

論文

水中不分離性ひび割れ補修材の配合選定に関する検討

白石 真由奈^{*1}， 大橋 優樹^{*2}， 天野 智雄^{*3}， 高林 佳孝^{*4}， 伊代田 岳史^{*5}

Study on Determination of Mix Proportion for Crack Repairing Materials in Water

Mayuna SHIRAISHI^{*1}, Yuki OHASHI^{*2}, Tomoo AMANO^{*3}, Yoshitaka TAKABAYASHI^{*4} and Takeshi IYODA^{*5}

要旨：港湾構造物において水中ひび割れが発生した場合，気中ひび割れの補修に対して用いられる補修材を使用すると，適用環境が異なることで材料分離などによる品質低下が懸念される．しかし材料分離を防ぐため増粘剤を使用すると流動性が低下し，充填不良が懸念される．そこで本研究では，相反関係にある流動性と粘性を兼ね備えた水中不分離性ひび割れ補修材を開発することを目的とした．その結果，増粘剤の適正添加率を選定し，セメント量に対する適正添加率を提案した．

キーワード：流動性，粘性，水中不分離性，増粘剤，超微粒子スラグセメント

1. はじめに

港湾構造物であるケーソンにおける上部コンクリートの陥没は，水中で発生したひび割れ箇所から海水などの劣化因子が侵入することによるコンクリートの劣化や中詰砂の流出が要因であると知られている．ひび割れを閉塞するためのひび割れ補修材は多く開発されているが，ケーソンに発生した水中ひび割れに対して一般的なひび割れ補修材を使用した場合，それらは気中での打込みで用いられるものであり，適用環境が異なるため材料分離などによる品質低下や充填不良，水質汚濁が生じることが懸念される．水中での材料分離は増粘剤の添加により防ぐことが可能であるが，一方で増粘剤は流動性が低下することが特徴として挙げられる．流動性が低下したひび割れ補修材は自己変形抵抗性が高く，ひび割れの充填不良が生じる可能性がある．このように，水中ひび割れ補修材には材料分離を防ぐための粘性が求められる一方，充填不良を防ぐための流動性が求められるが，これらは相反関係である．そこで本研究では，相反関係である粘性と流動性を兼ね備えた水中不分離性ひび割れ補修材の開発を目的とし，粘性を向上させる効果のある増粘剤と，流動性を得ることができる超微粒子スラグセメントを併用し，配合選定を実施した．また，液体状，粉体状の2種の増粘剤を比較することにより，新たな水中不分離性ひび割れ補修材の開発を行った．

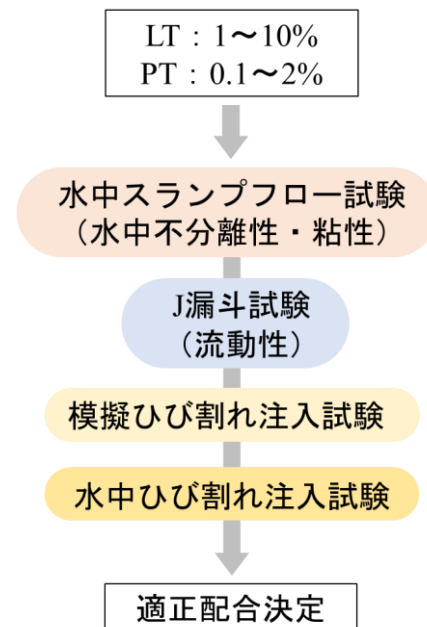


図-1 開発フローチャート

2. 研究概要

2.1 開発フロー

本研究におけるフローチャートを図-1に示す．液体増粘剤（以下，LT）と粉体増粘剤（以下，PT）の添加率を変化させ図-1に示す試験を順次実施し，水中不分離性ひび割れ補修材における増粘剤の適正添加率を選定した．

*1 芝浦工業大学大学院理工学研究科建設工学専攻 修士課程
*2 芝浦工業大学大学院理工学研究科社会基盤学専攻 修士課程
*3 全国止水躯体補修工事協同組合
*4 日鉄セメント(株)
*5 芝浦工業大学工学部先進国際課程（兼任 土木工学科）教授

