

# 神戸港港島トンネルにおける 高流動コンクリートの施工管理システム

小島 朗史<sup>1</sup>・梅野 修一<sup>2</sup>・上園 晃<sup>3</sup>・山岡 暁<sup>4</sup>

<sup>1</sup>正会員 運輸省港湾技術研究所 水工部 (〒239-0826 横須賀市長瀬 3-1-1)

<sup>2</sup>正会員 運輸省第三港湾建設局 神戸調査設計事務所 (〒650-0024 神戸市中央区海岸通)

<sup>3</sup>正会員 前 (財) 沿岸開発技術研究センター (〒102-0092 東京都千代田区隼町 3-16)

<sup>4</sup>正会員 (株) ニュージェック 海外土木部 (〒542-0082 大阪市中央区島之内 1-20-19)

神戸港港島トンネル 2・3号函は、総工事費を低減するために我が国で初めて鋼コンクリートサンドイッチ構造を採用した沈埋函であり、その内部には高流動コンクリートを充填した。構造検討やコンクリートの充填性を向上させるための種々の実験的研究を実施した。本論文は、これらの研究の内、高流動コンクリートの施工管理システムに関する成果を整理したものである。施工管理システムは、① 施工時のフレッシュコンクリートの品質制御方法および② 高流動コンクリートの時間管理システム、③ 非破壊検査による出来形(充填性)管理システムの3点に区分できる。今後も、高流動コンクリートを充填するフルサンドイッチ構造物が計画されており、本成果はこの種の構造物の施工管理に十分有益であると考えられる。

**Key Words** : super workable concrete, immersed tunnel, construction management, ISO 9000

## 1. はじめに

神戸港港島トンネルは、1本の橋梁に交通およびライフラインを依存してきた神戸港内の海上都市「ポートアイランド」の拡張計画に伴い、予測される交通量の増加に対応すると共に、ライフラインの二重化を図ることを目的として計画されたものである。その海底部分が沈埋トンネルとなっている。

この沈埋トンネルは、全長520mで、6個の沈埋函で構成されている。沈埋函1函あたりの標準寸法は、長さ約88m、幅約35m、高さ約9mである。沈埋函の構造は、図-1～図-3に示すとおりで、上床版、下床版、側壁、中壁及び隔壁の5種類の部材で構成されている。これらの部材のうち、上床版と側壁が外側と内側に構造部材である鋼板を配した鋼コンクリートサンドイッチ構造、下床版が外側のみ構造部材である鋼板を配したオープンサンドイッチ構造、中壁及び隔壁が鉄筋コンクリート構造となっている。この構造の採用により、外壁が全てオープンサンドイッチ構造の沈埋函に比較し、6.5%の工費の低減が図られた<sup>1)2)3)</sup>。

鋼コンクリートサンドイッチ構造採用の施工上の利点としては、以下のものが挙げられる。

(1) 鉄筋・型枠の材料節減とこれに伴う鉄筋・型枠作業の低減が図れること。

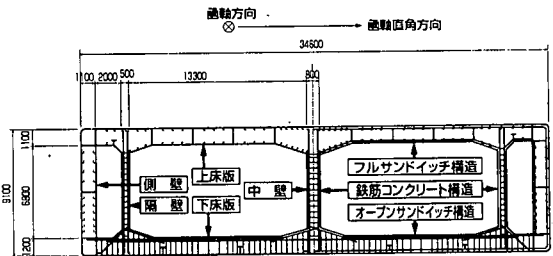


図-1 合成構造沈埋函の部材の名称と適用構造

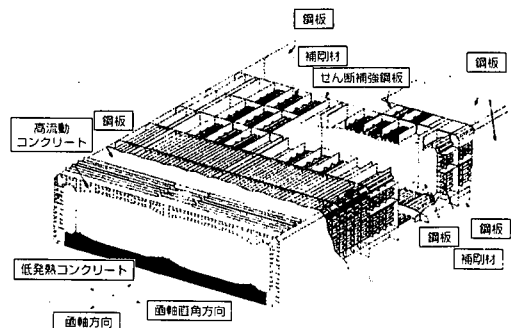


図-2 沈埋函構造概念図

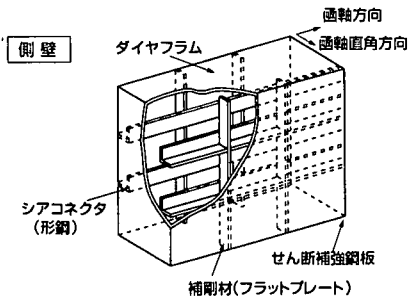
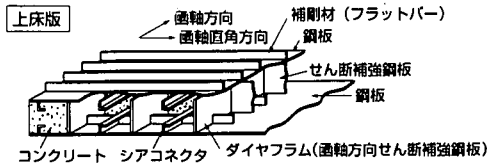


図-3 鋼コンクリートサンドイッチ構造

(2) 鋼殻のプレハブ化により工期が短縮できること。

また、施工上の難点としては、以下のものが挙げられる。

(1) 構造の形態（密閉された隔室と剛な鋼殻）から、コンクリートの締固めを十分にできないこと。

(2) 鋼殻とコンクリートを一体化する必要があることから、コンクリートを材料分離させずに、鋼殻の隅々（特に隔室個々の上面部）まで隙間なく、連続的に充填しなければならないこと。

これらの難点を克服するために、近年開発され施工事例も見られるようになった<sup>9)</sup>高流動コンクリートを採用することとなった。未充填部を有するサンドイッチ部材の載荷試験結果に基づいて、許容平均間隙深さは 5 mm とした<sup>9)</sup>。

鋼コンクリートサンドイッチ構造の鋼殻内へのコンクリートの充填という課題に対応した高流動コンクリートの施工管理システムを構築し、そのシステムにより施工管理を行い、無事完成することができた<sup>9)</sup>。その施工管理システムに基づく施工管理結果とその評価について報告する。

## 2. 港島トンネル 2・3号沈埋函工事の概要

神戸港港島トンネル 2・3号沈埋函に、高流動コンクリートを連続的に製造・運搬・打設した。以下に、その概要を示す。

### (1) 打設期間

高流動コンクリートを打設した期間は、表-1 に示すとおりである。

表-1 打設期間

沈埋函号	打設期間	
	自	至
2	H7.9.25	H7.10.24
3	H7.10.26	H7.11.28

表-2 生コン工場仕様

工場名	プラント設備			
	ミキサの形式	標準製造量(m <sup>3</sup> /バッチ)	ミキサの容量(m <sup>3</sup> )	スラップモニターの有無
Sプラント	二輪強制	2.25	2.75	有
Yプラント	二輪強制	2.25	3	無

