

報告 加振併用型充てんコンクリートを用いた合成構造沈埋函本体コンクリートの施工

北澤 真<sup>\*1</sup>・大西 隆雄<sup>\*2</sup>・作井 孝光<sup>\*3</sup>・羽瀨 貴士<sup>\*4</sup>

要旨:加振併用型充てんコンクリートは,内部振動機による加振を間欠的に併用することで,高流動コンクリートと同等の流動性を持たせ,併せ持つ高い材料分離抵抗性とにより,合成構造部材などへの高い充てん性能を発揮するものとして開発されたコンクリートである。筆者らは,これを初めて鋼コンクリート合成構造沈埋函の本体コンクリートに適用し,適切に施工管理を行うことによって,十分な品質を有する構造物を構築できることを確認した。

キーワード:合成構造,沈埋函,充てん性能,GPS,加振

1. はじめに

大阪港では現在,臨海部に位置する咲洲と夢洲とを結ぶ「夢洲トンネル」が建設中である。この夢洲トンネルには,海底部延長 806m の区間で沈埋函工法が採用されており,鋼・コンクリート合成構造の沈埋函全 8 函が,製作・据付られる予定となっている。

筆者らはこの内の 4 号函の製作において,「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)を使用した本体コンクリートの施工を行った。本稿では充てんコンクリートを使用した,国内初となる沈埋函本体コンクリートの施工結果について報告する。

2. 工事概要

2.1 工事概要

夢洲トンネル沈埋函の断面構造を図-1 に示す。沈埋函の大きさは幅 35.4m × 高さ 8.6m × 長さ 99.89m であり,下床版は RC 造のオープンサンドイッチ構造,壁・上床版は鋼板に囲まれた閉鎖空間内にコンクリートを充てんするフルサンドイッチ構造により構築されている。今回充てんコンクリートを使用したのは,このフルサンドイッチ構造部分であり,これまで主に高流動コンクリートを用いて施工が行われてきた部分である。打設数量は約 7,000m<sup>3</sup>,これを 7 月から

8 月の 20 日間で打設した。

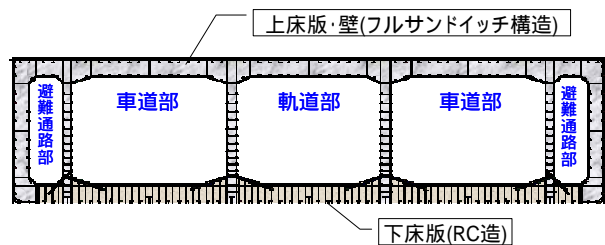


図-1 沈埋函断面構造図

2.2 充てんコンクリート

充てんコンクリートは,高流動コンクリートほどの高い自己充てん性能を持たせず,必要最小限の加振を行うことで所要の性能(主として充てん性)を確保することを実現した技術である。高流動コンクリートとの違いのイメージを図-2 に示す。

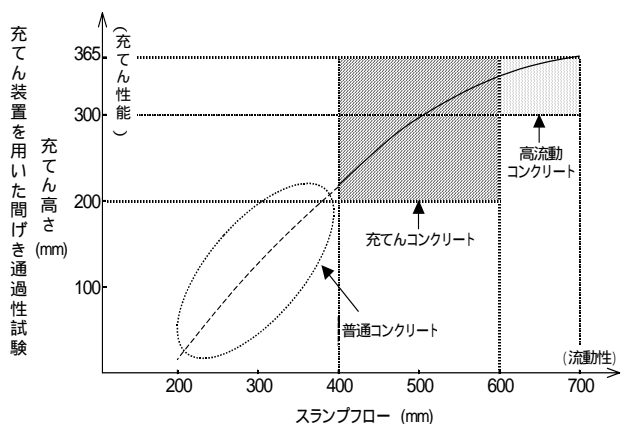


図-2 充てんコンクリートの性能イメージ<sup>1)</sup>

\*1 東亜・佐伯・神戸製鋼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 東亜・佐伯・神戸製鋼特定建設工事共同企業体 現場代理人

