

使用材料の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

高橋 秀樹¹・西田 徳行・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製作工事において、粉体系高流動コンクリートを適用することとした。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てんすることから、充てん状況や充てん後の出来形確認が難しいため確実なコンクリートの施工が要求された。さらに骨材などの品質変動が懸念されるレディーミクストコンクリート工場を使用するため、所要の性能を満足した高流動コンクリートを安定して製造管理する技術が要求された。

本文は、細骨材粒度や表面水、高性能A E減水剤使用量など使用材料が変動した場合、高流動コンクリートのフレッシュな性状に及ぼす影響を調べ、施工時の管理方法を検討したものである。

*Key Words : high fluidity concrete, fine aggregate grading, superplasticizer
fine aggregate surface moisture, sandwich composite structure*

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充てんが要求されるので、締固め不要かつ自己充てん性に優れた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を使用しても、サンドイッチ構造では、コンクリートの充てん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てんするために、所要の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必要があった。

高流動コンクリートを市中のレディーミクストコンクリート工場（以下、生コン工場と略す）で製造する場合、細骨材粒度、表面水や気温等の変動がコンクリートの流動性能、材料分離抵抗性などのフレッシュな性状に対して少なからず影響を及ぼし、さらに流動性能を保持する時間が極めて限定される。

本文は、粉体系高流動コンクリートを本工事に適用する場合、細骨材粒度や表面水および高性能A E減水剤使用量の変動がフレッシュな性状に及ぼす影響について実験し、実施工において使用材料が変動した場合の管理方法を検討したものである。

2. 高流動コンクリート施工に関わる課題

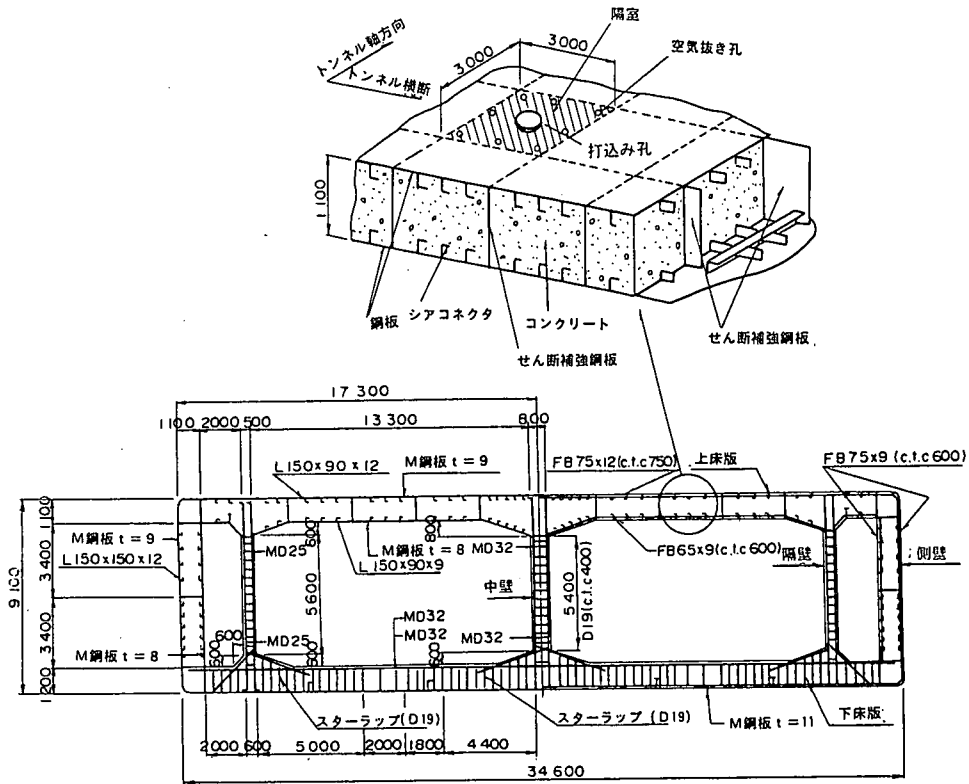
(1) 工事概要

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、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。



図一 沈埋函基本断面図

(2) 高流動コンクリート施工に関わる課題

高流動コンクリートはほぼ実用段階に入りつつあるが、サンドイッチ構造沈埋函のようにコンクリートの充てんおよび充てん確認が困難な大規模構造物に高流動コンクリートを適用することは初めてで、次のような構造上および施工上の課題があった^{2)~4)}。

a) サンドイッチ構造上の課題

本サンドイッチ構造の上床版は、せん断補強鋼板によって標準形状 $3\text{ m} \times 3\text{ m} \times 1.1\text{ m}$ に仕切られた隔室となっており、上下鋼板には補剛材が取付けられている。したがって、密閉されたサンドイッチ鋼殻内、特に上床版においては充てんしにくい構造となっているにも拘わらず、コンクリートが上部鋼板に密着するように充てんしなければならず、また充てん状況や出来形を確認できない。さらに、打込みのやり直しや未充てん部の補修が困難といった課題があった。

b) 高流動コンクリート施工上の課題

サンドイッチ構造に高流動コンクリートを充てんする場合に要求される性能は、特にフレッシュ時の性状であり、流動性と材料分離抵抗性を併せ持ち、鋼殻の隅々まで行きわたる高い充てん性を有することであるが、施工上の課題として高流動コンクリ

特有の問題点と工程上の制約があった。

① 高流動コンクリート特有の問題点

高流動コンクリートは、単位水量を大きくせずに流動性を良好にする目的により温度依存性のある高性能 AE 減水剤を比較的多く使用することから、温度などの環境条件の変動、その他に骨材の粒度や表面水の変動により、流動性などのフレッシュ時の性状が変動しやすい。また高流動コンクリートは、一般には締固めが行われないことから、フレッシュ時の性状の限度を超えればつきはそのまま構造物の欠陥の形成に繋がる可能性があり、実施工においては、フレッシュ時の品質変動を一定範囲内に抑えることが重要である。

