

報告 ガラ骨材を用いた再生コンクリートの工法の検討

依田 和久^{*1}・原田 実^{*2}・桜本 文敏^{*3}・黒沼 出^{*4}

要旨：本研究は、コンクリート塊を再生骨材まで加工することなく、破碎などの軽微な処理に留めたガラ骨材に加工し、これを用いた再生コンクリートに関するものである。本報告では 40mm 以下の粒径のガラ骨材を対象としてポストパックドコンクリート工法と、ステージミキシング工法の 2 種類の工法により、1 m 角の模擬試験体をそれぞれ作製し、工法別の施工性およびコンクリートの品質を調べることを目的として行った実験の結果について述べるものである。実験の結果、ステージミキシング工法はポストパックドコンクリート工法に比べ、施工性・均質性の点で優れていることがわかった。

キーワード：ガラ骨材，再生コンクリート，工法，施工性，均質性，強度性状

1. はじめに

コンクリート塊を利用した再生コンクリートに関する研究は、地球環境への負荷軽減の取り組みの一つとして活発化してきており、今後、既存建物の立て替え工事計画や最終処分場の枯渇化などを背景に有益な研究課題と考えられる。

再生コンクリートの研究のうち多くのものは、再生骨材に関するものであり、十分な品質の再生骨材を得ようとする場合、処理手間や歩留まりの低下が問題となる。これに対し、本研究では、仮設構造物などへの利用を前提として、コンクリート塊を破碎などの軽微な処理に留めたガラ骨材に加工し、これを用いた再生コンクリートの適用を考えた。この再利用までの一連の作業をコンクリート塊の発生現場で行えば、処理手間や歩留まりの問題に役立つばかりでなく、ゼロエミッション化の有効な手段となる。

ガラ骨材を用いた再生コンクリートを普及させるためには適切な施工方法の選定が重要な鍵となる。これまでにプレパックドコンクリート工法による実験¹⁾や、モルタルを先詰めし、図

ー 1 に示すポストパックド工法による実験²⁾を行い、強度性状等を明らかにしてきた。ガラ骨材の粒径別の適当な施工方法として、40mm を越える粒径の場合、過去の実績から判断してプレパックドコンクリート工法が適していると考えられる。これに対して 40mm 以下の粒径の場合、モルタルの充填性などから、ポストパックドコンクリート工法のほかに、図ー 2 に示す通り、ガラ骨材をバージンモルタルの入ったアジテータに投入後攪拌してコンクリートを製造し、通常のコンクリートと同様に施工する方法（以降ステージミキシング工法という）が考えられた。これは、この程度の粒径ならば通常の機器でコンクリートの攪拌が可能であることに着眼したものである。この製造方式による研究は増田らの研究に見られる程度であり、この研究では他の工法との比較は行われていない³⁾。

本報告ではこれら 2 種類の工法により、1 m 角の模擬試験体をそれぞれ作製し、工法別の施工性およびコンクリートの品質を調べることを目的として実験を行った。

*1 鹿島建設（株）技術研究所 建築技術研究部 主任研究員，工修（正会員）

*2 鹿島建設（株）技術研究所 先端技術研究部 上席研究員

*3 鹿島建設（株）技術研究所 建築技術研究部 主管研究員，工修（正会員）

*4 鹿島建設（株）技術研究所 先端技術研究部 研究員

2. 実験計画

2. 1 実験条件の組み合わせ

模擬試験体は3体作製することとし、実験の要因を工法、部材の打ち分け回数、粗骨材種類とした実験条件の組み合わせを表-1に示す。

2. 2 使用材料

使用材料を表-2に示す。ガラ骨材の粒径は、既往の実験経緯^{11)・2)}から40~20mmとした。ガラ骨材は破碎・洗浄後、JIS A 5005の碎石4020と同等の粒度となるよう調整した。実験には実用性を踏まえ気乾状態のものを用了。比較用の碎石は同様に粒度調整後、表乾状態で用了。

2. 3 調合

マトリックスであるモルタルの調合を表-3に示す。目標フロー値は、施工性とブリーディングによる材料分離抵抗性を確保するため200mmとし、増粘剤を用了。目標空気量は、強度への影響を小さくするため2%以下とした。このモルタルに、単位粗骨材量340 l/m³の粗骨材を混合してコンクリートとした。

2. 4 練混ぜ

モルタルの練混ぜは、容量3 m³の強制2軸ミキサを用い、全材料を一括投入後3分30秒練り混ぜて行った。モルタルの練混ぜは2回に分けて行い、1回目(記号:M1)が1.25 m³とし、2回目(記号:M2)が1.75 m³とした。

