ポリウレタン樹脂と水性エマルジョンの併用による2液混合型注入止水工法の開発および性能評価

DEVELOPMENT AND EVALUATION OF A HYBRID TYPE WATERPROOFING METHOD USING A COMBINATION OF POLYURETHANE RESIN AND AQUEOUS EMULSION

片岡弘安 — * 1 小川晴果 — * 2
水上卓也 — * 3 梶田 隆 — * 4

Hiroyasu KATAOKA — * 1 Haruka OGAWA — * 2
Takuya MIZUKAMI — * 3 Takashi MASUDA — * 4

キーワード：
地下、止水、ポリウレタン樹脂、水性エマルジョン、耐久性

Keywords:
Underground, Waterproofing, Polyurethane resin, Aqueous emulsion, Durability

The conventional injection method for waterproofing the cracks emerging underneath a concrete structure is problematic. Therefore, the authors developed a hybrid type waterproofing using two substances consisting of polyurethane resin and aqueous emulsion. This method reliably stops water leakage by thorough curing. This method performed excellently in testing, demonstrating rapid curability, stability of configuration, the elongation property. It also facilitates the injection of chemicals into fine cracks. In application to a structure, this method was demonstrated excellent durability and performance.

1. はじめに

東京都などの都市部を中心に、近年見られる地下水位の上昇¹⁾および敷地の有効活用のための地下空間の活用推進の影響から、地下躯体構造物の防水対策は喫緊の課題となっている。地下コンクリート躯体は密実な品質が得られれば地下水の浸透抑制の効果があることが知られているが²⁾、豆板、ひび割れ、打継などから水の侵入を受けやすい。このような躯体形成後の漏水への対応に用いられている従来の注入止水工法では再漏水の不具合が起こることがあった。

そこで、著者らは、ポリウレタン樹脂と水性エマルジョンの2液からなる止水材を、電動ポンプでひび割れ漏水部に注入する確実性に優れた止水工法を開発した。本報では、開発工法の概要と、止水材物性試験および実構造物への適用による性能評価結果を述べる。

2. 開発工法の概要

2.1 従来工法の問題点と開発方針

地下躯体施工後に漏水が発生した場合、水みちとなる隙間に流動性の高い樹脂を注入する工法が用いられている。地下水圧が高い場合では、注入薬液として水と反応して硬化する一液型ポリウレタン樹脂を電動ポンプにより高圧で注入する工法が従来工法として一般的である。しかし、この工法には表1に示すように、樹脂の硬化が不確実であり、硬化物が収縮しやすく、硬化物の伸縮性が乏しいといった欠点がある。これらの理由により、従来工法では、施工中のみならず施工後においても再漏水が発生することがあり、再注入作業による工程の遅延や再漏水が短期間で生じて、対応に迫られる原因となっていた。

著者らは、従来の一液型ポリウレタン樹脂注入止水工法をベースとして、その性能改善によって前述のような欠点を克服できる工法を目標として開発を行った。

表1 一液型ポリウレタン樹脂注入止水工法（従来工法）の欠点

硬化が不確実	注入薬液の硬化には漏水箇所からの水分供給が必要。漏水箇所の出水状態にはばらつきがあるため、薬液硬化が不十分となり、再漏水することがある。
硬化物が収縮しやすい	止水材硬化時に発生する炭酸ガスが材齢経過により抜けて収縮しやすく、再漏水を生じる原因となる場合がある。
硬化物の伸縮性が乏しい	特に疎水性ポリウレタン樹脂は硬化樹脂の伸縮性に劣る。地下躯体は地上部に比べ動きは少ないが、ひび割れ追従性は要求される。

2.2 構成材料

従来工法の課題である硬化の不確実さを改善するため、従来はポリウレタン樹脂1成分のみであった薬液を、本工法では写真1や表2に示すように2成分とした。即ち、ポリウレタン樹脂(液状ウレタンプレポリマー)と、その硬化に必要な水およびポリウレタン樹脂と反応して柔軟性や耐久性を付与する固形分を併せて供与できる水性エマルジョンの2成分とした。このような成分系とすることで、ポリウレタン樹脂には硬化に必要な水が薬液自身から供給され、かつこの水が消費されることで水性エマルジョンが造膜するため、外部環境に依存せず、施工箇所確実に硬化する。それゆえ、ポリウレタン樹脂と水性エマルジョンが安定した硬化物を形成し、硬化樹脂の柔軟性や耐久性などの様々な性能改善が期待できる。これらの効果により、開発工法では、施工箇所の乾湿や漏水量に関わらず、薬

本稿は文献3)～6)を再構成し、加筆・修正したものである。

¹⁾ ㈱大林組技術本部技術研究所生産技術研究部 副課長
(〒204-8558 東京都清瀬市下清戸4-640)

²⁾ ㈱大林組技術本部技術研究所技術ソリューション部 部長・博士(工学)

³⁾ ㈱大林組技術本部技術研究所生産技術研究部 副課長

⁴⁾ ㈱MASUDA 代表取締役

¹⁾ Deputy Manager, Technical Research Institute, Obayashi Corporation

²⁾ General Manager, Technical Research Institute, Obayashi Corporation, Dr. Eng.

