

論文 再生骨材の緑化コンクリートへの利用に関する研究

月岡 存^{*1}・牧 和雅^{*2}

要旨：コンクリート解体材から得られたがら（再生骨材）を緑化コンクリートへ利用することを目指した。その内容は，再生骨材を用いたポーラスコンクリートの性質およびこれを植生基盤として用いた芝の生育に関する 2 種類の室内実験である。その結果，ポーラスコンクリートの性質に及ぼすコンクリートの配合と締固め方法の影響，および，再生骨材を用いたポーラスコンクリートを植生基盤とした芝の生育が可能であったことについて述べ，再生骨材が緑化コンクリート用材料として利用できる可能性のあることを明らかにした。

キーワード：建設廃棄物，再生骨材，ポーラスコンクリート，緑化コンクリート

1. はじめに

現在，わが国では発生する建設廃棄物の量が膨大となっており，社会問題化されるとともに，それらを有効に利用することが強く望まれている。建設廃棄物のうち，コンクリート塊については，道路用の再生路盤材としての利用が多くなされてきたが，路盤材を大量に使用する新設工事が少なくなっている。また，コンクリート塊を本来のリサイクルであるコンクリート用の再生骨材としての利用が期待され，これまでに多くの研究や試みが行われている。しかしながら，おもに骨材表面に付着しているモルタルによる骨材としての品質の問題や，所定の品質を満足するためには数回の破砕処理工程を必要とするために経済性等の問題がある¹⁾。

一方，河川の護岸工事等では，環境に配慮した構造物や施工が求められることが多くなってきた。このような要求を満たすコンクリート技術として緑化コンクリートが注目されている。緑化コンクリートには，透水性などの植生機能と一定の力学的性質を備えたポーラスコンクリートが用いられる。骨材としては単粒度の碎石を用いることが多く，コンクリートは連続した空隙を保有し，空隙率 20～30%，圧縮強度 10～20N/mm² 程度のものが使用されることが多い²⁾。

そこで，本実験研究では，コンクリート解体材から得られたがら（再生骨材）を緑化用ポーラスコンクリートの材料として用いることを目

指し，その可能性を明らかにしようとした。ここで，再生骨材を用いたのは，資源の有効利用とともに緑化コンクリートが比較的大きな強度を必要としないためである。再生骨材をポーラスコンクリート用材料として用いた研究は少ないようであるが，次のものが挙げられる。添田ら³⁾ならびに黒田ら⁴⁾は，6号または5号再生骨材を用いたポーラスコンクリートへの植生が可能であったことを報告している。石黒ら⁵⁾は，再生骨材の品質がポーラスコンクリートの性質に及ぼす影響について述べている。また，筆者⁶⁾は，本報と同じ再生骨材を用いたポーラスコンクリートが，空隙率と圧縮強度の点から植生用として使用できる可能性のあることを報告した。

2. 再生骨材を用いたポーラスコンクリートの性質

2.1 使用材料

セメントは普通ポルトランドセメント（密度：3.16g/cm³）を使用した。骨材は，建設廃

表 - 1 骨材試験の結果

骨 材 の 種 類	表乾密度 (g/cm ³)	吸水率 (%)	単位体積 質量(kg/L)	実 績 率(%)
再 生	2.42	4.59	1.303	56.3
砕 石	2.87	0.88	1.698	59.5

*1 三重大学教授 生物資源学部共生環境学科 農博（正会員）

*2 三重大学大学院生 生物資源学研究科生物生産工学専攻

表 - 2 ポーラスコンクリートの種類と配合

配合 No	骨 材 の 種 類	水セメン ト比 (%)	フ ^ロ -スト フロー 値	ペ ^ス -スト 充填率 (%)	単 位 量 (kg/m ³)			
					水 W	セメント C	粗骨材 G	混和剤 A
1	再 生	25	200	40	77	308	1363	2.58
2	再 生	25	160	50	97	388	1363	1.94
3	再 生	25	200	50	97	388	1363	3.18
4	再 生	25	250	50	97	388	1363	5.28
5	再 生	25	200	60	116	464	1363	3.80
6	再 生	35	200	50	115	329	1363	0.08
7	砕 石	25	200	50	90	360	1709	2.95
8	再 生	25	200	50	97	360	1324	3.18

