

論文 骨材品質の異なる再生粗骨材を使用したコンクリートの性状

喜地 大輔*1・吉本 稔*2・榎木 隆*3・中沢 聡*4

要旨:解体コンクリートから再生粗骨材を製造し,再生骨材製造装置での処理回数によって,絶乾密度や吸水率の異なる再生粗骨材を得ることができた。これら再生粗骨材を使用したコンクリートのフレッシュ性状および硬化体性状は,バージン骨材(砕石)を使用したコンクリートと比較して圧縮強度や乾燥収縮などにおいてやや性能は低下する傾向が見られたが,本実験の範囲ではその程度はわずかであり,また再生粗骨材の品質が異なった場合でもその影響は小さいことが分かった。ただし,耐凍害性については性能の低下が認められ,この原因としては原コンクリートが Non-AE であるためと考えられた。

キーワード:再生骨材,再生骨材製造装置,骨材品質,コンクリート品質,耐久性

1. はじめに

近年,環境問題の進展に伴い多くの産業分野においてリサイクルに対する意識が高まってきている。特に2001年は「建設工事に係る資材の再資源化に関する法律(建設リサイクル法)」が一部において完全施行され,コンクリート塊をリサイクルする技術の確立が急務となっている。路盤材,路床材はコンクリート塊の用途先として考えられているが,他の用途先としても期待されており,今後,コンクリート塊の受入れ量には限界が生じるものと予想される。そのため,コンクリート用骨材としての再利用を拡大することが緊急の課題であり,再生骨材の品質がコンクリート性状に及ぼす影響についてのデータ蓄積が重要である。

本研究は,コンクリート塊から製造処理の程度を変えて品質の異なる再生粗骨材(骨材粒度:5~20mm)を製造し,それらを用いたコンクリートの品質を調べたものである。

2. 再生粗骨材の製造

2.1 原コンクリート

本実験で使用した原コンクリートは約40数年前に打設された擁壁である。原コンクリート

の配合推定結果およびコア強度を表-1に示す。なお,今回の配合推定については空気量を仮定して配合推定する従来の方法¹⁾に対して,見掛空気量の推定方法を工夫した文献²⁾に示される方法を採用した。

その結果によれば,原コンクリートは Non-AE コンクリートであると推定された。また,使用されていた粗骨材は最大寸法40mmの川砂利であった。

表-1 原コンクリートの配合推定・コア強度

項目	方法	結果
見掛空気量(%)	文献2)	2.2
単位水量(kg/m ³)		151
単位セメント量(kg/m ³)		337
表乾単位骨材量(kg/m ³)		1879
単体量合計(kg/m ³)		2367
水セメント比(%)		45
コア強度(N/mm ²)	JISA1107	36.5

2.2 再生骨材製造装置

今回の実験で使用した装置は,図-1に示すような中間部と排出部にコーンを装備している一軸スクリー方式であり,主として骨材同士の摩擦によって骨材表面に付着しているモルタルが除去され,再生骨材を製造する機械である(以

*1 太平洋セメント(株)中央研究所第1研究部第3グループ(正会員)

*2 太平洋セメント(株)中央研究所第1研究部第3グループ 主任研究員(正会員)

*3 太平洋セメント(株)中央研究所第1研究部第3グループ リーダー(正会員)

*4 太平洋セメント(株)技術営業部 技術グループ(正会員)

下,スクリー摩砕装置) 本体寸法は径 450mm × 長さ 2,200mm とコンパクトであり,回転数は 120rpm と比較的低速で回転している。そのため,振動,騒音,発塵が少ない。また,乾式による方法のため,排水処理の手間が掛からないなどの特徴を有する。処理能力は 30t/h である。

2.3 再生骨材の製造方法

大型重機を用いて人頭大に破砕したコンクリート塊を,鉄筋除去も可能な移動式粗砕機を用いて最大寸法 40mm 以下に粗砕した。更に,上記製造装置での処理回数によって,骨材品質の異なる再生粗骨材を製造した。

- 製造条件: 回転数 120rpm, 処理量 30t/h
- 処理回数 0 回 (以下, RG0 と記す)
- 処理回数 1 回 (以下, RG1 と記す)
- 処理回数 2 回 (以下, RG2 と記す)

