

論文 ポーラスモルタルの調湿性能および保水性能に関する基礎的研究

平岩 陸^{*1}・田中清人^{*2}

要旨：本研究では、粗骨材を使用した従来のポーラスコンクリートではなく、細骨材を使用したポーラスモルタルを作成した。細骨材を使用することにより、内部の空隙径が小さくなり、表面積が増大すると同時に、内部に水分を保持しやすくなると考えられる。この内部水分の存在により付与され则认为られる調湿性能、保水性能および揚水性能に関する基礎的な検討を行った。

キーワード：ポーラスモルタル、調湿性能、保水性能、揚水性能

1.はじめに

ポーラスコンクリートは、コンクリート分野における環境対策のひとつとして開発されたエココンクリートである^{1,2)}。コンクリート分野におけるエココンクリートは、生態系との共存を図る生物対応型と、環境への負荷を低減させる環境負荷低減型に分類されている。ポーラスコンクリートは、生物の生息場の確保、植物植生の面で前者の機能を持ち、また水質の浄化機能、保水による熱収支の改善、透水による水収支の改善などの面で後者の機能を持っており、エココンクリートとして非常に優れた特性を有している。このような性質がポーラスコンクリートに付与されるのは、内部に空隙を多く持つためである。

しかし、これまでのポーラスコンクリートは、大きさが5mm以上の骨材（粗骨材）を用いて作成されており、このため空隙径も一般には数cm程度、最小でも1～2mm程度である。このため、植物対応型としての機能である植物の植生などの面では優れた効果をあげたが、環境負荷低減型の機能である水質浄化性能、保水性能、透水性能などの面では限界があった。

筆者らは、従来のポーラスコンクリートで、これらの機能が達成できなかった理由が空隙径の大きさにあると考え、細骨材を利用したポーラスモルタルを提案した。その作成方法を実験的に検討し、セメントペーストの流動性を細骨材粒径に適したものに變更することで、ポーラスモルタルの作成が可能であることを示した³⁾。この

ようにしてできるポーラスモルタルの内部の空隙径は小さく、内部に水分を多く含むことができると同時に、内部の水分を保持しやすいとされる。これにより土により近い性質を持つ材料となると考えられ、水質浄化性能、保水性能、透水性能、調湿性能などの機能が付与されるとともに、セメント系材料の特徴である耐久性に富んだ材料ができることが期待される。

本研究では、以上のような背景から、ポーラスモルタルの基礎的な性質として空隙率、曲げ強度および圧縮強度を示すとともに、ポーラスモルタルに特徴的な環境負荷低減の機能である調湿性能、保水性能および揚水性能について検討した。

2.実験方法

2.1 供試体の作成

今回使用したポーラスモルタル供試体の調査を表-1に示す。今回の実験では、普通ポルトランドセメントと表-2に示すような実積率と密度を持つ5種類の粒径の細骨材を用いた。このうち、2.5～5mm、1.2～2.5mmの細骨材については、HAE/Cを1.0%とし、0.6～1.2mm、0.3～0.6mm、0.15～0.3mmについては、HAE/Cを2.0%とした。これらは、筆者らの既往の実験³⁾に基づいたものであり、ペーストの流動性は、フローコーンを外した直後の、打撃を加えない状態のフロー値で示すと、それぞれ300と400となる。このようなペーストと細骨材を混練してポーラスモルタルを作成した。なお、調査上の

表-1 ポーラスモルタルの調査表

Air (%)	W/C (%)	W (kg/m ³)	C (kg/m ³)	S (kg/m ³)	HAE/C (%)
20	20	97	483	1430	1.0, 2.0
30		58	290		

[Note] Air: 目標空隙率, W/C: 水セメント比, W: 水, C: セメント, S: 細骨材, HAE: 高性能AE減水剤

表-2 各径の細骨材の実積率と密度

粒径(mm)	実積率(%)	密度(g/cm ³)
2.5～5	56.52	2.61
1.2～2.5	55.91	2.60
0.6～1.2	57.17	2.60
0.3～0.6	57.08	2.57
0.15～0.3	54.60	2.62

