

論文 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

平岩 陸^{*1}・田中清人^{*2}

要旨：本研究では，ポーラスコンクリートに様々な機能を付加するため，従来用いられていた粗骨材ではなく，細骨材を用いたポーラスモルタルを作成することを試みた。まず，ポーラスモルタルの作成方法に関する検討を行うため，ペーストの適切なフロー値およびその基本的な性質に関する検討を行った。さらに，乾燥による質量変化率や，熱を加えた場合の内部温度および表面温度の変化を測定し，その温熱性能を検討した。

キーワード：細骨材，ポーラスモルタル，フロー値，質量変化，温熱性能

1. まえがき

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)}。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，ポーラスコンクリートが雷おこし状であり，内部に空隙を多く持つためである。

従来のポーラスコンクリートは，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，温熱性能などの面では，改良の余地があると考えられる。

本研究では，より小さい空隙径を持たせることにより，環境負荷低減型の機能を向上させることを目的として，細骨材を用いたポーラスモルタルを作成する。これにより空隙径を小さく

すれば，土により近い性質を持つ材料ができ，各種の機能が向上するとともに，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。

本稿では，まず，細骨材を利用したポーラスモルタルを作成する方法を実験的に検討するため，各粒径ごとにペーストのフロー値を変えて供試体を作成し，その基礎的な性質を測定することで，適切なフロー値を検討した。さらに，内部の保水性に着目し，乾燥による質量変化や，熱を加えた場合の内部温度および表面温度の変化を測定し，その温熱性能を検討した。

2. ポーラスモルタルの作成に関する検討

ポーラスモルタルの作成そのものは，粗骨材を用いた従来のポーラスコンクリートと同じく，目標空隙率を設定し，ペーストと骨材を混練することによって可能であると考えられる。しかし，細骨材の場合，求められるペーストの流動性が粗骨材の場合と大きく異なることが予想される。粗骨材の場合，筆者らの実験³⁾では，JISの5, 6, 7号碎石（それぞれの粒径は13~20mm, 5~13mm, 2.5~5mm）において，フロー値が230のペーストを用いることで，作成が可能と結論づけている。細骨材の場合は，粒径が小さいため，これよりもさらに大きな流動性を持つペーストが必要になると考えられる。この実験

*1 豊田工業高等専門学校助手 建築学科 博士(工学) (正会員)

*2 豊田工業高等専門学校助教授 建築学科 (正会員)

表 - 1 ポーラスモルタルの調合表

Air (%)	W/C (%)	W (kg/m ³)	C (kg/m ³)	S (kg/m ³)	HAE/C (%)
20	20	97	483	1430	0.75 ~ 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 実験要因の組合せ

静定フロー値 FL0	細骨材粒径 (mm)			
	200	0.6-1.2	1.2-2.5	2.5-5
300	0.3-0.6	0.6-1.2	1.2-2.5	
400	0.3-0.6	0.6-1.2		

では、ふるい分けした各粒径の細骨材を用いた場合、ポーラスモルタルを作成するためには、どの程度の流動性を持つセメントペーストが必要となるか検討した。

2.1 実験方法

まず、細骨材をふるい分けして各粒径に分類した。今回用いた粒径の範囲は、0.3~0.6mm, 0.6~1.2mm, 1.2~2.5mm, 2.5~5mmとした。水セメント比は20%とし、混和剤によってセメントペーストの流動性を調整した。流動性の評価にはモルタル用のフロー試験を用いる予定であったが、非常に流動性が高いセメントペーストを使用する必要があり、その場合、15回の打撃を加えるとフローテーブルから落ちてしまうため、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を測定し、流動性を評価した。本稿では、このフロー値を静定フロー値FL0と定義し、その目標値を200, 300, 400と変化させて（混和剤量はそれぞれセメント重量比 0.75, 1.0, 2.0%）打設を行った。

ポーラスモルタルの作成については、ペーストを先練りした後、骨材を加えてさらに混練して行った。その後φ5×10の円柱供試体を、突き棒で突き固めて作成した。この供試体を用いて圧縮強度、空隙率、透水係数を測定した。これらの試験方法は、ポーラスコンクリートの物性試験方法（案）によった。調合を表 - 1 に示す。目標空隙率の20, 30%と、

