

都市トンネルのひびわれ漏水補修材に関する 実験および現場適用について

Experimental Study and On-site Application of Crack Repair Materials
for Water Leakage in Urban Tunnels

前田穰¹・小山幸則²・朝倉俊弘³

Minoru Maeda, Yukinori Koyama and Toshihiro Asakura

¹正会員 NTTインフラネット株式会社 (〒103-0007 東京都中央区日本橋浜町2-31-1)
m-maeda@hqt.nttinf.co.jp

²フェロー会員 工博 財団法人 地域地盤環境研究所 (〒113-0034 東京都文京区湯島1-8-4)

³正会員 工博 京都大学大学院 工学研究科 教授 (〒615-8540 京都市西京区京都大学桂)

Urban telecom tunnels in Japan measure approximately 600 km and many of them are already twenty through thirty years old. Selection of the optimum material for repairing cracks and water leakages is one of the most crucial points. For the purpose of selecting the optimum concrete structure repair material, this study has clarified the advantages and disadvantages of the currently employed water leakage repair materials, and has found out that a new modified polyurea resin provides an excellent material for ensuring conformance to cracks and others. Thus, detailed test evaluation was conducted, and, based on the results of this evaluation, the material is being utilized at the worksite of actual urban tunnels for the past few years, with the result that the validity of this material has been verified.

Keyword: Urban tunnel, Repair for cracks and water leakages, Modified polyurea resin,
Conformance to cracks

1. はじめに

通信用都市トンネルは、東名阪の3大都市圏を中心に約600kmあり、その約60%がシールドトンネル、残りが開削トンネルで、土木学会の基準に準拠し構築されている。

ところが、建設後20年～30年以上経過したものが多く、補修・補強などの対策も含めた維持管理が今後の大きな課題となっている。維持管理の問題を解決していく中で、最適なひびわれ漏水補修材を選定することは、最も重要な課題の1つである。

本研究では、この課題を満足する最適なコンクリート構造物補修材を選定することを目的として、現在用いられている漏水補修材の得失を明確化し、その中で、新素材である変成ポリウレア樹脂が、ひびわれ追従性等多くので優れていることが判明したこ

とから、詳細な実験評価とそれに基づく実トンネルでの現場適用を行った。

2. 新補修材の漏水補修工法への適用性の検討

(1) 各種補修工法に関する検討

通信用トンネルを中心とするコンクリート構造物の補修について多くの基礎的実験(例えば参考文献¹⁾・現場調査結果(例えば参考文献²⁾・³⁾)によれば、断面修復工法、塗布工法と比較して表面被覆工法は、遮蔽効果が大きく、効果的であり、被覆を行うことで、修復部周辺の腐食も抑えることができ、繰返しの補修回数を減じることが可能であると考えられる。補修回数を減じることができれば、初期費用は必要になるがケーブルの移設に伴うコストを削減でき、ライフサイクルコストを低減できる大きなメリット

がある。そこで、表面被覆工法をトンネルの漏水補修に用いることを考え、次に最適な材料を選定するための検討を行った。

(2) 表面被覆材料間の比較

通信用コンクリート構造物の補修材の必要条件である①ひびわれ追従性、防水性、速効性を中心とする止水機能、②補修工事実施時および工事後の安全性、非有毒性、③耐候性、耐酸・耐アルカリ・耐薬品・耐塩水性、耐熱性を中心とする耐久性等において既存止水材と比較検討した結果、変成ポリウレア樹脂に以下に述べるような優位点があることが認められた。

(3) 変成ポリウレア樹脂

米国で開発された変成ポリウレア樹脂は吹付塗膜防水・防食用新素材として、欧米の構造物補修分野で既存の技術に変わる新素材として急激に適用事例が増加している。この変成ポリウレア樹脂のコンクリートとの付着性に着目して、これを地下構造物の内防水として漏水対策に応用することとした。

a) 特性

変成ポリウレア樹脂は、化学式どおりのピュアポリウレア樹脂と異なり、変成イソシアネート ($-NCO$) と変成ポリエーテルアミン ($-NH_2$) の2成分との化学反応によって形成されるウレア結合 ($NH-CO-NH$) が主体となった化合物である。通常は2液を衝撃混合させ、瞬時に化学硬化させて得られ、以下の特徴を有する。

① 変形追従性

材料の伸び率を見ると、メーカーの基本仕様書から265%の伸び率を有する。これは、既存の補修材と比較して約2倍の伸び率を保有することになり、変形追従性が格段に大きいと言える。

既存の補修材料の変形追従性では、温度変化に伴うひびわれ幅の変化や地震を含む荷重変化により新たに発生するひびわれに対応できないことが多いという問題があった。

② 防水性

既存材料と異なり、水と全く反応しないため、長い年月に対しても、時間が経つにつれ防水性を失い、透水することがない。

公的機関において、建築工事標準仕様書・同解説 JASS8 防水工事「日本建築学会」参考資料1:メンブレン防水層の性能評価試験方法2、第1ステップ試験(水密試験)に従い、試験体を7日間養生後、水深が80cmになるよう水を入れ7日間漏水の有無の観察を行ったところ、漏水は認められなかった。

③ 速効性、施工性

約2秒で硬化するため、施工対象箇所の漏水に対しては、一時的に止水あるいは導水することにより対応でき、工期短縮が可能である。なお、施工は、2液衝撃混合型の吹付システムを用いて施工する。また、施工性は、欧米の種々の現場経験を踏まえ、システムとして工夫されており、特にひびわれが多く発生した現場で、面的な補修を実施する場合、優位性がある。

