

論文 大粒径コンクリートがらを使用したポーラスコンクリート施工に用いる結合材モルタルの流動性に関する基礎的研究

三島 直生*1・畑中 重光*2・湯浅 幸久*3・末木 伸也*4

要旨：本研究では，護岸や魚礁等への適用を想定して，大粒径コンクリートがらを粗骨材とした大型ポーラスコンクリートの施工方法に関する検討を行っている。本報では，あらかじめ積み上げられたコンクリートがらに結合材を吹き付け，自重により結合材を流動させてコンクリートがらを一体化させる方法を取り上げた。施工に必要な結合材の性状に関する基礎実験の結果，硬化コンクリート表面を流れる結合材の流動，付着挙動について，一定の知見が得られた。また，大粒径粗骨材の結合状態は，粗骨材の表面の凹凸に大きく影響を受けるため，実施工にあたってはこの点を考慮すべきであることが明らかとなった。

キーワード：コンクリートがら，ポーラスコンクリート，結合材厚さ，流動性

1. はじめに

現在，ポーラスコンクリートはその様々な特性から多様な分野に応用されており¹⁾，今後その範囲はさらに多岐に渡っていくことが期待されている。その応用例のひとつとして，より大きな空隙を持つポーラスコンクリートを用いた魚礁・護岸等への適用が考えられる。大きな空隙を持つポーラスコンクリートの製造は，粒径の大きな粗骨材を用いることにより可能となる。しかし現在，ポーラスコンクリートに使用されている粗骨材の粒径は，一般に単粒度碎石5号（13～23mm）および6号（5～13mm）のものが多く²⁾，それ以上の粒径を持つ粗骨材を用いたポーラスコンクリートの施工方法の研究はほとんどなされていない。

また，ポーラスコンクリートの粗骨材への再生骨材の適用^{3,4)}も試みられているが，大粒径の粗骨材としても，建設廃材であるコンクリートがらを活用すれば，廃棄物の再利用という面でも有効であると考えられる。

そこで本研究では，大粒径のコンクリートがらを粗骨材とした大型ポーラスコンクリートの

施工方法の確立を目的とする。本報ではまず，現在考えられる大粒径粗骨材を用いたポーラスコンクリートの施工方法の提案を行う。続いて，その中の1手法を取り上げ，施工に必要な結合材の流動性を中心に基礎的なモデル実験を行い，同施工法の実現可能性に関する考察を行う。

2. 大粒径の粗骨材を使用したポーラスコンクリートの施工方法

粗骨材粒径が大きくなると，ミキサでの練り混ぜが困難となり，施工方法としては，粗骨材へ結合材を吹き付けるなどといった特殊な施工方法が必要となる。大粒径の骨材を使用したポーラスコンクリートの施工方法としては，以下のようなものが考えられる。

- 1) 単体吹付け：粒径の大きな粗骨材ひとつひとつに結合材を吹き付けた後に，積み上げて結合させていく方法。確実に粗骨材同士を結合させることができるが，施工の効率が悪く，多大な時間と労力が必要となる[図-1(a)]。
- 2) 一層吹付け：粗骨材を一層分だけ並べ，上部から結合材を吹き付け，その上に，次の層

*1 三重大学助手 工学部建築学科 博士（工学）（正会員）

*2 三重大学教授 工学部建築学科 工博（正会員）

*3 三重県科学技術振興センター研究員 工業研究部 博士（工学）（正会員）

*4 三重大学卒業生 工学部建築学科

の粗骨材を並べて結合材を吹き付ける工程を繰り返し一体化していく方法。1)に比べて施工性が増し、かつそれぞれの骨材を確実に結合させることができる施工方法である[図-1(b)]。

- 3) 多層吹付け：粗骨材をあらかじめ数段に積み上げて、その上部から結合材を吹き付ける方法。それぞれの粗骨材同士は、自重で流下する結合材によって結合される。施工方法として確立されれば最も効率の良い方法となる[図-1(c)]。

