

建設省土木研究所 正 員 〇大日方尚巳
正 員 岩崎 敏男
建設省北陸地建 干 場 良信

1. まえがき

沈埋トンネル等の地中構造物は、地盤の動きに伴って変形するとして解析が行われており、地盤の変形を正確に求めて解析を行うことが必要である。しかし、沈埋トンネルの一部である換気塔は、空中に突出しており質量が大きいため、その応答には加速度の影響も大きいと考えられる。現在一般に用いられている表層地盤の解析モデルは、地盤のせん断一次振動のみを考慮したものが普通であるが、加速度応答には2次モードの影響が大きい。そこで表層地盤の二次せん断振動まで考慮できる2質点系モデルによる地震応答解析を行い、その効果を調べた。なおモデル改良に当たって固有値解析方法も変更したためその影響についても比較した。

2. 解析方法

解析は、図-1に示す東京湾岸道路に計画されている羽摩川沈埋トンネルにおける換気塔付近の部分モデルとした。入力地震動は、十勝沖地震(1968, $M=7.9$)における八戸港(震央距離189km)での記録波形を使用し、基礎面で最大加速度50galに正規化したものを使用した。解析は、表-1に示すように既住の1質点系モデルにおいて表層地盤の解析を簡便法によるケース{M1(簡便法)}、前記ケースにおいて表層地盤の固有値解析をFEMによるケース{M1(FEM)}、及び2質点系によるケース(M2)について行った。なおSHAKEを用いた表層地盤の解析との比較計算を行い、表-1に示すように各モデル毎に減衰定数を変化させた。

3. 解析結果

固有値解析の結果、表-2に示すようにM2においては2次モードの有効質量比が25%とかなり大きく、約0.8秒の周期を有するため換気塔の固有周期と近接した応答に大きな影響が考えられる。M2とM1(FEM)とを

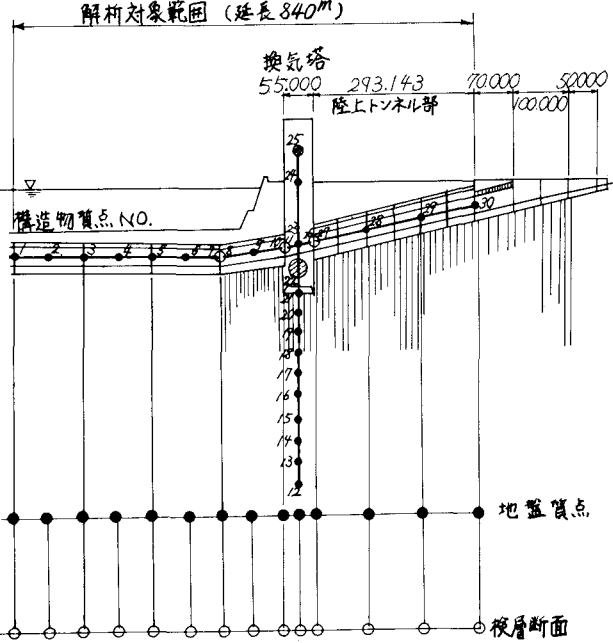


図-1 解析対象トンネル

表-1 解析条件

	1 質点系 (簡便法)	2 質点系	1 質点系 (FEM)
地盤モデルの 解析方法	簡 便 法	せん断多質点 系の固有値	FEMの 固有値
地盤の 減衰定数	20%	10%	10%

表-2 地盤の固有値解析結果(軸方向加振)

周期 No.	1 質点系 (簡便法)		2 質点系		1 質点系 (FEM)	
	周 期 (秒)	有効質量比 (%)	周 期 (秒)	有効質量比 (%)	周 期 (秒)	有効質量比 (%)
1	2.664	60.369	2.467	29.614	2.475	39.929
2	2.094	35.233	2.175	13.029	2.140	18.259
3	1.853	3.520	1.943	2.025	1.874	4.137
4			1.737	2.111	1.670	24.840
5			1.656	25.624	1.641	10.460
6			1.559	2.049	1.503	2.251
7			1.445	0.101		
8			1.313	0.123		
9			1.200	0.022		
10			1.139	0.001		
11			1.065	0.004		
12			1.003	0.003		
13			0.964	0.003		
14			0.830	5.343		
15			0.786	4.704		
16			0.747	0.634		
17			0.723	0.001		
18			0.705	0.338		
19			0.654	11.229		
20			0.630	2.294		

比べると断面毎の固有周期・モード形は基本的に同じであるが、M2では2倍の質点数を持つためモード数が多く、その出現間隔も短かめである。

地盤の加速度応答は図-2に示すようにM2がM1の2倍程度と大きく、2次モードの影響が表われたと考えられる。地盤の変位応答は図-3に示すようにM2とM1 (FEM)は同程度、M1 (簡便法)は20%程度の差がある。

