

神戸大学工学部 正員 高田至郎
兵庫県 正員 〇久保哲也

1. まえがき

土木構造物の長大化にともなう、地震時における1地点での地盤挙動のみならず、平面的な広がりも考慮して設計地震動と議論する必要がある。本研究では、地表層各地点での挙動が変化すると思われる傾斜基盤の場合について、地盤の振動特性と波動の伝播性に関して実験的な検討を行った。Fig. 1は伊豆半島沖地震(1974, $M=6.8$)の際の入間地区での被害状況の模式図である。山地(基盤露出部)に近い所に比べ、層厚の大きい海岸部では家屋の倒壊などが目立ち、震動による別地盤の被害の特徴が表われており、上記の検討の必要性を示すものである。また、Fig. 2は著者らが行った理論解析の結果であり、鉛直な境界面を有する地盤モデルに単位衝撃加速度波を作用させたときの、地表面の3点での加速度および変位波形を示している。短周期の加速度波は明らかに境界面の影響によって水平方向に伝播している。傾斜基盤面を有する地層構造では地震時に上記の現象が生じていることも十分に推察される所であり、伝播波動の特性を明らかにしていく必要がある。

2. 実験概要 Fig. 3に実験模型の概略図を示した。実験は、基盤の傾斜角(θ)が $30^\circ, 60^\circ, 90^\circ$ の場合について実施した。相対率を検討した結果、長さ比 $L_p/L_m=4.29$ 、密度比 $\rho_p/\rho_m=1.85$ 、弾性定数比 $E_p/E_m=5304$ とし、基盤には石こう、表層地盤にはアクリルアミド系グラウト剤を使用した。実験は各傾斜角の場合について、定常加振実験と衝撃波による実験を行った。定常加振実験では、振動台を地盤の長手方向に、入力加速度一定(50 gal)で加振し、振動数は $0\sim 24\text{Hz}$ に変化させて、Fig. 3に示す各測点での加速度を計測した。また、地盤断面に印した標点を写真撮影することによって梁と方向での変形特性を調べた。衝撃波による実験では、基盤下部に水平方向の衝撃を与えて、各測点での加速度波を計測した。

3. 地盤の振動特性 定常加振実験より得られた各測点での加速度共振曲線の一例をFig. 4(水平方向) Fig. 5(上下方向)に示した。水平基盤と仮定すれば、弾性波動論によって、表層地盤のせん断1次固有振動数は、 8.50Hz と計算される。Fig. 4の測点3,4,5に見られるピーク値は、模型地盤の共振振動数と推察され、基盤傾斜の影響によって固有振動数が増大したものと考えられる。また、基盤に近い測点ほど応答加速度値は小さくなっており、基盤の剛性によって、表層の運動が拘束されていることが知られる。上下動は水平動に比較して、いずれの測点でも小さな値となっており、その値もほとんど変化せず、傾斜基盤上で大きく異なることもない。Fig. 6は、写真撮影によって得られた地盤の変形図の一例を示したものである。10および24Hzの場合の結果を示したが、それぞれの

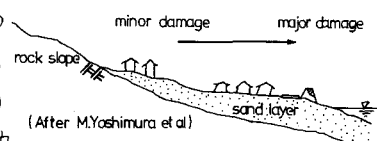


Fig. 1

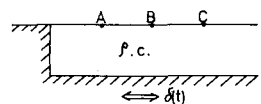
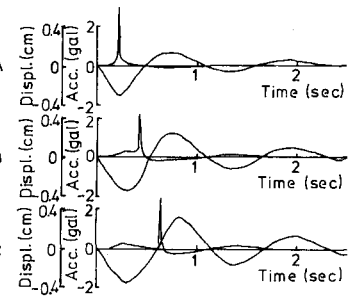
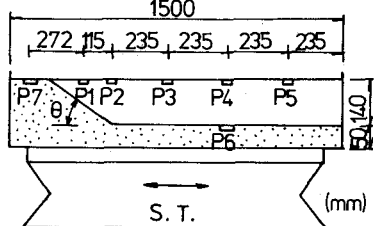


Fig. 2



Pi : Accelerometer (i=1-7)
Fig. 3

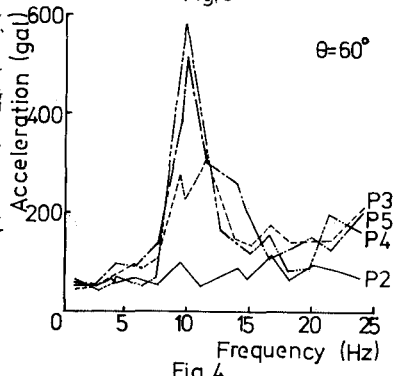


Fig. 4

振動数に対応した梁さ方向のモードが得られている。また、同図より、いずれの振動数の場合でも傾斜基盤に近い地点での表層の変形は小さくなっており、基盤の剛体的な動きに追随していることがわかる。また、傾斜基盤から伝播する波動と自由端での反射波の重なり合わせによって、各振動数に応じて水平方向での変形モードが得られ、その波長と計測することによって、地表面に沿って伝播する波動の速度は6%程度が支配的であることが知られた。次に、Fig. 7には衝撃波による振動実験より得られた、地表面の各測点における水平方向の加速度パワースペクトルを示した。傾斜基盤に近い測点ではパワーが著しく小さいのが特徴的である。いずれの測点でも10Hzにピークを有しており、それ以下の周波数成分はきわめて小さい。これは、振動系のcut-off frequencyの影響であると考えられる。さらに、衝撃波による上下方向運動のパワースペクトルと計算したが、パワーは水平方向の1/5程度であり、傾斜基盤に近い測点ほど上下動が大きくなっていく。また、いずれの測点でも20Hz程度に最大のピーク値をもつことが知られた。

