

コンクリートの性能とポンプ圧送性に関する評価

その2 圧送前後におけるコンクリートの品質変化

Evaluation of Pumpability and Performance of Concrete

Part.2 Change of Properties of Concrete by Pumping

山崎 順二*

高見 錦一*²

要 旨

骨材および調合を変化させた呼び強度30～60のコンクリートに関し、水平圧送距離300mまでのポンプ圧送実大実験を行って、圧送前後のコンクリートの品質変化の程度を調査した。その結果、使用材料、呼び強度および単位水量の違いが圧送前後のフレッシュコンクリートの性状変化に及ぼす影響は明確には把握できなかったが、300mまでの水平圧送によるコンクリートのスランプロスは、平均値として1cm～2cm程度であった。また、単位水量は筒先でやや小さくなる傾向、空気量は筒先で1%程度増加する傾向および圧縮強度は荷卸し時と筒先時で同等であることが確認できた。

キーワード：コンクリート性能／ポンプ圧送性／長距離圧送／圧送ロス／スランプ／空気量／圧縮強度

1. はじめに

本報その2では、その1の管内圧力損失の測定結果と管内圧力損失（K値）の推定手法の提案に引き続き、その1におけるフィールド実験での圧送前後のコンクリートの品質変化について検討した結果について述べる。

2. 実験概要

2.1 コンクリートの種類および使用材料

圧送実験に供したコンクリートの種類と使用材料を表1に示す。コンクリートの種類は14種類、製造工場は、使用材料、コンクリートの製造性、輸送時間などを考慮し、表に示す3工場（K工場、T工場、S工場）とした。各工場からの実験場所までの輸送時間は、K工場からは約20分、T工場からは約10分、S工場からは約50分であった。

コンクリートの調合は、呼び強度24～60、スランプ18～23cm、単位水量170～185kg/m³の範囲とした。実験の要因と水準の組合せについては、使用材料の違いや呼び強度の違いが管内圧力損失に及ぼす影響や圧送前後の品質変化に及ぼす影響を評価することを目的として計画した。調査概要は前報（その1）に掲載した通りである。

2.2 使用材料の品質

各工場の使用材料およびその品質を表2に示す。表中に示した品質試験値は、ポンプ圧送実験当日に実際に使用した材料を採取して品質試験を行ったものである。

骨材の品質試験の結果、粗骨材および細骨材とも、産地および岩種の違いにより大きな差異が認められた。吸水率については、K-S2およびS-S3の石灰砕砂が0.4%以下と非常に小さい値であったが、粗骨材の吸水率には細骨材ほどの大きな差はなかった。また、微粒分量につい

表1 実験に供したコンクリートの使用材料とコンクリートの種類

工場名	材料記号	細骨材（数値は混合比率）	粗骨材	24-180 SL18cm	30-180 SL18cm	36-185 SL21cm	36-170 SL21cm	45-185 SL21cm	60-175 SL23cm
K	A	改良砕砂	改良碎石		○	○	○		
	B	改良砕砂7：石灰砕砂3	改良碎石		○				
S	A	川砂7：西島砕砂3	亀岡産碎石		○				
	B	西島砕砂6：東谷石灰砕砂4	亀岡産碎石		○				
	C	西島砕砂6：東谷石灰砕砂4	津久見石灰砕砂		○	○			
T	—	城陽産山砂7＋高槻砕砂3	高槻産碎石	○	○	○	○	○	○

例）24-180：呼び強度－単位水量、SL18cm：スランプ18cm

*大阪本店 建築部 技術グループ

*²建築研究グループ

表－２ 実験に供したコンクリートの使用材料とコンクリートの種類

骨材種類	工場名	記号	使用骨材	表乾密度 (g/cm ³)	絶乾密度 (g/cm ³)	吸水率 (%)	粗粒率	実積率 (%)	微粒分量 (%)
細骨材	K	S1	改良砕砂	2.63	2.61	0.98	2.69	61.8	0.93
		S2	津久見産石灰砕砂	2.72	2.71	0.36	2.74	66.3	6.28
	S	S1	ミン江川砂	2.62	2.60	0.77	2.82	60.4	0.70
		S2	西島産砕砂	2.62	2.60	1.00	2.99	62.6	6.73
		S3	東谷産石灰砕砂	2.70	2.70	0.26	2.33	67.3	3.11
	T	S1	城陽産山砂	2.59	2.56	1.16	2.74	62.6	1.56
		S2	高槻産砕砂	2.70	2.68	0.80	2.71	64.6	3.62
粗骨材	K	G1	改良砕石	2.63	2.60	1.06	6.96	57.7	0.09
	S	G1	亀岡硬質砂岩砕石	2.67	2.63	1.26	6.71	58.2	0.19
		G2	津久見産石灰砕石	2.67	2.64	1.25	6.94	62.1	2.27
	T	G1	高槻産硬質砂岩砕石	2.70	2.67	1.11	6.34	56.7	0.27

