論文　無機系補修材を用いた樋門コンクリート構造物の補修方法に関する研究

尾形　拓海[*1]・新沼　佳苗[*2]・武田　三弘[*3]

要旨：本研究は，樋門・樋管コンクリート構造物におけるひび割れ補修箇所において，漏水や錆汁等の再劣化が数多く生じている問題に対して，どの様な要因がこの様な再劣化を生じさせているのかを明らかにするため，各種補修材を用いた基礎的な注入実験を行った。実験の結果，無機系補修材を用いる場合，コンクリートの乾燥状態が，注入・充填性状に悪影響を及ぼすことを明らかにするとともに，無機系の適切な注入方法を提案した。また，X線造影撮影法を用いてひび割れ充填後の密実性の評価を行い，適切な注入方法の確認を行った。

キーワード：ひび割れ注入，再劣化，X線造影撮影法，樋門・樋管，無機系補修材

1. はじめに

現在，国土交通省東北地方整備局管内が管理している樋門・樋管は 1165 施設であり，そのうち，設置後 30 年以上経過した施設は 8 割を超え，今後 5 年で 88%の施設が 50 年経過となる。これらの構造物の点検結果より，5 段階評価（A～E）において，「(D)機能が低下している」及び「(E)本来の機能を失っている」という判断は，全体の 73%を占めており，その主な劣化状況は，ひび割れからの漏水，錆汁又はエフロレッセンスの発生となっている（**写真–1** 参照）。このひび割れからの漏水においては，鋼材の腐食や背面の空洞化を誘発させる可能性が高いことから，早急な対応と確実な補修施工が要求される。しかしながら，ひび割れ補修を行った箇所から，漏水や錆汁が発生するという再劣化の事例が数多く報告 [1),2)]されている。

これらの理由として考えられることは，劣化状況に合わせた適切な補修が行われなかった点が考えられる。また，多くの樋門・樋管構造物の点検・調査・補修は，渇水期である冬季に行われることがほとんどであり，特に東北地方においては，補修作業が氷点下近くの過酷な状況で行われる場合もある。その様な場合は，補修材料の硬化不良や充填不良を引き起こすことも考えられる。

本研究では，樋門・樋管コンクリート構造物におけるひび割れ補修箇所において，漏水や錆汁等の再劣化が数多く生じている問題に対して，どの様な要因がこの様な再劣化を生じさせているのかを明らかにするための基礎実験として，アクリル板とコンクリート板を貼り合わせた供試体による注入実験と，有機系および無機系補修材の注入実験を行い，その充填状況の確認を行った。また，ひび割れの代用として割裂したコンクリートを貼り合わせた供試体を用いた注入実験を行い，条件毎の注入状況および充填状況の確認を行った。充填・密実性評価においては，止水性能を評価するため，液体の造影剤を使用するX線造影撮影法 [3)]を用いた。更に，補修材自体の強度発現についても基礎的な確認実験を行った。なお，本研究で用いた補修材料は，実構造物の躯体に用いられているものと同材料であり，鋼材の不動態被膜化を期待できる無機系補修材を中心に実験を行っている。

写真–1　樋門構造物に発生した変状

2. アクリル板を用いた注入状況の確認

ひび割れ箇所に無機系補修材を注入する際，最も懸念されることは，補修材中の水分が吸収され，流動性が悪くなり，充填不良となる点と，水分不足による未水和箇所の強度低下である。本実験では，コンクリート表層が一般，極劣の 2 種類のコンクリート板に，アクリル板を 0.4㎜ の隙間を空けて貼り付け，その隙間をひび割れに見立て，有機系および無機系の補修材を注入し，充填状況の確認を行った。

*1 東北学院大学　工学部　環境建設工学科（学生会員）
*2 建設環境研究所（株）　東北支社技術部
*3 東北学院大学　工学部　環境建設工学科　（正会員）

2.1 実験概要

実験には，300×300×60mm のコンクリート板と 300×300×10mm のアクリル板を隙間が 0.4mm 空くように端部をブチルテープで貼り合わせ，注入用のプラグを接着したものを使用した。**写真-2** は加圧注入用の供試体の一例を，**表-1** は供試体条件一覧を示したものである。使用したコンクリート板は，簡易透気試験で求めた透気係数から，一般（0.13kPa/sec），極劣（計測不能）の 2 種類を用いた。

