

# 論文 軽量骨材を用いたフレッシュコンクリートの高流動性に関する研究

牧野 真之<sup>\*1</sup>・江口 清<sup>\*2</sup>・中込 昭<sup>\*3</sup>・寺西 浩司<sup>\*4</sup>

**要旨：**本研究では、細・粗骨材の比重、大きさおよび形状などの性質が、高流動コンクリートの流動性、分離抵抗性および間隙通過性に与える影響について調べるために、セメントペーストが同一で、性質の異なる骨材を用いたフレッシュコンクリートに対して、各種のコンシスティンシー評価試験を実施し、これらの影響について検討した。

**キーワード：**高流動コンクリート、人工軽量骨材、材料分離、間隙通過性、レオロジー

## 1. まえがき

高流動コンクリートの特徴は、高炉スラグなどの微粉粒子を混入するか、あるいは分離低減剤を使用して、高い流動性と良好な分離抵抗性を両立させている点にある。一般に、高流動コンクリートの調合は、細骨材量および粗骨材量を経験的に設定し、所要の流動性に対して必要な分離抵抗性を、セメントペーストの粘性として付与するという方法によって決定される。セメントペーストの適正な粘性は、骨材の比重、大きさ、あるいは形状によって大きく影響されるが、これらの要因が高流動コンクリートのコンシスティンシーに与える影響について系統的に検討された研究は、現時点ではほとんど報告されていない。特に、軽量骨材を用いた高流動コンクリートに関する研究は数少なく[1]、軽量骨材の性質がコンシスティンシーに与える影響は明確にされていない。

本研究では、まず、セメントペーストのレオロジー性質が、人工軽量骨材を用いたフレッシュコンクリートの軟度、分離抵抗性および間隙通過性に及ぼす影響について検討した（実験-I）。次に、セメントペーストが同一で、骨材の比重、大きさおよび形状が異なるフレッシュコンクリートを試料として、各種のコンシスティンシー評価試験を実施し、骨材の性質が高流動コンクリートのコンシスティンシーに及ぼす影響について検討した（実験-II）。

## 2. 実験-I

### 2.1 実験概要

#### (1) 試料

実験-Iに使用したコンクリートの調合および使用材料を表-1および表-2に示す。また、また細骨材の粒度分布曲線を図-1に示す。水セメント比は45%に設定し、粉体には普通ポルトランドセメントのみ用いた。これらの調合は事前に行ったモルタルの試験練りの結果から高性能AE減水剤の過剰添加によって分離が生じるモルタルを選定し、適量の粗骨材を混入したものである。細骨材および粗骨材は、非造粒系の人工軽量骨材（実験-IIにおける細骨材SLと粗骨材GL2）を選定し、使用に際しては予め48時間程度吸水させておき、練り混ぜ直前に表乾状態に調整しこれを用いた。実験の要因は、高性能AE減水剤の添加量を0.7～1.8%の範囲で変化させて、スランプ

\*1 前田建設工業（株）技術研究所建築材料施工研究室（正会員）

\*2 前田建設工業（株）技術研究所次長（正会員）

\*3 前田建設工業（株）技術研究所建築材料施工研究室副室長、工修（正会員）

\*4 前田建設工業（株）技術研究所建築材料施工研究室、工修（正会員）

表一1 調合表

水セメント比 (%)	空気量 (%)	細骨材率 (%)	絶対容積 ( $l/m^3$ )				高性能AE減水剤 (C×%)
			水	セメント	細骨材	粗骨材	
45	4	59.2	185	130	385	265	0.7~1.8

表一2 使用材料

セメント	普通ポルトランドセメント (比重: 3.16)
細骨材	人工軽量骨材 (非造粒系, 比重: 1.93)
粗骨材	人工軽量骨材 (非造粒系, 最大寸法: 15mm, 比重: 1.62)
混和剤	高性能AE減水剤 (ナフタリン系)

フロー値の異なる6種類の試料を用意した。

## (2) 試験方法

本実験では、表一3に示すような、各種のコンシスティンシー評価試験を行い、フレッシュコンクリートの軟度、分離性状および間隙通過性の定量的な評価を試みた[2]。各種試験装置の概要を図一2に示す。フレッシュコンクリートの充填性を総合的に評価するために、Lフロー型の充填性試験[3]を行った。Lフロー試験装置の流動部に配した鉄筋格子が障害となって、粗骨材が閉塞した場合には、粗骨材とモルタルの最大到達距離（充填性Lフロー値）をそれぞれ測定した。また、間隙通過時の分離抵抗性を評価するためにリング貫入試験[4]を行い、沈下速度比Rv1/Rv4を求める（Rv1/Rv4が1に近いほど分離しやすい）。メッシュ透過試験[5]は、フレッシュコンクリートの間隙通過時の粘性を評価するために実施した。

