

フルサンドイッチ構造沈埋函の下床版高流動コンクリート打設方法

玉井 昭治* 小笠原 哲也*
太田 信之*

要 旨

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の打設方法では、未充填部形成の要因となる打設時の巻き込み空気をなるべく少なくするため、コンクリートホース先端をコンクリート打設面より10cm程度離れた位置として高さ管理を行って打設していた。この位置決めは、従来人力にて行われていたが、沈埋函車道部の限られた空間で行う場合は、困難な作業と考えられる。そこで、これらの作業を、新たに開発した『コンクリートホース巻上機（エスカル）』により実施することとし、機械力にてコンクリートホースを巻き上げる方法を試験施工により検証し、高流動コンクリート打設の品質管理体制を踏まえて本施工に備えることとした。

1. はじめに

那覇沈埋トンネルにおける、沈埋函製作工事では、従来の沈埋トンネルの施工にない、画期的な技術が採用されている。

以下にその技術内容を示す。

沈埋函の構造全てに鋼コンクリート構造（フルサンドイッチ構造）を採用している。

耐震用構造部材として、ベローズ継手を採用している。

鋼殻を半潜水式台船に搭載する方法として、エアークャスターを用いたスキッドアウト方式を採用している。

北九州で沈埋函の鋼殻を製作して、半潜水式台船で沖縄まで回航する。

鋼殻を栈橋に係留し、海上に浮遊させた状態で高流動コンクリートを打設する。

浮遊状態で高流動コンクリートを打設するため沈埋函に変形が生じる事が予想される。したがって、定期的に函体の計測を行い、測定データを解析し、函体の挙動を常時把握する計測支援システムを採用している。

本報告では、 に関して詳細な施工検討を行った結果、下床版に高流動コンクリートを打設する場合のコンクリートホース巻き上げ管理方法に問題が生じたため、実物大モデルで試験施工を行い、その結果を本施工に反映させることについて述べることとする。

2. 従来の施工法および問題点

2.1 従来の施工法

沈埋函製作工事における従来の施工法は、フルサンドイッチ構造としては、神戸港(港島トンネル)沈埋函製作工事が挙げられるが、下床版はオープンサンドイッチ構造であるため、すべての部位がフルサンドイッチ構造というわけではない。

構造延長が通常の沈埋函延長に比してかなり短く、約1/10ではあるものの、下床版も含めて、すべての部位がフルサンドイッチ構造であるのは、同トンネルの最終継手(Vブロック)である。

ここでは、従来工法として同トンネル工事での最終継手製作工事の事例を述べる。

コンクリートの打設方法は、図-1に示す方法でコンクリートホースをコンクリートの打設高さに合わせて順次引き上げていき、空気抜き孔の亚克力管に30cmの高さまでコンクリートが確認された後、打設完了となる。

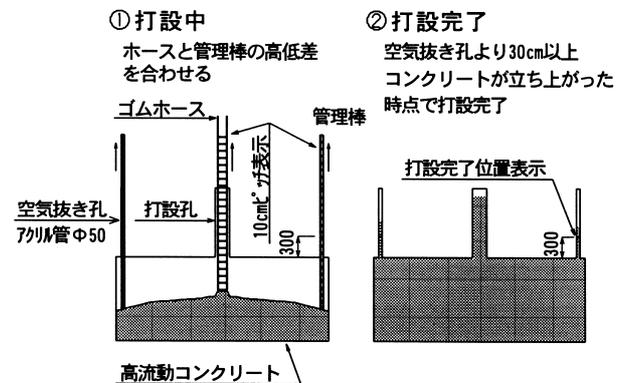


図 - 1 打設中および打設完了状況

*九州支店

この方法では、写真 - 1 に示すとおり、打設孔からコンクリートホースの距離が離れている場合、人力にてコンクリートホースを打設面に合わせて上げながら打設していた。従来施工では、打設孔とコンクリートホースの水平距離がさほど長くないため、人力にて打設可能であった。



写真 - 1 下床版コンクリート従来打設状況

2.2 那覇沈埋函製作工事での問題点

那覇沈埋函製作工事では、前述のとおり沈埋函の構造すべてが鋼コンクリート構造となっている。

したがって、従来工法としての事例はなく、以下に示す問題点が生じている。

沈埋函の構造が貫通孔および作業用開口部以外は完全に閉じられており、コンクリートホースを通す貫通孔と下床版打設孔位置が一致していない。また、1箇所の貫通孔で、4~6ブロックの下床版を打設しなければならない。(図 - 2 参照)

上床版の限られた貫通孔から下床版打設孔まで距離約5mあり、1m立ち上げられた打設孔パイプ(塩ビ管)に負担をかけずに、高流動コンクリートを打設しなければならない。(図 - 3 参照)

コンクリートホースを、打設位置でどのようにストローク(上下方向)管理するか。

これらの問題を解決するためには、コンクリート打設孔パイプにコンクリートホースによる水平力を与えず、スムーズにストローク(上下方向)調整が出来なければならない。また打設孔と貫通孔の水平距離が長く、ホースをかなりの曲率で曲げる必要がある。さらに、函上から下床版を打設するためホース長さが長く、ホースおよびホース内のコンクリート重量や圧送時の脈動による衝撃力などを考慮すると、人力による打設は困難であると判断した。

