

# アジテータ車ドラム内設置のプローブによるコンクリート施工性能評価

## Performance Evaluation of Fresh Concrete by Continuous Quality Monitoring System with the Probe inside Drum.

若林信太郎\*1

### 概 要

トラックアジテータのドラム内部に取り付けたプローブによるフレッシュコンクリート品質の連続管理を試みている。ここでは、中・高流動コンクリートを含む各種コンクリートを用いて、プローブによる測定値と各種施工性能評価試験結果を比較するとともに、コンクリートポンプによる圧送試験を行った。その結果、1)プローブ圧力と中・高流動コンクリートのスランプフローとの関係式を得られたこと、2)プローブ圧力とスランプフロー停止時間、L形フロー最大値、U形充填試験充填高さ等に相関がみられること、3)通常強度でスランプ管理のコンクリートの圧送性がプローブ圧力で評価可能なことが確認できた。

*key words* : コンクリート、アジテータ車、プローブ、スランプフロー、施工性能、圧送性

### 1. はじめに

フレッシュコンクリートの性状はコンクリートの使用材料および配(調)合、運搬時間、気象条件などの要因によって変動する。より高度なフレッシュコンクリートの品質管理には、連続的な性状把握が有効であるものの、これらには煩雑な作業と時間的な制約を伴うために、実施が容易でない。

そこで、トラックアジテータのドラム内部に取り付けたプローブによってコンクリートの性状を推定する技術<sup>1),2)</sup>を用いて、フレッシュコンクリート品質の連続管理への適用性を検討した<sup>3)</sup>。その結果、プローブにかかる圧力(以下、プローブ圧力)によって、コンクリートのスランプや積載量を、また、プローブ内臓の熱電対によってコンクリート温度を、連続的かつ高精度に推定可能なことを確認した。

本報では、中・高流動コンクリートを含む各種コンクリートを用いて、プローブ圧力と各種施工性能評価試験の比較を行った。また、コンクリートポンプによる圧送試験を実施し、プローブ圧力による圧送性の評価も試みた。

本研究は、Probe共同実験研究会に参画した、生産者6社(GNN Machinery Japan、伊藤商店、炭平コーポレーション、東伸コーポレーション、長岡生コンクリート、依田儀一商店)と施工会社10社(青木あすなろ建設、浅沼組、安藤・間、大木建設、鹿島建設、鴻池組、銭高組、東亜建設工業、戸田建設、東洋建設)により実施されたものである。

### 2. 装置の概要

図-1に、装置概要を示す。本装置は、プローブ、データの記録保存兼表示装置(レシーバー)およびプローブへの給電ソーラーパネルの3つの部品で構成される。プローブは、全長420mm、直径43mmであり、アジテータ車の点検口よりドラム中心に向けて設置され、ドラムの回転時にコンクリートと接触した際のプローブ圧力および温度を計測する機能を有する。本装置では、プローブ圧力と事前に設定する検量線からコンクリートのスランプを推定し、ドラム内のコンクリートにプローブが触れるときの角度からコンクリートの積載量を推定する。

### 3. 実験概要

#### 3.1 コンクリートの使用材料と調合

表-1にコンクリートの使用材料を、表-2にコンクリートの調合を示す。コンクリートは全12種類で、W/C27%



図-1 装置概要

\*1 Shintaro WAKABAYASHI 技術本部技術研究所 主任研究員

～55%とした。目標スランプフローは、No.1～No.3の粉体系の調合が600mmまたは650mmとし、No.4～No.7の増粘剤系のものが500mmまたは600mmとした。No.8～No.12の調合は目標スランプ8～18cmとした。目標空気量はNo.1～No.3を3%とし、その他を4.5%とした。

### 3.2 試験項目

実験は平成28年7月末日にレディーミクストコンクリート工場を実施した。コンクリートの練混ぜは容量3m<sup>3</sup>の強制二軸ミキサで練り量1.5m<sup>3</sup>とし、3バッチをトラックアジテータへ計4.5m<sup>3</sup>積載した。

表-3に、試験項目を示す。No.1～No.7の各調合では2車製造し、一方は練混ぜ直後に品質試験(スランプフロー、空気量および温度)および各種施工性評価試験をした後に、コンクリートポンプによる圧送試験を行った。他方は練混ぜ直後、30分後、60分後、90分後(一部120分後まで)でそれぞれ品質試験および各種施工性評価試験を行った後に圧送を行った。No.8～No.12の各調合は1車製造し、練混ぜ直後に品質試験および各種施工性評価試験をした後に、圧送を行った。

