

応答変位法に用いる地盤ばね定数が構造物の断面力に及ぼす影響

株式会社 CPC 正会員 ○西 剛整
株式会社 CPC 正会員 カク ショウケイ

1. はじめに

ボックスカルバートのような地中構造物では、地震時の作用として地盤変位の影響が大きいことから、一般的には応答変位法など地盤変位を考慮した耐震解析手法が適用される。応答変位法は周囲を地盤ばねで拘束したモデルに対して、地盤の応答変位を地盤ばねを介して作用させるものである。この場合、地盤ばね定数の設定による影響が考えられるが、例えば首都高速道路の基準¹⁾では「一般的には応答変位法の結果に大きな差が生じない」として道示に示される地盤反力係数の算出式の適用が示されている。本論文では、単純なボックスモデルに対して、道示式及び静的 FEM 解析による地盤ばね定数を用いた応答変位法、FEM 応答変位法及び応答震度法の結果を比較し、応答変位法に対する地盤ばねの影響について示す。

2. 解析条件

図-1 に示す地盤内に軸芯の寸法が 6.0 m×6.0 m の単ボックスモデルを想定し、上記した応答変位法等により断面力の算出を行った。ボックスの頂底板厚及び側壁厚はいずれも 0.6 m とした。地盤は沖積砂層を想定し、ボックス下部の N 値を 10 及び 20 の条件としてその上層を N=10 とした。ボックス下の N=10 の条件を Case1、N=20 の条件を Case2 とした。地盤の単位体積重量はいずれも $\gamma=18\text{kN/m}^3$ とした。したがって、Case1 は全体に均一な地盤条件である。地盤の初期せん断剛性率は V_s 値より求めたが、 V_s は水道施設耐震工法指針²⁾等で用いられる V_s と N 値の関係より、沖積砂に対するせん断ひずみ 10^{-6} 時の値とした。算出式は図-1 に示す通りである。この地盤条件に対して、地盤応答解析(SHAKE)を実施し、地盤の収束剛性及び応答変位、せん断応力を算出してこれを解析の入力条件とした。応答解析に際し、地盤の非線形は建設省土木研究所による標準曲線³⁾を用いた。地震動は道示に示されるレベル II 地震動の内、タイプ II の I 種地盤における波形(II-I-1)を用いた。応答解析による地盤の収束剛性を図-2 に示す。

Case2 ではボックス直下で大きく剛性が変化するが、全体的にボックス位置では地盤剛性率は Case2 の方が小さい。また、ボックス上部の地盤剛性率は比較的大きい。

3. 地盤ばね定数の算出

静的 FEM 解析による地盤ばね定数は、図-3 に示すように空洞地盤のモデルのボックス位置の面に対して単位荷重を作用させ、得られた変位によって求めた⁴⁾。図-4 は、静的 FEM 解析と道示式により得られた側壁部の地盤ばね定数を示したものである。Case1 の結果では、直ばね(水平方向ばね)定数はボックス中心部より上側では道示ばねが大きく、下側は大差ない。Case2 では上下端部を除いて道示ばね定数がやや大きい。なお、道示ばねは図-2 の地盤剛性率の影響をそのまま受けるが、FEM ばねはボックス上下の地盤の影響を受けるため分布形状が異なる。また、道示式ではせん断ばね定数を直ばね定数の 1/3 としたため直ばね定数とせん断ばね定数でかなり差があるが、FEM ばねでは直ばね定数とせん断ばね定数は大差ない。

