

可塑性グラウトを用いた実構造物での水中ひび割れ補修

五洋建設(株) 正会員 ○谷口 修 正会員 古田剛一
(株)トクヤマ 正会員 加藤 弘義 正会員 古城 誠
正会員 志澤 三
(株)トクヤマエムテック 正会員 渡邊 宗幸

1. はじめに

水中部で発生したひび割れや亀裂などの補修は、損傷が比較的大きい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。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、潜水土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の「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¹⁾。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施工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は少なく、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」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程度を対象としている。

これまで著者らは実験的な検討として、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、排水後にひび割れの充填状況の確認を行ってきた。本論文ではそれらの概要を示すとともに、実構造物への適用として建設から70年以上が経過した鉄筋コンクリート製栈橋と護岸に試験施工を実施したのでその結果について示す。

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¹⁾。

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材を用い、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。可塑性材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²⁾。裏込め注入材の圧縮強度は2N/mm²以下、増深化の可塑性グラウトは約20N/mm²であり、コンクリート構造物へのひび割れ注入には30N/mm²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。

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

キーワード 水中ひび割れ、可塑性グラウト、ゴムシート

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．水中分離抵抗性試験³⁾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)に影響はない材料である(表-3)．

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 JIS R 5201
	15 打後	134mm JIS R 5201
28 日強度	43.1N/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	1.84t/m 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土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．水中ひび割れ補修のこれまでの検討概要

(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，潜水土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．そこで水中でもコンクリート釘やボルト固定などで容易に設置可能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

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

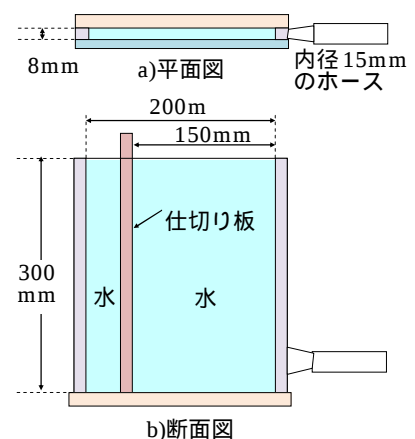
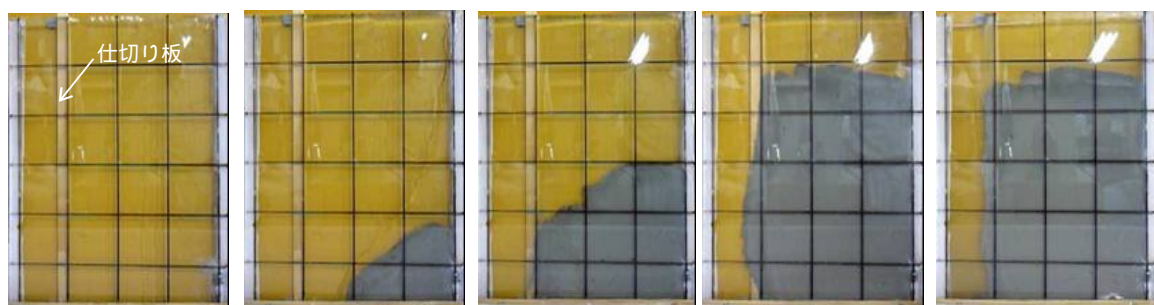


図-1 ひび割れへの注入実験概要

表-4 ゴムシート

種別	ゴム硬度)	色	厚さ(mm)
フッ素 ゴム	80	黒	5, 2, 1
クロロ プレンゴム	60	黒	5, 2, 1
シリコーン ゴム	50	半 透明	5, 2, 1

) JIS K 6253



(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

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)京浜港ドックでの潜水土による実験

a)試験概要

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土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 のひび割れを設置した。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。

可塑性グラウトは、表-1、表-2 に示すものを用い、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。

c)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 は、一部に未充填箇所が残った。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^2)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。

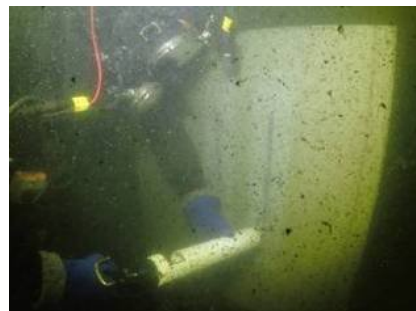
なお、ゴムシートの固定用のアンカーピッチ間隔については検討を行っていないが、本検討ではコンクリート釘を用いて釘を約 10cm 間隔としてシートからの注入材の漏出を防止した。