これに対処する方法としては、材料管理とコンクリートの製造管理を適切に行ってコンクリートの品質変動を所定の範囲内に収める方法、あるいは品質変動を小さくするため増粘剤を添加する方法^{5), 6)}がある。

本報告の工事の場合は、当初の仕様には粉体系および増粘剤系の 2 種類のコンクリートが提示されていたが、実際には粉体系のものを採用し、材料管理とコンクリートの製造管理を十分に行うことによって所要の性能を有するコンクリートを確保すること

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(%)	水粉体比(%)	細骨材率(%)	粗骨材容積(1/m ³)	単 位 量 (kg/m ³)				高性能AE減水剤(%)	
						水	セメント	スラグ	細骨材		粗骨材
粉体系	20	5.0以下	30	50	300	176	粉体P(587)		778	777	P×1.3
							176	411			

にした。なお、実施工で粉体系のものを選定・採用した理由としては、粉体系のものについては過去に大量施工の実績があり、配合を決めるのが容易であったこと、増粘剤系を用いる場合は生コン工場における増粘剤投入に人員配置が必要でコストアップとなることが判明したこと、などがある。

高流動コンクリートのフレッシュ時の性状は、次の要因などの影響を受け、鋭敏に変動する^{7)~9)}。

- ・細骨材の粒度分布および粗粒率
- ・細骨材の表面水率
- ・気温およびコンクリート温度

そこで、これらの要因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について調べ、実施工における対処方法を検討しておく必要があった。

②高流動コンクリート施工上の制約

本工事では、沈埋函2函を製作するため約12,000m³と大量の高流動コンクリートを生コン工場ではほぼ2ヶ月間連続的に打設する工程上の制約があり、工場におけるトラブルを回避するために、骨材の生産地が異なる生コン工場を2工場使用することとした。

そのため、所要のフレッシュな性状を満足する高性能AE減水剤使用量が異なるなど、それぞれの生コン工場における高流動コンクリートの相違や、2ヶ月間にわたる気温変動等がフレッシュな性状に及ぼす影響を事前に把握しておく必要があった。

3. 実験概要

(1)高流動コンクリートの配合および使用材料

実験に用いた粉体系高流動コンクリートの示方配合(案)を表-1に示す。結合材は、普通ポルトランドセメントと高炉スラグ微粉末の組み合わせである。

実験に用いた材料は、使用予定の生コン2工場の材料を使用した。細骨材は、産地が異なっているが、いずれも海砂、砕砂の2種類を混合し、混合比も多少異なっている。使用材料の品質を表-2に示す。

(2)練混ぜ方法

コンクリートの練混ぜは、強制二軸式ミキサ(容量100ℓ)を用いた。練混ぜ方法は、セメントなど

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 比重 3.16, 比表面積3,010cm ² /g	
混和材		高炉スラグ微粉末 比重2.90, 比表面積6,000cm ² /g級	
A 工 場	細骨材	海砂	比重2.55, 粗粒率2.38, 吸水率1.94%
		砕砂	比重2.59, 粗粒率2.96, 吸水率1.13%
	篩:篩=75:25		比重2.56, 粗粒率2.51, 実積率64.0%
	粗骨材 (篩52005)	G _{max} =20mm, 比重2.63, 吸水率0.93% 粗粒率6.64, 実積率58.7%	
B 工 場	細骨材	海砂	比重2.55, 粗粒率2.39, 吸水率1.98%
		砕砂	比重2.58, 粗粒率3.09, 吸水率1.92%
	篩:篩=70:30		比重2.56, 粗粒率2.61, 実積率63.7%
	粗骨材 (篩52005)	G _{max} =20mm, 比重2.64, 吸水率1.86% 粗粒率6.58, 実積率60.2%	
混和剤 (主成分)		高性能A E減水剤 (ポリカルボノ酸エーテル系と架橋ポリマーの複合体)	

の粉体や骨材などを一括投入して15秒間空練りした後、水と高性能AE減水剤を加えて2分間練り混ぜた。

(3)高流動コンクリートの品質管理試験と品質目標

施工条件下における高流動コンクリートの間隙通過性や充てん性を評価する試験は、土木学会等で検討されているが、未だ確たるものはない。

現在、高流動コンクリートのコンシステンシー評価試験として、流動性についてはスランプフロー試験、材料分離抵抗性については漏斗流下試験で概ね評価できるといわれており、最終的な配合設計や充てん性の評価については、両試験を組み合わせて評価する方法が提案されている¹⁰⁾。

そこで、本工事においては、充てん性の指標としてフレッシュ時のスランプフロー試験、V型の漏斗流下試験(漏斗口先:75×75mm, 以下V75漏斗流下試験とする)、さらに空隙の発生に影響を及ぼすと考えられるブリーディング試験、その他にも、沈埋函を製作場所から沈設場所まで曳航する関係で浮力調整のために単位容積質量試験を品質管理試験項目とし、高流動コンクリートの品質目標を表-3のよう

表-3 高流動コンクリートの品質目標

品質管理試験項目		品質目標
フレッシュ	スランプフロー	65±5cm
	V75 漏斗流下時間	10±5秒
	空気量	5%以下
コンクリート	単位容積質量	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	$\sigma_{ck} = 30 \text{ N/mm}^2$
	単位容積質量	2.30~2.35t/m ³

に設定した。

なお、フレッシュ時の試験は、練混ぜ後、7分静置してから実施した。

(4) 実験内容

密閉鋼殻内へのコンクリートの充てん性を高めるためには、所要の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必要がある。

