

薄型パネルを用いたレンガトンネル修繕工と 施工機械の開発

T3 パネル工法・T カッター

大 本 晋 士 郎 ・ 畑 山 駿 ・ 谷 口 栄 一

鉄道レンガトンネルでは100年近く経過したものがあり、レンガはく落、漏水などの変状が発生する場合がある。これらのトンネル覆工のはく落防止を図ることを目的に、出来るだけ内空を侵さず、かつ迅速な施工が可能となる、薄型パネルを用いた修繕工の開発を行った。修繕工の構造は薄型パネルならびにT型支保工から成るが、T型支保工は覆工に溝を切削しはめる構造とし、覆工に安全かつ効率的に溝を切削する方法も検討し施工機械を合わせて開発したので、本稿ではその内容を報告する。

キーワード：レンガトンネル、薄型パネル、支保工、はく落、修繕工

1. レンガトンネル修繕工の開発

100年近く経過した鉄道トンネルは地方在来線で現在でも使用されているが、老朽化が進み、レンガ片やコンクリート片がはく落したり漏水により、トンネルの補修が必要になっている場合がある。このようなトンネルの断面は小さく、厚型の補強・はく落工では、車両限界・建築限界に干渉する場合があります、薄型の修繕工が必要とされている。

開発した修繕工は

- ・構造が薄型であること
- ・SL上半のはく落荷重としてレンガ4層分（8 kN/m²）の耐荷力を有すること

を目標として開発した¹⁾。なお荷重としてレンガ4層分としたのは、鉄道レンガトンネルの覆工はレンガ4層積みが施工標準であるためである。

構造は、トンネル形状に加工したT型鋼製支保工に比較的強度の高い薄型パネルを取り付ける。薄型パネルはセメントボード2枚を張り合わせアラミド繊維補強し、じん性を高めた厚さ約13mmの薄型のものを使用する（図-1、写真-1、2）。また支保工は、内空を出来るだけ侵さない薄型構造とするための工夫として、溝を覆工面に施工しT型支保工のウェブを嵌め込む構造とし、修繕工の飛び出し量を抑えてある。支保工の根足部分はレンガ面にアンカー止めし、全体の構造を支える。また薄型パネルと鋼製支保工はボルトを用いない特殊な金具を用いて接合する方式とした。

設置事例を写真-1、2に示す。写真-1は廃線ト

ンネルでの試験施工設置例で、支保工はSL位置でアンカー止めしてある。写真-2は営業線トンネルの地震被災復旧のために設置した例で、支保工は下半も設置し、路盤位置でアンカー止めしてある。

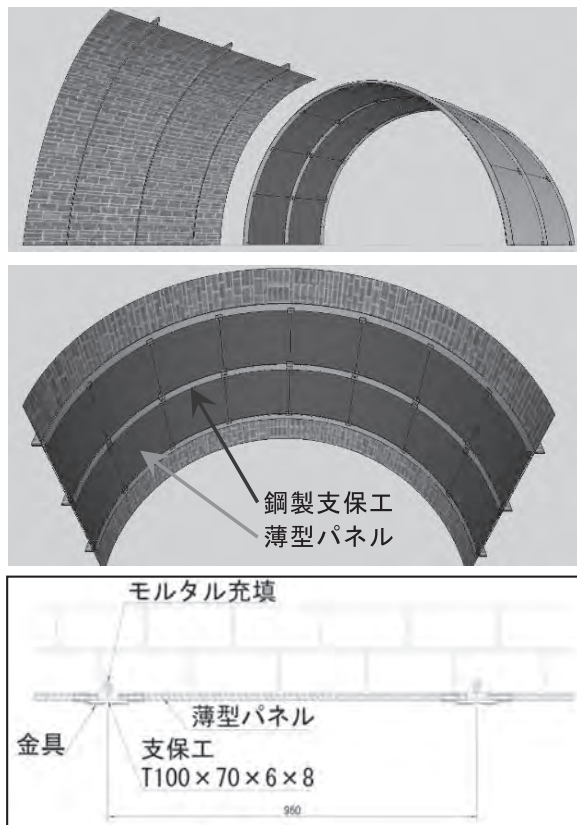


図-1 修繕工概要図



写真一1 T3パネル工法設置事例1



写真一3 レンガ切断工



写真一2 T3パネル工法設置事例2



写真一4 レンガはつり工

2. 施工機械の必要性・コンセプト

修繕工法の開発にあたり、先行技術として、パネルおよび支保工で補強する「サポートライニング工法」がある。レンガトンネルで施工を行った事例²⁾において、「サポートライニング工法」ではレンガを150 mm 深さではつた後、H型支保工を建て、ダクトパネルを設置し背面を充填した。断面を狭小化しない優れた工法であるが、施工では以下の課題が明らかになった。

