

新若戸沈埋トンネルにおける 充てんコンクリートの開発と施工

吉本靖俊¹・吉田秀樹²・玉井昭治³・羽田宏³・阿部哲良³・小笠原哲也⁴

¹正会員 国土交通省 九州地方整備局 北九州港湾・空港整備事務所長（〒801-0841 北九州市門司区西海岸1-4-40）

²正会員 国土交通省 九州地方整備局 下関港湾空港技術調査事務所長（〒750-0066 山口県下関市東大和町2-29-1）

³正会員 五洋建設株式会社 九州支店 新若戸沈埋工事事務所（〒808-0021 福岡県北九州市若松区響町1丁目地先）

⁴正会員 五洋建設株式会社 技術研究所 構造耐震チーム（〒329-2746 栃木県那珂宮市四区町1534-1）

新若戸沈埋トンネルにはさまざまな新技術や施工方法が採用されている。その中のひとつに充てんコンクリートの打設がある。打設はフルサンドイッチ構造の鋼殻を浮遊させた状態で行うが、この状態での充てんコンクリートの打設は沈埋函工事史上初めてである。

充てんコンクリートは、スランプフロー400～600mmの流動性と、材料分離抵抗性による高い充てん性能、さらに優れた硬化品質を有するコンクリートである。本論文では、新若戸沈埋トンネルにおける充てんコンクリートについて、マニュアルの策定などの開発経緯、1号函製作における試験練りから本施工までの品質管理や施工管理などの評価、高流動コンクリートとの比較を述べる。

キーワード：沈埋トンネル，充てんコンクリート，鋼コンクリートフルサンドイッチ構造，ディストリビュータ，筒先誘導架台

1. はじめに

北九州の若松地区は、ひびきコンテナターミナル（最大-15m 岸壁）の整備にともない、将来的に交通量の増大が予想される。新若戸沈埋トンネルは、新たに若戸大橋北側の洞海湾を横断する臨港道路（延長 4,200m）として計画されており、響灘地区から戸畑・小倉方面へのスムーズな交通アクセスの確保が期待されている。図-1 に施工位置図、図-2 に平面図、図-3 に縦断図を示す。

新若戸沈埋トンネルは全長 557m、全 7 函の沈埋函で構成されており、断面の大きさは、幅 27.9m、高さ 8.4m である。各函の長さは 66.5～106m で、このうち 1 号函は 106m あり 7 函中最も長くなっている。



図-1 施工位置図

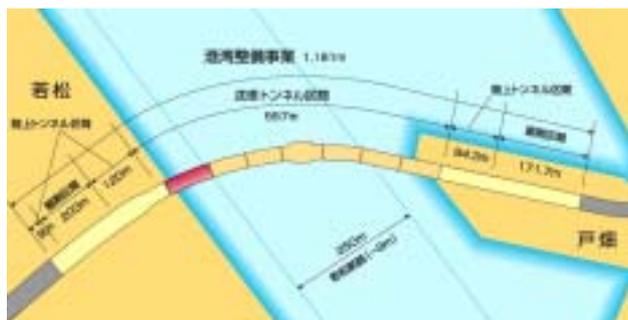


図-2 平面図

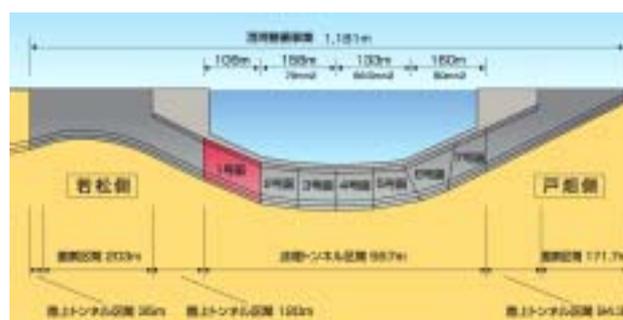


図-3 縦断図

新若戸沈埋トンネルにはさまざまな新技術や施工方法が採用されているが、なかでも充てんコンクリートの打設はフルサンドイッチ構造の鋼殻を浮遊させた状態で行い、この工法は沈埋函工事史上初めてである。

現在新若戸沈埋トンネルでは1号函の製作工事が終了しており、本論文では、充てんコンクリートのマニュアル策定など開発の経緯や、1号函の試験練りから本施工までの品質管理や施工管理などの評価、施工が完了した時点での高流動コンクリートとの比較や今後の検討課題などを中心に述べる。

