

サンドイッチ合成構造沈埋函における高流動コンクリート施工（その2）

Construction of High-Fluidity Concrete on Sandwich Composite Structure of Immersed Tunnel Element —Part 2—

高橋 秀樹*
Hideki Takahashi

多田 芳郎*
Yoshiro Tada

新谷 寿教*
Toshinori Shinya

平原 光彦*
Mitsuhiko Hirahara

西田 徳行**
Noriyuki Nishida

木戸 祐一*
Yuichi Kido

要 約

先例のないサンドイッチ合成構造沈埋函製作工事において、レディーミクストコンクリート2工場を使用して高流動コンクリートの大規模・急速施工を行った。

密閉されたサンドイッチ鋼殻へのコンクリート充填、しかも充填後の出来形確認が難しいことから、高流動コンクリートといえども施工上多くの課題が存在した。そこで、これらの課題を克服するため、製造・品質管理技術を確立するばかりでなく、施工管理システムや充填確認試験方法等施工管理技術を確立して実施工に望み、良好な成果を得ることができた。

前報では、施工に係わる課題を克服した過程を報告したが、本文では、高流動コンクリートの実施工とその施工結果、および今後の課題などについて報告する。

目 次

- § 1. はじめに
- § 2. 高流動コンクリートの施工
- § 3. 高流動コンクリートの施工結果
- § 4. 高流動コンクリートの今後の課題
- § 5. おわりに

(コンクリートを鋼板(鋼殻)で挟む鋼とコンクリートの合成構造)の沈埋函が採用された。

サンドイッチ構造では、密閉鋼殻内へのコンクリート充填が要求され、締固め不要で自己充填性に優れた高流動コンクリートの使用が不可欠である。しかし、高流動コンクリートを使用しても充填状況の確認が難しく、また未充填部が生じた場合の補修が困難など施工上多くの課題が存在し、本工事の成否に果たす高流動コンクリートの役割は非常に大きなものがあった。

前報(その1:Vol.19)では、施工管理技術を確立するまでに実施した大規模な試験施工を中心に、配合試験、施工管理体制、施工管理支援システム、充填確認試験などの事前検討について報告したが、本文(その2)では、高流動コンクリートの実施工とその結果、今後の課題などについて報告する。

§ 1. はじめに

神戸港港島トンネルには、沈埋トンネルが採用され、この沈埋トンネルには、施工性や経済性の向上および工期の短縮を目指し、世界最初となるフルサンドイッチ構造

* 関西(支)港島(出)

** 技術研究所土木技術課

§ 2. 高流動コンクリートの施工

2-1 コンクリートの製造

約12,000m³の高流動コンクリートをほぼ2ヶ月間連続的に打設する工程から、プラントでのトラブルを回避するためレディーミクストコンクリート工場（以下、レミコン工場と略す）は2社選定し、1週間の内2日間づつ拘束することとした。

(1) 使用材料および配合

配合は、仕様書に提示されていた粉体系配合を選定し、実施工時における材料の品質変動（細骨材粒度、表面水、高性能AE減水剤使用量等）の対処方法など数多くの検討を実施して示方配合を決定した（前報参照）。

使用材料の品質を表-1に、示方配合を表-2に示す。

(2) 材料管理

安定した高流動コンクリートの品質を得るためには他の材料より品質変動が大きい骨材、中でも細骨材の粒度や表面水の管理が重要であるが、配合補正に手間取る粒度管理を優先し、粒度を変動させた試験結果（前報参照）から図-1に示すように極めて狭い範囲で管理を行うこととした。管理は、入荷前に粒度のチェック（月次の定期試験、目視、触診など）を実施し、図-1に示す範囲内に収まった材料を使用した。