セメントペーストの流動性および骨材粒径が本実験の実験要因となる。静定フロー値FL0と骨材粒径の組合せを表 - 2 に示す。

2.2 実験結果および考察

図 - 1 は、細骨材によるポーラスモルタルの表面状態の一例として、目標空隙率30%のものを示したものである。図からもわかるように、今回の実験の範囲では、いずれの骨材粒径およびいずれの静定フロー値でも表面状態が粗くなることはなく、下にペーストが溜まることもなかった。しかし、圧縮試験後に内部を観察すると、粒径が小さいものでは、ペーストと骨材が一体となり、玉になっている部分が一部見られた。また、粒径が小さいものについては、打設面において、骨材がぼろぼろと取れるものもあったが、型枠面においてはそのようなことはなかった。

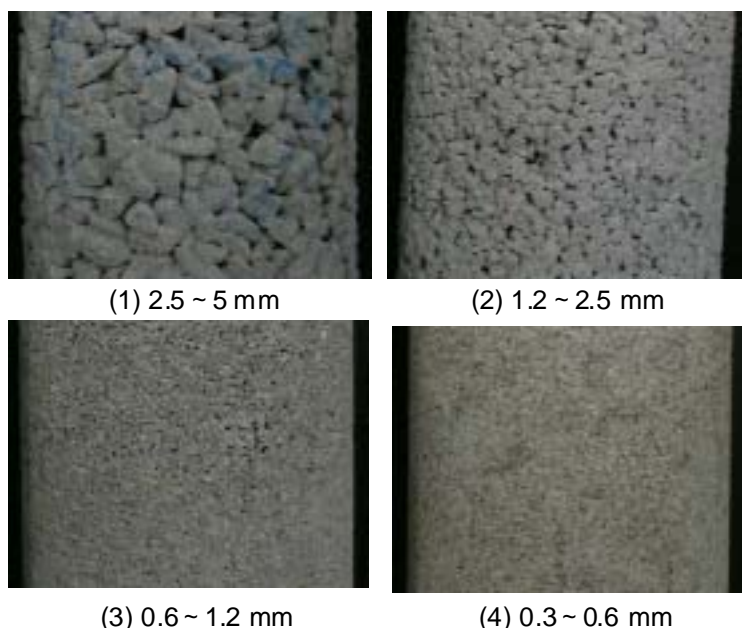


図 - 1 ポーラスモルタルの表面状態（目標空隙率30%）

図 - 2 は、空隙率と静定フロー値の関係を示したものである。なお、ここで述べる空隙率は、供試体を乾燥させ、質量変化がほぼなくなった場合の全空隙率である。この図によると、実測される空隙率は、目標空隙率よりも全体的に大きいことがわかる。また、静定フロー値が大きくなると、実際の空隙率が小さくなる傾向がある。これは、流動性が大きくなることで、骨材同士の隙間にペーストが入り込みやすくなるためである。また、骨材粒径が小さい場合に、全体的に空隙率が大きくなる傾向がある。今回作成したポーラスモルタルは、流動性がなく、そばろ状であり、この状態のモルタルを突き固めにより打設した場合、粒径の小さいものほど突き固めの効果が小さく、内部が密実にならなかったものと考えられる。このような結果は、突き固めの方法など、打設方法によっても変わってくると考えられる。

図 - 3 は、透水係数と静定フロー値の関係を示したものである。従来のポーラスコンクリートの透水係数が1cm/s以上のものが多いのに対し

て、今回の結果ではほとんどがそれ以下となった。また、空隙率と同様に、静定フロー値が大きくなると値が小さくなる傾向があるが、空隙率と異なり、骨材粒径による差の方が大きい。これは、骨材粒径が小さく、空隙径が小さくなったことによると考えられ、透水係数が骨材径に大きく依存することを示すものである。

図 - 4 は、圧縮強度と静定フロー値の関係を示したものである。この図によれば、静定フロー値が大きくなると強度が上昇していることがわかる。図 - 2 で示したように、静定フロー値が大きくなると空隙率が減少しており、その場合に強度が大きくなるのは従来の知見通りである。また、粒径による差は、透水係数ほどではない。

図 - 5 は、透水係数と空隙率の関係を示したものである。一般には、空隙率が上昇した場合に透水係数も大きくなると考えられるが、図からもわかるように、空隙率の影響よりも、骨材粒径の影響の方が大きく、同一の空隙率であっても、骨材粒径によって透水係数に大きな差が

