

地上躯体に適用可能な 中品質再生骨材を用いたコンクリートの実用化

高橋 祐一

日本建築学会の「再生骨材を用いるコンクリートの設計・製造・施工指針（案）」を参考に、中品質再生粗骨材を用いたコンクリートを乾燥収縮の影響を受ける地上躯体に適用することを目的として、再生粗骨材 M および H に該当する骨材を用いたコンクリートの耐久性の比較、ならびに再生粗骨材 M の品質管理方法について検討を行った。その結果、課題となる乾燥収縮に対して、早期判定による品質管理を行うことで、十分に所要の品質を満足できることを確認した。

キーワード：再生骨材コンクリート、再生粗骨材 M、地上躯体、品質管理、乾燥収縮

1. はじめに

近年、建設廃棄物に占めるコンクリート塊の割合が増大しており、平成 24 年度においてはその 43% 程度を占めているものの、その再資源化率は 99% と高い値を示している。しかしながら、そのほとんどは路盤材として利用されたものであり、コンクリート用骨材として利用されたのは、再資源化されたコンクリート塊の 0.2% 程度に留まっている¹⁾。また、地域によっては、路盤材の需要が頭打ちとなる等、安定した需要を見込むことは難しいと思われる。さらに、平成 30 年度におけるコンクリート塊の再資源化率の目標値は現状維持の 99%¹⁾ となっており、この高い再資源化率を維持するためには、コンクリート用骨材としての利用を増大していく必要がある。

筆者らは、再生骨材コンクリートの普及を図ることを目的に、製造コストや回収率、使用部位の範囲といった観点から、高品質の再生骨材 H や低品質の再生骨材 L ではなく、これらの中間の品質である再生骨材 M に着目して検討を行い、これまでに延べ 14 件の国土交通大臣認定を取得し、実際の工事に適用している^{例えば2)}。

本稿では、日本建築学会の「再生骨材を用いるコンクリートの設計・製造・施工指針（案）」を参考に、中品質再生粗骨材を用いたコンクリートを、乾燥収縮の影響を受ける地上躯体に使用することを目的として、再生粗骨材 M および H に該当する骨材を用いたコンクリートの耐久性の比較、ならびに再生粗骨材 M の品質管理方法について検討を行った結果について報告する。

2. 再生骨材コンクリートの概要

(1) 再生骨材の製造方法

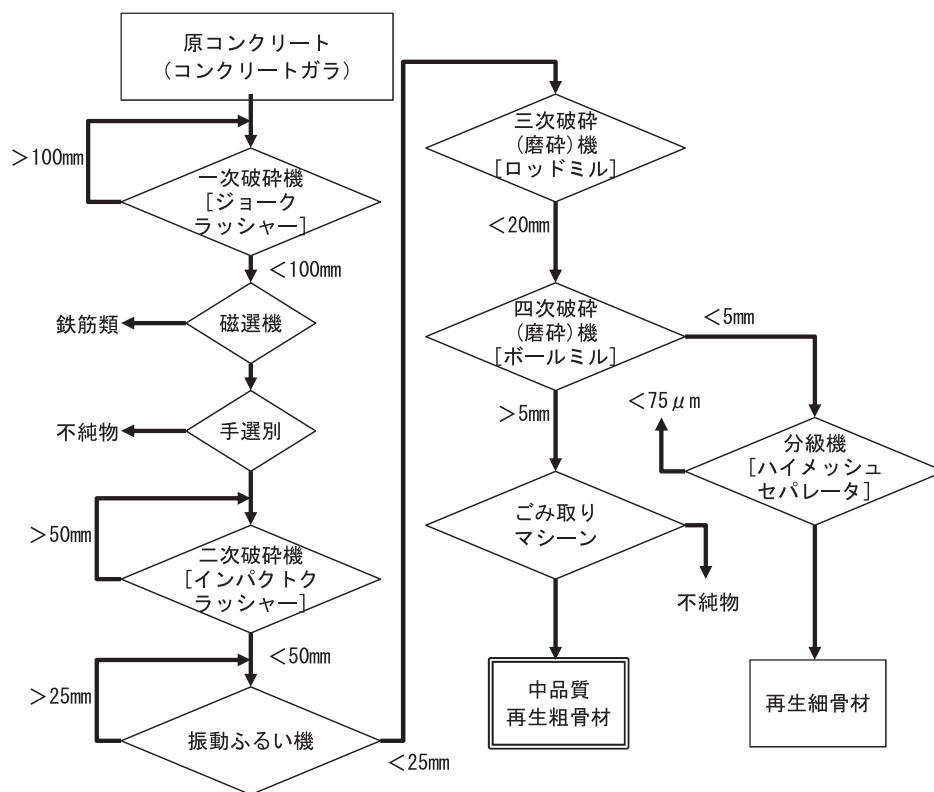
再生骨材の製造方法を表 1 に、本検討で対象としている中品質再生粗骨材の製造フローを図 1 に示す。再生骨材 H は、特殊な機械や加熱処理を行うため、品質が高いものの、製造に係るエネルギーが大きく、製造コストも高い。再生骨材 L は、破碎処理と粒度調整の簡便な方法で製造できるため、品質は劣るが安価で製造に係るエネルギーも小さい。一方、本検討で対象としている中品質再生粗骨材は再生骨材 M に該当し、破碎処理と再生骨材 H よりも簡便な磨砕処理の組合せにより製造するため、比較的安価である。

