

鋼管矢板井筒基礎の振動解析モデル

九州大学工学部 学 ○南部 俊彦  
 九州大学工学部 正 鳥野 清 正 麻生 稔彦  
 鋼管杭協会 正 吉田 映 正 片山 猛  
 正 永見 晃一

1. はじめに

鋼管矢板井筒基礎の模型実験結果と模型本体および模型-地盤系の各モデルに対する応答解析結果との比較により、鋼管矢板井筒基礎の動特性算定モデルの検証を行った。

2. 解析結果

(1) 模型モデル

実験に用いた鋼管矢板井筒基礎の模型本体を、図-1に示すように2種類の多質点系モデルに置換し、有限要素法を用いて固有値解析を行った。MODEL-1は各質点が模型井筒部の断面剛性を持つ1本のはりとし、MODEL-2は模型両サイドの質点が井筒部の1/2の断面剛性を持つモデルである。これらのモデルにおいて継手効率 $\mu=0$ (継手なし)と $\mu=0.5$ における固有振動数を表-1に示す。 $\mu=0$ における模型の固有振動数7.25Hzに比べMODEL-1は小さな値を示しているが、MODEL-2はほぼ妥当な値となっている。次に、MODEL-2を用いてCASE1-1(内部砂なし)およびCASE1-3(内部砂あり)の実験から得られた固有振動数に一致する時の継手効率の計算結果を表-2に示す。CASE1-3においては模型内部の砂の重量を各質点に均等に付加質量として与えて解析している。MODEL-2のCASE1-1において固有振動数の低下に伴い継手効率が小さくなっているが、本模型では継手にシリコン系の接着剤を用いたことから $\mu$ の値そのものもかなり小さい。井筒内部に砂を入れたCASE1-3の場合には固有振動数が大きくなっていることから $\mu$ の値が4倍以上になり、井筒剛性が高くなっていることがわかる。一方、MODEL-1のCASE1-3では $\mu=1$ となり、模型剛性をかなり高めないと実験値と一致しない。以上の結果および井筒内部土も併せて評価できることから、模型本体のモデルとしてはMODEL-2を用いることとした。

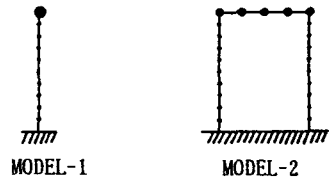


図-1 模型モデル

表-1 模型本体の固有振動数

継手効率 $\mu$	固有振動数 (Hz)		
	実験値	MODEL-1	MODEL-2
継手なし	7.25	3.4	6.99
0.5	—	11.8	18.01

表-2 井筒内部土による継手効率の影響

	入力 (gal)	実験値 (Hz)	継手効率 $\mu$	
			MODEL1	MODEL2
CASE1-1	30	11.9	—	0.135
	50	10.9	0.420	0.106
	70	10.2	—	0.087
CASE1-3	50	13.3	1.000	0.460

(2) 模型-地盤系モデル

表-3に模型-地盤系を振動台で加振試験したときの共振曲線から算出した固有振動数と減衰定数を示す。モデル化にあたっては地盤の奥行き幅を考慮した疑似3次元モデルを使用した。模型本体はMODEL-2のモデルを用い、模型内外部の砂はソリッド要素としFLUSHを用いて解析を行った。ただし、CASE2-3の解析では井筒内部土を付加質量として考慮していない。継手効率と減衰定数はそれぞれのCASEに対して表-2および表-3に示す値を用いている。このモデルに加速度一定のホワイトノイズを入力し、求められた模型および砂地盤の卓越振動数と応答加速度を表-4、表-5に示す。まず、砂地盤の弾性波速度 $V_s$ として板たたき法によって得られた実験値90m/sを用いて線形解析を行ったが、実験の固有振動数に比べて小さく $V_s=100$ m/sの時に一

表-3 模型実験の固有振動数と減衰定数

入 力	CASE2-1		CASE2-3		
	30gal	50gal	30gal	50gal	
固有振動数 (Hz)	26.0	25.5	26.0	25.0	
減衰定数	模型	0.128	0.122	0.139	0.104
	地盤	0.056	0.062	0.044	0.066