\*4 東亜建設工業(株)技術研究開発センター新材料・リユ-ル技術室主任研究員 博(工) (正会員)

図-2 に示されるように、充てんコンクリートは、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の低い普通コンクリートとの中間的な範囲にある。

(1) 特長

充てんコンクリートの特長（高流動コンクリートとの比較で）を以下に示す<sup>2)</sup>。

材料費の低減：セメント、混和材料の使用量が少ない。ただし、単位容積質量が高流動コンクリートよりも小さくなる傾向にあるので、高比重を求められる場合には使用量が増加することもある。

特殊性の排除：JIS 規格に近い配合なので、使用材料や製造に関する制約が少ない。

品質管理の簡素化：振動により充てん性を補償するため、品質の許容範囲が広い。

施工能率の向上：練混ぜ時間が短く、施工能率を向上させることが可能。

(2) 要求性能

夢洲トンネル沈埋函に用いる充てんコンクリートの要求性能を表-1 に示す。

(3) 使用材料および示方配合

本工事での充てんコンクリートの使用材料および示方配合の一例を表-2、3 に示す。

3. 施工上の課題と対策

今回の工事では、基本的に「加振併用型充てんコンクリートマニュアル」<sup>1)</sup>に準拠した施工を行ったが、夢洲トンネル沈埋函では壁内に配筋部があるなど、一部マニュアルに記載の無い箇所があったため、実大モデルを使用した充てん実験を行った。また、打設期間が夏季にあ

たるため、コンクリートおよび鋼殻自体の温度上昇対策についても実施した。

3.1 充てんモデル実験

施工に先立ち、実施工時の施工性と充てん性を確認するとともに、マニュアルには無い鉄筋部への充てん性を確認するため、隔壁部の実大モデルを製作し実験を行った。打設には実際に使用するポンプ車と同等な能力のものを用いた。図-3 に充てんモデルの打設概要図を示す。

モデルは、隔壁下部のハンチ筋以下の範囲への打設を想定し、高さ 2.0m × 幅 0.5m × 長さ 3.0m の形状とした。また主筋、ハンチ筋、形状保持材、シアコネクタなども実際と同様に配置した。

試験時の充てんコンクリートの品質は、スランプフロー以外の全ての要求性能を満たしている上で、流動性が低いスランプフロー450mm

表-1 充てんコンクリートの要求性能

項目	要求性能
圧縮強度	設計基準強度 30N/mm <sup>2</sup>
流動性	スランプフロー 50 ± 10cm
材料分離抵抗性	充てん高さ200mm以上 (JSCE-F 511-1999 充てん装置を用いた間引き通過性試験(案))
ブリーディング特性	ブリーディング率 2.5%以下
単位容積質量	2.250 ~ 2.400t/m <sup>3</sup> (日平均2.300t/m <sup>3</sup> 以上)
耐久性	最大水セメント比55%
	塩化物イオン含有量0.30kg/m <sup>3</sup> 以下
フレッシュ性状の保持性	練り混ぜ終了から90分

表-2 使用材料一覧表(A工場)

材料名称		材料物性データ
セメント	高炉セメントB種	密度 3.04g/cm <sup>3</sup> , 比表面積 3860cm <sup>2</sup> /g
細骨材	川砂	中国福建省ミン江 表乾密度 2.58g/cm <sup>3</sup> , 吸水率 1.22%, 粗粒率 2.65, 微粒分量 0.70%
	砕砂	兵庫県男鹿島産 表乾密度 2.57g/cm <sup>3</sup> , 吸水率 1.60%, 粗粒率 2.84, 微粒分量 4.70%
粗骨材	砕石	兵庫県男鹿島産 表乾密度 2.62g/cm <sup>3</sup> , 吸水率 0.98%, 粗粒率 6.63, 微粒分量 0.80%
混和剤	高性能AE減水剤	ホリカルボン酸系(遅延形)

