

報告 複数の生コン工場で製造した再生骨材コンクリートの強度性状に関する検討

高橋 祐一*1・竹内 博幸*2

要旨: 昨年, 再生骨材に関する JIS の改正, JASS 5 の改定がそれぞれ実施されたことにより, 構造物に適用できる再生骨材コンクリートの普及促進が期待される。再生骨材コンクリートの強度性状に関しては, 再生骨材の品質の影響を受けることが多いものの, 強度は安定的に発現することなどについて多く報告されている。しかしながら, 複数の生コン工場で製造したコンクリートの強度性状を総合的に検討した例は少ない。本検討では, 複数の生コン工場で製造した再生骨材コンクリートについて, セメント水比と圧縮強度の関係, 骨材の組合せや品質による影響, 構造体強度補正值について検討した結果を報告する。

キーワード: 再生骨材コンクリート, 再生粗骨材, 再生細骨材, 圧縮強度, 静弾性係数, 構造体強度補正值

1. はじめに

昨年, 再生骨材に関する JIS が改正され, とくに再生骨材コンクリート M に関しては, 従来の再生骨材 M の品質を満足した骨材だけではなく, 普通骨材と再生骨材 L を混合し, 基準を満足した骨材を使用することが可能となった¹⁾。また, これに伴い, 「建築工事標準仕様書 JASS 5 鉄筋コンクリート工事 (日本建築学会)」(以下, JASS 5 とする)の「28 節 再生骨材コンクリート」も改定され, JIS との整合性が図られた。構造物に適用できる再生骨材コンクリートは, 主に再生骨材 M や H を使用しているが, これらを製造する工場は L を製造する工場と比較して少ないため, 供給できるエリアならびに出荷量が限られていた。しかし, 今回の JIS 改正および JASS 5 改定により, 構造体に適用可能な再生骨材コンクリートを出荷する生コン工場が増加することで, 普及促進が図られていくものと思われる。

一方, 再生骨材コンクリートの強度性状に関しては, これまでに多くの研究成果が報告されており, 再生骨材のモルタル付着率や吸水率といった再生骨材の品質が圧縮強度に影響を及ぼしていることが指摘されている^{例えば 2), 3)}。また, 筆者らが実際の工事に適用した事例では, 2 件の工事にそれぞれ約 1,500m³, 約 2,600m³ 使用し, 安定した圧縮強度が得られたことを報告している⁴⁾。しかしながら, 複数の生コン工場で製造したコンクリートの強度性状について総合的に検討した報告はそれほど多くはない。

そこで, 本検討では, これまでに筆者らが国土交通大臣認定の取得を目的として実施した複数の生コン工場の室内実験および実機ミキサを使用した実験にて得られた各試験結果を整理し, 骨材の組合せおよび再生骨材の品質が及ぼす強度性状への影響について検討を行った。本

報では, その結果について報告する。

2. 実施概要

2.1 生コン工場および再生骨材製造工場

実験を行った生コン工場は, 東京都内にある 2 工場および神奈川県内にある 3 工場の計 5 工場 (A~E 工場) である。また, 実験に使用した再生骨材の製造工場は, 東京都内にある 2 工場 (X 工場および Y 工場) である。

2.2 使用材料

各生コン工場における使用材料を表-1 に示す。再生骨材を除いて, 各生コン工場で通常使用している材料である。再生細骨材および再生粗骨材の品質を図-1 および図-2 に示す。いずれも密度および吸水率で区分すると, H~M に区分される品質のものである。なお, 再生骨材は, 主に解体ガラ (一部, 戻りコン) を起源とし, 製造されたものである。

2.3 調査概要

各生コン工場における調査の概要を表-2 に示す。全

表-1 使用材料

名称	銘柄 (製造工場・品質)	使用生コン工場
セメント	普通ポルトランドセメント	A・B・E
	高炉セメント B 種	全工場
細骨材	陸砂・砕砂	A
	山砂	B
	山砂・砕砂	C・D・E
	再生細骨材 (X 工場製・M または H)	全工場
粗骨材	碎石 2005	全工場
	再生粗骨材 (X 工場製・M または H)	全工場
	再生粗骨材 (Y 工場製・M)	D
化学混和剤	AE 減水剤	全工場
	高性能 AE 減水剤	全工場
	高性能 AE 減水剤 (増粘剤一液タイプ)	D

