

地下鉄駅間構造物地震被害のシミュレーション

(株)奥村組	正会員	○中村 敏晴
(株)奥村組	フェロー	竹内 幹雄
神戸市	正会員	佐保 千載
東京都立大学	正会員	岩橋 徹広

1. はじめに

筆者等は、兵庫県南部地震により被災した板宿～新神戸約 9km の地下鉄駅間線路部について、震災前後の詳細な調査により被災状況を明らかにした。さらに、地形・地質、構造物の方向、構造形式、構造物の施工法・設計法と被害を対比し被害要因について検討した。その結果、縦断クラックは、地下鉄が粘性土層を通過する部分、もしくは構造が上下2段のボックス形式の部分に多いことが明らかになった。¹⁾ 本報告は、これらの地震被害を、地下鉄の構造形式に着目し、非線形地震応答解析でシミュレーションした結果を示すものである。

2. 被害概要

構造物の被害は、図1に示すように、線路方向と平行な縦断クラック、線路方向と直角な横断クラックおよび中柱のせん断クラックの発生である。図2に県庁前駅～新神戸駅約 2.4km 区間について、縦断クラックの分布と地質図を示す。クラックの分布は地下鉄路線 20m毎にクラックの幅(mm)×長さ(m)で示した。この区間の地質は、全区間ほぼ同様に砂質土を主体とする層であり、地表より厚さ2～3m程度の盛土、その下方に7～8m程度の砂質土および砂礫からなる段丘相当層、さらに主として砂質土からなる大阪層群相当層が分布する。地下鉄の構造は、図2の地質図に位置を太線で示すように、中柱を有する水平二連のボックス形式、上下二段のボックス形式、および両者の移行部からなる。縦断クラックの多い部分は、構造形式が上下2段のボックス形式の部分および移行部であり、水平二連のボックス形式の部分では縦断クラックは少ないことがわかる。

3. 被害のシミュレーション解析

1) 解析地点

解析地点は、図2の地質図に示すように、縦断クラックが多く構造形式の異なる2地点、上下2段のボックス形式(杆程 11.44)、移行部(杆程 12.60)を選定した。

2) 解析方法・条件

解析はFEMによる非線形地震応答解析を実施した。地盤はROモデル²⁾を用いる平面ひずみ要素とし、地下鉄構造物は曲げの非線形性に武田モデル³⁾を用いる梁要素とした。上下2段のボックス形式のモデル図を図3に示す。モデルの側面・底面は粘性境界を用いた。入力地震動はポートアイランドNS波(運輸省港湾技術研究所にて

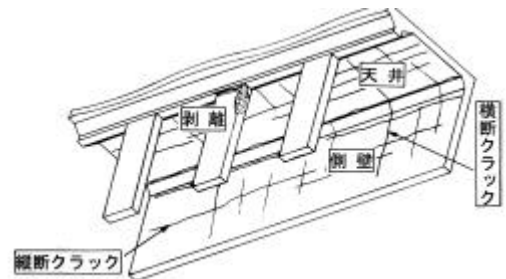
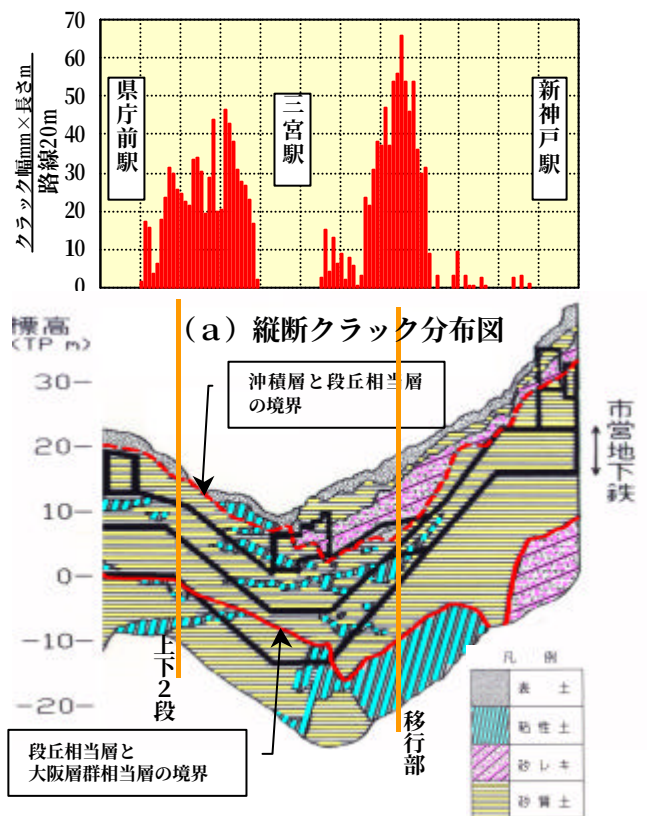


図1 被害概念図



(b) 地質図

図2 クラックの分布と地質

keyword：兵庫県南部地震 地下鉄 震害 非線形地震応答解析

(株)奥村組技術研究所：茨城県つくば市大砂 387 TEL 0298-65-1521 FAX 0298-65-1522

2 E波に変換 817gal) を使用した。

地層構成は地下鉄建設時に実施したボーリング調査に基づき設定し、せん断波速度はN値より今井の方法⁴⁾を用いて推定した。地盤の材料非線形性は周辺地点でおこなった中空ねじり試験を活用して設定した。鉄筋コンクリート部材のM- ϕ 曲線は鉄道構造物等設計標準⁵⁾の方法を用いて設定した。この時、部材に作用する軸力はFEMの自重解析により得られる値を用いた。

