

# 可塑性グラウトを使用した水中狭隘部への充填に関する実験的検討

谷口 修<sup>1</sup>・加藤 弘義<sup>2</sup>・志澤 三明<sup>2</sup>・渡邊 宗幸<sup>3</sup>・野口 孝俊<sup>4</sup>

<sup>1</sup>正会員 五洋建設(株)技術研究所土木技術開発部  
(〒329-2746 栃木県那須塩原市四区町 1534-1)  
E-mail: osamu.taniguchi@mail.penta-ocean.co.jp

<sup>2</sup>正会員 (株)トクヤマ セメント開発グループ (〒745-8648 山口県周南市御影町 1-1)

<sup>3</sup>正会員 (株)トクヤマエムテック 東日本事業部 (〒299-0268 千葉県袖ヶ浦市南袖 10)

<sup>4</sup>国土交通省 関東地方整備局 港湾空港部 海洋環境・技術課  
(〒231-8436 神奈川県横浜市中区北仲通 5-57 横浜第二合同庁舎 14 階)

港湾構造物などコンクリート構造物の水中部におけるひび割れや角欠けなどの損傷が発生した箇所への簡易な水中補修方法の適用性を検討するために、水中部にコンクリート試験体を設置して、ひび割れと角欠けへグラウトの充填試験を行った。

水中部のひび割れ補修は、ゴムシートの設置と可塑性グラウトの注入による簡易的な施工方法を採用し、コア採取により注入状況の評価した。角欠け部の補修は、高流動水中不分離性グラウトを損傷部に流し入れることで充填されていることを目視確認した。本稿は実物大の試験体と実際の海洋条件による試験により、コンクリート構造物に対する水中部での亀裂の補修への適用や角欠け補修などに使用可能であることを報告する。

**Key Words :** *simple underwater repair method, cracks, lack of corners, plastic grout, high fluidity and anti-washout underwater grout*

## 1. はじめに

船舶の衝突などにより鉄筋コンクリート製のケーソンが損傷を受けた場合、比較的大きい損傷の場合には型枠を設置して水中コンクリートを打設する方法が用いられている。水中での損傷の程度が小さい場合には、上記の方法では設備が大きくなり補修費用が過大となるため、潜水士による簡易なグラウト注入工法が合理的な補修方法と考えられる。水中部のグラウト注入にあたって必要とする性能で最も重要なことは「充填性」であり、これに密接に関連するものとして相反する性質であるが、「流動性」と「ひび割れ外への充填材の漏出防止」がある。この性能を満たす材料として可塑性を有するグラウトが挙げられる<sup>1)</sup>。あわせて注入材がひび割れ外部に漏出しないための施工方法が必要である。水中にて止水性の高い漏出防止対策を実施することは難しいこともあり、容易な施工方法の確立が必要とされる。

また、水中で発生したひび割れ等の狭隘部への充填結果を確認した事例が少なく、直接目視にて確認できないことから施工後の充填性を評価することが重要である。

そこで本研究では、水中部での軽微な補修方法として

ひび割れへの「充填性」と「ひび割れ外への充填材の漏出防止」性能を満たす材料として、今回新たに開発したセメント系の可塑性と水中不分離性を有するグラウト材（以下、可塑性グラウト）を用い、ひび割れ外への簡易な注入材の漏出対策によるひび割れ注入実験を行い、充填性の評価を行った。なお、対象とするひび割れは、水中でも容易に発見が可能であり、船舶衝突などに伴う比較的ひび割れ幅が大きい5mm~10mm程度を対象とした。

また、船舶衝突などに伴う角欠け欠損部（以下、角欠け）の補修効果の検証を行うために角欠けを模擬した試験体を作製し、高流動水中不分離性グラウトによる充填状況の確認を行った。実験は、国土交通省関東地方整備局が管理する神奈川県横浜市山内町の大型ドライドック（京浜港ドック）に鉄筋コンクリート試験体を設置し、排水後にひび割れと角欠けの充填状況の確認を行った。

## 2. 可塑性グラウト

### (1) 可塑性グラウトの特徴

可塑性とは、液体と個体の中間領域に属し、グラウト

自体の流動性はないが、若干圧力を加えると容易に流動化する性質である。

可塑性とするためには、セメントなどの硬化発現材を主材とした流動性のあるグラウトに対して可塑性を用い、グラウト中の自由水を含水ゲル状にすることで可塑性にすることができる。可塑性は一般に水ガラスアルミニウム塩、粘土鉱物、高分子材が用いられる。