表-3 充てんコンクリートの示方配合(A工場)

粗骨材 最大寸法 (mm)	水セメント 比 (%)	空気量 (%)	単位粗骨 材容積 (m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> )	単位量(kg/m <sup>3</sup> )				高性能 AE 減水剤 (C × %)
				水	セメント	細骨材	粗骨材	
20	36.3	4.0	0.315	165	455	851	825	1.40

程度のものを使用した。この結果、条件の厳しいコンクリートを打設したことによる、打設や加振による材料分離は見られなかった。また、脱枠後に行った外観目視調査、コア抜き調査、コンクリート解体時における内部の空隙確認でも、隅角部や主筋、ハンチ筋、形状保持鋼材、アングル周辺において十分に充てんされていることが確認できた。

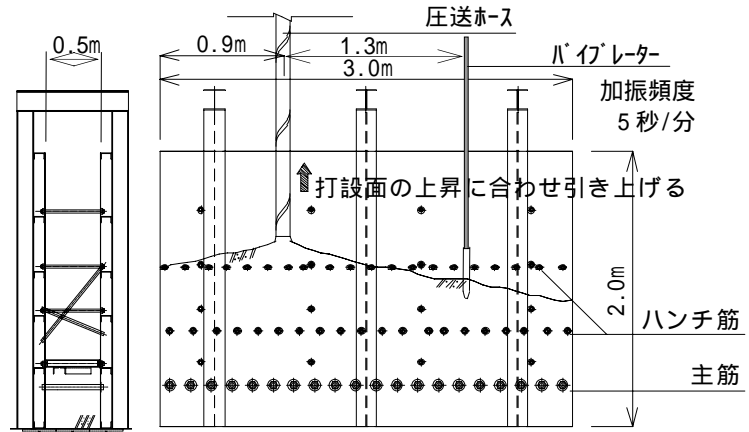


図-3 充てんモデル打設概要図

### 3.2 暑中コンクリート対策

#### (1) コンクリート温度

暑中環境下での施工となったため、荷卸し時のコンクリート温度が 35 を越えないよう、温度上昇抑制対策を実施した。図-4 に荷卸し時の外気温及びコンクリート温度の測定結果を示す。

練り混ぜ水には地下タンクに貯蔵した工業用水を使用し、また生コン車のドラムに散水するなどの対策を実施した結果、外気温が最高 38 となる中、コンクリート温度は最高でも 33.5 と、品質管理試験を行った全ての車両で 35 以下に抑えることが出来た。

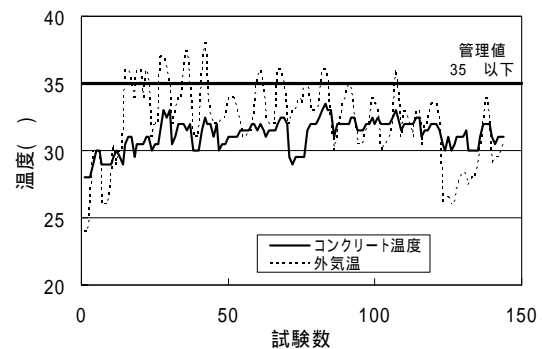


図-4 荷卸し時の外気温及びコンクリート温度

#### (2) 鋼殻温度

鋼殻は日照の影響による温度が上昇し易く、無対策の場合の鋼板の温度は 50 以上になることが分かっており、コンクリートの流動性への影響が懸念された。そこで打設中は、打設前日から上床版上に湛水養生を行った。湛水方法は、上床版上に吸水性のシートを敷設し湛水状態にする方法とした。また側壁部についても、防災メッシュシートで日陰養生を行った。図-5 に外気温及び鋼殻の温度測定結果を示す。この図は外気温が 38 を記録した日の測定結果だが、施工期間を通じて外気温と上床版上鋼板の温度差は -6.0 ~ +3.0 であった。この結果上記湛水養生を行うことにより、上床版の鋼板温度を外気温程度に保つことができた。