表－３ フレッシュコンクリートの性状の目標値

設計スランプ	スランプフロー	F/S	空気量
18cm	30cm～35cm	1.6～1.7	4.5%
21cm	35cm～40cm	1.6～1.7	4.5%
23cm	45cm～50cm	1.9～2.1	3.0%

ては、細骨材ではK-S1（改良砕砂）およびS-S1（ミン江産川砂）が1.0%以下と小さく、石灰砕砂であるK-S2およびS-S3が他の細骨材の2倍程度以上大きい値であった。粗骨材では、S-G2（石灰砕石）が約2.3%と大きな値であった。

2.3 コンクリートの試験項目および試験方法

長距離圧送におけるフレッシュコンクリートの性状変化を確認するため、全てのコンクリートについて、前報（その1）に示した圧送時の管内圧力を測定した後、荷卸し・100m・200m・300m（筒先）の4地点から試料を採取し、フレッシュコンクリートの試験を行った。輸送管の配管状況は前報（その1）に示した通りである。フレッシュコンクリートの試験は、圧送距離が約300mであり、配管内を充填するために約4.0m³のコンクリートが必要であったため、各調合とも9.0m³（アジテータ車2台ずつ）製造し、2台目のアジテータ車から試料を採取して行うこととした。

フレッシュコンクリートの試験項目は、スランプ、スランプフロー、空気量、単位容積質量、単位水量（バッチ式RI法および高周波加熱乾燥法）とした。また、本実験ではポンプ圧送性を簡易に評価するための試験として、振動フロー試験を行った。振動フロー試験とは、通常のスランプ試験を行った後、スランプテーブルに10sec間振動を与えることによるコンクリートの流動の程度により、フレッシュコンクリートレオロジー的性質¹⁾を評価しようとするものである。

硬化コンクリートの試験は、荷卸し時および筒先時に

において、圧縮強度、静弾性係数、動弾性係数およびかさ密度を測定した。

また、コンクリートの圧送によるスランプロスが圧送時の粗骨材の欠けやすり減りに起因する可能性があるとの考えから、圧送前後の骨材粒度の変化を確認するために、荷卸し時および筒先時のフレッシュコンクリートから2.5mm以上の骨材を洗い出し、骨材の粒度分布を測定した。

なお、本実験においては、荷卸し時のスランプフローおよびF/Sの目標値を、それぞれの設計スランプに対して表－3のように設定した。これは、同一呼び強度で使用材料のみ異なるコンクリートのフレッシュ性状を、可能な限り同等の性状にすることを意図したためである。

