

# 論文 低品質再生骨材の含水状態がコンクリートの圧送性に及ぼす影響

山田 悠二<sup>\*1</sup>・橋本 紳一郎<sup>\*2</sup>・江本 幸雄<sup>\*3</sup>・伊達 重之<sup>\*4</sup>

**要旨:** 本研究では、低品質再生骨材の割合と含水状態を変化させたコンクリートの配合を設定して、実機での圧送を実施し、圧力センサーによる管内圧力の測定と圧送前後のコンクリートにおける品質の違いについて検討した。その結果、普通コンクリートと比べ、再生骨材を使用したコンクリートでは、再生骨材の割合が多くなるにつれてスランプの低下は抑制され、また同一の配合であっても含水状態の違いによって圧送性、圧送前後の圧縮強度の変動、間げき通過性、材料分離抵抗性は異なることを明らかにした。

**キーワード:** 低品質再生骨材, 含水状態, 圧送性, 間げき通過性, 材料分離抵抗性

## 1. はじめに

近年、天然骨材の枯渇が進みコンクリート用骨材として川砂利、川砂に代わって砕石、海砂を使用することが九州では一般的となった。しかし、それらの骨材についても枯渇化が懸念されている。これらに対して、建設副産物に対する期待が高く、再生骨材を使用したコンクリートの研究も多く行われてきたが、再生骨材の利用は促進にはつながっていない。その要因の一つとして、再生骨材は吸水率が高いため表乾状態を保つことが難しく、一定の状態を保つことが困難であることが挙げられる。

再生骨材の含水状態の管理においては、散水行為および骨材の吸水が十分に行われずに骨材が乾燥してしまうことが考えられる。天然骨材では吸水率が高いものはコンクリートに使用されないため、水量の補正を行えば、施工性能に与える影響は小さい。しかし、再生粗骨材の場合、製造方法によっては吸水率が高い骨材もあるため、表乾状態と気乾状態で含水率が大きく異なることから、骨材の含水状態がコンクリートの性状に与える影響が大きい。また、再生細骨材では、再生粗骨材よりもさらに吸水率が高く、表乾状態を保つことが一層困難であることから、高い表面水率（湿潤状態）での管理が必要となる。

再生骨材の吸水率や密度に関して、高品質再生骨材ではレディミクストコンクリート用の骨材として JIS に制定されており、天然骨材と比較しても品質に遜色はないものの、その分コストがかかってしまう。また、コストの低い低品質再生骨材については、吸水率や含水状態がコンクリートの性状に与える影響について、強度や耐久性においては研究が行われているものの、圧送性やその

他の施工性能に関する研究が十分に行われていないのが現状である。

そこで本研究では、低品質再生骨材の用途拡大を目的として、低品質再生骨材の使用割合と含水状態を変化させたコンクリートの配合条件を設定し、再生骨材の使用割合と含水状態が圧送性、間げき通過性、材料分離抵抗性、強度に与える影響について検討した。

## 2. 実験概要

### 2.1 使用材料

本研究で使用した材料とその物性を表-1 に示す。再生骨材は建築用コンクリートの廃材をジョークラッシャーにより一次破碎、インパクトブレイカーにより二次破碎し、粒径が 20~5mm のものを再生粗骨材、5mm 以下のものを再生細骨材とした。製造された再生骨材は密度、

表-1 使用材料

材料名	種類：記号	物性
セメント	高炉B種：C	密度：3.04g/cm <sup>3</sup>
細骨材	海砂：S (玄界灘産)	密度：2.58g/cm <sup>3</sup> 吸水率：1.40% 粗粒率：2.60
	再生細骨材：RS	密度：2.15g/cm <sup>3</sup> 吸水率：8.30% 粗粒率：2.96
粗骨材	砕石：G (山口県下関産)	密度：2.68g/cm <sup>3</sup> 吸水率：1.67% 実積率：59%
	再生粗骨材：RG	密度：2.47g/cm <sup>3</sup> 吸水率：5.50% 実積率：61%
混和剤	AE減水剤	リゲニンスルホン酸化合物とポリカルボン酸エーテルの複合体

