

阪神・淡路大震災における地下構造物の被害事例

RESEARCH ABOUT THE DAMAGE OF UNDERGROUND-STRUCTURES AT THE GREAT HANSHIN EARTHQUAKE

京都大学	大西 有三	Yuzo OHNISHI	*)
京都大学	田中 誠	Makoto TANAKA	**)
鴻池組	嶋村 貞夫	Sadao SHIMAMURA	***)
奥村組	中山 学	Manabu NAKAYAMA	****)

SUMMARY

At 5:46 a.m. on January 17 1995, the Great Hanshin Earthquake attacked Kobe Area and caused severe damages on the underground structures. For example, the center concrete columns of the DAIKAI STATION crumbled due to shear distortions.

In this paper, firstly the underground structures except for lifelines in KOBE area were classified by construction methods in conjunction with their damages.

It was found that the structures constructed by cut-and-cover method were the most severely damaged by the earthquake.

Secondly, for the effective and safe utilization of urban underground space, the lessons learned from the earthquake damages and the subjects to be studied in future were shown.

Keywords : Great Hanshin Earthquake (阪神大震災) , underground space (地下空間)

1. はじめに

1995年1月17日未明に襲来した兵庫県南部地震が及ぼした被害は多岐にわたる。その中で神戸高速鉄道大開駅部の崩壊事例に代表される地下構造物の被害に対し、「地下空間の神話は崩れた」とセンセーショナルな報道がなされて以来、地下の安全性について問い直されている。

本稿では、阪神・淡路大震災における地下構造物の被害事例のうち、ライフライン系(上・下水道、電力施設、ガス施設、通信施設等)を除き、「人間が入れる断面を有する空間」を検討対象として、施工方法別に分類し、どの程度の被害が発生したかについて概観する。次に、今後の有効かつ安全なる都市内の地下空間利用のために今回の震災から学んだ教訓からさらに検討すべき課題について述べる。

2. 被害状況

現時点では、中規模で決して大規模でない普通の地震であるにもかかわらず激甚災害を引き起こした原因として、地形の影響で局部的に増幅され、大きな地震動となった点等が考えられている。詳細な知見は今後の研究成果に待つとして、本稿では、各地下構造物の施工方法を基軸に被害状況を整理するものとする。

1) 開削工法による箱型断面トンネル

地下鉄駅部を中心に大きな被害が発生したが、営業線全体を対象とすると被害には地域性がある。

2) 山岳トンネル(ブロック積み、矢板工法、NATM)

被災地域内には、100本以上の山岳トンネルがあったが、20本あまりが何らかの被害を受け、補強、補修を必要としたトンネルが約10本であった。

3) シールドトンネル

被害は地上部に較べると、軽微なものであった。

*) Prof., School of Civil Engineering, Kyoto UNIV., Yoshidahonmachi, Sakyo-ku, Kyoto 606, Japan

**) Instructor, School of Civil Engineering, Kyoto UNIV., Yoshidahonmachi, Sakyo-ku, Kyoto 606, Japan

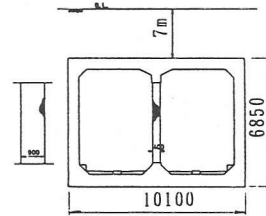
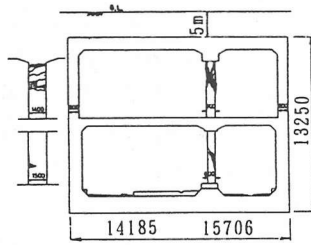
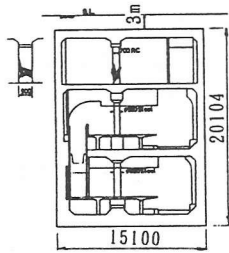
*** Manager, Civil Engineering Dept., Konoike Construction Co., Ltd., 3-6-1, Kitakyuhoji-machi, Chuo-ku, Osaka 541, Japan