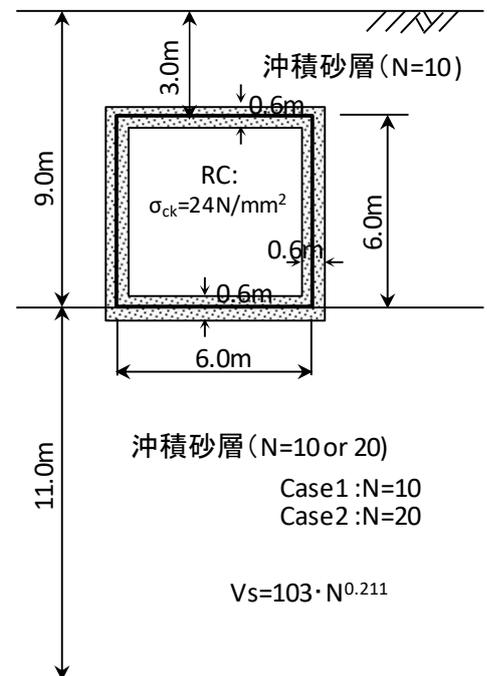


図-1 対象モデル

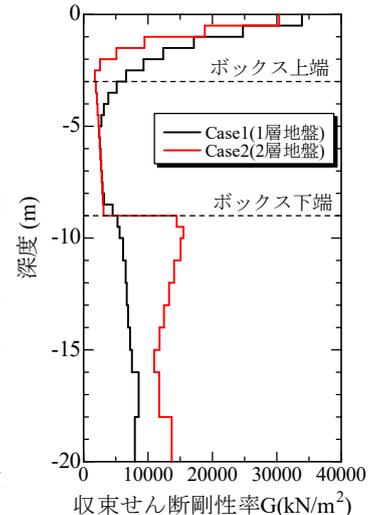


図-2 地盤の収束剛性率

応答変位法で用いる頂底版の地盤ばねは、直ばねよりもせん断ばね（水平方向ばね）の方が影響は大きいと判断される。図-5は、頂版部についてのせん断地盤ばね定数を比較したものである。道示ばね定数は地盤剛性率にのみ依存するため一様分布であるが、FEMばね定数は位置毎に変化する。また、中央部より端部が大きくなる。道示のばね定数とFEMによるばね定数を比較すると、Case1では大差ないがCase2はFEMばね定数の方が2倍程度大きい。図-6は底版部についてのせん断ばね定数を示したものである。Case1、Case2ともに道示ばね定数に比較してFEMばね定数が大きく、特にCase2では端部のばね定数は道示ばねの約2.5倍になっている。先に図-2では、Case2のボックス下端部で急激に地盤剛性が増加していることがわかるが、この底版近傍の地盤剛性の影響により、FEMばね定数が大きくなったものである。

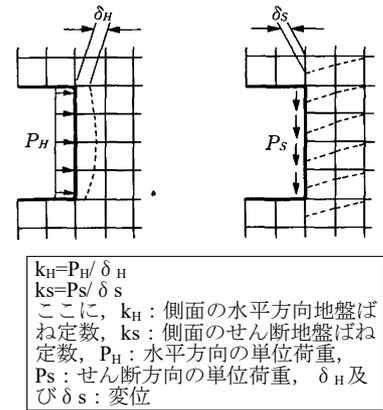


図-3 地盤ばね定数の算出方法⁴⁾

4. 断面力への影響

以上の地盤ばね定数の違いによる構造物の断面力への影響を確認するため、曲げモーメントの比較を行ったものが図-7である。ここでは、道示ばねに基づく応答変位法、FEMばねを用いた応答変位法、FEMモデルによるFEM応答変位法、及びFEMモデルによる応答震度法の比較を行った。図では曲げモーメントの発生位置をわかりやすくするため、構造物の隅角部をA, B, C, Dで表した。Case1の結果で見ると、ほとんど差が無いことがわかる。一方、Case2では大きな差はないが全体に道示ばねの曲げモーメントが小さく、FEMばねの曲げモーメントが大きくなっている。

