

湊川隧道 技術検討会 (R6.8.21)
～ 120 歳を超える明治のトンネルが現在でも健全な理由を探る ～

とりまとめ概要

湊川隧道は、明治 34 年(1901 年)に竣工した当時世界最大クラスのトンネルです。建設当時は大型建設機械が無く、人力でノミやツルハシ等を用い施工されたと考えられています。

120 年以上経過したこのトンネルは、阪神・淡路大震災での被災を除き、これまでに大規模な補修履歴は無く、令和 5 年度の点検においても、大きな問題は確認されていません。この古いトンネルは、土木工学的に何が優れているのか有識者による検討会を開催しました。

1 地質・地形概況

- ・ 第四紀更新世の大阪層群で砂礫、砂、粘土の互層で構成される未固結地山。
- ・ 会下山断層が近傍を通過している。
- ・ 最大土被りは、40m弱となっている。
- ・ 一部で湧水がある。

2 阪神・淡路大震災での被災状況

- ・ 呑口から 370m～390m の区間で大きく沈下・変形したため、補強工事実施。
- ・ 吐口側坑門が崩壊し、復旧工事実施。

3 R5 点検結果要旨

当該トンネルは、レンガ積み覆工トンネルである(昭和初期まで用いられた工法)。

湧水やレンガのガタつき(1箇所)が見られるものの、トンネル全体としては、健全性を確保している。

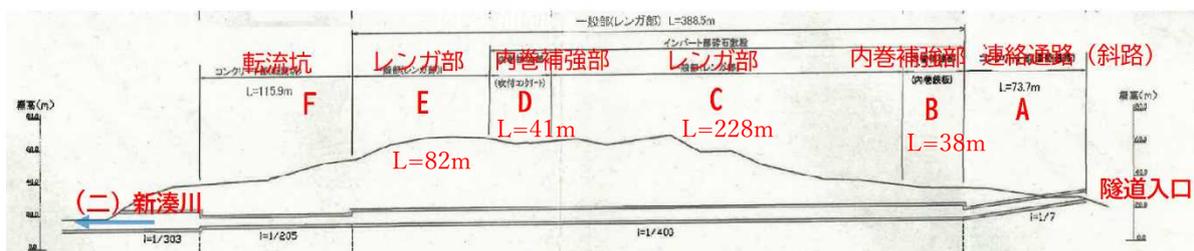


図1 区間縦断面図

<B 区間> 補強部(鋼製支保工、鉄板、注入) L=38m

- ・ 震災後に新湊川トンネルとの近接施工対策(内面補強工)の型枠として設置された鋼板が、部分的に著しく腐食している。

<C 区間> L=228m

- アーチ部のレンガ積みの間から一部で漏水が見られるが、大きな問題は無い。

<D 区間> 補強部（鋼製支保工、鉄板、注入） L=41m

- 特に問題なし。

<E 区間> L=82m

- アーチ部レンガ 1 箇所 で 2cm 飛び出しガタつきが見られる。

※ 1 C、E 区間で、最大 26cm から 30cm 程度の空洞が存在するが、あくまで局所的なもので、天端・アーチ部全体や、トンネル縦断方向への連続的な空洞ではない。

全般的に覆工が厚く、外力による変状も見受けられないことから、突発性崩壊の危険性は低いものと評価される。

なお、突発性崩壊についての評価は、限られた調査データから道路トンネル点検要領等に準拠し判断しているが、さらに精度をあげるには、詳細な調査と高い知見からの判断が必要である。

※ 2 これまで、覆工背面には全面に栗石が充填されていると考えられていたが、今回アーチ部で実施したボアホールスキャナでは栗石は確認されず、部分的に栗石施工が無い箇所が存在することが確認された。

※ 3 これまで、覆工厚は 70 cm（レンガ 6 枚）と考えられていたが、B 区間では 40 cm（レンガ 4 枚）であった。

4 施工方法

当時世界最大クラスの大断面でのトンネル施工であるが、現在のような安全に掘削するための補助工法が無い時代に、地質が悪く、湧水がある箇所での工事は非常に難工事であったと推定される。