④ 安全性・非有毒性

無溶剤のため、揮発成分が無く、作業も安全で、防毒マスク、酸素ボンベ等も不要である。

また、非有毒性については、公的機関で、日本水道協会規格(JWWAK135)を満足することを確認し、水道構造物にも使用可能である。

⑤ 耐候性

メーカーの2つの促進耐候性試験結果から、既存材料と比較して耐候性に優れている。1つ目は、キセノン光による1000時間促進耐候性試験で、形状変化、引裂度とも変化がなく、引張強度の低下も10%程度と小さい。2つ目は、紫外線による3800時間促進耐候性試験で、形状変化、引裂度、引張強度とも変化がない。

⑥ 耐酸、耐アルカリ、耐薬品、耐塩水性

ASTMD3912に基づく耐酸、耐アルカリ、耐薬品、耐塩水性試験結果から、優れていることが判明した。特に耐塩水性については、ASTMD3912の10%の塩水の50℃、14日間の促進試験で、全く変化がないことを確認後、メーカーがコンクリート構造物での1000時間の塩水噴霧促進試験を実施し、付着性能が維持されることを確認した。

⑦ 耐熱性

メーカーの基本仕様書より、連続耐熱温度が150℃のため、屋外構造物や温水対応が必要な地下構造物等にも対応可能である。

⑧ その他

個々のコンクリート構造物に合わせた色で表層設定ができるため、補修跡を目立たせないことや屋外構造物で景観等を配慮した対応が可能である。

b) 変成ポリウレア樹脂を用いた漏水補修工法

従来、開削工法やシールド工法で施工された地下構造物は、ひびわれや継目部から何らかの要因で少なからず漏水を生じてきている。これらは、坑内の機器・設備に対して障害を生じさせたり、劣化を促進させるのみではなく、地下構造物本体の耐久性にも悪影響を及ぼしている。

通信用トンネルでは、ケーブルや中継装置への防

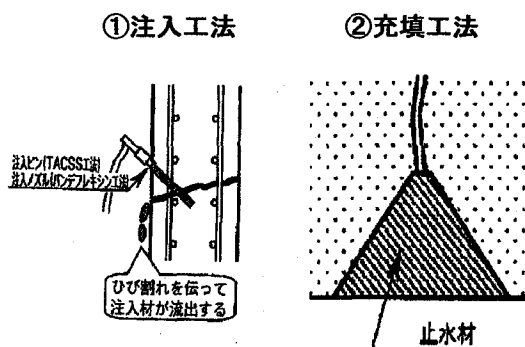


図-1 現行止水工の例

水を考慮し、止水工が施工されている(図-1)。しかし、止水工は止水効果や耐久性等に問題があるとされている。

このような地下構造物の漏水補修工として、変成ポリウレア樹脂を用いる工法を考えた。これは、図-2に示すようなもので、ひびわれや継目部を覆うようにコンクリート面に全面的に付着するように変成ポリウレア樹脂を吹付けて止水するものである。

この場合、止水工法については、変成ポリウレア樹脂とコンクリートの付着強度が、坑内環境下の施工でどの程度得られ、それに対してどの程度の水圧まで付着を維持できるかが問題になる。

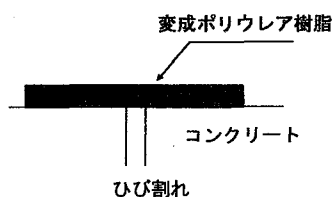


図-2 変成ポリウレア樹脂を用いた止水工

3. 室内実験

変成ポリウレア樹脂の基本的な性能や、既存応用例に関しては種々のデータが存在するものの、地下構造物の内防水型漏水対策工への応用例は極めて少なく、その実施にあたっては基本性能、適用条件等の確認を必要とする。そこで基礎的な実験として、トンネル坑内環境下で施工された変成ポリウレアの基本性能と、耐水圧性について室内実験を行った。

(1) 付着強度実験

a) 実験概要

コンクリートに変成ポリウレア樹脂を吹付ける際には、コンクリート表面をサンダー等でケレンし、プライマー処理が必要になる。通信用トンネル内が高湿であることを考慮して、十分な付着強さが得ら

れることを確認するために、エポキシ樹脂を主剤とし変性脂肪族ポリアミンを硬化剤とする2種類のプライマーを用いて、付着強度試験を実施した。付着強さは、土木学会規準 JSCE-K531 表面被覆材の付着強度試験方法に準じて実施した。プライマー施工後および変成ポリウレア樹脂施工後の養生は、通信用トンネル内の環境を模擬して気温 20℃、湿度 96% の恒温室内で行った。プライマー施工後、指触乾燥した時点で変成ポリウレア樹脂を吹付けた。付着強度実験は、変成ポリウレア樹脂施工後 1 日および 5 日で行った。コンクリート供試体は、JISA5371 に規定される「プレキャスト無筋コンクリート製品」の「推奨仕様 2-1 平板」の「普通平板 N300」を用いて行った。

b) 実験結果

実験結果は、表-1 に示すとおりである。どちらのプライマーも平均で 1.5 N/mm² 以上の付着強度が得られることが分かったが、後述する耐水圧実験の供試体作製にあたっては、プライマーA を用いることとした。

表-1 付着強度試験結果 (単位: N/mm²)

