

報告 沈埋函製作工事における加振併用型充てんコンクリートの配合および施工性の検討

高橋 宏治^{*1}・松崎 忠彦^{*2}・水口 直仁^{*3}・末岡 英二^{*4}

要旨：本報告は、大阪港夢洲トンネル沈埋函製作工事で使用する加振併用型充てんコンクリートの配合、および計画されている施工方法での当該コンクリートの施工性を検討した。コンクリートの配合は、施工時期や使用骨材などを考慮して試験練りにより決定し、そのフレッシュ性状の安定性から、要求性能を満足できることを確認した。また、モデル型枠による施工性の検討により、内部振動機の加振効果、および狭隘部への充てん性などが確認できた。

キーワード：加振併用型充てんコンクリート、沈埋函、加振、充てん性

1. はじめに

夢洲トンネル事業は、大阪港における咲洲と夢洲の両地区を結ぶ鉄道と道路を併設した海底トンネル（沈埋トンネル工法）と陸上トンネルを整備する事業として計画、実施されている。海底トンネル部となる沈埋函の構造形式は、鋼コンクリートサンドイッチ構造で、全長約800m、全8函であり、本検討で対象とした沈埋函は、そのうちの7号函である。夢洲トンネル概要図を図-1に、沈埋函断面構造図を図-2に示す。本構造には、今まで高流動コンクリートが多く使用されてきたが、本施工では、高流動コンクリートの課題を検討して開発された加振併用型充てんコンクリート（以下、充てんコンクリートと称す）を使用した。本稿は、当該コンクリートの配合、および施工性の施工前検討の結果を示したものである。

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プフロー500mm程度の高い充てん性能を持つが、自己充てん性能のみに頼らず、最小限の加振を付与することで所要の充てん性を確保するものである。高流

動コンクリートにおいては、充てん性の良否がほとんど打込み時のフレッシュ性状に左右されるため、材料選定、製造、運搬においての制約が大きく、充てんコンクリートでは、それらを軽減することによりコスト低減を図るものである。充てんコンクリートの自己充てん性能を図-3に示す¹⁾。