2.2 使用材料

本研究において使用した増粘剤は，界面活性剤を主成分とした LT と，水溶性セルロースエーテルを主成分とした PT の 2 種類である．また流動性確保を目的として使用した超微粒子スラグセメントの密度は 2.98g/cm^3 ，粉末度は 8000 ブレーン級である．これらを用いてセメントペーストを作製し，増粘剤の適正添加率の選定を行った．増粘剤の添加方法と添加率を表-1 に，各セメントペーストの配合表を表-2 に示す．LT は固形分率に関わらず単位水量に対し 1～10%を添加，PT はセメント量に対し 0.1～2%を外割添加し，W/C を 70%とした．また練混ぜにおいて，LT の場合は練混ぜ水に含むことで材料作製が可能であるが，PT の場合はセメントと同時に加え練り混ぜると均一に混ざらず塊が生成されるため，セメントと増粘剤をあらかじめ均一になるまで混ぜる必要がある．そのため PT を使用する場合はセメントと PT をあらかじめスコップで十分に攪拌し，水を加え 1 分間低速で練混ぜ後，1 分間高速で練混ぜ作製した．練混ぜの際はハンドミキサーを使用し，1 バッチの練混ぜ量は 1L とした．LT の場合は練混ぜ水に含むため，セメントに練混ぜ水を加え，練混ぜ時間や使用ミキサー，練混ぜ量は PT と同様に行った．そしてこれらを用いて水中不分離性ひび割れ補修材の要求性能を考慮した試験を実施した．

3. 水中スランプフロー試験による水中不分離性評価

3.1 試験概要

水中でひび割れ補修材の材料分離が生じるかを確認するため，水中スランプフロー試験を実施し，増粘剤の適正添加率の選定を行った．図-2 に試験概要を示す．水槽に $\phi 50 \times 100\text{mm}$ の簡易モールドを設置後，補修材を充填し，注水して水位を 100mm とした．そして簡易モールドを垂直に引き抜いた際に円状に広がった補修材の最大直径と，それと直交する直径を計測した．ただし，簡易モールドを引き抜いた際に補修材の材料分離が生じ，水中汚濁により視認不可能であった場合は水中不分離性ひび割れ補修材の要求性能を満たさないため，本試験において不適正であると判断した．

3.2 試験結果

図-3 に LT，図-4 に PT を用いた場合の増粘剤の添加量に対する水中スランプフローを示す．LT では添加率に応じてスランプが一定の割合で低下し，粘性が向上した結果となった．一方，PT 添加率 0.1～0.2%では材料分離が生じ，水中汚濁により視認不可能であったため，不適正であると判断した．また LT 添加率 6～10%，PT 添加率 1%を超える配合では，簡

表-1 増粘剤概要

増粘剤			
	記号	添加方法	添加率
液体	LT	W×(%)	1～10%
粉体	PT	C×(%)	0.1～2%

表-2 配合表

略号	W/C (%)	単位量(kg/m^3)		増粘剤			
		W	C	LT		PT	
				(W×%)	(kg/m^3)	(C×%)	(kg/m^3)
LT1	70	227	324	水に内割添加	1	2.3	-
LT2					2	4.5	-
LT3					3	6.8	-
LT4					4	9.1	-
LT5					5	11.4	-
LT6					6	13.6	-
LT7					7	15.9	-
LT8					8	18.2	-
LT9					9	20.4	-
LT10					10	22.7	-
PT0.1				セメントに外割添加	-	0.1	0.3
PT0.2					-	0.2	0.6
PT0.25					-	0.25	0.8
PT0.3					-	0.3	1.0
PT0.4					-	0.4	1.3
PT0.5					-	0.5	1.6
PT0.75					-	0.75	2.4
PT1.0					-	1.0	3.2
PT1.25					-	1.25	4.1
PT1.5					-	1.5	4.9
PT1.75					-	1.75	5.7
PT2.0					-	2.0	6.5