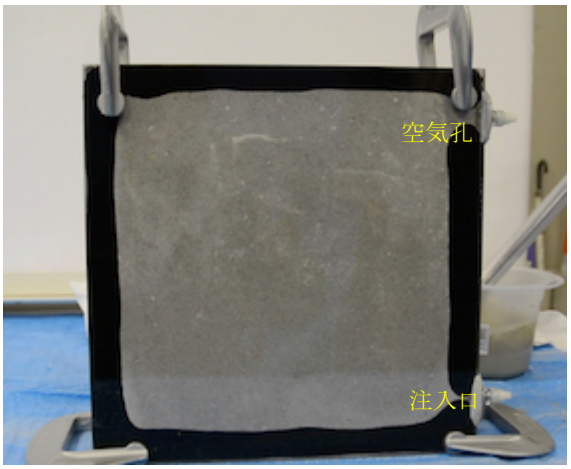


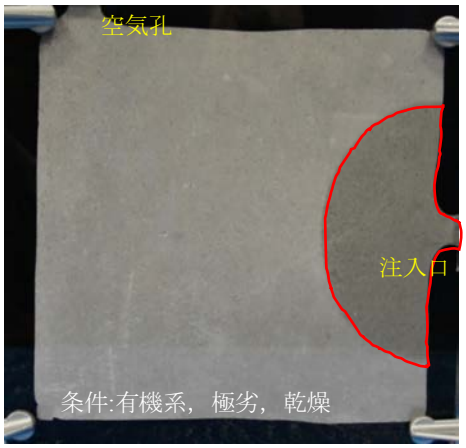
写真-2　加圧注入用供試体

表-1　供試体一覧

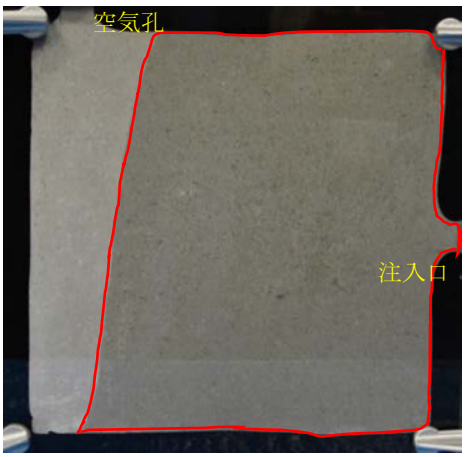
番号	補修材料	注入条件	供試体条件	乾湿状態
No.1	有機系	低圧注入（最大 0.4MPa）	極劣	乾燥
No.2	無機系		一般	
No.3		加圧注入（最大 2MPa）	極劣	
No.4			一般	
No.5				水充填

補修材として，有機系は軟質形低粘度タイプ（粘度 100～1,000mPa･s（23℃±2℃））を，無機系は超微粒子高炉スラグ系コンクリートひび割れ注入材（粘性 45 mPa･s，水比 70%）の 2 種類を用いた。

現場におけるひび割れへの注入方法としては，有機系の場合，ある長さを持ったひび割れに対して複数箇所で同時に低圧注入を行うが，無機系の場合，ひび割れの最も低い位置から空気を追い出すよう加圧・高圧注入を行い，より上部にある注入口からのリークを確認してから順に注入する方法が用いられている。今回の実験では，低圧注入の場合は，右側面の中心部からの注入を，加圧注入の場合は，右側面下面からの注入を行った。また，



