

論文 機械式すりもみ装置により製造した再生粗骨材及び再生細骨材の品質

依田 和久^{*1}, 新谷 彰^{*2}, 高橋 功^{*3}, 柳瀬 茂夫^{*4}

要旨：再生骨材コンクリートの普及・促進を図るためには，一般構造部材への再生骨材コンクリートの適用が不可欠であると考えられる。このため再生骨材の品質は JIS A 5308 附属書 1 に規定された品質のものが求められており，この規定値を満足する再生骨材の製造を目的に機械式すりもみ装置を開発した。この装置により製造した再生骨材のうち，粗骨材において絶乾密度，吸水率，微粒分量は，規定値を全て満足した。細骨材において絶乾密度及び吸水率は緩和規定値を，微粒分量は規定値を満足した。また，製造した再生粗骨材と再生細骨材を用いたコンクリートのフレッシュ及び強度の基礎性状は，普通コンクリートのものと同等であることを確認した。

キーワード：機械式すりもみ装置，再生粗骨材，再生細骨材，骨材品質，コンクリート，基礎性状

1. はじめに

再生骨材コンクリートの普及・促進を図るためには，一般構造部材への再生骨材コンクリートの適用が不可欠であると考えられる。このため再生骨材の品質は JIS A 5308 附属書 1 に規定されているものが求められている。

粗骨材については既にいくつかの技術が確立されている^{1)~3)}。細骨材については，加熱・すりもみによる方法²⁾と偏心ロータによる方法⁴⁾がある。加熱・すりもみによる方法は，骨材の品質は優れているが，加熱するため熱源の確保が必要となり，装置の複雑化・コストアップが懸念される。また，偏心ロータによる方法は，1.2mm以上の粒径範囲で品質を確認されているものの，処理能力が0.85~1.1m³/hとされ，課題と考えられる。

骨材製造技術は，骨材の品質，処理能力及びコストの点で実用的なものが望ましい。本研究では，骨材製造実験，及びこの骨材を用いたコンクリートの性状確認実験の結果について触れ，本技術の有効性について言及するものである。

2. 機械式すりもみ方式の装置概要

本研究で提案する再生骨材の製造技術の核となる装置は機械式すりもみ方式であり，その概要を図-1に示す。機構はドラム本体を仕切り板で細かく区切り，これにすりもみ用の鉄球を装填し，仕切り板を回転させることにより，骨材試料，及び鉄球に上下及び水平方向の運動を行わせる単純なものである。仕切り板により空間を狭くし，滞留時間を調整することにより，骨材品質の向上を意図したのである。

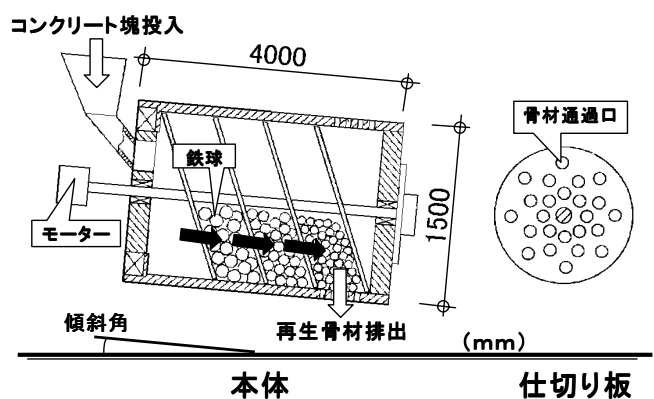


図-1 機械式すりもみ方式の装置概要

*1 鹿島技術研究所 建築生産グループ 主任研究員 工博 (正会員)

*2 鹿島技術研究所 建築生産グループ 研究員 (正会員)

*3 コマツ 環境・システム事業室 資源リサイクル営業部 営業担当課長

*4 (有)大東土木 代表取締役

3. 再生骨材製造実験

3.1 実験目的

機械式すりもみ装置を用いて、製造方式、及び原料の前処理条件（粒径範囲、含水率）が再生骨材の品質に及ぼす影響を調べるとともに、粗骨材、細骨材、微粉末の製造割合、及び処理能力を把握することを目的とする。