本報でのプローブ圧力は、ドラムを高速攪拌した後の品質試験用のコンクリート試料採取約3分後のドラム回転数約2rpm時の値を採用した。

### 3.3 配管計画

図-2に、圧送試験の配管計画を示す。水平圧送距離は30mとし、図中P1～P6の6箇所管内圧力を測定した。圧送にはピストン式ポンプ車(機種:PY135-28H、シリンダ径φ205mm,最大ストローク2,100mm,最大吐出圧16MPa)を使用した。圧力の測定区間は全て125A管で配管した。1回の圧送時の目標吐出量は20,30および40m<sup>3</sup>/hとして、各車2回ずつ圧送を行った。管内圧力はそれぞれ10ストローク分測定し、管内圧力損失(K値)は、圧力計P1とP2間(長さ12.3m分)の圧力差から求めた。

## 4. 実験結果と考察

### 4.1 スランプフロー試験結果とプローブ圧力の関係

#### 4.1.1 スランプフロー

図-3に、スランプフローとプローブ圧力との関係を示

す。全ての調合のスランプフロー実測値とプローブ圧力から近似式を求めて、図中に示した。本実験の範囲では、スランプフローが400mmを超えるNo.1～No.7の調合は、近似式近傍に概ねプロットされており、粉体系と増粘剤系の調合による大差はないようである。

プローブ圧力からスランプフローを推定するには、軸

表-1 コンクリートの使用材料

材料名(記号)	種類・生産者・産地
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)	富士川中流域 砂 表乾密度2.62g/cm <sup>3</sup>
粗骨材1(G1)	兵庫県相生産砕石2005 表乾密度2.61g/cm <sup>3</sup>
粗骨材2(G2)	富士川中流域砂利2505 表乾密度2.64g/cm <sup>3</sup>
水(W)	上水道水
混和剤(Ad)	A 高性能AE減水剤標準形I種
	B 高性能AE減水剤標準形I種(増粘剤一液タイプ)
	C AE減水剤遅延形I種(A社製)
	D AE減水剤遅延形I種(B社製)

表-2 コンクリートの調合

No.	種別	W/C (%)	s/a (%)	スランプ(フロー)(cm)	単位量(kg/m <sup>3</sup> )					Ad種類
					W	C	S	G1	G2	
1	粉体系	27.0	46.1	(65)	170	630	720	852	—	A
2	粉体系	30.0	48.1	(65)	170	567	777	847	—	A
3	粉体系	35.0	51.1	(60)	170	486	858	831	—	A
4	増粘剤系	40.0	52.1	(60)	175	438	897	818	—	B
5	増粘剤系	40.0	52.6	(50)	175	438	889	826	—	B
6	増粘剤系	45.0	54.3	(50)	175	389	949	807	—	B
7	増粘剤系	50.0	55.1	(50)	175	350	980	807	—	B
8	普通	45.0	44.9	18	176	391	770	—	953	C
9	普通	50.0	46.8	18	174	348	823	—	942	C
10	普通	55.0	47.9	18	173	315	857	—	937	D
11	普通	50.0	45.5	12	161	322	825	—	995	D
12	普通	50.0	45.1	8	151	302	836	—	1027	D

表-3 試験項目

試験名称	試験方法	試験名称	試験方法
プローブによる計測	—	V漏斗試験	JSCE-F512(□65・75)
スランプ試験	JIS A 1101	U形充填試験	JSCE-F511(障害R2)
スランプフロー試験	JIS A 1150	モルタルの粘度測定	TVB-10形回転粘度計
温度測定	JIS A 1156	コンクリートの粘度測定	回転翼型粘度計
空気量試験	JIS A 1128	圧送管内圧力	圧力計による
L形フロー試験	JSCE-F514	圧縮強度試験	JIS A 1108

