

論文 フライアッシュⅡ種を多量使用したランク1高流動コンクリートの事前評価試験による圧送性能の検討

村尾 肇^{*1}・石井 光裕^{*2}・橋本 親典^{*3}

要旨：高流動コンクリートは、粘性が高くブリーディングが少ないことから、ポンプ圧送時の配管内潤滑層の形成と変形管における変形性に影響を及ぼす。本研究では、フライアッシュⅡ種を多量使用したランク1の自己充てん性を有する高流動コンクリートについて、ポンプ圧送性の事前評価試験として加圧ブリーディング及び変形性評価試験を実施した。その結果、粉体容積やFA置換率が変化しても高性能AE減水剤使用量の調整によりスランプフローを65cm程度にすれば、ランク1の自己充てん性を有する高流動コンクリートは、十分な潤滑層を形成し、順調圧送と判定される変形性を有することが明らかになった。
キーワード：ランク1、高流動コンクリート、フライアッシュ、圧送性能、事前評価試験

1. はじめに

石炭火力発電は、電力の安定供給確保の観点から、原子力発電とならび重要な電源に位置づけられ、石炭火力発電所から副産する石炭灰の有効利用技術の開発が急務の課題である。筆者らは、フライアッシュⅡ種を多量使用したランク1（鋼材量の目安 350kg/m³以上）の自己充てん性を有する高流動コンクリートの研究¹⁾を進めており、その一環として、ポンプ圧送性を室内で事前評価することを試みた。

ポンプ圧送性の事前評価方法には、加圧ブリーディング試験と変形性評価試験がある。

前者は、圧送管管壁とコンクリートのすべりに密接な関連のある潤滑層形成に必要な加圧時のブリーディング量を測定するもので、ポンパビリティが良好である条件が示されている。

また、後者は、変形管におけるコンクリートの変形特性を、テーパ管を有する小型圧送試験装置を用いて、コンクリートの圧送状態を目視、平均ポンプ油圧および油圧の変動係数により評価するもので、平均ポンプ油圧が0.2MPa以下で、かつ油圧の変動係数が15%以下であれば

順調圧送状態であるとされている。²⁾

しかしながら、ランク1の高流動コンクリートの加圧時の脱水量および変形性に関する報告例は皆無に等しい。

本研究は、フライアッシュⅡ種(JIS A6201)を多量使用した粉体系のランク1の自己充てん性を有する高流動コンクリートのポンプ圧送性を、事前評価試験方法により定量的に評価した。

2. 実験概要

2.1 使用材料

(1) 水およびセメント

練混ぜ水は上水道水、セメントは、普通ポルトランドセメント（密度 3.16g/cm³，比表面積 3,330cm²/g，強熱減量 1.96 %）を使用した。

(2) 骨材

粗骨材は、香川県満濃町産碎石（最大寸法 25mm，絶乾密度 2.63g/cm³，表乾密度 2.65g/cm³，吸水率 0.73 %，F.M.6.78），細骨材は、香川県満濃町産砕砂（絶乾密度 2.58g/cm³，表乾密度 2.62g/cm³，吸水率 1.62 %，F.M.2.67）を使用した。

(3) 混和材

*1 四国電力(株) 高松支店電力部土木建築課 工修 (正会員)

*2 四国電力(株) 土木建築部石炭灰有効活用拡大グループグループリーダー 工博 (正会員)

*3 徳島大学 工学部建設工学科教授 工博 (正会員)

フライアッシュは、四国電力（株）西条発電所産のⅡ種灰（密度 2.24g/cm³、比表面積 3,380cm²/g、強熱減量 2.03 %）を使用した。

(4) 混和剤

混和剤は、ポリカルボン酸エーテル系と架橋ポリマーの複合体である高性能AE減水剤（低空気量タイプ）とAE剤を使用した。

2.2 コンクリートの配合

実験に使用した高流動コンクリートの配合は、ランク1の自己充てん性を満足する配合を基本に、以下の3ケースの9配合とした。

コンクリートの配合を、表-1に示す。

なお、目標スランプフローおよび空気量の調整は、混和剤使用量の調整により行った。

(1) ケース1

スランプフローの違いがポンプ圧送性に及ぼす影響を把握するため、同一配合でかつ空気量を一定（4.5±1.5 %）として、目標スランプフローを 45, 65, 85cm とした試験を実施した。