工場名	プラント設備			
	表面水自動測定装置の有無	セメントビンの数	細骨材ビンの数	粗骨材ビンの数
Sプラント	有	3	2	4
Yプラント	無	3	3	4

工場名	プラント設備		
	公称製造能力(m <sup>3</sup> /h)	高流動コンクリート出荷能力(m <sup>3</sup> /h)	日平均出荷量(m <sup>3</sup> )
Sプラント	160	63	320
Yプラント	180	63	255

表-3 アジテータ車仕様

ドラム			排出性能 (rev/m <sup>3</sup> )	車 両		
容量 (m <sup>3</sup> )	最大積載容量 (m <sup>3</sup> )	駆動形式		架装シャーシ (t車)	全高×全幅×全長 (m)	総重量 (t)
8.9	4.5	ダイレクト	3~10	10	7.86×2.49×3.68	19.81

表-4 コンクリートポンプ車仕様

ポンプ形式	吐出量 (m <sup>3</sup> /h)	ブーム			アウトリガ最大引出幅 (m)	寸法 全高×全幅×全長 (m)	総重量 (t)
		形式	最大地上高 (m)	コンクリート配管径 (mm)			
ピストン	110	3段油圧屈折	30.0	125A	66	3.60×2.49×11.905	19.9

### (2) 製 造

高流動コンクリートの製造には、打設現場近隣（標準運搬時間：17分）の JIS マーク表示許可工場の内、事前に試験工事を実施した 2 工場を使用した。生コン工場の仕様は表-2 に示すとおりである。

なお、打設日には、いずれかの 1 工場を専有し、他のコンクリートは一切製造しないものとした。

### (3) 運 搬

高流動コンクリートの運搬には、表-3 に示す仕様のアジテータ車（トラックミキサ）を使用した。

なお、打設日には、高流動コンクリートの運搬に係るすべてのアジテータ車を専有し、他のコンクリートは一切運搬しないものとした。

表-5 高流動コンクリートの品質管理基準

種別	管理試験項目	試験方法	品質規格	試験頻度・試験場所
材料	細骨材の表面水	JIS A 1111		開始時, 変動時および1回/2時間
	粗骨材の表面水			開始時, 変動時
	骨材の粒度	JIS A1102		1回/日または変動時
	水および骨材温度			暑中および寒中時に随時
フレッシュコンクリート	スランプフローおよび70-時間(50cm 70-)	土木学会規準	65 ± 5 cm	最初の連続5台, 以後75m <sup>3</sup> に1回(出荷, 荷卸時)および監督員が必要と認める時
	V75ロ-ト試験	Vロ-ト試験方法(案) <sup>4)</sup>	10 ± 5 秒	同上
	空気量試験および単位容積質量試験	JIS A 1128	5%以下(2.3~2.35tf/m <sup>3</sup> )	同上
	コンクリート温度および気温		5~30℃	同上
	ブリーディング率	JIS A 1123に準拠	0%	基本的には150m <sup>3</sup> に1回
	塩化物量	JIS A 5308 付属書5	0.3kg/m <sup>3</sup> 以下	同上(荷卸時)
	硬化コンクリート	供試体作成	JIS A 1132	
	圧縮強度試験	JIS A 1108	$\sigma = 300\text{kgf/cm}^2$	同上( $\sigma_7, \sigma_{28}$ )
	単位容積質量		2.3~2.35tf/m <sup>3</sup>	同上(500×500×500mm)

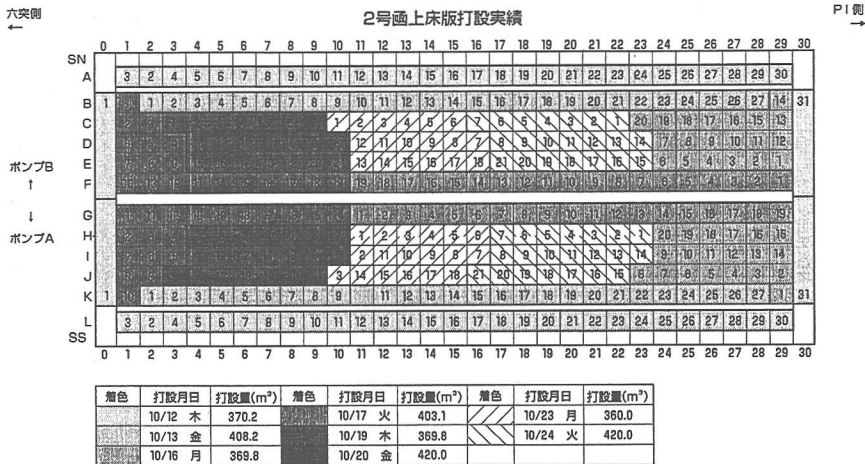


図-4 上床版打設実績

(4) 打設

高流動コンクリートの打設には、圧送抵抗が普通コンクリートに比べて大きいことを考慮し、表-4に示す仕様のコンクリートポンプ車(以下:ポンプ車)を2台使用した。上床版,側壁,隔壁について、打設区画が左右対称になるようにそれぞれ別々の打設区画を打設した。

なお、ポンプ車の故障等に即座に対応できるように、予備のポンプ車1台を常時打設現場に待機させるものとした。

(5) 品質管理試験

高流動コンクリートの品質管理試験は、表-5に示す「品質管理基準」を基本としたが、打設現場での荷卸時の品質管理試験において、スランプフロー試験とコンクリート温度測定については、すべてのアジテータ車に対して行うこととした。主な理由は、以下のとおりである。

- a) 製造工程(特に現場配合の設定)の良否の確認
- b) 抜き取り試験による打設工程の混乱の回避
- c) コンクリートの充填度の品質保証

なお、スランプフロー試験で材料分離の傾向が見られるときには、V ロート試験を行って補完し打設の可否を判定した。

### (6) 製造・打設実績

打設現場には、2 台のポンプ車を配置し、アジテータ車は2 台のポンプ車に交互に配車した。

上床版における高流動コンクリートの打設実績は、図-4 に示す通りである。

また、高流動コンクリートの廃棄理由は品質管理基準を満たさなかったためであり、スランプフローが規格外のもの5 台、V ロート5 台、空気量1 台の計11 台のアジテータ車が廃棄対象となった。

## 3. 高流動コンクリートの施工管理システム

### (1) 目的

本工事の特殊性から発生する問題点を解決するために、種々の対策を採用した。その中で、最も留意した点の1 つが明確なシステムにより施工管理を行うことであり、そのシステムの内、製造開始から打設完了までの時間管理システムを特に重視したので、これについて重点的に述べる。構造の特殊性に起因する施工上の問題点としては、以下のものが挙げられる。

- ① 充填状況を目視観察しながら、高流動コンクリートを打設することができないこと。
  - ② 高流動コンクリート硬化後の充填度は、目視確認することができないこと。
  - ③ 未充填部の発生に対する補修は、モルタルや高価な樹脂等の注入による方法しかなく、工費、工期両面から非常に困難であること。
- したがって、
- ④ 施工ミスが許されないこと。
  - ⑤ コンクリートの充填度に対する品質保証の方法を確立する必要があること。