2. 5 試験体

(1) 形状・寸法

試験体は、図-3に示す通り1 m角の立方体とし、内部・中間部・外部からφ15×100 cmのコアを4材齢分(材齢28日~12ヶ月)採取した。

(2) 作製方法

荷卸時にモルタルのフレッシュ時の試験を実施し、性状を確認後、モルタル着色のため顔料(セメント量の2.0%)を添加しアジテータを3分間攪拌した。再びフレッシュ時の試験を行い性状を確認後、作業を行った。

ポストパックドコンクリート工法では、モルタルを先詰めしガラ骨材を投入後、均し定木(T型の工具)で粗骨材をモルタルに馴染ませた後、

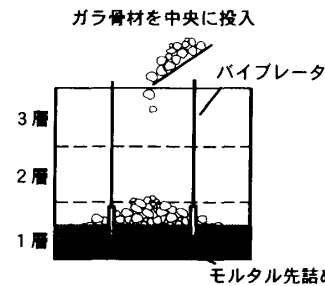


図-1 ポストパックドコンクリート工法の概念図

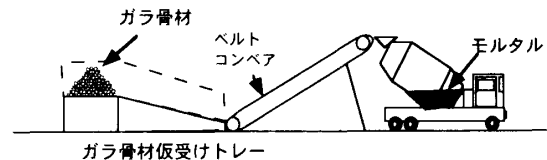


図-2 ステージミキシング工法の製造概念図

表-1 実験条件の組み合わせ

記号	工法	部材の打ち分け回数	粗骨材種類
PN	ポストパックド	3回	ガラ骨材
PR	コンクリート	6回	
MR	ステージミキシング	3回	

表-2 使用材料

材料	種類	銘柄・産地等	物性等
セメント	普通ポルトランドセメント	M社製	密度3.16g/cm ³
細骨材	質量比 砕砂7、山砂3の混合砂	砕砂：八王子産 山砂：香取郡産	表乾密度2.61g/cm ³ 吸水率1.87% 粗粒率2.61
粗骨材	ガラ骨材	横浜市D建物 1929年竣工 RC造	絶乾密度2.17g/cm ³ 吸水率7.20% 実験時含水率4.04% 実積率57.4% コア強度23.7N/mm ²
	碎石 (硬質砂岩)	青梅産	表乾密度2.66g/cm ³ 吸水率0.48% 実積率60.0% コア強度148N/mm ²
混和剤	ポリカルボン酸系高性能AE減水剤	N社製	密度1.05g/cm ³
	ポリシリケート系誘導体・消泡剤	同上	100倍に希釈して使用
	増粘剤	S社製	—
水	上水道水	調布市	—

表-3 モルタルの調合

W/C	S/C	空気量	単位量*			
			水	セメント	砕砂	山砂
50%	2.0	2.0%	315	629	888	380
				199	338	148

*上段：質量kg/m³，下段：絶対容積 l/m³

注) 高性能AE減水剤C×0.9%，消泡剤(原液)C×0.9%，増粘剤C×0.15%，顔料(ベンガラ)C×2.0%

棒状パイプレータと木槌を用い締め固めた。適当の打ち上がり高さを把握するため、打ち分け回数はPNが3回（1回の打ち上がり高さは約33cm）とし、PRが6回（同約16cm）とした。

ステージミキシング工法では所定量のモルタルが入っている生コン車にコンクリートバケツ（容量300l）を容器としてガラ骨材を投入し、3分30秒攪拌した。攪拌後、フレッシュコンクリートの試験を行い性状を確認後、コンクリートを生コン車のシュートから型枠に投入し、ポストバックド工法と同様に締め固めた。この時の打ち分け回数は3回とした。

試験体の養生は屋内気中養生とした。

2. 6 試験項目及び方法

コンクリートの施工性は、模擬試験体作製時の作業項目別の所要時間の計測と作業上の課題を記録して行った。また、モルタルおよびコンクリートの試験項目および方法を表-4に示す。

3. 実験結果・考察

3. 1 フレッシュ時の性状

表-5にモルタルのフレッシュ時の性状を示す。2試料のモルタルは、荷卸時から全作業終了時までフロー値200mm以上、空気量1.0%前後であり、両試料の差は小さく、目標とするフレッシュ性状を有していた。

