

円形立坑の耐震設計手法に関する諸検討（その2）

清水建設(株) 正会員 ○松原菜緒 坂井康伸 伊海田明宏

1. はじめに

前報¹⁾では、構造物モデルと地盤要素の接続方法に着目し、立坑壁部の質点と側方地盤の平面ひずみ要素をせん断ばねで接続し、立坑底版部の質点の回転自由度を別途定めた回転ばねに接続することで、立坑の応答値が小さくなることを示した。本稿では、前報で求めた立坑の応答値の妥当性についての検討として、応答変位法による応答値との比較を行う。

2. 検討条件

円形立坑は図1に示す3次元シェル要素でモデル化する。円形立坑の諸元を表1に示す。応答変位法での立坑への変位入力は「片押し」、「両押し」、「片押し・片引き」の3パターンが考えられるが、本稿は前報¹⁾の応答値との比較を目的としているため、前報の解析モデルの条件とよく合う「片押し・片引き」とした。

地震による地盤変位および地盤の剛性低下は、前報と同じ地盤モデルと入力地震動を用いて1次元等価線形解析(SHAKE)により定める。図2に立坑の底版～頂版の相対変位最大時刻の地盤変位とせん断剛性(収束値)の深度分布を示す。応答変位法で入力する地盤変位は底版中心位置(GL-36m)からの相対変位とする。

解析モデルの地盤ばねを表2に示す。側壁の半径方向の地盤ばね定数は、地盤の各層を一樣・無限な連続体と考え、土の動的変形係数(収束値)を用いて表2に示す算定式より設定した。底版の鉛直方向の地盤ばね定数は、前報で定めた回転ばね定数を底版下面の円盤の断面2次モーメントで除して算定した。

検討ケースは、これまで述べた検討条件のケース(ケースA)と底版を剛体としたケース(ケースB)の合計2ケースを行った。

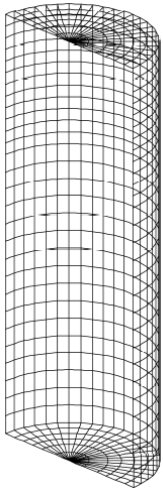


図1 解析モデル(180度モデル)

表1 立坑諸元

名称	値
直径(軸心位置)	14.0 m
壁厚	1.0 m
高さ(軸心位置)	36.0 m
頂版厚	1.0 m
底版厚	1.5 m
ポアソン比	0.2
弾性係数	$2.52 \times 10^7 \text{ kN/m}^2$

表2 側壁の地盤ばね定数

名称	値
半径方向 K_{sr}	$K_{sr} = 2G/r \text{ kN/m}^3$
収束せん断剛性 G	図-2参照 kN/m^2
側壁外面半径 r	7.5 m
円周方向 K_{st}	$K_{st} = K_{sr}/3 \text{ kN/m}^3$
鉛直方向 K_{sz}	$K_{sz} = K_{sr}/3 \text{ kN/m}^3$

表3 底版の地盤ばね定数

名称	値
鉛直方向 K_{tz}	520000 kN/m^3
半径方向 K_{tr}	$K_{tr} = K_{tz}/3 \text{ kN/m}^3$
円周方向 K_{tt}	$K_{tt} = K_{tz}/3 \text{ kN/m}^3$

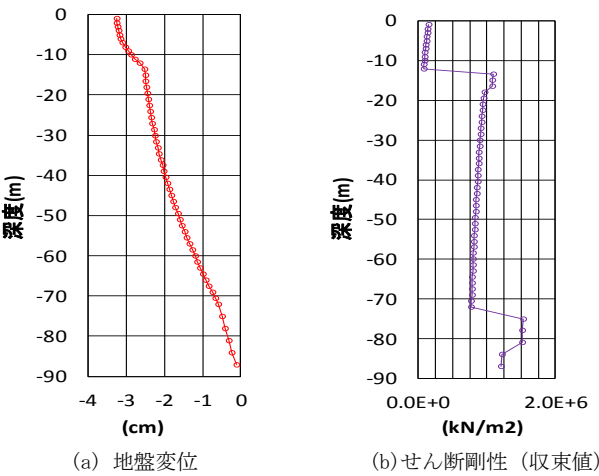


図2 一次元地盤応答解析結果

キーワード： 地震応答解析、立坑、応答変位法

連絡先： 〒104-8370 東京都中央区京橋2丁目 清水建設 エネルギー設計部 TEL 03-3561-3895

3. 検討結果

図3に立坑の全体曲げモーメントの深度分布を示す。同図には前報¹⁾のケース1～3の結果もプロットしている。本稿のケースA,Bの全体曲げモーメントは、立坑の側壁の各位置の軸力に立坑中心面からのアーム長を乗じた値の全周の和より算定した。