これらの問題点を解決するためには、以下の一連の対策①～⑥を講じた。これらの内、施工時の対策③～⑥を施工管理システムにより実施することとした。また、これらの内、本施工において重視した「③ フレッシュコンクリートの品質の制御方法」、「④ 時間管理システム」および「⑥ 出来形管理システム」について次項に述べる。

- ① 所定の充填性が得られるような高流動コンクリートの配合設計を行い、フレッシュコンクリートの品質を実験的に確認する。
- ② 充填性を向上させるために、各鋼殻の打設口や空気孔などの細部構造の数・位置・大きさを実験的に検討し、最適なものを採用する。

- ③ 実施工時において、安定したフレッシュコンクリートの品質が得られるような材料規格や配合を採用する。

- ④ 施工時の時間管理システムを立案し、これを運用することにより製造開始から打設完了までの時間管理を行い、連続打設を可能にする。

- ⑤ 製造直後および打設直前に品質管理試験を行い、規格を満足していないものは廃棄する。

- ⑥ 未充填部の位置・深度・範囲を確認するために、RI による非破壊検査を実施し、許容間隙深さ 5mm を超える箇所は再充填する。

さらに、非破壊検査結果に基づいて、未充填部と施工管理結果との相関を調査することによって、採用した施工管理システムを見直し、後続の4～6 号函の施工に向けてより優れたシステムに修正することにした。

### (2) フレッシュコンクリートの品質の制御方法

施工に用いた高流動コンクリートの示方配合は表-6 に示すとおりである。施工時のフレッシュコンクリートの品質(特性)は、特に以下の要因の影響を受け易い。

- ① 骨材(特に細骨材)の粒度分布
- ② 骨材(特に細骨材)の表面水率のばらつきによる単位水量の変動
- ③ 気温(コンクリート温度)
- ④ 製造後からの経過時間

このうち、①の「細骨材の粒度分布」については、図-5 に示す土木学会規準(点線の範囲内)より厳しい粒度分布範囲(実線の範囲内)に調整した。これは、使用した生コン工場での細骨材(海砂と砕砂の混合砂)を用いた室内試験や施工実験の結果に基づき、スランプフロー 65±5cm を安定的に得られる粒度分布範囲として求められたものである<sup>9)</sup>。

### (3) 高流動コンクリートの時間管理システム

#### a) 時間管理システムの考え方

ここで述べる時間管理システムとは、①高流動コンクリートの打設可能時間内に打設を完了させること(製造開始後 80 分間)および②一打設区画:上床版標準隔室(容積 9.9m<sup>3</sup>)は 50 分間以内に充填することの2 点の品質保証を満足するための時間管理の一連の手法を意味する。主として、時間管理はアジテータ車を対象として行うので、現場ではこれを運行管理と称することとした。2 点の品質保証は、過去の室内試験、実機試験および施工試験から得られた結果に基づいている<sup>9)</sup>。また、このシステムは、前述の品質管理基準を満足できるコンクリートが製造できれば、その後は時間管理を厳密に実施することにより、製品(鋼コンクリートサンドイッチ構造物)の品質を保証することができるという考え方に基づく。

表-6 高流動コンクリートの示方配合表

Gmax 骨材 最大寸法 (mm)	W/P 水粉体 重量比 (%)	W/Wp 水粉体 容積比 (%)	Sc/M 粗粒 細骨材 容積比	S/a 細骨材 率(%)	Gv 粗骨材 容積 (L/m <sup>3</sup> )
20	29	85	0.43	50	300

単位置量 (kg/m <sup>3</sup> )					高性能 AE 減水剤
W 水	C セメント	Sg スラグ	S 細骨材	G 粗骨材	
176	176	411	768	789	P ×
粉体 P = 587					1.4%

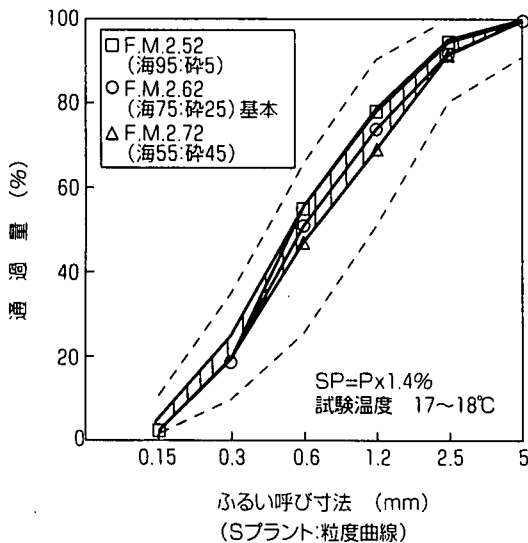


図-5 実施工における細骨材粒度の管理曲線

実施工においては、コンクリートポンプ車2台を使用してコンクリートを連続的に打設することとなり、生コン工場と打設現場の間を多くのアジテータ車が行き交う形態となる。なお、上床版標準部屋1個あたりのコンクリート打設量は、約10m<sup>3</sup>でアジテータ車2.2台分である。ここで、隔壁1個について見ると、後続車の遅れや離脱（スペックアウトなど）が充填度に対して致命的なものとなることから、コンクリート打設工程は後続工程が先行工程に著しく影響を及ぼす特殊な工程となる。

したがって、高流動コンクリートを使用する鋼コンクリートサンドイッチ構造の施工においては、製造・運搬・打設の一連の作業を施工者の管理の下で、一貫して行う必要がある。

国際規格である「ISO 9000」では、事後の製品の検査および試験ではその結果を十分に検証できない工程を

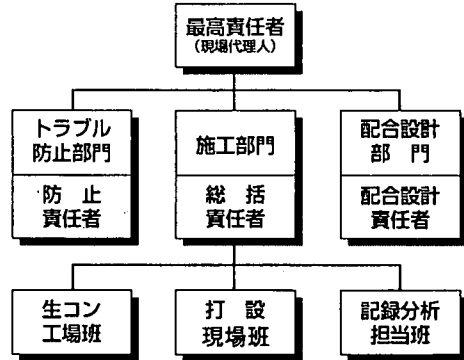


図-6 施工管理体制

「特殊工程」と呼び、規定の要求事項を満たすことを確保するためには、連続的な監視・手順の遵守が要求されるとある。さらに、必要な品質管理の計画的および体系的活動を立証（すべてを文書化して記録）することで、製品が所定の品質要求を満たしていることに妥当な信頼感を与え、製品の品質保証になるとある。高流動コンクリートを使用する鋼コンクリートサンドイッチ構造の施工は、まさにこの規格の「特殊工程」に該当する。

b) 施工管理体制と情報の伝達

時間管理（施工管理）を厳密に行うには施工管理体制を構築し、各担当者の責任を明確にした上でそれぞれが施工に関する情報を最短時間で共有する必要がある。

施工管理体制は図-6に示すとおりであり、最高責任者を長とした一元的管理体制の下に、施工部門、トラブル防止部門、配合設計部門をそれぞれ対等に独立させておいた。また、施工部門には、生コン工場班および打設現場班、総括責任者直属（秘書役）の施工管理記録・分析担当班をおいた。