3) 解析結果

構造物の上下床版の相対変位を図4に示す。最大相対変位は、上下2段のボックス形式で 3.8cm (壁の部材回転角 1/320)、移行部の形式で 1.23cm (壁の部材回転角 1/680) であった。

図5は部材の発生最大曲率と ϕ_c (曲げクラック発生曲率)・ ϕ_y (鉄筋降伏曲率)の相対関係を部材断面の内外で示したものである。図には被害調査による縦断クラック発生個所を矢印 $\rightarrow$ で示した。ただし、調査は内側からのものであり、かつ軌道面の調査はなされていない。

図より、鉄筋降伏曲率を超える部材はわずかである事がわかる。被害調査の対象となった内側の側壁と天井の部材発生曲率を比較すると、上下2段の構造では下路部の天井で大きく、移行部では天井で大きいことがわかる。この傾向は、被害調査結果 (上下2段の縦断クラックの発生個所は、天井部分と側壁部分でほぼ同様の頻度であるが、天井部分の内訳を見ると下路部の天井がその全数を占めていたこと、移行部のそれは側壁部で少なく天井部分でほぼその全数を占めていたこと)とも一致する。

4. まとめ

兵庫県南部地震により地下鉄駅間線路部には多くの縦断クラックが発生した。これを、非線形地震応答解析した結果、以下のことが明らかになった。① 構造物が受けた変形は部材回転角で 1/320~1/680 程度である。② 多くの構造部材は鉄筋降伏以前の状態である。③ 部材発生曲率の分布は被害調査結果と一致する。また、特殊な構造形式部では、クラックの発生が多くなることも解析から覗うことができた。

参考文献 1) 中村敏晴 他：兵庫県南部地震による神戸市営地下鉄 (駅間線路部) の被害の分析 (第 10 回日本地震工学シンポジウム pp377~382,1998) 2) Jennings,P.C.:Periodic response of a general yielding structure (Proc.ASCE,EM2,Apr.,1964pp.131~163) 3) Takeda,T.:Reinforced concrete response to simulated earthquakes (第 3 回日本地震工学シンポジウム pp357~364,1970) 4) Imai,T.: (第 9 回 ICSMFE Vol.2,pp.257~260) 5) 鉄道構造物等設計標準・解説 コンクリート構造物 平成 4 年 鉄道総合技術研究所

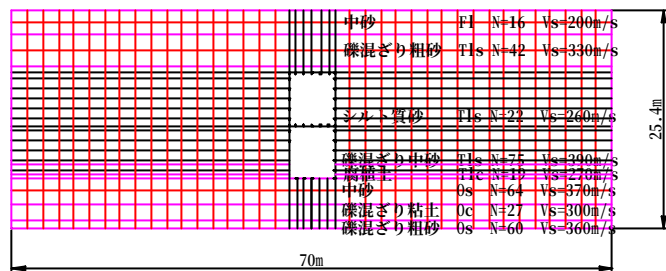


図3 解析モデル図

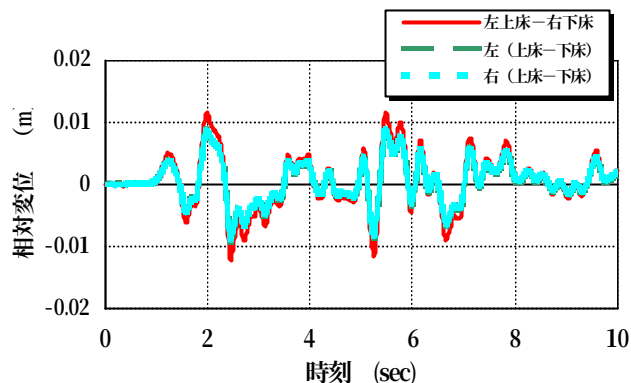


図4 移行部の構造物相対変位

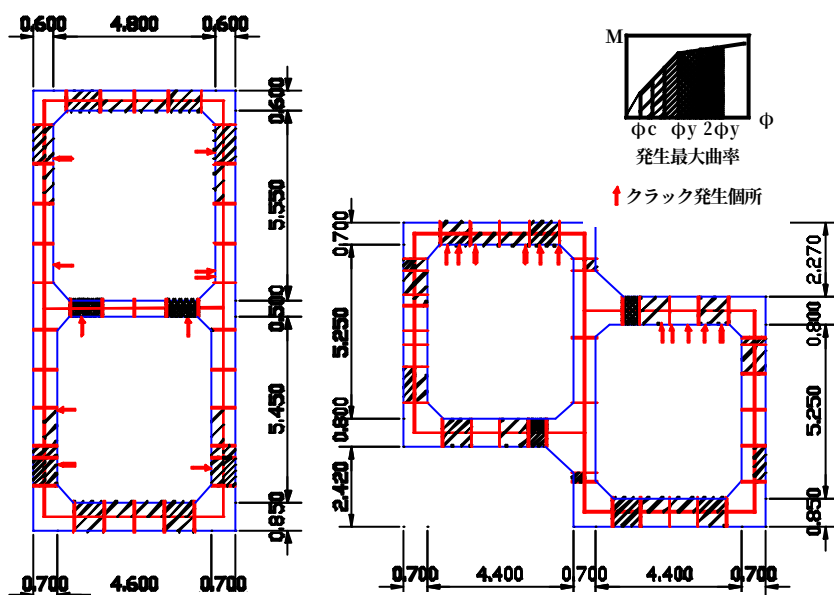


図5 発生最大曲率と縦断クラック発生個所