

1. まえがき

兵庫県南部地震による地下鉄トンネル被害を地盤に着目して調べ、被害機構等の考察を行ったので、その結果を報告する^{1) - 3)}。

2. 地下鉄トンネルの被害と地盤の関係の考察

表1に文献^{4) - 8)}をもとに主なトンネル被害をまとめ、被害状況と地盤との関係等を考察する^{1) - 3)}。

表1 地下鉄トンネルの被害と地盤

被害箇所	被害状況と地盤状態等
(1)地下鉄三宮駅	駅構内地下1階のRC製支柱に北上より北に下がる斜め亀裂が発生する ^{2) 9)} 。駅は玉石地帯の南端部の古海岸線付近にあり、南側の砂・粘土層との境界部 ²⁾ に位置する。支柱の斜め亀裂から駅の北側の地盤が北側から南側に強く動いたことが推定される。この地盤の動いた方向はJR・阪急両三宮駅建物の壁面の北上より北に下がる斜め亀裂や付近の加納町・生田架道橋等の北側への傾斜、移動等から推定される方向と一致する。なお、全長306mの東側部分は明治初頭まで旧生田川河道であり、中柱の被災度は駅中央よりやや西寄りの位置を中心とする100m程度の区間において高い ⁷⁾
(2)上沢駅	駅構内の中柱に北上から南に下がる斜め亀裂発生し、鉄筋むき出しとなる ⁹⁾ 。纏文海岸線(古海岸線)付近にあり、図1 ^{9) 9)} 、3 ^{2) 3) 4) 7)} に示すように、駅の東寄りの南側に元溜池があり現在は埋立地である。上沢駅は大開駅の北西にあり、図5の地盤標高線をみると両者は同じ尾根筋にある。ここでは、埋立土層が地震のとき北側に動いて駅構造物に強い衝撃的な力を与えたこと等が考えられる。
(3)上沢駅・長田駅間	両駅間の線路部トレの内、上沢駅西側のトレの被害も比較的大きい ⁷⁾ 。図1 ^{9) 9)} の地盤標高線をみると、被害区間は長田駅と同じ尾根状地形である。
(4)長田駅・地下鉄新長田駅間	両駅間の線路部トレの内、新長田駅端部から東へ約250mの地点から延長150m前後の区間で、多くの中柱の上端付近に損傷発生する(但し、破壊せず) ⁷⁾ 。被害区間の東側の元溜池の埋立土層あるいは(5)の駅と同様な地盤状態等が被害に関係したことが推定される(位置は図1 ^{9) 9)} 参照)。
(5)地下鉄新長田駅	駅構内の中柱の被害も比較的大きく、亀裂が発生する ⁷⁾ 。このすぐ南側に被害を受けたJR鉄道盛土があり、両者は南側の砂州と北側の粘土多質地の境界部の後者に位置する ⁹⁾ 。ここでは両地盤の動きが違って不同変位が発生して被害が生じたこと等が推定される(位置は図1参照)。
(6)新開地駅・大開駅間	両駅間の線路部トレの左右側壁にトレ軸方向の亀裂れが全長の9割で発生する ⁷⁾ 。特に、大開駅東端より130m~391m間で断続的に大きいひび割れが発生し、側壁が内空側にはらみ出すとともに、中柱の上下端部にも損傷が発生する ⁷⁾ 。図1 ^{9) 9)} の地盤標高線をみると被害区間は長田駅と同じ尾根状地形内にある。