3.2 実験計画

(1) 実験概要

実験条件の組み合わせと骨材記号を表 - 1 に示す。実験は、製造した粗骨材及び細骨材の物理的性質、及び各骨材の製造割合、処理能力を調べて行った。製造割合は、ロードセルで計量した再生骨材の質量を総量で除して求めた。処理能力は、原料投入量をホッパーの排出開始から終了までの時間で除して求めた。また、装置内の滞留時間を処理能力の逆数として求めた。

骨材記号は、製造方式（乾式D、湿式W）、骨材種類（粗骨材G、細骨材S、微粉末F）、実験記号（D ~ D、W ~ W）の組み合わせを意味する。

骨材品質の目標値は、絶乾密度、吸水率、微粒分量の項目について JIS A 5308 附属書 1 に規定されている砂利・砂の値とした。

(2) 使用材料

実験に用いたコンクリート塊は、1966年に施工された RC 造の K 社社宅の解体時に発生したものである。2003年の解体時における材齢は約 37年であり、3箇所（各3本、計9本）から採取したコアによる圧縮強度は 28.0、34.2、34.5N/mm²であった。また、原骨材は、コア側面の目視観察及び建設年から、川砂利及び川砂であると考えられた。

(3) 再生骨材の製造方法

骨材の製造方法は図 - 2 に示す通りである。機械式すりもみ装置への鉄球の投入量は約 10t であり、装置の回転数は 35 ~ 37rpm、本体の傾斜角は 5° とした。原料であるコンクリート塊は 40mm 程度以下に二次破碎し、機械式すりもみ装

置に投入した。この時の投入量は 1 回の実験当たり 20t 程度とした。粗骨材及び細骨材は、乾式では 20 ~ 0.3mm の試料を、湿式では 20mm 以下で分級機から採取した試料を、それぞれ 5mm のふるいで分級して得た。

(4) 骨材の試験項目及び方法

骨材の試験項目は、JIS A 5308 附属書 1 に規定されている項目の中で、コンクリートへの性状の影響を考慮して、密度及び吸水率（JIS A 1109

表 - 1 実験条件の組み合わせと骨材記号

実験記号	実験要因		骨材記号	粒径範囲 (mm)
	製造方式	原料の前処理条件 粒径範囲 (mm) / 含水率 (%)		
D①	乾式	40以下 / 9.1	DG①	20~5
			DS①	5~0.3
		DF①	0.3以下	
D②		40以下 / 6.3	DG②	20~5
			DS②	5~0.3
	DF②	0.3以下		
D③	40~10 / 6.3	DG③	20~5	
		DS③	5~0.3	
	DF③	0.3以下		
D④	40~10 / 3.1	DG④	20~5	
		DS④	5~0.3	
	DF④	0.3以下		
D⑤	10以下 / 3.1	DG⑤	20~5	
	DS⑤	5~0.3		
	DF⑤	0.3以下		
W①	湿式	40以下 / 6.3	WG①	20~5
			WS①	5以下
	WF①	注		
W②	40~10 / 6.0	40~10 / 6.0	WG②	20~5
			WS②	5以下
	WF②	注		

