

(91) 層状弾性地盤表面の帯状剛体を介した振動伝達特性

神戸大学 正 ○北村 泰寿 兵庫県 長田 二郎

1. まえがき

近接加振源からの入射波動に対する地表剛構造物—地盤系の動的解析を行ってきたが^{1)~3)}、いずれの解析においても地盤を半無限弾性体モデル化している。しかし、最近のように構造物が重要かつ巨大化する傾向に対しては、構造物の大きさと比較して地盤の多層性を無視することは妥当ではない。本研究は、文献1)の研究を進展させて、層状弾性地盤の表面に帯状剛構造物(剛体帯)が存在するとき、地盤の層状性がこの構造物を介した振動伝達特性に及ぼす影響を調べたものである。

2. 解析手法の概要

図-1に示すように、点加振力 $P \exp(i\omega t)$ によって発生する波動が地表面の剛体帯($2c \times 2h_p$)に入射する場合を考える。このとき、任意受振点の変位 u は、図-2に示すように、剛体帯が存在しない自由波動場の変位 u^I と剛体帯の振動によって生じる散乱波動場の変位 u^S の和として得られる。なお、本研究では、加振円振動数 ω の調和振動問題を対象としているため、以下の記述において時間項 $\exp(i\omega t)$ の表示は省略する。

いま、変位 u^S を変位 u^D と u^R に分ける ($u^S = u^D + u^R$) とし、これらの変位は次式の条件を満たすものとする。

$$(u^I + u^D)_s = 0 \quad \dots\dots\dots (1)$$

$$(u^R)_s = U^R \quad \dots\dots\dots (2)$$

ここに、下添字 s は剛体帯と地盤の接触面、 U^R は剛体帯底面の鉛直、水平変位である。このとき、剛体帯底面の複素剛性 K を介して、剛体帯の運動方程式が次式のように与えられる。

$$M\ddot{U} + KU = -P^D \quad \dots\dots\dots (3)$$

ここに、 M は剛体帯の質量マトリックス、 U は剛体帯底面中央点の変位成分で $U = \{U^R(0), \phi\}^T$ 、 ϕ は回転角である。また、 P^D はドライビングフォースで、式(1)より自由表面の変位境界条件を $(u^D)_s = -(u^I)_s$ とする混合境界値問題を解いて得られる。つぎに、合力として $KU + P^D$ を与える剛体帯底面の接触圧分布を境界条件とする応力境界値問題を解けば、散乱波動場における受振点の変位 u^S を求めることができる。

ところで、複素剛性およびドライビングフォースを求めなければならないが、これらは剛体帯底面の接触圧を未知量とする積分方程式を解く問題となり、解析的に解を得ることはできない。本研究では、剛体帯と地盤の接触面を有限個の要素に分割し、影響係数の概念を用いて、各要素の未知接触圧に関する連立一次方程式を解く問題に帰着させる数値計算法を利用した。なお、数値計算法の精度については文献4)を、また層状地盤に対する影響係数の誘導については文献5)を参考にした。

3. 計算結果とその考察

図-1の解析モデルにおいて、剛体帯の応答と周辺地表面の振動に影響を及ぼすパラメータとして、地盤のポアソン比 ν_j ($j=1, 2$)、せん断弾性係数 μ_j 、密度 ρ_j 、表層厚 h 、剛体帯の密度 ρ_0 、高さ h_p 、幅 c 、加振源と剛体帯の離隔距離 r 、加振円振動数 ω などが挙げられる。なお、添字 $j=1$ は表層地盤、 $j=2$ は下層

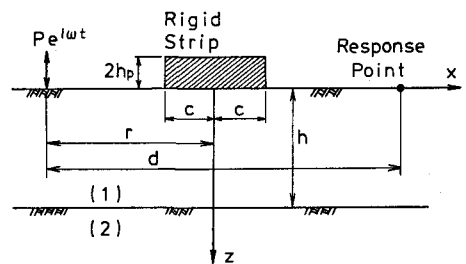


図-1 解析モデルと座標系

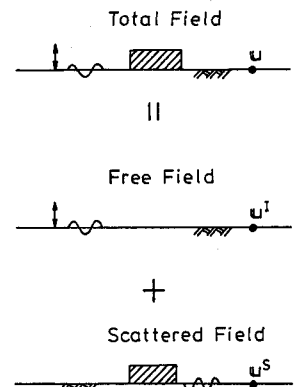


図-2 波動場の分解

地盤(半無限)を表わす。本研究では、無次元パラメータを $\nu_1 = \nu_2 = 1/3$, $\rho_0/\rho_1 = 1$, $\rho_2/\rho_1 = 1$, $h_p/c = 1$, $r/c = 3$ なる値に固定して、無次元表層厚 h/c および層剛性比 $\mu = \mu_2/\mu_1$ の影響を無次元振動数 $a_0 (= \omega c/V_{s1})$, V_{s1} : 表層地盤の横波速度)に対して調べた。