本報では、施工方法として、最も施工効率の良い3)の施工方法に着目し、同施工条件をモデル化した実験を行うことにより、その実現に必要な結合材の流動性の把握を試みる。

実験は、実験Ⅰおよび実験Ⅱの2種類を行った。実験Ⅰでは、粗骨材の表面が平滑な場合の実験を行い、適切な結合材モルタルの調合を決定した。実験Ⅱでは、得られた結合材モルタルの調合を用いて、粗骨材表面の凹凸および乾湿の影響を調べた。

3 実験Ⅰ

3.1 実験概要

表-1に、実験Ⅰで用いた結合材モルタルの調合表を示す。本実験では、結合材モルタルの流動性および付着厚さを変化させることを目的として、フロー値および細骨材容積比(s/m)を変化

させた。結合材モルタルは無振動で流下させることを想定しているため、コンシステンシーの目標値として0打フロー値を設定した。

測定項目は、0打フロー値、15打フロー値、塑性粘度および降伏値とした。塑性粘度および降伏値はB型回転粘度計により測定した。表-1には、それらの測定結果を併記した。なお、結

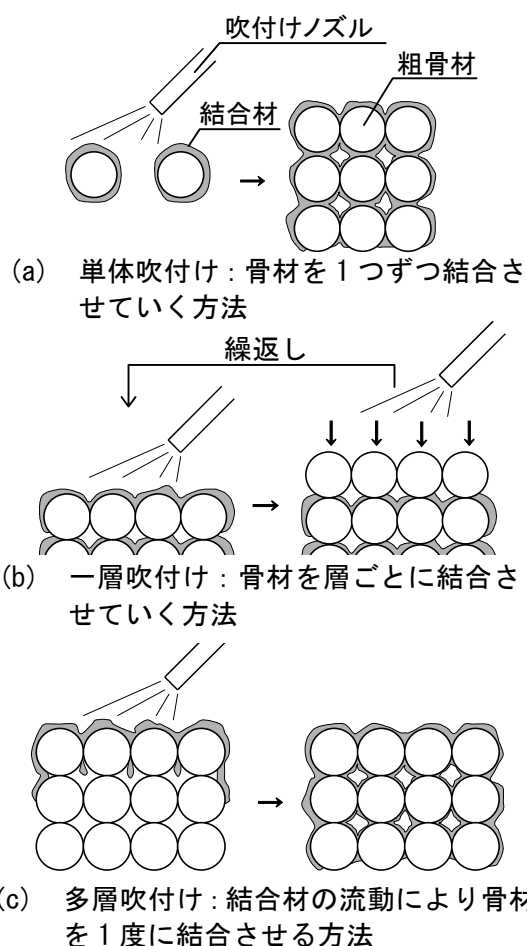


図-1 大粒径ポーラスコンクリートの施工方法

表-1 結合材モルタルの調合および測定結果

試験体No.	W/C	s/m	目標0打 フロー値	単体量(kg/m ³)			SP/C (%)	フロー値		B型回転粘度計	
				W	C	S		0打	15打	塑性粘度(Pa・s)	降伏値(Pa)
0.2-150	0.22	0.20	150	329	1494	528	0.5	169	221	1.7	29.8
0.2-225			225				0.6	218	256	2.9	30.2
0.2-300			300				0.7	300	—	2.2	13.7
0.35-150		0.35	150	267	1214	924	0.9	157	201	2.0	32.0
0.35-225			225				1.1	219	253	4.1	25.0
0.35-300			300				1.4	294	—	1.6	11.0
0.5-150		0.50	150	205	934	1320	1.5	156	187	3.3	32.0
0.5-225			225				1.7	226	245	5.2	25.0
0.5-300			300				1.8	295	—	14.6	11.0

