報告　フルサンドイッチ構造沈埋函への併用系高流動コンクリートの適用

新藤竹文*1・山本幹夫*2・河村良一*3・藤村正人*4

要旨：今回、フルサンドイッチ構造形式の沈埋函工事において,多糖類ポリマーを分離低減剤として用いた併用系高流動コンクリートを適用し,約2カ月間で約12,700㎥を打設した。全般を通じて工事は円滑かつ確実に遂行され,極めて密実な鋼殻内への充填を達成し,高品質な函体を製作することができた。

キーワード：フルサンドイッチ構造，沈埋函，分離低減剤，高流動コンクリート，充填性

1.はじめに

神戸大橋に続く第二の陸上交通手段として建設中の「港島トンネル」は，神戸港内の海上都市ポートアイランドと新港第六突堤間を結ぶ延長520mの海底トンネルであり，全6函の沈埋函と最終継手部（Vブロック）で構成される。これら6函の沈埋函のうち，既に製作を終えた2号函と3号函[1)2)]を含めた2～6号函において，鋼・コンクリート合成構造の中でも二層の鋼板でコンクリートを挟み込むフルサンドイッチ構造形式が世界で初めて採用されている。

本稿では，今回実施した4号函と5号函の製作工事について紹介するが，特に，鋼殻内の充填コンクリートとして多糖類ポリマーの分離低減剤[3)]を用いた併用系高流動コンクリートを適用したので，その一連の検証実験と実工事での知見を報告する。

2.工事概要

4号函，5号函の標準断面は幅34.6m×高さ9.1mで，函長は4号函で87.4m，5号函85.5mである。標準断面および上床版の標準的な形状を図-1に示す。函体は上床版と下床版および壁部（側壁，隔壁，中壁)で構成されるが，上床版と壁部は全てフルサンドイッチ構造である。特に、上床版はせん断補強鋼板によって標準形状3m×3mに仕切られた隔室に分かれており，上下層の鋼板には内部にL形鋼の補剛材(シアコネクター)が配置されている。

本工事の主要な課題は、これらの補剛材と充填コンクリートとが一体化するように密実なコンクリートの充填を達成することにある。そのため，高流動コンクリートの配合面および施工面での事前検討を実施し，円滑かつ確実な充填ができることを検証した上で実打設に臨んだ。

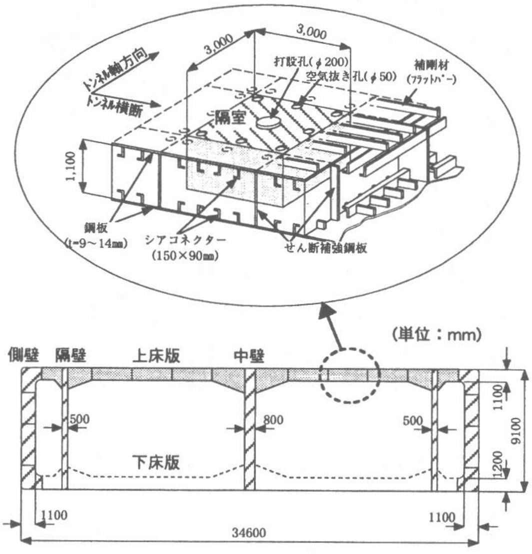

図-1　4号函・5号函の標準断面と隔室の構造

3.実打設までの事前検討

3.1　検討課題

＊1　大成建設㈱技術研究所　材料研究部　主任研究員　工博（正会員）
＊2　運輸省第三港湾建設局　神戸港湾工事事務所第一工事課　係長
＊3　運輸省第三港湾建設局　神戸調査設計事務所技術開発課　係長
＊4　大成建設㈱大阪支店　土木作業所　所長　工修