ステージミキシング方式により製造したコンクリートのフレッシュ時の性状を写真-1に示す。スランブは20.6cm、空気量は1.5%であり、ガラ骨材は分離せず、モルタル中に均一に分布しており、模擬試験体を打設するのに十分なフレッシュ性状を有していると考えられた。ただし、5~20mmの粒度の骨材が含まれていないため、通常同等なスランブで見られる裾広がりな性状は見られなかった。これに対し、ポストバックドコンクリート工法は、粗骨材とモルタルを型枠内へ別々に投入するため、粗骨材の粒度の影響を受け難い。ステージミキシング工法は、スランブを品質管理項目とするほかに、ポンプ圧送性などの性能が求められることが想

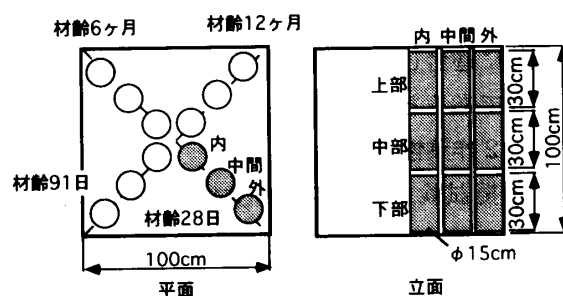


図-3 模擬試験体の形状とコア供試体の採取位置

表-4 モルタル・コンクリートの試験項目および方法

区分	時点	項目	試験方法	備考（標準値等）
モルタル	フレッシュ	流動性	JIS R 5201	フロー値：200mm程度
		空気量	JIS A 1128	空気量：2.0%以下
		単位容積質量	JIS A 1116	—
		温度	棒状温度計	—
		性状	目視観察	—
コンクリート	フレッシュ	スランブ	JIS A 1101	MRのみ（参考値）
		空気量	JIS A 1128	—
		単位容積質量	JIS A 1116	—
		温度	棒状温度計	—
		性状	目視観察	—
	硬化	粗骨材の分布	コア側面部のトレース図を目視観察	φ15×100cmのコア供試体、材齢28日、91日、6ヶ月、12ヶ月
		単位容積質量	寸法・質量の測定による	φ15×30cmのコア及び現場封緘養生供試体、材齢は同上
		圧縮強度	JIS A 1107, 1108	同上
		静弾性係数	JIS 原案	φ15×30cmのコア及び現場封緘養生供試体、材齢28日、12ヶ月
		試験体の外観	JIS 原案	材齢28日、12ヶ月

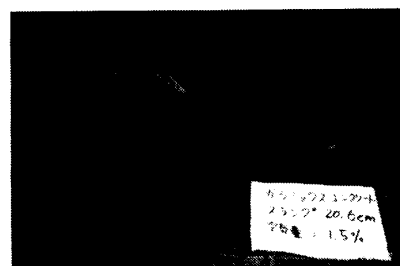


写真-1 MRのフレッシュ時の性状

表-5 モルタルのフレッシュ時の性状

種類	試験時点	フロー (mm)	空気量 (%)	単位容積質量 (kg/m³)	温度 (°C)	性状
M1	荷卸	232	1.4	2193.4	17.2	良
	顔料投入後	212	1.1	2210.5	16.7	良
	作業終了時	200	1.4	2200.6	18.2	良
M2	荷卸	240	1.3	2187.8	18.3	良
	顔料投入後	230	0.9	2207.7	18.1	良
	作業終了時	216	1.2	2206.3	18.1	良

注) M1はPN用とし、M2はPR、MR用とした。

荷卸から作業終了までの時間：M1が100分で、M2が160分であった。

定され、骨材の粒度は連続粒度としたほうが性能に適合しやすいと考えられ、今後、検討が必要であるといえる。

3. 2 作業性

模擬試験体作製時の作業項目別の所要時間を図-4に示す。全作業時間はMRが1490秒(24.8分)と最も短く、次いでPRが1895秒(31.6分)、PNが2625秒(43.8分)であった。ステージミキシング工法によるMRはポストバックドコンクリート工法PRやPNに比べ作業時間が短い結果となった。また、ポストバックドコンクリート工法において打ち分け回数の多いPRは、少ないPNに比べ作業時間が短い結果となった。ポストバックドコンクリート工法において作業別に最も時間を要している項目は、締め固めであり、3回に打ち分けたPNが、6回に打ち分けたPRの2倍近い締め固め時間を要している。これは粗骨材をモルタルに馴染ませるのに時間を要したためである。粗骨材をモルタルに馴染ませる働きは振動・転圧作用であるが、今回用いた均し定木(T型の工具)よりも効果のある工具を用いて、打ち分け回数を多くすれば、作業時間が短縮できると考えられた。ただし、打ち分け回数を多くした場合、準備作業である粗骨材の計量手間が増えることになる。これに対しステージミキシング工法はバッチ計量となるため打ち分け回数の影響はない。