*1 名城大学 理工学部建築学科助教 博士（工学）（正会員）

*2 豊田工業高等専門学校 建築学科嘱託教授 （正会員）

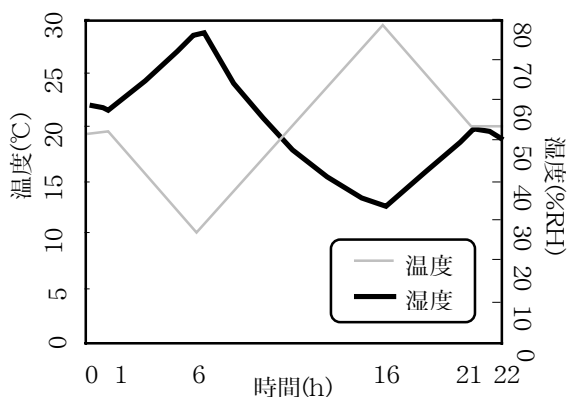


図-1 温度変化に伴う湿度変化

目標空隙率は、骨材の実積率にペーストの容積を加え、残りの容積が目標空隙率となるようにしている。このような方法で、40×40×160mmのモルタル曲げ試験用供試体を作成し、全空隙率、曲げ強度および圧縮強度を測定した。全空隙率の測定方法は、ポーラスコンクリートの物性試験方法（案）¹⁾によった。また、曲げ強度および圧縮強度の測定は、JIS R 5201のセメントの物理試験方法の強さ試験によった。さらに、100×100×15mmの平板を作成し、調湿性能、保水性能および揚水性能の検討を行った。以下で、これらの各性能の実験方法を示す。

2.2 調湿性能

調湿性能の測定においては、2種類の実験を行った。なお、調湿性能に関する実験については、いずれの実験でも、ポーラスモルタルをそのまま実験に共したもの（以下、無含浸と表記する）と、一般に吸湿剤として使用されている塩化カルシウム25%水溶液に24時間浸して含浸させたものを使用した。よって、検討項目は、ポーラスモルタルに用いた細骨材の粒径、目標空隙率および塩化カルシウム含浸の有無ということになる。

(1) 吸放出水量の検討

ポーラスモルタル供試体の吸収水分量および放出水分量を量る実験を行った。まず、供試体を100℃で24時間以上乾燥させて絶乾状態とした。その後、水分吸収過程として、20℃、90%RHの状況下とした恒温恒湿機内に静置し、その質量変化を数日ごとに7日間測定し、吸収した水分量を測定した。さらにその後、水分放出過程として、20℃、60%RHの状況下において、同じく質量の変化を数日ごとに7日間測定し、放出した水分量を測定した。

(2) 調湿性能の検討

もう1つの実験は、温度変化にともなう湿度の変化を、どの程度調整できるかの検討である。これは、20℃、60%RHの状況下で放置して定常状態とした供試体をそのまま150mm×150mm×150mmの密閉容器に封

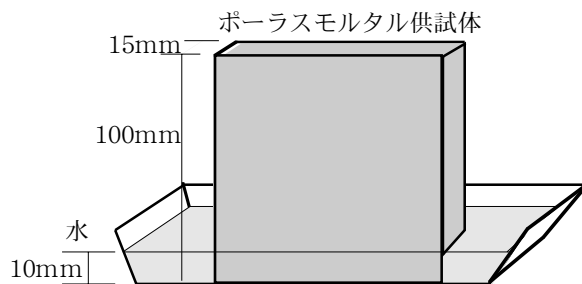


図-2 揚水試験の状況

入し、密閉容器ごと恒温機に入れて温度変化を与え、その際の密閉容器内の湿度変化を測定するものである。図-1は与えた温度変化と、何も入れていない場合の湿度変化を示したものである。温度変化は、始めに20℃で1時間放置し、その後、1時間に2℃の変化を与えており、20℃から10℃、10℃から30℃と変化させ、最終的には再び20℃に戻した。密閉容器内には温湿度測定器を入れ、温湿度を5分の測定間隔で記録した。供試体がない場合の湿度は、図に示すように、温度が上昇するにつれて低下し、温度が低下するにつれて上昇する。このような湿度変化が、ポーラスモルタル供試体の存在によってどのように変化するか検討した。