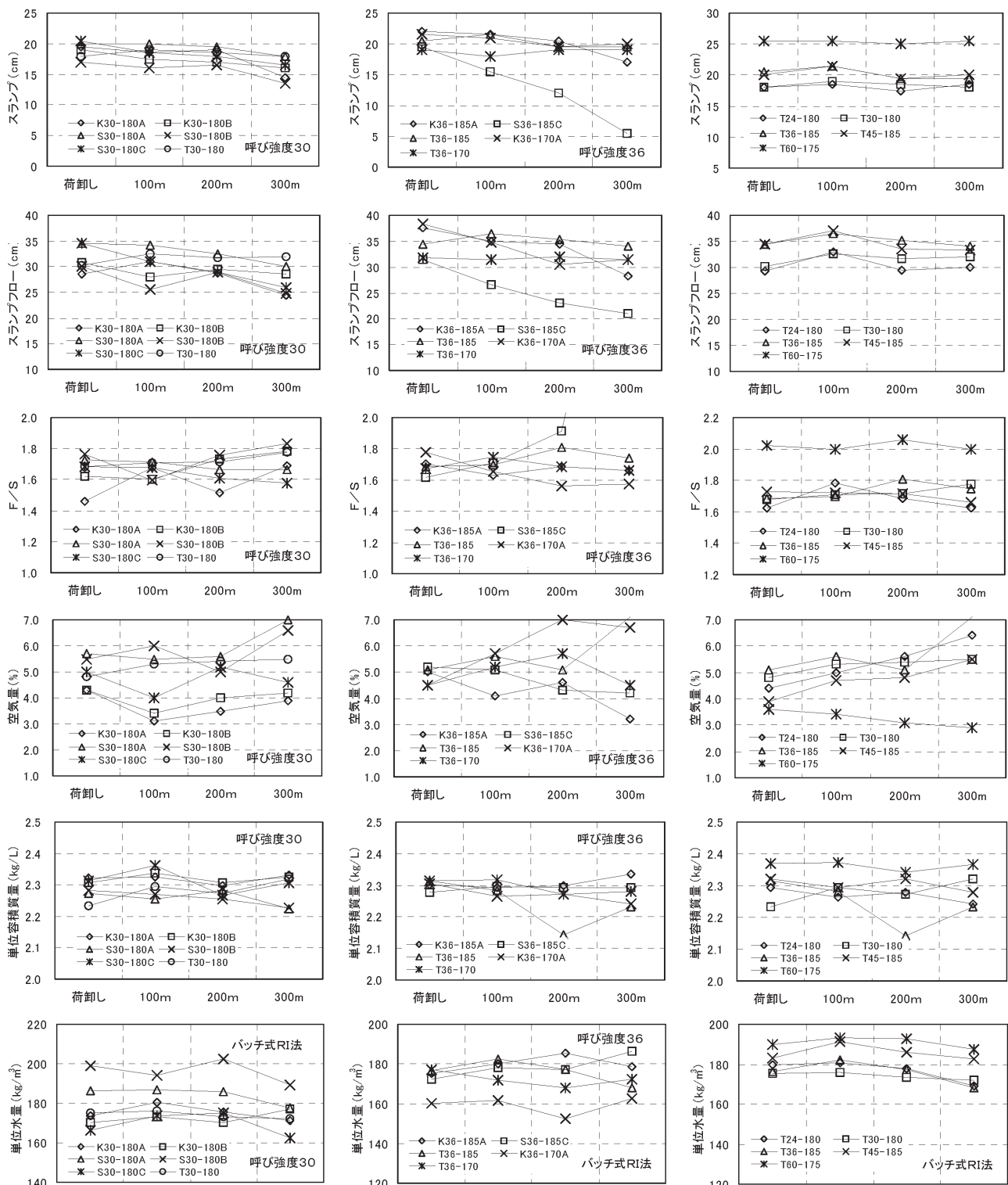
ここで、F/Sとは、スランプおよびスランプフローの測定結果から(1)式により得られる値であり、フレッシュコンクリートの品質を表現する指標²⁾として提案しているものである。

$$F/S = (\text{スランプフローの平均値} / \text{スランプ}) \quad (1)$$

3. 実大圧送実験の結果および考察

3.1 圧送距離によるフレッシュコンクリートの性状変化

フレッシュコンクリートの性状は、荷卸し地点で目標スランプおよび目標空気量を満足した。荷卸し時の試験結果は、前報（その1）に示す。T60-175のみスランプが目標値よりやや大きくなっているが、コンクリートの分



図－１ 300mまでの長距離圧送によるフレッシュコンクリートの性状変化

離は生じておらず良好な性状であったため、そのまま実験に供した。

図－１にスランプ、スランプフロー、F/S、空気量、単位容積質量および単位水量の圧送距離によるフレッシュコンクリートの性状の変化を示す。

図－１の左の列の図が呼び強度30のコンクリート、中央の列が呼び強度36のコンクリートであり、使用材料の

違いによる影響を比較したものである。右の列の図は使用材料が同じで呼び強度の異なるコンクリートであり、強度の違いによる影響を比較したものである。図の凡例に示した調合記号は、[工場名・呼び強度－単位水量・材料記号]を表している。例えば[K30-180A]であれば、工場名がK、呼び強度30、単位水量180kg/m³、材料記号がAである。

スランプについては、300mまで圧送することによる低下量は概ね0～3cm程度であった。呼び強度30のコンクリートについては石送距離200mから300mの間での低下量がやや大きくなる傾向が見られた。呼び強度36のコンクリートについては、S36-185Cのみ圧送により極端なスランプの低下が生じているが、この性状変化には圧送開始までの経時も影響していると考えられる。

