

サンドイッチ構造施工実験における高流動 コンクリートの充填性とその検査方法

高橋 秀樹¹・西田 徳行¹・園山 哲夫²・城代 高明³

¹正会員 西松建設(株)技術研究所 (〒242-8520 神奈川県大和市下鶴間2570-4)

²正会員 運輸省第三港湾建設局神戸港湾工事事務所 所長 (〒651-0082 神戸市中央区小野浜町7-30)

³運輸省第三港湾建設局大阪港湾空港工事事務所 次長 (〒552-0021 大阪市港区築港2-1-2)

サンドイッチ合成構造沈埋函の製作工事に、高流動コンクリートを適用することとなった。本工事では、密閉されたサンドイッチ鋼殻内へコンクリートを充填することから、充填状況や充填後の出来形確認が難しく、確実なコンクリートの充填と充填検査方法の確立が要求された。そこで、高流動コンクリートの充填性と充填検査方法を検討するため、サンドイッチ構造の実大モデルによる充填実験と人工空隙を作製した模擬試験体を用いて、各種非破壊試験による充填検査の性能比較を行った。

その結果、高流動コンクリートの充填実験から適用した配合の妥当性を確認し、充填性を高める打設方法を選定した。また、充填検査方法として、R I (γ 線)法と打音法を併用する方法を選定した。

Key Words: : *high fluidity concrete, self-compactability, full-scale model, immersed tunnel, sandwich composite structure, radioisotope method by γ ray, depth of air void*

1. はじめに

神戸港港島トンネルには、沈埋トンネルが採用され、この沈埋トンネルには施工性や経済性の向上および工期短縮を目指し、世界最初となるフルサンドイッチ構造（鋼板などからなる鋼殻とそれに囲まれたコンクリートが一体となって外力に抵抗する鋼とコンクリートの合成構造）の沈埋函が採用された¹⁾。

サンドイッチ構造では、密閉された鋼殻内への確実なコンクリートの充填が要求されるので、締固め不要の高流動コンクリートの使用が有効である。

しかし、高流動コンクリートの充填性などのフレッシュ時の性状は、骨材の品質変動、温度などの環境条件の変化、製造からの経過時間などにより、鋭敏に変化する。また、締固めが不要なことから、そのフレッシュ時の性状の限度を超えればつきは構造物の欠陥の形成に繋がる可能性があり、所要性能を満足した高流動コンクリートを安定して供給するため、製造時の品質管理が重要となる。

また、サンドイッチ構造では、コンクリートの充填状況や出来形を確認できないことから、コンクリートを確実に充填するとともに、充填検査方法を確立する必要があった。

本文は、粉体系高流動コンクリートを用い、沈埋函上床版部のサンドイッチ合成構造をモデル化した実物大施工実験を行い、高流動コンクリートの充填性、および人工空隙を作製した模擬試験体を用いて、施工後の充填検査方法について検討したものである。

2. 工事概要と施工上の課題

(1) 工事概要

港島トンネルは、神戸市の第六突堤とポートアイランドを結ぶ延長約520mの道路用海底トンネルで、沈埋函6函で構成される。1函の大きさは、高さ9.1m、幅34.6m、長さ87.4m、重さ約27,000tである。

沈埋函の構造は、上床版、下床版、側壁、中壁および隔壁で構成され、これらのうち上面の型枠が不要な下床版はメリットがないことからサンドイッチ化が見送られ、オープン構造となっている。それ以外はコンクリートの周囲を鋼板で囲むフルサンドイッチ構造となっている。

サンドイッチ構造のメリットとしては、配筋・型枠作業の低減、鋼殻の工場におけるプレハブ生産化による現地施工の短縮化などが挙げられる。

沈埋函の基本断面を図-1に示す。

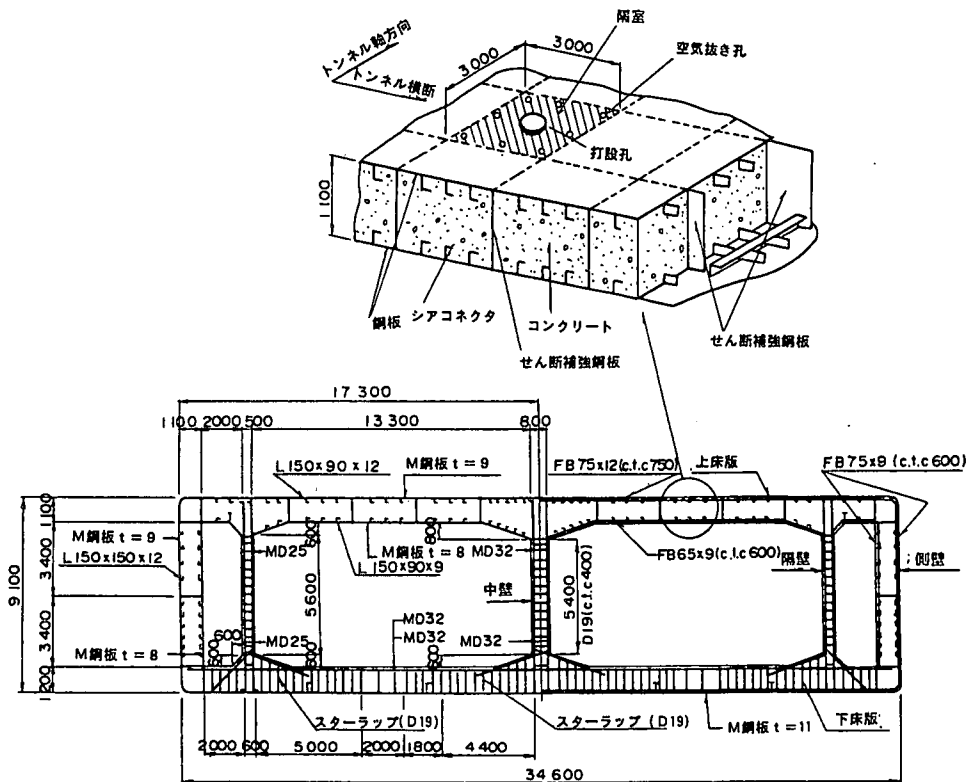


図-1 沈埋函基本断面図

(2) 施工上の課題

高流動コンクリートはほぼ実用段階に入りつつあったが、本沈埋函のようにコンクリートの充填や充填確認が困難な大規模構造物に適用することは初めてであり、次のような施工上の課題があった。

密閉されたサンドイッチ鋼殻、特に上床版はせん断補強鋼板によって標準形状 $3\text{m} \times 3\text{m} \times 1.1\text{m}$ に仕切られた隔壁となっている。上下鋼板にはシアコネクタが取り付けられ、充填しにくい構造となっているにも拘わらず、上部鋼板に密着するようにコンクリートを充填しなければならない。また充填状況や出来形を確認できず、さらに打設のやり直しや未充填部の補修が困難といった課題があった。

3. 高流動コンクリートの充填実験

(1) 実験概要

a) 実験目的

本工事を対象とした小門らの充填実験²⁾や久米らの施工実験³⁾を基にした示方配合(案)が提示されており、この示方配合(案)における高流動コンクリートの充填性を確認、検討することを目的として、実施工を想定した施工実験を実施した。

b) 高流動コンクリートの製造

本工事は、沈埋函2函を製作する工事で約12,000 m^3 と大量の高流動コンクリートを約2ヶ月の間、ほぼ毎日打設する工程(日平均打設量約350 m^3)である。そのためレディーミクストコンクリート工場のトラブルを回避できるよう2工場を選定し、実験を行った。したがって、それぞれの工場におけるフレッシュ時の所要の性状を満足させる高性能A/E減水剤使用量の相違などが想定され、これらを事前に把握することも管理上のポイントとなる。

c) 高流動コンクリートの配合および使用材料

示方配合(案)を表-1に、2工場の使用材料を表-2に示す。

なお、使用材料や環境温度などを変動させた配合試験⁴⁾から高性能A/E減水剤の温度依存性により、その使用量は施工時期により適切に選定しなければならないことがわかっており、示方配合(案)の高性能A/E減水剤使用量は暫定的なものである。

d) 高流動コンクリートの品質管理試験と目標品質

高流動コンクリートの充填性評価指標は、本工事を対象とした前記充填実験²⁾、施工実験³⁾などを参考に、フレッシュ時のスランプフロー試験、V75漏斗流下試験、さらに鋼殻内上部での空隙発生に影響

表-1 高流動コンクリートの示方配合 (案)

配合	粗骨材の最大寸法 (mm)	空気量 (%)	水結合材比 (%)	水粉体容積比 (%)	細骨材率 (%)	単位粗骨材絶対容積 (m ³ /m ³)	単 位 量 (kg/m ³)				
							水	セメント	スラグ	細骨材	粗骨材
粉体系	20	5.0以下	30.0	89.2	50.0	0.300	176	粉体P (587)	778	777	7.6 (P×1.3%)
								176			

表-2 使用材料

材 料		種 類	
セメント		普通ポルトランドセメント 密度3.16g/cm ³ , 比表面積3,010cm ² /g	
混和材		高炉スラグ微粉末 密度2.90g/cm ³ , 比表面積6,000cm ² /g級	
A 工 場	細骨材	海砂	密度2.55g/cm ³ , 粗粒率2.38, 吸水率1.94%
		砕砂	密度2.59g/cm ³ , 粗粒率2.96, 吸水率1.13%
		海:砕=75:25	密度2.56g/cm ³ , 粗粒率2.51, 実積率64.0%
	粗骨材 (砕石2005)	Gmax=20mm, 密度2.63g/cm ³ , 吸水率0.93%, 粗粒率6.64, 実積率58.7%	
B 工 場	細骨材	海砂	密度2.55g/cm ³ , 粗粒率2.39, 吸水率1.98%
		砕砂	密度2.58g/cm ³ , 粗粒率3.09, 吸水率1.92%
		海:砕=70:30	密度2.56g/cm ³ , 粗粒率2.61, 実積率63.7%
	粗骨材 (砕石2005)	Gmax=20mm, 密度2.64g/cm ³ , 吸水率1.86%, 粗粒率6.58, 実積率60.2%	
混和剤 (主成分)		高性能AE減水剤 (ポリカルボキシメチル系と架橋ポリマーの複合体)	