(2) ケース2

粉体容積の違いが、ポンプ圧送性に及ぼす影響を把握するため、スランプフロー、空気量を一定（65±5cm, 4.5±1.5 %）として、粉体容積を 0.22, 0.24, 0.26m³/m³ とした試験を実施した。

なお、粉体容積は、単位セメント量を 340kg/

m³ としフライアッシュ使用量により調整した。

(3) ケース3

粉体中のフライアッシュ使用量の違いが、ポンプ圧送性に及ぼす影響を把握することを目的に、スランプフロー、空気量、粉体容積を一定（65±5cm, 4.5±1.5 %, 0.24m³/m³）として、フライアッシュ使用量を変化させて試験を実施した。

なお、フライアッシュ使用量は、単位セメント量を 340, 290, 240kg/m³ とし、粉体容積が一定となるよう調整した。

2.3 コンクリートの練混ぜ

コンクリートの練混ぜには、水平二軸型強制練りミキサ（公称容量 0.1m³）を使用した。

練混ぜ方法は、粗骨材、細骨材、セメントおよびフライアッシュを投入して 60 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て 5 分間練り混ぜた。

ミキサ容量の制限から、変形性評価試験用とその他試験用に 55 l ずつ 2 バッチ練り混ぜた。

2.4 試験方法

(1) フレッシュ性状に関する試験

フレッシュコンクリートの試験項目および試験方法を、表-2に示す。

なお、充てん装置を用いた間げき通過性試験においては、障害R1の流動障害を、漏斗を用

表-1 コンクリートの配合

配合名	スランプフロー (cm)	空気量 (%)	F/(C+F) 容積比 (%)	粉体容積 (m ³ /m ³)	s/a (%)	単位量 (kg/m ³)						
						水	セメント	フライアッシュ	砕砂	砕石	高性能AE減水剤	AE剤
1-1	45	4.5	55	0.24	48	175	340	297	681	741	8.402	0.020
1-2	65										9.600	0.030
1-3	85										10.600	0.030
2-1	65	4.5	59	0.26	46	175	340	341	629	742	9.997	0.035
2-2			55	0.24	48			297	681	741	9.600	0.030
2-3			51	0.22	50			252	736	739	8.803	0.030
3-1	65	4.5	55	0.24	48	175	340	297	681	741	9.600	0.030
3-2			62				290	332			9.100	0.032
3-3			68				240	367			8.403	0.030

注) 配合 1-2, 2-2 および 3-1 とは同一であるため、試験配合は 7 種類である。

表－２ 試験項目および試験方法

試験項目	試験方法
スランプフロー試験	JIS A 1150
空気量の圧力による試験	JIS A 1128
充てん装置を用いた間引き通過性試験	JSCE-F 511
漏斗を用いた流下試験	JSCE-F 512
ブリーディング試験	JIS A 1123

いた流下試験においてはV漏斗を使用し、練混ぜ直後の流下時間のみを測定した。

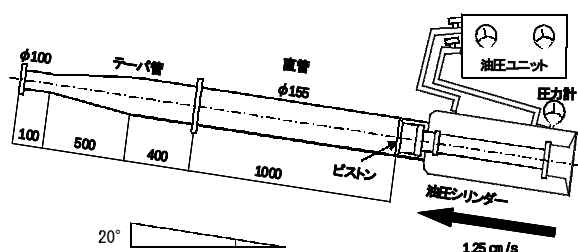
(2) 加圧ブリーディング試験

加圧ブリーディング試験方法（JSCE-F 502）に基づき、コンクリート上面に連続加圧（ $3.5\text{N}/\text{mm}^2$ ）した際の脱水量を測定した。