実施工では、骨材産地が異なり、施工中の細骨材の粒度や表面水率などの変動が懸念される生コン2工場を使用すること、さらに気温など環境条件の変動も想定された。

そこで実験では、細骨材の粗粒率や表面水率および試験室の温度を変えて、コンクリート温度を変化させ、それらがブリーディングも含めたフレッシュな性状に及ぼす影響を室内実験で調べた。

a) 細骨材混合比を変えて粗粒率を変化させた実験 (シリーズ1)

実験は、高性能AE減水剤使用量一定の下で、海砂・砕砂の混合比を変えて粗粒率を変化させて行い、フレッシュな性状への影響を調べた。

この実験をシリーズ1とし、実験の仕様を表-4に示す。

b) 細骨材表面水率を変化させた実験(シリーズ2)

実験は、高性能AE減水剤の使用量を一定として細骨材の表面水率の変化がフレッシュな性状に及ぼす影響を調べた。

実験では、表面水率の変動分を練混ぜ水のみの変動と位置づけ、配合上外割で水量を変化させた。

この実験をシリーズ2とし、実験の仕様を表-5に示す。

c) 環境温度を変化させた実験 (シリーズ3)

高流動コンクリートは、温度依存性がある高性能AE減水剤を比較的多量に使用することから、コンクリート温度によって所定のフレッシュな性状を得るための高性能AE減水剤の使用量が変動することが予想された。

表-4 細骨材混合比を変えて粗粒率を変化させた実験 (シリーズ1)

工場 (高性能AE減水剤の使用量)	ケース	海砂 (%)	砕砂 (%)	粗粒率 (F.M.)	洗い損失量 (%)	温度 (°C)
A工場 (SP=P _x 1.55%)	—	100	—	2.39	0.44	20
	1	95	5	2.40	1.08	
	2	85	15	2.46	2.35	
	3	75	25	2.51	3.60	
	4	65	35	2.59	4.91	
	5	55	45	2.64	6.18	
	—	—	100	2.96	13.2	
B工場 (SP=P _x 1.65%)	—	100	—	2.38	0.46	20
	1	90	10	2.46	1.27	
	2	80	20	2.51	2.09	
	3	70	30	2.61	2.90	
	4	60	40	2.68	3.72	
	5	50	50	2.74	4.53	
	—	—	100	3.09	8.6	

表-5 細骨材表面水率を変化させた実験 (シリーズ2)

工場	ケース	細骨材表面水率の設定 (%)	備考
A	1	+1.0	※細骨材混合比 海砂：砕砂 =75：25 ※高性能AE減水剤 (SP)使用量：P _x 1.55% ※試験温度：20°C
	2	+0.5	
	3	0	
	4	-0.5	
B	1	+0.5	※海砂：砕砂=70：30 ※SP使用量：P _x 1.65% ※試験温度：20°C
	2	0	

表-6 環境温度を変化させた実験 (シリーズ3)

ケース	試験温度 (°C)	高性能AE減水剤使用量	備考
1	10	3水準	※細骨材混合比 海砂：砕砂 A = 75 : 25 B = 70 : 30
2	20	3水準	
3	25	3水準	
4	30	2~1水準	

このため、実施工時(9~11月)に想定される気温の変動(30~10°C)に対処できるように試験室の温度を10°C, 20°C, 25°C, 30°Cと変え、それぞれのコンクリート温度による目標のフレッシュ時の性状(ス

表-7 シリーズ1実験結果 (細骨材粒度がフレッシュコンクリートの性状へ及ぼす影響)

工場	細骨材 混合比 (海:砕)	試験 温度 (°C)	細骨材表面 水率の設定 (%)	高性能A/E 減水剤量 (P×%)	スランブ フロー (cm)	V75漏斗 流下時間 (sec)	空気 量 (%)	単位容 積質量 (t/m ³)	コンクリート 温度 (°C)	ブリーディ ング率 (%)	凝 結 時 間		圧縮強度 (材齢28日) (N/mm ²)
											始発(時-分)	終結(時-分)	
A	95 : 5	20	0.0	1.55	69.5	8.8	2.0	2.35	20.5	0.38	11-00	14-55	84.5
	85 : 15				71.5	8.2	1.9	2.35	20.5	0.35	—	—	88.8
	75 : 25				67.0	10.8	2.2	2.35	20.5	0.21	10-10	14-20	85.8
	65 : 35				66.0	10.3	1.9	2.35	21.0	0.28	10-30	14-45	89.9
	55 : 45				65.5	10.8	2.2	2.35	21.0	0.24	—	—	83.7
	55 : 45				57.0	14.6	2.6	2.34	21.5	0.16	—	—	87.5
B	90 : 10	20	0.0	1.65	71.5	8.4	2.1	2.35	21.0	0.20	11-00	14-50	85.7
	80 : 20				71.0	8.5	2.0	2.35	21.0	0.24	—	—	—
	70 : 30				70.0	8.3	2.3	2.34	21.0	0.14	11-00	14-40	89.0
	60 : 40				70.0	8.1	2.2	2.35	21.0	0.16	—	—	—
	50 : 50				66.5	9.8	1.8	2.35	21.0	0.10	10-45	14-40	84.1
	50 : 50				66.0	10.1	2.0	2.35	21.0	0.09	—	—	—
	50 : 50				64.5	11.1	2.2	2.35	21.0	0.00	10-15	13-40	88.6
	50 : 50				64.0	11.4	2.3	2.34	21.0	0.02	—	—	—
	50 : 50				60.0	11.4	2.4	2.34	21.0	0.00	9-35	13-25	88.9
	50 : 50				59.5	11.8	2.3	2.34	21.0	0.00	—	—	—

表-8 シリーズ2実験結果 (細骨材表面水率がフレッシュコンクリートの性状へ及ぼす影響)