表-3 高流動コンクリートの目標品質

品質管理試験項目		目標品質
フレッシュ コンクリート	スランプロウ	65±5cm
	V75 漏斗流下時間	10±5秒
	空気量 (単位容積質量)	5%以下 (2.30~2.35t/m ³)
	ブリーディング率	0%
硬化 コンクリート	圧縮強度	f'ck= 30 N/mm ²
	単位容積質量 (500×500×H500試験体)	2.30~2.35t/m ³

を及ぼすと考えられるブリーディング試験等を管理試験項目とし、目標品質を表-3のように設定した。

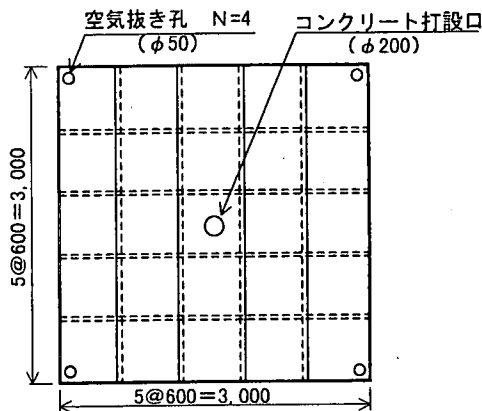
また、沈埋函を製作場所から沈設場所まで曳航する関係で、乾舷調整のため供試体での単位容積質量試験も加え、さらに空気量の試験後、重量を測定して単位容積質量のチェックを行うこととした。

なお、空気量は、5%を上限としただけの管理値としているが、フレッシュ時の品質のばらつきを抑えるため単位容積質量では、上下限値を設定した。

e) 鋼殻内への充填性の目標

本工事を対象とした未充填部を有するサンドイッチ部材の載荷試験⁶⁾から、充填性の目標として上面

[平面図]



[側面図]

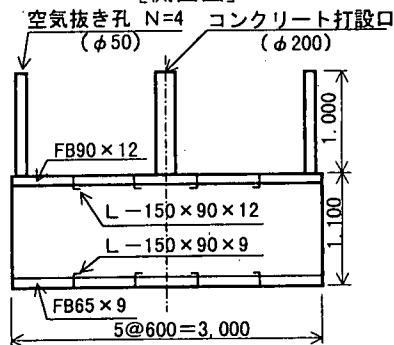


図-2 試験体の形状

鋼殻との空隙深さとして、許容平均空隙深さを5mm以内とした。

(2) 第1回施工実験

a) 実験目的

第1回施工実験は、高流動コンクリートの配合を確認・検討するとともに、高流動コンクリートの流動状況の把握および充填性を高めるための打設方法などの施工法を検討するために行ったものである⁶⁾。

b) 実験ケース

① 試験体

上床版の隔壁を対象として、実物大試験体を作製し、実験に供した。試験体形状を図-2に示す。

表-4 実験ケース

	型枠形状	試験体	打設方法	打設速度	突き棒
第1日	Type.A	No.1	筒先隔離	22.5m ³ /h	有
	Type.B	No.2	ホッパ	22.5m ³ /h	有
	Type.B	No.3	筒先隔離	30.0m ³ /h	有
第2日	Type.A	No.4	ホッパ	30.0m ³ /h	無
	Type.B	No.5	筒先隔離	30.0m ³ /h	無
	Type.B	No.6	筒先挿入	30.0m ³ /h	無

※Type.A：側面(4面)と上面にアクリル板使用

※Type.B：上面および側面の一部にアクリル板使用

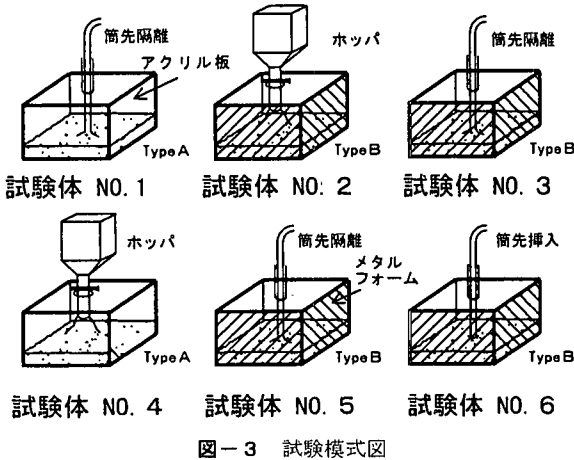


図-3 試験模式図

試験体は、隔室の標準形状3m×3m×1.1mとし、上下にシアコネクター(L-150)を配置した。

コンクリートの打設口(φ200mm)は中央部に、また上部鋼板と充填するコンクリートの間に溜まる空気を追い出すための空気抜き孔(φ50mm)として、それぞれアクリルのパイプを1m立ち上げた。

型枠の一部には、高流動コンクリートの流動および充填状況を目視できるようにアクリル板を使用した。

②打設方法

打設方法は、ポンプ筒先をコンクリート上端から少し離れた筒先隔離方式、打ち込んだコンクリート中に挿入したままの筒先挿入(圧入)方式およびホッパを介して打ち込むホッパ方式の3ケースで行った。

打設速度は、計画では22.5、30.0m³/hの2ケースとしたが、実験時には前半と後半で打設速度を変えるケースも実施した。

また、補助工法として、空気抜き孔から突き棒を挿入し、突き棒作業の有無による効果も検討した。実験ケースを表-4に、図-3に試験模式図を示す。

c) 実験結果

①高流動コンクリートの品質管理

本実験では、高流動コンクリートの打設数量が少ないことやその品質を確実に確保する目的から、細

骨材表面水率の測定は、フレッシュコンクリートの品質変動を抑えるために1時間おきに実施した。

さらに、フレッシュ時の品質管理試験は、アジテータ車全車毎に実施し、荷卸し時の試験結果は、製造工場へフィードバックして管理を行った。

また、高流動コンクリートの製造は、事前の実機試験練りから、全材料投入後の練混ぜ時間120秒のうち、75~105秒程度でミキサ負荷値がほぼ一定圧力値(10.3±0.5MPa程度)に収束したので、このミキサ負荷値を製造時の管理指標値とした。

なお、高性能AE減水剤の使用量は当日の試験練りにより決定した。

②高流動コンクリートの品質管理試験結果

第1回施工実験の試験結果を図-4~図-8に示す。

試験結果は、第1日出荷3台目のスランプフローが68cmと大きく、荷卸し時に管理値を外れることが予想されたため廃棄した。これは、試験施工の初期段階であったため、荷卸し時のスランプフローの伸びの予測がつかなく、安全をみての結果であった。

それ以降は、出荷10台目において、スランプフロー69cmでも出荷し、すべて目標管理値内に収まった。

しかし、1日目のスランプフローは目標管理値内には収まったが、全体的に65cmより下方にて安定しており、前記の充填実験²⁾、施工実験³⁾などから、充填性を考慮すると65~70cmの流動性が大きい高流動コンクリートが望まれたため、スランプフロー65~70cmの上方での管理が2日目の検討課題となった。

流動性が低い範囲で推移した原因としては、細骨材表面水率は若干低下する傾向であったが、製造量が多くないので表面水率の変動がないことが想定され、表面水率の測定値で単位水量が多くなるような場合には、所要のフレッシュ時の性状が得られるように高性能AE減水剤使用量を若干少なくする調整を行ったことが考えられる。さらに、1日の気温変動はさほどないことから高性能AE減水剤使用量の調整は必要ないと判断した。

以上の方針の下、2日目は、高性能AE減水剤使用量を固定した結果、スランプフロー65~70cmと流動性が高い範囲で安定した管理を行うことができた。

したがって、気温の変動が小さく、また細骨材表面水率の変動が小さい場合には、高性能AE減水剤の使用量を調整する必要がないことを確認できた。

また、骨材の粒度等使用材料が異なる各工場では、それぞれ所要のフレッシュ時の性状を得る高性能AE減水剤使用量が相違することも把握できた。

なお、圧縮強度は、高流動コンクリートの場合、水セメント比から決まっておらず、施工性から決まるため、A工場(σ₇=65.5N/mm², σ₂₈=81.4N/mm²)、B

アジテータ車台数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
高性能AE減水剤 使用量(P±%)	1.55	1.55	1.55	1.45	1.5	1.5	1.5	1.55	1.6	1.65	1.6

アジテータ車台数	1	2	3	4	5	6	7	8	9
高性能AE減水剤 使用量(P±%)	1.45	1.45	1.45	1.45	1.45	1.45	1.45	1.45	1.45

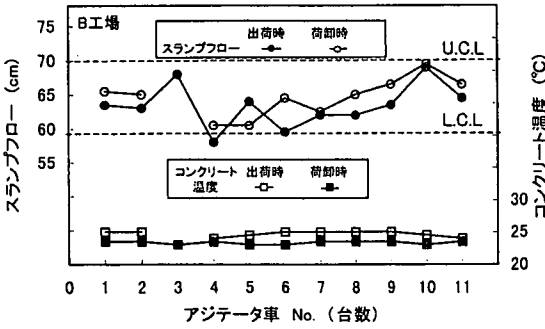


図-4 スランプフローとコンクリート温度 (第1日)

