

阪神大震災により被災したトンネル改修工事

Repair Works of Railroad Tunnel Damaged by Great Hanshin Earthquake

飛田 茂*
Shigeru Hida

奥村 秀雄***
Hideo Okumura

加地 稔****
Minoru Kaji

峯 英夫**
Hideo Mine

向田 光治****
Mitsuharu Mukouda

要 約

平成7年1月17日早朝に発生した阪神大震災は阪神地区の大部分を壊滅的事態に陥れ、6,000人以上におよぶ死者が出た大きな災害であった。鉄道・高速道路・一般国道・港湾とあらゆる交通機関に壊滅的被害を与えたが、神戸電鉄株式会社有馬線においても、湊川～長田間に大きな被害があった。とくに東山トンネルにおいては、トンネル縦断方向に4～5条のクラックが全線に渡って発生し、始点側坑門部はクラックに10cm以上の段差が見られる状態であった。有馬線は大正末期に建設され、昭和3年に開業した鉄道であり、東山トンネルは施工後70年が経過している。土被りは4m～9mと浅く、地質は大阪層群の泥岩・固結シルトと砂礫層の互層であり、トンネル上部には体育館、社員寮等の大型建造物が位置している。このような条件下での縫返し掘削による工法検討および施工報告である。

目 次

- § 1. 東山トンネルの被災状況
- § 2. 東山トンネル改修工法の検討
- § 3. 改修工事の施工
- § 4. おわりに

§ 1. 東山トンネルの被災状況

神戸電鉄有馬線湊川～長田間には、会下山断層が介在していたため、今回の阪神大震災での被害は、神戸電鉄沿線では最大規模のものであった。東山トンネル被災状況は、両坑口坑門工の亀裂、トンネルライニングの亀裂、変形、沈下、およびトンネル上部の地表面でのクラックであった。以下それぞれの被害状況を記す。

・坑門工の亀裂

坑門工面壁の亀裂は、地震力が坑門面壁に作用したために許容応力度をオーバーして生じたものと判断された。坑門面壁に確認された鉛直方向の3本の亀裂は、幅は30～50mmあり、中央部がトンネルライニングと共に100mm

* 中部(支)道公土今井(出)

** 四国(支)津田トンネル(出)

*** 横浜(支)横水相模原(作)

**** 関西(支)有野(出)

以上沈下しており、目視であるが沈下の進行が認められ、落下する可能性もあった。また、トンネル上部背面地盤にすべり面と思われる地割れが発生していた（写真-1、2）。

・トンネルライニングの亀裂

トンネルライニングの亀裂は縦横断方向に発生していたが、縦断方向には4～5条が確認された。この傾向はトンネル全線に認められた。またライニングに使用されていたコンクリートブロック（250×200×250）が2カ所脱落しており、その他にもコンクリートブロックの目地材が緩んでいる状態も確認された。縦断方向の亀裂は異常な偏土圧を受けない限り発生しないものであり、地震力が起因しているものと思われた。縦断方向の亀裂はトンネル崩壊を誘発する危険性が高く、復旧案の検討には充分考慮する必要があった。

