

リサイクル型大粒径ポーラスコンクリートの製造・施工に関する 基礎的研究

- 建設廃材リサイクル技術研究開発事業 -

湯浅幸久* , 前川明弘* , 村上和美* , 三島直生** , 畑中重光**

Fundamental Study on Manufacture of Large Particle Porous Concrete Using Concrete Rubble

by Yukihiisa YUASA, Akihiro MAEGAWA, Kazumi MURAKAMI, Naoki MISHIMA
and Shigemitsu HATANAKA

We examined manufacturing technique of large particle porous concrete that was manufactured by spraying cement mortar to used concrete rubble. In this report, the relationship between the flow value when mortar was sprayed to used column type test sample and bonded property was examined. As a result, it was confirmed that bonded property increase when use of mortar of small flow value. Moreover, large particle porous concrete manufactured by concrete rubble have void ratio of 20-30% and strength that can be transported was secured.

Key words: Concrete rubble, Large particle porous concrete, Spraying, Bonded property

1. はじめに

ポーラスコンクリートは、近年、環境負荷低減型および自然共生型コンクリートとして注目され、植生ブロックや透水性舗装など広範囲な分野で利用が可能な極めて有用な材料である¹⁾。

著者らは、ポ - ラスコンクリートの適用範囲を大幅に拡大させることを目的として、粒径100 ~ 400mm程度の粗骨材を使用した大粒径ポーラスコンクリートの製造と、魚礁への適応性に関する検討を進めている²⁾。

さらに、粗骨材として産業廃棄物であるコンクリートがらを粗割りの状態で使用することができればリサイクル型大粒径ポーラスコンクリートとなり、コンクリートがらの新しい有効活用方法が提案できる。

大粒径ポ - ラスコンクリートの製造における課題は、粗骨材が大粒径であるため、ミキサの練混ぜによる製造が不可能なことである。本研究では、新たな製造手法として高強度結合材モルタルを粗骨材（コンクリートがら）に吹き付けることにより、一体化させる手法について検討した。

吹付けによる製造方法では、表1に示すように、大粒径ポーラスコンクリートに必要な強度 および空隙特性を得るためには、粗骨材粒子表面における吹付けモルタルの付着厚さの制御が重要となる。

本報では、強度に関する検討をおこなう前段階として、モデル供試体を用いた吹付けモルタルと付着厚さの関係に関する基礎的実験と、実際のコンクリートがらを用いた大型供試体を試験的に作製することで得られた結合材の付着状態や空隙の形成状態などの結果について報告する。

* 材料技術グループ

** 三重大学工学部建築学科

表1 大粒径ポーラスコンクリート(POC)に必要と考えられる要求性能

	強度面	空隙面	その他
大粒径POCの要求性能	<ul style="list-style-type: none"> 運搬、設置時に破壊しない 海水の浸食作用などによる強度低下を生じない 長期的に強度が維持できる 	<ul style="list-style-type: none"> 対象生物にあわせた空隙径の制御が可能である (一例:伊勢エビの場合、30~50mm, 50~100mm, 100~150mmの3段階) 魚礁などに必要な空隙率を有している 	<ul style="list-style-type: none"> 重金属など環境に有害な物質を溶出しない 低コスト、施工が容易である 効率的生産が可能である 潮流に対する抵抗性をもつ 品質評価方法が確立できる
使用する結合材の要求性能	<ul style="list-style-type: none"> コンクリートがらに対する付着強度が確保できる がらの一体化に必要な結合材の膜厚下限値を確保できる 大粒径POCを維持できる圧縮、曲げなどの強度を有する 	<ul style="list-style-type: none"> 所要の空隙径が確保できる結合材の膜厚上限値を超えない (吹付けによる、空隙部分の 	<ul style="list-style-type: none"> 一定時間、経時変化が生じない 吹付けが可能である 付着率が高く、無駄が生じにくい 品質評価方法が確立できる

表2 吹付けモルタルの使用材料

セメント	普通ポルトランドセメント 密度:3.17g/cm ³ 比表面積:3270cm ³ /g
細骨材	産地:三重県榑田川流域 表乾密度:2.61g/cm ³ 吸水率:1.48% 粗粒率:2.84
水	水道水
混和剤	ポリカルボン酸系高性能AE減水剤