2. 充てんコンクリートの概要

充てんコンクリートは、スランブフロー400～600mmの流動性と材料分離抵抗性による高い充てん性能、さらに優れた硬化品質を有するコンクリートである。加振を行わない場合の充てん性は、自己充てん性を発揮できる高流動コンクリートと自己充てん性を有しない普通コンクリートとの中間的な範囲の性質を持つ。図-4に各種コンクリートの流動性と充てん性能の範囲を、写真-1にスランブフロー試験結果を示す。

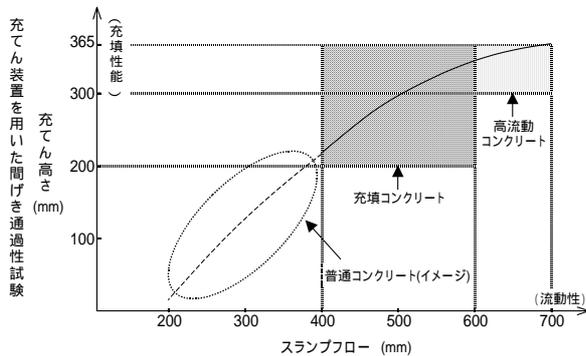


図-4 各種コンクリートの流動性と充てん性能の範囲



写真-1 スランブフロー試験結果

3. 新若戸沈埋トンネルにおける充てんコンクリートの開発

(1) 開発概要

充てんコンクリートは過去に施工実績がなく、また骨材などの使用材料によってフレッシュ性状などが異なると予想された。そこで九州地方整備局にて充てんコンクリート技術検討会(委員長：福岡大学大和教授)を設置し、平成12,13年度の2年にわたり各種実験¹⁾を行い、新若戸沈埋トンネルに適用可能である充てんコンクリートを開発した。

開発フローを図-5に示す。

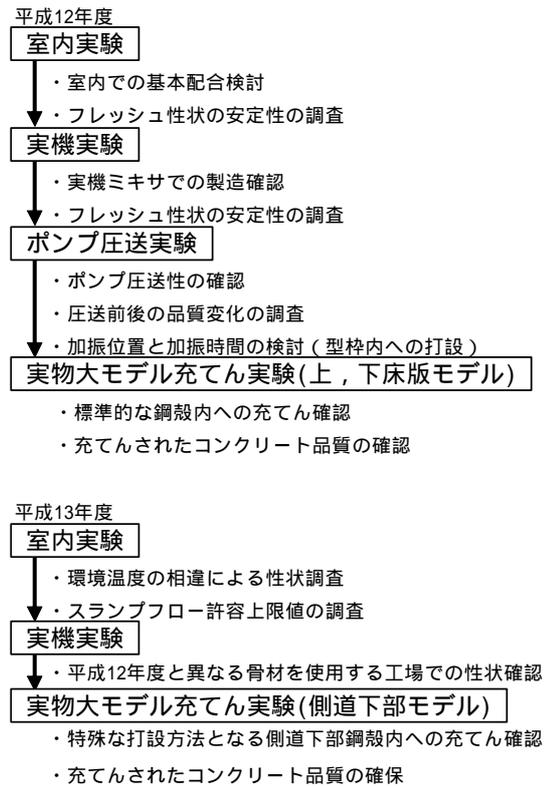


図-5 充てんコンクリート開発フロー

(2) 実験結果

表-2に試験項目および試験検査基準を示す。室内実験および実機実験により、表-2の要求性能を満足する基本配合を決定した。基本配合は、少なくとも練混ぜ後90分まで所定のフレッシュ性状を保持することも確認した。表-3に基本配合を示す。

基本配合のポンプ圧送性を確認するため、高性能AE減水剤量を調整し、スランブフローを400～500mmとした充てんコンクリートについてポンプ圧送実験を行った。その結果、ポンプ圧送時に閉塞などはなくスムーズに圧送でき、圧送前後でフレッシュ性状にほとんど変化がないことを確認した。さらに、上面が解放された型枠内へ圧送した充てんコンクリー

表-2 試験項目および試験検査基準

試験項目	試験時間	試験方法	判定基準
スランプフロー試験	製造終了後 5,30,60,90分	JIS A 1150	500±100mm
充填装置を用いた間隙通過性試験 自己充填高さ		JSCE-F511	200mm 以上
空気量		JIS A 1128	4.5±1.5%
単位容積質量		JIS A 1116	2.25~2.35t/m ³
ブリーディング試験	製造終了後 60分	JIS A 1123	ブリーディング率 2.5%以下
塩化物含有量	製造終了後 5分	JIS A 5308	0.3kg/m ³ 以下
圧縮強度試験(材齢 7,28 日)	製造終了後 60分	JIS A 1108	30N/mm ² 以上(材齢 28日)