横断方向にも数カ所のクラックが確認された。亀裂幅

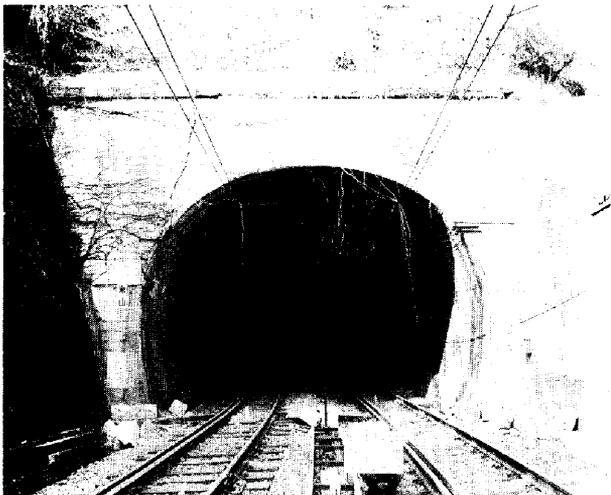


写真-1 坑門工全景（坑門天端部の化粧ブロックが落下している）



写真-2 坑門工クラック状況（クラック幅は30～50mm）



写真-3 トンネル横断方向のクラック

は20～30mmで湧水を伴っていた。横断方向の亀裂は、背面地山の地質変化、地層、および当初施工時の施工ジョイントが起因しているものと思われた（写真-3）。

・トンネル上部の地表面でのクラック

トンネル上部の駐車場舗装表面に幅1～5mmのクラックが認められた。土被りが4～9mと小さいため、トンネル内部の亀裂と地表面クラックは連続していると思われた。

以上の被災状況により、東山トンネルは使用に耐えないと判断され、改修が必要と云う結論が出された。

§ 2. 東山トンネル改修工法の検討

2-1 改修工法の比較

改修工法としては、①トンネル案、②ボックスカルバート案の2案を比較検討した。上記2案の工法概要と特徴を表-1に、トンネル上部平面図を図-1に示す。

比較検討の結果、総合的な評価に基づいて、トンネル案が採用された。また、坑門面壁は、新たに張付けコンクリートを構築して補強することとした。

2-2 地質調査

改修に当たりトンネル内部より調査ボーリングを実施した。旧ライニングは、厚さ25cmのコンクリートブロックを3～4段に積み、背面に裏込めコンクリートを充填

表-1 東山トンネル改修工法の比較

	トンネル案	ボックスカルバート案
概要図		
工法概要	<p>既設覆工コンクリートを取り壊して縫い返しを行い、新たにトンネルを構築する。縫い返しに先立ち、ハターンボルトを打設し、地山の補強を行い、掘削支保工の建て込みを行う。また、縫い返しの際、先受けのための注入式フォアパイル工および坑口部養生のための簡易ハイブーフ工を補助工法として用いる。</p>	<p>トンネル山側に、上留壁を構築し、掘削およびトンネル部の取り壊しを行う。掘削・取り壊し完了後、ボックスカルバートを構築し、埋め戻し盛り土により復旧する。</p>
長所	<p>全面的な改修であるため、長期的な安定の確保が可能である。トンネルの周辺環境を変えずに、修復が可能である。</p>	<p>ライフの長い構造物を構築することにより、トンネル部の長期的な安定確保が可能である。</p>
短所	<p>事前に、地山の補強改良が必要である。トンネル掘削用の大型機械の進入路を確保する必要がある。高度なトンネル施工技術（縫い返し）を有する作業員が必要である。</p>	<p>掘削に先立つ上留壁の構築および補強に際し、隣接地権者との協議が必要である。土質条件により、上留壁自体の規模が大規模になると、工期が長くなる可能性が高い。掘削残土処分地および埋め戻し用土砂の確保が必要である。</p>
総合評価	◎	