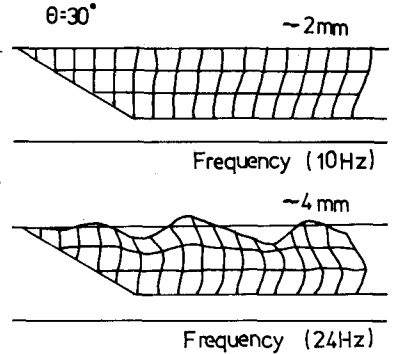
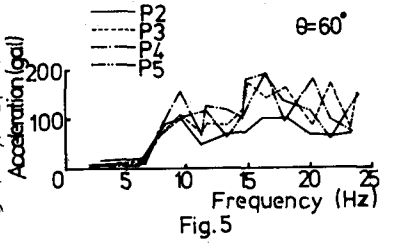


Fig. 6

4. 波動の伝播性 Fig. 2でも示したように、基盤が一様な動きとしても、傾斜基盤と表層の境界面の影響によって、見かけ上、地表面に沿って水平方向に伝播する一種の変形波が生じることが予想される。かかる波動の存在とその特性を明らかにすることは、耐震工学上きわめて重要と思われる。基盤面に衝撃が加えられたとき、表層の地表面測点して得られる加速度波形 $X_i(t)$ は、鉛直方向に伝播する波動 $X_i'(t)$ と傾斜基盤境界面より水平方向に伝播する波動 $X_i''(t)$ との合成波であると見なせる。鉛直方向に伝播する波動は、水平基盤をもつ同様な地盤層の周波数伝達関数 $H_0(\omega)$ と入力スペクトル $WY(\omega)$ の積のフーリエ変換で表わせるので、水平方向に伝播する波動 $X_i'(t)$ は次式で表わされる。

$$X_i'(t) = X_i(t) - \frac{1}{2\pi} \int_0^{100} H_0(\omega) Y(\omega) e^{i\omega t} d\omega \quad \text{-----(1)}$$

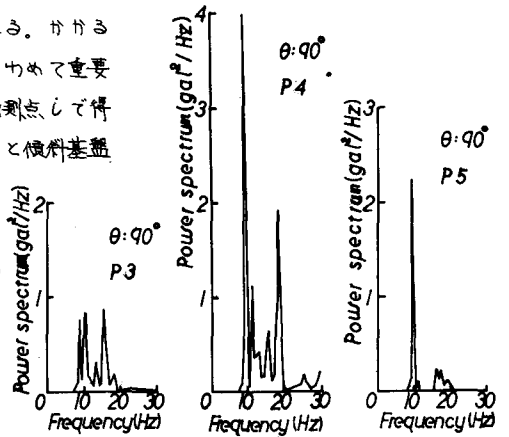


Fig. 7

位相速度を求め、Sum and Difference Method によって計算を行なった。この手法は、ある与えられた周波数で2つの波形が同位相にあること、その和は最大値となり、差は最小となることと利用し、観測時間間隔で噴火波形をshiftし、それに対応して、各周波数での和と差の比の値と計算していくものである。Fig. 8に上記の方法によって得られた位相速度を示した。傾斜基盤境界面から水平方向に伝播する波動の位相速度は、未の固有振動数付近で大きな値を示し、表層地盤は水平方向に一様な動きをすることを表わしている。また、20Hz付近では5%程度で最小の速度値を示し、さらに高い振動数域では若干増加する傾向が見られ、伝播の速度に等しくなっていく。このような地層構造の地盤では、地震時に、地盤の卓越周期に対応した速度で水平方向に伝播する波動が存在することも予想され、地盤の水平方向の運動に差異を生ぜしめることになる。

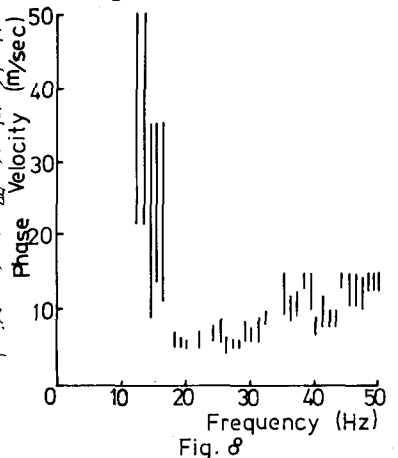


Fig. 8