*1 五洋建設 (株) 技術研究所建築技術開発部担当部長 博士 (工学) (正会員)

*2 五洋建設 (株) 技術研究所建築技術開発部専門部長 (正会員)

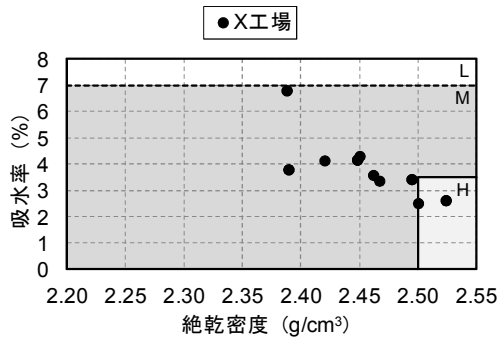


図-1 再生細骨材の品質

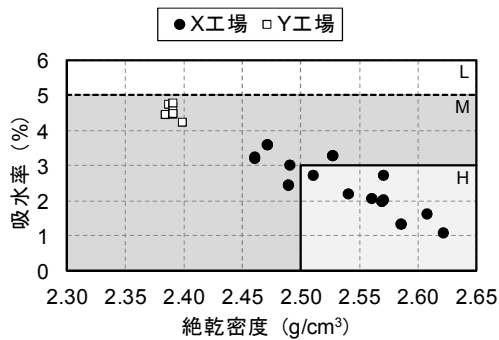


図-2 再生粗骨材の品質

この工場では呼び強度 21~42 の範囲にある普通コンクリートを対象とした調合を設定した。また、C工場を除いた4工場では、鋼管充填コンクリートへの適用を目的とした高流動コンクリートの調合を設定し、D工場ではその一部に高性能 AE 減水剤（増粘剤一液タイプ）を使用した調合を設定した。骨材の組合せは、普通骨材のみを使用した調合（以下、JJ 調合）、粗骨材のみ再生骨材を使用した調合（以下、JR 調合）、再生骨材のみを使用した調合（以下、RR 調合）として設定した。

2.4 試験項目および試験方法

圧縮強度試験は、標準養生および簡易断熱養生を行った供試体を対象に JIS A 1108 に従って実施した。また、一部の調合では、JIS A 1149 に従って静弾性係数試験を実施した。

3. 検討結果

3.1 セメント水比と圧縮強度の関係

(1) 普通コンクリート

普通ポルトランドセメントを使用した JR 調合のセメント水比と標準養生材齢 28 日圧縮強度の関係を図-3に、高炉セメント B 種を使用した JR 調合と RR 調合のセメント水比と標準養生材齢 28 日圧縮強度の関係を図-4および図-5に示す。なお、図中の凡例は、工場-細骨材・粗骨材の品質（J：普通骨材，M：再生骨材 M，H：再生骨材 H）を示している。セメント水比と圧縮強度の関係

表-2 調合概要

工場	室内/ 実機	セメント	区分	W/C の範囲 (%)	骨材組合せ		
					JJ	JR	RR
A	室内	N	普通	49.0~50.0	○	—	○
			高流動	35.0	—	○	—
	実機	BB	高流動	30.0~40.0	○	○	○
			普通	42.5~56.5	—	○	—
B	室内	N	普通	50.0	○	—	○
			高流動	35.0	—	○	—
	実機	BB	普通	45.0~55.5	—	○	—
			高流動	49.5	—	○	—
C	室内	BB	普通	38.5~57.2	○	○	○
	実機	BB	普通	38.5~57.2	○	○	○
D	室内	BB	普通	38.8~58.0	○	○	—
			高流動	30.0~40.0	○	○	○
			高流動*1	35.0~45.0	○	○	—
	実機	BB	普通	33.0~58.0	○	○	—
高流動	30.0~40.0		○	○	○		
E	室内	N	普通	38.0~57.0	○	○	—
			BB	普通	41.2~55.4	○	○
	実機	N	普通	38.0~57.0	○	○	—
			BB	普通	41.2~55.4	○	○