情報量が最も多く、その情報が得られれば作業全体の工程とコンクリートの品質を把握できる施工情報は、アジテータ車ごとの運行データとコンクリートの品質データである。そのため、これらの情報が各作業場間で正確に伝達されるように、アジテータ車ごとに、情報を各作業場で記入して各作業場を受け渡していける運行・品質管理記録表を作成した。この表は、従来のコンクリート納入伝票に替わるもので、アジテータ車ごとの情報を各担当者レベルまで共有させるものである。つぎに、これらの情報を正確に得て瞬時に処理・解析するために、コンピュータを本部、生コン工場、打設現場に設置してオンライン化し、これらの情報を各責任者間で共有させた。また、運行・品質管理記録表の受け渡しとオンライン化は、各責任者・担当者間の指示・報告を伝える手段にも使用した。

表-7 運行管理目標

番号	項目	運行管理目標	付帯条件
①	「製造開始 (以下製開) ~ 打設終了 (以下打終)」	80分以内 (可使時間) ↓ 60分以内	60分超過の恐れ ある時は、再度 品質管理試験
②	「打設待機」	15分以内	1台打設待機 ただし2台以上打設 待機させない。
③	上床版標準区画 (3.0*3.0*1.1m) 1区画打設時間	50分以内 ↓ 設定せず	-

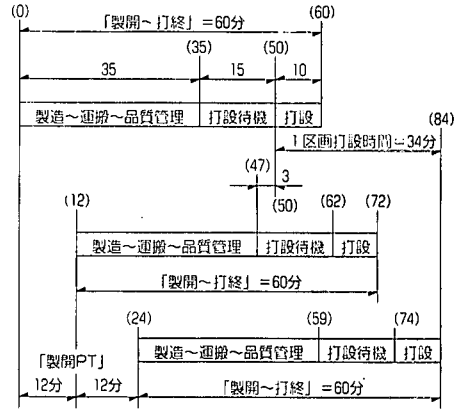


図-7 “運行管理目標”設定説明図

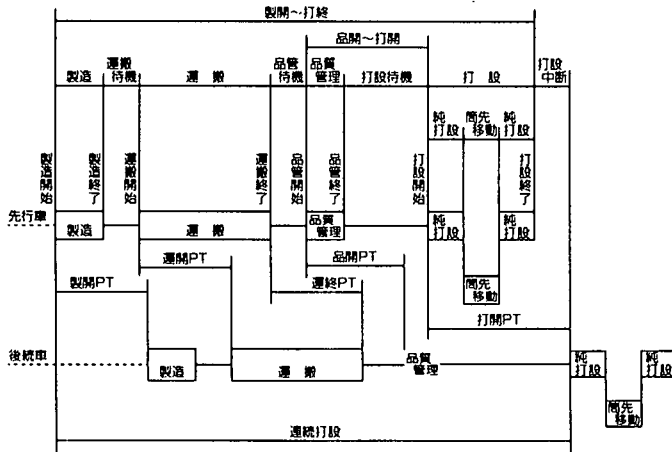


図-8 作業時間と作業間隔説明図

c) 施工管理基準・手順の明確化

すべての施工管理体制構成員が理解できるように、施工管理基準や施工管理手順を明確にする必要がある。

施工管理基準（目標）の主なものとしては、以下のものが挙げられる。

① 品質管理指針

基本方針、品質システム、組織の責任と権限、管理手順の概要など。

② 高流動コンクリート品質管理基準

試験項目、試験方法、試験頻度、品質規格値など。

③ アジテータ車運行管理目標

製造開始から打設終了までの時間、現場での打設待機台数（時間）の設定など。

④ 非破壊試験管理基準

試験方法、試験頻度、充填度（間隙）の目標など。

施工管理手順の明確化のために、施工管理体制の構成員の役割と相互関係および全体の作業の流れを明確にして、すべての構成員が施工管理の手順、指揮命令系統、情報の伝達方法、判断・報告すべき時点とその内容など

を理解して実行できるよう、すべての構成員を網羅した作業手順書と作業手順フロー図を作成した。

d) 運行管理値の設定

実施工におけるアジテータ車の運搬を主体とする運行管理目標値は、事前に実施した「施工管理実証実験」および「充填性確認試験」（平成6年9月実施）や「施工試験」の結果から表-7のように設定した。①は、高流動コンクリートの流動特性が時間の経過によって変化し、その維持時間は気温によっても変化するが、おおむね90分は性能を維持できることが確かめられている。このことからコンクリートの可使時間を80分としている。②は、1打設区画のコンクリートの打設を連続して行うために、アジテータ車の待機台数を1台とした。③は、上床版の1標準区画を充填するためには3台のアジテータ車が必要であり、1打設区画に着目した管理も必要と考えた。しかしながら、①、②の管理目標が達成されれば、③の管理目標も満足される。そして、打設区画の時間管理と、アジテータ車の運行管理とを平行して行うことはかえって

表-8 「連続打設」の定義

定義	先行するアジテータ車の製造開始から基準となるアジテータ車の打設（荷卸）開始までの時間をいう。いいかえれば、先行車で運搬されてポンプ車内（ホッパ・配管）に残留したコンクリートの製造開始から打設区画内に打設されるまでに要した時間となる。
式	(後続の打設開始時刻) - (先行の製造開始時刻) = (先行の「製開～打終」) + 「打設中断」

表-9 「製開～打終」・「連続打設」集計表

部 位	「製開～打終」				「連続打設」			
	平均	最大	最小	標準偏差	平均	最大	最小	標準偏差
上床版	0:53	1:19	0:35	0:04	0:54	1:35	0:40	0:05
側 壁	0:50	1:30	0:36	0:05	0:51	2:16	0:35	0:07
中 壁	0:48	1:18	0:36	0:06	0:51	1:21	0:41	0:06
隔 壁	0:47	1:20	0:34	0:06	0:50	1:17	0:40	0:06
全 体	0:51	1:30	0:34	0:05	0:52	2:16	0:35	0:06

注) 「○:△」は、○時間△分の所要時間を示す。

表-10 アジテータ車の時間管理の結果

部 位	台数	「製開から打終」>1時間または「連続打設」>1時間10分の場合(台)	「製開から打終」<1時間または「連続打設」<1時間10分の場合(台)
全体	2758	58(2.0%)	2700(98.0%)
上床版	1404	32(2.3%)	1372(97.7%)
側壁	866	16(1.8%)	850(98.2%)
中・隔壁	488	10(2.0%)	478(98.0%)