可塑性のグラウト材料は、一般的にトンネル背面の裏込め注入や空洞充填に実用化されており、近年では岸壁増深化に対する捨石への注入材としての利用も検討されている<sup>2)</sup>。裏込め注入材の圧縮強度は $2\text{N/mm}^2$ 以下、増深化の可塑性グラウトは約 $20\text{N/mm}^2$ であり、コンクリート構造物へのひび割れ注入には $30\text{N/mm}^2$ 以上の強度を必要とする。

(2) 可塑性グラウトの配合、物性

本研究で使用した可塑性グラウトの配合を表-1に示す。粉体は、減水剤、水中不分離剤、セメントがあらかじめ混練されたプレミックス材を使用した。可塑性剤は、粘土鉱物のベントナイトを使用した。

使用した可塑性グラウトのフロー値、圧縮強度を表-2に示す。水中不分離抵抗性試験<sup>3)</sup>を実施した結果、水中での静置後60分後においてもpHや水の濁り(光透過性)に影響はない(表-3)。

(3) 事前室内試験における充填状況の確認

木板とアクリル板で作成した幅8mm、長さ200mm、高さ300mmの試験設備の中に水を満たし、上記の可塑性グラウトを潜水士が簡易に施工可能なコーキングガンにて注入して水中での充填状況の確認を行った。試験設備には可塑性グラウトの自立性を確認するために内部に仕切り板を設置した(図-1)。

試験装置下部から可塑性グラウトを注入することによって深さ150mmまで充填が可能であった。また、注入直後に仕切り板を撤去した際、水中で分離することなく可塑性グラウトが形状を保持し自立することを確認した(写真-1)。

3. 水中ひび割れ補修実験

(1) 注入材の漏出防止対策(室内実験)

ひび割れ内の充填性を確保するためには注入材のひび割れ外への漏出防止対策が必要であるが、潜水士による水中施工となるため容易に施工できることが望ましい。そこで水中でも鋼材やボルト固定などで容易に設置可能

表-1 可塑性水中不分離グラウト材

注入材の配合	粉体	可塑性材	水
	2.0kg	0.04kg	0.48kg

表-2 可塑性グラウトの性状

内容	測定値	備考
フロー	0打	103mm
	15打後	134mm
28日強度	$43.1\text{N/mm}^2$	コーキングガンによるモールドへの充填
単位容積質量	$1.84\text{t/m}^3$	

表-3 水不分離抵抗性試験結果

	pH[-]	光透過率[%]
投入前	7.60	100.0
直後	7.59	100.2
10分	7.61	100.2
30分	7.61	100.2
60分	7.60	100.1

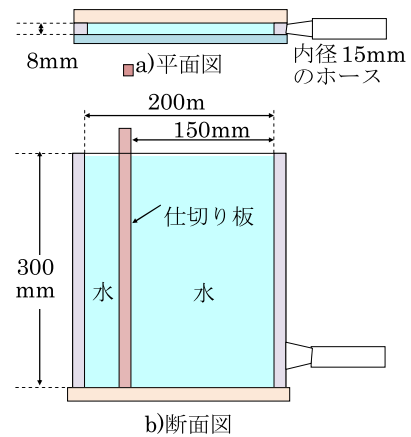
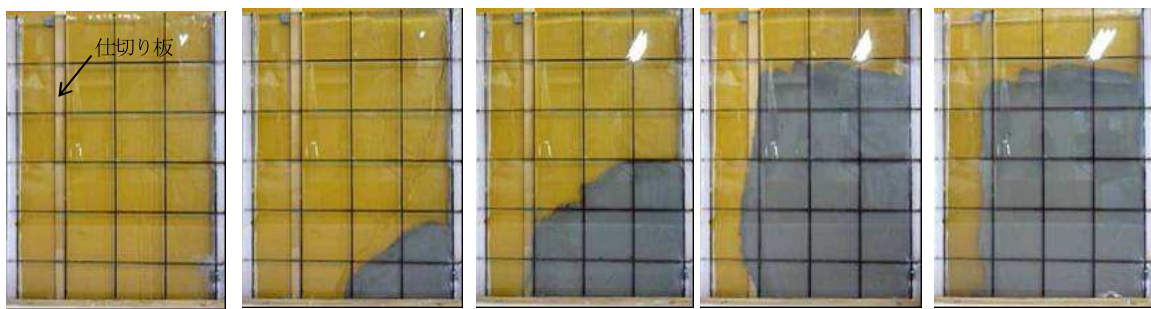