表3 吹付けモルタルの物性値

W/C	s/m	SP/C	FL(mm)*		密度 (g/cm ³)	圧縮強度** (N/mm ²)
			目標値	実測値		
0.22	0.35	1.0	200	194	2.40	123.0
			200	196	2.29	104.3
0.25	0.35	0.5	150	157	2.35	115.0
			200	196	2.35	117.9
			250	249	2.35	121.8
			300	290	2.35	123.7
			200	196	2.41	116.2
0.28	0.35	0.4	200	195	2.31	112.4

*JIS R 5201に準拠, **材令28日

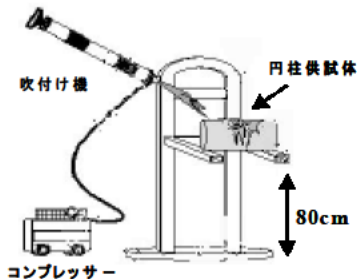


図1 吹付け実験の概要

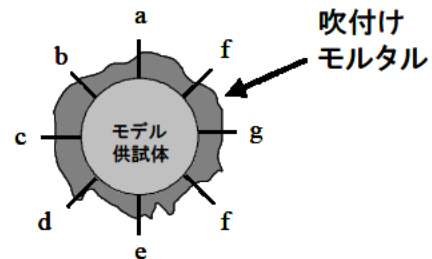


図2 モデル供試体の付着厚さ測定位置

2. 実験概要

2.1 吹付けモルタルの使用材料および製造条件

吹付けモルタルの使用材料を表2に、物性値を表3に示す。吹付けモルタルの調合は、水セメント比W/C(重量比)=0.22, 0.25, 0.28, 細骨材モルタル容積比s/m=0.20, 0.35, 0.50とした。吹付けモルタルのフロー値(以下、FLとする)は高性能AE減水剤のセメントに対する添加率SP/Cを変化させて調整した。吹付けモルタルは、容量30リットルのオムニミキサを使用し、セメントと表乾状態にした細骨材をミキサ内に投入後に加水し、混練初期の粉体の飛散を防止するため、まず100rpmの低速回転で30秒間混合し、次に、200rpmの高速回

転で240秒間練り混ぜて製造した。

2.2 モデル供試体による付着厚さ試験

吹付けモルタルのコンクリートがらに対する付着特性の把握は、コンクリートがらの形状が全て異なるためその評価が非常に難しい。

本研究では既報³⁾で実施した手法を採用し、表面乾燥状態にしたφ12.5cm、高さ25.0cmの圧縮試験用円柱供試体をモデル粗骨材と見なし、これに結合材モルタルを吹き付けて付着厚さを測定した。図1に吹付け実験の概要を示す。

吹付けは、コンプレッサーに接続された内容量1.0リットルの手動式簡易吹付け機を用いておこなった。吹付けモルタルの最大付着量を把握するため、供試体1本につき約3リットルのモルタルを

様々な角度から全面に吹き付けた。

本実験において、吹付け作業前後におけるモルタルの経時変化は見られなかった。また、本実験の吹付け機では、FLが150mmを下回るものを吹き付けることが不可能であった。

モルタルの付着厚さは、モルタル硬化後、湿式切断機を使用し、中心と中心から左右5cmの位置で切断し、3分割したすべての切断面において測定した。付着厚さの計測位置は、図2に示すように1本の供試体でa～hの8箇所とした。

2.3 大型供試体の作製方法

コンクリートがらを使用した大型供試体は、調合を、 $W/C=0.25$ ， $s/m=0.35$ に固定し、FLを150mm，200mm，250mm，300mm（すべて±10mm）に変化させたものと、FLを 200 ± 10 mmに固定し、 W/C を0.22，0.28， s/m を0.20，0.50に変化させたものとした。

コンクリートがらは、それらの最大となる直径を計測し、粒径を小(S：100～200mm)，中(M：200～300mm)，大(L：300～400mm)の3サイズに分類して使用した。

大型供試体は、コンクリートがらを図3のように3層に分けて積み上げた合計12個で構成し、がら同士の安定も考慮して各がらに3ヶ所以上は接点ができるように配置した。

吹付け量は、コンクリートがらの大きさや形状が全て異なるために、統一することが困難であった。このため、吹付けは、コンクリートがらの周りに結合材が付着し、がら表面の露出が無くなった時点で終了とした。また、成形の順序は、まず1層目を吹き付け、次に2層目を積み上げた後に吹き付ける方法で層ごとに行った。

