

基盤からの強制変位入力時における地下鉄駅舎中柱の軸剛性向上効果に関する数値解析的検討

室蘭工業大学 名誉会員 ○岸 徳光
室蘭工業大学 正会員 瓦井智貴

室蘭工業大学 正会員 小室雅人
大阪市立大学名誉教授 フェロー 園田恵一郎

1. はじめに

1995年に兵庫県南部地震が発生し、多くの社会基盤施設に甚大な被害を及ぼした。写真1には、代表的な構造物の被害例として、ピルツ橋の倒壊と地下鉄大開駅の被災状況を示している。構造物の多くは横揺れによって被災し、その後RC橋脚を中心に補修補強が全国的に実施された。

一方で、ドンドンと上方への突き上げがあった、あるいは金庫がジャンプして動いた等の聞き取り調査もある。また、橋脚上下端付け根部の圧壊現象などの横揺れでは説明できないような現象も発生している。

本研究では、このような現象による損傷状況を検証することを目的に、地下鉄大開駅舎の中柱部を復旧工事と同様に角形鋼管補強RC柱とした場合¹⁾を対象に、基盤に継続時間が5msの強制変位を与え、変位速度 v を変化させた場合における三次元弾塑性過渡応答解析を実施した。

2. 数値解析概要

図1には、本数値解析で対象とした各断面の形状寸法を示している。本研究では、プラットホームの中柱部を復旧工事と同様に角形鋼管補強RC柱(以後、復旧断面)として軸剛性を向上させた場合を対象に数値解析を実施した。

図2には、地盤を含む数値解析モデルの形状寸法を示している。周辺地盤に関しては、既往の検討¹⁾と同様に側壁から躯体幅の2倍以上の幅約37mの領域までを考慮した。また、駅舎部に関しては、図3に示すように、中柱1

本分が受け持つ躯体断面を取り出し、かつ線路方向の対称性を考慮して1/2にモデル化した。躯体部において、鉄筋は実構造に即して梁要素を用いてコンクリート要素と独立して分割し、カップリング定義を行うことで、完全付着の条件を満足するように設定している。境界条件に関しては、対称面の節点は法線方向変位を拘束し、地盤端部および基盤部には無反射境界を設定している。なお、数値解析には自重を考慮し、スプリングバックを施している。

図4には、本数値解析で用いたコンクリート、鉄筋、埋め戻し土砂の応力-ひずみ関係を示している。コンクリートには引張および圧縮軟化を考慮したモデルを採用した。圧縮強度は 37 MPa^1 であり、質量、ポアソン比は、それぞれ $\rho_c = 2.35 \times 10^3\text{ kg/m}^3$, $\nu_c = 1/6$ である。鉄筋は降伏応力を $f_y = 306\text{ MPa}$ とし¹⁾、塑性硬化を考慮してバイリニア