上記のフレッシュコンクリート試験の他に、ウェットスクリーニングによって抽出したモルタルを試料として、B型粘度計によってモルタルの降伏値および塑性粘度を測定し、また、1/2スケーレのスランプフロー試験（以下「ミニスランプフロー」と略称）を行った。

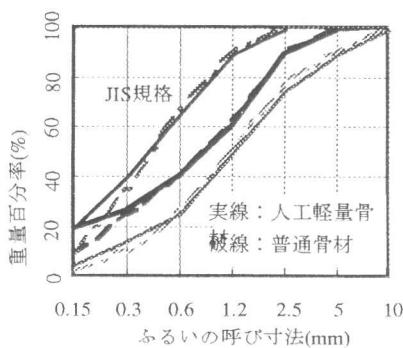
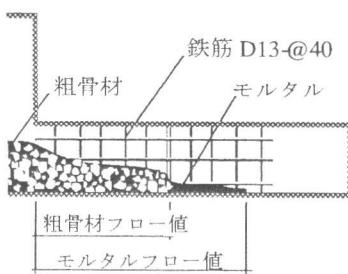


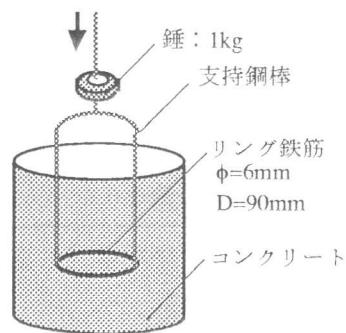
図-1 細骨材の粒度分布曲線

表一3 試験項目

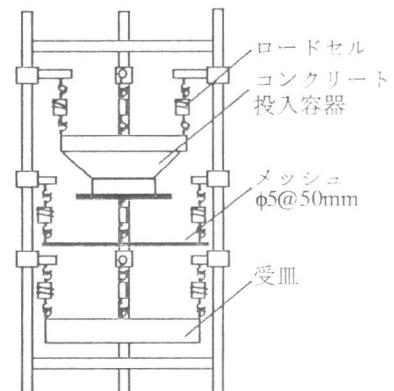
測定対象	試験項目	測定値
コンクリート	スランプ試験	スランプフロー値, スランプフロー速度(50cm到達時)
	充填性試験	モルタルおよび粗骨材のフロー値
	リング貫入試験	沈下速度比(Rv1/Rv4)
	メッシュ透下試験	メッシュ透下粘度(I)
モルタル	B型粘度計試験	降伏値( $\tau_y$ ), 塑性粘度( $\eta$ )
	ミニスランプ試験	ミニスランプフロー値



(a) 充填性試験装置



(b) リング貫入試験装置



(c) メッシュ透下試験装置

図一2 試験装置の概要

## 2.2 実験結果とその考察

高性能AE減水剤の添加率とスランプフロー値の関係を図-3に示す。高性能AE減水剤の添加量が増加すると、スランプフロー値は直線的に増加し、添加率1.8%の試料では、スランプフロー試験の目視によって分離が観察された。

図-4は、スランプフロー値とフレッシュコンクリートの各種評価試験値の関係を示しており、図中に普通骨材を用いた高流動コンクリートにおける過去の実績の範囲を網掛けで併記した[2]。図より今回使用したコンクリートのスランプフロー速度は高流動コンクリートのそれに比べ大きく、充填性フロー値は過去の実績内にほぼ位置することがわかる。また充填性Lフロー値および沈下速度比 $R_{v1}/R_{v4}$ は、いずれもスランプフロー値と比例関係にあり、スランプフロー値が大きくなるにつれて増加する。また、メッシュ透過粘度Iは、スランプフロー値の増加とともに減少している。