表-3 基本配合

G _{max} (mm)	W/C (%)	空気量 (%)	Gvol (m ³ /m ³)	単位量(kg/m ³)				SP (C×%)	AE (C×%)
				W	C	S	G		
20	37.6	4.5	0.315	160	425	880	851	1.3	0.003

材料密度(g/cm³) セメント:3.02,海砂(粗目):2.59,海砂(細目):2.60,砕石:2.70
 細骨材混合割合 海砂(粗目):海砂(細目)=65:35
 Gmax:粗骨材最大寸法 W/C:水セメント比 Gvol:単位容積当たり粗骨材体積
 SP:高性能 AE 減水剤(ポリカルボン酸系) AE:空気量調整剤

トを打ち込み、棒状バイブレータによる加振前後での流動勾配を測定して、効果的な加振位置と加振時間の検討を行った。加振位置は隅角部に近い位置が最適となり、また加振時間に関しては5秒を超えて加振してもあまり流動勾配が変わらないことを確認した。

ポンプ圧送実験後、流動勾配測定結果の最適加振位置に加振孔を設置した実物大の上・下床版モデルに充てんコンクリートを打設し、鋼殻内への充てん状況を確認した。図-6に実物大モデル概略図を示す。

実験ケースは、スランプフロー400mm程度、500mm程度の2ケースとし、中央の投入孔から打設して、4隅付近に設けた振動機挿入孔から棒状バイブレータにより加振した。加振は、流動勾配測定結果により1分間隔で5秒程度行うこととした。

打設後、上面鋼板を撤去して充てん度を目視により確認したところ、スランプフロー400mm程度のケースにおいても、最大5mm程度の局部的な未充てん部が生じるのみであった。未充てん部は残留気泡によるものと考えられ、連続したのではなく構造上の欠陥にならないと考えられる。また、高流動コンクリートと同程度の充てん度合いであることから、充てんコンクリートは沈埋函鋼殻内へ十分充てん可能と考えられた。

以上のように、平成12年度に新若戸沈埋トンネルに適用できる充てんコンクリートの基本配合決定、性状把握および打設方法の検討を行い、基本的事項を確認した。平成13年度には、環境温度や骨材が相違した場合などの、残された課題を検討して留意点を明確にし、また特殊な打設方法となる側道下部鋼殻内にも充てん可能であることを確認した。

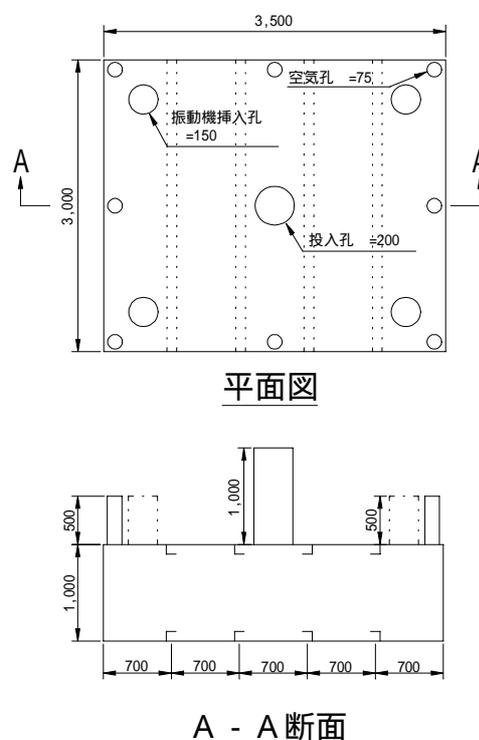


図-6 実物大モデル(上・下床版モデル)概略図

(3) マニュアルの作成

2年にわたる実験により、充てんコンクリートは、鋼コンクリートサンドイッチ構造の沈埋函に十分適用できるとわかった。

これらの成果を受けて、平成14年度にはマニュアル²⁾を作成し、実施工における指針とした。マニュアルでは、実験結果を踏まえて、充てんコンクリートの要求性能、フレッシュ性状の特性、材料、配合、製造、運搬、打設、施工管理体制、品質検査、出来

形検査などについて詳述した。

最初の施工となる1号函では、新若戸道路における充てんコンクリートの大量打設が初めてとなるため、荷卸し時品質検査や鋼殻内への充てん度検査の頻度を普通コンクリートと比べて多めに設定した。なお2号函以降については、1号函の実績を基に合理化を図ることとしている。

4. 充てんコンクリートの施工

(1)1号函の工事概要

1号函の概念図を図-7に示す。1号函は前述のとおり大きさで、充てんコンクリートは約8,700m³を35日に分けて打設を行った。表-4に1号函製作工事の工事概要を示す。