図-1 ひび割れへの注入実験概要



(a) 注入前 (b) 注入時 (c) 注入終了 (d) 仕切り板撤去

写真-1 可塑性グラウト室内注入実験

なゴムシートを使用することにした。表-4 に示す3種類のゴム材料を用いて注入材の充填性と漏出防止の比較実験を行った。

試験体は 10cm×10cm×40cm のコンクリート試験体2体を5mmの間隔を開けて接合し、ひび割れを模擬した試験体とした。ゴムシートに注入用の孔(1cm×1cmの切り込み)を開けて、コーキングガンを使用して可塑性グラウトの注入を行った。

硬度が大きく硬いフッ素ゴムは、注入孔にコーキングガンの先端が挿入しにくく、注入用の孔を2cm×2cm程度と大きくした場合には孔から注入材が漏出した。クロロプレンゴムは、フッ素に比べて硬度が小さくコーキングガンの先端をひび割れに注入しやすい。厚さ5mmでは先端が挿入し難いが、厚さ2mmを用いることで孔から注入材を充填した際にもシート外への注入材の漏れは発生しなかった。厚さ1mmではゴムが膨らみ注入材の漏出を抑えることができなかった。

シリコーンゴムは、クロロプレンゴムと比較してゴム硬度が小さいが、厚さ2mmのものを用いることで注入材の充填性能と漏出防止効果を確保することができ、さらに半透明であることが注入状況を目視で確認できる利点があった。以上の結果から注入材の漏出防止対策にはシリコーンゴム製で厚さ2mmのものを採用することとした(写真-2)。

(2) 京浜港ドックでの実験

a) 京浜港ドックの概要

実験を実施した京浜港ドックは、海水を注入することで実海域に近い条件下での試験が可能であり、潮流や波浪がなく、船舶の航行影響がない安全な環境下で潜水士による施工実験が可能である。実験は京浜港ドック内に海水を注水し、水深6mとしてドック底部に試験体を設置した(写真-3)。実験実施時の水中での視界は、植物プランクトン等の浮遊物質が多く、1m程度であった。

b) 試験体、使用材料

試験体は、図-2に示すようにあらかじめひび割れを模擬した幅10mmと5mmの亀裂を設置した。ひび割れ深さは50mmと100mmの2パターンとし、深さ100mmのひび割れは試験体内部の中空部に貫通した構造とした。試験体は2体作製し、1体は前述の可塑性グラウトの充填用とし、他の1体は可塑性グラウトとの比較のために高流動性のエポキシグラウトを使用した。試験体に使用したコンクリートの4週強度は $\sigma_{28}=29.3\text{N/mm}^2$ である。

c) 施工概要

可塑性グラウトは、表-1、表-2に示すものを用い、エポキシ系の高流動グラウトは市販のものを使用した。注入材の漏出防止対策としてゴムシートとの充填性の比較のためにひび割れに粘着テープを貼り付けたケースも実

表-4 ゴムシート

種別	ゴム硬度 <sup>※)</sup>	色	厚さ
フッ素ゴム	80	黒	5mm, 2mm, 1mm
クロロプレンゴム	60	黒	5mm, 2mm, 1mm
シリコーンゴム	50	半透明	5mm, 2mm, 1mm