したがって、これらの問題を解決するために、専用の

機械を開発することとなった。

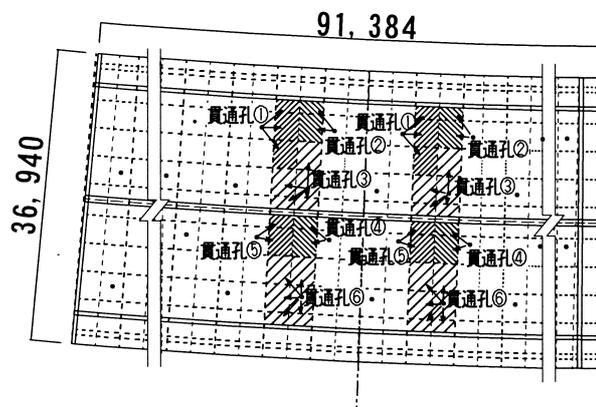


図 - 2 上床版貫通孔および下床版打設孔位置図

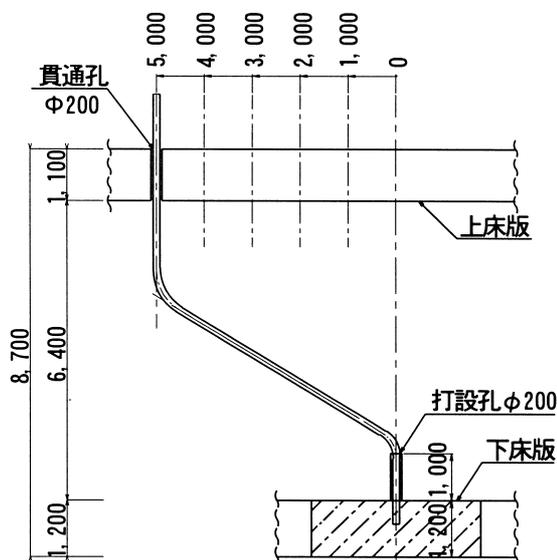


図 - 3 打設孔状況図

3. コンクリートホース巻上機(エスカル)の開発

前節で示したような問題点を解決するため、下床版の専用打設機を開発した。

これにより、貫通孔と打設孔の平面位置が一致せず、水平距離を生じても、コンクリートホース巻上機(エスカル:以下エスカルと略す)を通すことにより、打設孔パイプに負担をかけず打設孔へ垂直に筒先を挿入することが可能である。

また、エスカルの円形部分を回転させることにより、そこへ固定したコンクリートホースを巻き上げることができる。よって打設位置でのスムーズなストローク調整が可能となった。なお、円形部の回転にはモーターを使用し、動力としてバッテリーを使用した。さらに、1カ

