

論文 再生粗骨材の品質がコンクリートの性状に及ぼす影響

依田 和久^{*1}・小野寺 利之^{*2}・新谷 彰^{*3}・川西 泰一郎^{*4}

要旨：JIS A 5021 の品質基準を満足する再生粗骨材（以降，高品質再生骨材という）と，その基準を若干下廻る再生粗骨材（以降，中品質再生骨材という）の2種類について，骨材としての品質，骨材製造割合を調べ，それぞれの粗骨材を個々に用いたコンクリートについてフレッシュ時の性状，強度性状，耐久性状を実験により把握した。実験の結果，2種類の再生粗骨材は，品質のうち絶乾密度，吸水率，微粒分量に多少差が見られた。また，これらの粗骨材を個々に用いたコンクリートの性状に大きな違いは見られなかった。

キーワード：再生骨材コンクリート，再生骨材，品質，骨材製造割合，コンクリート，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，コンクリート工事において使用量の多い一般構造部材への適用が不可欠といえる。現況において，これを実現するためには再生骨材の品質は，JIS A 5021 コンクリート用再生骨材 H に規定されている値を満足することが必要となる。一方，このような高品質再生骨材を得るためには製造時の手間やコスト，リサイクル率の点で懸念される面もある。このため，JIS A 5021 の品質基準を若干下廻る骨材について「中品質再生骨材」として規格化しようとする活動が進められている。この活動の内容は，2005 年 9 月のシンポジウムで発表されており，その中で再生骨材 M（本論でいう中品質再生骨材）を用いたコンクリートの JIS 素案¹⁾が示されており，また同附属書 1 に再生骨材 M の品質が示されている。この品質規定は物理的性質において JIS A 5021 よりも若干下廻る値が規定されている。

本報では，高品質再生骨材と中品質再生骨材の品質や製造割合，これらを個々に用いたコンクリートの性状について述べるものである。

2. 実験計画

2.1 実験概要

高品質再生骨材（記号 H）と，中品質再生骨材（記号 M）の2種類の粗骨材について，品質及び製造割合を調べ，それぞれの再生粗骨材を個々に用いたコンクリートについてフレッシュ時の性状，強度性状，耐久性状を把握するための実験を行った。

2.2 原コンクリートの品質

原コンクリートは，1956 年東京都三鷹市に竣工した築 49 年の UR 都市機構・牟礼団地（RC 造 4 階建）の 1 棟から得たものであり，原コンクリート及び原骨材の主な品質を表 - 1 に示す。

表 - 1 原コンクリート及び原骨材の主な品質

試験項目	試験方法	結果*	
コアの圧縮強度(N/mm ²)	JIS A 1107	24.6	
中性化深さ (mm)	壁(内側)	フェノールフタレイン の発色反応	32.0
	スラブ		36.7
可溶性塩化物含有量(kg/m ³)	JIS A 1154	0.058	
原粗骨材の種類	コアを目視	川砂利	
アルカリシリカ反応性	JIS A 1145	無害	
原骨材	絶乾密度(g/cm ³)	JIS A 1110	2.57
	吸水率(%)		1.40

*数値は全て平均値

*1 鹿島技術研究所 建築生産グループ 上席研究員 博士(工学) (正会員)

*2 鹿島技術研究所 建築生産グループ 主任研究員 (正会員)

*3 鹿島技術研究所 建築生産グループ 研究員 (正会員)

*4 都市再生機構 都市住宅技術研究所 住まい技術研究チーム (正会員)

2.3 再生粗骨材の製造方法

2種類の再生粗骨材の製造方法は次の通りである。Hは機械式すりもみ方式による装置²⁾を核とし、Mは一軸スクリー方式による装置³⁾を核として同様に製造した。再生骨材の製造方法を図-1に示す。ただし、Hの場合、骨材製造装置から排出された再生骨材は、別途再生細骨材を得るために沈殿水槽にて微粒分を除去した後5mmフルイで分級したのに対し、Mの場合は特に水処理を実施せず5mmフルイで分級した。これらの骨材製造装置での処理回数はいずれも1回とした。