(3) フレッシュコンクリートの変形性評価試験

フレッシュコンクリートの変形性評価試験方法（JSCE-F 509）に基づき、テーパ管を有する小型圧送試験装置を用いて試験を行った。

小型圧送試験装置の模式図を、図－１に示す。



図－１ 小型圧送試験装置（単位：mm）

本試験では、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に、直管先端にテーパ管を取り付けた場合と直管のみの場合の油圧データの差を用いてテーパ管部の油圧としている。²⁾

高流動コンクリートのような流動性の高い試料を試験した場合、 $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ の仰角ではテーパ管先端において管内上面に空間が形成され自由表面が存在する開水路流れとなる。テーパ管全体が密実にコンクリートで充てんされた状態で圧

送する管路流れでないため、テーパ管において変形するコンクリートの圧力を適切に測定できない。また、直管のみの場合も同様である。

このため、直管およびテーパ管先端においてコンクリートが管路流れになるようにするために、テーパ管の先端には 90° ベント管（呼び径 100A, 曲率半径 0.3m）を 45° に傾けて、写真－１に示すように取り付けた。また、直管の先端には JIS A 1101 に規定されたスランプコーンを、写真－２に示すように取り付けた。



写真－１ ベント管取付状況



写真－２ スランプコーン取付状況

3. 実験結果および考察

3.1 フレッシュ性状

(1) スランプフローおよび空気量

スランプフローおよび空気量測定結果を、図－２，３に示す。

変形性評価試験時とその他試験時のスランプフローおよび空気量は、ほぼ目標値の $\pm 5\text{cm}$ 、 $\pm 1.5\%$ の範囲内に調整することができた。

練上り温度は、 $20 \pm 1.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ の範囲内であった。

(2) 間げき通過性試験結果

間げき通過性試験結果を、図－４に示す。

障害R 1を用いたU形容器充てん高さは、スランプフローを 45,85cm としたものを除き 300 mm 以上であり、粉体容積を $0.22 \sim 0.26\text{m}^3/\text{m}^3$ 、また、粉体中のフライアッシュ容積を $\pm 6.6\%$ （重量換算で $\pm 35\text{kg}/\text{m}^3$ ）変化させても、ランク 1 の自己充てん性を有することを確認した。

スランプフローが 45cm の配合では流動性が著しく低いこと、また、85cm の配合では材料分離傾向を示したことから、これら配合では間げき通過性能が十分でなかったものと思われる。

充てん時間は、概ね 60 秒程度であった。

(3) V 漏斗流下試験結果

V 漏斗を用いた流下試験から得られた流下時間を、図－５に示す。

ランク 1 の自己充てん性を有する配合では、粉体量の多い配合（粉体容積 $0.26\text{m}^3/\text{m}^3$ ）を除いて、高流動コンクリート施工指針における目安値 9 ～ 20 秒³⁾の範囲内にある。

流下時間は、スランプフローが大きいほど、また、粉体量が少ないほど短くなる傾向があり、

これは、前者は、流動性の高いものほど短くなること、後者は、粉体の単位使用量の違いによる粘性の変化が原因と考えられる。

また、フライアッシュの割合が増加するのに伴い流下時間が短くなっている。これは、粉体容積一定でセメントとフライアッシュの比表面積がほぼ同等であることから、フライアッシュ粒子形状が球形であることに起因する流動性の向上が原因と考えられる。

(4) ブリーディング

一般に、高流動コンクリートでは、ブリーディングが少ないとされている。スランプフローを 45,85cm としたものを除いた全ケースについてのブリーディング量は $0\text{cm}^3/\text{cm}^2$ であった。