[注]試験体 No. : (s/m)-(目標 0 打フロー値), W/C : 水セメント比, s/m : 細骨材容積比, W : 水, C : 普通ポルトランドセメント, S : 町屋川産川砂 (粗粒率 : 2.98), SP/C : 高性能 AE 減水剤添加率

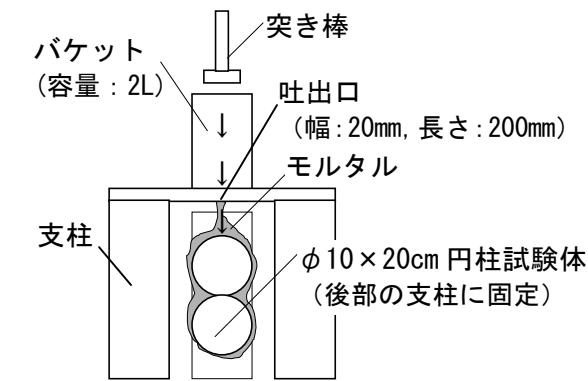


図-2 流下試験装置の概要

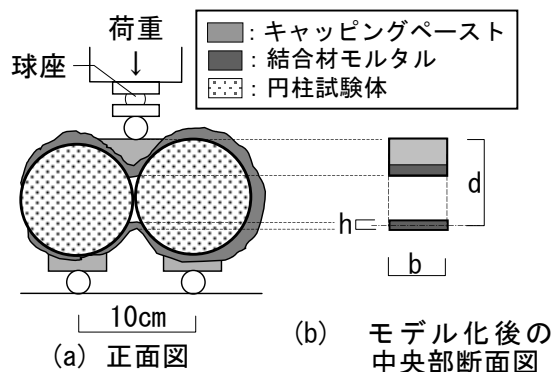


図-3 曲げ試験の概要

合材モルタルの0打フロー値はポリカルボン酸系高性能 AE 減水剤の添加により調整した。

3.2 実験方法

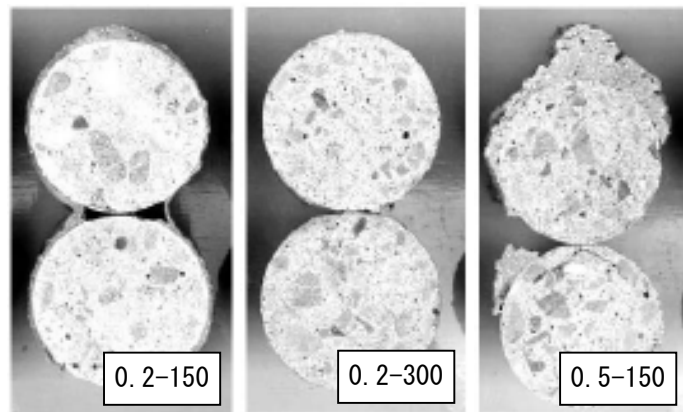
(1) 結合材流下実験

図-2 に流下実験装置の概要を示す。大粒径の粗骨材を想定した $\phi 10 \times 20\text{cm}$ のコンクリート製円柱試験体 2 本を縦列に配置し、その上部から 2L の結合材モルタルを自重により流下させた。このため、流下速度は結合材モルタルの流動性によりそれぞれ異なる。使用する円柱試験体の表面性状は全て湿潤状態とした。また、流下後の試験体の養生は気中養生とした。流下実験は全ての水準に対して 2 体ずつ行った。

上下円柱試験体の結合部モルタルによる結合状態を、目視により評価した。また、モルタル硬化後に、供試体をコンクリートカッターを用いて約 5cm の厚さで 4 等分の輪切りにし、その切断面 3 面について、モルタルの付着厚さを計測した。試験体の切断面の様子を写真-1 に示す。

