

報告 施工性および側圧を考慮した水中不分離性コンクリートの配合検討

前田 哲宏^{*1}・篠崎 友利^{*2}・杉本 俊介^{*3}・坂田 昇^{*4}

要旨：今回の工事は、夏期にコンクリートを製造および運搬する一方、ダム湖内の二重鋼矢板仮締切り工の中詰めコンクリートとして最低水温 10℃程度の冷水中に打設する。この条件下で、打込み時までは所定の流動性を確保し、かつ打込み後には鋼矢板への側圧を軽減する凝結の速いコンクリートの配合について検討した。その結果、ポリカルボン酸系の高性能 AE 減水剤と耐寒・防凍剤を用い、水セメント比を比較的小さくすることにより、コンクリート温度 25℃、凝結硬化速度試験の環境温度 20℃の条件下では、スランプフロー 50±3cm の保持性および凝結始発時間 15 時間程度を満足することがわかった。

キーワード：水中不分離性コンクリート、流動性保持、凝結始発

1. はじめに

コンクリート施工時の環境温度は一般にほぼ同じであることから、コンクリートの製造・運搬・打込みに亘って同じ気温およびコンクリート温度で検討されることがほとんどである。しかし、今回対象としたコンクリート工事は、施工が夏季であるため高い気温でコンクリートを製造および運搬する一方、ダム湖内の二重鋼矢板締切り工の中詰めに使用することから、大水深下では冷水中にコンクリートを打込むこととなる。この条件下において、打込み時までは所定の流動性を確保し、かつ打込み直後には鋼矢板への側圧をできるだけ軽減するため凝結の速いコンクリートが要求された。そこで、この条件を満足する水中不分離性コンクリートの配合について室内試験によって検討したので、その結果について報告する。

2. コンクリートの条件

2. 1 コンクリート打込み時の環境条件

打込み時期が、夏期であり、その時期の現場

付近の気温は 25℃程度である。また、コンクリートを打込むダム湖の水温は大水深下で最低 10℃程度である。

2. 2 コンクリートに要求される性能

コンクリートに要求される性能を表 1 のように定めた。ここで、スランプフローは施工性および充填性の確保の観点から 50cm とした。また、スランプフローの保持時間はコンクリートの運搬等を考慮して 120 分とした。水中での十分な材料分離抵抗性を確保するために水中気中強度比を 0.8 以上とした。さらに、側圧と凝結始発時間の関係¹⁾を考慮して、目標の凝結始発時間を 15 時間程度とした。

3. 実験シリーズ1

3. 1 実験内容

(1)実験条件

現場付近の気温 25℃に対し、厳しい条件としてコンクリートの打込み温度を 30℃に設定して、スランプフロー保持の環境温度を 30℃、凝結硬化速度試験および圧縮強度試験の環境温度

*1 電源開発（株）総合技術試験所建設材料グループ（正会員）

*2 電源開発（株）奥只見・大鳥増設建設所奥只見グループ 課長代理

*3 鹿島・東洋 J V 奥只見発電所増設工事事務所 副所長（正会員）

*4 鹿島技術研究所第二研究部第 2 研究室主任研究員 工博（正会員）

表-1 コンクリートに要求される性能

項 目	要求される性能
設計基準強度 (材齢28日)	24N/mm ² (配合強度:31N/mm ² 以上)
流動性・充填性	スランプフロー50±3cm
スランプフロー 保持時間	120分程度
材料分離抵抗性	水中気中強度比0.8以上 (材齢28日)
凝結始発時間	15時間程度

を 10℃に設定した。

(2)試験要因と水準

表-2に示すように、単位水量、耐寒・防凍剤添加率および高性能 AE 減水剤（以下 SP 剤と記す）の添加率の3つの配合条件を試験要因とした。配合の固定条件として、細骨材率を40%、水中不分離性混和剤の添加率を 1.15%×Wとした。

(3)使用材料およびコンクリート配合

使用材料は表-3に示すとおりである。水中不分離性コンクリートには SP 剤として、一般にメラミンスルホン酸塩系が用いられる¹⁾。しかし本試験では、施工条件を考慮し、流動性に