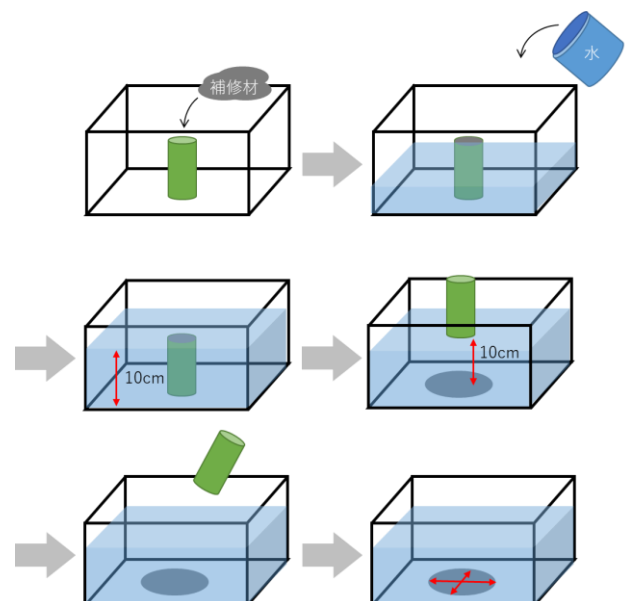


図-2 水中スランプフロー試験概要

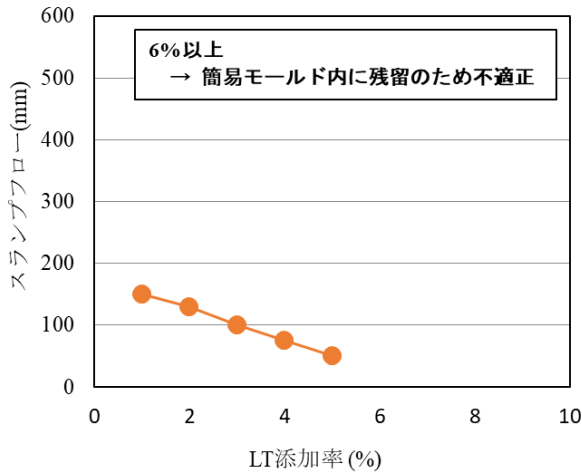


図-3 水中スランプフロー結果 (LT)

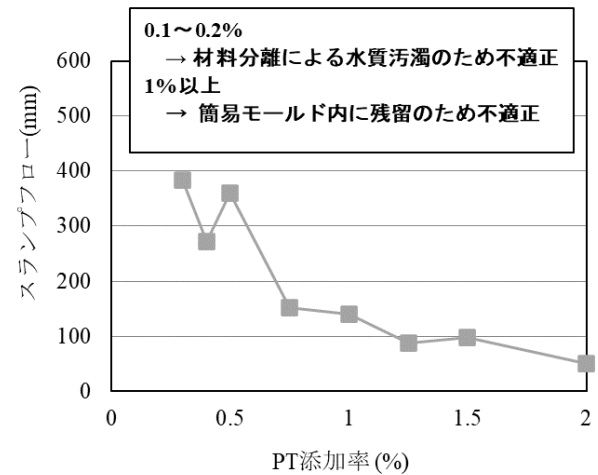


図-4 水中スランプフロー結果 (PT)