2.4 大型供試体による付着厚さ試験

大型供試体の付着厚さは、供試体の切断面を測定することによりおこなった。大型供試体の切断は、供試体硬化後にダイヤモンドワイヤーソー（ワイヤー径φ10mm）で各層最低1個はがらの中心で切断できる位置で半分に切断した。付着厚さは、各層について切断面がコンクリートがらの中心にくるもの（図4左図の□部分）を選択し測定した。測定位置は図4右図に示すように、コンクリートがら表面の法線が鉛直となる2点(a, e)および水平となる2点(c, g)と、それらを結んだ直線の2等

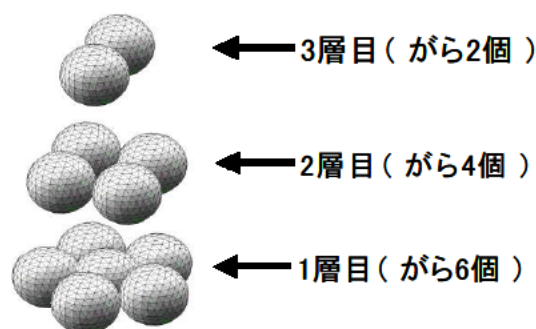


図3 大型供試体使用するコンクリートがらの構成

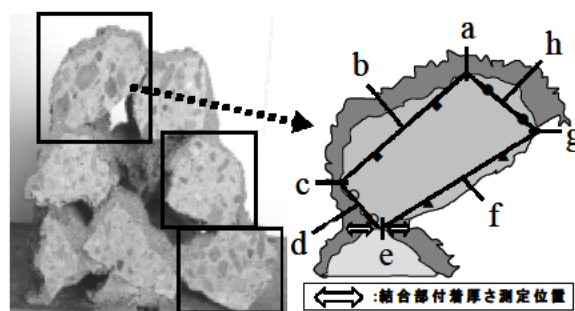


図4 大型供試体の付着厚さ測定位置の例

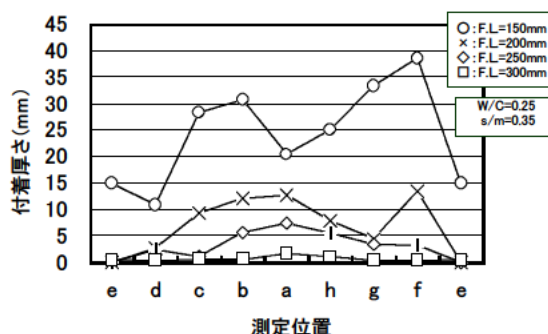


図5 各測定位置における付着厚さ分布

分点付近の点 (b, d, f, h) の合計8点でおこなった。また、コンクリートがら同士の接合部における付着厚さについても測定した。付着厚さは、上記で選択したがらとそれに接するがらの接合部のモルタル表面に対して垂直になる方向の厚さとした。なお、接触の仕方によっては、接合部の厚さと鉛直方向の最下点eは一致しない。

2.5 大粒径供試体の空隙率測定

大型供試体の空隙率は、供試体の容積および外容積を容積法により測定し、その実測値から算出した。外容積は、吊り下げた供試体の周りを厚手

のフィルムで覆い上部を縛った後、水で満たした樹脂製容器中に投入し、溢れ出る水量を測定することにより決定した。

3. 実験結果と考察

3.1 モデル供試体における付着厚さ試験結果

3.1.1 各測定位置におけるモルタル付着厚さ

W/C=0.25, s/m=0.35の条件でFLを150mm~300mmに変化させたモルタルを、円柱供試体に吹き付けた場合における付着厚さの分布を図5に、それらの切断面の例を写真1に示す。

図5より、フロー値にかかわらず、最下測定位置であるe付近では付着厚さが低下する傾向があることが確認された。これは、供試体底部周辺におけるモルタルの自重による剥落によるものである [写真1(b)]。

また、FLが150mmの場合には、モルタルのたれが小さいために付着厚さが厚くなりすぎ、大量に剥落する場合があった。

3.1.2 各調合における平均付着厚さ

平均付着厚さは、3.1.1節の結果もふまえ、測定位置eのデータを除く、7点の平均値から算出した。W/C=0.25, s/m=0.35の調合で、FLを変化させたときの平均付着厚さを図6に示す。FLを200mmに固定し、W/C=0.25でs/mを変化させた場合と、s/m=0.35でW/Cを変化させた場合における平均付着厚さをあわせて図7に示す。