**** Manager, Civil Engineering Dept., Okumura Corp., 2-2-2, Matsuzaki-cho, Osaka 545, Japan

表-1 開削による箱型断面トンネルの被災状況

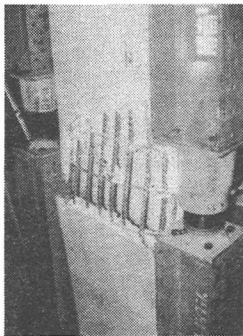
	被災構造物と概要
1. 神戸市営地下鉄道	①板宿～新神戸 8.8km（震度7の激震地域） 合計約1.4kmの部分において箱形トンネルのRC製中柱がせん断破壊^{*1)} 中柱総本数約3600本に対し、鋼板巻きなど何らかの補強を要した柱が約270本、軽微なクラックが生じた程度でエポキシ樹脂等による注入のみの柱が180本 [駅部] 9駅の内3駅でRC製中柱のせん断破壊^{**1)} (新神戸、三宮、県庁前、大倉山、湊川公園、上沢、長田、新長田、板宿) ・三宮駅(310m)……………RC支柱60本が破損 ・上沢駅……………RC支柱91本が破損 ・新長田駅……………RC支柱8本が破損 [駅間部] ・上沢駅の東西線路部……………RC中柱27本が破損 ・新長田駅の東線路部……………“ 64本が ”
2. 神戸高速鉄道 及び阪神電鉄	②板宿～西神中央13.9kmは、被害なし。 ③(阪急三宮)～高速神戸 2.2km ④(阪神岩屋)～阪神元町～高速神戸 4.8km ⑤高速神戸～(西代) 3.5km [駅部] 9駅の内2駅で被害^{*2), *3), *4)} (春日野道、阪神三宮、阪神元町、西元町、花隈、高速神戸、新開地、大開、高速長田) ・大開駅……………地下ホームのRC支柱約35本が潰れ、天井が120mにわたって崩壊、これに伴い地表の国道が最大3m陥没。 ・高速長田駅………地下ホームでRC支柱5本が破損 [駅間部] ^{*3), *5), *6)} ・大開駅西側……………530mの範囲でRC中柱220本が損壊、側壁の下端のはらみ出し ・大開駅東側……………RC中柱が破損、側壁には最大12mm幅の縦断方向クラック ・岩屋～三宮………岩屋側トンネル入口から約400mにわたって箱型断面の上部ハンチが崩落。RC中柱も一部損壊。

構造形式及び被災状況

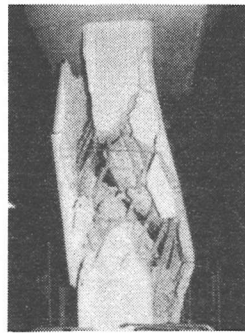


新長田駅東線路部
中柱の被害状況

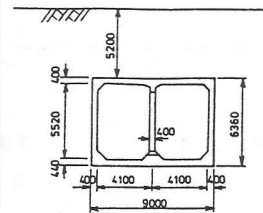
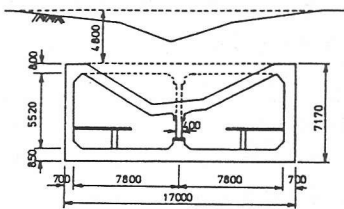
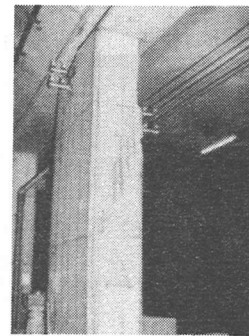
三宮駅構内の中柱の被害状況