表-3 トンネルの最大応答値

換気塔の加速度はM2によるとM1 (簡便法・FEM共)の2〜3倍の大きな値が得られた。これはM2の地盤加速度がM1の2倍程度と大きいこと、M2では換気塔の固有周期成分の波も含まれること等によるものと考えられる。変位・回転角は、加速度のような大きな差はなく、M2ではM1 (簡便法)の30%程度、M1 (FEM)の10%程度増加する。M1 (簡便法)における換気塔位置の地盤解析は、通常の簡易算定法を用いずに、FEM断面で多層地盤の1次モードに基づいてモデル化しているので、変位についてはかなり正しく評価していると考えられる。そのため換気塔モデルの変位に生じた差は地盤の2次モードを考慮したか否かの違いにより生じたものと思われる。換気塔〜トンネル間の可撓性継手の断面力と変位の大きさは共に、M1 (簡便法) < M1 (FEM) ≤ M2となっている。特に断面力では軸力と曲げモーメントにおける差が大きく、変形もそれに対応して軸方向の伸縮と回転における差が大きくなっているが、せん断力とせん断ずれにはあまり大きな差がみられない。

以上の検討より1質点系モデルでは加速度を過小評価しているため、換気塔のように慣性力で自己振動する構造物に注目して解析する場合には2質点系モデルの方が適切と考えられる。

応 答 値		加振 方向	単位	1 質点系 (簡便法)	2 質点系	1 質点系 (FEM)	
地 盤	加 速 度	L	gal	153	279	200	
		T	gal	146	266	196	
	変 位	L	cm	22.1	31.1	30.2	
		T	cm	20.9	31.4	32.2	
換 気 塔	加 速 度	天 端	L	gal	95	234	110
			T	gal	111	375	122
		底 面	L	gal	89	223	105
			T	gal	99	338	114
	変 位	天 端	L	cm	12.5	14.4	13.8
			T	cm	12.1	18.7	14.9
		底 面	L	cm	11.9	13.8	13.2
			T	cm	11.2	17.2	13.8
	回転による天端と 底面の相対変位	L	cm	0.7	0.8	0.8	
		T	cm	1.6	2.2	2.0	
継手 の 断 面 力	軸 力	海側	L	t	5260	12600	10600
		陸側	L	t	14300	19000	19000
	曲 げ モーメント	海側	T	tm	2300	23500	18400
		陸側	T	tm	6280	21800	21200
	せん断力	海側	T	t	2880	3410	2000
		陸側	T	t	3630	4690	3190
継手 の 変 位	軸方向伸縮	海側	L	cm	2.2	5.2	4.4
		陸側	L	cm	6.0	7.9	7.9
	回転による 端部の開き	海側	T	cm	0.3	2.5	2.0
		陸側	T	cm	0.7	2.4	2.3
	せん断ずれ	海側	T	cm	2.9	3.4	2.0
		陸側	T	cm	3.6	4.7	3.2

参考文献 清宮「海底パイプラインの耐震設計法の検討」 港湾技研資料No.307.78.12

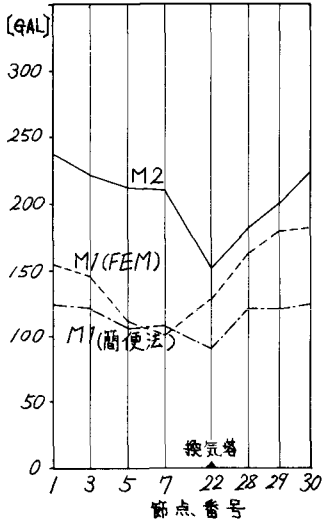


図-2 地盤加速度の分布

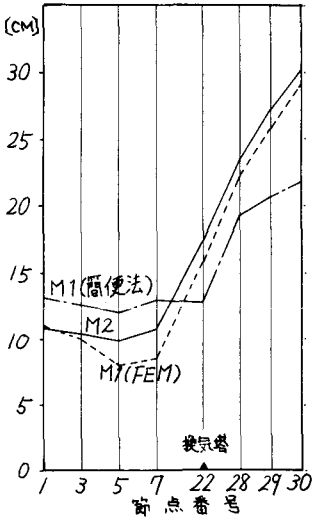


図-3 地盤変位の分布

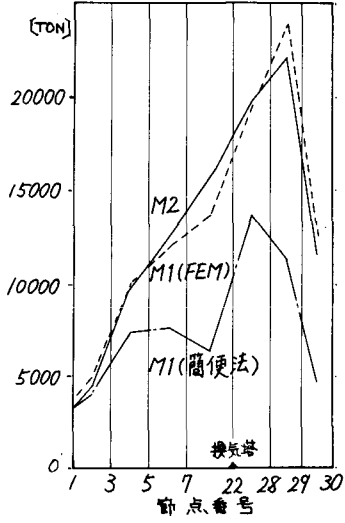


図-4 軸力の分布