

第6章 復旧工法と復旧過程の検討

6.1 概説

本章では、地下構造物被災個所の復旧工法と復旧過程の検討ということで、西日本旅客鉄道の山陽新幹線・六甲トンネル、神戸高速鉄道・大開駅、神戸市営地下鉄を取り上げる。

山陽新幹線六甲トンネルは、中世代の花崗岩中に建設された、延長 16km を超える長大トンネルで、建設時には被圧水を伴う多くの断層破碎帯に遭遇し、困難な施工を余儀なくされたトンネルである。

被害状況が明らかになった時点で、復旧工事施行に向けてトンネルの中心線測量、覆工の内空断面測定、及びトンネル覆工面への打音検査を行った。これらの調査の結果、地震断層の変位によるトンネル中心線のずれという現象はなく、トンネル覆工および中央通路箇所において、大小とりまぜて約 100 箇所の被災変状が確認され、特に 12 箇所の損傷が大きく、そのほとんどは、536km～537km、539km～542km 間に集中している。その位置は、図-6.1.1 に示す通り、施工時に断層破碎帯に遭遇した位置に一致している¹⁾。

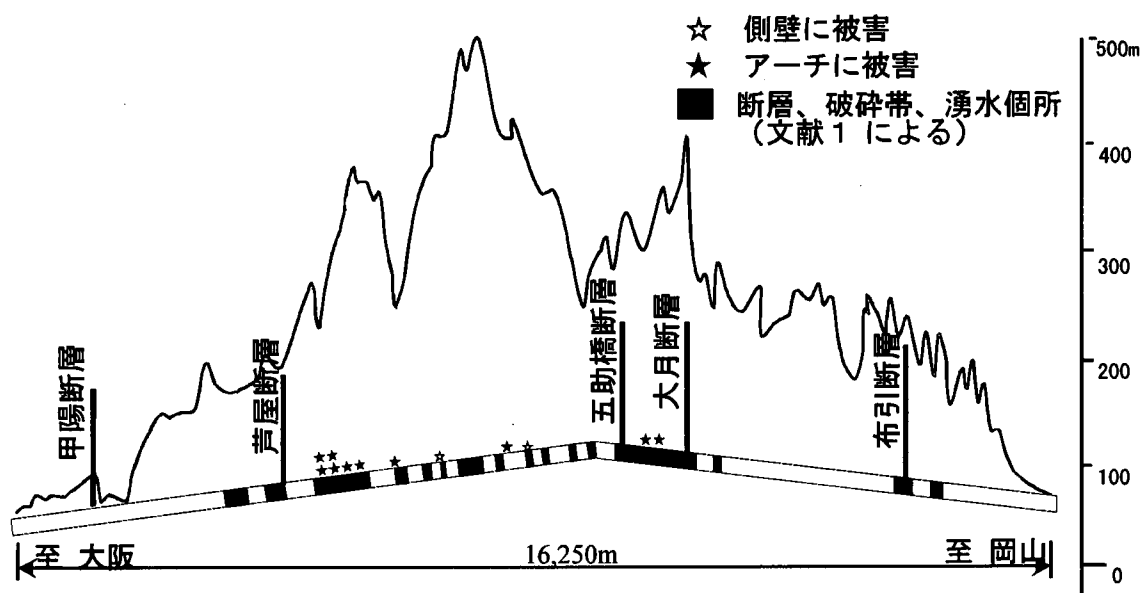


図-6.1.1 六甲トンネルの被害位置（縦断図）

主な被害内容は、1)アーチクラウン部のせん断ひび割れとその先端部の剥落、2)アーチ・側壁の打ち継ぎ目部での圧縮性のひび割れに伴う剥落、3)トンネル横断方向の打継目部の剥落に代表される。図-6.1.2 にこれらの被害を模式的に示す²⁾。いずれも強い圧縮力が覆工に作用したもので、被害形態の差異は、地震力の作用方向、地質条件およびトンネル覆工の構造条件によるものと推定される。

各損傷箇所の損傷程度により、はつり落としのみの箇所、表面処理を行う箇所、クラック注入及び断面修復を行う箇所に分けて対策を行った。断面復旧箇所については、必要に応じてロックボルトを打設、炭素繊維シート貼り付けを行った。

神戸高速鉄道大開駅は、開削工法により建設された地下駅であるが、ホーム階の中柱が圧壊したことにより上床版が折れ曲がり沈下し、直上の国道 28 号線に最大 2.5 m におよぶ陥没が生じる大被害を受けた。

被害状況を勘察した結果、地下駅の躯体は下床版を残して撤去し、側壁、中柱、上床版を改築することとした。設計に当たっては、運輸省から示された「鉄道復旧構造物の設計に関する特別仕様」に基づき、今回程度の地震に耐えられるよう構造計算を行った。特に、大被害の引き金となった中柱については、角形鋼管を用いて十分な変形性能を持たせた。