*1 高性能 AE 減水剤（増粘剤一液タイプ）を使用

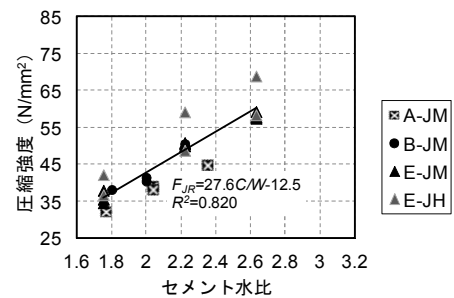


図-3 セメント水比と圧縮強度の関係
（普通・N・JR・標準養生材齢 28 日）

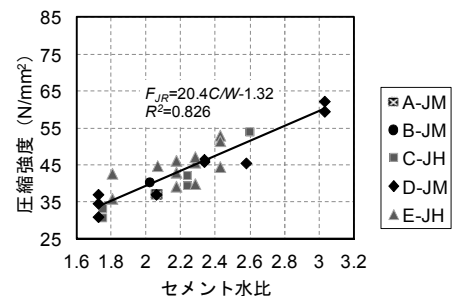


図-4 セメント水比と圧縮強度の関係
（普通・BB・JR・標準養生材齢 28 日）

は、普通ポルトランドセメントの JR 調合において、工場の違い、再生骨材の品質やロットの違いにより多少のばらつきがみられた。高炉セメント B 種を用いた調合で

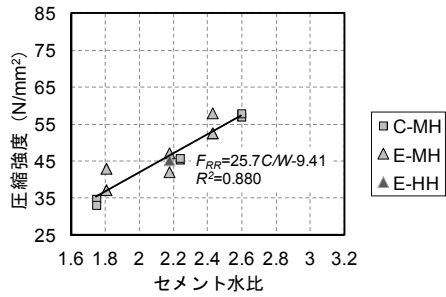


図-5 セメント水比と圧縮強度の関係
(普通・BB・RR・標準養生材齢 28 日)

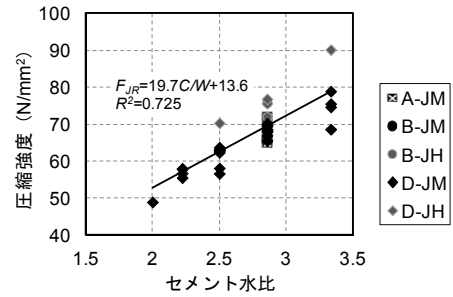


図-6 セメント水比と圧縮強度の関係
(高流動・BB・JR・標準養生材齢 28 日)

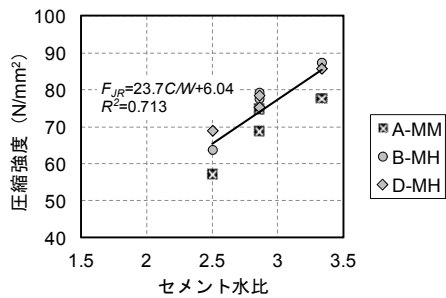


図-7 セメント水比と圧縮強度の関係
(高流動・BB・RR・標準養生材齢 28 日)

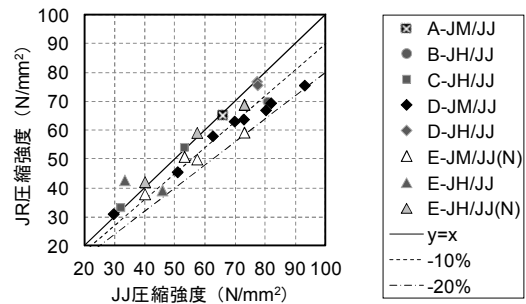


図-8 JJ 調合と JR 調合の圧縮強度の関係
(標準養生材齢 28 日)