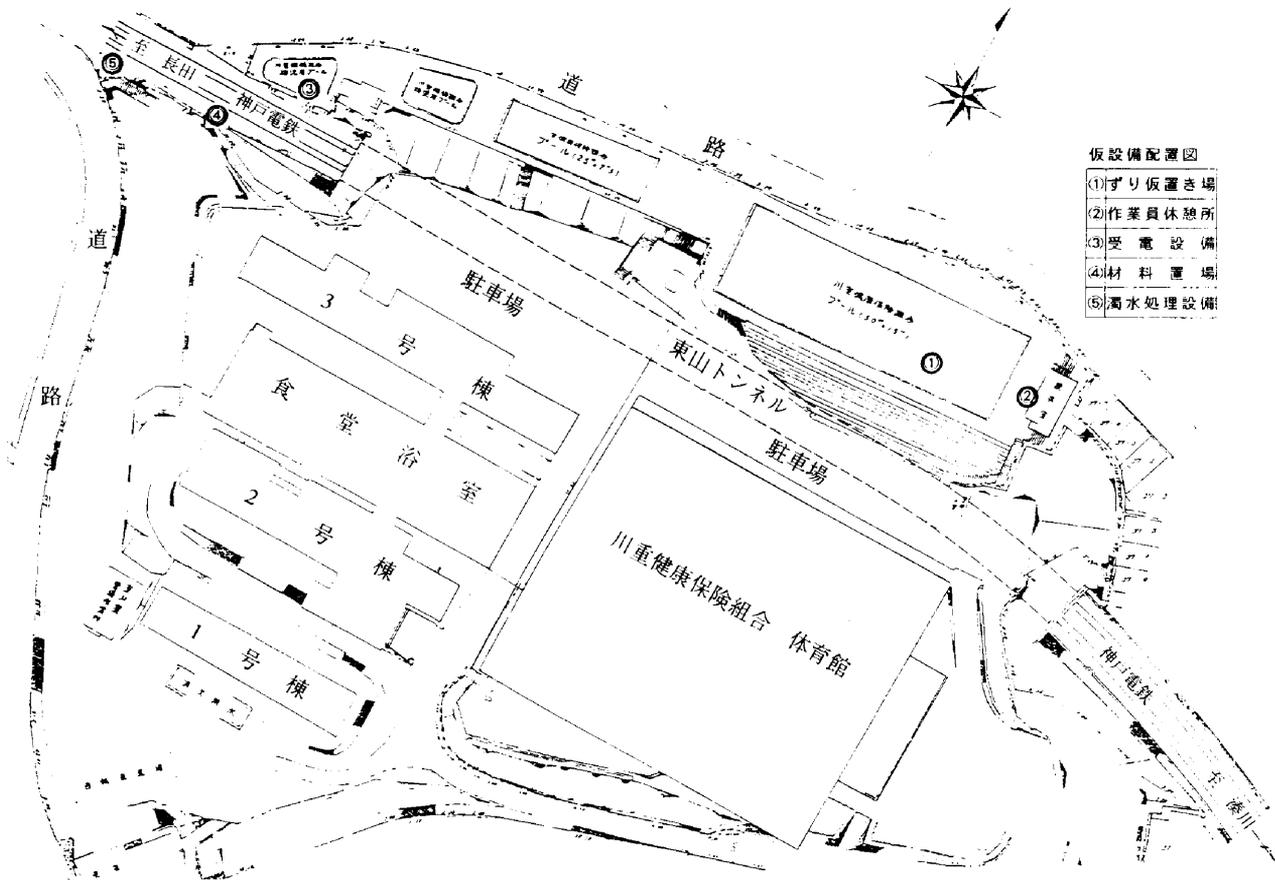


図-1 東山トンネル上部平面図

している。ライニングの厚さは0.65~1.0mで、トンネル内面から0~0.23mは比較的新鮮なコンクリートであるが、0.23~1.0mまではポーラスな状態である。1.0m以深は大坂層群固結粘土、砂礫層、固結シルトからなる地山部分となっている。代表的なボーリング柱状図を図-2に、東山トンネル想定地質縦断図を図-3に示す。

2-3 工法の検討

以上の災害状況、地質調査結果より、東山トンネル改

修工法の検討を行った。

(1) 坑口部掘削

トンネル坑口部は、新設トンネルの施工においても慎重な施工が要求される。東山トンネル両坑口においては震災により坑門コンクリートが破壊されており、周辺地山の緩みも考えられた。これらを考慮し、次の2点の検討を行った。