- ①レンガ切断工(写真一3)：レンガを150 mm 深さではつる準備として、はつり範囲の周囲を Cutter 機械で目地切りした。レンガは、かみ合わせ構造のため、目地切りしないではつると連鎖的に崩れる可能性があるためである。目地切りに使用した機械はハンディタイプのコンクリートCutter であるが、人力のため切断中に回転ブレードが弾かれるなど、施工中安全性に苦慮した。
- ②レンガはつり工(写真一4)：レンガをはつり取るとレンガが緩み、安定(アーチアクション)を

崩すため、都度レンガが緩み落ちないように角材で切梁を設置する必要がある、作業効率を著しく阻害した。また天端上方の作業ではレンガの抜け落ちに注意し施工中安全性に苦慮した。

レンガをはつる作業には非常な時間と手間が掛かった経験をふまえ、レンガトンネルの修繕工において、安全性・施工性を考慮すると

課題①：レンガのはつりを必要最小限とするか、無くす

課題②：作業の機械化が必要であることが判明した。

この経験を基に新たな修繕工の開発に際し、①に対し、レンガに溝を切削し、T型支保工を溝にはめる構造を考案した。また②について覆工の溝切削作業用に施工機械を開発した。

3. 機械開発の基礎試験

覆工に溝を切削できる機械としては表一1のものが挙げられる。

表一 溝切削機械（ベースマシン）の選定

ベースマシン	コンクリートカッター	ダイヤモンドチェーンソー	ウォールソー	コアボーリング
概要	重量約 13 kg, 直線的に溝を切断するには定規や保持装置が必要	重量約 10 kg, 直線的に溝を切断するには定規や保持装置が必要。切削深さがコンクリートカッターより深い	ガイドレール上を移動するため一定深さで直線的に切断可能。ガイドレールを対象物にアンカー止め	鉛直に削孔する機械。横にずらしラップさせて削孔すれば溝上に切削可能
適用性	×	×	○	×

支保工設置に際し、溝の切削精度がいい加減では、支保工を溝にはめること自体が困難となる。またパネルを設置するため支保工間隔も精度が必要である。そのため正確に直線的に切削できる基本性能を有したウォールソーを今回の開発機械のベースマシンとして採用することとした。

ただしウォールソーの課題として以下の事項が挙げられた。

課題①：カットラインがウォールソーのブレード幅（5 mm 程度）

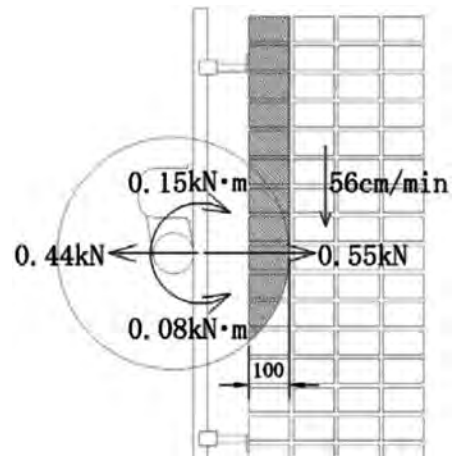
課題②：ウォールソーの反力をどうするか。アンカー止めに代わる固定方法

課題③：レンガトンネル断面曲線半径（2200 mm～2800 mm）に沿った一定の深さの確保

①について、T型支保工がはまる溝幅を 15 mm と設定したが、ブレード 1 枚ではその幅を切削できないことからブレードを 2 枚にし、レンガを中抜きする方法とした。