図-5に、ウェットスクリーニングモルタルのレオロジー性質およびミニスランプフロー値とスランプフロー値の関係を示し、前述と同様に普通骨材を用いた高流動コンクリートより抽出したモルタルの実績値の範囲を図中に示す[2]。図より今回使用したコンクリートにおけるモルタルの降伏値 $\tau_y$ およびミニスランプフロー値は、ほぼ普通骨材を用いた高流動コンクリートの実績範囲内にあり、塑性粘度 $\eta$ は著しく小さいことが確認できた。また、モルタルの降伏値 $\tau_y$ は、スランプフロー値の増加とともに直線的に減少するが、スランプフロー値が60cmを越えると、その減少割合は小さくなる。塑性粘度 $\eta$ およびミニスランプフロー値に関しても、

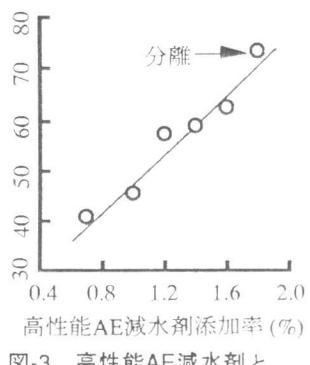
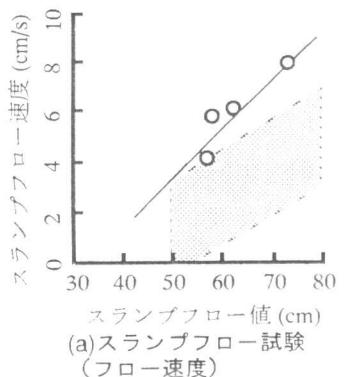
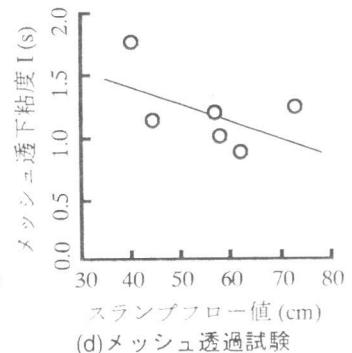


図-3 高性能AE減水剤とスランプフロー値の関係

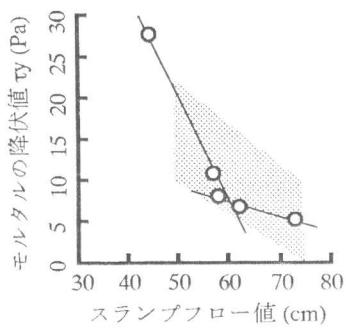


(a)スランプフロー試験  
(フロー速度)

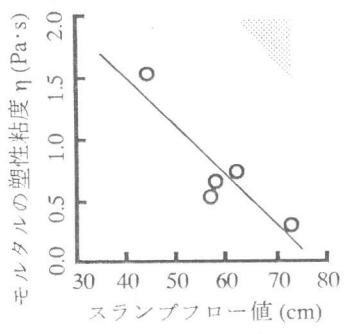


(d)メッシュ透過試験

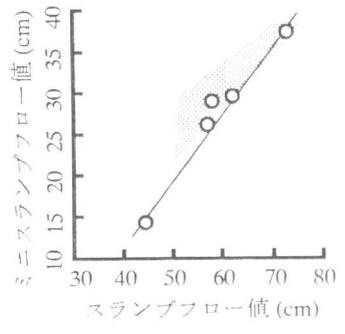
図-4 スランプフロー値と各種評価試験値との関係



(a)B型粘度計試験（降伏値）



(a)B型粘度計試験（塑性粘度）



(c)ミニスランプフロー試験

図-5 スランプフロー値とモルタル性質の関係

表-4 使用した骨材

種類		記号	最大寸法 (mm)	表乾比重	吸水率 (%)	実積率 (%)	粗粒率	形状の特徴
細骨材	人工軽量骨材	非造粒系	SL	—	1.93	8.48	65.8	2.66
	普通骨材	大井川産陸砂	SN	—	2.61	1.70	69.4	2.75
粗骨材	人工軽量骨材	非造粒系	GL1	15	1.99	13.3	63.8	6.17
			GL2	15	1.62	25.3	65.0	6.25
	普通骨材	造粒系	GL3	15	1.64	20.9	64.1	6.45
		青梅産碎石	GN1	20	2.65	0.72	59.3	6.63
		台湾産川砂利	GN2	20	2.70	1.22	64.5	6.78
		GN3	15	2.70	1.23	62.2	6.39	

