

# 論文 小粒径ポーラスコンクリートの各種特性に関する実験的研究

前川 明弘\*1・山本 晃\*2・三島 直生\*3・畑中 重光\*4

**要旨:** ポーラスコンクリートの適用範囲を拡大させることを目的として、小粒径骨材（粒径1.2-2.5mm）を用いて空隙径を小径化したポーラスコンクリートの製造方法に関する基礎的実験を行った。本報では、小粒径ポーラスコンクリートの締固め方法が硬化体の物性値に及ぼす影響について検討した。その結果、小粒径ポーラスコンクリートの内部空隙率分布は締固め方法により異なり、硬化体の透水・保水・揚水性能にも影響を及ぼしていることが明らかとなった。

**キーワード:** 小粒径ポーラスコンクリート、締固め方法、透水性能、保水性能、揚水性能

## 1. はじめに

本研究では、ポーラスコンクリート（以下、POCとする）に新たな機能を付与することを目的として、小粒径骨材を用いて空隙径を小径化した小粒径POCに関する検討を行っている。小粒径POCは、従来のPOCと比較して保水性能や揚水性能といった機能の向上や、一般に使用されない小粒径の砕石、溶融スラグなどの産業廃棄物や副産物の有効な利用先となることが期待できる材料である。ここで、本研究では骨材粒径を要因として、小粒径から大粒径までを一連のものとして取り扱うため、細骨材レベルの骨材のみを用いたものも統一してPOCと称することとする。本報では、小粒径POCの各種性能を定量的に把握するとともに各種特性に及ぼす影響について検討した。

## 2. 実験概要

小粒径POCで対象とする骨材粒径は、1.2～2.5mm（以下、8号砕石とする）とした。

また、結合材のフロー値（以下、FLとする）は、予備実験の結果から適切であると判断した

FL=230を採用した。本実験の使用材料を表-1に、実験の要因と水準を表-2に示す。

### 2.1 小粒径ポーラスコンクリートの製造方法

#### (1) 練混ぜ

小粒径POCの練混ぜにはオムニミキサを用

表-1 使用材料

セメント	普通ポルトランドセメント 密度 : 3.16 g / cm <sup>3</sup> 比表面積 : 3350 cm <sup>2</sup> / g
骨材	産地 : 三重県佐奈山産 表乾密度 : 2.70 g / cm <sup>3</sup> 吸水率 : 1.35 % 実積率 : 54.3 %
水	水道水
混和剤	ポリカルボン酸系高性能 AE減水剤

表-2 実験の要因と水準

要因	水準
W/C	0.25
骨材径	8号砕石
設計空隙率(%)	15、25
使用ミキサ	オムニミキサ
結合材混合条件	ペースト先練り
締固め条件	(i) 突き棒 (JIS φ16mm・φ2mm) (ii) 加圧成型 (iii) 表面振動機 (iv) テーブルバイブレータ
FL	FL=230
加振時間	10S:(締固め条件(iii)、(iv)で実施)

- \*1 三重県科学技術振興センター工業研究部 主任研究員 (正会員)
- \*2 三重大学大学院生 ((株) 三和工務店 代表取締役) (非会員)
- \*3 三重大学工学部建築学科 助手 博士 (工学) (正会員)
- \*4 三重大学工学部建築学科 教授 工学博士 (正会員)

い、結合材ペースト先練りとした。結合材は、材料をミキサに投入し、100rpmで30秒間混合した後、200rpmで270秒間練り混ぜた。練混ぜが終了した結合材に骨材を投入し、200rpmで135秒間練り混ぜることで小粒径POCを得た。

## (2) 締固め

表-2に示した4種類の締固め方法で、Φ100×200mmの円柱供試体を作製した。

### (i) 突き棒

予備実験の結果、JIS A 1132に規定される棒径Φ16mmの突き棒を用い、3層詰めで各層15回ずつ突くことにより作製した供試体には、突き棒の跡が残留した。そこで、Φ16mmの突き棒に加え、新たに棒径Φ2mmの突き棒を用いた実験も行った。Φ2mmの突き棒は、Φ50mmの円板にΦ2mmの金属棒を8本固定したものである。締固め方法はΦ16mmと同一とし、突き回数のみΦ16mmと同一面積になるよう8本×120回に変更した。