注入直後



注入終盤

写真-3　有機系補修材注入状況（No. 1）

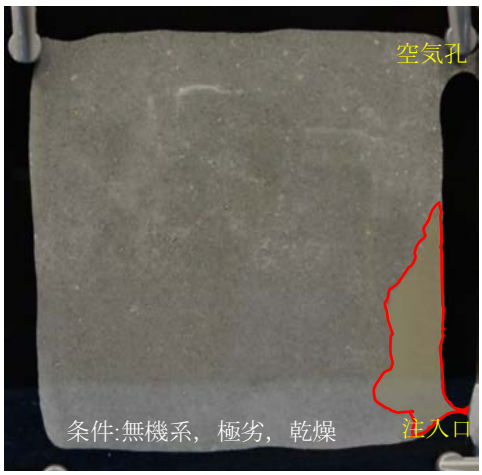
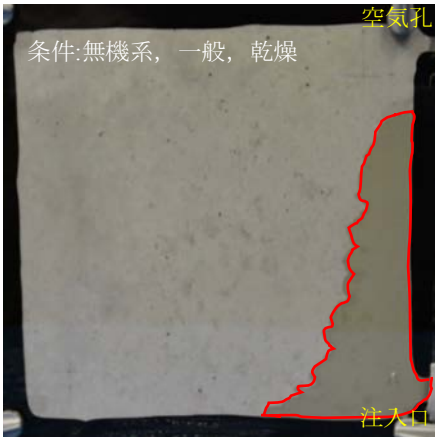


写真-4　無機系補修材注入状況（No. 3）

無機系では一般に行われない低圧注入につても行った（No.2 供試体）。

2.2 実験結果

写真-3 は，極劣および乾燥したコンクリート供試体に対して有機系補修材を低圧注入した直後と終盤の充填状況を示したものである（No.1）。注入は，供試体右側面中

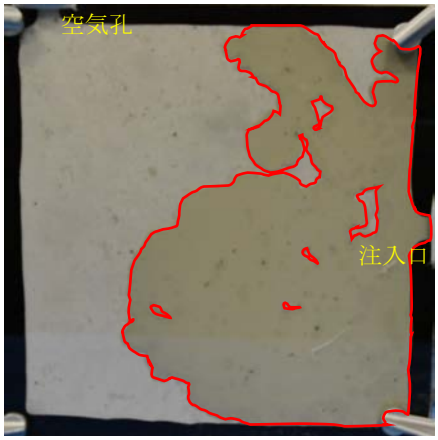


注入直後

注入中盤

写真-5　無機系補修材注入状況（No.4）

注入直後



注入中盤

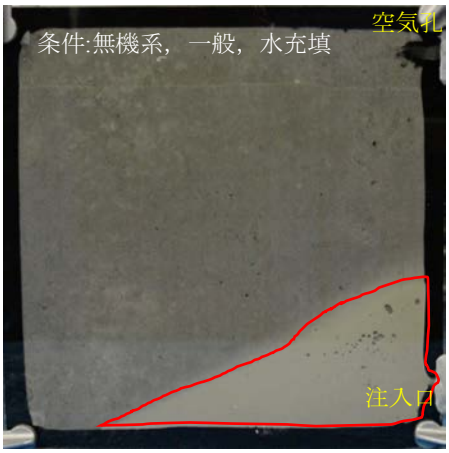
写真-6　無機系補修材注入状況（No.2）

央から行っているが，注入直後から，注入口を中心に半円状に広がっていき，半円が上下端部に到達すると，樹脂の流れは左方向に変化し，樹脂は垂直状態を維持しながら左方向へ進展した。最終的には重力により若干下面側の進展が大きくなるが，その後全体に行き渡り充填が完了した。この様な進展は，有機系特有の粘度によるものと思われる。なお，この供試体は，極劣な供試体であるが，注入においてその影響は感じられなかった。

写真-4 は，極劣および乾燥したコンクリート供試体に対して無機系補修材を加圧注入した直後の充填状況を示したものである（No.3）。注入は，供試体右側面下部から行っているが，注入直後，わずかに注入した補修材自体の先端部分の色が変化した。これは，補修材中の水分がコンクリート中に吸収され，セメント粒子が凝縮し，目詰まりを生じた為である。その後，更に圧力を掛けて注入を続けると，補修材は目詰まりを生じていない箇所，もしくは詰まり具合が脆弱箇所を破壊しながら上方向に進展したが，再度目詰まりを生じ，最終的にはこれ以上注入することは出来なかった。現場における無機系補修材の注入時において，早期に注入が出来なくなる場合があるが，これはこの様な圧力を掛けた事による水分の吸収によって，無機系補修材の流動性が悪くなり目詰まりを生じた可能性が高いものと思われる。