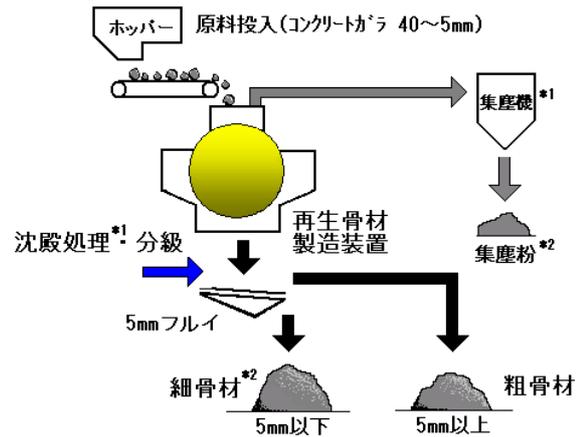


図-1 再生骨材の製造方法
*1 Hのみ実施 *2 Mは今回5mm以下は分級せず

表-2 使用材料

材料	種類	メーカー・産地	物性等			
			密度*1 (g/cm ³)	吸水率 (%)	粗粒率	微粒分量 (%)
セメント	普通	T社製	3.16	—	—	—
細骨材*2	砕砂	青梅産	2.62	1.18	3.03	2.4
	山砂	君津産	2.57	2.55	2.00	1.2
粗骨材	砕石2005	青梅産	2.66	0.79	6.60	0.25
水	井戸水	—	JIS A 5308附3の品質基準に適合			
混和剤	高性能AE減水剤	N.M.B製	ホリカルボン酸系混和剤			

*1 骨材の密度は表乾
*2 質量混合比 砕砂:山砂=7:3

2.4 再生コンクリートの性状

(1) コンクリートの種類、使用材料および調合
コンクリートの種類は、H及びMを用いたコンクリートにおいて水セメント比を40、46、52%をそれぞれ組み合わせたもの6種類と、比較用に硬質砂岩砕石を用いたW/C46%のもの1種類の計7種類とした。調合は単位粗骨材かさ容積を過去の実績等から0.575m³/m³とし、単位水量は高性能AE減水剤を使用することから170kg/m³一定とした。コンクリートの目標値は、荷卸時のロスを想定してスランプは20±2.5cm、空気量は5.0±1.5%とした。使用材料を表-2に、調合を表-3に示す。

表-3 コンクリートの調合

記号	W/C (%)	s/a (%)	単位量*(kg/m ³)			
			水	セメント	細骨材	粗骨材
H40	40	43.9	170	425	744	934
H46	46	45.4		370	787	
H52	52	46.5		327	824	
M40	40	41.6	170	425	704	939
M46	46	43.1		370	749	
M52	52	44.2		327	786	
N46	46	48.4	170	370	840	918

*混和剤:Hを用いたものはC×0.8%とし、その他はC×1.0%とした

(2) 練混ぜおよび養生

練混ぜは、容量60Lの強制二軸ミキサを用い、細骨材、セメントを投入し10秒間空練りし、混練水を投入後20秒間混練し、さらに粗骨材を投入し60秒間混練して行った。

養生は試験項目別に該当するJIS規格に準拠して実施した。

(3) 試験項目及び方法

H及びMを個々に用いたコンクリートのフレッシュ時の性状、強度性状、耐久性状について試験した項目と方法を表-4に示す。

表-4 試験項目及び方法

分類	試験項目	試験方法	備考
フレッシュ性状	スランプ	JIS A 1101	—
	空気量	JIS A 1128	—
	コンクリート温度	棒状温度計による	—
	塩化物量	JASS 5 T-502	—
	練上り性状	目視	—
	フリーディング	JIS A 1123	—
強度性状	圧縮強度	JIS A 1108	標準養生、材齢7・28・91日
	静弾性係数	JIS A 1149	ポアソン比も求めた
	割裂引張	JIS A 1113	N46は除く
耐久性性状	長さ変化率	JIS A 1129-1	—
	促進中性化	JIS A 1153	M46のみ実施
	凍結融解	JIS A 1148	H46・M46で実施