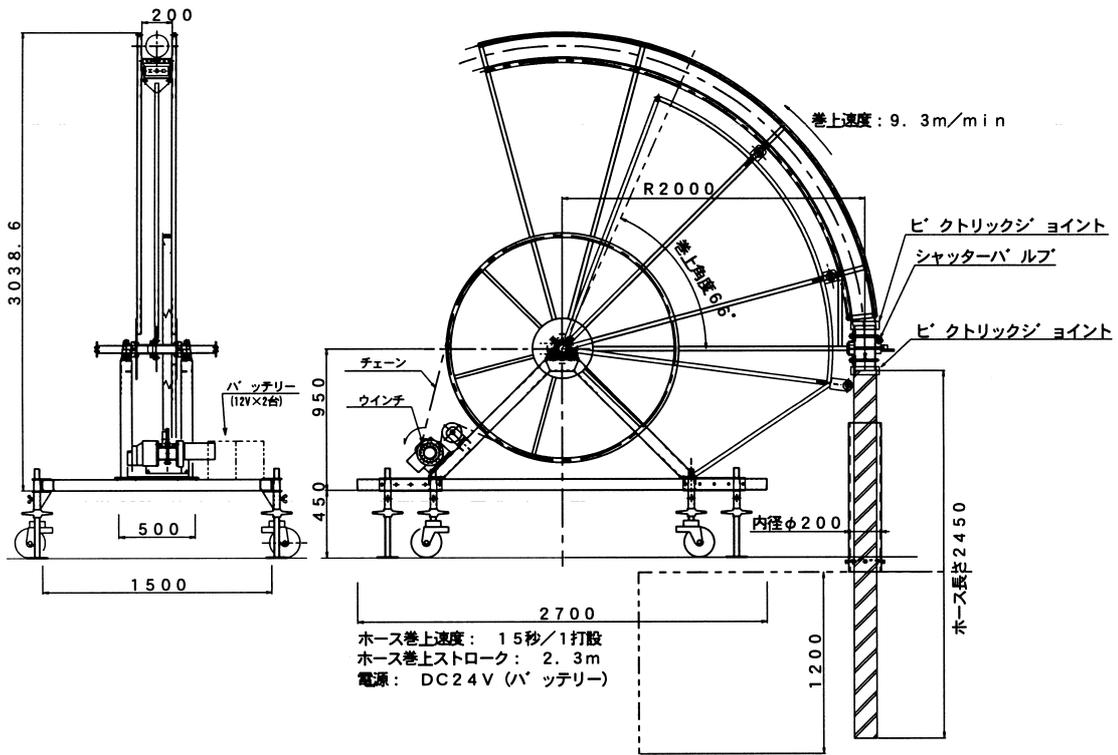


図 - 4 コンクリートホース巻上機（エスカル）詳細図

所の貫通孔で多数のブロックを打設する必要があることから、エスカルにキャスターを取り付けることにより、打設孔間での効率的な移動を可能とした。

他に、シャッターバルブを設け、エスカルの水平移動時に、筒先からのコンクリート垂れ等を防止した。

図 - 4 にエスカルの詳細図を示す。

置側面図、図 - 7 に試験施工全体配置平面図を示す。

4. 試験施工

4.1 試験施工の概要と目的

4.1.1 試験施工の概要

新たに開発したエスカルの施工性を調査・確認するため、試験施工を実施した。

試験施工では、下床版の実物大モデルを2基製作し、2工場で製造した高流動コンクリートを鋼殻モデル内に打設した。また、上床版の貫通孔位置を考慮し、所定の内空高さおよび貫通孔から打設孔までの水平距離を実施施工条件に合わせて施工した

高流動コンクリート打設は、エスカルを使用して実施するが、本施工では沈埋函内へのコンクリート打設にディストリビュータを使用する予定であるので、あわせてディストリビュータを想定した機器を使用した。

