

## 論文 短繊維を混入した水中不分離性コンクリートの基礎性状

松原 功明<sup>\*1</sup>・大野 俊夫<sup>\*2</sup>・坂井 吾郎<sup>\*3</sup>・福山 貴子<sup>\*4</sup>

**要旨**：繊維補強した水中不分離性コンクリートの実用性を検討することを目的とし、有機繊維および鋼繊維を混入した水中不分離性コンクリートの基礎性状を把握した。気中試験においてフレッシュ性状試験を実施し、繊維の混入がスランプフローおよび空気量におよぼす影響を把握した。また、硬化性状試験において、硬化後の圧縮性状および曲げ性状を把握した。さらに、代表的な配合について水中試験を実施し、気中、常圧水中、高圧水中下でのスランプフローを比較した。

**キーワード**：水中不分離性コンクリート、繊維補強コンクリート、有機繊維、鋼繊維

## 1. はじめに

水中不分離性コンクリートは、水中不分離性混和剤を使用することにより、水中打設しても材料分離が少なく、セルフレベルリング性を有するコンクリートであり、本州四国連絡橋に代表される大水深海峡基礎の建設<sup>1),2)</sup>や護岸工事など、多数の施工実績を有している。さらに、近年、これらの性能に加え、立坑底版などの水中RC構造や大型海洋構造物、さらなる大水深構造物など、適用先が多様化するに伴い、様々な性能が要求されつつある。

一方、水中不分離性コンクリートは、これまでに多くの研究が実施されているものの<sup>3),4),5)</sup>、一般のコンクリートが、短繊維による補強や、混和材の使用による高強度化などの研究開発が実施されているのに比べ、それらの研究があまり実施されていないのが現状である。

そこで、今回、水中不分離性コンクリートの適用範囲拡大の手段のひとつとして、有機繊維および鋼繊維を混入した水中不分離性コンクリートの基礎性状を把握し、その実用性について検討することとした。

水中不分離性コンクリートのフレッシュ性状

は、水中不分離性混和剤を使用することと、水粉体容積比 ( $V_w/V_p$ ) を調整することでコンクリートの粘性を調整し、これに加え、適切な粗骨材容積量 ( $G_{vol}$ ) とモルタル中の細骨材容積比 ( $s/m$ ) を設定することで、流動性と材料分離抵抗性を付与することができる。さらに、今回のように、水中不分離性コンクリートに繊維を混入した場合、前述の配合要因に加え、繊維の種類や混入率が影響をおよぼすと考えられ、その程度を把握する必要がある。また、一般に、水中不分離性コンクリートの硬化性状は、気中作製した供試体と水中作製した供試体とで異なるため、供試体の作製方法が繊維による補強効果におよぼす影響について検討することとした。

## 2. 実験内容

## (1) 使用材料

使用材料を表-1に示す。コンクリートに繊維を混入することによって流動性が低下することが想定されたため、セメントには、より高い流動性を付与できる低熱ポルトランドセメントを使用した。また、材料分離抵抗性および水和熱に起因するひび割れの抑制を目的とし、石灰

\*1 鹿島技術研究所 土木構造グループ 研究員 工修 (正会員)

\*2 鹿島技術研究所 土木構造グループ 上席研究員 工博 (正会員)

\*3 鹿島技術研究所 土木構造グループ 主任研究員 (正会員)

\*4 鹿島技術研究所 土木構造グループ 研究員 工修

石微粉末を使用した。さらに、水中不分離性の付与のために、水中不分離性混和剤を使用した。繊維については、市販されている有機繊維および鋼繊維を使用した。このうち、有機繊維については、水中打設の際の水中への繊維の流出を防止するため、水よりも密度の高いPVA繊維(通称：ビニロン繊維)を選択した。なお、両繊維の繊維径については、市販されている製品の中から同程度となる繊維径を選択し、繊維長については、土木学会が示す、「鋼繊維補強コンクリート設計施工指針」を参考に、粗骨材最大寸法の1.5倍の30mmとした。使用した繊維を写真-1および写真-2に示す。

### (2) 検討配合

検討配合、実験要因と水準の組合せを表-2に示す。本実験では、水セメント比(W/C)、Vw/Vp、s/m、Gvol、SP添加率、繊維種類、繊維混入率を実験要因とした。UWBは単位水量に対し1.15%、DAは単位粉体量(C+LP)に対し1.00%と添加率を固定した。また、表中には実施した試験項目を示すが、試験項目の詳細については後に示す。

