

報告 実機プラントで製造した合成構造沈埋函に用いる加振併用型充てんコンクリートの性能

壹岐 直之^{*1}・山路 徹^{*2}・内藤英晴^{*3}・安田直弘^{*4}

要旨：内部振動機などによる加振を間欠的に併用することで、所要の充てん性と硬化品質を発揮できる加振併用型充てんコンクリートについて、環境温度、細骨材表面水率の変動、高性能AE減水剤の添加量がフレッシュ性状に及ぼす影響を調べた。その結果、環境温度が30℃程度の場合においても、暑中タイプの高性能AE減水剤を用いることで所要の性能を確保できること、細骨材表面水率の変動および高性能AE減水剤の添加量がフレッシュ性状に及ぼす影響は環境温度が20℃程度の場合と同等であることが判った。

キーワード：充てんコンクリート、加振、フレッシュ性状、暑中環境、実機プラント

1. まえがき

鋼-コンクリート合成構造沈埋函に充てんするコンクリートとして、加振併用型充てんコンクリート¹⁾（以下、充てんコンクリートと略す）の適用性を検討している²⁾。充てんコンクリートは、従来使用されてきた高流動コンクリートと同等の高い充てん性能の確保とコスト縮減を目的として開発したものであり、内部振動機などを用い、例えば1分毎に1回5秒程度の間欠的な振動を加えることによって、所要の充てん性能を発揮させる特徴を持つ。これまで、海砂を用いた充てんコンクリートのフレッシュ性状や充てん性能については確認されている³⁾。

本報告は、暑中環境における充てんコンクリートの性能の把握を目的として、室内で小型ミキサを用いて行った実験⁴⁾（以下、室内実験と略す）および暑中環境において実機プラントで行った実験（以下、実機実験と略す）の結果をとりまとめたものである。環境温度、細骨材表面水率の変動、高性能AE減水剤（以下、SPと略す）の添加量がフレッシュ性状に及ぼす影響に着目し、両実験での比較を行った。また、実機実験において型枠内に充てんコンクリートを打

込むことで流動性能を確認した結果についても述べる。

2. 実験概要

2.1 コンクリートの使用材料

室内実験および実機実験で用いたコンクリートの使用材料を表-1に、細骨材の粒度分布を図-1に示す。

表-1 コンクリートの使用材料

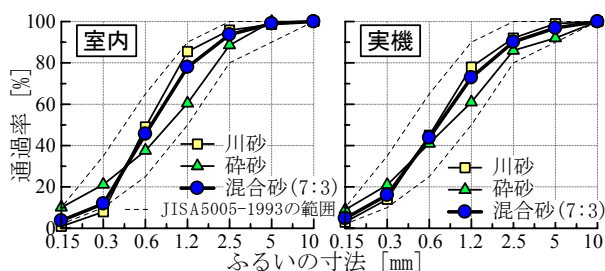
材料名	種類・仕様	
	室内実験	実機実験
セメント (C)	高炉セメントB種 密度3.04g/cm ³ ，比表面積4000cm ² /g	
細骨材 (S)	川砂：中国福建省産	
	表乾密度2.56g/cm ³ 吸水率1.43% 微粉分量0.79% 粗粒率2.62	表乾密度2.57g/cm ³ 吸水率1.27% 微粉分量0.85% 粗粒率2.70
	砕砂：兵庫県西島産	
	表乾密度2.58g/cm ³ 吸水率1.44% 微粉分量10.67% 粗粒率2.82	表乾密度2.57g/cm ³ 吸水率1.66% 微粉分量3.90% 粗粒率2.90
粗骨材 (G)	碎石(2005)：兵庫県西島産	
	表乾密度2.64g/cm ³ 吸水率0.75% 粗粒率6.72	表乾密度2.63g/cm ³ 吸水率0.94% 粗粒率6.62
高性能AE減水剤 (SP)	ポリカルボン酸系	
	標準タイプ 暑中タイプ	暑中タイプ
空気量調整剤 (AE助剤)	陰イオン界面活性剤	

