

京都大学工学部 正会員 後藤尚男
 京都大学防災研究所 正会員 高田至郎
 京都大学大学院 学生員 〇吉田 明

1. 緒言

地中に埋設された構造物内に交通荷重などの振動源がある場合の構造物および周辺地盤の振動性状については、周辺地盤の性質と深く関連し、構成地盤の複雑さや入力波動の多様性などのためもあって、いまだに解明されていない点が多い。筆者らはさきに2次元有限要素法による解析結果を報告したが、ここでは、それに若干の考察を加え、さらに半無限地盤中の上下方向の1点加振の場合についても言及した。

2. 2次元有限要素法による解析

① mass matrix と damping matrix mass matrix [M]には Consistent mass matrix と Lumped mass matrix の2つの考え方があるが、応答結果において両者の差異は小さいことが Ray. W. Clough により示されており、ここでは各3角形要素の質量を重心と頂点との距離に反比例させて分配させる Lumped mass matrix を用いた。Damping matrix [C]は、各分割要素に定数として与え各3角形要素の頂点に1/3ずつ分配させて求めた。

②振動モデルと固有振動の特性 地盤、埋設構造物は均質とし、ポアソン比、ヤング係数、単位体積重量は、それぞれ0.35, 0.17; 2,000, 21,000 kg/cm²; 2.0, 3.325 g/cm²とした。地盤層の厚さ、横幅は、60m, 160mとし、境界条件としては、下端は固定、側方の境界は水平方向には固定、上下方向には自由とした。本解析における埋設構造物—地盤系において、その応答変位の共振曲線は上下振動の固有振動数近傍で共振点をもち、弾性波動論を用いれば、その地盤のみの上下振動の固有円振動数 ω_0 は、 v_0 を地盤中を上下方向に伝播する縦波速度、Hを地盤層の厚さとして、次式で与えられる。

$$\omega_0 = \pi \cdot v_0 / 2H \text{ ----- (1)}$$

側方の境界として水平方向に固定、上下方向に自由とした地盤モデルの上下方向の固有円振動数は10.090 rad/secであり、式(1)で与えられる連続体計算値10.383 rad/secとよく一致している。表1は構造物の深設深さが異なる各埋設構造物—地盤系の固有円振動数を示したものである。埋設構造物の有無や構造物の埋設深さが固有円振動数に与える影響は少ないと考えられる。また高次の固有円振動数と固有モードを検討した結果、埋設構造物自体の固有振動と思われる値が得られたが、実際には起こり得ないほどの大きい振動数であり、このような系の振動性状を解析する場合には、地盤の動特性を正確に把握することが必要であると考えられる。

③地盤内および地表の変位 図1には、外力の載荷点における上下方向の変位の共振曲線を示した。交通荷重は埋設構造物内の下端の中心に $P = P_0 e^{i\omega t}$ なる形で与え、ここでは P_0 は

表1 各埋設構造物—地盤系の固有円振動数 (rad/sec)

埋設モード	5m	10m	15m	20m	埋設なし
水平振動	7.914	7.924	7.914	7.895	8.074
上下振動	9.924	10.070	10.170	10.100	10.090
ローリング振動	12.020	12.520	12.460	12.410	12.200

10tonとした。各要素に与えた減衰係数 c^* とこの共振曲線から $1/\sqrt{x}$ によって求めた等価減衰定数 β との関係は c^* が500, 1000, 1500 t-sec/mの場合、 β はそれぞれ0.031, 0.046, 0.068である。地盤内各点の変位について検討した結果、共振点より小さい振動数では、距離によって変位は急速に減衰し、地盤内各点にほとんど位相差がないことから、外力は波動として伝播せず、共振点を過ぎて始めて、波動としての性格を持つてくることわかる。地表各点の動きは、構造物直上の地表では上下動であり、ここから離れるにつれて楕円運動を行なっている。図2にはモデルの地盤層の厚さを60, 80, 100, 120 mと変化させて、それぞれの地表の変位を検討した。 $f=0, f=10$ 1/secのいずれの場合にも、地盤層の厚さが増すにつれて地表の変位の変化割合は小さくなっている。 $f=0$ 1/secの場合、地盤層の厚さが増すほど地表変位が大きくなるのは、地盤層の厚さが増すにつれて共振点が下がり、その影響によるものと思われる。

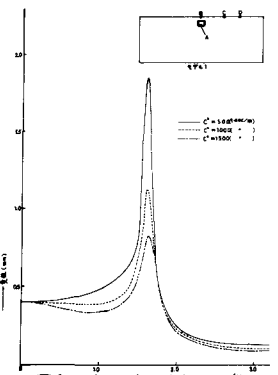


図1 A点の変位共振曲線

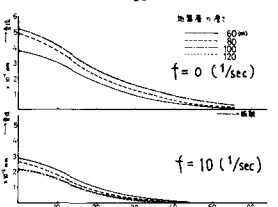


図2 地表各点の変位

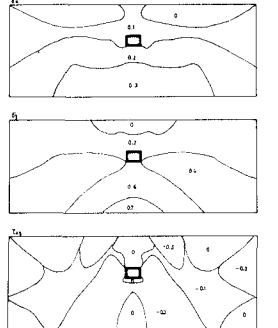


図3 地盤内応力分布 $f=1.6$ (1/sec)

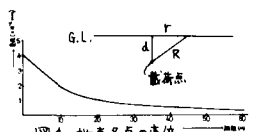


図4 地表各点の変位

(4)地盤内の応力分布と位相遅れ 図3は、埋設深さが20mのモデルについて共振点付近での応力分布を示したものである。時間は固定する必要があり、ここでは $\omega t = (2n+1)\pi$ とした。 $\sigma_x, \sigma_y, \tau_{xy}$ のいずれも、外力の振動方向および 45° の方向に境界線が伸びていることが知られる。地盤内各点の位相遅れについて検討した結果、同じ位相遅れを示す点を結んだ線は、埋設構造物の側面とほぼ平行になっていることが知られた。これは地盤中を伝わる波動は埋設構造物全体が振動源となり、引き起こされているためと思われる。

3. 半無限地盤中の点加振解

半無限地盤中の上下方向の1点加振に対する地表の上下変位 W は、例えば野邑²⁾によれば次式で与えられる。

$$W = \frac{pe^{i\omega t}}{2\pi\mu R} e^{-i\omega R \sqrt{\frac{\mu}{\rho}}} \quad \text{-----(2)}$$

ここに、 μ : セン断弾性係数、 R : 振動源からの距離、
 v_t : 横波伝播速度、 P : 外力の大きさ

図4は、縦軸に $P/2\pi\mu R$ 、横軸に図4に示した地表距離 r をとって、式(2)で与えられる地表の変位を求めたものである。載荷点の位置、地盤の力学条件は、図2で示した有限要素法による解と同じものを用いた。図2の計算結果と比較すると、変位の距離による減少の様子は比較的異なり、有限要素法では境界の影響がかなり入ってきているものと考えられる。

なお計算は京都大学大型計算センター FACOM 230-60 による。

参考文献

1) 後藤, 高田, 吉田: 有限要素法による地中構造物および周辺地盤の振動特性について, 土木学会関西支部年次学術講演会講演概要, 昭47年5月, pp. I-24, 1~2.
 2) 野邑雄吉: 技術者のための特殊関数とその応用, 日刊工業新聞社, 昭37年, pp. 305~314.