試験体番号	材令 1日				材令 5日			
	1	2	3	平均	4	5	6	平均
プライマーA	2.2	1.9	1.9	2.0	2.6	2.5	2.4	2.5
プライマーB	1.7	1.5	1.8	1.7	1.8	2.0	2.1	2.0

(2) 耐水圧実験

a) 実験概要

ひびわれ等からの漏水を変成ポリウレア樹脂により止水すると、その深さの地下水圧を受ける。この水圧に対して十分な付着性能を有するかについて、実験を行った。また、短期的な付着性能は確保されても、長期にわたっての性能が確保できるかを推定するため、3 カ月間水圧を維持して、その変化を計測する実験を行った。

b) コンクリート供試体

通信用トンネルの「生コンクリート標準配合表」の配合準拠のコンクリートを用いて円盤型コンクリート供試体を作成し、これに変成ポリウレア樹脂を吹付けて耐水圧実験用供試体とした(図-3、写真-1)。吹付け厚は平均で約 4mm であった。変成ポリウレア樹脂は、供試体の全面を覆うように吹付けたが、供試体の概要は表-2 に示すとおりである。ここで、スリットはひびわれを模擬したもので、コンクリート円盤を貫通している。また、B 供試体と C 供試体では、コンクリートと樹脂膜の付着が局部的に切れた場合を模擬するために、コンクリート表面にガム

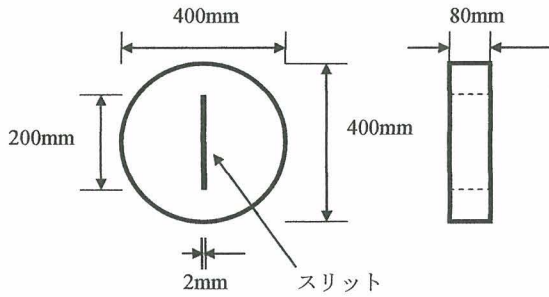


図-3 耐水圧実験用供試体



写真-1 供試体裏面状況

表-2 耐水圧実験用供試体

供試体	吹付け状態	スリット	スリット両側処理	コンクリート
A	スリットは吹付け後、切断して剥がす	供試体中央 幅 2mm 長さ 200mm	無し	無筋コンクリート強度 ($f_{ck}=21\text{N/mm}^2$)
B	同上		スリットに平行に 25mm 幅、長さ 200mm のガムテープを付着	同上
C	同上		スリットに平行に 15mm 離れて 25mm 幅、長さ 200mm のガムテープを付着	同上

テープを貼付して強制的に付着切れを生じさせた。

試験は図-4 に示すような圧力容器に変成ポリウレタ樹脂を吹付けたコンクリート供試体をセットし、供試体の裏側に加圧水をスリットから作用させ、変成ポリウレタ樹脂の剥離、漏水の状況を計測した。剥離については、供試体表面に格子状の変位測定用ターゲットを野書きし、ターゲットの変位をレーザー変位計で加圧ステップごとに全てのターゲットの変位をレーザー変位計で計測した。

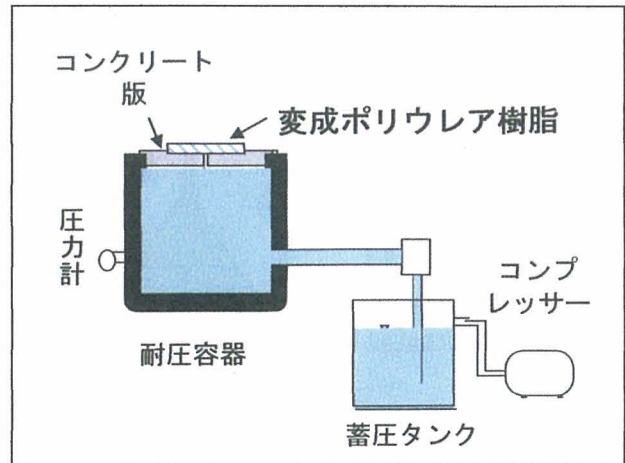


図-4 耐圧試験装置

また、漏水については、蓄圧タンクへの供給水量を見て、漏水の有無を判断した。

(3) 実験結果

a) A 供試体

図-5 に示すように、A 供試体は中心変位は、600kPa 載荷時まで、水圧の増加に対してほぼ直線的な増加を示し、変成ポリウレタ樹脂が広範囲に剥離した傾向は認められなかった。また図-6、7 に 600kPa 載荷時の変位分布を示す。ここで計測された変位は主に加圧に伴うコンクリート円盤の弾性変形により生じたものと考えられる。なお、最大値 700kPa まで載荷したが安定状態を保つことを確認した。この結果から、2mm 程度のひびわれ幅であれば、変成ポリウレタ樹脂が適正に施工され付着強度が得られれば、止水工法として高い性能を発揮する可能性があると考えられる。

