

# 報告 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

久米仁司\*1・輪湖建雄\*2・小島朗史\*3・佐藤正一\*4

**要旨：**平成7年度に予定されている沈埋トンネル「神戸港港島トンネル」のコンクリート打設に向けて、このフルサンドイッチ構造部に使用する高流動コンクリートの配合とその製造・運搬・打設に関する施工管理手法が提案された。本施工実験は、この配合と施工管理手法を用いた実施工規模の連続的な高流動コンクリートの製造・運搬・打設を行って、高流動コンクリートの品質の安定性とフルサンドイッチ構造部への充填性を評価し、それらの妥当性を確認したものである。

**キーワード：**高流動コンクリート、サンドイッチ構造、施工実験、沈埋トンネル

## 1. はじめに

神戸港内にある海上都市「ポートアイランド」の拡張計画に対して、予測される交通量の増加への対応とライフラインの二重化を図るために、第二の連絡路が計画された。この連絡路が「神戸港港島トンネル」であり、その一部が本実験の対象となる沈埋トンネルである。この沈埋トンネルは、全長 520m で、6 個の函体で構成されている。函体の 1 個あたりの標準寸法は長さ約 88m、幅約 35m、高さ約 9m であり、その構造は、図-1 に示すとおりである。で、上床版、下床版、側壁、中壁および隔壁の 5 種類の部材で構成されている。これらの部材のうち、フルサンドイッチ構造部となっているのは上床版と側壁の 2 部材である。[1]

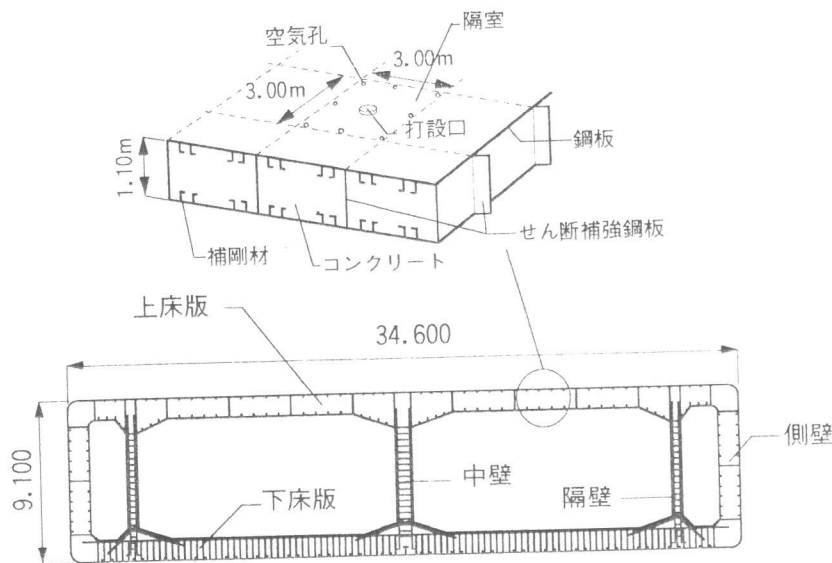


図-1 「神戸港港島トンネル」の基本断面図と上床版の基本構造図

- \* 1 (株)ニュージェック大阪本社土木第一部構造室次長 (正会員)
- \* 2 運輸省第三港湾建設局次長
- \* 3 運輸省第三港湾建設局神戸港工事事務所長
- \* 4 (財)沿岸開発技術研究センター第一調査研究部長

このフルサンドイッチ構造には、その構造上から、パイプレータによるコンクリートの締固めを十分にできないという問題点と、鋼殻とコンクリートを一体化する必要があることから、コンクリートを鋼殻の隅々（特に隔室個々の上面部）まで隙間なく材料分離させずに充填しなければならないという課題があった。これらの課題を解決するために、締固めが不要で自己充填性を持つ高流動コンクリートの採用が計画された。平成5年度には、上床版（隔室）モデルを用いた基本充填実験[3][4]がなされ、高流動コンクリートの使用の可能性に関して良好な結果が得られた。

その後さらに検討[5]が加えられ、平成7年度に予定されている沈埋トンネルのコンクリート打設に向けて、このフルサンドイッチ構造部に使用する高流動コンクリートの配合とその製造・運搬・打設に関する施工管理手法が提案された。

本報告は、これらの手法に従って実施した実施工規模の施工実験の概要を紹介し、高流動コンクリートの品質安定性と鋼殻内充填性について考察を加えるものである。

## 2. フルサンドイッチ構造の概要

フルサンドイッチ構造部は、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合成構造である。鋼殻内部は、せん断補強鋼板により「隔室」と呼ばれる密閉された空間に分割されていて、補剛材が配置されている。また、隔室ごとにその内部へコンクリートを充填するために、コンクリート打設口1個と空気孔が数箇所配置されている。[2]