### (3) 練混ぜ方法

練混ぜには強制二軸ミキサを使用し、コンク

リートを練り上げた後に、繊維を投入した。なお、繊維の投入時は、ファイバーボールの発生を防ぐためにふるいを通し、コンクリートをミ

表-1 使用材料

種類	名称	記号	摘要
セメント	低熱ポルトランドセメント	C	密度:3.22g/cm <sup>3</sup> 比表面積:3250cm <sup>2</sup> /g
	-	LP	密度:2.70g/cm <sup>3</sup> 比表面積:3500cm <sup>2</sup> /g
石灰石微粉末	-	LP	密度:2.70g/cm <sup>3</sup> 比表面積:3500cm <sup>2</sup> /g
細骨材	佐原産山砂と小笠山産山砂の混合砂	S	表乾密度:2.64g/cm <sup>3</sup> 粗粒率:2.54 吸水率:1.88%
粗骨材	青梅産碎石	G	最大寸法:20mm 表乾密度:2.65g/cm <sup>3</sup> 粗粒率:6.70 吸水率:0.65%
水	上水道水	W	-
混和剤	高性能AE減水剤	SP	ポリカルボン酸系
	水中不分離性混和剤	UWB	水溶性セルロースエーテル系
	消泡剤	DA	ポリアルキレングリコール誘導体
短繊維	PVA繊維(通称:ビニロン繊維)	VF	密度:1.3g/cm <sup>3</sup> 繊維長:30mm 繊維径0.66mm
	鋼繊維	SF	密度:7.8g/cm <sup>3</sup> 繊維長:30mm 繊維径0.60mm



写真-1 有機繊維

写真-2 鋼繊維

表-2 検討配合および実験要因と水準

No.	W/C	Vw/Vp	s/m	Gvol	単位量(kg/m <sup>3</sup> )					SP添加率(%)	繊維		気中試験		硬化性状試験			水中試験									
					W	C	LP	S	G		種類	混入率(Vol%)	繊維混入前	繊維混入後	各強度		曲げたわみ										
															気中作製	水中作製											
1	30.2	100	35	260	234	775	0	665	689	2.5	SF	1.50	-	○	-	○	-	-	-								
2	37.1	120			255	687							-	-	-	○	-	-	-	-	-	-	-	-			
3	43.8	141			274	626							-	-	-	○	-	-	-	-	-	-	-	-			
4	55.0	141	30	260	0	401	729	159	776	0	2.4	VF	1.25	○	○	-	-	-	-	-							
5					130	348	633	135	673	345				○	○	-	-	-	-	-	-	-					
6					260	295	536	116	570	689				○	○	-	-	-	-	-	-	-					
7					130	323	587	127	787	345				○	○	-	-	-	-	-	-	-	-				
8					-	0.00	○	×	-	-				-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
9					-	0.50	-	○	○	○				○	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
10			-	1.00	-	○	○	○	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-								
11			-	1.50	-	○	○	○	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-								
12			-	0.50	-	○	○	○	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-								
13			-	0.90	-	○	○	○	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-								
14			-	1.25	-	○	○	○	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-								
15			-	0	344	625	135	1035	0	2.4	VF	1.25	○	○	-	-	-	-	-	-							
16			-	130	298	542	119	898	345				○	○	-	-	-	-	-	-	-						
17			-	260	253	460	97	760	689				○	○	-	-	-	-	-	-	-						
18	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-										
19	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-										
20	-	-	40	305	237	431	92	713	808	2.4	SF	1.50	-	○	-	-	-	-	-								
21	-	-											-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
22	-	-											-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
23	-	-											-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
24	-	-											-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
24	-	-											-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

キサで攪拌しながら投入した。

#### (4) 試験項目

試験項目を表-3に示す。気中試験においては、スランプフローおよび空気量を測定した。なお、今回試験対象

とした水中不分離性コンクリートは、スランプフローが長時間広がりつづけるため、スランプフロー試験については、土木学会指針(案)<sup>3)</sup>を参考に、スランプコーン引き上げ後5分において測定することを基本とした。硬化性状試験では、供試体作製時に、気中において一層で打設する気中作製のほか、水中で打設する、水中作製を実施した。水中作製では、圧縮強度供試体についてはJSCE F-504に準じ、曲げ強度供試体については、図-1に示すように、型枠天端から10cmまで水を張り、水面を叩かないように、コンクリートを型枠の片側から一方向にあふれる程度流し込んだ。その後、型枠を水中から取り出し、型枠側面を軽く叩き水を排出し、10分程度静置した