(2) 曲げ試験

供試体の切断後、上下の輪切りにされた円柱



(a) 良好な結合 (b) 付着厚さが小さい例 (c) モルタルが硬すぎる例

写真-1 試験体の切断面の様子

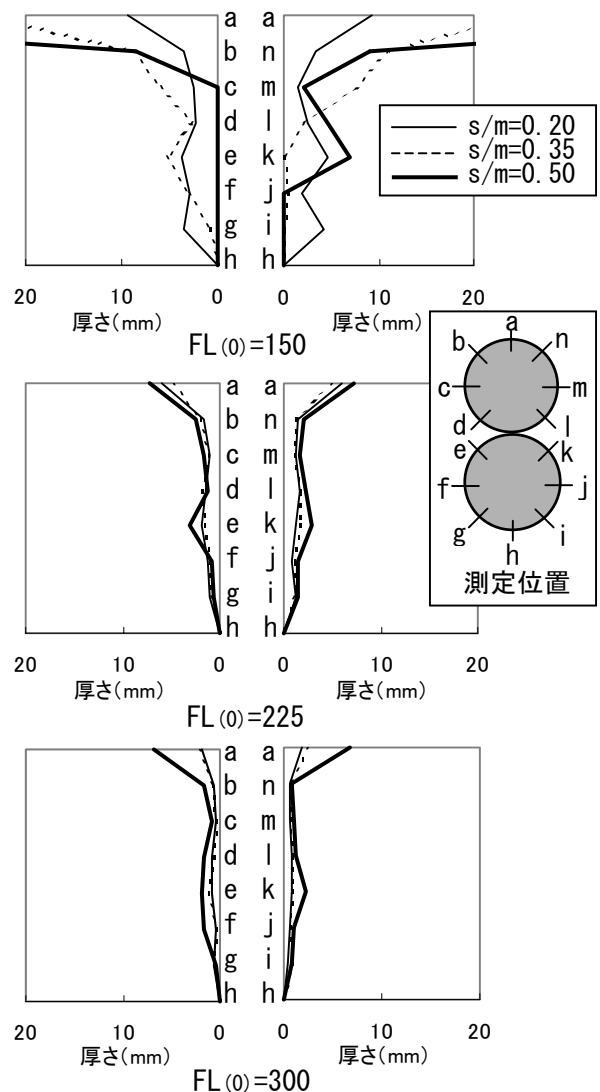


図-4 結合材モルタルの付着厚さ

試験体が結合材モルタルによって一体化されている試験体について、材齢 28 日の結合部の曲げ試験を行った。図-3 に曲げ試験の概要を示す。曲げ試験を行う試験体は、4 等分にカッティン

グした供試体の中央部の2体のみとし、結合材モルタルにより上下円柱試験体が結合していないもの、また流下実験時に結合していてもカッティング時に結合が壊れてしまったものは強度0とした。

曲げ試験の結果、全ての試験体は結合材部分で破壊しており、円柱試験体との付着破壊は発生しなかった。このため、結合部の引張強度 σ_t は、破断した断面の下端モルタル部分の中心に引張力を受けると仮定して、式(1)より求めた。

$$\sigma_t = M / \{b \cdot h \cdot (d - X_n / 3)\} \quad (1)$$

ここに、 σ_t : 結合部の引張強度(N/mm²)、 M : 曲げ試験により得られた曲げモーメント(N・mm)、 b : 試験体の厚さ(mm)、 h : 引張り側の結合部モルタルの近似長方形断面の高さ(mm)、 d : 上端から引張り側結合部モルタルの中心までの距離(mm)、 X_n : 上端から中立軸の距離(mm)

3.3 実験結果および考察

(1) 結合材モルタルの付着厚さ

図-4は、付着した結合材モルタルの付着厚さを表したものである。図によると、0打フロー値が大きくなるに従って付着厚さは小さくなっているのが見られる。また、 s/m の付着厚さへの影響はそれほど見られないことが分かる。

