

ジョイント要素を用いた造成地盤の振動解析

東北大学工学部 学生員 ○鈴木 操
同 上 正 員 佐武正雄
同 上 正 員 浅野照雄

1. まえがき

1978年宮城県沖地震では丘陵造成地において、家屋、埋設管などに多大の被害が発生したが、その多くは切土と埋土の境界付近に集中した。また、これらの被害地点において、地盤に亀裂の生じている場合も多く見受けられた。この亀裂がどのような原因で生じたか明確なことはいえないが、切土と埋土との間に局部的に大きな相対変位が生じたことによるものと考えられる。従来、埋設管の地震時の挙動は、周辺地盤の挙動に支配されることが指摘されているが、地盤の平均的なひずみを考えると、埋設管の被害を定量的に説明することはできない。本文は、造成地盤の地震時の局所的なひずみについて検討するため、切土と埋土の境界で剥離、滑動することが可能であるような地盤モデルを考え、ジョイント要素をとり入れた有限要素法を用いた振動解析を行い、切土・埋土境界付近の挙動について考察を行ったものである。

2. 解析方法

ジョイント要素は、引張りに対して分離し、せん断に対してすべり、圧縮に対して力を伝達する要素である。ジョイント要素の変形特性は、ジョイント面に垂直な応力 σ_n に対するその方向の剛性 k_n と、せん断応力 τ_s に対するジョイント面方向の剛性 k_s によって評価され、それぞれの復元力特性を図-1のように仮定した。 k_s と k_n の値はできる限り大きな値とすることが望ましいが、極端に大きな値とすると、数値解析における収束条件が困難となるため、切土の剛性マトリックスの値と同程度となるように表-1のように決めた。また、初期応力については、地表面からジョイント要素中心までの深さにおける鉛直応力 σ_y と水平応力 σ_x を引張り応力と正とし

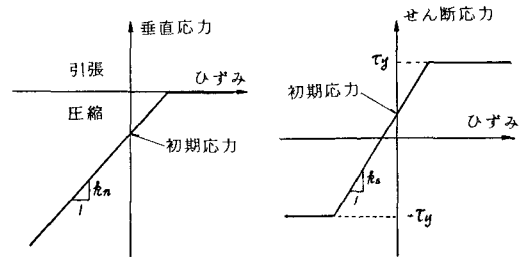


図-1 ジョイント要素の復元力特性

表-1 解析に用いた諸定数

地盤	弾性定数 (t/m^2)	ポアソン比	単位体積重量 (t/m^3)	粘着力 (t/m^2)	内部摩擦角 (度)
切土	230 000	0.41	2.0	—	—
埋土	46 000	0.40	1.9	20	30
ジョイント面のせん断方向剛性 (単位長さ当り)				230 000 (t/m^2)	
ジョイント面の垂直方向剛性 (単位長さ当り)				230 000 (t/m^2)	

$$\sigma_y = -r k_n$$

$$\sigma_x = -K_n r k_n$$

r : 土の単位²⁾積重量, K_n : 静止土圧係数

で与えて、ジョイント面方向と面垂直方向について求めた。せん断の降伏応力 τ_y については Mohr-Coulomb の降伏条件を用いた。

このジョイント要素を図-2に示すように、切土・埋土境界にのみとり入れた。また、基盤鉛直入射加速度は振幅一定(100 gal)の正弦波である。ここで境界条件は、下側を固定、左右は Lysmer と Kuhlemeyer らによる波動の反射を吸収してしまうような粘性反力を導入した境界とした。数値計算は Newmark の β 法($\beta = 1/6$)を用い、ジョイント要素の非線形領域では荷重伝達法を用いた。

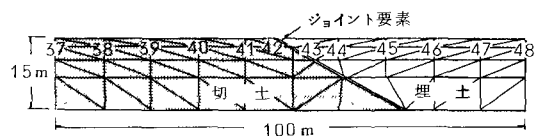


図-2 モデル地盤

3. 解析結果及び考察

ジョイント要素が線形・非線形の2通りの場合について解析を行った。また地盤モデルは境界傾斜角 30° 、 60° 、 90° の3種類である。図-3に代表的な応答波形を示す。この図からもわかるように、3波ぐらいで定常的になるため以下の結果も3波までの応答計算によっている。加速度波形で顕著にみられる乱れは(-)側でのみ表れ、ジョイント面の剥離によって力の伝達が行われなくなったためである。図-4は地表面における最大加速度応答倍率分布及び最大ひずみ分布を示したものである。ジョイント面の剥離により、切土・埋土境界におけるひずみがかなり大きくなることわかる。