2.3 保水性能および揚水性能

保水性能の測定については、供試体を24時間以上水につけた後、20℃、60%RHの状況下におき、その時の質量変化を測定することで検討した。

揚水性能の測定については、20℃、60%RHの状況下で放置して定常状態とした供試体を図-2に示すように10mmの高さまで水につけ、毛細管現象による水の上昇高さを測定するとともに、その際の質量の変化を測定することで検討した。

3.実験結果および考察

3.1 供試体の基礎的性質

全空隙率の結果を図-3に示す。この図から粒径が小さくなると全空隙率が増加し、目標空隙率との乖離が大きくなっていることがわかる。これは、従来と同様の結果である。一般に、骨材周りにペーストが付着すると、型枠内に入る細骨材量は実積率よりも小さくなるが、この傾向は骨材粒径が小さいものでより顕著であるためと考えられる。図-4は、材齢28日での曲げ強度および圧縮強度の結果である。粒径が小さくなると空隙率が大きくなるため、これに伴い、いずれの強度も低下している。特に目標空隙率30%では、全てコンクリート平板の設計基準曲げ強度4.5N/mm²に満たなかった。目標空隙率20%でも、粒径の小さいものでは満たしていないが、実際の空隙率が20%になれば、満たす可能性はある。今回は、目標空隙率のみを調合上で設定し、実際の空隙

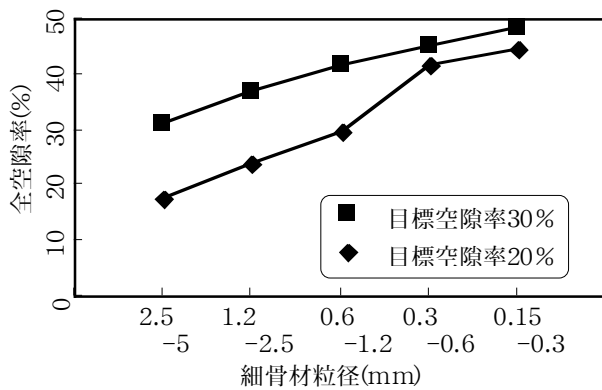


図-3 全空隙率

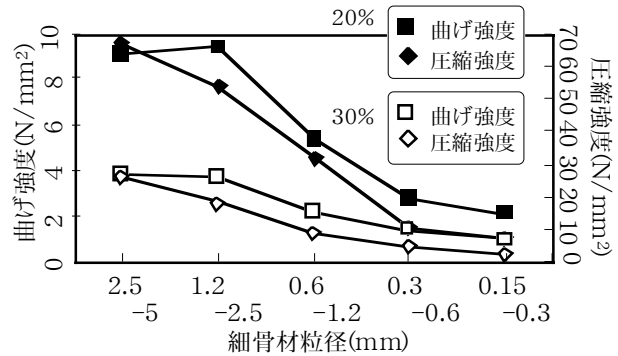


図-4 曲げ強度および圧縮強度

率が一定とならなかったため、このような結果となった。このような物性を持つポーラスモルタルを使用して以下の各種の実験を行った。

3.2 調湿性能

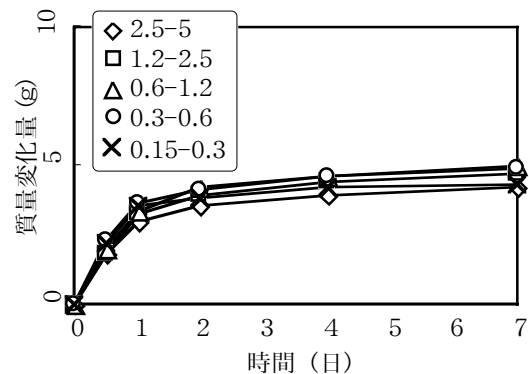
(1) 吸放出水量の検討

図-5は、目標空隙率20%および30%とした無含浸のポーラスモルタルの湿潤時の質量変化量を示したものである。図-6は、比較のために木材（ヒノキ、密度：0.48g/cm³）とモルタル（水セメント比：60%，砂モルタル比：50%）を同条件下で試験を行ったものである。ポーラスモルタルの結果は、目標空隙率および骨材粒径にはそれほど影響されず、全体としてあまり差のない結果が得られている。また、いずれも3日後以降の変化量は頭打ちとなっている。木材やモルタルと比較しても、その量はそれほど多くはない。内部空隙径が小さくなると表面積が増大して、水分吸収量が多くなると予想したが、実際には、内部空隙で水分が保持されるのではなく、モルタルに吸収される水分が重要となるため、このような結果になったと考えられる。