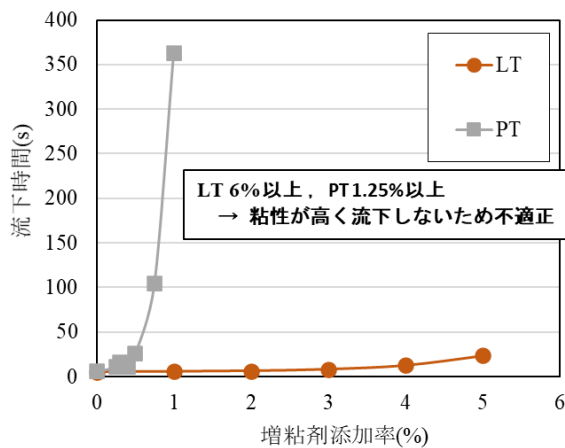


図-5 J 漏斗試験結果

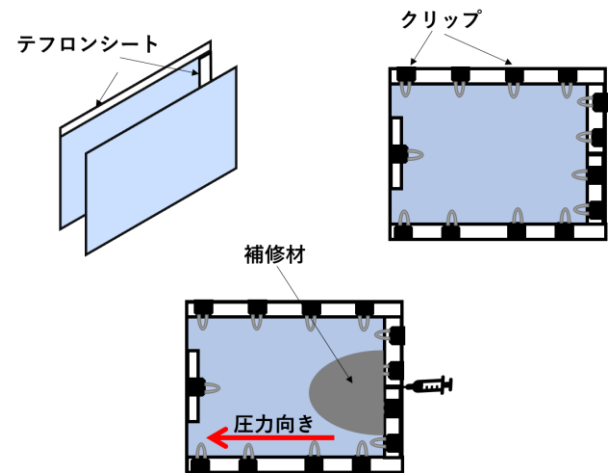


図-6 模擬ひび割れ注入試験概要

易モールド内に残留する補修材が多く確認され，ひび割れ補修材として使用するには増粘効果が高いことにより充填不良が生じることが懸念されるため，不適正であると判断した．また LT，PT とともに増粘剤の添加率を大きくするほど増粘効果によりスランプフロー値が小さくなる傾向が確認され，LT は PT よりも比較的一定の減少傾向を示した．このことより，LT の方がひび割れ補修材としての取り扱いが容易であると考えられる．したがって，本試験では LT 添加率 1～5%，PT 添加率 0.25～1%が適正であると考えられる．

4. J 漏斗試験による流動性評価

4.1 試験概要

ひび割れ補修を行う際，粘性が高い場合に注入口に材料が留まり，閉塞が生じることが懸念されるため，円錐型漏斗の先端部から材料の自重で流下する時間を計測する試験である J 漏斗試験を実施した．J 漏斗試験は，流出口を手で塞いだ状態で材料を漏

斗内に注ぎ，手を離した瞬間から，材料の流出が途切れる直前までの流下時間を計測することで材料の流動性を確認することができる．そのため簡易な試験方法であり，現場での実施も可能であることが特徴として挙げられる．本研究では直径 8mm の JA 漏斗を使用し，土木学会規準 (JSCE-F 531) に従い試験を実施した．

4.2 試験結果

図-5 に J 漏斗試験結果を示す．LT の添加率 6%以上と PT の添加率 1.25%以上では増粘効果が高く，漏斗の流出口からの流下が確認されず，計測不可能であった．そのためひび割れ箇所への補修材注入の際にも，ひび割れ補修材が注入口を閉塞させる可能性が考えられ，水中不分離性ひび割れ補修材における増粘剤の添加率として不適正であるといえる．したがって 3 章と本試験の結果より，増粘剤の添加率は LT の場合は 1～5%，PT の場合は 0.25～1%が適正であると考えられるため，次の試験での選定範囲とした．

→ 流動 → 流下 ★ 注入箇所

ひび割れ幅 3mm	LT 1%	LT 3%	LT 5%	PT 0.25%	PT 1%
注入直後					
3分後					
5分後					
判定	×	○	×	×	○