図-5は、平均付着厚さと0打フローの関係を表したものであるが、この図からも上述の傾向を見ることができる。

次に、図-4のグラフの勾配に着目する。グラフの勾配は、モルタル付着厚さの均一性を表しており、品質を管理する上で重要な要素になり得ると考えられる。図を見ると、0.5-150および0.35-150は上部に大きくモルタルが偏り、均等に付着しているとはいえないが、それ以外のものに関しては概ね均一にモルタルが付着しているといえる。中でも比較的均一にかつ厚く付着している水準は0.2-150である。

B型回転粘度計で測定されたビンガム定数と付着性状には明確な相関関係は見られなかった。

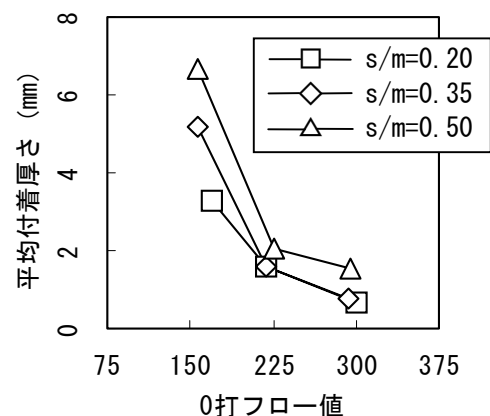


図-5 平均付着厚さと0打フロー値の関係

表-2 粗骨材の結合状態の目視判定

目標0打フロー値	s/m					
	0.20		0.35		0.50	
	左側	右側	左側	右側	左側	右側
150	△	△	△	×	×	×
	△	○	×	×	×	△
225	×	△	○	○	△	○
	×	△	△	△	×	×
300	×	△	×	×	△	△
	×	○	×	×	△	△

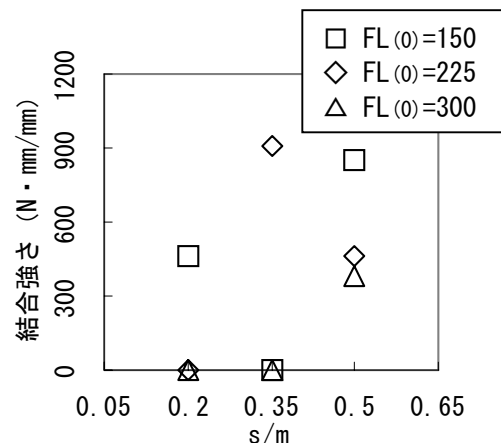


図-6 結合強さとs/mの関係

(2) 結合状態の評価

a) 目視による評価

表-2に目視による結合状態の判定結果を示す。判定は、○: 結合している、△: 所々結合している、×: 結合していない、の3段階で評価した。それによると、0.2-150、0.35-225および0.5-300が×のない、良好な水準と判断できる。

b) 曲げ試験

図-6は、曲げ試験によって得られた荷重から計算されたモーメント M (N・mm)を、供試体の厚

さ $b(\text{mm})$ で除したものと s/m との関係である。図によると、目視判定により良好な結果が得られた 0.2-150, 0.35-225 および 0.5-300 は、曲げ試験に関しても良好な水準であった。また、目視判定（表-2）では比較的低い評価となった 0.5-225 が、この評価では良好な水準といえる。0.5-150 は結合強さが高く出ているが、片側のみ結合していることから、品質を管理する上で十分な性能とはいえない。

図-7 は、結合材流下実験に用いたものと同一なモルタルの、 $\phi 50 \times 100\text{mm}$ の円柱試験体の割裂試験から求めた引張強度と曲げ試験から求めた引張強度の関係である。図-7 から、割裂試験から求めた引張強度は s/m が増すほど大きくなっているが、0 打フロー値の違いによる影響は見られない。また、曲げ試験による引張り強度は、割裂試験から算出したそれに比べて概ね半分程度になっている。このことから、流下したモルタルの引張強度は半分程度と評価する必要がある。