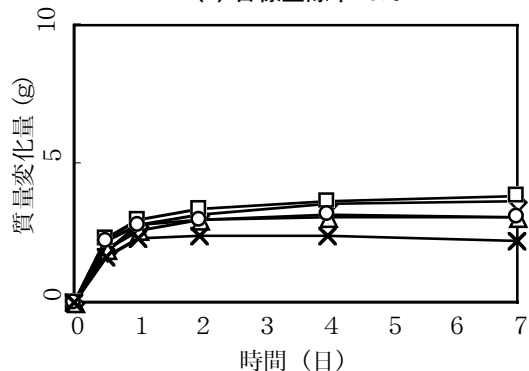
図-7は、湿潤状態終了後に乾燥状態に置いたものの質量変化量を示したものである。同じく比較のために木材とモルタルについても図-8に示している。ポーラスモルタルの結果は、目標空隙率20,30%いずれも質量変化量は少なく、さらに3日程度で質量の変化量は頭打ちとなっており、ほとんど放出しないことがわかる。これは木材やモルタルと比較しても小さい値である。

以上より、ポーラスモルタル単体での水分吸放出性能は高くないと言える。

一方、図-9は、塩化カルシウム25%水溶液を含浸させたポーラスモルタルの湿潤時の質量変化量を示したものである。これらの図によると、いずれも無含浸のものよりも質量変化量が大きく、塩化カルシウム水溶液の含浸により水分の吸収量が大きくなったといえる。これは、内部空隙が塩化カルシウム水溶液で満たされたのに乾燥させることで、塩化カルシウムの固体粒子が内部



(1) 目標空隙率20%



(2) 目標空隙率30%

図-5 湿潤時の質量変化量（無含浸）

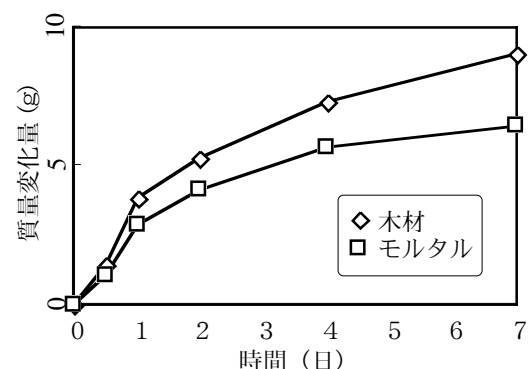
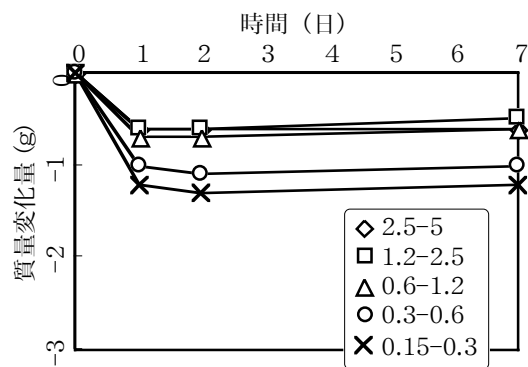
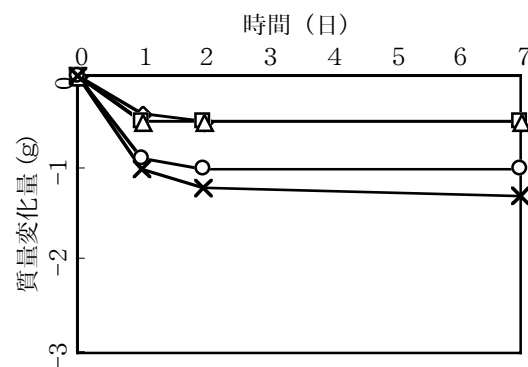