### (ii) 加圧成型

型枠上部100mmを塩ビ管で延長・固定し、設計空隙率質量分の試料を投入した後に、アムスラー型圧縮試験装置で加圧した。加圧の最大荷重は14.7kN(1.87N/mm<sup>2</sup>)とした[図-1(1)]。

### (iii) 表面振動機

試料投入は加圧成型と同一とし、表面振動機(質量約12kg)により起振力1225N・10sの条件で締固めを行った。

### (iv) テーブルバイブレータ

試料投入は加圧成型と同一とし、4kgの円柱形の錘を試料上部に載せたままテーブルバイブレータに型枠を固定し、4本同時に振動させて締め固めた[図-1(2)]。なお、振動条件は本体及び試料の総質量約350kgに対し、加振力17.4kN・10sとした。

## 2.3 試験方法

表-3に示す5項目の測定を行った。

空隙率は、POCの質量を型枠投入直後に計測し、その計測値より空隙率を算出する方法(以下、質量法とする)で全空隙率を測定した。こ

れは、一般的な空隙率試験方法<sup>1)</sup>では、供試体を20℃・RH60%の環境下で24時間静置しても表乾状態とならず、誤差が生じることが予備実験において確認されたためである。測定本数は5本とした。また、供試体内部の空隙率分布を確認するため、図-2に示すように供試体を5分割し、各部を105℃で恒量(絶乾質量とみなす)となるまで乾燥し各質量を測定した。上記の測定値と調合割合からセメント及び骨材の質量を求め、水セメント比や骨材の吸水などによる水分補正を行うことで表乾状態における容積を算出した。空隙率は、表乾容積と切断容積(40mm厚)の比を用いて算出した。

保水試験は、供試体を20℃・RH60%の恒温恒湿槽内で乾燥させた時の質量変化を測定し、式(1)を用いて保水率を算出した。

$$\text{保水率 (vol\%)} = \frac{\text{供試体の空隙に存在する水分容積 (ml)}}{\text{供試体の空隙容積 (ml)}} \times 100 \quad (1)$$

実際の施工では、水分はコンクリート表面のみから放出されるため、供試体の側面と底部を塩ビ管とビニルシートで遮水することでこれらを再現した。遮水は水槽から取り出した供試体を24時間静置した後に行い、測定用供試体本数は2本とした。

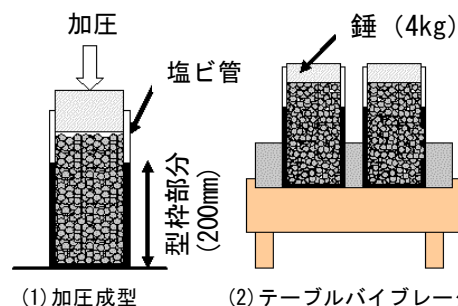


図-1 振動締固めによる供試体作製方法

表-3 測定項目

測定項目	測定方法
空隙率	質量法により算出 供試体高さ方向の空隙率の分布
圧縮強度	JIS A1108に準拠
透水係数	JCI POC研究委員会 試験方法(案) <sup>1)</sup> に準拠
保水量	保水率の時刻歴
揚水量	揚水率および揚水高さの時刻歴

