

# 論文 沈埋トンネル・フルサンドイッチ構造部への充填を対象とした粉体系高流動コンクリートの諸特性について

小門 武<sup>\*1</sup>・鈴木 雄三<sup>\*2</sup>・輪湖 建雄<sup>\*3</sup>・佐藤 正一<sup>\*4</sup>

**要旨：**沈埋函上床版にフルサンドイッチ構造を採用した場合のコンクリートの充填性を評価するために、粉体系（高炉スラグ系）高流動コンクリートを用いて、実物大モデルによる充填実験を計8体行なった。コンクリートのスランプフロー値が585～710mm、Vロート流下時間が6～28秒の範囲で実験を行なった結果、88.1～97.5%の充填率を得た。また、充填性の評価指標として、スランプフロー値だけでなくVロート流下時間による評価も有用であることが示唆された。

**キーワード：**沈埋函，サンドイッチ構造，高流動コンクリート，コンクリート充填

## 1. はじめに

鋼とコンクリートのサンドイッチ構造は、鋼板の間にコンクリートを充填して鋼とコンクリートが一体となって外力に抵抗する構造形式であり、高靱性、水密性、高強度といった特性を利用して、海洋構造物や地下構造物などへの適用が進められている[1]。

沈埋トンネルの分野でもサンドイッチ構造の適用が検討され、大阪南港トンネルでは、従来、防水のみの目的に使われていた沈埋函下床版の外殻鋼板と躯体コンクリートとをずれ止めにより一体化し、いわゆるオープンサンドイッチ構造とすることにより鉄筋量を減少させ、沈埋函製作時の配筋作業の効率化と経済性の向上を図っている[2]。

さらに、沈埋函の上床版を、鋼板が上下両面に配置されたフルサンドイッチ構造（図-1参照）とすることにより、上床版施工時に必要とされた型枠・支保工が不要になるとともに、鋼製部材のプレキャスト化が図れるため、コストダウンと工期短縮が可能となる[3]。

しかしながら、フルサンドイッチ構造を採用すれば、上下を鋼板で囲まれた閉鎖空間内にコンクリートを充填する必要が生じる。

すでに、高流動コンクリートを用いて、水平部材が上下両面を鋼板で囲まれた暗渠[4]や沈埋トンネル最終継手部[5]をコンクリート充填した施工事例がみられるものの、沈埋函を対象とした事例はみられない。

本論文は、沈埋函上床版にフルサンドイッチ構造を採用した場合

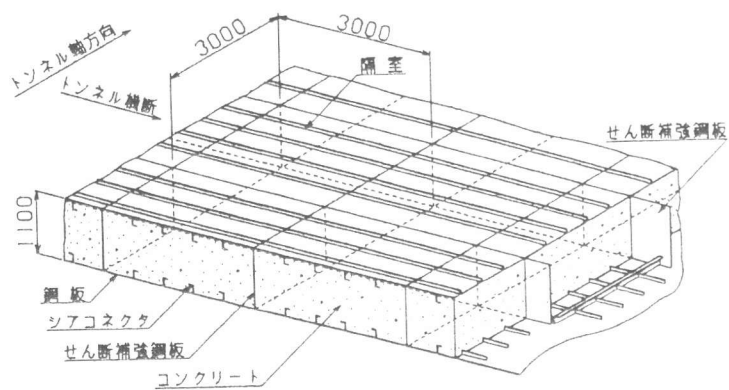


図-1 フルサンドイッチ構造

\*1 新日本製鐵(株)技術開発本部土木建築技術部部長代理、工修（正会員）

\*2 運輸省第三港湾建設局神戸調査設計事務所所長

\*3 運輸省第三港湾建設局次長、工修

\*4 (財)沿岸開発技術研究センター第一調査研究部部長、工修

のコンクリートの充填性を評価するために、粉体系高流動コンクリートを用いて、実物大モデルによる充填実験を行なった結果を報告するものである。

## 2. 充填実験の概要

### 2.1 実験モデル

沈埋函にフルサンドイッチ構造を採用した場合、上床版は図-1に示すように上下、ならびに周囲を鋼板で仕切られた隔室により構成される構造となる。そこで、上床版一般部の隔室を対象として、図-2に示す実物大の実験モデルⅠ、及びⅡを作製し、充填実験に供した。実験モデルⅠは高さを1100mmとし、上部鋼板と下部鋼板にシアコネクタを配置した。実験モデルⅡは隔室の上部をモデル化して、高さを600mm、上部鋼板にのみシアコネクタを配置している。また空気抜き孔は、モデルⅠではオーバーフロータイプ、モデルⅡではパイプを1m立ち上げたタイプとした。尚、コンクリート打設口(φ200mm)の位置は中央部と端部中央の2種類とした。