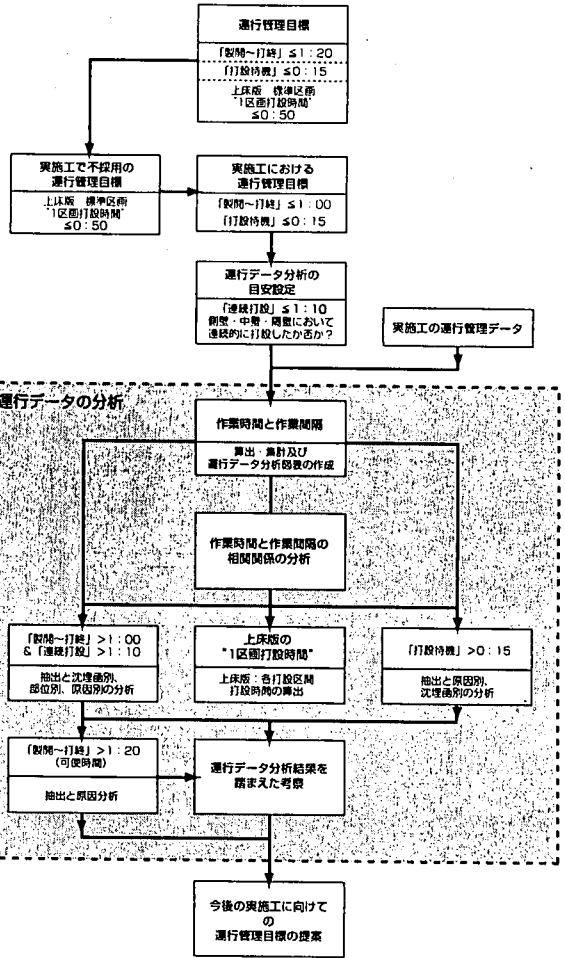


図-9 運行データ分析フロー

混乱するため、アジテータ車の運行管理を基本とすることとした。図-7、図-8 はアジテータ車の運行を模式的に示したものである。生コン工場でのコンクリートの製造は6分間隔で、アジテータ車が現場に到着すると2台のコンクリートポンプ車に振り分けられる。このため、打設区画から見ると、12分間隔でコンクリートが到着することとなる。品質管理試験を行って規格に合致していれば打設することとなる。ただし、1区画の途中でコンクリートの打設が中断すると、完全な充填ができなくなる恐れがあるため、後続するコンクリートの品質を確認してから打設を開始することとなる。

上床版の標準区画の場合、34分程度で打設が完了し、上記管理目標の③の項目は満足される。

また、運行管理目標②については、先行車の「筒先移動」や「打設中断」などの影響を受けて長くなる傾向にあるので、この設定値の妥当性も証明しなければならない。

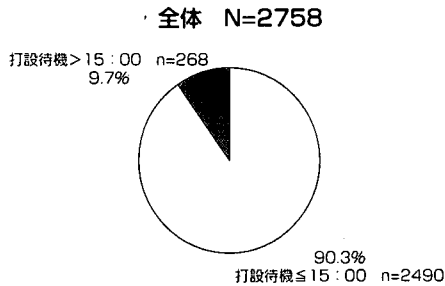
さらに、側壁においては打設区画固有の条件により1打設区画内を必ずしも連続して打設できないことや、中壁・隔壁においては打設区画の容量が大きいことから、コンクリートが連続的に打設されたか否かを見るために、「運行データ分析の目安」として作業間隔である「連続打設」を採用した。この「連続打設」の定義は、表-8に示すとおりである。また、その設定値は、ポンプ車内の残留コンクリートを対象として、コンクリートの可使用時間80分に10分の余裕をみて70分以内とした。

e) 施工時の運行管理結果

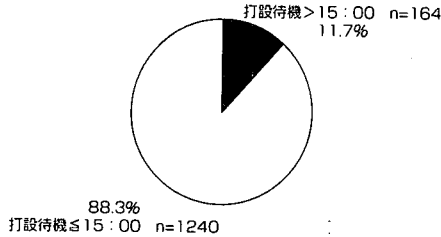
実施工時に全ての作業項目に対し、作業時間を測定し、整理した結果を分析した。その分析のフローを図-9に示す。

「製開～打終」・「連続打設」の全データの集計結果を表-9に示す。

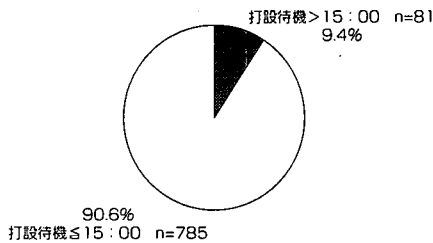
この中で、「運行管理目標①」または「運行データ分析の目安」を越えた、つまり「製開～打終」>1時間(1:00)



上床版 N=1404



側壁 N=866



中・隔壁 N=488

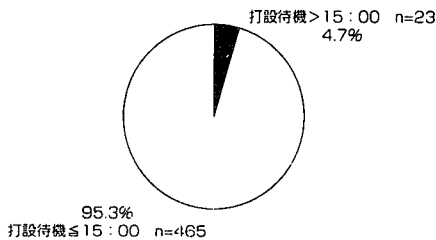


図-10 「打設待機」>15分 発生率

表-11 「打設待機」>15分の時間分布(台数)

施工箇 打設待機時間	全 体	2号函	3号函
15分 < t < 20分	235 (87.7%)	154	81
20分 < t < 25分	25 (9.3%)	19	6
25分 < t	8 (3.0%)	5	3
合 計	268 (100%)	178	90

表-12 「打設待機」>15分発生原因

原因	説明
a 打設開始 前作業	・ポンプ車先導モルタル打設 ・後続車の打設現場品質管理試験合格確認 ・間接要因：製造開始前作業＝「製開PT」増 (後続車の工場品質管理結果を待っての製造調整)
b 前車以前 からの累積	・打設間隔と製造間隔との不一致 ・置換的な原因が前車や自車になし
c 「打設中断」	・自車の打設(筒部)開始前でのポンプ車段取り替 え、筒先移動→ポンプ車ポンプ稼働停止 ・間接要因：前車以前からの累積
d 連続配車	・一方のポンプ車に連続的に配車したときに、 ポンプ車への到着間隔が短縮 ・間接要因：前車以前からの累積
e 前車の 「純打設」	・前車の打設位置が天端付近で、低速度で打設 ・間接要因：前車以前からの累積
f 前車の 「筒先移動」	・前車の打設(筒部)中の打設区画の移動(変更)に伴 うポンプ車の筒先移動→ポンプ車ポンプ稼働停止 ・間接要因：前車以前からの累積