図 - 5 に鋼殻モデル型枠図、図 - 6 に試験施工全体配

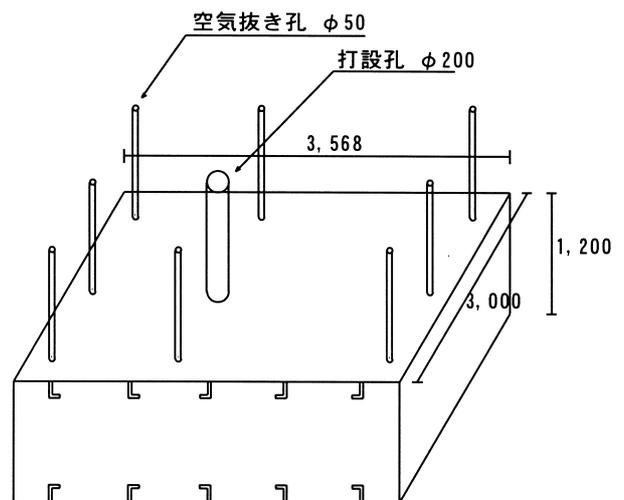


図 - 5 鋼殻モデル型枠図

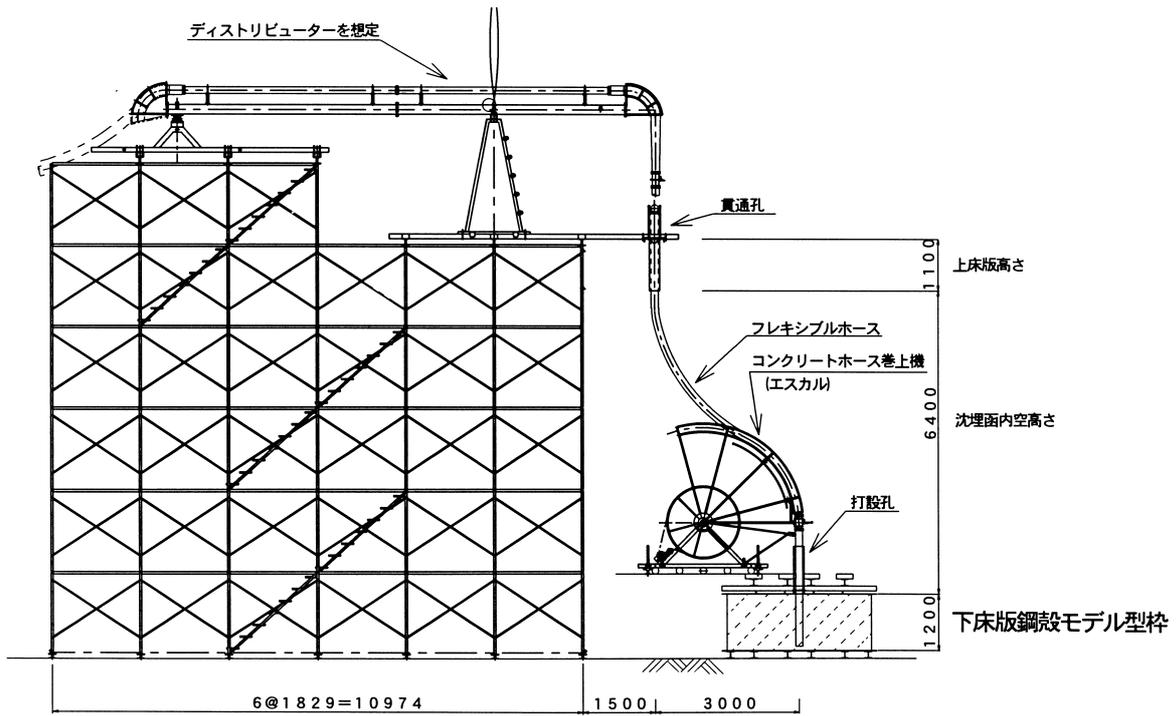


図 - 6 試験施工全体配置側面図

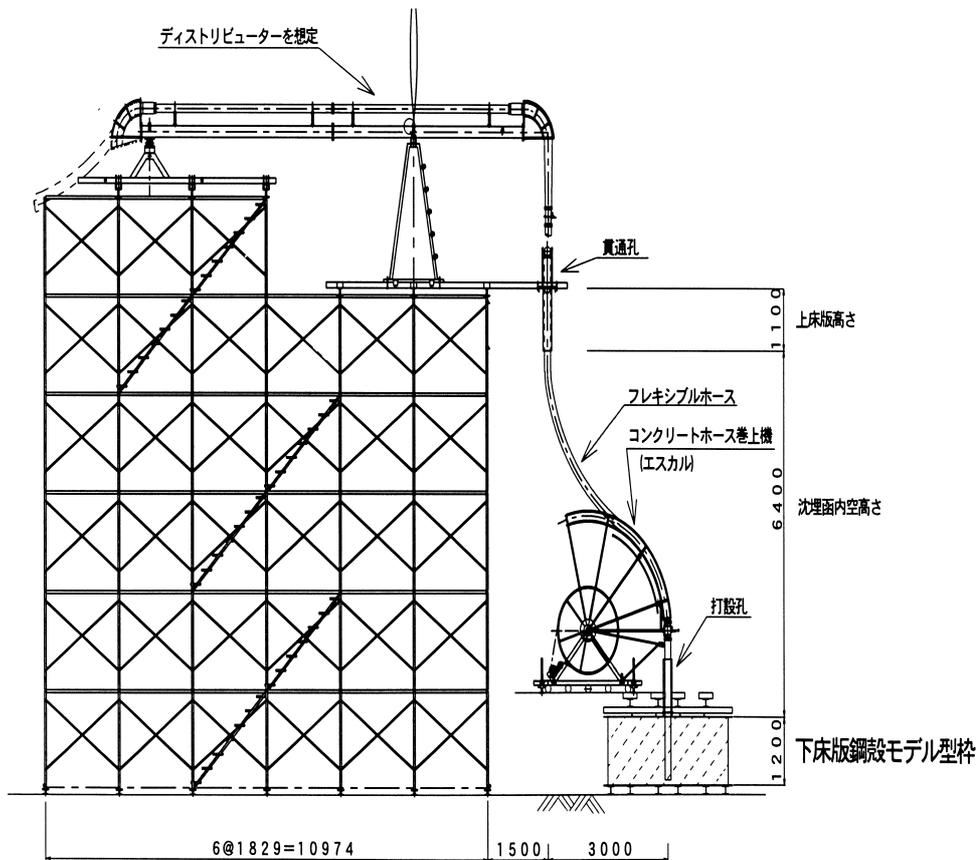


図 - 7 試験施工全体配置平面図

4.1.2 試験施工の目的

試験施工の目的は、以下のとおりである。

ディストリビュータを想定した機器およびエスカルを使用し、上床版から貫通孔を通して下床版打設するときの施工性を検証する。

鋼殻モデルへの充填性を確認する。

4.2 試験施工場所

4.2.1 生コン工場

生コン工場は、本施工で設定している4工場の内、2工場を使用した。

- ・球陽生コンクリート株式会社：安謝工場
- ・株式会社朝日コンクリート工業：那覇工場

4.2.2 試験施工場所

試験施工場所は、浦添市勢理客地先の沈埋函係留ヤード付近とした。このヤードは、本施工時に沈埋函が係留される棧橋に面しており、コンクリートの製造～運搬～品質試験～打設までを事前にシミュレーションできる場所である。図-8に試験施工場所を示す。