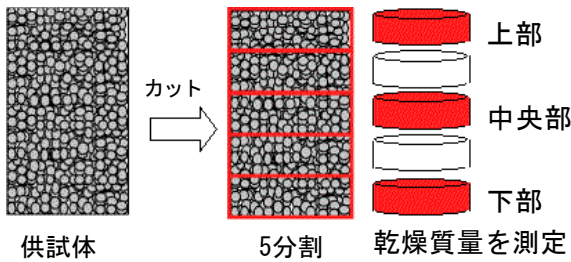


図-2 内部空隙率の均一性評価試験方法

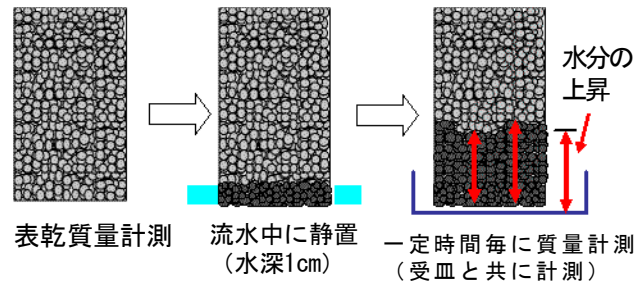


図-3 揚水試験方法

揚水試験は、表乾状態にした供試体を、20℃・RH80%の環境で水深10mmの定水位にした水槽に浸漬させ(図-3)、質量変化を測定し、式(2)を用いて揚水率を算出した。表乾状態は、供試体を20℃・RH60%の恒温恒湿槽内で乾燥させ質量を測定し、空隙内部の水分量が恒量となった時点とした。

$$\text{揚水率 (vol\%)} = \frac{\text{揚水量の容積 (ml)}}{\text{供試体の空隙容積 (ml)}} \times 100 \quad (2)$$

供試体本数は保水試験同様、2本とした。

### 3. 実験結果及び考察

#### 3.1 空隙率試験

##### (1) 設計空隙率と実測空隙率との比較

設計空隙率と質量法による実測空隙率との比較結果を図-4に示す。図-4より、突き棒および加圧成型といった無振動による締固めはその差が10%前後と大きくなるため、設計に近い空隙率を得るには振動締固めが有効であることが確認できた。

##### (2) 締固め方法が供試体内部の空隙率分布に及ぼす影響

図-5に、供試体を5等分し絶乾質量からその内部空隙率の分布を算出した結果を示す。図-5より、突き棒による締固めは、上部、中央部、下部における分布のばらつきが大きく、この傾向は設計空隙率25%で顕著であった。突き棒による締固めが不均一となったのは、写真-1に示すような突き棒跡が大きく影響していると思われる、上記は棒径Φ2mmの場合においても確認できた。棒径Φ2mmに関しては、上記のほか写真-2(b)に示す打継ぎ面が発生した。

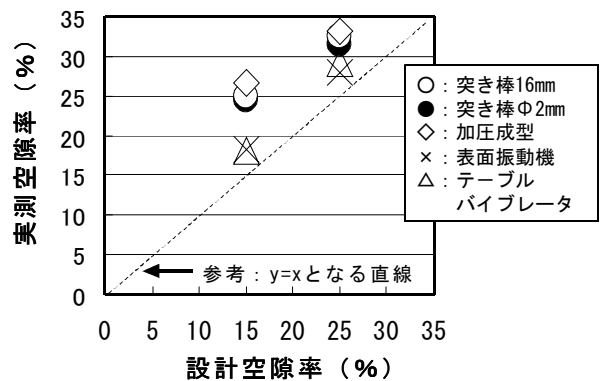
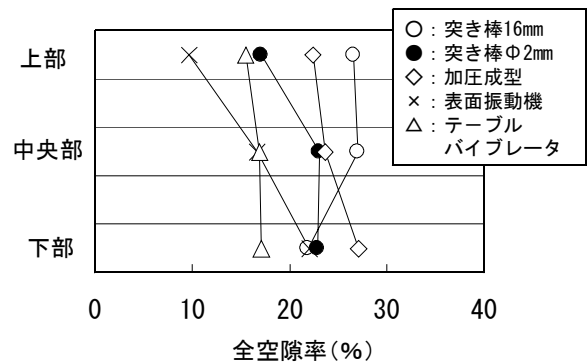
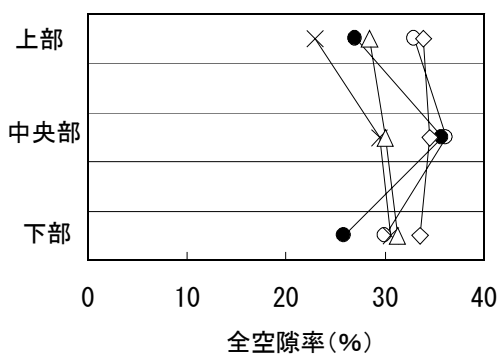