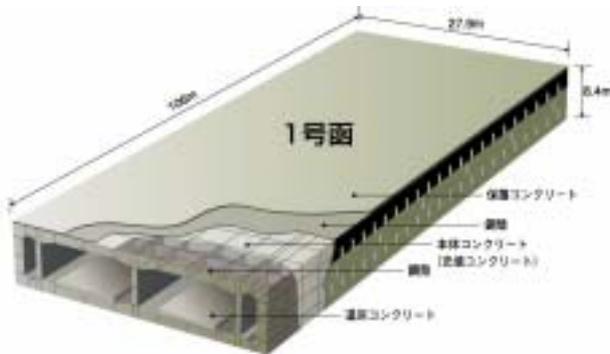


図-7 1号函概念図

表-4 1号函製作工事 工事概要

	単位	数量	備考
鋼殻・バルクヘッド製作工	函	1	約3,200t
本体コンクリート工	m ³	8,693	充てんコンクリート
<本体コンクリート詳細>			
施工時期	2005/10/24～2005/12/22		
打設概要	打設部位	打設回数	合計数量(m ³)
	STEP1 隔、中壁、側道下床版	9	1,963.3
	STEP2-1 側壁下部	4	991.1
	STEP2-2 側壁上部	4	991.1
	STEP3 下床版	9	2,207.0
	STEP4 上床版	9	2,540.6
	合計	35	8,693.1
1日あたり打設量	52.8～363.5m ³ /日、平均250m ³ /日		
打設区画数	925区画		

(2)生コン工場の選定

生コン工場の選定にあたっては、表-5に示す条件を主な判断基準とした。特に本工事ではコンクリートの可使時間を設定しているため、可使時間を満足する運搬時間内の工場を選定しなければならなかった。結果、運搬時間が10～30分の3工場を選定した。なお、本施工では1日に1工場を占有して出荷を行った。

表-5 生コンクリート工場選定時の主要な条件

項目	条件
管理体制	JIS認定工場であること。 工場内に所要の資格を持つ技術者が常駐していること。 特殊コンクリート(高流動コンクリート、高強度コンクリートなど)の製造実績があることが望ましい。 材料管理が適切に実施できること。
製造設備	強制練りミキサを有することが望ましい。 ミキサの練混ぜ容量が所要の製造速度を満足できること。 練混ぜ中のミキサ負荷値をモニタリングできる装置を有することが望ましい。 練混ぜ中のコンクリートの状態が目視できるカメラを有することが望ましい。 各材料の1バッチあたりの重量を計量できること。
材料の貯蔵	材料供給が質・量ともに安定していること。 雨天時の細骨材表面水率の変動に対して抑制対策ができること。
運搬	打込み場所までの運搬時間が可使時間の規定を満足できること。 アジテータ車を必要台数確保できること。

(3)試験練り

選定された3工場の中には平成12,13年度の実験を実施していない工場があり、実験時の使用材料とメーカーや産地が異なること、さらに実験から3～4年経過したことなどから、本施工前に再度試験練りを行った。試験練りは表-3の基本配合をもとに、各工場にて室内試験および実機試験を行った。

各工場の使用材料を表-6に、試験練りで決定した示方配合を表-7に示す。また、試験練りで実施した試験項目および試験検査基準は表-2のとおりである。なお、高性能AE減水剤とAE剤については各工場同じものを使用した。

表-6 各工場の使用材料

使用材料	産地、物性値			
	A工場	B工場	C工場	
セメント	高炉セメントB種 密度：3.04g/cm ³	高炉セメントB種 密度：3.02g/cm ³	高炉セメントB種 密度：3.04g/cm ³	
細骨材	海砂産地	福岡市小呂島産 表乾密度 2.58g/cm ³	福岡市小呂島産 表乾密度 2.58g/cm ³	(組)福岡市西浦産 (細)小倉北区白鳥沖産 表乾密度 2.56g/cm ³
	砕砂産地	田川市弓削田産 表乾密度 2.68g/cm ³	小倉南区市丸産 表乾密度 2.68g/cm ³	-
	混合割合	海：砕 = 80 : 20 (海砂粗粒率 2.39) (砕砂粗粒率 3.00)	海：砕 = 60 : 40	生コン工場受け入れ前にFM2.55程度になるように混合済み
	混合後粗粒率	2.51	2.52	2.49
粗骨材	砕石 2005 門司区大積東町産 表乾密度 2.72g/cm ³	砕石 2005 八幡西区大字畑産 表乾密度 2.70g/cm ³ 小倉南区市丸産 表乾密度 2.72g/cm ³ 5:5混合	砕石 2005 門司区柄杓田産 表乾密度 2.70g/cm ³	
	高性能 AE 減水剤	ポリカルボン酸系		
AE 剤	変形アルキルカルボン酸化合物系陰イオン界面活性剤			