3. 実験結果及び考察

3.1 再生粗骨材

(1) 品質

2種類の再生粗骨材の不純物量を表-5に、再生骨材のその他の品質を表-6に示す。

不純物量は、H及びMともに全不純物量をはじめ、JIS A 5021に規定されているA~Fの分類全てにおいて上限値を満足する結果であった。

物理的性質である絶対乾密度、吸水率、微粒分量は、JIS A 5021の規定値に対しHは満足した。一方、Mは下廻る結果となったが、中品質再生骨材のJIS素案として示されている規定値を満足するものであり、Mは意図した物理的性質の粗骨材が得られたといえる。ただし、Mの微粒分量は上限値であり、今回のような乾式処理による製造や品質変動を考慮するとJIS素案の規定値を常に満足するのは難しいと思われる。

アルカリシリカ反応性は、原骨材とは別に改めてJIS A 1804による迅速法で試験を行い、H及びMともに無害であることを確認した。

H及びMの粒度分布を図-2に示す。Hの粒度はMのものに比べやや小さくなった。これは付着モルタルの除去や、原骨材の破碎の程度の違いが影響しているものと考えられる。JIS A 5021に規定されている粒度の区分でみると、Hの粒度分布は再生粗骨材H2005に、MはH2505に該当するものであった。これは5mm以下の粒子の除去以外には、特に粒度調整していない結果である。また、粗粒率は、Hが6.55であり、Mが6.81であった。

粒径は、粒径判定実積率でみるとHが63.0%であり、Mが62.3%であり、同等であった。

塩化物量は、H及びMともにJIS A 5021の規定値を満足した。

以上のことから、HはJIS A 5021に規定されている品質を満足する骨材であり、Mは物理的性質を除きJIS A 5021品質を満足し、物理的性質は中品質再生骨材の品質として示されているJIS素案を満足するものであった。

(2) 骨材の製造割合

5mm以下の粒子をふるいで除去した粒径40~5mmの原料に対し、Hを製造しようとした場合、粗骨材Hが38.8%、細骨材が42.5%、微粉末(集塵粉と湿式分級槽での洗い損失分の合計)が18.7%であった。Mを製造しようとした場合、粗骨材Mが60.0%、その他(細骨材と微粉末の合計)が40.0%であった。Mは、Hに比べ同一原料から約1.5倍多く得られた。単純に粗骨材だけ再利用しようとする場合、MはHに比べ、リサイクル率の点で有利であるといえる。

表-5 再生粗骨材の不純物量

分類	例	H	M	上限値*1
A	タイル	0.50%	0.44%	2.0%
B	ガラス片	0.01%	0.02%	0.5%
C	石こう	0	0	0.1%
D	無機系ボード	0	0.01%	0.5%
F	プラスチック片	0	0	0.5%
F	木片	0.09%	0.05%	0.1%
全量		0.60%	0.52%	3.0%

*1.JIS A 5021による規定値

表-6 再生粗骨材の品質

試験項目	試験方法	H	M	規定値*1
絶対乾密度(g/cm ³)	JIS A 1110	2.50	2.36	2.5(2.3)以上
吸水率(%)		2.28	4.66	3.0(5.0)以下
微粒分量(%)	JIS A 1103	0.2	1.5	1.0(1.5)以下
アルカリシリカ反応性	JIS A 1804	無害	無害	無害
粗粒率	JIS A 1102	6.55	6.81	—
粒径判定実積率(%)	JIS A 5005	63.0	62.3	55以上
塩化物量(%)	JIS A 5002	0.001	0	0.04以下