スランプフロー値との間に直線的な関係が認められる。

以上の結果から、高性能AE減水剤の添加量によって変化させたマトリックスモルタルのレオロジー性質は、フレッシュコンクリートとしてのレオロジー性質、分離抵抗性および間隙通過性と強い相関関係をもつことがわかる。また、スランプフロー値が60cm程度以上の試料ではモルタルが分離し、このことがフレッシュコンクリートとしての分離に影響を及ぼすものと推測できる。

### 3. 実験-II

#### 3.1 実験概要

実験-IIに使用した細・粗骨材を表-4に示す。細骨材は人工軽量骨材および普通骨材の2種類、粗骨材は比重、大きさおよび形状が異なるような人工軽量骨材3種類と普通骨材3種類の計6種類をそれぞれ選定した。実験-Iにおいて、高性能AE減水剤の添加率が1.6%のときに、分離しない範囲で最大のスランプフロー値が得られたため、実験-IIにおいて、この調合を基準調合として、絶対容積が一定となるように細・粗骨材量を決定し、計12種類の試料を用いた。

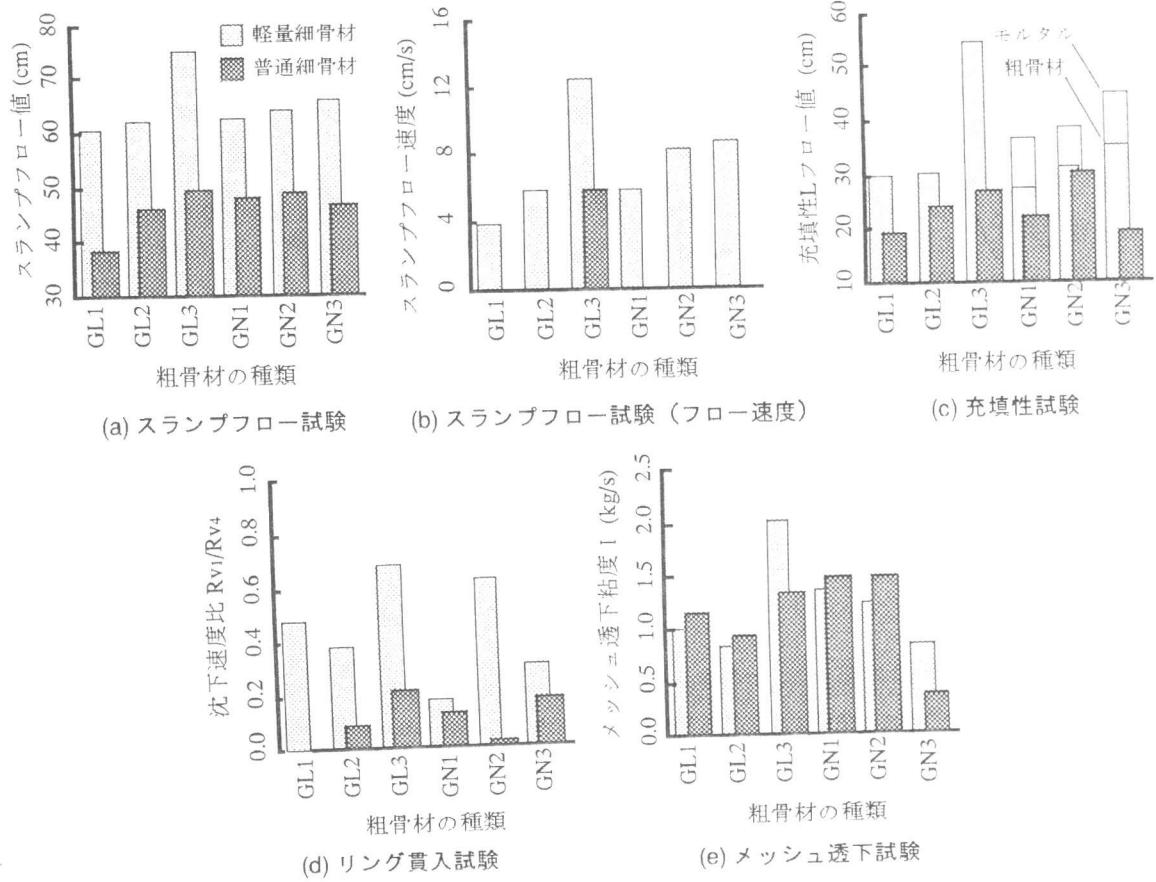
試験項目は、表-3に示したうちフレッシュコンクリートを対象としたコンシスティンシー評価試験を実施した。