後、上面を均した。なお、気中採取および水中採取共に材齢2日にて脱型し、その後は標準養生とした。また、曲げ試験における載荷時は、供試体作製時の側面が載荷面および支点となる方向で実施した。水中試験ではスランプフロー試験を実施したが、JIS A 1150に従い気中で測定するケースのほか、常圧水中測定および高压水中測定を実施した。常圧水中測定では、図-2に示すように、スランプコーンを水槽中に設置し、その中にコンクリートを流し込んだ後、水槽に水を充満させた。その後、スランプコーンを引き上げ、水中でのフロー値を測定した。高压水中測定では、写真-3および図-3に示す装置を使用し、1.0Mpaの水圧下でのスランプフロー値を測定する高压水中測定を実施した。な

表-3 試験項目

試験項目		試験方法	備考
気中試験	スランプフロー	JIS A 1150	スランプコーン引き上げ後、5分で測定
	空気量	JIS A 1128	—
硬化性状試験	強度測定	気中作製 圧縮強度	JIS A 1108
		曲げ強度 (JSCE-G 552)	材齢28日, 3本
	水中作製 圧縮強度	JIS A 1108	材齢28日, 3本
		曲げ強度 (JSCE-G 552)	材齢7日, 28日, 各3本
曲げたわみ測定	水中作製 (JSCE-G 552)	材齢28日, 3本	
水中試験	スランプフロー	気中	(JIS A 1150)
		常圧水中	
		高压水中	
			スランプコーン引き上げ後、30分で測定

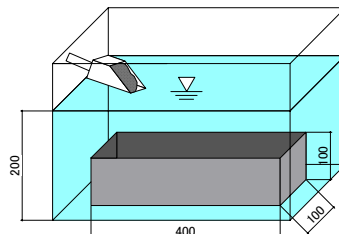


図-1 曲げ供試体水中作製

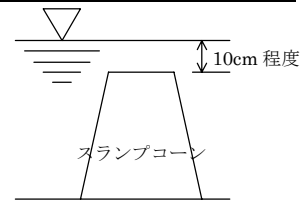


図-2 常圧水中におけるスランプフロー測定

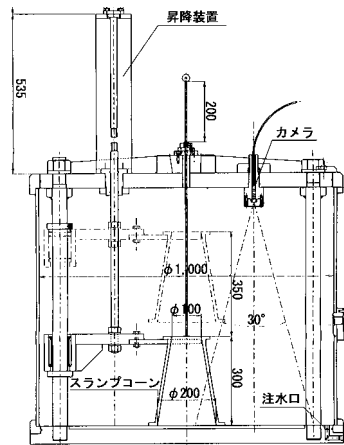


図-3 高压試験装置図面



写真-3 高压試験装置写真

お、水中試験では、流動特性の違いをより詳細に把握するため、スランプコーン引き上げ後30分後において測定を実施した。

### 3. 試験結果

#### 3.1 気中試験

VFを使用した配合における、繊維混入前後のスランプフロー減少率を図-4に示す。今回の結果においては、いずれの配合においても、繊維混入によるスランプフローの減少率は、Gvol130Lまではほぼ一定となり、Gvolが130Lを超えると、Gvolが多いほど大きくなる結果となった。これより、粗骨材量と繊維量があるバランスを超えると、コンクリート全体の流動性を低下させる傾向があることが明らかとなった。

これは、粗骨材と繊維が互いにコンクリート中の流動を阻害し合い始めるためと考えられる。また、同じ Gvol の配合において比較した場合、s/m が大きい(モルタル中の細骨材量が多い)ほどスランプフロー減少率が大きくなることが明らかとなった。

VF および SF 繊維を使用した配合について、繊維混入率と空気量との関係を図-5に示す。いずれの配合においても、繊維を混入した配合では無混入の配合と比較して空気量が多くなる傾向となった。また、混入率と空気量には明確な相関性が確認されなかったが、VF と SF を比較すると、同混入率ではいずれも SF を使用した場合の方が空気量が多くなる傾向となった。これは、繊維の剛性が高いSFを使用した配合の方が、練混ぜ中に空気を巻き込み易いためと考えられる。