は、工場の違い、再生骨材の品質やロットの違いによるばらつきが比較的小さく、良好な相関が認められた。

(2) 高流動コンクリート

高炉セメント B 種を使用した JR 調合と RR 調合のセメント水比と標準養生材齢 28 日圧縮強度の関係を図-6 および図-7 に示す。両者の関係をみると、普通コンクリートと比べてばらつきが大きい。その要因としては、工場の違いによる影響と比較して、再生粗骨材の品質の差による影響が大きく、絶乾密度が 2.6g/cm^3 前後、かつ吸水率が 1.35% 以下と再生粗骨材 H の規格を十分に満足する品質の高い再生粗骨材を使用したため、再生粗骨材 M を使用した調合との差が大きくなったと考えられる。

3.2 骨材の組合せおよび品質が圧縮強度に及ぼす影響

(1) 標準養生材齢 28 日圧縮強度

JJ 調合と JR 調合, JJ 調合と RR 調合, JR 調合と RR 調合の標準養生材齢 28 日の圧縮強度の関係をそれぞれ図-8~図-10 に示す。JJ 調合と JR 調合を比較すると、ばらつきはあるものの、圧縮強度が 40N/mm^2 程度以下であれば概ね同等、それを超えると JR 調合の方が小さくなる傾向がみられた。とくに、再生粗骨材 M を用いた調合 (JM) の場合、その傾向がより顕著となった。JJ 調合と RR 調合を比較すると、データ数が少なく、再生粗骨材 H を用いた調合が多いものの、再生骨材の品質に関わらず、JJ 調合と概ね同等の圧縮強度を確保しており、JR 調合とは異なる傾向がみられた。JR 調合と RR 調合を比

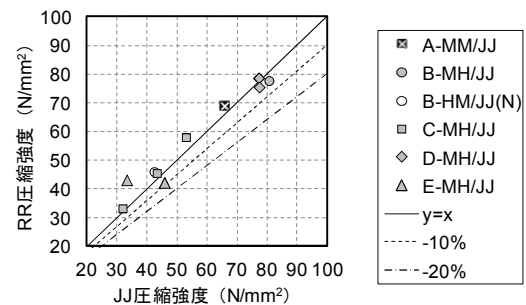


図-9 JJ 調合と RR 調合の圧縮強度の関係
(標準養生材齢 28 日)

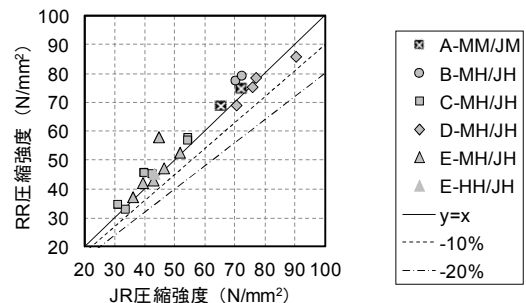


図-10 JR 調合と RR 調合の圧縮強度の関係
(標準養生材齢 28 日)

較すると、圧縮強度が 90N/mm^2 あたりでは、RR 調合が小さくなっているものの、全体では RR 調合の圧縮強度が JR 調合と同等以上となる傾向にあった。再生骨材コ

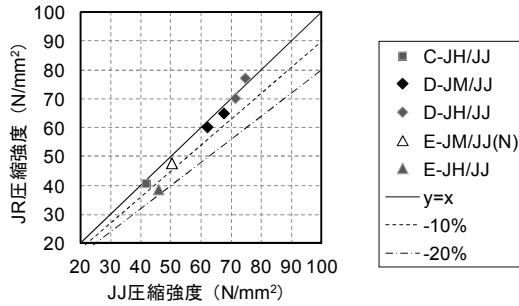


図-11 JJ 調合と JR 調合の圧縮強度の関係
(簡易断熱養生材齢 91 日)