*1 若築建設（株） 技術研究所 博(工)（正会員）

*2 (独) 港湾空港技術研究所 地盤・構造部 材料研究室 主任研究官 工修（正会員）

*3 五洋建設（株） 土木本部土木部 部長 博(工)（正会員）

*4 佐伯建設工業（株） 建設本部技術部 係長



図－１ 細骨材の粒度分布

表－２ コンクリートの配合（基本ケース）

	G_{max} [mm]	空気量 [%]	単位量 [kg/m ³]				SP [C×%]	AE助剤 [C×%]
			W	C	S	G		
室内	20	4.5	168	425	852	830	1.10	0.0005
実機	20	3.0	171	433	866	842	1.55	0.0020

表－３ コンクリートのフレッシュ性状の目標値

項 目	目 標 値
スランプフロー	500±100 mm
U型充てん試験 ^{注1)} 自己充てん高さ	200 mm 以上
フレッシュ性状 の保持性	上記の水準を練混ぜ終了から90分以上満足すること
ブリーディング率	2.0 % 以下

表-2～5において、注1)：充てん装置を用いた間隙通過性試験。
注2)：表面水率による配合補正では負の値を設定した。

これらの材料は大阪地区の一般的な生コンクリート工場で用いられているものである。SPは、環境温度に応じて、標準的なタイプと暑中環境でも流動性の経時的な低下を抑制できる暑中タイプの2種類を用いた。

細骨材は、川砂と砕砂の2種類を粒度分布がJISで定められた範囲（JIS A 5005-1993）の中心に位置するように、川砂：砕砂＝7：3で混合した混合砂を用いた。混合砂の粗粒率は、室内実験では2.68、実機実験では2.76である。

2.2 コンクリートの配合

室内実験および実機実験に用いたコンクリートの配合を表－2に示す。これらの配合は、表－3に示す目標値を満足するよう設定したものであり、目標値とは実物大の鋼殻モデルを用いた充てん実証実験²⁾に基づき、円滑な施工性と確実な充てん性を確保するために設定された水準である。

2.3 コンクリートの練混ぜ方法

コンクリートの練混ぜは、室内・実機の両実験ともに、粗骨材以外の材料を15秒間練混ぜた後、粗骨材を加えて75秒間、合計90秒間練混ぜる方法とした。

表－４ 実験ケース

実験	設 定 条 件			実験要因
	環境温度	細骨材表面水率の設定値	SPのタイプ・添加量[C×%]	
室内	20℃	実測値 (=0.5～0.7%)	標準 1.10	基本配合
	10℃		標準 1.00	環境温度
	30℃		標準 1.10	
			暑中 1.40	
	20℃	実測値+1.0% 実測値-1.0% ^{注2)}	標準 1.10	表面水率の変動
		実測値	標準 1.00 標準 1.20	SP添加量
実機	30℃	実測値 (=2.2～2.5%)	暑中 1.55	基本配合
		実測値+0.5%		表面水率の変動
		実測値-1.0%		
		実測値	暑中 1.40 暑中 1.70	SP添加量

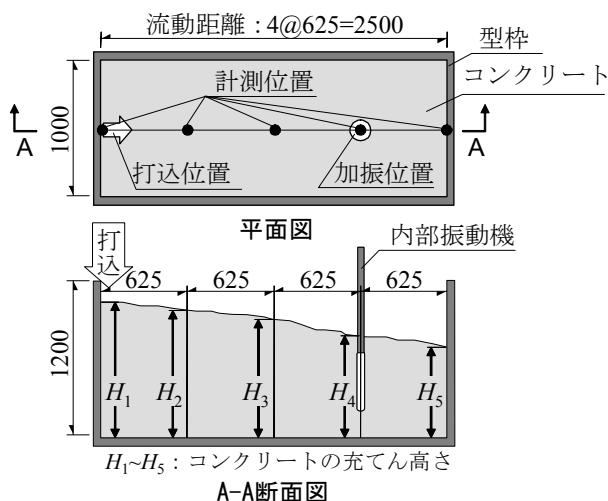
表－５ フレッシュコンクリートの試験項目

試 験 項 目	試 験 方 法
スランプフロー試験	JIS A 1150-2001 に準拠
U型充てん試験 ^{注1)}	JSCE-F511-1999 に準拠 U型容器、障害R2, $B_{h-max}=340mm$
空気量試験	JIS A 1128-1999 に準拠
単位容積質量試験	JIS A 1116-1998 に準拠
ブリーディング試験	JIS A 1123-1997 に準拠