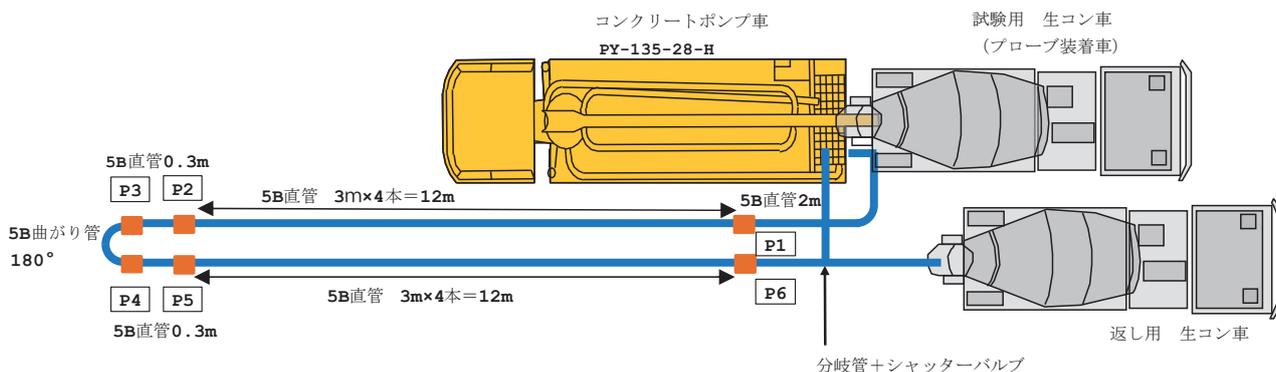


図-2 配管計画

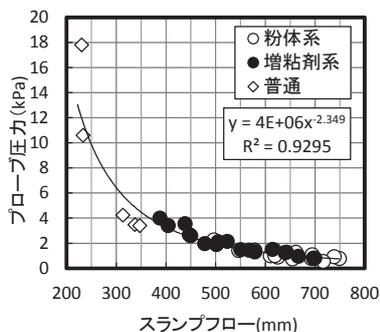


図-3 スランプフローの実測値とプローブ圧力の関係

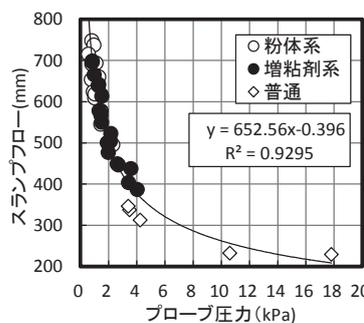


図-4 プローブ圧力から求めたスランプフロー推定式

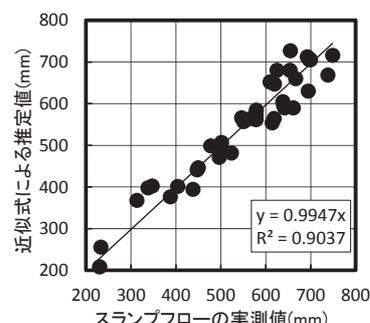


図-5 スランプフローの実測値と推定値の関係

を逆とした図-4の図中に示す近似式を用いることとなるが、圧力が小さいところでは、圧力の変化量と比較しスランプフロー推定値の変化量が大きいことがわかる。

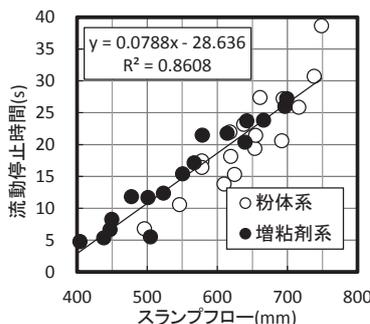
図-5に、スランプフローの実測値と近似式による推定値の関係を示す。プローブ圧力から近似式で推定したスランプフローは概ね実測スランプフローを捉えているものの、±75mm程度の範囲にある。ばらつきの原因は圧力が小さい他、粘度の違いもあると考えられる。

#### 4.1.2 スランプフロー試験の流動停止時間、500mm到達時間

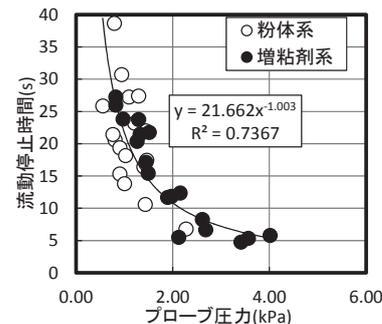
スランプフローの実測値および圧力について、図-6に流動停止時間との関係を、図-7に500mm到達時間との関係を、それぞれ示す。なお、図-6中の近似式は到達時間の長い1点を除いて求めたものである。これらによると、流動停止時間はスランプフロー実測値のほうがプローブ圧力よりも相関がやや高いものの、500mm到達時間はスランプフローの実測値よりもプローブの圧力値の方が相関の良い結果となった。このことは、圧力はスランプフロー試験の流動停止時間や500mm到達時間の指標とも関連があることを示唆している。

