

報告 シールテープおよびインジェクションガンを使用した手動式低圧樹脂注入工法による施工報告

白岩 誠史*1・市村 周二*2・大場 春樹*3・小林 毅*4

要旨：シールテープおよびインジェクションガンを使用した新しい手動式低圧樹脂注入工法“シールテープインジェクション工法”を開発し、実構造物のひび割れ注入工に適用した。透明なシールテープでひび割れをシーリングし、注入材の充填状況を確認しながら、圧力を手動で調整できるため、確実な充填およびその確認をすることができた。また、注入材はカートリッジに格納されているため、注入量の管理が簡単かつ確実にできることで、品質の高い管理を実施できた。さらに、シールテープ貼付後、直ちに注入を開始できること、注入材硬化後の撤去が容易であることから、施工速度についても向上できることが確認できた。

キーワード：ひび割れ、注入工法、注入材、品質管理、シールテープ

1. はじめに

経年劣化や、コンクリートの乾燥および温度収縮等によって生じるひび割れに対する補修方法として、自動式低圧樹脂注入工法による注入が一般的に行われている。自動式低圧樹脂注入工法では、注入材の漏えいを防ぐ目的でひび割れ表面にエポキシ樹脂等のシール材を塗布するが、シール材の養生や撤去に時間を要することや、充填状況の確認ができないといった課題がある。

これらの課題を解決するため、シール材の養生時間が短く施工時および施工後に注入状況を確認でき、撤去が容易なひび割れ注入用のシールテープを開発し、自動式低圧注入工法に適用した事例が報告^{1), 2), 3), 4)}されている。

本報告では、充填状況を確認しながら注入できるシールテープの長所を活かし、作業員の熟練度に左右されない新しい手動式低圧樹脂注入工法“シールテープインジェクション工法”を用いた施工事例について報告する。

2. シールテープインジェクション工法

2.1 概要

シールテープインジェクション工法の施工手順を図-1に示す。また、写真-1の穿孔状況のように、15cm程度の間隔で直径5mmの注入口をハンドドリルにて穿孔する。次に、注入材漏出防止用の補強テープ、シールテープを貼り付け、注入口位置のシールテープにカッター等で穴を設ける。その後、写真-1の注入状況のように、インジェクションチューブを用いて注入する。

従来、手動式注入工法は、熟練工の経験によって確実な充填がなされていたが⁵⁾、本工法では、注入材の充填状況を目視で確認できるため、確実に充填されるまで、

手動で注入圧を調整しながら、注入を継続できる。また、空気だまり等の発生により、未充填部分が発生した場合は、未充填部分のシールテープに孔を設けて空気を抜くことで、確実な充填およびその確認ができる。さらに、注入材は主剤および硬化剤をインジェクションガンの先端に取り付けたミキシングノズルで混合されるため、計量および攪拌作業がない。

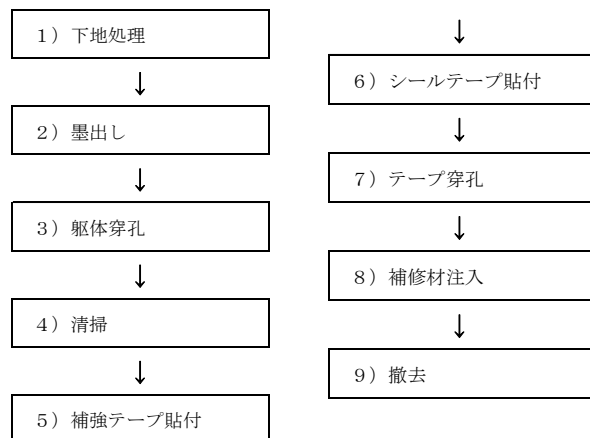


図-1 シールテープインジェクション工法施工手順



写真-1 シールテープインジェクション工法施工状況

*1 株式会社安藤・間 建設本部 土木設計部 工博（正会員）

*2 ニチバン株式会社 テープ事業本部 テープ開発部 工博

*3 ニチバン株式会社 テープ事業本部 テープ開発部

*4 アルファ工業株式会社

2.2 使用機器および注入材

(1) シールテープ

シールテープは、写真-2 に示すようなテープ幅 60mm、厚さ 0.225mm、ポリエステル系基材、ゴム系粘着剤の硬質テープを使用した。

(2) 補強テープ

補強テープは、テープ幅 25mm、厚さ 0.165mm、ポリオレフィン系基材、ゴム系粘着剤の軟質テープを使用した。

(3) 注入材

注入材は、ライトグレー色、溶液粘度 $600 \pm 200 \text{Pa} \cdot \text{s}$ の低粘度弾性エポキシ樹脂を使用した。主剤 33ml（ビスフェノール系エポキシ樹脂）および硬化剤 17ml（変性脂肪族ポリアミン）の合計 50ml を 1 つのカートリッジに格納した（写真-3 参照）。