練混ぜは水平強制二軸練りミキサを用い、1バッチの練混ぜ量を室内試験は各工場のミキサ容量にあわせ、実機試験は2m³とした。練混ぜ時間はモルタル練り15秒、本練り75秒の合計90秒とした。練混ぜ完了後、5,30,60,90分に試験を行い、可使時間90分以内で所定の品質を満足することを確認した。

B工場についてSPの添加量が他工場と比べ少ないが、これは粗骨材が丸みを帯びているためであると考えられる。また、A工場については他工場と比べて単位水量を10kg/m³多くした。これは他工場と比べて同じ単位水量では粘性が高かったことと、単位容

表-7 各工場の示方配合

工場名	Gmax	W/C (%)	空気量 (%)	Gvol (m ³ /m ³)	単位量(kg/m ³)						SP ^{*1)} (C × wt%)	AE ^{*2)} (C × wt%)
					W	C	S1 ^{*3)}	S2 ^{*3)}	G1 ^{*4)}	G2 ^{*4)}		
A工場	20	40.0	4.5	0.315	170	425	686	172	857	-	1.70	0.0060
B工場	20	37.6	4.5	0.315	160	425	525	363	425	428	0.80	0.0025
C工場	20	37.6	4.5	0.315	160	425	870	-	851	-	1.70	0.0040

*1)SP:高性能 AE 減水剤, *2)AE:空気量調整剤(AE 剤), *3)S1:海砂, S2:砕砂, *4)B工場の G1:畑産, G2:市丸産

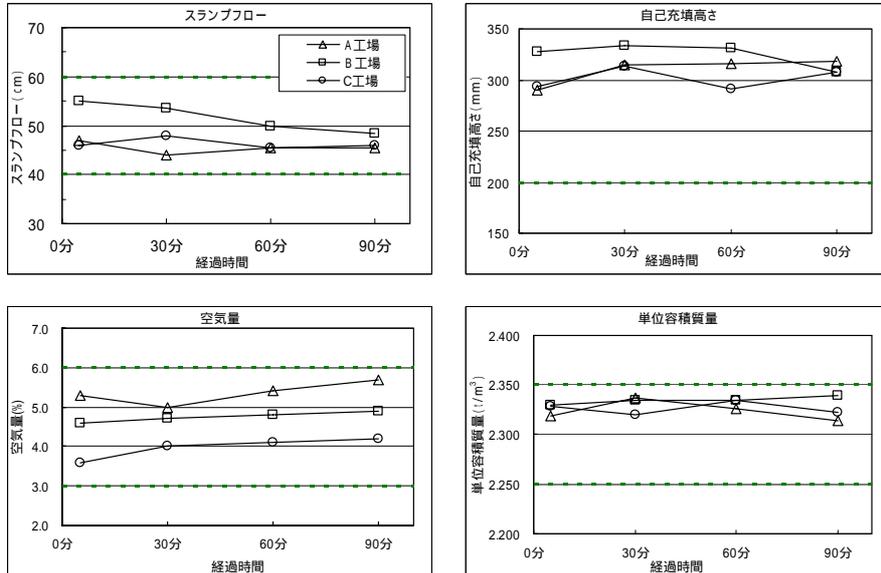


図-8 実機試験練り結果

表-8 現場受入れ時の試験項目

試験項目	試験方法	判定基準	充てんコンクリート		高流動コンクリート		
			品質管理試験	検査	品質管理試験	検査	
スランプフロー	JIS A 1150準拠	500 ± 100mm	-	1時間に1回または25m ³ に1回(測定回数が多いほうを採用)	最初の3台および75m ³ に1回	全アジテータ車	最初の5台および75m ³ に1回
外気温	-	-	-	-	-	-	-
コンクリート温度	-	-	-	-	-	-	-
空気量	JIS A 1128準拠	4.5 ± 1.5%	-	-	最初の3台および75m ³ に1回	-	最初の5台および75m ³ に1回
単位容積質量	JIS A 1116準拠	2.3 ± 0.05t/m ³	-	-	最初の3台および75m ³ に1回	-	最初の3台および75m ³ に1回
塩化物含有量	カンタブ	0.3kg/m ³ 以下	-	-	午前1回、午後1回	-	150m ³ に1回
圧縮強度試験	JIS A 1108準拠	30N/mm ² 以上(材齢28日)	-	-	150m ³ に1回	-	150m ³ に1回
単位水量	エアメータ法(土研法)	配合設計値 ± 15kg/m ³	-	-	午前1回、午後1回または100m ³ に1回(測定回数が多いほうを採用)	-	-

