

地盤の非線型せん断振動について

京都大学工学部 正 員 後藤尚男
 京都大学大学院 学生員 〇土岐憲三
 京都大学工学部 正 員 秋吉 卓

1. はしがき 沖積層のような地盤は地震時には堅固な基盤とは違った挙動を示すといわれている。したがって軟弱な地盤中にある構造物の耐震性を検討するにはまずその地盤の地震時の運動の特性を明らかにする必要がある。とくに軟弱地盤ではその応力とひずみの関係が非線型性を示すことが知られているが、その非線型性が地盤の振動にどのような影響を与えるかを知らねばならない。そこで、抽象化した軟弱地盤に種々の特性値を与えてその応答を計算し、それらの特性値と非線型性が軟弱地盤の地震時の運動とどのような関係にあるかを調べた。

2. 地盤の抽象 解析の対象としては図-1にみるように厚さが一様な軟弱な地盤が岩盤などの堅固な基盤によって支持されている場合を考える。そしてこの厚さHの地盤を水平にn層に等分割すると、下から第r番目の層の運動はつぎの方程式で表わされる。

$$\ddot{u}_r + \frac{n}{\rho H} (\tau_{r,r-1} - \tau_{r+1,r}) = -\ddot{e}(t) \quad (1)$$

ここに、 $\ddot{u}_r$ は運動加速度を、 ρ は密度を、 $\tau_{r+1,r}$ は第r+1番目の層と第r番目の層の間に働くせん断力を、 $\ddot{e}(t)$ は基盤の水平加速度を表わす。境界条件は基盤上と地表面においてそれぞれ

$$u_0 = 0 \quad (z=0), \quad \tau_{n+1,n} = 0 \quad (z=H) \quad (2)$$

で与えられる。またせん断力 $\tau_{r+1,r}$ を与える応力とひずみの関係は、各層間の相対変位から算出されるひずみ ε と図-2のような非線型特性をもつものとした。また地盤内における各層のせん断強度は地盤の自重による鉛直応力に比例するものとし、第r番目の層と第r+1番目の層の間のせん断強度 $\tau_{n+1,r}^0$ を

$$\tau_{n+1,r}^0 = \alpha \cdot \tan \phi \cdot \sigma_r = C \cdot \sigma_r \quad (3)$$

で表わした。ここに ϕ は内部摩擦角、 σ_r はr番目の層の上面における鉛直応力、 α は加速度や含水比がせん断強度におよぼす影響を表わす係数とし、これを含めて $\alpha \tan \phi = C$ と表わしてこれが地盤の種類を表わすパラメーターと考へた。さらに地盤のせん断弾性係数が各層において共通である場合と、各層の降伏ひずみが共通、したがって各層間のせん断弾性係数が異なる場合の2通りを考へた。前者は図-2(a)のような応力-ひずみ関係を、後者は図-2(b)のような関係をもつ。式(1)の

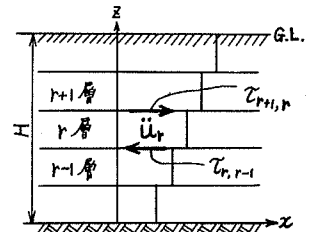
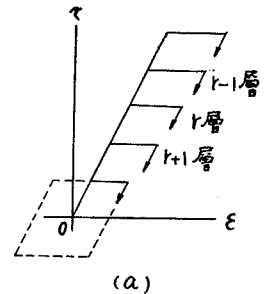
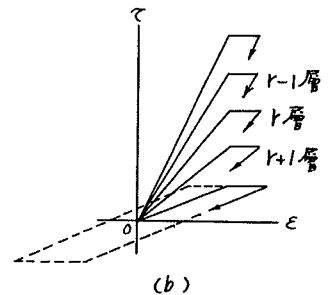


図-1 抽象化した地盤



(a)



(b)

図-2 応力-ひずみ図

右辺の外力の項としては1例として sine 波1波を与えた。

3. 数値計算 数値計算に下記の数値を用いて京都大学電子計算機KDC-Iによって実施した。地盤厚 $H: 20\text{m}$, 分割数 $n: 5$, 密度 $\rho: 1.5 \times 10^6, 2 \times 10^6 \text{ kg/sec}^2/\text{cm}^2$, 降伏ひずみ $\epsilon^0: 0.5, 1, 2\%$, 係数 $C: 0.1, 0.2, 0.4$, せん断弾性係数 $G: 12, 60, 300 \text{ kg/cm}^2$, 基礎の最大加速度: 350 gal , 周期: 0.5 sec 。