*1JIS A 5021により、また()内は文献1)による

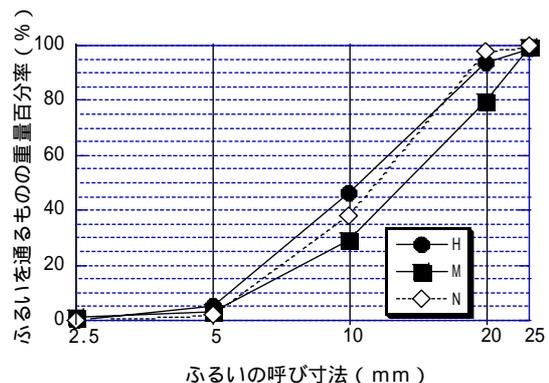


図-2 HとMの粒度分布

3.2 再生コンクリートのフレッシュ性状

(1) 基礎的な性状

試験結果を表 - 7 に示す。スランプ及び空気量は目標値を全て満足した。コンクリート温度は 15.0~17.0 であった。塩化物量は塩化物イオン量として JIS A 5308 の規定値を全て満足した。練上り性状は、スランプ試験後や練り舟に静置したコンクリートにおいて、全て分離もなく良好であった。

(2) プリーディング

プリーディングは全て 5~6 時間で終了しており、この時のプリーディング量を図 - 3 に示す。プリーディング量は、M40 が $0.04\text{cm}^3/\text{cm}^2$ と最も小さく、H52 が $0.28\text{cm}^3/\text{cm}^2$ と最も大きい結果となった。水セメント比が小さいもの、換言すると単位水量が一定なので単位セメント量が大きいものほどプリーディング量が小さくなった。粗骨材の種類別では W/C46% の場合、小さい順に M46 の $0.06\text{cm}^3/\text{cm}^2$ 、N46 の $0.11\text{cm}^3/\text{cm}^2$ 、H46 の $0.23\text{cm}^3/\text{cm}^2$ となった。M を用いたコンクリートのプリーディング量が H を用いたものよりも小さいのは、使用した粗骨材 M の微粒分量が最も大きいことが一因として考えられる。

3.3 再生コンクリートの強度性状

(1) 圧縮強度

コンクリートの種類別圧縮強度を図 - 4 に示す。H 及び M をそれぞれ用いたコンクリートにおいて水セメント比が大きいほど圧縮強度は小さくなった。圧縮強度は、粗骨材の種類別では、W/C46% の場合、N46 が最も大きく、H46 と M46 は同等な値となった。また、他の水セメント比においても両者の圧縮強度は同等であった。

(2) 静弾性係数

圧縮強度と静弾性係数の関係を図 - 5 に示す。静弾性係数は、粗骨材の種類別では、W/C46% の場合、N46 が最も大きく、H46、M46 の順となった。H 及び M をそれぞれ用いたコンクリートにおいて水セメント比が小さいほど、静弾性係数が大きくなる傾向が見られた。また、全ての値は、RC 基準⁴⁾に示されている普通コンクリート

表 - 7 フレッシュ時の基礎的な性状

記号	スランプ (cm)	空気量 (%)	温度 (°C)	塩化物量 (kg/m^3)	練上り性状
H40	21.5	5.4	17.0	0.022	良好
H46	22.0	5.2	16.5	0.022	良好
H52	22.0	5.2	17.0	0.019	良好
M40	22.5	5.5	15.5	0.020	良好
M46	20.5	4.2	15.0	0.023	良好
M52	22.5	4.2	15.0	0.016	良好
N46	20.0	4.8	15.0	0.022	良好