(4) インジェクションガン

写真-4 に示すような 50ml カートリッジ用インジェクションガンおよびミキシングノズルを使用した。

2.3 注入材の浸透状況の観察

自動式低圧樹脂注入工法では、注入材は同心円状に浸透していくことが知られている⁶⁾。インジェクションガンを用いた本工法においても同心円状に注入材が浸透、



写真-2 シールテープ



写真-3 注入材カートリッジ



写真-4 インジェクションガン

充填していくかどうかについて、擬似ひび割れモデルを用い、1 箇所から注入した場合、複数箇所から注入した場合の観察を行った。

(1) 試験内容

縦 400mm×横 600mm×厚さ 10mm の透明なアクリル板 2 枚を、厚さ 0.25mm のスペーサーを入れて重ね合わせ、端部をクランプで挟んで固定、擬似ひび割れモデルを作製した。同モデルの 1 つの断面に補強テープ、シールテープを順に貼り付けて封止した後、目打ちを用いて注入孔を開け、インジェクションガンにて注入材を注入し、浸透状況を目視観察した。

(2) 観察結果

(a) 1 箇所から注入

写真-5 に示すように、直径 7cm から 40cm まで、5 水準の長さで注入したが、同心円（半円）状に浸透していることが観察された。これにより、一般的な自動低圧注入と同様な浸透状況であることが、確認できた。

(b) 2 箇所または 3 箇所から注入

写真-6 は 10cm の間隔で 2 箇所から注入したものである。また、写真-7 は 10cm の間隔で 3 箇所から注入したものである。1 箇所目の注入孔から注入材を半径 8cm 程度注入した後、2 箇所目の注入孔から注入、次に 3 箇所目の注入孔より順次注入した。何れの箇所からの注入も、同心円（半円）状に浸透し、深さ方向 10cm 程度まで浸透していることが観察された。

以上のことから、シールテープインジェクション工法を用いて、シールテープ越しに注入状況を確認しながら注入することで、注入間隔と同等の深さまで注入材を充填できることが確認できた。したがって、注入したい深さに合わせて注入間隔を調節することにより、想定した深さまで注入材を浸透できることが確認できた。

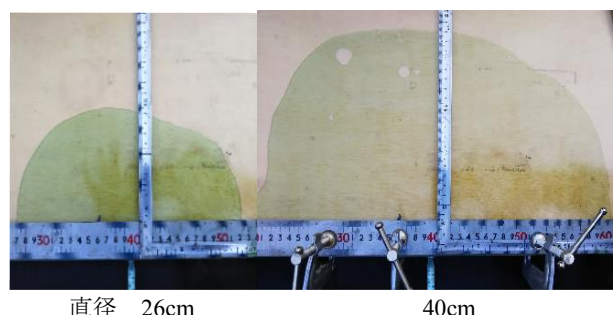
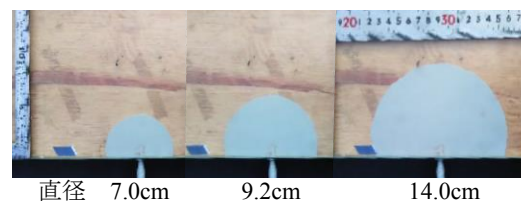


写真-5 1 箇所から注入した注入材の浸透状況

3. 現場適用状況

擬似ひび割れモデルを用いた補修材の浸透状況の観察結果を踏まえ、山岳トンネルの覆工コンクリートのひび割れ注入工事に、シーลテープインジェクション工法を適用した。

3.1 ひび割れ対象

トンネル覆工コンクリートの天端に発生した総延長約80m、平均ひび割れ幅0.55mmのひび割れに対し、適用した。また、施工時期は2018年12月中旬、施工日数は3.5日間、気温は5℃程度の現場にて施工を実施した。