今回の工事に併用系高流動コンクリートを適用するに際して，事前に，配合選定から試験打設までの一連の検証実験を実施し，以下の必要要件を満足させた。

(1)品質基準

高流動コンクリートの品質基準および品質管理仕様を表-1に示す。

(2)使用材料の品質変動に対する品質安定性

これは品質基準ではないが，所要の品質を安定して製造するために欠くことのできない性能である。ここでは，使用材料の品質変動等に対して，製造時により安定した品質を確保することを目的として併用系高流動コンクリートを採用した。なお，検討は細骨材の表面水の変動と粒度の変動を想定して行なったもので，材料の変動に対するフレッシュコンクリートの品質変化の度合を把握し，実工事での材料管理の目標値を設定した。

(3)フレッシュ時の品質保持時間

施工管理基準である「運搬車1台当り製造開始から打設終了までを60分間以内」の規定に対して，さらに不測の事態を考慮して30分間の余裕を加えて，製造開始から90分間までフレッシュコンクリートの品質を保持する性能を付与した。

(4)鋼殻内の充填性

上面鋼殻との空隙深さの管理基準値は，1隔室当り平均空隙深さとして5mm以内である。この充填性に関する基準を最終的に満足することが最大の要求性能と言える。

3.2 示方配合の選定

(1)示方配合

市中の生コン工場2プラントにおいて，室内配合選定試験と実機配合選定試験を実施し，さらに，上床版の1隔室を模擬した実規模型枠への試験打設における充填性の結果を踏まえて，実打設に用いる最終的な示方配合を決定した。各プラントの示方配合を表-2に示す。また，表-3には各プラントにおける使用材料の標準的な品質を示す。

分離低減剤を用いる点以外で配合上の特徴としては，結合材にブリーディングの抑制に有利な比較的粉末度の高い高炉ｽﾗｸﾞ微粉末6000を使用すること，および，施工時期が2～4月であることを考慮して，5℃程度の低温でも比較的速やかに減水性を発揮する高性能AE減水剤を市販品の中から選定した点が挙げられる。

(2)示方配合の品質

示方配合の品質を表-4に示す。いずれも，

表-1 品質基準および品質管理仕様

区分	管理項目	試験方法	品質基準	管理試験の頻度	
				出荷時	荷卸し時
フレッシュコンクリート	スランプフロー	JIS A 1101	65±5cm	開始後5台以降 1回／75㎥	全運搬車
	Vロート値	V_{75}ロート	10±5秒	開始後5台以降 1回／75㎥	開始後5台以降 1回／75㎥
	空気量	JIS A 1128	5%以下		
	単位容積質量	JIS A 1116	2300kg／㎥以上		
	コンクリート温度	温度測定	5～30℃		
	ブリーディング率	JIS A 1123	0.5%未満	2回／打設日	-
	塩化物量	JIS A 5308 付属書5	0.3kg／㎥以下	-	1回／150㎥
硬化コンクリート	圧縮強度	φ10×20cm供試体作成 JIS A 1108	30N/mm²以上 (σ28)	-	2回／打設日
	単位容積質量(硬化後)	φ15×30cm供試体作成 JIS A 1116	2300～2350kg／㎥ (気中4週)	-	2回／打設日 (1本／回)

表-2 併用系高流動ｺﾝｸﾘｰﾄの示方配合

区分	W/P (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m³)								
			水 W	粉体 P		細骨材		粗骨材		高性能AE減水剤 SP	分離低減剤 BP
				ｾﾒﾝﾄ	高炉ｽﾗｸﾞ	海砂	砕砂	20～15	15～05		
Rﾌﾟﾗﾝﾄ	33	51	181	275	275	553	237	316	473	P× 1.25%	0.5
						790		789			
Nﾌﾟﾗﾝﾄ	33	51	180	275	275	630	158	473	315	P× 1.15%	0.5
						788		788			