鋼殻とコンクリートが一体となって外力に抵抗するためには隔室内部に配置された補剛材の周辺や隔室の上面にコンクリートが隙間なく充填されることが必要である。従って、フルサンドイッチ構造に使用する高流動コンクリートには、流動性が高く、充填性の良い性質が求められる。

施工に関する課題としては、高流動コンクリートは、時間の経過とともに流動性が変化すること、フルサンドイッチ構造であるためコンクリートの充填状況や出来形が観察できないことなどがあげられ、精度の高い施工管理が求められる。

## 3. 施工実験内容

### 3.1 実験目的

本施工実験の目的は、すでに提案されていた高流動コンクリートの配合とその施工管理手法を用いた実施工規模の連続的な高流動コンクリートの製造・運搬・打設を行って、高流動コンクリートの充填性の確保や流動性の維持、それとフルサンドイッチ構造部への充填度を評価し、それらの妥当性を確認するものであった。なお、提案されていた高流動コンクリートの配合は、粉体系高流動コンクリート（以下粉体系）と増粘剤系高流動コンクリート（以下増粘剤系）の2種類であった。このため、双方を本施工実験の対象とするものとした。

### 3.2 実験場所

本施工実験の場所は、コンクリート打設現場と生コン工場の2ヶ所となる。コンクリート打設現場は、実施工で予定されているコンクリート打設現場の敷地内とした。生コン工場は、近隣にある工場のうち、高流動コンクリートの製造のための最低限の設備を有する工場（ミキサー形式が強制2軸練りで容量が $2.5\text{m}^3$ 以上であること）で、最遠に立地していること、製造に係る課題を発見しやすくするために高流動コンクリートの製造実績がないことなどを条件として、粉体系、増粘剤系それぞれ別の工場を選定した。2つの工場は、運搬時間が約20分、骨材の管理状態が野積みである点が同一条件である。

### 3. 3 高流動コンクリートの配合

本施工実験で使用した高流動コンクリートの使用材料を、表-1に、配合を表-2に示す。

表-2に示す配合は、提案された配合(設計基準強度 300kgf/cm<sup>2</sup>)を気温や砂の粒度分布など考慮して修正した修正示方配合である。表-3は、本実験用に設定した品質規格値である。

表-1 使用材料

		粉体系高流動コンクリート	増粘剤系高流動コンクリート
セメント		普通ポルトランドセメント 比重3.16 比表面積3400cm <sup>2</sup> /g	高炉セメントB種 比重3.04 比表面積3800cm <sup>2</sup> /g
混和材		高炉スラグ微粉末 比重2.89 比表面積6000cm <sup>2</sup> /g級	-
細骨材		海砂：比重2.56 吸水率1.52% 粗粒率2.52 砕砂：比重2.57 吸水率1.97% 粗粒率3.00	海砂：比重2.59 吸水率1.06% 粗粒率2.54 砕砂：比重2.62 吸水率2.06% 粗粒率2.93
粗骨材		碎石：比重2.63 吸水率0.735% 粗粒率6.62 粗骨材最大寸法 20mm	碎石：比重2.61 吸水率1.18% 粗粒率6.64 粗骨材最大寸法 20mm
混和剤	高性能(AE)減水剤	ホリリアルキルカルボン酸エーテル系と架橋ホリマーの複合体	高縮合トリアジン系化合物
	増粘剤	-	低界面活性型水溶性セルロースエーテル
	AE減水剤	-	リクニソルホン酸化合物及びホリオール複合体

表-2 修正示方配合

コンクリートの種類	W/B (%)	空気量 (%)	単位量 (kg/m <sup>3</sup> )					高性能AE減水剤 B×%	増粘剤 W×%	AE減水剤 C×%
			W	C	Slag	S	G			
粉体系	31	2.0	182	176	411	764	789	1.1	-	-
増粘剤系	47	2.0	193	411	-	864	823	3.0	0.25	0.30

注) B=C+Slag Slag：高炉スラグ微粉末

表-3 品質規格値

(打設現場)

項目	規格値
スランブフロー	65±5cm
V <sub>5</sub> ロート	10±5sec

### 3. 4 コンクリートの打設区画と施工方法

本施工実験に使用したコンクリートの打設区画は、上床版(隔壁)モデルで、高流動コンクリートを連続的に製造・運搬・打設した場合の「充填性能の発現・維持に対する安定性を評価する」上面鋼板のないモデル14体と、前者の目的に加えて「フルサンドイッチ構造部への充填性を評価する」上面鋼板を取り付けたモデル6体、合計20体を用意した。そして、それぞれ10体ずつを、粉体系用モデル、増粘剤系用モデルとした。コンクリート打設量は、粉体系、増粘剤系それぞれ約 100m<sup>3</sup>となった。