3. 再生粗骨材の骨材試験結果

製造された再生粗骨材の骨材試験を JISA1110 および JISA5005 に準拠して行った。試験結果を表-2 に示す。これより,スクリー摩砕装置による処理回数の増加に伴い,製造された再生粗骨材の骨材品質は向上し, RG2 は JISA5308 付属書に規定される絶乾密度 (2.50g/cm³ 以上) および吸水率 (3.0% 以下) を満足する粗骨材であった。また,試験結果から絶乾密度が大きいほど吸水率が小さくなる傾向が認められた。更に,吸水率とモルタル付着率の関係を確認するため,吸水率試験が終了した骨材を用いてモルタル付着率³⁾を測定した。結果は図-2 に示すように,バラツキは見られるものの,吸水率の大きい骨材はモルタル付着率も大きい結果が確認された。

表-3 使用材料

種類	使用材料	摘要
セメント	高炉セメントB種	密度: 3.04g/cm ³ , 比表面積: 3750cm ² /g
細骨材	静岡県小笠産陸砂	絶乾密度: 2.56g/cm ³ , 吸水率: 1.4%, F.M.: 2.82
粗骨材 (比較用)	茨城県岩瀬産碎石	絶乾密度: 2.65g/cm ³ , 吸水率: 0.7%, F.M.: 6.98, 実積率: 59.6%
A E 減水剤	リグニンスルホン酸系	標準型
空気量調整剤	変性アクリル酸系	配合条件に合うように調整
混練水	水道水	-

4. コンクリート実験の概要

4.1 使用材料

使用材料を表-3 に示す。粗骨材として,再生粗骨材 3 種類 (表-2) と比較用の普通骨材 (碎石 2005, 記号: CS) の計 4 品種を使用した。また,セメントは標準情報 TR⁴⁾により JISR5211 に適合する高炉セメント B 種とした。

4.2 実験条件

- ・ 実験室: 温度 20 , R.H.80%
- ・ 使用ミキサ: 強制 2 軸 60L
- ・ 混練量: 40L

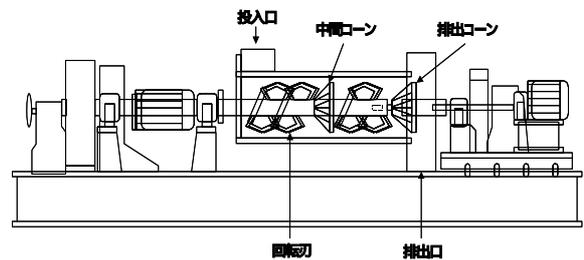


図-1 再生骨材製造装置

表-2 骨材試験結果

試験項目	試験結果		
	RG0	RG1	RG2
絶乾密度 (g/cm ³)	2.36	2.43	2.51
吸水率 (%)	4.7	3.5	2.5
微粉分量 (%)	3.5	1.4	0.7
粒形判定実積率 (%)	57.9	63.0	63.2
粗粒率 (%)	6.69	6.81	6.87

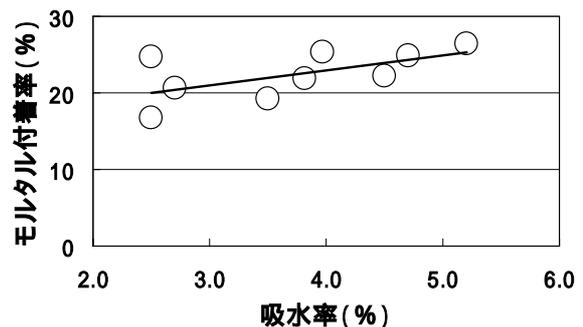


図-2 吸水率とモルタル付着率の関係

4.3 試験項目と試験方法

本実験の試験項目および試験方法を表-4 に示す。

4.4 コンクリートの配合条件

コンクリートの配合条件は、W/C：50%，スランプ：18±2.5cm，空気量：4.5±1.5%，および単位粗骨材かさ容積：0.66m³/m³とした。

5. コンクリートの配合

配合を表-5 に示す。CS と比較して、RG0 では単位水量が 6kg 増加し、RG1 および RG2 では 2kg 減少した。これは、スクリー摩砕装置によって骨材に付着していたモルタルが除去されたことにより粗骨材形状が改善されたためである。なお、処理回数を 1 回から 2 回に増やした場合でも単位水量に変化は見られず、粗骨材の形状改善について言えば、処理回数 1 回でも十分なことが推察される。このことは、表-2 に示した粒形判定実積率の結果からも明らかである。