工場	細骨材 混合比 (海:砕)	試験 温度 (°C)	細骨材表面 水率の設定 (%)	高性能A/E 減水剤量 (P×%)	スランブ フロー (cm)	V75漏斗 流下時間 (sec)	空気 量 (%)	単位容 積質量 (t/m ³)	コンクリート 温度 (°C)	ブリーディ ング率 (%)	凝 結 時 間		圧縮強度 (材齢28日) (N/mm ²)
											始発(時-分)	終結(時-分)	
A	75 : 25	20	-1.0	1.55	67.5	8.6	2.0	2.35	21.5	0.31	—	—	81.2
			-0.5		65.0	10.7	2.3	2.34	22.0	0.23	—	—	85.2
			0.0		64.0	11.4	2.3	2.34	22.0	0.14	10-30	14-45	86.3
			+0.5		60.0	12.1	2.6	2.34	21.5	0.05	—	—	87.6
B	70 : 30	20	-0.5	1.65	68.5	8.0	1.8	2.35	21.5	0.20	—	—	84.5
			0.0		66.0	9.2	2.0	2.35	21.0	0.09	10-45	14-40	84.2

ランブフロー65cm, V75漏斗流下時間10秒程度) が得られる高性能A/E減水剤の使用量の変化を調べるとともに、コンクリート温度の変化がブリーディング率へ及ぼす影響を調べた。

この実験をシリーズ3とし、実験の仕様を表-6に示す。

4. 実験結果および考察

シリーズ1, シリーズ2, シリーズ3の実験結果を表-7, 8, 9に示す。

(1) 細骨材粒度がフレッシュな性状に及ぼす影響

高性能A/E減水剤使用量を一定とし、細骨材混合比を変化させた場合のフレッシュ時の試験結果を図-2に、ブリーディング率との関係を図-3に示す。

細骨材の微粒分の影響がないように微粒分を除去して細骨材混合比を変えた場合の実験¹⁾によれば、細骨材の粗粒率が大きくなると、粘性が低くなって、スランブフローは大きくなり、V75漏斗流下時間は

早くなるようである。

本実験で使用した細骨材は実施工を想定したため、骨材に含まれる微粒分は除去していない。

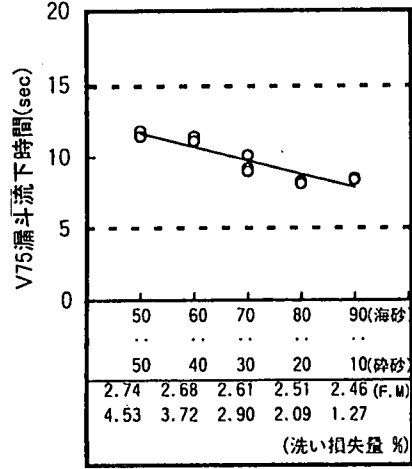
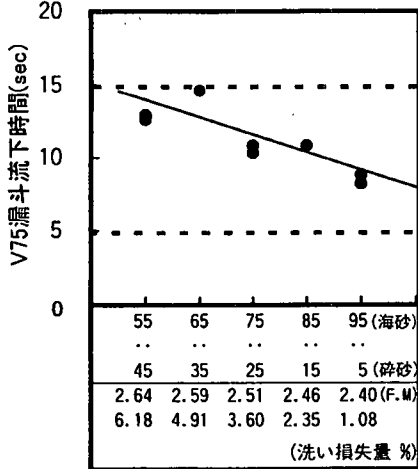
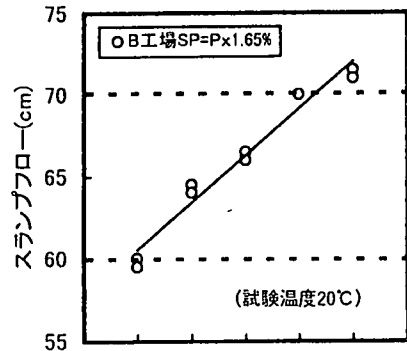
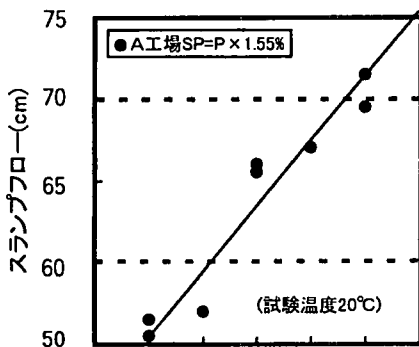
実験では、粗粒率が小さい海砂および粗粒率は大きい75μm以下の微粒分量が多い砕砂の2種類を使用した関係で、前述の結果と異なり、図-2のように砕砂の混合比が大きくなって微粒分量が増えると、スランブフローは小さくなり、V75漏斗流下時間は遅くなる傾向となった。すなわち、砕砂の混合比が10%大きくなると、スランブフローで2~3cm程度減少し、V75漏斗流下時間は1秒程度長くなった。また、図-3からも砕砂の混合比が大きくなるとブリーディング率は減少した。

これらは、いずれも砕砂の混合比が大きくなることにより微粒分の量が多くなったためと考えられる。

次に、図-2のB工場のデータからは、フレッシュ時の性状を目標範囲に収めるには、粗粒率が概ね2.5~2.7程度の範囲と判断できた。なお、A工場のデータでは、フレッシュ時の目標性状を満足する粗粒率の範囲は、若干小さい方にシフトしているが、

表-9 シリーズ3実験結果 (環境温度がフレッシュコンクリートの性状へ及ぼす影響)