上沢駅構内の中柱（上層階）



上沢駅構内の中柱（下層階）



大開駅の被害状況

大開駅西側の被害状況

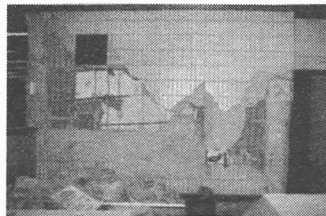


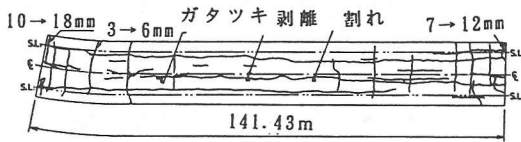
表-2 山岳トンネルにおける被災状況

	被災構造物と概要
鉄道トンネル 1. JR西日本 ^{(*) (○)} 2. 神戸電鉄 3. 北神急行電鉄	・六甲トンネル …アーチ部覆工に多数のひび割れが生じ、剥離・剥落したが、幸い被害の程度は甚大なものではなく、懸念された崩壊や断層のずれといった被害は生じなかった。 ・神戸トンネル …アーチ部の覆工コンクリートに若干の剥落が生じたが軽微な被害で済んだ。 ・会下山トンネル …アーチ部コンクリートブロックに数本のひび割れが生じた。なお、東山トンネルでは坑口部の壁面の既往クラックが開口する被害も見受けられた。 ・東山トンネル ・北神トンネル …アーチ部の覆工コンクリートに若干のひび割れと剥落が生じたが、被害は軽微であった。
道路トンネル^{(*) (○)} 1. 兵庫県道路公社 2. 神戸市道路公社 3. 日本道路公団 4. 阪神高速道路公団	・盤滝トンネル …断層、破碎帯でRC2次覆工のコンクリートが一部(1766m) 剥離し、鉄筋が露出、トンネル横断方向に微小クラックが発生。 ・布引トンネル …断層破碎帯部でアーチ・側壁の打ち継ぎ目部に幅最大80cm、長さ5mの剥離が生じた。 - 供用区間延べ3428mでは、被害は見当たらなかった。 - 供用区間延べ4690mでは、被害は見当たらなかった。
水路トンネル^{(*) (○)} 1. 神戸市 2. 兵庫県	・塩屋谷川放水路トンネル …横尾山断層を横切る箇所で覆工コンクリートにひび割れが生じ、約8cmのずれが生じた。 ・会下山トンネル …煉瓦積み覆工のトンネルであるが、煉瓦表面の剥離・剥落が生じ、下流側坑口が崩壊した。

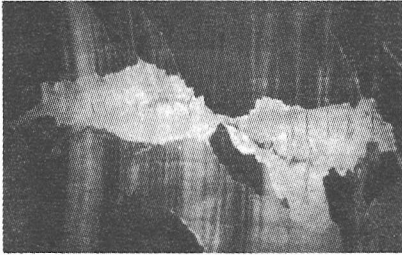
表-3 シールドトンネルにおける被災状況

	被災構造物と概要
1. 関西電力 ^{(*) (○)}	磯部通シールド(φ4,000mm 延長931) 到達立坑にひびわれ発生、発達立坑付近の急曲線部(R=20m)の長さ11m 地震当時施工中であり、一次覆工(コンクリート製、急曲線部のみ) …の一次覆工の軸方向継手部のコンクリートが剥落その他の一次覆工(残り920m)には被害なし (スチール製)と一部インバートコンクリート施工済の状態
2. NTT ^{(*) (○)}	直径約4m(神戸市内約7km) …数ヶ所の坑口部のアーチ天端部にクラックが認められ、湧水があるものの本体には何等被害はない
3. 下水シールド	約φ4m程度のシールドトンネル [スチールセグメント+ …二次覆工に輪切り状のクラックや コンクリート二次覆工] …両肩部にトンネル軸方向のクラックが発生しているものもある。