(2) 再生骨材の規格および再生骨材コンクリートの使用部位

再生骨材に関する JIS は 2005 年～2007 年にかけて、JIS A 5021（コンクリート用再生骨材 H）、JIS A 5022（再生骨材 M を用いたコンクリート）、JIS A 5023（再生骨材 L を用いたコンクリート）が規格化されている。この内、再生骨材 H は、JIS A 5308（レディーミクストコンクリート）附属書 A に適合する骨材であり、さらに 2016 年 6 月に平成 12 年建設省告示第 1446 号が改正され、国土交通大臣認定を取得することなく建築物に使用することが可能となった。これに対し、再生骨材 M を用いたコンクリートは、国土交通大臣認定を取得した上で、建築物に使用することができるものの、その使用部位は、場所打ち杭や乾

表―1 再生骨材の製造方法

	再生骨材 H	再生骨材 M	再生骨材 L
一次処理（破碎）	ジョークラッシャー		
二次処理（破碎）	インパクトクラッシャー		
高度処理（すりもみ等）	加熱すりもみ式 スクリー磨砕式 等	ロッドミル ボールミル 等	—
その他	分級処理	不純物除去（磁選・手選）	
メリット	・高品質 ・品質の安定性高	・製造コストは比較的安価 ・HとLの中間の品質が安定的に製造可能 ・回収率等はHとLの中間	・製造コスト安 ・投入エネルギー小 ・回収率大
デメリット	・製造コスト高価 ・投入エネルギー大 ・回収率小	・耐久性に課題あり	・低品質 ・品質の安定性低



図―1 中品質再生粗骨材製造フロー

乾燥収縮の影響を受けにくい地下躯体に限定されているのが現状であった。一方、2014年10月には、再生骨材を用いるコンクリートの設計・製造・施工指針（案）（以下、再生コン指針とする）が日本建築学会から発行され、再生骨材コンクリート M を乾燥収縮の影響を受ける構造部材に用いる場合の方針が示された。再生コン指針には、耐久設計基準強度や乾燥収縮率の目標値となる値が記述されており、これらを準拠することで、再生骨材 M を用いたコンクリートを地上躯体に使用できる可能性が高まった。

3. 再生骨材 H および M を用いたコンクリートの耐久性確認実験

(1) 使用材料

本実験で使用した材料を表―2に示す。この内、粗骨材については、検討対象としている再生粗骨材 M の他、比較用として再生粗骨材 H に該当する3種類、普通粗骨材1種類の計5種類を使用した。使用した再生粗骨材の外観を写真―1～4に示す。なお、検討対象の再生粗骨材 M の物性は、地上躯体に使用するにあたり想定した品質基準値（絶対密度 2.45 g/cm³