3.2 人員および使用機械

人員は作業員2人、主要な使用機械および機器は、高所作業車1台、ハンドドリル1台およびインジェクションガン1台である。

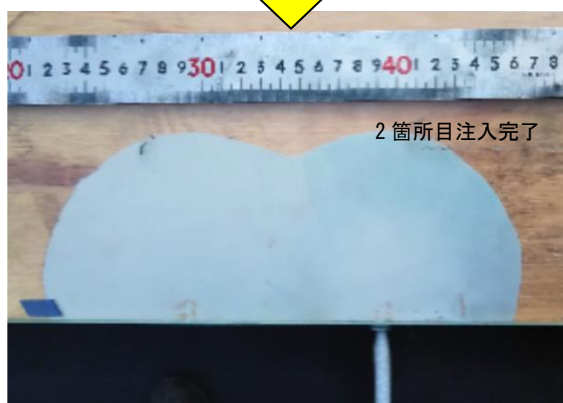
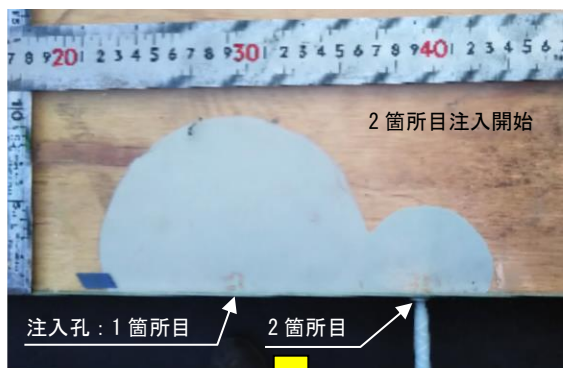


写真-6 2箇所目から注入した注入材の浸透状況

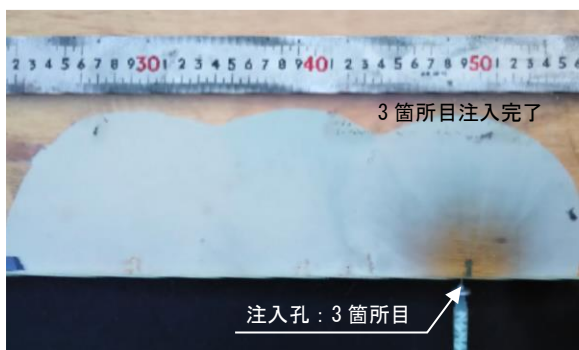


写真-7 3箇所目から注入した注入材の浸透状況

3.3 現場適用状況

図-1に示す手順に従って、施工した。以下に、各施工段階での現場適用状況について記載する。

(1) 下地処理

躯体表面のひび割れ周辺のシーลテープ貼付予定範囲に付着したコンクリート粉、埃、汚れ等をウエスで拭き取った。

(2) 墨出し

写真-8に示すように、躯体表面のひび割れ上に150mmピッチで墨出しを行った。

(3) 躯体穿孔

写真-9に示すように、墨出しで印をつけた箇所を直径5mmのドリルで深さ7mmの穿孔を行い、注入孔を設けた。

(4) 清掃

写真-9に示すように、注入孔やひび割れに詰まった切粉、周辺のコンクリート表面に付着した埃等をエアブラシやウエスを用いて除去した。

(5) 補強テープ貼付

写真-10に示すように、シワが入らないようにひび割れの直上に補強テープを貼り付け、ゴムローラーで圧着した。

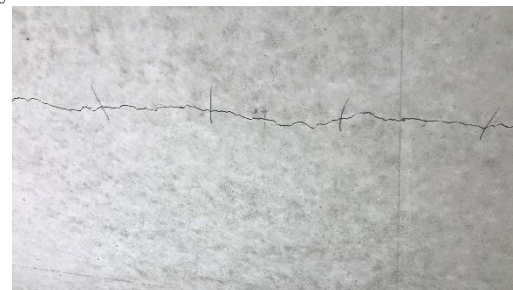


写真-9 穿孔および清掃作業

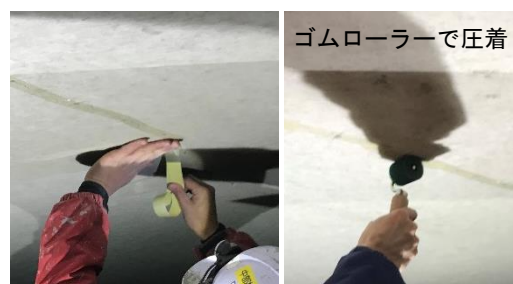


写真-10 補強テープ貼付および圧着作業

(6) シールテープ貼付

写真-11 に示すように、補強テープ直上にシールテープを重ねて覆うように貼り付け、ゴムローラーで圧着した後、写真-12 に示すように、重ね貼り部分、重ね貼り段差部分を硬質ヘラで強く圧着した。