実施工では品質試験や施工性能評価試験は多大な労力が必要とされ、頻度を多くして管理するのは容易でなく、コンクリートの連続管理装置を用いて逐次のスランプフロー推定と合せて施工性能も同時に推定して、いち早く性能やその変化を捉えることが可能となれば、施工時のリスク低減に寄与できると考えられる。また、流動性の高いコンクリートではプローブ圧力が小さいため、スランプフロー推定値から施工性能を推定するよりも、直接プローブの圧力値から施工性能を評価した方が妥当と考えられる。

以上のことから、後述する各種施工性能評価試験結果

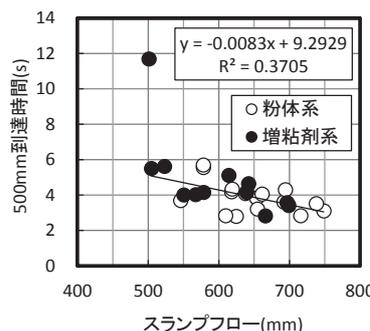


(1) スランプフローの実測値

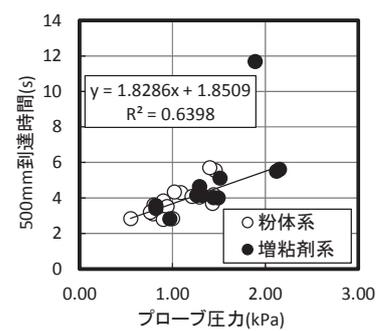


(2) プローブ圧力

図-6 スランプフロー試験の流動停止時間との関係



(1) スランプフローの実測値



(2) プローブ圧力

図-7 スランプフロー試験の500mm到達時間との関係

との関係についても、主としてプローブ圧力で整理した。

#### 4.2 各種施工性能試験結果とプローブ圧力の関係

本節では、表-3で示した施工性能試験項目のなかから、L形フロー試験、Vロート試験、U形充填試験、モルタルの粘度測定およびコンクリートの粘度測定のそれぞれの結果と、プローブ圧力との関係について検討した。

##### 4.2.1 L形フロー試験

図-8に、L形フロー試験によるフロー最大値とプローブ圧力との関係を示す。両者の相関は高く、プローブ圧力の計測によりフロー最大値が概ね推定できると思われる。

図-9に、プローブ圧力とL形フロー500mm到達時間との関係を示す。ここでの普通調査の結果は、全て500mmフローに達しなかったため示していない。プローブ圧力と500mmフロー到達時間は、寄与率は大きくないものの右上がりの傾向がみられる。

図-10に、プローブ圧力とフロー停止時間との関係を示す。フロー停止時間は、プローブ圧力が大きいと短くなる傾向であった。

4.2.2 V漏斗試験

図-11に、プローブ圧力とVロート試験の流下時間の関係を示す。本報の結果では、プローブ圧力とVロート流下時間の関係性は見いだせなかったことから、今後も更なる検討とデータの蓄積などを要する。

4.2.3 U形充填試験

図-12に、プローブ圧力とU形充填試験による充填時間の関係を示す。図-13に、プローブ圧力とU形充填試験による充填高さの関係を示す。プローブ圧力と充填時間の関係は明確ではなかったが、充填高さとの関係では右下がりの相関が認められ、流動性が良好な、充填高さが高くなるコンクリートのプローブ圧力は小さくなる傾向が確認できた。

4.2.4 モルタルの粘度測定

図-14に、プローブ圧力と、コンクリートをウェットスクリーニングしたモルタルの回転粘度計による見かけの塑性粘度の関係を示す。全調合における相関は認められないものの、特に増粘剤系調合では、プローブ圧力に伴って塑性粘度も大きくなる関係性をみることができる。よって、プローブ圧力とモルタルの塑性粘度は、調合ごとの検討によりその関係性が明確になるものと考えられる。

4.2.5 コンクリートの粘度測定

図-15に、プローブ圧力と回転翼粘度計により計測したコンクリート試料による見かけの塑性粘度の関係を示す。コンクリートの見かけの塑性粘度は、前項と同様、調合ごとの傾向があると思われる。一方、図-16に示すプローブ圧力と見かけの降伏値の関係は、寄与率は大きくないものの調合種類によらず指数関係が存在すると

思われる。一般的に降伏値はスランプと指数関係が認められていることから<sup>4)</sup>、プローブ圧力によっても降伏値の推定が可能と考えられる。ただし、推定精度の向上のためにも、回転翼粘度計による測定精度も含めた更なる検討が今後も必要である。