* 骨材は表面乾燥飽水状態、ただし、No.8 のみ気乾状態（含水率 2.84 %）

棄物処理場で 40mm 以下の大きさに破碎したコンクリート解体材（再生クラッシャラン RC-40 に相当）を、網ふるいを用いて粒径 10～25mm の範囲とした再生骨材を用いた。なお、解体材には、コンクリート以外にアスファルト、気泡コンクリートおよびかわら屑等が少量混入していた。また、比較のため、同粒径範囲（10～25mm）でコンクリート用骨材としては良質の安山岩碎石も使用した。これらの骨材試験結果を表 - 1 に示したが、再生骨材は碎石と比べて、とくに吸水率が大きく、単位容積質量が小さい。混和剤としては、高性能 AE 減水剤（標準形 種）を用いた。

2.2 ポーラスコンクリートの種類と配合

ポーラスコンクリートの種類および配合を表 - 2 に示す。セメントペーストの水セメント比が 25%，フロー値 200，ペースト充填率 50% である配合 No.3 のコンクリートを基準とし、セメントペーストの充填率ならびにフロー値、水セメント比、使用骨材の種類とその含水状態の異なる配合とした。ここで、セメントペーストのフロー値は JIS R 5201 に基づき試験により決定した。また、ペースト充填率とは、骨材の実績率試験（JIS A 1104）における空隙部分の体積に対する充填するセメントペーストの体積の割合（%）である。

2.3 実験方法

コンクリートは強制練りミキサを使用して練り混ぜ、直径 10cm、高さ 20cm の供試体（各条件ごとに 5 個）をテーブル型パイププレートま

たは棒突き（Φ16mm の丸鋼使用）により、おのおの 2 層で締め固めて作製した。コンクリート供試体の圧縮強度試験は、供試体の上下面にキャッピングを施し、JIS A 1108 に基づいて標準養生後材齢 28 日で行った。コンクリートの空隙の測定は、ポーラスコンクリートの物性試験方法（案）⁷⁾ による容積法で行った。また、空隙率を測定した供試体を用いて、定水位透水試験器（水位差 5 cm）による透水係数の測定（同試験方法案による）を実施した。

2.4 実験結果および考察

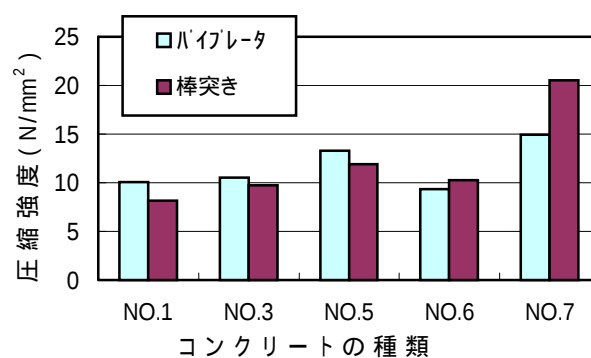


図 - 1 締め固め方法と圧縮強度

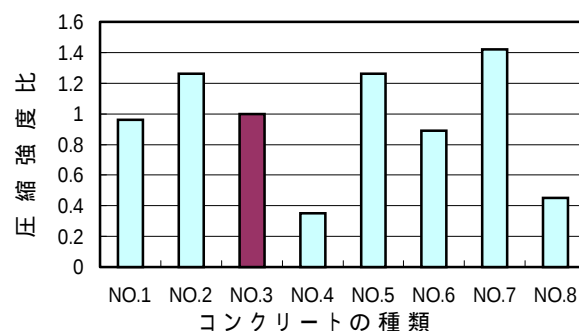


図 - 2 圧縮強度比

(1) 圧縮強度と圧縮強度比

図 - 1 は、セメントペーストのフロー値が 200 と一定の場合、締め固め方法の違いがポラスコンクリートの圧縮強度の大きさに及ぼす影響を示したものである。再生骨材を使用した No. 1, 3, 5 のコンクリートでは、棒突きよりバイブレータで締め固めた供試体の方が圧縮強度が大きかったのに対し、砕石を用いた No. 7 では棒突きの方が大きくなった。この原因としては、使用した砕石が再生骨材と比較して、表面が滑らかであることと密度が大きいために、バイブレータ使用による材料（セメントペースト）の分離が影響したものと供試体の断面観察の結果から考えられた。したがって、バイブレータを用いて締め固める場合には、締め固め時間を適切に決める必要があるといえる。なお、基準とした No. 3 のコンクリートの圧縮強度の大きさは、ほぼ 10 N/mm^2 であり、河川の護岸等における植生用に要求されるといわれるポラスコンクリートの圧縮強度の大きさに等しい。