また、3 カ月間 200kPa で加圧した供試体では、漏水は確認できなかった。

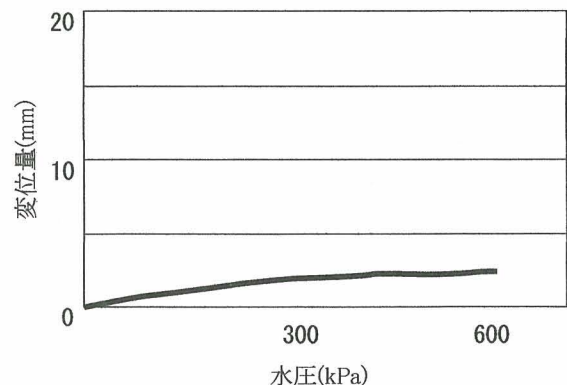


図-5 水圧と A 供試体中心変位の関係

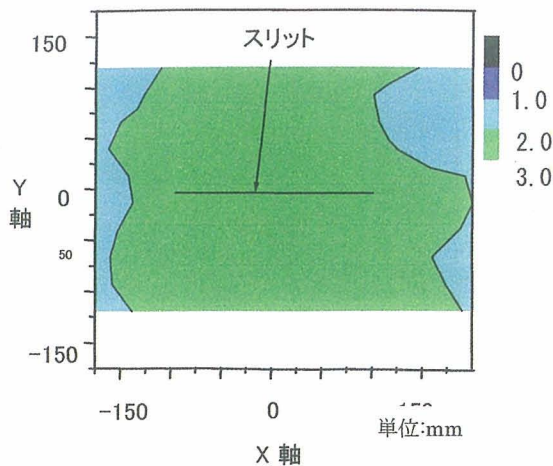


図-6 A 供試体表面変位
(水圧：600kPa 载荷時)

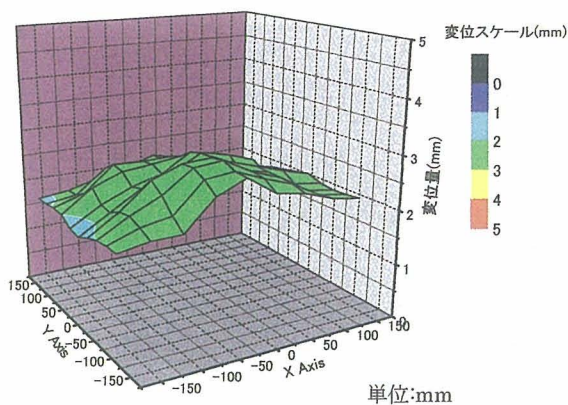


図-7 A 供試体表面変位 (3次元表示)
(水圧：600kPa 载荷時)

b) B 供試体

B 供試体は、スリットを挟み両側にガムテープを貼付してコンクリートとの付着強度を低下させたものであるが、これについても 200kPa まで剥離の現象が見られなかった。

これは、スリットに入りこんだ変成ポリウレア樹脂の効果と考えられ、極僅かな付着面積があれば、変成ポリウレア樹脂は高い止水機能を示す可能性を示唆しているものと思われる。スリット中心部よりガムテープ側で最大変位を示し、水圧 300kPa で供試体中央変位は急激に増加し、大きく剥離が生じ、給水量も急激に増加した。この状態が変成ポリウレア樹脂の止水性能の限界と考えると、非付着領域と地下水圧に応じて止水工の適用限界を求めることができる。

図-8 に 17.5mm 変位した段階までの水位-変位関

係を、また図-9, 10 に 17.5mm 変位した時点の変位分布を、写真-2 にその状況を示す。なお加圧時の最大変位量は 100kPa で 1.0mm, 200kPa で 1.8mm, 300kPa で 18.8mm であった。

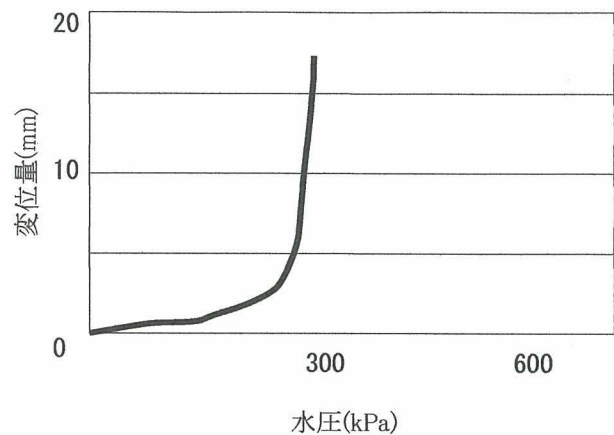
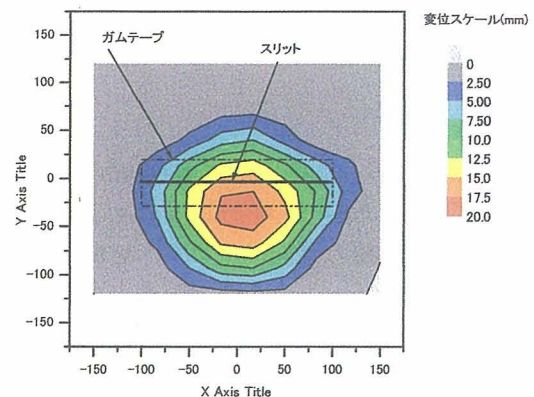


図-8 水圧と B 供試体中心変位の関係



単位:mm

図-9 B 供試体表面変位
(最大変位量 17.5mm の状態)

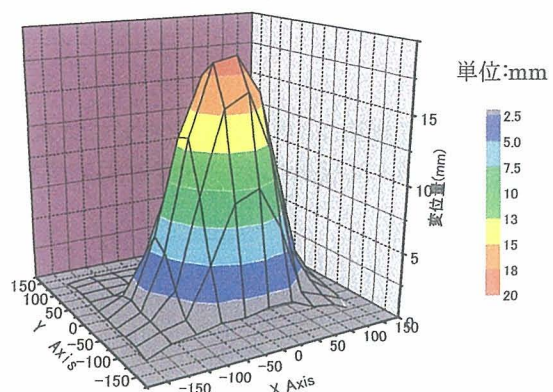


図-10 B 供試体表面変位 (3次元表示)
(最大変位量 17.5mm の状態)