また、製造時のミキサ油圧値やフレッシュ性状に変動が認められた時には、随時細骨材表面水のチェックを行い、結果的に1時間に1回以上の表面水測定を行った。

なお、使用プラントの細骨材の貯蔵は屋外のため、降雨時や降雨後の表面水の変動が懸念されたため、貯蔵や

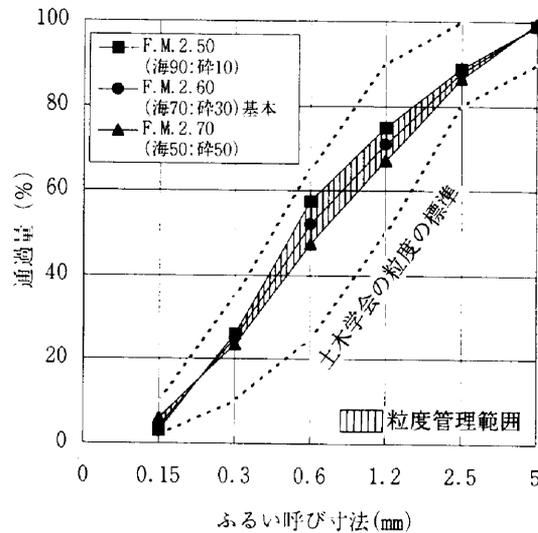


図-1 細骨材粒度分布管理範囲

ードはシートで覆って養生を行った。

(3) コンクリートの製造

高流動コンクリートは比較的多量の粉体を使用するので、均一に練混ぜるために、1バッチの練混ぜ時間はミキサ負荷値が安定する全材料投入後2分とした。また練混ぜ量は、2社とも2.25m³（ミキサ容量：A工場2.5m³、B工場3m³）とし、2バッチ分の4.5m³をアジテータ車に積載・運搬した。

2-2 品質管理

(1) 品質管理基準

試験施工の充填実験結果（前報参照）から、表-3に示す品質管理基準を設定した。

(2) 製造管理

1) 現場配合の決定要領

コンクリートの製造にあたっては、施工当日の骨材粒度、表面水の状態により、①過大粒・過小粒による粒度補正を行い、②表面水を設定し、また気温・コンクリート温度など気象・環境条件を考慮し、③高性能AE減水剤添加量を設定して試験練りを行い、現場配合を決定した。

なお、最初のバッチは、コンクリートとミキサのホッパを馴染ませるための捨練り（1m³）とし、廃棄した。

表-1 使用材料の品質

材 料	種 類
セメント	普通ポルトランドセメント：比重 3.16、比表面積3,010cm ² /g
混和材	高炉スラグ微粉末：比重2.90、比表面積6,000cm ² /g級
A工場	細骨材 比重2.56、吸水率1.66、粗粒率2.63（海砂：砕砂=75:25）
	粗骨材 比重2.63、吸水率0.93、粗粒率6.64：砕石2005
B工場	細骨材 比重2.57、吸水率2.15、粗粒率2.64（海砂：砕砂=70:30）
	粗骨材 比重2.61、吸水率1.19、粗粒率6.58：砕石2005
混和剤	高性能AE減水剤（ポリカルボン酸系）

表-2 示方配合（A工場）

配 合	骨材最大寸法 (mm) G max	空気量 (%)	水粉体比 (%) W/P	水粉体容積比 W/VP	粗粒細骨材容積比 S _c /M	細骨材率 (%) S/a	粗骨材容積 (l/m ³) GV	単 位 量 (kg/m ³)					高性能AE減水剤
								水 W	セメント C	スラグ S _g	細骨材 S	粗骨材 G	
粉体系	20	5以下	29	0.85	0.43	50	300	176	粉体 P (587)		768	789	P × 1.4%
								176	411				

表-3 品質管理基準

管理試験項目	試験方法	品質規格	試験頻度・試験場所
骨材	細骨材の表面水	JIS A 1111	
	粗骨材の表面水	JIS A 1125	
	細骨材の粒度	JIS A 1102	細骨材、粗骨材
フレッシュ コンクリート	スランプフロー	土木学会基準 (案)	65±5cm
	V75ロート試験	試験方法(案)	10±5秒
	空気量試験 (単位容積質量)	JIS A 1128	5%以下 (2.3~2.35t/m ³)
	温度及び気温		5~30℃
	ブリーディング	JIS A 1123準拠	0%
	塩化物量	JIS A 5308	0.3kg/m ³ 以下
硬化 コンクリート	圧縮強度	JIS A 1108	$\sigma_{ck}=30$ N/mm ²
	単位容積質量	JIS A 1116	2.3~2.35t/m ³

2) 配合の調整方法

配合調整は、①細骨材表面水率の微調整（ブリーディングの抑制から±0.5%を上限）、②高性能AE減水剤の添加量（フロー調整量±5cmにつき添加量±0.1%の増減）調整により行った。

3) 出荷時の管理

ミキサ車の出荷の可否は、所要の品質管理試験により判断し、試験を実施しない場合は、練混ぜ時のミキサ油圧負荷値やモニタなどで判断した。

(3) 運搬時の管理

1) アジテータ車および残水の確認

当日のアジテータ車は高流動コンクリート専用とし、また高流動コンクリートは水量の変動に敏感であるため、毎回使用前および使用后ドラム内をよく洗浄し、残水がないよう調査を行って確認した。