図3をみると、ケースAの全体曲げモーメントは、前報のケース3の結果と比較して、値は小さいものの、GL-12.0m付近で極大値を示すなど、全体的な傾向はよく似ている。

特に GL-25.0m 以浅での全体曲げモーメントの増減の仕方は類似しており、その値の差は、前報での検討が2次元解析で周辺地盤の影響を受けやすい解析であることも影響していると考えられる。なお、応答変位法による検討では、地盤ばねへの自然地盤の応答変位の入力に加え、地盤内のせん断応力や躯体慣性力を作用させることも多いが²⁾、本検討では考慮していない。これらの影響度も今後の検討によって明らかにする必要がある。

一方、GL-36.0m 付近の全体曲げモーメントについては、前報のケース3の値が本稿のケースAの3倍以上大きい値を示している。底版のたわみの影響を考えケースBとして底版が剛体のケースの検討を行ったが、ケースAに対する値の増加はわずかであり、前報の2次元地盤応答解析の特有の要因で GL-36.0m 付近の全体曲げモーメントが大きくなっていることが推察される。

図4に立坑の変位分布を示す。同図には、前報のケース1～3の結果および入力条件である自然地盤の変位もプロットしている。本稿のケースの変位は90度位置における円周方向の変位とした。

図4をみると、GL-12.0m 付近にみられる自然地盤の変位の急変が立坑の剛性によって立坑の変位分布には見られなくなる傾向は共通しているものの、地表面付近変位は、本稿の応答変位法では自然地盤の1/2程度であるのに対し、前報のケース2,3の自然地盤の変位と同程度になっていることが確認される。

この地表面付近での変位の差は、GL-36.0m 付近の変位の増加率の差で生じており、前報の二次元地盤応答解析は本稿の応答変位法の解析に比べて立坑底版部での回転が顕著であり、また、その反力によって GL-36.0m 付近の全体曲げモーメントが大きくなっていることが確認された。これら違いが、動的解析と準動的解析（応答変位法）の違いによるものか、二次元解析と三次元解析の違いによるものかについて、今後検討する必要がある。

4. まとめ

前報¹⁾の解析結果を応答変位法の解析結果と比較し、全体曲げモーメントの全体的な傾向が類似していることを示した。また、底版付近の全体曲げモーメントと変位分布は両者の解析結果に大きな差があることを示し、その要因の分析が必要であることを示した。今後は三次元動的解析との結果の比較等により、本稿で示した結果の差異の要因分析をすすめていく予定である。

参考文献

- 1) 伊海田明宏他：円形立坑の耐震設計手法に関する諸検討（その1），土木学会第73回年次学術講演会，2018.
- 2) 土木学会：シールド工用立坑の設計（トンネル・ライブラリー第27号），2015.

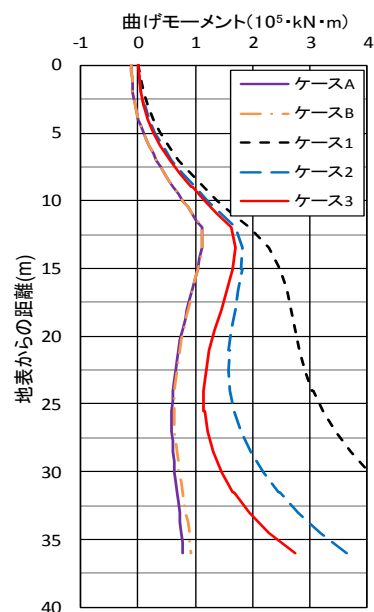


図3 立坑の全体曲げモーメント

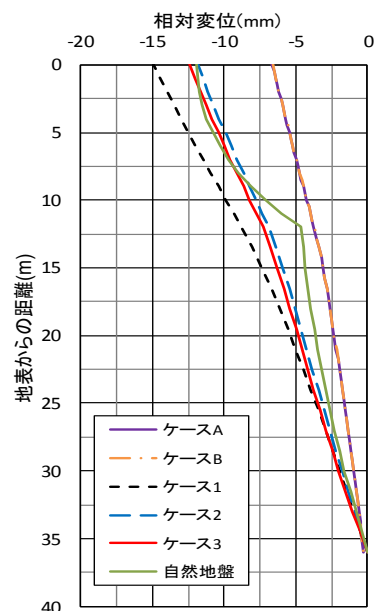


図4 立坑の変位分布