³⁾ Deputy Manager, Technical Research Institute, Obayashi Corporation

⁴⁾ Representative Director, MASUDA Co., LTD.

液注入を行った箇所を確実にかつ長期的に止水することが可能となる。

2.3 施工方法

2成分の薬液を効率的に混合注入するため、写真2に示す2液混合型電動ポンプを用いる。2液混合型電動ポンプは、汎用の100V電源で作動し、装置本体重量は約14kgと片手で運搬が可能な一体型構造としている。施工状況を写真3に示す。小型注入装置を用いることで、狭隘部や足場上など、大型の機械では作業が難しい場所でも余裕を持って施工できるものとした。実施工においては、作業者と材料、注入装置を含め、2×2m程度の作業エリアがあれば施工が可能となることを確認している。

また、開発工法の施工手順を図1に示す。施工手順は従来工法と同様であり、①注入孔削孔、②注入器具(プラグ)取付け、③止水材注入、④注入器具取り外し、⑤注入孔穴埋めの順で行う。注入器具の内部には、2成分の薬液を確実に混合するため、攪拌子を設けており、注入器具内を2成分の薬液が通ることで攪拌する機構である。薬液の硬化による詰まりが生じやすい攪拌部を、使い捨て可能な注入器具に内蔵することで2液型注入システムの施工を簡略化し、従来工法と同等の施工性、注入速度の確保を可能としている。

3. 材料物性

3.1 試験材料

開発工法に用いる止水材（以下、開発止水材）の基礎物性を評価するため、次に示す試験を行った。試験にあたっては、従来工法として、一液型ポリウレタン樹脂注入止水工法用の止水材（以下、従来止水材）と水との硬化物を比較対象とした。なお、止水材の配合は、開発止水材では主剤：硬化剤＝1.5：1（質量比）とし、従来止水材ではポリウレタン樹脂に対して質量比で水4.4%とした。

3.2 試験方法

（1）硬化時間

止水材の可使時間および止水効果発現までの時間を評価するため、JIS K 6901：2008「液状不飽和ポリエステル樹脂試験方法」に準じて試験を行った。5℃、20℃、30℃の条件下で練り混ぜた止水材に、直径5mmのガラス棒を押しつけ、ガラス棒に付着した止水材が糸状に持ち上がらずに切断した時をもって硬化時間とした。なお、この試験では、注入箇所が乾燥していた場合を想定し、従来止水材に水を加えなかった場合についても、20℃での硬化性状を評価した。

写真2 2液混合型電動ポンプ

写真3 施工状況

図1 施工手順

（2）収縮特性

ひび割れ内での材料収縮は再漏水の原因となるため、硬化後の収縮特性を評価した。ポリプロピレン製カップに練り混ぜた止水材を流し込み、5時間後にカップからはみ出た止水材硬化物を切断した。その後、カップに残った止水材硬化物を取り出して満水にした容器に沈め、容器からあふれ出た水の質量を測定して初期体積を求めた。同様に、材齢7日、14日、28日時点で体積を測定して体積変化率を求めた。なお、実際にひび割れ部に注入された止水材はコンクリート中に密閉されて水分が蒸発しにくいことを考慮して、試験体は、成形に用いたカップ中で、上面のみを解放した状態で養生した。

（3）引張特性

止水材の材料強度および動きへの追従性評価を目的として試験した。試験体はJIS A 6021：2011「建築用塗膜防水材」の「アクリルゴム系規格」に準じて作製した。1mm厚の止水材硬化物を室温(20±2℃)で14日間養生した後、ダンベル状3号の形状に試験片を打ち抜き、精密万能試験機により500mm/minで引張試験を行った。

（4）接着特性

コンクリートひび割れ部への止水材の密着性評価の目的で接着試験を行った。コンクリート平板(300×300×t40mm)を気中保管した乾燥品と、水中に7日以上浸漬させ、表面水を拭った湿潤品を下地

写真1 開発止水材の構成材料および止水材硬化物外観

表2 開発止水材の諸元

分類	主剤	硬化剤
構成材料	特殊水性 エマルジョン	ポリウレタン樹脂
外観	乳白色液体	淡黄色液体
粘度(mPa・s, 25℃)	202	431
密度(g/cm ³)	1.03±0.05	1.08±0.05
pH	7.0±1.0	—

