

半地中構造物の各種地動SH定常波に対する応答

名古屋大学 正 富 樫 豊

建設省 正 水 野 二十一

名古屋大学 正 川 本 眺 万

II はじめに。地下街、オープンカットの地下鉄隧道、建築及び土木基礎等の建設物は、地盤中に埋込まれた半地中構造物とみなされる。普通、これらの構造物は軟弱地盤中に建設されることが多い。この場合、静的な力一自重、静的土圧一のみならず動的な力一慣性力一に対しても構造物の安全性が考えられなければならない。また動的問題において、半地中構造物周辺にクイ打撃、発破、走向荷重等の地動外乱のある場合、“これが構造物に対して何程の振動障害を引き起こすか” また “構造物周辺地盤に何程の振動影響と及ぼすか” を調べることも地震動に関する安全設計と並んできわめて重要である。

著者らは、これに鑑みて、孤立した一個の半地中構造物及び地盤とから成る系の振動性状を次のモデルによって調べる。つまりこの系は半無限均質等方弾性体とその中に埋込まれかつ密着密着の半円柱剛体としてモデル化される。そして耐震工学上最も興味ありかつ解析表現容易の平面SH波（地震波想定）と円柱SH波（発破等を想定）が外乱源に採られる。すなわちこれらの定常波に対するこの応答が調べられる。

2 モデル化及び記号の説明：

FIG 1 に示されたモデルを扱う。記号の説明は以下のとおり。

u_z z 方向変位	u_z^I 入射波 z 方向変位	u_z^R 放射波 z 方向変位
$U^I U^R$ $u_z^I u_z^I$ の振幅	Δ 半円柱体の変位振幅	$\sigma_{z\theta} \sigma_{zr}$ 剪断力
(r, θ, p, θ) 極座標成分	t 時間	
M_s z 方向単位長当りの半円柱体と同体積の土の質量	M_0 半円柱体の質量	
r_0 半円柱体の半径	a 半円柱体と線源との距離	ρ 土の質量
μ 土の剛性	$\beta = \sqrt{\frac{\mu}{\rho}}$ 土を伝播する波の速さ	k 波数
ω 円振動数	$H_n^{(m)}$ m 種 n 次ハンケル関数	J_n 第 1 種 n 次ベッセル関数
Y_n 第 2 種 n 次ベッセル関数		

3 定式化 構造物の半円柱形なる幾何形状を簡単に表わせるように、系に極座標を導入する

系の変形場は波動方程式

$$\frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = \beta^2 \left(\frac{\partial^2}{\partial r^2} + \frac{2}{r} \frac{\partial}{\partial r} + \frac{\partial^2}{\partial \theta^2} \right) u \quad (1)$$

$$\text{と境界条件 } \Delta e^{i\omega t} = u \quad \text{at } r = r_0 \quad (2)$$

$$\sigma_{z\theta} = \mu \frac{\partial u}{r \partial \theta} = 0 \quad \text{at } \theta = 0, \pi \quad (3)$$

と満足する。従って、系の変形場の決定は、(1)式を満足する入力外乱変形場 u^I と半円柱体の存在により発生する散乱変形場 u^R を条件(2)(3)と満足するように適当に重ね合わせるにより行なわれる。

まず入力外乱場を作る。今、 $x = u$ の位置に円柱定常波源があるとすると。そしてこれは $x = a$ と原点とした極座標 (R, θ) において次のように仮定される。

$$u^I = U^I H_0^{(2)}(kR) e^{i\omega t} \quad (4)$$

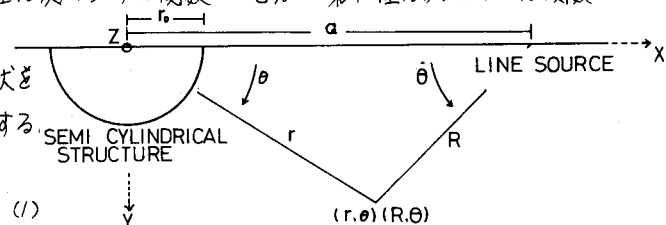


FIG.1

THE SEMI EMBEDDED CYLINDRICAL STRUCTURE AND THE LINE SOURCE OF SH WAVES

また (r, θ) 系においてこれは

$$U^I = U^I [H_0^{(2)}(ka) J_0(kr) + \sum_{n=1}^{\infty} 2H_n^{(2)}(ka) J_n(kr) \cos n\theta] \quad r < a \quad (5),$$

$$= U^I [H_0^{(2)}(kr) J_0(ka) + \sum_{n=1}^{\infty} 2H_n^{(2)}(kr) J_n(ka) \cos n\theta] \quad r > a \quad (5)_2$$