図6によれば、平均付着厚さは吹付けモルタルのFLの影響を大きく受け、FLが小さくなるほど、付着厚さが増加した。FLにより付着厚さが変化したのは、吹付けモルタルのたれによる影響が大きく、FLが300mmではモルタルのほとんどがたれにより流失した。

図7より、W/Cが大きくなるほど、あるいは、s/mが小さくなるほど平均付着厚さは増加した。これは、各調合における吹付けモルタルの密度の差に起因していると考えられる。本実験の調合は、W/Cが大きくなるほどあるいは、s/mが小さくなるほどモルタル密度が小さくなるよう設計されており(表3参照)、密度が小さいとたれにくくなり付

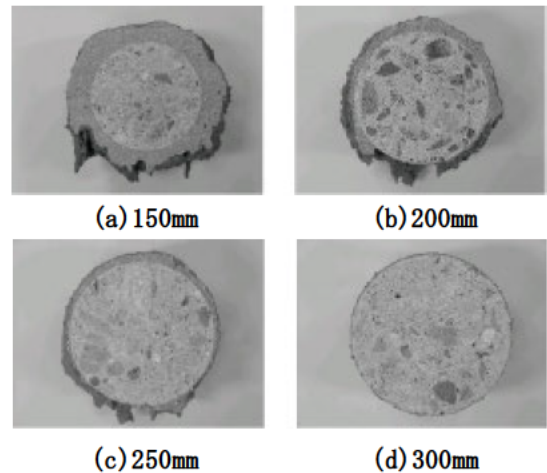


写真1 モデル供試体の切断面

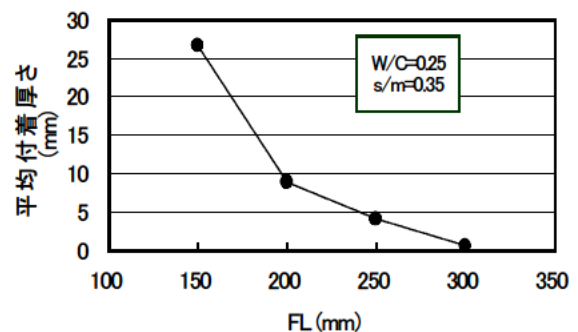


図6 モデル供試体におけるFLと平均付着厚さの関係

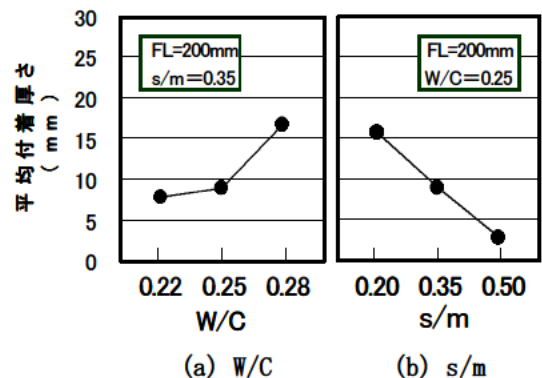


図7 W/C, s/mを変化させたときの付着厚さの変化

着性が向上した。

以上の結果より、吹付けモルタルの付着厚さは、FLの変化やモルタル密度による垂れの影響を大きく受け、その制御には、FLの値が有効であることが確認できた。

3.2 大型供試体による付着厚さ試験結果

3.2.1 大型供試体の作製

コンクリートがらにモルタルを吹き付け一体化させる手法により、大粒径ポーラスコンクリートを想定した大型供試体の製造を試みた。その結果、全ての調合において大型供試体を作製することができた。作製した大型供試体の物性値を表4に、外観を写真2示す。

表4より、コンクリートがらの粒径が300mmを超えると大型供試体に占めるモルタルの割合（MBR）が小さくなった。また、すべての供試体で20～30%程度の空隙率が得られたが、結合材のFLおよびがらのサイズとの相関は認められなかった。

3.2.2 大型供試体の切断面における付着厚さ

大型供試体をダイヤモンドソーで切断した切断面の一例（L150, L300）を写真3に、FLが200mmのモルタルで作製した大型供試体（L200, M200, S200）の各測定位置における付着厚さを図8に示す。同図には、1つの供試体内の1, 2, 3層で厚さの傾向が認められないため、測定に使用したコンクリートがら3個の平均を示した。