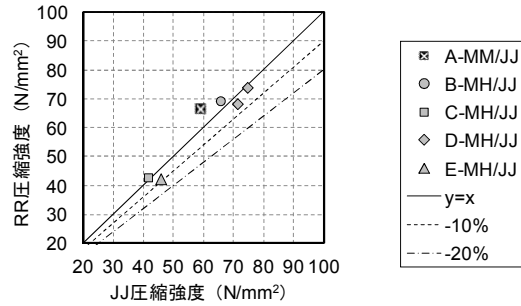


図-12 JJ 調合と RR 調合の圧縮強度の関係
(簡易断熱養生材齢 91 日)

ンクリートの圧縮強度が高い場合、原骨材と付着モルタルとの界面の状態が粗の場合は、圧縮強度が頭打ちとなるため、強度の伸びが頭打ちとなる傾向にあると言われている⁵⁾。JR 調合ではその影響が現れ、再生骨材 M を使用した調合ではより顕著になったものと考えられる。一方、RR 調合の場合は、再生細骨材を使用することで、細骨材とマトリックス部分との付着が改善された影響があるものと推察されるが、明確な理由は不明である。

(2) 簡易断熱養生材齢 91 日圧縮強度

JJ 調合と JR 調合, JJ 調合と RR 調合, JR 調合と RR 調合の簡易断熱養生材齢 91 日の圧縮強度の関係を図-11~図-13 に示す。データ数が少なく、一概には言えないが、JJ 調合, JR 調合および RR 調合のいずれも概ね同等の圧縮強度が確保されており、標準養生でみられたような JR 調合の圧縮強度の低下がなく、異なる傾向となった。この理由としては、既往の研究⁵⁾において、高吸水率の再生骨材を使用すると、自己養生効果によって、封かん養生供試体の強度発現性が水中養生とほぼ同等になるとの報告があることから、本検討における簡易断熱養生についても、同様の効果が得られたことにより、強度発現が改善され同等の値が得られたと推察される。

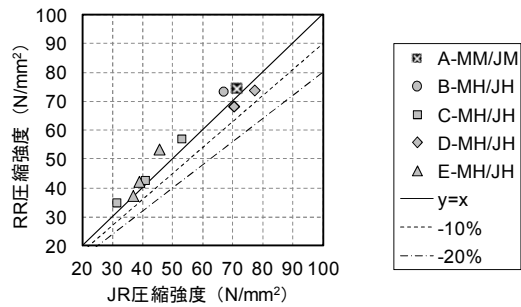


図-13 JR 調合と RR 調合の圧縮強度の関係
(簡易断熱養生材齢 91 日)

3.3 相対吸水率と圧縮強度の関係

(1) 普通コンクリート

既往の研究⁶⁾において、相対吸水率と圧縮強度の間には、明確な相関が認められている。そこで、本検討においても相対吸水率と標準養生材齢 28 日の関係について評価を試みた。普通ポルトランドセメントおよび高炉セメント B 種を使用した調合における水セメント比の区分ごとの相対吸水率と圧縮強度の関係を図-14 および図-15 に示す。なお、相対吸水率は式(1)により求めた。

$$Q_t = \frac{Q_v G \times a + Q_r \times b + Q_v N \times c + Q_r N \times d}{a + b + c + d} \quad (1)$$

ここに、 Q_t : 骨材の相対吸水率 (%)

$Q_v G$: 普通粗骨材の吸水率 (%)

$Q_r N$: 再生粗骨材の吸水率 (%)

$Q_v G$: 普通細骨材の吸水率 (%)

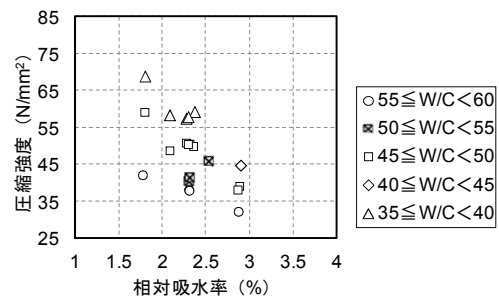


図-14 相対吸水率と圧縮強度の関係
(普通・N・標準養生材齢 28 日)