図-7 模擬ひび割れ注入試験結果例

表-3 模擬ひび割れ注入試験結果

		ひび割れ幅		
		1mm	2mm	3mm
LT	1%	×	×	×
	3%	○	○	○
	5%	×	×	×
PT	0.25%	×	×	×
	1%	○	○	○

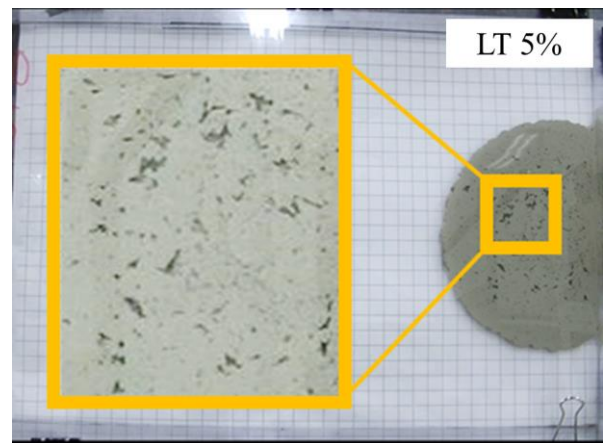


図-8 模擬ひび割れ注入試験結果例

5. 模擬ひび割れ注入試験¹⁾による挙動把握

5.1 試験概要

ひび割れ補修材が注入箇所を充填可能であるかを判断するため，模擬ひび割れ注入試験を実施した．図-6 に概要を示す．29cm×42cm の 2 枚の亚克力板にテフロンシートを挟み垂直に固定し，図中の矢印方向へ注射器で補修材を手動注入した．使用した亚克力板は，補修材を注入した際の圧力により変形することがないように，厚みを 5mm とした．また，本試験での模擬ひび割れ幅は，補修材がひび割れ幅に関わらず適用可能であるかを確認するために 1，2，3mm とした．これは本試験で使用した注射器先端の注入口の大きさを考慮し最小値を 1mm と設定した．また国土交通省による港湾施設の点検診断ガイドライン^{2),3)}において，ひび割れ幅が 3mm 程度の場合，ケーソンの中詰材が流出し，部材の性能が低

下している可能性がある」と判断基準が定められていることから，最大値を 3mm に設定した．本試験での評価基準は，補修材を注入した際に滞留し同心円状に広がる場合は，実際にひび割れ箇所へ補修材を注入する際にも充填不良が生じず，ひび割れ上部にも充填が可能であると判断して“○”と定めた．一方，補修材注入後に流下し，亚克力板下部へ到達した場合はひび割れ上部で充填不良が生じる可能性があるということから“×”と定めた．また，注入した際に同心円状に広がった場合でも，注入後 5 分経過した際に模擬ひび割れ底部への流下を確認した場合には，要求性能を満たしていないとして“×”と定めた．図-7 にひび割れ幅を 3mm とした際の結果を評価例として示す．本試験での増粘剤添加率の選定範囲は 3，4 章での試験結果より，LT は 1～5%，PT は 0.25～1%とした．

5.2 試験結果

表-3 に模擬ひび割れ注入試験の結果を示す。LT3%はいずれのひび割れ幅でも補修材が同心円状に広がり，模擬ひび割れ内の底部に到達せず時間経過に依存しない滞留を確認できた。そのため，ひび割れ内部へ注入した場合にも流下することなく，全面を充填することが可能であると考えられる。しかし LT を 1%添加した場合には補修材注入後，時間経過とともに流下し，材料が模擬ひび割れの底部に到達したため，水中不分離性ひび割れ補修材の要求性能を満たさないと判断し，不適正とした。また LT を 5%添加した場合，模擬ひび割れ幅 1mm の場合には粘性が高く模擬ひび割れに設置した注入箇所が閉塞され，注入不可であったことから，要求性能を満たしていないため不適正とした。一方，模擬ひび割れ幅を 2mm, 3mm とした場合には，図-8 に示すように補修材注入直後は模擬ひび割れ内部で同心円状に広がり，注入した際の形状には問題ないが，増粘効果が高く注入時に気泡を巻き込むことによる充填不良が確認されたため，不適正であると判断した。図-8 は例として，ひび割れ幅 3mm での試験結果を示す。一方 PT を用いた場合，添加率 0.25%では LT1%と同様に模擬ひび割れ底部へ流下したため不適正と判断した。また添加率 1%では全てのひび割れ幅で同心円状に広がり，滞留を確認できた。これらのことより，本試験において増粘剤の適正添加率は LT3%，PT1%であると考えられる。

