

(株) 総合技術コンサルタント 正会員 ○ 西 森 孝 三
大 阪 市 交 通 局 正会員 川 口 大 仁
大 阪 市 交 通 局 正会員 隅 野 洋 治

1) はじめに 大阪市により地下鉄車庫として図1に示される地下構造物が計画されている。その大きさは総面積が10万㎡にもおよび、長辺は400 mを越えているのに対し、厚みが約7 mの版状構造物である(土被1.5 m)。一般に地中構造物は耐震設計上 応答変位法の名で知られている変位入力による方法が用いられている。沈埋トンネルの場合には、地盤の変位振幅は表層地盤の固有周期と所定の速度スペクトルとから与えられ、一方設計用の地震波長は、地動の波長とは無関係に、計算上その断面力が最大となる波長を採るようになっている。⁽¹⁾ 本構造物は非常に広大であり、地盤の相対運動が考慮されるべきものである。このような地動としては表面波が代表的であり、かつ重要と考えられる。ここでは構造物と地盤との動的相互作用を考慮した表面波の応答解析を行ない、変位入力による方法を適用するための地震波長と変位振幅とを得ようとしたものである。

2) 解析理論の概要 弾性表面波に関するこの種の解析理論についてはLysmer⁽²⁾⁽³⁾や土岐らの報文に詳しい。ここでは最終の運動方程式を示すに留める。図2を参照して解析対象領域の剛性行列を $[K]_E$ 、質量行列を $[M]_E$ 、節点変位ベクトルを $\{U\}_E$ とし、円振動数 ω の調和表面波が入射する場合の運動方程式は次式である。

$$([K]_E - \omega^2 [M]_E - [R]_L^R - [R]_R^L) \cdot \{U\}_E = ([R]_L^L - [R]_L^R) \cdot \{v\}_L^R + ([R]_R^R - [R]_R^L) \cdot \{v\}_R^L + \{P\}_E \quad (式1)$$

ここに $[R]_L^L, [R]_R^R$: 左右鉛直境界の伝達境界行列、 $[R]_L^R, [R]_R^L$: L領域からI領域へ、R領域からI領域へ反射波又は透過波が進む場合の等価節点力を求める行列、 $\{v\}_L^R, \{v\}_R^L$: L, R領域から入射する波動の変位ベクトル、 $\{P\}_E$: I領域内の節点に働く強制外力ベクトル。

3) 数値解析モデル 図1のA-A断面の解析モデルの一例が図2である。地下車庫(図中斜線部)及び地上構造物は静的変形の等しい連続体としてモデル化してある(表1)。地盤のS波速度、その他の値を表2に示す。表中第7層までは現地の実測値をもとにモデル化したものであり、それ以降の値については既往の資料⁽⁵⁾をもとに推定した。解析はL領域からレーレー波、ラブ波を入射させることとした。従って(式1)の $\{v\}_L^R$ は基本モード(地表面の木平成成分が1.0となるよう正規化した)であり、 $\{v\}_R^L = \{P\}_E = \{0\}$ である。

4) 分散曲線 表2の地盤モデルについてレーレー波、ラブ波による分散曲線を、入射波の波長と周波数と

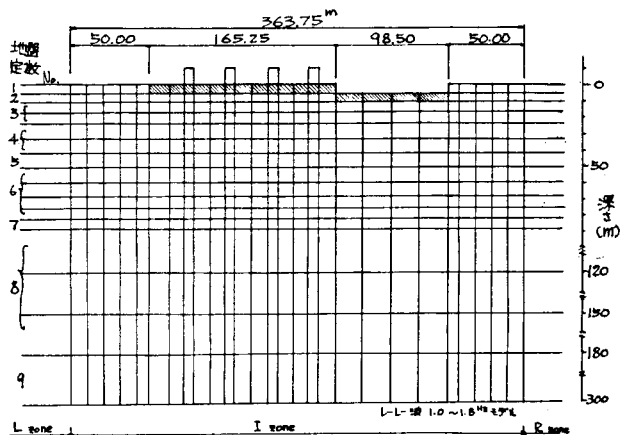
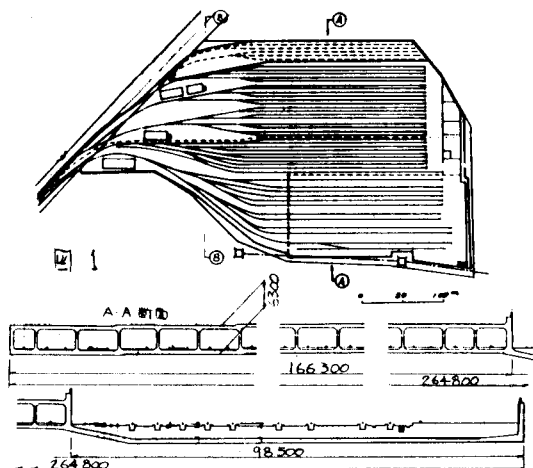