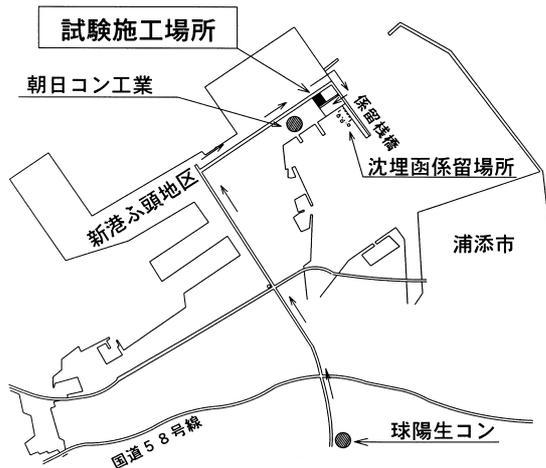


図-8 試験施工場所

4.3 試験施工数量

下床版充填モデルの型枠は、以下に示す寸法および施工数量とした。

- ・型枠寸法：3.0m × 3.568m × 1.2m (12.85m³)
- ・使用コンクリート：12.85m³ × 2基 = 25.7m³

4.4 試験施工フロー

試験施工の施工フロー図を図-9に示す。

4.5 使用材料

高流動コンクリートの使用材料を表-1に示す。

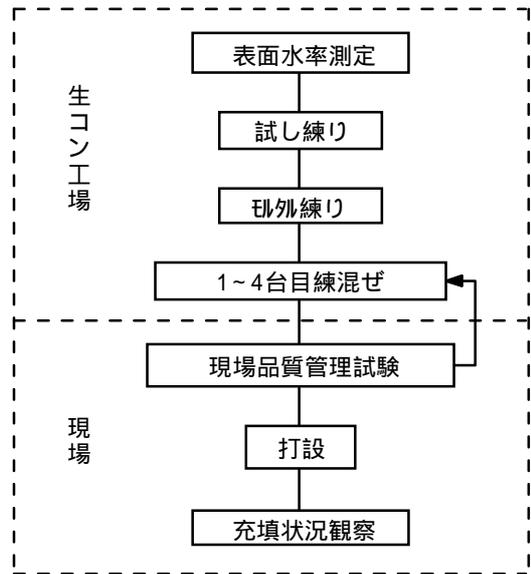


図-9 試験施工フロー図

表-1 使用材料

材料名	種類
セメント	普通ポルトランドセメント
混和剤	石灰石微粉末(6000cm ² /g級)
細骨材	海砂：沖縄県東村新川沖産
	砕砂：沖縄県本部産
粗骨材	砕石：沖縄県本部産2005
混和剤	高性能AE減水材：ポリカルボン酸エーテル系と架橋ポリマーの複合体(遅延型)
	増粘剤：水溶性セルロースエーテル
	空気量調整材：AE材または消泡剤

4.6 品質基準

表-2は、本施工において打設する高流動コンクリートの品質基準であり、試験施工においても同様の品質基準とした。また可使時間を高流動コンクリート練混ぜ終了後、90分とした。

表-2 高流動コンクリート品質基準

品質項目	品質基準
設計基準強度(f ₂₈)	30N/mm ² 以上
粗骨材の最大寸法	20mm
スランプフロー	650 ± 50mm
V75漏斗試験	5 ~ 20秒
ブリーディング率	1.0%未満
単位容積重量	2.3 ~ 2.4t/m ³

4.7 高流動コンクリート配合

表-3に高流動コンクリート配合を示す。細骨材FM値をなるべく2.6に近づけるため、球陽生コンでは、海砂：砕砂の比率を4.5：5.5とし、朝日コン工業では、海砂：砕砂の比率を7:3とした。細骨材産地自体は同じだが各工場の事情から海砂・砕砂供給状況が異なり、混合砂のFM値を統一するために混合比率を変更している。

また、試験練りに骨材の洗い試験を実施し、骨材中に含まれる75μm以下の量を調べた。この骨材微粒分は、高流動コンクリートに粘性を付与するという観点から、セメントや混和材と同様の粉体として取り扱うべきもので、すべての粉体量、つまりセメント、石灰石微粉末と骨材微粒分を加えたものが一定となるように配合している。

基本配合は、試験練りの結果、表-3のように決定したが、試験施工当日の試し練り結果から、球陽生コンに関して微調整を実施した。SP(高性能AE減水剤)の量を少なくし、また空気量が過大となったため、消泡剤を使用

した。なお、朝日コン工業に関しては、基本配合で試験施工当日の試し練り結果も良好であったことから、すべて基本配合で練り混ぜた。

4.8 品質管理試験項目

試験施工では、本施工において現場で品質管理試験を実施する項目について、試験を行った。

表-4に品質管理試験項目を示す。試験は、現場のみで実施した。

表-4 高流動コンクリート品質管理試験項目

試験項目	試験方法	品質管理試験頻度
スランブフロー V75漏斗 空気量 コンクリート温度 単位容積質量 塩化物含有量	高流動指針 高流動指針 高流動指針 JIS A 1116 準拠	試験施工のため 全車
圧縮強度 ブリーディング	高流動指針 JIS A 1123 準拠	1工場につき 1回

高流動指針：高流動コンクリート施工指針(土木学会)

表-3 高流動コンクリート配合

工場 名称	配 合	空 気 量 (%)	単 位 量 (kg/m ³)							VA (w%)	SP (P*%)	AE (P*%)	消泡剤 (P*%)
			水 W	セメ ント C	石灰石 微粉末 Ls	骨 材							
						75 μm 以下	海 砂 SU	砕 砂 SS	砕 石 G				
球 陽	基本配合	4.0	175	345	199	32	368	450	756	0.1	1.175	0.0015	—
	1～3台目										1.110	—	0.002
	4台目										1.050	—	0.002
朝 日	基本配合	〃	〃	〃	210	20	573	246	755	0.1	1.175	0.00125	—

