

4

REDEEM工法の試験施工

伊藤 康裕^{*1}・齋藤 雅春^{*2}・松岡 茂^{*3}
 千々岩 三夫^{*4}・山村 康夫^{*1}・鈴木 唯夫^{*1}

概 要

近年、覆工コンクリートやスラブコンクリートの老朽化にともなう剥落事故を受けて、コンクリート構造物の維持管理や補修・補強の重要性が増している。また、既設トンネルを供用しながら補修・補強可能な技術が要望されている。これらの要求に応えるため、繊維混入率の高い繊維補強モルタル「ダクティリティモルタル」を用いた新しいコンクリート構造物の補修・補強工法「REDEEM（リディーム）工法」を開発した。本報告は、供用中の鉄道トンネルにおける試験施工により、その施工性、有効性を確認・検証した内容について報告するものである。

キーワード：補修，補強，高じん性，リディーム工法，ダクティリティモルタル

TRIAL CONSTRUCTION BY THE REDEEM METHOD

Yasuhiro ITO^{*1} Masaharu SAITO^{*2} Shigeru MATSUOKA^{*3}
 Mitsuo CHIDIWA^{*3} Yasuo YAMAMURA^{*1} Tadao SUZUKI^{*1}

Abstract

In recent years, it is of increasing importance to maintain, manage, repair and reinforce concrete structures in the aftermath of spalling accidents arising from aging of lining and slab concrete. In this context, there is ever increasing demand for a technology that enables repair and retrofitting to be performed without closing tunnels down. To meet these demands, the REDEEM method has been developed. It is a new method for repairing and reinforcing concrete structures using “Ductility Mortar”, that is, fiber reinforced mortar containing a high proportion of fibers. Through a trial application in a railway tunnel in service, we verified and assessed the work efficiency and effectiveness of this method.

Keywords: repair, reinforcement, high toughness, REDEEM method, Ductility Mortar

* 1 Construction Technology Development Group, Institute of Technology, Engineering Division

* 2 Deputy General Manager, Institute of Technology, Engineering Division

* 3 Manager, Civil Engineering Technology Development Group, Institute of Technology, Engineering Division

* 4 Manager, Construction Technology Development Group, Institute of Technology, Engineering Division

REDEEM工法の試験施工

伊藤 康裕^{*1}・齋藤 雅春^{*2}・松岡 茂^{*3}
千々岩 三夫^{*4}・山村 康夫^{*1}・鈴木 唯夫^{*1}

1. はじめに

近年、覆工コンクリートやスラブコンクリートの老朽化にともなう剥落事故を受けて、維持管理や補修・補強の重要性が増大する中、覆工コンクリートの補修・補強工事をより効率的かつ効果的に行える工法、材料の開発が望まれている。一方、既設建造物の補修・補強にあたっては、内空断面の縮小を最小限に抑えること、優れた耐火性能を有することなど厳しい条件が要求される。

これらの問題を解決するため、繊維混入率の高い繊維補強モルタル「ダクティリティモルタル」を用いた新しいコンクリート建造物の補修・補強工法「REDEEM（リディーム）工法」を開発した。

このたび、鉄道単線トンネルにおける試験施工により、この工法の施工性、適用性などを確認した。本稿は、この結果について報告するものである。

2. 工法概要

REDEEM工法は、補強するコンクリート建造物の表面にPVA（ポリビニールアルコール）繊維で形成したモルタル充填可能な空隙を有するリディームマット（繊維補強材）を配置し、次にその表面にPVA繊維で補強したリディームボードを押しつけるように取付け、埋込み型枠としてアンカーで固定する。この状態で、リディームボードに設置した注入口より、覆工コンクリートとリディームボードに挟まれ

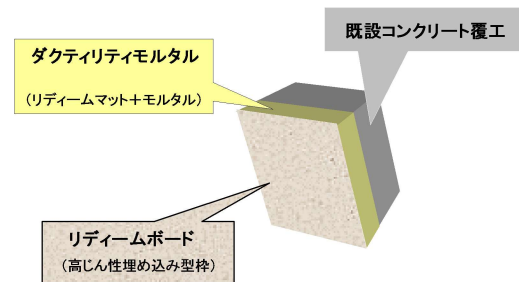


図-1 補強層の構造

たりディームマット部分にモルタルを注入する。注入されたモルタルは、リディームマットの隙間に浸透し、そのまま硬化して、じん性に優れたセメント系繊維補強材であるダクティリティモルタルを形成することにより、コンクリート建造物を補強する工法である（図-1 参照）。