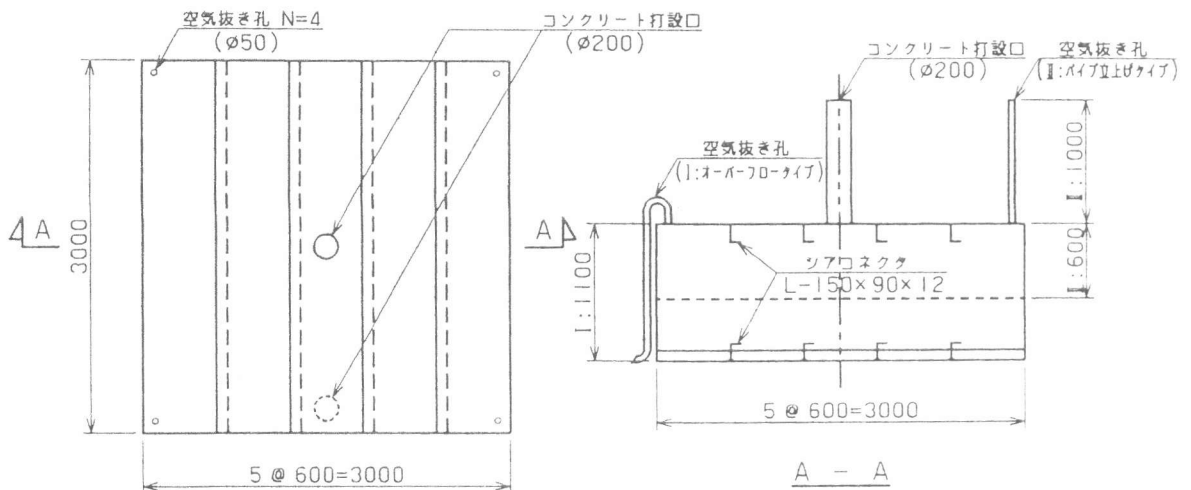


図-2 実験モデル

### 2.2 コンクリートの配合

#### (1) 使用材料と配合

隔室内の充填に用いるコンクリートは、隔室の隅々まで充填する流動性と、充填後に上部鋼板と接する部分がブリージング等の材料分離によって沈降・脆弱化を起こさない材料分離抵抗性が求められる。

表-1 使用材料

セメント	普通ポルトランドセメント (OPC) 比重 3.16 比表面積 3460 cm <sup>2</sup> /g
混和材	高炉スラグ微粉末 (Sg)フィーミル粉砕品 比重 2.89 比表面積 6000 cm <sup>2</sup> /g
細骨材	香川県室木産海砂、兵庫県家島産砕砂 混合品 (S) 混合比率 7:3 比重 2.55
粗骨材	兵庫県家島産砕石2005 (G) 比重 2.60
混和剤	ポリカルボン酸系 高性能AE減水剤 (SP)

表-2 コンクリートの配合表

配合 NO.	目標 スレン 70-値	W/C (%)	s/a (%)	s/m (%)	単位量(kg/m <sup>3</sup> )					
					W	C	Sg	S	G	SP
A	600mm	30.0	53.3	48.8	159	159	371	869	780	10.6(2.0%)
B	680mm	30.0	50.5	43.7	176	176	411	777	780	9.98(1.7%)
C	600mm	32.0	52.5	47.3	170	159	371	841	780	9.01(1.7%)

充填実験には、高炉スラグ系高流動コンクリート[6]を使用した。使用材料を表-1にまとめて示す。配合は、スラグ置換率(SR=70%)と単位粗骨材容積(=0.3m<sup>3</sup>)を一定として、水結合材比(W/C)と単位結合材量(C+Sg)を変えた3種類とした。配合表を表-2に示す。なお、表中のs/mはモルタル中の細骨材容積率を表わしている。また、それぞれの配合のコンクリートを製造した際の骨材の粒度を図-3に示す。

(2) フレッシュコンクリートの基礎特性

表-1に示す3種類の配合A、B、Cについて、充填実験の前に生コンプラント(強制二軸ミキサ、容量:3m<sup>3</sup>)での混練試験(混練量:2.25m<sup>3</sup>)を実施した。フレッシュコンクリートの