表-3 使用材料の標準的な品質

区分	材料種別				標準的な品質
Rﾌﾟﾗﾝﾄ	セメント		高炉セメントB種		比重=3.03 比表面積=3960㎠/g
	骨材	細骨材	海砂	岡山県竪場島	比重=2.56、粗粒率=2.38
			砕砂	兵庫県男鹿島	比重=2.57、粗粒率=2.90
		粗骨材	砕石2015	兵庫県男鹿島	比重=2.63、粗粒率=7.02
			砕石1505	兵庫県男鹿島	比重=2.63、粗粒率=6.28
Nﾌﾟﾗﾝﾄ	セメント		高炉セメントB種		比重=3.04 比表面積=3980㎠/g
	骨材	細骨材	海砂	香川県室木沖	比重=2.54、粗粒率=2.34
			砕砂	兵庫県西島	比重=2.58、粗粒率=3.01
		粗骨材	砕石2015	兵庫県西島	比重=2.63、粗粒率=7.04
			砕石1505	兵庫県西島	比重=2.63、粗粒率=5.99
ﾌﾟﾗﾝﾄ共通	混和材		高炉スラグ微粉末6000		比重=2.90 比表面積=5960㎠/g
	高性能AE減水剤		ポリカルボン酸系		高ビーライト用標準形
	分離低減剤		多糖類ポリマー系		水不溶性

経時90分間まで所要の品質を保持し，ブリーディングも極めて小さいことが分かる。

なお，これは図-2に示す手順にて実機ミキサー(容量2.75㎥：二軸強制練り)で1バッチ2.25㎥を練混ぜ，実際の運搬車に満載(2バッチ)した条件での結果であり，実工事においても同じ練混ぜ手順を採用することとした。

3.3 材料の品質変動に対する品質安定性

(1)細骨材表面水の変動に対する品質安定性

細骨材表面水の変動に対する示方配合の品質変化の関係を各プラントごとに図-3に示す。これらは，表面水率の実測値と製造時設定値との差として設定誤差±1%（水量換算±8kg/㎥）の範囲で実施した実機試験の結果である。いずれも，表面水の変動±1%の範囲で経時90分間までほぼ所要の品質を満足しており，また，水量増加の変動に対してもブリーディング率は0.2%以下と小さい。

なお，この結果をもとに，実打設ではさらに安全を見て，表面水の管理目標を設定誤差±0.5%の範囲とした。

(2)粒度の変動に対する品質安定性

細骨材の粒度の変動に対する品質変化について，配合修正の段階で行なった示方配合に近い配合における室内試験の結果を，一例として図-4に示す。

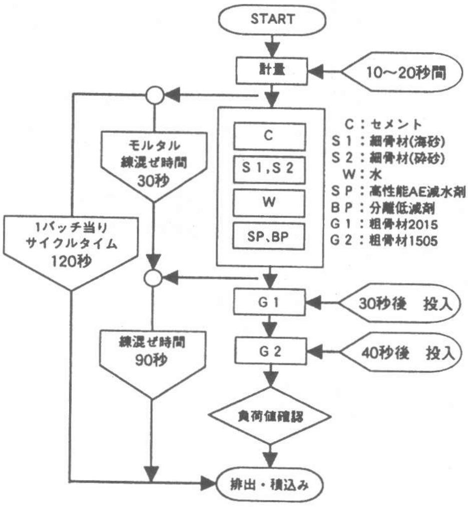

図-2 練混ぜ手順

これは，便宜的に海砂と砕砂の混合比を変えて粒度調整を行なった条件であるが，実務的には粗粒率を管理して，不測の品質変動に対して海砂と砕砂の混合比を変えて粗粒率を調整する対応を想定したものである。粗粒率±0.1の範

表-4 示方配合の品質

区分	品質試験結果								
	経過時間 (分)	スランプフロー (cm)	V_{75}ロート (秒)	50cmフロー時間 (秒)	空気量 (%)	単位容積質量 (kg/m³)	ブリーディング率 (%)	圧縮強度 (N/mm²) σ7	圧縮強度 (N/mm²) σ28
Rプラント	10	66.0	9.8	4.5	3.8	2303	0.00	43.6	73.2
	30	68.5	10.8	4.9	3.5	2300			
	60	65.5	9.5	5.9	3.1	2319			
	90	64.5	13.2	5.7	3.6	2305			
Nプラント	10	67.5	9.0	5.1	4.2	2302	0.13	41.6	69.3
	30	70.0	8.0	4.0	4.0	2300			
	60	69.5	10.0	4.4	4.0	2305			
	90	66.0	9.3	5.4	4.0	2300			
品質基準		65±5	10±5	-	≦5	≧2300	<0.5%	≧30N/㎟	