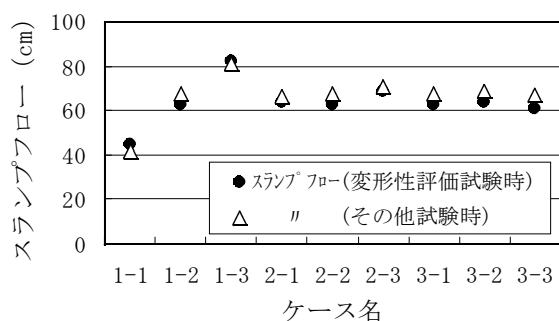
3.2 ポンプ圧送性

(1) 加圧ブリーディング

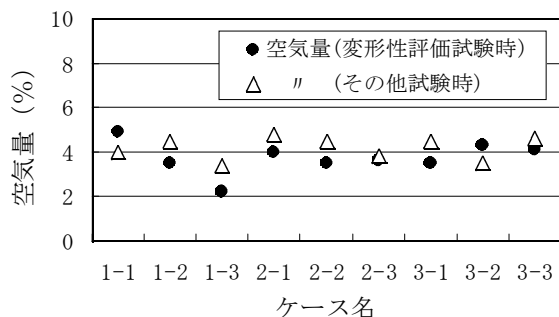
ケース 1 ～ 3 の試験結果を図－６～８に示す。

経過時間と脱水量の関係は、スランプフローが大きくなるものほど、粉体量が多いものほどまた、粉体中のフライアッシュ割合が小さくなるものほど、脱水量の傾きが小さくなった。

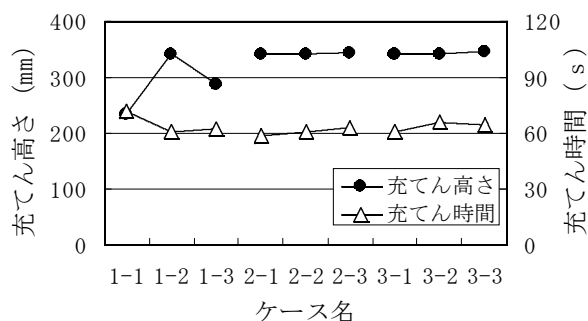
これは、粉体の多量使用に伴う粘性の増加と、



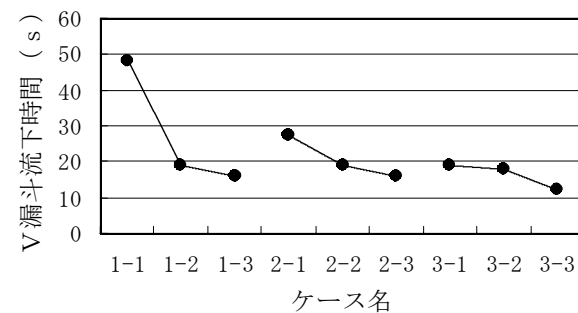
図－２ スランプフロー測定結果



図－３ 空気量測定結果



図－４ 間げき通過性試験結果



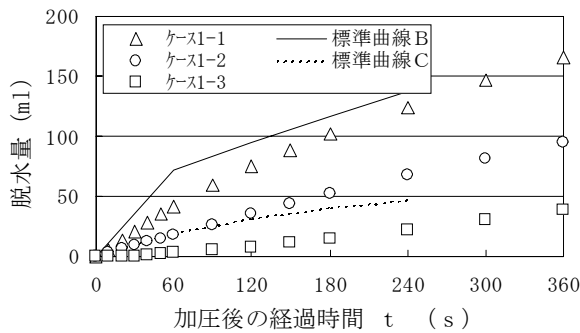
図－５ V 漏斗流下試験結果

フライアッシュ粒子形状が球形であることによるモルタル中水分の移動のしやすさに起因するものと考えられる。

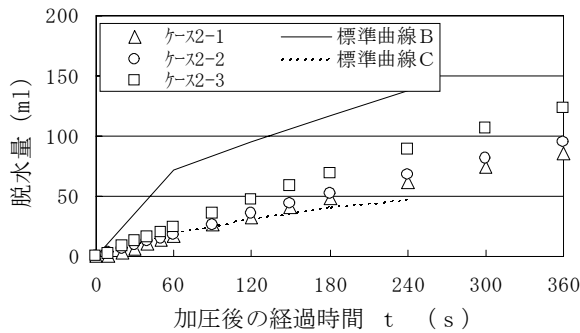
また、スランプフロー 85cm の場合を除く全ケースにおいて、脱水量は標準曲線の範囲内にあり、潤滑層の形成に必要なコンクリート中水分の移動のしやすさは良好であると考えられる。