品質試験として、土木学会規準[7]に準拠した(但し、突き固めは行なわない)スランプフロー値と、流出口が75mmのVロート[8]の流下時間を測定した。それぞれの経時変化を図-4に示す。スランプフロー値は、配合Aでは30~40分後にピークを示し、配合Bでは90分間ほとんど変化がない、配合Cでは時間の経過とともに逡減していく傾向が見られた。一方、Vロート流下時間はどの配合とも時間の経過に伴う変動はほとんどなく、配合Aで18~20秒、配合B、及びCで6~9秒であった。

配合 No.	記号	細骨材		粗骨材	
		粗粒率	吸水率	粗粒率	吸水率
A	○	2.83	2.01%	6.72	1.54%
B	△	2.54	1.91%	6.51	1.24%
C	□	2.64	2.00%	6.6	1.34%

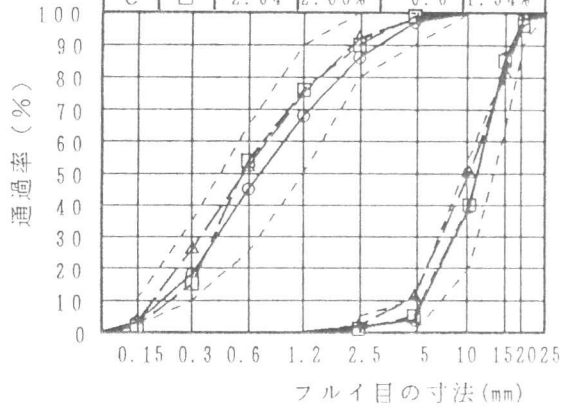


図-3 骨材の粒度

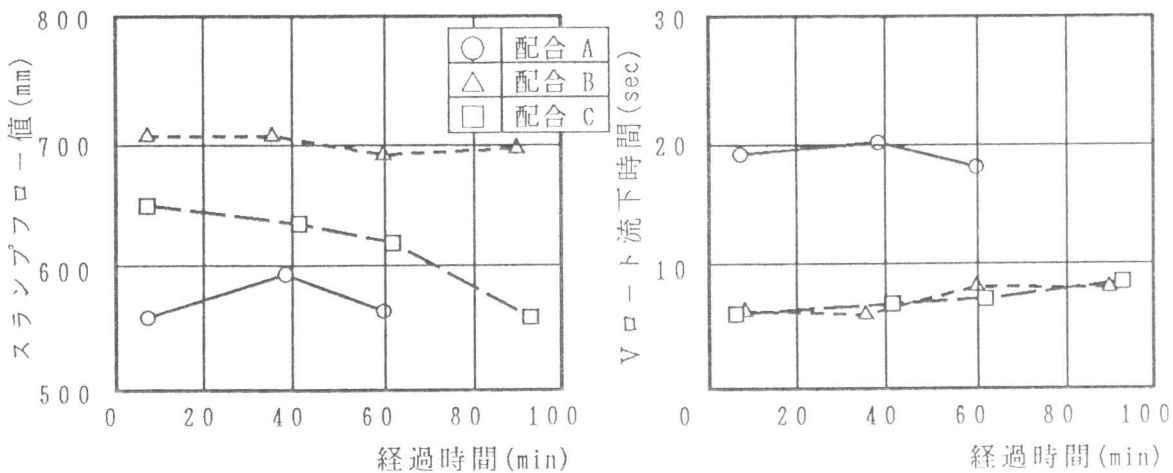


図-4 スランプフロー値、及びVロート流下時間の経時変化

3. 実験結果

充填実験を、コンクリートの配合AとBについては3ケースずつ、配合Cについては2ケース実施した。コンクリートはポンプ車により打設し、締固め作業は一切行なっていない。なお、コンクリート打設口は、配合Aのケースでは中央部、配合Bのケースでは端部中央とした。配合Cでは中央部と端部中央の両ケースについて充填実験を実施した。

それぞれの実験ケース毎に、充填実験に使用したコンクリートの打設時の品質試験結果と打設速度、及びコンクリート硬化後脱型したあと求めた充填率をまとめて表-3に示す。なお、充填率-aは、コンクリート上面が上部鋼板(3m×3m=9m<sup>2</sup>)と密着している面積の割合である。また、充