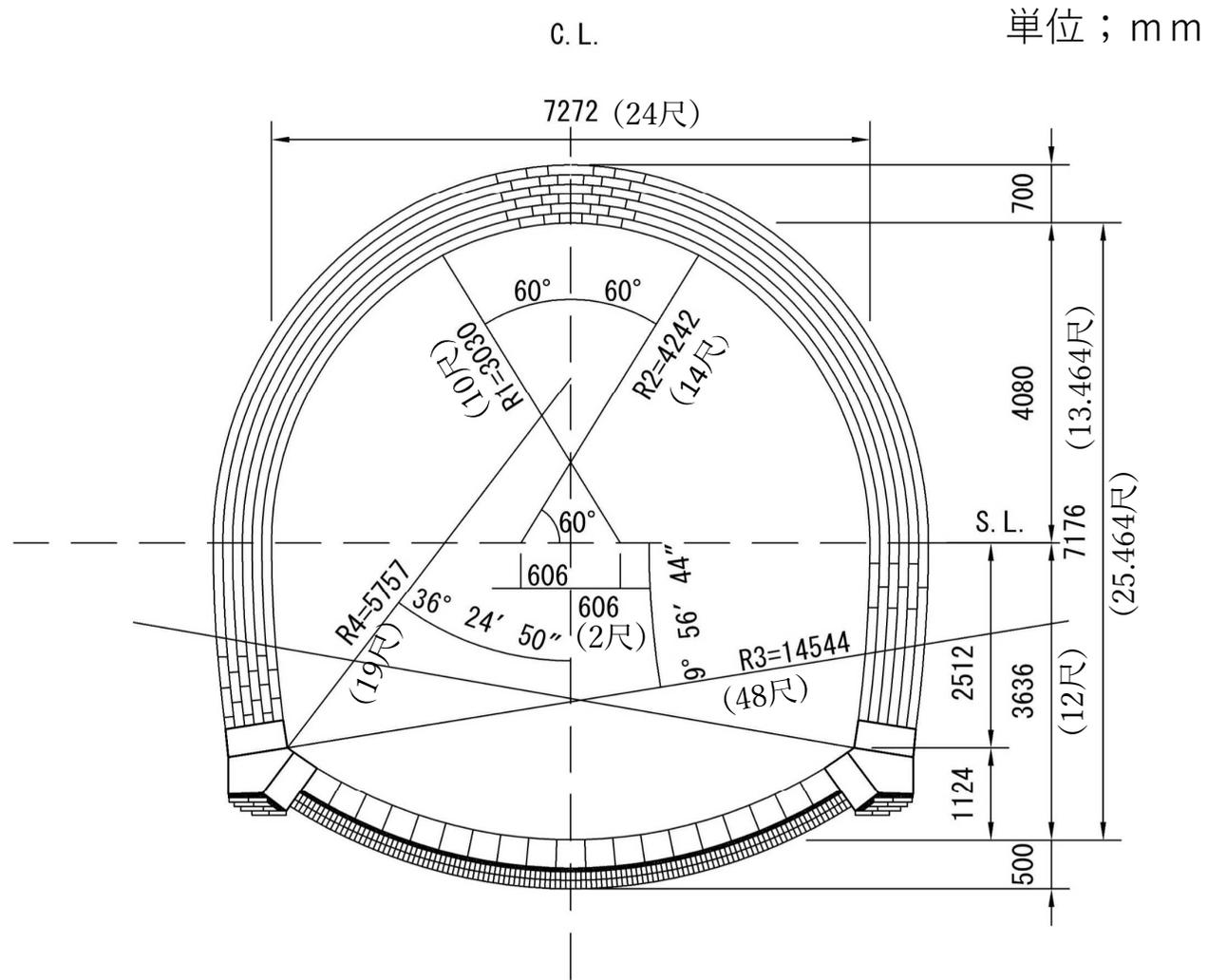
トンネルの具体的な施工内容については、資料が残っておらず不明な点が多いが、他事例などから、以下の推定をしている。

トンネルの施工手順は、別図－2 が類推される。

工事期間は、3 年 4 ヶ月（明治 30 年 11 月に起工で、明治 34 年 2 月に完了）であり、実際に掘削、レンガ積みを実施している期間は 2 年弱である（別図－3）。その間で工事を完成させるためには 1 日 3 交代 24 時間で施工したのではないかと推定している。

支保工や木製セントルの実際の構造がどのようなものであったのか、掘削面をどのように安定させたかなど具体的な施工内容については不明である。新たな資料の発見を待ちたい。

湊川隧道 標準断面図



※原図 (出典) 不明

トンネルの施工手順

System of Work for Passage Tunnel.

CROSS SECTION.

