

東京電力株式会社 正員 原田 光男

" 正員 桜山 昭

" 正員 貝沼 慶男

1.はじめに

首都圏に建設される地中送電用洞道の占有深さの深層化傾向に伴い、洞道と併設される立坑も、大深度化している。一方、軟質地盤中における立坑と地盤の地震時挙動については、いまだ不明な点も多く、明確な耐震設計手法は確立されていないのが現状である。著者らは、立坑の耐震設計手法を検討する一ステップとして、立坑の地震時挙動の把握及び立坑の耐震設計における各種解析手法の適用性の検討を行う等の目的で、弾性模型振動実験ならびに数値解析を実施したので、その結果の概要について報告するものである。

2. 模型振動実験の概要

軟質地盤に建設される深さ50m、内径10m、外径15mのRC円形立坑を想定し、シリコンゴムを用いた縮尺1/150の模型を製作した。(図-1)

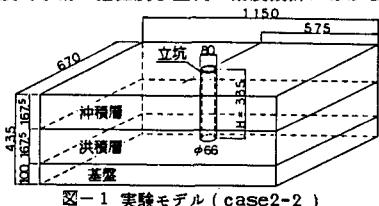


図-1 実験モデル(case2-2)

表-1 実験モデルのケース

ケース	模型の構成
一層地盤 モデル	case1-1 沖積層+基盤
二層地盤 モデル	case1-2 沖積層+立坑+基盤
case2-1	case2-1 沖積層+洪積層+基盤
case2-2	case2-2 沖積層+洪積層+立坑+基盤

3. 数値解析の概要

数値解析は実験モデルを対象に、動的解析として擬似三次元FEM解析及び擬似三次元バネ・マス系解析を行い、また、静的解析として応答変位法による解析を行った。図-2～4に各解析に用いたモデルを示した。特

にバネ・マス系解析では立坑底面を仮想立坑（基盤と同一の物性値を有する立坑）としてモデル化した。表-3、4は、解析で用いた地盤物性値であり、地盤のみの実験モデルを対象として、実験を数値解析の一次共振振動数とそのときの加速度応答値の大きさが一致するように定めたものである。

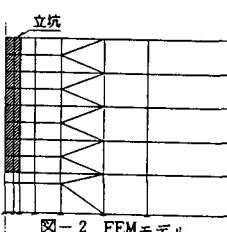


図-2 FEMモデル

地盤の設定値	せん断弹性波速度(%)			単位体積重量(%)		
	沖積層	洪積層	基盤	沖積層	洪積層	基盤
150	250	400	1.5	1.75	2.0	
模型地盤の設定値	8.0	13.3	21.3	1.0	1.16	1.33
模型地盤の実測値	9.5	12.0	21.3	1.0	1.0	1.5

表-2 地盤物性値

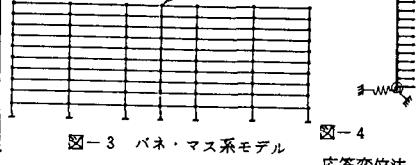


図-3 バネ・マス系モデル

応答変位法

モデル

表-3 数値解析用地盤物性値(FEM)

物性値	地盤	一層地盤モデル		二層地盤モデル	
		沖積層	基盤	沖積層	洪積層
単位体積重量(%)		1.0	1.5	1.0	1.0
せん断弹性波速度(%)		9.6	21.3	9.6	11.1
減衰定数(%)		14.5	5.0	10.5	8.5

表-4 数値解析用地盤物性値(バネ・マス系)

物性値	地盤	一層地盤モデル		二層地盤モデル	
		沖積層	基盤	沖積層	洪積層
単位体積重量(%)		1.0	1.0	1.0	1.5
せん断弹性波速度(%)		9.1	21.3	9.1	10.5
減衰定数(%)		16.7	5.8	10.5	9.5

4. 結果及び考察

(1) 立坑の地震時挙動について：図-5～7は、立坑の加速度応答倍率、動土圧、総歪と振動数の関係を示したものであるが、これによれば、立坑～地盤系の各種応答は、いずれも、地盤のみのモデルの一次の固有振動数（一層地盤モデル：6.6Hz, 二層地盤モデル：7.2Hz）で最大となり、その他では、際だったピークを示していない。