\*1 福岡大学大学院 工学研究科建設工学専攻 (学生会員)

\*2 福岡大学工学部 社会デザイン工学科 博(工) (正会員)

\*3 福岡大学工学部 社会デザイン工学科 工博 (正会員)

\*4 日本シーカ(株) 技術研究所 工博 (正会員)

吸水率などから再生骨材 L に相当する。また再生細骨材は 0.075mm 未満の微粒分量が多く、さらに標準粒度曲線からはずれていたため、回転ふるいの中で水洗いを行った。表-1 の使用材料に示す再生細骨材の物性は、水洗い後のものである。

表-2 に水洗い前後の粗粒率と微粒分量、図-1 に水洗い前後の粒度分布を示す。図中の破線は細骨材における粒度の標準範囲である。水洗いにより粗粒率および微粒分量は減少し、標準粒度曲線内におさまった。以降、本研究では水洗いしたものを使用した。また、細骨材に 15% 以上含まれていると良好な圧送性を期待できる<sup>1)</sup>とされる 0.3mm 以下の微粒分の含有率は、海砂で 27.4%、水洗いした再生細骨材で 12.9% であり、海砂に比べ再生細骨材の方が低い値を示した。

## 2.2 骨材の含水状態

本実験では、気乾状態の再生粗骨材と湿潤状態の再生細骨材を使用したコンクリートの施工性能を検討した。気乾状態は含水率から吸水率をひいた値が -3% 程度、湿潤状態は含水率から吸水率をひいた値が +3% 程度となる状態とした。これは再生骨材の製造工場での製造および管理状態を想定し、再生骨材の製造時に散水したのちは散水を行わず、十日程度静置させたときの各骨材の含水率を参考にした。その他の骨材については表乾状態とした。

## 2.3 配合および配合条件

本研究で使用したコンクリートの示方配合を表-3 に示す。配合名は、N が普通コンクリート、RG が再生粗骨材、RS が再生細骨材を表し、数値はその容積置換率を示す。また、含水状態による影響を検討するために、RG50 の比較対象として気乾状態の再生粗骨材を使用した配合（以降、RG50(気)と記す）と RG50RS50 の比較対象として再生粗骨材を気乾状態、再生細骨材を湿潤状態で使用した配合（以降、RG(気)RS(湿)と記す）を設定した。気乾状態の再生粗骨材については、再生粗骨材単位量の 3% にあたる質量の水を練り混ぜ水に加え、単位水量が一定となるよう補正を行った。この水量の補正により本実験では、目標スランプおよび目標空気量が得られた。