2.4 フレッシュコンクリートの試験方法

実験ケースを表－4に示す。実験は、容量0.1m³の2軸強制練りミキサを用いて練混ぜたコンクリートを、環境温度を制御した恒温室内でフレッシュ性状を調べた室内実験、および容量2.5m³の2軸強制練り実機ミキサで製造したコンクリートを暑中屋外でフレッシュ性状を調べた実機実験の2種類である。室内実験では環境温度、細骨材表面水率の変動、およびSP添加量の影響を調べ、実機実験では暑中環境における基本配合の確認と、細骨材表面水率の変動、およびSP添加量の影響を調べた。なお、実験では細骨材表面水率を直接操作することが困難であるため、単位水量補正計算での表面水率設定値を操作することで表面水率の変動を模擬し、例えば表面水率の実測値が1.0%であるときに設定値1.5%とした場合を+0.5%として示した。

練混ぜ終了から5,30,60,90分後（以下、練混ぜ終了からを省略し、＊分後と表す）に表－5に示す試験を行ってフレッシュ性状の変化を調べた。これらの試験は、室内実験ではコンクリートを静置し、実機実験ではコンクリートをトラックアジテータ内で低速回転しながら、所定の



図－2 流動状況確認実験の方法

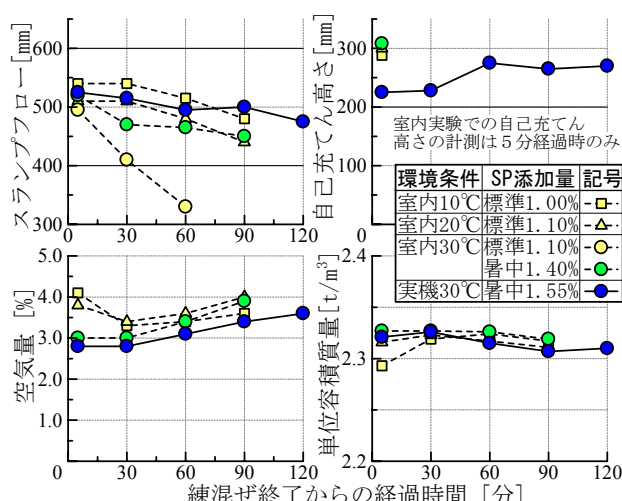
試験時刻に必要な量の試料を採取して実施した。

コンクリート温度は、室内実験では環境温度と同等、実機実験では29.8～32.5℃であった。

なお、室内実験でのU型充てん試験は5分後のみとし、室内30℃において標準タイプのSPを用いたケースではスランプフロー試験しか行っていない。実機実験では基本配合ケースのみ120分後にも試験を行った。また、空気量調整剤(=AE助剤。添加量の単位はC×%)の添加量は、室内10℃では0.0、室内30℃では0.0015とし、これら以外は表－2に示したとおりである。

2.5 流動状況の確認実験

実機実験での基本配合のケースと細骨材の表面水率を+0.5%としたケースでは、フレッシュ試験が終了した後(120分あるいは90分後)のコンクリートを図－2に示す型枠に H_1 が700 mm程度に達するまで打込み、コンクリートの充てん高さを計測して流動状況を確認した。引き続き内部振動機(φ5cm,14400rpm,200V)により振動を加えて、加振の効果を同様に確認した。ここで、このコンクリートが対象としている合成構造沈埋函では鋼板に囲まれた一区画(上床版では長さ3.5m,幅3.5m,厚さ1.0m)を、その中心にある打設孔からコンクリート打込んで充てんさせる。この実験での流動距離2500mmは、上床版一区画の中心から隅角部までの水平距離に対応させたものである。また、加振の位置は既往の研究³⁾によって決定された位置である。



