

鹿島建設技術研究所 正会員 本田 満彦 正会員 大保 直人
正会員 鄭 京哲 正会員 鈴木 理恵
埼玉大学 小牧 昭三 水町 理

1. はじめに

立坑のような鉛直地下構造物の地震応答については、まだ明らかにされていない部分が多く、周辺地盤との動的相互作用をどの様に評価するかについて現在多くの研究が行われている。筆者らは動的遠心模型実験を実施し、立坑と地盤の相互作用や立坑に作用する動土圧に関して考察を行った¹⁾。現在は相似則を適用したそれら実験結果を実現象と見なして数値解析によるシミュレーションを行っている。本論は、そのシミュレーションの可能性を確認するために行った、微小実地震波加振実験のシミュレーション結果について報告するものである。

2. 実験及び数値シミュレーションの概要

(1)実験概要 図-1に実験モデルの概要を、表-1に今回数値シミュレーション（以下数値解析と記す）の対象とした実験ケースの実験条件を示す。地盤モデルは豊浦標準砂を用いた深さ33cmの一樣地盤である。立坑モデルとしては、高さHと外径Dの比が異なる2種類のアルミニウム製の円筒を用いた。実験は、El Centro NS波の時間刻みを1/50にしたものを加振波として、50g(gは重力加速度)の遠心加速度場で行った。なお、詳細については文献(1)を参照されたい。

(2)数値解析の概要 解析手法は2次元有限要素法を用い、実験で観測された土槽底面A1及びA4での加速度を入力波として用いた。図-2に解析に用いたFEM MESHと入力方法を示す。

3. 実験結果の数値解析

数値解析結果と実験結果との比較を行い、地盤や立坑の剛性及び減衰を決定した。入力加速度と地表面応答加速度から計算した伝達関数の一次モードに着目した比較及び、地表面の加速度応答の時刻歴の比較を行った。

(1)水平地盤モデルの数値解析 立坑無しの実験(case1)の数値解析を行い、解析地盤モデルの剛性及び減衰を決定した。地盤モデルの剛性は岩崎、龍岡の提案したせん断ひずみ $\gamma=10^{-6}$ に対する下式²⁾に基づき、深さ方向に変化させて算出したせん断剛性率Gを0.9～0.7倍に低減し、ポワソン比 $\nu=0.3$ としてヤング率に変換して用いた。

$$G = 900 \frac{(2.14 \times 10^{-6})}{1 + e} p^{0.4} \quad \text{ここで } p : \text{有効拘束圧} \\ e : \text{間隙比}$$

また、地盤の減衰定数hgは、低減したせん断剛性率に合わせてhg=2～10%の範囲で変化させた。比較の結果、せん断剛性率を0.7倍に低減し、減衰定数をhg=10%とすることで図-3に示すように、地表面の中央A2及び中央から10cm(1g場換算5m)離れた地点A3での応答加速度の振幅・位相とも良く再現できることが分かった。

(2)立坑-地盤モデルの数値解析 立坑を含む実験(case2, 3)の数値解析を行い、解析立坑モデルの剛性及び減衰を決定した。解析では立坑を高さが等しい直方体としてモデル化した。要素の幅は実験立坑モデルの外径Dとし、ヤング率は奥行きをD, 2Dと変化させ、実験立坑モデルの曲げ剛性EIと等しくなるように決定した。また、解析立坑モデルの減衰定数hsは0.2及び0.5%を用いた。比較の結果、奥行きDの直方体として立坑をモデル化し

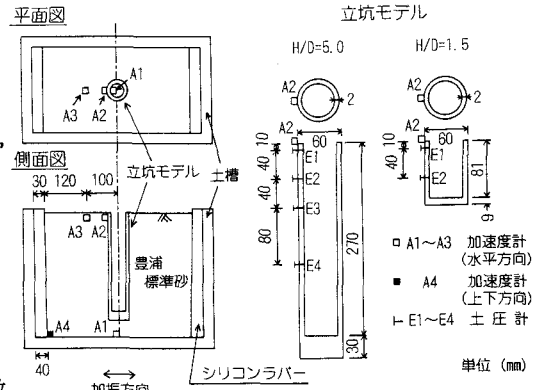


図-1 実験モデルの概要

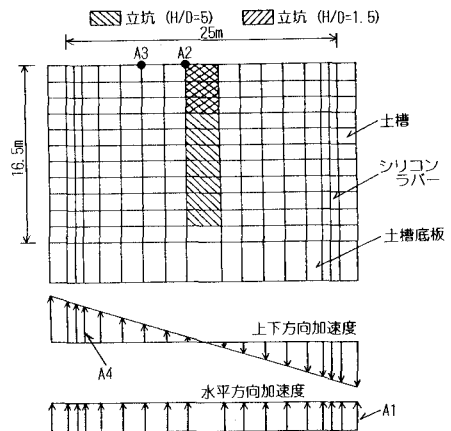


図-2 FEM MESHと入力方法

表-1 実験ケース

	立坑モデル	加振加速度 (1g場換算値)	地盤の 相対密度
case1	立坑なし	1.2g(24gal)	82%
case2	H/D=1.5	1.1g(22gal)	87%
case3	H/D=5.0	1.2g(24gal)	83%