積質量が表-2の判定基準の上限に近く、単位水量を増やし単位容積質量を小さくする必要があったためである。

図-8に各試験の試験結果を示す。試験の結果、各工場とも可使時間内の検査基準を満足することができた。ブリーディング率については、A、C工場は0%、B工場で0.51%であった。

(4)本施工

a)品質管理試験

本施工時に現場で行った品質管理試験と検査項目および高流動コンクリートの試験頻度について表-8に示す。判定基準は試験練りと同様である。なお表中の「品質管理試験」は施工者が自主で行う試験、「検査」は立会で行う試験とする²⁾。

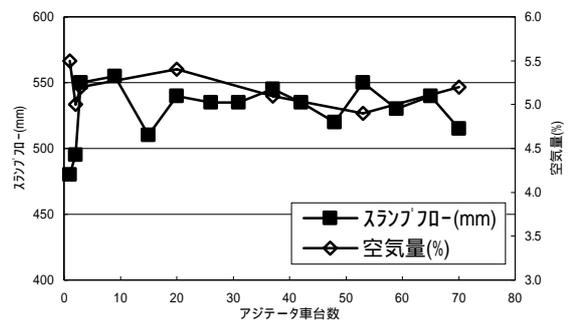


図-9 スランプフロー試験結果(STEP1 4日目 A工場)

新若戸沈埋トンネルの充てんコンクリートは1号函が初めての施工であるため、マニュアル²⁾の試験頻度は、前述のとおり普通コンクリートと比べて多めに設定されている。しかし高流動コンクリートと比べると、「検査」については1回/75m³と同頻度で

表-9 現場品質管理試験の平均値

	スランプフロー (mm)	空気量 (%)	単位容積 質量 (t/m ³)	単位水量 (kg/m ³)	コンクリート 温度 ()	外気温 ()
A工場平均	523	5.1	2.312	166.1	18.0	12.9
B工場平均	532	5.4	2.320	158.0	19.6	13.6
C工場平均	518	4.9	2.313	155.7	16.7	11.6
全体平均	524	5.1	2.314	162.4	18.1	12.8

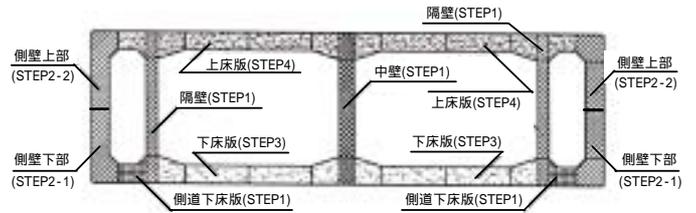


図-10 打設区画図

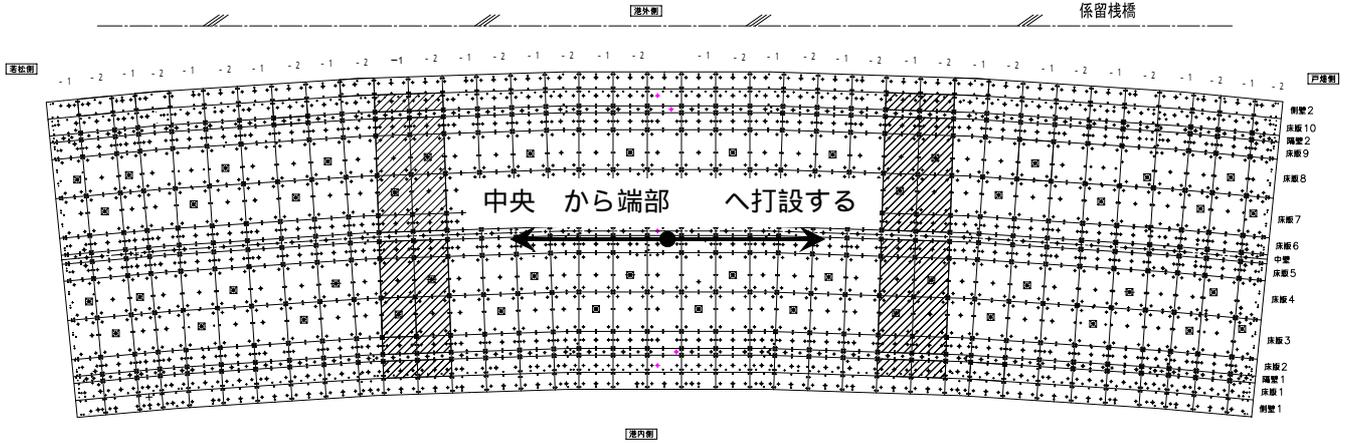


図-11 函軸方向打設ブロック割付図(ハッチングはSTEP4 4日目の打設箇所)