コンクリート打設は粉体系、増粘剤系それぞれ1日ずつとし、打設時間はいずれも5時間を目標とした。コンクリートは、実施工の施工方法を考慮して、生コン工場で連続製造し、17台のアジテータ車を使用して運搬し、さらに、コンクリートポンプ車2台を使用して5体ずつのモデルに連続打設した。

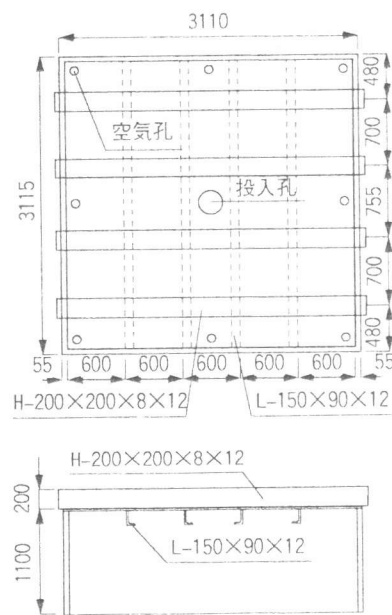


図-2 上面鋼板を取り付けた上床版(隔壁)モデル

### 3.5 施工管理手法

フルサンドイッチ構造は、コンクリートの打設状況を目視で観察することができず、コンクリート充填完了後の充填度の検査や未充填の補修も容易でない。また、隔室内にコンクリートを連続的に充填することが要求されるため、アジテータ車の遅れや品質規格外のコンクリートが運搬された場合には、充填に大きな影響を与えることから、フルサンドイッチ構造に使用する高流動コンクリートの施工には、製造・運搬・打設の一連の作業を施工者の管理の下で一貫して行う必要がある。本実験に適用した施工管理手法は、充填されたコンクリートが所要の品質を満たし、かつ、適正な手順に基づいて施工が行われたことを証明する体系を品質管理に関する国際規格IS 09000の考え方を取り入れ構築したもので、これによって施工精度の向上を目指した。図-3に施工管理体制を示す。ここに示した要員には、それぞれの作業手順が示された作業手順書が用意され、各要員はそれに従って作業を行う。

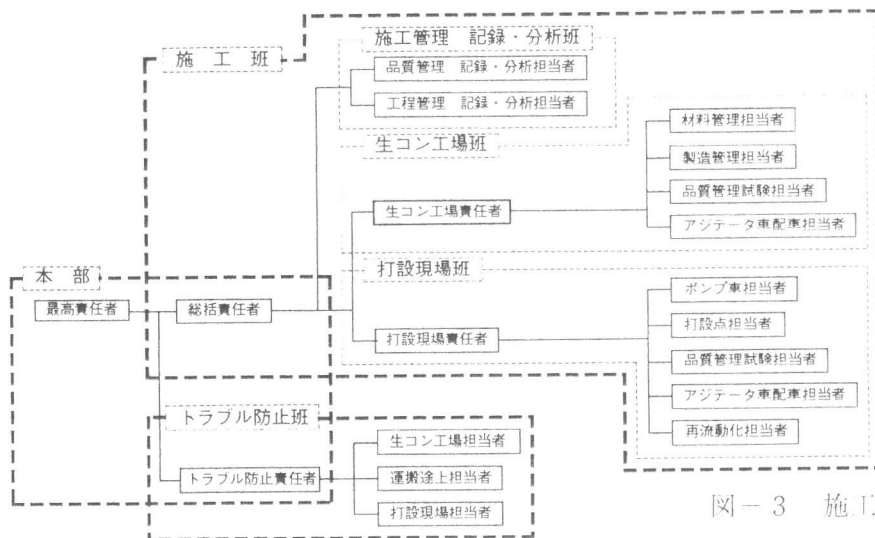


図-3 施工管理体制

### 3.6 コンクリートの品質管理とフルサンドイッチ構造における充填度評価

高流動コンクリートを評価するために、生コン工場と打設現場の双方でスランプフロー試験とVロート試験をすべてのアジテータ車について行った。

高流動コンクリートのフルサンドイッチ構造部への充填度を評価するために、コンクリート硬化後、上面鋼板付きモデルの上面鋼板を外して、2種類の試験を6体のモデルすべてについて行った。その2種類の試験とは、コンクリート上面の未充填部の位置、面積、深さを測定する試験と、コンクリートコアを採取してその表面における粗骨材の占有面積を測定する試験である。

