

論文 ポーラスコンクリートのフレッシュ性状評価に関する一提案

松本 宏哉^{*1}・内田 寿久^{*2}・湯浅 幸久^{*3}・畑中 重光^{*4}

要旨：近年，ポーラスコンクリートの適用範囲が拡大されつつあり，求める性能も多様化している。しかしながら，フレッシュ時の性能を容易に評価する方法は確立していない。そこで，ポーラスコンクリート製造直後から打設に至るまでの任意の時期における結合材モルタルの流動性について，簡易かつ短時間に評価できる方法を検討した。その結果，一定量のポーラスコンクリートと水とを計量し，密封容器中で転倒振とうしてモルタルを分離し，得られたスラリー状モルタルのフロー値を測定することで，粗骨材投入前の結合材モルタル及びポーラスコンクリート製造後の結合材モルタルのフロー値を推定できる可能性が得られた。

キーワード：ポーラスコンクリート，モルタルフロー，フレッシュ性状，評価方法

1. はじめに

ポーラスコンクリートを製造，施工するにあたり，玉井¹⁾が提唱する Funicular の第一領域となる状態を確保するためには，連続した空隙を保持した状態で，骨材間を架橋する接合材（ペースト，モルタル等）が適度に流動化した状態を形成させることが空隙率，強度特性の安定に最も重要な条件となる。これらの関係は，無振動締固めについては平岩ら²⁾が，表面振動機による締固めでは湯浅ら³⁾が，それぞれ最適な条件の整理を行っている。しかし，一方で，安定した品質のポーラスコンクリートを確保するためには，製造・施工過程におけるコンシステンシーを把握することが必要である。

ポーラスコンクリートのフレッシュ時の性能評価方法としては，結合材ペースト（モルタル）フロー試験の他に，ピカー針試験⁴⁾やペースト落下量⁵⁾，モルタルの付着量で行う方法⁶⁾，マーシャル法⁷⁾，VC試験⁸⁾，タンパ締固め法⁹⁾，沈下法¹⁰⁾などが提案されている。これらの方法は，一定の条件のもとで利用されている方法である

が，比較的軟らかいペーストやモルタルに適用されていることや，測定時に電源が必要であるなど使用可能な範囲が限られ，製造工場や施工現場での要求をすべて満たすものとはなっていないのが現状である。

本研究では，フレッシュ時のポーラスコンクリートのコンシステンシー評価方法として良く用いられているペースト（モルタル）フロー試験が簡易な試験方法であることに着目し，これを応用して，図-1に示すようにポーラスコンクリート製造直後から打設に至るまでの任意の時期における結合材ペースト（モルタル）の流動性を簡易に測定し推測することを試みている。

2. 実験方法

2.1 使用材料

セメントには，高炉セメントB種（記号：B）を使用し，比較用に普通ポルトランドセメント（記号：N）を使用した。

細骨材には，陸砂（記号：S1）を使用し，比較用に砕砂（記号：S2）を用いた。

*1 三重県生コンクリート工業組合 技術管理部 （正会員）

*2 三重県生コンクリート工業組合（株）安芸砂利）（正会員）

*3 三重県科学技術振興センター主幹研究員 工業研究部 博士(工学) （正会員）

*4 三重大学教授 工学部建築学科 工博 （正会員）

また、混和剤には、5種類のポリカルボン酸系高性能AE減水剤の中から、今回の調合条件で、フロー値の経時変化がもっとも少ないものを選定した。使用材料の種類と特性値を表-1に示す。

2.2 調合条件

ペーストおよびモルタルによる基礎実験並びにポーラスコンクリートの調合は、水セメント比(W/C)を25%に固定し、フロー値は高性能AE減水剤の添加率で調整した。ポーラスコンクリートの基本調合を表-2に示す。

2.3 モルタルおよびポーラスコンクリートの製造条件

モルタルによる基礎実験には、ホバート型ミキサを用いた。練混ぜ条件は、セメントおよび細骨材を投入し30秒間のから練りを行った後、水および混和剤を投入後180秒間練り混ぜた。

ポーラスコンクリート実験には、二軸強制練りミキサを使用した。練混ぜ方法は、モルタル製造までは同様の手順とし、その後、粗骨材を投入し90秒間練り混ぜ、ポーラスコンクリートを製造した。