Scale 1" = 40'

導坑

上半掘削

上半掘削

下半掘削

大背

アーチ部の煉瓦積み

煉瓦基礎部掘削

下半掘削

土平

側壁の煉瓦積み

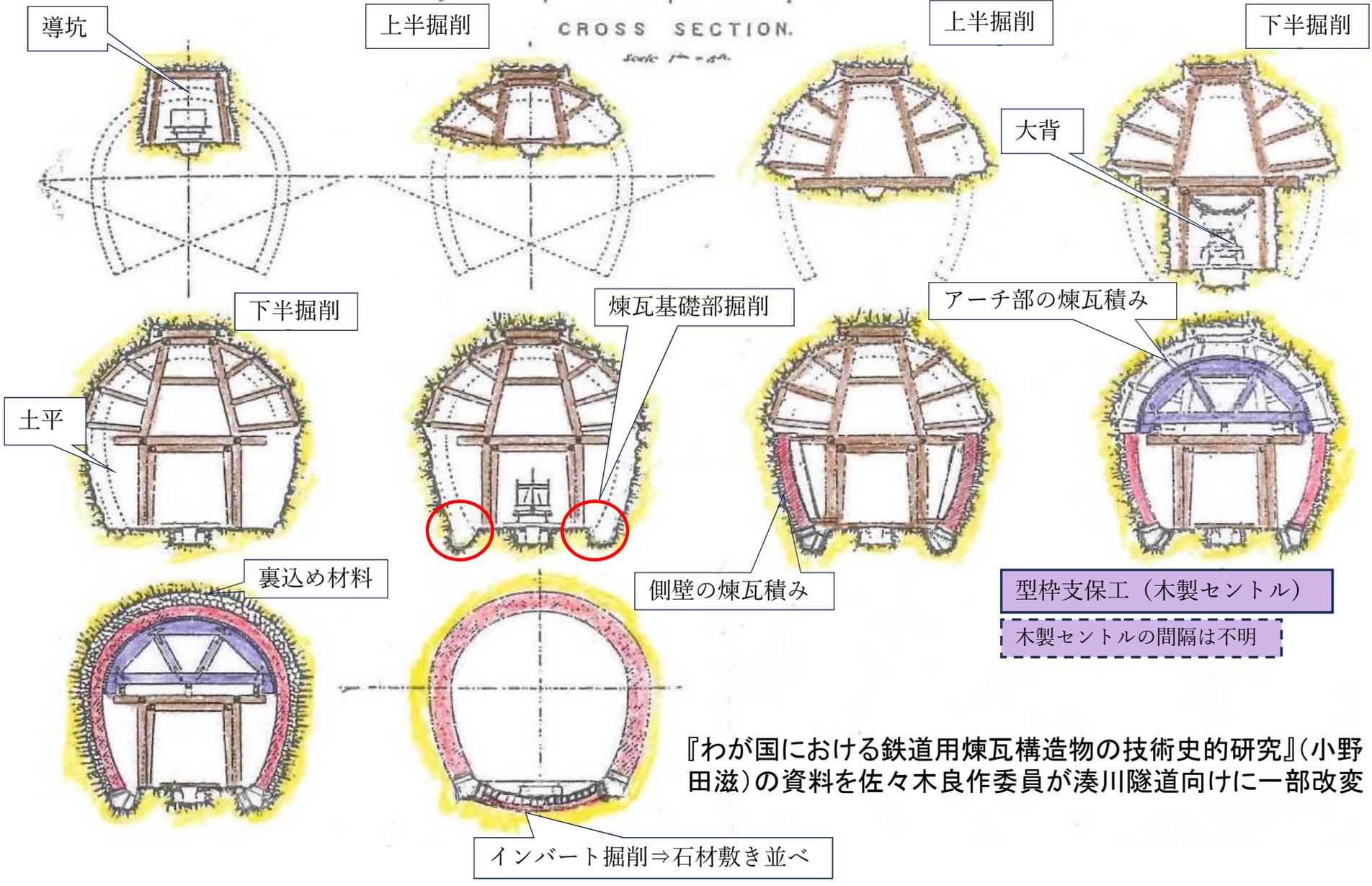
型枠支保工 (木製セントル)