致した。しかし、表-5に示すように $V_s=100$  m/sを用いると25Hzの正弦波を50galで入力したときの応答加速度が実験値より大きくなった。そこで、地盤特性にSeedの歪依存曲線を使用した等価線形法による非線形解析を行ったところ、 $V_s=116$ m/sで、地盤および模型の固有振動数と応答加速度がほぼ実験値と一致した。試験より得られた弾性波速度は砂地盤表層の値と考えられ、砂地盤下層ではこの値より大きいことが予想されることから、砂地盤の平均的な弾性波速度としては $V_s=110$ m/s~120m/sが妥当であると考えられる。

表-4の結果によれば模型の卓越振動数は地盤の卓越振動数に一致しており、井筒基礎部分が地盤の卓越振動によって強制振動されていることがわかる。今回の模型実験では模型本体と地盤剛性の相似率が実際とは異なることから、模型本体のみの剛性を100倍、1000倍と変化させて数値解析を行ってみたが、模型と地盤の固有振動数は一致していた。したがって、地震時における実際の鋼管矢板井筒基礎は地盤の卓越振動による強制振動を受けていると考えられる。

(3) 模型-地盤ばね系モデル  
 一般に鋼管矢板井筒基礎の動特性を検証する場合、MODEL-1に地盤ばねを付加したモデル系で解析することが多い。この場合には地盤をばねとしてのみ評価することから、今回の模型実験の中で模型天端を小型加振機で加振したCASE2-4に対応している。この結果と振動台加振結果CASE2-3を比較すると、両者は全く異なった共振線を示していた。CASE2-4では機振機の性能上40Hz以上の加振を行えなかったが、共振線線の形状より模型本体の固有振動数は40Hzより少し大きいところに存在していると推測できた。そこで、表-2に示す継手効率を有するMODEL-1とMODEL-2に地盤ばねを付加して固有値解析を行った。この解析においては地盤の付加質量が重要なファクターとなることから、井筒内部土は付加質量として考慮するが、井筒外部土としては内部土と等しい質量を考慮する場合としない場合の両方で解析した。その結果を表-6に示す。CASE2-3、CASE2-4の試験と解析結果の比較により、井筒外部土をも付加質量として考慮した場合の固有振動数が40Hz近傍となり、両者が一致することが判った。

3. まとめ

地震時における鋼管矢板井筒基礎の応答特性は地盤の卓越振動数に強く影響されることから、模型-地盤系の全体モデルで解析しなければならない。したがって、井筒基礎本体の剛性だけでなく地盤の弾性波速度や減衰定数の詳細なデータが重要となってくる。

<参考文献>  
 松元 他：鋼管矢板井筒基礎の動的模型試験、平成3年度土木学会西部支部研究発表会講演概要集

表-4 模型-地盤系モデルにおける卓越振動数

砂地盤 弾性波速度 $V_s$ (m/s)	解 析	入 力 (gal)	卓越振動数 (Hz)			
			CASE2-1		CASE2-3	
			模型	地盤	模型	地盤
90	線形	50	22.5	22.5	22.5	22.5
100	線形	50	24.9	24.9	24.9	24.9
100	非線形	50	21.5	21.0	21.5	21.5
116	非線形	50	24.9	24.9	24.9	24.9

表-5 模型-地盤系モデルにおける応答加速度

入力50gal 25Hz正弦波 (gal)		模 型			外 部 砂			内 部 砂	
		天端	中段	下段	表層	中層	下層	中層	下層
CASE2-1	実験値	515	254	178	324	314	199	—	—
	線形	789	549	258	448	403	267	—	—
	非線形	483	365	164	326	290	181	—	—
CASE2-3	実験値	555	335	238	439	384	286	386	240
	線形	651	461	241	440	405	273	455	239
	非線形	434	317	157	323	295	190	315	157

表-6 模型-地盤ばね系モデルにおける固有振動数

固有振動数 (Hz)	CASE2-2		CASE2-4	
	MODEL1	MODEL2	MODEL1	MODEL2
外部砂付加質量なし	40.93	55.36	37.15	49.23
外部砂付加質量あり	34.68	44.83	32.14	42.07