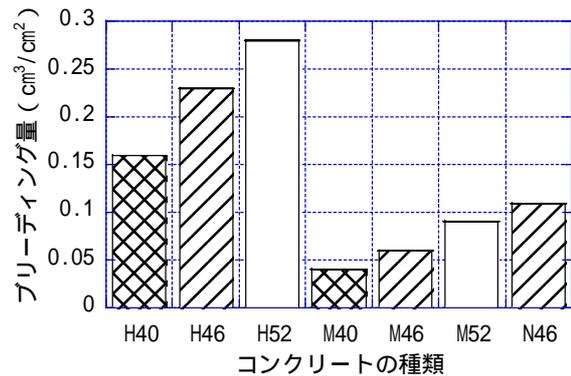


図 - 3 コンクリートのプリーディング量

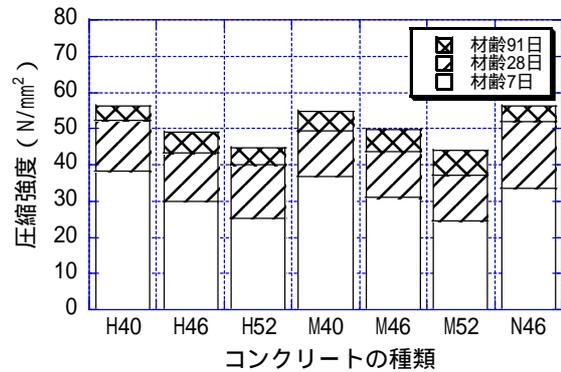


図 - 4 コンクリートの圧縮強度

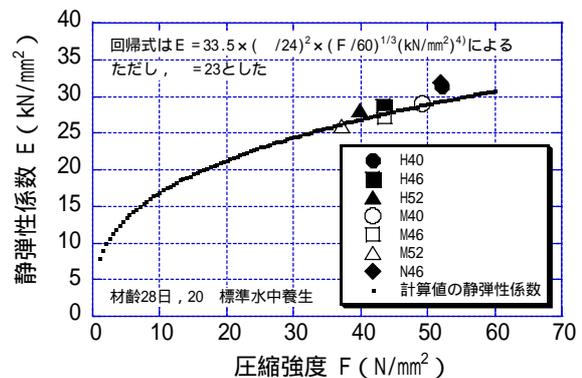


図 - 5 圧縮強度と静弾性係数の関係

の計算式の値に比べ、同等以上であった。

(3) ポアソン比

コンクリートの種類別ポアソン比を図 - 6 に示す。再生コンクリートのポアソン比は、粗骨材種類による顕著な差はみられず、0.169 ~ 0.203 であり、通常、コンクリートのポアソン比として示されている $1/6 \sim 1/5^4$ を概ね満足する値であった。

(4) 割裂引張強度

圧縮強度と割裂引張強度の関係を図 - 7 に示す。割裂引張強度は、H を用いたコンクリートのものが、M を用いたコンクリートに比べ $0.09 \sim 0.45 \text{ N/mm}^2$ 大きい傾向を示した。また、圧縮強度に対する割裂引張強度の比は概ね $1/12.5 \sim 1/15$ であり、普通コンクリートの比として示されている $1/8 \sim 1/13^5$ に比べ小さい値となる傾向を示した。

3.4 再生コンクリートの耐久性状

(1) 長さ変化率

コンクリートの種類別長さ変化率を図 - 8 に示す。測定材齢 26 週における乾燥収縮率は $817 \sim 885 \times 10^{-6}$ であった。粗骨材の種類別では、W/C46% の場合 M46 の 885×10^{-6} が最も大きく、H46 の 858×10^{-6} 、N46 の 845×10^{-6} の順となった。水セメント比、粗骨材種類に関わらず乾燥収縮率の値の差は小さかったと言える。