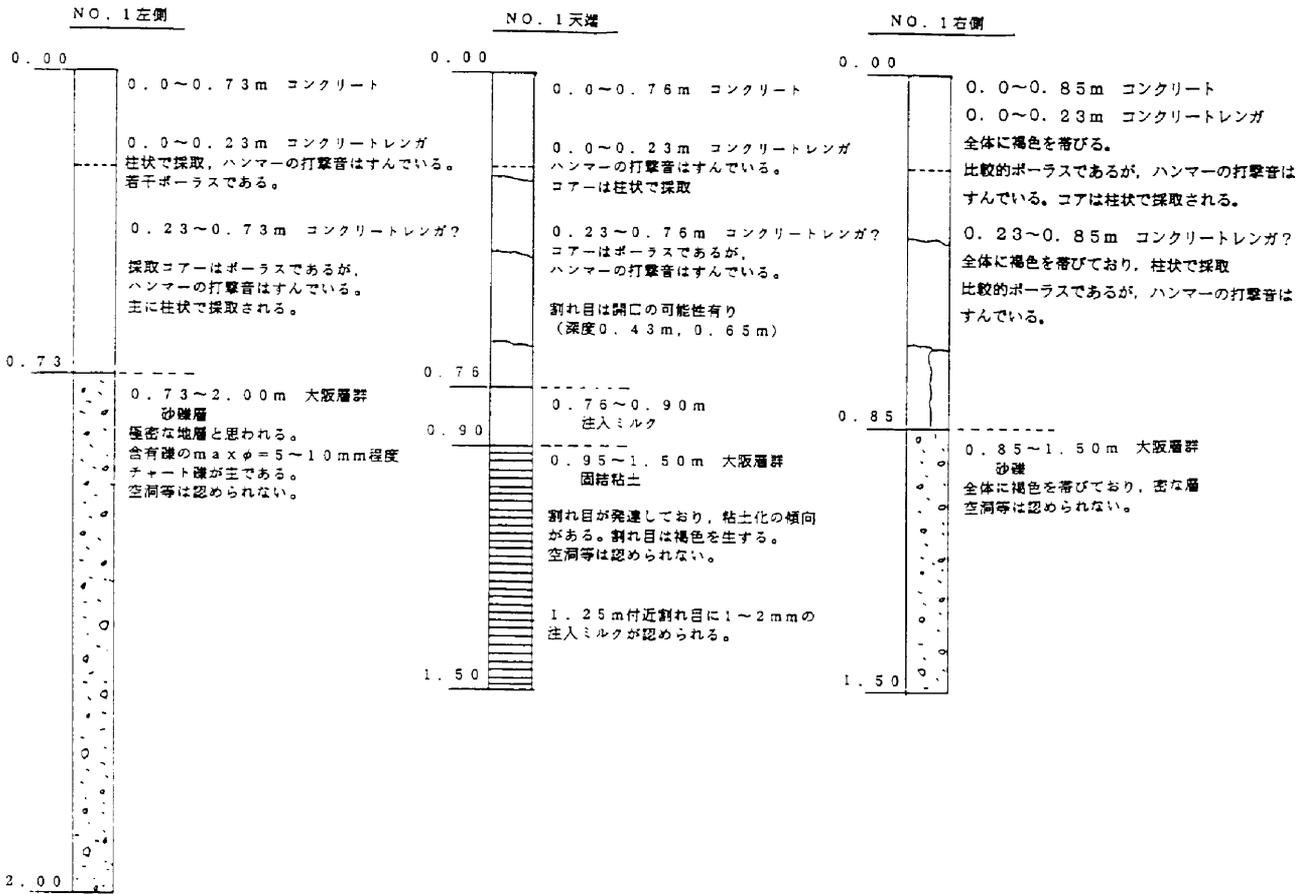


図-2 代表的なボーリング柱状図

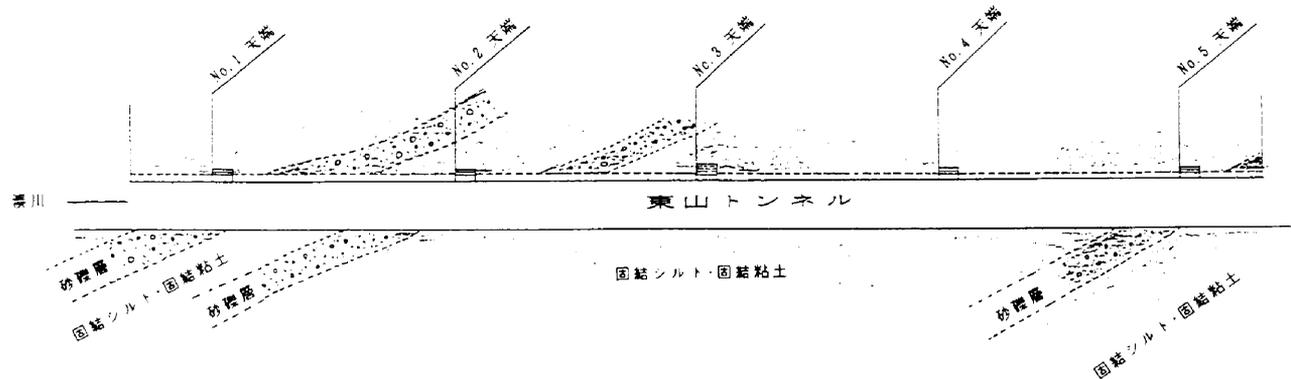


図-3 東山トンネル想定地質縦断図

a. 坑門コンクリートの亀裂の進行防止と緩みの抑制対策
亀裂の進行防止と緩みの抑制対策として次の3案を考えた。

- ①坑門コンクリートへのロックボルト打設
- ②コンクリートによる人工地山の形成
- ③エアーモルタルによる人工地山の形成

亀裂の進行防止対策としては、①坑門コンクリートへのロックボルト打設による縫付けが効果的であると判断した。地山の緩みの抑制対策としては、左右の擁壁の安定と長期強度が期待できる②コンクリートによる人工地山の形成案が妥当と判断し、①②案の併用とした。

b. 坑口部掘削時における地山の天端崩落防止対策

地山の天端崩落防止対策として、次の3案を考えた。

- ①パイプルーフによる長尺先受け工法
(ボーリングマシン使用)
- ②簡易パイプルーフによる長尺先受け工法
(ドリルジャンボ使用)
- ③トンネル上部からの縦縫地ボルト工法

パイプルーフによる長尺先受け工法は、ボーリングマシンの作業構台が必要であり、施工スピードも遅く、工期が長くなるため緊急の改修工事には適さない。

簡易パイプルーフによる長尺先受け工法は、ドリルジャンボでの施工が可能であり、工期の短縮が可能で施工実績も多く、信頼性がある。

トンネル上部からの縦縫地ボルト工法は、無垢の地山を掘削する新設トンネルには有効であるが、今回のような緩みの生じた地山の場合には、縫地ボルトによる吊下げ効果が期待できないため、有効な工法ではない。

以上の考察から天端崩落防止対策としては、②簡易パイプルーフによる長尺先受け工法を採用することとした。また、旧覆工ライニング背面の緩み領域の強化を目的として、簡易パイプルーフ内より発泡性ウレタン注入を行うこととした。先受け工法は、本来切羽前方地山と後方支保工とを梁で連結することで地山の崩落を防ぐ方法である。ところが、縫返し掘削では、切羽前方地山による梁の拘束度が非常に小さい。そこで、これを補助する目的で鋼製トンネルプロテクターで先受け部を支持する方法を採用した。

