

東工大統合理工学研究科

学生員 片岡 俊一

埼玉大学

正 員 川上 英二

日本国土開発

正 員 岡 千裕

1. はじめに 各種波動の入射に伴う半無限弾性体上の剛体の挙動に関しては、従来多数の研究が行われている。しかし、それらの研究の多くは、その問題の複雑さの為に 2 次元問題又は 1 種類の入射波に対する解析である場合が多い。本研究では、特に入射波の種類及び入射角度の差違に注目して、これらが剛体の振動にどのように影響するかを調べた。また、剛体の各方向の最大応答値がどのような入射波に対して生じるかを検討した。

2. 解析方法 本研究では H.L. Wong & J.E. Lucio¹⁾ により積分方程式として定式化された手法を 離散化して使用した。その概要を以下に示す。

剛体と地盤との動的な相互作用を考えると次式が成立する。 $\{F\} = \mu a [K] \{U\} - \mu a [K^*] \{U^s\} \cdots (1)$ ただし $\{F\}$ は剛体が地盤に作用する力とモーメントである。右辺第一項は剛体の底面の変位が $\{U\}$ である場合に、剛体が地盤に作用する力とモーメントを表わし、第二項は自由表面での地盤振幅が $\{U^s\}$ である場合に 地盤が剛体に及ぼす力とモーメントを表わしている。 (μa) は $[K]$, $[K^*]$ を無次元化する為に使用している。 μ は地盤の剪断弾性定数, a は剛体の基準長さである。

外力 $\{F\}$ は単振動に伴う慣性力であると考え 質量マトリクス $[M]$ を使、て表わすと、剛体の変位 $\{U\}$ は次式で求められる。 $\{U\} = ([I] - \frac{1}{\omega^2} [C][M])^{-1} [S^*] \{U^s\} \cdots (2)$ ここで ω は角振動数であり、 $[C]$ はコンプライアンスマトリクスと呼ばれる 6×6 の行列で $[K]$ の逆行列である。 $[S^*]$ は入力マトリクスと呼ばれる 6×3 の行列であり、 $[S^*] = [C][K^*] \cdots (3)$ で与えられている。また $[I]$ は 6×6 の単位行列である。また、本手法で使用した Green 関数は 各要素内の応力を一定値と仮定して算定した。^{2), 3)}

3. モデル 座標は図-1 のように右手系 Cartesian 座標とし、原点を中心として 半径 20m 高さ 20m の円柱を想定した。本手法では底面を四角形要素に分割する必要がある、分割数を 12 とした。この為 低振動数の共振点付近 (2 ~ 4 Hz) での応答に着目した。入射波の種類は SH, SV, P, Rayleigh 波とし すべて正弦波形とした。また、入射方向は y 軸方向とした。

4. 解析結果 求めた振動数域でのモードは下心ローリングとなる。図-2 は Rayleigh 波が入射した場合の円柱の応答の様子を描いたもので、図中の点は自由表面の動きである。

入射角度 θ_v (図-1 参照) が変化した場合の応答倍率曲線の一例を図-3 に示す。縦軸は円柱底面の水平方向振幅 $|u_x|$ を入射波の振幅 $|u_s|$ で割、た水平振動応答倍率であり、横軸は入射角度である。SV 波が 60° から入射する場合に応答倍率が非常に大きくなる、ているが、これはこの角度が SV 波の臨界角である為である。また θ_v が 45° 付近で応答倍率が極小値となる、ているが、これはこの入射波に対しては地盤の自由表面での水平方向の振幅成分が零である為である。

以上のように入射波の振幅に対する応答倍率では 地盤の自由表面での振幅の大きさの影響が顕著である。その為 応答倍率を地盤の自由表面での振幅 $|u_a|$ (自由表面での水平、鉛直、2 方向の振幅の r.m.s 値と仮定した) に対する円柱底面での変位振幅の各成分 (水平 $|u_x|$, 鉛直 $|u_z|$) で定義した。この結果得られた応答倍率曲線を図-4 ~ 6 に示す。

図-4 は水平方向の応答倍率を表わすものであるが、最大値は自由表面の水平振動のみが大きく卓越する場合である SH 波が真下 ($\theta_v = 90^\circ$) から入射する場合ではなく、Rayleigh 波が入射する場合に生じている。図-7 は SH 波 (水平方向, ロッキング), P 波 (鉛直方向) が真下から入射した場合の各方向の共振曲線を比較したも

のであるが、水平方向(図-7(a)参照)では 3.5~4Hzの区間でRayleigh波が入射した場合の応答倍率の方がSH波の場合より大きくなっている。図-5, 7(b)は鉛直方向の応答倍率を比較したものであるが、最大値はP波が真下から入射する場合に生じている。図-6, 7(c)はロッキングの応答倍率を比較したものである。ただし応答倍率は 回転角の振幅 $|n|$ と円柱の重心高さ H の積 $|n| \cdot H$ を上記の様に定義した地盤の自由表面振幅 $|U_0|$ で除したものである。最大値はRayleigh波が入射した場合に生じている。また図-7(c)よりRayleigh波とSH波($\theta_v = 90^\circ$)とではRayleigh波が入射した場合の応答の方が大きくなっている。また上述したように3.5~4HzでSH波の入射より、Rayleigh波の入射によって生じる水平方向の応答値が上回るのは(図-7(a)参照) Rayleigh波により卓越したロッキング動に水平動が連成する為であると考えられる。

