

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あって、いまだに解明されていない点が多い。一般に埋設構造物-地盤系は複雑な境界を有するため、連続弾性体として波動論を用いて解析することは困難とされている。ここでは、特に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を、適当なモデル化を行なうて、二次元有限要素法を用いて解析検討した。

2. 基礎運動方程式

線形多自由度系の運動方程式は、周知の次式で書き表わされる。

$$[M]\{\ddot{x}\} + [C]\{\dot{x}\} + [K]\{x\} = \{P\}$$

ここに、 $[M]$ は mass matrix であり、ここでは、各三角形要素の質量を、重心と頂点との距離に反比例させて各頂点に分配させる lumped mass matrix を用いた。 $[C]$ は、damping matrix であり、各分割要素に定数として与え、各三角要素の頂点に $1/3$ ずつ分配させて求めた。

$[K]$ は stiffness matrix, $\{x\}$ は displacement vector, $\{P\}$ は、入力を表わす vector である。

3. 振動モデルと固有振動の特性

地盤および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/cm^2 ; 2.0, 3.325 gr/cm^3 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。図1は、構造物の埋設深さが 5 m の場合のモデルについて、その系の固有円振動数、固有モードを求めたものである。地盤のみの場合の固有円振動数とほとんど差異はなく、埋設構造物が固有円振動数に与える影響は少ないと考えられる。またモードについてみれば、構造物の動きは、たゞ地盤の振動性状に追随している。構造物の埋設深さが 10, 15, 20 m と異なる場合について検討した結果、埋設深さが固有円振動数に与える影響は小さかった。さらに高次の固有円振動数と固有モードについて検討した結果、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

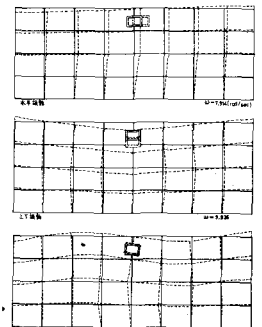


図1 埋設構造物-地盤系の振動モード

動特性を正確に把握することが必要と思われる。

4. 数値解析結果および検討

i) 地盤内および地表各点の変位 図2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 10 Ton とした。 $f = 1.6 \text{ 1/sec}$ 付近に共振点が見られるが、この値は、上下振動の固有振動数 $f = 1.58 \text{ 1/sec}$ とかなりよく一致している。なお各要素に与えた減衰係数 C^* とこの共振曲線から $1/\sqrt{\epsilon}$ 法によって求めた等価減衰定数 ϵ との関係は C^* が 500, 1000, 1500 t-sec/m の場合、 ϵ はそれぞれ 0.031, 0.046, 0.068 である。図3では、外力の振動数を $f=0$ から $f=3.6 \text{ 1/sec}$ まで徐々に変化させて、地表の変位を求めた。共振振動数を境にして距離による変位の変化割合は、明確に異なっている。外力の振動数が、共振振動数より小さい場合には、振動数が 0 に近いほど、変位は距離に応じて急速に減少し、共振点では、距離による減少の程度は最も小さい。地盤内各点の変位について検討した結果も同様の傾向を示し、これより外力の振動数が共振振動数より小さい場合には、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がわかる。これは共振振動数より小さい振動数では、地盤内各点にほとんど位相差がないことから確かめられた。

ii) 地盤内各点の位相遅れ 図4は、外力の振動数が $f=2.0 \text{ 1/sec}$ の場合について、地盤内各点の上下方向の変位から、外力の載荷点に対する位相遅れを求め、同じ位相遅れを示す点を結んだものである。位相遅れが 0.6, 1.0, 1.5 rad の線を見ると、どの埋設深さの場合にも埋設構造物の側面とほぼ平行になっている。このことより、地盤中を伝わる波動は、外力の載荷点からというよりも、むしろ埋設構造物全体が振動源となつて引き起こされることがわかる。

iii) 埋設構造物周辺地盤の応力分布 図5は、埋設深さが 20 m 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 $\omega t = (2n + 1/2)\pi$ とした。 $\sigma_x, \sigma_y, \tau_{xy}$ のいずれも、外力の振動方向とおおよそ 45° の方向に境界線が伸びていることが知られる。地表の動きその他の考察は発表時にゆずる。

なお計算は京都大学大型計算センター FACOM 230-60 によつた。

参考文献

後藤尚男, 高田至郎: 地中埋設物の振動性状について, 土木学会第 26 回年次学術講演会講演集, 第 1 部, 1971 年, 10 月, PP. 31~34

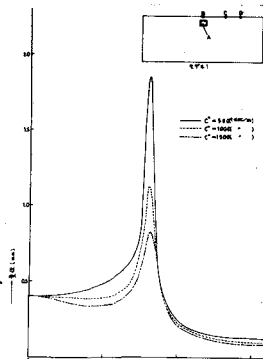


図2 A点の変位共振曲線

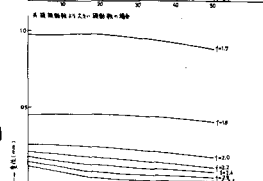
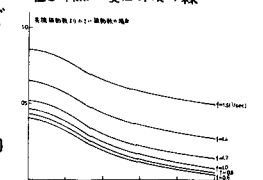


図3 地表各点の変位

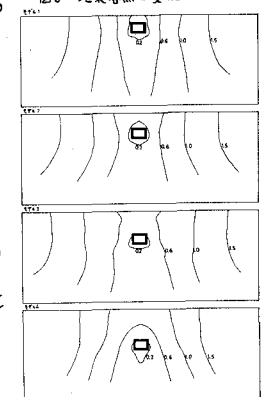


図4 地盤内各点の位相遅れ $f=2.0 \text{ 1/sec}$

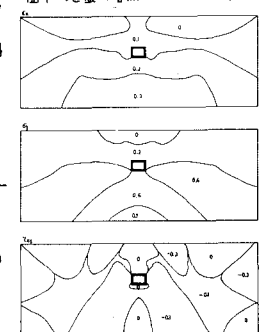


図5 地盤内応力分布 $f=1.6 \text{ 1/sec}$