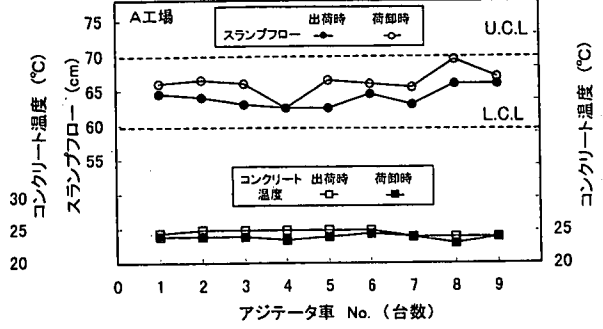


図-6 スランプフローとコンクリート温度 (第2日)

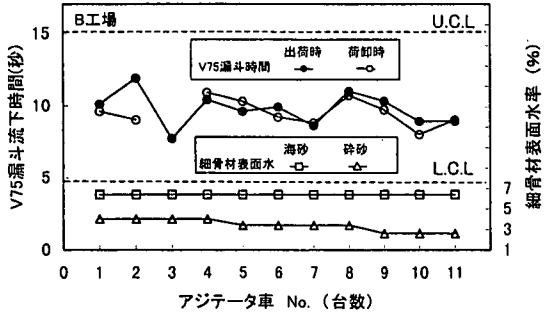


図-5 V75漏斗流下時間と細骨材表面水率 (第1日)

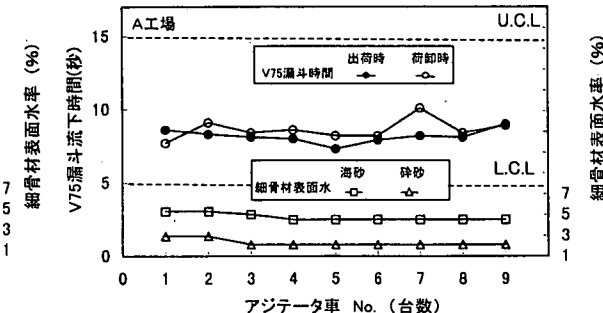


図-7 V75漏斗流下時間と細骨材表面水率 (第2日)

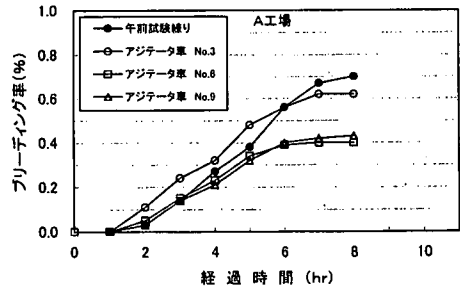
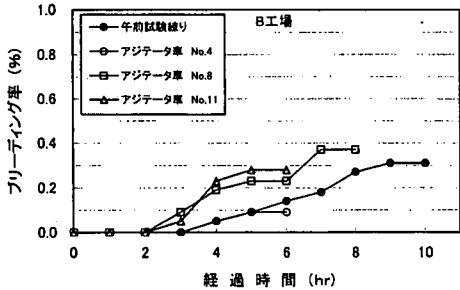


図-8 ブリーディング試験結果

工場 ($\sigma 7=61.0\text{N/mm}^2$, $\sigma 28=79.3\text{N/mm}^2$) と、設計基準強度を上回る十分な強度を発現した。試験練り結果は、A工場 ($\sigma 7=68.7\text{N/mm}^2$, $\sigma 28=89.9\text{N/mm}^2$), B工場 ($\sigma 7=66.8\text{N/mm}^2$, $\sigma 28=83.0\text{N/mm}^2$) であり、これらと今回の同一工場での試験結果を比較すると、両工場ともばらつきが少ないほぼ同様な結果が得られた。

空気量についても1.8~2.8%, 空気量と相関がある単位容積質量も2.34~2.35t/m³と目標をクリアした。

また、空隙発生に影響を及ぼすと考えられるブリーディング率は0.5%程度未満で、5mm以上の空隙の発生はなく、鋼殻内における目標の充填性を確保するためには、この程度のブリーディングが5mm以上の空隙発生に及ぼす影響は小さいと判断される。

③打設方法と高流動コンクリートの充填性

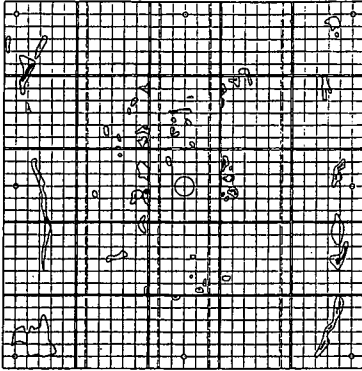
各試験体の充填状況を実測した結果を図-9に、

また、3mm以下と3~5mmの深さ毎の面積比率を画像処理して求めた上面充填率(以下、充填率と略す)の結果を表-5に示す。なお、充填率の測定は、上面型枠脱型後、残置した側面の型枠を利用して水系を張り、空隙の深さを測定し、空隙の範囲は、位置を測定しスケッチを描いて求めた。

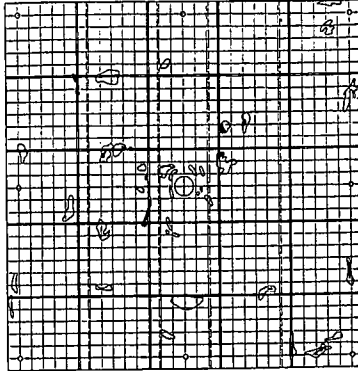
試験結果は、いずれのケースも5mm以上の空隙の発生はなく、空隙総体積を上面の面積で除して求めた空隙平均深さが0.1mm未満と目標の充填性の基準を満足した。また充填率は94~97%の範囲でいずれも前記の充填実験²⁾などと遜色ない結果が得られた。

打設方法に関しては、表-5の充填率結果によれば94~97%と有意差はみられないが、充填性を高められる方法を充填率の結果から選定することとした。充填率は、No. 4, No. 2, No. 1, No. 3, No. 5, No. 6

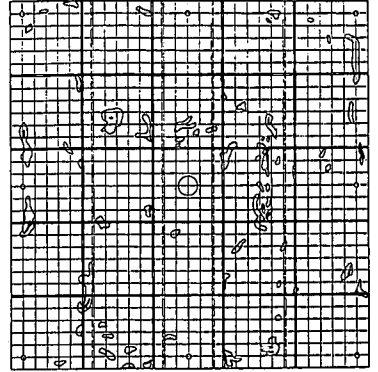
No. 1

筒先隔離方式 打設速度22.5m³/h 突き棒有り

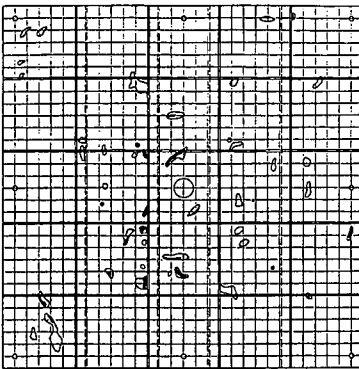
No. 2

ホップ方式 打設速度22.5m³/h 突き棒有り

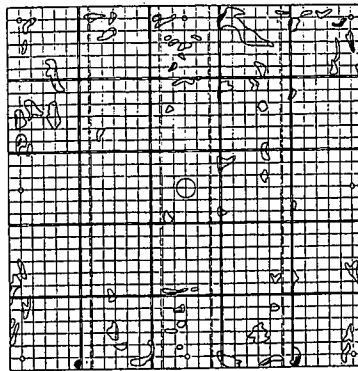
No. 3

筒先隔離方式 打設速度30.0m³/h 突き棒有り

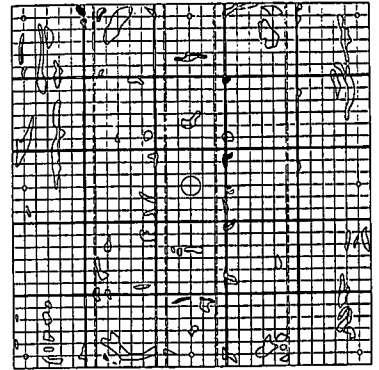
No. 4

ホップ方式 打設速度30.0m³/h 突き棒無し

No. 5

筒先隔離方式 打設速度30.0m³/h 突き棒無し

No. 6

筒先挿入方式 打設速度30.0m³/h 突き棒有り

空隙深さ □ : 0~3mm
 ■ : 3~5mm

図-9 試験体の上面充填状況

表-5 試験体の充填率

試験体	No.1	No.2	No.3	No.4	No.5	No.6
打設方法	筒先隔離	ホップ	筒先隔離	ホップ	筒先隔離	筒先挿入
打設速度(上端部)	22.5m ³ /h 15.0m ³ /h	22.5m ³ /h 15.0m ³ /h	30.0m ³ /h 15.0m ³ /h	30.0m ³ /h 15.0m ³ /h	30.0m ³ /h 30.0m ³ /h	30.0m ³ /h 30.0m ³ /h
突き棒	有	有	有	無	無	無
上面充填率(面積%)	96.04	96.24	95.83	96.72	94.47	94.12
空隙比率(%)	深さ0~3mm	3.63	3.89	2.75	5.08	5.50
	深さ3~5mm	0.33	0.27	0.28	0.53	0.38
空隙平均深さ(mm)	0.068	0.063	0.070	0.062	0.094	0.098

の順に低くなっている。

次に、筒先隔離方式のNo.1とホップ方式のNo.2および筒先隔離方式のNo.3とホップ方式のNo.4の同一の打設速度条件において、打設方法を比較すると、いずれもホップ方式の方が若干充填率が高い結果が得られた。突き棒作業の有無では、No.4とNo.3を比較すると突き棒作業を行わない方が若干充填率が高く、突き棒の効果はみられなかった。

