では、スランプロスが大きい場合、同一のスランプ値でも平均ポンプ油圧と変動係数が大きくなることを明らかにした。

キーワード：スランプロス、間隙通過性、材料分離抵抗性、変形性評価試験、平均ポンプ油圧、変動係数

1. はじめに

2007年度版コンクリート標準示方書では、コンクリートのスランプは打込みの最小スランプを基準とし、荷卸しから打込みまでの各施工段階でのスランプ変化や品質のばらつきを考慮した設定スランプを定めるように変更された。これにより、コンクリートの製造から打込みまでの品質を管理し易い環境が整えられた¹⁾。

しかし、打込みの最小スランプを基準とし、各施工段階でのスランプ変化や品質のばらつきを考慮するという事は、打込みを行う施工現場や施工現場までの移動条件により、スランプ変化や品質の幅も認めることにもなる。

また、同一スランプのコンクリートでも、使用する材料により振動時の挙動が異なることが報告²⁾されている事からすると、打込みの最小スランプを基準とした場合、同一のスランプのコンクリートでも、スランプロスした大きさや打ち込みまでに経過した時間により、品質や状態の異なるコンクリートになることが予測される。これらは、コンクリートのポンプ圧送性や打込みの際の施工性に大きく影響し、ポンプ圧送時の圧送閉塞や施工不良にもつながる。しかし、現段階では、スランプに代わる試験方法が規定されていないため、これらのコンクリートは同一スランプであれば、全て同じ品質のものとして扱わなければならない。

一方で、既往の研究では、スランプで評価できないコンクリートの品質や施工性、ポンプ圧送性を調べる試験方法がいくつか提案されている。その中でも、ボックス形容器と棒状内部振動機を使用した試験方法は容易に品質を評価できる試験方法として有効である^{3),4)}。また、小型変形性評価試験機を使用した変形性評価試験方法

も実現場ではなくとも、ポンプ圧送性を評価できる有効な試験方法である⁵⁾。

以上から、本研究では、練混ぜ後すぐのコンクリートとスランプロスしたコンクリートの施工性について、同一のスランプで間隙通過性試験と変形性評価試験を実施し、品質の違いと施工性や圧送性に与える影響について検討した。

2. 実験概要

本研究では、コンクリートの流動性を評価する間隙通過性試験とポンプ圧送性を評価する変形性評価試験により検討を行った。本研究では、振動下の間隙通過性を流動性として定義する。

2.1 使用材料

本実験で使用した材料は、セメントに普通ポルトランドセメント（密度：3.15g/cm³）、細骨材は福岡県玄界灘産海砂（表乾密度：2.58g/cm³、吸水率：0.96%、F.M.：2.60）、粗骨材は福岡県糸島郡志摩町産砕石（最大寸法：20mm、表乾密度：2.75g/cm³、吸水率：1.11%、F.M.6.60）である。フライアッシュはフライアッシュⅡ種（密度：2.25g/cm³、比表面積：3,990cm²/g、強熱減量：2.7%）を使用した。混和剤には、リグニンスルホン酸系のAE減水剤、ポリカルボン酸エーテル系の高性能AE減水剤およびロジン酸系のAE剤を使用した。

2.2 コンクリートの配合

実験に使用したコンクリートの配合を表-1に示す。本実験で使用したコンクリートの配合条件は、粗骨材の最大寸法20mm、目標空気量4.5±1.5%、水セメント比50%、単位水量を170kg/m³で一定として、それぞれに目標スランプを18±2cmと12±2cm、8±1.5cm、細骨材率を42%と46%、