(2) トンネル部縫返し掘削

調査ボーリング結果より、覆工ライニングと地山との境はかなり緩んだ状態であった。地質は固結シルト、固結粘土、砂礫層の互層であり、土被りは4~9mと非常に小さく、縫返し掘削時の地山の安定は望めなかった。さらに、地震によりトンネル内部のクラックが地表面まで連続していると考えられた。以上のことから、掘削前

の地山改良が必要と考えた。また、トンネル上部は駐車場であり、トンネル改修工事の影響範囲内に建物があるため地山改良による建物への影響が懸念された。

地山改良方法としては、次の工法について考察した。

- ①トンネル上部からの施工
 - (1) ボーリングによる注入工法
 - (2) 縦縫地ボルト工法
- ②トンネル内部からの施工
 - (1) ボーリングによる注入工法
 - (2) 先行パターンボルトからの注入工法

①-①(1)トンネル上部からのボーリングによる注入工法は、注入孔の削孔延長が長いため、工期が長くなる。また建物・トンネルへの影響を考慮すると、注入圧力は3 kgf/cm²が限度であり、注入効果の期待が薄い。

①-②(2)トンネル上部からの縦縫地ボルト工法は、(1)坑口部掘削でも述べた問題点の他に、工期が長くなると予想された。

②-①(1)トンネル内部からのボーリングによる注入工法は、注入孔削孔用の作業構台等の仮設備が必要であり、工期が長くなる。

②-②(2)先行パターンボルトからの注入工法は、掘削に先立って先行パターンボルト(自穿孔ボルト)を打設して、そのボルトから注入を行うものである。施工性が良く確実な地山改良が図れるものと判断した。

以上の考察から、先行パターンボルトからの注入工法が最適であると判断した。なお、注入材としては、早期強度と浸透性が必要なために、発泡性ウレタンを採用することとした。

東山トンネルにおける地山等級は、土被りが浅く土砂地山であることからE級と判断された。しかし、地山を改良することにより、坑口部ではDⅢ級、一般部はDⅡ級に該当する地山になると思われた。掘削パターンDⅡ級では、フォアパイリングは通常計画しないが、トンネル上部に建物が存在しており、縫返し掘削による建物および地表部への影響は絶対に避けなければならないため、フォアパイリングによる先受け工併用での安全な施工が必要と考えた。

フォアパイリングは、先行パターンボルトからの注入による地山改良を行った部分に打設したが、旧覆工ライニングと地山の境界部分の地山改良度を再確認する目的で、自穿孔ボルトを使用し発泡性ウレタンでの定着を図る方法を採用した。