図-6 湿潤時の質量変化量（木材，モルタル）

にとどまったためと考えられる。また、目標空隙率が大い場合および骨材粒径が小さい場合に、明らかに質量変化量が大きくなっている。これは、内部にとどまる塩化カルシウムの量が空隙率により決定されるためと考え

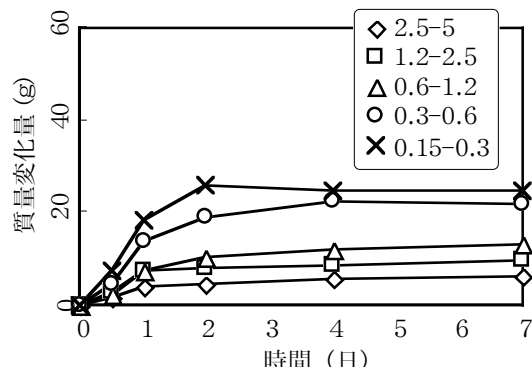


(1) 目標空隙率20%

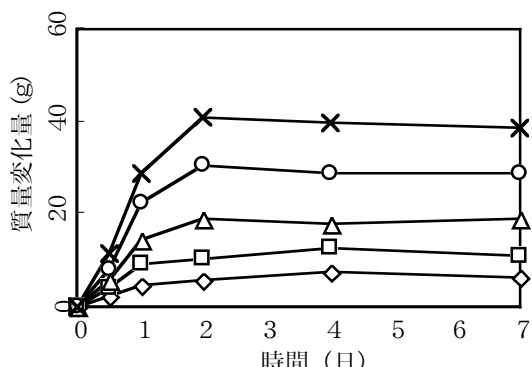


(2) 目標空隙率30%

図-7 乾燥時の質量変化量（無含浸）



(1) 目標空隙率20%



(2) 目標空隙率30%

図-9 湿潤時の質量変化量
塩化カルシウム25%水溶液含浸)

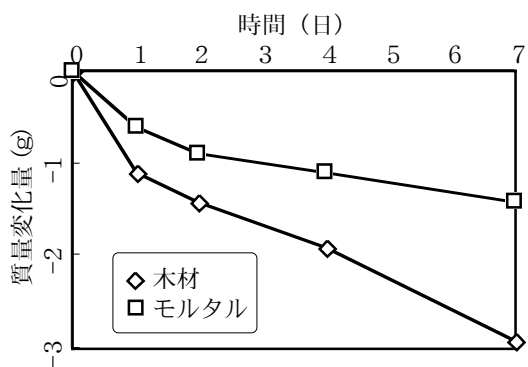
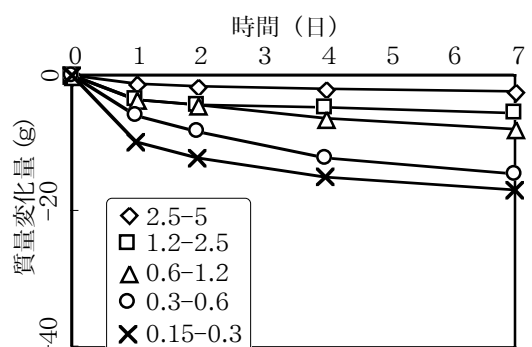
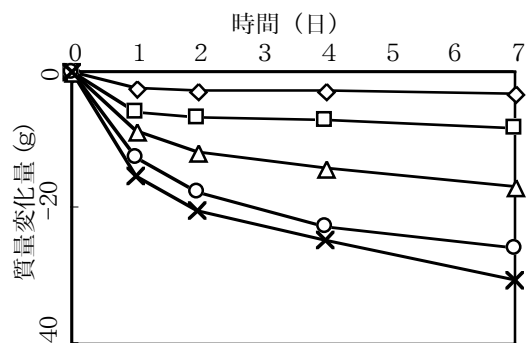


図-8 乾燥時の質量変化量（木材，モルタル）



(1) 目標空隙率20%



(2) 目標空隙率30%

図-10 乾燥時の質量変化量
塩化カルシウム25%水溶液含浸)