繊維混入率とスランプフロー値との関係を図-6に示す。いずれの配合も Gvol は 260L 以上であるため、図-4で述べたとおり、繊維添加がスランプフローに及ぼす影響は大きく、繊維混入率が高くなるに従ってスランプフロー値が小さくなる結果となった。また、Gvol305L で VF 混入率を 1.50%としたケースでは、目視観察において繊維の分散状態に偏りが確認され、今回使用した繊維を比較した場合、同一混入率では SF の方が材料分離抵抗性に与える影響は小さい傾向があった。また、Gvol がより少ないケース(260L)においては、同一混入率では VF を使用した方がスランプフロー値が小さい結果となった。

今回の試験結果から、繊維混入率の上限値はあるものの、繊維を混入した水中不分離性コンクリートにおいても、配合を工夫することによって十分な流動性を確保できることが明らかになった。

### 3.2 硬化性状試験

セメント水比 (C/W) と水中作製供試体の圧縮強度および曲げ強度との関係を図-7に示す。これより、繊維を混入した水中不分離性コンク

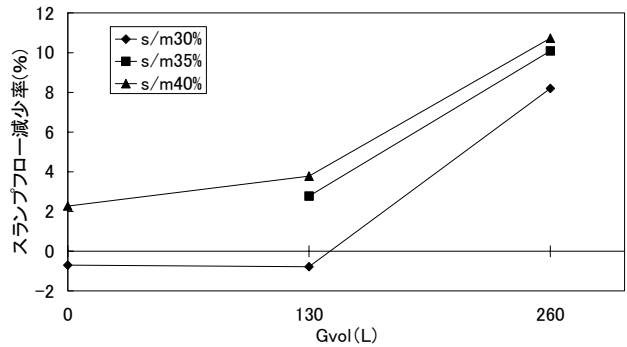


図-4 繊維混入前後のスランプフロー減少率

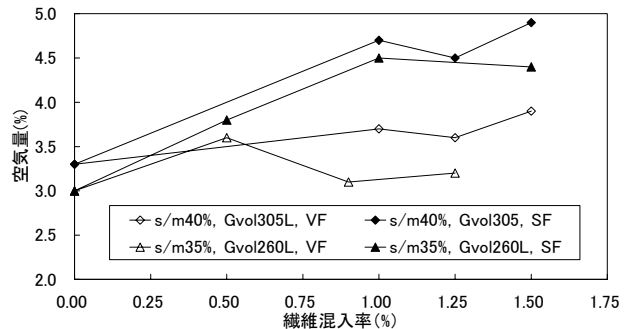


図-5 繊維混入率と空気量 (W/C55%)

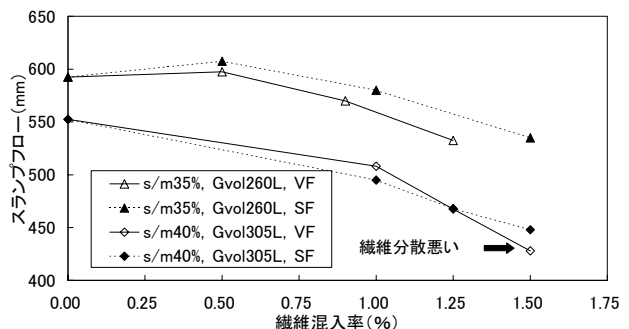


図-6 繊維混入率とスランプフロー値 (W/C55%)

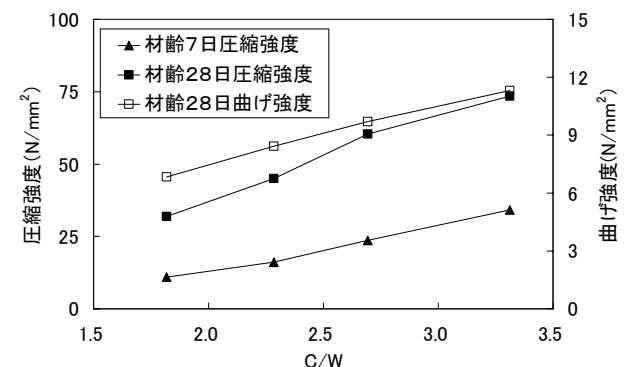


図-7 C/W と圧縮強度 (SF1.50%)

リートにおいても、一般的なコンクリートと同様、C/W と圧縮強度、曲げ強度にはほぼ線形の関係があることが明らかとなった。

繊維混入率と各種強度との関係を図-8に示す。SFを使用した配合については、圧縮強度は繊維種類や混入率に関わらずほぼ一定の関係を示し、曲げ強度は混入率の増加とともに大きくなる結果が得られた。VFを使用した配合については、気中作製した供試体における曲げ試験を除き、繊維混入率の増加とともに強度が若干低下する傾向を示した。これは、VFを使用した配合では、水中作製した供試体においては、繊維混入率が高いほど供試体作製時の試料の洗われる程度が大きく、それが強度低下の要因になったと考えられる。