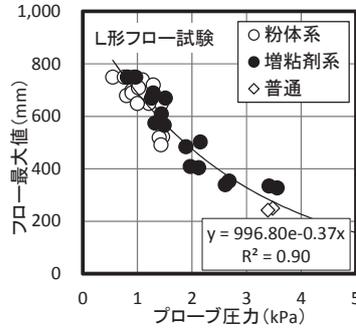


図-8 プローブ圧力とL形フロー最大値の関係

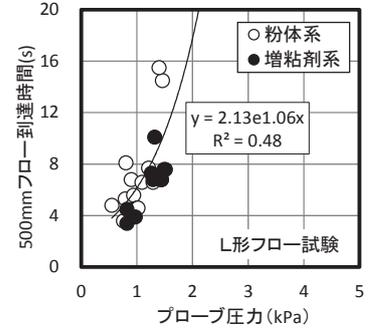


図-9 プローブ圧力とL形フロー500mm到達時間の関係

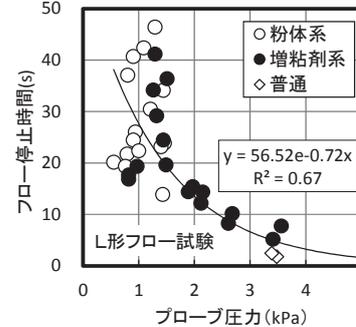


図-10 プローブ圧力とL形フロー停止時間の関係

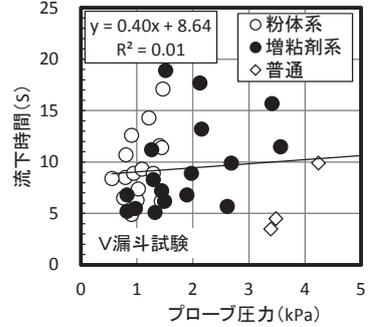


図-11 プローブ圧力とV漏斗流下時間の関係

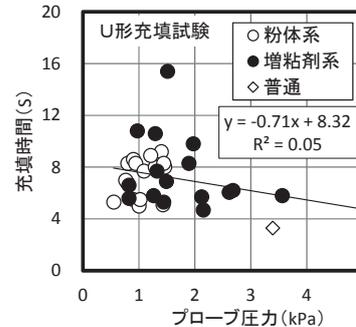


図-12 プローブ圧力とU型充填時間の関係

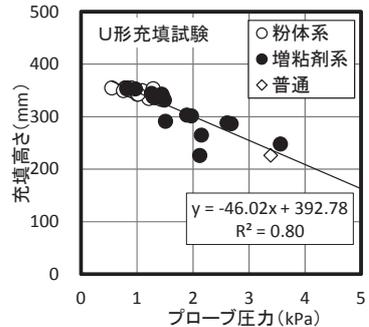


図-13 プローブ圧力とU型充填高さの関係

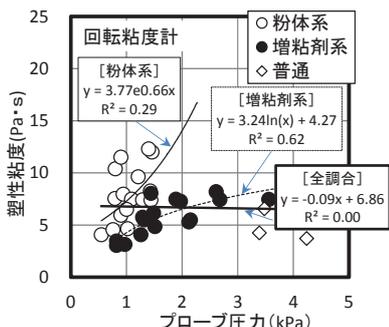


図-14 プローブ圧力とモルタルの塑性粘度の関係

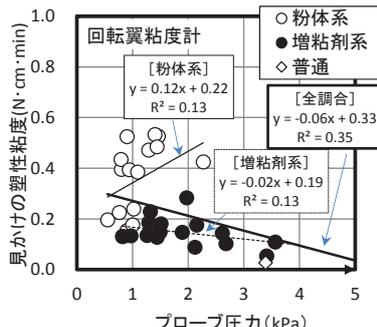


図-15 プローブ圧力とコンクリートの見かけの塑性粘度の関係

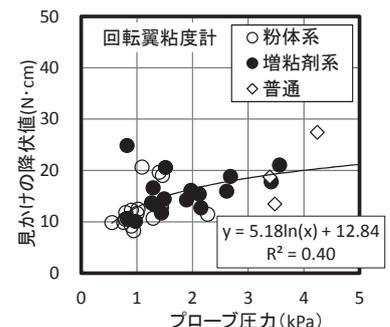


図-16 プローブ圧力とコンクリートの見かけの降伏値の関係