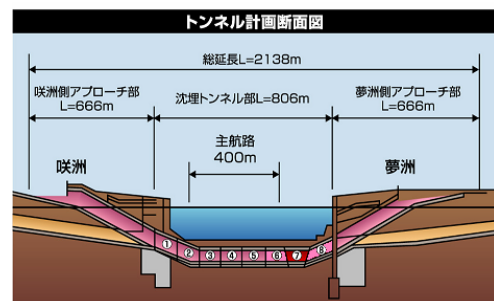


図-1 夢洲トンネル概要図

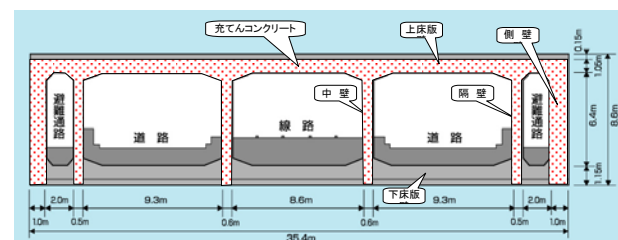


図-2 沈埋函断面構造図

*1 東洋・みらい・大本特定建設工事共同企業体（正会員）

*2 国土交通省 近畿地方整備局 大阪港湾・空港整備事務所 前任建設管理官

*3 国土交通省 近畿地方整備局 大阪港湾・空港整備事務所 建設管理官

*4 東洋建設（株） 技術本部美浦研究所 材料研究室長 工修（正会員）

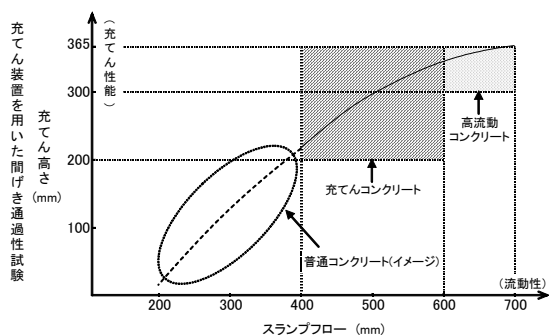


図-3 充てんコンクリートの自己充てん性能

3. 充てんコンクリートの使用材料および配合

充てんコンクリートの材料は、製造の容易さやコスト面から、近隣の生コン工場での一般的なものを使用し、施工時期が冬期となることを考慮して、凝結時間を大きく遅らせることなく、所要の流動性維持が図れる高性能 AE 減水剤を使用した。使用材料を表-1に示す。充てんコンクリートの配合は、表-2に示す要求性能を満足するように室内の小型ミキサの試験練りにより設定した。この要求性能は、当該コンクリートにおける既往の知見²⁾から定められたものであり、配合もそれをもとに検討した。大阪地区の骨材を用いた場合、検討実績の多い北九州地区の骨材を用いた場合の配合に比較して、所要の流動性や充てん性を満足するために、若干単位水量(単位セメント量)が増加する傾向にあり、所要の単位容積質量を満足するために空気量を3%程度に削減する必要があった。設定した配合を表-3に示す。本稿での検討実験は、表-3の配合を基本として実施した。

4. 充てんコンクリートの性能評価

4.1 実験概要

2社の生コン工場(A工場, B工場)で、実機ミキサにより充てんコンクリートを製造して基

本配合での性能を評価した。実験は、実機ミキサ(強制2軸:公称容量 3.0m^3 練り)を用いて1バッチ 2.0m^3 練りとし、測定時間ごとにアジテータ車により30秒高速攪拌をした後に試料を採取し実験を行った。また、実施工においてコンクリートの性能に影響を及ぼす要因の一つである細骨材表面水率の設定誤差に着目して、充てんコンクリートの性能の安定性、およびそれを考慮した場合の要求性能の妥当性を検証した。ここで、表面水率の誤差とは、示方配合から現場配合に変更する時に用いる表面水率と、実際の表面水率との差であり、この値が負になると示

表-1 コンクリートの使用材料

材料名	仕様	
	A工場	B工場
セメント C	A社製:高炉セメントB種 密度 $3.04\text{g}/\text{cm}^3$ 比表面積 $3980\text{cm}^2/\text{cm}^3$	S社製:高炉セメントB種 密度 $3.02\text{g}/\text{cm}^3$ 比表面積 $3770\text{cm}^2/\text{cm}^3$
	川砂:中国福建省ミン江産 砕砂:兵庫県西島産	川砂:中国福建省九龍江産 砕砂:兵庫県西島産
細骨材 S 川砂:砕砂 (3:7)	表乾密度: $2.57\text{g}/\text{cm}^3$ 吸水率1.74% 粗粒率2.69 微粒分量2.7%	表乾密度: $2.57\text{g}/\text{cm}^3$ 吸水率1.98% 粗粒率2.65 微粒分量1.1%
	2005砕石:兵庫県西島産	
粗骨材 G	表乾密度 $2.61\text{g}/\text{cm}^3$ 吸水率1.05% 粗粒率6.68 微粒分量1.1%	表乾密度 $2.61\text{g}/\text{cm}^3$ 吸水率1.06% 粗粒率6.61 微粒分量1.1%
	高性能AE減水剤(SP) ポリカルボン酸エーテル系と架橋ポリマーの複合 空気量調整剤(AE) 変性ロジン酸化合物陰イオン界面活性剤	

表-2 コンクリートの要求性能

項目	評価方法	要求性能
圧縮強度	JIS A 1108	設計基準強度 $30\text{N}/\text{mm}^2$
流動性	JIS A 1150	スランプフロー $500\pm 100\text{mm}$
流動性の維持時間	—	製造後90分
材料分離抵抗性	JSCE-F511	U形容器障害R2 充てん高さ 200mm 以上
ブリーディング	JIS A 1123	ブリーディング率2.5%以下
空気量	JIS A 1128	$3.0\pm 1.5\%$
単位容積質量	JIS A 1116	$2,250\sim 2,350\text{kg}/\text{m}^3$