## 2.4 スランプの経時変化の確認

### (1) 測定方法

既往の研究<sup>2)</sup>を参考として、恒温室内（室温 20±1℃）

表-2 水洗い前後の粗粒率と微粒分量

RSの状態	粗粒率	微粒分量(%) (0.075mm未満)
水洗い前	3.11	7.14
水洗い後	2.96	2.16

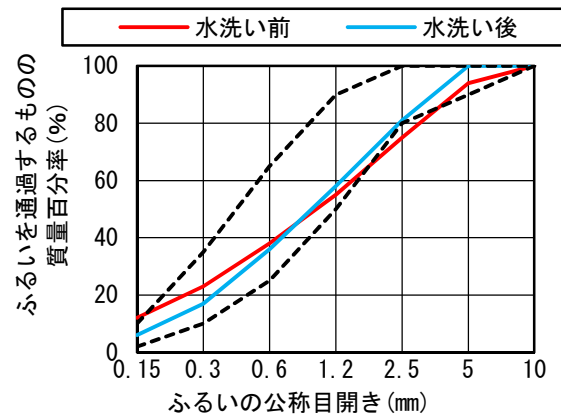


図-1 再生細骨材の粒度分布

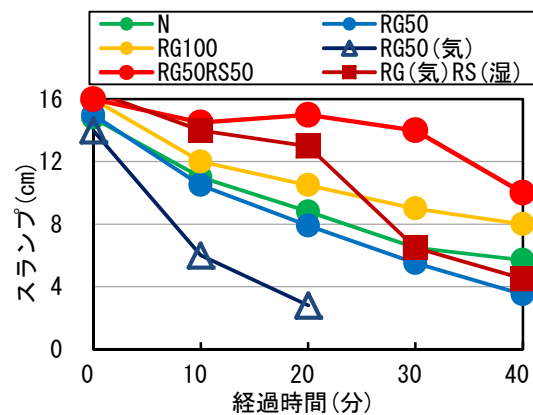


図-2 スランプの経時変化

でスランプの経時変化の測定 (JIS A1101) を行った。計測時間については既往の研究より<sup>3)</sup> 気乾状態の再生粗骨材を使用すると、練り混ぜ後 20 分までのスランプの低下が大きいたことが報告されていることと、本実験では 40 分の試験圧送を行うことを想定していることから練り混ぜ後 40 分とした。

### (2) 測定結果

図-2 にスランプの経時変化を示す。配合 N は福岡市内の生コン工場で実際に使用されている配合を参考にしたものであるが、練り混ぜ量が少ないことからスランプ

表-3 コンクリートの示方配合

配合名	W/C (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m <sup>3</sup> )						AE減水剤	目標スランプ (cm)	目標空気量 (%)
			W	C	RG	G	RS	S			
N	56	47.8	166	296	-	967	-	851	C × 1.0(%)	15 ± 2.0	4.5 ± 1.5
RG50					446	483	-	851			
RG50 RS50					446	483	351	425			
RG100					891	-	-	851			

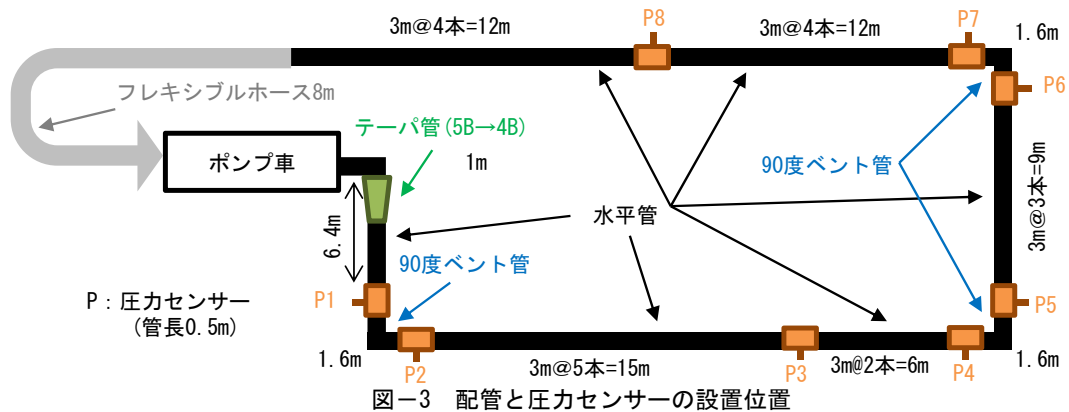


図-3 配管と圧力センサーの設置位置

の低下が大きいという傾向にあった。各配合の関係を相対的に見ると、配合 N と比べ、RG50 ではスランブの経時変化にあまり差は見られなかったが、RG100 と RG50 RS50 では、スランブの低下が小さい結果となった。RG100 の場合、モルタルの付着により再生粗骨材の粒形が碎石と比べ丸いためであると考えられる。これらより、再生粗骨材を 50%置換ではスランブに与える影響は小さいが、100%置換すると再生粗骨材の粒形が影響を与え、スランブの低下が抑制された。RG50RS50 では、再生細骨材を水洗いして 0.3mm 以下の微粒分を少なくしたことによってスランブの低下を抑制したと考えられる。また、再生粗骨材を気乾状態で用いた配合では、水量の補正を行ったにもかかわらず、練り上がりから 30 分までに急激なスランブの低下が見られた。これは、練り混ぜ水を増やしたことによってペーストの粘性が失われて材料分離が生じ、十分な流動性を保持できず、さらに気乾状態の再生粗骨材が吸水した双方の影響によるものが考えられる。