②について、通常ウォールソーの反力はアンカー止めしたガイドレールが受け止める。ウォールソーをバックハウに取り付ける方法も検討したが、狭小トンネルでは作業性が確保できないことから、ガイドレールをアーム装置に取付け覆工に押し付けて反力を取る方式の専用機械を検討することとした。

どれくらいの方で押し付ければウォールソーが固定できるか不明であったため、レンガの模擬壁を作成し



図一 ウォールソーガイドレールに発生する反力

2枚ブレードで切断し、反力がどの程度であるか計測を行った（写真一5、図一2）。ウォールソーに作用する反力は、最大でも 1.0 kN 未満であることが分かり、機械設計に設計条件として反映した。

③については、覆工曲率に合わせて一定の深さで切断できるよう、ブレードを深さ方向に出し入れ制御可能なウォールソーを使用することとした。

4. 開発した機械

基本検討を基に、ウォールソーのガイドレールをアーム装置に固定し、アーム装置をレンガに押し当てて溝切削を施工する機構とし、機械開発を実施した。



写真一5 2枚ブレードによる切断試験（ガイドレールにロードセルを設置）

コンセプトを図-3に示す。図-3は作業状態の図である。装置は車両（4tトラック）に搭載して使用する可搬タイプとした。

運搬時にはアームが可倒する機構を備えており（図-4）、軌陸タイプの4tトラックに搭載した状態でも鉄道車両限界内に収まる大きさとした。

またカントのある状態で作業することが想定されるが（図-5）、転倒に対する安定性検討を実施した。安全側の設定としてカントを160mmとし、アームが勾配内側にある時が転倒に対し最も厳しい状態であることから、以下のように安定計算を行い、安全性を確認した。

$$\begin{aligned} \text{転倒照査: 安定モーメント} / \text{転倒モーメント} (>1.0) \\ &= (9.41 \times 622 + 78.35 \times 906) / (0.78 \times 1423) \\ &= 69.2 (>1.0) \end{aligned}$$

転倒に対し十分安全である。

写真-6に完成した機械を示す。また写真-7に装置の運搬状況を示す。

装置の動作機構としては、アームがSL上半を対象とした円周方向に可動するという基本的な動作以外に、調整機能としてアーム部分の昇降、左右移動、前後



写真-6 完成機械 (T3 カッター)