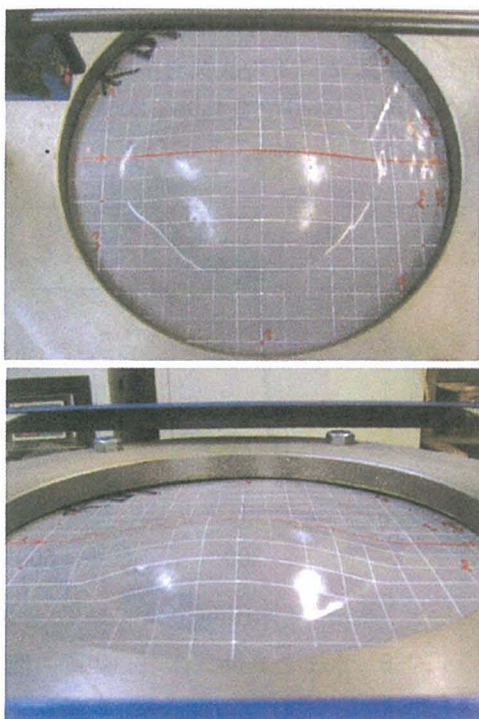


写真-2 水圧 300kPa 最大変位量 17.5mm 時の状況

c) C 供試体

C 供試体は、スリットの両側に 15mm 幅の付着領域を設けた供試体である。最大 700kPa の水圧を載荷したが、広範囲の剥離の傾向は生じず、A 供試体と同様な挙動であるスリット中心部で緩やかな凸状を示し、漏水は確認できなかった。(水圧載荷時の最大変位量は 100kPa の時 0.4mm, 300kPa の時 1.4mm, 700kPa の時 2.7mm であった。) このことから、止水工として変成ポリウレア樹脂を施工する場合には、スリットを挟み両側に 2cm 程度吹付け、付着させれば良いことになるが、施工環境やベースコンクリートの品質のばらつきを考慮して、これより大きな吹付け幅を設けるのが良いと思われる。

(4) まとめ

変成ポリウレア樹脂は、施工管理を十分に行えば、コンクリートに対して極めて高い付着強度を有する

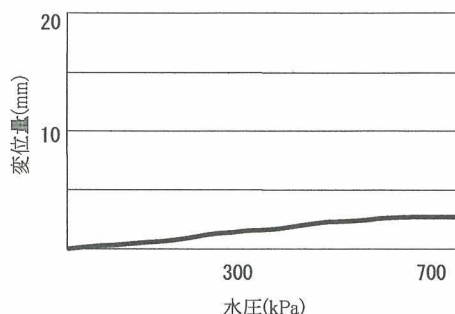


図-11 水圧と C 供試体中心変位の関係

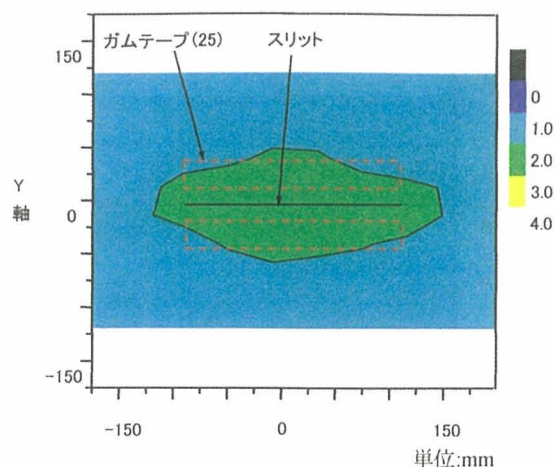


図-12 C 供試体表面変位
(最大変位量 2.6mm の状態)

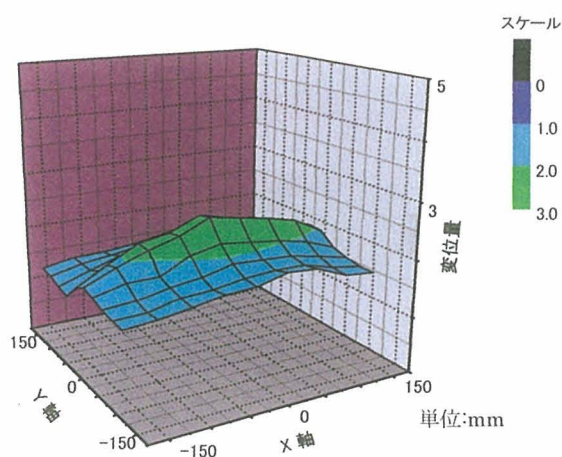


図-13 C 供試体表面変位 (3 次元表示)
(最大変位量 17.5mm の状態)

ことが判明した。今回の実験結果からは、止水工法として、300kPa 以上の水圧下でも十分機能を発揮することがわかった。

4. 現場適用

変成ポリウレア樹脂を都市トンネルの漏水対策に用いる方法の有効性については、3章の室内耐水圧実験により確認された。また、漏水対策工法は、実際のトンネルの仕上がり状況、漏水状況ばかりでなく、漏水対策工法の施工状況に大きく依存することから、実際の開削トンネルとシールドトンネルの漏水箇所で行い、その有用性を確認した。

(1) 開削トンネル

実用の開削トンネルのジョイント部を対象に、止水工を施工した。この止水工に対し、全体的な止水

性能とその経時変化の把握，現場施工した変成ポリウレア樹脂の基本的な接着性能を把握するための現場接着力試験，施工後2年4か月間の長期信頼性のための追跡調査を行った。

a) 現場状況 (写真-3)