*1 福岡大学 工学部社会デザイン工学科 助教 博（工）（正会員）

*2 福岡大学 工学部社会デザイン工学科 教授 工博（正会員）

*3 徳島大学大学院 ソシオテクノサイエンス研究部 教授 工博（正会員）

*4 日本シーカ株式会社 技術研究所長 博（工）（正会員）

表-1 コンクリートの配合

No.	配合名	スラン プ(cm)	air (%)	W/C (%)	フライアッ シュ置換 率(%)	s/a (%)	単位量(kg/m ³)						
							W	C	S	G	高性能 AE 減水剤	AE 減水 剤	AE 剤
1	N18-42(sp)	18±2	4.5	50	0	42	170	340	734	1052	C×0.9%		C×0.005%
2	N18-42											C×0.6%	C×0.006%
3	N18-46(sp)										C×0.9%		C×0.0041%
4	N18-46										C×0.6%	C×0.006%	
5	F18-46(sp)					20					46	272	804
6	N12-42(sp)	12±2	± 1.5	50	0	42	170	340	734	1052	C×0.3%		C×0.005%
7	N12-42											C×1%	C×0.0041%
8	N12-46(sp)										C×0.5%		C×0.0041%
9	N12-46										C×0.4%	C×0.006%	
10	F12-46(sp)					20					46	272	804
11	N8-46(sp)	8±1.5			0						C×0.2%		C×0.0041%
12	F8-46(sp)										20		272

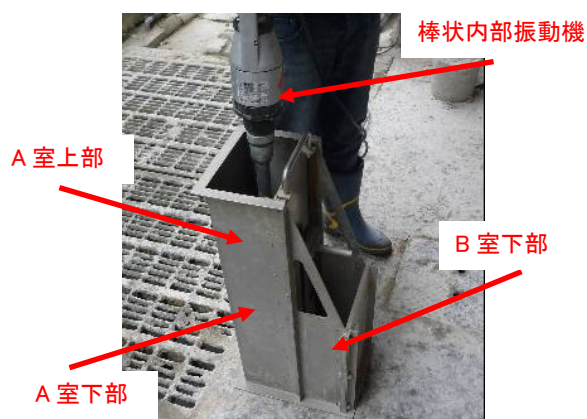


写真-1 間隙通過性試験装置

に変化させた。また、同配合条件の中で、混和剤の影響を検討するため高性能AE減水剤とAE減水剤を使用した。経過時間やスランプロスによる流動性の違いを普通コンクリートと比較するため、一部の配合でフライアッシュⅡ種をセメントに対して20%置換した。以上の条件の合計12配合で検討を行った。

上記の配合条件で、コンクリートの間隙通過性試験では配合No. : 1~9の合計9配合を使用して実施した。また、夏季のコンクリートと冬季のコンクリートを比較するため、上記配合の目標スランプ18±2cmに対して、夏季では配合No. : 1~5、冬季では配合No. : 1~4を使用して検討した。目標スランプ12±2cmと8±1.5cmの配合は、秋季に実施した。

コンクリートの変形性評価試験では、配合No. : 1, 3, 5, 8, 10~12の合計7配合を使用し、全て秋季に実施した。

2.3 コンクリートの練混ぜと練混ぜ後

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 60 リットル）を使用した。練混ぜ方法は、水と混和剤を除く全材料を投入し 30 秒間空練りを行い、あらかじめ混和剤を混入した水を加え 90 秒間練り混ぜた。練混ぜの終了したコンクリートは、一部をフレッシュ性状試験で使用し、残りのコンクリートはコンクリートの運搬状況を模擬して、傾同型ミキサ内部をコンクリートアジテータ車と同様に改良したものを使用し、コンクリートアジテータ車と同条件（傾斜角度：20deg, 回転速度：5rpm）で回転させ、所定の時間または所定のスランプロスまで保持した。

2.4 試験方法

(1) フレッシュ性状試験に関する試験

コンクリートのフレッシュ性状試験では、スランプ試験をJIS A1101, 空気量試験をJIS A 1128に従い測定した。また、コンクリート温度と外気温も測定した。

コンクリートは、練混ぜ後（目標スランプ：18cm, 12cm, 8cm）と所定の経過時間（30, 60, 90 分）、所定のスランプロス（目標スランプ 18cm の場合：12cm, 8cm, 8cm 以下、目標スランプ 12cm の場合：8cm と 8cm 以下）でフレッシュ性状試験を実施した。

(2) コンクリートの間隙通過性試験

本研究は、既往の研究³⁾で提案されている高流動コンクリート充てん装置を用いた間隙通過試験方法（案）（JSCE-F 511）のボックス形容器と棒状内部振動機を用いて、コンクリートの加振下での間隙通過性試験を行う試験方法でスランプロスしたコンクリートの品質評価を行った。既往の研究では、仕切りゲート部に設置する