あるが、「品質管理試験」については高流動コンクリートより試験頻度は少なくなっている。

1号函では現場受入れ時の品質管理試験のほかに、生コン工場でも打設日の最初の数台と75m³に1回程度品質管理試験を行い、フレッシュ性状の変動に対して早期に対応できるようにした。

表-9に現場品質管理試験の平均値を示す。スランプフローの平均値は520mm程度であった。これは鋼殻内へのより確実な充てんを考慮して、スランプフローの目標値を500～550mmとしたためであると考えられる。

図-9にSTEP1 4日目のスランプフローと空気量の試験結果を示す。一日のスランプフローに大きなばらつきは見られず比較的一定であった。この傾向はほかの試験でも同様であった。なお、工場と現場では1～4cmのフローの伸びが見られ、打設の進捗とともに高性能AE減水剤の添加量が減少した。これはコンクリート温度が、10月末から12月末の2ヶ月間で22 から9 まで低下したことがおもな原因と考えられる。

今回のスランプフローなどフレッシュ性状の変動はあまり小さくなく、製造管理および品質管理とも比較的管理しやすかった。

b) 打設順序

充てんコンクリートの打設は鋼殻を栈橋に係留した浮遊状態で施工した。そのため、打設による沈埋

函の変形解析と那覇沈埋トンネルの浮遊打設の施工実績をもとに、浮遊バランスを保持し、剛性を早期に確保して沈埋函の変形を小さくすることができる最適順序に従って打設を行った。図-10に打設区画図を、図-11に函軸方向打設ブロック割付図を示す。最適打設順序は、断面的に見て壁部 下床版部 上床版部、平面的に見て各部とも函中央部()から端部()へ向かう順序である。具体的にはSTEP1(壁部) を1回目に打設し、2回目に を打設、端部まで終了すればSTEP2-1(側壁下部) へと順次打設を行った。このように浮遊バランスと沈埋函の変形を考慮して打設した結果、バランス良くほとんど変形なく打設を完了した。

c) 打設方法

各区画の打設においては様々な打設方法の課題があり、以下のような工夫を行うことによりスムーズな打設が可能となった。

<ディストリビュータ>

コンクリートの打設にはコンクリートポンプ車を栈橋上に設置して行うが、ポンプ車の作業半径では鋼殻端部まで打設することができない。また配管を設置して打設を行うには配管の移動回数が多く移動距離が長すぎるという問題があった。

そのためディストリビュータを函上に2台設置しコンクリートポンプ車からディストリビュータを経由して打設を行った。写真-2にディストリビュータ



写真-2 ディストリビュータ使用状況

を使用した打設状況を示す。

<筒先誘導架台>

函内(STEP3)の打設は上床版の開口部(200)から配管を通して打設を行う。下床版は1区画が5~10m³であり、1日に20区画打設し、さらに開口部から水平距離最大5mのところ打設孔があるため、人力によるコンクリートホースの移動は非常に困難である。

そこで筒先誘導架台を使用して打設を行った。写真-3に筒先誘導架台の使用状況を示す。



写真-3 筒先誘導架台使用状況

<側道下床版の打設>

側道下床版は隔壁と連続して打設するため、加振孔および空気孔からのコンクリートの吹き上がり対策が必要となった。

そこで加工した鋼管とエンドキャップをヴィクトリックジョイントで鋼殻に固定して、吹き上がりを防止した。写真-4に側道下部打設状況を示す。

d)品質・施工管理体制

品質・施工管理体制は最高責任者を長とした一元的な管理のもと、生コンクリート工場部門、打設現



写真-4 側道下部打設状況

場部門を設置した。充てんコンクリートは普通コンクリートに比べて可使時間の制約が厳しく、また1区画内は連続して打設する必要があり、アジテータ車の運行管理の重要性が高い。そのためこれらの部門のほかに運行管理部門を設けた。

打設中は携帯電話と無線を利用して生コン工場と打設現場とのホットラインを構成し、情報の共有化を図った。これにより、一元的な施工管理と現場品質管理試験結果の迅速なフィードバック、ロスの少ない運行管理とスムーズな打設が行え、漏れのない充てん確認を実施できた。

e)充てん確認

コンクリートと鋼板との間隙が大きい場合、鋼材とコンクリートが一体となった構造部材としてみなすことができない。新若戸沈埋函の場合、未充てん部の直径が50cm以上かつ間隙が5mm以上の場合、未充てん箇所と判断する²⁾。