表-3 コンクリートの基本配合

工場名	G_{max} (mm)	W/C (%)	空気量 (%)	s/a (%)	G_{vol} (m^3/m^3)	単位量(kg/m^3)				SP ($\text{C}\times\%$)	AE ($\text{C}\times\%$)
						W	C	S	G		
A	20	39.5	3	51.2	0.32	171	433	864	835	1.65	0.004
B	20	38.8	3	51.2	0.32	168	433	869	835	1.6	0.005

方配合の単位水量より製造時の単位水量の方が多くなる。実験ケースは、細骨材表面水率の設定誤差が+0.5%, 0% (基本配合), -1.0%の3水準に設定した。なお、これらの評価は、冬期施工を考慮して2月に実施し、その時のコンクリート温度は、A工場で12~13℃, B工場で8~10℃であった。

4.2 実験結果

スランプフローの時間変化を図-4に示す。両工場において、細骨材表面水率の設定誤差-1.0から+0.5%で、スランプフローが100~120mm程度変動したが、製造後120分間は所要のスランプフローを満足することができた。このことから、施工中のスランプフローの管理は、細骨材表面水率の変動が、上記範囲内となる程度の頻度で確認および調整により行い、少なくとも製造後120分以内に打込むことで所要の流動性は確保できると考えられた。

U形間隙通過性試験の充てん高さ(以下、充てん高さと呼ぶ)の時間変化を図-5に示す。製造後5分における充てん高さは、細骨材表面水率の設定誤差により変動したが、いずれのケースも製造後120分間は所要の値を満足した。また、経過時間とともに充てん高さが高くなり、かつ安定した。この理由は、図-7に示すように時間経過とともに空気量が増加しており、それにより間隙通過性が向上したものと考えられた。

充てん高さとスランプフローの関係を図-6に示す。スランプフローの増加により、充てん高さが高くなる傾向にあり、スランプフローが600mm程度以下であれば、顕著な材料分離は見られず、スランプフローが550mm以上であれば、充てん高さが300mm以上となり、自己充てん可能な自己充てん性能を発揮できると考えられた。

空気量は、図-7に示すように経過時間や細骨材表面水率の設定誤差により変動したが、製造後120分間は所要の値を満足した。また、単位容積質量も空気量に応じて変動したが、所要の性能を満足した。