練混ぜ時の環境設定は、室温 20 ± 3 ，湿度 60~80% ，試料の温度は 20 ± 3 とした。

2.4 モルタルのフロー試験

ポーラスコンクリート製造過程における先練りモルタルおよびポーラスコンクリートからウエットスクリーニングにより採取したモルタルは、フローテーブル試験機(JIS R 5201)により測定した。また、加水モルタルの測定は、本実験で提案する簡易測定法により行った。実験に用いたモルタルの種類と試験対象および試験方法を表-3に示す。

3. 実験結果と考察

簡易測定法を検討するに当たって、安定した性状の材料を用いる必要がある。そこで、まず実験条件を決定するための実験を行い、次に簡易測定法の検討を行った。

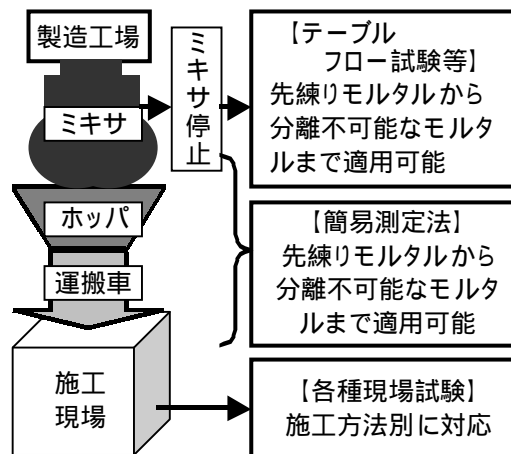


図-1 簡易測定法の位置づけ

表-1 使用材料の種類と特性値

種類	特性値	記号
セメント	高炉セメントB種 密度: $3.04(\text{g}/\text{cm}^3)$	B
	普通ポルトランドセメント 密度: $3.16(\text{g}/\text{cm}^3)$	N
細骨材	陸砂 粗粒率: 2.70 表乾密度: $2.62(\text{g}/\text{cm}^3)$	S1
	砕砂 粗粒率: 2.90 表乾密度: $2.67(\text{g}/\text{cm}^3)$	S2
粗骨材	単粒度碎石 6号(5~13mm) 実積率: 58.6% 表乾密度: $2.69(\text{g}/\text{cm}^3)$	G
混和剤	高性能AE減水剤 5種類 (ポリカルボン酸系)	Sp1~Sp5

表-2 ポーラスコンクリートの基本調合

W/C (%)	目標空隙率 (vol.%)	S/C (vol.%)	単体量 (kg/m^3)			
			C	W	S	G
25	15	50	355	89	153	1576

注1) 高性能AE減水剤の添加率は、目標フロー値により $C \times 0.4 \sim 0.8\%$ の範囲で添加した。

注2) Sは細骨材S1を用いた場合の単体量を示す。

表-3 モルタルの種類とフロー試験の対象・試験方法

種類	記号	フロー試験対象	試験方法
先練りモルタル	P	ペースト	JIS R 5201
	M	モルタル	
	WM	加水モルタル	簡易測定法
ポーラスコンクリートの付着モルタル	SM	ウエットスクリーニングしたモルタル	JIS R 5201
	SWM	ウエットスクリーニング後に加水したモルタル	簡易測定法
	WSM	加水分離したモルタル	