注) スパイラル分級機の沈殿槽内に溜まったもの。

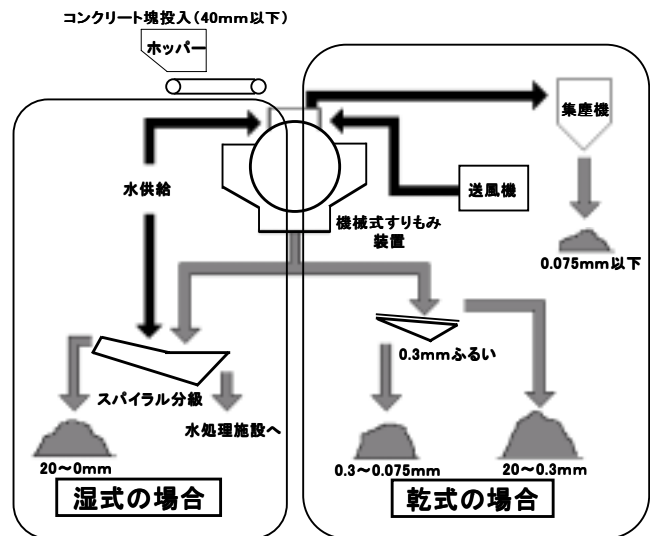


図 - 2 骨材の製造方法

及び 1110), 微粒分量 (JIS A 1103), ふるい分け (JIS A 1102) による粒度分布と粗粒率を選定し, 及び の規定値を目標値とした。

3.3 実験結果及び考察

(1) 再生骨材の品質

a. 絶乾密度及び吸水率

粗骨材における絶乾密度と吸水率の関係を図 - 3 に示す。製造方式や原料の前処理条件で多少品質に差があるものの, 絶乾密度は $2.54 \sim 2.62 \text{ g/cm}^3$, 吸水率は $1.05 \sim 1.93\%$ であり, 比較的狭い範囲にある。絶乾密度及び吸水率は, 製造方式及び原料の前処理条件に関わらず, JIS A 5308 附属書 1 の規定値である絶乾密度 2.5 g/cm^3 以上, 吸水率 3.0% 以下を全て満足した。

細骨材における絶乾密度と吸水率の関係を図 - 4 に示す。絶乾密度は $2.22 \sim 2.46 \text{ g/cm}^3$ であり, 吸水率は $3.53 \sim 7.71\%$ であり, 比較的差が大きかった。DS, DS, WS が比較的品質が良いことから, 原料の前処理条件として粒径範囲を狭めることや, 含水率を小さくすることが, 品質向上に効果があると考えられる。細骨材の絶乾密度及び吸水率は, JIS A 5308 附属書 1 の規定値である絶乾密度 2.5 g/cm^3 以上, 吸水率 3.5% 以下を満足しなかったものの, 同附属書 1 の緩和規定値である絶乾密度 2.4 g/cm^3 以上, 吸水率 4.0% 以下を DS 及び DS が満足した。

粒径範囲 $5 \sim 0.3 \text{ mm}$ の DS に対し, 標準粒度曲線の範囲の中間になるよう DS と DF 粒径範囲 $0.3 \sim 0.075 \text{ mm}$ の試料を $85 : 15$ の質量比で混合した RS の結果を合わせて示す。

骨材の吸水率と原料の滞留時間の関係を図 - 5 に示す。粗骨材及び細骨材に関わらず滞留時間を長くすることにより, 吸水率が小さくなる傾向が伺える。

b. 微粒分量

骨材の種類別微粒分量の結果を図 - 6 に示す。試験は, 乾式では絶乾密度, 吸水率の結果が良かった DS 及び DS を, 湿式では全て行った。粗骨材は JIS A 5308 附属書 1 の規定値 1.0%

以下を全て満足した。細骨材は同規定値 3.0% 以下を乾式では DS が, 湿式では全て満足した。DS は, 前処理とした原料の強制乾燥時に微粒分量が集塵により除去され, この段階で微粒分量が少なくなったものと考えられた。