または「連続打設」>1時間10分(1:10)となったアジテータ車を抽出すると、表-10に示すとおりとなる。全台数2,758台の内58台で2%の発生率であった。部位別に見ると、上床版で2.3%とやや高いが、運行管理目標①はほぼ満足することができた。目標を超えた原因としては、ポンプ車の移動や筒先の段取り替えによる打設中断が22台、交通渋滞やポンプ車の故障などのトラブルが18台、コンクリートのスペックアウト5台などが主なものであった。

また、上床版の「1区画打設時間」については、全ての打設区画(容積9.9m)において、目標値≤50分を満足することができた。

“運行管理目標②”に対して「打設待機」>15分となったアジテータ車の打設台数に対する発生率は、図-10に示すとおりとなる。

この図より、以下のことが明らかである。

- ・全打設台数に対する発生率は9.7%と、比較的高い割合となっている。
- ・部位別では、上床版が11.7%、側壁が9.4%、中・隔壁が4.7%であり、上床版の発生率が最も高くなっている。

また、「打設待機」>15分となったアジテータ車は268台であるが、待機時間別の台数は表-11に示すとおりである。待機時間が15分を超えたものの内、90%が15分 < t ≤ 20分となっている。

25分以上の待機となったものは8台であった。

「打設待機」>15分となった場合の原因としては、表-12に示す6項目が挙げられる。そしてそれぞれの原因の発生頻度は表-13に示すとおりである。発生原因の中で多数を占めているのは、前車の「筒先移動」と「打設中断」であり、この二つで70%以上を占めている。部位別に見ると、前車の「筒先移動」の影響が



表-13 「打設待機」>15分発生原因別台数

原因	全体	上床版	側壁	中隔壁
打設開始前作業	(11.9%) 32	14	14	4
前車以前からの累積	(12.7%) 34	15	15	4
「打設中断」	(20.1%) 54	28	16	10
連続配車	(1.9%) 5	2	3	0
前車の「純打設」	(2.2%) 6	1	1	4
前車の「筒先移動」	(51.1%) 137	104	32	1
合計	(100%) 268	61.2% 164	30.2% 81	8.6% 23

表-14 運行管理目標(案)

番号	項目	運行管理目標	付帯条件
①	「製開～打終」	80分以内 (可使用時間) ↓ 60分以内	60分超過の恐れある時は、再試験
②	「打設待機」	1台のみ待機で、 2台以上は不可  (目安：20分以内)	ポンプ車側で長時間の打設中断が発生した場合には、配車変更
③	ポンプ車の移動・配管移設等のポンプ車の段取替え(長時間の打設中断)	必ず アジテータ車間で実施	事前に、製造間隔調整

大きいのが上床版であり、「打設中断」の影響が大きいのは中壁・隔壁となっている。これは、上床版が1区画が比較的少量であるのに対し、中壁・隔壁では1区画が長さ20mと細長かったためと考えられる。

(4) 運行管理目標値の修正

運行データの分析結果より、当初の目標値はおおむね妥当であることを確認した。さらに検討を加え、今後の施工におけるアジテータ車の運行管理目標値として、表-14のように修正した。

運行データの分析結果および運行管理目標値の設定理由は以下のとおりである。

①「製開～打終」

実施工における運行管理目標と同様とする。理由は以下のとおりである。

- ・実施工において80分を越えたものは全打設台数2,758台中1台のみであり、打設区画のトラブルに対する混乱で配車変更により生じたものであった。これは、打設区画のトラブルそのものを事前に防止することができたと同時に、配車の誤りがなければ防止できたものである。
- ・75～80分と危険な状態であったものも、わずかに4台のみであった。
- ・60分超過の恐れのある時には、再試験を実施した。
- ・以上のことから、すべてのアジテータ車のコンクリートを“可使用時間”内に打設(荷卸)するという当初の目的を達成できた。
- ・上床版においては、標準打設区画の“1区画打設時間50分以内”という目的を達成した。
- ・側壁・中壁・隔壁においては、“運行データ分析の目安”の『連続打設』≤70分を満足していたので、コンクリートが連続的に(ほとんどの場合がポンプ車内の残留コンクリートの可使用時間内に)打設されていたことが確認できた。

・したがって、当初の運行管理目標の設定を満足することにより適切な打設が可能となった。

②「打設待機」

運行管理目標(案)②「打設待機」の設定理由は、以下のとおりである。

- ・実施工においては、コンクリートの経時変化に対応して品質管理試験開始時刻および打設開始時刻をできるだけ早くすることを目的として「打設待機」≤15分としたが、実際にはこの目標を達成できなかったアジテータ車は2・3号函合せて268台(全打設台数の9.7%)となった(図-10参照)。
- ・3号函において目標を達成できなかったアジテータ車は、施工管理の熟練により、2号函の178台に比べて90台と大幅に減ったが、その発生率(打設台数との比)は6.5%と比較的高い割合となっている(表-11参照)。
- ・この目標が達成できなかったアジテータ車を時間別に区別すると、15分<「打設待機」≤20分のアジテータ車は、全体あるいは2・3号函別においても約90%を占める(表-11参照)。
- ・以上のことから、実施工における運行管理目標「打設待機」≤15分は「製開～打終」≤60分比べて、非常に厳しいものであったと判断される。
- ・「打設待機」>15分となったアジテータ車のうち、「製開～打終」>60分となったアジテータ車は、11台であった(図-11参照)。「製開～打終」>60分となった場合の原因としては比較的高い割合(29%)を占めている。
- ・表-15の比率は、各「打設待機」に該当するアジテータ車台数の「製開～打終」>60分となった台数に対する比率を表す。これより、「打設待機」>20分となると急激に「製開～打終」>60分の可能性が高くなることがわかる。このことは、図-7において「製開～打終」≤60分とするには、「打設待機」>15分の場合に

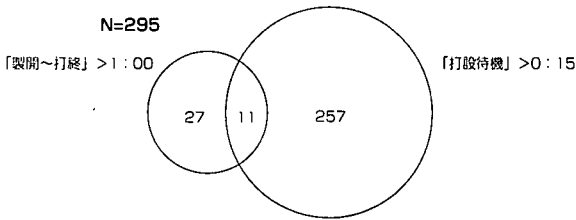


図-11 「打設待機」>15分と「製開～打終」>1時間の関係

表-15 打設待機時間の影響

①「打設待機」	②「製開～打終」	③「打設待機」該当アジテータ車台数	④比率(%)
t > 0:25	t > 1:00	7	87.5
t > 0:20		9	27.3
t > 0:15		11	4.1