なお、最終脱水率は、いずれのケースにおいても 20 ～ 25 % 程度であった。

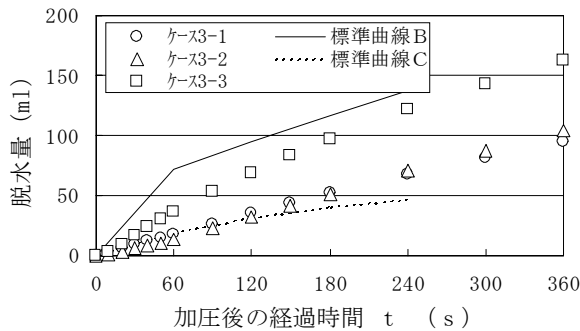
コンクリートのポンプ施工指針では、高流動コンクリートの加圧ブリーディング試験の一例として、標準曲線Cよりも小さい脱水曲線になる場合が報告されている。⁴⁾しかしながら、本



図－6 経過時間と脱水量（ケース 1）



図－7 経過時間と脱水量（ケース 2）



図－8 経過時間と脱水量（ケース 3）

研究では、通常の静的ブリーディング量が零であるにも関わらず、加圧状態では適度の脱水量が確保されることが明らかになった。

(2) フレッシュコンクリートの変形性評価

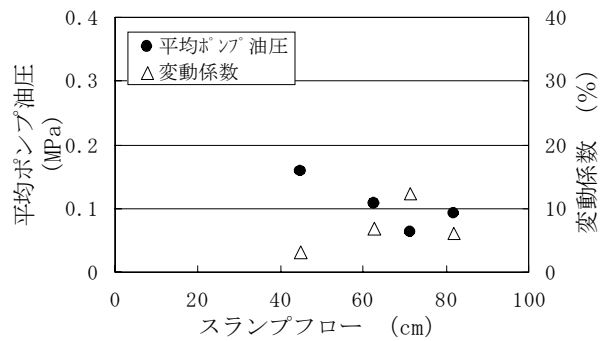
スランプフローと平均ポンプ油圧および変動係数の関係を、図－9に示す。

なお、図中には、同一配合でスランプフロー 71.5cm、空気量 4.6 % の結果もあわせて示す。

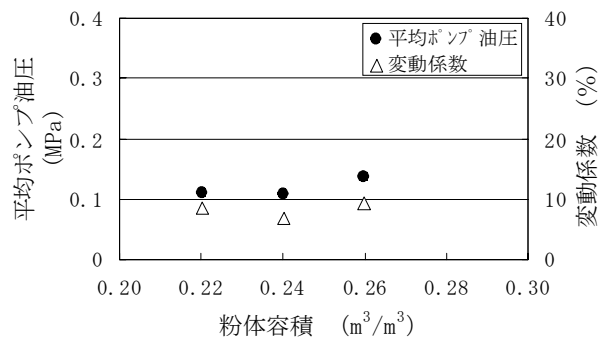
平均ポンプ油圧は、スランプフローの増大とともに低下するものの、85cm では増加する傾向にある。これは、流動性の向上に伴いポンプ油圧が小さくなるものの、過度にスランプフローが大きくなると材料分離気味となり、油圧が増大するものと考えられる。