4. 実験 II

粗骨材の表面性状が結合材モルタルの付着性状に及ぼす影響を調べた。

4.1 実験概要

結合材モルタルは、実験 I の結果に基づき、0.2-150, 0.35-225, 0.5-300 の 3 種類を用いた。

粗骨材の表面性状に関しては、平滑-凹凸および湿潤-乾燥を要因とし、凹凸の影響は 3 種類のモルタル全てに対して、乾燥の影響は 0.35-225 のみについて調べた。

凹凸表面をもつ大粒径粗骨材として、単粒度碎石 6 号（粒径 5~13mm）を用いた空隙率 25~30% のポーラスコンクリートの円柱体を使用した。他の実験方法は、全て実験 I と同様とした。

4.2 実験結果および考察

(1) 表面の凹凸の影響

ポーラスコンクリートを粗骨材とした試験体の硬化後の切断面の観察からは、ポーラスコンクリートの内部空隙への結合材モルタルの進入

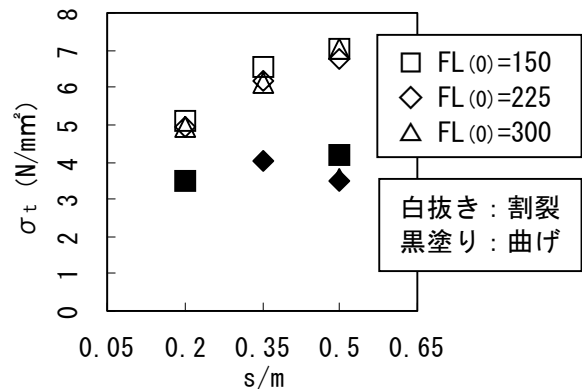


図-7 結合部の強度と s/m の関係

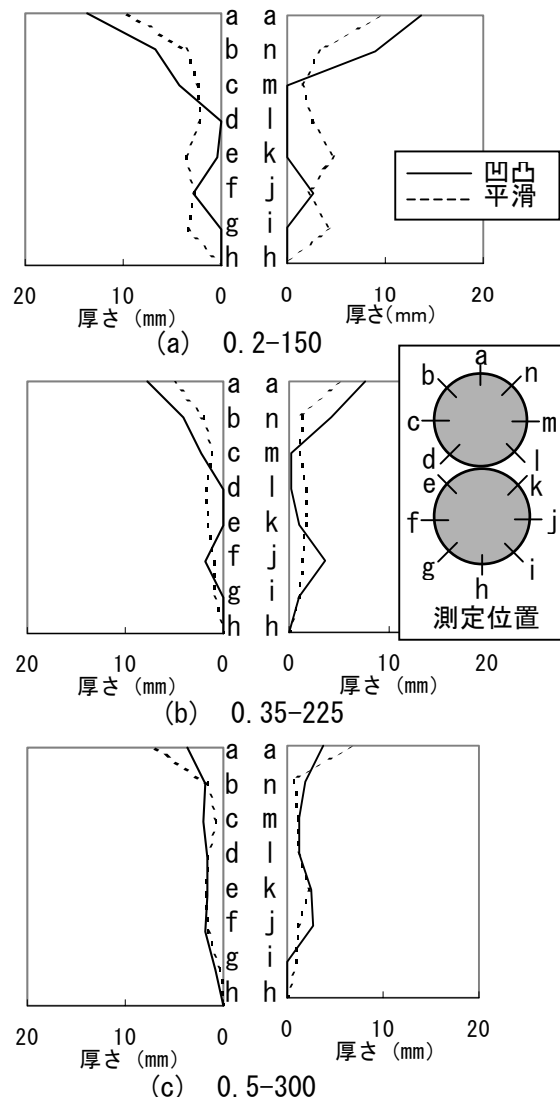


図-8 表面の凹凸による付着性状の違い

はほとんど無かったことが確認された。

図-8 は、平滑および凹凸の表面性状を持つ円柱試験体の結合材の付着厚さを比較したものである。図によると、表面の粗さが変化することにより、付着性状は大きく変化している。また、