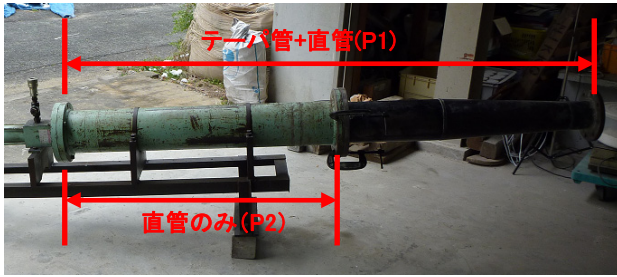


写真-2 変形性評価試験装置

流動障害について様々に検討されているが、本研究では流動障害 R2 のみで試験を行った。

間隙通過性試験方法は、A 室にコンクリート試料を上端まで投入し、A 室中央部で底面より約 10mm 上の位置に棒状内部振動機を挿入する（棒状内部振動機に挿入深さ位置を押し、固定する）。その後、仕切りゲートを開き、棒状内部振動機を B 室の充てん高さ 300mm に達するまで作動させ、その時間を測定する。流動時間は、仕切りゲートを開いた後、A 室で棒状内部振動機を作動させてからコンクリート試料が B 室の充てん高さ 300mm に達するまでの時間とした。棒状内部振動機は、棒径 28mm、振幅 1.4mm、振動数 200～258Hz のものを使用した。（写真-1）

また、A 室上部および A 室下部、B 室下部の 3 箇所からコンクリートを約 2 リットル採取し、それぞれで洗い分析試験を実施し、各試料中の粗骨材量を測定し、既往の研究で提案されている粗骨材量変化率を算出した。

（3）コンクリートの変形性評価試験

コンクリートの変形性評価試験は、既往の研究⁵⁾とフレッシュコンクリートの変形性試験(JSCE-F509-2000)に準拠して行った。テーパー管を有する小型圧送試験装置を用いて、仰角 9.9 度、ピストン速度 1.25cm/s で実施し、圧送状態、平均ポンプ油圧および油圧の変動係数を測定した。実験では、ピストンと管壁との摩擦およびコンクリートの自重による影響を排除するため、直管先端にテーパー管を取り付けた場合の油圧 (P1) と直管のみの場合の油圧 (P2) を差し引いてテーパー管部の油圧 (P1-P2) とした (写真-2)。油圧は、動ひずみ計を用いて 0.1 秒間隔で測定したが、圧送開始後と終了前の 10 秒間は油圧が不安定なため削除した。

また、本実験では油圧ユニットに脈動発生装置を取り付け、脈動を発生させて実施した。既往の研究⁵⁾より、脈動は実際のポンプ圧送と同様に発生させることが確認できていることから、脈動の発生条件はピストン可動時間間隔を 4 秒、ピストン停止時間間隔を 0.5 秒の圧送速度 30m³/h を模擬して試験を行った。

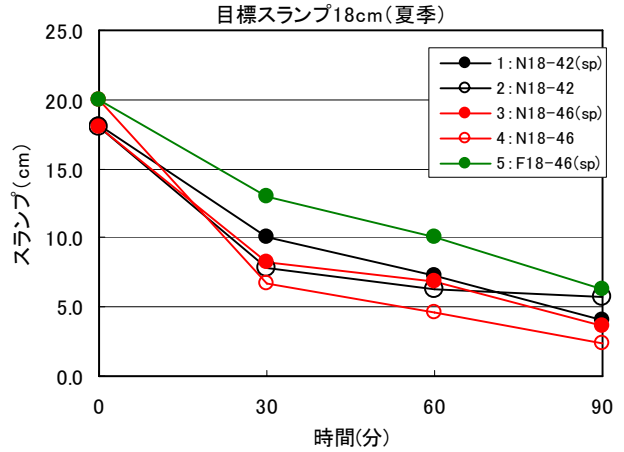


図-1 スランプと経過時間(18cm:夏季)

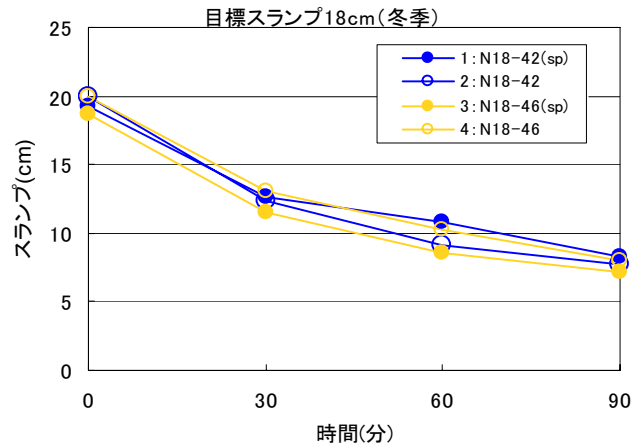


図-2 スランプと経過時間(18cm:冬季)