改修工事施工概要を図-4に、坑口部長尺先受け工施工概要を図-5に、注入式フォアパイリング施工概要を図-6にそれぞれ示す。

§ 3. 改修工事の施工

3-1 問題点およびその対応策

改修工事の開始に当たり、直面した問題点は次のよう

である。

(1) 図-1の平面図が示すように、トンネル付近での作業ヤードの確保が難しい。

(2) 震災の後遺症で道路事情が悪く、残土処分地への運

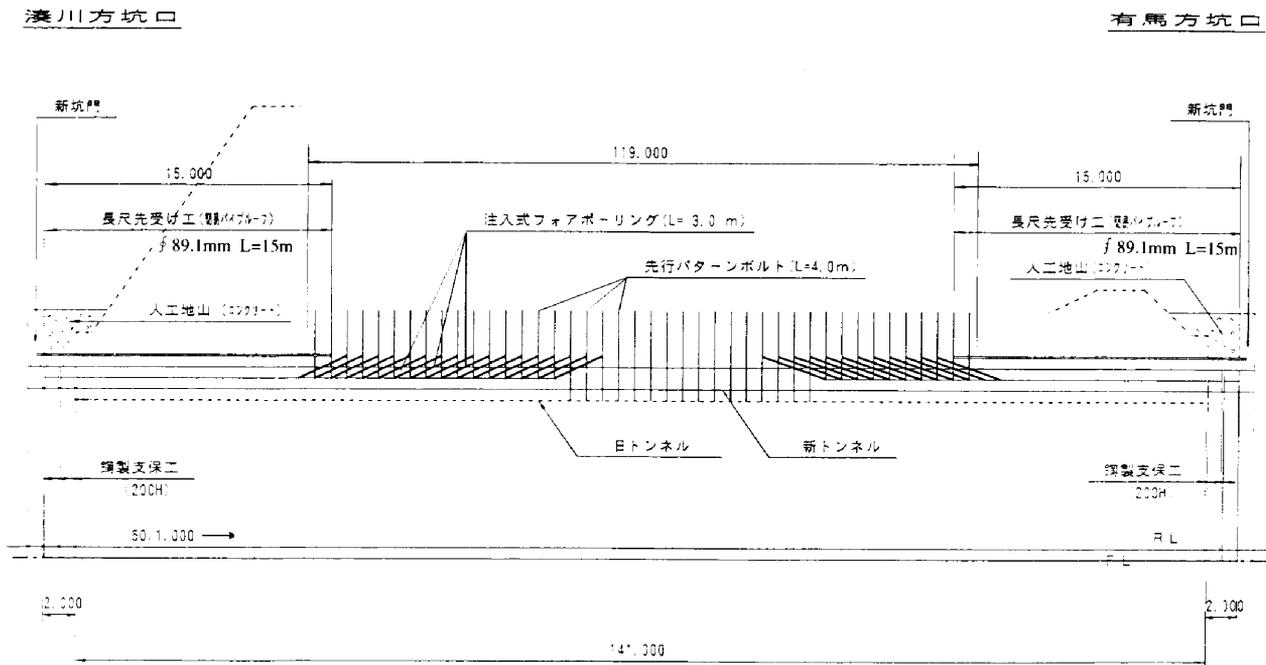


図-4 改修工事施工概要

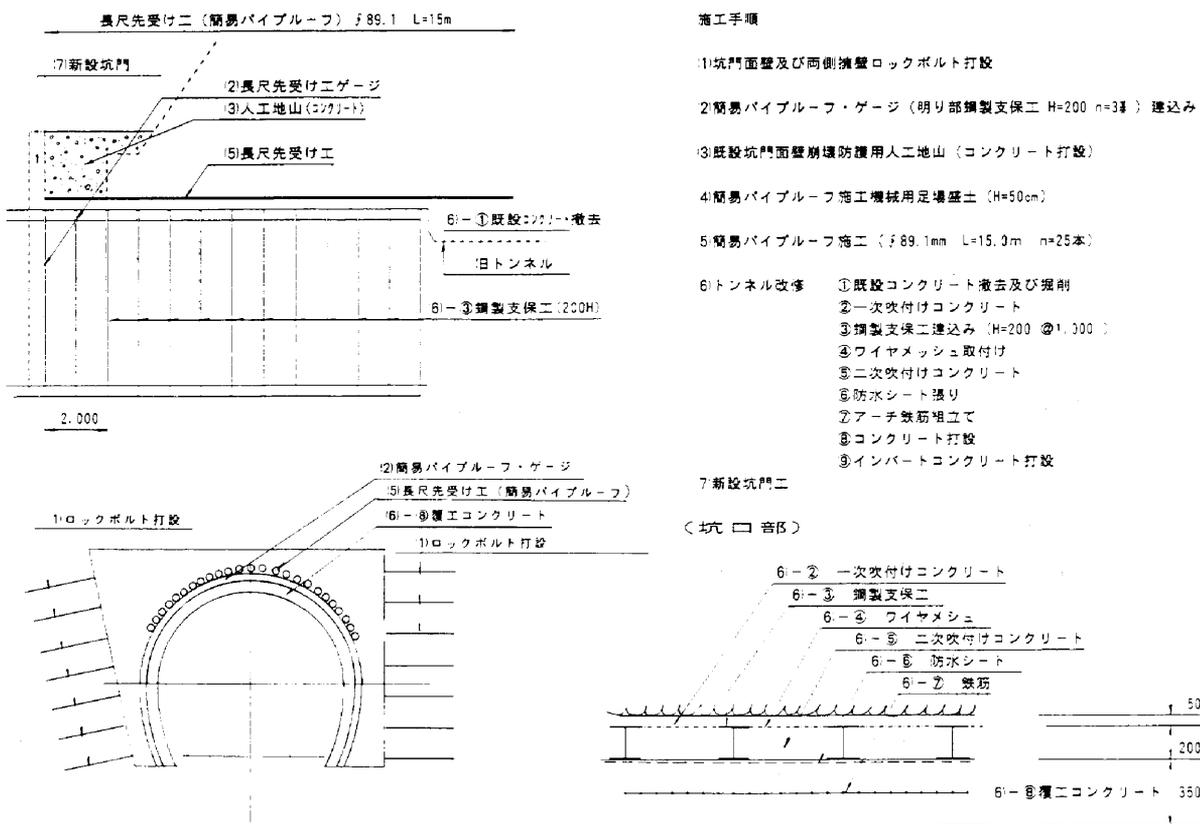
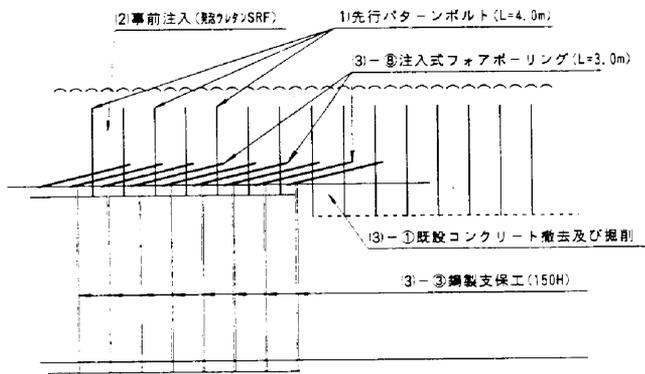
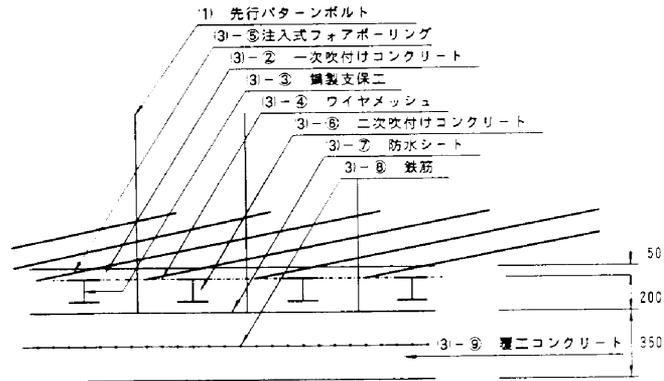