(7)大開駅	駅構内の中柱の斜め亀裂は駅の東側で北上から南に下がり西側で北上から北に下がる ^{1) - 4)} 。図2 ^{1) - 4)} をみると、地上の東側の北側にサ大開ガザルがあり西側の南側に建物Aがあり、さらに終点寄りの南側に県営大開7A-1がある。地盤は上下逆転型地盤である ²⁾ 、砂質土層下の粘性土層は北側が厚くトレボックス底部にもある ⁴⁾ 。直上の国道上の街路灯が北側に傾斜するとともに、高速長田側の換気塔V12(図2)が施工継ぎ手位置からずれ上部が山(北)側に移動する ^{2) 8)} 。従って、地震時に地盤内の粘性土層を境に上層の砂質土層が南側あるいは北側に動いたとき、基礎のしっかりした建物が不動点の機能を発揮したため砂質土層がトレに強い衝撃的な力を与えて、酷い被害が発生させたこと等が推定される ²⁾ 。
(8)大開駅・高速長田駅間	両駅間の線路部トレの中柱に斜め亀裂等の被害が発生する。大開駅寄りの損傷度が高く上スラブが南側により大きく相対変位した形跡がある ⁷⁾ 。高速長田駅の東50m地点の中柱下端の被害箇所 ⁷⁾ の北側には元溜池があり現在は埋立地である(図1 ^{9) 9)})。南側の側壁下部ハンチと側壁間のコンクリート打ち継ぎ目に水平ずれが生じ、側壁下端が内空側に押し出された。それは大開駅よりの全長の約半分の長い区間で断続的に発生した(延長495m)。北側の側壁上部ハンチに沿ってトレ軸方向の小さな亀裂れも発生する ⁷⁾ 。被害区間は図1の地盤標高線をみると大開駅と同じ尾根状地形内にある。
(9)高速長田駅	駅構内の大開駅よりの区間で、中柱に北上から南に下がる斜め亀裂が発生する ⁷⁾ 。図1 ^{9) 9)} をみると、地盤は駅の西側半分が南北に長い元溜池の埋立地で、東側半分の北側が元溜池の埋立地である。
(10)高速長田・西代間	高速長田駅西端より西側100mの区間のトレの中柱に被害が発生する ⁷⁾ 。図1 ⁹⁾ をみると、この区間は駅・新湊川間の元溜池の埋立地を通過している。(9)と(10)の両トレでは、埋立土層(あるいはその下の特異な構成土層)の動きが被害発生に関係していることが推定される。
(11)山陽電鉄西代地下駅	地上駅の前の地下に構築中であり、軌道階の中柱に北上から南に下がる斜め亀裂が発生する ⁹⁾ 。図1、3に示すように駅の北側に元溜池があり現在は埋立地である(地名は蓮池)。ここでは駅の北側に立体交差道路があり、この重量のある道路が不動点の機能を発揮したため、南側の地盤から強い衝撃的な力を受けて地下駅が被害を受けたこと等が推定される。
(12)阪神岩屋駅・春日野道間	両駅間の線路部トレの内、岩屋駅付近で入り口から約400mにわたり、上部ハンチのコンクリートが剥落し、上下線間のコンクリート中柱も損傷する ⁷⁾ 。なお、現地をみたところトレ入り口手前の北側の切取土留擁壁が線路側に僅かに傾斜し、脇の道路が沈下しており、ここでは地盤が南側に動いたことが推定される。