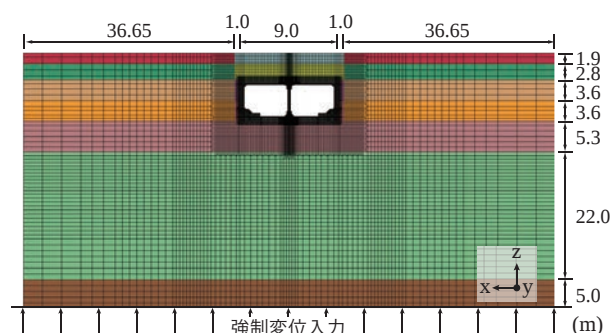


図2 数値解析モデルの全体図

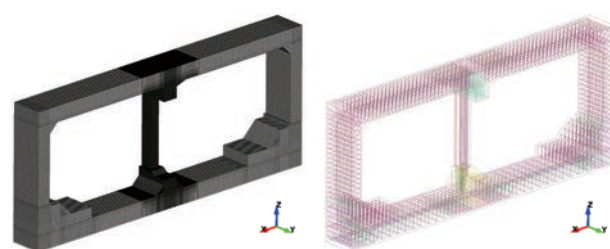


図3 駅舎部の要素分割状況



(a) ピルツの橋倒壊 (b) 地下鉄大開駅の被災状況

写真1 兵庫県南部地震における代表的な被災例

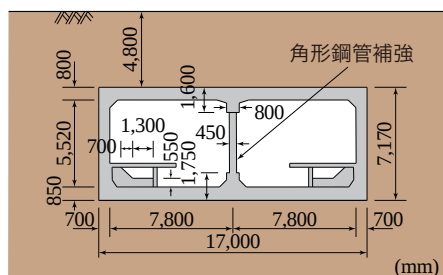
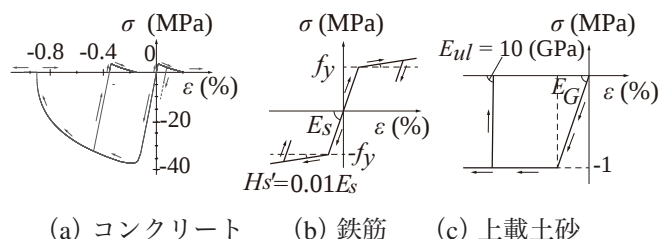


図1 解析に用いた駅舎断面形状



(a) コンクリート (b) 鉄筋 (c) 上載土砂

図4 材料構成則

キーワード 直下型地震, 地下鉄大開駅, 衝撃的地震動, 弾塑性解析, 補強

連絡先 〒050-8585 室蘭市水元町 27-1 室蘭工業大学 もの創造系領域 社会基盤ユニット TEL/FAX 0143-46-5241

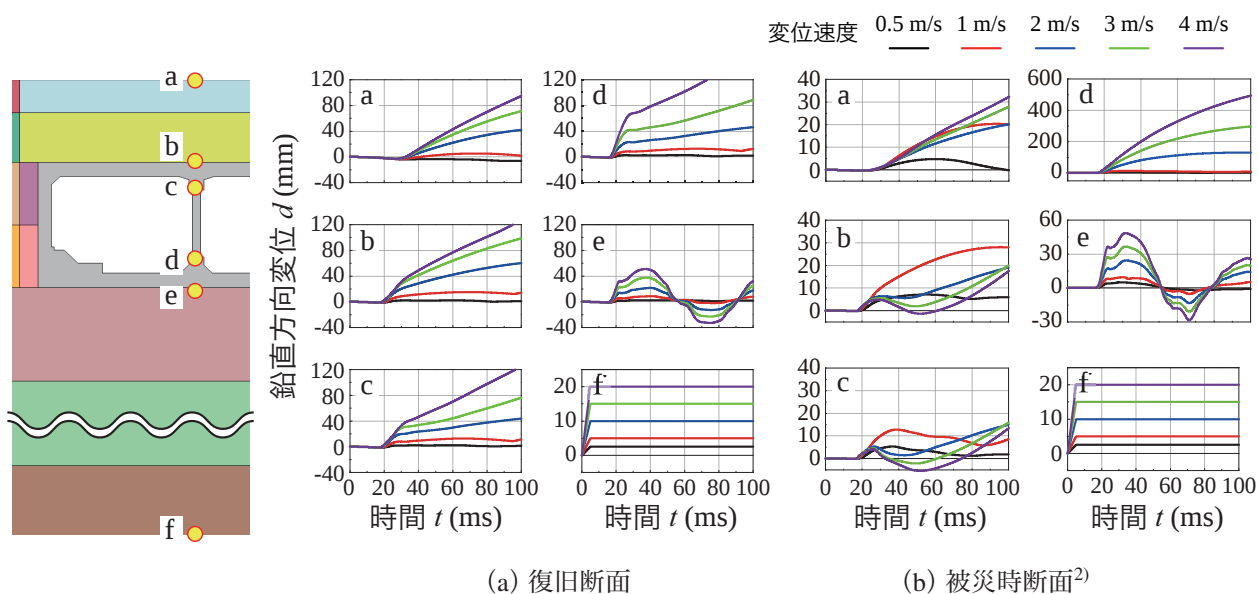
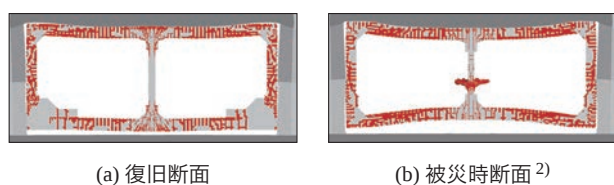