図 - 2 は、基準とする No. 3 のポラスコンクリートの圧縮強度を 1 とした場合の、各コンクリートの強度比を示したものである。圧縮強度比は 0.35 から 1.42 までとコンクリートの種類により大きな差が見られるが、これらを要因別に検討してみる。

図 - 3 は、セメントペーストの水セメント比（25%）とフロー値（200）が等しく、ペースト充填率の異なるコンクリートで比較したものである。当然のことながら、セメントペースト充填率の大きいほど圧縮強度は大きくなり、ペースト充填率が 20% 違うと圧縮強度に約 3.5 N/mm^2 の差が見られる。

図 - 4 は、同様に、セメントペーストの水セメント比（25%）と充填率（50%）が等しく、ペーストのフロー値が異なる場合である。フロー値が大きくなると圧縮強度が小さくなり、とくに、フロー値 250 の場合は強度低下が大きい。この原因は、供試体作製時の締め固めにより、セメントペーストが沈下し、材料の分離が生じたためである。このことは、供試体の断面観察で確認された。なお、最大の圧縮強度が得られるセメントペーストのフロー値は、図 - 4 からフロー値 160 前後にあると思われるので、

今後、フロー値をこの範囲で変化させた供試体を作製し、試験により確かめたい。

図 - 5 は、その他の要因が圧縮強度に及ぼす影響をみるために、基準コンクリート（No. 3）と比較したものである。水セメント比が基準コンクリートの 25% に対し、35% と大きくなっても圧縮強度の低下は 1 割程度であり、その差は小さい。これは既報⁶⁾の場合（ $W/C=22 \sim 30\%$ ）と同じ傾向であり、水セメント比の違いがポラスコンクリートの圧縮強度に及ぼす影響は比較的小さいといえる。次に、再生骨材の代わりに砕石を使用した場合は、圧縮強度が

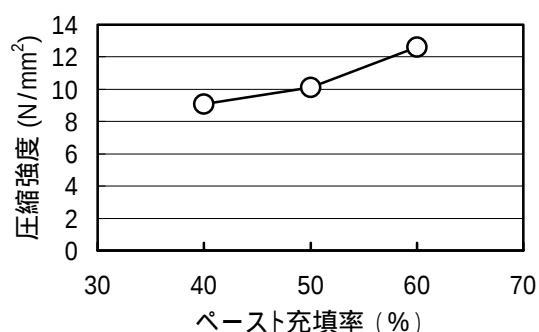


図 - 3 ペースト充填率と圧縮強度

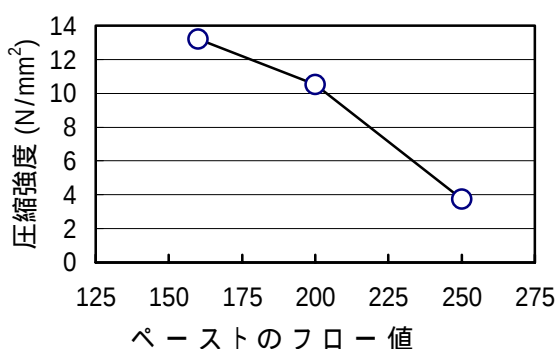


図 - 4 ペーストのフロー値と圧縮強度

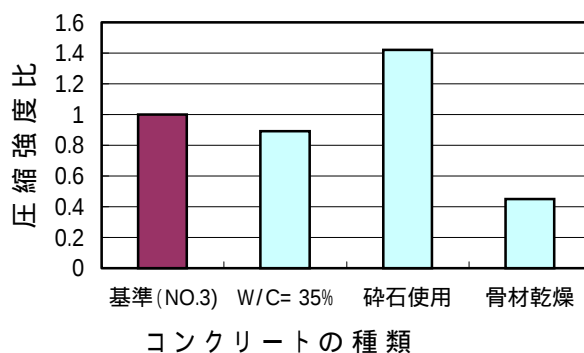


図 - 5 配合要因と圧縮強度比

4割程度大きくなった。これは、前述のように、本実験で使用した再生骨材が、破碎処理工程の少ない骨材であることおよび再生骨材以外の不純物を含んでいるためであると考えられる。また、再生骨材を気乾状態（含水率 2.84%）で使ったところ、図のように圧縮強度比が 0.45 と非常に小さくなった。この原因は、再生骨材は吸水率が大きいため、セメントペースト中の水和に必要な水分を骨材が吸収してしまったためであるからと思われる。