対し温度依存性が小さく、凝結が比較的早くなるポリカルボン酸系を用いることとした。また、凝結を促進させる混和剤として、無塩化・無アルカリタイプの耐寒・防凍剤を用いた。さらに、凝結時間を短くするため水結合材比を比較的小さくした。コンクリート配合は上述の試験要因および水準を考慮して、表-4に示す6配合とした。

(4)試験方法

練混ぜには二軸型強制練りミキサ（容量 100ℓ、回転数 60rpm）を用いて、土木学会「水中不分離性コンクリート設計施工指針（案）」に準拠し、空練り 30 秒後、水を投入し 90 秒練混ぜた。コンクリート練混ぜ量は、60ℓとした。

実施した試験項目および試験方法は表-5に示すとおりである。ここで、凝結硬化速度試験については、実施工を考慮して練上がり 60 分までは 30℃で養生し、それ以降は 10℃で養生した。スランプフローの経時変化については、室温 30℃の恒温室内で、コンクリートを容器に静置し、所定の時間にコンクリートを練り返し、その後スランプフロー試験を行った。圧縮強度

表-2 試験要因と水準

要 因	水 準
単位水量 (kg/m ³)	220 225
耐寒・防凍剤 の添加率 (P×%)	0.0 1.0 2.0
高性能AE 減水剤の添加率 (P×%)	1.0 1.5 2.0

表-3 使用材料

使用材料	種 類	物性または成分
セメント(C)	普通ポルトランドセメント	密度: 3.16g/cm ³
細骨材(S)	奥只見産砕砂	密度: 2.70kg/ℓ, FM: 2.63
粗骨材(G)	八王子産碎石	密度: 2.64kg/ℓ, FM: 6.84
混和材(F)	フライアッシュ(I種)	密度: 2.24 g/cm ³
混和剤	高性能AE減水剤(SP)	ポリカルボン酸系
	耐寒・防凍剤(PS)	窒素無機化合物類
	水中不分離性混和剤(UW)	メチルセルロース系

表-4 試験ケース

ケース No	W/P (%)	s/a (%)	単 位 量 (kg/m ³)				SP (P×%)	PS (P×%)
			W	C	F	UW		
1	44.0	40.0	220	425	75	2.53	2.0	-
2	45.0		225			2.59	2.0	-
3	44.0		220			2.53	2.0	1.0
4	44.0	40.0	220	425	75	2.53	1.0	2.0
5	44.0		220			2.53	1.0	2.0
6	44.0		220			2.53	1.5	1.0

表-5 試験項目および試験方法

試験項目	試験方法
コンクリート温度	温度計による
スランプフロー	JSCE-F503-1990 に準拠
スランプフローの経時変化	同上 (0, 30, 60, 90, 120分)
空気量	JIS A 1128に準拠
凝結硬化速度	ASTM C 403に準拠
圧縮強度	JIS A 1108に準拠