工場	細骨材混合比 (海:砕)	試験温度 (°C)	細骨材表面 水率の設定 (%)	高性能AE 減水剤量 (PX%)	スランプ フロー (cm)	V75漏斗 流下時間 (sec)	空気 量 (%)	単位容 積質量 (t/m ³)	コンクリート 温度 (°C)	フリー ング率 (%)	凝 結 時 間		圧縮強度 (材齢28日) (N/mm ²)	
											始発 (時-分)	終結 (時-分)		
A	75 : 25	10	0.0	1.55	57.0	13.1	3.4	2.31	10.5	0.19	—	—	88.8	
					1.70	65.5	14.5	2.8	2.34	10.5	0.30	18-30	27-00	92.1
					1.80	72.5	14.2	2.7	2.34	10.5	0.38	—	—	90.6
		20			1.40	59.0	9.8	1.9	2.35	21.0	0.15	9-30	13-30	91.0
					1.55	66.0	10.3	1.9	2.35	21.0	0.28	10-30	14-45	89.9
					65.5	10.8	2.2	2.35	21.0	0.24	—	—	83.7	
	25	1.70	76.0	7.3	1.5	2.35	21.0	0.44	12-00	16-30	93.6			
		1.70	63.0	17.3	2.4	2.34	25.5	0.01	—	—	85.0			
		1.80	67.5	10.3	1.7	2.35	25.5	0.14	10-05	12-20	88.6			
		1.85	73.0	9.5	1.3	2.35	25.5	0.22	—	—	87.8			
		30	1.70	61.5	12.6	2.0	2.35	30.5	0.00	7-00	9-00	79.3		
			1.85	67.0	9.6	1.8	2.35	30.5	0.12	7-45	10-05	81.2		
B	70 : 30	10	0.0	1.50	60.5	12.9	3.7	2.31	10.5	0.22	—	—	84.0	
					1.65	69.0	12.3	3.4	2.32	10.5	0.32	17-50	26-30	88.2
					1.75	74.0	13.4	3.3	2.33	10.5	0.41	—	—	85.7
		20			1.50	61.0	9.9	2.1	2.35	21.0	0.06	—	—	88.6
					1.65	67.0	9.2	2.0	2.35	21.0	0.11	10-45	14-30	90.2
					1.75	72.5	9.1	2.1	2.35	21.0	0.19	—	—	89.1
	25	1.55	59.5	8.5	2.1	2.35	25.5	0.02	—	—	85.0			
		1.65	64.0	10.4	2.2	2.35	25.0	0.04	9-20	11-45	85.2			
		1.75	70.0	8.0	2.3	2.34	25.0	0.07	9-55	12-20	86.1			
		30	1.75	69.0	9.5	1.8	2.35	30.5	0.00	8-10	11-10	84.2		



A工場: 細骨材の混合比率(%)

B工場: 細骨材の混合比率(%)

図-2 細骨材混合比を変えた場合の細骨材粗粒率とフレッシュコンクリートの性状

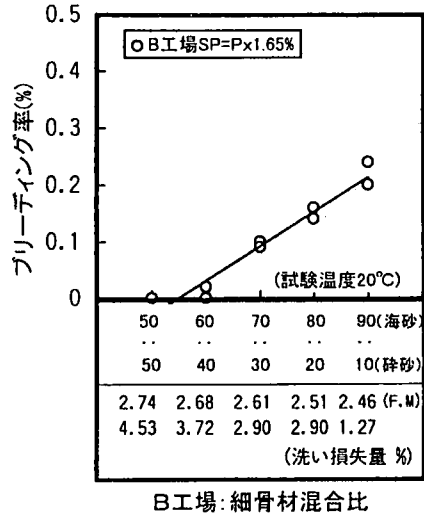
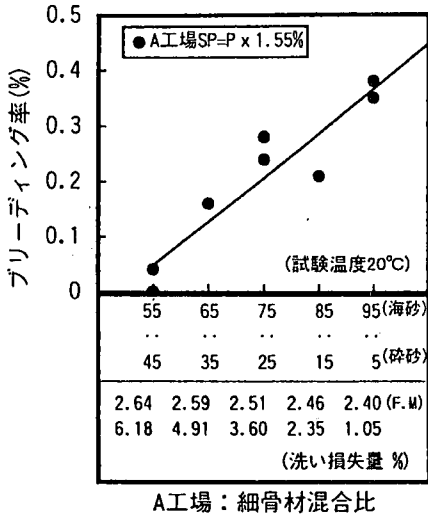


図-3 細骨材混合比を変えた場合の細骨材粗粒率とブリーディング率

これは試料採取時に微粒分が多くなり粗粒率が少し小さくなったためと考えられる。通常のA工場の粗粒率(入荷時試験データ)は2.6程度である。以上の推察される原因を考慮し、所要のフレッシュ時の性状を満足する粗粒率の範囲は、前述の2.5~2.7程度と判断した。

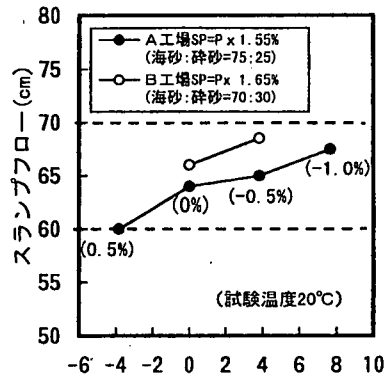
また、図-3からブリーディングは一般的に知られているように微粒分量が増えれば減少する結果となり、ブリーディング率は0%にはならないものの、すべてのケースで0.5%未満と僅かであった。

そこで、細骨材の粒度によって微粒分量が多少変化しても粗粒率が上記の範囲にあれば、所要のフレッシュ時の性状が得られると判断できたため、細骨材の粒度については、上記粗粒率の範囲で管理することとした。

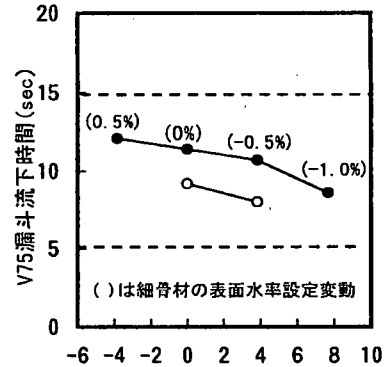
なお、前述した図-2の海砂、砕砂の混合比とフレッシュ性状の関係および図-3からブリーディングの発生を少なくするには微粒分量を増やすことが有効と考えられる。したがって、施工中に、スランプロワーが品質目標値の上限、あるいはV75漏斗流下時間が目標値の下限に偏り、細骨材混合比で配合を調整する場合は、各工場の混合比(海砂:砕砂=70:30(A工場), 75:25(B工場))から砕砂の混合比を5%単位で+10%を限度として増やしてもよいこととした。