写真-5 は，一般および乾燥したコンクリート供試体に対して無機系補修材を加圧注入した直後と中盤の充填状況を示したものである（No.4）。注入は，供試体右側面下部から行っているが，注入直後，No.3 の供試体と同様の目詰まりが生じ，進展は上方向になったが，完全に詰まる状況ではなく，そのまま右上端の注入口まで補修材が到達した（**写真-5** 注入直後参照）。その後，注入を続けると，目詰まりを生じた箇所の脆弱箇所を破壊しながら無作為に進展する傾向となった。ここで，問題なのは，実際の現場では下面の注入口から注入した補修材が，上部の注入口に到達し，リークが確認されれば，下面は充填されていると判断し，上部からの注入に移ってしまうことである。この写真にも見られるように，内部では，まだまだ未充填の箇所が存在するため注入時には注意が必要となる。

写真-6 は，一般および乾燥したコンクリート供試体に対して無機系補修材を低圧注入した直後と中盤の充填状



注入直後

注入終盤

写真-7　無機系補修材注入状況（No. 5）

況を示したものである（No.2）。注入は，供試体右側面中央から行っているが，注入直後，No.3 の供試体と同様の目詰まりを生じながら，進展は上下方向に広がり，その後，目詰まりを生じた箇所の脆弱箇所を破壊しながら無作為に進展する傾向となった。その為，数カ所に空洞が残るような状況での注入となった。今回，無機系補修材においても低圧注入を行ったが，実際の加圧自体は 0.4MPa にも至っておらず，圧力は低い状況であるにもかかわらず，補修材中の水分を吸収し，目詰まりを生じさせるため，無作為な進展となった。

写真-7 は，一般および予め水を空隙内に充填させたコンクリート供試体に対して無機系補修材を加圧注入した直後と中盤の充填状況を示したものである（No.5）。供試体は，補修材注入 1 時間前に既に水を充填させておいたものを使用した。注入は右側面下部から行っているが，目詰まりを生じさせることなく，水を押し出しながら滑らかに進展していった。また，注入中，空気などが混入する事もあったが，大きめの気泡は直ぐに浮上し，気泡の少ない密な充填状況となった。

3. φ150mm 円柱供試体を用いた無機系補修材の充填状況の確認実験

アクリル板を用いた注入実験では，乾燥した面に対して無機系の補修材を注入した場合，目詰まりを生じながら無作為に充填される傾向が分かったが，懸念されることは，注入後の補修材の充填性である。注入時点で，コンクリートに水分を吸収されていることから，十分に充填されていない可能性が考えられた。そこで，本研究では，割裂した円柱供試体を再び貼り合わせた供試体を作製し，割裂面をひび割れに想定した注入実験を行い，コンクリート面が乾燥・湿潤状態における補修材の充填状況と密実性の確認を行った。

3.1 実験概要

実験には，レディーミクストコンクリート工場のフレッシュコンクリート（普 30-18-20N）を用いて作製した φ150×300mm の円柱コンクリート供試体である。打込みは屋外（打込み時外気温 23℃）で行い，3 層 25 突きで打ち込み締め固めを行い，翌日脱型し，28 日間水中養生を実施した。この供試体を，圧縮試験機を用いて 0.4mm の貫通ひび割れが入るように割裂し，その後，打込み下面側に注入用のプラグを 2 箇所に取り付け，ひび割れ全体をコーティングした。**写真-8** は，プラグ取り付け及びコーティング後の供試体を示したものである。

コーティング材が硬化後，乾燥条件の供試体として，恒温恒湿室（温度 20℃，湿度 60%）に 1 週間保管した。湿潤条件の供試体は，ひび割れ内部を湿潤状態とするため，注入口から水を注入充填後，水中養生として 2 日間浸漬した。

実験に使用した補修材は，超微粒子高炉スラグ系コンクリートひび割れ注入材(粘性 45mPa/s，水比 70%) である。この補修材は，高炉スラグの超微粒子（平均 4μm）を主材とした無機系コンクリートひび割れ注入材であり，長期にわたり硬化促進する特徴がある。