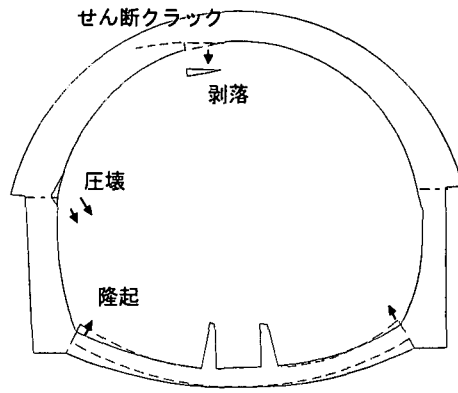


図-6.1.2 六甲トンネル被害模式図

神戸市営地下鉄の復旧復興は、被災を受けたRC中柱を被災の程度により4ランクに分類し、復旧工法の決定を行った。

6.2 復旧工法の検討および妥当性

6.2.1 六甲トンネル

アーチ及び側壁の目視検査、打音検査及び内空断面測定、中心線測定等の結果に基づき、各変状ごとに対策工法の検討を行った³⁾。

①覆工コンクリートの浮き、剥落

圧座を受けて覆工コンクリートに浮き、剥落が生じている場合、弱点箇所を外力が集中しているため、不良コンクリートのはつり落としを行う。その後巻き厚を確保するため断面修復工を行い、必要に応じて、既存の覆工と断面修復部分との付着を確保するためアンカーを施工する。

②覆工面のクラック

外力により生じたアーチ部の浮きとそれに伴ない発生するクラックに対し、脆弱部分をはつり落とし、ある程度構造物としての機能を保つようにクラック注入を行う。さらに覆工と地山の一体化を図るためにクラックの両側にロックボルトを打設する。

③側壁押し出し区間

浮きコンクリートをはつり落とし、列車走行時の風圧等を考慮し、樹脂モルタル等によりクラック開口部への注入を行う。その後断面復旧と必要に応じてロックボルト、炭素繊維シート貼り付けによる補強を行う。

6.2.2 神戸高速鉄道・大開駅

(1)復旧方針

a)被災状況の分析

今回の地震で大開駅が崩壊に至る破壊メカニズムを被災状況から想定したものが、図-6.2.1である。地盤のせん断変形により構造物が強制的にせん断変形を受け、高軸力状態の中柱が圧壊したことが、主たる要因である。復旧設計における耐震設計法は、このような地震時の地盤のせん断変形を考慮する設計法として一般的な応答変位法によることとした。

b)設計・施工の基本方針

復旧は、被害の大きさに鑑み、先ず運輸省に復

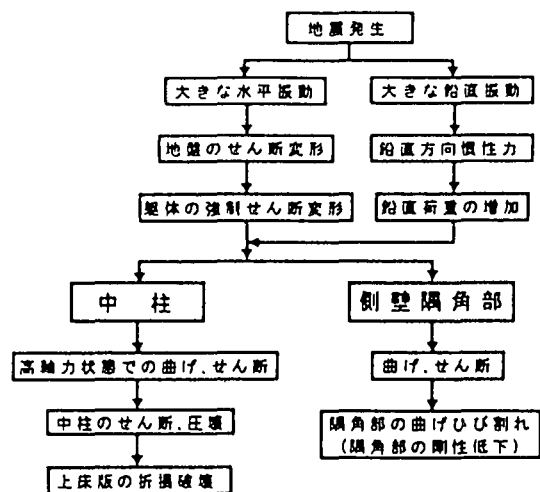


図-6.2.1 破壊メカニズムの概念

旧計画書を提出し、鉄道施設耐震構造検討委員会(以下、委員会と呼ぶ)で検討、承認された後、作業を進めることとなった。

被災直後は、復旧設計方針が固まっていないことから、段階的な復旧方法をとることとした。ただし、被害状況から、土留工を施工して上載土を取り除き、崩壊した上床版と圧壊した中柱および変形した側壁を取壊し撤去した後、再構築することとした。

すなわち、第一次復旧工事計画書(2月28日)で土留工の施工と掘削、上床版と中柱および側壁の取壊しが承認され、第二次復旧工事計画書(5月31日)で再構築の設計・施工法が承認された。再構築の設計は、4月に委員会がとりまとめた「阪神・淡路大震災に伴う鉄道復旧構造物の設計に関する特別仕様」(以下、特別仕様と呼ぶ)に基づくことになった。この耐震設計の考え方は、次の通りである。

- I) 耐震設計に用いる地震動は、兵庫県南部地震において基盤で観測された最大地震動を用いる。
- II) 耐震設計法は、応答変位法によることとする。また、鉛直地震動による荷重として、鉛直方向の慣性力を作用させる。
- III) 構造部材等の検討は、限界状態設計法によることとし、せん断耐力が曲げ耐力以上になるようにして十分じん性のある耐震性能を確保する。

(2)設計

a)設計の基本的考え方

開削トンネル等の地中構造物の耐震設計は、地震時の地盤変位を考慮する応答変位法が一般的であるが、構造部材の弾塑性挙動を考慮しても地上構造物のようにエネルギー吸収能で対応できないことなどが最大の相違点であろう。このため、降伏耐力を超えた終局耐力を考えるならば、解析手法は部材の非線形特性を考慮したものでなければならない。しかし、復旧設計に当たっては、復旧工事の工程を滞らせることのないよう、迅速に設計成果が得られなければならない。このため、解析が容易であること、設計方法の細部が確定されていないことを配慮して、線形解析によることとした。なお、事前の線形解析による概略検討によって、部材断面を殆ど変更なく設計できることが予想された。