#### 3.2 実験結果とその考察

各評価試験によって得られた測定結果を図-6に示す。比重の小さい軽量細骨材(SL)を用いた試料のスランプフロー値は、普通細骨材を用いた試料よりもかなり大きい。セメントベーストが同一の場合、細骨材の比重が小さいほど、コンクリート全体としての軟度が増加する。逆に、同程度のスランプフロー値であれば、軽量細骨材を用いたコンクリートのセメントベーストの軟度は小さくなるものと考えられる。

一方、粗骨材の種類がフレッシュコンクリートのコンシスティンシーに及ぼす影響は小さく、軽量粗骨材と普通粗骨材の間に顕著な差異は認められない。また、粗骨材の形状に着目すると、丸みを帯びた骨材を用いた試料のスランプフロー値が、他の粗骨材の比重が同程度の試料のそれよりも大きく、ほぼ球形のGL3では、特に大きなスランプフロー値が得た。なお、モルタルと粗骨材の比重差が最も大きくなる軽量細骨材(SL)と普通粗骨材(GN)を組み合せた試料では、スランプフロー試験時に目視によって粗骨材の沈下が観察された。

充填性Lフロー値においても粗骨材の違いによる傾向は、スランプフロー値と同様であり、試料の流动状況は鉄筋が障害となっても変わらない。また、SLとGNを組み合せた試料では、流动部の先端において粗骨材が鉄筋間を通過できず、モルタルと粗骨材の間にフロー値の差が生じた。



図一6 各種評価試験値に及ぼす粗骨材種類の影響

また、沈下速度比  $R_{Vi}/R_{V4}$  もこれと同様な傾向を示しており、間隙通過時の分離抵抗性は、レッッシュコンクリートの軟度の減少にともなって低下する。メッシュ透過粘度 I に関しては、常の高流動コンクリートが 3~5 kg/sec 程度の実績[5]であったのに対し、本実験結果では 0.2 kg/sec とかなり小さく、また細骨材の種類が間隙通過時の粘性に及ぼす影響は小さい。

フレッッシュコンクリートの分離抵抗性および間隙通過性は、通常、所要のスランプフロー フレッッシュコンクリートの分離抵抗性および間隙通過性は、通常、所要のスランプフロー 値で評価されるものである。従って、これらの性質は軟度との関係において考察される必要がある。図一7に、各種評価試験の測定結果とスランプフロー値の関係を示す。図中の実線および破線は、それぞれ軽量および普通細骨材を用いた試料の測定結果に対する回帰直線を示し、点線は実験-I によって得られた回帰直線（図一4参照）を示している。それぞれの評価値は粗骨材の諸性質にかかわらず、ほぼ直線上に分布しており、その傾きはセメントベーストを変化させた場合の回帰直線よりも大きい。これは、粗骨材の種類が変化すると、スランプフロー 値よりも大きな変化が生じるためである。これは、粗骨材が鉄筋などの障害物を回避する能力が異なるためである。

フレッッシュコンクリートのコンシステンシーに与える粗骨材の種類の影響を比較すると、粗骨材の粒径の小さな粗骨材ほど、各評価値が大きくなる、すなわち軟度は大きくなり、それにともなって分離抵抗性および通過性も変化することを示している。

フレッッシュコンクリートのコンシステンシーに与える粗骨材の種類の影響を比較すると、粗骨材の粒径の小さな粗骨材ほど、各評価値が大きくなる、すなわち軟度は大きくなり、それにともなって分離抵抗性および通過性も変化することを示している。

フレッッシュコンクリートのコンシステンシーに与える粗骨材の種類の影響を比較すると、粗骨材の粒径の小さな粗骨材ほど、各評価値が大きくなる、すなわち軟度は大きくなり、それにともなって分離抵抗性および通過性も変化することを示している。

フレッッシュコンクリートのコンシステンシーに与える粗骨材の種類の影響を比較すると、粗骨材の粒径の小さな粗骨材ほど、各評価値が大きくなる、すなわち軟度は大きくなり、それにともなって分離抵抗性および通過性も変化することを示している。