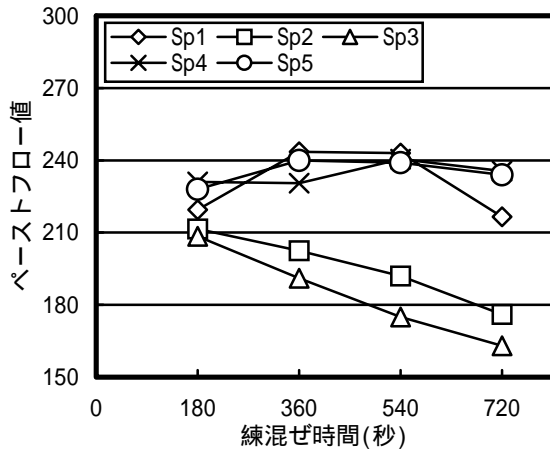


図 - 2 高性能 AE 減水剤の違いによる練混ぜ時間とペーストフロー値の関係

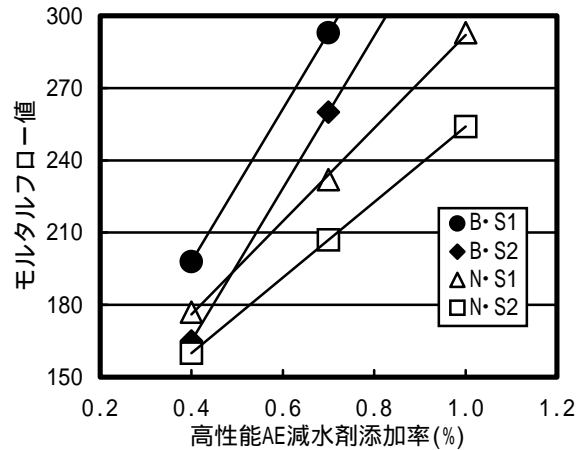


図 - 4 セメントおよび細骨材の違いによる高性能 AE 減水剤添加率とモルタルフロー値の関係

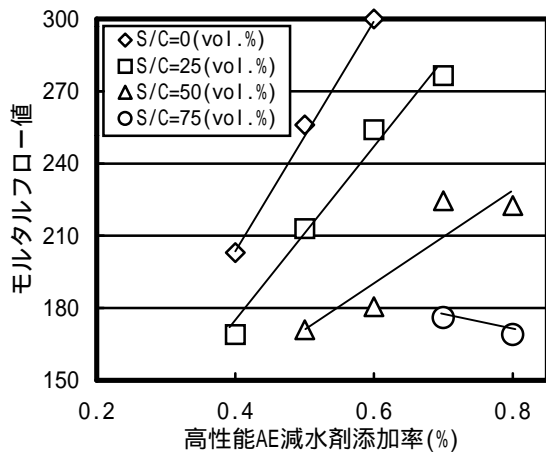


図 - 3 S/C の違いによる高性能 AE 減水剤添加率とモルタルフロー値の関係

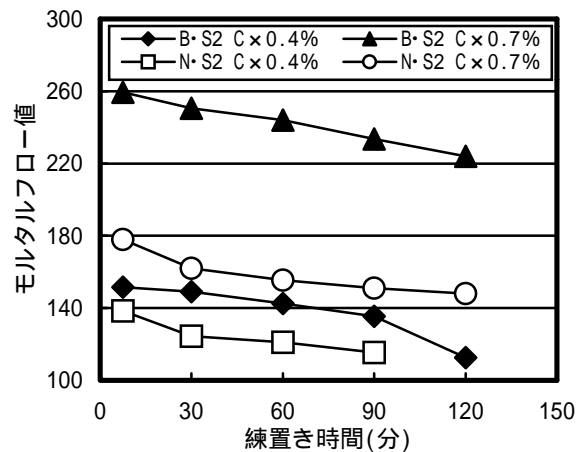


図 - 5 高性能 AE 減水剤添加率の違いによる練置き時間とモルタルフロー値の関係

3.1 調合条件及び練混ぜ条件の決定

(1) 高性能 AE 減水剤の選定

高性能 AE 減水剤の性能を把握するため、Sp1～Sp5 の 5 種類について、ペーストによる性能比較試験を水セメント比 25% の調合に固定して行った。高性能 AE 減水剤は、180 秒間練り混ぜた後のペーストのフロー値がおよそ 220 となるように添加率を調整したうえで、練混ぜ時間を変化させ、フロー値の変化を確認したところ、図 - 2 に示すように、練混ぜ時間の経過とともにフロー値が低下するタイプ (Sp2 および Sp3) と練混ぜ時間内ではフロー値の変化が少ないタイプがあり、以後の実験ではフロー値の変化が少ない Sp5 を用いた。

(2) 細骨材使用率と流動性の関係

モルタルを用いる場合、細骨材使用率が流動性に影響する。そこで、細骨材の使用率と高性能 AE 減水剤 (Sp5) の添加率の関係を調べた結果、図 - 3 に示すように、細骨材使用率が S/C=50 (vol.%) までは Sp5 の添加率とフロー値には直線関係にあることがわかった。

また、『ポ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』委員会中間報告¹¹⁾で報告されている調査(アンケート調査結果)では、単位細骨材量は 150kg/m³ 付近が多いことから、細骨材使用率を同程度となるよう S/C=50(vol.%)とした。

(3) 練混ぜ条件の決定

ポーラスコンクリートの製造に用いる二軸強制練りミキサにおける Sp5 の添加率とモルタルのフロー値との関係および練置き時間の関係を調べた結果、図 - 4 に示すように添加率とモルタルフロー値には、セメントの種類および細骨材の種類による効果の違いはあるものの、いずれの場合にも直線関係にあることがわかった。また、図 - 5 に示すように練り置きによるフロー値の低下の程度は、およそ 90 分までは比較的安定していることがわかった。