とした。各下地に練り混ぜた止水材を塗布した直後に、あらかじめ上面に鋼製アタッチメントを張り付けたモルタル片(40×40×t10mm)を押し当てて室温(20±2℃)で7日間養生を行った。なお、湿潤品の養生は半水浸状態で行った。その後、モルタル片周囲をカッターにより絶縁し、引張試験器により引張接着強さを測定した。

(5) 耐熱性

注入された止水材が曝される可能性のある環境温度に対しての耐久性を確認した。試験体は、引張特性試験と同様に、室温(20±2℃)で14日間養生した1mm厚の開発止水材硬化物を、ダンベル状3号の形状に打ち抜くことで作製した。耐熱および水環境の条件として、直射日光の影響を受ける地上躯体や、寒冷地の山間部を想定し、気中20℃、60℃、水中20℃、40℃、-18℃(氷中)を選定した。ダンベル片を各環境条件に91日静置し、試験前日から常温気中環境(20±2℃)で24時間乾燥させて、精密万能試験機を用いて500mm/minで引張試験を行った。

(6) 耐薬品性

注入された止水材が曝される可能性のある薬品に対しての耐久性を確認した。対象薬品としては、水道水(水中20℃)、沿岸部の地下水に溶け込む塩分を想定した3%食塩水、コンクリートのアルカリ分を想定したセメント飽和水、そして地下ピットや下水道を想定した1%硫酸、1%酢酸を選定した。試験体作製、試験期間、および試験方法は耐熱性試験と同様であり、温度は全て20℃とした。

(7) 充填性

微細ひび割れへの充填性を評価するため、開発止水材を注入したコンクリート躯体ひび割れ部をコアボーリングして、デジタルマイクロスコープを用いてコア表面を観察した。

3.3 試験結果

(1) 硬化時間

硬化時間測定結果を図2に示す。開発止水材の硬化時間は、従来止水材のそれに比べて、各温度において1/7～1/5であり、漏水部に対する即時の止水性能が期待できる。また、30℃での硬化時間が135秒と注入施工に十分な可使用時間が確保されており、注入時に即座に硬化してポンプが詰まるような事態を防ぐことが可能である。

なお、従来止水材は、水を加えない場合、20℃環境で12時間を経過しても硬化しなかった。このことから、濡れ面と乾燥面が混在する実現場の施工では、従来止水材は少なくとも12時間以上の硬化養生時間を置く必要があるのに対し、開発止水材では下地面の乾湿に関わらず、養生期間の大幅な短縮が可能であると考えられる。

(2) 収縮特性

止水材硬化物の材齢と体積変化率との関係を図3に示す。従来止水材は材齢28日後の体積が最大膨張時の30%程度となることに対し、開発止水材は、68.6%と、再漏水の原因となる材料収縮が1/2程度に抑えられ、従来止水材に比べて良好な寸法安定性を確認した。

(3) 引張特性

止水材硬化物の引張試験結果を表3に示す。開発止水材では、従来止水材と比べて高い伸び率を示すことから変形追従性に優れており、躯体に動きが生じて再漏水しにくいことが期待できる。

(4) 接着性

乾燥、湿潤状態のコンクリート下地に対する接着強さの試験結果を表4に示す。開発止水材、従来止水材ともに、正常に硬化した材

料では下地の乾湿に関わらず接着性を有していることを確認した。

(5) 耐熱性

91日耐熱性試験後の引張強さと伸び率を図4に示す。気中60℃条件において引張強さ、伸び率の低下が見られたが、気中20℃条件の試験値の7割以上の値を保っていた。その他の条件においては、気中20℃条件と比べて、91日耐熱性試験後での引張強さ、伸び率の低下はほとんどなく、温度や水に対する物性の安定性を確認した。

(6) 耐薬品性

91日耐薬品試験後の引張強さと伸び率を図5に示す。1%酢酸や1%硫酸では、水中20℃条件に比べて引張強さの低下は見られるものの、伸び率の低下は少なく、柔軟性が保たれていた。また、3%食塩水やセメント飽和水では、引張強さ、伸び率ともに水中20℃条件に比べて大きな変化は見られず、影響が少ないことを確認した。

(7) 充填性

写真4に微細ひび割れへの開発止水材充填状況を示す。粗骨材とモルタル分との界面で生じたひび割れ部に対し、最小で18μm(約0.02mm)程度の幅で止水材が充填されていることが確認できた。