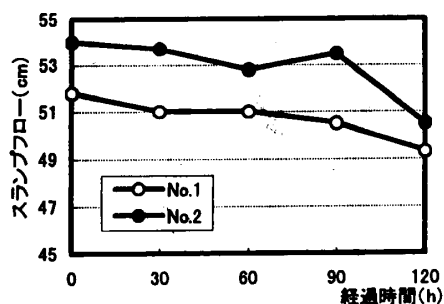


図-1 スランプフローの経時変化

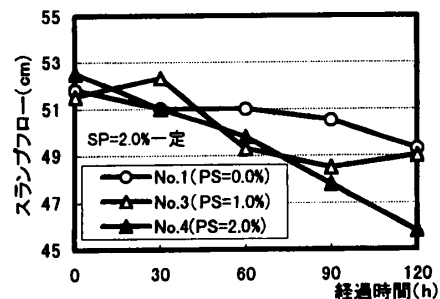


図-2 スランプフローの経時変化

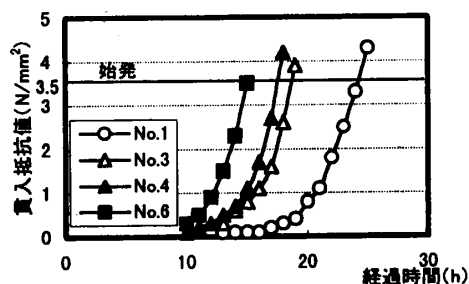


図-3 凝結硬化速度試験結果

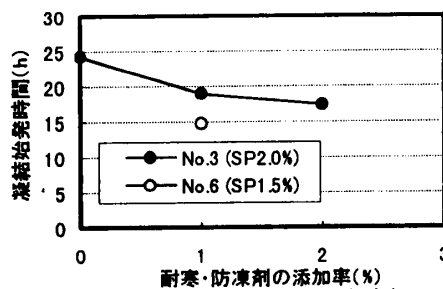


図-4 耐寒・防凍剤の添加率と凝結始発時間の関係

試験は、気中作製供試体と水中作製供試体について材齢3日、7日、14日および28日に実施した。なお、水中作製供試体は、土木学会の指針(案)¹⁾に準拠して作製したもの(水中A)と、水中で50cm自由落下させて作製したもの(水中B)の2種類とした。

3.2 試験結果

(1) 比較試験

図-1に、単位水量を要因とした場合のスランプフローの経時変化を示す。図に示すように、単位水量 220kg/m^3 の No.1 では練上がりから120分間、スランプフロー $50 \pm 3\text{cm}$ の流動性を確保した。しかし、この配合の凝結始発時間は図-3に示すように24時間20分であり、目標の15時間よりも10時間程度遅くなった。

図-2に、耐寒・防凍剤の添加率を要因とした場合のスランプフローの経時変化を示す。図に示すように、耐寒・防凍剤を添加しない No.1 および添加率が1.0%の No.3 については、練上がりから120分間、スランプフロー $50 \pm 3\text{cm}$ の流動性を確保したが、添加率が2.0%の No.4 では所定の流動性を保持することができなかった。図-3に凝結硬化速度試験結果を、図-4に耐寒・防凍剤の添加率と凝結始発時間の関係をそ

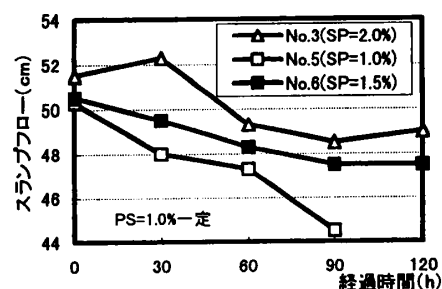


図-5 スランプフローの経時変化

れぞれ示す。図-4に示すように、所定の流動性を保持した耐寒・防凍剤添加率1.0%の No.3 の凝結始発時間が18時間50分となり、目標とする凝結始発時間15時間を満足することができなかった。

図-5に、SP剤の添加率を要因とした場合のスランプフローの経時変化を示す。図に示すように、耐寒・防凍剤の添加率を1.0%一定とした場合、SP剤の添加率が2.0%の No.3 および添加率が1.5%の No.6 については、練上がりから120分間、スランプフロー $50 \pm 3\text{cm}$ の流動性を確保した。しかし、SP剤の添加率が1.0%の No.5 では所定の流動性を保持することができなかった。図-4に示すように、所定の流動性を保持した SP 剤添加率1.5%の No.6 の凝結始発時間は14時間50分となり、目標とする凝結