図-4 設計空隙率と実測空隙率との比較



(a) 設計空隙率15%



(b) 設計空隙率25%

図-5 締固め方法による内部空隙率分布の違い

加圧成型による締固めは、内部は比較的均一になるが、空隙率が設計値より大きく上回った。

表面振動機は上層ほど空隙率が小さくなり、特に空隙率15%では結合材量が多いために上部が閉塞しやすくなることが確認できた(写真-1

2)。ただし、上層ほど空隙率が小さくなる傾向は小粒径POC特有のものではなく、6号砕石を用いたPOCの場合においても確認されている<sup>2)</sup>。

テーブルバイブレータによる締固めは、他の方法と比較して内部の空隙分布が均一で、かつ、設計空隙率に最も近い値となった。

### 3.2 圧縮強度試験

図-6(a)に、圧縮強度と空隙率の関係を、図-6(b)に、空隙率の値として図-5で示した内部空隙率分布の最大値を用いた結果を示す。図中に示す近似曲線は、均質性の良好であったテーブルバイブレータおよび加圧成型の値のみを用いた結果である。図-6(a)と図-6(b)を比較した結果、表面振動機で締め固めた設計空隙率15%のデータに着目すると、最大空隙率を用いることで、相関がより高まることが確認できた。このことは、POCの圧縮強度が内部空隙率分布の最大値に影響されることを示している。

また、Φ2mmの突き棒により作製した供試体の強度が低くなっているが、これは施工欠陥である打継ぎ目で破壊したためである。写真-1に示したΦ16mmの突き棒跡による圧縮強度に及ぼす悪影響が懸念されたが、結果的には、特に大きな影響を及ぼさなかった。

以上の結果より、小粒径POCの圧縮強度と内部空隙率の最大値との関係は、施工による大きな欠陥が無ければ、締固め方法によらず1本の曲線で決まることが明らかとなった。

### 3.3 透水試験

図-7(a)に、小粒径POCの透水係数と全空隙率の関係を、図-7(b)に、全空隙の値として図-5の内部空隙分布の最小値を用いた結果を示す。ここで、縦軸は対数目盛とした。

図-7(a)と図-7(b)を比較した結果、図-7(b)、すなわち、透水係数と最小空隙率との関係において、加圧成型のデータが多少ずれるものの、非常に高い相関が得られた。このことから、小粒径POCの透水係数は締固め方法による影響は小さく、供試体内部の最小空隙率に大きく影響される可能性が高いことが見出せた。