図5 各点における鉛直変位波形

図6 $v = 4 \text{ m/s}$ の場合における各断面の損傷状況

型の構成則モデルを適用した。単位体積質量、弾性係数及びポアソン比には公称値を用い、それぞれ $\rho_s = 7.85 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$, $E_s = 206 \text{ GPa}$, $\nu_s = 0.3$ とした。地盤部の物性値は、当時のボーリング調査結果¹⁾に基づいて決定している。

基盤上での突き上げ入力、継続時間を 5 ms とし、突き上げの変位速度を $v = 0.5 \sim 4 \text{ m/s}$ に変化させて数値解析を行った。

3. 数値解析結果および考察

図5には、入力変位速度 v を変化した場合において、荷重初期から $t = 100 \text{ ms}$ 経過後までの中柱中心軸線上を通る各点の鉛直方向変位波形を、上方への変位を正とし、被災時の駅舎断面に関する結果²⁾と比較して示している。

(a)図において、基盤底部f点では、入力変位速度 v に対して $t = 5 \text{ ms}$ で既定値の変位に至っていることが分かる。床版直下地盤e点では周期が約 70 ms 程度の振動状態を呈しており、自由表面状態に至っていることが分かる。一方、中柱下端d点から上方では、時間の経過に対応して変位が増加する傾向を示している。 $t = 70 \text{ ms}$ 時点での中柱下端d点では、 $v = 4 \text{ m/s}$ の場合で 120 mm 程度の変位を示しているのに対して、c点では 90 mm 程度を示しており、中柱は圧縮ひずみの状態であることが分かる。

一方、(b)図の被災時における断面の場合には、e点での波形は復旧断面の場合と類似の性状を示していることが分かる。しかしながら、 $t = 100 \text{ ms}$ 時点での中柱下端d点では、 $v = 4 \text{ m/s}$ の場合で約 500 mm に達しているのに

対して、上端c点では最大 15 mm 程度を示しており、中柱がRC柱であることを考慮すると、著しい圧壊の状態にあることが推察される。

図6には、 $t = 100 \text{ ms}$ 経過時点での $v = 4 \text{ m/s}$ の場合における各断面の損傷状況を、変形倍率を 2 倍にして示している。図中、赤色部はひび割れが発生し応力が解放された状態、あるいはひずみが零近傍の状態であることを示している。図より、復旧断面の場合には、床版底部は全幅に渡ってほぼ均等に上方に推移しており、頂版部も幅方向への著しい変形は確認できない。また、中柱部には座屈等による塑性変形も確認できない。これに対して、被災時断面の場合には、底版部は中柱部において最も大きく上方に変位し、全体が上反りの負曲げの状態に至っている。また、頂版部は中柱部を中心に正曲げの状態を示している。一方、中柱部に着目すると、上述で推察の通り柱下部近傍において著しい圧壊の状態に至っていることが分かる。このような状況は、写真1(b)に示されているような兵庫県南部地震時の被災状況に類似している。

4. まとめ

中柱を角形鋼管を用いて補強し軸剛性を向上させることによって、変位速度を $V = 4 \text{ m/s}$ とする基盤での突き上げ入力に対しても圧壊現象を著しく抑制可能であることが明らかになった。

参考文献

- 1) 佐藤工業株式会社：神戸高速鉄道東西線大開駅災害復旧の記録，1997。
- 2) Kishi, N., Sonoda, K., Komuro, M., Kawai, T. : Numerical simulation of the Daikai Station subway structure collapse due to sudden uplift during earthquake, *J. of Engrg. Mech.*, ASCE, Vol.147, No.3, 2021.