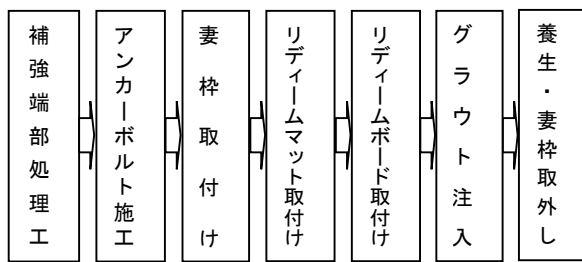
ダクティリティモルタルは、次のような特長を有する。

- ①リディームマットの補強効果により、ひび割れ抵抗性と分散効果に優れているため、局所的な外力が作用しても、無筋コンクリートのような脆性的な破壊を生じない。
- ②圧縮破壊特性だけでなく引張破壊特性にも優れているため、薄肉で大きな曲げ耐力を有する強固な補修・補強層を形成できる。既設コンクリートとの一体化を必要としない構造設計である。
- ③熱分解による有毒ガス発生の心配もなく、火災時の安全性を確保できる。

3. 施工手順

施工手順は施工条件などにより変わるが、一

*1 エンジニアリング本部 技術研究所 施工技術開発グループ
*2 エンジニアリング本部 技術研究所 副所長
*3 エンジニアリング本部 技術研究所 土木技術開発グループリーダー
*4 エンジニアリング本部 技術研究所 施工技術開発グループリーダー



図－２ 施工手順

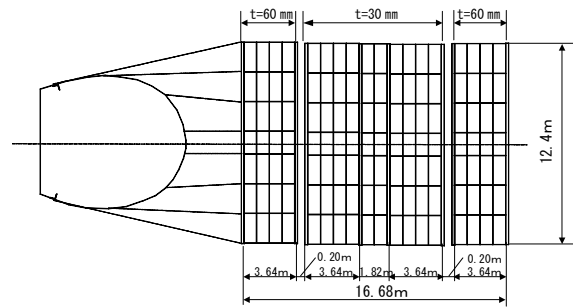
一般的な施工手順を図－２に示す。

- ①補強層を支持し施工基面となる脚部を施工する。
- ②既設コンクリートにリディームマットおよびリディームボードを取り付けるためのアンカーを打設する。
- ③施工区間端部に妻枠を取り付ける。既設覆工面に妻枠パッキン押え治具をアンカーで固定し、ゴムとスポンジからなる２層構造のパッキンをトンネル断面形状に沿って取り付ける。
- ④打設したアンカーを利用してリディームマットと埋め込み型枠となるリディームボードを所定の厚さになるように取り付ける。
- ⑤グラウト材の注入は、下部の注入口から行い、上部の注入口からグラウト材が流出した時点で注入する位置を順次上部へ移動する。

なお、トンネル天端部にはエア抜きの透明チューブを配置し、このチューブからグラウト材が流出することを確認して注入を完了する。

この施工上の特長としては、次のような点が挙げられる。

- ①簡易な型枠構造と一般機械の組合せで現場打ち施工ができる。このため、材料・機材の搬入などに当たっても大型専用機を必要とせず、作業も熟練工を必要としない。
- ②ダクティリティモルタルの補強層は、それ自体で自立可能な覆工耐力を有しているため、既設覆工面との付着力を特に期待していない。また、リディームマットは不陸への追従性が高い。
- ③コンクリートを打ち継ぎする場合、コールド



図－３ 試験施工区間（割付図）

ジョイントが発生し問題となるが、ダクティリティモルタルはPVA繊維が混入されているため、打ち継ぎが可能であり、補強層を構築するに当たって分割施工が可能である。

このため、道路トンネルでは全面通行止めとすることなく片側車線規制による施工ができる。

- ④リディームマットの圧縮率を調整して繊維混入率を変える、あるいはモルタルの水セメント比を調整して強度を変えることで、要求される補強効果に柔軟に対応が可能である。