6. フレッシュコンクリート

6.1 スランプおよび空気量の経時変化

排出直後から 10 分毎に 30 分までの各時間におけるスランプおよび空気量を測定した。試料は測定時間まで静置し、測定前にスコップで攪拌した。結果は図-3 に示すように、再生粗骨材を使用したコンクリートは経過時間 20 分頃からスランプの低下が CS を使用したコンクリートよりも大きくなり、その傾向は処理回数 0 回（吸水率 4.70%）の RG0 において顕著であった。一般に再生骨材を使用したコンクリートの流動性の経時変化は、普通骨材を使用したコンクリートと大差ないと言われている⁶⁾が、本実験では傾

向が異なった。この理由としては、再生粗骨材使用前のプレウェッチングの程度、練り上がり時のスランプの差、配合条件（s/a の差）による影響などが考えられる。また同時に測定した空気量の経時変化は、粗骨材種類にかかわらずほぼ同程度であった。

表-4 試験項目と試験方法

	試験項目	試験方法	試験材齢
フレッシュ性状	経時変化	JISA1101, JISA1128	-
	ブリーディング	JISA1123	-
力学特性	圧縮強度	JISA1108	7日, 28日
	引張強度	JISA1113	28日
	曲げ強度	JISA1106	7日, 28日
	静弾性係数	JISA1149	7日, 28日
耐久性	凍結融解耐抵抗性	JISA1148 (A法)	-
	乾燥収縮	JISA1129	-
	促進中性化	文庫5)	-

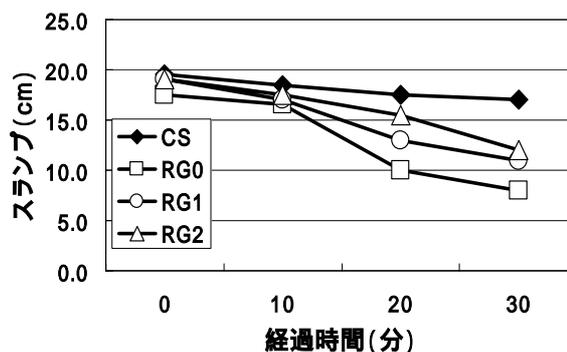


図-3 スランプの経時変化

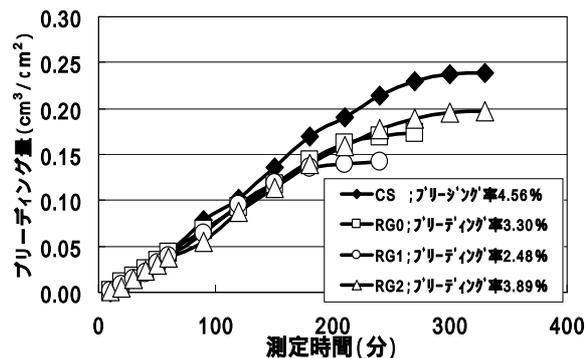


図-4 ブリーディング試験

表-5 コンクリートの配合

使用粗骨材	W/C (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m ³)				AE減水剤 (C×%)	スランプ (cm)	空気量 (%)
			水	セメント	細骨材	粗骨材			
CS	50	42.3	164	328	752	1043	0.25	19.0	4.8
RG0		45.7	170	340	757	937		17.5	4.5
RG1		39.5	162	324	706	1038		18.5	4.6
RG2		39.4	162	324	703	1069		18.0	4.6

6.2 プリーディング試験

結果は図-4 に示すように、再生骨材を使用したコンクリートのプリーディング率は、CS を使用したコンクリートよりも小さく、単位水量が CS よりも大きい RG0 においてもその傾向は同じであった。これは再生骨材に付着しているモルタルや微粉の保水効果によるものと考えられる。

7. 力学特性

7.1 圧縮強度

結果は図-5 に示すように、再生骨材を使用したコンクリートは、材齢 7 日では CS とほぼ等しいかやや大きい値を示したが、材齢 28 日では CS よりもやや小さい傾向が確認され、既往文献⁶⁾と同様であった。骨材品質別に見ると、処理回数が多く、モルタル付着率や吸水率の小さい再生骨材では CS との差がやや大きくなる傾向が見られた。これは処理回数の多い再生骨材ほど骨材に付着していたモルタルが少ないため、骨材形状が原コンクリートに使用されていた川砂利に近づき、骨材とモルタルとの付着が小さくなったため圧縮強度が低下したと推察される。