## 2.5 実機による圧送

試験圧送では、練り上がったコンクリートのフレッシュ性状を確認した後、ポンプ車によるコンクリートの圧送を行い、圧送中と圧送後のコンクリートを用いて、スランブの経時変化の測定、加振ボックス充てん試験、圧縮強度試験用の供試体の作製を行った。

### (1) 圧送方法と計測方法

図-3 に配管と圧力センサーの設置位置を示す。配管の水平換算距離は 86.9m で 90 度ベント管を 3 箇所配置し、循環形の圧送方式でコンクリートの試験圧送を 40 分行った。循環形の圧送方式は、フレキシブルホースをポンプ車に設置することにより、コンクリートを繰り返し圧送することが可能である。コンクリートの圧送はピストン式のポンプ車により行った。また、実験室内で行ったスランブの経時変化の測定結果より、気乾状態で再生粗骨材を取り扱った配合は、経過時間 20 分以降のスランブの低下が大きいことから、すべての配合で一定のスランブでの圧送を開始するためにコンクリートの練り上

がり後 10 分以内に圧送することとした。圧送速度は圧送開始から 10 分間までは  $15\text{m}^3/\text{h}$ 、それ以降は  $30\text{m}^3/\text{h}$  とした。結果の整理については、計測した波形から、比較的一定な部分を平均して管内圧力とし、輸送管 1m あたりの圧力損失を式(1)により算出した。

$$\Delta P = (P_n - P_{n+1}) / l \quad (1)$$

ここに、 $\Delta P$ ：輸送管 1m あたりの圧力損失 (MPa/m)

$P_n$ ：入口の管内圧力 (MPa)

$P_{n+1}$ ：出口の管内圧力 (MPa)

$l$ ： $P_n$  と  $P_{n+1}$  の間隔 (m)

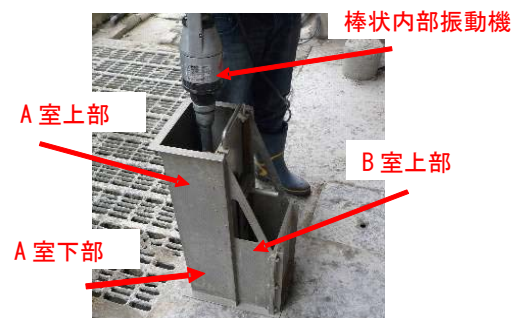


写真-1 加振ボックス充てん試験

### (2) フレッシュ性状試験と圧縮強度試験

フレッシュ性状試験として、圧送前と圧送開始 10 分後、20 分後、40 分後にスランブ試験 (JIS A 1101)、空気量試験 (JIS A 1128) およびコンクリート温度の測定を行った。圧縮強度試験 (JIS A 1108) は、圧送前と圧送後のコンクリートで行った。供試体は水中 (水温  $20 \pm 1^\circ\text{C}$ ) で 28 日間養生した。

### (3) 加振ボックス充てん試験

圧送前後のコンクリートに対して、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 (以降、ボックスと称す) と棒状内部振動機 (以降、振動機と称す)、流動障害 R2 を用いて、既往の報告<sup>4)</sup>で提案されている試験方法を参考とし、以下の手順で行った。

加振ボックス充てん試験方法は、ボックスを水平とな

るよう設置し、ボックスに仕切りゲートおよび流動障害を取り付ける。仕切りゲートを閉じた状態で試料をA室中央に3~4層程度に分けて詰める。A室上面をならし、振動機をA室に挿入する。仕切りゲートを引き上げ、振動機による加振を開始する。加振を開始した直後からB室隅角部の試料が190mmと300mmに達した時間を測り、これを到達時間とした。A室下部、B室上部の試料を約2リットル採取し、JIS A 1112に従い洗い分析試験を実施して粗骨材量を測定して、A室とB室の粗骨材変化率を算出し、A室とB室の粗骨材変化率の相対変化を総粗骨材変化率とした。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)。