3.2 簡易測定法の検討

(1) 測定方法

本実験では、現場で簡易に、かつポーラスコンクリートからの分離が困難な硬練りまでを想定していることから、ポーラスコンクリートに水を加えて、密閉容器中で転倒振とうして粗骨材と分離したスラリー状モルタルを、所定の容器(管状ロート)に充填し、落下させたときのモルタルフロー値を測定する方法を検討した。

測定装置の概要を図 - 6 に示す。装置の上には細骨材中の粗粒混入によるフローモルタルの外側線の乱れ(図 - 7 (a))を防ぐため、2.5mm の網ふるいを設け、市販のロートを介して、下部開口部を指で塞いだ管状ロートに加水分離モルタルを流し込み、十分に気泡を追い出してから、予め湿らせた平板上に自然落下させたときのモルタルのフロー値を測定した(図 - 7 (b))。

なお、予備実験段階において管状ロートの下部開口部から平板までの高さを 3~7cm の範囲で測定した結果、高さが増すにしたがってフローの形状が乱れる傾向にあったが、測定値に大きな違いは見られなかったため、高さは、測定作業が行なえる範囲で最も低い 3cm に固定することとした。

(2) 装置の管径および容量の影響

装置の管径および採取量の最適条件を調べた。装置に用いたステンレス管には、管径が 11,14,16mm の 3 種類を選び、それぞれの容量が 50,60,

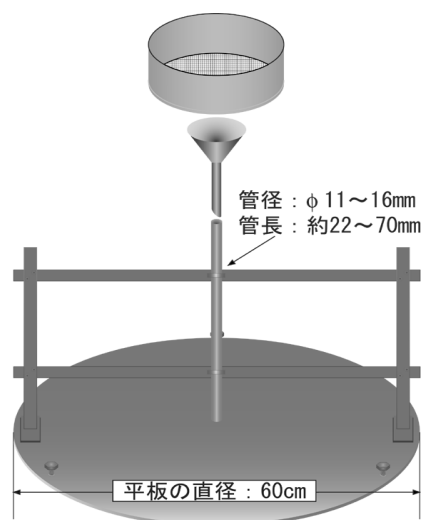
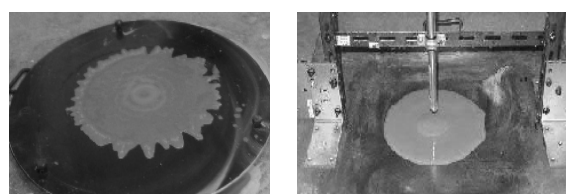


図 - 6 管状ロート型フロー試験装置



(a) 網ふるいなし (最大粒子径 > 2.5mm)
(b) 網ふるい使用 (最大粒子径 < 2.5mm)

図 - 7 加水モルタルのフロー写真

70ml となるよう長さを調整して、加水分離したモルタルのフロー値を測定した。その結果、図 - 8 に示すように、設定した管径および測定容量の範囲では、概ね加水前のモルタルフローと加水後のモルタルフロー値に一定の関係があり、加水前のモルタルフロー値が小さいほど、より傾向を捕らえるのに適していることがわかった。

管径(a) 11mm では、一部の結果に逆転が見られるが、これは、管径に対して、充填された加水モルタル中の砂の影響が大きく現れたためと考えられる。なお管径(c) 16mm は、指で塞ぐには限界の径である。したがって、簡易測定には管径(b) 14mm を用いることにした。

(3) 加水率の検討

加水によるフロー値の変化を調べ、加水前と加水後のフロー値の関係を把握するために、先練りモルタル(M)のフロー値と加水率を変化させた加水モルタル(WM)のフロー値の関係を調べた。