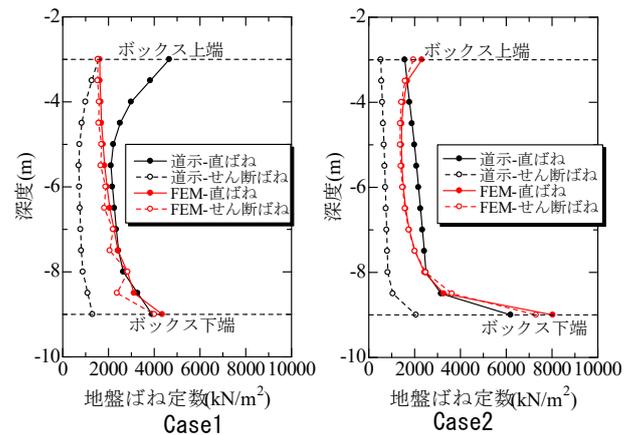


図-4 側壁部の地盤ばね定数

FEM応答変位法、応答震度法の結果はその中間にあり、両者にほとんど差が無い。Case2に対するFEMせん断ばね定数は、特に底版部で下層の地盤剛性が大きくなっている影響で大きめの値を与える。その影響でやや断面力を大きめに評価している可能性がある。逆に、直ばねの1/3の値となる道示式の地盤ばね定数では、条件によってはややばね値を過小評価している可能性がある。

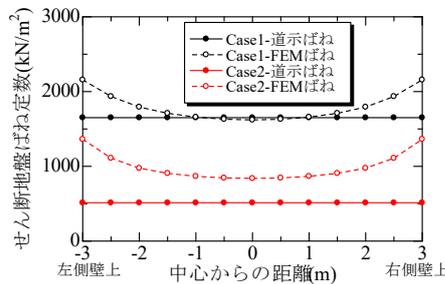


図-5 頂版部のせん断ばね定数

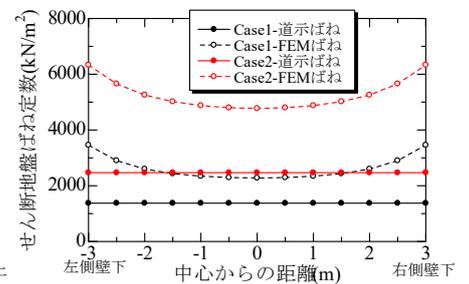


図-6 底版部のせん断ばね定数

5. まとめ

応答変位法で用いる地盤ばねの設定による影響を、単純なモデルにより道示ばねとFEMばねの比較として検討した。その結果、部材の発生曲げモーメントに対して大きな差はないが、条件によってはFEMばねを用いると若干大きめの結果を与え、道示ばねでは若干低めの結果となる可能性がある。

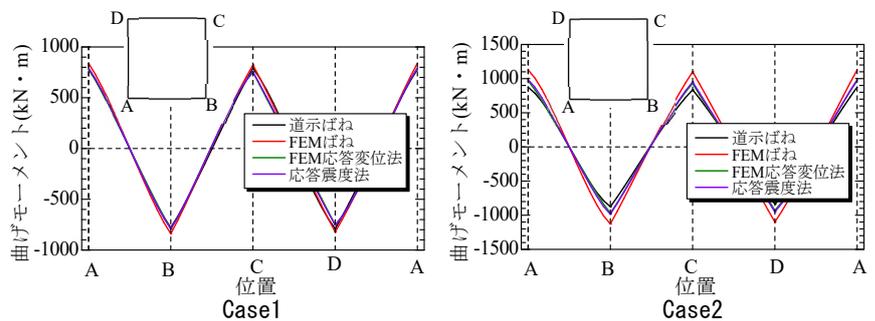


図-7 各手法による曲げモーメント比較

<参考文献>

- 1) 首都高速道路株式会社：トンネル構造物設計要領（開削工法編），2019.
- 2) 公益社団法人 日本水道協会：水道施設耐震工法指針・解説 2022年版 本編，2022.
- 3) 建設省土木研究所地震防災部振動研究室：地盤の地震時応答特性の数値解析法—SHAKE:DESRA—，土木資料第1778号，1982.
- 4) 例えば，川島一彦編著：地下構造物の耐震設計，鹿島出版会，1994.