表一 2 使用材料

名称	記号	銘柄／産地	物性
セメント	C	普通ポルトランドセメント	密度：3.15 g/cm ³
細骨材	S1	砕砂／東京都八王子産	絶乾密度：2.62 g/cm ³ 吸水率：1.09%
	S2	山砂／千葉県富津産	絶乾密度：2.53 g/cm ³ 吸水率：1.78%
普通粗骨材	JC	碎石／東京都八王子産	絶乾密度：2.62 g/cm ³ 吸水率：0.56%
再生粗骨材	AM ^{*1}	再生粗骨材 M／A 工場	絶乾密度：2.46 g/cm ³ 吸水率：3.26%
	AH ^{*1}	再生粗骨材 H／A 工場	絶乾密度：2.54 g/cm ³ 吸水率：2.21%
	BH ^{*1}	再生粗骨材 H／B 工場	絶乾密度：2.50 g/cm ³ 吸水率：2.55%
	CH ^{*1}	再生粗骨材 H／C 工場	絶乾密度：2.54 g/cm ³ 吸水率：2.24%
化学混和剤	Ad	AE 減水剤	—
	SP	高性能 AE 減水剤	—
	—	空気量調整剤	—

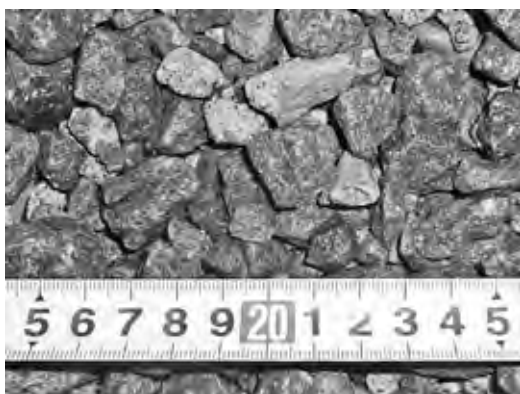
*1 A・B・C：再生骨材製造工場 M・H：再生粗骨材の品質区分



写真一 再生粗骨材 AM



写真三 再生粗骨材 BH



写真二 再生粗骨材 AH



写真四 再生粗骨材 CH

以上、吸水率 3.5%以下) の下限付近となるように処理度を調整したものである。

(2) コンクリートの調合

本実験におけるコンクリートの調合を表一 3 に示す。水セメント比は、呼び強度 24～42 の範囲をカバーできるように 57%、45%および 38%とした。再生粗骨材を用いた調合の単位水量は、当該生コン工場におけるこれまでの実績より設定し、普通粗骨材を用いた

調合から 3 kg/m³ を減じた値とした。スランプおよび空気量の管理値は、運搬によるロスを考慮し、スランプが W/C = 57% および W/C = 45% では 19 ± 2.5 cm, W/C = 38% では 19 ± 2 cm とし、空気量は 5.0 ± 1.5% として、それぞれ AE 減水剤または高性能 AE 減水剤と AE 剤を用いて調整した。

(3) 練混ぜ

練混ぜは強制二軸練りミキサを使用し、セメント、

表—3 調合

調合名* ¹	W/C (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m ³)				Ad* ² (C × %)
			W	C	S1/S2	G	
57JC	57.0	49.6	178	312	620/261	910	1.1
57AH		47.8	175	307	603/253	926	1.1
57BH						890	1.1
57CH						926	1.1
57AM						876	1.1
45JC	45.0	41.1	181	402	562/235	910	1.1
45AH		45.4	178	396	546/229	926	1.1
45BH						890	1.1
45CH						926	0.9
45AM						876	1.1
38JC	38.0	46.3	170	447	552/230	918	1.0
38AH		44.6	167	439	535/224	933	0.9
38BH						898	0.8
38CH						933	0.8
38AM						883	0.8

*1 調合名：水セメント比＋粗骨材種類

*2 水セメント比 38%は高性能 AE 減水剤使用，他は AE 減水剤使用

表—4 試験方法

対象	試験項目	試験方法	備考
フレッシュ コンクリート	スランブ	JIS A 1101	19 ± 2.5 cm, 2 cm
	空気量	JIS A 1128	5.0 ± 1.5%
	温度	JIS A 1156	—
	塩化物含有量	JASS5T-502	0.30 kg/m ³ 以下
硬化 コンクリート	アルカリシリカ 反応性	ZKT-206	相対動弾性係数 ≥ 80%
	圧縮強度	JIS A 1108	標準養生
	静弾性係数	JIS A 1149	標準養生
	長さ変化	JIS A 1129-2	8 × 10 ⁻⁴ 以下
	促進中性化	JIS A 1153	—