### 3.実機での実験結果および考察

#### (1) フレッシュ性状試験結果と圧縮強度試験結果

図-4に試験圧送でのスランプの経時変化を再生骨材の使用割合で比較したものを示す。配合Nは圧送前と圧送後のスランプのみであるが、その他の配合については、圧送開始から10分後のスランプが最も高くなる傾向にあった。また、RG50RS50では、圧送開始20分から40分までのスランプの低下が見られなかった。これは、再生細骨材は吸水率が高いことから保水性があることや、水洗いによって微粒分量を少なくしたことが要因として考えられる。経過時間40分のスランプを配合間で比較すると、実験室内で行ったスランプの経時変化と同様に、配合NとRG50のスランプの低下は同程度で、RG100とRG50RS50のスランプの低下が小さくなった。このことから、再生骨材の使用割合が増えることでスランプの低下が抑制されることを示した。

図-5にスランプの経時変化の含水状態での比較を示す。実機を用いた実験では、含水状態の違いによるスランプの経時変化への影響は見られなかった。このことから、練り混ぜ量の違いや圧送など、条件によっては気乾状態の再生粗骨材による急激なスランプの低下は抑制されると考えられる。

図-6に圧送前と圧送後の空気量試験結果を示す。全ての配合で4~5%の値が示されており、また40分間の循環圧送を行ったが、圧送前後での空気量の変化は見られなかった。このことから、空気量が実験結果に与える影響は考慮しないものとする。

図-7に圧送前と圧送後の圧縮強度試験結果を示す。再生骨材の使用割合が増えるにつれて圧縮強度は低くなる傾向にあり、配合NとRG100では圧送前後での変動は見られなかったが、再生細骨材を混入した配合では、圧送前後で圧縮強度の変動が大きくなる結果となった。また、同一の配合であっても、含水状態の違いによって圧送前後の圧縮強度が異なるという傾向にあり、RG50RS5