VA：増粘剤 SP：高性能 AE 減水剤 AE：空気量調整剤

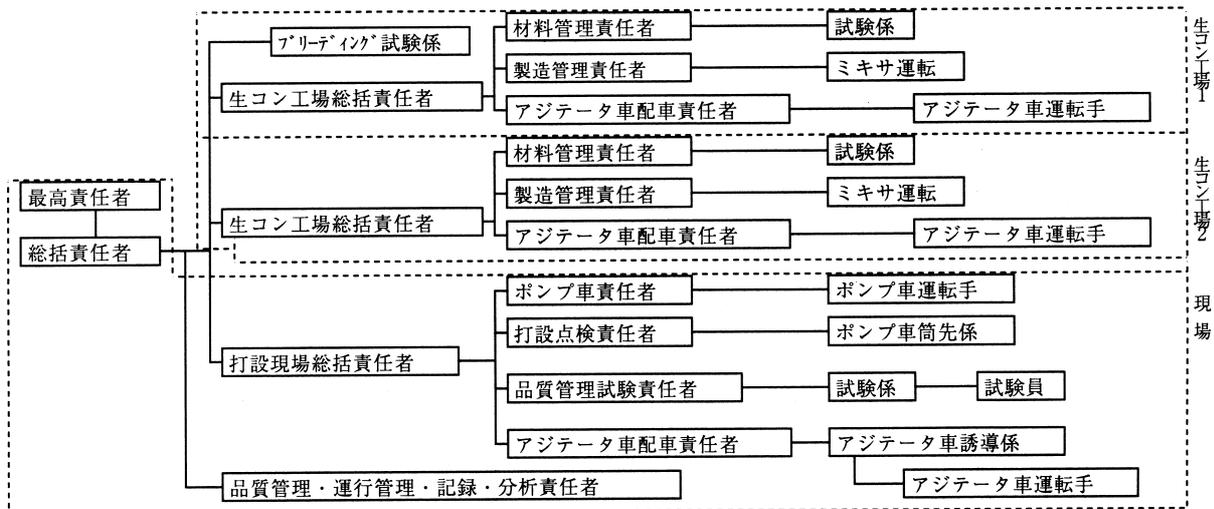


図-10 試験施工品質管理体制

4.9 品質管理体制

試験施工での品質管理体制を図-10に示す。工場での試験を省略し、省力化に努めた体制である。

4.10 施工方法

本練り開始前に、適宜試し練りを実施し、フレッシュ性状の確認を行った。次にポンプ配管中へ通すモルタル(高流動コンクリートの配合から粗骨材を除いたもの)を練り混ぜた後、本練りを開始した。

練り混ぜに関しては、水と高性能AE減水剤以外の材料を空練り30秒とし、水と高性能AE減水剤投入後、本練りとして120秒練り混ぜた。

練り混ぜ量は、各工場のみキサ容量およびアジテータ車積載量から決定した。朝日コンクリート工業では、2.25m³で練り混ぜ、2バッチをアジテータ車へ積載した。球陽生コンでは1.5m³で練り混ぜ、3バッチをアジテータ車へ積載した。

製造した高流動コンクリートを、アジテータ車に積載(4.5m³)して浦添ケーソンヤードまで運搬した。

図-6のように貫通孔と打設孔では水平距離を生じるので、エスカルを使用してホースを保持した。

打設は、ディストリビュータを想定した機器を使用して実施し、筒先の上げ下げは、エスカルにより行った。

鋼殻モデル間のホースの移動に関しては、エスカルを人力により移動して打設孔に取り付け、それに沿って筒先を打設孔内へ挿入した。

打設中のコンクリートホースの管理は、図-11に示す手順で行い、空気抜き孔に設置したすべてのアクリル管の管理高さ30cmをクリアした時点で打設完了とした。

5. 結果

5.1 エスカルの施工性

エスカルを使用して試験施工を行い、下床版の打設シ

ミュレーションを実施した結果を示す。

エスカルの施工性調査項目は、以下の5項目である。

エスカルへのコンクリートホース取り付けの施工性
コンクリートホース筒先上げ下げの施工性および動力性能他の確認

打設孔から打設孔への移動性と移動時間

コンクリートホース振動への対応性

シャッターバルブの性能および位置の確認

については、ホース取り付けはスムーズに行うことができた。

については、モーター(バッテリー動力)による筒先上げ下げであったが、上下スピードや手順等に問題なく、動力の性能も適当と考えられた。ただし、モーター故障時およびバッテリー交換等の対応として手動での上下が可能のように改良する必要がある。