細骨材および粗骨材を投入し 15 秒間の空練りを行い、注水後 90 秒間の練混ぜを行った。

(4) 試験方法

試験は、表—4 に示す項目および方法で実施した。

4. 実験結果

(1) フレッシュコンクリート試験結果

フレッシュコンクリートの試験結果を表—5 に示す。各調合のスランブおよび空気量は、全ての調合において管理値内に納まった。また、塩化物含有量については、これまでの結果と同様に、再生骨材の品質区分による一律の傾向は認められず^{例えば2)}、いずれの調合においても、管理値である 0.30 kg/m³ を下回った。

表—5 フレッシュコンクリート試験結果

調合名	スランブ (cm)	空気量 (%)	コンクリート 温度 (℃)	塩化物含有量 (kg/m ³)
57JC	16.5	5.9	21	0.03
57AH	19.0	4.3	21	0.02
57BH	19.0	5.0	21	0.04
57CH	19.5	5.9	21	0.04
57AM	18.5	5.0	22	0.03
45JC	19.0	4.7	22	0.05
45AH	19.5	3.9	21	0.04
45BH	19.0	4.0	21	0.03
45CH	18.5	5.1	23	0.04
45AM	19.0	5.4	22	0.05
38JC	21.0	4.7	23	0.04
38AH	20.5	5.4	22	0.04
38BH	19.0	6.1	22	0.03
38CH	19.0	5.0	23	0.03
38AM	19.0	5.5	22	0.05

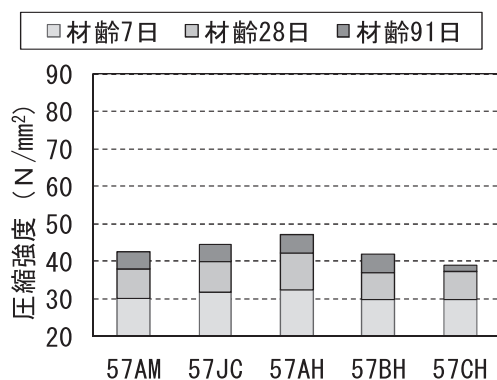
(2) 硬化コンクリート試験結果

(a) アルカリシリカ反応性

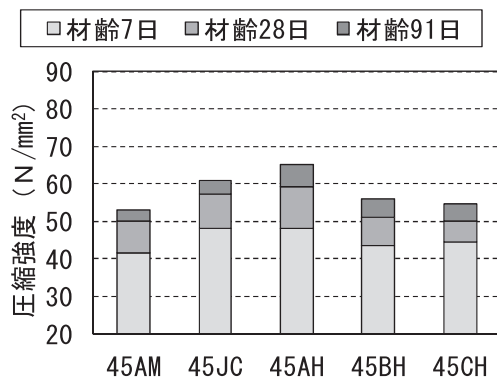
アルカリシリカ反応性迅速試験は、骨材 AH, CH および AM の 3 種類を選定し、単位セメント量が多い水セメント比 38% の調合を対象に行った。相対動弾性係数 80% 以上を反応性なし (A) として合格と判定するが、調合 38AH および 38AM は 80% 以上を確保し合格となった。一方、38CH は再生骨材 H に該当する粗骨材を使用したものの、相対動弾性係数が 80% を下回り不合格となった。

(b) 圧縮強度

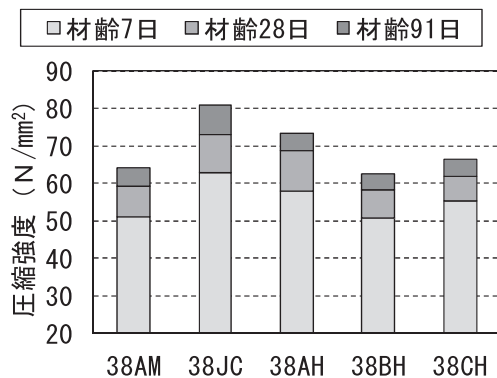
圧縮強度試験結果を図一 2 ～ 4 に示す。骨材 JC と骨材 AH は、いずれの水セメント比においても比較



図一 2 圧縮強度試験結果 (W/C = 57%)



図一 3 圧縮強度試験結果 (W/C = 45%)