図-3~6は層剛性比を $\mu = 2$ として、表層厚 h/c が剛体帯底面中央点の応答および周辺地表面の鉛直変位に及ぼす影響を、また図-7~10は $h/c = 2$ として、層剛性比 μ が剛体帯の応答および地表面振動に及ぼす影響を調べたものである。

まず、図-3, 7より、剛体帯の水平振動と回転振動は連成しているため、水平変位と回転角の応答のピーク振動数は一致しているが、鉛直変位のそれとは顕著な差異を示している。地盤の層状性の影響に注目するとき、水平、回転では第1ピーク振動数にわずかな変動と、層剛性比の増加に対して新たな第2ピークの発生が認められる。文献4)に得られている複素剛性を参照すれば、ここに図示した層厚、層剛性比の範囲内では、水平・回転の連成振動に対する複素剛性の実部の差異が小さいことから、第1ピーク振動数の変動はわずかであることが推察できる。第2ピークについては、層状地盤における波動の分散性(たとえば、文献4)参照)および自由波動場の地表面応答(たとえば、図-9)を考慮して、表層地盤の共振によるピークであると考えられる。一方、鉛直変位のピーク振動数については、地盤の層状性の影響が大きい、文献4)に基づいて水平・回転連成振動と同様の考察をすれば、鉛直振動に対する複素剛性の差異によることが理解できる。

つぎに、図-4, 8より、剛体帯の水平・回転連成振動の第1ピーク振動数付近で、全体波動場の応答が減少していることがわかる。しかし、ここには図示していないが、剛体帯後方(振源距離 $d/c = 5, 10$)の水平変位には、剛体帯の共振の影響を受けたピークが発生している。これと同様の現象が、図-7の剛体帯の鉛直応答と図-8の $d/c = 5, 10$ の地表面応答を対比することによって、わずかではあるが認められる($a_0 = 0.8$ 付近)。また、図-8において、無次元振動数 $a_0 = 1.5$ 付近には層剛性比の増加とともに、応答に著しいピークが生じているが、これは図-9の自由波動場の応答から表層の共振によることがわかる。一方、表層厚が地表面の鉛直変位応答に及ぼす影響については、層剛性比がそれほど大きくないためか、図-4, 5のいずれにおいても特徴的な現象は現われていない。すなわち、表層厚の変化によって応答に変動は現われるが、層厚が大きくなるとともに振幅変動は小さくなり、半無限地盤の場合の応答に近づいていることがわかる。

最後に、全体波動場の地表面の鉛直変位振幅を自由波動場のそれで除した振幅比(図-6, 10)について調べる。まず、剛体帯の前方($d/c = 1$)では剛体帯の存在によって振動の増幅がみられるのに対して、後方($d/c = 5, 10$)の高振動数域では振動の減少が生じている。これは、剛体帯による入力損失効果が後方の応答において高振動数成分を遮断するという特性も有していることを意味している。図-10の剛体帯後方の振幅比には、剛体帯の共振による影響は現われているが($a_0 = 0.8$ 付近)、表層の共振の影響は全体波動場および自由波動場の応答のいずれにも含まれるため、相殺されて振幅比の増大は生じていない($a_0 = 1.5$ 付近)。

以上より、剛体帯および地表面の応答のピークには地盤の層状性が寄与していることがわかる。しかし、剛体帯を介した振動伝達特性として、剛体帯後方への振動遮断特性に注目するとき、剛体帯の共振は後方の振動を増幅させるが、表層地盤の共振は剛体帯による振動遮断特性に影響を及ぼさないと考えよう。

参考文献 1)北村: 地表面の二次元剛基礎を介した波動伝播特性, 土地造成工学研究施設報告(神戸大学), 第3号, 1985. 2)北村: 近接加振源からの波動入射を受ける矩形剛構造物周辺の地表面振動, 土木学会論文集, 第386号, 1987. 3)北村・石井: 近接加振源からの波動入射を受ける地表剛構造物周辺の地中振動, 建設工学研究所報告, 第30号, 1988. 4)北村・桜井: 二層弾性地盤上の長方形剛基礎底面の複素剛性, 土木学会論文集, 第362号, 1985. 5)北村・桜井: 弾性地盤上の構造物の動的解析における地盤の柔性マトリックス, 土木学会論文報告集, 第341号, 1984.