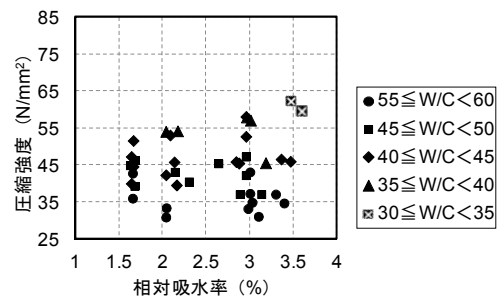
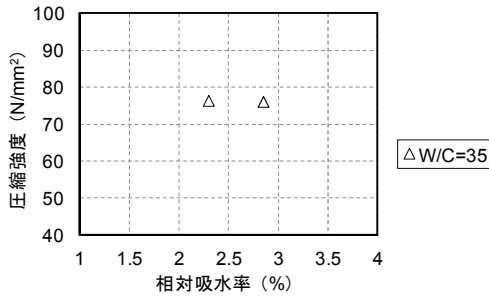


図-15 相対吸水率と圧縮強度の関係
(普通・BB・標準養生材齢 28 日)

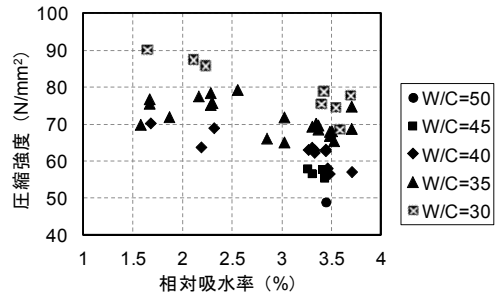
$Q_r N$: 再生細骨材の吸水率 (%)

a, b, c, d : 各骨材の絶対容積 (L/m^3)

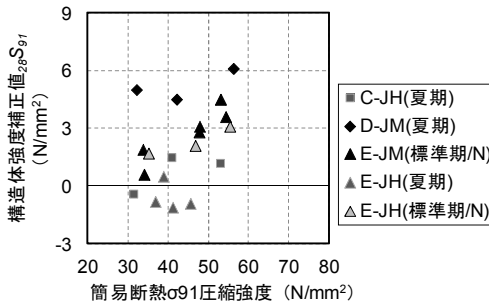
既往の研究では、相対吸水率の増加に伴って、圧縮強



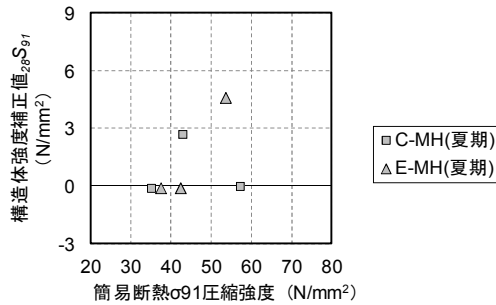
図一16 相対吸水率と圧縮強度の関係
(高流動・N・標準養生材齢 28 日)



図一17 相対吸水率と圧縮強度の関係
(高流動・BB・標準養生材齢 28 日)



図一18 簡易断熱養生材齢 91 日圧縮強度と
構造体強度補正値の関係 (普通・JR)



図一19 簡易断熱養生材齢 91 日圧縮強度と
構造体強度補正値の関係 (普通・RR)

度が低下している。しかし、本検討では、普通ポルトランドセメントを使用した調査では、水セメント比に関わらず相対吸水率の増加に伴って圧縮強度が低下する傾向がみられたものの、BB 調査ではばらつきが大きく、明確な相関関係は認められなかった。この理由として、使用した再生粗骨材のロットが多いこと、それに伴い同程度の再生骨材の吸水率であっても混入モルタル量の影響⁷⁾があったことが考えられるが、明確ではない。