5. 結論 水平、鉛直方向の最大値は従来考えられてきたように、それぞれ鉛直下方から入射するS波、P波により生ずる。ロッキングについてはRayleigh波の入射を考慮する必要がある。また水平動がロッキング動に連成することにより水平方向の最大応答値が場合によ、ては Rayleigh波により生ずることがある。

さらに現在 本手法を2つの剛体が並設されている場合の応答解析に拡張しており、本結果については講演時に発表する予定である。

6. あとがき 本報告をまとめるに際し、埼玉大学建設工学科 久保慶三郎先生 渡辺啓行先生に貴重な御助言を頂いた。また、本研究は56年度科研費(試馬気研究(2), No. 56850138, 代表者 池田俊介)の援助を受けた。記して深謝の意を表わします。

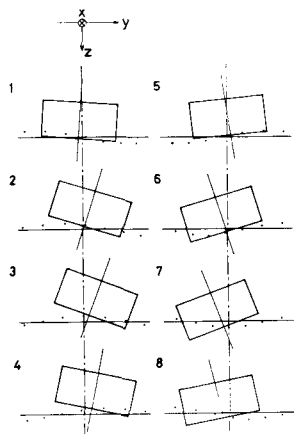


図-2 Rayleigh波が入射した場合の振動 (4 Hz)

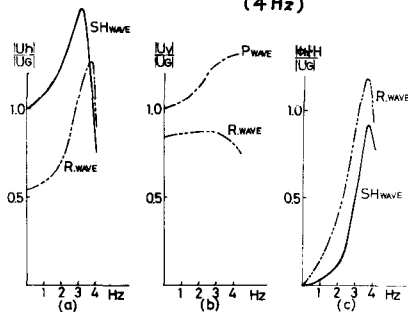


図-7 Rayleigh, SH, P波による応答倍率の比較

参考文献 1) H.L.Wong, et al., "Dynamic response of rectangular foundations to obliquely incident seismic waves", E.E.S.D., Vol. 6, 1978. 2) H.L.Wong, et al., "Dynamic response of rigid foundations of arbitrary shape", E.E.S.D., Vol. 4, 1976. 3) W.T. Thomson, et al., "Dynamical compliance of rectangular foundations on an elastic half-space", J. Appl. Mech., ASME, 1963.

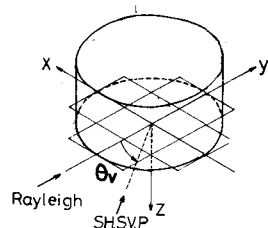


図-1 座標とモデル

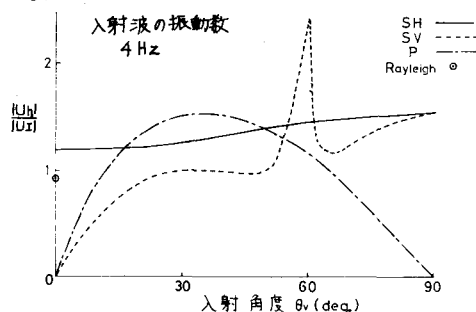


図-3 水平方向応答倍率曲線 (入射波振幅との比)

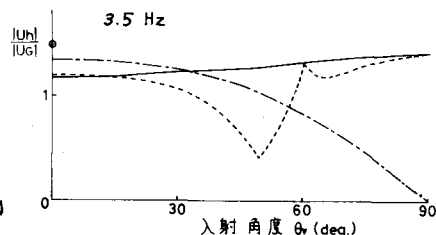


図-4 水平方向応答倍率曲線 (自由表面振幅との比)

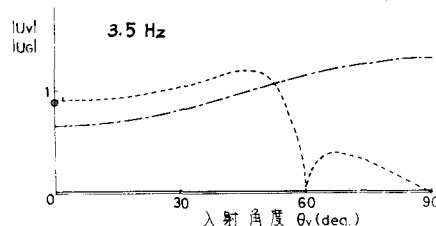


図-5 鉛直方向応答倍率曲線 (自由表面振幅との比)

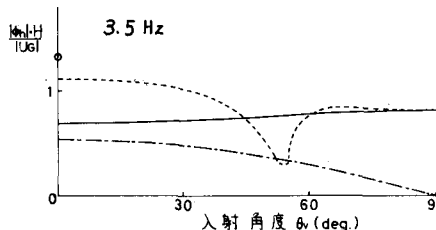


図-6 ロッキングの応答倍率曲線 (自由表面振幅との比)