木製セントルの間隔は不明

裏込め材料

『わが国における鉄道用煉瓦構造物の技術史的研究』(小野田滋)の資料を佐々木良作委員が湊川隧道向けに一部改変

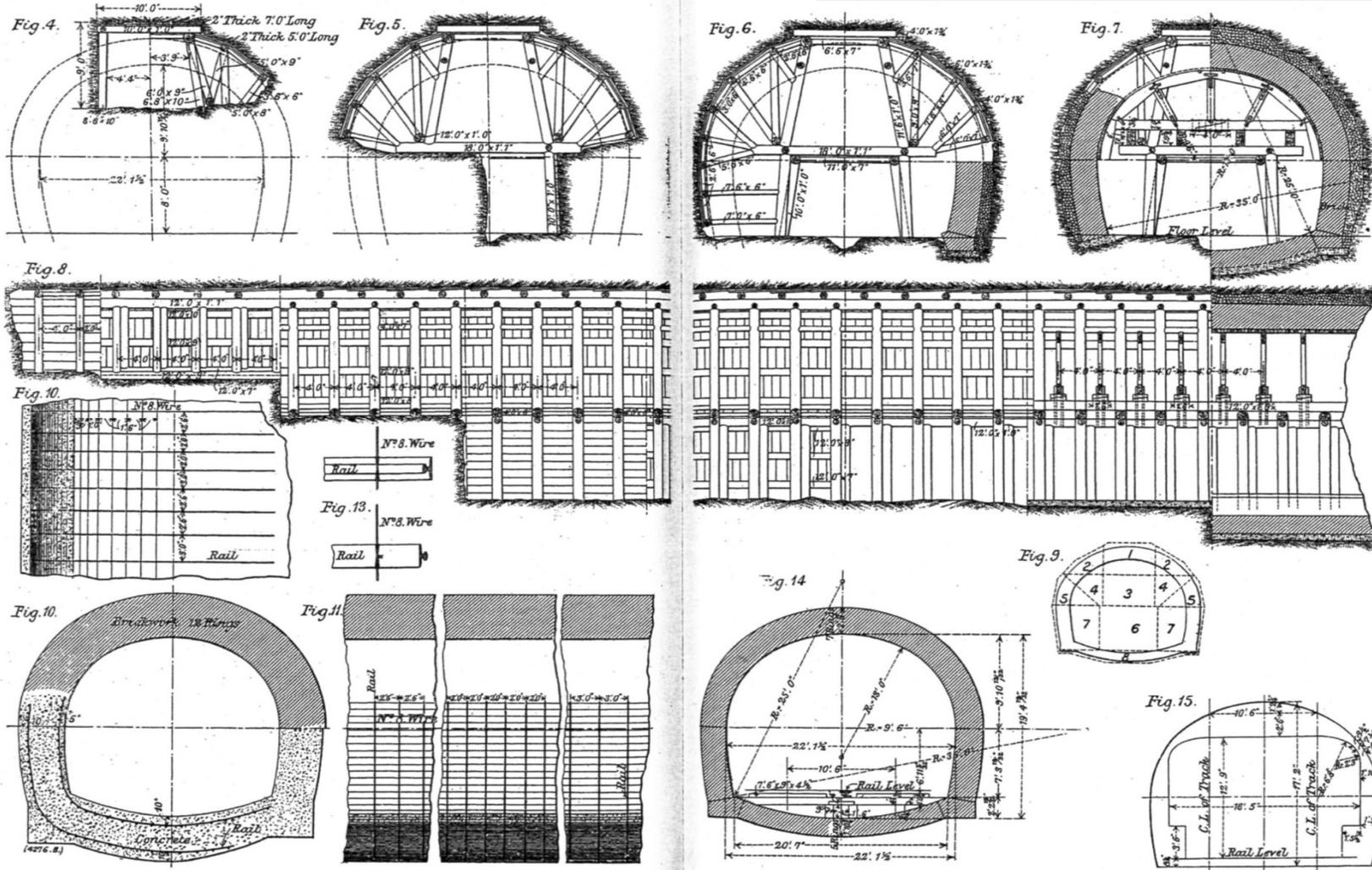
インバート掘削⇒石材敷き並べ



THE IKOMA TUNNEL, OSAKA-NARA ELECTRIC TRAMWAY, JAPAN.

(For Description, see Page 214.)