$h_s = 0.5\%$ とすることで、case2, 3の両ケースとも立坑天端A2及び立坑中心から10cm (1g場換算5m)離れた地点A3における応答加速度の振幅・位相とも良く再現できることが分かった。図-4にcase3の比較結果を示す。

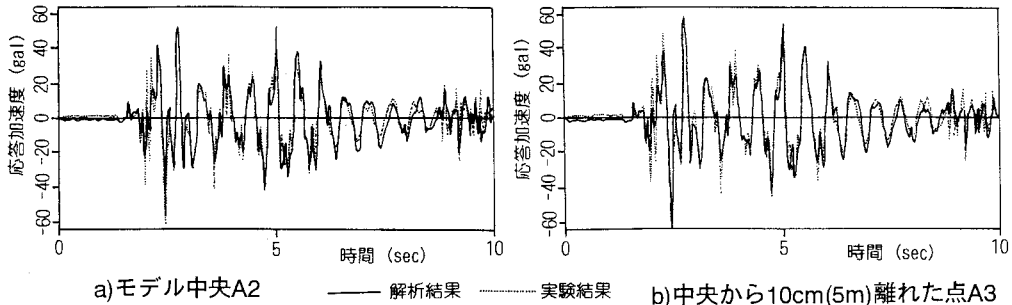


図-3 地表面応答加速度の比較 (case1立坑なし)

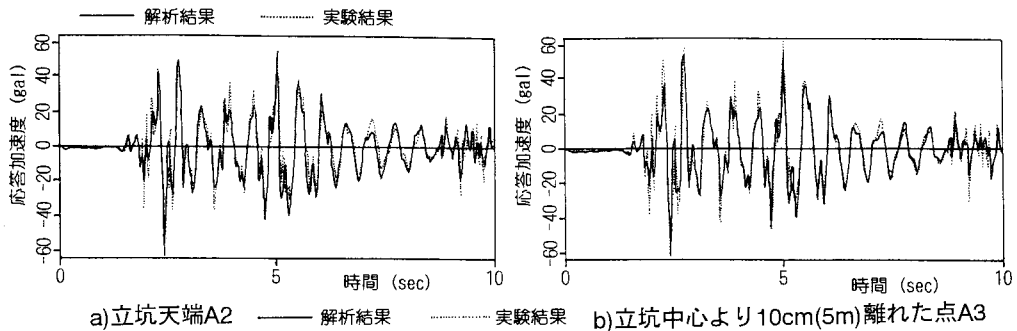


図-4 地表面応答加速度の比較 (case3,立坑H/D=5)

(3) 立坑に作用する動土圧の比較

以上に示した条件で解析を行い、立坑部横の要素に働く水平応力を土圧と考えて実験結果と比較した。図-5に動土圧の最大値分布の比較を示す。この図より、全体的に実験値が解析値に比較して大きな値を示しており、地表面の応答加速度ほど一致していないことが分かる。このように動土圧が一致しなかった理由としては以下の事が考えられる。

①解析立坑モデルの剛性や減衰の決定を、一次モードに着目して比較を行ったため、高次のモードに起因する動土圧を解析上で評価できなかった。

②解析立坑モデルの剛性を曲げ剛性のみに着目し決定したため、立坑全体の変形モードが影響する立坑天端及び地表面の加速度応答は良好に再現できたが、部分的な剛性が影響すると思われる動土圧は十分に再現できなかった。

③要素の分割を地表面の応答のみで評価したため、立坑近傍の局所的な挙動を厳密に再現できなかった。

4. おわりに

2次元有限要素法により実現象に換算した動的遠心模型実験結果のシミュレーションを行い、地表面の加速度応答について十分再現できることが確認できた。しかし、立坑に作用する動土圧については、地表面の加速度応答ほど一致しなかった。これは、動土圧の厳密なシミュレーションを行うためには、立坑の形状やヤング率の解析モデル化及び立坑近傍の要素分割方法を、地表面加速度応答の比較のみで決定できない為と思われる。今後は、地盤の非線形性が大きく表れる加振レベルの大きな実験結果の解析を行う予定である。

参考文献(1)例えば、本田他；立坑に作用する動土圧について-遠心力場における振動実験結果-、第22回地震工学研究発表会、1993. 7(2)土木学会編；新体系土木工学18土の力学(Ⅲ)

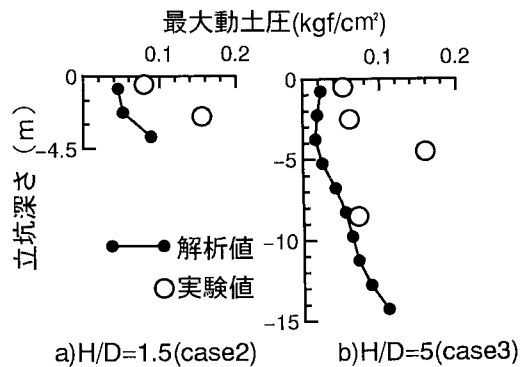


図-5 動土圧の最大値分布の比較