

I-845

1995年兵庫県南部地震による地下鉄駅部の被害シナリオ

熊谷組技術研究所 正会員 鈴木 猛康

1. まえがき

1989年ロマ・ブリエタ地震の際は、被災したFreewayの代替交通手段としてBARTが大きな役割を果たし、地下構造物は地震に強いことを実証した。しかし1995年兵庫県南部地震では、重要なライフラインとしての役割を担うべき地下鉄が、とくに大開駅で崩壊し、大きな社会問題となった。本稿では大開駅で行った調査より大開駅の被害シナリオを想定し、これを数値シミュレーションで検証することを試みたので報告する。

2. 大開駅の被害

大開駅では、駅ホーム階において高速長田駅側の中柱の約10本が完全に崩壊し、駅部の約半分の長さに亘って上床版が崩落、地上の大開通りに大きな亀裂と共に陥没が発生した。図-1に駅部崩壊の概念図を示す。中柱の完全崩壊部では、中柱の主鉄筋が座屈して大きく右あるいは左に湾曲し、上床版の梁が若干北側へずれた状態でV字に折れ曲がって崩落した。この完全崩壊部の前後では、柱頭部あるいは柱脚部で中柱がせん断破壊している部分が確認された。また図-1の崩壊部の右端では、柱頭部あるいは柱脚部で中柱が軸力によって圧縮破壊し、主鉄筋が全周に亘って外側へはらみ出した破壊モードとなった。大開駅の西の高速長田駅では、中柱柱頭部でせん断破壊が発生し、被りコンクリートが剥落し主鉄筋が断面左右へと座屈しているものが見られた。この被害状況がもう少し進行したものが大開駅の崩壊と考えられ、大開駅の地震時初期の状況と考えることができよう。

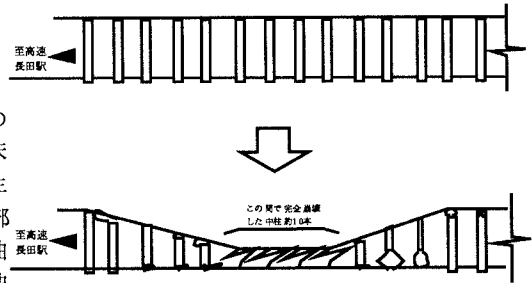
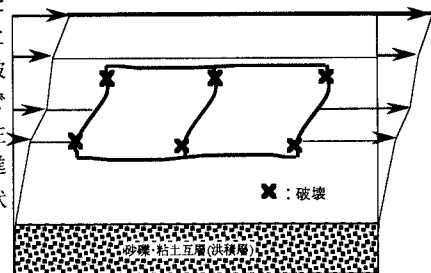


図-1 大開駅ホーム階の被害模式図



3. 被害シナリオの想定

上記の被害調査結果より、図-2に示すような大開駅被害のシナリオを描くことができる。駅部断面が地盤のせん断振動により大きくせん断変形をした結果、まず中柱の柱脚部および柱頭部において曲げ、せん断破壊が生じる。側壁にも上部、下部に大きなせん断力、曲げモーメントが発生して破壊が生じさらに大きなせん断変形を強いられる。次にほぼ側壁と同程度の軸力を分担していた中柱の軸耐力の大幅な低減に伴い、上床版に大きな曲げモーメントが発生し上床版が下方向に変形し、中柱が完全崩壊に至り、上床版が崩落する。完全崩壊部の両側、とくに新開地側では、中柱のせん断破壊はまぬがれたが、この上床版の崩落とともに中柱に大きな軸力が加わり、圧縮破壊を起こすことになる。上床版の変形が進むに従い、駅部上部の埋め戻し土砂が崩壊して亀裂が入り、駅部の上に土塊が上載された状態となる。したがって、土砂は連続性を失い、上床版の変形とともに崩落、道路に陥没を発生させることとなる。

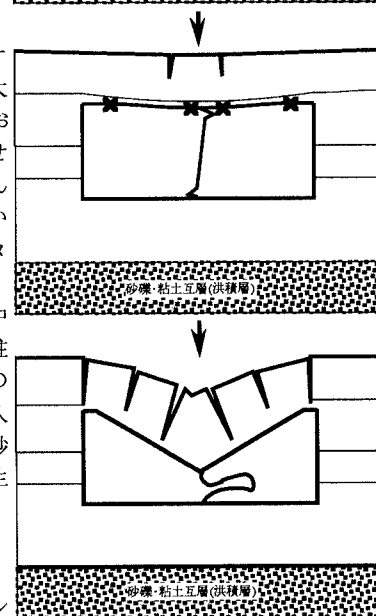


図-2 被害シナリオ

4. 数値解析とその結果

上記の被害シナリオを検証するために、数値シミュレーションを実施した。解析モデルは大開駅と一致するものではないが、付近の表層地盤構成と駅部の構造をあくまでも推定し、図-3のよう