また、打設速度について、試験体No.3とNo.5を比

較すると突き棒作業がないことを考慮してもNo.5はNo.3より充填率は低く、上端近くになってから打設速度を落とす方が充填率が高くなっている。

以上から、ホップ方式・突き棒作業を行わない方が充填率が高く有利になるが、筒先隔離方式においても打設速度を2段階にする方式によれば充填率を高くできると考えられる。なお、この方法は、空隙深さが3~5mm部分について着目するとホップ方式と比較しても遜色ない結果となっている。

表-6 実験ケース

Type	試験体 No.	モデル	型枠構造	V(m ³)	個数	摘要
A	2, 13	上床版	全面: アクリル	10	2	第1回施工実験結果の再確認用。筒先隔離方式により、上面から20cm下まで打設速度30m ³ /hで打込み、残りを15m ³ /hで打設。
B	4, 7, 16, 17	上床版	側面: メタル 上面: アクリル	10	4	上面充填度の再確認。
C	14	上床版	側面: メタル 上面: 鋼板	10	1	上面の鋼板とスチフナーはボルト接合とし、硬化後蓋を撤去。
D	6	上床版	全面: 鋼板	10	1	設計図書に指定されたもの。(試験施工用)
E	1, 3, 8, 9, 10 11, 12, 18, 19, 20	上床版	側面: メタル 上面: なし	10	10	高流動コンクリートの連続打設状況を確認するための試験体。途中、打設速度を高め、筒先からのコンクリートの吐出状況を確認。
F	5	隔壁	表面: アクリル 裏面: 鋼板	11.3	1	隔壁・一般部のモデル。打設口から一定速度で打設し、コンクリートの充填状況、流動勾配を確認。水平となるのに要する各打設口からの打設時間を確認。
G	15	隔壁	表面: アクリル 裏面: 鋼板	11.3	1	引き寄せジャッキ用箱抜き部分のモデル。1箇所の打設口からコンクリートを打設し、箱抜き部周りの充填状況を確認。

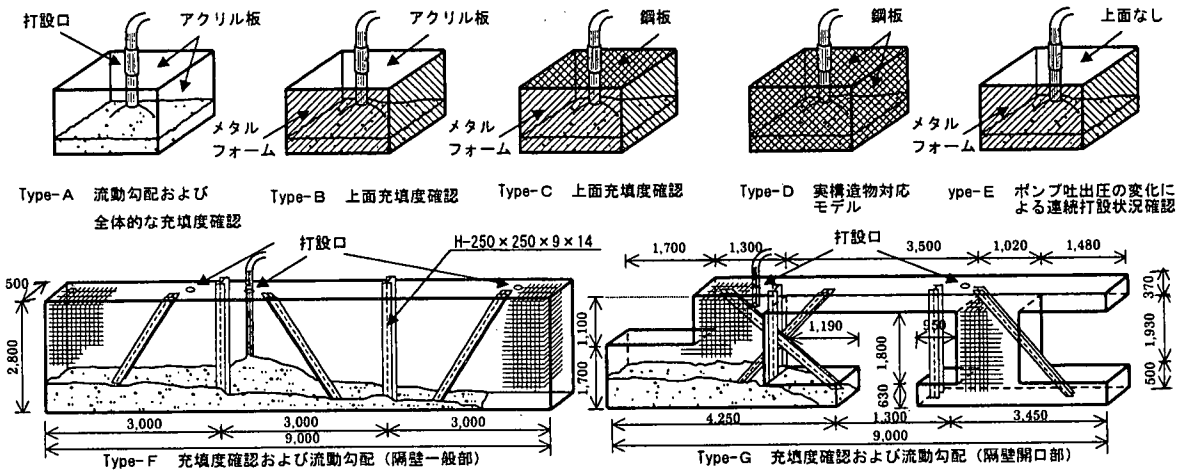


図-10 試験模式図

d) 第1回施工実験のまとめ

第1回実験結果をまとめると、次のとおりである。

- ①高流動コンクリートの配合と品質管理
高流動コンクリートの品質は、ブリーディングが若干発生したのを除けば目標値内に収まり、安定したコンクリートの供給が可能であることを確認できた。また5mm以上の空隙はなく、所要の充填性が得られたことから配合の妥当性を確認できた。したがって、今後は実施工に即した高流動コンクリートの連続製造による品質管理が重要なポイントとなった。
- ②打設方法と高流動コンクリートの充填性
ホップ方式の方が充填率が若干高い結果が得られたが、筒先隔離方式においても打設速度を初期は30m³/hの速度で、上端近くでは速度を15m³/hに落とす2段階式を採用すれば、ホップ方式と遜色ない充填性を確保できる。したがって、ホップ方式では移動据付けなどに時間を要することや経済性から、打設方法として打設速度を2段階にする筒先隔離方式を採用し、効果がなかった突き棒は行わない方針とした。

(3) 第2回施工実験

- a) 実験目的
第2回は、実施工規模に近い打設量を想定した高流動コンクリートの連続製造・運搬・打設を行って、配合確認と鋼殻隔壁内への充填度を評価し、実施工に向けての問題点を把握するために実施した。
- b) 実験ケース
試験体は、第1回実験と同様な上床版モデルと充填が困難と想定された隔壁下部の部分モデルとした。上床版モデルは、流動状況を確認するためアクリル板を使用したもの、完全に鋼板で密閉したものなど5タイプの型枠構造とした。隔壁モデルは、一般部と箱抜き部分をモデルにした2タイプである。
実験ケースを表-6に、試験模式図を図-10に示す。なお、試験体は20体で、打設量は約100m³である。
- c) 実験結果
①高流動コンクリートの品質管理試験結果
フレッシュ時の品質管理試験の頻度は、実施工を想定し、最初の連続5台および25m³(5台毎)に1

アジテータ車台数	1	2	3	4	5	11	16	21
高性能AE減水剤 使用量(Px%)	1.45	1.45	1.45	1.45	1.45	1.45	1.45	1.45

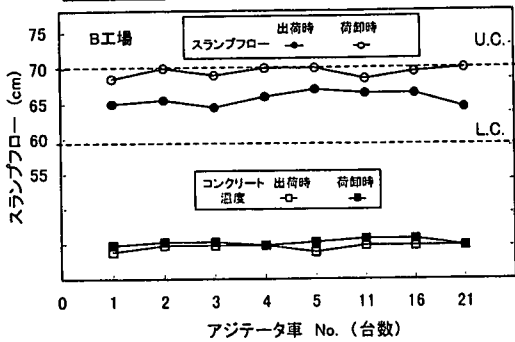


図-11 スラップフローとコンクリート温度 (第1日)

アジテータ車台数	1	2	3	4	5	11	13	16	21
高性能AE減水剤 使用量(Px%)	1.45	1.45	1.45	1.45	1.45	1.45	1.45	1.45	1.45

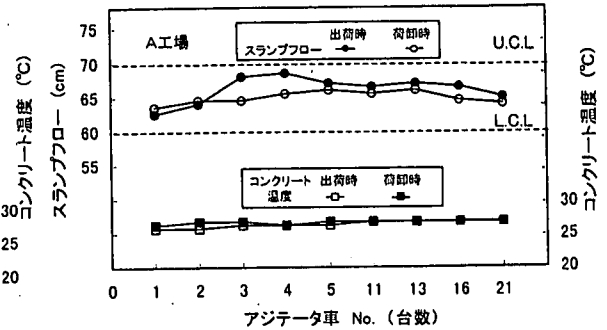


図-13 スラップフローとコンクリート温度 (第2日)

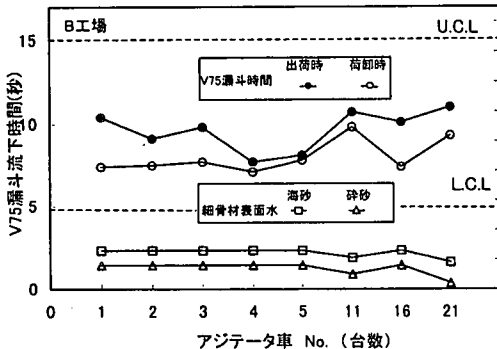


図-12 V75漏斗流下時間と細骨材表面水率 (第1日)

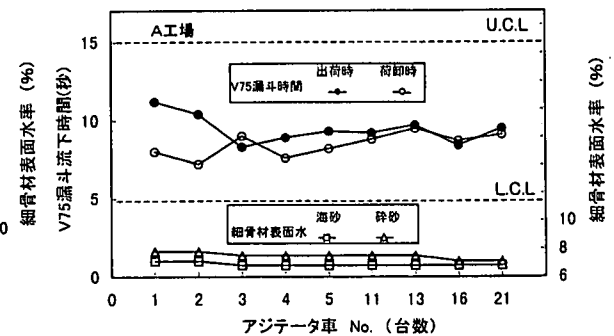


図-14 V75漏斗流下時間と細骨材表面水率 (第2日)

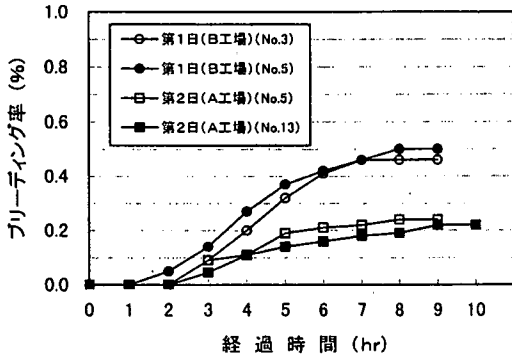


図-15 ブリーディング試験結果

回の頻度で実施した。また、細骨材表面水率の測定は、原則として1時間に1回の頻度で測定したが、試験両日とも雨で、両工場とも骨材が野積みであることから、その他にも細骨材を触った感触で、表面水率が変動したと判断できた場合に測定を実施した。また、高性能AE減水剤の使用量は気温の変動が小さかったことから固定して管理した。