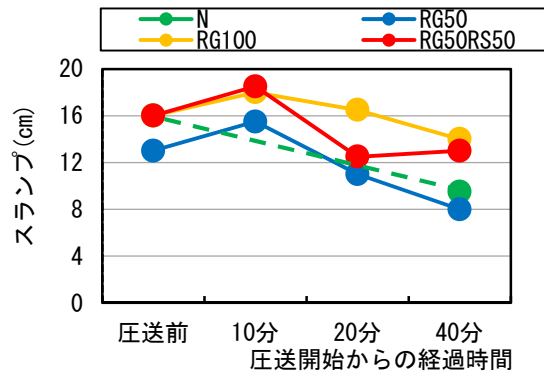


図-4 各配合のスランプ経時変化

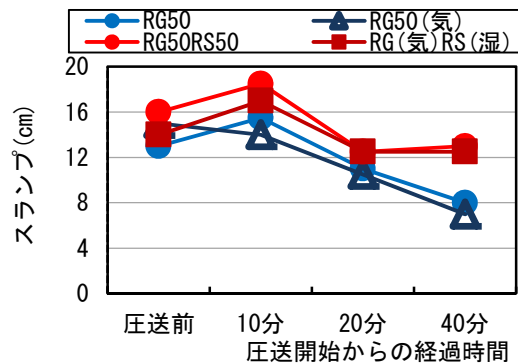


図-5 含水状態の違いとスランプ経時変化の関係

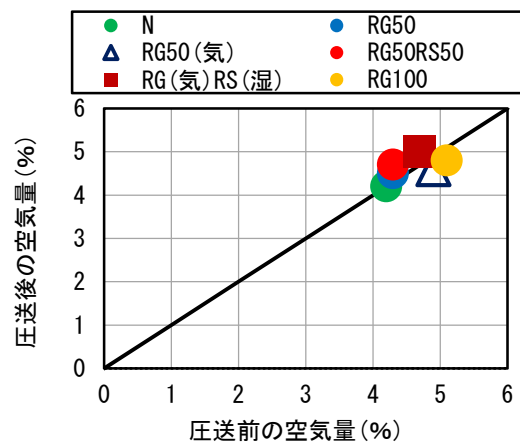


図-6 圧送前後の空気量試験結果

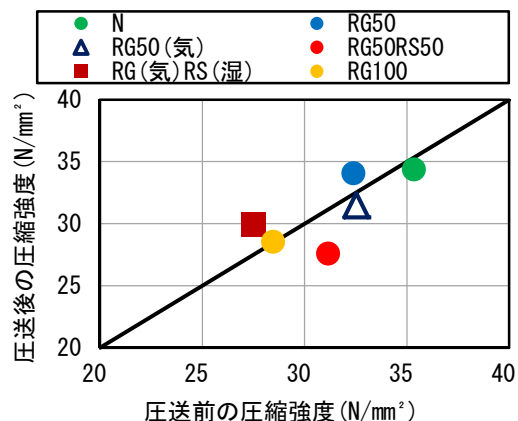


図-7 圧送前後の圧縮強度試験結果

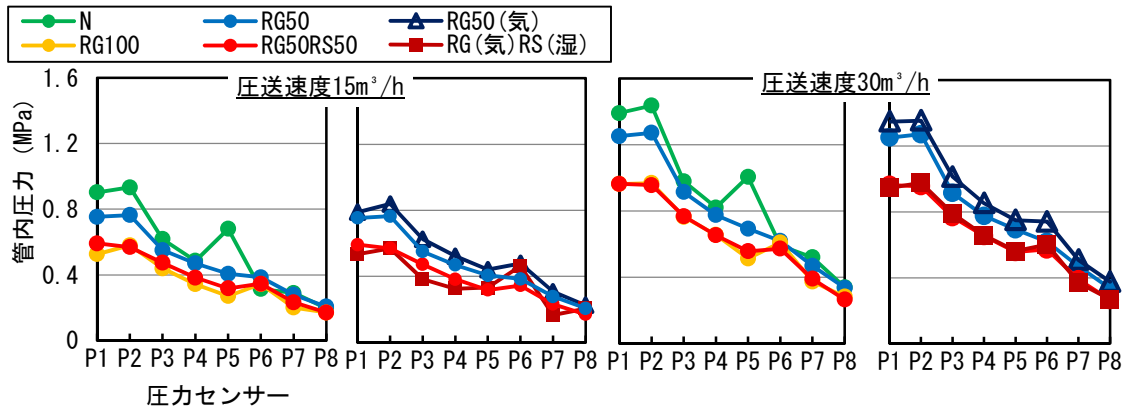


図-8 各配合の管内圧力測定結果

0 よりも RG(気)RS(湿)の方が圧縮強度の変動が小さい結果となった。このことから、再生細骨材を使用したコンクリートは圧送前後での圧縮強度の変動は大きい、本実験のような含水状態では、圧送前後での圧縮強度の変動を抑制することができる。

(2) 圧力センサーによる測定の結果

図-8 に圧力の各測定位置での管内圧力の結果を圧送速度別及び骨材の含水状態別に示す。通常、管内圧力はポンプ車に近いほど大きくなるが、本実験で用いた配管では、ベント管付近で、吐出出口方向の管内圧力が高くなるものがあった。これらについては、配管上の影響、または配合による影響なのかを判断することは困難であるため、今後の検討課題としたい。したがって、圧力損失を算出する際、評価の対象からは除外することとした。各配合の管内圧力は、圧送速度 15m³/h に比べて、圧送速度 30m³/h では 1.5 倍程度高くなり、また再生骨材の使用割合が増えるほど管内圧力は小さくなる傾向にあった。骨材の含水状態別に管内圧力を比較した場合、RG50(気)は RG50 に比べて、全体的に高い値となる傾向を示した。

図-9 に水平管 1m あたりの平均圧力損失と圧送速度の関係を示す。圧力損失は P5-P6 間を除く各水平管の平均の値で示した。図中の実線と破線はそれぞれ 4B 管のスランプ 12cm, 8cm の普通コンクリートの標準値<sup>1)</sup>である。各配合とも圧送後のスランプに応じた標準的な値を示したが、配合 N と RG50, RG50(気)を比べると、配合 N よりも、RG50 と RG50(気)の方が低い値を示した。また、管内圧力と圧送速度の関係では含水状態の違いによる影響は見られなかった。