(2) 空隙率と透水係数

図 - 6 は、ポーラスコンクリートの全空隙率と連続空隙率の値の関係を示したものである。両者の間には、コンクリートの配合や締固め方法に関係なく、非常に高い相関関係（相関係数 $r = 0.998$ ）があり 1 次式で近似され、植生に重要な役割をもつ連続空隙率は全空隙率の平均で 93% であった。また、空隙率の値については、植生に必要とされる 20% 以上を全てのコンクリートが満たしている。

図 - 7 より、連続空隙率と透水係数の間にも高い相関性（ $r = 0.937$ ）があることがわかる。空隙率は供試体の平均的な空隙の割合を示すものである。これに対して、透水係数は水平方向の供試体断面（円形）を考えた場合、空隙の最

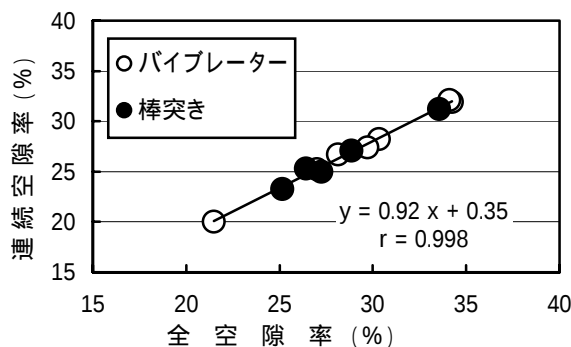


図 - 6 全空隙率と連続空隙率の関係

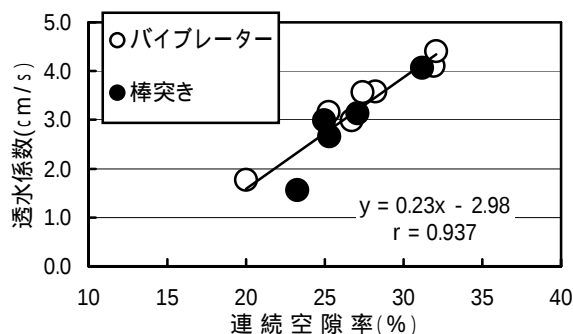


図 - 7 連続空隙率と透水係数の関係

も小さい断面に大きく左右されるものと思われる。このことから、材料の分離が少ない均一な供試体の場合ほど、両者の相関性が高くなると考えられる。

3. ポーラスコンクリートを植生基盤とした芝の生育実験

3.1 植生基盤および芝の種類

植生基盤として用いたポーラスコンクリートの種類は、セメントペーストのフロー値が 200 である配合 No. 1, 3, 5, 7 の 4 種類であり、これらのコンクリートの連続空隙率は、約 23 ~ 31% の範囲の大きさであった。植生基盤用のポーラスコンクリートは、直径 16cm、厚さ約 8cm で、コンクリートからのアルカリ分の溶出を考慮して材齢 28 日まで水中養生したものを用いた。

植生用の芝は、いずれもイネ科草である 1 年生のイタリアンライグラスと多年生のトールフェスクおよびハイランドの 3 種類であり、主な性質は次のようである。イタリアンライグラスは牧草として世界各地で栽培されており、土壌条件が良いと生育が早い。トールフェスクはアルカリ土壌にでもよく生育し、緑化用としても利用される。ハイランドは比較的やせた土地あるいは日陰地でもよく生育する。植生には、市販のポット（内径 16cm、高さ 20cm）と培養土（草花用、pH=6.7）を用いた。

3.2 実験方法

植生用ポットの底から順番に、碎石（厚さ 2.5cm）、培養土（同 5.0cm）、培養土を充填させたポーラスコンクリート（同 8.0cm）を詰め、その上に芝の種を混ぜ込んだ培養土（覆土厚 2.0cm）を入れることにより播種を行った。この際、植生ポット 1 個当たりの播種量は全て同一とし、また、比較のためにポーラスコンクリートを入れない土壌（培養土）のみの植生ポットも準備した。播種後、室温を 15 ~ 20 に設定し、午前中ガラス越しに太陽が当たる窓際の室内に植生ポットを置いた。適宜、ポットの上から散水して生育状況を観察するとともに、2 週間ごとに芝の生育長さを播種後 20 週目まで測定した。なお、播種後 4 週間目に少量（1 ポット当たり 4g）の化成肥料を与えた。また、