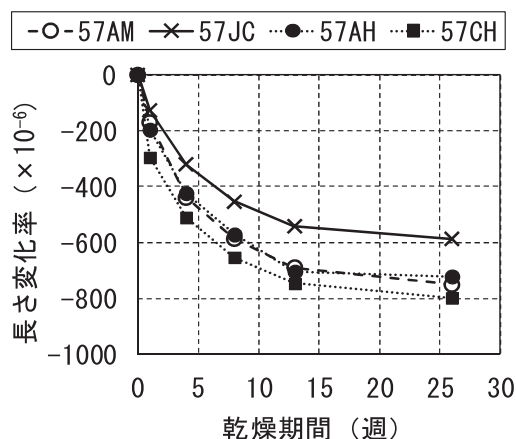


図一 4 圧縮強度試験結果 (W/C = 38%)

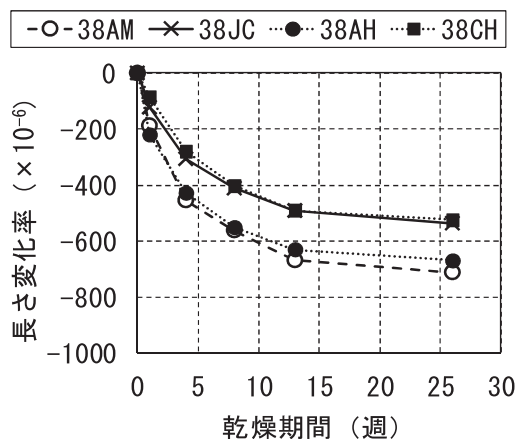
的圧縮強度が大きくなった。他は再生骨材の品質区分に関わらず、概ね同程度の値であった。

(c) 長さ変化率

長さ変化試験結果を図一 5 および図一 6 に示す。各水セメント比ともに骨材 JC の値が小さいものの、再生骨材の品質区分に関わらず、全ての調合において、再生コン指針に示されている目標値の目安である「 8×10^{-4} 」を下回った。また、再生骨材の品質区分による差をみると、骨材 AH と AM では、後者の方がやや大きいものの、概ね同等の結果であった。一方、骨材 CH は水セメント比によって傾向が大きく異なる結果であった。



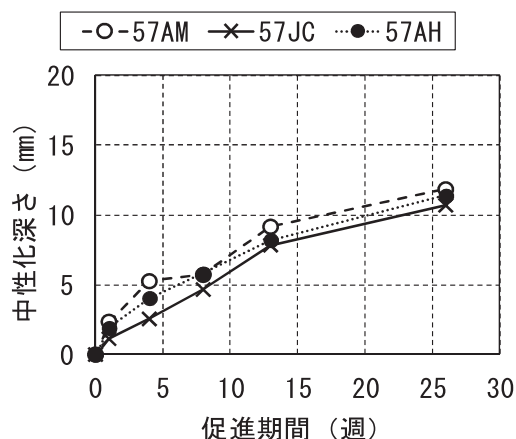
図一 5 長さ変化試験結果 (W/C = 57%)



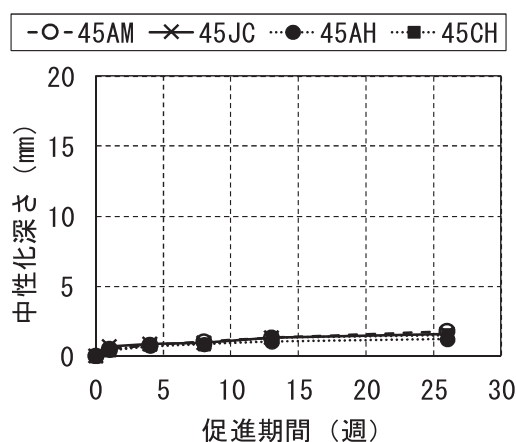
図一 6 長さ変化試験結果 (W/C = 38%)

(d) 中性化深さ

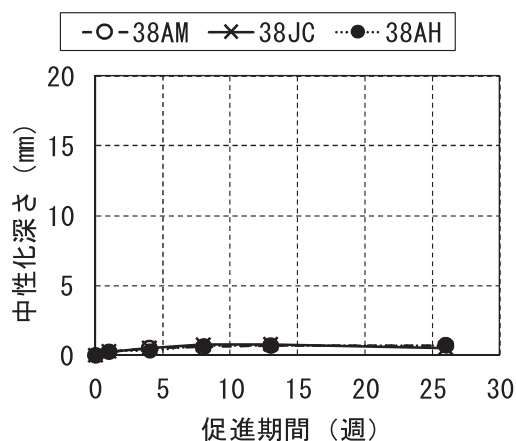
促進中性化試験結果を図一 7 ～ 9 に示す。水セメント比 57% では、骨材 JC を用いた調合の値が、AH および AM と比較してやや小さいものの、他の水セメント比では大きな差はみられなかった。また、再生骨材の品質区分による差をみると、いずれの水セメント比でも骨材 AH および CH と AM との差はほとんどみられなかった。