に設定した。表層地盤は平面ひずみ要素で、トンネル躯体は中柱1スパン分を梁要素でモデル化を行った。今回の地下鉄被害は、大きな上下動によって発生したとする説があるため、神戸海洋気象台で観測されたNS方向およびUD方向成分を入力基盤まで戻して入力地震波を作成し、水平動および上下動として同時入力したケースと、水平動のみおよび上下動のみを入力したケース、合計3ケースについて検討を行った。また片山らによる擬似動的な手法²⁾と静的解析を実施し、動的解析結果と比較・検討を行った。

上下動入力の場合は、静的状態に対して約1/5の軸力が、中柱と側壁に加わるが、水平動入力によるせん断振動によって側壁の下部に発生する軸力と比較すれば、非常に小さく、もしもこの10倍の上下動を想定しても、中柱が圧縮破壊するような軸力とはならない。また水平、上下動同時入力による地震応答解析の結果は、水平動のみおよび上下動のみを入力したケースの解析結果の単純な和であり、とくに同時入力によって変わった挙動は示さなかった。

図-4に擬似動的な手法によって解析した、地盤の最大せん断ひずみ発生時の駅部の発生断面力図を示す。せん断力と曲げモーメントは、側壁の上端と下端で大きくなり、中柱ではさほど大きくないように見えるが、断面積が小さいため応力度は大きく、一般的な中柱のせん断耐力を上回る値となった。図-5に中柱脚部におけるせん断力の時刻歴波形を示す。一方、側壁のせん断応力度は、下部においてせん断耐力以上のレベルに達した。したがって、地震応答解析により、前述した被害シナリオは十分説明できると判断される。

5. まとめ

大開駅の震害調査に基づいて被害シナリオを想定し、地震応答解析によって検証した。その結果、大開駅の崩落は、強い地盤の水平せん断振動に起因して発生し、上下動の影響は軽微であることが示された。このような幅広地下構造物では今回の被害を教訓とし、中柱の崩壊を防止する対策として、柱の上部に免震ゴムを挿入したり、柱を鋼製とする等の配慮する必要がある。また、側壁の崩壊を防止するためには、新設の場合、周囲に免震層³⁾を形成すると非常に大きな効果が得られる。

参考文献

- 1) 土木学会：土木学会阪神大震災震災 第二次報告会資料，pp.19-22，1995年3月
- 2) 片山幾夫他：地中埋設構造物の実用的な準動的解析法「応答震度法」の提案，第40回土木学会年次学術講演会，第I部，pp.737-738，1985
- 3) 鈴木猛康，田村重四郎：都市トンネルの免震構造とその免震効果の評価手法の提案，土木学会論文集（投稿中）

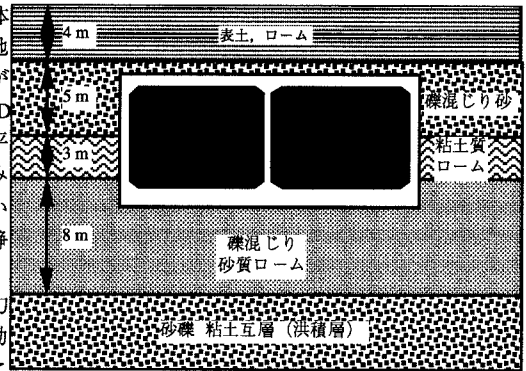


図-3 解析モデル

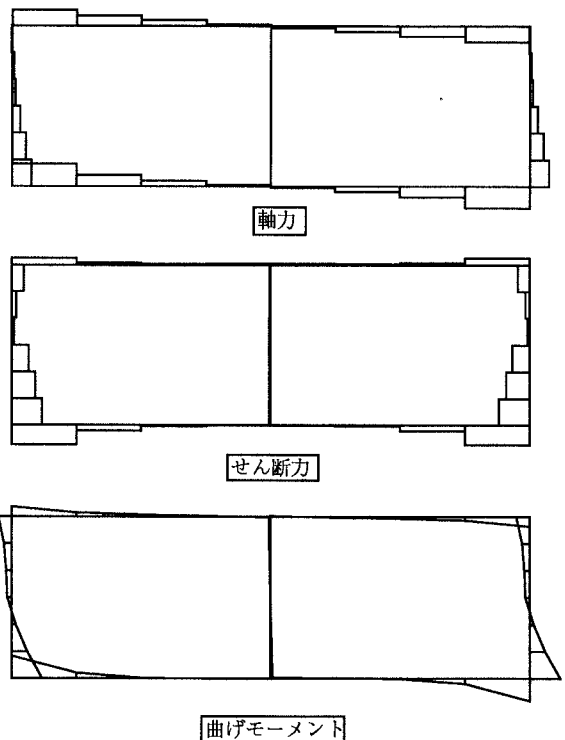


図-4 発生断面力分布図

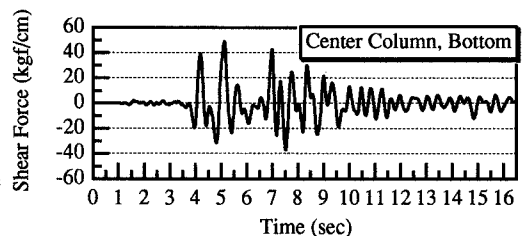


図-5 中柱脚部のせん断力時刻歴応答波形