図-5 坑口部長尺先受け工施工概要



施工手順

- 1) 先行パターンボルト打設 (先行パターンボルト打設) (L=4.0m)
- 2) 事前注入 (発泡ウレタン SRF)
- 3) トンネル改修
 - ① 既設コンクリート撤去及び掘削
 - ② 一次吹付けコンクリート
 - ③ 鋼製支保工建込み (H=150 @1,000)
 - ④ ワイヤメッシュ取付け
 - ⑤ 注入式フォアボーリング (L=3.0m)
 - ⑥ 二次吹付けコンクリート
 - ⑦ 防水シート張り
 - ⑧ アーチ鉄筋組立て
 - ⑨ アーチコンクリート打設
 - ⑩ インバートコンクリート打設



図一六 注入式フォアボーリング施工概要

搬回数に限られたことに加えて、神戸地区ではダンプトラックが非常に不足していた。したがって、残土処分をめどが立たず、ずりの仮置き場が必要となった。

- (3) 吹付けコンクリートプラントの設置が難しかった。
- (4) 東山トンネル北側には東山小学校が隣接しており、ここは地域の避難所となっていた。
- (5) 湊川方坑口付近は民家が密集している。
- (6) トンネル上部の川崎重工業株体育館と寮に対する改修工事による影響が懸念された。

(1)(2)に対する対応策としては、川崎重工業株の協力を得てプール用地を借地することができた。プールは撤去し、後地を仮設ヤード・トンネルずり仮置き場として使用することができた。

(3)については、生コンクリート協同組合と話し合い、プラントの夜間使用料を支払うことで吹付けコンクリートの夜間出荷が可能となり、24時間出荷体制で施工することができた。

(4)に対しては、神戸電鉄を通じて小学校長、避難所の代表者をお願いして、神戸電鉄有馬線の早期再開のため24時間作業の了解を得た。ただし、坑口を防音シートで覆うことが条件であった。卒業式、始業式等の重要行事の際は、騒音の出る作業は中止した。

(5)については、湊川方坑口付近の民家は大部分が被災していたが、数家族は生活を続けていた。当初の計画では両坑口からの施工であったが、湊川方坑口からの施工は、10m掘削時点で隣接民家からの要望があったため中止した。

(6)に対しては、トンネル上部の建物への影響を把握するために、地表面沈下計・構造物傾斜計・孔内傾斜計・クラック開閉量測定計を設置し、自動計測装置で常時監視状態で施工した。計測はLAMOSを用い、本社土木設計部においてもリアルタイムで計測値を監視出来るシステムとした。

3-2 縫返し掘削の施工

東山トンネルの縫返し掘削は、2-3工法の検討で述べた要領で実施した。掘削方式は機械掘削とし、大型ブレイカー1300kg級を使用した。使用機械一覧を表-2に示す。施工状況を写真-4、5に示す。

3-3 工事工程

災害復旧工事のため工程には余裕がなかった。当初の開通予定は8月上旬であったため、トンネル工事完了は7月上旬を目標に施工していた。しかし、JR線他私鉄路線の復旧状況により、最終的に6月22日開通と決まったため、トンネル完了予定は5月末となった。表-3に実施工程表を示す。