第2回施工実験におけるフレッシュコンクリートの品質管理試験結果を図-11~図-14に示す。

試験結果は、前述のように2日とも雨だったことにより骨材の表面水率が変動したが、高流動コンク

リートの品質はすべて目標値内であり、安定した品質の高流動コンクリートを供給できたと考えられる。

次に、ブリーディング試験結果を図-15に示す。ブリーディング率は、0.2~0.5%と若干発生した。

なお、圧縮強度は、A工場($\sigma 7=67.3\text{N/mm}^2$, $\sigma 28=88.2\text{N/mm}^2$), B工場($\sigma 7=61.9\text{N/mm}^2$, $\sigma 28=81.5\text{N/mm}^2$)とも所要強度を上回り、試験練り時とほぼ同様な結果が得られた。空気量についても1.8~2.2%、単位容積質量はすべて 2.35t/m^3 と目標をクリアした。

②高流動コンクリートの充填度

1) 上床版モデル

コンクリートの打設方法は、筒先隔離方式により、上面から20cm下まで打設速度 $30\text{m}^3/\text{h}$ で打込み、残り上面までは、 $15\text{m}^3/\text{h}$ を基本として打設を行った。

各試験体の充填状況を図-16に、上面充填率(以下、充填率と略す)の測定結果を表-7に示す。

なお、Eタイプは打設量を確保し、打設状況を確認するための試験体で、上面の蓋は取付けていないため充填率は測定していない。

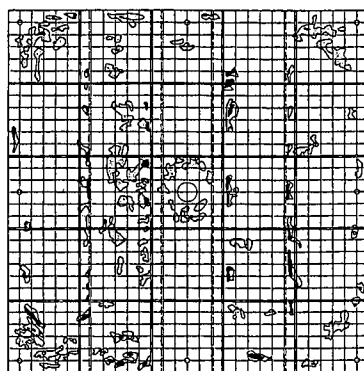
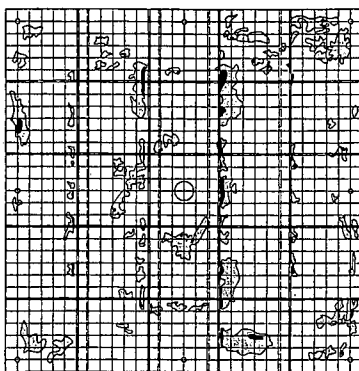
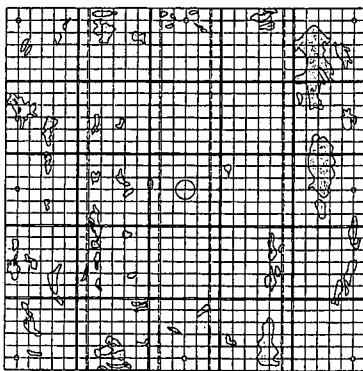
充填結果は、今回も5mm以上の空隙はなく、空隙平均深さは概ね0.1~0.17mm程度と、充填性の基準である平均空隙深さ5mm以内を満足する結果が得られた。

なお、充填率は、第1回に比較すると若干低くな

No. 2

No. 4

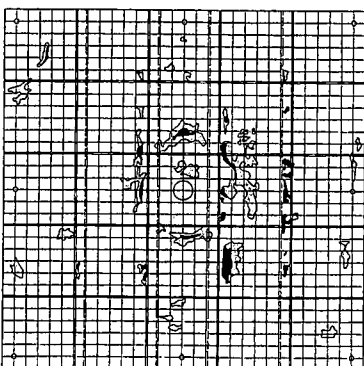
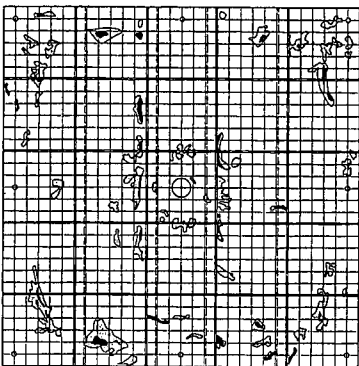
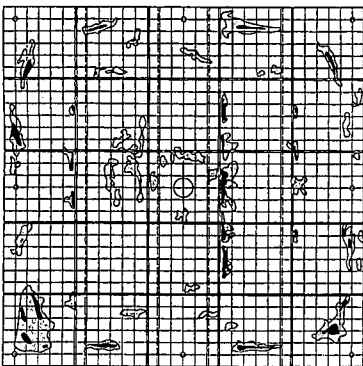
No. 6



No. 7

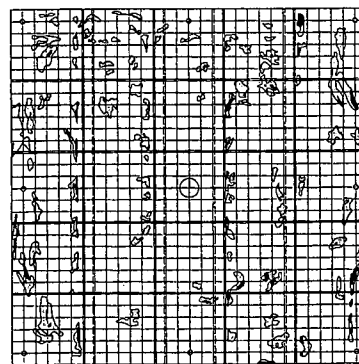
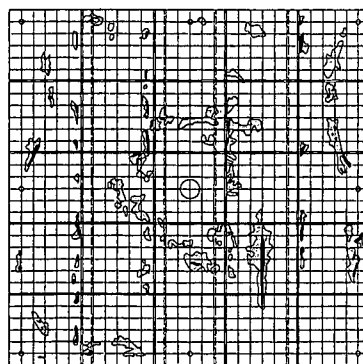
No. 13

No. 14



No. 16

No. 17



空隙深さ : 0~3mm
 : 3~5mm

図-16 試験体の上面充填状況

表-7 上床版モデル試験体の上面充填率

試験体	No. 2	No. 4	No. 6	No. 7	No. 13	No. 14	No. 16	No. 17
タイプ	A	B	D	B	A	C	B	B
打設速度 " (前半) m^3/h " (後半) m^3/h	35 15	15 15	30 15	15 15	30 15	30 15	35 15	30 15
上面充填率(面積比%)	92.89	90.34	91.94	91.03	93.95	95.07	92.81	91.86
空隙比率 (%)	深さ0~3mm	6.90	8.94	7.16	7.71	5.25	6.36	7.29
	深さ3~5mm	0.21	0.72	0.90	1.26	0.80	0.83	0.85
空隙平均深さ	0.112	0.163	0.143	0.166	0.111	0.097	0.129	0.143

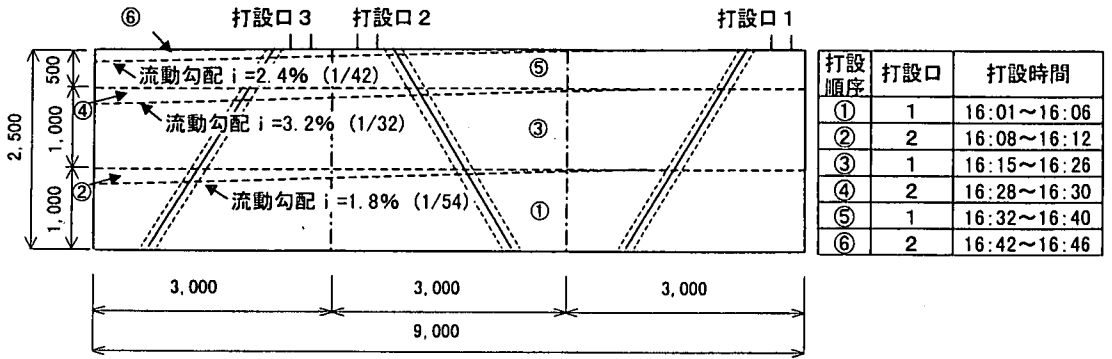


図-17 隔壁タイプモデル (Type F) 打設状況

った。今回の充填率が若干低くなった原因としては、実施工レベルの施工数量という施工に近い実験になったことから、アジテータ車運行スケジュールの乱れやポンプ車の移動、筒先セットの遅滞などにより、必ずしも1試験体の打設がアジテータ車等の待ち時間なしにスムーズに行えずコンクリートの流動性や充填性が低下したことが挙げられる。

また充填率は、No. 14, No. 13, No. 2, No. 16, No. 6, No. 17, No. 7, No. 4の順に低くなっている。

この結果から、第1回実験同様に、すべて $15\text{m}^3/\text{h}$ でゆっくり打設したNo. 4, No. 7の試験体の充填性が低いことにより、下部の打設はできるだけ速やかに行き、上部だけ速度を落とす2段階の打設方式が要求されることを再確認した。なお、No. 14の充填率が高かったのは、アジテータ車の待ち時間などがなくスムーズに打設が行えたことが考えられる。

次に、打設終了時点の空気抜き孔からのコンクリート立上がり高さを測定した結果、ほとんど30cm以上であった。したがって、上床版などのコンクリート打設終了の判断については、鋼板で密閉されて目視による判断ができないことから、空気抜き孔から立上げたアクリル管により、コンクリートが30cm程度上昇した時点とすることとした。

ロ) 隔壁モデル

隔壁モデルType Fの打設状況を図-17に示す。

隔壁については、当初長さ方向9m当たり3カ所の各打設口を設け、ポンプ筒先を小刻みに移動するなど各打設口におけるサイクルを設定して高流動コンクリートを打設することとしていた。しかるに、図-17に示すように、打設口1より5分程度打設した結果、トラス材や鉄筋があるにも拘わらず、高流動コンクリートの流動勾配は1.8~3.2%と、1mの立上がり高さでレベルに近い状態になり、打設口2から補助的に打設すれば、ほぼレベルとなった。

