

I-534

トンネルを有する水中盛土の動的挙動

（その2） 模型振動実験結果の数値解析

（調） 奥村組 正員○坂上 明

（調） 奥村組 正員 竹内幹雄

東京湾横断道路（調） 正員 水谷善行*）

埼玉大学 正員 渡辺啓行

1. はじめに

正弦波加振によって、水中盛土の基本的な振動特性が実験的に把握された。ここでは、地盤の非線形性を考慮した数値解析によって実験結果を検証し、本供試体のような複合構成体の地震時挙動について若干の検討を加える。以下に解析手順を示す。

(i) 物性値の決定

(ii) 静的解析による初期応力の評価

(iii) 30gal 正弦波入力時の数値解析

(iv) 400gal 正弦波入力時の数値解析（等価線形解析）

（解析モデルに使用した物性値の検証）

2. 解析条件

解析モデルは図-1に示すように2次元有限要素で離散化した。すなわち、ジャケット及びトンネルは梁要素で、6種から成る地盤部は全て平面ひずみ要素で離散化した。水が存在することによる影響は、浮力による模型材料の拘束圧の低下、つまり模型材料の初期せん断弾性係数の低下というかたちで間接的に評価した。解析に用いる物性値は表-1のように決定した。すなわち、改良土（混合処理盛土、深層混合処理土）の動的物性値は動的変形試験から求め、砂層、粘土層、ロック材の動的物性値は模型作成段階で実施した弾性波探査と既往の研究成果を参考に決定した^{1) 2)}。砂層部の初期せん断弾性係数は初期応力解析から求めた平均有効応力に基づいて要素毎に定義した。はり要素が介在するような数値モデルに対して自重解析を行う場合、はり要素周辺の応力状態は剛性の不均一性等の理由でみだれる。ここではGoodman によるジョイント要素を梁要素と平面ひずみ要素の境界に導入し、初期応力を求めた。

3. 解析結果と考察

i) 30gal 正弦波入力時の数値解析

解析モデルの固有振動数は約22Hz、加速度応答倍率は約24倍であった（図-2参照）。模型地盤の拘束圧は0.05~0.1kgf/cm²と極めて小さいため発生ひずみが小さい段階から非線形性が表れることが推測された。そこで、地盤材料の非線形性を等価線形化法で評価した解析を行った結果、固有振動数は約19Hz、加速度応答倍率は約5倍という結果を得た。この時の盛土中央における加速度応答倍率の深度分布は実験結果と同様に1次モードを呈し（図-3参照）、解析値は実験値に近づく傾向にあることを確認した。このように、模型振動実験のような低拘束圧下の砂地盤の挙動は、入力加速度

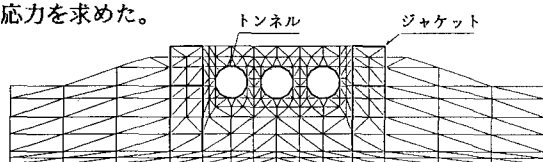


図-1 解析モデル

表-1 動的物性値

	G (kg/cm ²)	h	W (g/cm ³)	ν
沖積粘土	$5.3(\sigma'_v)^{1/2} \cdot \frac{1}{1+r/3.0 \times 10^{-4}}$	$0.23 \times \frac{r}{3.0 \times 10^{-4} + r}$	1.70	0.49
深層混合処理土	$200 \times \frac{1}{1+r/1.2 \times 10^{-4}}$	$0.22 \times \frac{r}{1.2 \times 10^{-4} + r} + 0.03$	1.47	0.49
混合処理盛土	$300 \times \frac{1}{1+r/4.5 \times 10^{-4}}$	$0.14 \times \frac{r}{4.5 \times 10^{-4} + r} + 0.05$	2.10	0.49
サンド・コンパクション・ポイル 洪積砂	$700 \frac{(2.17-e)^4}{1+e} (\sigma'_m)^{1/2} \cdot \frac{1}{1+r/2.5 \times 10^{-4}}$	$0.39 \times \frac{r}{2.5 \times 10^{-4} + r}$	1.93	0.49
ロック材	$564 \frac{(2.17-e)^4}{1+e} (\sigma'_m)^{1/2} \cdot \frac{1}{1+r/5.0 \times 10^{-4}}$	$0.23 \times \frac{r}{5.0 \times 10^{-4} + r}$	1.95	0.49