湊川隧道と同規模の旧生駒トンネル（複線断面）の例



トンネル

図4-4 日本式掘削工法の例
頂設導坑を先遣させて、木製支保工で地山を支えながら上から順番に掘削する。切羽の数が1ヶ所のみとなるため、掘進速度は遅い。図は、1914（大正3）年に完成した大阪電気軌道（現在の近鉄奈良線：石切～生駒）の生駒トンネルの施工図。

小野田滋様より拝領

5 健全な理由についての考察・見解等

①【地山の状況】

検討会での見解

- AE 法によるレンガ積み覆工への応力履歴を測定した結果は以下の通りで、地山からの地圧がかかっていたと考えられる。
トンネル内空側・・・1000～1100kN/m² (10～11kgf/cm²)
トンネル地山側・・・1100～1300kN/m² (12～14kgf/cm²)
- トンネル建設後は、覆工の状態から地山は安定していると考えられ、トンネル本体に大きな偏土圧、ゆるみ土圧は発生しなかったと思われる。

申し送り事項

- 名神天王山トンネルの施工時に、地山が悪く掘削時に非常に変位が大きかった箇所が、後の拡幅工事の施工時に地山が堅く固まっていたことが確認された例があった。湊川隧道の地山がどのような状態にあるのか機会があれば確認されたい。
- 覆工背面の空洞と湧水・漏水、地質（砂礫層、粘性土層、海成粘土）の相関をとるとともに、空洞背面地山分析（原地山の強度、自立安定性、細粒分流出状況）を行い、空洞の発生原因を考察し、施工時からのものか、施工後に生じたものか関係性を調べ、天端空洞の連続性、空洞厚分布についても留意しながらレンガ覆工の長期安定性に対する空洞の影響を評価し、今後の対策の参考とされたい。
- なお、前項の調査又は簡易的な調査の結果、空洞に崩落等の危険性があるのなら予防保全対策（発砲ウレタンの注入等）を検討した方が良い。

②【トンネル本体構造】

検討会での見解

- トンネルの部位に応じ、レンガの積み方を変える工夫が見られる（アーチ部は長手積み、天井部の一部に縦積みと呼ばれる特殊な技法を用い、覆工に作用する荷重をアーチ全体に均等に分布し、接続部の強度増加を図る、側壁は強度が優れると言われるイギリス積み 図2参照)

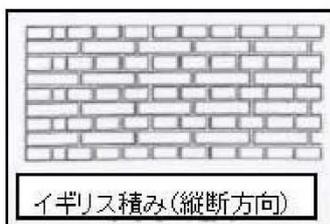


図2-1 側壁部

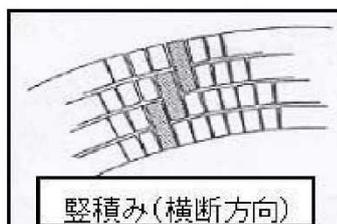


図2-2 天井の一部

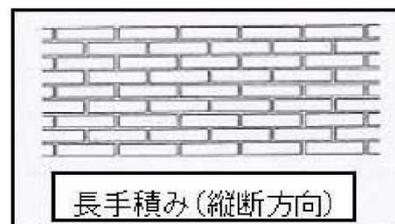


図2-3 アーチ部

- ・ 覆工と地山の間には栗石をつめることで、地下水の排水や土圧を均等に分散させ、覆工の負荷が軽減される工夫がなされている。
- ・ 荷重に対し、等厚で厚みのある覆工が軸部材としてアーチ全体で支持している。
- ・ 覆工を支え、インバートとジョイントする隅角部が素晴らしく、覆工に作用する軸力をスムーズに下部構造へ伝達する構造の要として機能しているだけでなく、丁寧な施工により3分割された石組み構造にズレや変位はほとんど見られない。またこの隅角部は、現在のトンネル技術を取ったような構造となっている。また阪神・淡路大震災の際もピン構造として地震動にうまく追随・変形した可能性がある。
- ・ インバートは水が流れることを考えて曲線にし、石張の下にレンガ基礎を最も強度の高い短辺方向に設置するなど細かな配慮が見られる。
- ・ 全線インバート構造としたことが地山からの長期的な土圧による変形を抑制し、構造の長期安定性に寄与している。(図3参照)