図—7 促進中性化試験結果 (WC = 57%)



図—8 促進中性化試験結果 (WC = 45%)



図—9 促進中性化試験結果 (WC = 38%)

5. 地上躯体に使用する場合の耐久性に対する品質管理の検討

再生骨材コンクリートを上部躯体に使用する場合の耐久性に関する品質管理項目としては、①コンクリートの塩化物物量、②アルカリシリカ反応性、③凍結融解抵抗性、④乾燥収縮に対する抵抗性、⑤中性化に対する抵抗性、以上の5つが挙げられる。この内、①およ

び②については、場所打ち杭ならびに地下躯体に使用する場合と同様の品質管理³⁾を実施すれば良いと考えられる。また、③については再生コン指針に基づいた品質管理を、⑤については、一般のコンクリートと同様に圧縮強度(耐久設計基準強度)によることから、特別な品質管理を実施しなくて良いと判断した。

以上より、本検討では④乾燥収縮に対する品質管理方法について検討した。乾燥収縮に対する品質管理は、JASS 5 11.4に記載されている通り、「JIS A 1129:モルタル及びコンクリートの長さ変化測定方法」によって実施する必要がある。一般的には乾燥期間26週の測定値により管理されているが、試験ロット毎の原コンクリートおよび原骨材の種類が常に一定ではない出所不特定の再生骨材を対象とした場合には、試験期間が長く実用的ではない。そこで、早期判定による品質管理について検討を行った。JASS 5 11.4による早期判定式を式(1)に示す。

$$\varepsilon_{sh}^{est} = \alpha_i \times \varepsilon_{sh}^i \quad \text{式(1)}$$

ここに、 ε_{sh}^{ist} : JIS A 1129-1~3および同附属書A(参考)に基づき測定されたコンクリートの乾燥期間26週(6ヶ月)における乾燥収縮率の推定値

ε_{sh}^i : JIS A 1129-1~3および同附属書A(参考)に基づき測定されたコンクリートの乾燥期間*i*週(6ヶ月)における乾燥収縮率、*i*は4, 8, 13のいずれかとする

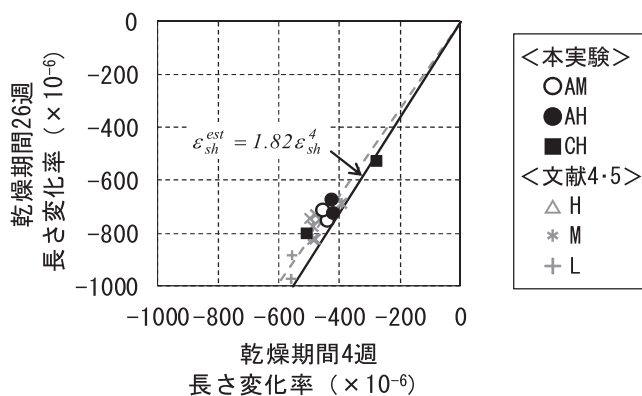
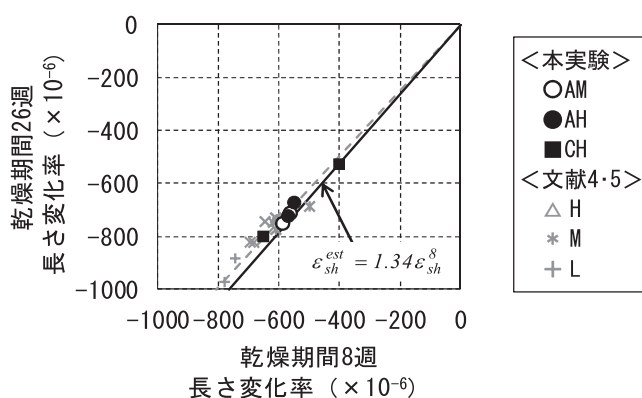
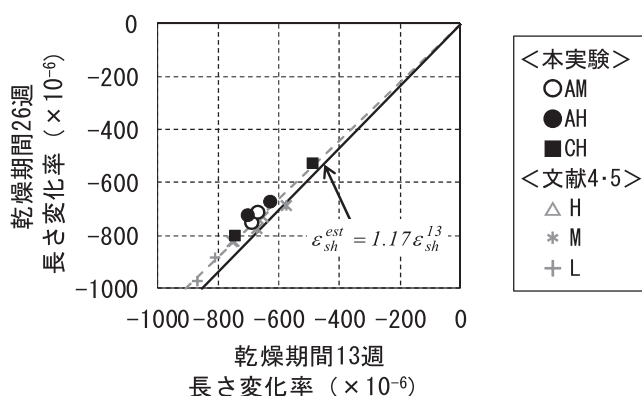
α_i : ε_{sh}^i から ε_{sh}^{ist} を推定するための係数

