

応答変位法

にし 西 村 昭 彦*

1. 応答変位法とは

応答変位法は地中に埋設されている構造物を対象として開発された耐震設計法である。地中構造物の耐震性に関するのは加速度による慣性力ではなく、地中での地盤の相対変位であることに着目したものであるが、これは地盤と地中構造物との動的な相互作用の解析や地震観測の成果によるものである。

応答変位法は地盤の変位振幅を、基盤において一定のレベルの加速度を持つ地震動を受ける表層地盤の応答量で評価し、その相対変位を対象とする構造物に地盤のばねを介して外力として作用させる方法が一般的であり、先に述べたように地中構造物または大部分が地中にある構造物で、その挙動が主として、地震動によって生じる周辺地盤の変形に支配されるものに適用される。また、地震動による地盤変位は、P波、S波、表面波によって生じるが、応答変位法では、S波を対象として地盤の変位を計算するのが一般的である。

適用構造物の主なものは地中埋設管、沈埋トンネルなどであるが、近年は軟弱地盤中のボックスカルバートや基礎構造物にも適用されるようになった。

図-1(a)に示すように、基礎のように地中深く設置される構造物は、深さ方向の相対変位を外力として考慮するが、地中埋設管のように線状に長い構造物は図-1(b)に示すように軸方向の地盤の相対変位(地震波の波長)を外力として考慮する。また、沈埋トンネルのように深さ方向および軸方向にも相対変位が生じる可能性のあるものは、両方向の検討が行われる。

2. 応答変位法による設計計算

応答変位法で設計計算を行う場合には次の事項を決定する必要がある。

- ① 設計地震基盤面における加速度レベル
- ② 単位加速度による応答スペクトル
- ③ 表層地盤の固有周期
- ④ 地盤と構造物間の相互作用評価法(地盤のばね定数)

さらに、①を決める場合には、設計地震基盤面を決定する必要がある。すなわちモデル化における基盤の問題であ

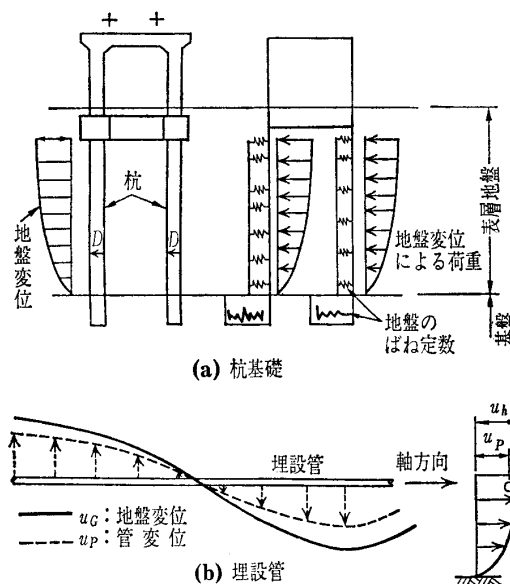


図-1 応答変位法

り、この取り方によっては変位量などかなりの差がでる。

これらの問題がすべて解決されているわけではないが、現在耐震設計基準^{1)~3)}として、一般的に行われている方法を以下に紹介する。

2.1 地盤変位の計算法

表層地盤の基部(設計地震基盤面)に地震動が作用した場合、表層地盤はせん断振動を生じ、変形する。この時の変位量をモーダルアナリシス(モード解析法)により求めるが、一次固有振動に着目し、かつ応答値は応答スペクトル法によって求める。その計算式は次式が用いられる。

$$U_h(x) = \frac{2}{\pi^2} S_0 T K_H \cos \frac{\pi x}{2H}$$

ここに、

$U_h(x)$: 地表面からの深さ $x(\text{cm})$ における水平方向の変位振幅 (cm)

S_0 : 単位加速度当たりの応答速度スペクトル (cm/s)

T : 表層地盤の基本(一次)固有周期 (s)

K_H : 表層地盤に作用させる設計水平震度

H : 表層地盤の厚さ (cm)