図2

の関係で示すと図3のようである。

表面波の応答解析から、構造物と地盤との相互作用による顕著な卓越周波数が認められるならば、構造物にとって重視すべき地震波長はこの図から得られる。

表 1

	平均厚 (cm)	せん断弾性係数(kg/cm ²) 1-1断面	せん断弾性係数(kg/cm ²) 2-2断面	比重 (t/m ³)
地下車庫部	795,000	3,340	346,000	1.1
地上部	2,550,000	1,110,000		2.3
地盤	43,700	11,300	88,800	0.7

表 2

No.	層厚 (m)	比重 (t/m ³)	S波速 (m/s)	ポアソン比
1	5.45	2.2	565	0.46
2	4.65	-	560	-
3	14.0	2.1	475	-
4	18.0	-	270	-
5	26.4	2.0	360	-
6	13.5	1.8	685	-
7	6.7	1.7	445	-
8	91.3	1.9	750	-
9	∞	2.7	2850	0.2

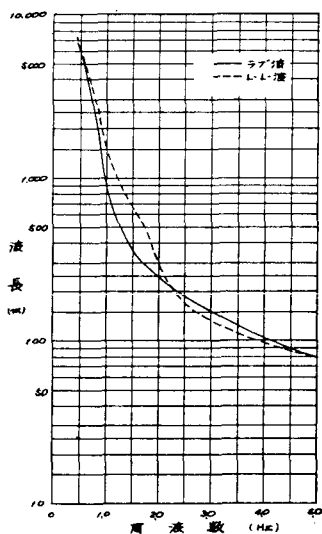


図 3

5) レーレー波による解析 0.2 ~ 5.0 Hz

間を 0.2 Hz 刻みで基本モード（一例を図4に示す）が入射した時の地下車庫上面での水平成分の応答倍率を図5に示す。これにより 1.8 Hz に顕著な卓越周波数が認められ、これと図3より波長は 420 m が得られる。又ここで得られた応答値は力積応答関数のフーリエ変換に相当する。

これと、地表で最大水平加速度 200 gal として 2~3 の強度記録をレーレー波とみなし、そのフーリエ変換とにより応答変位を求めた。その結果、地下車庫下面で最大 20 mm 程度の水平変位であった。

6) ラブ波による解析 レーレー波と同様に基本モードを入射した結果は図6のようである。応答倍率はすべて 1.0 以下であり、卓越する周波数は認められない。このような地動の影響は本構造物にとって小さいものと考えられる。

7) おわりに 本構造物の耐震設計には、震度法とあわせて、本解析結果を用いる変位入力による方法を採用した。なお後者の適用にあたり、上下成分については、他の諸基準にない水平成分の 1/2 とした。概略設計を行なった結果の要点は次のようである。部材断面の決定要因に関して両者を比較すると、主に震度法では曲げモーメント及びせん断力、変位入力による方法では軸力であった。これらの詳細については別の機会に発表する予定である。

最後に 本解析にあたり京都大学の土岐教授、三浦助手には貴重な御指導を戴いた。ここに謝意を表します。

参考文献 (1) 建設省土木研究所「新耐震設計法(案)」土木研究所資料第1185号、昭和52年3月

(2) Lysmer, J. and G. Waas: Shear Waves in Plane Infinite Structures, ASCE, No. EM1, 1972

(3) Lysmer, J.: Lumped Mass Method for Rayleigh Waves, BSSA, Vol. 60, No. 1, 1970

(4) 土岐憲三・三浦房紀「弾性表面波による構造物基礎周辺地盤の振動解析」京大防災研究所年報第20号、昭和52年4月

(5) 大阪地盤編集委員会編「大阪地盤」土質工学会、昭和52年7月

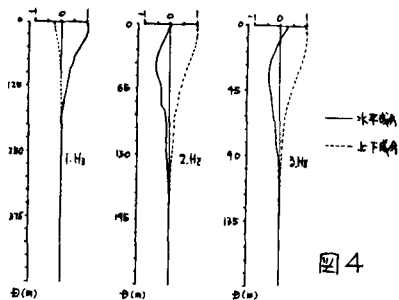


図 4

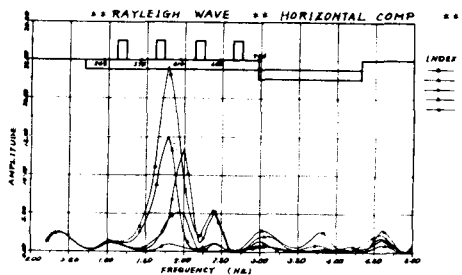


図 5

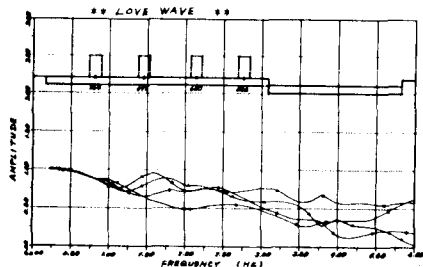


図 6