図-10 に圧送速度 30m³/h のときの水平管 1m あたりの平均圧力損失と圧力損失の変動係数の関係を示す。RG50 と RG50(気)では平均圧力損失、圧力損失の変動係数ともに差は見られなかったが、RG50RS50 と RG(気)RS(湿)を比較すると、平均圧力損失は同程度の値を示し、圧力損失の変動係数は、RG50(気)RG(湿)の方が高い値を

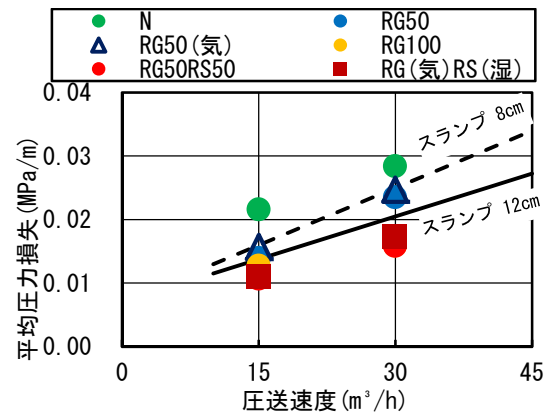


図-9 水平管 1m あたりの平均圧力損失と圧送速度の関係

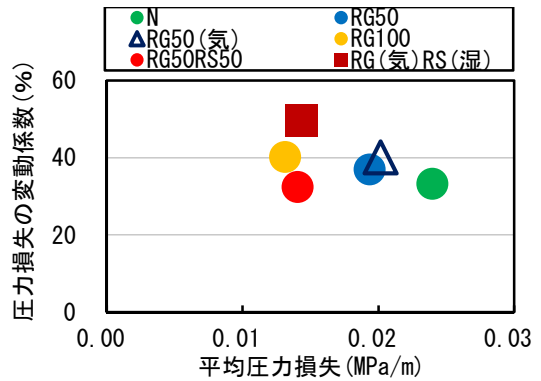


図-10 水平管 1m あたりの平均圧力損失と圧力損失の変動係数の関係

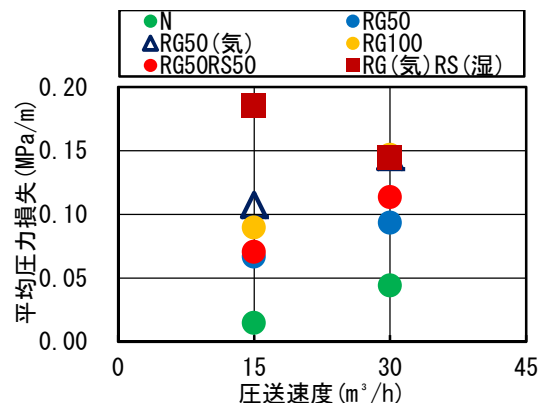


図-11 ベント管 1m あたりの平均圧力損失と圧送速度の関係



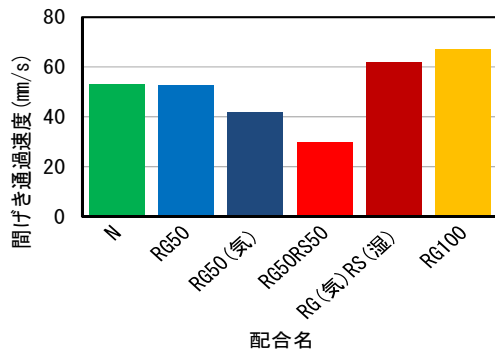


図-12 各配合の間げき通過速度の結果

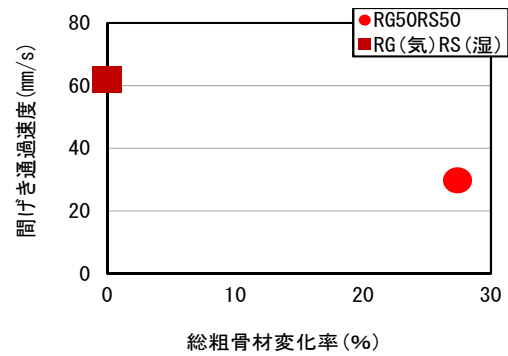


図-13 総粗骨材変化率と間げき通過速度の関係

示した。以上から、含水状態の違いは平均圧力損失には影響が少ないが、圧送の乱れに影響を与えることが考えられる。

図-11 に圧力センサーP6-P7 間のベント管 1m あたりの平均圧力損失と圧送速度の関係を示す。配合 N は水平管とベント管の平均圧力損失の結果に差は見られなかったが、再生骨材を使用した配合については、再生骨材の使用割合が増えるほど平均圧力損失も大きくなる傾向にあり、また同一の配合であっても気乾状態で再生粗骨材を取り扱うことによって平均圧力損失が大きくなる傾向にあった。その要因としては、本実験では 90 度ベント管を使用したことから、隅角部で再生骨材が加圧されて脱水が起こったことと、気乾状態の再生粗骨材を使用した配合については、急激な吸水が起きたと考えられる。以上から、再生骨材を使用したコンクリートは、水平管では影響は見られないが、ベント管では平均圧力損失が急激に増大し、さらに同一の配合であっても含水状態の違いによって平均圧力損失は異なる。