A工場, B工場で製造した充てんコンクリー

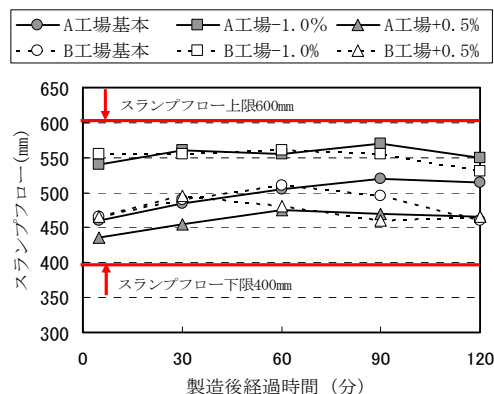


図-4 スランプフローの時間変化

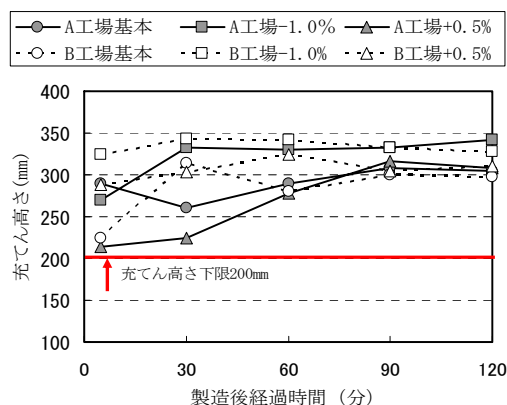


図-5 充てん高さの時間変化

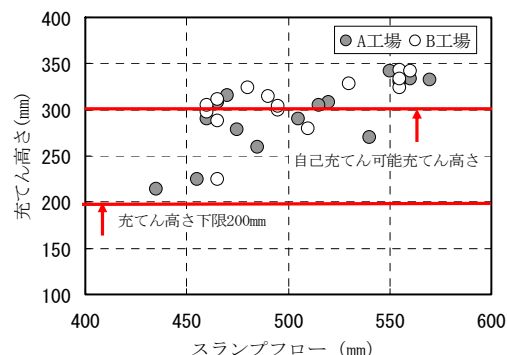


図-6 スランプフローと充てん高さの関係

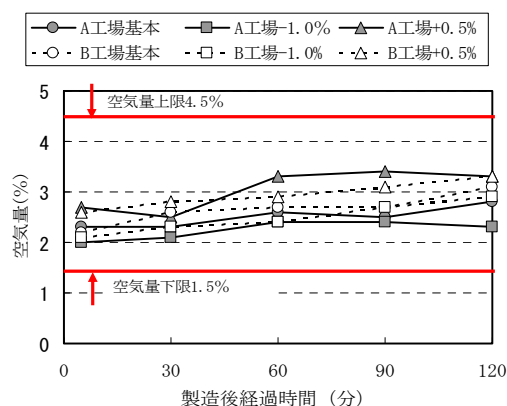


図-7 空気量の時間変化

トのブリーディング率は、それぞれ 0.22%，0.51%であり，細骨材表面水率の設定誤差－1%による単位水量増加のためのブリーディング率の増加率は，それぞれ 0.27%および 0.13%の増加に留まり，所要の性能を満足する結果であった。また，材齢 28 日の圧縮強度は，細骨材表面水率の設定誤差による変動が生じて，A 工場で 66.6～73.4N/mm²，B 工場で 65.7～66.8N/mm²と，設計基準強度 30N/mm²を十分満足した。

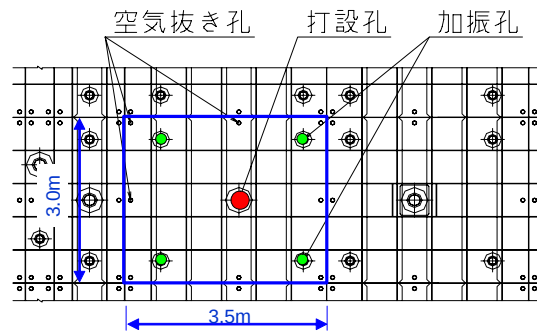
5. 施工性の検討

5.1 加振効果の検討

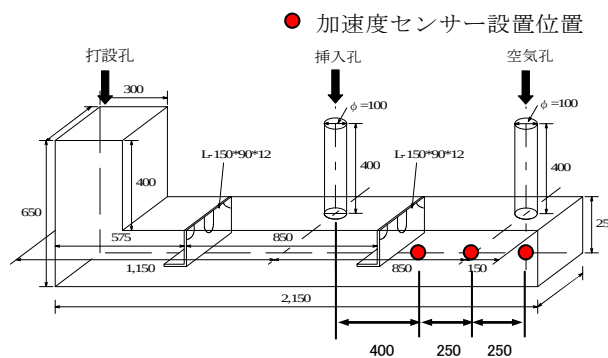
沈埋函本体の上床版標準部を 1 次元的にモデル化したアクリル製型枠を用いて，充てんコンクリートの充てん性や加振効果を確認した。上床版標準部の平面図を図－8 に示す。モデル型枠は，打設孔から対角への流動を 1 次元的にモデル化したものであり，加振孔，空気孔，シアコネクタを模擬した。ただし，加振孔の位置や寸法等については，若干異なる。モデル型枠を図－9 に示す。

実験は，実機ミキサで製造した充てんコンクリートを流動モデル型枠内に自然流下させ，打設孔でのコンクリートが打上がり高さが 30cm に達した後に，加振孔から内部振動機（直径 42mm，振動数 200Hz）により加振し，加振による流動勾配の変化，各孔におけるコンクリートの打上がり高さ，および加振時におけるコンクリートの加速度を測定した。加速度測定は，型枠内の流動方向中央部 3 箇所にひずみゲージ式加速度センサーを設置し，測定した。実験手順を図－10 に示す。