(7) テープ穿孔

写真-13 に示すように、注入孔上に目打ちを刺して、補強テープおよびシールテープに注入用の孔を設けた。

(8) 注入

写真-14 に示すように、重ね貼りテープ上に設けた注入孔にウェスを介してインジェクションガンのミキシングノズルを差し込み、注入材が漏れないようにノズル先端のストッパーを押し当ててから、インジェクションガンのトリガーを引き、写真-15 に示すように、注入材が重ね貼りテープ内のひび割れに浸透していくのを確認しながら隣の注入孔付近まで充填した。注入が終わったら、予め 5cm 程度の長さにカットしておいたシールテープ

を重ね貼りして注入孔を塞ぎ、隣の注入孔に移動してインジェクションガンによる注入作業を繰り返し実施した。外気温が 5℃程度と低温のため、注入材は、施工開始前は 15℃程度の車内にて保管し、施工中はカイロを入れた保温ケースに保管し、10℃以上を保持した。

(9) 撤去

注入した注入材が硬化したことを確認後、写真-16 のように、重ね貼りのテープを引張りながら剥がし、撤去した。補修したひび割れ周辺の躯体表面に滲んだ樹脂



写真-11 シールテープ貼付作業



写真-12 硬質ヘラによるシールテープ圧着作業



写真-13 テープ穿孔



写真-14 注入作業



写真-15 充填状況目視確認



写真-16 撤去作業



写真-17 仕上がり状況

を金属ブラシ等で削り、仕上げ処理を行なった。仕上がり状況を写真-17に示す。

3.4 品質管理状況

従来のシール材を用いた自動式低圧注入工法では、注入器内の注入材の残量により、想定通りひび割れが充填されたかを確認しているが、注入器に追加した数量の管理が手間であり、また、シール材を撤去するまで、注入材の充填状況を確認できない。さらに、シール材が、ひび割れ表面から数ミリ程度入り込むため、シール材を撤去しても注入材の充填状況は確認できない。これに対し、シールテープを用いた本工法では、写真-15に示すように、注入材が充填されたひび割れは、透明なテープ上から色の変化により確認でき、充填状況を目視確認しつつ、インジェクションガンのトリガーの引き具合を調整して圧力調整して注入することができ、確実に注入材を充填することができた。

また、自動式低圧注入工法では、各ひび割れの実注入量の管理が手間であったが、本施工では補修材が 50cc/個のカートリッジに定量格納されているため、カートリッジの使用本数を数えるのみで実注入量を容易に把握することができる。施工現場における実注入量の管理が容易となるため、作業員等への負担も軽減する。本施工における注入本数および注入量の管理結果を表-1に示す。

本工法により、注入材の充填状況の把握や注入量の管理の点で、従来の工法と比較し、高い品質管理を実施できることが確認できた。

3.5 従来工法との比較

(1) 作業時間

本工法と従来工法の作業時間の比較を行うと従来工法では、1日目にシール材の設置と注入台座を取り付け、2日目にシリンダー等の注入器具によって樹脂を注入、3日目に注入器具とシール材の撤去を行なうため、最低3日間が必要である。これに対して本工法は、1日目にシールテープを貼った当日に樹脂注入が可能で、2日目にシールテープを剥がすだけで撤去するが出来るため、従来工法と比較して工期を短縮することが可能である。

本工法を適用した本施工での作業毎の施工速度を表-2に示す。下地処理から注入完了まで 1m あたり平均 9.2 分、シールテープの撤去は 1m あたり平均 0.7 分であった。

従来工法はシール材や台座取り付けの養生時間、樹脂注入器材を翌日まで設置しておく時間が必要となるため、ひび割れ延長が短い場合でも施工には3日間必要であるため、注入箇所が少ない施工条件では 1m 当たりの作業時間は長くなる傾向にある。

これに対し、本工法は、ひび割れ延長の長短に依らず作業時間はほぼ一定となるため、ひび割れ延長の短い注

入箇所が少ない施工条件では、本工法での作業時間短縮効果が大きい。注入材の計量や注入器を準備する場所が必要ないため、狭い作業スペースでの施工も可能である。

(2) 安全および環境

安全衛生面では、従来工法がシール材の撤去にディスクグラインダー等の電動研磨機器の使用で粉塵が発生する作業を要するのに対し、本工法はシールテープを剥がすだけで粉塵等が発生しない。また、注入材の計量が現場で必要ないため、有機溶剤取り扱い時の健康被害のリスクがない。これらの理由により、本工法は、安全衛生面でも優位であることが確認できた。