6. 水中ひび割れ注入試験による挙動把握

6.1 試験概要

模擬ひび割れとは異なり実構造物に発生するひび割れは複雑な構造であるため，本章ではモルタル供試体を用いて実構造物に発生する複雑なひび割れを再現し，水圧や重力などがある環境下での補修が可能であるかを検討するため，水中ひび割れ注入試験を実施した。図-9 に試験概要を示す。φ50×100mm の円柱モルタル供試体を割裂し，これにテフロンシートを挟みひび割れ幅 0.5mm で固定することで実構造物のひび割れを再現した。水中にこの試験体を入れることでひび割れ内を満水にし，水中に入れたまま図-9 のように側面から注射器で圧入した。注入量は 100ml とし，10 秒間で 100ml を全て注入完了となるよう速度調節を行った。本試験での増粘剤添加率は，5 章までの試験結果より，LT3%，PT1%とした。

6.2 試験結果

図-10 に水中ひび割れ注入試験結果を示す。LT3%添加した場合には注入した際に補修材が流下し，未

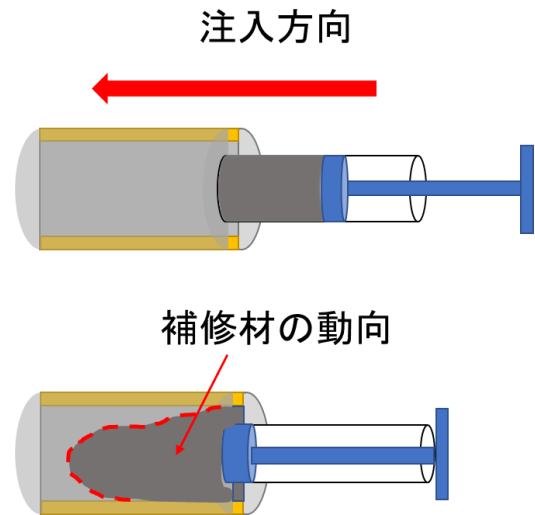


図-9 水中ひび割れ注入試験概要

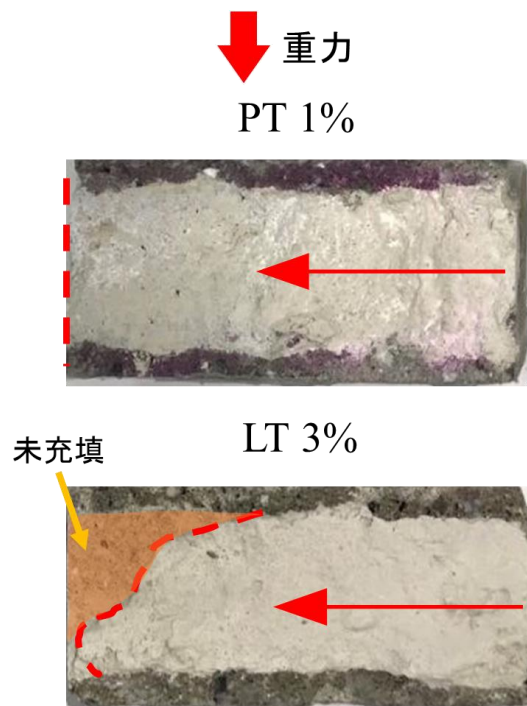


図-10 水中ひび割れ注入試験結果

充填領域が存在することが確認できた。これは水圧や重力の影響によって流動性が抑制され，補修材がひび割れ下部へ流下したと考えられる。よって LT3%は水中不分離性ひび割れ補修材の要求性能を満たしていないといえるため，不適正と判断した。一方，PT1%ではひび割れ全面に補修材が到達しており，十分に充填されていることが確認できた。よって PT1%の場合では水圧や重力による流動性の抑制がなく，ひび割れ閉塞効果が十分にあるといえる。これらのことから，水中不分離性ひび割れ補修材における増粘剤種類とその適正添加率は PT 添加率 1% であると考えられる。