られる。

図-10は、同じく塩化カルシウム水溶液25%を含浸させた場合の乾燥時の質量変化量を示したものである。無含浸のものと比較してこの値も大きくなっており、水分の放出量が多くなっていると考えられる。また、湿潤時と同様に、目標空隙率が高い場合、骨材粒径が小さい場合に質量変化量が大きくなっており、塩化カルシウム水溶液の含浸の影響が表れたものと考えられる。

(2) 調湿性能の検討

図-11は、無含浸の場合の湿度変化を、骨材粒径別に示したものである。また、比較のために密閉容器に何も無い場合、吸放出水量の検討を行った際に用いたモルタルおよび木材を封入した場合の3種類の結果を図-12に

示した。なお、目標空隙率の変化によってほとんど差が生じなかったため、目標空隙率20%の結果のみを示し

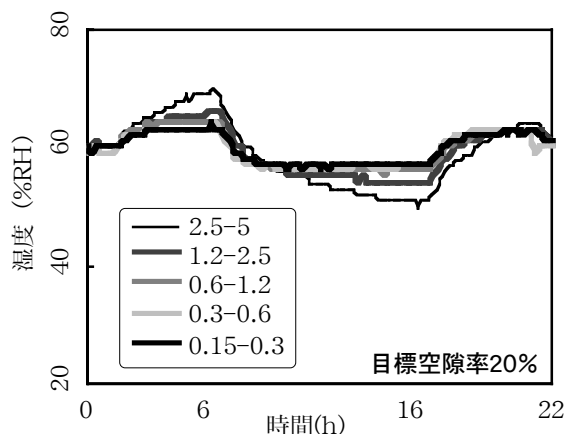


図-11 湿度変化（無含浸）

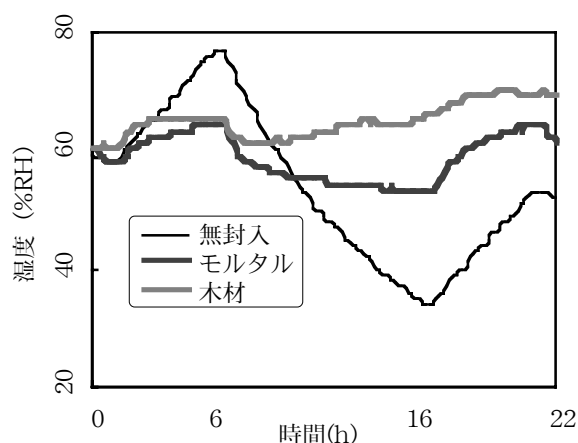


図-12 湿度変化（無封入、木材、モルタル）

ている。この図からわかるように、調湿性能を持つといわれる木材はもちろん、モルタルであっても、無封入の場合と比較して調湿が行われていることがわかる。しかし、木材の方が湿度変化がゆるやかであり、湿度の上昇が急激なモルタルよりも、調湿性能としては木材のような形が望まれると考えられる。一方、図-11に示したポーラスモルタルは、骨材粒径が大きい場合にはほとんどモルタルと同様であるが、骨材粒径が小さくなると、その変化の幅が小さくなっている。これは、モルタルよりも調湿性能が向上していると言え、内部空隙径が小さいために生じた現象と考えられる。

図-13は、塩化カルシウム25%水溶液を含浸させた場合の湿度変化を、骨材粒径別に示したものである。骨材粒径が0.15-0.3mmのものを除き、ほとんど同じ結果となった。こちらの結果は、無含浸で骨材粒径が小さいものとはほぼ同じであり、塩化カルシウムを含浸させることで、骨材粒径が大きいものであっても調湿性能が向上したと言える。一方、骨材粒径が0.15-0.3mmのものでは、変化幅はそれほど変わらないものの、全体的に湿度が高めのまま移行している。この理由は、試験に供する段階で供試体自身が持っていた水分が多めだったためと考えられる。木材においても、最終的に湿度が高めで