はこれ以外の作業時間を短縮しなければならない点から理解できる。

・「打設待機」>15分のケースがあったにも関わらず、「1区画打設時間」≤50分は全ての上床版の区画で満足することができた。これは図-7によると他の条件が固定されれば「打設待機」=15分ならば、「1区画打設時間」=34分に設定されることになり、平均的には16分間の余裕があったためである。仮に後続の2台のアジテータ車が23分ずつ待機すると、「1区画打設時間」=50分となるが、表-11の結果からは、このような事態の発生する確率は極めて低い。

・以上より、現実的な方策として、「1台のみ待機させ、2台以上は待機させない」ことを目標とし、「打設待機」20分以内を目標とする。

### ③ 運行管理目標(案)②に対する歯止め

ポンプ車の移動・配管移動等のポンプ車の段取替え(長時間打設中断)を行うことに対して「1区画打設時間」≤50分を満足するために、運行管理目標(案)③を設定する。これはポンプ車の移動などのために長時間の「打設中断」が発生する場合には、アジテータ車に残ったコンクリートを次の区画に打設することのないようにするためである。

このようなポンプ車の段取替えは打設日ごとの打設計画において事前に設定することができるので、製造間隔調整(出荷調整)を行うことを付帯条件とした。

## (5) 出来形(充填性)管理システム

### a) 充填性の確認方法

各区画のコンクリートの充填度とブリーディングによるコンクリートの沈下を確認する目的で、上面鋼板とコンクリートとの間隙を非破壊検査により測定した。

実施時期は、打設後(打設日当日の各区画の打設完了

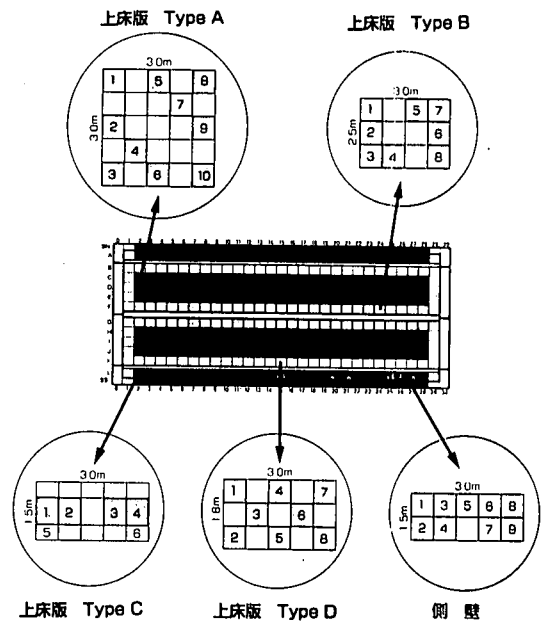


図-12 RI試験実施位置図

表-16 全測定点間隙集計表

(単位: mm)

項目	号	2		3	
		部位	打設後	硬化後	打設後
平均	上床版	1.18	1.66	0.92	1.83
	側壁	1.85	2.35	0.54	1.34
	中壁	3.06	3.51	1.51	2.29
	隔壁	2.86	2.45	0.71	1.47
最大	上床版	6.45	8.62	8.83	8.47
	側壁	6.77	16.76	5.88	4.54
	中壁	7.83	7.69	5.81	5.58
	隔壁	8.90	8.15	3.13	4.61
最小	上床版	0.00	0.00	0.00	0.00
	側壁	0.00	0.00	0.00	0.00
	中壁	0.77	0.63	0.00	0.00
	隔壁	0.00	0.00	0.00	0.00
標準偏差	上床版	1.04	1.14	1.01	1.34
	側壁	1.38	1.67	0.83	0.91
	中壁	1.34	1.16	1.15	1.19
	隔壁	1.62	1.52	0.84	1.08

直後)と硬化後とした。

非破壊検査方法は、施工管理実施実験及び充填実験(H 6.9)において、最も有効な方法と判断された放射線法(以下RI試験)を採用した。

RI試験の原理は、測定器に内蔵された線源棒より放射線(ガンマ線)を放射し、それが鋼板、コンクリートの中を進行する過程で散乱を繰り返して検出器に戻ってくる散乱型放射線を計測し、そのギャップにより空隙量を求めるものである。

### b) 試験位置

RI試験は、図-12の着色部分の各打設区画(上床版・側壁・中壁・隔壁)で実施した。各打設区画のうち、代表的な打設区画の測定点を図-12に示す。

### c) 試験結果

表-16は全測定点の打設後と硬化後の間隙を、沈埋函別、部位別に集計したものである。平均間隙深さは、

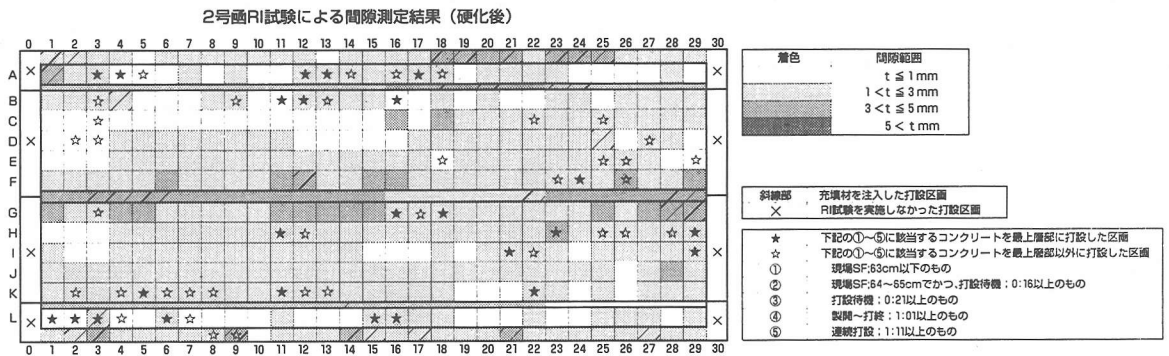
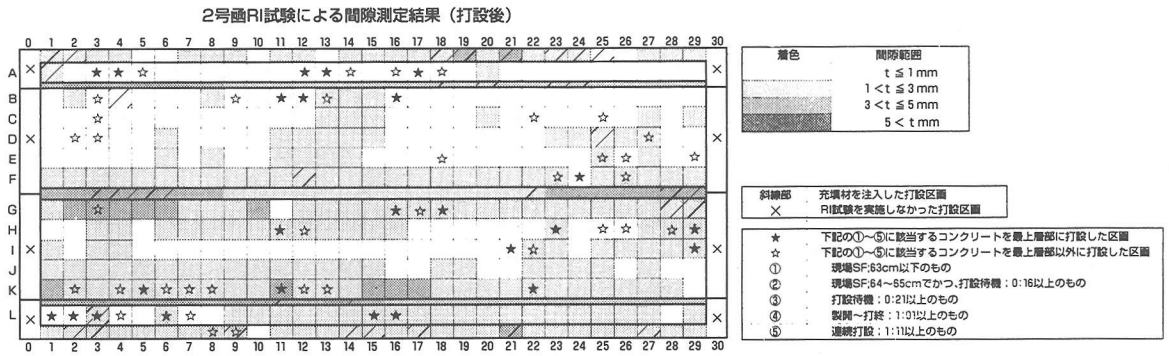