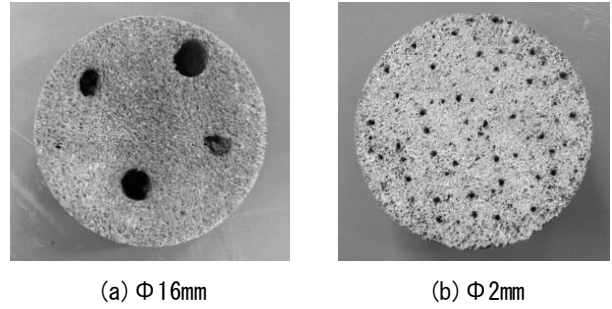


写真-1 突き棒により作製した供試体断面の一例（設計空隙率25%・高さ16cmの位置）

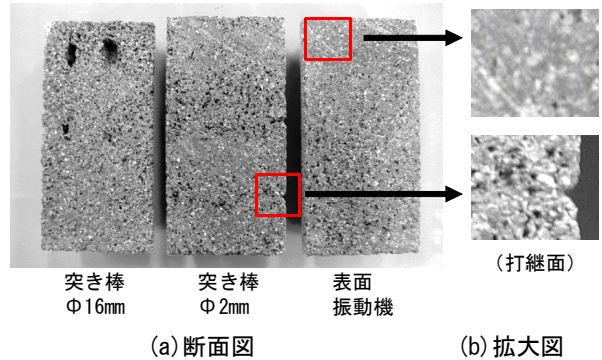
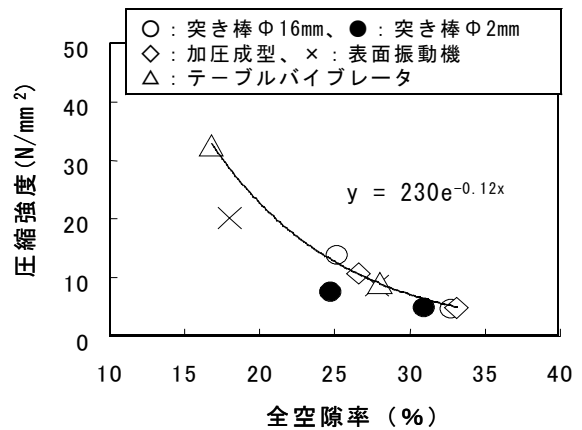
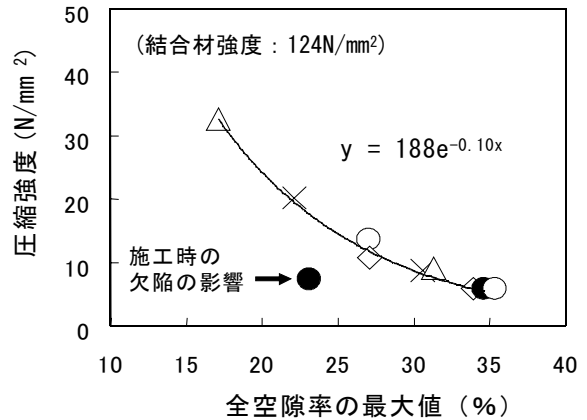


写真-2 供試体断面（縦方向）の一例（突き棒と表面振動機の場合・設計空隙率15%）



(a) 供試体全体の平均空隙率



(b) 供試体内部の空隙率の最大値

図-6 圧縮強度と全空隙率との関係

実用化に対しては、小粒径POCを用いた透水性舗装を想定する場合、透水性アスファルト舗装の下限値である透水係数0.01cm/sを確保する必要がある。図-7によれば、この下限値は、閉塞が生じた表面振動機の一部の条件を除けば十分にクリアできると思われる。

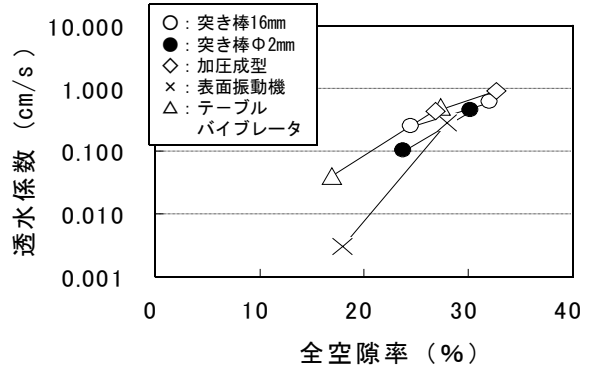
### 3.4 保水試験

図-8に示す保水率の時刻歴の一例を示す。同図によれば、保水率は、すべての条件で乾燥時間24hまでに大幅に低下した。これは連続空隙からの水分の逸散によるもので、時間経過と共に緩やかな減少傾向に変化した。

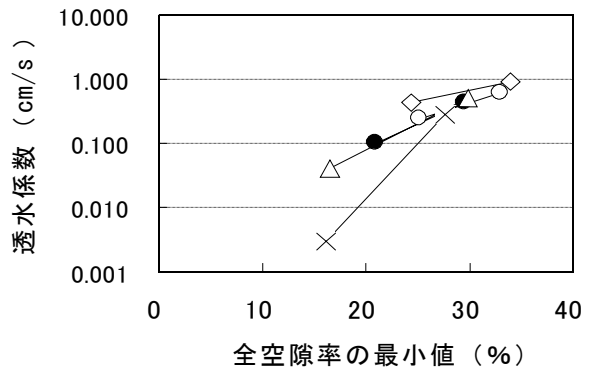
図-9(a)に乾燥時間168時間(7日)の保水率と全空隙率との関係を、図-9(b)に、全空隙率の値として水分蒸発面である供試体上層部の空隙率(図-5参照)を用いた結果を示す。その結果、供試体上層部の空隙率を用いることにより、相関が良くなる傾向があり、保水性能には蒸発面である上層部の空隙率が影響していると考えられる。本実験の環境であれば締固め方法にかかわらず保水率10%程度は維持できることが確認できた。また、同図より空隙率が低くなる程、保水率が高い傾向となるが、図-10に示すように、1m<sup>2</sup>(厚さ200mm)当たりの保水量に換算すると、空隙率によらず約6~8kg/m<sup>2</sup>程度になった。

