

ライフライン工学のための地盤運動解析

神戸大学工学部 正会員 高田 至郎

本 四 公 団 正会員。大廣 始

1. まえがき エネルギー供給システム、輸送システム、通信システムなどのライフライン構造物は、地表面に沿って二次元的振りを有しているため、その耐震設計においては慣性力だけでなく地盤の相対変位の特性を把握することが重要な問題であることが指摘されている。そこで、本研究においては地震時相対地動に関するこれまでの研究に基づいて、地表面を伝播する地震波動のシミュレーション法を示し、この方法を用いて地盤条件が地盤の相対変位に及ぼす影響について検討を行なった。

2. シミュレーション法 地震動の地表面に沿う平面的な挙動の特性を明らかにするため、地表面を同時観測および観測結果の解析が行なわれ、その主要動部分には地表面に沿う伝播性の波(レー波、ラブ波)が含まれていることが指摘されている。そこで、本研究においては、地震波は表面波からなり、また、簡単のために定常でエルゴディクな不規則過程であるとして、次式でシミュレートした。

$$U(x, t) = \sum_{i=0}^{N/2} \sqrt{2S(\omega_i) \cdot \Delta\omega} \cos(\omega_i t - k_i x + \varphi_i) \quad \text{----- (1)}$$

ここで、 U は地盤変位で場所 x と時間 t の関数で与えられる。 $S(\omega_i)$ は変位のパワースペクトル、 k_i は波数であり、表面波の分散性により円振動数 ω_i に依存している。また、 φ_i は位相変数、 N はシミュレートされる変位データの個数である。

3. シミュレーションの手順 本研究において対象としたのは、パイプライン、トンネルなどの地中ライフライン構造物の耐震性に特に大きな影響を与えると考えられるレー波の伝播による構造物軸方向の相対変位である。地表面に沿った相対変位に影響を与える要因としては、地震のマグニチュード、震央距離、その地点の地盤条件などが考えられるが、本研究においては、地盤条件が主要な要因であると考え、他の要素を一定とすることによって、図-1に示す手順に従ってシミュレーションを行なった。

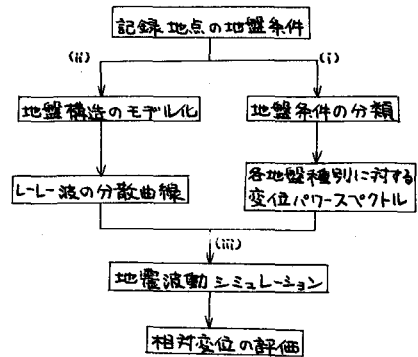


図-1 シミュレーションの手順

(i) 地盤条件は、表-1に従って4種類に分類されたが、1~4種地盤に属する変位記録の数は、それぞれ3, 6, 7, 5個であった。変位記録としては、ディジタルフィルターで補正された加速度記録を積分して得られた変位記録を用いた。各種地盤に対する変位パワースペクトルは、その種類に属する変位記録の平均自乗が、1.0になるように標準化した後、パワースペクトルを計

表-1 地盤条件の分類

区 分	地 盤 種 別
1 種	(1) 第三紀以前の地盤 (以下岩盤とする)。 (2) 岩盤までの洪積層の厚さが10m未満。
2 種	(1) 岩盤までの洪積層の厚さが10m以上。 (2) 岩盤までの沖積層の厚さが10m未満。
3 種	沖積層の厚さが25m未満でかつ軟弱層の厚さが5m未満。
4 種	上記以外の地盤。

算し、その平均値をその地盤種類のパワースペクトルとして規定した。図-2に一例として、第4種地盤の変位パワースペクトルを示した。

(ii) 図-2に示すように変位パワースペクトルは、低周波数領域で卓越しているのが、シミュレーションを正確に行なうには L - L 波の分散曲線も低周波数領域まで求めておく必要がある、このためには数百メートルというようなかなり深い地点までの地盤のデータが必要であるが、このようなデータはすべての地震記録地点で得ることはできない。そこで、宮古、八戸、品川をそれぞれ1,2,4種の代表的な地点として選び、 L - L 波の分散曲線を計算した。(図-3) 第3種地盤については、適当地盤データが得られなかったため、解析の対象から除外した。

(iii) シミュレーションは、各種地盤に対して0~1000mの距離範囲で20秒間、位相変換係数を乱数によって発生させることによって、15回行なっている。

4. 結果と考察 地盤条件による波動進行方向相対変位の特性を明らかにするため、各種地盤の距離 D に対する最大相対変位の平均値 ΔU_{MAX} を7つの図にプロットしたのが、図-4である。図-4より、最大相対変位が地盤条件の影響を強く受けていることは明らかであり、地盤が第1種から第4種へと軟弱になるに従って最大相対変位の期待値は、大きくなるという傾向がある。この傾向は、短い距離において特に著しく、距離100mにおける第4種地盤の期待値は第1種地盤のほぼ5倍、第2種地盤の期待値はほぼ3.5倍となっている。また、地中埋設管の伸縮継手の耐震設計において基本量となる継手の相対変位に対する設計法の妥当性についても、シミュレーションの結果を用いて検討した。例として、1968年十勝沖地震の際の八戸の場合と、1964年新潟地震の際、新潟市で記録された程度の地震波動が第4種地盤に入射した場合を考え、この2つの場合について、継手の相対変位を建設省新耐震設計法(案)に基づいて計算し、シミュレーションの結果と比較した。前者の場合、この2つの方法による相対変位の値はよく一致したが、後者の場合、耐震設計法に基づく値は、シミュレーションによる値より小さくなり、この設計法は、継手の相対変位を過小評価する可能性があると考えられる。

-参考文献- 1) 後藤、堤田、杉山、今西、"デジタルフィルタによるSMAC-B2加速度記録の補正について"、土木学会論文報告集 No. 277

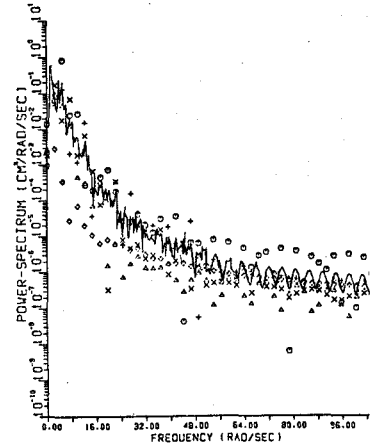


図-2 変位パワースペクトル(第4種)

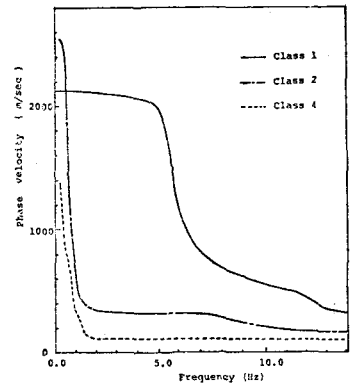


図-3 L - L 波の分散曲線

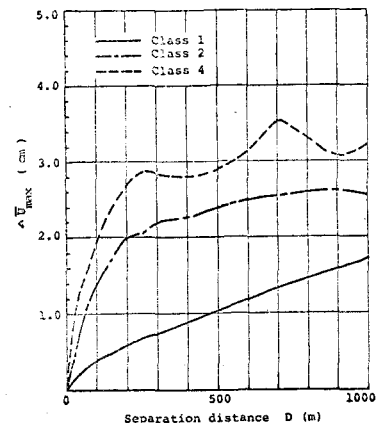


図-4 最大相対変位の期待値