４．試験施工概要

試験施工は、施工性を確認することを主目的に、営業中の非電化の鉄道単線トンネルにおいて、線路閉鎖時間内に実施した。

トンネルは最寄の踏み切りから700mに位置し、更に、坑口より600m入った地点で、直ちにトンネルの安定に影響するような覆工損傷が生じていない区間で実施した。

試験施工区間は、図－３に示すように全長17mとし、補強厚は60mmと30mmの２ケースとした。補強厚30mmの区間については、補強でなくコンクリート片などの剥落防止を目的とした補修工法への適用性を検証するために施工を行った。

５．作業空間制限への対応

供用中の営業線であるため、最終出来形のみならず、仮設時においても、車両限界、建築限界を侵すことなく施工可能である必要がある。

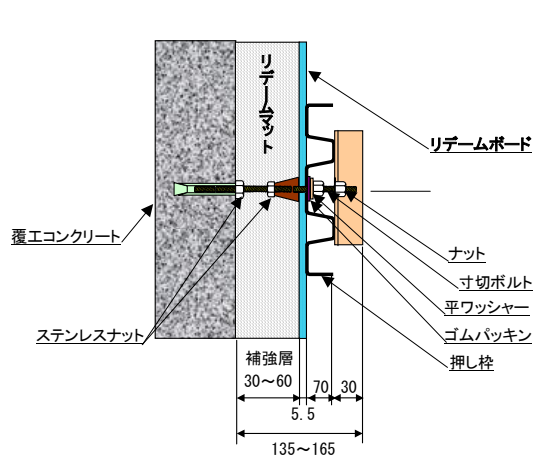


図-4 押し枠による固定構造



写真-1 押し枠取付け状況

このため、型枠材の固定方法はボード取付からモルタル注入、養生期間まで列車風圧に耐え、内空の縮小を極力抑える構造であることが要求された。

そこで、以下に示す二種類の型枠構造について、検証・比較した。

- ・押し枠を用いる固定方法
- ・塩ビ管と単管パイプによる固定方法

5. 1 押し治具による固定方法

押し枠を用いた固定構造を図-4、取付け状況を写真-1に示す。

この方法では、内空の縮小は、約165mmで単管パイプによる場合より少なくすみ、湾曲面への固定も比較的円滑にできる。しかし、押し枠が個々単体で固定されているため、モルタル注入時のはらみの影響を受け易く、隣接するボードとの目開きなどが発生した。

5. 2 単管パイプによる固定

単管パイプによる固定構造を図-5、取付

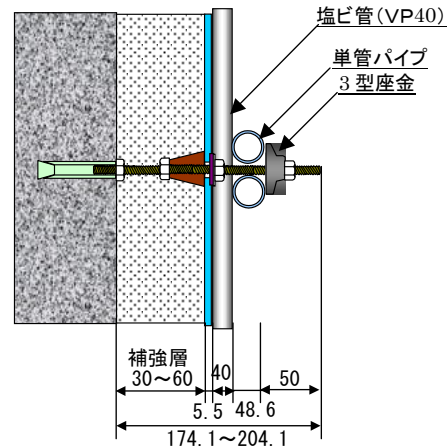


図-5 単管パイプによる固定構造



写真-2 単管パイプによる固定状況

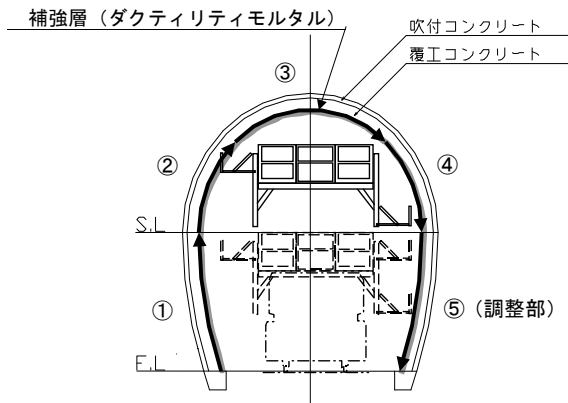
状況を写真-2に示す。

この場合は、押し枠による固定方法に比べ204 mmと40 mmほど内空への影響が大きくなるが、格子状の支保となるため、トンネル軸方向、円周方向ともに隣接するリデームボードが相互に連結されるため、モルタル注入時の目違いなどが発生しにくい構造であることが確認された。