(2) 細骨材表面水率がフレッシュな性状に及ぼす影響

高性能AE減水剤使用量を一定とし、細骨材の表面水率の設定を変えて単位水量を変動させた場合の実験結果を図-4に、ブリーディング率との関係を



表面水率変動による単位水量の変化(kg/m³)



表面水率変動による単位水量の変化(kg/m³)

図-4 細骨材表面水率変動とフレッシュコンクリートの性状

図-5に示す。

図-4から、細骨材の表面水率の設定を+0.5%(単位水量換算では約4kg/m³減)にすると、スラン

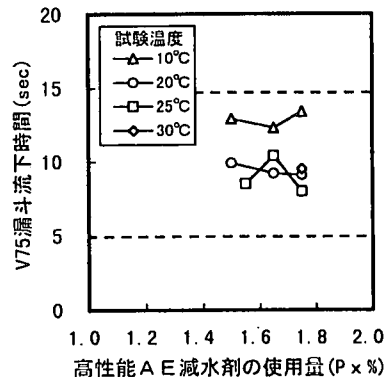
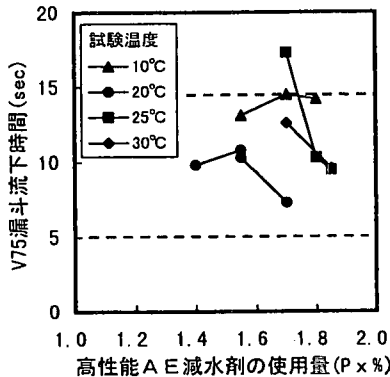
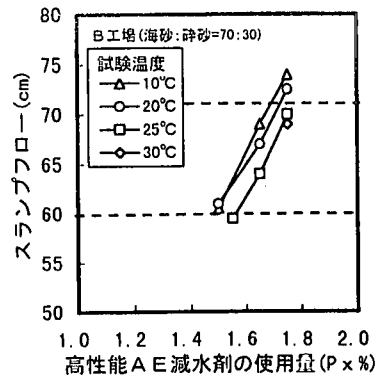
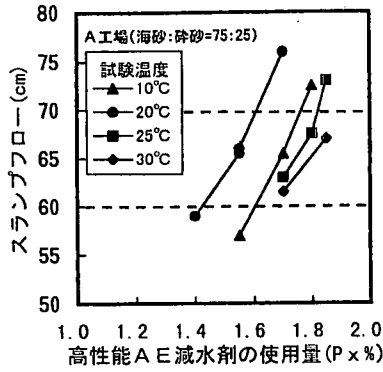
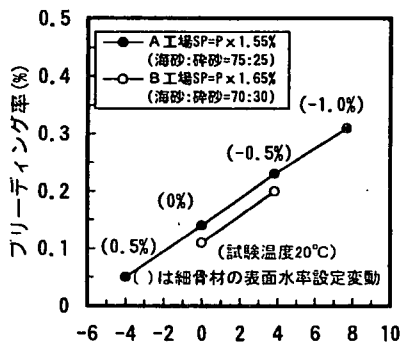


図-6 高性能AE減水剤使用量とフレッシュコンクリートの性状



表面水率変動による単位水量の変化 (kg/m^3)

図-5 細骨材表面水率変動とブリーディング率

ブローは約5cm小さくなり、-1.0%(単位水量換算では約 $8\text{kg}/\text{m}^3$ 増)に設定するとスランブフローは約5cm大きくなった。

また、V75漏斗流下時間は、単位水量の影響を敏感に受けるといわれており¹²⁾、本実験でも細骨材表面水率を変化させ、単位水量が増える場合の流下時間は早くなる傾向にあった。

また、ブリーディング率は、図-5に示されるように細骨材の表面水率を変化させて単位水量が多くなれば増えるが、単位水量が表面水率の設定で0.5%分(単位水量で約 $4\text{kg}/\text{m}^3$)増えても、0.1%程度の増加

であり、すべてのケースで0.5%未満と僅かであった。

以上から、所要のフレッシュな性状が得られるように細骨材の表面水率の設定で配合調整する場合、ブリーディングの抑制を考慮し、表面水率の設定は0.5%を上限として適宜調整してもよいこととした。ただし、ブリーディングの発生が多くなるような細骨材の表面水率での調整(マイナス側の設定)は極力避けることとした。

(3) 環境温度がフレッシュな性状に及ぼす影響

各試験温度において、所要のフレッシュな性状が得られる高性能AE減水剤使用量を調べるため、使用量を変化させた場合の結果を図-6に、また各試験温度別に所要のフレッシュな性状が得られる高性能AE減水剤使用量を整理した結果を図-7に示す。

図-6より、各温度によって高性能AE減水剤使用量は相違したが、試験における使用量の範囲では、高性能AE減水剤使用量を $\pm 0.1\%$ 増減するとスランブフローは約5cm増減し、V75漏斗流下時間については、あまり大きな変動はみられなかった。

また、温度20°Cの場合、所要のフレッシュ時の性状(スランブフローが60~70cm、V75漏斗流下時間が5~10秒程度)を満足する高性能AE減水剤使用量の範囲は、A工場で $P \times 1.4 \sim 1.6\%$ 、B工場でP