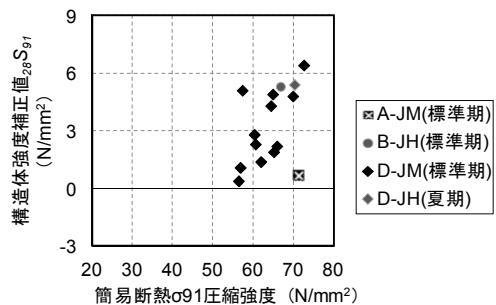
(2) 高流動コンクリート

普通ポルトランドセメントおよび高炉セメントB種を使用した調査における水セメント比の区分ごとの相対吸水率と圧縮強度の関係を図一16 および図一17 に示す。普通ポルトランドセメントを使用した調査では、データ数が少ないため、明確な傾向はみられない。一方、高炉セメントB種を用いた調査では、全体的にばらつきが大きいものの、相対吸水率の増加に伴って圧縮強度が低下する傾向がみられ、水セメント比30%や40%においては、その傾向がより顕著であった。

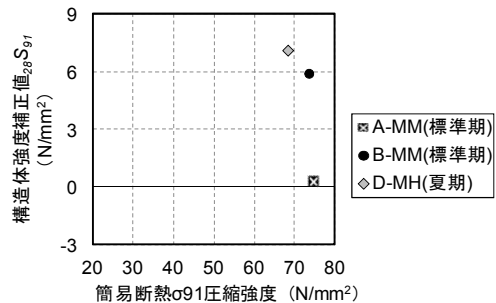
3.4 構造体強度補正值

(1) 普通コンクリート

JR 調査および RR 調査の簡易断熱養生圧縮強度と構造体強度補正值 $_{28}S_{91}$ の関係を図一18 および図一19 に示す。構造体強度補正值は、工場の違いによりばらつきはあるものの、骨材の組合せや品質による明確な差はみられず、簡易断熱養生圧縮強度が 50N/mm^2 程度以下であれば、標



図一20 簡易断熱養生材齢 91 日圧縮強度と
構造体強度補正値の関係 (高流動・JR)



図一21 簡易断熱養生材齢 91 日圧縮強度と
構造体強度補正値の関係 (高流動・RR)

準で 3N/mm^2 、夏期で 6N/mm^2 をそれぞれ下回っており、普通骨材を使用した場合と同様に、JASS 5 に記載されている標準値を採用できるものと思われる。

(2) 高流動コンクリート

JR 調合および RR 調合の簡易断熱養生圧縮強度と構造体強度補正值 $_{28}S_{91}$ の関係を図-20 および図-21 に示す。普通コンクリートと同様に工場間のばらつきはあるものの、骨材の組合せや品質による明確な差はみられない。JASS 5 において、普通ポルトランドセメントを用いたコンクリートの構造体強度補正值の標準値は、設計基準強度 48N/mm^2 以下で $S=9\text{N/mm}^2$ 、 60N/mm^2 以下で $S=12\text{N/mm}^2$ となっており、本検討の範囲では、これらの値を十分に満足している。

3.5 静弾性係数

JR 調合および RR 調合の標準養生した供試体の圧縮強度と静弾性係数の関係を図-22～図-24 に示す。なお、図には供試体ごとの値をプロットした。JR 調合においては、ばらつきはあるものの、再生粗骨材の品質の違いによる影響はみられず、概ね NewRC 式で求められる値の 80%以上を確保した。RR 調合では、データ数が少ないものの概ね NewRC 式で求められる値と同等であった。以上より、再生骨材コンクリートの静弾性係数は、骨材の組合せや品質に関わらず、一般のコンクリートと同様に NewRC 式にて評価できると言える。