注入方法は，供試体をひび割れが鉛直方向となるよう

写真-8　供試体準備状況

横置きにし，下端の注入用プラグから補修材を注入し，上端のプラグからリークが確認できるまで注入を続けた。

注入後，乾燥条件の供試体は恒温高湿室（温度 20℃，湿度 60%）で気中養生，湿潤条件の供試体は養生槽にて 2 週間の水中養生を行った。その後，供試体を円盤状に輪切り（厚さ 10mm）にカッティングを行い，目視による充填状況の確認と X 線造影撮影法*)を用いて密実性の確認を行った。X 線造影撮影法とは，コンクリート用に開発された造影剤をコンクリートに浸透させ，X 線撮影を行うことによって，ひび割れや空洞又は密実性の比較を行うことが可能な手法であり，今回，補修材の充填状況や母材と補修材の密実性の比較を行った。

3.2 実験結果

乾燥条件および湿潤条件のスライスした供試体について，目視による注入状況を調べたところ，概ね充填されていることが確認できた。その後，X 線造影撮影を行い，補修材の充填状況を調べた結果の一例を**写真-9** に示す。X 線造影撮影の場合，造影剤が浸透した箇所は白く映し出され，その色が白いほど造影剤の浸透量が多いことを意味している。この写真より，乾燥条件の供試体には，縦方向に割裂したひび割れ部に造影剤が浸透しているのが分かる。これは，補修材と母材とが一体化していないか，補修材自体の硬化促進が進んでおらず，液体の造影剤が浸透しやすかったことが理由として考えられる。更に，この様に乾燥条件において液体の造影剤が検出していることから，止水性能を有していないことも確認できた。

一方，湿潤条件の供試体には，わずかにひび割れが検出されているが，その色は淡く，乾燥条件と比較してひび割れ部に補修材が緻密に充填されていることが分かる。この事から，湿潤状態で注入された無機系補修材では，止水性能を有しているものと考えられる。

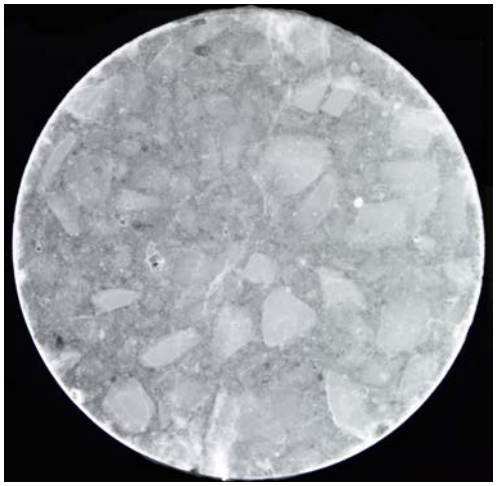
以上のことから，乾燥面への無機系補修材の注入や注入後の気中養生は，十分な硬化促進ができず，結果として緻密性や止水性能に悪影響を及ぼすことが考えられるが，湿潤面へ無機系補修材の注入や注入後の湿潤養生は，硬化促進されコンクリート構造物の一体化に良好な影響を与えるものと思われる。

本研究では，実際にスライスした供試体を目視により注入状況の確認を行ったが，湿潤条件の供試体からは硬化促進により青緑色の箇所が多数確認できていることからも，湿潤面への注入および湿潤養生は大変重要と思われる。

4. 無機系補修材を用いた強度発現実験

注入された無機系補修材が，養生条件によって補修材の強度発現にどのように影響するのか，無機系補修材で作製した円柱供試体を使用し圧縮試験を行い，検証を行った。

乾燥条件



湿潤条件

写真-9　供試体準備状況

4.1 実験概要

本実験では，φ50×100mm の型枠に無機系補修材（粘性 45mPa/s，水比 70%）を打込み，キャッピングした物を計 18 本使用した。脱型後，供試体 9 本を恒温恒湿室（温度 20℃，湿度 60%）にて気中養生，残りの 9 本は養生槽にて水中養生（17℃）を行った。圧縮試験は，材齢 3 日，7 日，28 日で行った。

4.2 実験結果

図-1 は，材齢 3 日，7 日，28 日における無機系補修材の圧縮強度試験結果を示したものである。この図より，気中養生は，水中養生に比べどの材齢においても強度発現が小さく，強度の伸び率も低い結果となった。材齢 28 日において，気中養生に対して水中養生の条件では，1.7 倍の強度発現が見られた。今回は，気中養生で 20℃，水中養生で 17℃という環境での養生であるが，樋門・樋管関係の補修工事は，渇水期である冬季に行われることが