## 4. 施工実験結果とその評価

### 4.1 高流動コンクリートの品質管理試験の結果

スランプフロー試験の結果は、図-4に示すとおりで、すべて品質規格値を満足した。Vロート試験も同様に品質規格値内にあった。粉体系は、5台から10台にかけて打設現場のスランプフロー値が品質管理規格値の上限に近づく傾向が表れたため、配合水を減じて、品質をコントロールした。（図-4を参照。打設現場のスランプフローが約69cmから約66.7cmに変化）増粘剤系のスランプフロー値は、生コン工場から打設現場間での変化も少なく、バラツキも小さい。粉体系のバラツキが増粘剤よりも大きかった原因としては、実験日が夏場であることから、粉体系、

増粘剤系ともに経時特性のよい別の種類の混和剤を選定したが、粉体系に使用した高性能AE減水剤の効果が大きく、スランプフロー値の変化率が大きかったことが考えられる。しかし、粉体系、増粘剤系ともに品質規格値内にあり、実施工に適用できる配合である。このことは、コンクリートの製造・運搬・打設が工程計画とおりに順調に推移したこと、打設現場での品質試験値が製造にフィードバックできたことなど、施工管理が十分な機能を果たした結果であると評価できる。

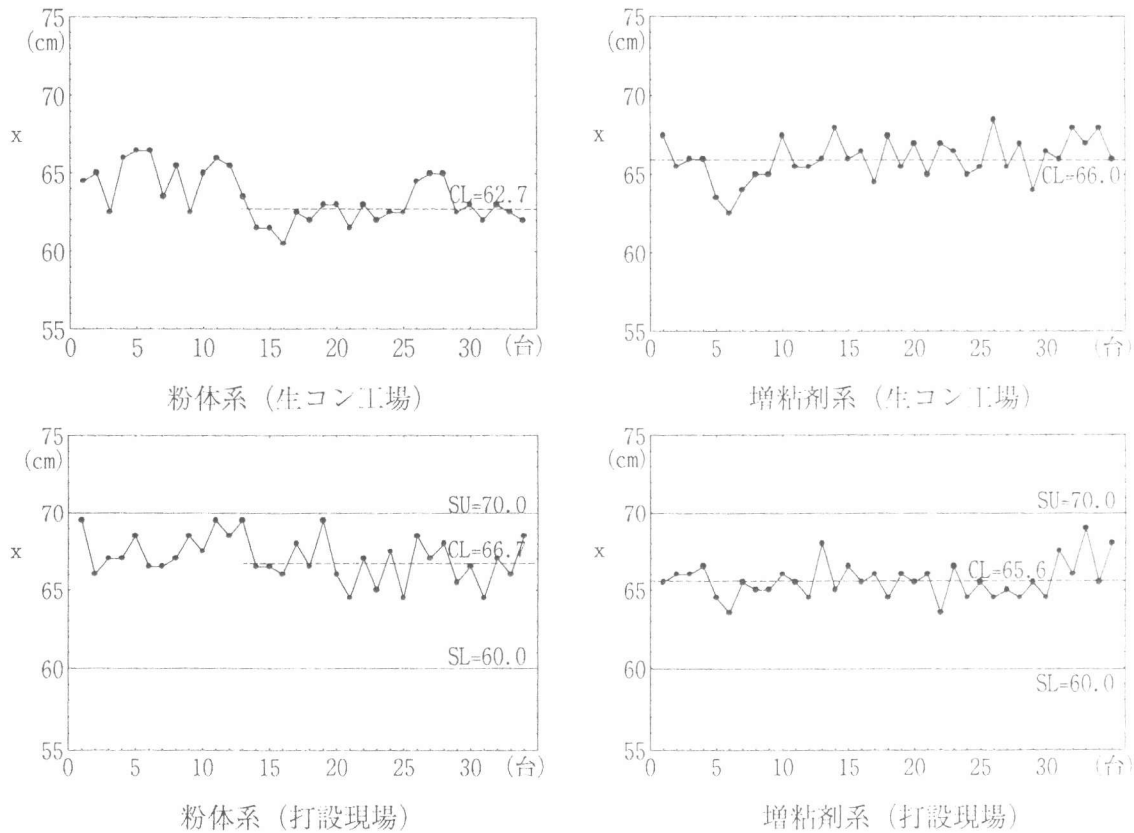


図-4 スランプフロー値の x 管理図

#### 4.2 高流動コンクリートのフルサンドイッチ構造部への充填度

上床版モデル上面のコンクリート未充填部の位置、面積および深さを測定した結果の一例として、粉体系モデルの測定結果を図-5に示す。これには、残留気泡は散見されるものの、補剛材などの構造上重要な箇所にはコンクリートの未充填部はなく、充填不良部といえる箇所はなかった。また、その他のモデルについても、この結果とほぼ同様であった。