3.4 試験結果総括

各種試験により検証した結果、開発止水材は、従来止水材に比べて、速硬性、寸法安定性、伸び性に優れており、接着性、耐熱・耐

図2 止水材の硬化時間

図3 止水材硬化物の収縮特性

表3 止水材硬化物の引張特性

材料種類	引張強さ(N/mm ²)	伸び率(%)
開発止水材	1.33	355
従来止水材	2.30	2.8

表4 止水材の接着特性

材料種類	引張接着強さ(N/mm ²)	
	乾燥コンクリート	湿潤コンクリート
開発止水材	1.49	0.93
従来止水材	0.97	1.98

図4 開発止水材硬化物の耐熱性(91日)

図5 開発止水材硬化物の耐薬品性(91日)

写真4 微細ひび割れ部への開発止水材充填状況

薬品性、微細ひび割れへの充填性を有していたため、良好な施工性、止水耐久性が期待できる。これらの結果をもって実構造物への適用による性能検証を行うこととした。

4. 実構造物への適用

築40年以上を経過した事務所ビル地下外壁コンクリートの漏水部に適用した。適用前後のひび割れ漏水部の状況を写真5に示す。地下3階(GL-10m)の位置に発生していた幅0.1~0.2mmのひび割れからの漏水部分(水頭差3600mm以上)に対して適用した。当該部分の外壁は、外側が土に接しており、壁厚は600mmであった。

注入前に、まず準備として析出したエフロレッセンスの除去、注入孔の削孔、注入器具の取付けを行った。開発止水材の注入は、材料が表面に溢れ出てくるまで行った。注入した開発止水材は3分程度でゲル化して、10分程度で硬化物を形成した。注入して30分~1時間後には壁面に溢れ出た開発止水材の表面タックが無くなる程度に硬化してはぎ取れる状態となり、注入当日に注入器具の撤去や表面清掃作業を容易に行うことができた。従来工法では注入翌日ま

写真5 建築構造物への開発工法適用状況

での硬化養生が必要であったため、開発止水材の硬化時間を測定した結果から期待できた硬化養生時間の短縮効果が確認された。

注入翌日に施工箇所を目視と触診により確認したところ、壁面は乾いており、止水された状態となっていた。この状態で注入孔をモルタルにて穴埋めし、仕上げとした。

施工から2年7ヶ月後、同一箇所の目視および触診による観察を行うことで、析出物等の再漏水跡が無いことや壁面の乾燥を確認し、止水耐久性を実証した。これは、開発止水材の優れた物性が寄与した効果によるものと考えられる。

5. まとめ

ポリウレタン樹脂と水性エマルジョンの2成分を電動ポンプでひび割れ漏水部に注入する2液混合型注入止水工法を開発し、物性試験と実構造物への適用を行った。その結果、次のことがわかった。

- (1) 開発止水材は、従来止水材に比べて速硬性、寸法安定性、伸び性に優れ、接着性、耐熱・耐薬品性、微細ひび割れへの充填性を有していた。これにより、良好な施工性、止水耐久性が期待できる。
- (2) 開発工法を実構造物に適用した結果、従来工法に対する止水材の硬化養生期間の短縮効果および、2年7ヶ月以上の止水耐久性を実証した。

参考文献

- 1) 東京都環境局ホームページ:「これからの地下水保全と適正利用に関する検討について」-平成27年度地下水対策検討委員会のまとめ- (H28.7.29) <https://www.kankyo.metro.tokyo.jp/water/groundwater/> (参照2018-01-11)
- 2) 日本建築学会編:建築工事標準仕様書・同解説 JASS5 鉄筋コンクリート工事, p. 600, 2015.7
- 3) 小川晴果, 片岡弘安, 水上卓也, 梶田 隆:ポリウレタンと水性エマルジョンの併用によるハイブリッド型注入止水工法の開発 その1 工法概要と試験計画, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 材料施工, pp. 1251-1252, 2015.9
- 4) 片岡弘安, 水上卓也, 小川晴果, 梶田 隆:ポリウレタンと水性エマルジョンの併用によるハイブリッド型注入止水工法の開発 その2 材料物性試験, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 材料施工, pp. 1253-1254, 2015.9
- 5) 片岡弘安, 水上卓也, 小川晴果, 梶田 隆:ポリウレタンと水性エマルジョンの併用による2液混合型注入止水工法の開発 その4 実適用による効果の確認, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 材料施工, pp. 757-758, 2016.8
- 6) 片岡弘安, 平田隆祥, 小川晴果, 水上卓也:2液混合型・注入止水工法「ミクストグラウト」の開発, 大林組技術研究所報, No. 81, 2017.12

[2018年2月6日原稿受理 2018年4月10日採用決定]