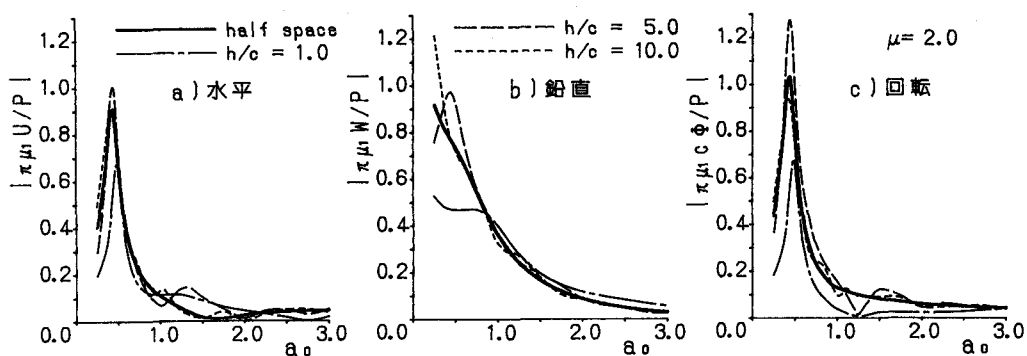


図-3 剛体帯底面中央点の周波数応答

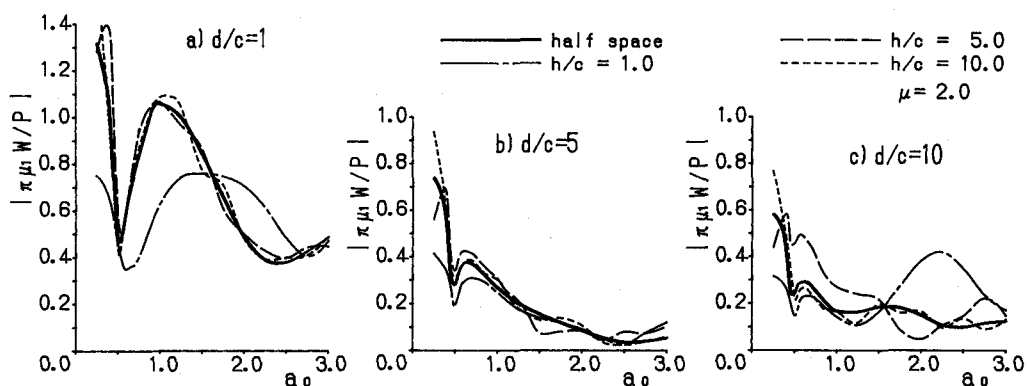


図-4 受振点の鉛直変位の周波数応答 (全体波動場)

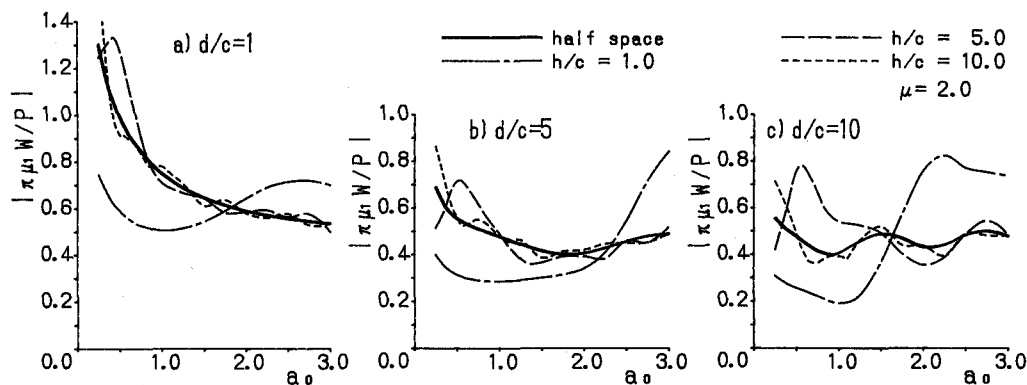


図-5 受振点の鉛直変位の周波数応答 (自由波動場)

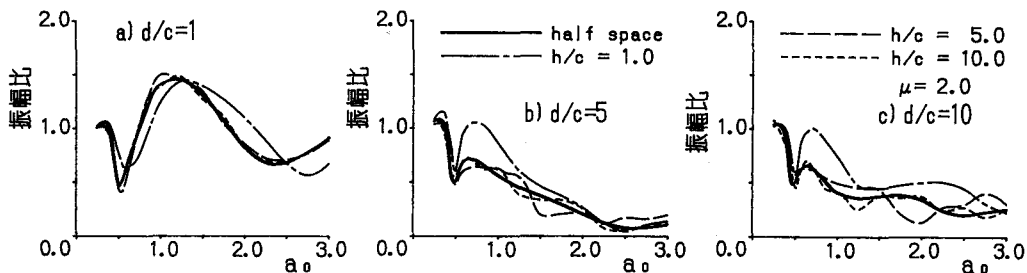


図-6 受振点の鉛直変位の振幅比 (全体波動場/自由波動場)