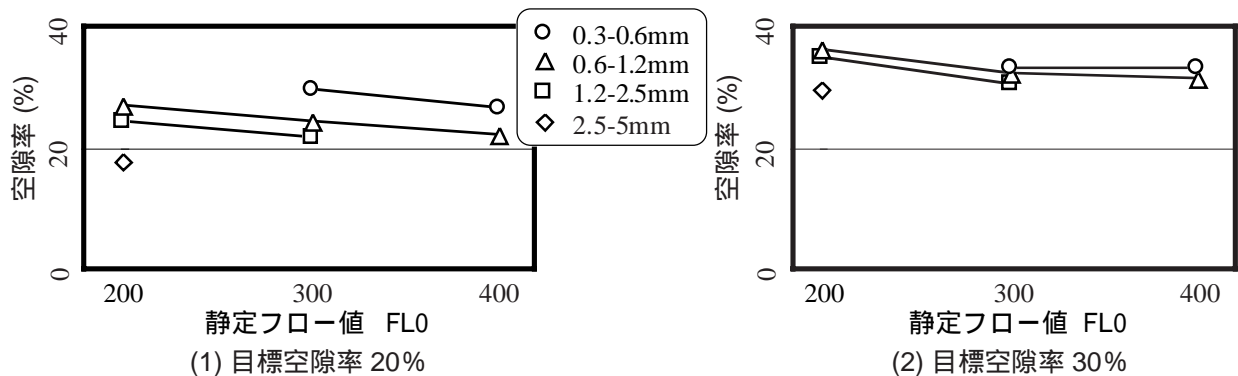


図 - 2 空隙率と静定フロー値 FL0の関係

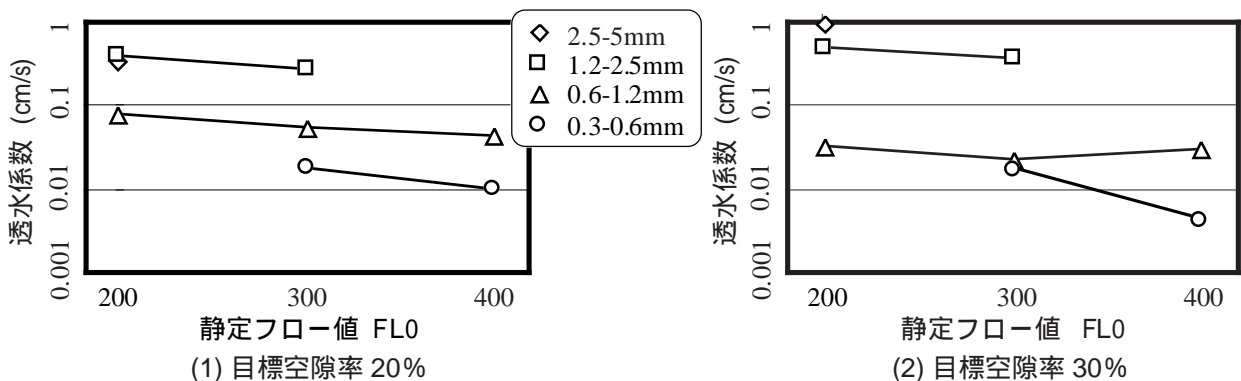


図 - 3 透水係数と静定フロー値 FL0の関係

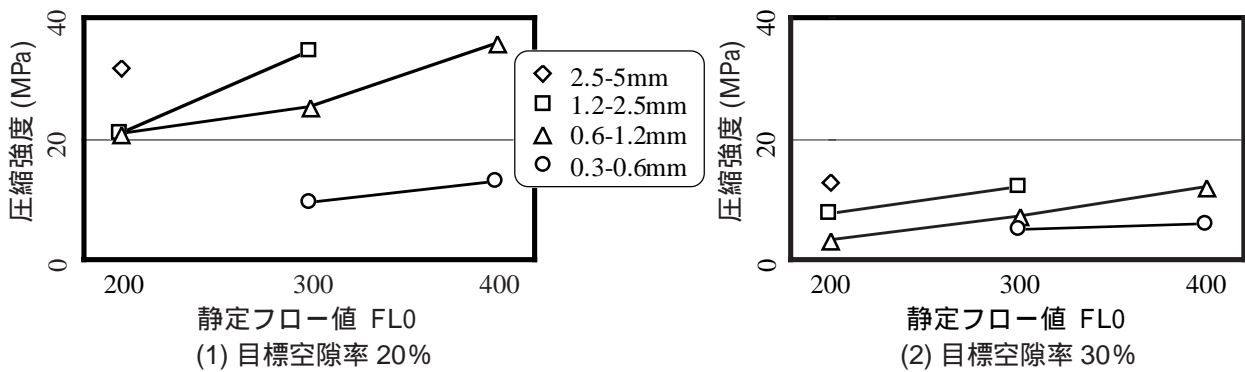


図 - 4 圧縮強度と静定フロー値 FLOの関係

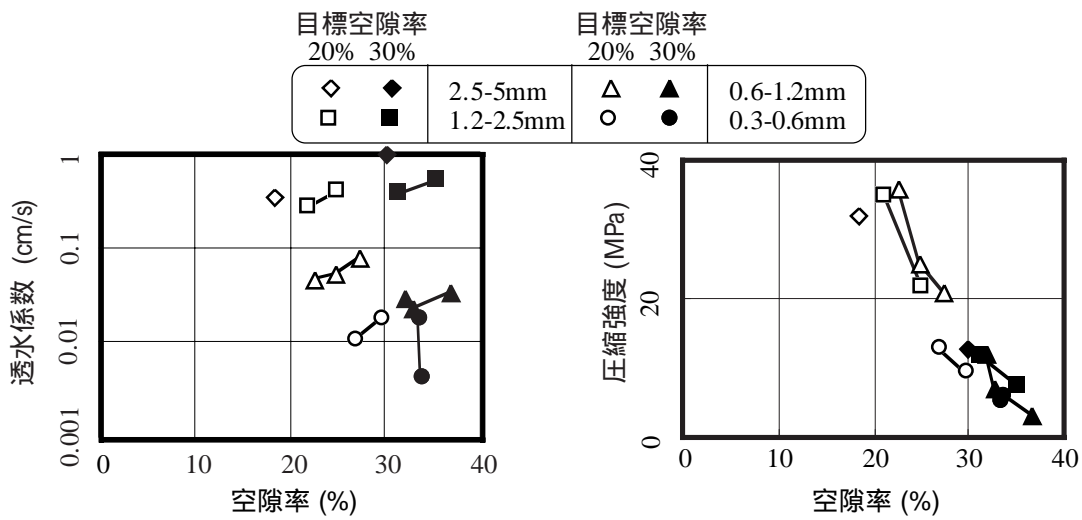


図 - 5 透水係数と空隙率の関係

図 - 6 圧縮強度と空隙率の関係

ある。透水係数を制御するためには、空隙率とともに、骨材粒径に配慮する必要があると言える。

図 - 6 は、圧縮強度と空隙率の関係を示したものである。空隙率が大きくなると圧縮強度が小さくなる傾向があるのは、従来の粗骨材によるポーラスコンクリートと同様である。一方、骨材粒径については、透水係数とは異なり、それほど大きな影響は見られない。つまり、圧縮強度と空隙率の関係は、骨材粒径の影響をそれほど受けないと考えられる。なお、粗骨材を用いた場合の既往の結果¹⁾と比較してみても、圧縮強度と空隙率の相関は、粗骨材を用いた場合も細骨材を用いた場合もそれほど差がないことがわかる。

以上の結果より、今回用いた範囲の静定フロー値 FLO においては、目標空隙率との差は生じるものの、それぞれの粒径においてポーラスモルタルが作成可能と言える。透水係数につい