東京都足立区内の実用している土木学会基準に準拠して，荒川の沖積砂層の中に昭和53年に構築された土被り4.0mの開削トンネルのジョイント部である。

当該箇所は，水圧が低い（約70kPa）ものの漏水量が多く（約150/分），湿度も高い状態（70%以上）であった。



写真-3 施工前の漏水状況

b) 施工方法 (写真-4)

施工は，コンクリート面清掃後，プライマー（耐水圧実験で用いたもの）を塗布し，24時間以上経過後に変成ポリウレア樹脂を吹付けた。吹付け厚は，耐水圧実験に準じて4mmとし，吹付け幅はひびわれを挟んで全体で40cmとした。

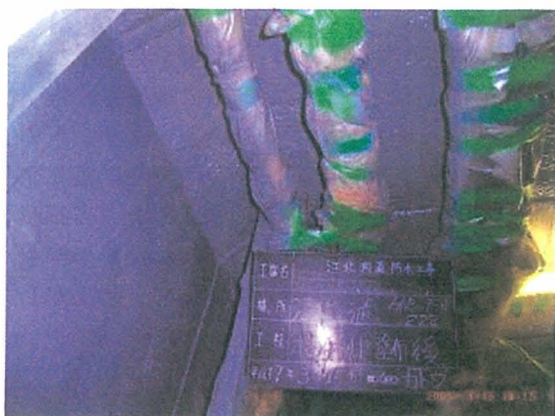


写真-4 施工後の状況

c) 接着力試験 (写真-5)

接着力試験は，変成ポリウレア樹脂吹付け後，約1カ月の時点で行った。試験は，土木学会基準に準じて行った結果，コンクリート表層部の剥離を生じた。接着強度は， 3 N/mm^2 は確保でき，室内で行っ

た接着力試験と同等以上の性能が得られることがわかった。

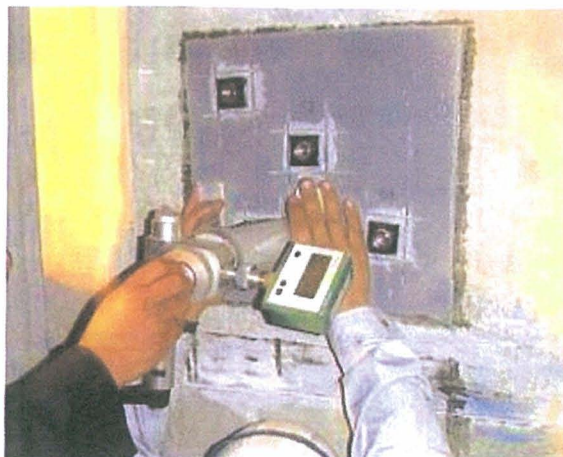


写真-5 接着力試験

d) 中期信頼性確認試験

① 目的

施工後4か月間，変成ポリウレア樹脂の変形（剥離および引張変形等）の有無を確認するとともに，漏水状況を確認し，施工結果の総合的な評価を得ることを目的とした。

② 方法と計測位置

変成ポリウレア樹脂施工後，コンクリート打継目位置にひずみゲージを貼り付け，これが大きく伸びる方向のひずみを計測した時点で剥離が生じたと推定する。コンクリート打継目部のひずみゲージの貼付け位置と貼付け状況は図-14,15のとおりである。

③ 中期計測結果と考察

計測データは4か月分を収録した。その結果を図-16に示す。図中には最終的な計測装置回収時のデータも併せてプロットしている。

図-16を見ると，施工直後から暫くの間に大きな変動を生じ，その後，徐々に引張ひずみが増加する傾

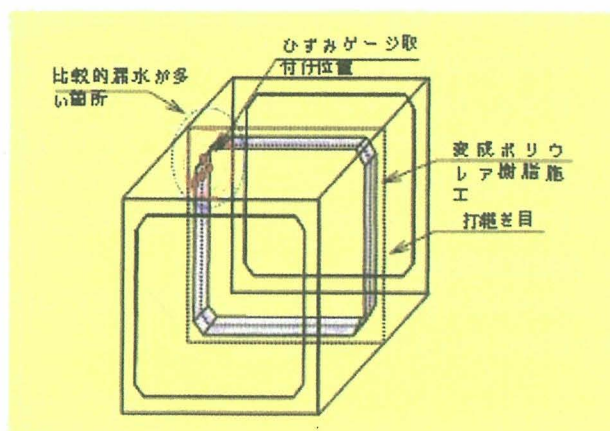


図-14 ひずみゲージ貼付位置

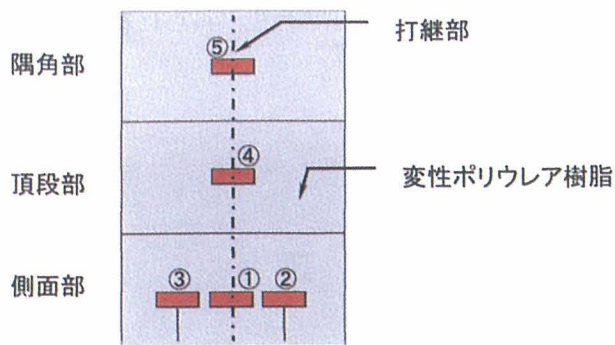


図-15 ひずみゲージ貼付位置 (拡大)