図－3 フレッシュ性状の経時変化(環境温度)

3. 実験結果および考察

3.1 環境温度の影響

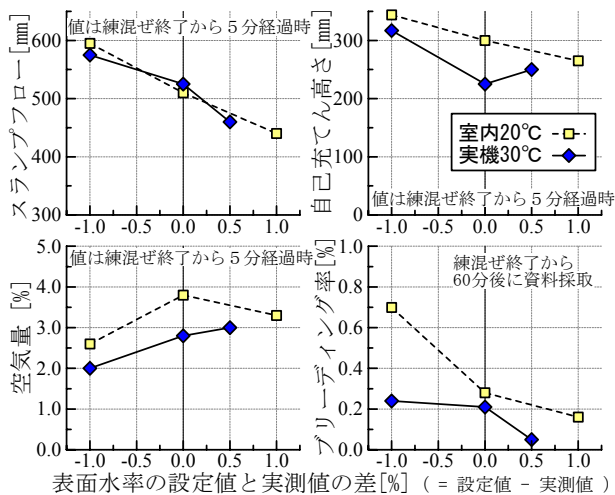
(1) スランプフローに及ぼす影響

フレッシュ性状の経時変化を図－3に示す。この実験では環境温度に応じてSPのタイプと添加量を調整したため、5分後での値はいずれのケースについても同程度であった。室内10,20℃の場合、スランプフローは30分後まではほとんど変化しなかったが、それ以降は低下する傾向がみられた。室内30℃で標準タイプのSPを用いた場合は、スランプフローが練混ぜ終了から30分間で100mm程度低下し、60分後には330mmとなって目標値を下回った。一方、暑中タイプのSPを用いた場合は、スランプフローの経時的な低下は緩やかで、90分後は450mmとなって目標値を満足した。

実機30℃では、室内実験の結果に基づいて暑中タイプのSPをC×1.55%添加したところ、5分後のスランプフローは525mmであった。スランプフローの経時的な低下は120分間で50mmの低下に留まり、目標値を満足した。

(2) 自己充てん高さに及ぼす影響

室内実験では、30℃の場合でも暑中タイプのSPを用いることによって、10,20℃の場合と同等の自己充てん高さを得ることができた。また、実機30℃では、5分後の自己充てん高さは室内実験での値より低いものの、時間経過に伴い自己充てん高さが増加する傾向が認められ、練混ぜ



図－４ 細骨材表面水率の変動による影響

終了から120分間、自己充てん高さは225～275mmと良好な性能を示した。

(3) 空気量および単位容積質量に及ぼす影響

実機30℃では120分後までの間に空気量は2.8%から3.6%に増加し、単位容積質量は、空気量の増加に伴って 2.321t/m^3 から 2.307t/m^3 に減少した。空気量および単位容積質量の変動は少なく、それらの変動を予め考慮した配合を設定することによって、実施工においても所定の範囲内に制御できると考える。

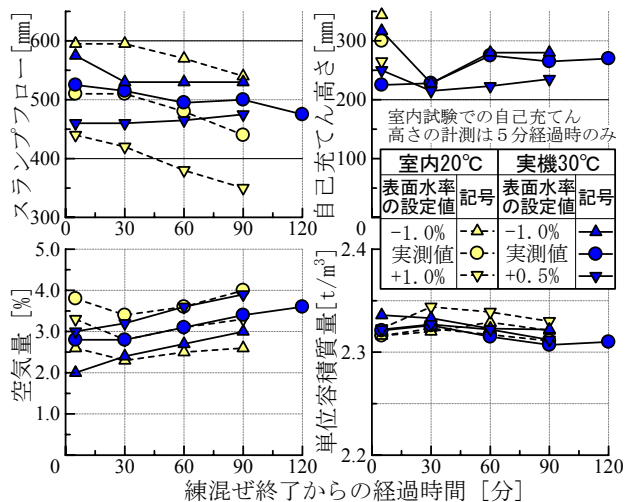
3.2 細骨材表面水率の変動による影響

細骨材表面水率の変動によるフレッシュ性状への影響を図－4に、フレッシュ性状の経時変化を図－5に示す。なお、表面水率の設定値を実測値より1%増やすことは、単位水量をおよそ 9kg/m^3 減らすことになる。