構造物は、特に被害が見られない下床版と側壁下端を存置し、それ以外は全て取壊して再構築することとしたため、新・旧混在の構造で設計することになった。

b)設計条件

既存構造物の設計は、神戸高速鉄道東西線構造物設計示方書および計算基準により昭和37年に実施されている。今回の復旧設計における適用基準は、常時は、神戸高速鉄道東西線土木構造物設計基準(昭和58年)を用い、耐震設計は、特別仕様を基本に、建造物設計標準(基礎構造物、抗土圧構造物)(昭和61年)⁴⁾(以下基礎標準と呼ぶ)と鉄道構造物設計標準(コンクリート構造物)(平成4年)⁵⁾を、細部については「基礎・抗土圧構造物設計標準に関する委員会」資料を用いた。大開駅の新・旧設計条件の比較を表-6.2.1に示す。

表-6.2.1 大開駅新・旧設計条件の比較

項目		旧設計	新設計
設計法	常時	許容応力度法	許容応力度法
	地震時	無し	限界状態設計法
荷重	土圧	Rankine 主働土圧 (K=0.33)	静止土圧 (K=0.5)
	上載土	地下水位以上 $\gamma=1.6 \text{ t/m}^3$ 地下水位以下 $\gamma'=1.6 \text{ t/m}^3$	同左
	地震時	無し	地盤変位による水平土圧 上載土によるせん断力 鉛直慣性力 $K_v=0.35$
使用材料	コンクリート	躯体: $\sigma_{ck}=210 \text{ kgf/cm}^2$ 中柱: $\sigma_{ck}=240 \text{ kgf/cm}^2$	躯体: $\sigma_{ck}=240 \text{ kgf/cm}^2$ 中柱: $\sigma_{ck}=300 \text{ kgf/cm}^2$
	鉄筋	普通丸鋼 SS41	異形鉄筋 SD295
解析法		とう角法	変形法

今回の復旧設計では、高架橋の柱の耐震補強が鋼板巻き RC 柱としていることや高軸力部材の設計法が示されていないこともあり、圧壊した中柱は角形鋼管補強 RC 柱とした。また、地中構造物の今回の被害では主鉄筋の折曲げ始点付近でコンクリートのひび割れが顕著なことおよび施工性を考慮して、躯体の主鉄筋は直筋主体の配筋とした。

C)設計結果

I)地盤変位量

地盤条件と神戸ポートアイランドの地下83mの地震波から求めた図-6.2.2に示す速度応答スペクトルから計算した地盤変位量を図-6.2.3に示す。地表面の変位量 a_g が 8.1cm に対して上・下床版間の相対変位量 δ は 3.1cm である。

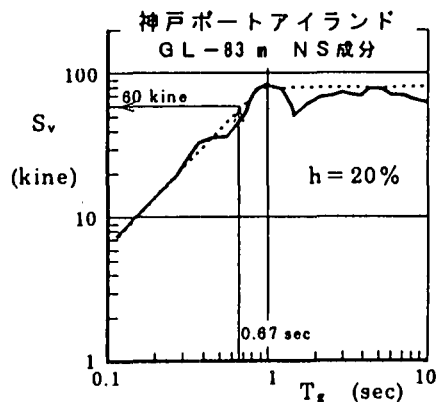


図-6.2.2 速度応答スペクトル

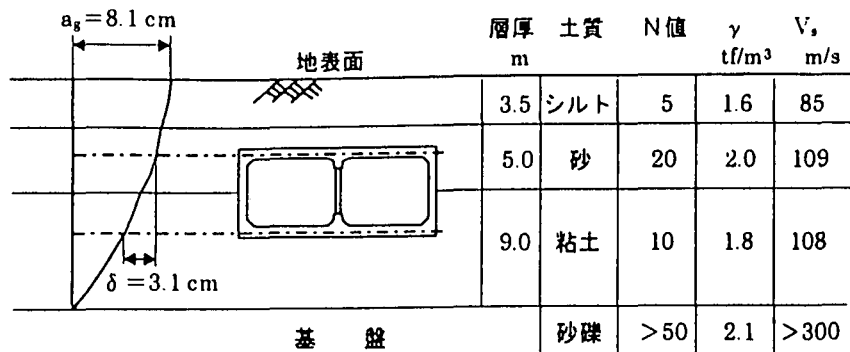


図-6.2.3 地盤定数と地震時地盤変位量

II)荷重および解析モデル

地震時の荷重および解析モデルを図-6.2.4に示す。鉛直震度は、水平震度の1/2、 $K_v=0.35$ とした。

III)断面力

地震時の曲げモーメントおよびせん断力を図-6.2.5に示す。地震時の曲げモーメントは、側壁上・下端隅角部が常時に比べはるかに大きく、耐力の向上を要することから、再構築する上床版および側壁は必要鉄筋量を配置し、側壁下端隅各部は鉄筋コンクリートの増打ちで耐力増加を図った(図-6.2.6)。