ここで、JASS 5 解説表 11.5に記載されている係数 α_i は、特殊な仕様のコンクリートを除いたものから求められており、本検討のような場合は、使用材料に応じた係数 α_i を求めることとなっている。そこで、JASS 5 解説表 11.5と同様の手順にて4%不良率を考慮した係数 α_i を求めた。さらに、乾燥期間26週における乾燥収縮率の目標値を 8×10^{-4} 以下とするための、乾燥期間4週、8週および13週における乾燥収縮率の品質基準を得られた係数 α_i から算出した。それぞれの結果を表—6に、早期判定式における係数の妥当性の検証結果を図—10~12に示す。これらの図をみると、JASS5の解説図 11.2と同様に各乾燥期間における乾燥収縮率に係数を乗じて求めた26週の推定値は、概ね安全側に評価できるものと考えられる。

表一6 早期判定式の係数 α_i の算定および乾燥収縮率の品質基準

乾燥収縮率の倍率	平均値	標準偏差	α_i * 1	乾燥収縮率の品質基準
乾燥期間 26 週に対する 4 週の倍率	1.65	0.100	1.82	466×10^{-6}
乾燥期間 26 週に対する 8 週の倍率	1.24	0.055	1.34	633×10^{-6}
乾燥期間 26 週に対する 13 週の倍率	1.10	0.039	1.17	725×10^{-6}

* 1 4%不良率を許容した値

図一10 係数 α_i の妥当性の検証 (乾燥期間 4 週)図一11 係数 α_i の妥当性の検証 (乾燥期間 8 週)図一12 係数 α_i の妥当性の検証 (乾燥期間 13 週)

6. おわりに

本稿では、再生骨材 M に区分されるものの、再生骨材 H に近い品質である骨材 AM と 3 種類の再生骨材 H を用いたコンクリートの耐久性の比較、ならびに地上躯体に適用する場合の品質管理方法について検討を行った結果について報告した。その結果、課題となる乾燥収縮に対し、早期判定による品質管理を行うことで、十分に所要の品質を満足できることを確認した。なお、本稿の内容を基にして、中品質再生粗骨材の品質管理基準を設定した。さらに、実際の生コンプラントでの製造実験を実施して、構造体強度補正值および強度算定式に対する検討を行った内容を加えて、実際に地上躯体に使用できる再生骨材コンクリートとして国土交通大臣認定を取得した。

謝 辞

本実験の実施にあたり、(株)東京テクノ、三協 Mirai (株)および日本シーカ(株)の各位に多大なるご協力をいただきました。各位に厚く御礼申し上げます。また、再生骨材をご提供いただいた武蔵野土木工業(株)にここに記して謝意を表します。

J C M A

【参考文献】

- 1) 国土交通省：平成 24 年度建設副産物実態調査結果参考資料，2014.3
- 2) 松田他：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
- 3) 竹内他：中品質の再生細・粗骨材を用いたコンクリートの実構造物への適用 その 1 実施概要および骨材の品質，日本建築学会大会学術講演梗概集 A-1 (関東)，pp.245～246，2011.8
- 4) 竹内他：再生骨材コンクリートの適用範囲拡大に向けた耐久性に関する研究，コンクリート工学年次論文集，vol.30，No.2，pp.373～378，2008.7
- 5) 高橋他：破砕値による再生粗骨材の品質基準の設定に関する検討，日本建築学会大会学術講演梗概集 A-1 (近畿)，pp.161-162，2014.9

【筆者紹介】

高橋 祐一 (たかはし ゆういち)
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)