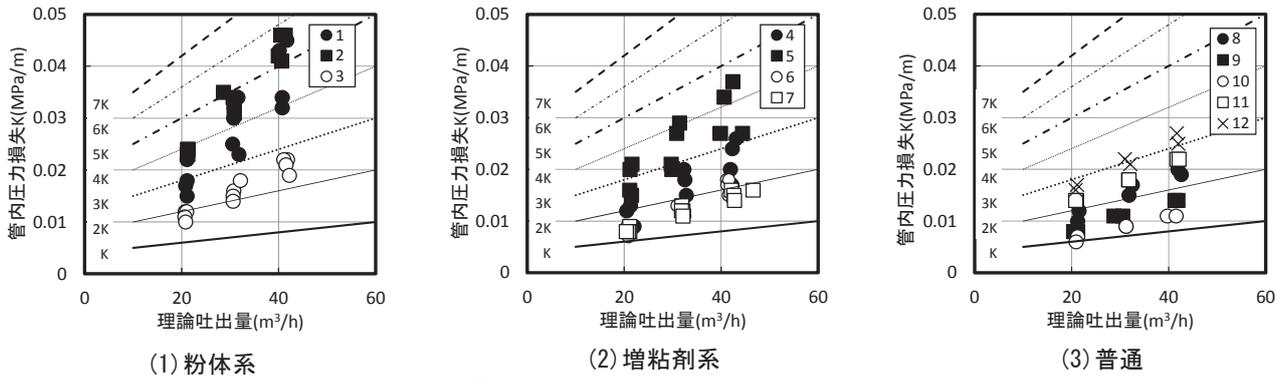


図-17 理論吐出量とK値の関係

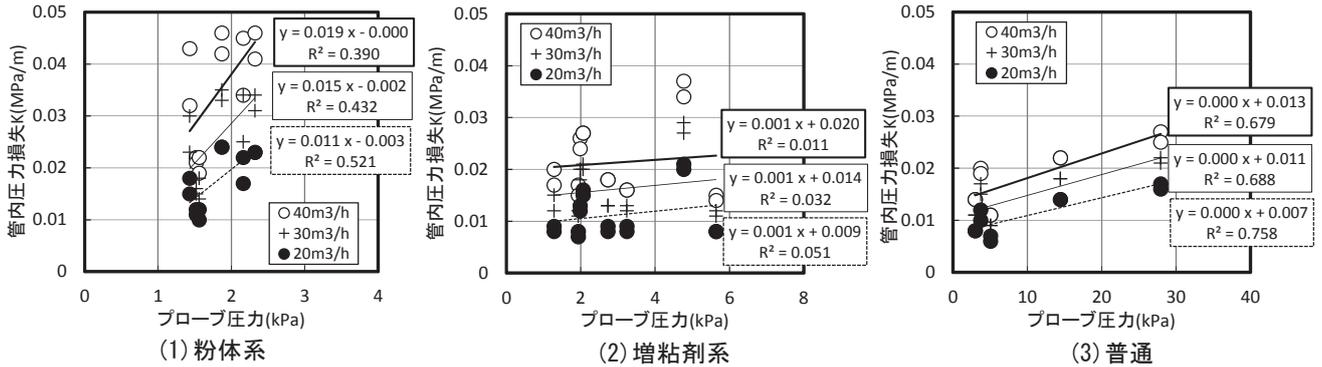


図-18 プローブ圧力とK値の関係

4.3 圧送試験

圧送試験結果については、コンクリートを「粉体系」（調合 No. 1～3）、「増粘剤系」（同 No. 4～7）および「普通」（同 No. 8～12）の種別に示す。

4.3.1 管内圧力測定結果

図-17に、シリンダ容量にピストンストローク数を乗じて求めた理論吐出量とK値の関係の関係を示す。図中には建築学会指針<sup>5)</sup>記載のK値標準値（W/C>45%、スランブ 21cm、普通骨材、125A 管）とその2～7倍の直線を併記した。その結果、W/C、スランブおよびスランブフローが小さくなるほど、K値は大きくなった。調合別に比較すると、粉体系、増粘剤系、普通の順にK値が小さくなった。

4.3.2 管内圧力損失との関係

図-18に、プローブ圧力とK値の関係を示す。増粘剤系では両者に相関が認められなかったものの、粉体系および普通では正の相関が認められた。特に、普通については近似直線の寄与率が高いことから、通常の強度でスランブにより流動性を管理するコンクリートについてはプローブで圧送性を評価可能と考えられる。