繊維混入率と水中/気中強度比の関係を図-9に示す。ここで、水中/気中強度比とは、水中採取した供試体による試験結果を、気中採取した供試体による試験結果で除した値である。これは、コンクリートの水中不分離性を評価する指標であり、この数値が大きいほど、コンクリートの水中不分離性が高いと判断される。VFを使用した配合では、圧縮強度および曲げ強度ともに、繊維混入率が高いほど、水中/気中強度比が小さくなる傾向となった。また、SFを使用した配合については、圧縮強度における水中/気中強度比の低下はVFを使用した配合ほどではなく、曲げ強度における水中/気中強度比も繊維混入率によらずほぼ一定であった。なお、いずれの結果においても、「コンクリート用水中不分離性混和剤品質規格(案)」<sup>1)</sup>が示す、水中/気中強度比(圧縮強度において80%以上)以上を確保できる結果であった。

曲げ試験における荷重-たわみ曲線を図-10に示す。図中には、VFを使用した配合、SFを使用した配合ともに供試体3本の試験結果を示した。気中作製、水中作製のいずれの供試体についても、VFを使用した配合では、SFよりもひび割れ発生時の荷重低下が認められる。しかしながら、VFの水中作製供試体においても、繊維補強による靱性は十分確保されることが明らかとなった。

### 3.3 水中試験

スランプフロー試験の環境条件による、スランプフロー値の比較を図-11に示す。既往の研

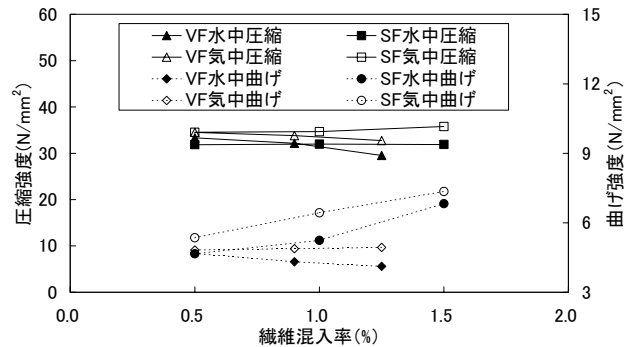


図-8 繊維混入率と各種強度 (W/C55%)

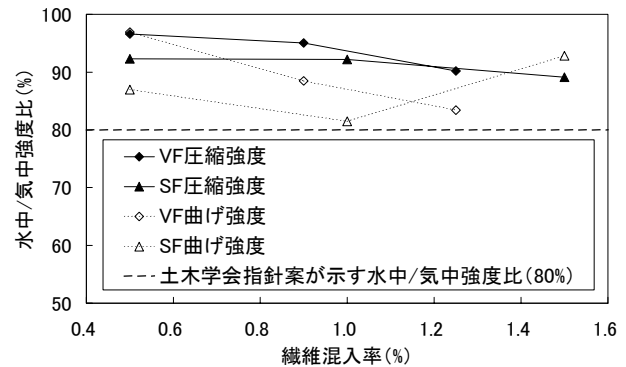


図-9 繊維混入率と水中/気中強度比

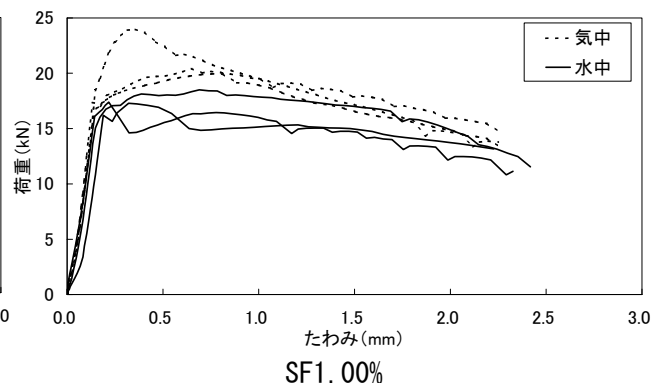
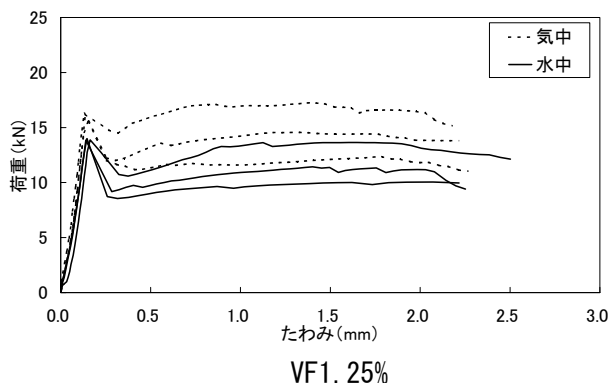