3. あとがき

以上のように地下鉄トンネル被害は埋立地等で多くみられ、そこでは埋立土層がトンネルを強く押すように動いたため被害が生じたこと等が推定される。特に顕著な被害箇所では脇に比較的大きくかつしっかりした杭基礎等をもつ建物等があり、それが不動点の効果を高めたこと等が推定される。なお、六甲山斜面の傾斜方向の南北に力を受けたものが多いし、地盤も砂・礫土層の下に軟弱粘性土層がある上下逆転型地盤が多い^{1) 2)}。おわりに、以上の調査でお世話になった梅原俊夫鉄道公団調査役、佐俣千載神戸市交通局課長、中村晋佐藤工業(株)主任研究員他多数の方々に、厚く御礼を申し上げます。

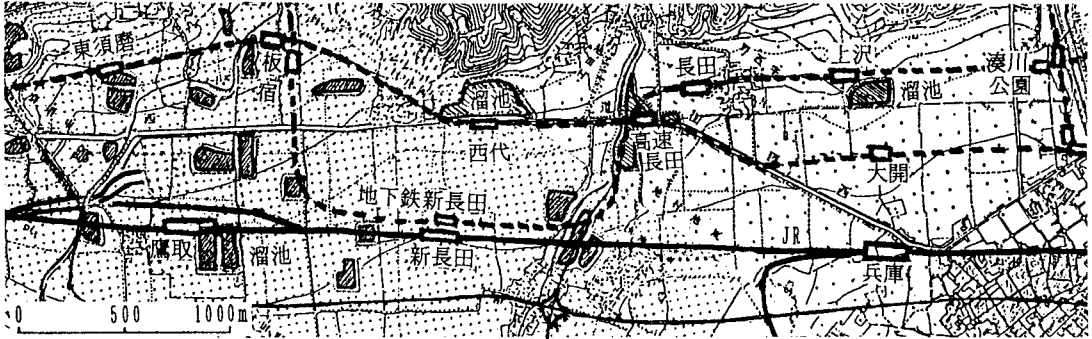


図1 兵庫～須磨の旧版地形図⁹⁾と地下鉄線路等³⁾

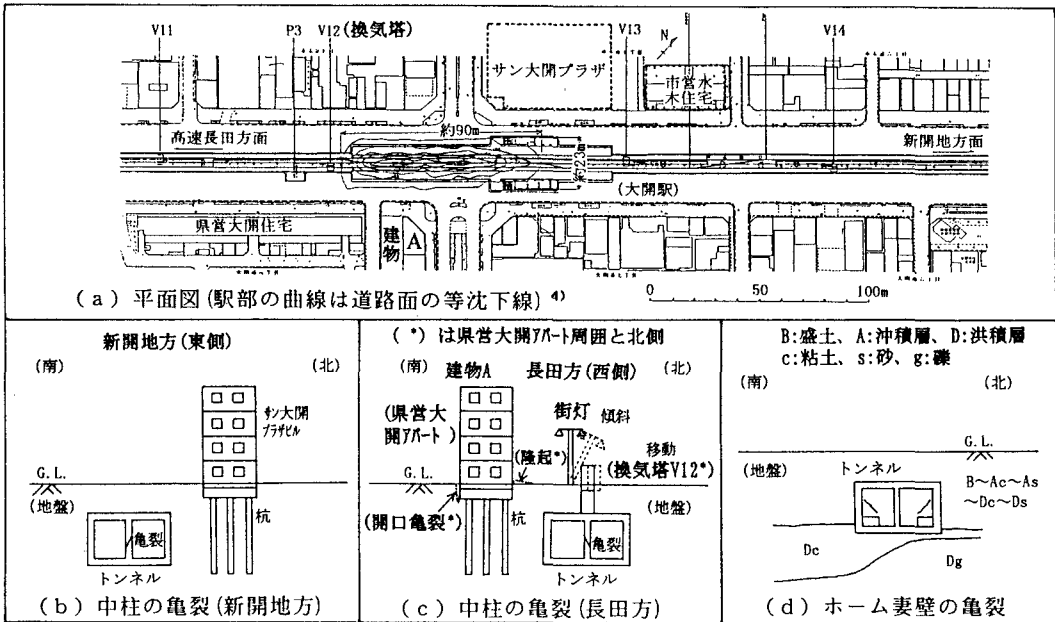


図2 大開駅の変形模式図(文献¹⁾⁻⁴⁾をもとに作成)

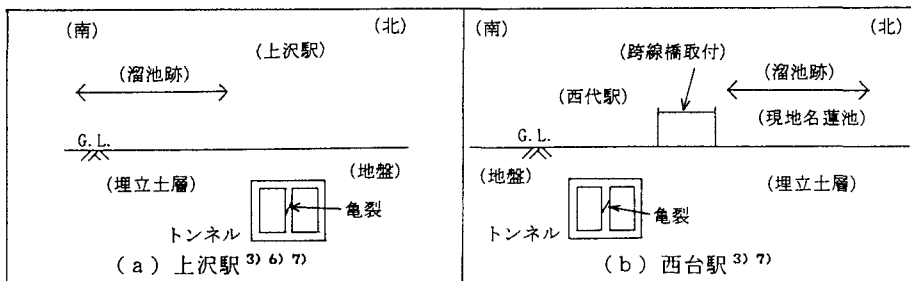


図3 上沢駅と西台駅の変形模式図(文献^{3) 6) 7)}をもとに作成)

参考文献 (1)那須：兵庫県南部地震による構造物の被害と地盤の関係、第23回土木学会関東支部技術研究、88/9、1996.3. (2)那須：阪神・淡路大震災への地盤の影響と被害機構の推定(その2)―土構造物と地下トンネル、第31回地盤工学研究、1235/1236、1996.7. (3)那須：兵庫県南部地震と地盤の関係、第15回日本自然災害学会学術講演会、13/4、1996.11. (4)神戸高速鉄(佐藤工業㈱)：兵庫県南部地震による神戸高速鉄道東西線大開駅の被害状況報告書、1995. (5)佐俣・水口他：神戸市営地下鉄三宮駅の被災原因の検討、阪神・淡路大震災に関する学術講演会、227/230、1996.1. (6)佐俣・長光他：非線形応答変位法による地下鉄駅舎の被災メカニズムの考察、出典は(5)と同じ、231/238、1996.1. (7)地盤工学会編：阪神・淡路大震災調査報告書(解説編)、453/464、1996.3. (8)中村・末富他：地震被害に基き神戸高速鉄道・大開駅周辺地盤の変形推定、第31回地盤工学研究、275/1276、1996.7. (9)地形図、1:2万、1885年測量、須磨村、1886年測量、兵庫。