4. まとめ

本検討の範囲において得られた知見を以下に示す。

- 1) 再生骨材コンクリートの標準養生供試体の圧縮強度は、普通骨材を使用したコンクリートと比較して、JR 調合の場合は、 40N/mm^2 を超えると小さくなる傾向にあるが、RR 調合の場合は同等の値を確保した。
- 2) 再生骨材コンクリートの簡易断熱養生供試体の圧縮強度は、標準養生とは異なり、普通骨材を使用したコンクリートと同等の圧縮強度を確保した。
- 3) 相対吸水率と圧縮強度の関係は、一部のセメントや水セメント比で、相関が認められたものの、ばらつきが大きい。
- 4) 再生骨材コンクリートの構造体強度補正值は、JASS 5 に記載されている標準値を十分に満足した。
- 5) 再生骨材コンクリートの静弾性係数は、NewRC 式で求められる値の 80%以上を確保しており、一般のコンクリートと同様に評価できる。

参考文献

- 1) 日本工業規格：JIS A 5022 再生骨材コンクリート M, 2018
- 2) 棚野博之, 鹿毛忠継, 濱崎仁, 杉本琢磨：中品質再生骨材を用いた再生骨材コンクリートの性能評価と活用に関する基礎的研究, コンクリート工学年次論文集, Vol.29, No.1, pp.165-170, 2007.7

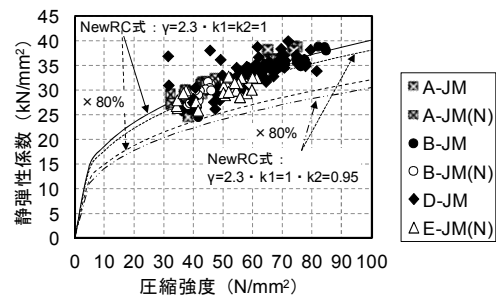


図-22 圧縮強度と静弾性係数の関係 (JR (JM))

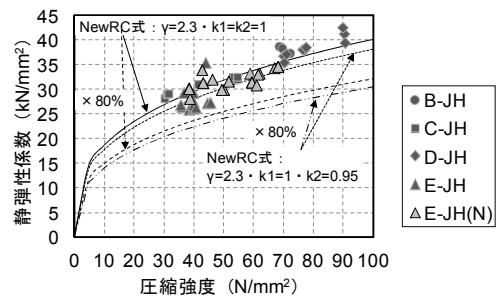


図-23 圧縮強度と静弾性係数の関係 (JR (JH))

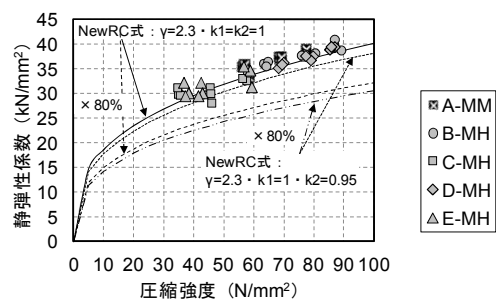


図-24 圧縮強度と静弾性係数の関係 (RR)

- 3) 竹中寛, 笠井哲郎：再生粗骨材の付着モルタルの物性が再生骨材コンクリートの品質に与える影響, コンクリート工学論文集, 第19巻, 第3号, pp.21-29, 2008.9
- 4) 松田信広, 竹内博幸, 高橋祐一：中品質再生骨材を用いたコンクリートの実構造物への適用, コンクリート工学年次論文集, Vol.34, No.1, pp.1516-1521, 2012.7
- 5) 村上英明, 佐川康貴, 川端雄一郎, 松下博通：再生モルタルの強度および空隙構造に及ぼす再生骨材の水分子の影響, コンクリート工学年次論文集, Vol.30, No.2, pp.397-402, 2008.7
- 6) 道正ら：建築構造物の解体に伴い発生するコンクリート塊のリサイクルシステム 骨材置換法による再生粗骨材コンクリートの品質管理手法, 日本建築学会技術報告集, 第21号, pp.15-20, 2005.6
- 7) 高橋ら：再生骨材コンクリートの性質に影響を及ぼす要因の検討, 日本建築学会構造系論文集, 第76巻, 659号, pp.9~14, 2011.1