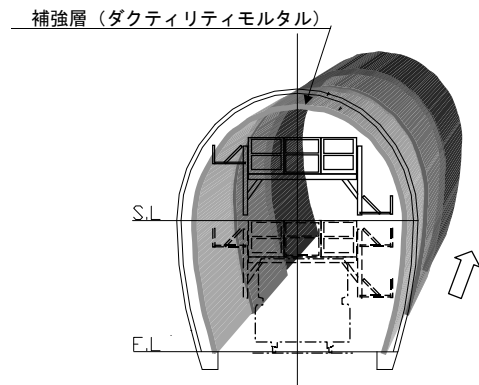
何れの構造でも、型枠固定期間あるいは養生期間を含め施工における全期間で内空断面の縮小は、210 mm以内と建築限界を侵すことなく、運行車両に徐行規制、支障を与えることなく施工可能であることが確認された。

6. 時間制約への対応

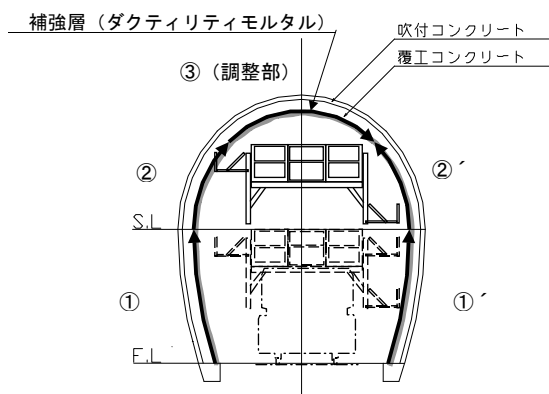
全ての作業は、線路閉鎖時間内に完了する必要があるため、施工は不連続な作業の積重ねとなり、分割施工を余儀なくされる。そこで、型枠組立について検証した。



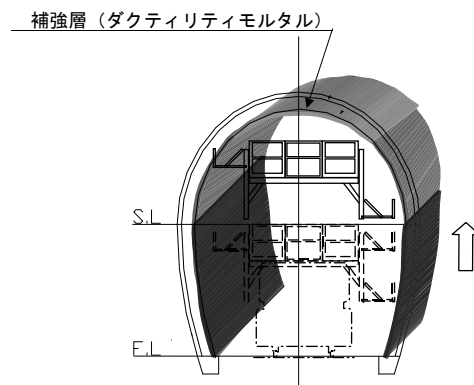
図－6 片追い施工



図－8 軸方向分割施工



図－7 同時施工



図－9 円周方向分割施工

6. 1 リディームボード取付構造

リディームマットおよびリディームボードの取付方法としては、片側脚部の施工基面より片追いで施工する方法と両側脚部より同時並行で立上げ閉合する方法とがある。

(1) 片追い施工

片側脚部より片追いで取付ける場合は、最後のリディームボードの切り合わせ調整を反対側の脚部で行うこととなる（図－6 参照）。

この場合、直線に近い曲率半径の大きな部位での調整となり、切断、穴開けなどの加工が容易な脚部であるため、リディームボード取付けの作業性が良い利点がある。

(2) 同時施工

両側面より同時並行で立ち上げ、天端部分で閉合する場合は、リディームボードの切り合わせ作業が天端であるため、高所作業となる（図－7 参照）。

また、天端部分の曲率半径は脚部に比べて小さいため、寸法取り、ボード加工の作業性が悪い。

しかしながら、両側面、別々の人員編成で干渉することなく作業可能であることから、施工量を増大できることを確認した。

6. 2 トンネル軸方向への延伸

リディームボードを組み立てる場合、トンネル円周方向に全周にわたり組上げる方法（図－8）とトンネル軸方向にブロック区間幅で組み立て、段階的にブロック積する方法（図－9）が考えられる。

しかしながら、グラウト注入時に、前述した型枠構造をとった場合、1回に打上げ可能な高さが2m程度に制限されること、さらに、養生期間を必要とすることなどから、1回当りの注入面積がより広い、後者による方法で今回は実施することとした。

表－１ 主要材料一覧表

品 名	規 格	質量(kg)
リディームボード	910×1,820×5.5mm	15.5
リディームマット	1,000×2,000×70mm	1.4
低熱ポルトランドセメント	袋詰め	25.0