2) 雨天時の対策

アジテータ車のホッパー口には、雨水が入らないようビニールシートで覆って養生を行った。

(4) 荷卸し時の管理

荷卸し時は、打込むコンクリートの品質を確保するため、スランプフロー試験によるアジテータ車の全車管理を実施した。現場品質管理状況を写真-1に示す。

また、打設が中断すると充填性の低下が懸念されたので、連続打設できるように、打設中のポンプ車の傍らに1区画（上床版1隔壁：約10m³分）の数量を確保するだけのアジテータ車を常時待機させた。



写真-1 現場品質管理状況

2-3 施工

レミコン工場の製造能力（40~45m³/h：1バッチの製造時間約3分）から、一日打設量を350~400m³程度で計画した結果、1函当たり中壁・隔壁は4分割、側壁は5分割、上床版は8分割にブロック割りし、施工した。

高流動コンクリートの施工数量を表-4に示す。

高流動コンクリートの打設は、9月末~11月末までの2ヶ月間、週4回合計34回実施した。

(1) 打設方法

打設方法は、上床版を模擬した試験施工結果（前報参照）から、ポンプ筒先を徐々に上げていく打設方法を採用し、また上端近くで打設速度を落とす方法が充填性が良好であったため、上端から約20cm下がりまでは30m³/h、その後は15m³/hの打設速度でゆっくり打設した。

表-4 コンクリートの施工数量

側壁		中壁・隔壁		上床版	
B.L	数量 (m ³)	B.L	数量 (m ³)	B.L	数量 (m ³)
⑤	412.2	①	305.1	⑩	370.2
⑥	374.1	②	265.6	⑪	408.3
⑦	387.5	③	273.5	⑫	358.5
⑧	378.0	④	254.2	⑬	403.1
⑨	381.0			⑭	369.8
				⑮	420.0
				⑯	360.0
				⑰	420.0
1,932.8		1,098.4		3,110.0	

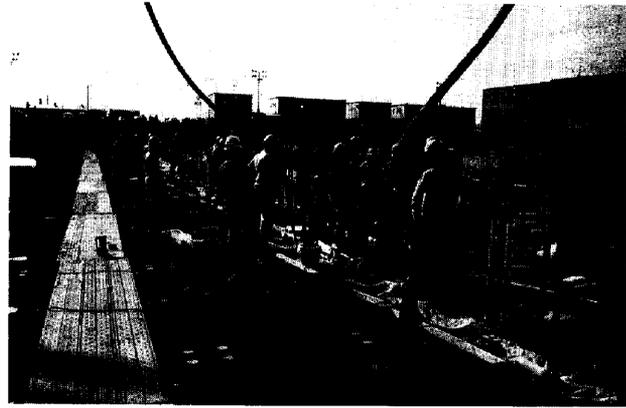
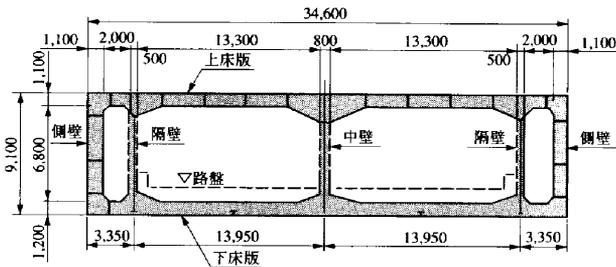


写真-2 高流動コンクリート打設状況



沈埋函の標準形状は、高さ9.1m、幅34.6m、長さ87.4m

なお、打設時の充填確認は、空気抜孔から透明なアクリル管を1m立ち上げ、空気抜孔よりコンクリートが30cm程度上昇した時点を打設終了とした。

ポンプ車は、100 m³/h級のロングブーム車を2台使用し、ポンプ故障など不測のトラブルを考慮し、予備1台を配備した。

高流動コンクリートの打設状況を写真-2に、打設全景を写真-3に示す。

(2) 施工管理

サンドイッチ構造では、隔室内にコンクリートを連続的に充填することが要求され、アジテータ車の遅れや規格外のコンクリートの打込みは、充填性に大きな影響を

与える。そこで、品質管理と時間管理を行うため、以下に示す施工管理体制や管理支援システムを導入した。

1) 施工管理体制

責任者が的確に打設の可否を判断できるように、コンクリート品質と時間の情報が必要であるが、その膨大な情報を整理するため、責任者の秘書ともいえる「管理・分析担当者」を、またトラブルを未然に防ぎ、打設作業と並行してトラブルを処理できるよう「事故処理班」を特別に配置した。実施した施工管理体制を図-2に示す。

