

地下駅舎横断面の耐震性評価に関する一考察

早稲田大学大学院 理工学研究科建設工学専攻 学生会員 ○三ツ屋 薫
早稲田大学 理工学部社会環境工学科 フェロー会員 清宮 理

1. 目的 都市での地下施設の開発が進んでいるが、大規模な地震の発生が予測されるなか、耐震性の重要性が指摘されている。今回地中構造物が対象地震動に対して安全かどうか照査するため、軟弱地盤に建設された一般的な地下駅舎構造物を対象とした非線形動的解析を行い、構造部材の破壊状況を推定した。

2. 非線形動的解析 (1) 解析モデル：図-1に示すように解析対象は地下駅舎横断面である。地下駅舎の土被りは9mで、駅舎断面は、幅26m、高さ12mからなる二層のボックス構造である。表-1に各部材の諸元を示す。側壁、中柱、鋼管柱の主要な配筋状態を示す。B1側壁は幅1.2m。外側主鉄筋にはSD345のD25とD29が1mあたりそれぞれ4本ずつ、内側主鉄筋にはSD345のD19が1mあたり8本で配筋されている。B1側壁せん断補強筋はSD345のD13が1mあたり5本、60cmピッチで配筋されている。中柱は、幅1m、奥行き1.4m。外側・内側主鉄筋とも、SD345のD19が1.4mあたり20本で配筋されている。中柱せん断補強筋はSD345のD13が1.4mあたり6本、30cmピッチで配筋されている。鋼管柱の直径は1.2m、材質はSTK400で板厚4.9mm。内部にはコンクリートが充填されていない。各部材の断面積や鉄筋量の違いを考慮し、9種類の2次元非線形はり要素で構成。はり部材の地震時繰返し非線形特性は、コンクリートのひび割れ時と引張鉄筋の降伏時に、剛性低下が起こると考え、非線形履歴モデル(トリリニアモデル)を用いて考慮し、武田モデルを用いた。

表-2に示すように表層地盤は比較的軟弱な粘土層で構成されている。表層地盤を4層にモデル化し、地盤の繰返し非線形性を考慮し、修正Ramberg-Osgoodモデルを適用した平面ひずみ要素で置換した。表層地盤の両端部の境界条件として、節点でX軸方向は水平ローラー、Y軸方向・Z軸周りの回転は固定境界とした。底面は、X・Y軸方向・Z軸周りの回転を固定境界とし、完全に剛な基盤面とした。地盤と構造物とは、圧縮力は伝達し引張力は伝達しないジョイント要素で連結した。表層地盤を780個の平面ひずみ要素、地下駅舎の構造物を126個の非線形はり要素、地盤～構造物接触面を76個のジョイント要素、計982個の要素から成り立っている。

構造物には周辺地盤の初期土圧が作用するため、自重解析を行い時刻歴応答解析の初期値とした。時刻歴応答解析の入力地震動として、構造物の耐震設計法の基本方針として提唱されている「2段階設計法」(レベル1およびレベル2地震動)を考慮し、八戸港波(最大加速度170[gal])と神戸ポートアイランド波(最大加速度679[gal])を用いた。データ間隔は0.01秒である。

(2) 断面力照査：各構成部材の曲げ耐力およびせん断耐力算定式を式(1)、(2)に示す。

$$M_u = A_s \cdot f_{sy} \left(d - \frac{1}{2} \cdot \frac{A_s \cdot f_{sy}}{0.85 f'_{ck} \cdot b} \right) \quad (1) \quad \begin{aligned} V_{yd} &= V_{cd} + V_{sd} \\ V_{sd} &= \left[A_w \cdot f_{wyd} (\sin \alpha_s + \cos \alpha_s) / s_s \right] z / \gamma_b \\ V_{cd} &= \beta_d \cdot \beta_p \cdot \beta_n \cdot f_{vcd} \cdot b_w \cdot d / \gamma_b \end{aligned} \quad (2)$$

解析によって得られた曲げモーメントとせん断力の断面力をそれぞれ終局耐力と比較することにより断面力照査を行った。図-2に示すようにレベル1の八戸港波では、曲げ破壊は下床板の1箇所、せん断破壊は上床板の2箇所で計算された。ただし、耐荷力と計算断面力はほぼ同じであった。図-3に示すようにレベル2の神戸ポートアイランド波では、上床板左右端の2箇所、左右側壁中間部の4箇所、左右中柱の4箇所、計10箇所でせん断破壊が生じた。下床板の左端では、曲げ破壊が起こった後、せん断破壊が生じた。下床板の右端では、曲げ破壊とせん断破壊が同時に生じた。左右側壁上端ではせん断破壊後、内側鉄筋の曲げ破壊が生じた。左右側壁下端では内側鉄筋の曲げ破壊後、せん断破壊が生じた。破壊は計16箇所で計算された。