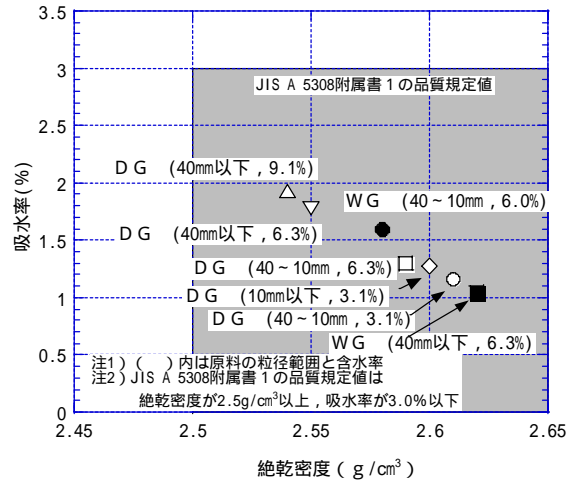


図 - 3 粗骨材の絶乾密度と吸水率の関係

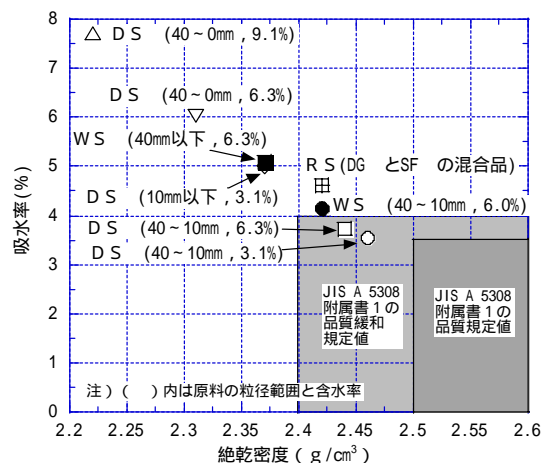


図 - 4 細骨材の絶乾密度と吸水率の関係

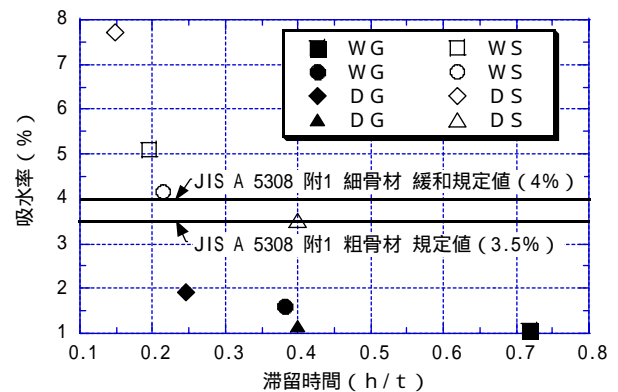


図 - 5 骨材の吸水率と原料の滞留時間の関係

c. 骨材の粒度分布及び粗粒率

粗骨材の粒度分布を図 7 に、細骨材の粒度分布を図 8 に示す。粗骨材では、WG がやや 5 mm 以下の粒子が多いものの、全体的に概ね標準粒度曲線の範囲内にあった。細骨材では、WS 及び DS を除き、標準粒度曲線の範囲内にあった。WS に 0.6 mm 以下の粒子が多いのは同時に製造した WG の滞留時間が長いことため破碎される試料が多くなったためと考えられる。

(2) 製造割合

骨材製造割合と処理能力を図 - 9 に示す。例えば乾式で原料 D の場合、粗骨材 DG : 細骨材 DS : 微粉末 DF の製造割合は、28.8 : 27.3 : 43.9 (%) あり、加熱すりもみ方式の値²⁾と同等であった。

(3) 処理能力

本方式による原料の処理能力は、11.7 ~ 14.8 t/h であった。このうち、粗骨材及び細骨材ともに約 30% 生産されるので、1日 8 時間運転した場合、処理能力を中間値の 13.3 t/h とすれば、粗骨材及び細骨材はそれぞれ 1日 30 t 程度生産可能といえる。コンクリートでは大よそ 30 m³ となる。処理能力の増大の可能性についても、骨材品質や消費エネルギーなどと照らし合わせて検討していく予定である。