7.2 引張強度

圧縮強度と引張強度の関係を図-6 に示す。

引張強度は圧縮強度よりも骨材の影響が大きく、石質が弱いと圧縮強度に対する引張強度の比率は小さくなる傾向にある。

再生骨材を使用したコンクリートの引張強度は CS を使用したコンクリートより若干小さいが、圧縮強度の 1/10 ~ 1/13 の範囲であり、普通コンクリートと同傾向であった。また、再生骨材の品質による影響はさほど認められなかった。

7.3 曲げ強度

圧縮強度と曲げ強度の関係を図-7 に示す。材齢によらず、再生骨材を使用したコンクリートの曲げ強度は CS を使用したコンクリートより若干小さいが、圧縮強度の 1/5 ~ 1/8 の範囲であり、普通コンクリートと同傾向であった。

また、再生骨材の品質による影響はさほど認められなかった。

7.4 静弾性係数

圧縮強度と静弾性係数の関係を図-8 に示す。再生粗骨材の場合、粒子表面にモルタルが付着しており、一般にその弾性係数は原骨材の弾性係数より低いため、良質な粗骨材を使用した場合より低くなると考えられる。本実験においては、概して骨材品質による差は小さいが、材齢 28 日について詳細に見れば、CS に比べて RG0 および RG1 がやや小さい結果が認められ、上記傾向と一致していた。

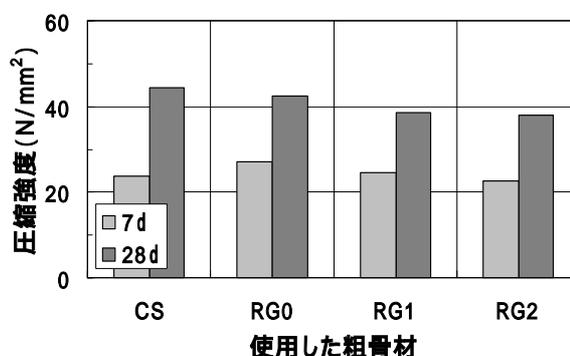


図-5 圧縮強度

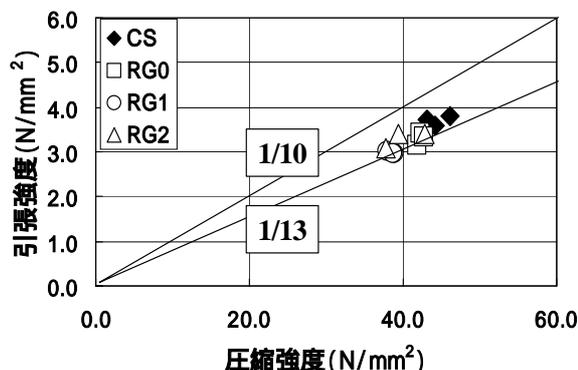


図-6 圧縮強度と引張強度の関係

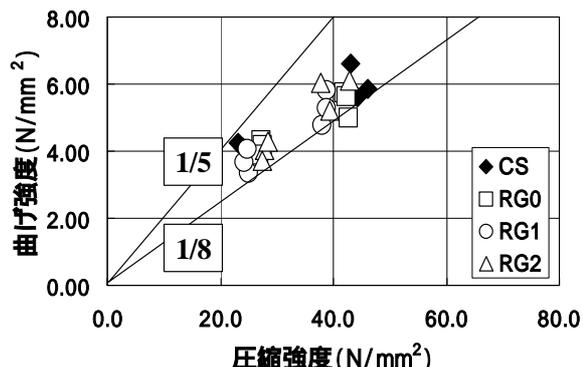


図-7 圧縮強度と曲げ強度の関係

8. 耐久性

8.1 凍結融解抵抗性

相対動弾性係数および質量減少率の結果を図-9 および図-10 にそれぞれ示す。

本実験の結果では、再生骨材を使用したコンクリートは粗骨材の吸水率が 3.0%以下 (2.5%) の RG2 の場合においても、相対動弾性係数は 210 サイクル付近から低下し始め、300 サイクルでは相対動弾性係数が 60% を僅かに下回る結果となった。低下の状況は粗骨材吸水率 3.5% の RG1 とほぼ同様であった。また、粗骨材吸水率 4.7% の RG0 の低下は RG1 および RG2 よりも大きくなった。これは本実験に用いた再生粗骨材が Non-AE コンクリートから製造されたものであることによる⁷⁾と考えられる。今後、原コンクリートの性状や再生骨材の品質が凍結融解抵抗性に及ぼす影響については更に検討を行っていく必要があると思われる。