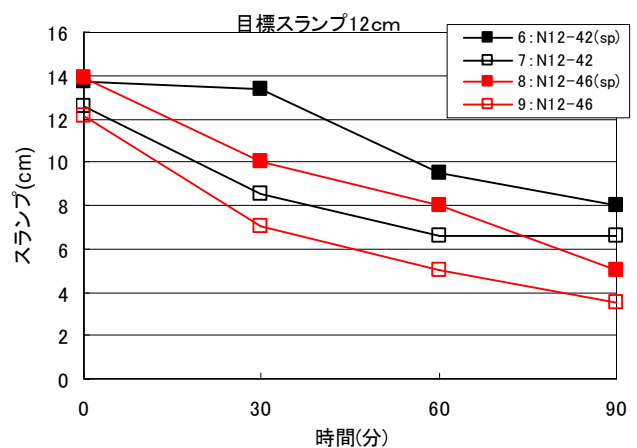


図-3 スランプと経過時間(12cm:秋季)

3. 結果及び考察(間隙通過性試験)

3.1 フレッシュ性状試験

練混ぜ後と所定の経過時間(30, 60, 90分)のスランプ試験結果を図-1 から図-3 に示す。図中の凡例は、“配

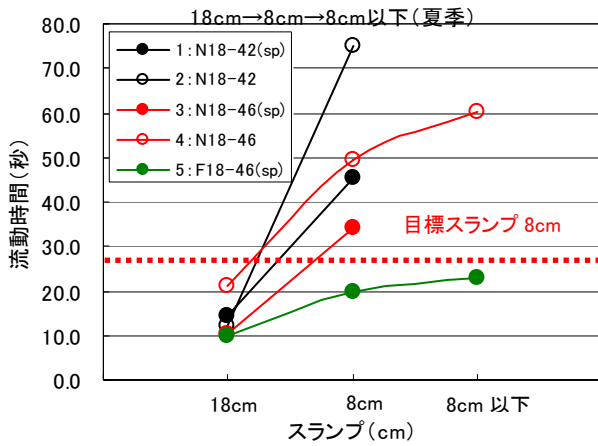


図-4 スランプと流動時間(18cm:夏季)

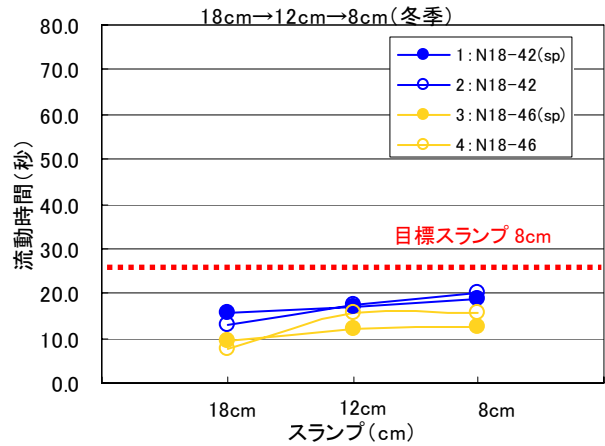


図-5 スランプと流動時間(18cm:冬季)

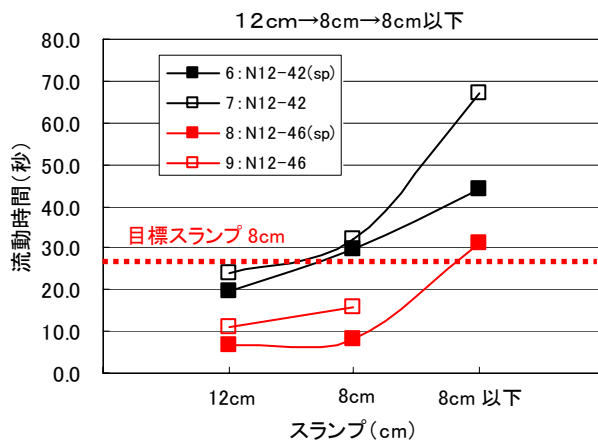


図-6 スランプと流動時間(12cm:秋季)