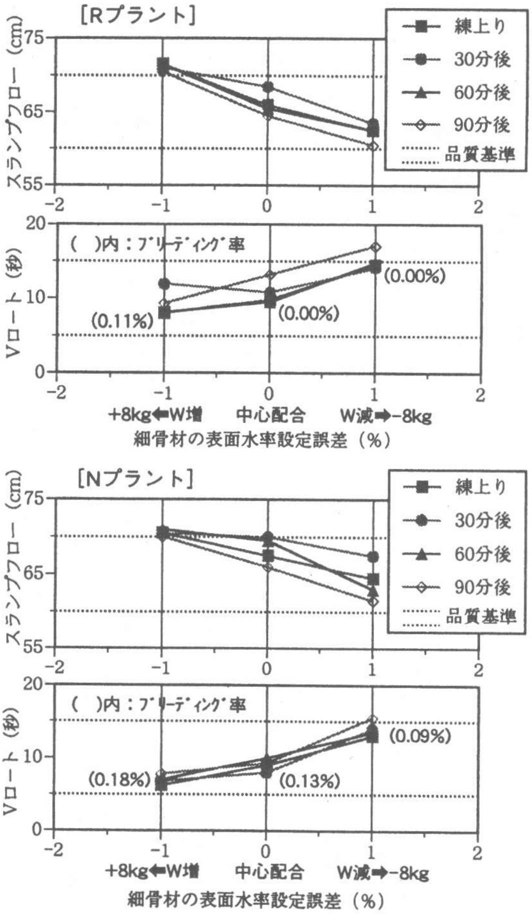

図-3 表面水変動に対する品質安定性

囲で経時90分間まで所要の品質を満足しているのが分かる。この結果より，実打設では混合砂の粗粒率を2.6程度を中心として±0.1の範囲を目標に粗粒率の変動を管理することとした。

3.4 充填性の検証

先の図-1に示す上床版一隔室を模擬した実規模型枠への試験打設を実施し，選定した示方配合の充填性を検証した。

100㎥/hr級ブーム車を用いて打設し，自由落下高さ50cm以内に筒先を調整しながら，吐出量30～40㎥/hrの速度で天端近傍20cm程度まで連続的に打ち上げ，以降，徐々に吐出量10㎥/hr程度まで減速しながら充填し，空気抜き孔に配置した透明管からコンクリートが50cm程度上昇した時点で打設終了とした。なお，後述のように，この打設手順により良好な充填性が検証されたことから，実工事においても同じ手順とした。

上面鋼板を脱型後に調査したコンクリート面の空隙発生状況の一例を図-5に示す。なお，同図には配合修正の段階で行なった同様の打設試験の結果を合わせて示す。また，打設時の品質および空隙径φ10mm程度以上を対象にコンクリート面に生じた空隙を直接観察した結果を表-5に示す。