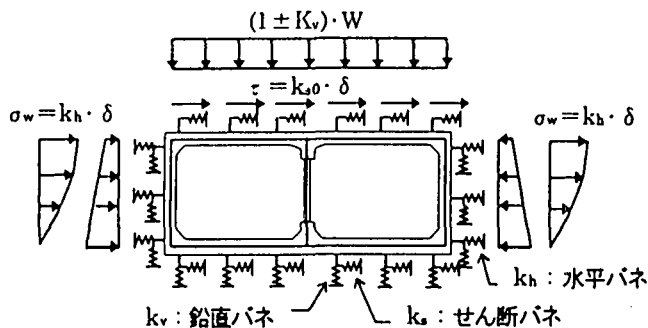


図-6.2.4 地震時の構造解析モデルと荷重

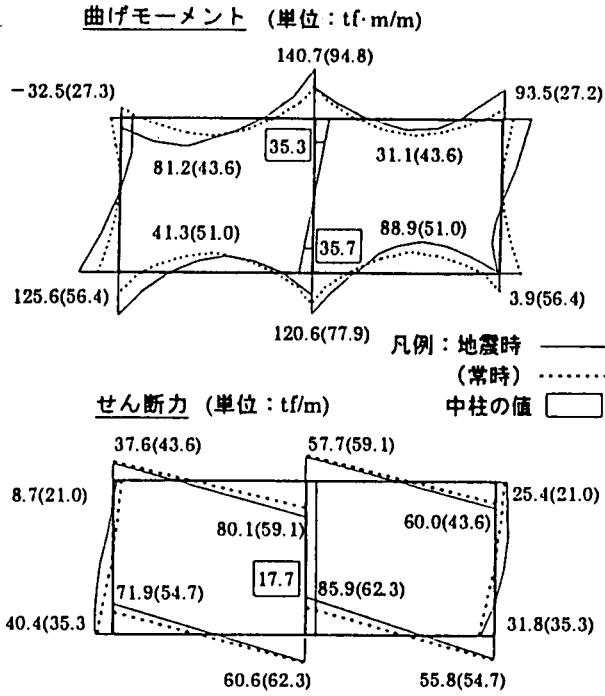


図-6.2.5 断面力分布

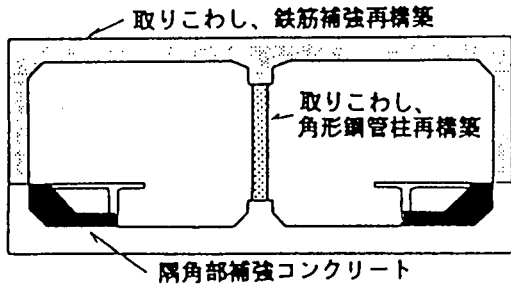


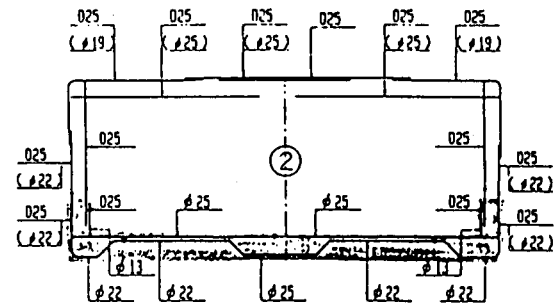
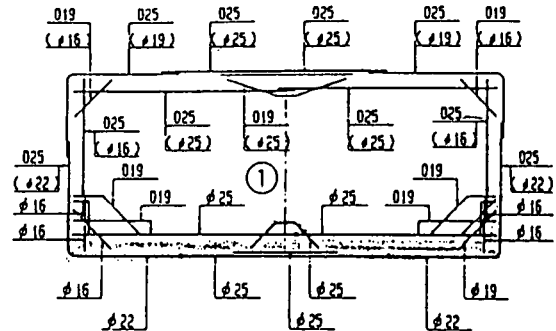
図-6.2.6 1層部再構築範囲

図-6.2.7 に配筋概要図を示す。せん断耐力向上のための帯鉄筋の増加も含めて、鉄筋量の増加率は、側壁で2.5倍、上床版で1.3倍、全体で1.5倍である。中柱の断面力は、3.5m 間隔であるので、1 柱当たり曲げモーメント $M_d=125.0 \text{ tf}\cdot\text{m}$ 、せん断力 $V_d=62.0 \text{ tf}$ である。旧断面の $0.4 \times 1.0 \text{ m}$ に対して、新設計では、図-6.2.8 に示すように、 $0.45 \times 0.45 \text{ m}$ の角形鋼管(厚さ 12 mm)を3本組合わせて耐力向上を図った結果、鋼管を帯鉄筋とみなした帯鉄筋比 P_w は 5.3 %で、せん断に対する安全性は問題ないものとなった。

6.2.3 神戸市営地下鉄

(1) 本復旧の基本方針の決定

本復旧の基本方針については、震災復旧対策技術委員会(神戸市設置)により審議した結果



- ・下床版等でφ〇〇と記してある鉄筋は、既設部材をそのまま利用するものである。
- ・上床版、側壁等で(φ〇〇)と記してある寸法は、撤去した既設構造物に配置してあった鉄筋の径である。
- ・鉄筋間隔: 125 mm c.t.c.

■ は既設コンクリート部分

図-6.2.7 配筋概要図

開削トンネルのRC製中柱および高架橋のRC製橋脚について、被害程度に応じた4ランクの復旧方法を決定した。この本復旧の方法については、最終的に運輸省の「鉄道施設耐震構造検討委員会」で承認された。その復旧方法を図-6.2.9に示す。