図-13 間隙と「運行・品質データ」との比較（2号函）

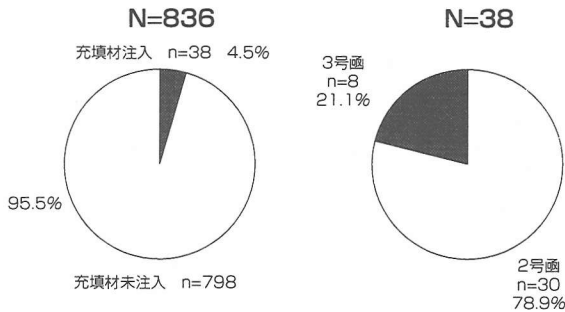


図-14 充填材注入区画

2, 3号函ともに、硬化後の方が大きくなっており、打設後の平均値は、3号函が小さくなっている。また、2号函の中壁・隔壁の平均値は、打設後、硬化後ともに、他に比較して3mm程度と若干大きくなっている。

図-13は2号函の打設後と硬化後それぞれに対する打設区画内の平均間隙深さ分布を示したものである。また、図中の斜線部は、5mm超過の間隙が測定され、充填材（セメント系マスターシール106）が注入された打設区画（上床版・側壁）、または、部位（中壁・隔壁）である。硬化後は打設後に比べると、間隙の範囲が広がり、

深くなる傾向がある。打設後・硬化後共に中壁およびその両側の上床版において、5mm超過の間隙を示す箇所が目立っている。

図-14は充填材が注入された区画（5mm超過の間隙が測定された区画）数を全区画数または沈埋函別の区画数と比較した結果を円グラフで示したものである。充填材注入区画は38区画で、全区画数の4.5%である。沈埋函別に比べると、3号函の注入区画数は約1/4に減少している。

#### d) 考 察

本出来形管理システムにより、効率的に mm 単位の間隙を測定することができた。

図-13 は、運行・品質上問題がある可能性のあるコンクリートが施工された区画およびその内容を示している。ところが、これらのコンクリートと間隙との間には明瞭な相関は見られない。また、運行・品質管理条件が全体として適切になされた結果、間隙が平均 5mm を越えた区画はみられなかった。

本施工では、設計上間隙が平均 5mm 超過の箇所は問題があるとしていたが、測定の結果 1 箇所でも 5mm 超過する区画については、充填材により充填した。ただし、この区画数は全体の 4.5%に過ぎず、1 区画平均で 5mm 超過の箇所は皆無であった。したがって、フレッシュコンクリートの品質の制御方法及びコンクリートの時間管理システムは十分機能したと判断できる。

#### 4. ま と め

以上、実際の施工管理結果に基づいて、鋼コンクリートサンドイッチ構造物における高流動コンクリートの施工管理システムを評価した。その結果から得られた主な知見を以下に示す。

① 鋼コンクリートサンドイッチ構造物に高流動コンクリートを充填する施工形式においてコンクリートの品質（充填性）を保証するには、定められた品質管理基準を満足するコンクリートを製造することが最も重要である。次に重要な点は、高流動コンクリートの使用可能な時間は限られているので、この時間内に打設を完了できるように製造開始から打設完了までの時間管理システムを構築し、運用することである。

② 鋼コンクリートサンドイッチ構造物に高流動コンクリートを充填する施工形式におけるコンクリートの時間管理システムでは、アジテータ車の運行管理が主体となり、a. 製造開始から打設完了までの時間を規定すること（本施工では 60 分間）、b. 一打設区画の容量がアジテータ車 1 台当りの容量を超える場合には、打設区画内の充填時間を規定すること（本施工では 50 分間）の 2 点が重要である。

③ 一打設区画内の充填時間の直接管理は、a. 各区画での打設開始・終了時刻がアジテータ車のそれと一致しないこと、b. アジテータ車の運行管理を軸とした一元的

な施工管理だけではすまないこと、c. 打設区画ごとの時間データは膨大であり、その情報を処理・分析するのは複雑で時間がかかること、等の理由により現実的ではない。その代わりに、アジテータ車の打設待機時間を規定すれば一区画内の充填時間を簡易に規定することができ、現実的な時間管理方法となる。

④ 鋼コンクリートサンドイッチ構造物において、上面鋼板とコンクリート間の未充填による間隙は、RI による非破壊検査により測定できることを事前に確認し、本施工では、一打設区画平均で 5mm 超過の間隙を示す箇所は皆無であり、本施工管理システムは十分機能したと判断できる。

なお、この施工管理システムにより、残りの 4~6 号函の製作も実施された。

謝 辞: 本施工管理システムの研究については、神戸港港島トンネル高流動コンクリート専門検討会の藤井学（京都大学教授）委員長、構造専門委員会園田恵一郎（大阪市立大学教授）委員長を始めとする委員・関係者の方々に貴重なご助言を頂きましたことを感謝申し上げます。

#### 参考文献

- 1) 小島 朗史, 城代 高明, 中島 由貴, 小澤 敬二: 港島トンネル鋼サンドイッチ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, Vol.34, No.8, pp.21-28, 1996.
- 2) 小島 朗史, 城代 高明, 上野 敏生, 中島 由貴: 高流動コンクリートのサンドイッチ合成構造鋼殻への充填, 高流動コンクリートシンポジウム論文報告集, 土木学会, コンクリート技術シリーズ, No.10, pp.209-214, 1996.
- 3) 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.
- 4) 岡村 甫, 前川 宏一, 小澤 一雅: ハイパフォーマンスコンクリート, 技報堂, 1993.
- 5) 清宮 理, 木村 秀雄, 小島 朗史: 未充填部を有するサンドイッチ部材の曲げおよびせん断特性, 港湾技術研究所報告, Vol.35, No.2, pp.105-146, 1996.
- 6) 運輸省第三港湾建設局: 鋼コンクリートサンドイッチ構造沈埋函の設計と高流動コンクリートの施工, 1996.

(1997. 7. 24 受付)

# CONSTRUCTION MANAGEMENT SYSTEM OF SUPER WORKABLE CONCRETE AT KOBE MINATOJIMA TUNNEL

Roushi OJIMA, Shuichi UMENO, Akira UEZONO and Satoshi YAMAOKA

Immersed tunnel elements at Kobe Minatojima tunnel are made with steel-concrete composite structure for the purpose of decreasing total construction cost. Super workable concrete is used to be cast into steel elements. A series of laboratory and model tests on applicability of super workable concrete are examined. In this paper, outline of construction management system with super workable concrete is described. This system is effective for construction with steel-concrete composite structure.