### (3) 加振ボックス充てん試験結果

図-12 に、圧送後の各配合の間げき通過速度結果を示す。間げき通過速度は圧送前では骨材の含水状態の違いによる影響は見られなかったが、圧送後では含水状態の違いを確認できた。RG50 と RG50 (気) を比較すると、RG50 (気) の方が 10mm/s 程度遅くなった。また、RG50RS50 と RG(気)RS(湿)では RG(気)RS(湿)の方が 2 倍程度速くなった。

図-13 に、圧送後の RG50RS50 と RG(気)RS(湿)における総粗骨材変化率と間げき通過速度の関係を示す。RG(気)RS(湿)の方が RG50RS50 よりも総粗骨材変化率が低く、間げき通過速度が速くなった。RG(気)RS(湿)では圧送後の材料分離抵抗性が高く、間げき通過性も改善された。以上から、同一の配合であっても含水状態の違いによって圧送後の間げき通過性と材料分離抵抗性は異なる。

ことを明らかにした。

## 4.まとめ

- (1) スランプの経時変化は、再生粗骨材を 50%容積置換したコンクリートと、普通コンクリートでは同程度で、再生粗骨材を 100%容積置換したコンクリートでは、普通コンクリートよりも経時によるスランプの低下は小さい。
- (2) 圧送前後での圧縮強度の変動は、再生粗骨材を気乾状態、再生細骨材を湿潤状態で取り扱うことにより、改善できる。
- (3) 管内圧力は普通コンクリートと比べ、再生骨材の割合が増えるにつれて低くなるが、同一の配合でも再生粗骨材を気乾状態で使用した配合では高くなる。
- (4) ベント管での平均圧力損失は、同一の配合であっても気乾状態の再生粗骨材を使用することにより、大きくなる。
- (5) 同一の配合であっても、再生骨材の含水状態の違いにより、圧送後の間げき通過速度、材料分離抵抗性は異なる。

## 参考文献

- 1) 土木学会：コンクリートポンプ指針[2012 年版]，コンクリートライブラリー135，pp.14-pp.28，2012.6
- 2) 麓隆行：絶乾状態の再生骨材を使用したコンクリートの物理特性について，コンクリート工学年次論文集，Vol.33，No.1，2011.7
- 3) 島崎磐 ほか：含水状態の異なる再生粗骨材を使用したコンクリートの諸特性，コンクリート工学年次論文集，Vol.21，No.1，1999.7
- 4) 土木学会：コンクリートの施工性能の照査・検査システム研究小委員会（341 委員会）委員会報告書，コンクリート技術シリーズ 94，pp. I 93- I 95，2011.5