写真-7 トンネル搬入時

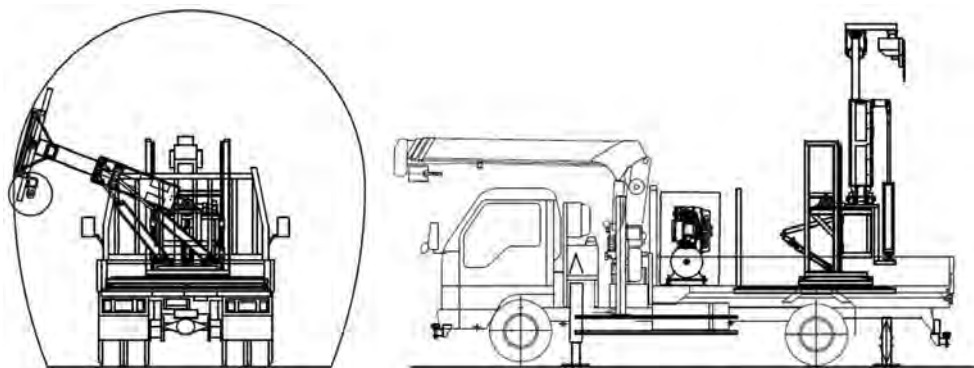


図-3 開発機械のコンセプト図

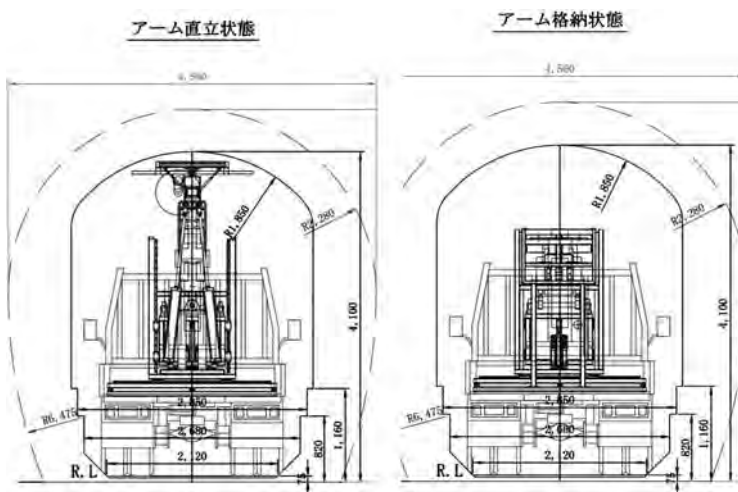


図-4 搬送時の格納サイズ

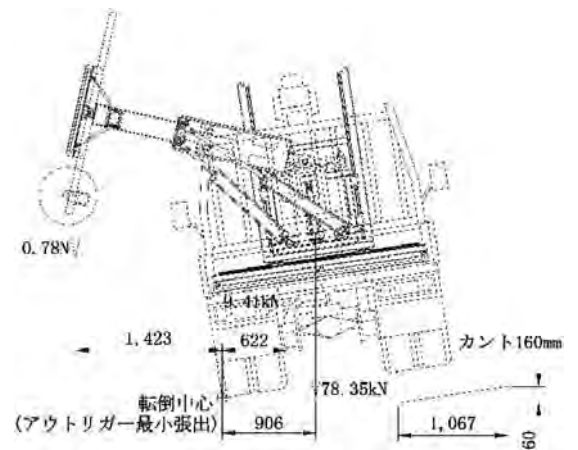


図-5 カントでの作業安定性

移動を行う機構が備わっており、容易に機械の設置位置出しが行えるように工夫してある。

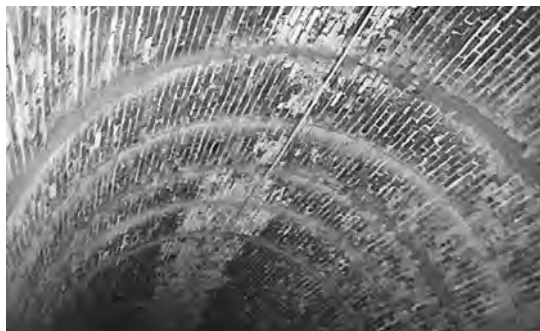
5. 施工状況

試験施工での溝の切削状況を写真—8に示す。ブレード2枚の切削痕が確認できる。また支保工設置間隔に合わせて切削が行われている様子が写真から確認できる。

溝切削の精度は墨出し、機械設置の精度にも関係するが、実際に切削した溝間隔（＝支保工間隔）の実測



写真—8 作業状況



写真—9 レンガ溝切削状況

値を表—2に示す。試験施工では6本の支保工を設計ピッチ960mmで切削した。間隔測定的位置は、天端・天端から45度の肩の位置・SL、である。

実測結果によると最大で+10mm、最小で-8mmの誤差で施工出来たことが確認された。支保工を溝にはめる作業では、はまらないということが発生することもなく、十分な精度で施工出来ることが確認された。

6. 機械の改良について

写真—8, 9に示した試験施工では、機械の稼働に関しては何も問題は発生しなかったが、機械セットの時間を短く出来れば、より施工スピードを短縮することが可能であることが確認された。そこで試験施工後に検討を重ね、改めて機械の各所に改造を加えた新たな機械を製作した。改良点を表—3に示す。

作動動力について大幅に手を加えた。当初の機械は大きな力が必要な箇所は空気圧で駆動していたため、空気圧を発生するためのコンプレッサー設備が必要であった。

改良後の機械では、設備を簡略化する目的で電動化した。それに合わせ、手動調整としていた各所にモーターシリンダーを装備し、手元スイッチで位置をすべて微調整出来る仕様とした。

写真—10に改良した機械による施工状況を示す。

この時の施工では支保工を下半まで設置したが、下半は通常のウォールソーで溝切削を行った。溝切削にかかる時間としては、機械で7m分を施工する時間と通常ウォールソーで4m分施工する時間が同程度であったことから、施工効率は通常ウォールソーに比