打設時のスランプフローは両配合ともに同等であるが，示方配合の方がVロート流下時間や50cmフロー到達時間が僅かに小さく，よりコ

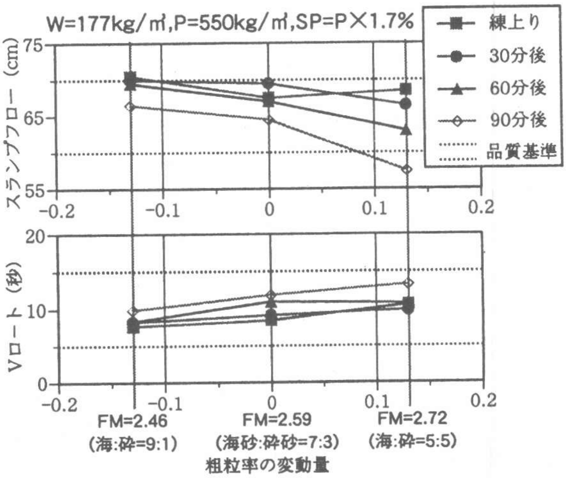

図-4 粒度変動に対する品質安定性

表-5 直接観察による空隙発生量の調査結果

区分	打設時の品質 ( )内：運搬車3台の平均 スランプフロー (cm)	Vロート時間 (秒)	50cmフロー時間 (秒)	空気量 (%)	ブリーディング率 (%)	空隙深さt区分	空隙発生率 (空隙面積/上面総面積) 空隙率 (%)	計	1隔室当りの平均空隙深さ 実測値 (mm)	管理基準
配合① (選定示方配合)	67.0～ 68.0 (67.5)	8.3～ 8.6 (8.4)	4.5～ 5.5 (5.0)	2.0～ 3.3 (2.7)	0.14	5㎜＜ t	0.00	3.97	0.09	平均t ≦5㎜
						3㎜＜ t ≦5㎜	0.09			
						1㎜＜ t ≦3㎜	3.88			
配合② (水量177kg/㎥)	68.0～ 69.5 (68.5)	10.8～ 11.5 (11.3)	5.6～ 6.3 (6.0)	2.1～ 2.7 (2.5)	0.11	5㎜＜ t	1.15	5.02	0.18	
						3㎜＜ t ≦5㎜	1.09			
						1㎜＜ t ≦3㎜	2.78			

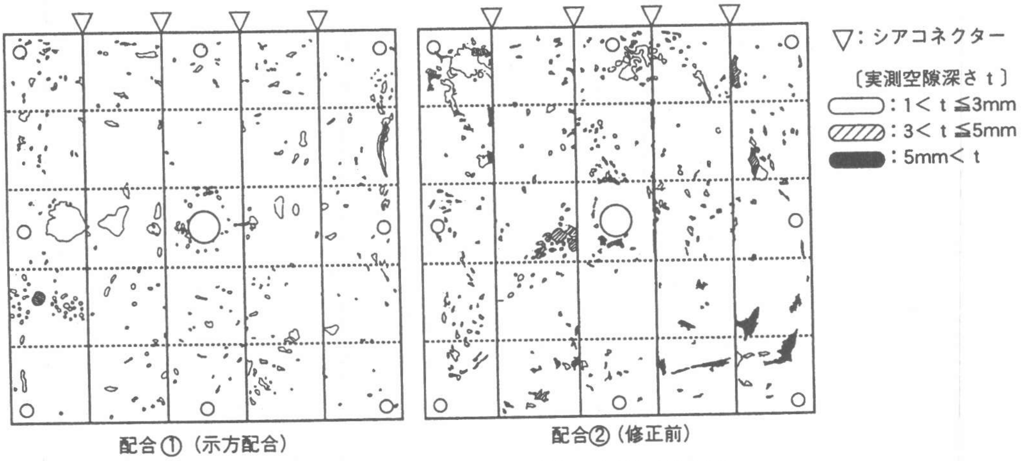

図-5 コンクリート上面の空隙発生状況

ンクリートの粘性が小さい配合である。

これらの図表を見ると，配合②では，シアコネクターの近傍に比較的深い空隙の発生が認められ，空隙発生量も僅かに大きい傾向にあるのが分かる。いずれも，直接観察による実測の一隔室当り平均空隙深さは0.1～0.2mmであり，管理基準(≦5mm)を十分に満足する結果であるが，シアコネクター部は特に密実な充填が要求されることを考慮して，最終的に示方配合を選定するに至った。

4.施工実績

高流動コンクリートの実打設は，2月初旬より開始し，中壁～隔壁～側壁～上床版の順で，各打設日ごとに2台のブーム車にて実施した。1日当りの打設量を300～400㎥と設定して，市内の2つのレディーミクストコンクリート工場から各打設日ごとに交互に出荷し，2函体合わせて約12,700㎥を約2カ月間(延35日)で打設した。一連の打設にて得られた実績を以下に示す。