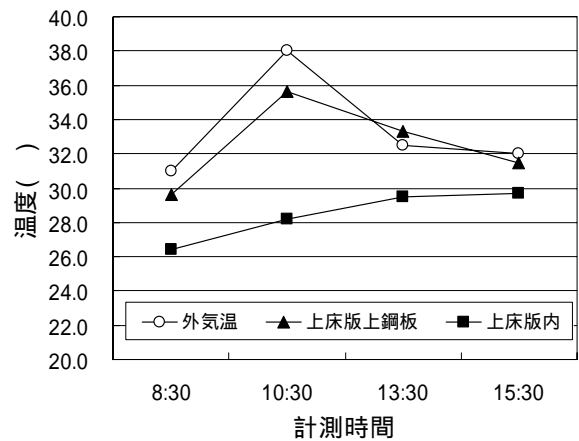


図-5 温度測定結果(外気温・鋼板・殻室内)

## 4. 品質管理

充てんコンクリートの特長の一つは、高流動コンクリートに比べ使用材料の特殊性がないことから、品質管理が簡素化できることである。本工事では、前述のマニュアル<sup>1)</sup>に準拠した項目・頻度で、品質管理試験を行った。本工事における受入れ時の品質管理項目、規格値、頻度について、表-5 に示す。

表-5 品質管理項目・規格値・頻度一覧表

品質管理項目	品質管理規格値	試験頻度
スランブフロー	50 ± 10cm	最初の3台 その後 75m <sup>3</sup> /回
単位容積重量	2.250 ~ 2.400t/m <sup>3</sup> (日平均2.300t/m <sup>3</sup> 以上)	
単位水量	165 ± 15kg/m <sup>3</sup>	
コンクリート温度	35 以下	
塩化物含有量	0.30kg/m <sup>3</sup> 以下	
圧縮強度	30N/mm <sup>2</sup> 以上	午前・午後 各1回

#### 4.1 スランブフロー

充てんコンクリートのスランブフロー品質管理規格値は、高流動コンクリートに比べ 10cm 許容の大きいものとなっている。これは、充てんコンクリートの自己充てん性能に加え、間欠的な加振により高い充てん性が確保できるため、広い範囲の流動性が許容できることによるものである<sup>1)</sup>。スランブフロー試験結果を図-4 に示す。スランブフローの試験全数の平均値は、50.9cm であり全試験において品質管理規格値を満足するものを出荷することができた。

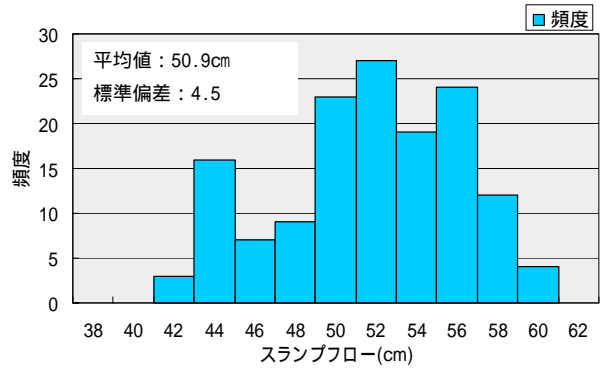


図-4 スランブフロー試験結果

#### 4.2 単位容積質量

沈埋函においては、沈設時の安定確保のため単位容積質量は重要な管理項目である。図-5 に単位容積質量の試験結果を示す。

本工事では、品質管理規格値を 2.25 ~ 2.40t/m<sup>3</sup>、日平均で 2.30t/m<sup>3</sup> 以上と設定している。品質管理試験の結果、試験全数の平均値は 2.329t/m<sup>3</sup> を確保し、全試験において品質管理規格値を満足するものであった。