表—2 溝切削精度の確認（切断ピッチ960mm確認）

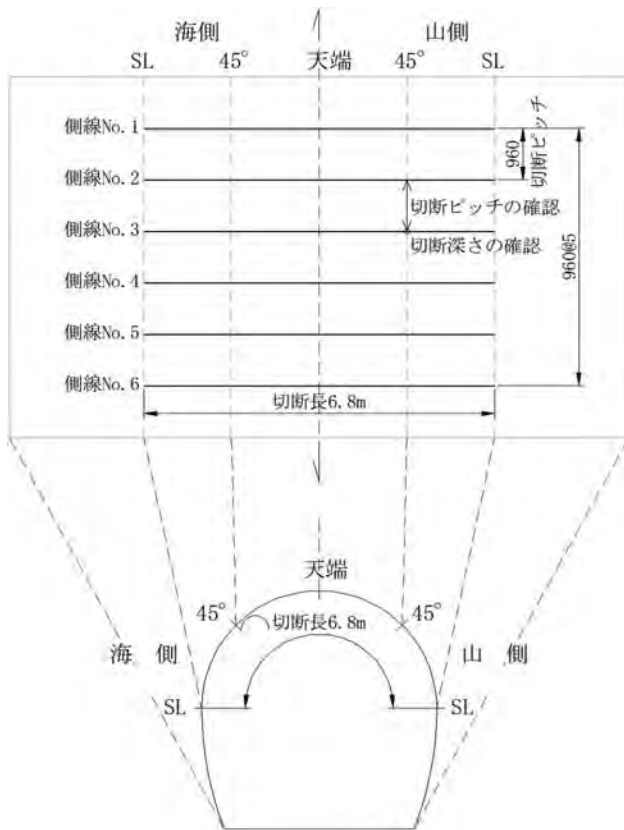
	側線 No	海側		天端	山側		平均値
		SL	45°		45°	SL	
↑ 起点方	1～2間	970 (+10)	963 (+3)	957 (-3)	952 (-8)	954 (-6)	959 (-1)
	2～3間	958 (-2)	958 (-2)	953 (-7)	957 (-3)	970 (+10)	959 (-1)
	3～4間	966 (+6)	962 (+2)	960 (0)	962 (-2)	958 (-2)	962 (+2)
	4～5間	960 (0)	958 (-2)	957 (-3)	955 (-5)	955 (-5)	957 (-3)
↓ 終点方	5～6間	964 (+4)	964 (+4)	965 (+5)	965 (+5)	964 (+4)	964 (+4)
	平均値	964 (+4)	961 (+1)	958 (-2)	958 (-2)	960 (0)	

表—3 機械の改良点

	改良前	改良後
作動動力	空気圧	電動化
前後左右の位置合わせ	手動	モーターシリンダー化
ガイドレールの向き	ヘッドに固定	モーターシリンダー追加で微調整可能
アームの可倒	車両のユニック装置仕様	モーターシリンダー化



写真—10 改良後の機械による施工状況



図—6 溝切削精度の確認位置

較し約倍であることが確認できた。

7. おわりに

開発した修繕工は「T3 パネル工法」、施工機械は「T カッター」と名付け、今後工法展開を図る。なお「T カッター」は例えば導水工設置のための溝切削や、覆工をはつる際の目地施工など、その他の利用も考えられ、今後は汎用的にも活用して行きたいと考えている。

謝 辞

「T3 パネル工法」の開発は、JR 東日本研究開発センターテクニカルセンターとの共同開発で行われたものです。この場を借り、関係各位に謝意を表します。

JCMA

《参考文献》

- 1) 薄型パネルを用いたレンガトンネル修繕工の開発：土木学会第 69 回 年次学術講演会（平成 26 年 9 月）
- 2) 老朽レンガトンネルの酸性水を考慮した覆工補修について：土木学会 第 66 回年次学術講演会（平成 23 年 9 月）

【筆者紹介】

大本 晋士郎（おおもと しんじろう）
 ㈱熊谷組
 技術本部 技術企画部
 部長



畑山 駿（はたやま たかし）
 ㈱ファテック
 開発営業部 土木グループ

谷口 栄一（たにぐち えいいち）
 (有) E-MEC
 代表取締役