ては、ポーラスコンクリートよりも大きく低下する結果が得られており、また、空隙率が同一であっても、骨材粒径によって大きく変化することがわかった。つまり、透水係数に関しては、粗骨材を用いたポーラスコンクリートとまったく異なる性質を持つといえる。一方、圧縮強度については、空隙率との関係がポーラスコンクリートとほぼ同様であり、空隙率が同一であれば、ポーラスコンクリートとほぼ同等の強度が得られると考えられる。

3. ポーラスモルタルの温熱性能に関する実験

2.1の方法によって作成したポーラスモルタルを用いて、乾燥状況および温熱性能に関する実験を行った。

3.1 実験方法

温熱性能に関する実験に用いた供試体の寸法を図 - 7 に示す。モルタル試験に用いられる三連型枠の仕切りを取ったもので供試体を作成し

たため、供試体は160×140×40mmの平板状の供試体となった。供試体としては、1.2～2.5mm, 0.6～1.2mm, 0.3～0.6mmの3種類の粒径で、静定フロー値FL0を300とし、目標空隙率30%のポーラスモルタルを作成した。さらに、比較のために、W/C65%で砂の体積比が50%のモルタルを作成した。

これらの平板状のポーラスモルタルを用いて、まず、乾燥の状態を検討するため、水中養生後、実験室中に放置し、その質量変化を測定した。初期状態を水切り質量とし、それからの質量変化を測定した。なお、ここでは水切り質量は、供試体を斜めにしても水が滴らない状況としている。