スランプフローは、スランプと同様の傾向であり、KおよびSの呼び強度30のコンクリートについては、圧送距離が長くなるのに伴って徐々に小さくなった。これは呼び強度36と比べてセメント量が少なく、コンシステンシーが若干小さいためと考えられる。しかしTについては、スランプおよびスランプフローとも、呼び強度にかかわらず長距離圧送による性状変化はほぼなく、300mの地点の筒先においても荷卸し時とほぼ同等のワーカビリティを有するコンクリートであった。これは、Sの輸送時間は50分程度であるのに対し、Tの場合は約10分であったことから、出荷時から荷卸し時までの経過時間が極めて少なく、その他の工場と違って圧送終了時までの間のコンクリートの経時変化を無視できる状態であったためと考えられる。

F/Sは、圧送前後での変化量は小さく圧送距離によらずほぼ一定の値であった。これは、スランプの低下に伴いスランプフローも小さくなったためと考えられる。

一方、空気量については圧送距離による変動が大きく、圧送後に空気量が極端に大きくなる傾向が認められた。これは、筒先試料のサンプリングに偏りがあり、試料中にモルタル分が多くなっていた可能性もあると推察されるが、特にTにおいては圧送距離が長くなるのに伴って徐々に増加していく傾向が見られた。

単位容積質量には大きな変動はなく、空気量の変化との関連性は明確には認められなかった。

単位水量については、バッチ式RI法により測定した結果、圧送距離が長くなるのに伴って、若干ではあるが小さくなる傾向がみられた。

以上より、使用材料（骨材）、呼び強度および単位水量の違いが長距離圧送時のフレッシュコンクリートのスランプやスランプフローに及ぼす影響については、実験に供したコンクリートに大きな圧送ロスが生じなかったこともあり、本実験の結果からは明確な傾向は把握できなかった。しかし、空気量は圧送によりやや増加する傾向、単位水量はやや減少する傾向が認められた。

3.2 荷卸しと筒先での骨材品質の変化

コンクリートの圧送後、筒先のコンクリートに生じる

ことのあるスランプロスなどの品質変動の原因について検討するため、荷卸し時（記号：N）および筒先時（記号：T）においてコンクリートを7（L）ずつ採取し、2.5mmふるいを用いて骨材を洗い出すことにより、圧送前後での骨材の表乾密度、吸水率および実積率を測定した。図-2に、荷卸し時と筒先時の骨材品質の関係を示す。また、圧送前後のコンクリートから洗い出した骨材のふるい分け試験結果のうち、特徴的なものを例として図-3に示す。なお、ふるい分け試験の結果については、荷卸し地点と筒先地点の試料中から得られる骨材質量がそれぞれ異なるため、各ふるいの通過百分率で表す通常の粒度分布曲線ではなく、各ふるいの残留量を用いて粒度の分布状況を比較することとした。

まず、ポンプ圧送によるスランプロスの要因のひとつが骨材への圧力吸水によると仮定した場合、圧送後において骨材の吸水率が見かけ上大きくなること、また圧力吸水した分だけ表乾密度が大きくなることが予測される。