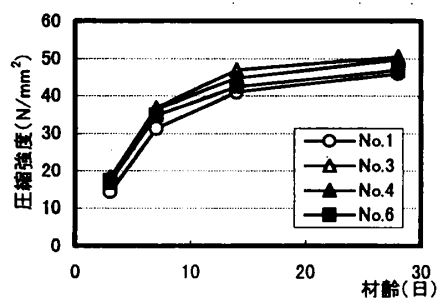


図-6 圧縮強度試験結果

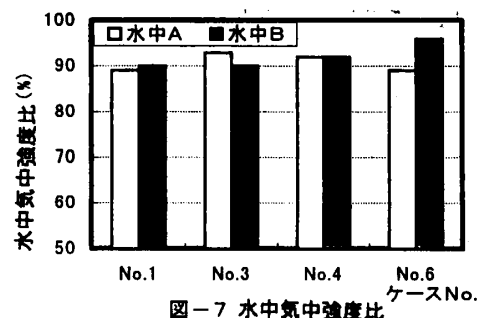


図-7 水中気中強度比

始発時間 15 時間を満足することができた。

図-6 に各ケースの圧縮強度試験結果を示す。図に示すように、材齢 28 日の圧縮強度は 46.1 ～ 50.4 N/mm² であり、設計基準強度 24 N/mm² に対して十分な強度が得られることが分かった。図-7 に各ケースの水中への打込みによる水中気中強度比を示す。水中 A と水中 B の 2 種類ともに、各ケースの水中気中強度比は 89% 以上であり、今回試験に供したコンクリートは十分な水中不分離性を有していることが分かった。

以上の結果から、打込み温度およびスランブフロー保持の環境温度 30℃、凝結および強度の環境温度 10℃の条件下で、表-1 に示すコンクリートの性状を満足する配合として、水結合材比 44%、SP 剤添加率 1.5%、耐寒・防凍剤添加率 1.0% の No. 6 が適しているものと考えられた。

(2) 選定したコンクリートの再現性試験

スランブフローの経時変化や凝結時間は、同一条件で試験を行ってもばらつきによって、常に所定の性状が得られない可能性がある。そこで、今回の試験で選定した No. 6 の配合のコンクリートについて、場所が異なる 2 つの試験所 (A, B) においてスランブフローの経時変化試験と凝結硬化速度試験をそれぞれ 3 回ずつ行い、スランブフローの経時変化および凝結時間のばらつきについて検討した。使用した練混ぜミキサの形式、練混ぜ方法および試験方法は 2 つの試験所ともに同じとした。ただし、気温 10℃の環境条件における凝結硬化速度試験は、試験所 A では室温 10℃の恒温室で行ったのに

表-6 ケースNo.6配合の試験結果

No.	温度 (℃)	スランブフロー (cm)	空気量 (%)	凝結始発 (10℃)	凝結始発 (20℃)
No.6-A1	30.8	51.5×50.0	1.9	14:50	-
No.6-A2	29.2	52.0×50.5	2.1	-	-
No.6-A3	30.6	51.0×50.0	3.2	16:41	12:43
No.6-B1	32.0	53.0×52.0	3.0	22:50	13:30
No.6-B2	31.0	52.0×48.5	2.5	-	-
No.6-B3	32.0	50.5×48.0	3.4	24:00	-

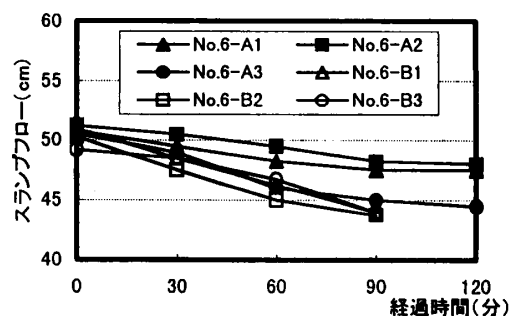


図-8 ケースNo.6配合のスランブフローの経時変化

対し、試験所 B では槽内温度 10℃の恒温槽 (1m×1m×1m) で行った。

表-6 に No. 6 についての試験結果を、図-8 にスランブフローの経時変化をそれぞれ示す。図に示すように、試験所 A で行った 2 回の試験では、練上がりから 120 分間、スランブフロー 50±3cm の流動性を確保したが、1 回は所定の流動性を保持することができなかった。また、試験所 B で行った試験では、3 回の試験とも所定の流動性を保持することができなかった。表-6 に示すように、試験所 A のコンクリート温度が 29.2～30.8℃であったのに対し、試験所 B のコンクリート温度が 31.0～32.0℃であり、高温下では若干のコンクリート温度の違い等によって、スランブフローの経時変化が大きく変化することが考えられる。