表-2 使用機械一覧

機械名	型式・機能	台数
油圧モビルジャンボ	アトラス135H 2ブームホイール	1
〃	アスティックTHMJ-2400	1
トンネルブレイカー	0.7m ² 1300kg ショートリーチ	1
〃	0.45m ² 1300kg ショートリーチ	1
パワーショベル	0.45m ² ショートリーチ	1
〃	0.45m ² ショートリーチ	1
ホイールローダー	サイドダンフ 2.1m ³ 950F	1
一体型吹付機	マンテス AL305+285	1
ユニック車	4t車 2.9t吊	1
モルタルポンプ	マイホンフ	1
同上トラック	3t車	1
コンプレッサー	150kW 440V 24m ³ /min	1
濁水処理装置	ユニット型 20t/h HPS-20	1
コントラファン	φ900 37K×2	1
コンクリートポンプ車	配管車 50m ³ /h	1
ダンフトラック	4t	2
タービンポンプ	φ50×3S	1
給水槽	7m ³	3
水中ポンプ	φ50～φ75	5
受電キュービクル	VCB-IA 600A	1
変電キュービクル	6kV/220V, 110V 150kW 動打 Tr	1
ずい道キュービクル	6kV/440V 500kVA	1
乾式トランス	440V/220V 10kVA	2
気中開閉器	7.2kV 耐塩方向 200A ZCT	1
分電盤	100A 1-D 104, 11 4K	20

表-3 東山トンネル改修工事実施工程表

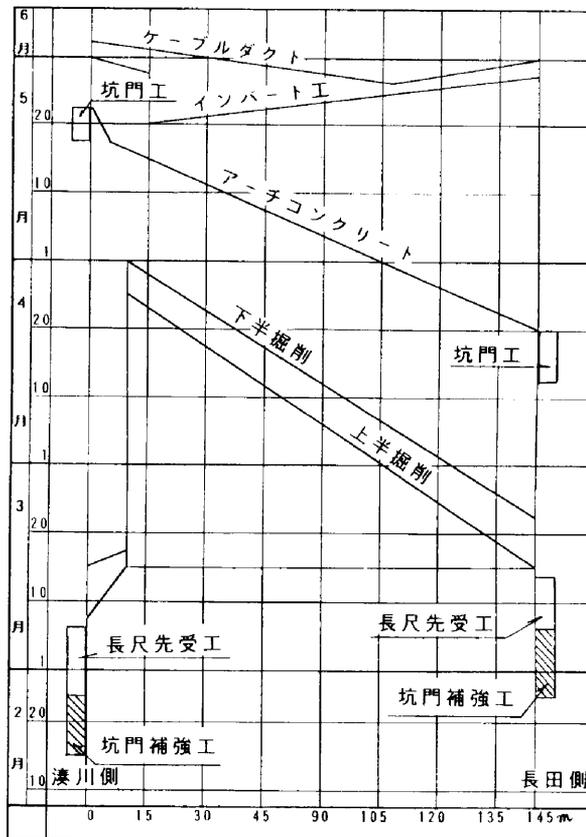


写真-4 坑門補強及び長尺先受工

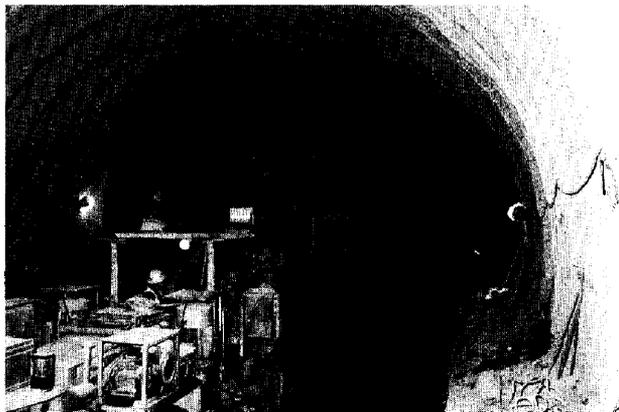


写真-5 上半掘削状況

§ 4. おわりに

今回の工事は、今までにも例のない震災により破壊された土砂地山トンネルの縫返し工法による改修工事と云うことで、とりわけ細心の注意を払って施工した。トンネル上部の建物への影響を懸念し、自動計測で監視しながらの施工であったが、5月2日前後の大雨により若干の地表面沈下が認められた程度であった。坑内の内空変位及び天端沈下は、最終的には30mm以内であった。

公共交通機関の復旧工事と云うことで地元の協力をいただき、無事故・無災害で竣工させることができた。本工事の計画・施工に当たり御協力、ご指導いただいた技術部、土木設計部など関係各位の方々には深く感謝の意を表する次第である。