

京都大学大学院 学生員 渡辺 博志
 鹿島建設 正会員 砂坂 善雄
 京都大学防災研究所 正会員 佐藤 忠信
 京都大学防災研究所 正会員 土岐 憲三

1. まえがき 鉄道盛土、道路盛土、河川堤防などは、軟弱な地盤上に築造されることが多く、過去地震により被害を受けた例は数多い。土構造物の地震時挙動はその盛土を支える地盤の性質によって大きく左右されるものであるから、耐震性を論ずるには、当然盛土と地盤の動的相互作用を考慮しなければならない。本研究では、動的相互作用を考慮した解析法を用い盛土-地盤系の震動特性、盛土の地震応答、震動時の地盤内せん断応力を求め、それらの結果より動的相互作用について考察を加える。

2. 解析手法 地盤内を無限遠方へ逸散する波のエネルギーを考慮するために、地盤は水平に堆積した成層地盤とし、各層は均質・等方な弾性体と仮定し、その挙動を重複反射法により表現した。一方、土構造物は複雑な境界を有するので有限要素法でモデル化した。そして、土構造物と地盤の境界面での変位、応力の連続条件により、2つのサブシステムを結合する一種のサブストラクチャー法を用いた。ただし、変位としては、鉛直変位を拘束し水平変位のみを考慮した。

3. 盛土-地盤系の震動特性 図-1の盛土-地盤系において表層のせん断波速度 V_{s1} を変化させ、盛土天端中央の周波数伝達関数がどのように変化するかを調べたものである。単位体積重量は 1.8 t/m^3 、ポアソン比 0.3 、減衰定数 5% とし、表層と基盤のインピーダンス比 $\alpha_1 = \rho_1 V_{s1} / \rho_2 V_{s2} = 0.5$ に固定した。

図-2および図-3のプロットは表層のせん断波速度と共振振動数の関係である。図-2は表層厚 10 m 、図-3は表層厚 15 m の場合である。図-2、3より、表層のせん断波速度 V_{s1} が大きいと、地盤は剛体に近づき、共振振動数は盛土の固有振動数に漸近してゆくことがわかる。 V_{s1} が小さくなってゆくと、共振振動数はしだいに小さくなり、地盤の固有振動数に近い値となる。また、表層厚が変化すると、盛土-地盤系の共振振動数が変化することがわかる。次に、表層厚を一定にして、表層と基盤のインピーダンス比 α_1 を変えた場合について考察する。ここで表層厚を $H=15 \text{ m}$ で固定し、 $\alpha_1 = 0.33$ および $\alpha_1 = 0.5$ の2ケースを設定する。そしてその2ケースについて、共振時の応答倍率と、表層のせん断波速度の関係を求めた。この結果が図-4である。図-4より、 V_{s1} をしだいに小さくしてゆくと、(すなわち盛土と表層のインピーダンス比を大きくすると)、共振時の応答倍率は小さくなることがわかる。これは地下逸散減衰の効果である。もし、地盤がかたいと、盛土に入力された波動エネルギーは逸散せず、盛土にたくわえられ、応答倍率は大きくなるが、地盤がやわらかくなるにしたがい(盛土と地盤インピーダンス比が大きくなる)盛土内の波動エネルギーは地下へ逸散しやすくなるため、盛土天端中央での応答倍率は小さくなる。また、 $\alpha_1 = 0$ 、

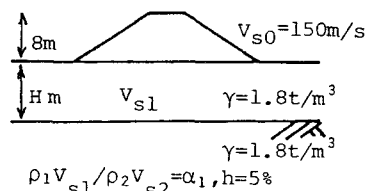


図-1 盛土-地盤系モデル

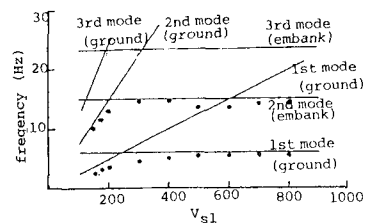


図-2 表層のせん断波速度と共振振動数の関係 ($H=10 \text{ m}$)

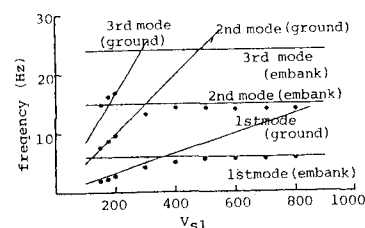


図-3 表層のせん断波速度と共振振動数の関係 ($H=15 \text{ m}$)