図-8, 9に、一層地盤モデルについて、共振時ににおける加速度、動土圧、総歪の位相を示した。同一深さにおける立坑と周辺地盤の応答加速度の大きさ及び位相にはあまり差がなく、立坑が周辺地盤に追従した挙動をしていることが分る。この結果は、

立坑の耐震設計に応答変位法の基本的な考え方が適用できることを示している。

立坑に働く動土圧と加速度との位相関係から、動土圧は、立坑中間部で立坑を変位させる方向に作用し、頂部と底部付近で立坑を押し戻す方向に作用していることが分る。これは、実験及び数値解析による立坑の縦歪の出方を良く説明している。図には、一層地盤モデルについてのみ示したが、同じような傾向が二層地盤についても得られた。

図-10に、地盤の地質構成の違いによる影響について示した。これより、一層地盤モデルに比べ、二層地盤モデルでは、動土圧、縦歪とともに、大きくなる傾向があることが分る。

(2) 各種数値解析手法の適用性について：図-11は、応答変位法を適用した場合、地盤バネの評価の違いが最大曲げモーメントに、どのような影響を与えるか示したものである。最大曲げモーメントは、絶対値で示している。これによれば、静的FEM解析により地盤バネを評価した方が、より実験に近い傾向を示している。応答変位法による最大曲げモーメントは、立坑底面で実験より大きいが、これは、立坑底面の回転バネ等の評価が非常に難しいことを示している。

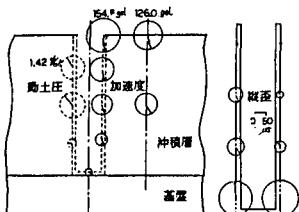


図-8 応答と位相角（実験・case1-2）

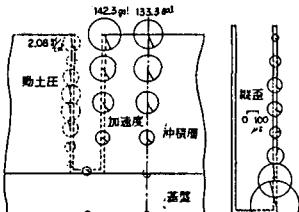


図-9 応答と位相角（FEM・case1-2）

図-12は、共振時における各種解析手法ならびに実験による立坑の曲げモーメントを比較したものである。応答変位法については、地盤バネを静的FEMにより評価した結果である。これによれば、動的FEMによる解析結果は、一層地盤、二層地盤とも実験よりも大きくなっている。

5. あとがき

今回の模型振動実験ならびに数値解析から、立坑のような地中構造物に対しても応答変位法を適用できることが、ある程度明らかとなった、今後、実際の立坑を対象とした地震観測ならびに地震応答解析等を含めて、総合的に判断し、深部立坑の耐震設計手法に関する検討を加えていく必要があると思われる。

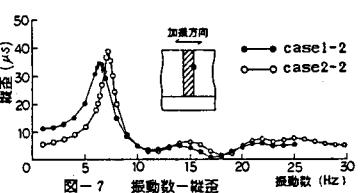
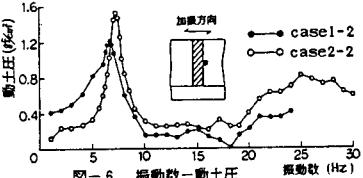
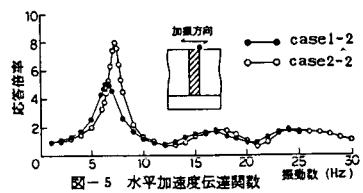


図-10 case1-2 と case2-2 の比較

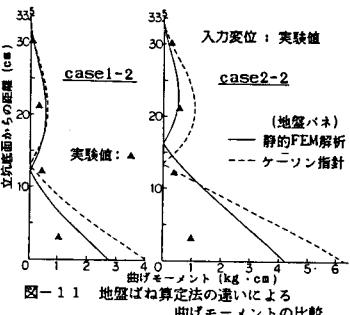


図-11 地盤ばね算定法の違いによる曲げモーメントの比較

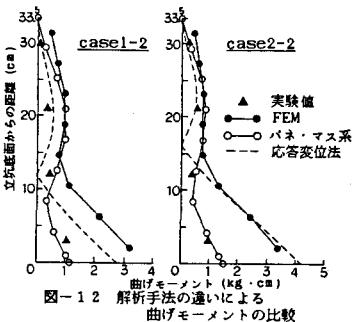


図-12 解析手法の違いによる曲げモーメントの比較