中柱本復旧の設計にあたっては以下の点に留意した。

(a) H鋼材とフラットジャッキ

鉄筋が屈曲しているランクⅠおよびⅡの中柱については、軸方向鉄筋の軸力分担を期待せず、鉄筋の代替

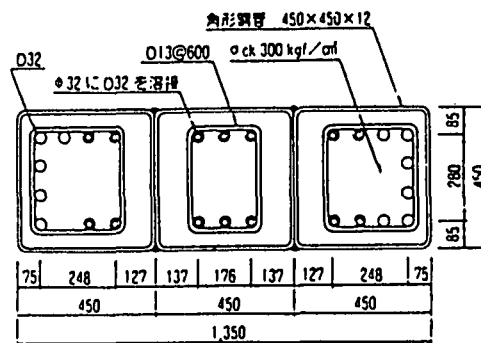


図-6.2.8 角形鋼管補強中柱構造図

被災程度	被災のイメージ	復旧の考え方
破壊 (ランクⅠ)		部材の破壊部を新設する場合 (被災前) (復旧後) 流動化コンクリート充填 充填 39-777* ϕ 13 補強鋼材 H-300 又はH-350 鋼板補強 t=6mm 鉄筋取り替え 帯鉄筋増加 ϕ 13@125 ϕ 9@125 ϕ 9@250
破損 (ランクⅡ)		破損しているが、破壊に至っていない部材を修復する場合 流動化コンクリート充填 充填 補強鋼材 H-300 又はH-350 鋼板修復 t=6mm 破損部修復
損傷 (ランクⅢ)		被災によるクラックを修復する場合 破損部修復 鋼板巻付 流動化コンクリート充填 充填 無収縮モルタル充填

※ ランクⅣ 軽微なクラックが発生しているものエポキシ樹脂等の注入による修復のみ

図-6.2.9 中柱の本復旧概要

としてH鋼材を建て込んだ。H鋼材には、フラットジャッキにより1本あたりに約25tのプレロードを作用させた。なお、屈曲した鉄筋は切断した後に、機械継手あるいはフレア溶接により新たな鉄筋を設置した。

H鋼材は軸力の伝達を考慮して、縦桁部分に建て込む設計とした。なお、縦桁のハンチ部分にH鋼材を建て込む場合、作用する軸力によりH鋼材に外方向の水平力が作用するため、その防止対策として鋼板に補強を施した。

(b) 鋼板被覆

被災した中柱は、今回の大規模地震による発生せん断力に比べてせん断耐力が不足していたため、被災したものと推測される。したがって、大きく被災したランクⅠ～Ⅲの中柱については、鋼板被覆（原則厚さ6mm）によるせん断耐力の向上を図った。さらにランクⅠおよびⅡの中柱については、被災箇所のはつり後に新しく設置する帯鉄筋の直径を13mmに、間隔を全て125mmとして、せん断耐力の一層の向上を図った。なお、柱隅角部の鋼板の曲げ加工半径は、角鋼管柱の事例を参考に、鋼板厚さの1.5以上とした。また、ホーム柱のように溶接の施工が困難な箇所では、鋼板の代替としてカーボクロスを使用した。

(c) PC鋼棒

柱寸法（矩形断面の長辺）が1mを越える場合で、はつらずに鋼板被覆する中柱については、中間帯鉄筋の代替としてPC鋼棒を打設した。また、PC鋼棒には鋼板の拘束力の向上を図ることも期待した。

(d) 無収縮モルタル、エポキシ樹脂

中柱と鋼板との間にエポキシ樹脂（離隔：4mm）を試験的に充填した。しかし、軸方向鉄筋の屈曲や被りコンクリートの剥離など、被災柱の寸法が画一でなかったため、鋼板加工やエポキシ樹脂充填厚さの管理問題や経済性などの理由により、無収縮モルタル（離隔：44mm）を充填した。無収縮モルタルの充填状況を判定するため、鋼板裏側の空隙を打撃調査やボアホールカメラにより確認した結果、かなりの空隙が確認された。そのため、エポキシ樹脂を2次注入した。なお、高架橋では鋼板被覆による補強が1脚のみで、軸方向鉄筋の屈曲がなかったため、エポキシ樹脂を空隙に充填した。

(e) 流動化コンクリート

ランクⅠの中柱のように、コンクリート部分をはつって鋼板被覆をする場合、新たに打設するコンクリートは、鋼板との空隙充填も兼ねるため、膨張高流動コンクリートを採用した。

(f) 塗装

鋼板の内面塗装は、エポキシ樹脂を充填する場合は接着性を考慮してジンクリッチプライマー、その他はエッチングプライマーとした。外面塗装は、駅部では鉛系サビ止めペイント2回塗りの上に長油性フタル酸樹脂塗料、軌道部では浸透性エポキシ樹脂（灰色）3回塗りとした。

(2) 復旧後の耐震性

大規模地震に関する動的解析および応答変位法により、復旧前の中柱の被災シミュレーションを行った結果、中柱の破壊は、せん断耐力不足によるせん断破壊先行型であった⁶⁾。なお、従来の耐震設計に用いられている中規模地震に対しては、発生応力度は割増された許容応力度以内となっていることも確認された。中柱のせん断補強後についても、同様のシミュレーションを行った結果、大規模地震に対しては中柱の発生せん断力はせん断耐力以内となり曲げ破壊先行型となることが確認された⁷⁾。

また、鋼板巻き工法の補強効果を確認するため、耐力および変形性能の試験を行った結果によると、従前に対して、じん性は約5倍程度以上向上したという調査報告結果が出ている⁸⁾。

これらのことから、鋼板補強した中柱は耐力および変形性能が向上して、今回と同様の大規模地震が再来しても、破壊されることがないと考えられる。

6.3 復旧過程

6.3.1 六甲トンネル（アーチ部の大断面修復箇所）

大断面の復旧箇所は、断面のアーチアクションの確保が困難な箇所を対象とし、断面復旧を行うと共に、覆工の補強対策として、ロックボルト及び炭素繊維シートを施工した。基本的な施工手順は以下のとおりである。①覆工コンクリートのはつり落とし、②クラック注入、③ロックボルト打ち込み、④樹脂系アンカー打ち込み、⑤溶接金網又は鉄線の取り付け、⑥無収縮モルタルによる断面修復、⑦覆工面シート貼り付けによる補強（炭素繊維シート2層）、という順序である。施工手順の概略を図-6.3.1に示す。