(2) 凍結融解抵抗性

凍結融解抵抗性を評価する指標とされる相対動弾性係数を図 - 9 に示す。300 サイクル終了時点での相対動弾性係数は H46 が 92.0% であり、M46 が 86.0% となり、H46 の値が M46 の値より大きいものの、いずれも凍結融解抵抗性の目安の一つとされる相対動弾性係数 60% を満足しており、十分な凍結融解抵抗性を有する結果であると言える。

(3) 中性化深さ

材齢の平方根と促進試験による中性化深さの関係を図 - 10 に示す。材齢の平方根と中性化深さの間には直線関係が成り立つものと仮定して、原点を通る回帰式で M46 の中性化速度係数を算

出した結果 1.48 となった。他の中性化速度係数と比べると、既往⁶⁾の吸水率 6.91% の再生骨材によるコンクリート S は 2.09 であり、吸水率 0.48% の青梅産砕石による N は 1.73 であった。また、他の文献⁷⁾では吸水率 0.72% の青梅産砕石によるものは 2.55 であり、吸水率 2.5% の秋田産砂利によるものは 2.87 である。比較のものはいずれも W/C50% であるが、M46 の中性化速度係数は天然骨材のものに比べ同等かやや小さくなった。

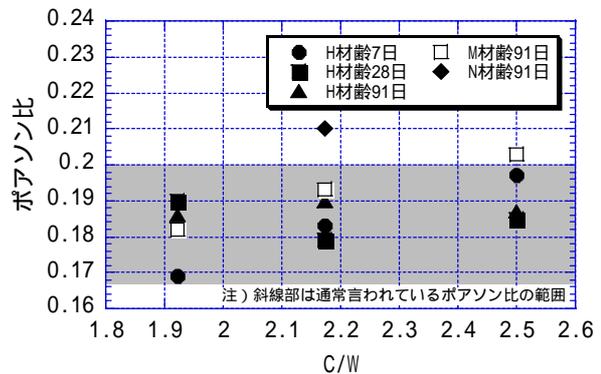


図 - 6 コンクリートのポアソン比

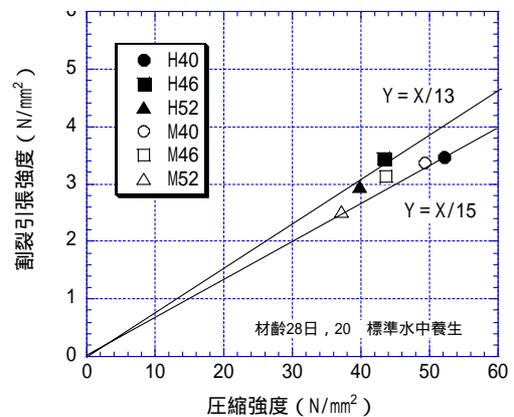


図 - 7 圧縮強度と割裂引張強度の関係

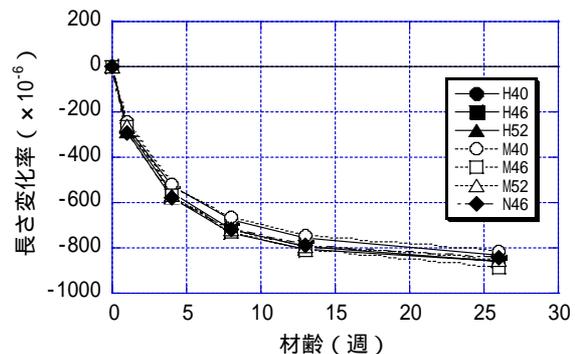


図 - 8 コンクリートの長さ変化率

4. まとめ

JIS A 5021 の品質規定値を満足する高品質再生粗骨材と、JIS 素案の品質規定値を満足する中品質再生粗骨材の実験において次の知見を得た。

- (1) 40～5 mmの粒子範囲に前処理した原料に対し、製造割合は高品質粗骨材が 38.8%であり、中品質粗骨材が 60.0%であり、粗骨材のみ再利用する場合、中品質粗骨材は高品質粗骨材に比べ、リサイクル率の点で有利である。
- (2) 再生コンクリートのフレッシュ時の性状は、粗骨材種類に関わらず、いずれも目標値を満足し、良好な性状を示した。また、ブリーディングは中品質粗骨材のものが、高品質のものに比べ小さくなる傾向を示した。
- (3) 再生コンクリートの強度性状として圧縮強度、静弾性係数、ポアソン比、割裂引張強度は、粗骨材種類の影響は小さかった。