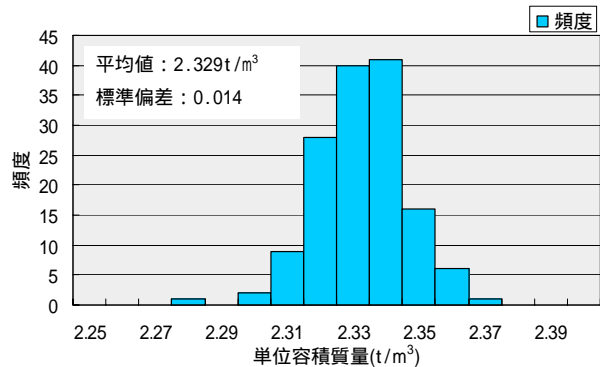


図-5 単位容積質量試験結果

#### 4.3 フレッシュコンクリートの単位水量

本工事では、単位水量の測定に中性子水分計を用いて行った。中性子水分計の原理は、図-6 に示すように、中性子線源から発生した速中性子がこれと同じ質量をもつ水素原子との衝突によって最も効率よくエネルギーを失って熱中性子に変化することを利用しており、計数管による熱中性子数の検知によってフレッシュコンクリート中の水分量を推定するものである<sup>3)</sup>。

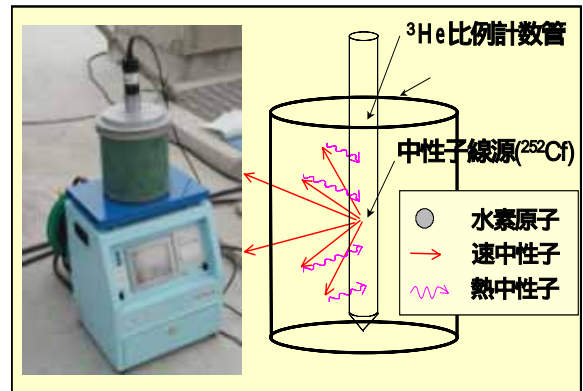


図-6 中性子水分計の測定概要

この方法は、各現場ごとに事前に校正試験を行う必要があるが、使用中は迅速かつ簡便に、精度良く単位水量を推定できる方法である。

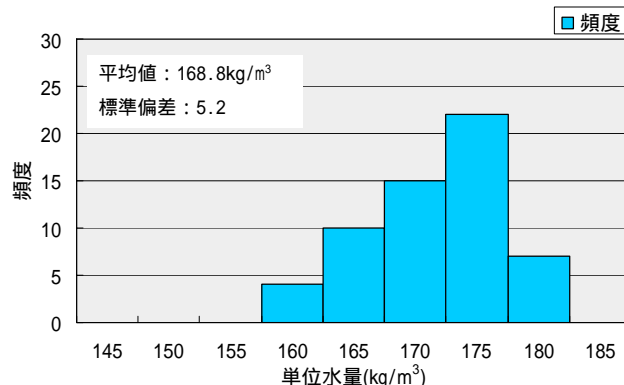


図-7 単位水量測定結果

図-7 に単位水量の測定結果を示す。単位水量は示方配合の値 165kg/m<sup>3</sup> に対し、製造プラントへ迅速にフィードバックすることにより、- 9.3 ~ + 13.2kg/m<sup>3</sup> の範囲で管理することが出来た。

## 5. 運行管理

合成構造の沈埋函にコンクリートを確実に充てんするためには、良好な品質のコンクリートを連続的に鋼殻内に打設する必要がある。そのため、交通渋滞による生コン車の到着遅延や、何らかのトラブルによる材料切れなどが発生しないよう、十分な運行管理が求められる。これは、コンクリートを充てんする各殻室が鋼板に囲まれた閉鎖空間であるため、もし未充てん部を発生させた場合、施工後にコンクリート自体の点検や補修等が非常に困難なことが主な理由となっている。

そこで本工事では、生コン車の運行情報と筒先での進捗が常に工場・運行管理室・筒先の3箇所で情報共有できるよう、「トータル打設管理システム」を構築し、施工管理の重要なツールとして導入を行った。