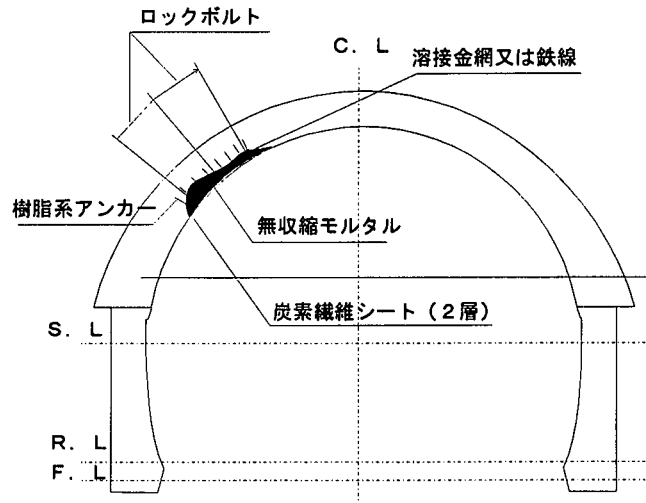


図-6.3.1 六甲トンネルの修復

断面復旧は、不良コンクリートのはつり落とし完了後、はつり面にプライマー塗布後、無収縮モルタルを用いて断面修復を行った。断面修復材料の選定に当たっては高分子モルタルと無収縮モルタルを対象として検討したが、覆工面との接着性、二次落下防止のための軽量性の観点から無収縮モルタルを採用した。また断面修復する際、修復規模が大きくなるとモルタルだけの接着力では、列車風圧等により落下する危険性があるため、既存の覆工との機械的な定着を図るため、樹脂アンカー及び溶接金網を使用した。

ロックボルトは、地山と覆工を一体化させることにより、アーチ効果の増大を図るほか、ロックボルトの軸力による内圧効果、地山改良効果を期待した。ボルト材料として、覆工アーチ部分はツイスト棒鋼(STD490)、側壁部分は異型棒鋼(SD345)を用い、定着方式としては、ロックボルトの先端と、全周の両方で定着を図る併用定着方式とした。引き抜き耐力は1本当たり 1.5 t 以上確保するものとした。ロックボルトのナットは今後の管理を考慮し、ゆるみ止めナットを使用した。

また、炭素繊維シートは引張力に強い ($35,500 \text{ kgf/cm}^2$) という特性があり、炭素繊維シートをロックボルトを補う目的で、クラック対策として採用した。トンネル覆工に水平方向に生じたクラックを補修対象とし、覆工表面に働く引張力に対する補強を行った。炭素繊維シートは覆工表面にプライマー (FR プライマー) 塗布後、樹脂 (FR レジン) により炭素繊維シートを貼り付け、覆工と炭素繊維シートの定着力を確保するため定着長 1 m 以上とした。

今後は、覆工コンクリートを含めたトンネルの全般的な管理、変状状況の追跡調査及び今回復旧工事に利用した材料の長期的管理を行っていく必要がある。特にクラックの進行状況、表面処理材の打音検査による落下対策、ロックボルト及びナットの緩み、炭素繊維シートの剥離、内空変位等については、計測管理を含めて長期的に対策を実施していくつもりである。