表-3 充填実験結果一覧

実験ケース			実験条件								実験結果							
実験No.	配合	モデル	コンクリート打設口	ポンプ台数	製造後の経過時間(分)	スランプ70-値(mm)	Vロ-ト流下時間(秒)	コンクリート温度(°C)	単位容積質量(t/m <sup>3</sup> )	打設速度(m <sup>3</sup> /h)	充填率-a(%)	充填率-b(<5mm)(%)						
				A 1	A	I	中央部	1台目	29	620	19	13.0	2.350	36	96.5	98.1		
2台目	23	630	18	13.0				2.350										
3台目	29	635	16	13.0				2.360										
A 2	1台目	32	640	23				12.0	2.390	41	88.1	97.4						
2台目	32	585	23	12.0				2.360										
3台目	29	635	28	12.0				2.380										
A 3	1台目	25	635	20				12.0	2.360	41			96.0	98.4				
2台目	40	625	28	12.0				2.370										
3台目	41	630	23	12.0				2.390										
B 1	B	II	端部	1台目	42	675	7	24.0	2.378	72					95.5	99.7		
2台目				28	710	6	24.0	2.380										
B 2				1台目	40	695	7	24.0	2.369	65							90.4	98.9
2台目				45	700	9	24.0	2.357										
B 3				1台目	—	—	—	—	—	70	93.6	99.5						
2台目				35	705	6	26.5	2.373										
C 1	C	II	中央部	1台目	31	590	7	27.5	2.354	54			97.5	99.7				
2台目				—	—	—	—	—										
C 2				1台目	31	650	6	27.5	2.356	54					97.5	99.9		
2台目				41	635	7	27.5	2.361										

充填率-bは、上部鋼板とコンクリート上面との間隙が5mm以内に収まっている部分も含めた面積割合を示している。

今回の充填実験では、充填率-aが88.1~97.5%、充填率-bでは98.1~99.9%という結果が得られた。従って、未充填箇所の大半は5mm以内の深さである。また、全てのケースで、コンクリート面にジャンカやブリージングは発生していない。未充填箇所は、空気が巻き込まれてきた空隙により形成されている。コンクリート充填状況の一例を図-5に示す。