(1) スランプフローに及ぼす影響

室内20℃と実機30℃ともに同様の傾向を示し、表面水率1%の変動に対する5分後におけるスランプフローの変動は平均で77mmであった。

しかし、スランプフローの経時変化は室内20℃と実機30℃とで傾向が異なった。室内20℃実測値-1.0%のケースでは、5分後のスランプフローは595mmと大きく、90分後までのスランプフローの低下量は55mmであった。室内20℃で実測値+1.0%のケースでは、5分後に440mmと小さく、90分後までの低下量は90mmと大きかった。つまり、細骨材表面水率の変動（あるいは



図－５ フレッシュ性状の経時変化（表面水率）

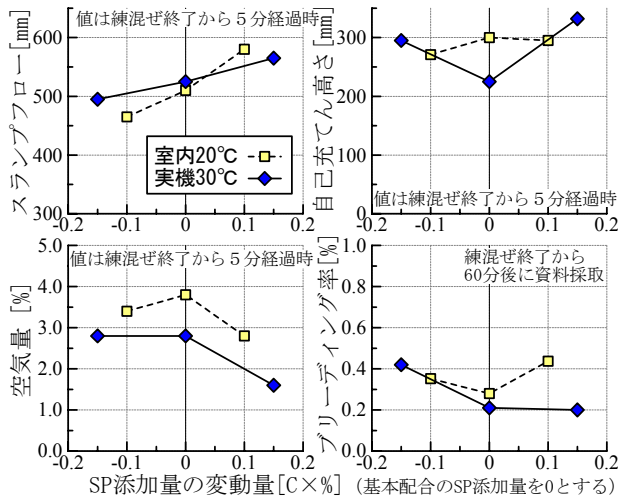
初期のスランプフロー値）に対して、経時的なスランプフローの低下量が異なったのである。一方、実機30℃でのスランプフローの経時変化は表面水率の変動に関わらず、90分後までの低下量は45mm以下であり、同様の傾向を示したとみなせる。室内20℃と実機30℃との経時変化の傾向が異なったことについて、実機30℃では暑中タイプのSPを用い、さらにSP添加量を多くした。このため、実機30℃ではスランプフローの経時的な低下が抑制されたものと考察する。

(2) 自己充てん高さに及ぼす影響

室内20℃では表面水率の設定値が実測値より増えると自己充てん高さが低下する傾向が認められ、自己充てん高さの変動は表面水率1%の変動に対して40mmであった。実機30℃でも、若干ばらつきはあるが、室内20℃と同様の傾向が確認できた。実機30℃での練混ぜ終了から90分間の自己充てん高さは、いずれのケースにおいても目標値の200mm以上を満足した。

(3) 空気量および単位容積質量に及ぼす影響

実測値-1.0%のケースは、基本配合のケースよりも空気量が室内20℃では1.2%、実機30℃では0.8%減少した。空気量の経時変化について、練混ぜ終了から30分後までは室内20℃では減少、実機30℃では増加と傾向は異なった。しかし、30分後から90分後までの1時間では、室内20℃と実機30℃ともに同程度に増加する傾向を示し、1時間の増加量は平均で0.55%であった。



図－6 高性能AE減水剤 (SP) 添加量による影響

単位容積質量は、空気量の変動に伴って増減したが、最小で 2.307t/m^3 、最大で 2.344t/m^3 であり、合成構造式沈埋函に用いるコンクリートの一般的な許容幅 $\pm 0.05\text{t/m}^3$ と比較して変動は少なかった。