切断面の観察結果より、FLが小さいほど付着厚さが大きくなる傾向が見られたが、図8の測定位置d, e, fのコンクリートがら同士の接合部分の内側や下部にモルタルが付着していない（平均付着厚さ=0mm）場所のあることが確認された。これは、個々に吹き付けるのではなく、1層ごとの吹付け処理のため、吹付けができない部分が存在したためである。図8からは、がらの粒径が大きくなるほど付着厚さが大きくなる傾向があることも確認できた。

大型供試体のコンクリートがらの粒径別のFLと平均付着厚さとの関係を図9に示す。同図では、がら同士の接触部分（接触の仕方によって、箇所は異なる。）の影響を取り除くため、その周辺のデータは除外した。

その結果、空隙の形成状態、特に、空隙径に大きく影響する平均付着厚さは、ばらつきは大きいものの、L, MサイズではFLが大きくなると平均付着厚さが小さくなる傾向が確認できた。

図10に、大粒径ポーラスコンクリートの強度性状に大きく影響するFLと平均付着厚さとの関係を示す。図10より、平均付着厚さとの相関は良く、

表4 大型供試体の調合および物性値

供試体名	W/C	s/m	FL	がら粒径	大型供試体					
					重量 (kg)	MBR (%)	空隙率 (%)			
S150	0.25	0.35	200	小	150	37.0	28.9	20.6		
S200					200	35.0	18.5	24.3		
S250					250	41.8	20.7	25.7		
S300					300	27.6	19.6	19.4		
M150					中	150	87.9	27.0	20.9	
M200						200	97.6	22.9	27.9	
M250						250	78.7	25.2	22.2	
M300						300	84.2	19.9	33.4	
L150						大	150	215.5	18.5	22.8
L200							200	158.8	15.1	24.1
L250					250		167.6	15.5	19.7	
L300					300		192.7	8.9	25.4	
M2235	0.22	0.35	200	中	105.5	22.6	29.0			
M2835	0.28				87.5	28.2	25.7			
M2520	0.25				95.6	20.3	26.3			
M2550					0.50	97.5	24.9	20.5		

MBR:大型供試体中のモルタル容積率

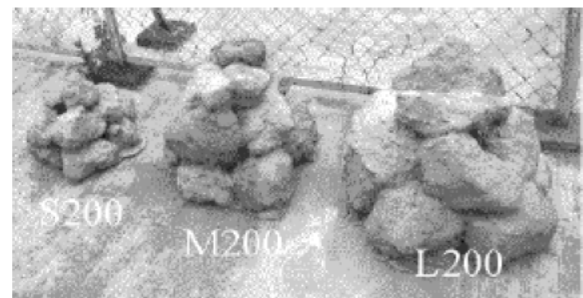


写真2 作製した大型供試体の一例

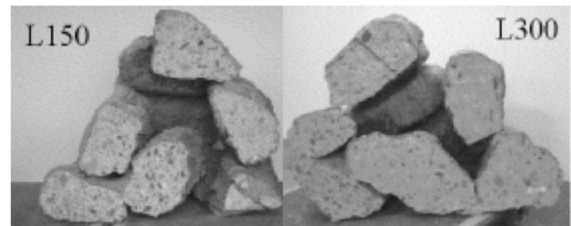


写真3 大型供試体切断面の一例 (L150, L300)