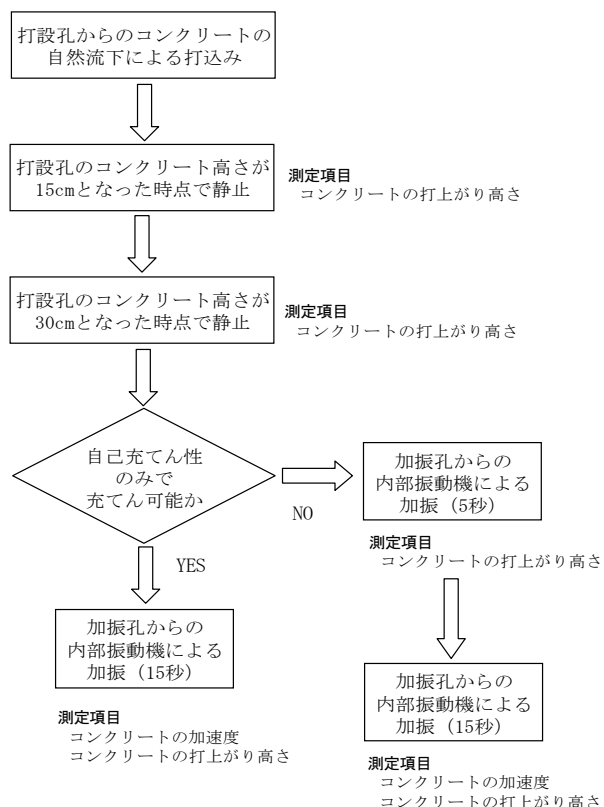
実験で得られた各孔のコンクリート打上がり高さを型枠上面と基準として図－11 に示す。今回の実験では，スランプフローが 400mm～460mm 程度の場合，充てん高さが 280mm 以下の場合は，自己充てん性能のみでの充てんは難しく，加振の必要性があった。一方，スランプフローが 470mm 程度においても，充てん高さが 280mm を超える場合においては，打設孔のコン



図－8 上床版標準部の平面図



図－9 モデル型枠

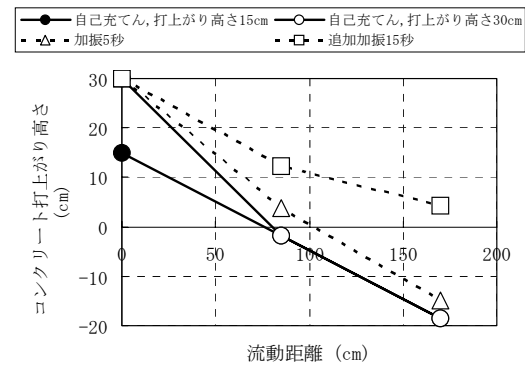


図－10 実験手順

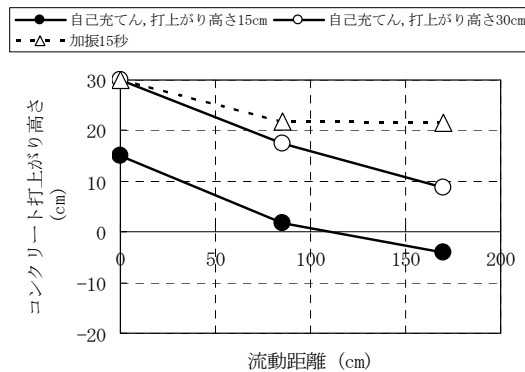
クリートの打上がり高さを 30cm とすることで，自己充てん性能のみで充てん可能であった。