3.3と $\alpha_1 = 0.5$ の場合をくらべると、表層と基盤のインピーダンス比が大きい方が、共振時応答倍率は小さくなっており、地下逸散減衰が顕著になるほど、応答倍率が小さくなることがわかる。

4. 盛土-地盤系の地震応答 盛土震動特性は、それを支える地盤に大きく影響される。まず、盛土天端中央での加速度応答の最大値を計算し、地盤構成あるいは、盛土形状により、応答値がどう変化するかを調べた。具体的には、第一層のせん断波速度、基盤のせん断波速度、最小せん断波速度を有する地盤の表れる深さ、盛土自身のせん断波速度、盛土高さを変化された。

なお、用いた波形は、エルセントロ(1940)の記録で、最大加速度を100galになるように、調整した。また、盛土の減衰は、Rayleigh減衰とした。すなわち、減衰マトリックスを[C]、剛性マトリックス[K]とすると、 $[C] = \alpha [K]$ であり、n次の盛土の固有円振動数を ω_n とおいたとき、 $\alpha = 2h / \omega_n$ となる。ここで $h = 5\%$ 、 ω_n については、盛土を半無限弾性体におきかえたときの1次固有円振動数 $\pi \cdot V_{ss} / 2 \cdot H$ とした。結果の詳細は紙面の都合上省略するが、他の条件を一定に保つと、第一層のせん断波速度が小さいほど、基盤のせん断波速度が大きいほど、最小せん断波速度が小さいほど、盛土のせん断波速度が小さいほど、盛土高が高いほど、盛土の応答の最大値は大きくなることが判明した。

5. 震動時の地盤内応力 盛土-地盤系の破壊を論ずるには、法尻付近の応力を求めておく必要がある。震動時の地盤内応力は盛土のない場合の応力と、盛土と地盤の接触面に生じる応力が地盤内を伝播して生じたものの和で求められる。ここでは、図-5に示す盛土-地盤系にエルセントロNS成分(1940)を入力し、地盤内せん断応力の時刻歴を求めて、その最大値の分布を求めた。これが図-6に示してある。図-6は深さが1m~6mまで1mごとに、x方向には盛土中心から4m間隔でせん断応力を求めた結果である。応力は左右対称なので右側のみ示した。

図より、せん断応力は中心付近ほど大きく、盛土幅をBとすると、中心からB以上離れると、盛土が応力分布に与える影響はほとんどないことがわかる。解析上、鉛直変位を拘束し、水平変位のみしか考えていないので、鉛直方向の応力は求まらない。地盤内の安全率、すべり面など水平せん断応力のみで決まるものではなく、直応力とせん断応力によって決まる。そのため2方向の変位を考慮した解析が必要となる。

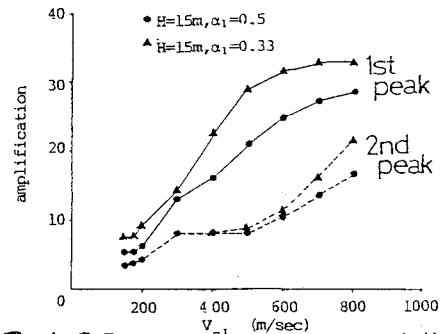


図-4 表層のせん断波速度と共振時応答倍率の関係

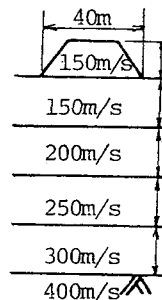


図-5 盛土-地盤系モデル

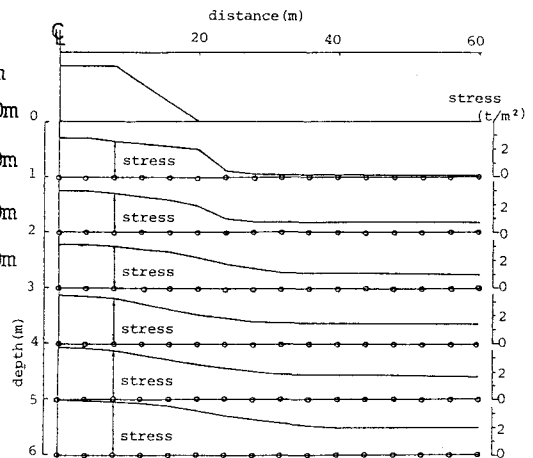


図-6 地盤内水平せん断応力分布
(図中の○印は応力を求めた点を表す)