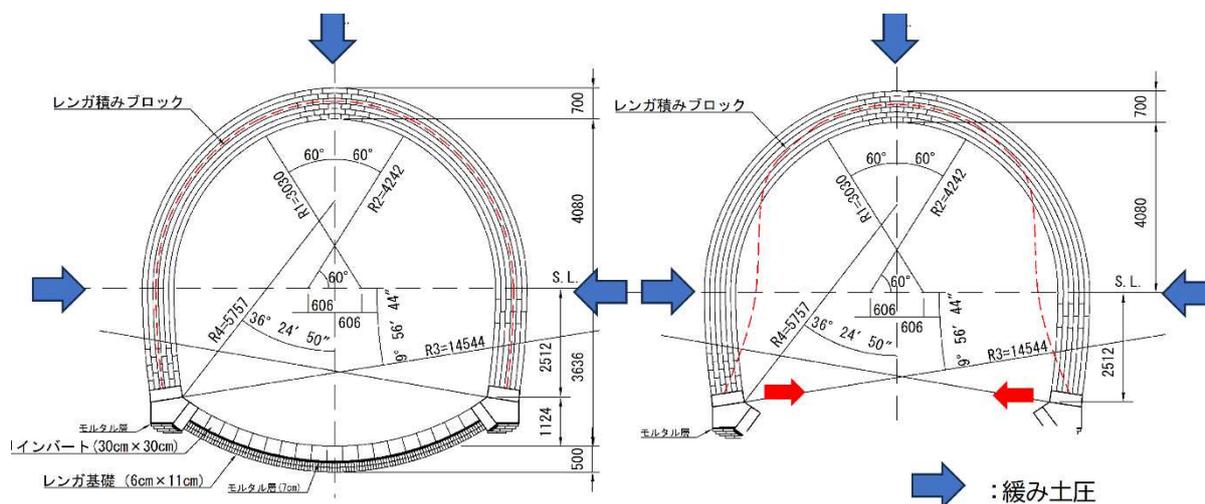


図3-1 インバートありの場合 (変形イメージ)

図3-2 インバートなしの場合 (変形イメージ)

- ・ 当該レンガ積み覆工はB区間で4層、C・E区間で6層の層厚が確保されていることから、無筋コンクリートと同等の強度特性を有していると想定される。

(参考文献)

岡野法之、仲山貴司、津野 究、小島芳之、西藤 潤、朝倉俊弘：レンガ積み覆工トンネルの耐力評価に関する研究，土木学会論文集，F1 トンネル工学， Vol1169, No. 1, pp29-38, 2013

申し送り事項

- 所々でカビが発生しており、構造物へ長期的な影響や、人への影響を検討の上、必要があれば対策を講ずること。
- 今後、参考として漏水、溶出しているノロ（へどろ）の成分調査を実施しておいた方が良い。

③【材料】

検討会での見解

- レンガの強度は次の通りで、現在の普通レンガ2種（15N/mm²）以上の強度を現在でも維持している。

小口方向 4 1 . 2 MN/m²

短辺方向 5 3 . 3 MN/m²

長辺方向 1 7 . 6 MN/m²



- 目地モルタルについては、丁寧に施工されており、現在でも接着力が高い状態であることが現場での取り壊しの際に確認されている。

申し送り事項

- 当時の煉瓦は、吸水率で品質管理を行っていたので、強度だけではなく吸水率を把握しておくが良い。

④【他事例との比較】同時代に同施工方法での施工実績が多い鉄道トンネルとの比較

検討会での見解

- 当時の一般的な鉄道トンネル（単線断面）の断面積の2倍以上の大断面施工である。
- インバートについては、鉄道トンネルでは地質が悪い箇所等を除き基本的に設置していない。
- 以上から、施工難易度は非常に高かったと考えられる。また、インバート構造についても施工事例が少ない中で、しっかりとした構造で設計・施工されている。
- 河川トンネルであったため、鉄道トンネルのような煤煙（硫黄成分）によるレンガの目地痩せが無かったことも、長期に渡る安定性確保に寄与している。

申し送り事項

- また目地痩せの状況も経時観察しておいた方がよい。
- 湊川隧道より古い1887年に建設されたレンガ覆工の東海道本線 清水谷戸トンネルは、いまでも現役で供用されており、湊川隧道についても、今後、適切なメンテナンスがなされれば、健全性を保つことができる。

6 さいごに

トンネルの施工技術が進んだ現在と異なり、当時のトンネル施工は、落盤などの危険と常に隣り合わせであった。湊川隧道も規模はわからないが2回大きな落盤事故があったと記録されている。施工を請け負ったのは大倉土木組（現在の大成建設(株)）だが、詳細な資料は関東大震災の時に無くなっている。今となっては設計思想や具体的な施工内容については残された数少ない資料を手掛かりに憶測するしかないが、今回は大変厳しい施工条件下で、構造上の配慮や施工上の工夫、地山の安定もあって、今日までその健全性を確保してきたことが確認できた。

一方で、120年を超えるこの土木建造物は、土木学会推奨土木遺産、登録有形文化財であり、今や地域の宝として愛される大切な施設になった。今後も良好な状態で維持できるよう、この検討会での申し送り事項にも留意しつつ、定期的な点検と丁寧な維持管理に務めていただくようご配慮いただくことを願っている。