約5カ月経過後、植生ポット内のポーラスコンクリートおよび培養土を切断して、植生ポット内の芝の根の状態を観察した。

3.3 実験結果および考察

図-8, 9, 10は、それぞれ、3種類の芝の生育長さの測定値を示したものである。3種類の芝とも、播種後1週間以内に発芽した。播種後2週間から6週間頃の生長は比較的小さいが、その理由として、この期間は芝の根が覆土内からポーラスコンクリート内部へ進入しているためであると考えられる。播種後6～10週間頃に、芝の生長が大きいのは、芝の根がポーラスコンクリート内部を通過し、下部の培養土に達したためであると思われる。いずれの芝とも、播種後およそ12週間以後の生長は少なかったが、芝の密生度は増加しているようであった。

芝の種類別でみると、イタリアンライグラスは他の2種類の芝より生育長さが大きく、生長速度が比較的一定である。また、播種後5カ月以後に花と種子の形成が見られた。トールフェスクとハイランドは播種後初期の生育長さに差が見られるが、よく似た生育傾向であった。

次に、ポーラスコンクリートの植生基盤別に比較すると、芝の生育長さは、わずかに No.7 > No.1 > No.3 > No.5 の傾向が見られ、砕石使用、セメントペースト充填率の小さい順である。また、予想に反して、土壌のみのポットを用いた芝の生育長さが、ポーラスコンクリートを用いた場合とほとんど変わらなかったのは、使用した培養土の空隙および透水性が大きいため、水分不足が原因ではないかと考えられる。なお、芝の生育状況の観察でも、生育本数、色つや等に植生基盤の違いの影響は見られなかった。