このうち、 S_0 は表層地盤の基本固有周期に応じて図-2により求める。これは建設省土木研究所スペクトル(1970)

* (財)鉄道総合技術研究所 地盤・防災研究室

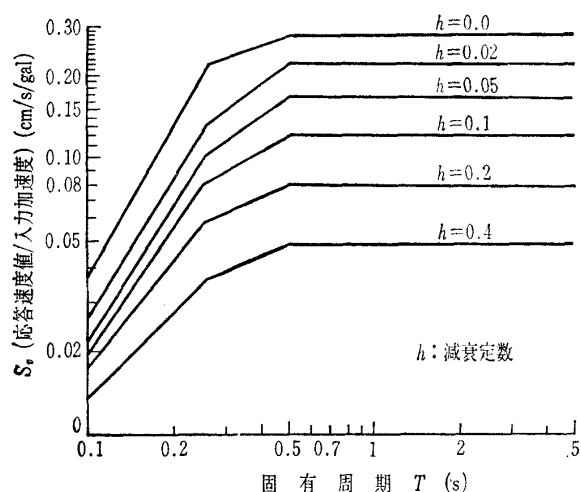


図-2 入力加速度 1 gal 当たりの応答速度値
(建設省土木研究所による)

に基づいたもので、既往の強震記録（岩盤上）から得られた平均応答加速度スペクトルを応答速度スペクトルに換算したものである。また地盤の地震時における減衰定数は 0.2 程度を用いることが多い。

表層地盤の固有周期は次の式で求める。

$$T = 4 \cdot H / V_s$$

ここに、 V_s ：表層地盤のせん断弾性波速度 (cm/s)

応答変位法で地盤の変位量を求める場合の地盤の定数として重要なものは地盤のせん断弾性波速度である。したがって、この値は PS 検層などにより実測することが望ましいが、簡易な手法として N 値等の土質定数から求める場合もある⁴⁾。なお、実測値はひずみが小さいが、地震の場合は地中のひずみが大きくなるので、耐震設計を行う場合は、せん断弾性波速度を低下させるのがよい。また、変位の深さ方向の分布はせん断振動の一次モードを使用している。以上述べた式は、表層地盤のせん断弾性波速度が、一様な場合に適用できるものである。鉄道構造物の設計基準³⁾では、表層地盤を 3 種類に分割して、地盤の変位量、深さ方

向の分布を与えている。

また、表層地盤に作用させる設計水平震度（基盤面に入力される加速度）は 0.15～0.20 が用いられている。

2.2 波長の計算法

線状構造物の検討に必要な地震波の波長は、表層地盤の固有振動の 1 周期の間に設計地震基盤面を伝播する波動が進む距離と表層地盤を伝播する波動が進む距離の調和平均として次の式により求める。

$$L = \frac{2 L_1 L_2}{L_1 + L_2}$$

ここに、

L ：波長 (m)

$L_1 = T V_s$ (m)

$L_2 = T V_{os}$ (m)

T ：表層地盤の基本固有周期 (s)

V_s ：表層地盤のせん断弾性波速度 (m/s)

V_{os} ：基盤層のせん断弾性波速度 (m/s)

なお、この場合の変位振幅は構造物の深さの中心位置における振幅を用いる。また波長の計算方法には、表層付近の局所的な地盤構造が定める卓越ラフ波によるものもある。

2.3 地盤のばね定数の計算

地盤のばね定数は、地盤自体の強度、地盤の拘束圧、地盤あるいは基礎と地盤の間に生じるひずみの大きさ、基礎の接地面積、荷重の速度などに影響を受けるとされており、その値を決定するのは容易ではない。現在では、各々の構造物の設計基準に定められた値を用いている。

参考文献

- 1) 日本道路協会：石油パイプライン技術基準(案)，1974.3.
- 2) 土木学会：沈埋トンネル耐震設計指針(案)，1975.3.
- 3) 土木学会：国鉄建造物設計標準解説，基礎構造物，抗土圧構造物，1986.3.
- 4) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説，V 耐震設計編，pp. 14～15，1980.5.

(原稿受理 1989.3.8)