3. 3 模擬試験体の外観

ポストバックドコンクリート工法で作製した模擬試験体の側面部の一部にモルタルの充填が不十分と見られる空隙が見られた。これはモルタルの流動性と締め固めの程度のバランスで発生する現象である。

また、PNの3層目にジャンカが形成されていた。PNにおいて3層目である最上層は、1、2層目で粗骨材の投入で時間を要したことから、投入順序を粗骨材、モルタルと1、2層目と逆にしたが、これによりモルタルの充填が不十分になったことが原因である。

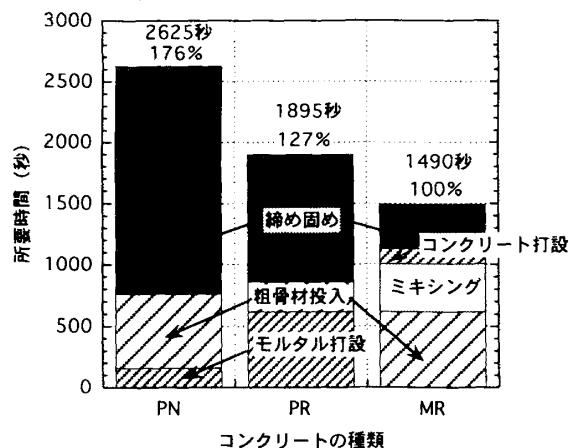


図-4 作業種類別の所要時間

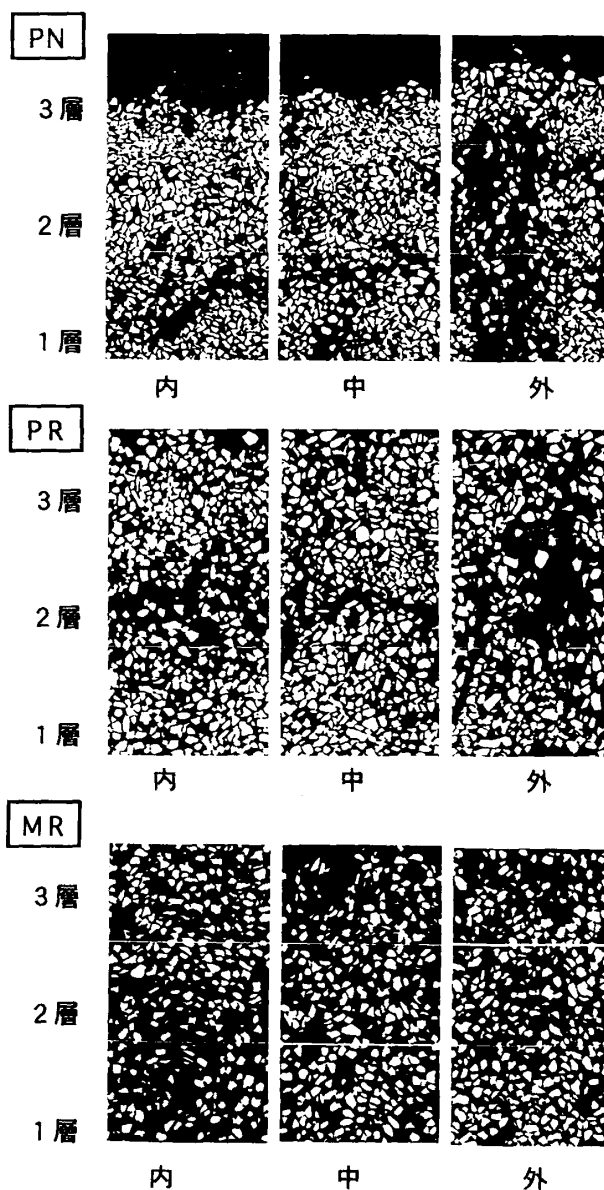


図-5 コア供試体における粗骨材の分布 (材齢28日)