表-6 に示すように、養生温度 10℃での凝結

始発時間は、試験所 A で 14 時間 50 分～16 時間 41 分であったのに対し、試験所 B では 22 時間 50 分～24 時間であった。このように、試験所間で凝結始発時間が大きく異なった理由としては、試験所 B では恒温槽が狭いため冷風の影響を受け、供試体からの放熱が大きくなり、急激に供試体温度が低下したためであると推察される。また、同一試験所においてもばらつきが大きい結果となった。これは 10℃程度の低温下では凝結に要する時間が長くなり、よりばらつきが大きくなるためであると考えられる。これに対し、養生温度 20℃での凝結始発時間は、試験所 A で 12 時間 43 分、試験所 B で 13 時間 30 分であり、そのばらつきは小さいものであった。

このように、打込み温度および、スランプフロー保持の環境温度 30℃、凝結の環境温度 10℃の条件下では、表-1 に示すスランプフローの保持および凝結始発時間を安定して得ることは困難であると考えられた。

4. 実験シリーズ 2

4. 1 実験内容

(1) 実験条件

実験シリーズ 1 の結果から、温度条件を実施工に近い条件とし、打込み温度およびスランプフロー保持の環境温度を 25℃とした。また、実験シリーズ 1 ではより施工条件に近い温度条件 (10℃) で凝結硬化速度試験を行ったが、10℃の条件では微妙な条件の変化によって凝結時間が大幅に変化する可能性があること、長大橋の橋脚に用いられた水中不分離性コンクリートの凝結硬化速度試験の温度条件が標準温度の 20℃であること¹⁾から、安定した試験結果が得られるように凝結硬化速度試験の環境温度を 20℃とした。

(2) 試験ケース

実験シリーズ 1 の No. 3 および No. 6 について試験を行った。

(3) 使用材料およびコンクリート配合

使用材料は表-3 に示すとおりである。コン

クリート配合は表-4 に示す。

(4) 試験方法

練混ぜ方法は実験シリーズ 1 と同じとした。実施した試験は表-5 に示すスランプフローの経時変化および凝結硬化速度試験とした。ここで、凝結硬化速度試験については、練上がり 60 分までは 25℃で養生し、それ以降は 20℃で養生した。

4. 2 試験結果

(1) 比較試験

図-9 に、No. 3 および No. 6 のスランプフローの経時変化を示す。No. 6 の練上がりのスランプフローは、図-5 に示すようにコンクリート温度 30℃で 50.8cm であったのに対し、図-9 に示すようにコンクリート温度 25℃では 47.5cm と小さく、経過時間 30 分後には下限値 47cm を下回った。今回使用したポリカルボン酸系の SP 剤では、同一配合で SP 剤の添加量が同じ場合には、コンクリート温度が低いほどスランプフローが大きくなる傾向を示す²⁾が、今回の試験では逆の傾向を示した。この理由の一つとして、SP 剤と耐寒・防凍剤の相互作用が考えられたが、詳細については不明であった。No. 6 よりも SP 剤の添加率を 0.5%増やした No. 3 では、コンクリート温度 25℃で練上がりから 120 分間、スランプフロー 50±3cm の流動性を確保した。

凝結始発時間は No. 6 で 12 時間 47 分、No. 3 で 13 時間 58 分であり、養生温度 20℃の条件下では、ともに目標とする凝結始発時間 15 時間を満足する結果となった。

