

地中構造物の耐震性に影響を及ぼす地震動の周波数帯域に関する一考察

防災科学技術研究所 地震防災フロンティア研究センター 正会員 酒井久和
 港湾空港技術研究所 正会員 野津 厚

1. はじめに

設計用地震動を作成するにあたり、地震動のどの周波数帯域が構造物に被害を及ぼすかを検討することは、精度を重点的に向上させる周波数帯を特定する意味において、非常に重要であると考えられる。野津ら¹⁾は岸壁の変形量に対する地震動の周波数帯域の研究を行い、2Hz以下の低周波数成分が岸壁の変形に寄与する割合が大きいことを示している。嶋村ら²⁾は、擁壁や盛土の変形量に1~3Hzの地震動成分が大きく影響を及ぼすことを明らかにしている。本研究では、地中構造物の損傷に影響を及ぼす地震動の周波数帯域について検討を行う。

2. 解析方法

検討対象とする構造物は、兵庫県南部地震の際に甚大な被害を受けた神戸高速鉄道大開駅の横断面（図-1）とし、躯体の構造部材を梁要素、地盤を2次元平面ひずみ要素でモデル化して、解析コード STADAS³⁾を使用する。梁要素の復元力特性は、 $Q-\gamma$ （せん断力-せん断ひずみ）関係として弾性完全塑性モデル、 $M-\phi$ （曲げモーメント-曲率）関係として武田モデルを採用する。設定した部材の $Q-\gamma$ 、 $M-\phi$ 関係を図-2に示す。ただし、躯体は部材端の剛域を考慮し、地震時の軸力の変動による耐力の変化は考慮していない。

つぎに、地盤は、吉田・石原モデル⁴⁾を採用し、 $G-\gamma$ 、 $h-\gamma$ 関係は、土質の分類に応じて建設省土木研究所の式⁵⁾より求めた。解析に用いる土質条件および解析メッシュを図-3に示す。ただし、図中の ρ 、 V_s 、 ν 、 c 、 ϕ はそれぞれ、土の単位質量、せん断波速度、ポアソン比、粘着力、内部摩擦角を表し、 c 、 ϕ の記載がない場合には、その成分が0であることを意味する。

地震応答解析に先立ち行う初期応力解析は、開削トンネルの施工過程を考慮した築堤解析で行い⁶⁾、地震応答解析は、底面と側方は粘性境界とし、時間積分は Newmark の β 法 ($\beta=1/4$)、計算時間間隔 1/1,000 秒、継続時間 30 秒間とする。

また、地盤と構造物の減衰は、系の基本振動数（約 1.5Hz）と 10Hz で減数定数 2% の Rayleigh 減衰とした。

キーワード 地中構造物、地震動、周波数特性、地震応答解析

連絡先 〒673-0433 兵庫県三木市福井三木山 2465-1 TEL: 0794-83-6637 FAX: 0794-83-6695

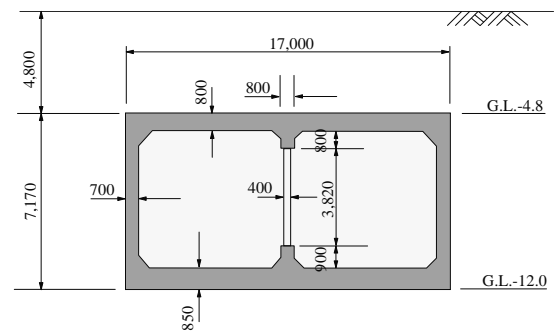


図-1 プラットホーム部断面図

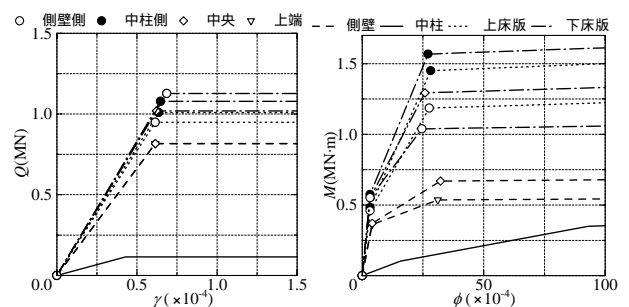


図-2 部材の復元力特性

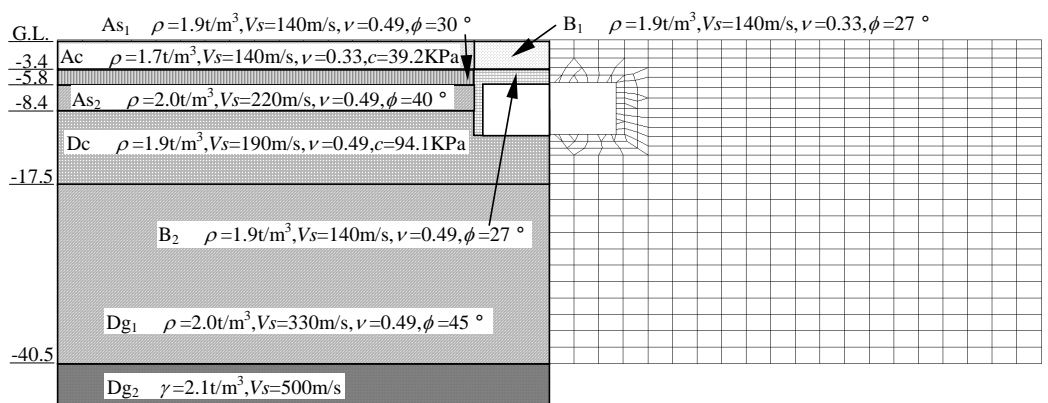


図-3 土質条件および解析メッシュ

3. 解析結果

解析には、入射地震動として、神戸海洋気象台のNS成分(図-4, 5参照)に対して、0.1~5.0Hzのローパスフィルターを施した波を採用する。図-6に、側壁、上下床版、中柱のうち、最も損傷程度の大きな部材のせん断および曲げの塑性率とローパスフィルターのカットオフ周波数の関係を示す。また、地中構造物は地盤の地震応答の影響を大きく受けることから、SHAKEによる自由地盤部の応答計算を行い、構造物の損傷に影響を及ぼす上床版と底版深度における層間変形量とカットオフ周波数の関係を図-7に示す。ただし、せん断、曲げの塑性率は以下のように定義する。