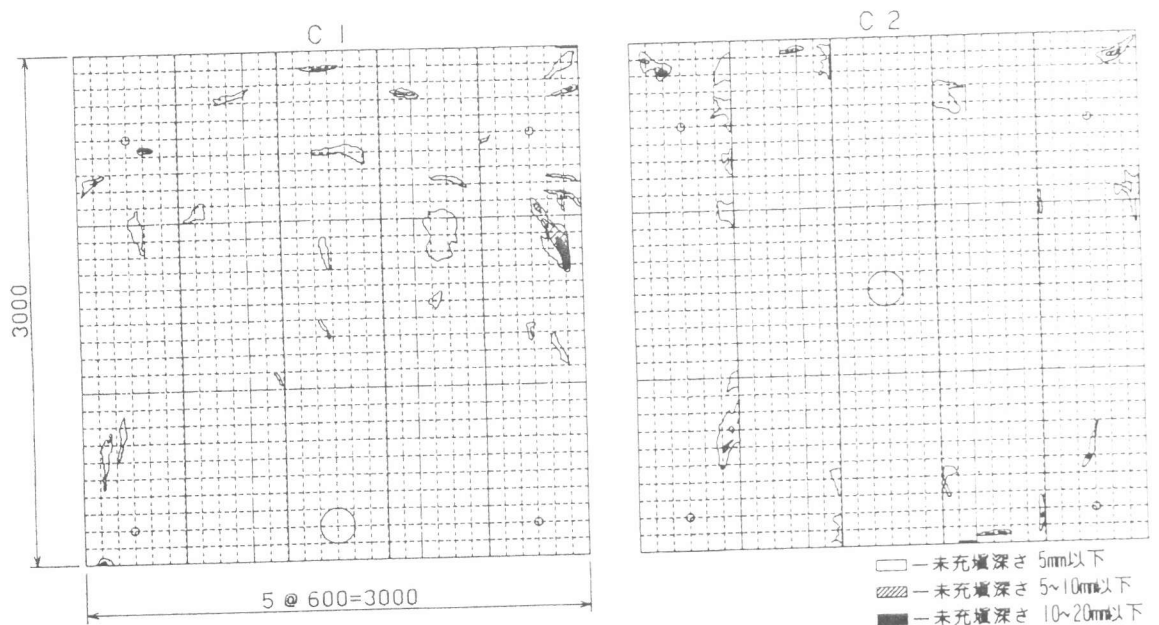


図-5 コンクリートの充填状況

#### 4. 考察

##### 4.1 フレッシュコンクリートの品質

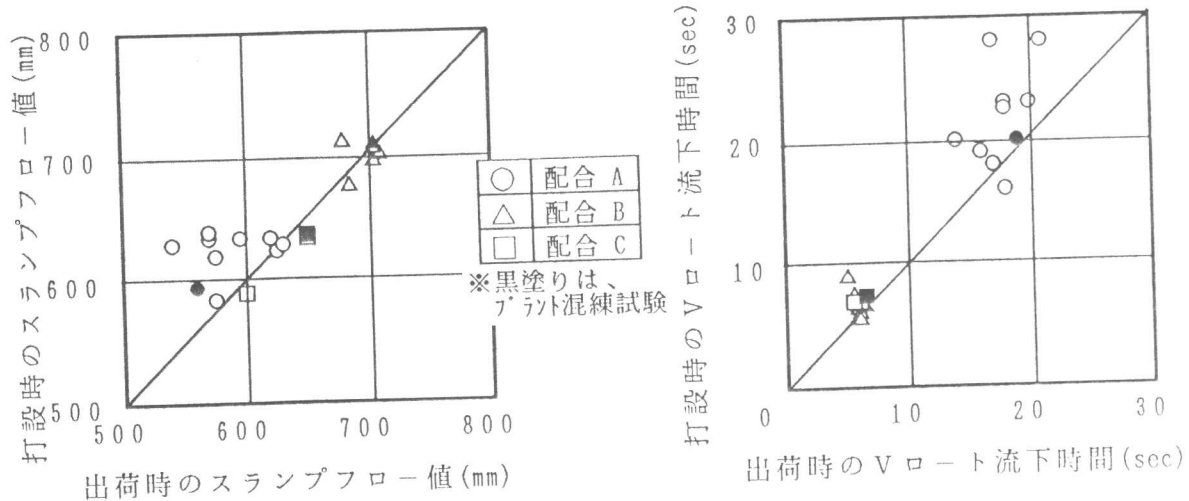


図-6 スランプフロー値、及びVロート流下時間の出荷時と打設時の関係

今回の充填実験に使用したコンクリートは、スランプフロー値が585~710mm、Vロート流下時間が6~28秒の範囲であった。使用したコンクリートのスランプフロー値とVロート流下時間について、出荷時と打設時との関係を、プラント混練試験時のデータも含めて図-6に示す。打設時のスランプフロー値を出荷時と比較すると、配合Aでは50mm程度増大し、配合B、Cではほとんど変化しておらず、プラント混練試験時の傾向と一致した。一方、Vロート流下時間は、配合Aの実験ケースA2とA3を除き出荷時と打設時との差はほとんどなく、プラント混練試験結果と傾向が一致したが、実験ケースA2、A3(同一日に連続して実施)では打設時のVロート流下時間が出荷時に比べ長くなり(A2:+3~7秒、A3:+5~11秒)、それぞれ最大28秒となった。その原因は特定できないが、粘性が高いコンクリートであることが目視でも観察された。

#### 4.2 フレッシュコンクリートの品質と充填性との関係

各ケースで用いたコンクリートのスランプフロー値、及びVロート流下時間の平均値と充填率との関係を図-7に示す。今回用いたコンクリートのスランプフロー値の範囲(585~710mm)では、スランプフロー値と充填率の間には相関が認められなかった。一方、Vロート流下時間(6~28秒)が長くなる程充填率(-b)が低下する傾向が見られた。これらの結果から、コンクリートの充填性の評価指標としてVロート流下時間による評価が有用であることが示唆された。