7. ひび割れ補修材の現場施工における管理基準

現場施工において、環境や材料の状態が異なるため、ひび割れ補修材の粘性や流動性は変化すると考えられる。そのため現場環境の変化がひび割れ補修材の性能に影響を及ぼすかは施工現場でフレッシュ性状を確認することにより判断することができると考えられる。そのため、気中スランプフロー値と水中スランプフロー値を比較した。その結果を図-11に示す。試験結果より、気中と水中のスランプフロー値が比較的近い値を示した。このことより、水中不分離性ひび割れ補修材のフレッシュ性状は、気中で試験を行うことで性能を確認し、水中で施工を行うことが可能であるといえる。

8. 今後の展望

本研究において提案する増粘剤を用いた現場施工を考慮すると、2章に示したようにPTは練混ぜ前にあらかじめセメントと混ぜる必要がある。しかし現場でそれらの粉体状の材料を混ぜると密度の小さい粉体増粘剤が風などの現場環境により適正な添加量を維持することが困難となることが懸念される。そのため現場において混合を実施する際には、セメント袋に粉体増粘剤を混合し、粉体混合を行ったうえで材料の作製を行う必要があると考えられる。そして施工環境を考慮すると、本研究では水の流れや振動、気温の変化があまりない室内での実施であったため、実際に施工する際に水の流れや振動等の外力を受けた場合にもひび割れ補修材が閉塞効果を保つことができるかを確認する必要があると考えられる。また、本検討では補修材の配合選定を行った段階であるため、実用化を考慮すると、今後は水中不分離性ひび割れ補修材を注入後、水中での硬化性状や既存の構造物との付着強度なども検討を行う必要があるといえる。これらは今後の課題として検討が必要であると考えられる。

9. まとめ

本研究では、水中不分離性ひび割れ補修材を開発した。その結果以下のような結論を得た。

- (1) 水中不分離性ひび割れ補修材における粉体増粘剤適正添加率は、セメント量に対して1%である。
- (2) 上記添加率の場合、環境が異なる現場でも、気中でフレッシュ性状試験を行うことで性能を確認することが可能である。

今後の課題として、水の流れや振動などの外力がある環境での、水中不分離性ひび割れ補修材の閉塞効果の確認が挙げられる。

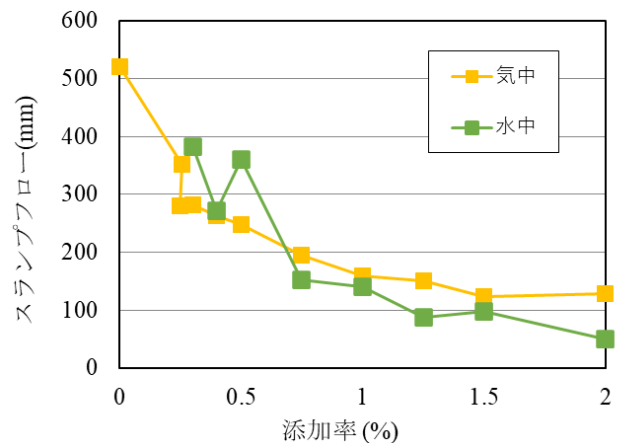


図-11 スランプフロー比較結果

謝辞

本研究は全国止水躯体補修工事協同組合の方々にご助言および助成をいただき共同で開発致しました。厚く御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 荻村敬隆, 毛塚貴洋, 臼井匠, 伊代田岳史: 無機系ひび割れ注入材の基本物性とひび割れ注入効果の検討, 第 39 回土木学会関東支部技術研究発表会, V-60, 2020
- 2) 国土交通省: 港湾の施設の点検診断ガイドライン【第 1 部 総論】, 2021
<https://www.mlit.go.jp/common/001395791.pdf>
- 3) 国土交通省: 港湾の施設の点検診断ガイドライン【第 2 部 実施要領】, 2021
<https://www.mlit.go.jp/common/001395792.pdf>