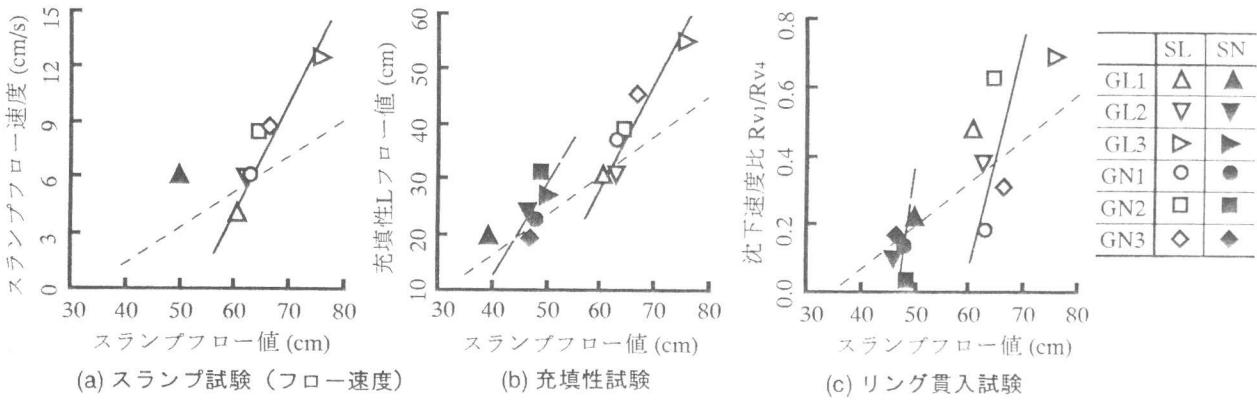


図-7 スランプフロー値と各種評価試験値の関係

観察された分離状況からも明らかのように、このような流動状況に対しては、比重が小さく沈降の生じない軽量骨材を使用することが有利に働くものと考えられる。

#### 4.まとめ

本研究では、粗骨材の比重、大きさおよび形状が高流動コンクリートのコンシスティンシーに与える影響を調べるために、性質の異なる骨材を用いたコンクリートを試料として、種々の評価試験を行った。本研究によって得られた知見は、以下のとおりである。

- 1) フレッシュコンクリートの軟度には、細骨材比重が大きな影響を及ぼし、比重の小さい細骨材を用いると大きな軟度が得られる。
- 2) モルタルを同一として、粗骨材の種類を変化させた場合、フレッシュコンクリートのコンシスティンシーに関する評価値は、粗骨材の諸性質にかかわらず、スランプフロー値との関係において直線的に分布する。また、その分布状況は、セメントペーストのレオロジー性質を高性能AE減水剤の添加量によって変化させた場合とは異なる。
- 3) 丸みを帯びた形状で、粒径の小さい粗骨材を用いたコンクリートほど、大きな軟度が得られるが、それにともなって分離抵抗性、間隙通過性は低下する。また、粗骨材の比重がコンシスティンシーに与える影響は小さい。

#### 【謝辞】

本研究の実施にあたり、名古屋大学・森博嗣助教授のご教示を得た。本研究の考察に使用したデータの一部は、日本建築学会高流動コンクリート研究小委員会・フレッシュコンクリートWGで行われた実験によって得られたものである。また、日本メサライト工業（株）山下時夫、吉信良一両氏には材料を提供して頂いた。付記して謝意を表します。

#### 【参考文献】

- [1] 清水昭之他：高流動軽量コンクリートの流動性および充填性に関する実験的研究（その1～その7），日本建築学会大会学術講演梗概集，A, pp.629-642, 1994.9
- [2] 谷川恭雄他：高流動コンクリートの各種コンシスティンシー評価試験方法に関する研究（その1～その13），日本建築学会大会学術講演梗概集，A, pp.479-504, 1994.9
- [3] 井上和政・和泉意登志・戸田彰彦・田中恭一・橋爪進：超ワーカブルコンクリートのフレッシュ時の性状について（その1），日本建築学会大会学術講演梗概集，A, pp.935-936, 1991.9
- [4] 寺西浩司・谷川恭雄・森博嗣・黒川善幸：高流動コンクリートの間隙通過性の評価方法に関する研究，日本建築学会構造系論文集，No.467, pp.19-26, 1995.1
- [5] 寺西浩司・谷川恭雄・森博嗣・江口清・中込昭・梶田秀幸：超高強度現場打ちコンクリートの研究（その6），日本建築学会大会学術講演梗概集，A, pp.817-818, 1991.9