一方、質量減少率は CS を含めて使用粗骨材の品質によらず同程度であった。

8.2 乾燥収縮

長さ変化および質量減少率を図-11 および図-12 にそれぞれ示す。

再生骨材を使用したコンクリートは、CS を使用したコンクリートに比べて乾燥収縮が若干大きくなった。その程度は処理回数が少なく、即ちモルタル付着量が多く、吸水率が大きいほど大きくなった。なお、同時に測定している質量減少率についても乾燥収縮と対応し、モルタル付着量が多く吸水率が大きいほどその結果が大きくなった。

8.3 促進中性化

促進中性化試験の結果を図-13 示す。

再生粗骨材を使用したコンクリートに関する中性化については、種々の研究^{6,7)}が成されているが、本実験では、骨材品質にかかわらず CS を使用したコンクリートとほぼ変わらない中性化深さを示した。

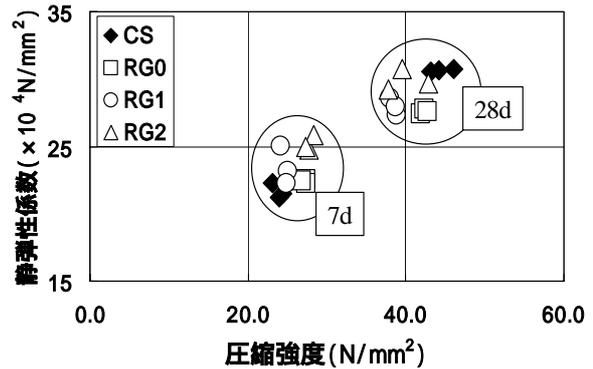


図-8 圧縮強度と静弾性係数の関係

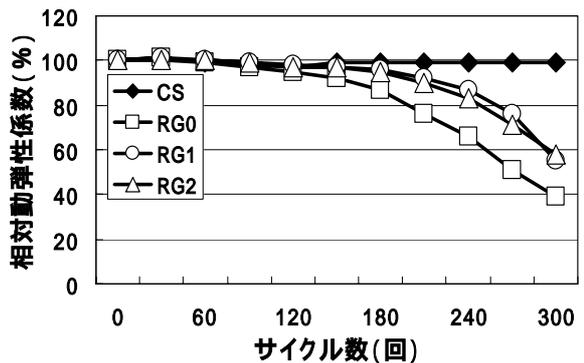


図-9 凍結融解試験結果 (相対動弾性係数)

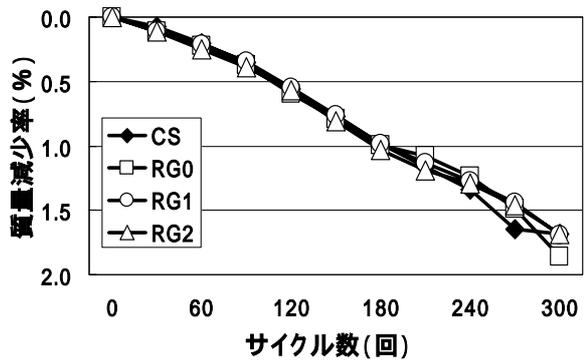


図-10 凍結融解試験結果 (質量減少率)

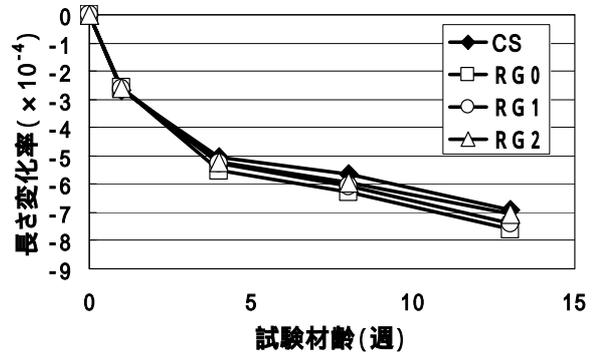


図-11 乾燥収縮試験結果 (長さ変化率)