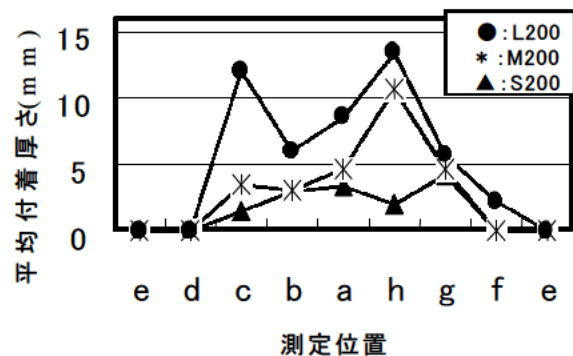


図8 大型供試体における付着厚さ分布の測定結果の例

すべての調合において、がらの結合部分の付着性状は良好で、FLが300mmの場合においても10mm以上の付着厚さが確保されていた。

3.2.3 大型供試体とモデル供試体の平均付着厚さとの比較

図6に示したモデル供試体の付着厚さに関するデータと、図9、図10で示した大型供試体のデータをそれぞれ比較した結果を図11に示す。

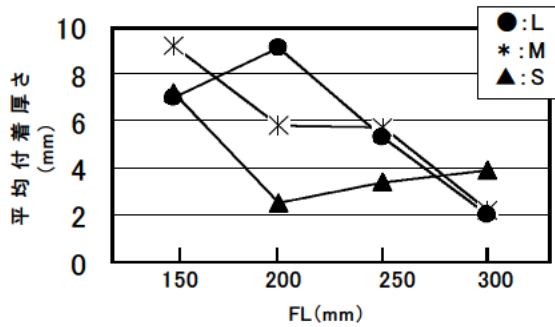


図9 大型供試体におけるフロー値と平均付着厚さとの関係

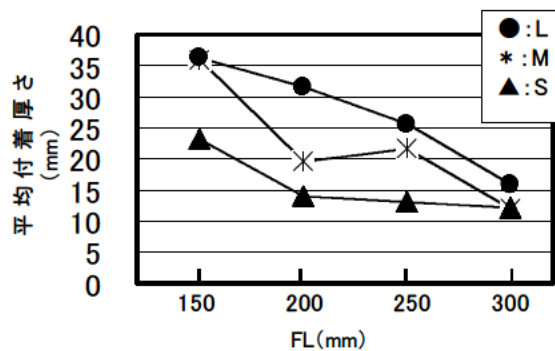
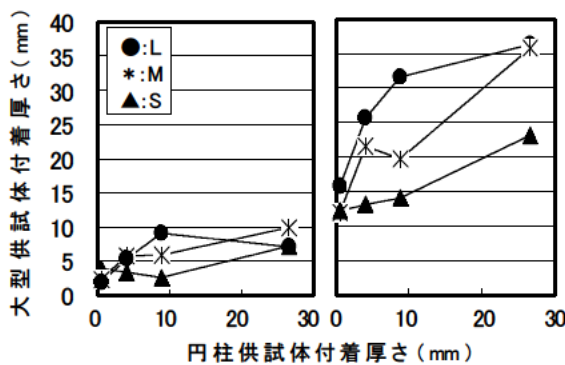


図10 大型供試体の結合部分におけるフロー値と平均付着厚さとの関係



(a) 平均付着厚さ (b) 結合部分の付着厚さ
図11 大型供試体とモデル供試体の平均付着厚さとの比較

モデル供試体と平均付着厚さ(a)との比較において、FLが150mmでは、モデル供試体の付着厚さは大きいですが、大型供試体では小さくなる傾向があった。これは、大型供試体の吹付け量が一定とならなかったことによる。したがって、FLが150mmの条件は付着厚さの制御が困難で、吹付け量が多い場合には必要な空隙径が確保できない可能性があることが明かとなった。

FLが200mm以上の条件では、L、Mサイズのがらを用いた場合に比較的良い相関が見られたが、Sサイズの場合における相関は悪い結果であった。これは、前述のがらの結合部の影響などと同じ理由によると思われる。

また、結合部分の付着厚さ(b)との関係は、大型供試体の結果がモデル供試体の結果を上回る傾向があることが確認された。

4. まとめ

本研究では、以下に示す知見が得られた。

- 1) 大粒径再生ポーラスコンクリートは、層別吹付けの方法により作製できる。
- 2) 本実験の範囲において、モルタルの付着厚さを制御するためには、FLは150mmを超える条件、特に、200mm以上とすることがモデル供試体との相関も良く妥当である。
- 3) 現段階では、小径のコンクリートがら(100~200mm)の場合には、空隙径確保のためのモルタル付着厚さの制御が困難である。

今後、強度性状に関する検討をおこなうことで、製造方法の確立を進める予定である。

参考文献

- 1) 玉井元治 ほか：ポーラスコンクリートの設計・施工法の確立に関する研究委員会中間報告，日本コンクリート工学協会，pp. 7-38 (2002)
- 2) 前川明弘 ほか：コンクリートがらを使用した大型ポーラスコンクリートの製造方法に関する基礎的研究，ポーラスコンクリートの設計・施工法と最近の適用例に関するシンポジウム論文集，日本コンクリート工学協会，pp. 77-84 (2003)