写真-2 シリコンゴム
($t=2\text{mm}$) と注入孔



試験体設置状況



ひび割れ注入状況

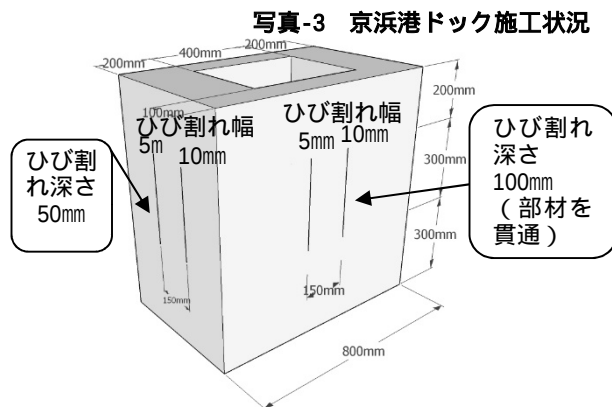


写真-3 京浜港ドック施工状況

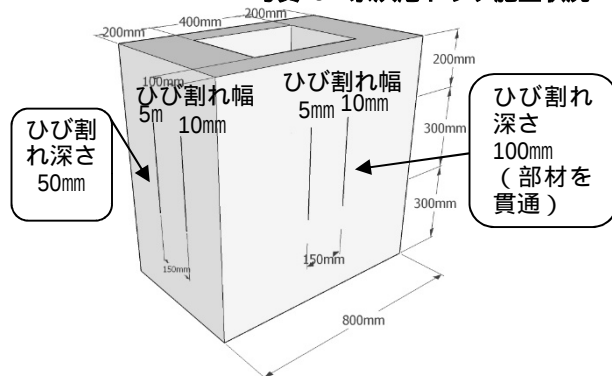
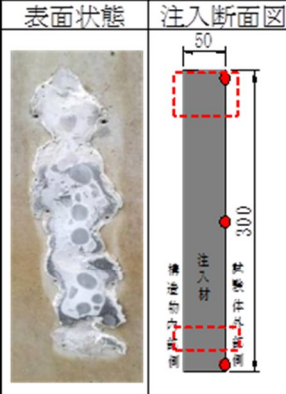
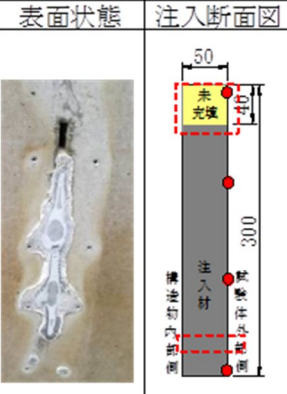
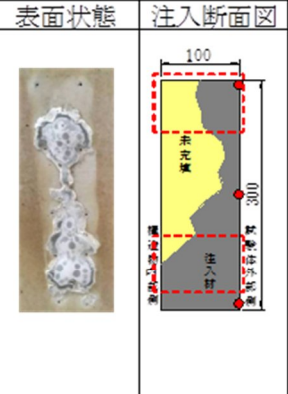
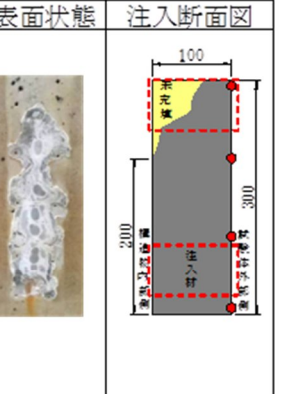


図-2 ひび割れ試験体

表-5 ひび割れへの充填結果（試験体）

No	1-1		1-2		2-1		2-2	
ひび割れ幅	5mm		10mm		5mm		10mm	
ひび割れ深さ	50mm		50mm		100mm		100mm	
コア状況 (試験体上部)								
試験体の表面状態および注入断面図								
コア状況(試験体下部)								
圧縮強度	33.5N/mm ²		26.5N/mm ²				36.0N/mm ²	

d)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-5 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 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。

圧縮強度試験結果は、試験体母材の 28 日強度 (29.3N/mm²) 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。

4. 実構造物への適用

(1)施工概要

建設から 70 年以上が経過している中国地方の栈橋に対して試験施工を実施し、注入後にコアを採取して充填状況の確認を行った。対象部位は満潮時に水中または気中となる個所を選定して実施した。実施施設の断面を図-3 に示す。

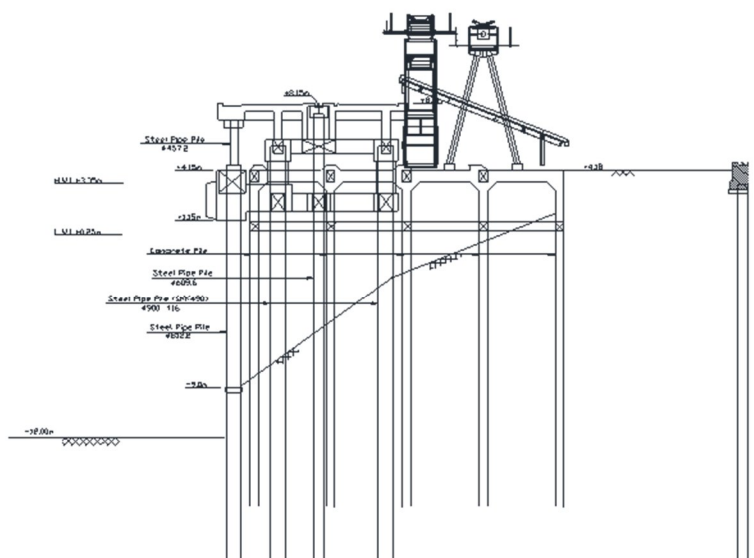


図-3 試験施工対象構造物

満潮時に水中に没する個所については、型枠となるシリコンゴムシートを干潮の気中時に設置した。注入用の孔は、ひび割れ上に約 2mm の十字の切り込みを 10cm 間隔で設置した。なお、ゴムシートは半透明であることからひび割れ位置を目視で容易に確認することができる。対象としたひび割れ幅は 2mm～10mm である。