表-1 本施工での注入量管理結果

ブロック	76BL	77BL	78BL	81BL	82BL	83BL	84BL	85BL
延長(m)	11.7	8.1	12.0	11.7	8.1	12.4	11.8	11.2
幅(mm)	0.55	0.55	0.55	0.55	0.55	0.55	0.55	0.55
推定深さ(mm)	150	150	150	150	150	150	150	150
予定注入量(cc)	483	334	495	483	334	512	487	462
目視確認	○	○	○	○	○	○	○	○
注入本数(本)	10.0	7.0	7.0	6.5	4.0	7.5	11.5	6.5
実注入量(cc)	500	350	350	325	200	375	575	325
算出注入深さ(mm)	155	157	106	101	90	110	177	106

※予定注入量は、農林水産省平成30年度土地改良工事数量算出要領(案)記載の注入材設計量算出に関する以下計算式⁷⁾に準拠、ひび割れの推定深さから算出。
※算出注入深さは、同計算式⁷⁾に準拠、ひび割れの実注入量から算出。

$$V = b \times h \times 1 / 2 \times 1000 \text{ cm} \times \rho g / 1000$$

V : 注入材 10m 当り注入材設計量 (kg/10m)
b : ひび割れ幅 (cm)
h : ひび割れ深さ (cm)
 ρg : 注入材の単位体積重量 (g/cm3)

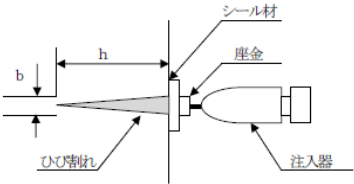


図-2 土地改良工事数量算出要領(案)記載の注入材設計量算出に関する計算式及び参考図⁷⁾

表-2 本施工での施工速度

ブロック	シールテープ貼付 (分/m)	補修材注入 (分/m)	撤去 (分/m)
76BL	6.6	4.1	1.2
77BL	8.8	2.8	1.5
78BL	5.1	3.2	0.6
81BL	5.6	3.6	0.4
82BL	5.3	3.2	0.5
83BL	5.0	3.1	0.4
84BL	5.1	3.4	0.5
85BL	4.8	3.8	0.6
平均	5.8	3.4	0.7

更に従来工法では、注入器具内に注入材を残すことで視認できないひび割れへの注入材の充填状況を管理するため、多くの廃棄物が発生するが、本工法では目視確認しながら必要な量をインジェクションガンで注入することができるため、注入材の廃棄が殆ど無かった。環境に配慮した工法であることが確認できた。

4. まとめ

シールテープインジェクション工法において、予備実験として擬似ひび割れモデルを用いて注入材の浸透状況の観察を行ったが、同心円（半円）状に浸透していることが観察された。これにより、テープ上から観察される注入材の注入間隔により、深さ方向の浸透長さも管理できることが確認できた。そのため、かぶり部の鉄筋の防錆を目的とした補修の場合は、特に有効な工法であると考えられる。

次に、シールテープインジェクション工法を覆工コンクリート天端のひび割れ注入に適用したが、注入材の充填状況を確認しながら、注入ガンの圧力を手動で

調整、注入できるため、熟練工でなくとも全ての箇所において、確実な充填ができ、またその確認ができた。

さらに、注入材はカートリッジに格納されているため、注入量の管理が容易にでき、従来工法よりも品質の高い管理を実施できた。

また、シールテープ貼付後直ちに注入が開始でき、注入材硬化後の撤去も容易であったことから、従来工法に対する施工速度の向上も確認できた。

参考文献

- 1) 勝野晃宏・市村周二・山口浩・前田敏也：注入状況の確認が可能なひび割れ注入シールテープの開発，土木学会第 71 回年次学術講演会，V-179，pp.357-358，2016.9
- 2) 鈴木迪彦・小野慈恩・毛塚貴洋・久保淳一郎・勝野晃宏・市村周二：シールテープを用いた低圧注入工法の実施工，土木学会第 72 回年次学術講演会，V-406，pp.811-812，2017.9
- 3) 毛塚貴洋・市川嘉一・久保淳一郎・渡瀬久・勝野晃宏・市村周二：シールテープおよび補強テープを併用した低圧注入工法の実施工，土木学会第 73 回年次学術講演会，V-126，pp.251-252，2018.8
- 4) 勝野晃宏・稲垣智之・市村周二・白岩誠史・前田敏也：注入座金の両面テープ固定による低圧注入工法の省力化施工，土木学会第 73 回年次学術講演会，V-598，pp.1195-1196，2018.8
- 5) コンクリート工学会：コンクリートのひび割れ調査，補修・補強指針-2013-，p127，2013.4
- 6) 低圧樹脂注入工法協議会：自動式低圧樹脂注入工法ガイドブック 2013 年版，p.17，2013
- 7) 農林水産省農村振興局整備部設計課施工企画調整室：平成 30 年度土地改良工事数量算出要領(案)，第 15 章，15-1，(2)，2018.4