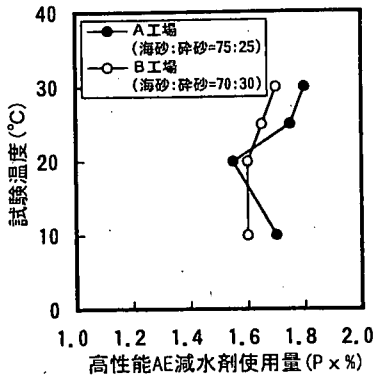


図-7 温度と高性能AE減水剤使用量

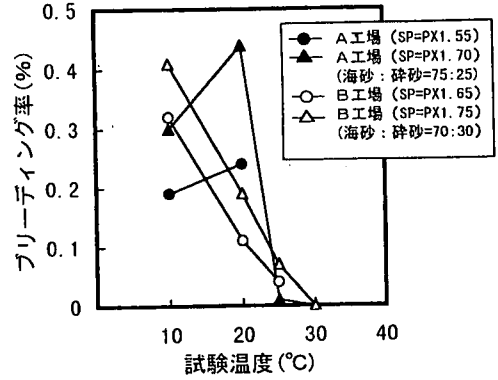


図-9 温度とブリーディング率

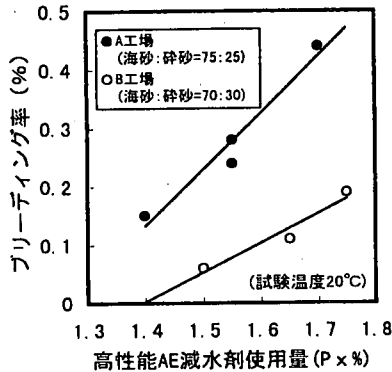


図-8 高性能AE減水剤使用量とブリーディング率

×1.5~1.7%と0.1%程度の差があった。この原因としては、海砂、砕砂の混合比が若干異なることや骨材産地が異なることなどが原因として考えられる。

図-7からは、温度と高性能AE減水剤使用量の関係はあまり明確でなかったが、温度が高くなれば、高性能AE減水剤使用量が増える傾向にあった。

次に、高性能AE減水剤使用量とブリーディング試験の結果を図-8に、試験温度とブリーディング試験の結果を図-9に示す。

図-8、9から、ブリーディング率はいずれのケースも0.5%未満と僅かであった。

また、図-8より、高性能AE減水剤使用量が多くなると、ブリーディング率も多くなる結果となった。これは、高性能AE減水剤の使用量が多くなることによって凝結が遅延する(表-9参照)ことによるものと考えられる。

温度が高くなるとコンクリートのブリーディングの発生は少なくなるといわれており、本実験における高流動コンクリートにおいても図-9に示されるように温度が高くなるとブリーディングの発生が少なくなる傾向にあった。

すなわち、温度が低い場合は、ブリーディングの発生は多くなるが、高性能AE減水剤使用量は減る傾向となる。また、温度が高いとブリーディングの発生は少なくなるが、高性能AE減水剤使用量は増える傾向にあった。しかし、いずれも実験の範囲内では、ブリーディング率は0.5%未満と僅かであった。

以上から、気温の変動に伴ってコンクリート温度が変動して高性能AE減水剤で配合を調整する場合、ブリーディングの発生を少なくするため、実験における高性能AE減水剤の使用量以上とならないように注意し、スランプフローを基準にして、前述の割合すなわちスランプフロー±5cmにつき使用量を±0.1%で調整することとした。

5. まとめ

本報告で得られた実験結果を基にして、実施工で採用した高流動コンクリートの配合および品質管理方法を以下にまとめて示す。

(1) 配合

複数の生コン工場を使用する場合、骨材の産地や骨材混合比などが異なることから、各生コン工場における所要のフレッシュな性状を満足する高性能AE減水剤使用量は、若干相違した。

本実験およびプラントの室内・実機試験練りから定めた、それぞれの生コン工場における示方配合を表-10、11に示す。

ただし、高性能AE減水剤使用量については、気温やコンクリート温度変化に対して変動するため、実施工では、当日の試験練りや前日の使用量などを参考にして設定する。

(2) 細骨材粒度の管理

実験結果から、粗粒率が2.5~2.7程度の範囲内であれば、フレッシュ時の性状に及ぼす影響が少ない

表-10 高流動コンクリートの示方配合 (A工場)

配合	粗骨材の最大寸法 (mm)	空気量 (%)	水粉体比 (%)	水粉体容積比	粗粒細骨材容積比	細骨材率 (%)	粗骨材容積 (1/m ³)	単 位 量 (kg/m ³)					高性能AE減水剤 (%)
								水	セメント	スラグ	細骨材	粗骨材	
粉体系	20	5.0 以下	29	0.85	0.43	50	300	176	粉体 P (587)		771	783	P × 1.5
									176	411			

表-11 高流動コンクリートの示方配合 (B工場)

配合	粗骨材の最大寸法 (mm)	空気量 (%)	水粉体比 (%)	水粉体容積比	粗粒細骨材容積比	細骨材率 (%)	粗骨材容積 (1/m ³)	単 位 量 (kg/m ³)					高性能AE減水剤 (%)
								水	セメント	スラグ	細骨材	粗骨材	
粉体系	20	5.0 以下	29	0.85	0.43	50	300	176	粉体 P (587)		768	789	P × 1.6
									176	411			