表面が凹凸の場合には、いずれの水準においても上下の円柱試験体は結合されておらず、大粒径粗骨材の表面に凹凸がある場合には、結合させること自体が非常に困難となることが解った。

(2) 表面の乾湿の影響

図-9 は湿潤および乾燥した表面性状を持つ円柱試験体への付着厚さを比較したものである。図を見ると、表面の乾湿の違いによる付着性状の明確な差異は認められない。

5. まとめ

本報では、結合材モルタルの自重流動によって大粒径粗骨材を結合させる手法の評価を行った。実験 I からは以下に示す知見が得られた。

- 1) 0 打フロー値が大きくなると、モルタルの付着厚さが小さくなる傾向にあるが、s/m のモルタル付着厚さに与える影響は比較的小さい。
- 2) 表面が平滑な粗骨材に対する結合材モルタルの付着厚さに関しては、最も良好な水準は細骨材容積率 0.2, 0 打フロー値 150 の水準であった。
- 3) 結合部の目視判定で良好な評価であった 0.2-150, 0.35-225 および 0.5-300 は曲げ試験による評価も良好であった。
- 4) 結合部分の引張強度は、割裂試験によって求められた値のおおよそ半分程度になる。

実験 II からは以下に示す知見が得られた。

- 1) 粗骨材の表面が凹凸になることによって、結合材モルタルが粗骨材を結合する性能は大きく低下する。
- 2) 粗骨材の表面の乾湿状態は、結合材モルタルの付着性状にそれほど影響を与えない。

以上より、本報で採用した実験方法により検討した結果からは、大粒径粗骨材の結合状態は、粗骨材表面の凹凸に大きく影響を受けるため、コンクリートがらを用いたポーラスコンクリートの実施工にあたっては、この点を考慮する必要があることが明らかとなった。

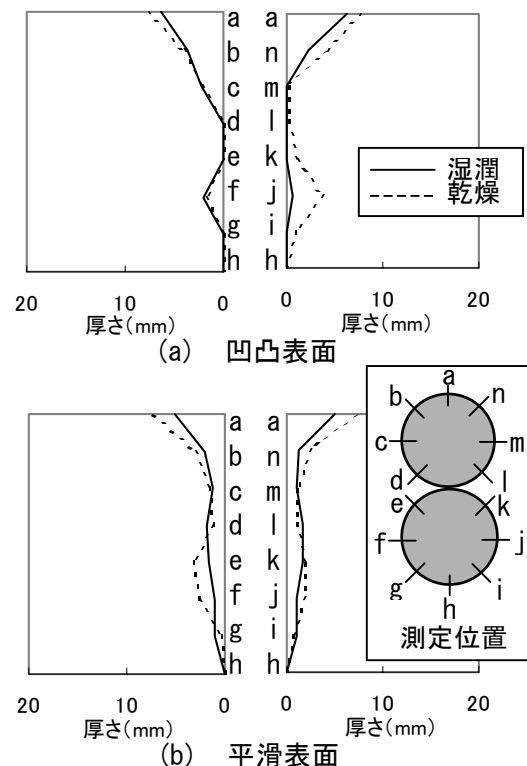


図-9 表面の乾湿による付着性状の違い

謝辞

本研究費の一部は、平成 14 年度日本学術振興会科学研究費補助金・基盤 B（研究代表者：畑中重光）によった。付記して謝意を表する。本研究は、三重県科学技術振興センターとの共同研究の一環として行われたことを付記する。

参考文献

- 1) 玉井元治 他：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. 5
- 2) 玉井元治 他：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. 1-6, 2002. 5
- 3) 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集，Vol. 22, No. 2, pp. 1225-1230, 2000. 6
- 4) 村尾健，湯浅幸久，三島直生，畑中重光：砕石並びに再生骨材を用いたポーラスコンクリートの圧縮強度性状に関する実験的研究，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. 71-76, 2002. 5