4.1　材料管理

管理仕様に準拠して，標準頻度1回/2時間および製造初期には1回/1時間程度で各打設日ごとに6～10回程度の細骨材表面水の測定を行なった。各プラントの混合砂における実測値と設定値の差は図-6に示すとおりである。マイナス側の設定誤差が多い理由は，ブリーディングに配慮して，水を増量させる調整を極力行なわずに高性能AE減水剤の増量により流動性の改善を図ったことによる。いずれにせよ，表面水の変動にともなう設定誤差は十分に目標とした範囲内で管理することができた。

また，各打設日ごとに使用する細骨材の粒度管理を行なったが，両プラントともに，粗粒率の標準偏差は0.05程度であり，海砂においても粒度の変動は僅かであった。

4.2　品質管理

品質管理試験のうち，荷卸し時のスランプフロー値とVロート値を図-7，図-8に示す。

スランプフローの平均値は70.2cmあるいは69.6cmであり，両プラントを合わせた全2838車における標準偏差は1cm程度と変動係数2%以下と極めて高精度の管理結果が得られた。なお，スランプフローが70cmを越えたものについては，目視あるいはVロート試験を行ない分離の無いことを確認した上で打設した。打設したスランプフローの範囲は65～73cmである。

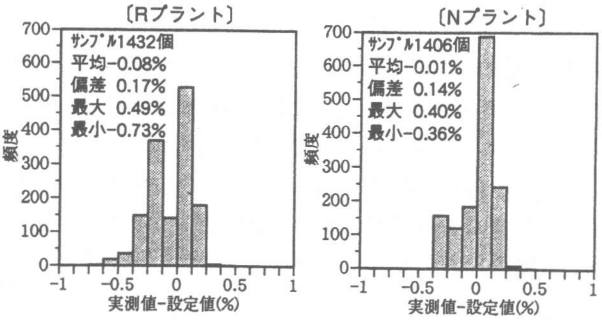

図-6　混合砂の表面水率変動による設定誤差

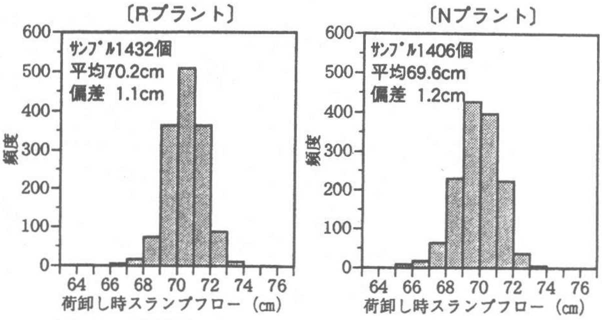

図-7　荷卸し時におけるスランプフローの品質

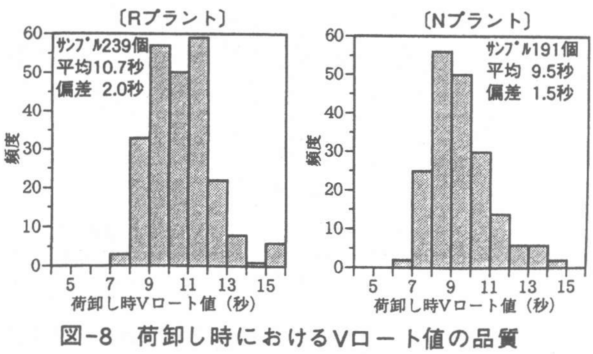

図-8　荷卸し時におけるVロート値の品質

Vロート値についても，平均値10.7秒（標準偏差2秒）あるいは9.5秒（標準偏差1.5秒）であり，良好な品質管理結果が得られた。両プラント合わせた全430車において打設したコンクリートのVロート値は7～15秒の範囲である。

ブリーディングの管理結果は，Rプラントで平均0.04%（最大0.17%，サンプル数38個），Nプラントで平均0.10%（最大0.19%，サンプル数32個）であり，両プラントともにブリーディングの発生量は極めて小さかった。