2) 施工管理支援オンラインシステム

製造から運搬・荷卸しまでのコンクリート品質の経時変化を把握し、さらに連続打設と可使時間以内の運行管理ができるように、レミコン工場・打設現場・管理室（事務所）をオンライン化した。

これにより、品質管理試験、運行時間等種々の情報を5分程度のタイムラグで、責任者等主要な担当者がモニターでき、各情報値に異常値が発生した際には時期を逸せず担当者間で連携して有効な対策を講ずることができた。施工管理支援オンラインシステムを図-3に、パソコンモニターに表示される現場データ入力、品質管理、運行管

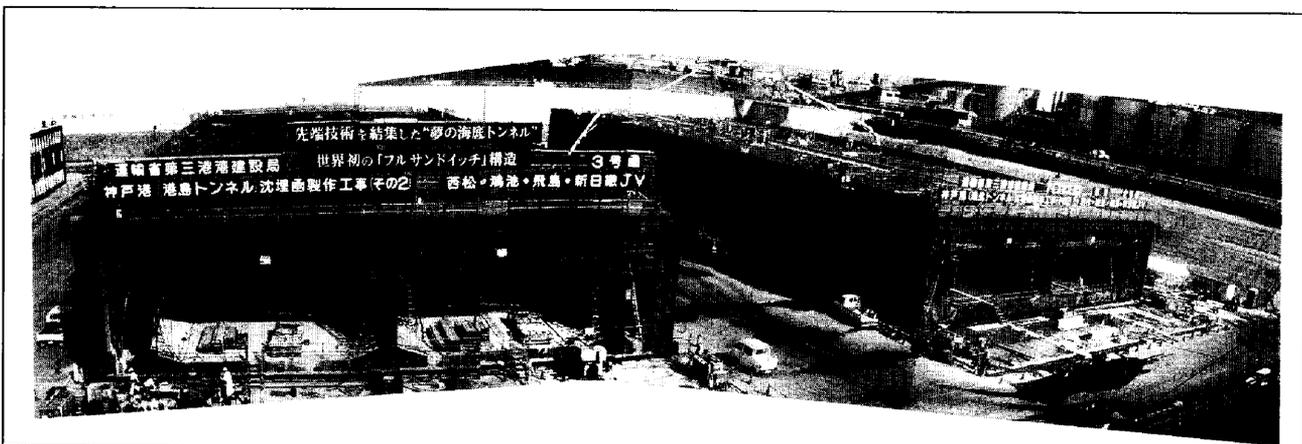


写真-3 高流動コンクリート打設全景

理データなどの画面例を図-4, 5, 6に示す。

(3) 充填管理

充填管理方法を検討するために、①超音波法、②RI

(中性子)法、③RI (γ線)法、④赤外線 (サーモグラフィ)法、⑤打音法の各試験方法について、人工空隙 (2~10mm) を作製した模擬試験体 (2×2×H1.1m) によ

