

兵庫県南部地震で倒壊した地下鉄大開駅に関する数値解析的検討

室蘭工業大学大学院
大阪市立大学名誉教授

フェロー ○岸 徳光
フェロー 園田恵一郎

神戸大学名誉教授
室蘭工業大学大学院

フェロー
学生会員

櫻井 春輔
瓦井 智貴

1. はじめに

1995年1月17日未明に兵庫県南部地震(マグニチュード:7.3, 最大震度:7, 震源地:淡路島北部, 震源の深さ:16 km)が発生し, 阪神・淡路地域の建物や社会基盤施設に甚大な被害を及ぼした。

本研究では地下鉄大開駅の倒壊事象(写真1)に着目し, 駅躯体底部に衝撃的鉛直地震動として, 上方向粒子速度(以下, 粒子速度)を2 m/sとし, 強制変位入力継続時間を変化させた場合についての弾塑性応答解析を試みた。なお, 本解析にはLS-DYNAを使用した。

大開駅の構造および被災状況は, 図1に示されるように4 m程度のかぶり土砂を有し, 中柱で支えられた底盤を有する箱型ラーメン構造となっている。被災状況は, 中柱の下端あるいは上端が著しく圧壊しており, 側壁の被害は少ない。また, 中柱の圧壊に伴い中柱を中心とする頂版は大きく落ち込んでいる。

2. 数値解析の概要

実現現象では基盤から地震動が伝搬してくることになるが, 基盤入力の場合には大開駅底盤で設定粒子速度を得ることが容易ではない。そのため, 本研究では周辺地盤部も含めて駅躯体底盤部のレベルに直接強制変位を入力して, 設定粒子速度が得られるように簡略化することとした。数値解析においては, 線路軸方向には中心間隔が3.5 m毎に配置されている中柱一本分が分担する躯体断面

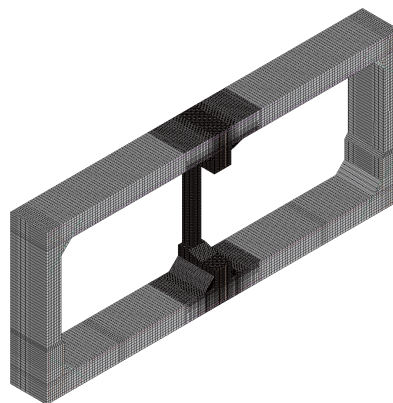
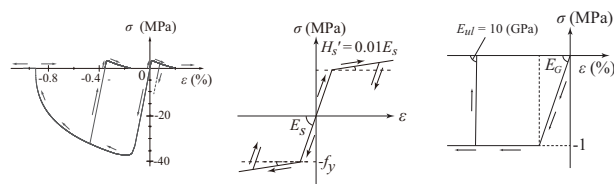
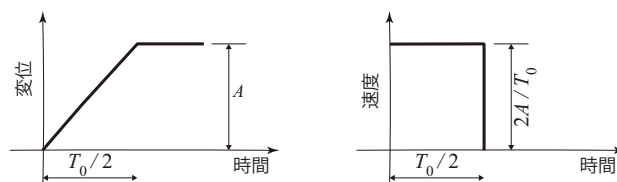


図2 駅躯体部の要素分割状況



(a) コンクリート (b) 鉄筋要素 (c) 上載土砂

図3 材料構成則



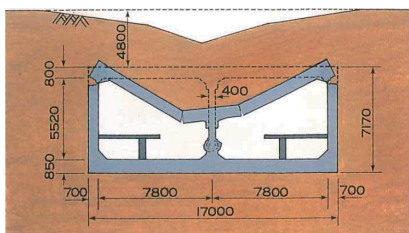
(a) 入力強制変位

(b) 入力速度

図4 入力波形



写真1 神戸高速鉄道大開駅中柱被災状況

図1 大開駅が最も大きく陥没した箇所の断面図³⁾

部を取り出し, かつ線路方向に対称な半断面をモデル化することとした。なお, 地盤の影響も考慮するために側壁から躯体幅の2.5倍以上の幅約37 mの領域までを考慮した。鉄筋は埋め込み要素を用い, 実構造に対応させている。なお, ホームの床板部は躯体本体への影響は小さいものと判断し無視した。

境界条件に関しては, 地盤端部及び躯体底面には無反射境界を設定している。また, 駅躯体と周辺地盤の境界には摩擦を無視した接触面処理を施している。なお, 数値解析では自重を考慮しているが, 減衰定数は無視している。図2には, 解析モデルの駅躯体のみの要素分割状況を示している。