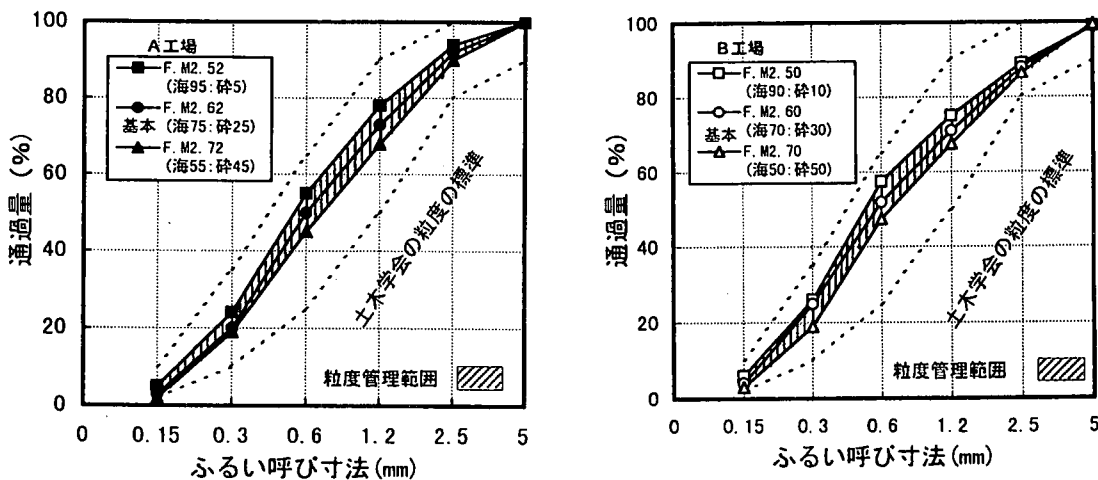


図-10 細骨材粒度曲線管理範囲

と判断できたので、本実験および各工場の定期試験結果を基に若干の補正を行って定めた実施工における粒度分布管理範囲を図-10に示す。

また、施工中にフレッシュ時の性状が変動し、細骨材混合比で配合を調整する場合、微粒分量を増やすとブリーディングの発生を少なくすることが可能となることから、砕砂の混合比を5%単位で+10%を限度として増やす。

(3) 細骨材表面水率の設定

製造バッチ毎の細骨材の表面水率測定が困難なことから、表面水率を実測していない合間において、練混ぜ時のミキサ油圧負荷値の変動や出荷時の試験等からフレッシュな性状に変化が認められ、表面水率で配合を調整する場合は、測定値との差0.5%を上限とし、それ以下になるように適宜調整する。

ただし、ブリーディングを抑制するため、細骨材

表面水率の設定で単位水量を多くするような場合の調整は極力避け、この場合は高性能AE減水剤による調整を優先する。

(4) 気温やコンクリート温度が変動した場合の管理

気温の変動に伴い、コンクリート温度が変動してフレッシュ時の性状などに変化が認められた場合は、原則として高性能AE減水剤の使用量で配合の調整を行う。

ただし、高性能AE減水剤使用量が増えればブリーディングの発生も多くなることから、実験における上限の使用量以下とし、スランプフローを基にしてスランプフロー±5cmにつき高性能AE減水剤使用量を±0.1%増減させる。

謝辞：本研究は、神戸港港島トンネルフ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対し、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) 鈴木雄三: 合成構造沈埋トンネルの開発について, 運輸省第三港湾建設局 沈埋トンネル国際セミナー講演集, 1994. 11.
- 3) 中島由貴: 沈埋トンネル, コンクリート工学, Vol. 33, No1, pp. 65~69, 1995. 1.
- 4) 中島由貴, 小島朗史, 城代高明, 高橋秀樹: サンドイッチ合成構造沈埋函の高流動コンクリート施工, コンクリート工学年次論文報告集, Vol. 18, No1, pp. 177~182, 1996. 7.
- 5) 新藤竹文, 松岡康訓, S. TANGTERMSIRIKUL, 坂本淳: 使用材料の品質変動が超流動コンクリートの性状に及ぼす影響, コンクリート工学年次論文報告集, Vol. 14, No1, pp. 75~78, 1992. 6.
- 6) 岡龍一郎, 岩城 実, 坂田 昇: 特殊増粘剤が高流動コンクリートの流動性を安定させる効果, 土木学会第48回年次学術講演会, pp. 138~139, 1993. 9.
- 7) 三浦律彦, 入矢桂史朗, 十河茂幸: 細骨材表面水率の変動が超流動コンクリートの品質に及ぼす影響, コンクリートの製造システム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. 37~42, 1992. 5.
- 8) 平田隆祥, 竹田宣典, 三浦律彦, 十河茂幸: 高流動コンクリートのフレッシュ性状に及ぼす骨材粒度の影響, コンクリート工学年次論文報告集, Vol. 17, No1, pp. 81~86, 1995. 6.
- 9) 山川 勉, 早川和良, 捧 剛明, 柿崎昌義, 阿部保彦: セルロース系分離低減剤タイプ高流動コンクリートの練上がり温度並びに養生温度の影響, 第2回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. 39~44, 1994. 5.
- 10) 岡村 甫, 前川宏一, 小沢一雅: ハイパフォーマンスコンクリート, 技報堂出版, 1993. 9.
- 11) 佐野清史, 末岡英二, 中村亮太, 宮川豊章, 藤井 學: 細骨材粒度が増粘剤系高流動コンクリートのフレッシュ性状に与える影響, 材料, Vol. 45, No. 9, pp. 973~978, 1996. 9.
- 12) 三浦律彦, 近松竜一, 十河茂幸: ロート流下試験法による超流動コンクリートの品質判定に関する一考察, 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. 9~16, 1993. 5.

(1998. 3. 3 受付)

INFLUENCE OF CHANGES IN MATERIALS STATE ON PROPERTIES OF FRESH HIGH FLUIDITY CONCRETE

Hideki TAKAHASHI, Noriyuki NISHIDA,
Tetsuo SONOYAMA and Takaharu JODAI

High fluidity concrete was applied for sandwich composite structure of immersed tunnel elements. This works requires reliable concrete filling techniques into the steel-shells of shutting sandwich composite structure, for difficulty to confirm filling state and finished concrete filling form. Still more, although we use two ready mixed concrete plants anxious about changes of aggregate qualities and so on, this works requires for techniques of stable making of high fluidity concrete satisfied needed properties.

The object of this study is to investigate the influence on properties of fresh high fluidity concrete, caused by changes of concrete materials state, such as fine aggregate grading, fine aggregate surface moisture, temperature and so on. And some concernings were making on reliable concrete filling method.