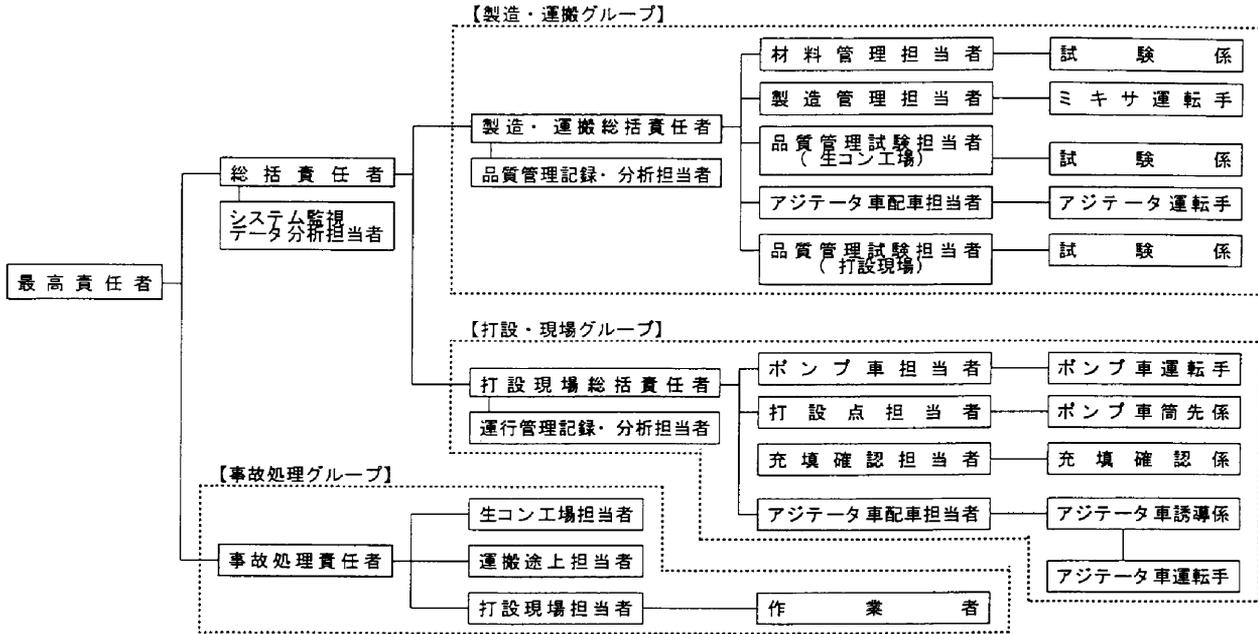


図-2 施工管理体制

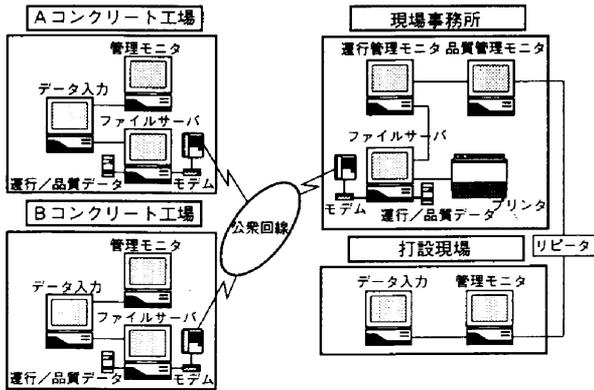


図-3 施工管理支援オンラインシステム

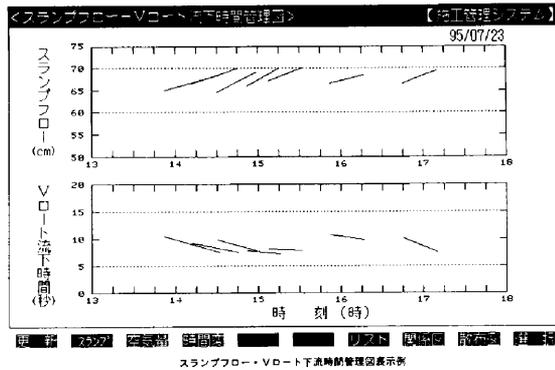


図-5 管理画面例 (2)

現場データ入力		【施工管理システム】	
打設日: 95/07/23	連番: 1	車番: 15	現場到着: 15:02 現場退出: 15:10
試験開始時刻: 14:32	試験開始時刻: 14:32	試験開始時刻: 14:32	試験開始時刻: 14:32
スラップフロー (cm): 63.5	スラップフロー (cm): 63.5	スラップフロー (cm): 63.5	スラップフロー (cm): 63.5
70-50cm 到達時間 (秒): 2.8			
スラップフロー停止時間 (秒): 26.5	スラップフロー停止時間 (秒): 26.5	スラップフロー停止時間 (秒): 26.5	スラップフロー停止時間 (秒): 26.5
(U75)D _{4.75} 落下時間 (秒): 7.4			
空気量 (%) : 1.8			
単位体積重量 (tf/m ³) : 2.36			
コンクリート温度 (°C) : 24.0			
気筒温度 (°C) : 24.0			
試験終了時刻: 14:36	試験終了時刻: 14:36	試験終了時刻: 14:36	試験終了時刻: 14:36
SP再添加: 0 (0:はい, 1:はい)	再添加量 (%):	試験合否: 0 (0:合, 1:否)	
打設区画番号: 1 (1:A, 2:B, 3:C)			
ポンプ車単圧送値: 最低 110 kgf/cm ²			
最高 110 kgf/cm ²			
打設開始: 15:02 打設終了: 15:05			
区画2の打設: 0 (0:しない, 1:する)			

図-4 管理画面例 (1)

(6/9) 運行管理データ		【施工管理システム】	
連番	車番	製造時刻	現場到着時刻
9	12	15:34	15:53
10	20	15:49	15:58
11	7	15:46	16:06
12	838	16:09	16:28
13	15	16:15	16:31
14	2	16:21	16:37
15	22	16:27	16:42
16	19	16:33	16:49
17	23	16:59	17:14
18	10	17:05	17:13
19	25	17:11	17:20
20	26	17:21	17:30