すなわち，これらの結果と 4.2 での結果を合わせると，スランプフロー 400mm 以上であれば，

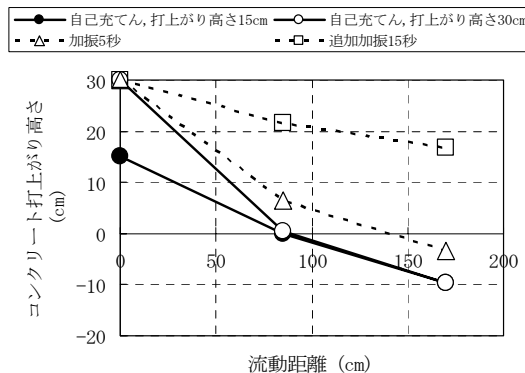
A工場、SF=395mm、自己充てん高さ=205mm



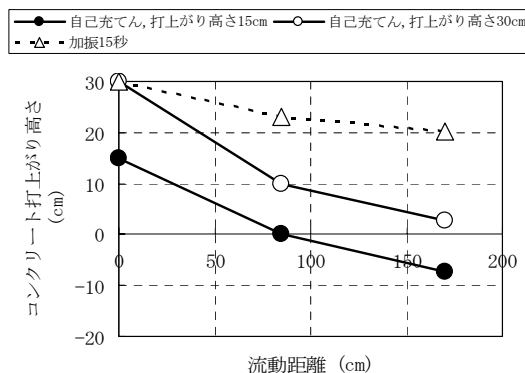
A工場、SF=470mm、自己充てん高さ=325mm



B工場、SF=460mm、自己充てん高さ=265mm



B工場、SF=475mm、自己充てん高さ=280mm



● A工場、SF=395mm、充てん高さ=205mm
▲ A工場、SF=470mm、充てん高さ=325mm
○ B工場、SF=460mm、充てん高さ=265mm
△ B工場、SF=545mm、充てん高さ=255mm
□ B工場、SF=475mm、充てん高さ=280mm

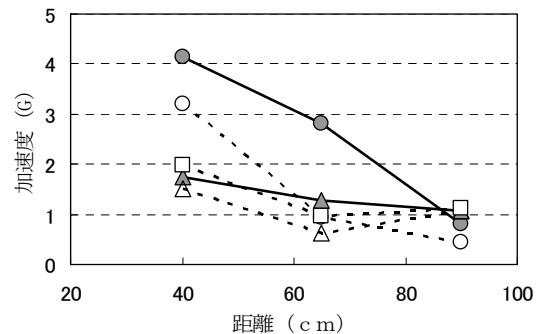


図-12 内部振動機からの距離と加速度の関係

内部振動機による加振を行うことで充てんコンクリートを鋼殻内に充てんでき、スランプフロー470mm程度でも充てん高さが300mm以上であれば、打設口のコンクリート打上がり高さを30cm以上とすることで、自己充てん性能のみで充てんが可能であると考えられた。

内部振動機からの距離と加速度の関係を図-12に示す。内部振動機から45cmの距離でのコンクリートの加速度は、スランプフローの小さいコンクリートの方が大きいですが、距離の増大に伴う減衰も大きく、95cmの距離ではいずれのコンクリートの加速度も0.4~1.1Gまで、減衰した。

5.2 狭隘部への充てん性の検討

本工事で最も狭隘な区画である端部鋼殻への充てんコンクリートの充てん性を検討するために、鋼殻モデル型枠を用いた充てん実験を行った。端部鋼殻のモデル型枠を図-13に示す。端部鋼殻では中間フランジや中間ダイヤフラムが配置されており、特に中間フランジより下は、通常の内部振動機では加振が困難なため、小型の内部振動機を使った場合と内部振動機を使用しない場合の両者の充てん性を比較した。表-4に加振方法を示す。コンクリート打込み中の充てん状況は、鋼殻内側に貼付けた振動デバイスを用いた充てんセンサー³⁾を用いて把握し、硬化後における上鋼板下、中間フランジ下、鋼板周りのコンクリートの充てん状況は、上鋼板取り

図-11 各孔でのコンクリート打上がり高さ

外し時や、コンクリート解体時に確認した。

実験で用いた充てんコンクリートは、A 工場で製造、運搬した後に、コンクリートポンプ車で打設孔から打ち込んだ。実験で用いた充てんコンクリートのフレッシュ性状を表-5 に示す。