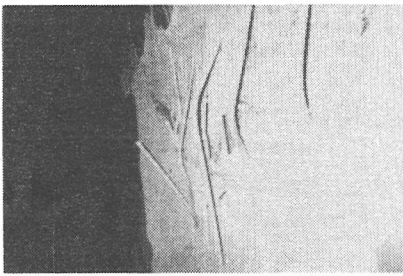
構造形式及び被災状況



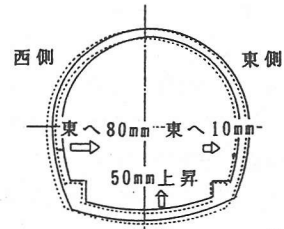
東山トンネルのクラックマップ



コンクリートの剥離（盤滝トンネル）

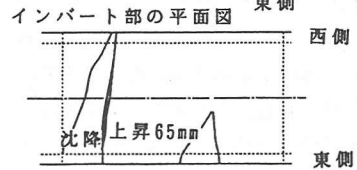


覆工鉄筋の屈曲状況（盤滝トンネル）



トンネル横断方向の変状 地震前
—— 地震後

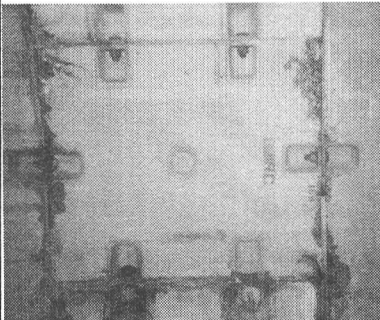
側壁からアーチ部の展開図



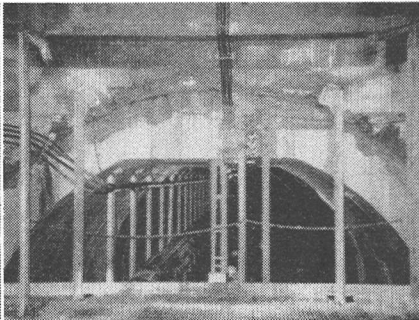
クラックマップ

塩屋谷川放水路トンネル

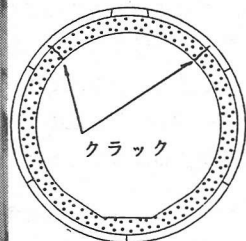
構造形式及び被災状況



R/Cセグメント軸方向継手部の
コンクリートの剥離



立坑とシールドとの取り付け部の
コンクリートの剥離



二次覆工両肩部の
トンネル軸方向クラック

3. 被災状況のまとめ

表-1～3より、以下の事項がうかがわれる。

1) 開削工法の場合

- ① 矩形断面の地下構造物では、10 % 程度の中柱で被害が生じたが、側壁は一部の被害であった。
- ② 神戸高速鉄道では、大開駅部で中柱が崩壊し、天井の崩壊により地上の路面が陥没した。また、隣りの高速長田部駅でも中柱の被害が見られた。近接する神戸市営地下鉄の上沢駅でも中柱の被害が発生した。

駅部では側壁と中柱間の距離が一般部より長いので被害が顕著であったが、大開-高速長田間の一般部でも被害が見られた点、建物の崩壊により入院患者が閉じ込められた神戸市立西市民病院が近くに立地している点から判断すると、地震動の特性、地盤特性が被害に大きな関係があるものと思われる(図-1参照)。

- ③ また、三宮駅付近においても、神戸市営地下鉄の駅部の地下2階機械室のRCの中柱を中心に被害が発生した。図-2で示すように、付近は、神戸市役所の旧館をはじめとした建築物の崩壊が多く見られた地区である。この中で地下構造物としての地下街、地下駐車場、電力管路、通信管路の被害は簡単な補修で済む程度であった。

特に、地上では被害が甚大であったにもかかわらず、地下街、地下駐車場のような平面的に広がりを持つ地下構造物にはほとんど被害がなかった。形状、構造、土被り等との関係についての検討がなされるべきと考える。

2) 山岳トンネルの場合

- ① 1本のトンネルのごく一部でコンクリートの剥落が見受けられたが、地山の崩落はなかった。
- ② 残りのトンネルでは、クラック程度であり、運行不能になる程の震害は発生せず、一部不通時に補修する程度であった。

3) シールドトンネルの場合

- ① 円形断面であるため、矩形より構造的に有利であり、機能に影響を与えるような被害はなかった。
- ② 二次覆工コンクリートに輪切り方向、管路軸方向のクラックが生じたが、耐荷力には問題はなかった。しかし、耐久性については検討する必要がある。

4. 今後の課題

① 設計面

地下構造物といえども水平震度だけでなく変形を含む地盤振動特性を十分に考慮した適切な耐震設計が必要である。

② 防災面

地震の発生した時刻が早朝であったので地下街で火災は発生せず、大きな人的被害はなかった(但し、大開駅では走行中の列車に間一髪で被害が起ころうとしていた)。

したがって、火災等の防止(ハード面)だけでなく、非常時の人の動きの数値シミュレーションを通じて人間の命を一番大切なものとしてパニックによる二次災害を防止するシステムの構築(ソフト面)にも努めるべきであると考えられる。

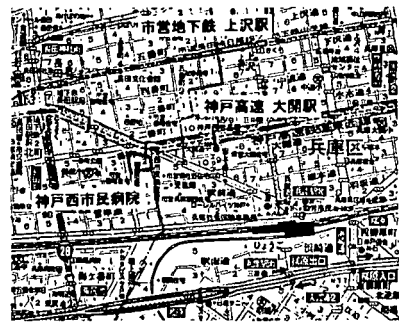


図-1 大開駅付近平面略図

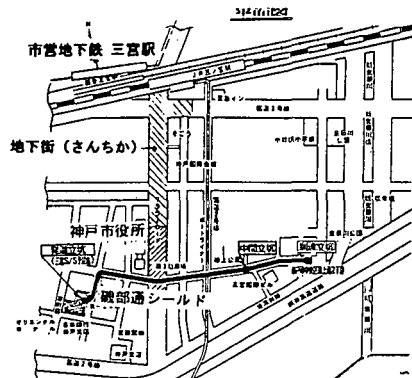


図-2 三宮駅付近平面略図

(参考文献)

- 1) (社)土木学会：土木学会誌、1995. 9
- 2) (社)土木学会：阪神大震災被害調査緊急報告会資料、1995
- 3) 神戸大学：兵庫県南部地震緊急被害調査報告書(第2報)、1995. 3
- 4) 朝日新聞・夕刊：1995年2月26日
- 5) 日経コンストラクション：NIKKEI CONSTRUCTION、1995. 8. 11
- 6) 朝倉俊弘：JTA "Tunneling in Japan"(96)