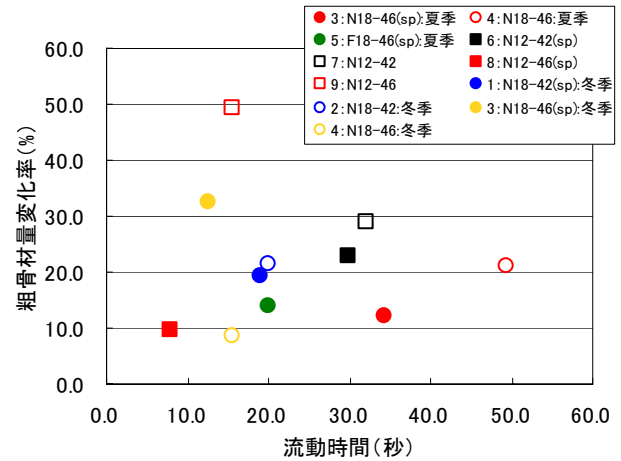


図-7 流動時間と粗骨材量変化率

合 No : 配合名”を示す。夏季でのスランプの低下は高性能 AE 減水剤を使用した配合より、AE 減水剤を使用した配合の方が、経過時間 60 分まででスランプロスが常にく大きくなった。また、夏季と冬季では経過時間におけるスランプロスの大きさが全く異なるものとなり、特に配合 : 4 は各経過時間で 5cm のスランプロスの大きさの違いが見られた。夏季のコンクリート温度は全配合で 30℃程度、冬季のコンクリート温度は 10℃程度であった。傾同型ミキサ内部をコンクリートアジテータ車と同様に改良したものを使用したが、練混ぜ量の少ない室内実験では夏季のコンクリートのスランプロスが短時間で大きくなる。そのため、夏季のコンクリートの間隙通過性試験では目標スランプ 18cm のスランプロスの値は 8cm のみで行った。

3.2 間隙通過性試験結果

図-4 から図-6 に所定の値までスランプロスしたコンクリートとその流動時間の関係、図-7 に 8cm までスランプロスしたコンクリートの流動時間と粗骨材量変化率

の関係を示す。図-4 と図-5 は目標スランプ 18cm からのスランプロスとの関係を示しており、図-4 は夏季に試験を行ったもの、図-5 は冬季に試験を行ったものである。図-6 は目標スランプ 12cm からのスランプロスとの関係を示している。また、図-4 から図-6 には、目標スランプ 8cm の場合の流動時間の平均値(図中の赤い破線)を示した。図中のデータが、赤い破線より上にあるものは目標スランプ 8cm より流動時間が長いことを意味する。

図より、夏季と冬季の試験結果は、フレッシュ性状試験結果(スランプ試験)と同様に全く異なる流動時間となった。夏季のコンクリートではスランプロスした大きさとともに流動時間は長くなり、その変動も大きくなった。図-4 から図-6 の全ての結果に共通して、細骨材率が小さいもの、AE 減水剤を使用したものの流動時間が長くなった。細骨材率の影響は、図-7 の配合 No. : 3 と配合 No. : 4、配合 No. : 6 と配合 No. : 8 の結果にも見られるように細骨材率の小さい場合、粗骨材量変化率が大きくなり、スランプロスとともに、ボックス容器内の

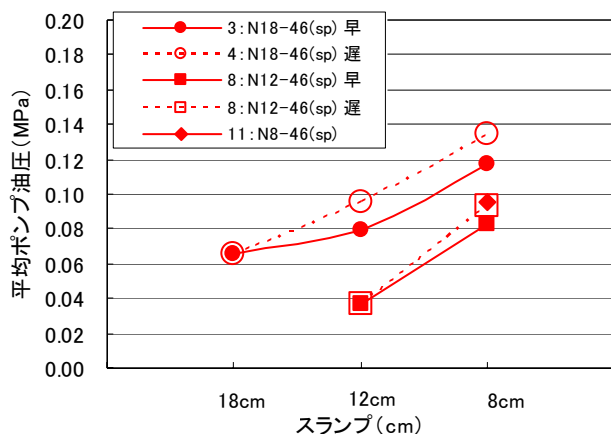


図-8 スランプと平均ポンプ油圧(18,12, 8cm)