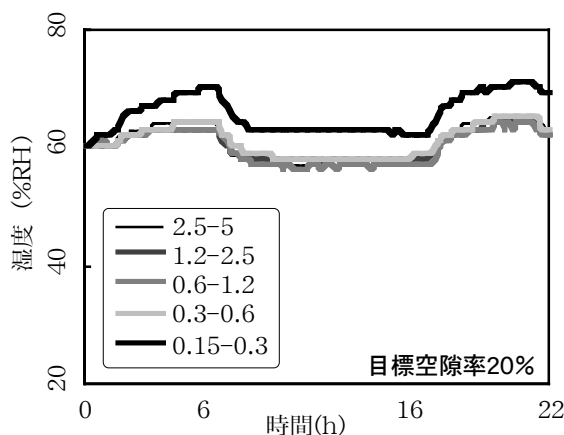
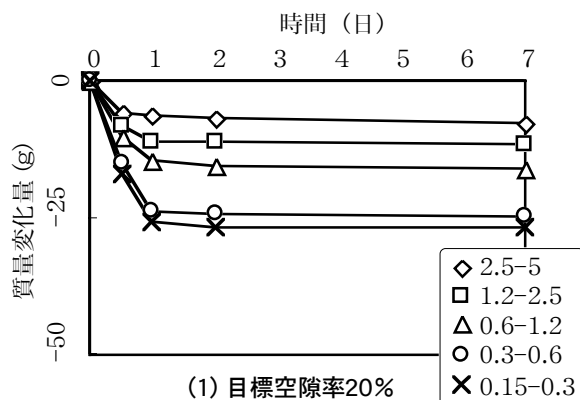


図-13 湿度変化
(塩化カルシウム25%水溶液含浸)

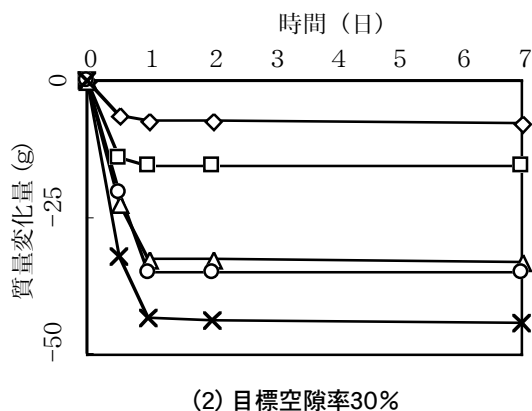
推移しており、両者の共通点として、内部に水分を多く蓄えることができることが挙げられ、この理由により湿度が高めに推移したと考えられる。

3.3 保水性能および揚水性能

図-14は、湿潤後の質量変化を目標空隙率別に示したものである。この図からわかるように、水に接していない状況では、3日程度で定常状態に達しており、ポーラスモルタルにおいても、保水機能はあまり認められない



(1) 目標空隙率20%



(2) 目標空隙率30%

図-14 質量変化（保水性能）

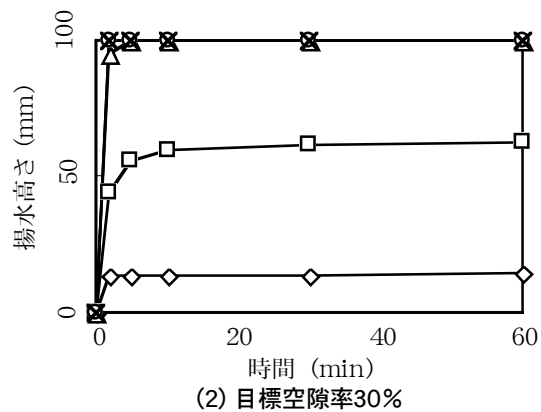
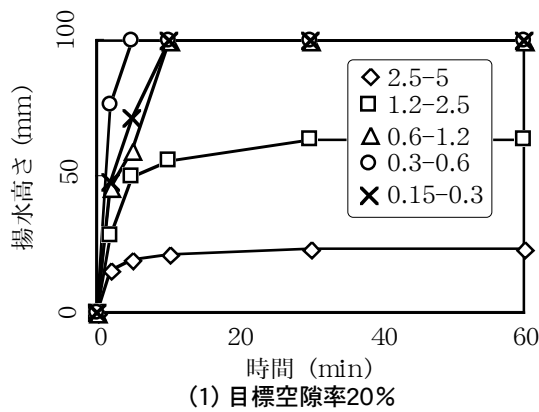


