

I-418 応答変位法と道路橋示方書の設計スペクトルの比較（その3）

京都大学工学部 正員 澤田純男

京都大学工学部 正員 土岐憲三

神戸大学工学部 正員 高田至郎

はじめに

地中管路や共同溝等の地中構造物では、共同溝設計指針等に規定されている応答変位法で設計する場合が多い。一方地上に建設される土木構造物の場合は、道路橋示方書の規定が準用される場合が多いように見受けられる。ところがこの2つの設計基準の地震入力考え方が大きく異なっており、それぞれ別々の設計スペクトルが規定されている。澤田・土岐・高田¹⁾は、道路橋示方書の設計スペクトル（以下、道示スペクトル）を応答変位法に用いるスペクトルに変換して、道示スペクトルと石油パイプライン技術基準（以下、石パ・スペクトル）を比較した。本論文ではさらに考察を進めて、道示スペクトルと共同溝設計指針（以下、共同溝スペクトル）が整合していることを示す。さらに強震記録を統計解析して求めた加速度応答スペクトルと、これらの応答変位法のスペクトルとを比較する。

地表面の応答スペクトルから応答変位法スペクトルへの変換

応答変位法スペクトルの値 $S_V(\omega)$ を用いて、地表面の変位波形の振幅値 $u(\omega)$ を次式で求めることができる。

$$u(\omega) = \frac{4}{\pi} \cdot \frac{1}{\omega} S_V(\omega) \quad (1)$$

一方道示スペクトルは、基本的に地表面で規定された減衰5%の加速度応答スペクトルである。固有角振動数 n の1自由度の振動系に角振動数 ω の定常な調和変位 $u(\omega)$ が入力した場合、 $u(\omega)$ に対する加速度応答値 $S_A(n)$ の比率は次式で表せる。

$$\frac{S_A(n)}{u(\omega)} = \omega^2 \frac{(\omega/n)^2}{\sqrt{\{1 - (\omega/n)^2\}^2 + 4h^2(\omega/n)^2}} \quad (2)$$

最大応答倍率を示すのは、 $\omega=n$ の場合で、 $h=0.05$ を代入して、

$$S_A(\omega) = 10\omega^2 u(\omega) \quad (3)$$

である。式1に式3を代入すると、

$$S_V(\omega) = \frac{\pi}{4} \cdot \frac{S_A(\omega)}{10\omega} \quad (4)$$

となり、加速度応答スペクトルを、応答変位法の規定のスペクトルに変換することができる。

図-1に、道示スペクトルを応答変位法の規定のスペクトルに変換した結果を示す。地盤種別は道路橋示方書の分類を用い、表層地盤の固有周期0.1~0.2秒をI種地盤、0.2~0.6秒をII種地盤、0.6秒以上をIII種地盤とした。図には石パ・スペクトル（震度0.15）と共同溝スペクトルを合わせて示している。

図-1のスペクトルは、長周期領域で平坦で、短周期領域で左下がりの形状を持つスペクトルであるが、2つの違いがあることがわかる。1つは平坦部のレベルが違うことであり、もう1つは左下がりになる部分と平坦部との境界になる周期が道示スペクトルから変換したスペクトルと、応答変位法スペクトルで違うことである。

平坦部のレベルの相違に関しては、石パ・スペクトルは道示スペクトルの約2倍、共同溝スペクトルは約4倍であることがわかる。これらの違いは次の理由から説明できる。

(1) 道示スペクトルは、平均スペクトルに近い性質をもつ。すなわち、ある地点の加速度応答スペクトルは、地

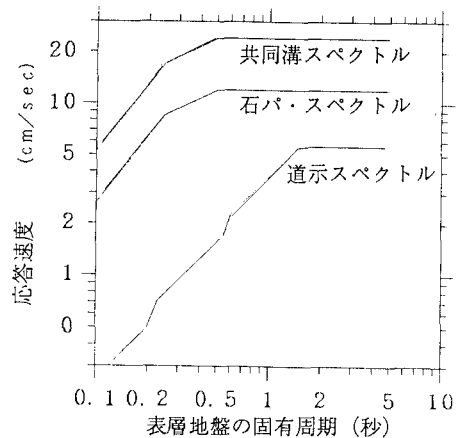


図-1 各設計スペクトルの比較

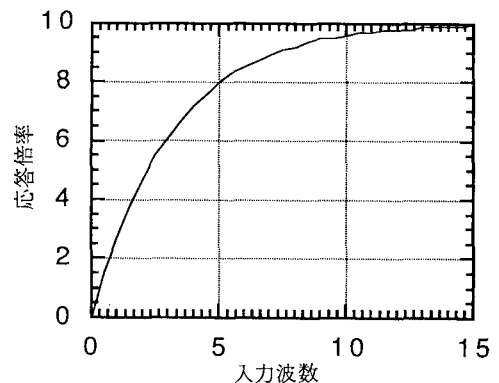


図-2 入力波数と応答倍率の関係

盤の固有周期に対応する周期では、道示スペクトルの値を越えている場合が多いと考えられる。地上の構造物では、表層の固有周期と構造物の固有周期が一致しない限り問題がないが、地下構造物の場合は必ず表層の固有周期に対応する周期に対して設計しなければならない。道路橋示方書に示されている強震記録を統計解析して求められた平均加速度応答スペクトルの標準偏差は、常用対数で0.25~0.3程度、倍率にして1.77~2.00倍である。