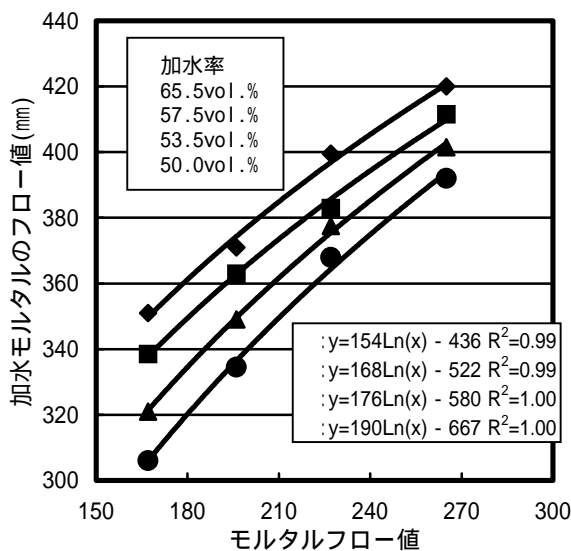
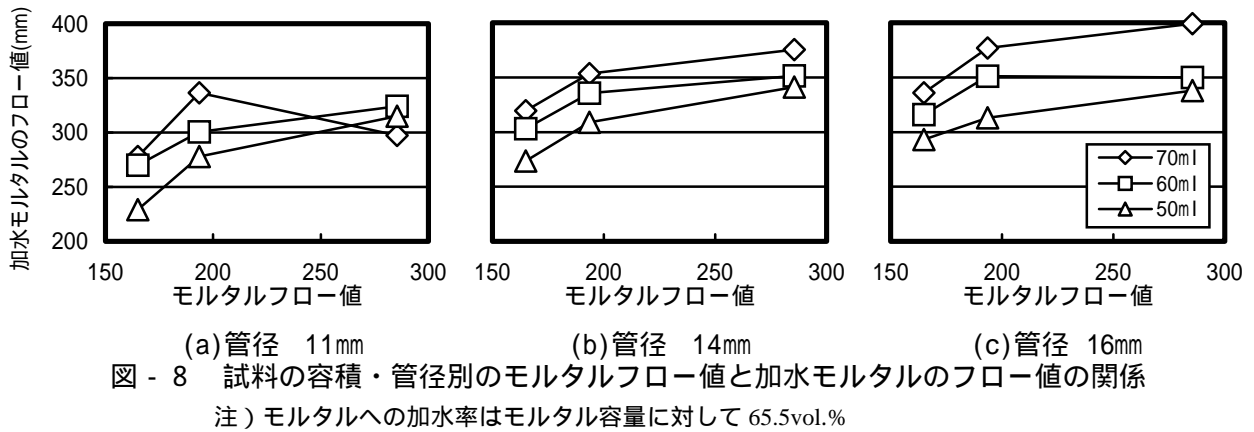


図 - 9 モルタルフロー値と加水モルタルフロー値の関係

ポーラスコンクリート中の粗骨材とモルタルとの分離が可能で、かつ著しい水の分離が起こらない範囲として、モルタル容量に対して 50~65.5(vol.%)の水を加え、転倒振とうして骨材とモルタルを分離させた後、簡易測定法により分離フロー値を測定した。

その結果、先練りモルタル(M)のフロー値と加水モルタル(WM)のフロー値の関係は 図 - 9 に示すように、モルタルフロー値が小さい場合には、加水率の差の影響が大きく、フロー値が大きくなると、その差が小さくなる傾向を示した。このことから、加水率には限界があり、加水フロー値は一定の値に漸近するものと考えられる。本実験で設定した加水率の範囲では、いずれの

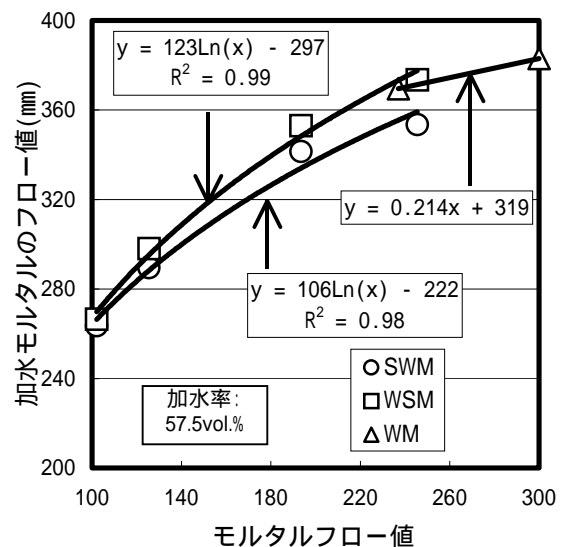


図 - 10 ポーラスコンクリートから分離したモルタル(SM)のフロー値と加水モルタル(SWM および WSM)のフロー値の関係

加水率においても高い相関を示すことがわかった。

3.3 ポーラスコンクリート実験

ポーラスコンクリートからウエットスクリーニングしたモルタル(SM)とこれに加水したモルタル(SWM)のフロー値およびポーラスコンクリートに直接水を加え、加水分離したモルタル(WSM)のフロー値の関係を調べた。