4.3 充填管理

充填管理および空隙深さの検査は，既往の実績工事[2)]と同様に，放射線γ-RI法による非破壊検査を採用した。硬化後における平均空隙深さの分布を図-9に示す。4号函全体の空隙深さは平均1.72㎜（全813測点）であり，5号函においても空隙深さの平均は1.65㎜（全1225測点）と良好な充填を達成することができた。なお，5号函において図中に示す8つの隔室で，局部的に5㎜以上となった測点が認められた。1隔室当りの平均空隙深さでは管理基準を満足すると考えられたが，万全を期して充填材を注入した。

5.まとめ

今回，フルサンドイッチ構造沈埋函に併用系高流動コンクリートを適用し，2函体合わせて約12,700㎥の打設実績を得た。無事故無災害にて，工事全般を通じて極めて円滑に工事を遂行することができた。最後に，生コン工場や混和材料メーカをはじめ本工事に御協力いただいた多くの関係者の皆様に改めて深謝致します。

参考文献

1)小島朗史・中島由貴：サンドイッチ構造の沈埋函への適用，土木学会誌，8月号，pp.14-17，199
2)中島由貴ほか：サンドイッチ合成構造沈埋函の高流動ｺﾝｸﾘｰﾄの施工，コンクリート工学年次論文報告集，Vol.18，No.1，pp.177-182，1996
3)奈良潔ほか：コンクリート用分離低減剤β-1,3グルカン(カードラン)の性質，コンクリート工学論文集，第5巻，第1号，pp.23-28，1994

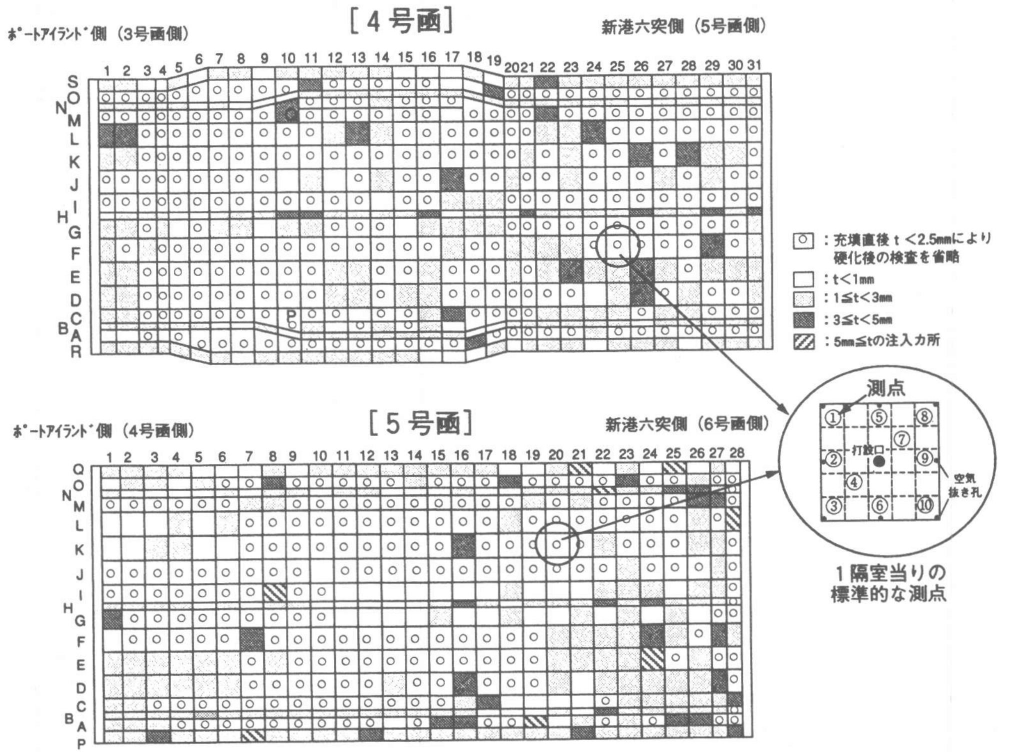

図-9　硬化後の空隙深さ検査結果（γ-RI非破壊検査）