(4) ブリーディングに及ぼす影響

室内 20°C と実機 30°C ともに、表面水率の設定値が減少する(単位水量が増加する)に従って、ブリーディングは増加する傾向が認められた。しかし、室内 20°C の実測値 -1.0% のケースにおいてもブリーディング率は 0.70% であり、目標値を満足した。

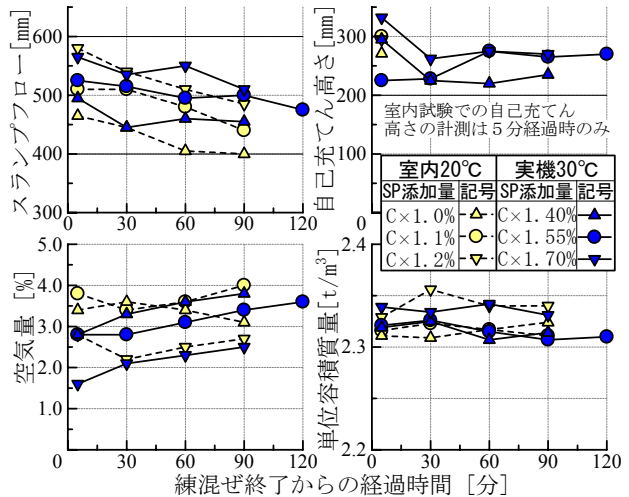
3.3 高性能AE減水剤 (SP) の添加量による影響

SP添加量のフレッシュ性状への影響を図－6に、フレッシュ性状の経時変化を図－7に示す。

(1) スランプフローに及ぼす影響

室内 20°C と実機 30°C とでは、SP添加量の増加に伴ってスランプフローが増加する傾向は同じであったが、増加する割合は異なった。増加する割合は、SP添加量 0.1% について室内 20°C では 58mm 、実機 30°C では 23mm であった。この差は、SPのタイプの違いによるものと考察する。

スランプフローの経時変化も室内 20°C と実機 30°C とでは傾向が異なった。室内 20°C ではSP添加量に関わらず、90分後までスランプフローは直線的に低下し、低下量は平均で 77mm であった。一方、実機 30°C でのスランプフローの低下は室内 20°C のケースよりも少なく、低下量は平



図－7 フレッシュ性状の経時変化 (SP添加量)

均で 40mm であった。経時変化の傾向の差異は、実機 30°C では暑中タイプのSPを用い添加量を多くしたため、スランプフローの経時的な低下が抑制されたためと考察する。

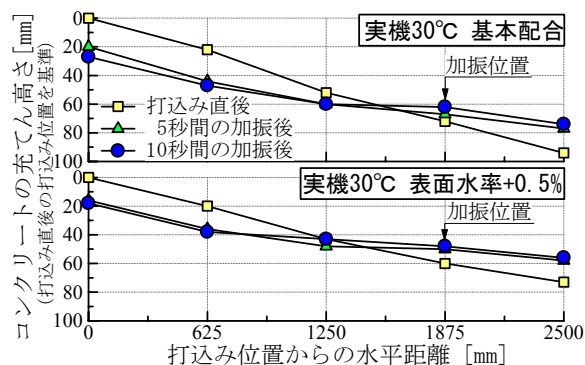
(2) 自己充てん高さに及ぼす影響

SP添加量と自己充てん高さとの関係について、本実験では相関関係は認められなかった。しかしながら、いずれのケースにおいても5分後の自己充てん高さは目標値の 200mm 以上であり、実機 30°C のケースでは練混ぜ終了から90分後までの間すべて目標値を満足した。

(3) 空気量および単位容積質量に及ぼす影響

室内 20°C と実機 30°C ともに、SP添加量を増やすと空気量が減少する傾向が認められた。SP添加量を増やしたケースは、基本配合のケースよりも空気量が室内 20°C では 1.0% 、実機 30°C では 1.2% 減少した。空気量の経時変化について、室内 20°C では5分後までは減少し、その後は増加する傾向を示し、一方、実機 30°C では単調増加する傾向を示した。これらの傾向は表面水率を要因としたケースと同じであり、室内 20°C と実機 30°C との傾向の違いは実験方法の違いによるものと考察する。