したがって、隔壁など壁部の打設に関しては、打

設サイクル等の細かい設定や打設量の管理は必要なく、縦のトラス材で仕切られた3m毎の打設区画の隣接した各投入口から順次打設し、打上り高さを管理するだけで、十分充填できることを把握できた。

また、隔壁モデルType Gについても隣接した各打設口より順次打設したが、側面のアクリル板から目視したところ、箱抜き部分の充填状況についても、充填性が高いことを確認できた。

ド) 第2回施工実験のまとめ

第2回実験結果をまとめると、次のとおりである。

① 高流動コンクリートの充填性

イ) 上床版モデル

第2回実験は、第1回実験を踏まえ筒先隔離方式とし、打設速度は上面から20cm下がりまでは $30\text{m}^3/\text{h}$ で、その後上面までは $15\text{m}^3/\text{h}$ を基本として打設した。

その結果、第1回実験に比較すると、前述のように充填性は若干低下したが、本工事を対象として十分な充填性が得られたと報告されている前記の施工実験³⁾などと遜色ない良好な充填性を再確認できた。

以上から、高流動コンクリートの製造管理を適切に行えば、気泡の閉じこめやブリーディングによる僅かな未充填部は存在すると考えられるが、5mm以上の空隙深さはなく、充填性に関する問題点はほとんどないと判断できた。

なお、今回は施工数量が多く実施工に近い実験となったことから、前述のように運行スケジュールの乱れなどによる打設作業の一部がスムーズでなく、これらにより充填率が低下したことが考えられるので、実施工においては、高流動コンクリートの鉄則である連続打設に留意することとした。

ロ) 隔壁モデル

9mスパンの隔壁であったが、一箇所の打設口からの打設により、トラス材、鉄筋があるにも拘わらず高流動コンクリートはほぼ水平を保って打設され、補助的に隣接した他の打設口から打込めば完全に充

填できることを確認した。また、タイプGの箱抜き部分についても隅々まで充填できた。

②高流動コンクリートの配合

高流動コンクリートの配合については、細骨材表面水率の測定頻度を高くしてその変動を的確に把握するとともに測定値の設定、さらに高性能A E減水剤使用量を適切に調整できれば、要求品質を満足し、上床版および充填性が懸念された隔壁への充填性も高く、配合の妥当性を確認できた。

なお、ブリーディング率については0%が目標であったが、試験結果は0.2~0.5%程度発生した。

ここで、ブリーディング試験結果と充填性との関係を考察する。

1 隔壁に発生するブリーディングが上面の空隙発生に影響を及ぼすものとして、ブリーディング率が0.5%の場合で算出すると、表面部分には約1mmの空隙が発生することになる。しかるに、充填率の試験結果では、算出した空隙平均深さは0.2mm程度未満となっている。

このブリーディングによる空隙量が一致しない原因としては、ブリーディング試験の測定には長時間を要することから、各アジテータ車毎に実施できなかったこと、およびブリーディング試験の容器の大きさとモデル試験体との高さやボリュームの違いなどにより、実際のブリーディング量が不明なことが挙げられる。さらに、充填試験結果が実測とはいえず、空隙の浅い部分の測定は必ずしも精度が高くないことなどが考えられる。

また、高流動コンクリートのように水粉体比が小さいコンクリートや高炉スラグ微粉末の置換率が高いコンクリートの場合、ブリーディングによるコンクリートの沈下が生じた後にも自己収縮が発生し、その収縮量も大きいといわれているが⁷⁾、自己収縮量を計算すると約0.2mm($1100 \times 180 \times 10^{-6}$)とブリーディングよりも小さく問題視される収縮による沈下量にはなり得ないと考えられる。

以上のように、今回の試験結果からブリーディングと充填性の関係を明確に言及することは難しく、今後の検討すべき課題と考えられる。

粉体系高流動コンクリートのブリーディングは、高性能A E減水剤を比較的多量に使用することから凝結が遅くなり、その結果ブリーディングを0に抑えることはかなり難しいと判断した。したがって、ブリーディング率が0.5%未満程度であれば、ブリーディングや自己収縮による沈下量を考慮しても充填性の基準である許容空隙平均深さ5mm以内を満足する結果が得られていることから、ブリーディング率の目標として、0.5%未満で管理することとした。

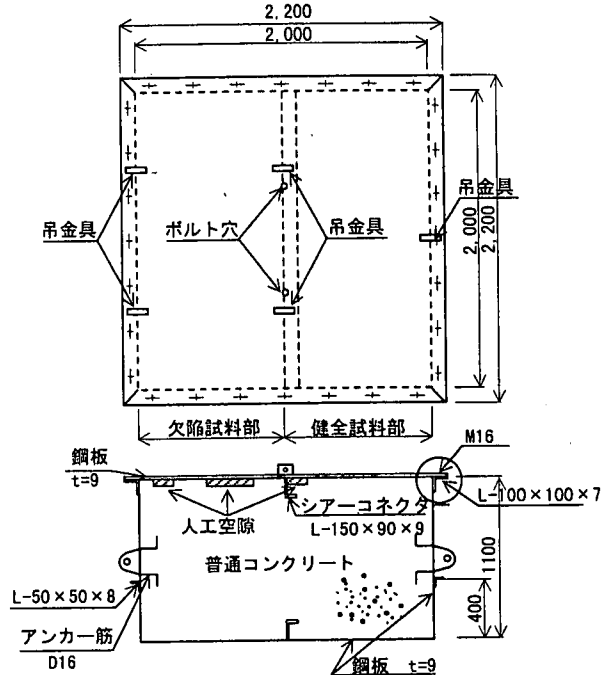


図-18 試験体形状

4. 充填検査方法の検討

(1) 実験概要

a) 実験目的

高流動コンクリートがサンドイッチ鋼殻内への充填性が高いことを、施工実験により検証できた。

しかし、高流動コンクリート充填後の目視による出来形確認が不可能なことから、充填後の検査方法も重要な課題である。充填性の目標は、上床版の上面鋼板とコンクリート表面との間に生じる空隙深さが許容空隙深さ5mm以内としており、実施工においてこれを検査する必要がある。

そこで、人工の空隙を設けた模擬試験体を作製して、種々の非破壊試験による空隙測定を行い、各方法の測定精度および出来形管理への適用性について比較検討した。

b) 試験方法と試験体

実施した非破壊試験方法は、①超音波法、②R I (中性子)法、③R I (γ線)法、④赤外線サーモグラフィ法、⑤打音法の5つである。

①試験体形状

試験体形状を図-18に示す。

試験体寸法は、2m×2m×1.1mの直方体とし、供試体の上下面および側面は、実際の鋼殻を想定しt=9mmの鉄板で覆う。上面の鋼板は、取外しが可能な構造とし、シアコネクタを模したアングル材を上下面にそれぞれ1本取り付け付けた。

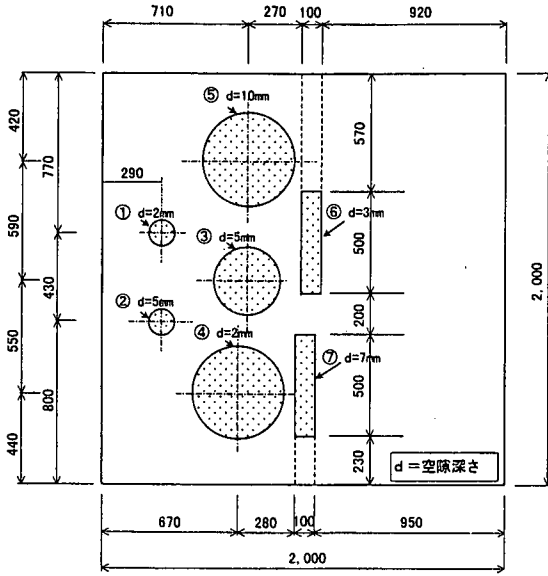


図-19 人工空隙位置・形状

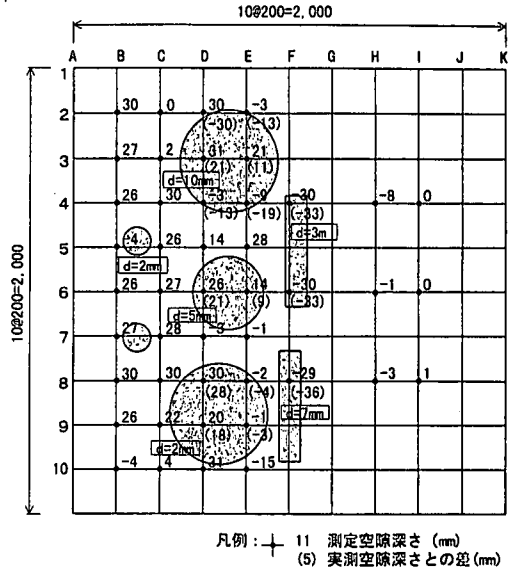


図-20 超音波法測定結果

②人工空隙の作製

人工空隙は、コンクリートを打設した翌日、鋼板を外した状態で、鋼殻とコンクリート表面との空隙を模した欠陥部分を人工的に作製した。なお、検査時には鋼板を取り付けておくこととした。

空隙は、次の要因を考慮して、図-19に示す配置および形状とした。

- ・発生位置（中央，シアコネクタ廻り）
- ・形状（円形，長方形）
- ・寸法（100～500mm）
- ・深さ（2～10mm）

なお、試験体中央で区域を2分し、片側は人工空隙を含まない健全部とし、各検査方法の校正値を取得するためのエリアに使用した。

(2) 実験結果

a) 超音波法

①測定方法

超音波法の反射法により空隙測定を行った。ただし、試験体上面からの測定は、超音波の透過速度が固体と空隙部では異なることから、空隙分布の把握は可能であるが、空隙から固体部へ向けての空隙深さの測定は、逆の場合の固体部から空隙深さの測定を比較すると、測定精度が劣る。そこで、試験体を直立させ、人工空隙のない下面側から、20×20cmのメッシュを作製し、その交点の測定を実施した。