図-6 管理画面例 (3)

る性能比較試験を実施した。その結果、空隙深さの測定にはRI法（中性子、 γ 線）が有効で、計測誤差は1mm程度、またキャリブレーション誤差は0.3mmと十分な精度であった（前報参照）。

また空隙範囲の把握には打音法で十分対応可能であり、空隙量の測定では、両者（RI法は、経済性から γ 線法を選定）を併用し、充填管理方法とした。

(4) 養生

直射日光を受けた場合、鋼殻表面の温度上昇による鋼板の膨張を防止するため、側壁の場合は日除けシートを、上床版の場合は、マット養生を行い、さらに暑中時には散水養生を実施した。

§ 3. 高流動コンクリートの施工結果

3-1 品質管理

(1) 材料管理

細骨材粒度は、工場管理が的確であったため設定した粒度管理範囲内（F.M.= 2.5~2.7）で、また細骨材表面水の管理についても概ね5%以下で管理できた。

管理結果は、次のようであった。

- ①粒度 A工場平均値：2.57 [2.53~2.62]
B工場平均値：2.61 [2.53~2.69]
- ②表面水 A工場平均値：海砂4.5% [3.6~5.7%]
碎砂1.0% [0.6~2.2%]
B工場平均値：海砂4.1% [2.8~6.0%]
碎砂0.8% [0.1~3.3%]

(2) 高流動コンクリートの品質管理

高流動コンクリートの品質管理試験結果一覧を表-5に示す。

荷卸し時のスランプフローの管理目標値は、試験施工などから充填性が良好と判断された規格値より厳しい65~70cmと設定した。

骨材表面水の適切な設定やミキサ油圧負荷値などによる製造時の管理、および高性能AE減水剤使用量を適切に調整することにより、ほぼ規格値内の良好な管理ができた。ただし、スランプフローの上限を僅かに超えた70~72cmの場合は、目視で分離が認められないと判断できた場合には使用した。また空隙の発生に関係すると思われるブリーディング率は、事前の実験から十分0に近い配合（0.5%以下）を選択し、平均値で0.33%であった。

最終的に品質規格値を外れて廃棄したものは約50m³（0.4%：対出荷）であった。

なお、2ヶ月間にわたる施工であったので温度変動（30~10℃）に対しては、配合試験結果から、高性能AE減水剤の使用量で調整することとしたこともあって、図-7に示すように、使用量と温度に相関がみられた。