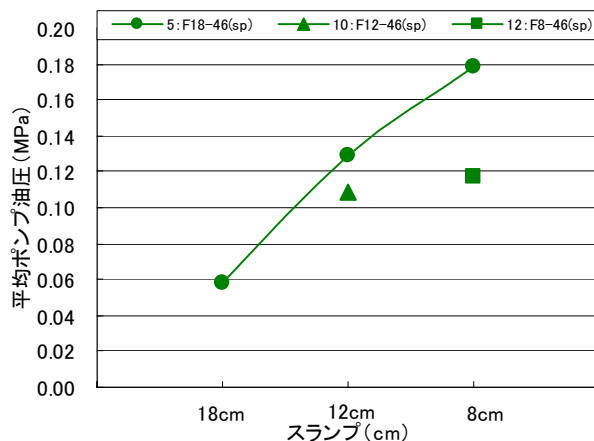


図-9 スランプと平均ポンプ油圧(フライアッシュ)

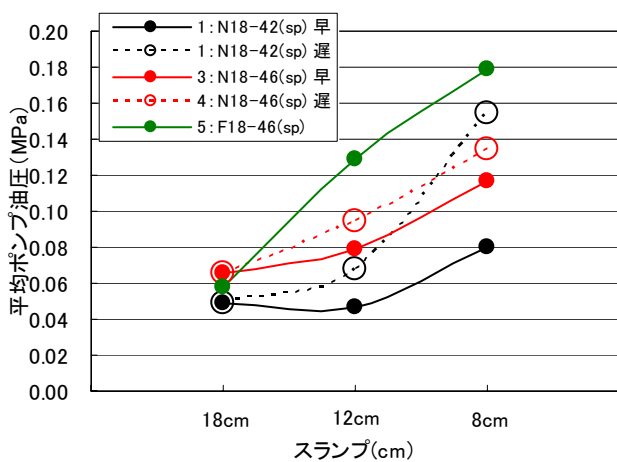


図-10 スランプと平均ポンプ油圧(18cm)

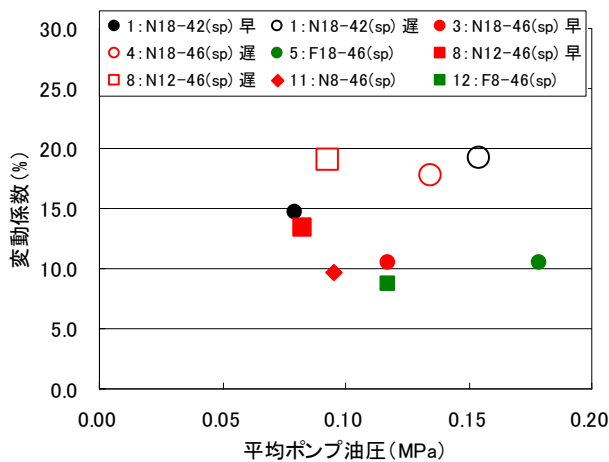


図-11 平均ポンプ油圧変動係数

流動障害を通過しにくくなったためと考えられる。AE減水剤を使用したものはフレッシュ性状試験(スランプ試験)の結果と同様にスランプの低下が早く、図-7の結果にも見られるように粗骨材量変化率が大きくなるためと考えられる。

8cmまでスランプロスしたコンクリートと目標スランプ8cmのコンクリートの流動時間を比較した場合、同程度または短い流動時間は冬季の結果と配合No.: 8, 9であった。配合No.: 8, 9は細骨材率が大きく、高性能AE減水剤を使用しており、目標スランプ12cmからのスランプロスの幅も小さいためと考えられる。夏季の結果は、目標スランプ8cmのコンクリートの流動時間と大きく異なる結果となった。

また、図-4のフライアッシュを混入した配合は、夏季に実施した他の配合の結果とは異なり、流動時間は短くなった。

以上から、同一のスランプ値でも、短時間でスランプロスが大きい場合、コンクリートの流動性は低下する。

また、間隙通過性試験はスランプロスしたコンクリートの流動特性を十分把握できる。

4. 結果及び考察(変形性評価試験)

図-8から図-10に所定の値までスランプロスしたコンクリートと変形性評価試験による平均ポンプ油圧との関係、図-11に8cmまでスランプロスしたコンクリートと目標スランプ8cmの平均ポンプ油圧と変動係数の関係を示す。試験の実施条件は、全て秋季に実施しており、コンクリートの温度条件は同一である。図中の凡例は、“配合No: 配合名”を示す。