4. コンクリートの性状確認実験

4.1 実験の目的

骨材の製造実験で得られた再生骨材を用い、コンクリートのフレッシュ時の性状及び強度性状を確認することを目的とする。

4.2 実験計画

(1) 実験概要

実験要因を骨材種類と水セメント比とし、これらのコンクリートについてフレッシュ時の性状、ブリーディング性状、強度性状を実験により調べた。

(2) 使用材料及び調合

使用骨材の物理的性質を表 - 2 に示す。ここ

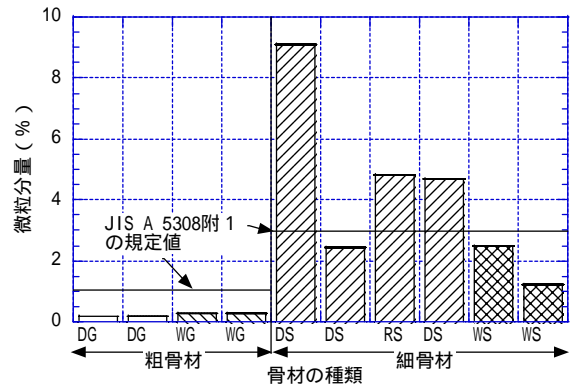


図 - 6 骨材の種類別微粒分量

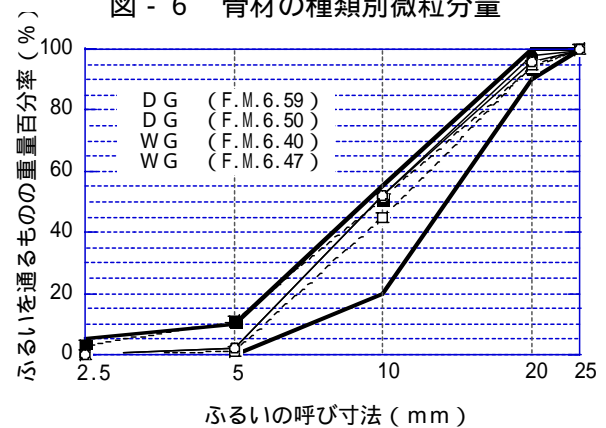


図 - 7 粗骨材の粒度分布

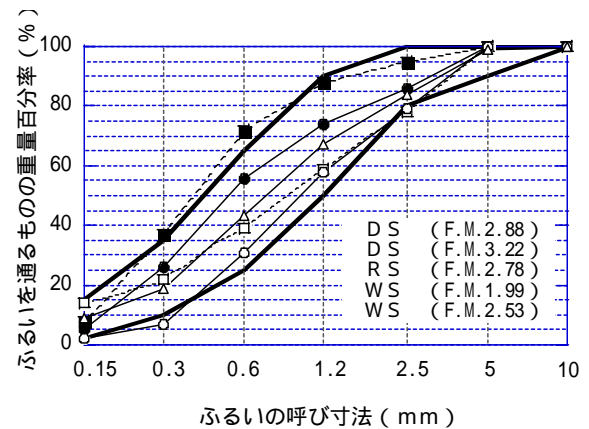


図 - 8 細骨材の粒度分布

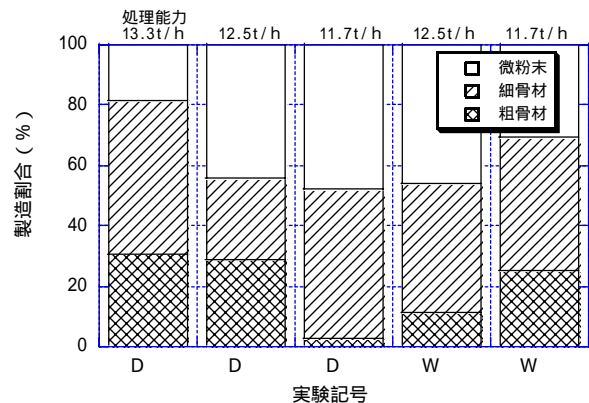


図 - 9 骨材の製造割合と処理能力

でいう、RG とは3章における DG と同一のものであり、RS とは前述の通り、DS と DF の内 0.3~0.075 mmの微粉末を 85:15 の質量比で混合したものである。その他の使用材料は、普通ポルトランドセメント(T社製、密度 3.16 g/cm³)、上水道水、リグニンスルホン酸系 AE 減水剤とした。コンクリートの種類及び調合を表-3に示す。調合は、コンクリートの調合設計指針・同解説⁵⁾を参考とし、RR50を基本調合にして、スランプ 18±2.5cm、空気量 4.5±1.5%のコンクリートが得られるように試し練りにより決定した。他の W/C50%の調合は RR50 と絶対容積を同一とした。RR40 と RR65 は単位水量と単位粗骨材量を RR50 に合わせた調合とした。