このシステムは、生コン車にGPSを取り付け、その運行を管理するGPS運行管理システムと、PDA(携帯型PC)を利用して現場担当者が運行状況の確認、打設状況の把握を可能にした筒先管理システムの2つのシステムから構成されている。このシステムを位置や状況などをお互いが確認できるよう、相互通信方式を採用することで、情報共有化を可能にした。これにより、出荷工場や運行管理室でも打設の進捗が分かり、また現場担当者側でもコンクリートの出荷状況や運行状況がPDAで確認できることから、運行管理、打設管理の確実性や精度を高めることができた。

図-8にPDA管理画面を示す。

本システムによる運行管理を行うことにより、出荷全数において可使時間内での打設を行うことができた。

図-9に出荷全数の製造から打込みまでの経過時間を示す。

製造から打込み完了までの平均所要時間は、35分と、可使時間90分に対し十分余裕のある打設が行えた。また所要時間が1時間を越えたものの割合は全体の6.7%だった。

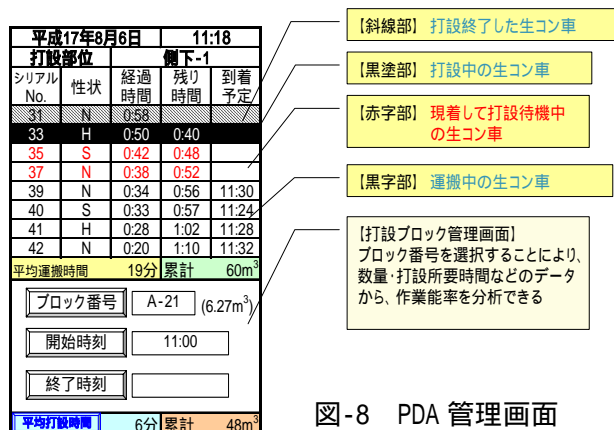


図-8 PDA 管理画面

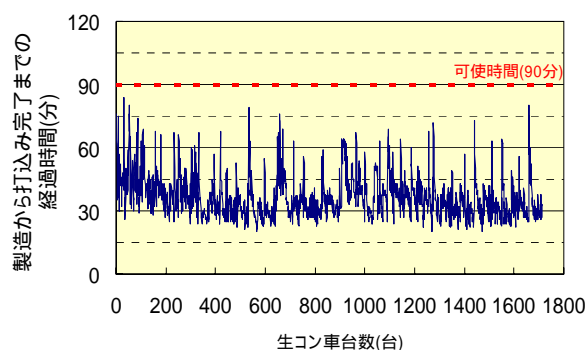


図-9 製造から打込み完了までの経過時間

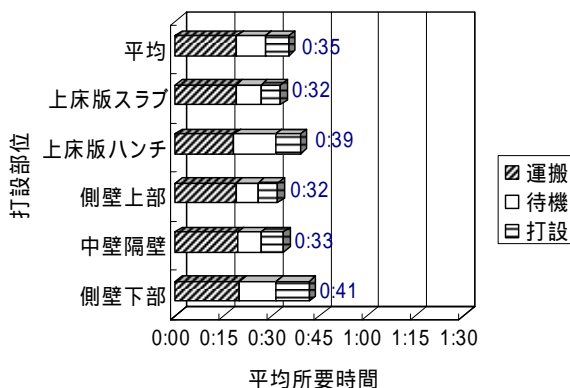


図-10 製造から打込みまでの経過時間  
(状態・打設部位ごと)

図-10は製造後、打込みまでの経過時間を「運搬」・「待機」・「打設」の3つの状態に分け、打設部位ごとに示したものである。

この図から、上床版ハンチ部と側壁下部において、平均所要時間を上回っているのが分かる。これは、上床版ハンチ部が1部屋ごとの打設数量が少なく1日あたり打設区画数の多いこと、側壁下部は施工開始初期段階で施工そのものの習熟度が低かったこと、また側壁中段まで作業員が降りる必要があり、段取り替えに時間がかかることなどが理由として挙げられた。