図-8は細骨材率46%、目標スランプが18cm, 12cm, 8cmの結果で、目標スランプが18cm, 12cmについては所定の値までスランプロスする時間を短い場合(早)と長い場合(遅)で行った。スランプロスする時間が短い場合(早)はコンクリートを屋外に置き、8cmまでのスランプロスが60分以内試験終了、長い場合(遅)は傾同型ミキサ内部で保持し、8cmまでのスランプロスが90

分以上で試験終了したものを意味する。図-9 はフライアッシュを混入したもので、図-10 は目標スランブが 18cm で、細骨材率 42% と 46%、フライアッシュを混入したものの結果である。フライアッシュを混入したものは、全て試験条件を（早）で実施している。

図より、平均ポンプ油圧は目標スランブから所定の値までスランブロスする時間が長い場合に高くなる傾向となった。

図-8 より、目標スランブ 18cm のコンクリートがスランブロスした 12, 8cm の平均ポンプ油圧と目標スランブ 12, 8cm の平均ポンプ油圧を比較した場合、目標スランブ 18cm のコンクリートがスランブロスした際の平均ポンプ油圧が高くなることが明らかとなった。また、目標スランブ 12cm の結果は、8cm にスランブロスした際の平均ポンプ油圧は目標スランブ 12cm の結果である配合 No. : 11 と同程度であった。これは、間隙通過性試験の結果と同様で、スランブロスの幅が小さいためと考えられる。

図-9, 10 より、フライアッシュを混入した場合、平均ポンプ油圧は高くなる傾向にあり、普通コンクリートと比較すると、特にスランブロスする時間が短い場合の約 1.5~2.0 倍程度大きくなる。また、フライアッシュを混入した目標スランブ 18cm のコンクリートは、8cm までスランブロスした際の平均ポンプ油圧が高くなっており、スランブロスの幅が大きくなることにより急激に粘性が増したと考えられる。細骨材率を比較した場合、細骨材率が高い場合、平均ポンプ油圧が高くなり、間隙通過性試験結果とは異なる傾向となったが、これについては試験数が少ないため、今後の検討課題とする。

図-11 より、目標スランブ 8cm と 8cm までスランブロスしたコンクリートの変動係数を比較した場合、8cm までスランブロスしたコンクリートの変動係数が大きくなる。特に、スランブロスの幅が大きく、スランブロスする時間が長い場合に変動係数が大きくなることを明らかにした。また、フライアッシュを混入したコンクリートの変動係数が小さいことから、スランブロスの幅が

大きい場合、粘性が増すことで平均ポンプ油圧が高くなるが、圧送の乱れは抑制できていると考えられる。

5. まとめ

本研究で得られた結論を以下に示す。

- (1) 間隙通過性試験では同一のスランブ値でも、短時間でスランブロスが大きい場合、コンクリートの流動性は低下する。
- (2) 間隙通過性試験はスランブロスしたコンクリートの流動性特性を十分把握できる。
- (3) 変形性評価試験では、フライアッシュを混入したコンクリートは、平均ポンプ油圧は高くなる傾向にあり、スランブロスの幅が大きくなると、急激に平均ポンプ油圧は高くなる。
- (4) 変形性評価試験では、スランブロスの幅が大きく、スランブロスに要する時間が長い場合、平均ポンプ油圧と変動係数が大きくなる。

参考文献

- 1) 土木学会編：コンクリート標準示方書・施工編 [2007年制定]，2008.7
- 2) 土木学会編：コンクリート技術シリーズ No.54，フレッシュコンクリートのコンシステンシー評価に関する技術の現状と課題（II），2003.7
- 3) 浦野真次，栗田守朗，江渡正満：高密度配筋部におけるコンクリートの充てん性に関する実験的検討，コンクリート工学年次論文集，Vol.30, No.2, pp.31-36, 2008
- 4) 加賀谷誠，大野誠彦：ボックス形充てん装置を用いた振動加速度計測による普通コンクリートの締固め性能評価，土木学会論文集，No.788/V-67, pp.1-11,2005.5
- 5) 山地功二，栗田工，橋本親典，加地貴：脈動を発生させた変形性評価試験方法に関する基礎研究，コンクリート工学年次論文集，Vol.27, No.1, pp.1189-1194, 2005