各部位の充てん確認の方法および判定基準を表-10に示す。表中のRI検査は、放射線源から放出される微小な放射線を利用して、鋼殻内に充てんされたコンクリートの天端面と鋼殻内面との間隙を非破壊で測定する方法である。神戸港島トンネルや那覇沈埋トンネルなど沈埋トンネルで広く使用されている非破壊検査方法である。図-12にRI測定原理概要図を示す

充てん確認検査の結果、未充てん箇所と判定される箇所は存在しなかった。写真-5に空気孔からのコンクリートの立ち上がり状況を示す。

5. 高流動コンクリートとの比較

那覇沈埋トンネルの高流動コンクリートの圧送時のポンプ圧力は19~20MPaであったのに対して、充

表-10 各部位の充てん確認の方法および判定基準

充填方法の確認	側壁、中壁、隔壁、上床版	下床版	判定基準	備考
打設時の空気孔からのコンクリートの立ち上がり			高さ 30cm 以上	
打音検査		-	異音の有無	異常部の抽出
削孔検査		-	未充填の形状が直径 50cm 以上かつ深さが 5mm 以上	異音発生部の充填確認
RI 検査		-	同上	

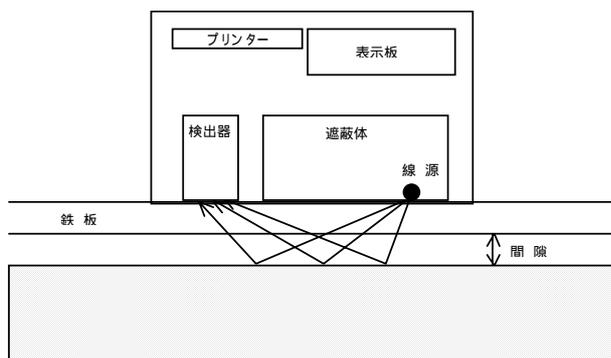


図-12 RI 測定原理概要図



写真-5 充てん確認状況(下床版)

てんコンクリートの圧力は10～12MPaと小さな値であった。そのためポンプ車や配管に対する負荷は小さくなると考えられ、実施工で配管閉塞等のトラブルは発生しなかった。

また、スランプフローの規格幅が $\pm 100\text{mm}$ と広いこともあり、細骨材などの品質変動に対する影響は小さかった。したがって、高流動コンクリートと比べて製造管理は比較的容易であると考えられる。

端部鋼殻や艀装品基礎周辺は構造が複雑なため、充てんは非常に困難であると予想したが、比較的容易に打設を行うことができた。これは、補助的な加振を行うことができたことと、高流動コンクリート

と比べ粘性が低いいため、狭隘部にコンクリートが流れ易かったためであると考えられる。

一方、高流動コンクリートと比べて粘性が低いため、スランプフローが上限の600mmに近い材料に対しては、パイプレータの所定の振動時間²⁾を守るだけではなく、コンクリートの流動状況を見ながら、過度な締固めを行わないように留意して施工を実施した。

6. まとめ

1号函製作工事は、浮遊状態にあるフルサンドイッチ構造の鋼殻内に充てんコンクリートを初めて大量打設したものであるが、平成12年度からの基本的な実験、実物大モデル実験、マニュアル策定を経て無事終了することができた。今後、別工事にて曳航・沈設される予定である。本工事の施工実績および取得データは、2号函以降のみならず、将来の沈埋トンネルプロジェクトにも有効活用されるものと確信している。

なお、今回のモデル実験などで得られた成果は(財)沿岸技術センター発行のマニュアル³⁾に反映されたことをご紹介します。

謝辞 充てんコンクリートの開発および施工にあたり、充てんコンクリート技術検討会(委員長：福岡大学大和教授)の各位には適切な御指導をいただきました。ここに謝辞を表します。

参考文献

- 1) 大和竹史, 東俊夫, 渡邊和重, 白石悟: 合成構造用充てんコンクリートの開発, コンクリート工学, Vol. 41, pp. 15-22, 2003年7月.
- 2) 国土交通省九州地方整備局: 新若戸道路充てんコンクリートマニュアル(案)
- 3) (財)沿岸技術研究センター: 鋼コンクリートサンドイッチ構造沈埋函を対象とした加振併用型充てんコンクリートマニュアル, 2004年2月