いま降伏ひずみ ϵ^0 を 1% , $C=0.2$ の場合の変位と応力の応答が図-3(a)であり, 各層がそれぞれ最初の極大変位を示すときの鉛直分布が図-3(b), このときの応力-ひずみ関係を示したのが図-3(c)である。各層におけるせん断弾性係数が一定で 60 kg/cm^2 , $C=0.2$ の場合について前と同様の応力とひずみの関係を示したのが図-4である。また, $\epsilon^0=0.5\%$, $C=0.2$ と $\epsilon^0=0.1\%$, $C=0.4$ の場合のそれぞれをそれぞれ図-5と図-6である。(他は省略)

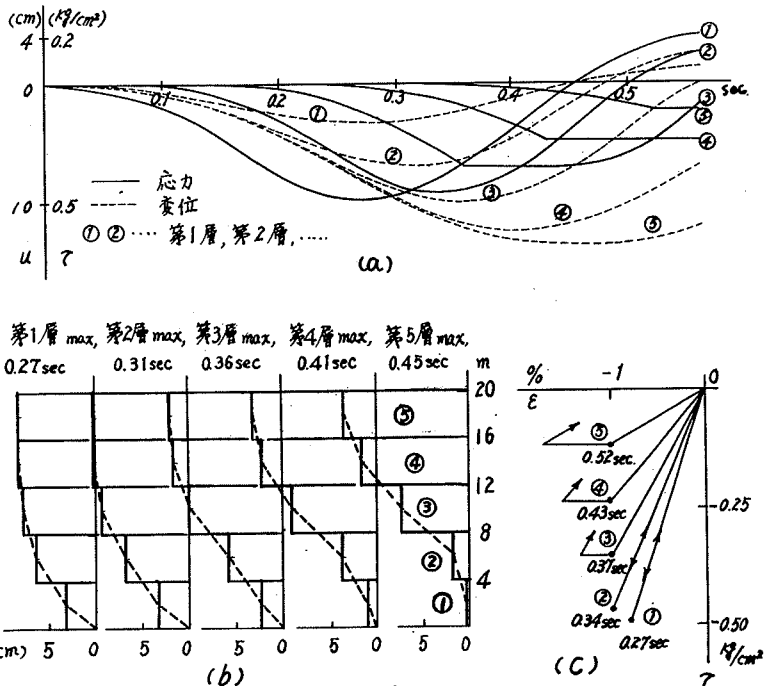


図-3 降伏ひずみ一定の場合の応答と応力-ひずみ関係

4. 考察 図-4の応力-ひずみ関係は各層のせん断弾性係数が一定でその値は図-3の場合の①層(最下層)のせん断弾性係数を用いたものであるが, 図-4の場合の方が早く降伏応力に達しており, これは図-3の降伏ひずみ一定の場合の方が上層部のせん断弾性係数が小さくなったためである。しかしながら両者の最大変位はほとんど等しいが, せん断弾性係数を5倍にした計算結果ではその場合の方が早く降伏応力に達するにもかかわらずその最大変位は約1/2程度になる。

また図-3~図-6から明らかなように各層の降伏はより下層の部分から起こり, 上層部では降伏しても下層部では弾性域内に止まる場合もある。これは換言すれば軟弱な地盤において地表に近い部分で降伏状態になっていても地盤の深部ではなお耐力が保持される場合もあることを示していると考えられる。

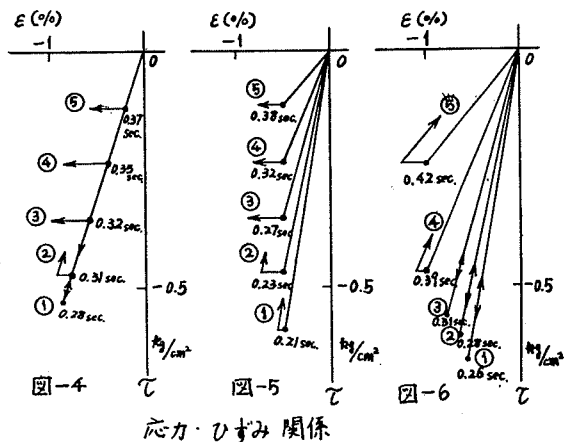


図-4

図-5

図-6

応力-ひずみ関係