※) JIS K 6253



写真-2 シリコーンゴム (t=2mm) と注入孔



写真-3 京浜港ドック施工状況

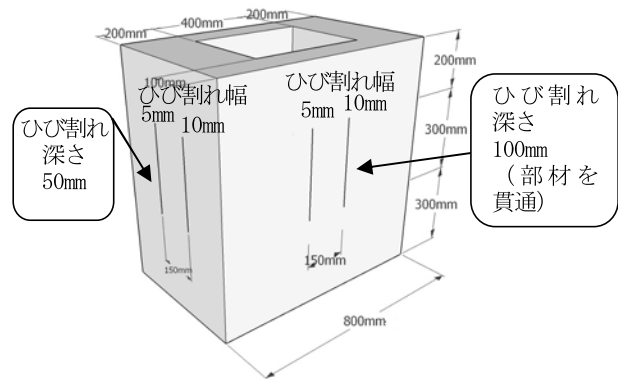


図-2 ひび割れ試験体

施した。なお、貫通ひび割れの背面には粘着テープにて注入材の漏出防止対策を行った。

d) 可塑性グラウトの充填結果 ひび割れ深さ50mm

ひび割れ深さ50mmの結果を表-5に示す。ゴムシートを除去した試験体の表面状態からシートと試験体のすき間には可塑性グラウトが漏出しているが、シート外へ可塑性グラウトは漏出しておらず、ゴムシートと可塑性グラウトを使用した注入方法は有効である。

ひび割れ内への充填の有無はコア採取により確認を行った。ゴムシートによる漏出防止対策を実施した場合において、深さ50mm、幅5mmのひび割れ(case1-1)に対しては、上端まで空隙がなく、可塑性グラウトを注入できた。それ以外のcase1-2~4は、一部に未充填箇所は残った。case1-2は、視界が悪い影響から注入後の充填

確認が不十分であったことが考えられる。注入材が充填されている箇所に対して圧縮強度試験実施した結果、case1-2を除いて試験体母材の28日強度(29.3N/mm<sup>2</sup>)と同等以上となった。圧縮強度試験の破壊形状はいずれも注入材ではなく母材で破壊する傾向が見られたことから、注入材が母材と密着していたことが伺える。

注入材料の漏出防止対策としてゴムシートと粘着テープとを実施したが、結果に大きな差異はなく、簡易なゴムシートでも漏出防止対策として有効であると考えられる。

なお、ゴムシートのアンカーピッチ間隔については検討を行っていないが、本検討ではアンカーを約10cm間隔としてシートからの注入材の漏出を防止した。

e) 可塑性グラウトの充填結果 ひび割れ深さ100mm

ひび割れ深さ100mmの結果を表-6に示す。深さ100mmのひび割れの充填状況の確認は、貫通箇所からの測定により行った。表-5、表-6から現状の材料と注入方法では、幅5mmのひび割れに対して深さ50mm程度が注入限界であると考えられる。幅10mmの場合にはひび割れ上部に水が滞留して未充填箇所が残ったため、水抜きの方策を実施すべきであった。

圧縮強度試験結果は、試験体母材の28日強度(29.3N/mm<sup>2</sup>)を上回る結果となった。実際のひび割れや亀裂ではひび割れ内部に骨材が露出して凹凸が発生していることが考えられるが、今回の実験では試験体作製

時に金属板を設置してひび割れを作製しているため、内部の形状が平滑である。そのため、注入材の抵抗が小さく、実際のひび割れに比べ注入し易いものと考えられる。一方、実際のひび割れに比べてひび割れ内部が平滑なため、注入材の付着性は小さいものと考えられる。

f) エポキシ樹脂系グラウトの充填結果

エポキシ樹脂の注入材は、ゴムシートによる注入材の漏洩対策では、ゴムシートのすき間から漏出し、ひび割れへの充填はできなかった。表-6に示す粘着テープの場合でも流動性が大きいことから注入孔からグラウトが漏れ出した。また、本実験で使用したエポキシ系グラウト材の可使用時間が40分程度と短く、ひび割れ注入時に流動性が小さくなり、コーキングガンからの注入が困難となった。

4. 角欠け補修

(1) 概要

実海域での水中に位置する鉄筋コンクリートの角欠け部のグラウトによる補修効果を確認するために、試験体を京浜港ドック内の水深6mに設置して潜水士による施工を行った。試験完了後に試験体を引き揚げ、目視とコア抜きによる充填状況の確認を行った。