可塑性グラウトは陸上にて練り混ぜを行い、コーキングカートリッジに充填後、潜水土に渡して注入を行った（写真-4）。注入は、コーキングガンの先端をゴムシートの切り込みに挿入し、シートのふくらみ状況やコーキングガンの圧力から注入が困難であると潜水土士が判断するまで注入作業を行った。



(2)注入結果

写真-4 カートリッジへの充填状況

ゴムシート設置前のひび割れ状況、ゴムシート設置状況、注入後の写真を表-6 に示す。へのは縦方向、のはひび割れである。

前述の実験と同様に注入孔やゴムシートの隙間からの注入材の漏出は見られなかった。

注入後、対象箇所からコアを採取して注入結果の計測を行った。注入結果からひび割れ幅と注入深さの関係を図-4 に示す。自明なことであるがひび割れ幅が大きくなるほど、注入深さは深くなっていることがわかる。また、水中部と気中部で注入性能に違いは見られなかった。

表-6 ひび割れ状況、注入結果の写真

	上 気中	下 気中、水中	下 水中	下 気中
水中気中区分 ひび割れ発生 状況				
シート 設置				
注入完了				
コア採取				

本工法を用いることで比較的幅が大きいひび割れに対して簡易な注入材の漏出防止対策で注入を行うことができ、構造物の一体性を確保できると考えられる。比較的ひび割れ幅が大きい箇所にはひび割れ内部に海洋生物の付着が見られ、これらの除去が課題である。

(3)コンクリート調査

対象としたコンクリート構造物は、建設から 70 年以上が経過した戦前に構築された構造物であることから、コアを採取して強度測定と配合推定を実施した。

配合推定はセメント協会法の分析方法で行った。

- 1) 圧縮強度測定後の供試体を約 5mm 以下に粗粉碎した後、1/16 に縮分し 0.1mm 以下に微粉碎し試料とした。
- 2) 試料を 600 で強熱し、質量減少分を「水」と仮定した。
- 3) 試料を塩酸 (1+100) で溶解し、溶解残渣を『骨材量』とした。
- 4) 使用されたセメントの素性が不明のため、骨材量と水以外を『セメント』とした。

表-7 に配合推定結果と強度結果を示す。骨材と水以外をセメントと見なしているため微粒分もセメントとしてカウントしているおそれがあることからセメント量が多い結果になったものと考えられる。

なお、これらの構造物の設計時の配合は残されていないため、検証を行うことはできなかった。

5. まとめ

- (1) 可塑性グラウトを用いた水中ひび割れ補修工法は、水中部の比較的幅の広いひび割れに対して適用が可能であり、構造物の一体性の確保や裏込め土砂の流出防止に活用できると考えられる。
 - (2) 実構造物の気中部と水中部で適用した結果、注入性能に差異はみられなかった。
 - (3) ひび割れ幅が大きいほど注入深さが深くなり、適用範囲はひび割れ幅が 5～10mm 程度であると考えられる。
- 今後は石積み護岸の補修に適用することを検討している。

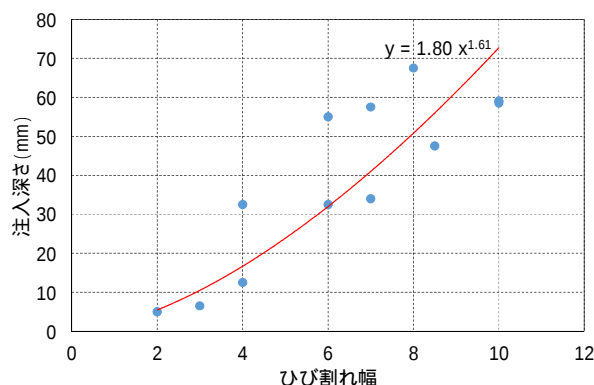


図-4 ひび割れ幅と注入深さの関係

表-7 配合推定結果

	W/C	セメント kg/m ³	水 kg/m ³	細+粗骨材 kg/m ³	強度 (N/mm ²)
	52.2%	345	180	1691	23.1
	52.9%	291	154	1827	20.5

参考文献

- 1) 谷口 修, 加藤 弘義, 志澤 三明, 渡邊 宗幸, 野口 孝俊: 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, 土木学会論文集 B3 (海洋開発), 73 巻 (2017) 2 号, 2017.
- 2) 三木五三郎, 下田一雄: 可塑性グラウト注入工法, pp.16-24, 日刊建設工業新聞社, 2001.
- 3) 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.
- 4) 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