6.3.2 神戸高速鉄道・大開駅

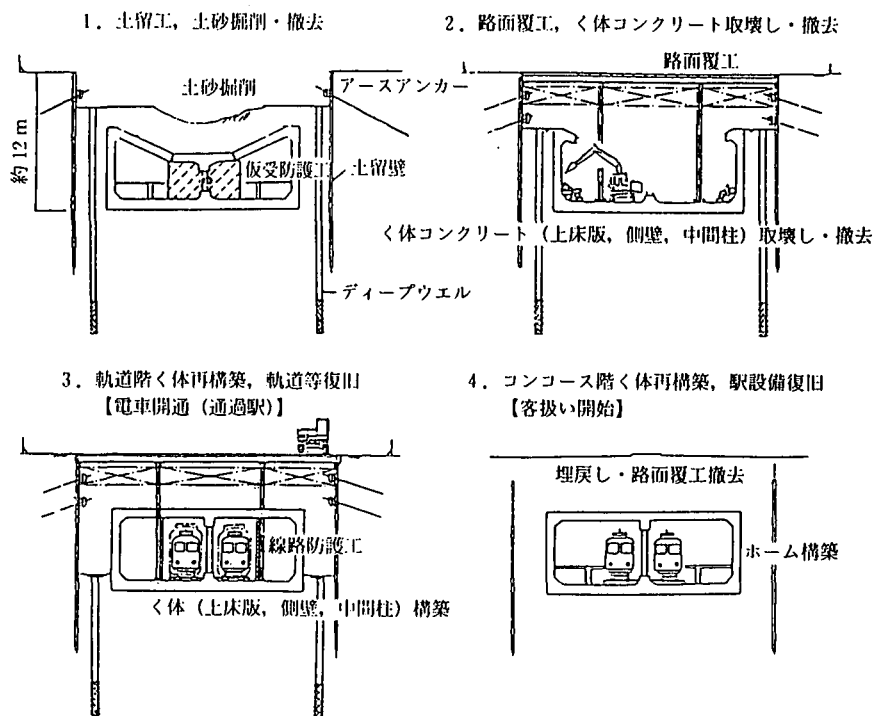


図-6.3.2 施工順序図

震災直後の緊急処置から復旧工事完了までの施工順序を図-6.3.2 に示す。以下、施工順序にしたがって復旧過程の施工状況を述べる。

(1)緊急復旧工

震災直後の最優先課題は二次災害の防止と、マヒしている道路交通を一刻も早く回復させることであった。地下では中柱が圧壊し上床版が折れて沈下しているため、余震および重機の重量や振動などによりこれ以上沈下陥没が進まないように、中柱付近の上床版折損箇所にエアミルクを打設し補強した。一方、路上では陥没箇所への進入禁止措置をするとともに、駅出入口の地上部分を撤去し、電柱を移設するなどして歩道を切削し、車道の拡幅を行って両側最外端部にそれぞれ2車線の通行を確保した。これらの緊急復旧工は約10日間で終了したが、震災直後から2月はじめまでの間はこれら以外にも破損した埋設管の応急処置、被害状況の調査、復旧計画の策定、作業員および資機材の手配と確保など課題は山積みであった。

(2)土留工

昭和37年の建設当時は親杭横矢板工法で施工されていたが、工期短縮と安全性などから柱列式地下連続壁(SMW)工法を採用した。削孔径 $\phi 600\text{ mm}$ 、芯材は長さ17mのH形鋼(H-350)とし4孔当たり3本を挿入した。建設当時の残存横矢板を避け、杭中心線は躯体端部から3mの離隔距離を取った。

道路の中央部を占用帯として確保しているものの中央部は陥没しており、杭打ち機を占用帯内に据えるのは危険と判断し、杭打ち期間中は片側1車線通行として道路を片側にそれぞれ切り替え、道路側に杭打ち機を据えて施工した。使用機械は三点式杭打ち機(DH608)と芯材設置用として50tクローラークレーンをセットでそれぞれ2台ずつ配置し昼夜で施工した結果、5,880 m^2 の地下連続壁を1ヶ月で完了することができた。

(3)土留支保工

土留支保工は、一般に切梁・腹起し方式が多く用いられるが、工期短縮が最優先であること、取壊し時の作業空間を十分に確保したいこと、中間杭の施工が困難なことなどの理由からグラウンドアンカー方式を採用した。しかしながら一部の区間では埋設物が支障し、1段目のグラウンドアンカーの施工が不可能であったのでやむなく切梁方式を採用した。この場合においても変則的であるが2段目はグラウンドアンカー方式とした。また、作業架台として一部路面覆工を行ったが、切梁および路面覆工の施工に伴い中間杭の施工が必要になり、深礎で堀下がつて上床版に孔を空け、中間杭を建込み下床版にボルトで固定した。

(4)地下水位低下

掘削の深さは約 12 m で、この程度の掘削深さでは 3 段支保工が一般的であるが、3 段目の支保工は側壁の取壊しの途中で設置しなければならず、工程的に不利と判断し、ウェルポイントにて土留背面の水頭を低下させ 2 段支保工とした。ウェルポイントは 1 段目と 2 段目のグラウンドアンカーの中間に設置した。

また、下部の掘削、取壊しに伴い躯体の載る洪積粘性土層下の砂礫層の被圧水により盤膨れが生ずるので、ホウソウ工法で $\phi 1000$ mm の削孔を 7 ヶ所行い、 $\phi 600$ mm、深さ 23 m のディープウェルを設置した。これから揚水される地下水には溶解性鉄分が 90 mg/l 程度含まれており、神戸市の排水基準を越えているためプラント処理を行った後、下水に放流した。

(5)掘削および躯体の取壊し・撤去

掘削は建設当時の埋戻し土であるマ土が主体であり、施工性は非常に良好であった。使用機械は、掘削深さが浅い段階では進入路を直接場内に造成し 0.7 m³ 級バックホウにてダンプに積込み、搬出した。また、掘削が深くなった段階では路面覆工上から 0.8 m³ 級クラムシェルで積込みを行った。天候に恵まれたこともあり、約 20,000 m³ の土砂を実質 2 ヶ月ほどで掘削、搬出できた。

4 月中旬には掘削に併せて 2 層構造部分の地下 1 階の取壊しを開始したが、取壊しの最盛期は地下 2 階部分を取り壊した、5 月末から 6 月末であった。取壊しの範囲は、下床版および側壁下部ハケ付近を除いた全てで、駅部に接続するトンネル一般部の被害状況と配筋上の問題を考慮し、駅部 120 m と一般部起点方 6.5 m、終点方 1 m とした。施工方法は、先ず縁切り工として、両端部を鉛直方向にワイヤソーで、側壁下部を水平方向にウォールソーで切断した。また、残置する下床版およびレールの保護のため鉄板、シートなどで養生後、エアミルクとコンクリートを打設してクッション材とした。取壊し作業は主にブレーカーと圧砕機によった。当初、1.6 m³ 級のジャイアントブレーカーを導入して昼夜兼行で行ったが騒音・振動が大きかったので 0.7 m³ 級の中型ブレーカーに変更するとともにブレーカーの使用は夜 10 時までとし、それ以降朝 6 時まででは小割り作業と鉄筋の切断を行うことにした。