3. 4 均質性

(1) 粗骨材の分布

材齢 28 日における試験体から採取したコア供試体の粗骨材の分布を図-5に示す。PN の 3 層目は、外観と同様に粗骨材が下部に、モルタルが上部に分布していた。PN の 1・2 層目と PR をみると、鉛直方向はほぼ均質に見られた。水平方向は内部と中間部は大差ないが、外部は内部・中間部に比べ、粗骨材の量が明らかに少なくなる傾向が見られた。これは試験体作製時に粗骨材を中心部に集中投下したが、締め固め等の作業を経ても均質にならないことを意味しており、粗骨材の分布が均一になるように投入方法を検討する必要があるといえる。

MR は上下方向および水平方向ともに粗骨材の分布は均一に見える。

(2) 単位容積質量

材齢 28 日における模擬試験体各部から採取した供試体の単位容積質量を図-6に示す。PN は 3 層目である上部を除いて見てみても、PR、MR よりも単位容積質量の変動が大きくみられた。水平方向の比較では PN 及び PR は、粗骨材の分布と同様に外部は内部、中間部に比べて単位容積質量の小さい傾向が見られた。これを変動係数でみると図-7に示す通り、MR が最も少なく次いで PR、PN の順であった。

以上のことから、ステージミキシング工法による供試体は、ポストパックドコンクリート工法に比べ均質なコンクリートが得られたといえる。また、ポストパックドコンクリート工法においては 1 回の打ち上がり高さを小さくしたほうが均質なコンクリートが得られたといえる。本工法は、粗骨材の分布が均一になるように工夫すれば、薄くて広い部材の工法として適していると考えられた。

3. 5 強度性状

(1) 材齢と強度の関係

図-8. a に現場封緘養生における材齢と強度の関係を示す。各コンクリートとも材齢 6 ヶ月まで強度が増進した。PN の強度が高く、PR

と MR は同等であった。

モルタルは 2 試料作製したが、同等な強度が得られており、マトリックスモルタルの強度差はほとんどないといえる。図-8. b にコアにおける材齢と強度の関係を示す。コア強度はコンクリート種類で大差なく、材齢 28 日で 40N/mm^2 程度発現し、材齢 12 ヶ月まで微増し 50N/mm^2 程度となった。また、図-8. a の結果と比較すると PR と MR の封緘養生強度とコア強度は同等であった。

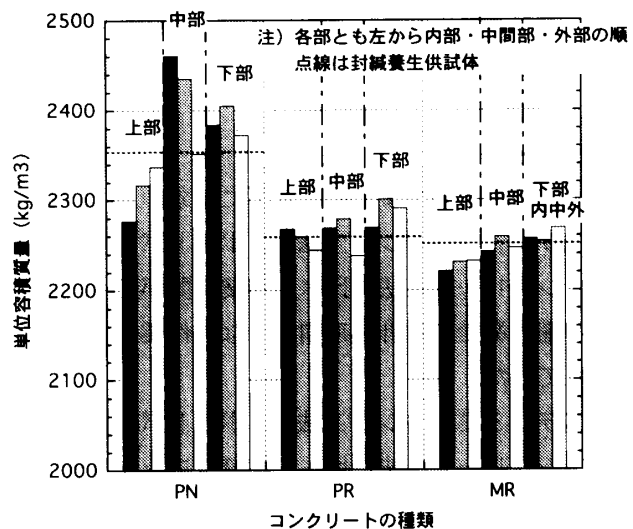


図-6 採取位置別供試体の単位容積質量 (材齢28日)

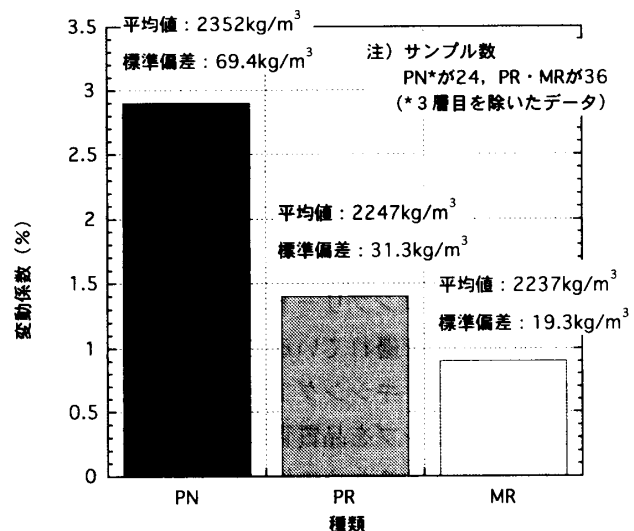


図-7 コンクリートの単位容積質量の変動係数

(2) 静弾性係数

静弾性係数のうち、RC 規準式により算出したものと実測値の比較を図-9に示す。コア供試体および封緘養生供試体の静弾性係数はRC 規準式から算出した値よりも小さかった。このうち、特にPR およびMR は、PN に比べ低かった。また、最も低かった実測値はRC 規準式の0.65 倍程度であった。静弾性係数が低かった理由として、20～5mm の粒度の粗骨材を含んでいないため骨材間の架橋効果が得られにくいこと、モルタル量が通常のコンクリートに比べ多いこと、ガラ骨材の弾性係数が小さいことなどが原因として考えられた。