空隙深さは、健全部を測定した校正値から空隙部の測定値を差し引き、空隙深さを求めた。なお、健全部の厚さは実際には、1109mm(コンクリート厚1100

mm+鋼板厚9mm)であるが、健全部6点(H, I列)で校正した結果1110mmで、これを校正値とした。したがって、測定値が1079mmであれば、空隙深さは31mm(1110-1079)となる。

②測定結果

測定結果を図-20に示す。

測定結果は、空隙の深さ、分布状況とも良好な結果は得られなかった。空隙の深さでは、測定誤差の範囲が-33～28mmとなり、今回想定している5mmといったオーダーの測定は困難である。

また、分布状況についても特定できず、欠陥部については健全部と同じような値になっている。

したがって、今回測定対象の上床版部に関しては、床版上面に空隙が発生することから、測定精度および下面からの測定となるため、測定用足場が必要となり、実際の適用は難しいと判断された。

b) R I (中性子)法

①測定方法

散乱型の間隙測定器を使用し、測定に先立ち、アルミ板(t=10mm)を使用した間隙調整によるキャリブレーションを行い、データ読み値と空隙量を関係づける校正曲線を設定した。

測定器が30cm×40cmであるため、30cm×40cmのメッシュを型枠上面に作成し、このメッシュおよびメッシュ中央で1分間の測定を行った。次に、校正値を基に空隙があると予想された範囲について細かいピッチで測定を行い、空隙の範囲を測定した。

コンクリートの材齢による違いを調査するため、打設直後のフレッシュコンクリート状態時とコンク

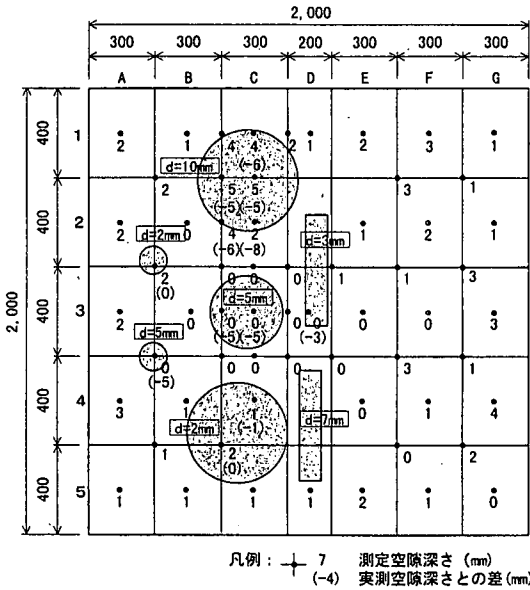


図-21 RI (中性子) 法測定結果

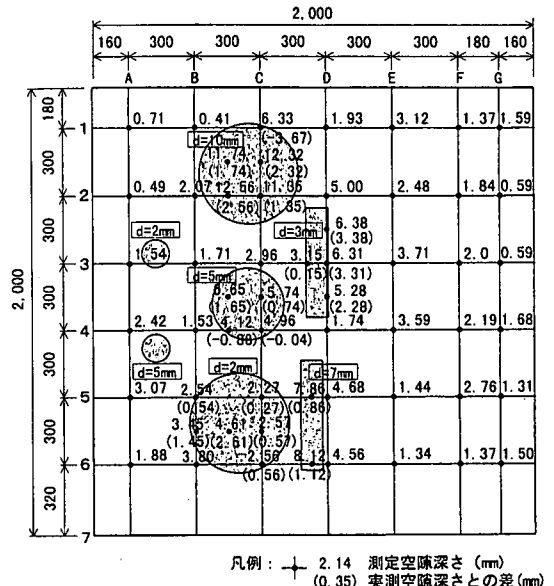


図-22 RI (γ線) 法測定結果

リート硬化後の2回測定を行った。

②測定結果

今回の測定結果では、コンクリート硬化後の方が精度がよく、この結果を図-21に示す。

空隙の分布状況については、メッシュおよびメッシュ中央での測定であり、空隙を特定できるほどの明確な成果は得られなかった。

また欠陥部の空隙深さについては、健全部の測定値と比較すると測定値が大きく、空隙があると判断できるが、空隙深さが深い場合(d=5mmおよび10mm)の測定誤差は-5~-8mmと浅めに判定されるなど空隙が深い場合の測定には適さないと判断できた。

なお、健全部の測定誤差の範囲は0~4mm、測定誤差は1.24mm(49点の平均値)、標準偏差1.13mmとある程度の精度が得られたが、空隙深さを問わない欠陥部の測定誤差の範囲は-8~0mmであり、測定誤差も-4.09mm(空隙部12点の平均値)、標準偏差2.43mmと測定精度はよくなかった。

今回の測定結果では、硬化後の方が精度がよかったが、フレッシュコンクリート状態時についても測定可能であることや、測定結果がその場で得られること等長所がある。

基本的な原理はRI(γ線)法と同様に考えられるため、今回の測定には適用が可能と考えられたが、健全部はともかく、空隙深さの測定誤差がマイナスで測定されるなど肝心の空隙の測定精度がよくなく、今回の上床版への適用は難しいと判断できた。

c) RI(γ線)法

①測定方法

散乱型RI密度水分計を使用し、中性子法同様に予めキャリブレーションしてから測定を行った。

測定は、30cm×30cmのメッシュを作成し、各交点を測定位置とした。また、空隙が予想される範囲については、RI(中性子)法同様に細かいピッチで測定を行い、空隙の範囲を想定した。

②測定結果

測定結果を図-22に示す。

欠陥部の空隙深さについては、測定誤差の範囲は-3.67~3.38mm、測定誤差の平均値1.09mm(空隙部21点の平均値)、標準偏差1.53mmであった。この結果は、空隙深さを問わずに算出した結果であり、次に空隙の深さ別に調べた。

空隙深さがd=10mmと深い場合の測定値の平均は10.86mm、標準偏差2.30mm、空隙深さd=5mmの場合の測定平均値は5.37mm、標準偏差1.87mm、空隙深さがd=2mmと浅い場合の測定平均値が3.00mm、標準偏差は0.81mmであった。したがって、空隙深さが2mmの場合の測定誤差は1mm程度であり、空隙深さが5mm以上の場合の測定誤差は0.37~0.86mm、また測定値に対するばらつきも小さく、今回の測定には十分な精度であると考えられる。

健全部については、右半分の中央空隙周辺部(D列)については、測定値が4~5mm程度の箇所があるが、これは空隙に影響されたものと判断できる。空隙周辺部を除いた健全部の測定誤差の範囲は0.59~3.71mm、測定誤差は1.86mm(A, E, F, G列: 24点の平均値)、標準偏差0.89mmである。

また、空隙分布状況もRI(中性子)法より、良好

表-8 打音法測定結果

測定位置	振動数
3-D上面空隙部	714 KHz
3-D下面健全部	6.6 KHz
3-H上面空隙部	625~714 Hz
3-H上面健全部	8 KHz

※測定位置は、図-20のメッシュ参照

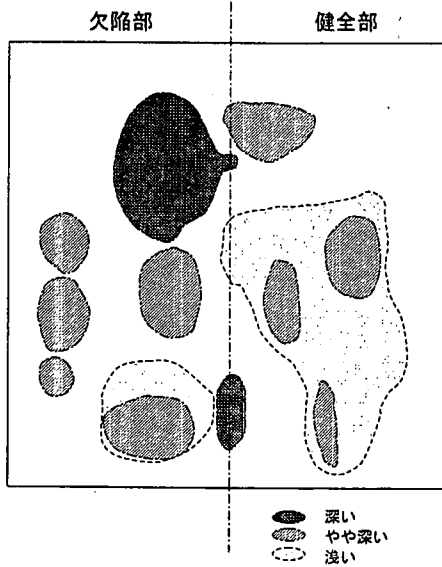


図-23 赤外線法による空隙の予想図

な結果が得られた。

なお、ポイントでの測定であるため、小さい空隙の検出はかなり難しく、空隙の範囲を把握することが実施工での課題になると考えられる。

d) 赤外線サーモグラフィ法

サンドイッチ合成構造物への適用として、高流動コンクリートの充填度管理法に関する研究⁹⁾を参考に、サーモグラフィ法を検討した。

この方法は、コンクリート打設前後の外殻鋼板の熱画像を画像間差分処理し、得られた温度変化量にしきい値を設定して2値画像表示すれば、充填状況を定量的に評価できるといわれている。

①測定方法

高所作業車を使用し、高所から供試体上面の状況を赤外線撮影した。

コンクリートの硬化に伴う温度の影響が想定されたので、温度上昇時、温度ピーク時、温度降下時、降下後の温度一定時において測定を行った。

また、時間的には温度変化の少ない夕刻から夜間の観察データの識別性が良好であった。

②測定結果

データ画像解析システムにより、各時期の温度分布パターンおよび変化から判定し、空隙深さは色の濃淡による相対比較的なものとし、分布範囲の把握を中心とした。

測定結果から空隙範囲の予想図を図-23に示す。

空隙は、中央左上部に楕円および中央下部に長方形の比較的深い空隙が存在し、欠陥部の空隙範囲は、ある程度特定できた。ただし、原因は不明であるが、

健全部にも浅い空隙の存在が想定された。

また、空隙深さについては、空隙深さと温度分布の関係の正確に把握するまでには至らず、定量化が困難であった。

なお、本工事における上床版部への適用に関しては、空隙深さの測定精度および経済性の面から適用は見送ることとした。

e) 打音法

①測定方法

試験体を直立させて、上面鋼板をハンマー等で打撃し、その音により空隙の有無を耳で聞き分けるとともに、その振動波をオシロスコープで観測し、健全部と空隙部の周期の差を測定した。