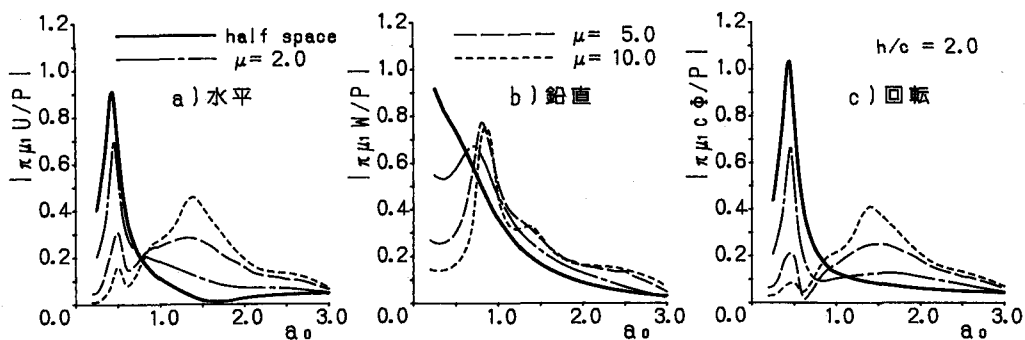


図-7 剛体帯底面中央点の周波数応答

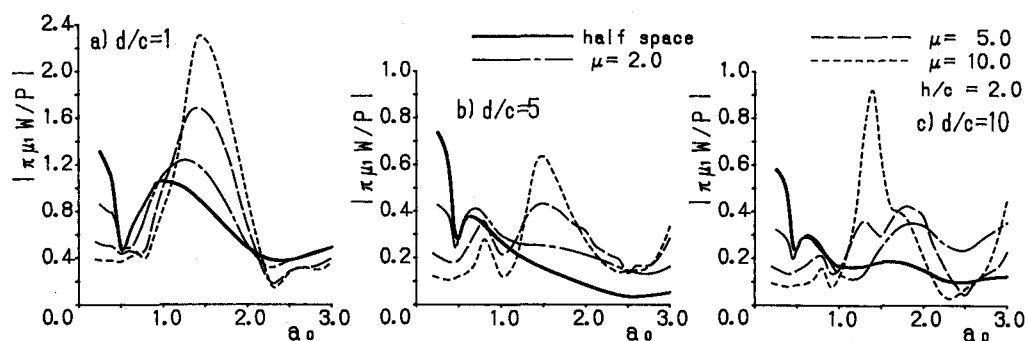


図-8 受振点の鉛直変位の周波数応答（全体波動場）

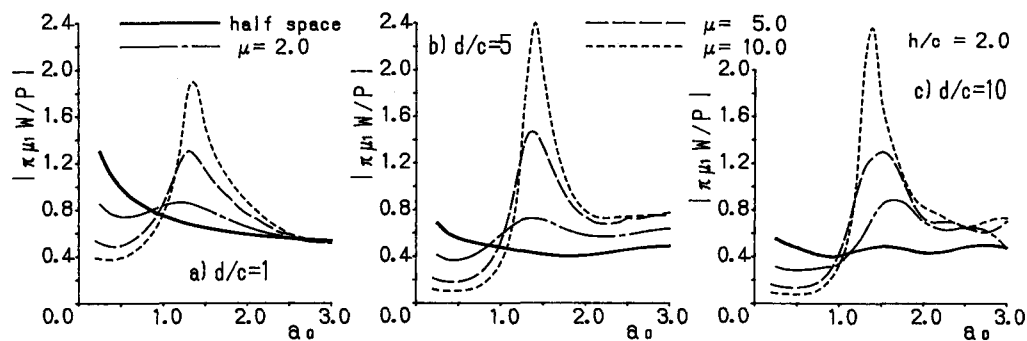


図-9 受振点の鉛直変位の周波数応答（自由波動場）

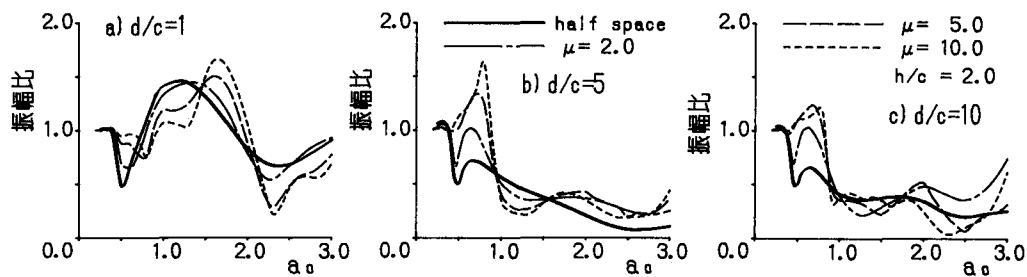


図-10 受振点の鉛直変位の振幅比（全体波動場／自由波動場）