### 3.5 揚水試験

図-11に、揚水率の時刻歴の一例を示す。揚



(a) 供試体全体の平均空隙率



(b) 供試体内部の最小空隙率

図-7 透水係数と全空隙率との関係

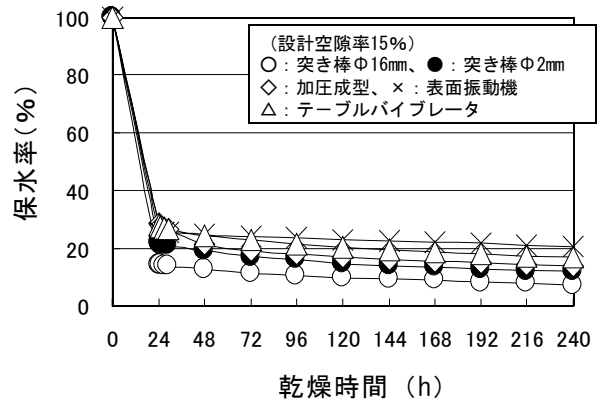
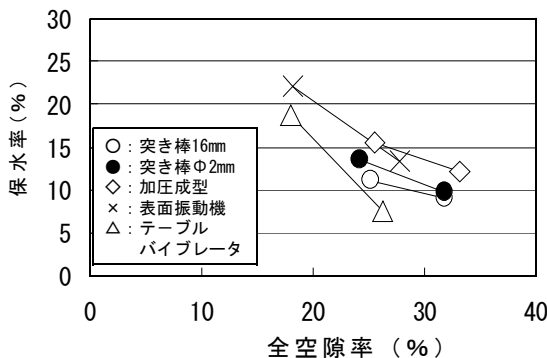
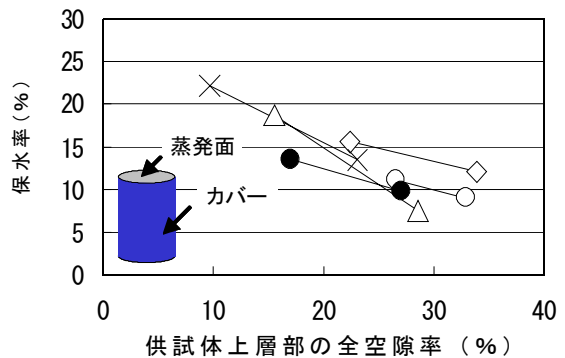


図-8 保水率の経時変化の一例



(a) 供試体全体の平均空隙率



(b) 供試体上部の空隙率

図-9 保水率と全空隙率との関係

水率は、浸漬時間1時間までに大きく増加し、それ以降の変化は小さかった。

浸漬24時間時点における全空隙率と揚水率との関係を図-12に、揚水高さとの関係を図-13に示す。図-12より、揚水性能は高空隙率になるほど大きくなる傾向を示した。図-13に示す揚水高さは、振動の有無による違いが現れ、無振動の場合に揚水高さが高くなっている。これは、振動締め固めにより結合材が流動化すると、内部の凹凸が滑らかになり揚水性能を低下させるためではないかと思われる。

#### 4. まとめ

本研究により、以下に示す知見が得られた。

- 1) 小粒径POCの締め固め方法を比較検討した結果、締め固め方法により供試体内部の空隙率分布が異なることが確認できた。
- 2) 小粒径POCの圧縮強度と内部空隙分布の最大値の関係は、締め固め方法によらず1本の曲線で決まる。
- 3) 小粒径POCの透水係数は1cm/sと従来のPOCの透水係数より小さい。また、透水係数は内部空隙率分布の最小値に依存する。
- 4) 小粒径POCの揚水高さは、振動締め固めの有無の影響を受け、無振動の方が揚水高さは高くなる。
- 5) 小粒径POCの硬化体の性能評価により、透水・保水・揚水ブロックとしての利用の可能性が見い出せた。