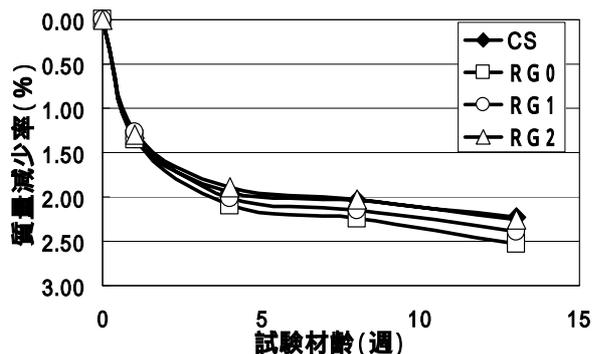


図-12 乾燥収縮試験結果（質量減少率）

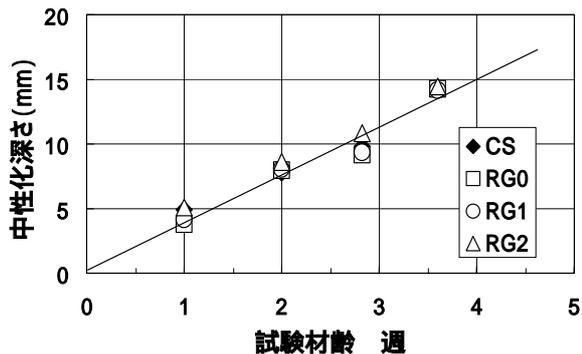


図-13 促進中性化試験結果

9. まとめ

スクリー摩砕装置を用い、処理回数を増やすことによって再生粗骨材のモルタル付着率および吸水率が減少し、絶乾密度は増大した。本実験では、2 回処理を行うことにより、絶乾密度 2.50g/cm^3 以上、吸水率 3.0% 以下の品質を有する再生粗骨材を製造することができた。得られた再生粗骨材を用いたコンクリートの性状をまとめると以下のとおりである。

- (1) 同スランプを得るための単位水量は、摩砕処理により減少し、処理回数 1 回で十分な効果が得られた。スランプの経時変化は、処理回数が少なく、再生粗骨材の吸水率が大きい場合にやや増大した。
- (2) 圧縮強度は、処理回数の増大に伴いやや低下した。また、弾性係数は処理回数が少なく骨材に付着しているモルタル量が多いほど若干小さくなる傾向が見られた。
- (3) 吸水率が JIS 規格を満足する再生粗骨材であっても、耐凍害性は低下する結果となった。これは、原コンクリートが Non-AE コンクリートであったためと考えられた。
- (4) 乾燥収縮は処理回数が少なく、再生粗骨材の吸水率が大きいほどやや増大した。また、中性化速度は処理回数にかかわらず砕石を用いた場合と同程度であった。

10. おわりに

原コンクリートに使用されている粗骨材が砕石の場合や骨材の最大寸法が異なる点、また強

度レベルや空気量などが、再生骨材の製造や骨材品質、および再生コンクリートの性状、特に各種耐久性について与える影響については更なる検討とデータの蓄積が必要であると考えられる。

参考文献

- 1) 硬化コンクリートの配合推定に関する共同試験報告，セメント協会コンクリート専門委員会，F-18
- 2) 石川陽一：硬化コンクリートの配合推定の精度向上に関する 2, 3 の考察，第 56 回セメント技術大会講演要旨，pp.116-117，2002
- 3) 立屋敷久志ほか：解体コンクリートからの高品質再生骨材の回収試験，コンクリート工学次論文報告集，Vol.22，No.2，pp.1099-1104，2000
- 4) 標準情報 TRA0006²⁰⁰⁰：再生骨材を用いたコンクリート
- 5) 高耐久性鉄筋コンクリート造設計施工指針（案）・同解説，日本建築学会
- 6) 笠井芳夫ほか：再生コンクリートの諸物性に関する実験的研究，セメント・コンクリート論文集，No.50，pp.802-807，1996
- 7) 長瀧重義ほか：ライフサイクルを考慮した建設材料の新しいリサイクル方法の開発，日本学術振興会未来開拓学術研究推進事業研究成果報告書，2001.4，pp100-114