播種後、約5カ月経過後のポット内部における芝の根の観察では、3種類の芝ともに、再生

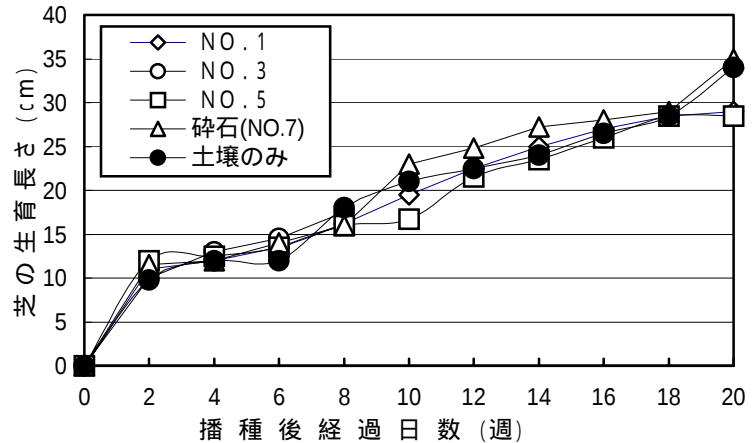


図-8 イタリアンライグラスの生育長さ

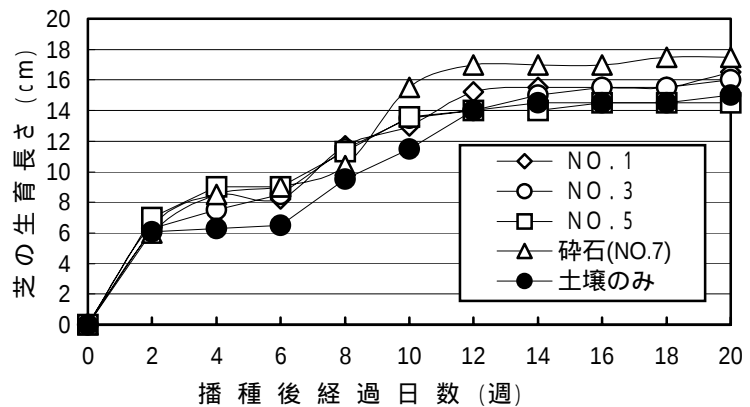


図-9 トールフェスクの生育長さ

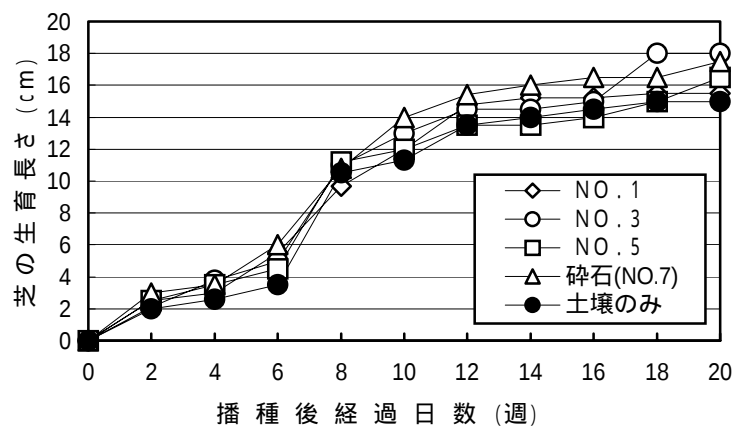


図-10 ハイランドの生育長さ

骨材または砕石使用のポーラスコンクリート内部の空隙を通り、下部の培養土まで深く達していることが確認できた。また、表層客土(覆土)内部には、いずれの芝も根が充満していた。しかしながら、ポーラスコンクリート側部の周辺と植生ポットとの間の隙間を通り、下部の培養

土に達している根も多く観察された。

4. まとめ

コンクリート解体材（再生クラッシャーラン RC-40 相当）をふるい分けた再生骨材を用いて、ポーラスコンクリートの性質とそれを植生基盤とする芝の生育に関する実験を行った。本研究で得られた結果を要約すると以下の通りである。

- (1) ポーラスコンクリートの締固め方法（バイブレータと棒突き方法）が圧縮強度に及ぼす影響は、コンクリートの種類と配合により異なるため、とくに、バイブレータ使用では適度な締固めが必要であると思われた。
- (2) ポーラスコンクリートの種類と配合が圧縮強度の大きさに関係し、とくに、セメントペーストのフロー値と使用再生骨材の水分状態の影響が大であった。
- (3) ポーラスコンクリートの種類や配合に関係なく、連続空隙率は全空隙率のおよそ 93% であった。
- (4) ポーラスコンクリートの連続空隙率と透水係数は相関性が高く、その関係が直線式で表わされた。
- (5) 3 種類の芝を用いた植生実験により、再生骨材を用いたポーラスコンクリートでも、砕石使用と同様に、植生が可能であった。

本実験により、再生骨材を使用したポーラスコンクリートは、良質の砕石使用と比較すると圧縮強度の点では劣るが、植生基盤用としての可能性のあることがわかった。今後は、屋外における自然環境下での植生試験やコンクリート基盤の厚さなどが植生に及ぼす影響に関する検討をしたいと考えている。

謝辞 本研究は、三重県科学技術振興センターおよび平成 12 年度文部省科学研究費（課題番号 11559009 研究代表者三重大学工学部畑中重光教授）の補助金を受けて行ったものである。

参考文献

- 1) コンクリート工学編集委員会：コンクリートのリサイクル, コンクリート工学, Vol.35,

No.7, pp.3-86, 1997.7

- 2) 柳橋邦生：植生型エココンクリート, コンクリート工学, Vol.36, No.3, pp.28-31, 1998.3
- 3) 添田政司, 大和竹史, 江本幸雄：ポーラスコンクリートへの再生骨材の適用性に関する実験的研究, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.20, No.2, pp.1117-1122, 1998
- 4) 黒田 保, 井上正一ほか：再生骨材の緑化コンクリートへの適用性, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.21, No1, pp.181-186, 1999
- 5) 石黒 哲, 湯浅幸久, 畑中重光：再生骨材を使用したポーラスコンクリートに及ぼす骨材品質の影響, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.22, No.2, pp.1225-1230, 2000
- 6) 月岡 存：コンクリート解体材を用いたポーラスコンクリートの性質, 平成 12 年度農業土木学会大会講演集, pp.582-583, 2000
- 7) 岡本享久, 安田 登ほか：ポーラスコンクリートの製造・物性・試験方法, コンクリート工学, Vol.36, No.3, pp.52-62, 1998