図3には, 本数値解析で用いたコンクリート, 鉄筋, 駅

キーワード: 阪神淡路大震災, 地下鉄大開駅, 衝撃的地震動, 弾塑性解析, 有限要素法

連絡先: 〒050-8585 室蘭工業大学大学院 くらし環境系領域 TEL/FAX 0143-46-5241

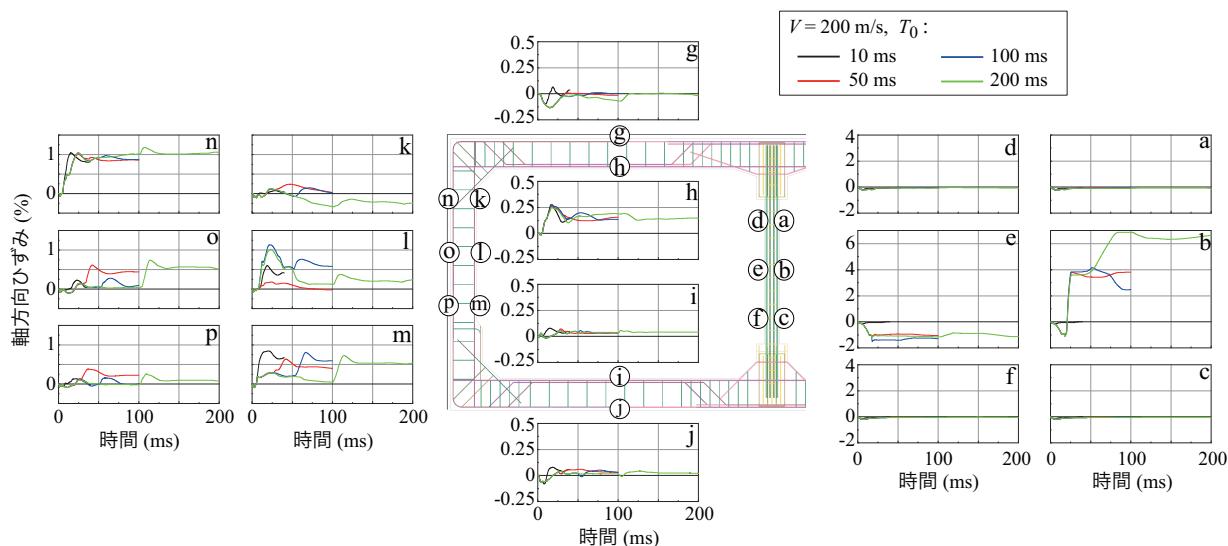


図5 鉄筋の軸方向ひずみ波形分布

躯体に上載された土砂の応力-ひずみ関係を示している。なお、地盤部に関しては、駅躯体に上載された土砂を除き均一な層状であることから全て弾性的に挙動するものと仮定した。

コンクリートの応力-ひずみ関係には、引張と圧縮領域で軟化するモデル (LS-DYNA⁵) における材料物性 mat72R3) を用いている。鉄筋の応力-ひずみ関係には、降伏後の塑性硬化を考慮したバイリニア型の構成則モデルを適用した。降伏の判定には、von Mises の降伏条件に従うものとし、塑性硬化係数 H' は、弾性係数 E_S の 1% と仮定している。土砂に関する応力-ひずみ関係は、圧縮強度を 1 MPa に設定し、圧縮強度に達した時点で完全降伏に至るものと仮定した。引張強度は零と仮定している。

数値解析は、図4(a)に示しているように、強制変位による入力波の周期を T_0 とし、地盤も含めて大開駅躯体底盤レベルに同一速度で半周期に相当する時間 ($T_0/2$) だけ上方に変位させる (最大変位量は A となる) ことにより、行った。従って、その時の粒子速度 V は、(b) 図のように $V = 2A/T_0$ となる。

本研究では、このような条件下で強制変位入力継続時間による影響を検討するために、粒子速度の大きさを $V = 2$ m/s とし、強制変位の継続時間を $T_0/2 = 5, 25, 50, 100$ ms に変化させた場合について検討を行った。

3. 数値解析結果及び考察

図5には、配筋された鉄筋各点におけるひずみ波形を示している。頂版中央部においては、上載荷重や側壁が上方に推移することにより正曲げの分布性状を示している。また、側壁各点の波形を見ると、引張軸力が発生していると共に、上下部でそれぞれ負、正曲げの傾向を示している。中央部のひずみ波形は $T_0/2 = 50$ ms 以上で -1% 程度に達しており、塑性状態に至っていることが分かる。

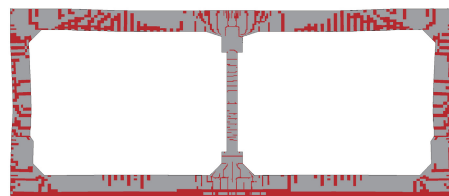
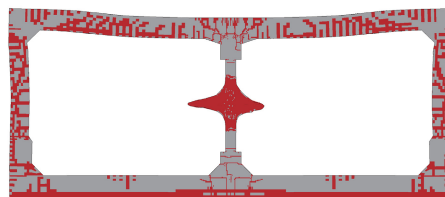
(a) $V = 2$ m/s, $T_0 = 10$ ms(b) $V = 2$ m/s, $T_0 = 100$ ms

図6 コンクリートのひび割れ発生と圧壊状況

図6には、強制変位入力継続時間が $T_0/2 = 5, 50$ ms の場合における解析終了時点の躯体の変形とコンクリートにひび割れあるいは圧壊が生じている要素を赤色にして示している。なお、変形状況は5倍に拡大している。図より、ひび割れ発生箇所は中柱部を除き、両図で類似していることが分かる。底盤下縁部には水平に延びるひび割れが発生しており、上表面での飛び跳ね現象の発生が示唆される。中柱部を見ると、強制変位入力継続時間が $T_0/2 = 5$ ms の場合には輪切りひび割れが確認できる。それに対して、 $T_0/2 = 50$ ms の場合には、中柱中央部で大きい圧壊現象が生じている。

4. まとめ

- (1) 粒子速度が $V = 2$ m/s、強制変位継続時間が 5 ms 程度で、中柱の輪切り現象が現れる。
- (2) 強制変位継続時間が 50 ms 程度で、中柱中央部の圧壊現象が現れ、頂版中央部が落ち込む結果が得られた。