つぎに、コンクリートコアを採取してその表面における粗骨材の占有面積を測定した結果の一例として、前記したモデルの測定結果を図-6に示す。この結果、コンクリート上面付近では他に比べて粗骨材が若干少ないものの、全体的には粗骨材がほぼ均一に存在している。これより、充填性を重視した流動性の高い配合であっても粗骨材の沈降はなく、硬化コンクリートとして適正であると評価できる。

以上のことから、高流動コンクリートのフルサンドイッチ構造部への充填度は、粉体系、増粘剤系ともに、非常に高かったと評価できる。と同時に、コンクリートの配合が適切であり、コンクリートの製造・運搬・打設に関する施工管理が十分に行われた結果であると評価できる。

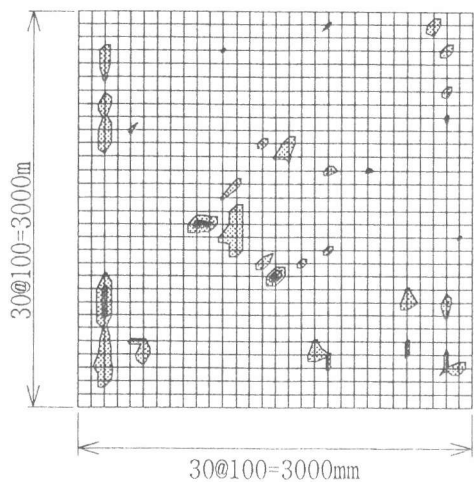


図-5 未充填部測定結果

a/b	面積割合 (%)	4.6
c/a	平均深さ (mm)	3.14
c/b	仮想平均深さ (mm)	0.14

a: モデル上面未充填部の面積  
b: モデル上面全面積  
c: モデル上面未充填部の体積

unit: mm

■	7.5-10.0
▨	5.0-7.5
▩	2.5-5.0
□	0.0-2.5

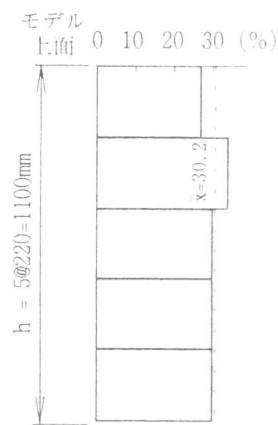


図-6 粗骨材占有面積測定結果

## 5. まとめ

フルサンドイッチ構造部への高流動コンクリートの充填度を高めるためには、品質の安定したコンクリートが必要である。それにはコンクリート自身に求められる課題とコンクリートの取扱い方に求められる課題とがある。つまり、前者がコンクリートの配合の確立であり、後者がコンクリートの製造・運搬・打設に関する施工管理手法の確立である。

本実験では、品質管理に関する国際規格ISO9000（既にJIS化済み）の考え方を取入れた施工管理のもとにコンクリートの製造・運搬・打設を行った。その結果、安定した品質の高流動コンクリートを連続的に製造することができた。また、そのコンクリートはフルサンドイッチ構造部への充填度が極めて高かった。これより、提案されていた配合と施工管理手法は、実施工に十分使用可能であることを確認することができた。

フルサンドイッチ構造は、コンクリート充填後の出来形を目視観察できないため、その品質を保証するためには、適正なコンクリートが適正な施工手順で実施されたことを記録として保存することが重要である。しかしながら、品質試験に関する要員が多く必要であり、今後の課題として、品質試験方法のスリム化、省人化を進める方法を開発していくことが必要である。

最後に、本施工実験の実施にあたって多数の関係諸氏にご指導・ご協力を賜ったことに対して、ここに深く感謝の意を表します。

## <参考文献>

- 1) 鈴木雄三著：合成構造沈埋トンネルの開発について、沈埋トンネル国際セミナー(P.152-P.213)、1994
- 2) 岡村 甫編：鋼コンクリートサンドイッチ構造設計指針(案)、土木学会、1992
- 3) 小門 武ほか著：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、1995
- 4) 本庄隆宣ほか著：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増粘剤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、1995
- 5) 末岡英二ほか著：増粘剤系コンクリートの各種要因による性状の違いについて、コンクリート工学年次論文報告集、Vol.17、1995