写真-6 ひずみゲージ貼付状況

向が見られる。過去に通信用トンネルで年間の坑内気温と湿度を計測した事例があり、そのデータによれば坑内換気の影響で、トンネル内の環境は外気の影響を敏感に受けることが分かっており、この引張ひずみの漸増は坑内気温、地下水温度の変化に伴う躯体の膨張の影響であると推定される。7月中旬以降のデータの連続収録は行っていないが、10月下旬のデータを見ると、その間の変動は緩やかであると推定される。

また、ひずみゲージ貼付直後のひずみ変動の大きな期間の経時変化を詳細に見るために各ゲージの貼付け後10日間の経時変化データを図-17に示す。これを見ると、貼付の翌日から引張ひずみが増加し始め、2日後にピーク値を示し、以降は引張ひずみが減少する傾向が見られる。変化するひずみ量はゲージ毎に異なり、No.2ゲージは一時的に極小さな引張ひずみを生じるがすぐに元に戻っている。これらの施工直後の短期的挙動は変成ポリウレア樹脂の硬化反応に起因する発熱の影響によるものと推定される。

e) 長期信頼性確認調査

施工後2年4カ月間追跡調査を行った結果、良好な状態を維持していることを確認した。

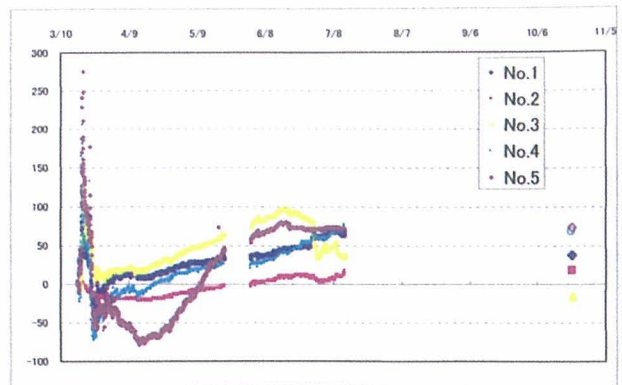


図-16 計測結果 (中期的挙動)

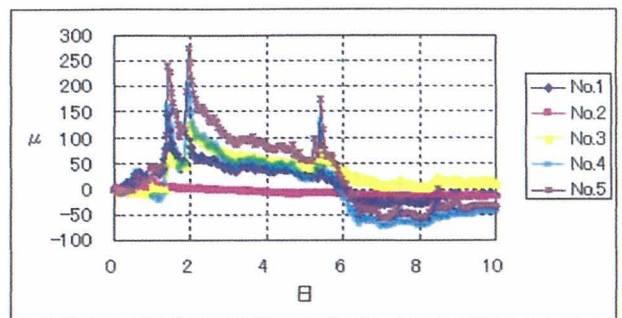


図-17 ひずみゲージ貼付直後の変動

(2) シールドトンネル

実用のシールドトンネルの鋼製セグメントの二次覆工を対象に、一時止水を施工した。

その止水工の全体的な止水性能とその経時変化の把握、現場施工した変成ポリウレア樹脂の基本的な接着性能を把握するための現場接着力試験、施工後2～3年間の長期信頼性のための追跡調査を行った。

a) 現場状況

大阪市淀川区の実用している土木学会基準に準拠して砂、礫、粘土の互層に平成8年に構築された土被り34～35m、シールドトンネルの鋼製セグメントの二次覆工部で、隣接する地下鉄駅舎建設時により発生した約200m区間のひびわれを対象とした。当該箇所は、水圧が高く（約330kPa）、ひびわれからの漏水があったためウレタン注入により事前に一時止水した。また、湿度は高い状態（90%以上）であった。

b) 施工方法

施工は、コンクリート面清掃後、プライマー（耐水圧実験で用いたもの）を塗布し、24時間以上経過後に変成ポリウレア樹脂を吹付けた。吹付け厚は、耐水圧実験に準じて4mmとし、吹付け幅はひびわれを挟んで全体で40cmとした。

c) 接着力試験

接着力試験は、変成ポリウレア樹脂吹付け後、約1カ月の時点で行った。試験は、土木学会基準に準

じて行った結果、コンクリート表層部の剥離を生じた。接着強度は、開削トンネル同様 3 N/mm^2 は確保できることがわかった。

d) 中期信頼性確認試験

① 目的

開削トンネル同様、施工後4カ月間、変成ポリウレア樹脂の変形（剥離および引張変形等）の有無を確認するとともに、漏水状況を確認し、施工結果の総合的な評価を得ることを目的とした。

② 方法と計測位置

変成ポリウレア樹脂施工後、ひずみゲージを二次覆工コンクリート軸方向ひびわれ位置に貼付けた（図-18, 19, 写真-7, 8）。

③ 中期計測結果と考察

計測データは3カ月分を収録した。その結果を図-20に示す。図-20を見ると、施工直後に引張りひずみが増加しているが、No. 1を除き、すぐにほぼ圧縮ひずみ状態になっている。No. 1は、他のひずみゲージに比べ大きな引張りひずみが生じ、その後、漸減していき、1カ月後には圧縮側に移行している。圧縮側への移行の原因は、坑内気温変化（夏季から秋季により、徐々に二次覆工のひびわれが閉じたためと考えられる。