図-10 曲げ試験における荷重-たわみ曲線 (W/C55%, s/m35%, Gvol260L)

究<sup>3)</sup>では、気中でのスランプフロー値が、スランプコーン引き上げ後 30 分において 600mm 程度未満の場合は、気中<常圧水中≒高圧水中となるが、600mm 程度以上の場合は、気中≒常圧水中≒高圧水中となり、水中不分離性コンクリートの流動性の程度により、気中と水中での流動性状やスランプフロー値が異なることが確認されている。

今回の試験結果では、気中でのスランプフロー値が 675mm の繊維を混入しない配合においては、既往の研究と同様の結果となった。しかしながら、繊維を混入した配合においては、気中でのスランプフロー値が 600mm を超えているにもかかわらず、気中よりも常圧水中や高圧水中における結果の方が大きくなり、繊維無混入の既往の研究とは異なる結果となった。これには、繊維の形状や混入率を含め、各種配合要因が影響していると考えられるが、定量的に評価するためには、今後、更なるデータの蓄積が必要である。

#### 4. おわりに

今回の実験によって、次の事項が明らかとなり、繊維補強した水中不分離性コンクリートの実用性が示された。

- (1) 一般的なコンクリートと同様、繊維混入により空気量が増加、スランプフロー値が低下するが、配合を工夫することにより、十分な流動性を確保できる。
- (2) VF を使用した配合と SF を使用した配合について比較すると、一般的なコンクリートと同様、同一混入率では SF を使用したほうが空気量の増加が大きい。また、スランプフロー値への影響は小さい。
- (3) 一般的なコンクリートと同様、同一混入率では、SF の方が、VF よりも曲げに対する補強効果は高い。
- (4) VF, SF 共に、水中打設された供試体による曲げ試験においても、十分な靱性を確保することができる。

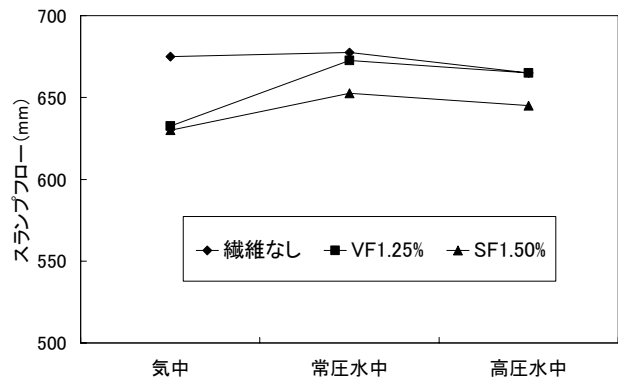


図-11 試験条件によるスランプフロー値の比較

- (5) 試験条件によるスランプフロー値の関係は、繊維混入の有無で変化する。

#### 謝辞

本実験において、多大なるご協力を頂いた、日本海上工事(株)岸田氏に深い感謝の意を表します。

#### 参考文献

- 1) 岡田凌太, 坂本光重, 井保武寿, 中川義隆: 明石海峡大橋主塔基礎の水中コンクリートの施工, コンクリート工学, vol.30, No.12, pp.31-42, 1992.12
- 2) 高橋昇, 保坂鐵矢: 水中不分離性コンクリートを用いた海面下 20m の橋脚基礎の施工(関西国際空港連絡橋), 水中不分離性コンクリートに関するシンポジウム論文集, pp.223-228, 1990.8
- 3) 土木学会: 水中不分離性コンクリート設計施工指針(案), 1991.5
- 4) 土谷正, 大川裕: 水中不分離性コンクリートに対するポリカルボン酸系高性能 AE 減水剤の適用, 土木学会第 54 回年次学術講演会講演概要集, 第 5 部, pp.1004-1005, 1999.9
- 5) 岸田哲也, 高田和法, 大野俊夫, 田崎邦夫: 水中不分離性コンクリートの流動性におよぼす水圧の影響, コンクリート工学年次論文集, Vol.25, No.1, pp.1331-1336, 2000