境界傾斜角に対する応答結果を図-5～図-7に示す(いずれの結果においても地盤の沈下を起こすようなジョイント要素のすべりは生じなかった)。線形の場合、境界傾斜角が 60° のときに必ずに応答が大きくなるほかにはそれほど境界傾斜角の影響は表れない。非線形の場合には、境界傾斜角が大きくなると変位が著しく大きくなり、特に境界付近で著しい。これに伴いひずみも同様な傾向となる。一方、加速度は 60° の傾斜角は大きくなるが 90° で減少する。このように変位はジョイント要素を導入することにより境界傾斜角 60° から大きな影響を受け、境界傾斜角 90° で最も大きくなる。これは境界傾斜角が 90° の場合、ジョイント面に垂直に働く初期圧縮応力は最小となり、わずかな加速度が入力されてもすぐにジョイント面に剥離を起こし、切土地盤と埋土地盤がそれぞれ別個に振動している場合が多くなり、特に埋土側で大きな変位が生ずると考えられる。

4 あとがき

実際の丘陵埋土地盤の切土との境界傾斜角は 60° 以下がほとんどであると思われるが、本文の解析では、入力 100 gal の加速度に対して高々 1 mm の亀裂が生じる程度である。本解析では埋土地盤の沈下、すべりが生じなかったがモデルを更に改良し地盤のすべり効果について検討を行う必要があると思われる。

参考文献

- 1) 土岐崑三, 佐藤忠信, 三浦房紀, 「強震時における地盤と構造物の間の剥離と滑動」土木学会論文報告集 第302号, 10月, 1980 P.31-41
- 2) 川本勝万, 林正夫, 「地盤工学における有限要素解析」培風館

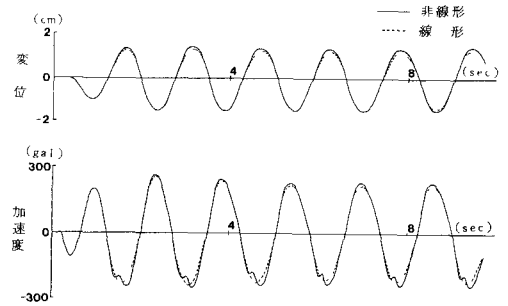


図-3 応答波形

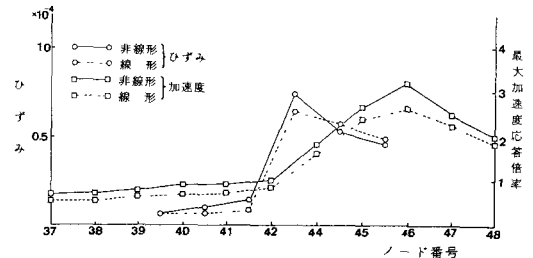


図-4 最大加速度応答倍率分布及び最大ひずみ分布

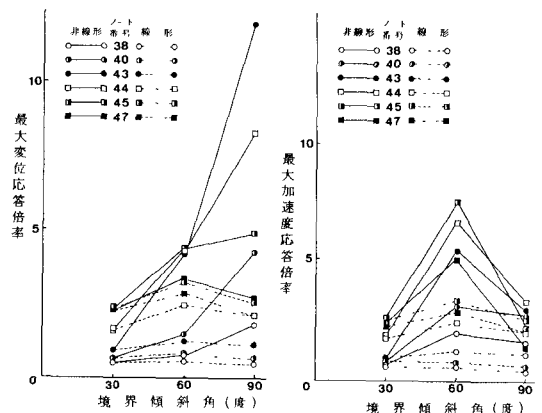


図-5 最大変位応答倍率

図-6 最大加速度応答倍率

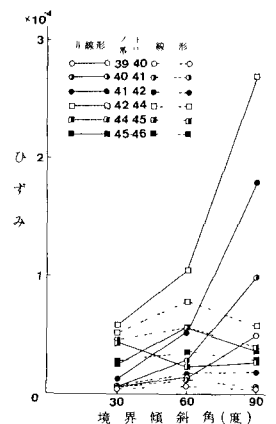


図-7 最大ひずみ