図-19に、粉体系と増粘剤系におけるスランブフロー停止時間とK値の関係を示す。粉体系においては両者に正の相関が認められたものの、増粘剤系で両者に相関は

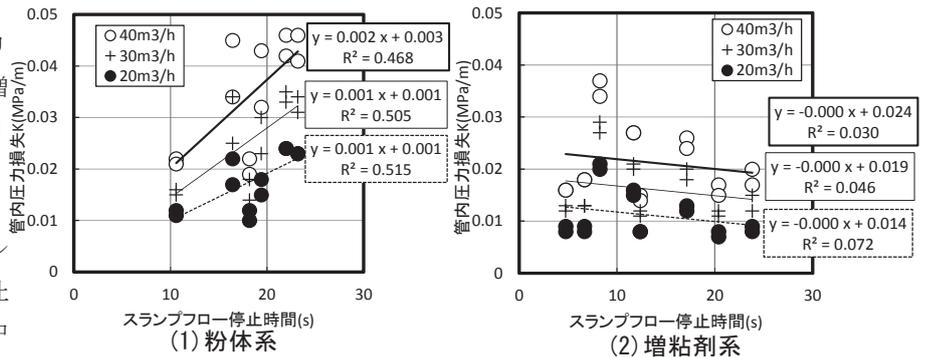


図-19 スランブフロー停止時間とK値の関係

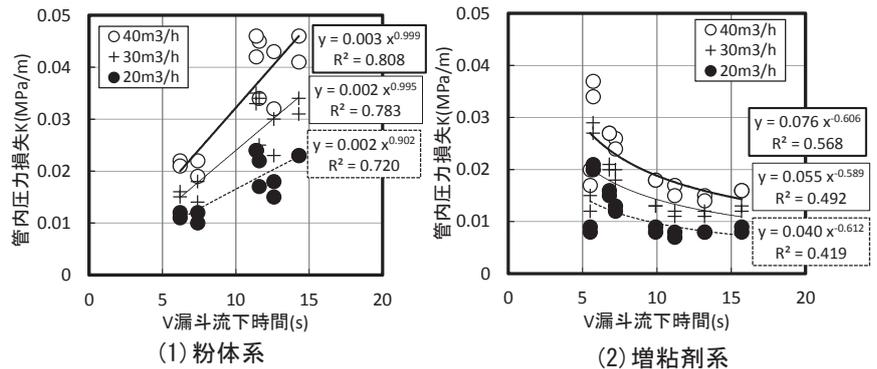


図-20 V漏斗流下時間とK値の関係

認められなかった。なお、図は省略するが、実測のスランブフローとK値の関係における寄与率は粉体系が0.14～0.20で、増粘剤系が0.06～0.11と低く、スランブフローから圧送性を直接評価するのは困難であると考えた。