になる。つぎに水平入射の平面波のときは 上式の極限をとり 反射モードも重ね合わせて次になる、

$$U^I = U^I [J_0(kr) + 2 \sum_{m=1}^{\infty} J_{2m}(kr)] \quad (6)$$

次に散乱場を考える。散乱場は 条件(3)(1) と満たすように未定係数を乗じたモード波の重ね合せとして $U^R = (b_0 H_0^{(2)}(kr) + \sum_{n=1}^{\infty} b_n H_n^{(2)}(kr) \cos n\theta) e^{i\omega t}$ (7)

で表わされる。ここで 半円柱体と地盤とが完全密着(条件(2))であるから未定係数 b_m は Δ を介して一意にきまる。◇円柱波 $b_0 = \frac{1}{H_0^{(2)}(kr_0)} [\frac{\Delta}{U^I} - H_0^{(2)}(ka) J_0(kr_0)]$, $b_m = -\frac{2H_m^{(2)}(ka) J_m(kr_0)}{H_m^{(2)}(kr_0)}$ $r < a$ (8)

ただし $r > a$ の場合、上式の $H^{(2)}(ka) J(kr_0) \rightarrow J(ka) H^{(2)}(kr_0)$ の置換え、

$$\diamond \text{平面波} \quad b_0 = \frac{1}{H_0^{(2)}(kr)} [\frac{\Delta}{U^I} - J_0(kr_0)] \quad b_m = -\frac{2J_m(kr_0)}{H_m^{(2)}(kr_0)} \quad (9)$$

一方 Δ は 半円柱体の運動を考えることによりきまる。Z 方向単位長当りの力のつりあいは、

$$-\omega^2 M_0 \Delta + \int_0^\pi \partial_z r d\theta = 0$$

である。ここに上式第2項は半円柱体表面上に働く全応力で(5)または(6)と(7)よりきまる。それゆえ Δ

$$\text{は } \diamond \text{円柱波} \quad \Delta = \frac{1}{(\frac{\omega r_0}{\beta})^2 - \frac{H_0^{(2)}(kr_0)}{H_0^{(2)}(kr_0)} \frac{M_0}{M_0}} \left[H_0^{(2)}(ka) J_1(kr_0) - \frac{H_1^{(2)}(kr_0) H_0^{(2)}(ka) J_0(kr_0)}{H_0^{(2)}(kr_0)} \right] U^I \quad (10)$$

$$\diamond \text{平面波} \quad \Delta = \frac{1}{(\frac{\omega r_0}{\beta})^2 - \frac{H_0^{(2)}(kr_0)}{H_0^{(2)}(kr_0)} \frac{M_0}{M_1}} \left[J_1(kr_0) - \frac{H_1^{(2)}(kr_0) J_0(kr_0)}{H_0^{(2)}(kr_0)} \right] U^I \quad (11)$$

になる。

4 結果と考察

◇平面波入射 水平入射 SH 波に対する構造物周辺の地盤内変位振幅は、§3 より計算され、 $\Delta = 0$, $\frac{\omega r_0}{\beta} = 1$ で偏角 10° ごとに計算した結果は FIG.2 である。図には示されていないが、一般に振動数の増加に伴ない変位振幅の波の長さは減少する。また $\Delta = 0$ での変位振幅は、 $\Delta \neq 0$ での共振振動の場合のそれに対応する。ところで、系の変位場が入射場との重ね合せであるから系の変位場は散乱場によりきまる。散乱場の性質を把握するために鉛直入射平面波により生ずる散乱波を求める (FIG.3)。FIG.3 から、一般に散乱波は 入射方向と反対方向に卓越して放出され、また自由表面の存在によって水平方向にも若干放出されることが解る。従って水平方向入射の場合の散乱波は、水平方向に非常に卓越して放射される。それゆえ、入射側で変位がカーテンを引いた如く卓越し 反射側に影が生ずる変位振幅分布が生ずる。

◇円柱波入射 省略

5 あとがき

構造物を としてモデル化を行ったために構造物の変位応力分布は得られなかったが、一応系の振動性状は理解された。未筆ながら 名大・E・松岡教授・多賀助教・学福田君に感謝し、

6 参考文献

- (1) Lugo J. E. S. "Dynamic Interaction of a Semi-circular Wall with the Soil" ASCE EM 1969 (2) 水野・松岡 "半無限弾性地盤上の構造物及びその周辺の地盤の応力分布に及ぼす SH 波の影響" 建築学会論文報告 1973 (3) 富樫・松岡 "水平入射 SH 波による一点系上部構造物及び地盤の定常応答" 建築学会論文報告 1973 (4) 水野 "半無限弾性地盤上の見張構造物間連成振動に関する一考察" 建築学会論文報告 1974