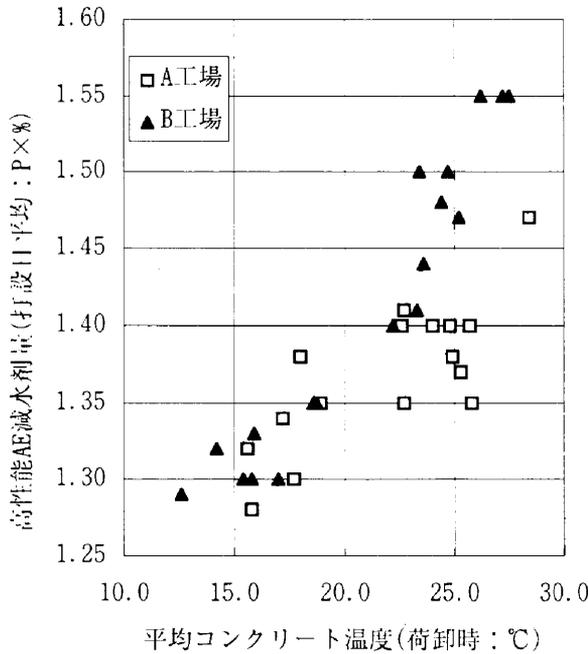
3-2 運行管理

運行管理は、試験施工等から得られた製造から打設終了までのサイクルタイムを約50分として、配車スケジュールを定め、運行を実施した。

また事前の試験結果（前報参照）から、用いた高流動コンクリートの所要の流動保持時間は、暑中の場合80分程度であり、予想される交通渋滞等による運行の遅延や、

表-5 高流動コンクリートの品質管理試験結果一覧

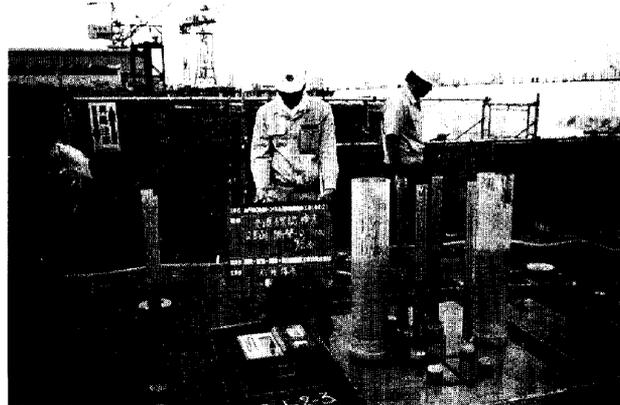
試験項目	試験値	平均	標準偏差	備考	
出荷	スランプフロー (cm)	56.0 ~ 72.5	64.9	2.9	N= 343
	V75ルート流下時間 (秒)	6.0 ~ 12.9	8.6	1.4	N= 327
	空気量 (%)	1.5 ~ 4.9	3.0	0.8	N= 325
	(単位容積質量(t/m ³))	2.29 ~ 2.35	2.33	0.0	N= 325
	ブリーディング率 (%)	0.09 ~ 0.50	0.33	0.1	N= 98
荷卸し	スランプフロー (cm) (打込範囲)	58.5 ~ 75.0 60.0 ~ 73.0	67.5 67.5	1.9 1.9	N=2,781 N=2,758
	V75ルート流下時間 (秒) (打込範囲)	5.0 ~ 30.0 5.0 ~ 14.8	8.8 8.7	2.0 1.6	N= 634 N= 627
	空気量 (%) (打込範囲)	2.0 ~ 5.1 2.0 ~ 4.8	3.7 3.7	0.5 0.5	N= 531 N= 526
	(単位容積質量(t/m ³)) (打込範囲)	2.30 ~ 2.38 2.30 ~ 2.38	2.33 2.33	0.0 0.0	N= 526 N= 521
	圧縮強度 (N/mm ²)	$\sigma 7$	51.9 ~ 72.6	62.2	3.6
$\sigma 28$		66.8 ~ 90.0	79.8	4.7	N= 294
単位容積質量 (t/m ³)	2.30 ~ 2.34	2.33	0.0	N= 98	



図一七 高性能AE減水剤使用量と温度

表一六 RI (γ線) による空隙深さ測定結果 (mm)

部 位	2 号 函		3 号 函	
	打設直後	硬化後	打設直後	硬化後
側 壁	1.84	2.35	0.71	1.35
隔 壁	2.81	2.73	0.67	1.11
中 壁	3.03	3.52	1.51	2.29
上床版	1.15	1.60	0.92	1.82



写真一四 充填確認検査状況

打設待ち等のトラブルに対して可使時間は余裕をもって1時間と設定した。その他、打継ぎが生じないように連続打設に心がけ以下の項目に留意して管理を行った。

- ①可使時間1時間以内の打設
- ②上床版1隔室を50分以内での打設
- ③スランブフローロスを考慮して荷卸し時の品質管理試験終了後、15分以内の打設

その結果、①の可使時間以内での管理を基本とすることにより、②はほぼ自動的にクリアできたが、③は15分を超過する例が散見された。

なお、後述するトラブル等により1時間を超過した場合もあったが、打込み前に品質を再チェックし、合格の場合は使用し、不合格の場合には廃棄した。

3-3 充填管理

充填検査は、鋼板の温度による変形や硬化後の沈下などが想定されたため打設直後（30分以内）と硬化後（20～60日後）の2回測定した。各函体別の空隙深さの測定結果を表一六に、充填確認検査状況を写真一四に示す。

その結果、1函当たり約3,700の測定点の内、硬化後に5mm以上と計測された空隙は、2号函で1.2%、3号函で0.2%程度と僅かであった。

また、3号函は2号函の結果を踏まえ、上端付近において突き棒など補助工法を用いて充填度をさらに向上させることができた。

なお、構造上支障が若干でも懸念された場合や5mm以上の空隙は無機系材料で注入し、補修を行った。

3-4 施工時におけるトラブル

施工時のトラブルとしては、①ポンプ車の故障や管の破損、②アジテータ車の遅れ（交通渋滞、事故、規制など）、③製造プラントにおける出荷システムの故障、④計量装置の故障（粉体によるゲートの目詰まり）などが発生したが、予備のポンプ車や管の取替え、アジテータ車台数を増やしたり、ゲート開閉による送風などにより何れも適切な対処を施すことができた。