圧送前後の粗骨材の品質試験結果から、吸水率について

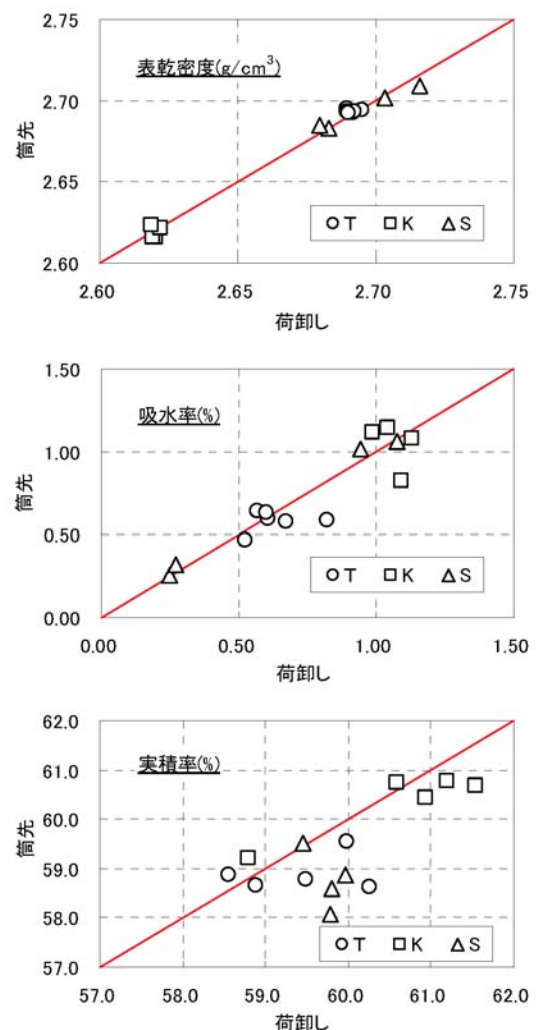
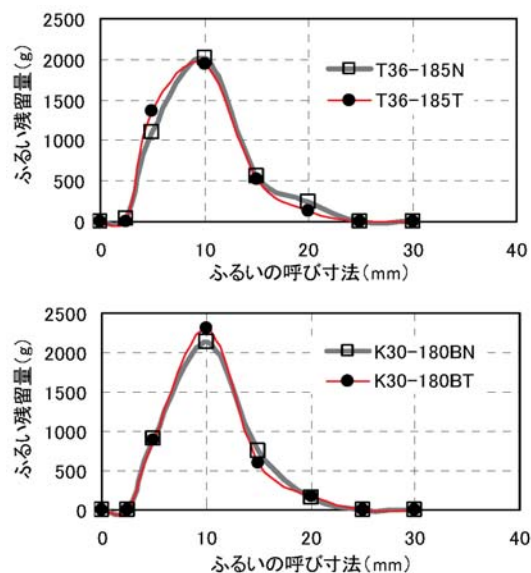


図-2 圧送前後の骨材品質試験結果

ては、呼び強度36以下の範囲で主として石灰砕砂および石灰碎石を用いたコンクリートにおいて圧送後にやや増加する傾向にあったが、表乾密度については、圧送前後において概ね同等の値を示し、圧送前後の明確な差異は