については、非常に施工性が良好であり、打設孔から打設孔への移動はスムーズに行えた。移動時間についても、

シャッターバルブ閉塞 車輪ストッパー解除

打設孔間移動 新規打設孔へ筒先挿入

車輪ストッパーセット シャッターバルブ開口

の一連の作業が3~4分程度で実施できた。非常に効率のよい施工性といえる。

については、圧送によるコンクリートホースの振動はあったが、それによるエスカルの振動は全く生じず、十分な安定性を保持していた。

シャッターバルブは、打設孔移動時のコンクリート止めとして十分に機能した。しかし、閉塞する時の高さ位置が、人の手の届かないところにあり、現在ではエスカルに設置した梯子に登って閉塞しているが、今後多少の改善が必要である。

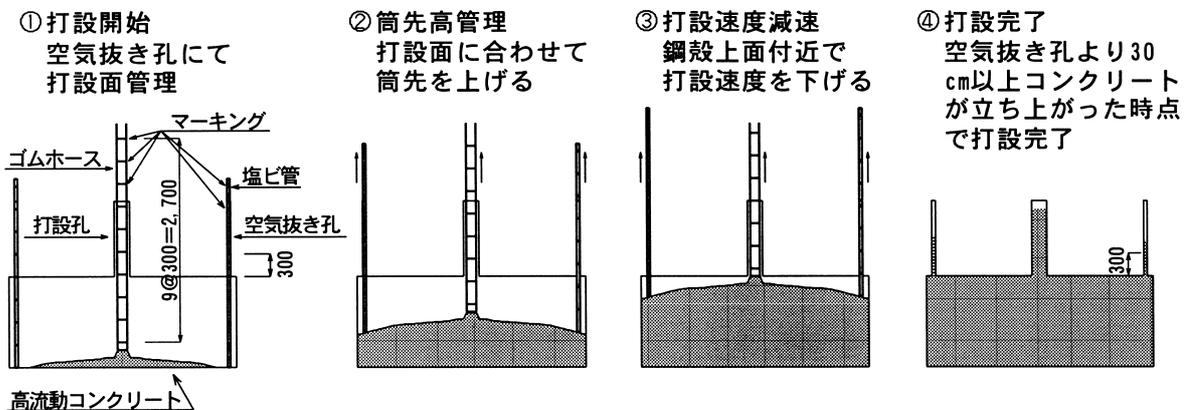


図-11 コンクリートホース高さ管理手順



写真-2 エスカル打設状況

5.2 フレッシュコンクリート試験結果

試験施工におけるフレッシュコンクリート試験結果一覧表を表-5に示す。

かなり流動性が高いコンクリートであったが、それにも関わらず材料分離性状が観察されず、基本的には十分な品質のコンクリートであった。

しかし、観察性状ではよかったが、試し練り等で調整したにも関わらず材料分離を考慮して決定されたスランプフローの基準上限値700mmを越えてしまった。

近年、充填性ランク1の高流動コンクリートにおいて、スランプフロー700mmを越えて打設されることもあり、また本配合の併用系高流動コンクリートは、過去の

実験でスランプフローが700mmを越えても材料分離しにくい性状を示していた。

試験施工であることもあり、また分離性状を示していなかったため、打設を実施した。

5.3 充填状況

試験施工2日後、上面鋼板を撤去して高流動コンクリートの充填状況を観察した。まず、コンクリート上面に10cmピッチのメッシュを描画し、次に空気泡等による空隙の外形をマジックで強調し、充填状況を見やすくした。その上で、コンクリート表面をデジタルカメラにより撮影した2基の充填状況をそれぞれ写真-3、写真-4に示す。

神戸港島トンネルでは、1隔室ごとに平均未充填深さ5mm以内という未充填部の許容値がある。同様の構造である那覇沈埋トンネルにおいては、未充填部の許容値が明示されていないが、同じ許容値を適用できると考えられ、それを踏まえると今回試験施工の充填状況は全く問題なく十分に充填できている。

0~4mmや5~9mmの小さな空気泡が散見されるが、局部的なものであり、また非常に浅いものであるため、これらは全く問題ない。

6. エスカルの本施工への適用

試験施工により、エスカルの施工性は非常によく、期待以上の性能を示すことが確認された。

ただし、本施工での使用を考えた場合、多少の問題点・改善点が発見されたので、以下の3項目についてエスカルの構造や沈埋函側の設置物について検討・改善す

表-5 フレッシュコンクリート試験結果一覧表

工場名	アジテータ車 番号	スランプフロー (mm)	V75 漏斗 流下時間 (sec)	空気量 (%)	単位容積 重量 (t/m ³)	コンクリート 温度 (℃)	外 気 温 (℃)	塩化物量 (kg/m ³)	ブリーディング 率 (%)
球陽生コン	1台目	720	9.9	2.6	2.360	20.0	12.0	0.042	—
	2台目	745	10.3	2.1	2.366	19.0	12.0	0.043	—
	3台目	755	9.9	1.9	2.377	19.0	12.0	0.041	—
	4台目	650	14.8	2.0	2.399	19.0	12.5	0.040	0.03
朝日コン工業	1台目	700	10.6	3.6	2.326	19.0	13.0	0.042	—
	2台目	710	10.9	3.0	2.348	19.0	13.0	0.038	—
	3台目	695	12.3	3.0	2.354	19.0	14.0	0.051	—
	4台目	665	11.6	3.0	2.354	19.0	15.0	0.022	0.06