せん断塑性率 μ_Q ： $\mu_Q = Q/Q_u$

曲げ塑性率 μ_M ： $\mu_M = M/M_c$ ($M < M_c$)

$\mu_M = 1 + (M - M_c)/(M_y - M_c)$ ($M_c \leq M < M_y$)

$\mu_M = 2 + (M - M_y)/(M_u - M_y)$ ($M_y \leq M < M_u$)

$\mu_M = 2 + M/M_u$ ($M_u \leq M$)

ここに、 Q_u は終局せん断耐力、 M_c 、 M_y 、 M_u はそれぞれ、ひび割れ時、降伏時、終局時の曲げモーメントを表す。

図-6より、曲げに関しては、カットオフ周波数が高周波数側で3Hz以上、低周波数側では0.4Hz以下で塑性率がほぼ横ばいになっており、せん断に関しては、高周波数側で3Hz以上、低周波数側では1Hz以下で塑性率がほぼ同程度の値を示している。ここで、自由地盤部の応答では、図-7より、入射波の0.6~2Hzの周波数成分が構造物の上床版、底版間の変形に寄与する割合が大きく、この周波数帯は構造物の損傷に影響する周波数帯とほぼ一致していることが分かる。

4. まとめ

本研究では、地中構造物の損傷程度に影響を及ぼす周波数帯域を検討する目的で、神戸高速鉄道大開駅を対象に2次元FEMによる地震応答解析を行った。本検討ケースでは、地中構造物の損傷程度は、0.6~3Hzの周波数成分の影響を大きく受けており、これは、地中構造物の上床版、底版間の層間変形に大きく寄与する周波数帯域とほぼ一致している。したがって、地中構造物の耐震性には、入射地震動のうち、地中構造物の上床版、底版間の層間変形に大きく影響を及ぼす周波数帯域が関与し、この周波数帯域の地震波の推定精度の向上が特に重要であると考えられる。

本研究では、1つの解析断面、入射地震動に対する検討しか行っていないため、今後、数種類の解析断面、入射波による解析を行い、さらに検討を進めたいと考えている。

参考文献

- 1)野津ら：ケーソン式岸壁の変形に寄与する地震動の振動数成分，レベル2地震に対する土構造物の耐震設計シンポジウムおよびテキスト，2000。
- 2)嶋村ら：抗土圧構造物の地震時変形に影響を及ぼす入力地震動の特性に関する一考察，土構造物の耐震設計に用いるレベル2地震動を考えるシンポジウム発表論文集，1998。
- 3)Yoshida,N.：STADAS, A computer program for static and dynamic analysis of ground and soil-structure interaction problems, Report, Soil Dynamics Group, The University of British Columbia, Vancouver, Canada, 1993。
- 4)吉田ら：地盤の一次元非線形解析に用いる土のせん断応力-ひずみ関係のモデル化，日本建築学会大会学術講演梗概集，1990。
- 5)建設省土木研究所：地盤地震時応答特性の数値解析法-SHAKE:DESRA-，土木研究所資料第1778号，1982。
- 6)酒井ら：開削トンネルの耐震性評価における初期自重解析の影響，第26回地震工学研究発表会，2001。

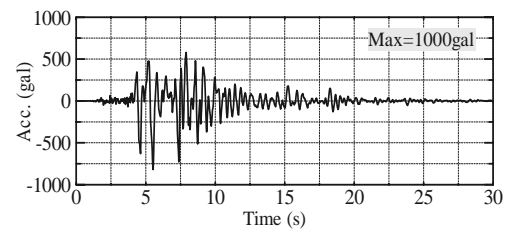


図-4 神戸海洋気象台 NS 波

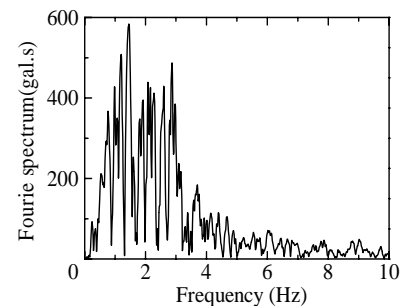


図-5 入射波のフーリエスペクトル

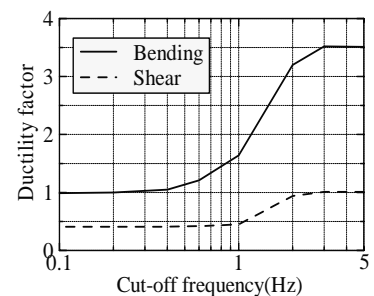


図-6 カットオフ周波数と最大部材塑性率の関係

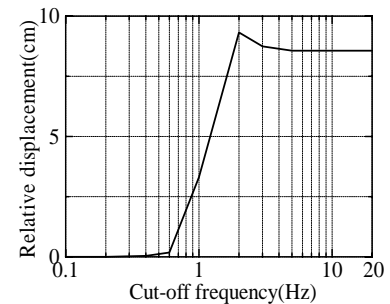


図-7 カットオフ周波数と層間変形の関係