## 6. 充てん管理

充てんコンクリートでは、適切な位置において、適切な頻度で加振を行う必要があるため、前述のマニュアル<sup>1)</sup>に従って管理方法を設定した。またマニュアルに記載されていない箇所(本工事で鉄筋部がそれにあたる)では、事前に実大モデル実験を行うことにより、管理方法を決定した。

各打設箇所における加振範囲と加振頻度を表-6に、隔壁部の加振範囲について図-11に示す。

本工事で、全打設区画において、充てんコンクリート打設時に空気孔から高さ30cm以上の立ち上がりを確認しており、高流動コンクリートと同等に充てんされたものと判定した。しかし、今回は沈埋函への初適用ということもあり、全区画打込み完了後にも打音検査を行い、未充てんの恐れのある箇所を10箇所抽出して直接目視確認を行った。確認方法は部分的に上鋼板を削孔し、コンクリートと上鋼板の隙間を直接隙間ゲージにて測定する方法で行い、測定箇所全10箇所において隙間平均1.7mm(規格値5mm以下<sup>1)</sup>)と、打音検査による抽出箇所においても、良好な充てん状況であることが確認された。

## 7. まとめ

今回本工事に於いて、国内初となる充てんコンクリートを用いた施工を行った。実施工での実績がなく、また暑中環境での打設ということもあり様々な問題が考えられたが、それらの問題点をそれぞれ掘り下げながら対策を講じ、慎重に施工を行うことで無事施工を完了できた。また同時に、品質管理規格外品発生率0%、可使時間範囲内打設率100%、未充てん部発生率0%を達成し、充てんコンクリートが合成構造沈埋函に対して、十分な適用性を有することが確認できた。

最後に本工事を行うにあたり協力いただいた関係各所に対して、厚く御礼申し上げたい。

表-6 打設箇所における加振範囲と頻度

打設箇所	加振範囲	頻度
端部鋼殻下床版および上床版	打設開始から上鋼板まで	5秒/分
壁	鉄筋、ダイヤフラム及び上床板上鋼板付近	

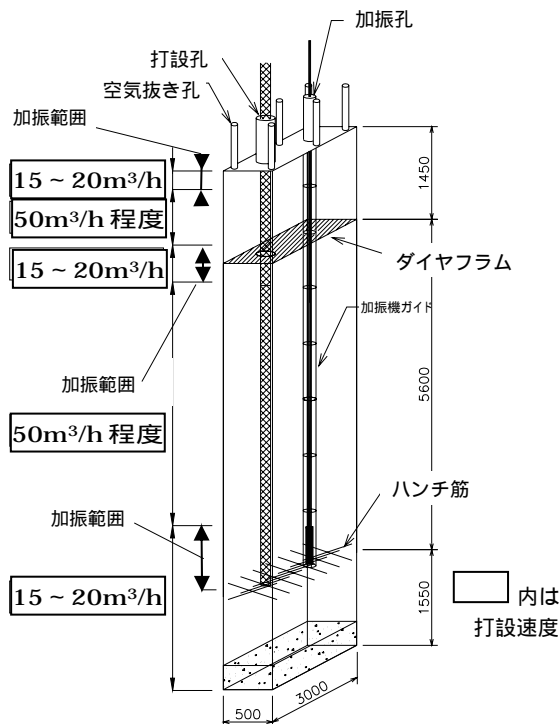


図-11 加振範囲と打設速度(隔壁)

## 参考文献

- 1) (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
- 2) 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.698，2005.4
- 3) 山田雅裕，森沢友博，羽瀧貴士，守分敦郎，北澤 真：中性子水分計を用いた単位水量の測定に関する研究，フレッシュコンクリートの単位水量迅速測定及び管理システムに関するシンポジウム論文集，pp13-18，2002.12