表-5 ひび割れ深さ50mmへの注入結果





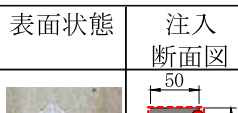

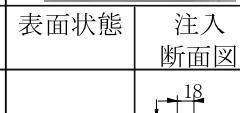
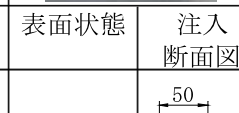




case	1-1		1-2		1-3		1-4	
ひび割れ幅	5mm		10mm		5mm		10mm	
材料	セメント系		セメント系		セメント系		セメント系	
漏出防止方法	ゴムシート		ゴムシート		粘着テープ		粘着テープ	
コア状況 (試験体上部)	 コア上側まで充填 内部側   表面側		 コア抜き箇所の写真 内部側   表面側		 コア下面に未充填 内部側   表面側		 コア上面に未充填 内部側   表面側	
試験体の表面状態、注入断面図	表面状態   注入断面図 		表面状態   注入断面図 		表面状態   注入断面図 		表面状態   注入断面図 	
注入断面図凡例	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ : 注入材</li> <li>■ (yellow) : 未充填箇所</li> <li>● (red) : 注入材挿入口</li> <li>□ (dashed) : コア採取位置</li> </ul>							
コア状況 (試験体下部)	 内部側   表面側		 内部側   表面側		 内部側   表面側		 内部側   表面側	
圧縮強度	33.5N/mm <sup>2</sup>		26.5N/mm <sup>2</sup>		29.2N/mm <sup>2</sup>		34.0N/mm <sup>2</sup>	

表-6 ひび割れ深さ 100mm への注入結果



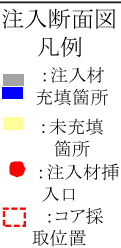




No	2-1		2-2		2-3		3-1		3-2	
ひび割れ幅	5mm		10mm		10mm		5mm		10mm	
材料	セメント系		セメント系		セメント系		エポキシ系		エポキシ系	
漏出防止方法	ゴムシート		ゴムシート		粘着テープ		粘着テープ		粘着テープ	
コア状況 (試験体上部)					未採取		未採取		未採取	
試験体の表面状態, 注入断面図	表面状態	注入断面図	表面状態	注入断面図	表面状態	注入断面図	表面状態	注入断面図	表面状態	注入断面図
注入断面図凡例	 <ul style="list-style-type: none"> <li>■ : 注入材</li> <li>■ : 充填箇所</li> <li>■ : 未充填箇所</li> <li>● : 注入材挿入口</li> <li>□ : コア採取位置</li> </ul>									
コア状況 (試験体下部)					未採取					
圧縮強度			36.0N/mm <sup>2</sup>						29.3N/mm <sup>2</sup>	

表-7 使用材料一覧

セメント系	エポキシ系
水中不分離性を有する高流動セメント系グラウト (非可塑性)	高流動エポキシ系グラウト
フロー 235mm	粘度 (mPa・s) 20,000±5,000

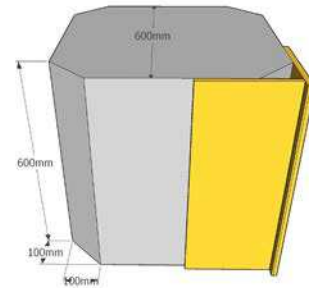


図-3 角欠け補修試験体



セメント系 エポキシ系  
写真-4 角欠け部型枠脱型後

(2) 試験体, 使用材料

試験体は、図-4 に示すように角が欠けた試験体を作製した。角欠け部はチップングにて目荒しを行い、一部に鉄筋を露出させている。補修材は、セメント系とエポキシ系のいずれも高流動性グラウトを使用した (表-7)。