4. まとめ

本実験の結果のまとめを以下に示す。

- (1) ステージミキシング工法は、ポストパックドコンクリート工法に比べ、作業時間が短く、準備作業である計量手間も少なく作業性に優れていた。
- (2) ステージミキシング工法は、ポストパックドコンクリート工法に比べ、均質なコンクリートが得られた。
- (3) ステージミキシング工法とポストパックドコンクリート工法によるコンクリートの強度性状は、同等であった。
- (4) ポストパックドコンクリート工法は、ガラ骨材の粒度分布の影響を受け難い特長を有しており、薄くて広い部材の用途に有効な工法と考えられた。ただし、粗骨材の分布が均一になるように投入方法を検討する必要がある。

以上のことから、ステージミキシング工法はポストパックドコンクリート工法に比べ、施工性・均質性の点で優れていることがわかった。今後、ステージミキシング工法を適用していくためには、スランプを品質管理項目とするほかに、ポンプ圧送するための性能が求められることが想定される。このため、骨材の粒度は連続粒度としたほうが性能的に適合しやすいと考えられ、今後検討が必要であるといえる。

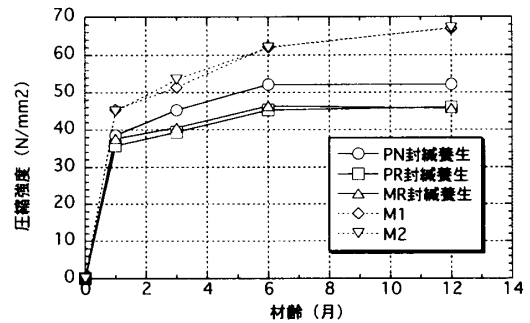


図-8. a 材齢と強度の関係 (封緘養生供試体)

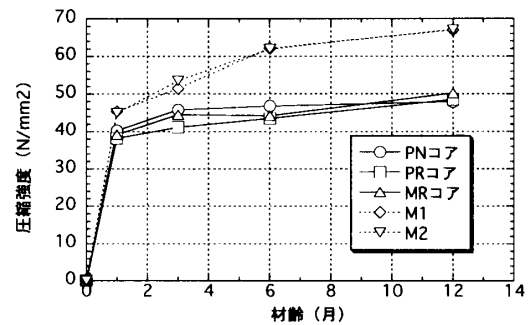


図-8. b 材齢と強度の関係 (コア供試体)

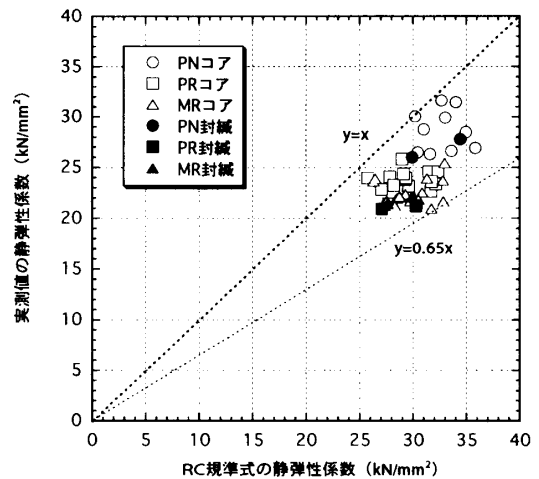


図-9 コンクリートの静弾性係数

参考文献

- 1) 桜本文敏, 原田実, 依田和久: コンクリートガラを骨材としたプレパックドコンクリートに関する研究, コンクリート工学年次論文報告集 Vol.20, No.2, pp.1123-1128, 1998.6
- 2) 依田和久, 原田実, 桜本文敏, 黒沼出: ガラ骨材を用いた再生コンクリートの開発 (その1), 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.289-290, 1999.9
- 3) 増田彰ほか: 大規模電力建物における再生骨材および再生コンクリートの利用 (その1～23), 日本建築学会大会学術講演梗概集, 1996.9～1999.9