変動係数は、スランプフローの増大とともに増加し、材料分離気味となった場合に低下しているが、この原因については、今後の検討課題である。

粉体容積および粉体中のフライアッシュ容積比と平均ポンプ油圧および変動係数の関係を、



図－9 スランプフローと平均ポンプ油圧の関係（ケース 1）



図－10 粉体容積と平均ポンプ油圧の関係（ケース 2）

図-10, 11に示す。

平均ポンプ油圧および変動係数は、粉体容積および FA 置換率の大小に関係なく、0.1MPa, 10 %程度でほぼ一定である

平均ポンプ油圧と変動係数の関係を、図-12に、また、V漏斗流下時間と平均ポンプ油圧の関係を、図-13に示す。

全ケースについて、平均ポンプ油圧 0.2MPa 以下、変動係数 15%以下を満足し、目視観察により順調圧送状態と判断され良好な変形性能を有している。

また、漏斗流下時間が長くなるのに伴い、平

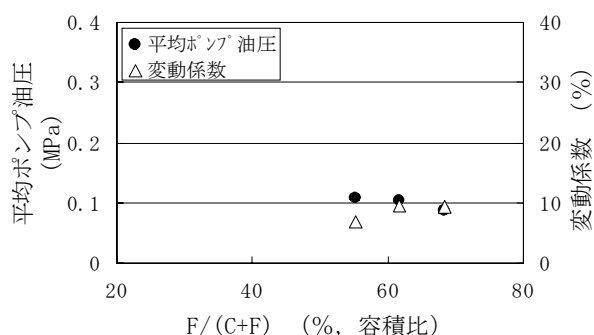


図-11 F/(C+F)と平均ポンプ油圧の関係
(ケース3)

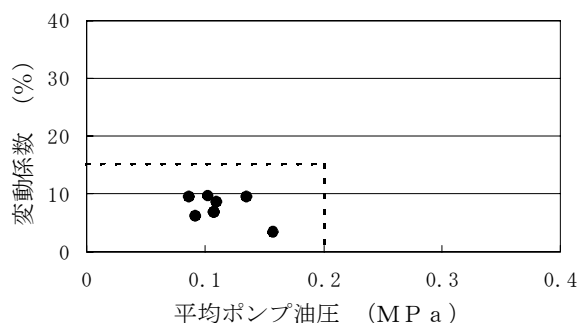


図-12 平均ポンプ油圧と変動係数の関係

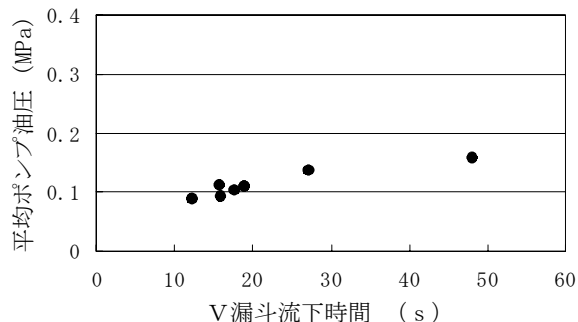


図-13 漏斗流下時間と平均ポンプ油圧の関係

均ポンプ油圧はやや増大する傾向であった。

4. まとめ

ランク1の自己充てん性を有するフライアッシュⅡ種多量使用高流動コンクリートのポンプ圧送性を評価するために、室内試験を実施した。本研究で得られた結果を、以下に示す。

- (1) ブリーディング量が $0\text{cm}^3/\text{cm}^2$ の高流動コンクリートの加圧時の脱水量は、標準曲線の範囲内にあり、潤滑層の形成に必要な水分の移動は良好であると判断される。
- (2) 変形性評価試験の結果、平均ポンプ油圧 0.2MPa 以下、油圧の変動係数 15%以下を満足しており、良好な変形性能を有している。
- (3) 粉体容積や FA 置換率の大小に関係なく、高性能 AE 減水剤の使用量を調整することで、ポンプ圧送性能の良好なランク1の高流動コンクリートが製造できる。
- (4) 平均ポンプ油圧は、V漏斗流下時間が長くなる、すなわち粘性の増加に伴い、やや増大する傾向にある。

謝辞

本研究の実施にあたり、徳島大学工学部建設工学科コンクリート研究室橋本紳一郎氏をはじめ関係各位には多大なご協力を頂いた。ここに深く感謝の意を表する次第である。

参考文献

- 1) 馬越唯好，富加見徳治，武田啓二：フライアッシュを多量使用した高流動コンクリートの基礎的研究，コンクリート工学年次論文集，Vol.22，No.2，pp.865-870，2000
- 2) 土木学会：コンクリートのポンプ施工指針，(社)土木学会，pp.22-24，2002.3
- 3) 土木学会：高流動コンクリート施工指針，(社)土木学会，pp.40，1998.7
- 4) 土木学会：コンクリートのポンプ施工指針，(社)土木学会，pp.58-59，2002.3