*）元奥村組、現在東京湾横断道路調出向中

レベルが小さくても、材料の非線形性が無視できない場合があることがわかる。なお、模型地盤は水の介在により、振動エネルギーが消費されやすい状態にあると推測され、このため実験値は解析値の半分程度の応答値を示している。粒状体から構成される地盤に水が介在した場合のエネルギー吸収機構とその程度を把握することは重要であり、今後の課題である。

ii) 400gal正弦波入力時の数値解析

破壊実験時、サンド・コンパクション・パイル層に過剰間隙水圧が発生した。ここでは、過剰間隙水圧の上昇による材料の劣化現象を初期せん断弾性係数の有効拘束圧依存性で表現した。すなわち、実験結果に基づいて間隙水圧比を全要素一様に0.9とみなし、初期平均有効応力の10%に対応する初期せん断弾性係数を用いた。地盤材料の非線形性は等価線形化法によって求めた。その結果、以下のことが明らかになった。

①図-4に示す加速度応答倍率の深度分布より、400gal入力時においても実験値の加速度応答をおおむねシミュレートすることが出来る。②入力加速度がゼロクロスする時点から次に最大値をとる時点までの4断面（時間断面①～④）の加速度応答分布の経時変化（図-5参照）より、盛土部の挙動とサンド・コンパクション・パイル層の挙動が異なること、ジャケットは周辺の地盤の挙動に追従すること等、実験結果の定性的な傾向に一致することが読み取れる。③トンネルに発生するモーメント分布（図-6参照）より、トンネルの設置位置の違いによって分布形状が異なることがわかる。すなわち、中央トンネルでは鉛直軸より約45度傾斜した軸を長軸とした楕円形の分布であり、外側トンネルでは水平軸を長軸とした楕円形の分布であることがわかる。この特性は実験結果に一致する。

4. おわりに

このように、本供試体のような複合構造物に於いても地盤の非線形性を等価線形化法で評価した数値解析によって実験結果を検証できた。今後この種の模型振動実験の研究に際して一資料になれば幸いである。なお、本解析にあたり種々の御指導を頂いた東海大学久保慶三郎教授に深甚な謝意を表します。

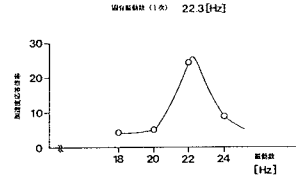


図-2 共振曲線（加速度）

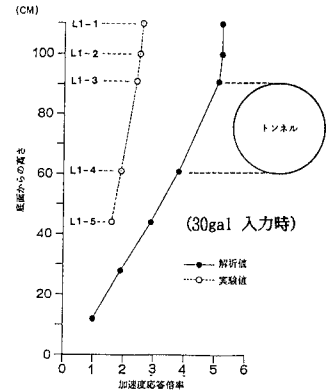


図-3 加速度応答倍率の深度分布

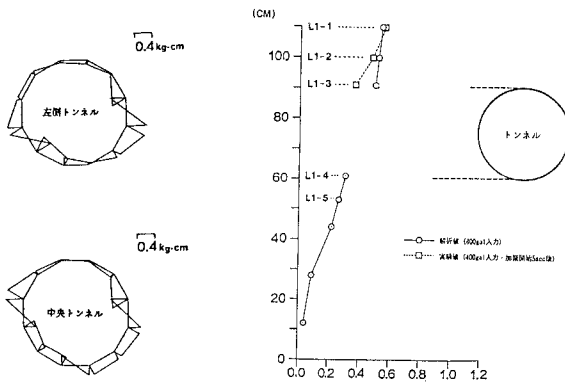


図-4 加速度応答倍率の深度分布

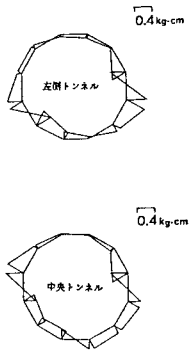


図-6 モーメント分布

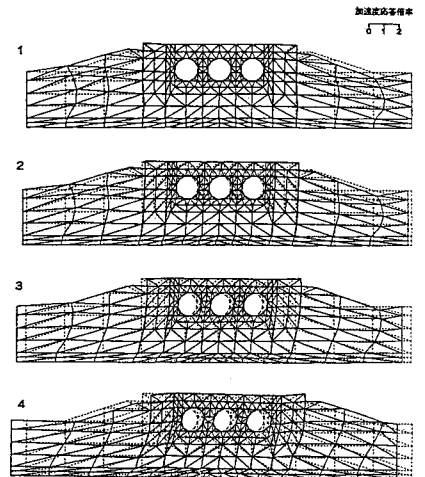


図-5 加速度応答分布の経時変化（400gal入力時）

参考文献

- 1) 田中・西 他：護岸基礎捨石マウンドの沈下予測（その2）電中研究報告
- 2) 石田・渡辺 他：低拘束圧下の静的・動的特性 電力中央研究所総合報告（380045）