次に、熱が加わった場合の温度変化について検討するため、図-8に示すような形で温熱試験を行った。実験室（平均気温15℃，平均湿度40%RH）内の高さ800mmの机の上に供試体を鉛直に置き、ハロゲンランプによって熱を与え、熱電対によって温度変化を測定した。ハロゲンランプの照射については、300mmの距離から行い、3時間点灯した後に消灯し、その後3時間まで、計6時間の温度変化を測定した。温度測定については、供試体表面の中央および表面から25mmとなる供試体内部中央について行い、その測定間隔は、点灯および消灯後の15分までは30秒ごと、それ以外は5分ごととした。熱を当てる面以外の面には、熱が外に逃げないように厚さ30mmの発泡スチロールで覆った。また、温熱性能に与える乾燥状態の影響を検討するため、水中養生直後に水切りし、湿潤状態にあるものと、質量の変化がなくなるまで恒温室内で乾燥させたものの比較を行った。

3.2 実験結果および考察

(1) 質量変化

図-9は、水切り後の各供試体の質量変化を示したものである。これによると、水切り後、モルタルでは質量減

少率は小さく、2日後、2%程度の減少で定常状態に至る。一方、ポーラスモルタルではそれ以上に質量が変化しており、この減少量は骨材粒径が小さいものの方が大きく、最大で14%程度になる。これは、水切り状態において、骨材粒径が小さいポーラスモルタルの内部保水量が多いことを示している。しかし、最も長いものでも5日程度で定常状態に達しており、骨材粒径が小さくても、保水力がそれほど長く保たないことがわかる。

(2) 温熱性能

図-10は、乾燥状態における供試体内部および表面の温度変化を示したものである。この図によれば、ポーラスモルタルの温度上昇は、モルタルに比較して大きく、粒径の大きなものほど温度上昇量が大きいことがわかる。また、供試体表面の方が、ランプ点灯後の温度上昇率が大きく、ランプ消灯後の温度減少率も大きい。全体的な傾向は、供試体内部も表面も変わらない。

一方、図-11は、湿潤状態における供試体内部および表面の温度変化を示したものである。モルタルについては、乾燥状態とほとんど変わらないが、ポーラスモルタルについては、乾