(3)練り混ぜ及び養生

練り混ぜは、容量 100L の強制二軸ミキサで空練り 15 秒、混練水投入後 90 秒練り混ぜて行った。ブリーディング試験は、20・80%RH の恒温恒湿室で行い、圧縮強度供試体は 10×20 cm として整形し、所定の材齢まで 20 封緘養生を実施した。

(4) 試験項目及び方法

試験項目及び方法を表-4に示す。

4.3 実験結果及び考察

(1)フレッシュ時の性状

フレッシュ時の性状の試験結果を表-5に示す。RR50は、試し練りの結果、目標とする値のコンクリートが得られた。RR50の性状は、他の再生骨材を用いた W/C50%のコンクリートと同様に、NN50に近い性状を示した。RR50に比べ、RR40はもったりとした性状を、RR65はさらさらした性状を示した。これらの現象は単位セメントの多少が影響しているものと考えられた。

(2) ブリーディング性状

骨材種類の違いによるコンクリートのブリーディング量を図-10に示す。天然骨材だけの組み合わせである NN50 に比べ、ブリーディング量は、再生粗骨材と天然細骨材の組み合わせである RN50 は多く、再生細骨材を用いた RR50 と

NR50 は少ない。これは、単位水量一定の調合において、再生粗骨材は、原骨材である川砂利に近い粒形のため骨材下面に留まり難くブリーディング水を助長し、微粒分を補った再生細骨材は保水性が高くブリーディングを抑制するためと考えられる。また、再生粗骨材と再生細骨材それぞれの影響は、RR50の結果から細骨材の影響が粗骨材の影響よりも大きいと考えられた。

表-2 使用骨材の物理的性質

区分	記号	分類	絶乾密度 (g/cm ³)	吸水率 (%)	実積率 (%)	微粒分量 (%)	粗粒率
粗骨材	RG	再生	2.61	1.16	63.2	0.19	6.50
	NG	天然	2.64	0.49	62.3	0.55	6.62
細骨材	RS	再生	2.42	4.62	68.7	4.83	2.78
	NS	天然	2.60	1.38	66.9	1.67	2.62

表-3 コンクリートの種類と調合

記号	骨材の種類		W/C (%)	s/a (%)	単位量(上段:kg/m ³ , 下段:L/m ³)			
	粗骨材	細骨材			水	セメント	細骨材	粗骨材
RR50	RG	RS	50	39.0	183	366	653	1056
					183	116	256	400
NR50	NG	RS	50	39.0	183	366	653	1060
					183	116	256	400
RN50	RG	NS	50	39.0	183	366	676	1056
					183	116	256	400
NN50	NG	NS	50	39.0	183	366	676	1060
					183	116	256	400
RR40	RG	RS	40	36.2	183	458	579	1056
					183	145	227	400
RR65	RG	RS	65	41.4	183	282	721	1056
					183	89	283	400

表-4 試験項目及び方法

区分	試験項目	方法
フレッシュ	スランプ	JIS A 1101
	空気量	JIS A 1128
	温度	棒状温度計による
	性状	目視観察による
	ブリーディング ^{*1}	JIS A 1123
強度	圧縮強度 ^{*2}	JIS A 1108
	静弾性係数 ^{*2}	JIS A 1149

*1容器はΦ15×30cmとした、*2材齢28日

表-5 フレッシュ時の性状

記号	スランプ (cm)	空気量 (%)	温度 (°C)	性状
RR50	18.5	5.9	19.8	良
NR50	16.0	4.9	19.7	ややもったり
RN50	20.0	4.0	19.4	良
NN50	19.0	4.3	19.6	良
RR40	10.0	3.7	20.0	もったり
RR65	19.5	4.9	19.5	良