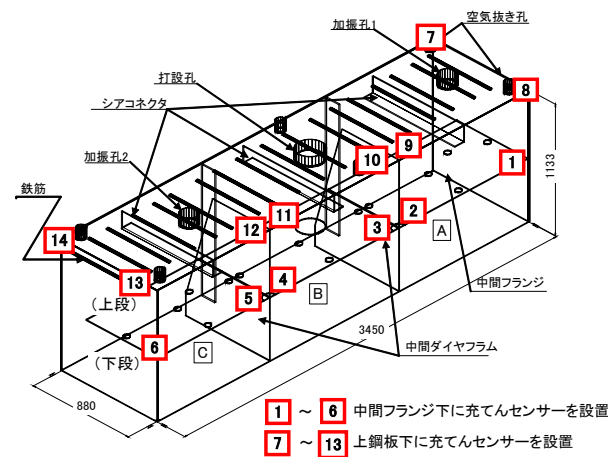


図-13 鋼殻端部のモデル型枠

表-4 加振方法

場 所	加振孔 1	加振孔 2
中間フランジより上部	標準振動機による加振 (200/240Hz, φ 52mm)	標準振動機による加振 (200/240Hz, φ 52mm)
中間フランジより下部	加振なし	小型振動機による加振 (200~250Hz, φ 28mm)

表-5 充てんコンクリートのフレッシュ性状

品質管理項目	測定値	
	荷卸時	圧送後
スランプフロー(mm)	550	530
U形充てん試験：充てん高さ(mm)	285	344
空気量(%)	2.1	2.3
単位容積質量(kg/m ³)	2,344	2,339

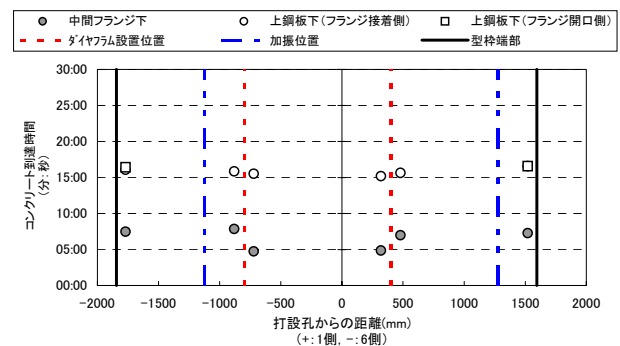


図-14 コンクリートの到達時間

また、充てんセンサーで検知した充てんコンクリートの到達時間を図-14 に示す。充てんコンクリートは中間フランジに達するまでは、中間

ダイヤフラムの内側と外側でコンクリート打上がり時間に若干差があったが、上鋼板に達する時にはほぼ水平で打ち上がり、最終的には中間フランジ下、および鋼板下への良好な充てん性が確認された。また、硬化後に上鋼板下や中間フランジ下で残留気泡跡が見られたが、沈埋函で一般的に許容される深さ(5mm)以下であり、鋼板周りにも十分充てんされていた⁴⁾。さらに、中間フランジ下の加振の有無による充てん状況の違いは見られなかった。

6. まとめ

沈埋函本体工事に使用する充てんコンクリートの配合を設定し、実施工で想定される細骨材表面水率のばらつきに対する安定性を検討し、所要性能を満足できることがわかった。

また、計画されている打設孔からの打込み、および加振孔からの内部振動機での加振により、良好な充てん性を確保でき、狹隘な部位にも十分充てんすることが確認できた。

参考文献

- 1) 佐野清史, 白石悟：合成構造沈埋函用に開発された新しい充てん用コンクリート, セメント・コンクリート, No.698, pp.25-31, 2005.4
- 2) (財)沿岸開発技術研究センター：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, 2004.2
- 3) 金子稔, 安田正雪：コンクリート充てん検知システムとその応用技術, コンクリート工学, Vol.44, No.5, pp.98-101, 2006.5
- 4) 高橋ほか：加振併用型充てんコンクリートの沈埋函端部鋼殻モデル充てん実験, 土木学会第61 回年次学術講演会講演概要集, pp375-376, 2006.9