キーワード 地中構造物, 耐震, 非線形動的解析, F E M

連絡先 〒169-8555 東京都新宿区大久保 3-4-1 51 号館 16F-01A TEL 03-5286-3852

表-1 モデルに用いた部材特性値

部材名	上床板	中床板	下床板	B1側壁	B2側壁	中柱	鋼管柱
長さ(m)	26	26	26	5	7	5	7
幅・直径(m)	1.2	0.5	1.6	1.2	1.6	1	0.7
断面積(m ²)	1.2	0.5	1.6	1.2	1.6	0.28	0.0021
断面2次モーメント(m ⁴)	0.1440	0.01042	0.3413	0.1440	0.3413	0.02333	0.0001292

表-2 モデルに用いた地盤物性値

No	記号	土質名	単位体積重量 (kN/m ³)	ヤング係数 (kN/m ²)	せん断弾性係数 (kN/m ²)	ポアソン比
1	Bs	砂層	16.7	38250	113000	0.477
2	Ac1	沖積粘土層	15.2	12560	37570	0.498
3	Ac2	沖積粘土層	15.4	19000	57000	0.497
4	Dc	洪積砂層	16.7	61370	183150	0.491

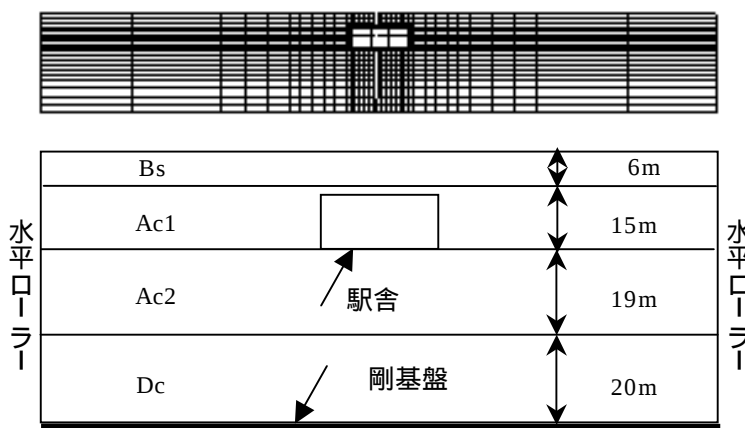


図-1 解析モデル図

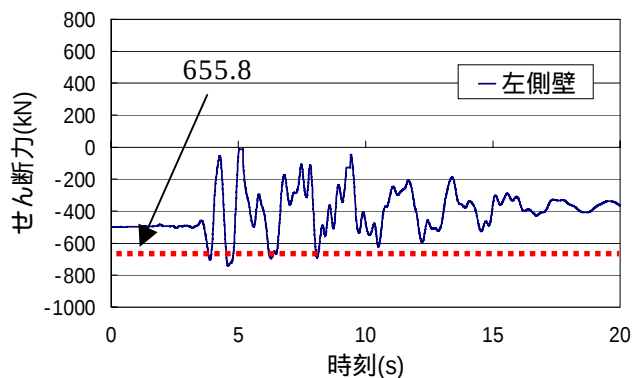


図-4 左側壁でのせん断力の時刻歴

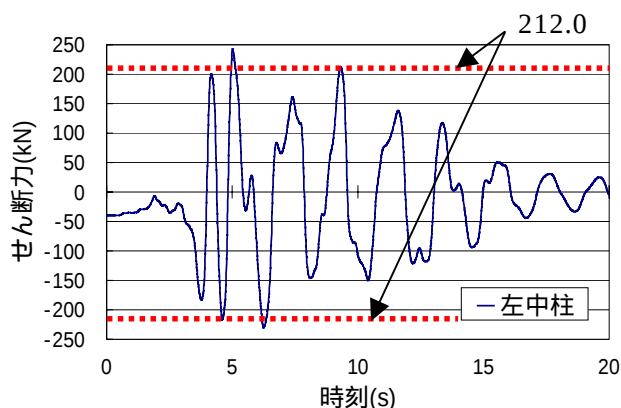


図-5 左中柱でのせん断力の時刻歴

図-4および図-5にそれぞれレベル2地震動に対するせん断力照査例を示す。各箇所ですべて計算せん断力がせん断耐力を超えた。せん断耐荷力の計算では部材係数等の安全係数を考慮していない。

3. 結論 今回軟弱地盤に建設された一般的な地下駅舎構造物を対象にした非線形動的解析を行い地震時の破壊性状について検討した。上下床板隅角部、側壁隅角部、中柱において破壊が生じ、破壊性状は部材位置によって異なる解析結果となった。この解析結果から、この既設地中構造物において、上下床板隅角部および左右側壁隅角部には、せん断補強工法として提案している鉄筋埋め込み工法¹⁾を用い、中柱には現在多く用いられている鋼板や繊維シートなどを巻き付ける補強工法を用いて、曲げおよびせん断破壊に対して耐震補強を行う必要があることが判明した。今後各種の条件で計算を行い、今回の破壊状況は良くあり得る事例なのか検討を行いたい。

参考文献 1) 山村賢輔, 清宮理: 開削トンネル擁壁部の地震時挙動及びせん断補強方法, 地震工学シンポジウム論文集, pp.1025-1031, 2002