(3) 施工方法

補修材は、陸上で練り混ぜたものをビニル製の袋に入れ、潜水土にて試験体上部から流し入れた。

セメント系、エポキシ系ともにグラウトの一部が型枠のすき間から流れだしたものの水中での潜水土による型枠の締め付けを行い、流出を防止した。

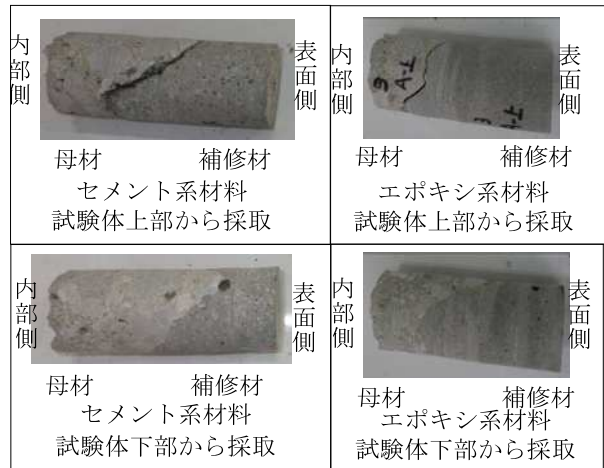


写真-5 コア採取結果

(4) 充填結果

試験体を京浜港ドックから引き上げ後に目視にて上部や隅まで充填されていることを確認した (写真-4)。試験体の上部と下部の2箇所からコアを採取し、いずれの位置においても補修材と母材は密着していた (写真-5)。

採取したコアで圧縮強度試験を行った結果、いずれも試験体母材の28日強度(29.3N/mm<sup>2</sup>)を上回る結果となった。

## 5. まとめと今後の展望

### (1) まとめ

- ・簡易的なゴムシート設置とコーキングガンによる可塑性グラウトの注入で注入材が流出することがなく、構造物表層部のひびわれ注入が可能である。
- ・ひび割れ幅5mmに対しては、深さ50mm程度が注入限界である。ひび割れ幅10mmでは上部に未充填が残るもの高さ200mm程度までの充填が可能である。
- ・圧縮強度試験では、充填箇所の強度は1箇所を除いて母材の強度を上回る結果となり、十分に付着・充填されていることを確認した。
- ・エポキシ系の高流動グラウトは、注入材の漏出防止対策用のゴムシートのすき間から漏出し、ゴムシートによる方法では充填は不可能であった。可使用時間が比較短いため、作業途中でコーキングガンからの注入が困難であった。
- ・実海域と同様の環境下で角欠け補修の充填評価を行った事例は少ないが、本事例から母材と充填材の密着を確認することができた。

### (2) 課題と今後の展望

- ・ひび割れ上部に滞留する水抜き用のパイプなどの水抜

き対策が必要である。

- ・水中でのひび割れ深さをあらかじめ検知する非破壊診断手法を確立する必要がある。
- ・コーキングガンを用いた注入では表層付近の注入はできるものの深度が深い場合には他の方法との併用が必要である。
- ・供用年数が古い構造物への補修(注入)については、付着生物を除去する必要がある、それらの除去方法が課題になる。
- ・コンクリート構造物に対する船舶衝突などの水中部での亀裂の補修への適用や吸い出し等の土砂の漏出対策などに使用可能であると考えられる。

なお、本研究は、国土交通省関東地方整備局「海洋・港湾技術の早期実用化に向けた実証実験」の公募に応募し、選定された実験である。

実験にご協力いただきました関係各位に感謝いたします。

### 参考文献

- 1) 三木五三郎, 下田一雄: 可塑性グラウト注入工法, pp.16-24, 日刊建設工業新聞, 2001.
- 2) 水谷崇亮, 森川嘉之, 渡部要一, 菊池喜昭, 合田和哉, 加藤繁, 小笠原哲也: 重力式係船岸の新しい増深工法の開発, 港湾空港技術研究所資料, No.1277, 2013.12.
- 3) 東日本高速道路株式会社, 中日本高速道路株式会社, 西日本高速道路株式会社: 矢板工法トンネルの背面空洞注入工設計・施工要領, pp.31-33, 2006.10

(2017.2.2 受付)

## EXPERIMENTAL STUDY ON FILLING AT THE NARROW SPACE IN WATER USING PLASTIC GROUT

Osamu TANIGUCHI, Hiroyoshi KATO, Mitsuaki SHIZAWA,  
Muneyuki WATANABE and Takatoshi NOGUCHI

In order to investigate the applicability of a simple underwater repair method to a place where damages such as cracks and lack of corners in concrete structures underwater occurred, concrete specimens were installed in the submerged areas, and examined the filling of the grout to cracks and lack of corners.

For repair of cracks in the underwater, we adopted a simple construction method by installing a rubber sheet and injection of plastic grout, and the injection situation was evaluated by core samples. It was confirmed that the repair of the lack of corners were filled by pouring the high flowing and anti-washout underwater grout into the damaged portion.

This paper shows that it can be used for repairing cracks in underwater parts of concrete structures and repair for lack of corners by test of real size specimens and actual ocean condition.