その結果、図 - 10 に示すように、ポーラスコンクリートからウエットスクリーニングしたモルタル(SM)のフローとウエットスクリーニング後に加水したモルタル(SWM)のフロー値の関係には、高い正の相関が得られた。

また SM とポーラスコンクリートに直接加水

して分離したモルタル(WSM)についても同様の高い正の相関が得られ、ともに対数近似による表現が可能と考えられる。SWMとWSMに若干の差が見られるが、これについては、骨材からの分離の程度や吸水・石粉の混入などの影響が考えられ、今後、さらに検討する必要がある。

また、これらの延長線上には、先練りモルタル(M)のフロー値と先練りモルタルに加水したモルタル(WM)のフロー値の関係を表す線が、ほぼ重なっている。骨材の使用時の状態は表乾であることから、骨材への吸水による影響が、これほど大きく現れるとは考え難い。したがって、この結果によると、先練り直後のモルタルフローは、粗骨材投入後に大きく低下したことになる。ただし、この関係については、混和剤や細・粗骨材などの影響も考えられることから、今後さらに検討する必要がある。

4. まとめ

本研究では、製造後の任意の時期におけるポーラスコンクリートのフレッシュ性状を簡易に把握するため、ポーラスコンクリートに適量の水を加え、得られたスラリー状モルタルのフロー値を測定する方法を提案した。本研究により、以下の実験結果を得た。

- 1) 先練りにより得られたモルタルのフロー値とそのモルタルに加水した時のフロー値には高い正の相関が得られた。
- 2) 同様に、先練りにより得られたモルタルのフロー値とポーラスコンクリートから加水分離したモルタルのフロー値にも高い正の相関が得られた。
- 3) 粗骨材投入前のモルタルに対して、投入後のモルタルフロー値は、明らかに小さくなる傾向が見られた。

一連の実験により、管状ロートによる加水モルタルのフロー値を調べれば、ポーラスコンクリート中のモルタル性状を推測できる可能性が得られた。今後、さらに実験を重ねることにより、より精度のよい推定が可能になるものと考えられる。また、水セメント比および設計空隙

率の影響についても現在検討中である。

謝辞

一連の実験は、三重県生コンクリート工業組合を中心に進めたものであり、大藪邦典氏(三雲生コン株式会社)および中野紀生氏(磯山レミコン株式会社工場長)に感謝します。また、本実験研究を支えて頂いた松田榮作氏(三重県生コンクリート工業組合理事長)および吉本昌次氏(技術管理部長)に謝意を表します。

参考文献

- 1) 玉井元治:連続空隙を有する固化体の透水性,セメント技術年報,42,pp.591-594,1982.12
- 2) 平岩睦,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報告集,Vol.23, No.1, pp.121-126, 2001.7
- 3) 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固めに関する実験的研究,建築学会構造系論文集, No.552, pp.37-44, 2002.2
- 4) 湯浅幸久,村上和美,前川明弘,畑中重光:ポーラスコンクリートの製造方法に関する基礎研究,コンクリート工学年次論文報告集, Vol.21, No.1, pp.235-240, 1999.6
- 5) 田中博一,栗田守朗,江渡正満,戸栗智仁:ポーラスコンクリートのフレッシュ時における品質管理方法,コンクリート工学年次論文集, Vol.23, No.1, pp.127-132, 2001
- 6) 関口修,浅野嘉津真:ポーラスコンクリートの歩道および車道への適用,舗装, Vol.36, No4, pp.16-21, 2001
- 7) 鈴木徹,八尋正典,小関裕二,加賀屋誠:車道用ポーラスコンクリートのコンシステンシーおよび基礎物性に関する考察,第55回セメント技術大会講演要旨, pp.264-265, 2001
- 8) 渡辺治郎,田中敏嗣,下山善秀,野田悦郎:透・排水性舗装用コンクリートのコンシステンシーに関する研究,セメント・コンクリート論文集, No.52, pp.798-803, 1998
- 9) 伊藤康司,鈴木一雄:転圧コンクリートのコンシステンシー試験方法の一提案,セメント・コンクリート論文集, No48, pp.878-881, 1994
- 10) 菅原操,宮坂慶男:かた練りコンクリートのコンシステンシー測定方法,セメント・コンクリート, No.202, pp.2-8(1963)
- 11) 日本コンクリート工学協会:ポーラスコンクリート設計・施工法と最近の適用例に関するシンポジウム委員会中間報告・論文集, pp.3-4, 2002.5