§ 4. 高流動コンクリートの今後の課題

高流動コンクリート施工における今後の課題などを次に述べる。

4-1 材料の開発、管理

(1) 骨材管理

高流動コンクリートは、品質変動が大きい骨材、特に細骨材の表面水や粒度の管理が重要である。

本工事では、細骨材表面水や粒度の測定を所定頻度以上実施して前述のように良好な管理を行うことができた。

しかし、細骨材表面水については今後自動水分計（今回は精度の点から不採用）などによる自動管理や、サンドスタビライザー（遠心脱水により表面水を一定にする装置）による表面水一定の細骨材を使用することなどが望まれる。ただし、サンドスタビライザーの取付け場所やコストが高い点などからレミコン工場に普及していな

いのが現状で、この装置は、現場でプラントを設置したり、プラント船を使用する場合に有効と考えられる。

（2）混和剤の開発

高流動コンクリートは、温度などに敏感な高性能AE減水剤を比較的多量に使用することから、気温など環境条件の微妙な変動により、流動性・材料分離抵抗性などのフレッシュ性状が大きく変動する。したがって、温度など気象条件に左右されず、また経時変化の少ない混和剤の開発が望まれる。

4-2 製造管理

製造時の管理としては、練混ぜ時のミキサの最大負荷値や安定値による方法が検討されており、管理の目安としてはかなり有効であるが絶対的なものではなく、今後は積算電力値による方法などが検討課題となっている。

4-3 品質管理試験

高流動コンクリートは、流動性および材料分離抵抗性といった相反する性能をバランスさせているため、その性状を的確に評価するには複数の試験を実施しなければならないのが現状である。本工事では、品質を保証するため荷卸し時にスランプフローのミキサ車全車検査を実施し、そのため多くの管理要員が必要であった。

今後は、省力化の観点から、アジテータ車から排出したコンクリートが装置を通過したコンクリートのみを打設できるような受け入れ検査装置などの開発が望まれる。

4-4 施工管理体制および施工管理支援システム

本工事では、製造したコンクリートが所要の品質を満足し、かつ密閉鋼殻内に充填ができたことを保証するため膨大な施工管理体制およびパソコンを用いた施工管理支援システムを導入した結果、良好な成果を得ることができた。しかしながら、高流動コンクリートの今後の普及に向けては、施工管理体制のスリム化を進めて行く必要がある。

施工管理支援システムについては、高流動コンクリートの品質変化を把握するための時間管理を実施するには有用であったが、システムの開発費およびデータ入力などの要因によりかなりコストアップになった。

今後は、この管理支援システムをベースに有効利用が図れることから、その活用を検討していく必要がある。

4-5 充填管理試験

本工事では、充填管理試験として、RI（ γ 線）法を採用したが、1函当たり50cmピッチで約3,700の測定を実

施するなど測定に多くの人員コストを要した。

現状の赤外線による方法では不十分であるが、今後画像処理技術のレベルアップが図れ、空隙厚さまで解析できるようにになれば合理化・省力化が期待できる。

§ 5. おわりに

フルサンドイッチ構造の沈埋函に高流動コンクリートを使用したのは本工事が初めてで、しかも12,000m³と大量の高流動コンクリートをレミコン2工場で2ヶ月間ほとんど毎日連続的に製造・施工するという急速施工であったが、このように細心の注意を払って施工を行った結果、良好な成果が得られた。

しかしながら、本工事では製造したコンクリートが所要の品質を満足し、かつ適正な施工管理の下に充填できたことを保証するため、品質・施工管理に多大な労力を必要としたが、今後は前述のように自動管理など品質・施工管理方法の合理化・省力化を進めていく必要がある。

また高流動コンクリートは、本工事で使用した粉体系の他に分離低減剤を使用する増粘剤系の配合もあるが、現状では何れも製造コストは一般コンクリートの2倍程度にアップするが、このコンクリートは、その開発目的の縮固め不要性から従来の人中心であった建設工事全体を体系的に変革するような、新しい施工法を生み出す可能性を秘めた技術であり、21世紀に向けて革新的な合理化施工への展開が大いに期待できるものである。

最後に、本工事に関してご指導・ご助言を戴いた運輸省第三港湾建設局、ならびにご指導・ご支援を戴いた本社（土木設計部、土木部、機材部、技術研究所）・関西支店の多くの方々、さらに施工にご協力・ご支援戴いた関係者の皆様に深く感謝致します。

参考文献

- 1) 中島 由貴, 小島 朗史, 城代 高明, 高橋 秀樹: サンドイッチ合成構造沈埋函の高流動コンクリートの施工, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.18, No.1, pp.177~182, 1996.
- 2) 櫻井 定三, 高橋 秀樹: 世界初のフルサンドイッチ構造沈埋函における高流動コンクリート施工, 土木技術, 51巻12号, pp.79~87, 1996.