ることとした。

動力はバッテリーとしているが、現状では1日の打設中にバッテリー交換が必要となる。バッテリー交換中のロスをなくするため、手動方式やケーブル方式の検討を実施する。

エスカルの機動性をさらによくするため、装置のコ

ンパクト化および軽量化を図る。とくに沈埋函の中壁開口部を通過するときには、長距離移動が生じる場合があるため、移動による時間のロスをなるべく少なくする。

下床版上面にはFB65が600mmピッチで存在するためエスカルの走行性を考慮し、下床版上面に合板を設置する。空気抜き孔に設置するパイプ高さはエスカルに接触



写真 - 3 試験施工充填状況（球陽生コン）



写真 - 4 試験施工充填状況（朝日コン工業）

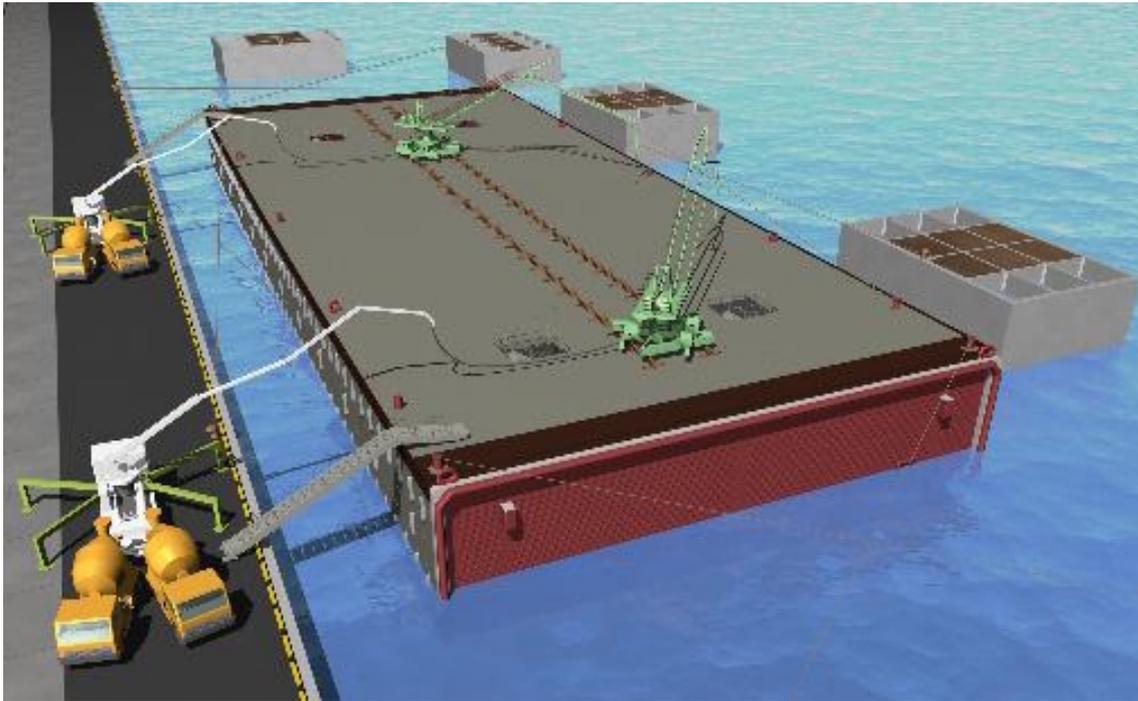


図 - 1 2 那覇沈埋函本施工打設状況

しない高さに設定し、かつコンクリート立ち上がり高さ30cmを管理できる高さとする。

なお、今回の試験施工では、走行式ディストリビュータを再現できないものの、簡易のディストリビュータを使用し、コンクリートポンプ車およびエスカルとの接続状況を把握することができた。

那覇沈埋函製作工事では、図 - 1 2 に示すとおり、函上に走行式ディストリビュータを設置して沈埋函を浮遊させた状態で高流動コンクリートの打設を行う。

本施工においては、ディストリビュータやエスカルの配置、移動時間、貫通孔と打設孔との関係、打設手順を考慮して詳細に打設計画を立てる。

7. おわりに

本工事では、北九州において、鋼殻の製作および大組立が行われ、H12年9月末に完成する予定である。現地沖縄へは、H12年10月に沈埋函を回航し棧橋に係留後、高流動コンクリートの打設を開始する予定である。

エスカルを使用する下床版打設の本施工時期は、H1年12月末を予定しており、今回の試験施工の結果を踏まえて実施工に反映していく。

謝 辞

本報告は、那覇港(那覇ふ頭地区)道路(空港線)沈埋函製作工事の試験施工をもとに執筆いたしました。工事に関係したJV職員、五洋建設(株)本社機械部、沖縄県生コンクリート協同組合、球陽生コン(株)、朝日コンクリート工業(株)、琉球セメント(株)、(株)ポリス物産の各位に、紙面を借りて謝意を表します。