#### 謝辞

本研究では、(株)大栄工業 山本健次氏、吉永明弘氏、川岡孝督氏、(株)三和工務店 飯田諒氏、三重県工業研究部 湯浅幸久氏のご助力を得た。ここに、付記して謝意を表します。

#### 参考文献

- 1) 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報告書、日本コンクリート工学会、pp. 179-181, 2003. 5
- 2) 湯浅幸久, 畑中重光, 三島直生, 前川明弘, 宮本高秀: ポーラスコンクリートの振動締め固めに関する実験的研究, 日本建築学会構造系論文集, No.552, pp. 37-44, 2002. 2

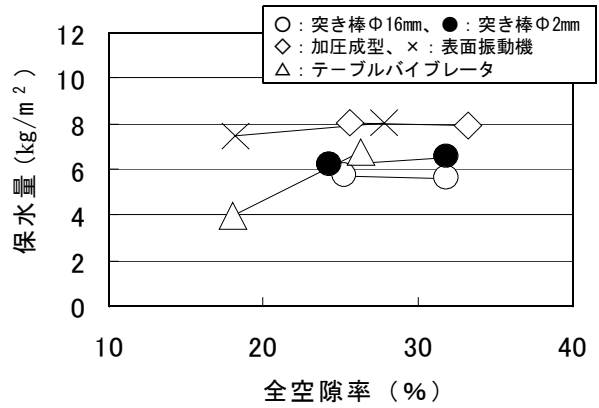


図-10 保水量と全空隙率との関係

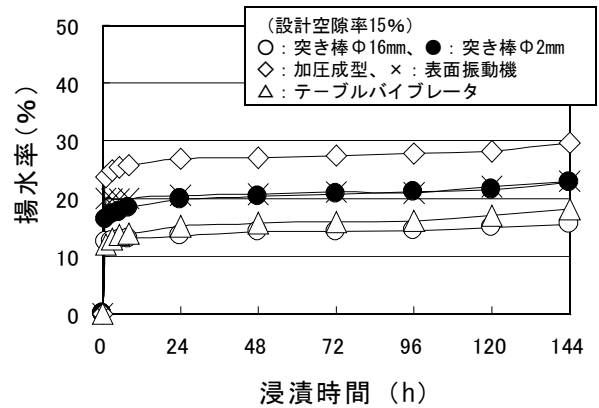


図-11 揚水率の経時変化の一例

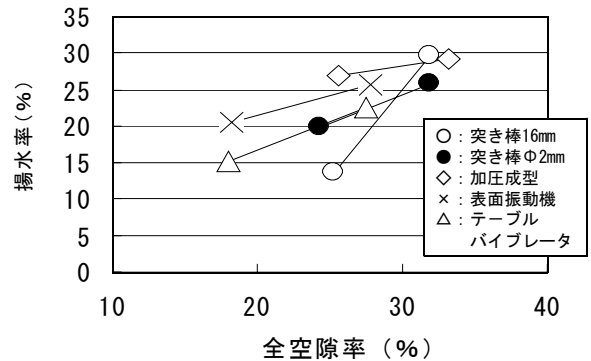


図-12 揚水率と全空隙率との関係

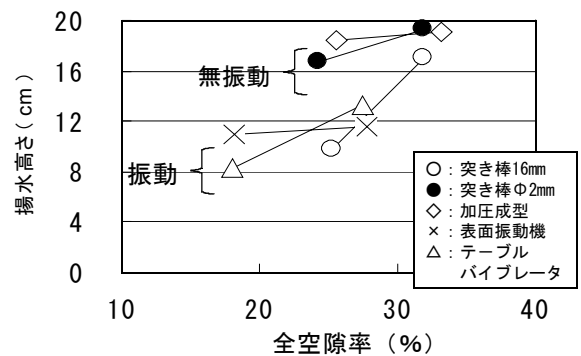


図-13 揚水高さとの全空隙率との関係