普及工事に着手した時点から、過去に市街地でこのように大規模な地下構造物を取壊した例がないため、この躯体取壊しが最も困難であると予想され、工期の算定も非常に難しかった。しかしながら周辺住民の方々のお陰で、夜 10 時までブレーカーによる取壊しができたことが大きく、約 5,400 m³ のコンクリートを実質約 1 ヶ月で取壊し、撤去することができた。

(6)再構築

駅部の再構築は約 20 m ごとの 6 ブロックに分けて行うことにし、躯体の撤去が終了したブロックより中柱の施工を追いかけて行い、続いて側壁および上床版の鉄筋を組み、コンクリートを打設した。

中柱の施工は、先ず既存鉄筋を曲げ延ばし、鉄筋の不足分は既存下床桁にケミカルアンカーを増打ちしてこれらに新設の鉄筋をエンクローズ溶接した。次ぎに 1 辺 450 mm の角形鋼管を工場で 3 本接合したものを上から被せて建込み、中空にコンクリートを打設した。

側壁の新・旧接合部分の鉄筋の処置は中柱と同様である。側壁および上床版の構築は型枠工、鉄筋工、土工など 200 名を越える作業員が昼夜を徹して行い、鉄筋量約 400 t、コンクリート数量約 2,450 m³ の躯体を酷暑のなか僅か 7 月の 1 ヶ月で構築した。

8 月に入り型枠の撤去、清掃などを行った後、軌道整備や電気関係工事に併せて建築限界外にある中間杭に線路防護網を設置した。最後に、運輸省の所定の検査を受け、8 月 13 日には大開駅は通過ながら 208 日ぶりに運転が再開された。

6.3.3 神戸市営地下鉄

(1)応急復旧

被災した開削トンネルの中柱および名谷高架橋の橋脚のうち、鉄筋まで変状を受けたものについては、設計軸力相当以上の H 鋼で受け替え、また、コンクリートクラックのみのものについては、エポキシ樹脂の注入を行うことにより応急復旧を終え、地下鉄構造物の安全性を確保、併せて余震による二次災害防止、路面交通の安全性の確保をしたうえで開業し、営業しながら本復旧工事を行うこととした。地下鉄の応急復旧工事にあたっては資材の搬出入路、作業スペースなど、地下構造物ゆえの各種制約のなかで実施した

ければならなかった。さらに、直接被災しなかった電気室や換気機械室の機器類、軌道階の信号ケーブルやトラフ等を中柱の補修のために移設・防護するなど、作業は煩雑をきわめ、全線の応急復旧には約1ヶ月を要した。三宮駅および上沢駅では、中柱本復旧のための仮支柱を盛り替える必要があり、プラットホーム階から地下1階まで盛り替え用の支柱を柱と柱の間に設置する作業が必要となり、全線開通から1ヶ月半の時間を要した。また、資材の搬出入は、名谷車両基地からのモーターカーによる運搬だけでは能力に限界があり、工期を短縮するために、三宮駅と上沢駅については、駅出入口に斜路を設置することで人力によって行い、さらに三宮駅においては、道路敷内（小公園）にある建設当時の材料搬出入口を再度開削し利用した。

(2)本復旧

本復旧については、平成7年2月28日に運輸省により承認を受けた方法を基本に進めた。破壊（破損）した中柱については、破壊（破損）部を除去後、帯筋を増強した新しい柱を打ち替え、H鋼を添えた上で鋼板被覆を行う（写真-6.3.1～6.3.4：口絵参照）こととし、損傷した中柱については、損傷部を補修後、鋼板被覆、軽微なひび割れのみの場合は樹脂注入で対応した。全て営業線内での作業であり、駅部においては昼間時の施工が一部可能であったものの、軌道階の作業時間は営業終了後の深夜約4時間という制約のなかでの工事となった。さらに、三宮駅、上沢駅については、供用開始した後も引き続き工事を行ったため、乗客の安全を確保するための客扱いの場所と作業場所の区分および管理などにより、施工にかなり制限を受けたが、9月末にはおおむね作業を終了した。施工にあたっては、現場での作業時間を短縮するため、鋼板は全て工場加工することとした。

参考文献

- 1) 日本国有鉄道大阪新幹線工事局：山陽新幹線（新大阪～岡）地質図、1972年3月。
- 2) 財団法人鉄道総合技術研究所：鉄道報告 兵庫県南部地震鉄道被害調査報告書、1996年4月。
- 3) 西日本旅客鉄道株式会社：阪神・淡路大震災 鉄道復旧記録誌、1996年1月。
- 4) 土木学会：国鉄建造物設計標準解説、基礎構造物、抗土圧構造物、土木学会、1986年3月。
- 5) 運輸省監修：鉄道構造物等設計標準・同解説、コンクリート構造物、丸善(株)、1992年10月。
- 6) 佐俣千載・長光弘司・山本一敏・森伸治：阪神・淡路大震災に関する学術講演会論文集、土木学会、pp. 231-238、1996年1月。
- 7) 田尻勝・佐俣千載・志波由紀夫・坂下克之・渡辺和明：阪神・淡路大震災に関する学術講演会論文集、土木学会、pp. 239-254、1996年1月。
- 8) 鉄道施設耐震構造検討委員会：兵庫県南部地震による鉄道施設の被災に関する調査（中間整理）、1995年8月。