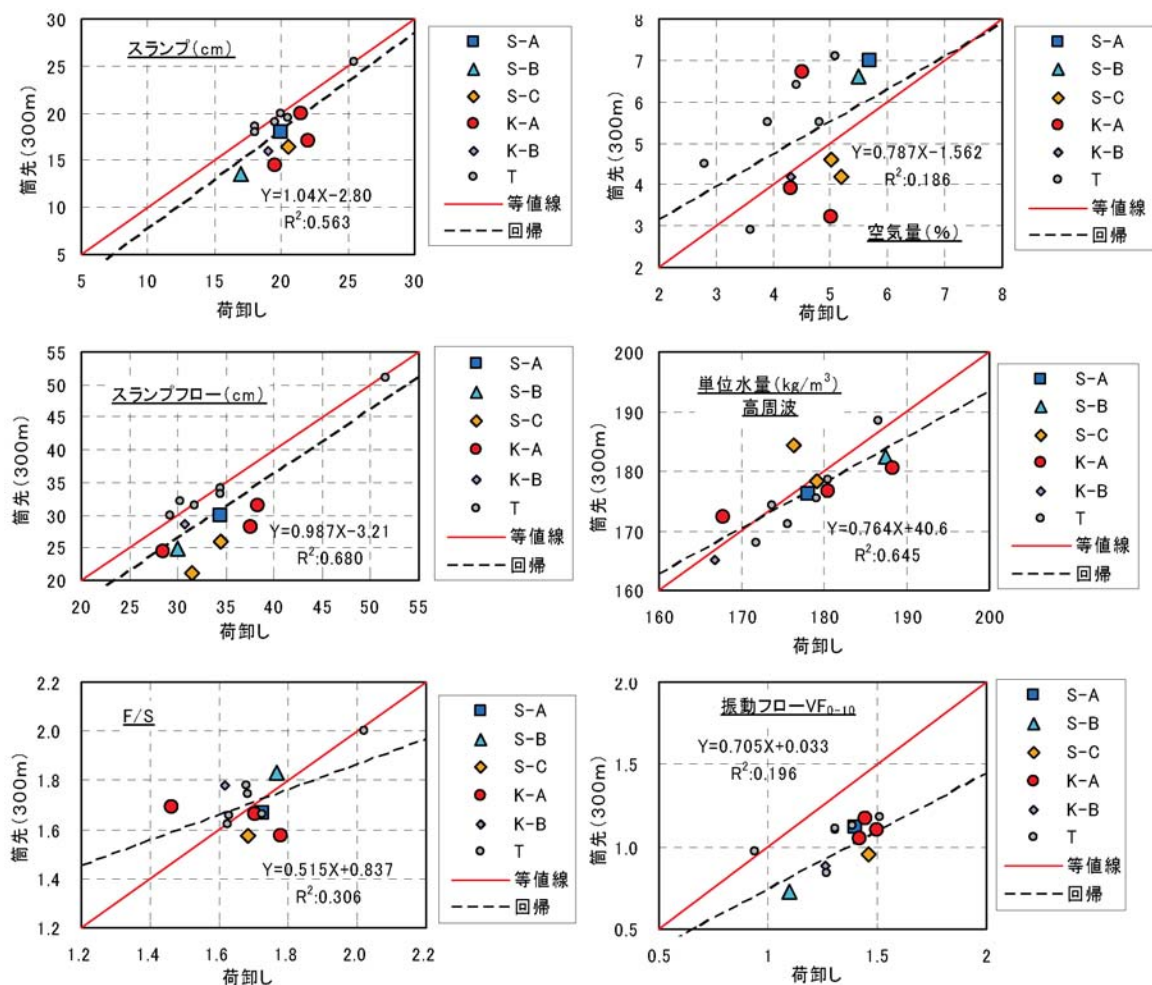


図－3 圧送前後の骨材の粒度分布

認められなかった。

一方、実積率については、圧送後に大きく低下する傾向が見られた。この原因は、ホップ内や圧送中の衝撃による骨材の割れなどによって、粗骨材自体の粒形が変化しているためと推察される。

さらに、図－3に示したポンプ圧送前後（荷卸し時: Nと筒先時:T）のコンクリートの骨材の粒度分布状況から、T36-185では20mmの粗骨材量が減少すると共に5mmの粗骨材量が増大する傾向、K30-180Bでは15mmが減少して10mmが増加する傾向が認められた。これは、使用材料の違いや呼び強度の違いによる明確な傾向は認められなかったが、大きな粒子の粗骨材の一部に欠けや摩滅が生じた結果であると推察される。骨材が欠けることにより小さい粒子が増加すると、骨材の表面積が増大することになり、骨材粒子周り（モルタルー骨材界面）に付着するモルタルやセメントペースト分が多く必要となるため、コンクリートのワーカビリティに寄与するモルタルが減少することになる。このこともポンプ圧送によってスランプロスが生じる要因のひとつであると推



図－4 荷卸し時と筒先時のフレッシュコンクリート性状の関係

察される。

3.3 荷卸しと筒先でのフレッシュコンクリートの性状変化

荷卸し時と筒先時におけるスランプ、スランプフロー、F/S、空気量、単位水量および振動フロー試験の関係を図－4に示す。

スランプは、Tにおいては呼び強度に関係なく圧送前後の変化がないがそれ以外のコンクリートは、筒先で平均1cm～2cm程度のスランプロスが生じた。スランプフローについても、筒先でのスランプロスに伴い、筒先において平均4cm程度小さくなる傾向にあった。空気量については筒先での変動が大きく、調合によっては筒先で約1.5～2.0%程度増加するものもあったが、平均して約1%程度筒先で増加する傾向にあった。単位水量については、若干ではあるが筒先において少なくなる傾向があった。なお、F/Sについては、荷卸し時および筒先時とも概ね1.6～1.8程度の範囲内であり、ワーカビリティとコンシステンシーには問題がなく十分に打設可能と判断できるコンクリートであった。

一方、ポンプ圧送性の簡易評価手法¹⁾として提案している振動フロー試験の結果は、荷卸しと筒先の差が顕著であり、振動フロー速度が筒先において約0.5cm/sec低下した。これは、筒先でのコンクリートの粘性が、筒先での単位水量の若干の低下などに起因して、荷卸し時よりも増大していることが示唆される。