②測定結果

測定結果を表-8に示す。

打音法における空隙深さの測定は、現状では不可能であるが、測定の結果、健全部と空隙部との振動数については明らかに違い、空隙の有無については確実に判定できることを確認できた。

また、オシロスコープを使用しなくても、木槌で打撃し耳で聞き分けることでも空隙の有無を判別できるため、測定も容易である。したがって、RI法等と異なり、測定頻度を多くしても支障がないため、空隙分布の把握には、十分利用できると思われる。

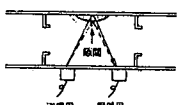
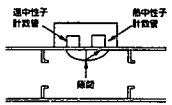
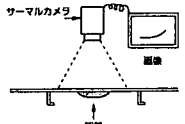
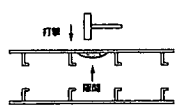
(3) 実験結果のまとめ

各試験の測定原理と比較実験結果を表-9に示す。実験結果から、一般的に知られているように空隙の把握には、赤外線サーモグラフィ法や打音法が有効であることを、また空隙の深さを測定することは難しいことを再確認した。

空隙深さの測定には超音波法、RI(中性子)法、RI(γ線)法の3方法で実施した結果、RI(γ線)法の精度が最も良く、空隙部の測定誤差は1mm程度であった。RI(中性子)法は、基本的にRI(γ線)法と同様と考えられるが、健全部はともかく、空隙部の測定誤差が-4mmと浅く測定されるなど今回の精度はよくなかった。

本工事の測定対象である上床版における充填性の基準は、上面鋼板とコンクリート表面の間に生じる

表-9 充填確認試験性能比較結果一覧表

測定方法	超音波反射法	放射線法		赤外線サーモグラフィ法	打音法
		RI (中性子) 法	RI (γ線) 法		
測定原理	鋼板裏面(空隙存在面の反対側)に送・受信用探触子を設置し、入射させた超音波が受信用探触子に到達するまでの時間およびその量を検知して判断する。 	鋼板に設置した測定器の中性子あるいはγ線源から放射された中性子がコンクリートに衝突・散乱して、再び測定器に戻る量(計数)を測定し、判断する。 	コンクリートと隙間で熱伝導度が異なることから、発生する温度差を赤外線放射量からサーマルビデオシステムにより検知し、判断する。 	人がテストハンマーにより、鋼板表面に打撃を与えて、その音の差異を耳で聞き分けることにより判断する。なお今回は、オシロスコープでも観測し、健全部と空隙部との周期の差を測定した。 	
	測定状況	分布状況は明瞭に判らなかつた。 ×	測定間隔により差があるが、本測定では良好な結果は、得られなかつた。 △	中性子法より測定間隔が狭かつたため、ある程度の分布は把握できた。 △	検査時期が限定されるが、最も精度が良い。 ○
測定結果	空隙深さ	測定値の誤差は、-30~30mm程度となつた。 ×	健全部の精度は良かったが、空隙部の測定誤差は-4mm程度であつた。 △	浅い、深いなどの相対的評価のみ。 △	空隙深さと測定結果の相関は不明である。 ×
解析時間	短い	短い	短い	長い	最も短い
作業性	×	△	△	×	○
経済性	△	△	△	×	○

空隙の許容間隙深さで5mm以内となっている。

したがって、RI (γ線)法の測定誤差は1mm程度と想定され、上床版の空隙測定への適用は可能と考えられる。

以上から、空隙範囲の把握には打音法で十分対応が可能であり、空隙深さの測定にはRI (γ線)法の精度が高く、RI (γ線)法と打音法を併用すればかなりの精度で、上床版の空隙の検査が可能であることを把握できた。

5. まとめ

サンドイッチ合成構造をモデル化した実物大の施工実験および充填後の空隙確認実験により、高流動コンクリートの充填性および充填後の検査方法を検討した結果をまとめると、次のとおりである。

(1)高流動コンクリートの充填性

施工実験から、構造上支障となる5mm以上の大きな空隙の発生はなく、高流動コンクリートの材料管理や製造時の品質管理を適切に実施できれば、使用した配合の妥当性および充填性が高いことを検証することができた。

(2)高流動コンクリートの打設方法

打設方法として、ホップ打設方式が充填率を高めるためには有利であったが、筒先隔離方式でも上端近くになって打設速度を落とす2段階方式の打設を行えば、充填率はそれほど落ちない。

したがって、打設方法は、作業性および経済性を考慮し、ポンプ筒先を徐々に上げていく一般的な筒先隔離方式を選定し、突き棒作業も行わない方針とした。また、上端から、20cm下がり(シアコネクタから5cm下)までは30m³/hの打設速度で、その後は充填性を高めるため15m³/hと打設速度を落として打設する方式とした。

(3)充填検査方法

充填検査方法としては、先ず打音法を用いて、空隙範囲を特定し、空隙深さの測定には測定精度が最も良かったRI (γ線)法を選定した。

6. おわりに

実施工を想定した施工実験によって、①基本配合の確認、②高流動コンクリートのフレッシュ時の性状および品質管理方法の把握、③上床版・隔壁への高流動性コンクリートの充填性の確認、④打設速度など打設方法の検討、および⑤充填検査方法を検討し、サンドイッチ構造部における高流動コンクリートの施工計画を立案する資料を得ることができた。

実施工で高流動コンクリートの充填性を確保するには、流動性能を保持する限られた時間内で施工するため、製造から打設終了までの施工管理も重要なポイントとなる。

施工実験では、製造から打設までの一連のスケジュールを定めて実施したが、ポンプ筒先の段取り替

えや品質管理試験に時間を要するなど一部スケジュールの乱れが生じ、今後の課題として、パソコンによるネットワークを用いた施工管理システムの確立、施工管理体制の見直し、トラブル時の対処方法などが抽出された。

これらの課題を克服し、さらに下床版で施工のシミュレーションを3回実施し、実施工に臨んだ結果、5mm以上の空隙は、約3,700の測定点の内、2号函で1.2%、3号函で0.2%と非常に僅かで、良好な成果を上げることができた。

なお、5mm以上の空隙については、無機系材料を注入し補修を行った。

謝辞：本研究は、神戸港港島トンネルサンドイッチ構造沈埋函に適用する高流動コンクリートの検討に関連して行ったものである。一連の実験における計画から実施、取りまとめの過程で、適切な助言や多大なご支援を戴いた関係者各位に、深謝致します。

参考文献

- 1) 渡辺英夫, 佐藤正一, 稲垣紘史, 鈴木雄三: 鋼コンクリートサンドイッチ構造を採用した神戸港港島トンネル沈埋函の設計法, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.17, No1, pp. 41~46, 1995. 6.
- 2) 小門 武, 鈴木雄三, 輪湖建雄, 佐藤正一: 沈埋トンネル・フルサンドイッチ構造部への充填を対象とした粉体系高流動コンクリートの諸特性について, コンク

リート工学年次論文報告集, Vol.17, No1, pp.191~196, 1995. 6.

- 3) 次米仁司, 輪湖建雄, 小島朗史, 佐藤正一: 沈埋トンネル・フルサンドイッチ構造部を対象とした高流動コンクリートの施工実験について, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.17, No1, pp. 203~208, 1995. 6.
- 4) 高橋秀樹, 西田德行, 園山哲夫, 城代高明: 使用材料の品質変動が高流動コンクリートのフレッシュな性状に及ぼす影響, 土木学会論文集, No. 627/V-44, pp. 261~271, 1999. 8.
- 5) 清宮 理, 木村秀雄, 小島朗史: 未充填部を有するサンドイッチ部材の曲げおよびせん断特性, 運輸省港湾技術研究所報告, Vol. 35, No2, pp. 105~145, 1996. 6.
- 6) Takahashi, H., Nishida, N., Maeda, S. and Hirahara, M.: Compactability of Self-Compacting Concrete Applied to a Sandwich Composite Structure, Proceedings of International Workshop on Self-Compacting Concrete, 土木学会 コンクリート技術シリーズ No. 30, pp. 347~359, 1999. 3.
- 7) (社)日本コンクリート工学協会: 超流動コンクリート研究委員会報告書(II), pp. 149~160, 1994. 5.
- 8) 渡部 正, 魚本健人: サーモグラフィー法による超流動コンクリートの充填度管理法に関する研究, 超流動コンクリートに関するシンポジウム論文報告集, 日本コンクリート工学協会, pp. 115~120, 1993. 5.

(1998. 7. 31 受付)

INSPECTION METHOD AND SELF-COMPACTABILITY OF HIGH FLUIDITY CONCRETE IN A MODEL OF SANDWICH COMPOSITE STRUCTURE CONSTRUCTION

Hideki TAKAHASHI, Noriyuki NISHIDA,
Tetsuo SONOYAMA and Takaharu JODAI

High fluidity concrete was applied for sandwich composite structure of immersed tunnel elements. This work requires inspection method for self-compactability of concrete and reliable techniques for concrete filling into the steel-shells of sandwich composite structure, because of difficulty to monitor placed concrete. The authors tried to study them on full-scale models. As a result, the authors confirmed self-compactability of oncrete and selected concreting method to increase the degree of filling. Then the authors selected the method combining the radioisotope method by γ ray to measure depth of air void, and a hammer test to estimate distribution of air voids.