水セメント比の違いによるブリーディング量はRR65>RR50>RR40となった。これは、単位セメント量の多少の影響であると考えられた。

(3)強度性状

圧縮強度と静弾性係数の関係を図 - 11 に示す。骨材種類に関わりなく、W/C50%における圧縮強度及び静弾性係数は同等であり、RC 規準式⁶⁾の普通コンクリートの計算式の上側にプロットされた。水セメント比による比較では、圧縮強度、静弾性係数ともにRR40>RR50>RR65となった。

5. まとめ

本実験の結果をまとめると以下の通りとなる。

粗骨材は、JIS A 5308 附属書 1 に規定されている骨材の絶乾密度、吸水率、微粒分量の規定値を全て満足した。

細骨材は、JIS A 5308 附属書 1 に規定されている骨材の絶乾密度、吸水率、微粒分量のうち、微粒分量は規定値を満足した。絶乾密度及び吸水率は規定値を満足しなかったものの、同附属書 1 の緩和規定値を満足した。

粗骨材及び細骨材の製造割合は、30%程度であり、加熱すりもみ方式の値と同等であった。再生粗骨材及び再生細骨材を用いたコンクリートについて、フレッシュ時の性状及び強度性状は、砕石・川砂を用いた普通コンクリートのものに比べ同等であった。

本技術について、細骨材の品質に若干の課題があるものの、原料の処理能力に優れ、コンクリートのフレッシュ性状及び強度性状に問題ないことを確認した。細骨材の品質については、滞留時間や粗骨材との個別処理等を検討することにより、本技術を向上させていきたい。

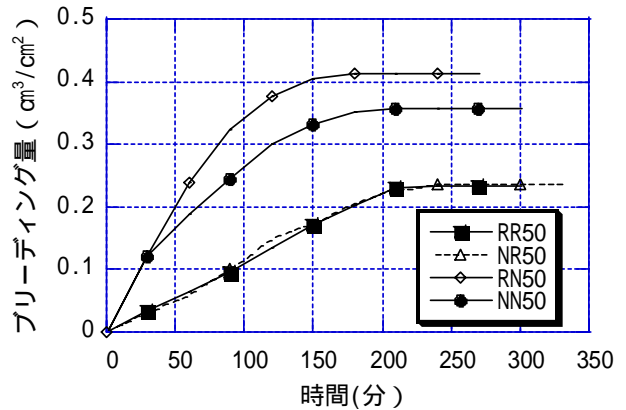


図 - 10 コンクリートのブリーディング量

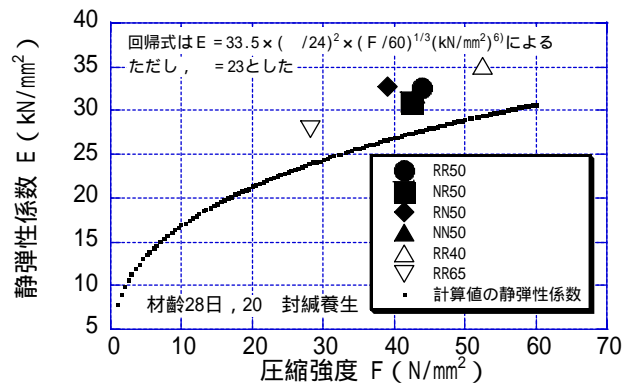


図 - 11 圧縮強度と静弾性係数の関

参考文献

- 1) 和知秀樹ほか：コンクリート副産物の高度処理技術とコンクリート粗骨材への適用，第51回セメント技術大会講演要旨，pp.214-215，1997
- 2) 立屋敷久志ほか：加熱すりもみ法により回収した高品質再生骨材コンクリートの性状，コンクリート工学年次論文集，Vol.23，No.2，pp.61-66，2001
- 3) 米沢敏男ほか：高品質再生粗骨材製造技術の研究，材料，Vol.50，No.8，pp.852-842，2001.8
- 4) 柳橋邦生：高品質再生細骨材の製造技術に関する研究，コンクリート工学年次論文集，Vol.25，No.1，pp.1217-1222，2003
- 5) 日本建築学会編：コンクリートの調合設計指針・同解説，p.164，1994
- 6) 日本建築学会編：鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説，p.39，1999