図-20に、粉体系と増粘剤系におけるV漏斗流下時間とK値の関係を示す。両者の関係は累乗曲線によって高い相関のもとに近似できたものの、近似曲線の形状はコ

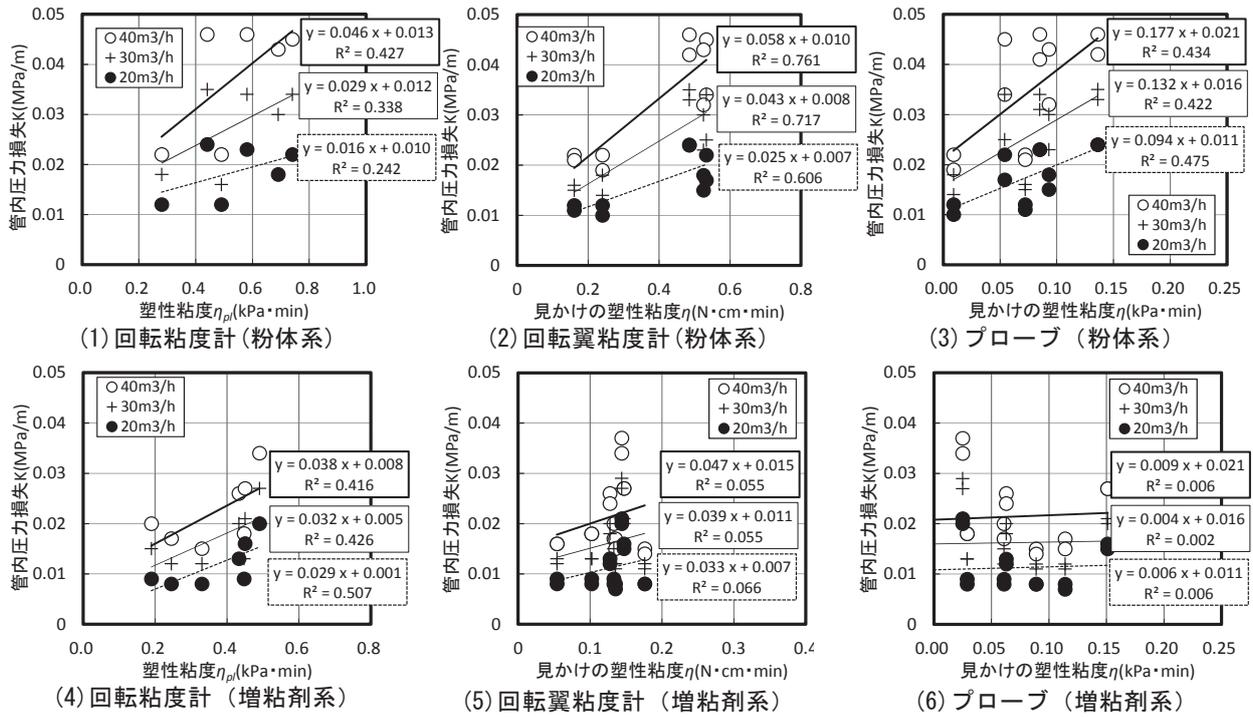


図-21 塑性粘度または見かけの塑性粘度とK値の関係

ンクリート種別で明確に異なった。このことから、V漏斗試験で圧送性を評価する場合には、コンクリートの材料または調合別に検討の必要なが示唆された。

4.3.3 レオロジー定数と管内圧力損失の関係

図-21 に、粉体系および増粘剤系におけるK値と回転粘度計で求めた塑性粘度 ( $\eta_{pl}$ ) または回転翼粘度計およびプローブで求めた見かけの塑性粘度 ( $\eta$ ) の関係を示す。回転粘度計ではK値と  $\eta_{pl}$  に正の相関が認められ、既往の研究(例えば6)と同様の傾向が確認できた。一方、回転翼粘度計およびプローブでは、粉体系ではK値と  $\eta$  に正の相関があるものの、増粘剤系で相関は認められなかった。前者は粗骨材の抵抗、後者はドラム回転軸の傾斜による影響とそれぞれ推察されるが、更なる検証が必要と考える。

5. まとめ

トラックアジテータ車のドラム内部に取り付けた、ひずみ計内蔵のプローブによるコンクリート品質の連続管理システムの適用性を検討した。

本研究で得られた知見は以下の通りである。

- 1) 流動性の高いコンクリートのスランプフローと圧力の関係式を得た。また、プローブ圧力は、スランプフロー試験の流動停止時間や 500mm 到達時間とも関連があることがわかった。
- 2) プローブ圧力は、L形フロー最大値、同フロー停止時間およびU形充填試験充填高さとの相関がみられた。
- 3) プローブ圧力は、V漏斗流下時間とU型充填試験の充填時間との間に、本実験の範囲では相関はみられなかった。
- 4) 通常強度でスランプ管理のコンクリートの圧送性は

プローブ圧力によって評価可能と考えられる。

- 5) プローブで求めた見かけの塑性粘度と粉体系高流動コンクリートのK値との間に正の相関が認められた。

【謝辞】

本研究の遂行にあたり、(有)長岡生コンクリート、(有)川端工業、竹本油脂(株)、(株)フローリックの皆様にご協力いただきました。ここに付記して謝意を表します。

【参考文献】

- 1) Denis Beupre : RHEOLOGICAL PROBE TO MEASURE CONCRETE WORKABILITY, 37th Conference on Our World in Concrete & Structures, Singapore, 29-31 Aug. 2012
- 2) Denis Beupre : Mixer-Mounted Probe Measures Concrete Workability (IBB Probe data provide very good correlations with slump or flow tests), Concrete international, pp2-5, Sep. 2012
- 3) 廣藤義和ほか：アジテータ車のドラム内に設置したプローブによるコンクリート品質の連続管理の検討(その1~6), 日本建築学会学術講演梗概集, 2015.9
- 4) 菊川浩治：モルタルおよびコンクリートの粘度式に関する研究, 土木学会論文集第414号/V-12, 1990.2, p109~118
- 5) 日本建築学会：コンクリートポンプ工法施工指針・同解説, 2009.12
- 6) 和美廣喜ほか：高強度コンクリートのポンプ圧送性に関する実験研究, 日本建築学会構造系論文集, 第466号, pp.11-20, 1994.12