また、ひずみゲージ貼付直後のひずみ変動の大き

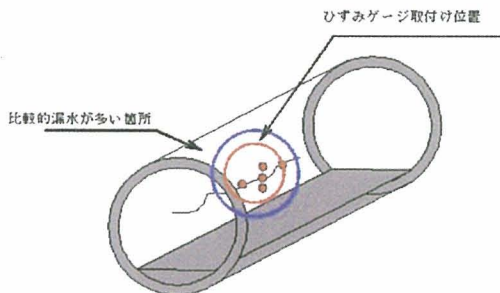


図-18 ひずみゲージ取付け位置

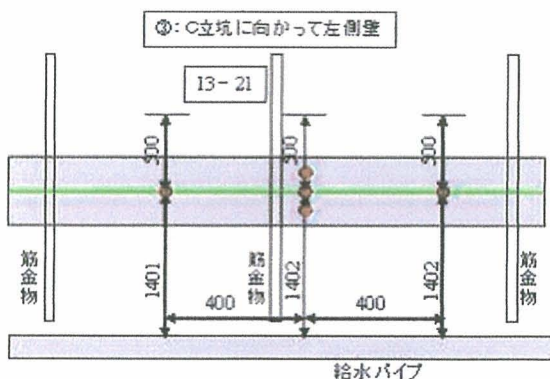


図-19 ひずみゲージ取付け位置（詳細）



写真-7 位置出し



写真-8 ひずみゲージ貼付け状況

な期間の経時変化を詳細に見るために各ゲージの貼付後10日間の経時変化を図-21に示す。これを見ると、貼付後の1日以内にNo. 2およびその上下のひずみゲージは小さな引張りひずみから小さな圧縮ひずみに移行して安定している。一方、No. 1とNo. 3はその直後に引張りひずみが大きく増加し、No. 3は2日後に無ひずみ状態に戻り、No. 1は、長期的に引張りひずみが持続している。

止水工法としての総合的な評価を行うと、現状では漏水が生じておらず、その機能を十分果たしていると言える。

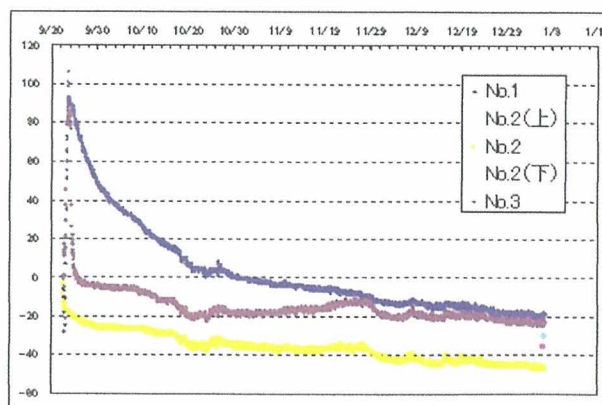


図-20 変成ポリウレア樹脂のひずみの経時変化

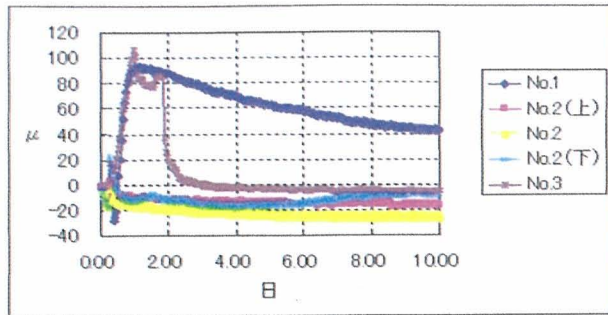


図-21 ひずみゲージ貼付直後の変動

参考文献

- 1) 竹内ほか：各種補修材料・工法の耐久性能に関する基礎実験について，土木学会第60回年次学術講演会，No. 5-206:pp. 411-412, 2006
- 2) 小松ほか：通信用シールドトンネルの劣化状況に関する調査，土木学会第57回年次学術講演会，No. 3-180:pp. 359-360, 2003
- 3) 荻原ほか：予防保全型維持管理の導入に向けた通信トンネルの鉄筋腐食調査に関する一考察，土木学会第60回年次学術講演会No. 5-045:pp. 89-90, 2006

e) 長期信頼性確認調査

施工後2年間追跡調査を行った結果，良好な状態を維持していることを確認した。

4. 結論

変成ポリウレア樹脂を用いた漏水補修工法に関する一連の実験および現場適用結果をまとめると次のようになる。

- (1) 資料等を調査した結果，米国で開発された新素材である変成ポリウレア樹脂は，既存の表面被覆材料と比較して，ひびわれ追従性，防水性，速効性，安全性・非有毒性，耐候性，耐酸・耐アルカリ・耐薬品・耐塩水性，環境への適合，耐熱性において優位点があると認められた。
- (2) 止水工法をモデル化した耐水圧試験の結果からは，300kPa 以上の水圧に対しても止水効果を示した。また，付着代は 2cm 程度であっても十分機能を果たした。
- (3) 施工が確実に行われれば，漏水対策工として必要な付着性能が得られ，長期信頼性も得られることがわかった。

本研究から，変成ポリウレア樹脂を漏水補修工法として用いる場合の基本性能が確認され，高水圧に対しても，止水工法として用いることが可能であることが示唆された。

この工法の適用については，当面，施工やベースコンクリートの品質のばらつきを考慮して，やや安全側に設計・施工をしておくことが望ましいといえる。これらの実験結果を踏まえ，膨大な通信用トンネルの種々の現場環境での実施工を通じて実験では十分に対応できなかった施工のばらつき，耐久性等の事項の調査と各種現場条件に適用するための一時的止水工法等の施工技術の改良・開発も同時に進める必要があると考えている。