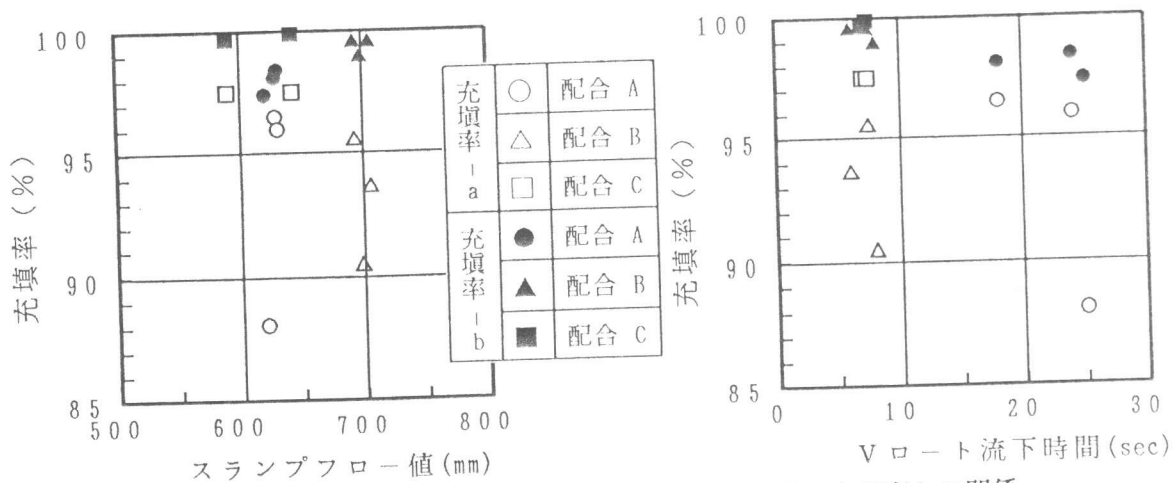


図-7 スランプフロー値、及びVロート流下時間と充填率との関係

### 4.3 施工条件と充填性との関係

同一配合(C)で、コンクリート打設口の位置を変えて実験ケースC1とC2を行なったが、充填率は同等の結果となった。但し、打設口を端部中央に設置した場合はシアコネクタ間に、打設口を中央に設置した場合はシアコネクタ近傍に未充填箇所が発生する傾向が見られた。

空気抜き孔は、実験モデルIではオーバーフロータイプ、IIではパイプ立ち上げタイプとしたが、今回の充填実験の範囲では差異が認められなかった。

### 5. まとめ

高炉スラグ系高流動コンクリートを用いて、フルサンドイッチ構造沈埋函の実物大モデルによる充填実験を計8体行なった。今回の結果より得られた知見を以下にまとめる。

- ①コンクリートのスランプフロー値が585~710mm、Vロート流下時間が6~28秒の範囲で実験を行なった結果、88.1~97.5%の充填率(コンクリート上面が上部鋼板と密着している面積の割合)を得た。未充填箇所の大半は5mm以内の深さである。また、全てのケースで、コンクリート上面にジャンカやブリージングは発生していない。
- ②充填性の評価指標として、スランプフロー値だけでなくVロート流下時間による評価も有用であることが示唆された。
- ③Vロート流下時間は、高炉スラグ系高流動コンクリートの場合、製造後90分まで時間の経過に伴う変動は小さい。但し、今回の実験の2ケースで、出荷時よりも打設時のVロート流下時間が増大する結果となった。その原因の解明は今後の課題である。

最後に、今回の実験を進めるに当り、「神戸港港島トンネル高流動コンクリート専門検討会」(委員長:京都大学 藤井 学教授)の委員の方々から、貴重なアドバイス、コメントを戴いた。ここに記して謝辞としたい。

### 参考文献

- 1) 上田多門・塩屋俊幸:鋼コンクリート系サンドイッチ構造、コンクリート工学、Vol.30, No.5, pp.5-20, 1992.5
- 2) 小泉哲也・安井征人・渡辺英夫・田中樹由:日本初の道路・鉄道併用沈埋トンネル — 大阪南港トンネルの設計・施工 —、コンクリート工学、Vol.31, No.6, pp.22-32, 1993.6
- 3) 中島由貴:沈埋トンネル、コンクリート工学、Vol.33, No.1, pp.65-69, 1995.1
- 4) 義若秀彦・木村秀雄・小門 武・赤星哲也:ハイブリッド式躯体構造の実証試験工事、土木学会第46回年次学術講演会講演概要集、No.6, pp.248-249, 1991.9
- 5) 横山正史・柄川伸一・田中充夫・松岡 彰・小門 武:鋼殻構造の沈埋トンネル最終継手部への超流動コンクリートの適用性検討、土木学会第48回年次学術講演会講演概要集、No.6, pp.334-335, 1993.9
- 6) 小門 武・三宅正人:スラグ系締固め不要コンクリートの基礎特性と充填性実験、コンクリート工学年次論文報告集、Vol.13, No.1, pp.875-880, 1991.6
- 7) 土木学会:水中不分離性コンクリート設計施工指針(案)、コンクリートライブラリー第67号、pp.72-73, 1991.5
- 8) 坂田 昇・伊藤孔一・若松 岳・小沢一雅・岡村 甫:フレッシュコンクリートの充填性評価のためのロート試験、土木学会第47回年次学術講演会講演概要集、No.5, pp.566-567, 1992.9