(2) 式3は、定常な調和振動が入力するという仮定の基に導いた式である。比較的長周期の表面波はこの条件を満たす場合が多いと思われるが、入力波の非定常性が強い場合にこの条件を満たさないことも考慮に入れておく必要がある。図-2には減衰5%固有周期1秒の1自由度の振動系に周期1秒の正弦波を波数を変えて入力した場合の、入力波数と最大応答倍率の関係を示した。応答倍率が10倍となれば、式3を完全に満たしている。図からわかるように、1波しか入力しない場合の応答倍率は2.7、2波入力しても4.7倍に過ぎない。応答倍率が9を越えるのは7波以上入力した場合、応答倍率が完全に10倍に達するのは15波以上入力した場合である。例えば応答倍率が5倍の場合は、地表面での応答スペクトルの値を式3の仮定の値と一致させるためには、地表面における地震動変位の大きさを2倍しなければならない。地震動の非定常性が強い場合にはこのような操作をする必要がある。

一方、左下がりになる周期が違う理由については、澤田・土岐・高田¹⁾に示されているように、水平方向の波動伝播速度を考慮することによって説明できる。

統計解析から得られた平均加速度応答スペクトルと共同溝スペクトルの比較

道路橋示方書に示されている強震記録を統計解析して得られた平均加速度応答スペクトルは、各種設計スペクトルの基礎資料と考えることができる。応答変位法に用いるスペクトルが平均加速度応答スペクトルから直接求めることができれば、建設地点の地盤や地震環境を考慮して地下構造物を設計することができるようになる。そこで、水平方向の波動伝播速度を考慮した応答変位法スペクトルへの変換法¹⁾を用いることによって、平均加速度応答スペクトルと共同溝スペクトルと比較した。ただし前節で検討したように、地盤の共振の影響に加えて、非定常性の影響を考慮するため、変換の手順の中で加速度応答スペクトルを4倍している。この変換法を用いるためには、基盤面(Vsが300m/sec以上で、洪積層上面)より深い地盤の構造を仮定する必要があるが、ここでは地盤モデルとして、岩盤までの洪積層厚が0mと1000mの2種類について計算した。洪積層のうち半分の深さまではせん断波速度350m/sec、その下はせん断波速度700m/secとし、岩盤のせん断波速度3km/secとした。表層(沖積層)のせん断波速度は160m/secで、厚さは固有周期によって変化するようにした。図-3(a)(b)に上述の方法によって求められたスペクトルを示す。図-3(a)はマグニチュード7で震央距離20km、図-3(b)はマグニチュード8で震央距離120kmの場合を示している。洪積層厚が厚くなるにつれて短周期領域の設計スペクトルが大きくなり、洪積層厚1000mの場合では平均加速度応答スペクトルと共同溝スペクトルがほぼ整合していることがわかる。

なお本研究の一部は「地下空間の活用と技術に関する研究協議会(座長:土岐憲三)⁷⁾」の研究の一部として実施したものである。また、位相速度を求めるのに、大阪土質試験所の香川敬生氏作成のプログラムを使用した。

参考文献: 1)澤田・土岐・高田: 応答変位法と道路橋示方書の設計スペクトルの比較(その2), 土木学会第48回年次学術講演会。2)土木学会: 動的解析と耐震設計。3)高田: ライフライン地震工学。4)日本道路協会: 道路橋示方書(平成2年2月)。5)日本道路協会: 共同溝設計指針。6)小坪: 土木振動学。7)土岐・足立・松井: 土木学会地下空間利用シンポジウム, 1993。

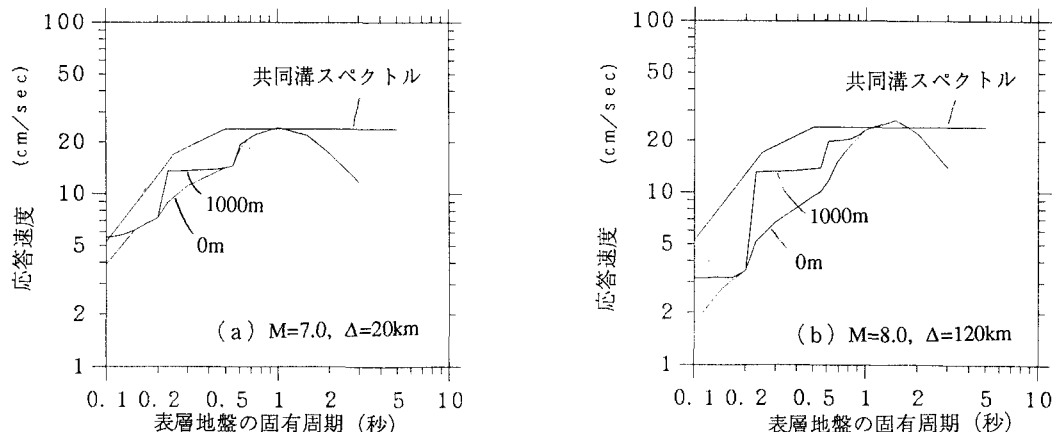


図-3 平均応答スペクトルと共同溝スペクトルの比較