図-15 揚水高さ

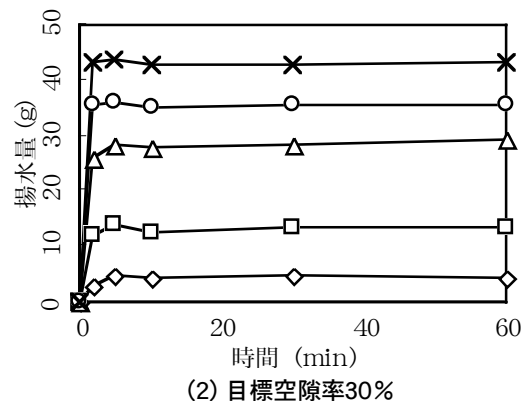
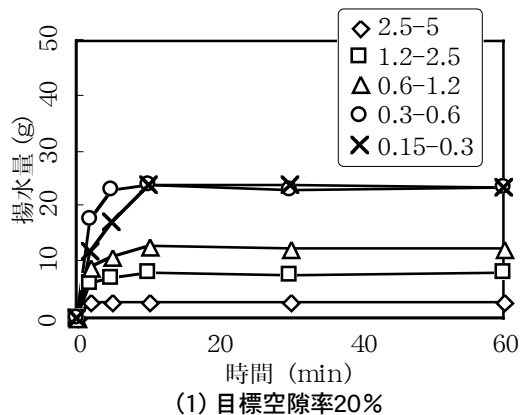


図-16 揚水量

といえる。粒径が小さく空隙率が大きいほど、減少量が多いが、これは湿潤時の含水量も多いためである。

図-15は、揚水高さの変化を示したものである。この図によると、骨材粒径が0.6-1.2mm以下のものでは、いずれも5分足らずで100mmに達しており、揚水能力が高いことがわかる。また、100mmに達しなかった骨材粒径1.2-2.5mm, 2.5-5mmでは、10分程度でほぼ定常状態に至っており、これ以上揚水しないことがわかる。空隙率による差はあまりないが、わずかに目標空隙率20%の方が揚水高さ大きい。これは、内部の空隙径が小さいためと考えられる。一方、図-16は、このときの揚水量を示したものである。揚水高さと同様に、いずれも10分程度で定常状態に至っており、粒径が小さいものの方が多いことがわかる。ただし、空隙率で比較すると目標空隙率が30%の方が揚水量は大きい。これは、揚水高さと異なり、揚水量は内部空隙の量が大きく影響するためと考えられる。

4.まとめ

本研究では、細骨材を用いたポーラスモルタルについて、基礎性状を測定するとともに、内部の空隙径の小ささを活かした性質として、調湿性能、保水性能および揚水性能について実験的に検討した。本研究で得られた知見を以下に示す。

- 1) ポーラスモルタル単体での水分の吸収・放出性能はほとんどなく、モルタルより低い程度であるが、調湿性能はわずかにあり、モルタルと同等である。
- 2) ポーラスモルタルに塩化カルシウム水溶液を含浸すると、水分の吸収・放出性能が著しく改善されるが、調湿性能はポーラスモルタル単体と同程度である。
- 3) ポーラスモルタルの保水能力は、最大でも3日程度であり、その量は空隙率により変化する。
- 4) ポーラスモルタルの揚水高さは、骨材粒径が小さいものほど高く、揚水量は空隙率の影響が大きい。

謝辞

本研究の研究費の一部は、平成19年度中部電力基礎技術研究所助成によった。付記して謝意を表す。

参考文献

- 1) 日本コンクリート工学協会：エココンクリート研究委員会報告書, 1995.11
- 2) 日本コンクリート工学協会：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, 2003.5
- 3) 平岩陸, 田中清人：ポーラスモルタルの作成とその温熱性能に関する基礎的研究, コンクリート工学年次論文集, Vol.28, No.1, pp.1403-1408, 2006.7