表－２ 使用機器一覧

種別	機器名称
アンカー工	ハンマードリル
	ブロー
型 枠 工	万能はさみ
	カッターナイフ
	スケール, 金尺, 差金
	電動丸のこ
注 入 工	グラウトポンプ
	グラウトミキサー
	ハンドミキサー
	ポリバケツ
	流量計
仕 上 げ 工	ベビーサンダー
電 気 設 備	可搬式発電機
	水銀灯, 投光器
	ケーブルドラム
給 水 設 備	給水ポンプ
	水 槽
測 量 機 器	トランシット
	レベル

この結果、ブロック区間の全幅で段階的に積み上がることで、線路閉鎖時間に対応して一連の作業を中断・再開が可能であり、分断される作業時間を最大限に有効活用できることを確認した。また、施工途中でのリディームマット端部の垂れ下がり防止などの確実な処置を施せば、列車の運行も阻害しないことを確認した。

7. 施工設備

施工条件として、施工箇所までの資機材の運搬は、近傍の1.3km離れた踏切から、軌陸車による運搬のみである。このため、大型の運搬車両や専用機械が使用できない。

7. 1 資機材運搬

ここで、本工法で使用する主要材料と質量を一覧表にして表－１に示す。

何れの材料も定尺物で単品の質量は軽く、手積み、小運搬が可能である。



写真－３ 資機材運搬



写真－４ 移動足場

一方、各工種で使用する工具類は、表－２に示すように小型・軽量・小容量の機器であることから、2 t 軌陸ダンプに積載した（写真－３）。

7. 2 作業架台

本工法は、高所作業を含む、全断面施工可能な作業足場を必要とする。また、供用中であるためトンネル坑内には常設できない。そこで、あらかじめ、小型の可搬型発電機（30kVA）を2台内蔵した作業架台を軌陸ダンプに積載した（写真－４参照）。

また、上記のような移動足場の他に、軽量アルミトロに枠組み足場を積載した簡易な移動足場も活用した（写真－５参照）。

8. まとめ

今回の試験施工を通じて確認された事項について、以下に列挙する。



写真-5 移動足場

①内空制限への対応

仮設時から最終出来形まで、車両限界、建築限界を侵さず、営業中の列車運行に影響を与えることなく施工可能であること。

②施工時間規制への対応

線路閉鎖時間内での施工に対して、分割施工が可能な本工法の特長を最大限に利用し、断続的な作業の積重ねにより既設トンネルの補強が可能であり、本工法が時間的制約に柔軟に対応可能であること。

③制約された搬入路への対応

軽量で人力でも容易に取扱い可能な材料と機動性がある施工設備の組合せにより、資機材の搬入路が規制されても施工可能であること。

④最小補強厚の確認

現時点で、30mm厚の補強層の形成は可能である。

これらのことから、セメント系材料による薄肉で自立した補強層を形成する本工法は、圧縮、引張耐力および曲げ変形性能に優れた特質が既設トンネルの覆工補強に有効であり、施工上も、鉄道、道路トンネルにおいて供用しながらの施工が可能で、施工性にも優れていることが確認できた。埋込型枠についても、補強層の耐久性向上、仕上がりの美観など性能上の効果と施工性の良さが実証できた。施工完了時の出来形を写真-6に示す。

今後は、既設トンネル覆工の有効な補強工法として更なる施工性、経済性向上の追求のもと



写真-6 施工完了

に、社会的に認められた技術としての確立に向けて努力するとともに、トンネル以外の構造物の補修・補強への展開を目指したい。

最後に、この度の試験施工にあたり、場所の提供ならびにご指導を賜りました東日本旅客鉄道株式会社に紙面を借りて、お礼申し上げます。

参考文献

- 1) 高じん性セメント複合材料の性能評価と構造利用研究委員会報告書、日本コンクリート工学協会、2002. 1
- 2) コンクリート標準示方書〔規準編〕PC グラウトの流動性試験方法（JSCE-F 531-1999）、土木学会編
- 3) コンクリート標準示方書〔規準編〕鋼繊維補強コンクリートの曲げ強度および曲げタフネス試験方法（JSCE-G 552-1999）
- 4) 松岡茂，益田彰久，松尾庄二，柳博文；ひび割れを考慮したトンネル覆工解析に関する研究，土木学会論文集No. 554/Ⅲ-37，pp. 147-155，1996. 12