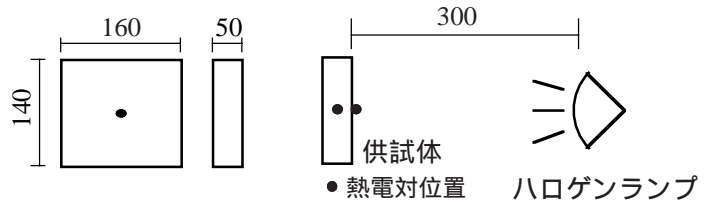


図-7 供試体寸法

図-8 温熱試験概念図

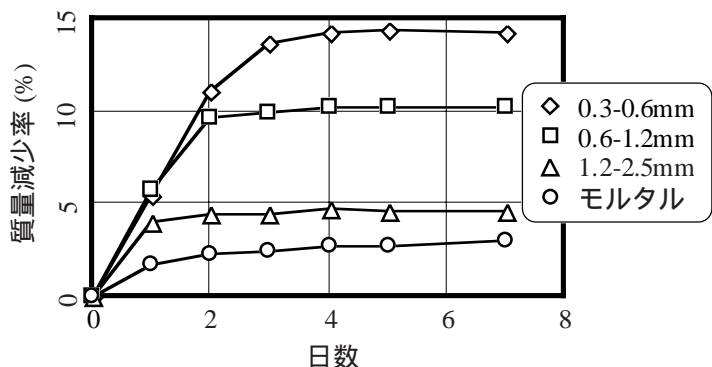


図-9 質量変化（平均気温15℃，平均湿度40%RH）

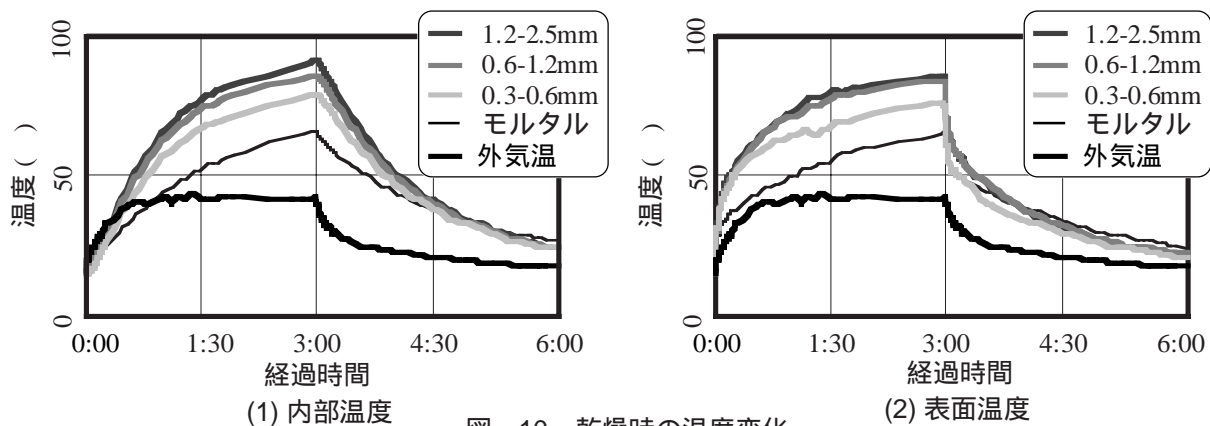


図 - 10 乾燥時の温度変化

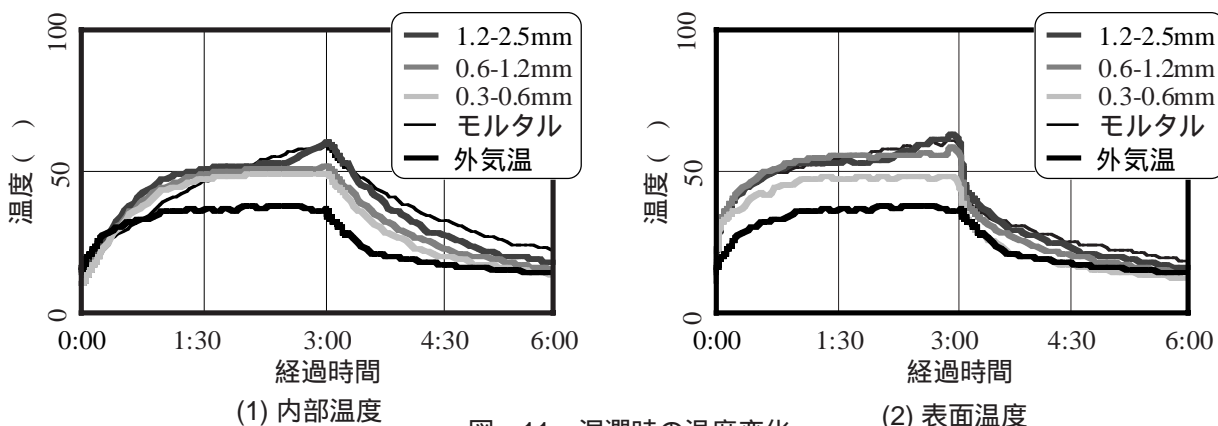


図 - 11 湿潤時の温度変化

燥状態に比較すると、内部温度および表面温度のいずれも温度の上昇が抑えられている。また、初期の温度上昇の割合はポーラスモルタルの方がモルタルよりも大きいですが、その後の温度上昇の伸びは小さく、今回の実験の範囲では、最終的な温度上昇がモルタルよりも抑制されていることがわかる。また、この傾向は、粒径の小さいポーラスモルタルで顕著である。これらは、ポーラスモルタル内の水の存在によるものであると考えられる。ただし、骨材粒径によって、内部保水量が異なるため、粒径による差が生じたと考えられる。

4. まとめ

本研究では、細骨材を用いたポーラスモルタルの作成を試みた。その結果として、今回の粒径およびセメントペーストフローの範囲であれば、ポーラスモルタルが作成可能であることを示した。また、その温熱性能を測定した結果、粒径が小さいもので内部の保水量が多く、保水

している場合は温度の上昇を抑制する効果があることがわかった。今後は、夏場の炎天下における温熱性能の実証実験を行うとともに、空隙径の小ささおよび内部保水力が生かせるような調湿・吸着性能および保水性能などについても検討していく予定である。

謝辞

本研究の研究費の一部は、平成17年度豊田工業高等専門学校教育・研究プロジェクト経費によった。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, 谷川恭雄, 森博嗣：ポーラスコンクリートの調合設計法に関する基礎的研究, コンクリート工学年次論文集, Vol.23, No.1, pp.121-126, 2001.7