殆どで,強度発現はより厳しい条件となる。その為にも，適切な養生（温度管理）が重要になると思われる。

写真-10 は，圧縮試験後の供試体内部の状況である。この写真からも分かるように,気中養生供試体内部では,一部，高炉スラグが反応した緑青色が見られるが，水中養生では，全体において反応していることが分かる。この事からも，気中養生では，硬化促進が行われていないことが分かる。

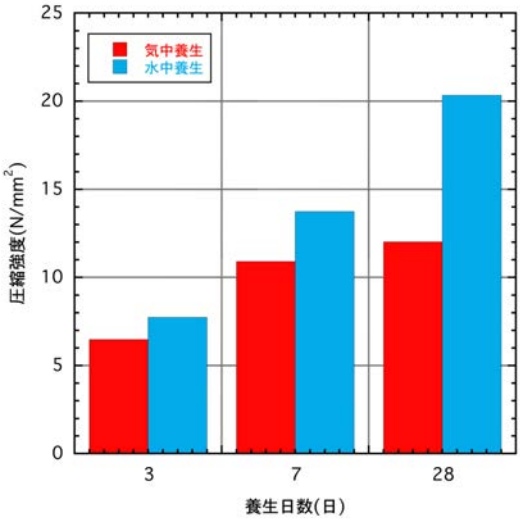


図-1　無機系補修材の圧縮強度試験結果

気中養生　　水中養生

写真-10　圧縮試験後の供試体内部の状況（材齢 7 日）

5 まとめ

本研究は，樋門・樋管コンクリート構造物におけるひび割れ補修箇所において，漏水や錆汁等の再劣化が数多く生じている問題に対して，どの様な要因がこの様な再劣化を生じさせているのかを明らかにするため，各種補修材を用いた基礎的な注入実験を行い，ひび割れ内部の乾湿状態の相違により充填時の補修材の挙動や，注入後の補修材の緻密性にどのように影響するのか検証を行った。本実験の結果から，以下の事が言える。

(1) 補修材として有機系補修材を用いる場合，ひび割れ面が乾燥条件における注入においても，注入口から半円形に広がり，その後鉛直に伸展していくことを確認できた。

(2) 補修材として無機系補修材を用いる場合，ひび割れ面が乾燥条件における注入では，補修材中の水分がコンクリート中に吸収され，内部で目詰まりを起こし，十分な充填が出来ない可能性がある。特に吸収率が大きい条件では，注入直後，目詰まりを生じそのまま閉塞する場合がある。

(3) 無機系補修材を用いる場合，ひび割れ面が乾燥条件における注入では，吸収の影響で注入口から上下に伸展するため，ひび割れ全体に充填される前に，他の注入プラグからリークが確認出来るため，注入時の充填確認時は注意が必要である。

(4) 無機系補修材を使用する場合は，注入箇所を湿潤状態にしてから注入する事で，充填性を大幅に向上する事が出来る。また，注入後も湿潤状態を維持することで，材齢 28 日で乾燥養生に対して 1.7 倍の強度発現が期待できることが分かった。

謝辞：本研究は，東北学院大学工学部環境建設工学科，伊藤直晃および佐藤隆憲の協力を得た。また，一般社団法人東北地域づくり協会の技術開発支援を受けて行った研究である。ここに記して謝意を表します。

参考文献

1) 軍司翔太，武田三弘，阿部大輝，増澤　優，海老根壮：樋管に発生したセパレータ周りの沈下ひび割れに関する基礎的実験，平成 28 年度土木学会東北支部技術研究発表会講演概要集，VI-53，2017. 3

2) 簗田　亮，大友　累，武田三弘：簡易透気試験による沈みひび割れの貫通確認手法，平成 29 年度土木学会東北支部技術研究発表会講演概要集，V-21，2018. 3

3) 武田三弘，大塚浩司：X線造影撮影法によるコンクリートの性状評価手法の開発と応用，土木学会論文集 E2(材料・コンクリート構造)，Vol.68，No.3，pp146-156，2012.7