以上の結果から、打込み温度およびスランプ

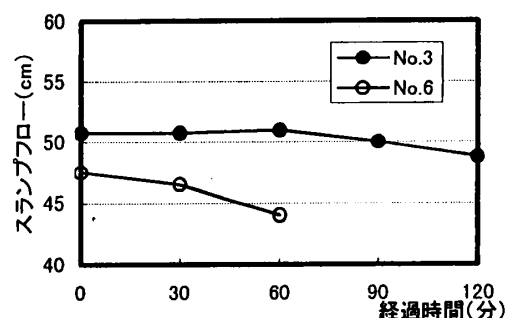


図-9 スランプフローの経時変化

フロー保持の環境温度 25℃、凝結硬化速度試験の環境温度 20℃の条件下で、表-1 に示すコンクリートの性状を満足する配合として、水結合材比 44%、SP 剤添加率 2.0%、耐寒・防凍剤添加率 1.0%の No. 3 が適しているものと考えられた。

(2) 選定したコンクリートの再現性試験

今回の試験で選定した No. 3 の配合のコンクリートについて、場所が異なる 2 つの試験所 (A, B) においてスランプフローの経時変化試験と凝結硬化速度試験を行い、スランプフローの経時変化および凝結時間のばらつきについて検討した。使用した練混ぜミキサ形式、練混ぜ方法および試験方法は 2 つの試験所ともに同じとした。

表-7 に No. 3 についての試験結果を、図-10 にスランプフローの経時変化をそれぞれ示す。図に示すように、試験所 A および B で行った 3 回の試験で、ともに練上がりから 120 分間、スランプフロー 50±3cm の流動性を確保した。表-7 に示すように、養生温度 20℃での凝結始発時間は、試験所 A で 13 時間 58 分、試験所 B で 15 時間 15 分であり、目標とする凝結始発時間をほぼ満足する結果が得られた。

このように、打込み温度およびスランプフロー保持の環境温度 25℃、凝結の環境温度 20℃の条件下では、No. 3 の配合を用いることによって、表-1 に示すスランプフローの保持および凝結始発時間を安定して得ることができるものと考えられる。

表-7 ケースNo.3配合の試験結果

No.	温度 (℃)	スランプフロー (cm)	空気量 (%)	凝結始発 (10℃)	凝結始発 (20℃)
No.3-A1	25.3	51.0×50.5	3.4	20:44	13:58
No.3-B1	26.0	53.0×52.0	2.9	-	-
No.3-B2	26.0	52.0×51.5	3.2	-	15:15

5. まとめ

今回実施した水中不分離性コンクリートの配合検討によって、以下のことが明らかとなった。

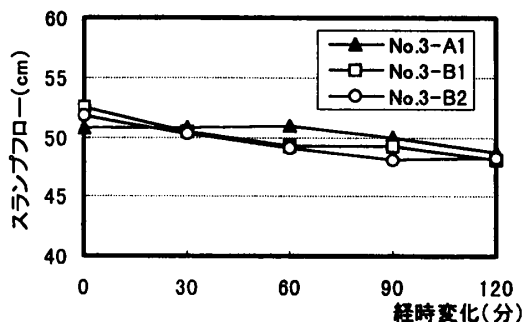


図-10 ケースNo.3配合のスランプフローの経時変化

(1) コンクリート温度 30℃、凝結硬化速度試験の環境温度 10℃の条件下で、スランプフロー 50±3cm の保持性および凝結始発時間 15 時間程度を満足するコンクリートは、SP 剤と耐寒・防凍剤を用い、水結合材比を 44%と比較的小さくすることによって得ることができたが、安定してその性状を得ることは困難である。

(2) コンクリート温度 25℃、凝結硬化速度試験の環境温度 20℃の条件下では、前述の所定のスランプフロー保持性および凝結始発時間を満足するコンクリートは、前述の配合とすることによって得ることができ、また、安定してその性状を得ることができる。

今回選定した配合のコンクリートを用い、実際の施工条件下で大規模実験を行い、打込み速度と側圧の関係を把握する予定である。

参考文献

- 1) 水中不分離性コンクリート設計施工指針(案), 土木学会, pp. 181~192, 1991. 5
- 2) 古沢孝男, 西條修, 原田健二, 土谷正: 高性能 AE 減水剤「レオビルト SP-8 シリーズ」について, エヌエムビー研究所報, No. 9, pp. 12~24, 1992