3.4 荷卸しと筒先での硬化コンクリートの物性変化

図－5に、荷卸し時と筒先時のコンクリートの圧縮強度、かさ密度、静弾性係数および動弾性係数の関係を示す。

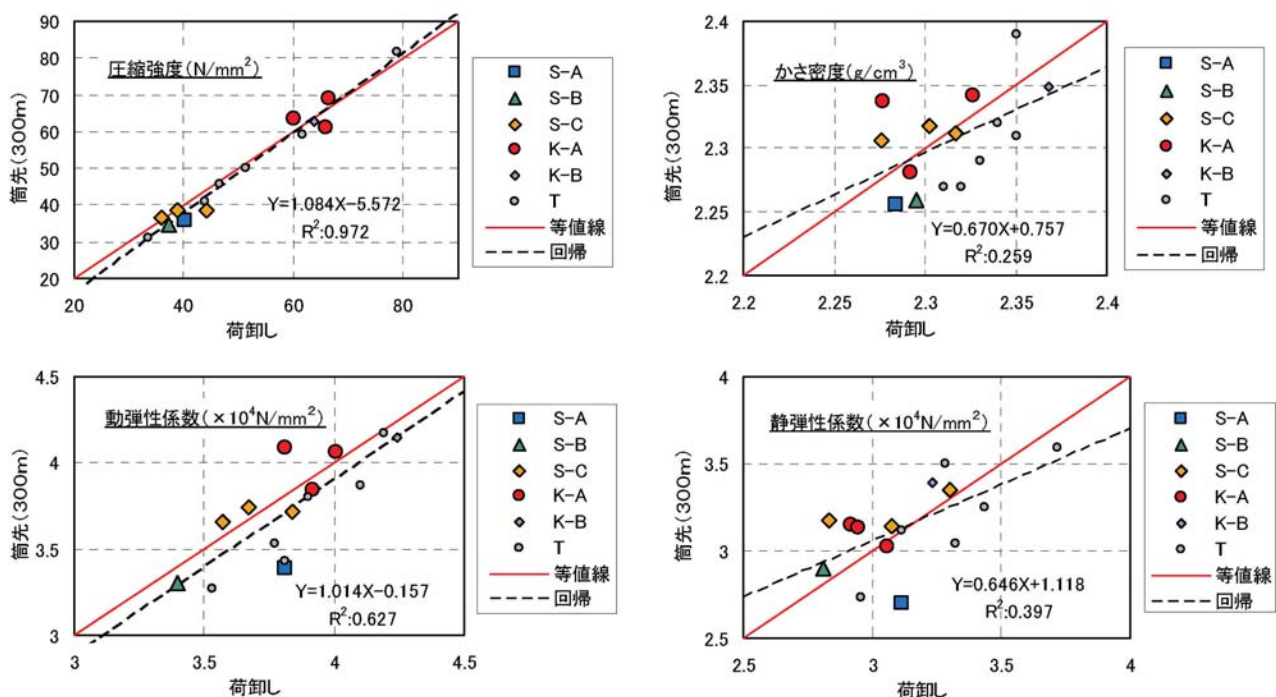
筒先時のコンクリートの圧縮強度は、荷卸し時と同等であり、かつ両者の間に高い相関が認められた。一方、動弾性係数は筒先においてやや低下する傾向にあった。これは、筒先での空気量の増加やかさ密度の変動にも起因していると考えられる。

4. まとめ

実大規模のポンプ圧送実験を行い、圧送前後におけるコンクリートの品質変化について検討した結果を以下に示す。

- (1) 使用材料、呼び強度および単位水量の違いが圧送前後のコンクリートの品質変化に及ぼす影響は明確に把握できなかった。
- (2) 圧送距離300mmにおける筒先でのスランプロスは、平均1cm～2cm程度であった。
- (3) 空気量は筒先で約1%程度増加する傾向があり、単位水量は筒先でやや小さくなる傾向にあった。
- (4) 圧縮強度は荷卸し時と筒先時で同等であった。

今後、ポンプ圧送前後の品質変化に関する材料要因や調合要因の定量化、圧送によるスランプロスのメカニズ



図－5 荷卸し時と筒先時での硬化コンクリートの物性の関係

ムとその原因解明、管内圧力損失推定手法の確立などが望まれ、これらについて検討を加える予定である。

〔謝辞〕

本実験に参加、協力いただきました関係各位に感謝の意を表します。

〔参考文献〕

- 1) 二村誠二・岩清水隆・木村芳幹・山崎順二：フレッシュコンクリートの性能とポンプ圧送性の評価に関する研究－その11.振動フロー試験によるポンプ圧送性評価、日本建築学会大会（九州）学術講演梗概集A-1、pp.557-558、2007.8
- 2) 山崎順二・岩清水隆・木村芳幹・二村誠二・吉見正：フレッシュコンクリートの性状がポンプ圧送性に及ぼす影響について、GBRC Vol32 No.2、pp.17-28、2007.4