単位容積質量は、空気量の変動に伴って増減したが、最小で 2.307t/m^3 、最大で 2.356t/m^3 であり、合成構造式沈埋函での一般的な許容幅 $\pm 0.05\text{t/m}^3$ と比較して変動は少なかった。



図－8 充てんコンクリートの流動状況

(4) ブリーディングに及ぼす影響

SP添加量とブリーディングとの関係について、本実験では相関関係は認められなかった。しかし、いずれのケースにおいてもブリーディング率は目標値の2.0%以下を満足した。

3.4 流動性の確認結果

流動勾配を確認した結果を図－8に示す。上のグラフは実機30℃基本配合のケースであり、練混ぜ終了から133分後に実験用の型枠（図－2）内にコンクリートを打込んだものである。打込み直後の平均流動勾配は38/1000であった。下のグラフは実機30℃で表面水率を実測値+0.5%としたケースであり、練混ぜ終了から101分後に打込んだものである。打込み直後の平均流動勾配は29/1000であった。一般に、表面水率を実測値+0.5%としたケースのほうが、基本配合のケースよりも単位水量が少なくなるため流動勾配が大きくなるはずであるが、今回の実験では練混ぜ終了から打込みまでの時間は基本配合のほうが30分多く、このため打込み直前のスランプフローが両方とも同じ値（475mm）となり、流動勾配も同程度になったと考える。

加振の効果について、基本配合のケースでは5秒間加振した後の平均流動勾配は23/1000、10秒間加振した後の平均流動勾配は19/1000であった。表面水率を実測値+0.5%としたケースでは、5秒間加振した後の平均流動勾配は17/1000、10秒間加振した後の平均流動勾配は15/1000であった。実構造物で考えた場合、加振によって打込み位置と端部との高低差を6cm程度することができると、円滑な施工ができると考える。

また、5秒の加振時間で十分な効果が得られるという、既往の文献^{1),3)}を裏付ける結果が得られた。

4. まとめ

- (1) 環境温度が30℃程度の場合、標準タイプのSPを用いるとスランプフローの経時的な低下量が多く、充てんコンクリートの目標値（表－3）を満足しなくなるが、暑中タイプのSPを用いることによって実機プラントで製造した場合でも目標値を満足することを確認した。
 - (2) 表面水率の変動、および高性能AE減水剤の添加量が充てんコンクリートの練混ぜ直後のフレッシュ性状に及ぼす影響について、30℃の暑中環境において実機プラントで製造した場合と、20℃の環境温度において室内の小型ミキサで製造した場合とは同じ傾向を示すことを把握した。ただし、フレッシュ性状の経時変化はSPのタイプと添加量によって異なった。
 - (3) 充てんコンクリートの流動勾配を実構造物と同じスケールで確認した結果、練混ぜ終了から133分後においても、加振によって高い流動性を発揮できることを確認した。
- なお、本報告は国土交通省国土技術政策総合研究所、(独)港湾空港技術研究所、早稲田大学、(財)沿岸技術研究センター、五洋建設(株)、佐伯建設工業(株)、東亜建設工業(株)、東洋建設(株)、若築建設(株)による共同研究の一部である。

参考文献

- 1) 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) 末岡英二，佐野清史，勝海務，清宮理：合成構造物充填コンクリートの適用性に関するモデル実験，コンクリート工学年次論文報告集，Vol.23，No.2，pp.1033-2038，2001.7
- 3) 大和竹史，東俊夫，渡邊和重，白石悟：合成構造物充てんコンクリートの開発，コンクリート工学，Vol.41，No.7，2003.7
- 4) 末岡英二，羽瀧貴士，壹岐直之，清宮理：合成構造沈埋函に用いる加振併用型充てんコンクリートの性能に関する検討，コンクリート工学年次論文報告集，Vol.26，No.1，pp.1611-1616，2004.7