- (4) 再生コンクリートの耐久性状として長さ変化、凍結融解抵抗性は、粗骨材種類の影響は小さかった。また、中品質粗骨材を用いたコンクリートの中性化速度係数は、天然骨材のものに比べ同等かやや小さくなった。

以上、再生骨材コンクリートの適用推進を進めていく上で更なるデータの蓄積が必要と思われる。今後の利用の方向性としては、高品質再生骨材コンクリートは、設計基準強度 36N/mm²程度、又は呼び強度 45 以下のコンクリートとして、中品質再生骨材コンクリートは、土に接する部材など限定した利用が、十分な実験データから所要性能を満足することを確認した場合に高品質粗骨材と同様の使用が望ましいといえる。

謝辞

本実験は(社)建築振興協会に設置された「再生コンクリート等の実用化に関する研究委員会」(委員長：清水昭之東京理科大学教授)のご指導のもとに、(株)コマツ、(有)大東土木、太平洋コンサルタント(株)、宍戸コンクリート工業(株)、(株)ポゾリス物産ほか関係各位にご協力頂き実施することができました。ここに謝意を表します。

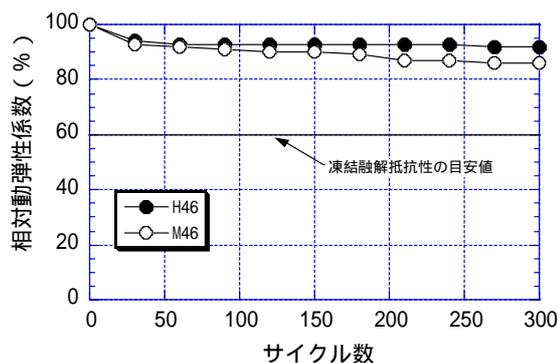


図 - 9 コンクリートの相対動弾性係数

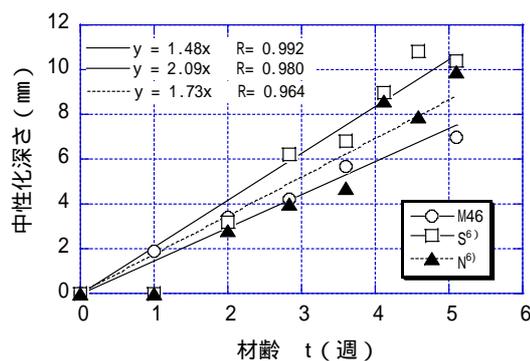


図 - 10 材齢と中性化深さの関係

参考文献

- 1) 再生骨材標準化委員会編：コンクリート用再生骨材の普及促進に関するシンポジウム，日本コンクリート工学協会，pp.131～137，2005.9
- 2) 依田和久ほか：コンクリート塊の処理速度が再生骨材の品質に及ぼす影響，日本建築学会大会学術講演梗概集 A-1，pp.139～140，2005.9
- 3) 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
- 4) 日本建築学会編：鉄筋コンクリート構造計算基準・同解説，1999
- 5) 岡田清・六車熙編：コンクリート工学ハンドブック，p.393，朝倉書店，1981
- 6) 依田和久ほか：最大寸法 40 mmの再生粗骨材を用いたコンクリートの各種性状，セメントコンクリート論文集，No.56，pp.713-719，2003
- 7) (財)国土開発技術研究センター編：再生コンクリートの利用技術の開発，平成7年度報告書，p.67，1996.3