

686

盛土基礎地盤の初期せん断応力分布に及ぼす不整形性の影響

(株)複合技術研究所 ○ 正 堀井 克己
同 正 鴫田 由希
(財)鉄道総合技術研究所 正 館山 勝
同 正 山田 孝弘

1. 概要

地震による盛土の永久変形量は、盛土の滑動変位量、盛土の揺すり込み沈下量、基礎地盤の沈下量などで構成される。鉄道盛土では、耐震設計標準¹⁾でそれらの計算法が示されている。しかしながら、不整形地盤の場合は、盛土の応答や沈下に及ぼす不整形性の影響は小さくないことが、模型振動実験などで明らかにされている^{2,3)}。また、土の変形特性として、初期せん断応力比が大きいほど、地震時繰返しせん断応力載荷による累積変形が大きくなる特性がある⁴⁾。

本研究は、地震時沈下予測法の開発の一環として実施したものである。すなわち、基礎地盤の地震時残留沈下量は初期せん断応力分布の影響をうけることに鑑みて、不整形地盤条件(表層地盤厚、基盤傾斜角)をパラメトリックに変化させた弾性解析により、初期せん断応力比が不整形条件によってどれほど変化するかを検討した。また、地震慣性力を擬似静的に作用させた解析により、地震時繰返しせん断応力比を推定した。

2. 解析方法と条件

解析方法

盛土の基礎地盤が不整形地盤である場合の、地盤内の初期せん断応力と地震慣性力によるせん断応力は、弾性FEM解析により推定した。すなわち、自重解析による初期応力から、初期せん断応力比を算定した。繰返しせん断応力比は、地震慣性力を擬似静的に作用させた解析による応力から求めた。応力比で整理したのは、砂質土の累積変形特性に関する実験式⁴⁾との関係を考慮したからである。

解析モデル

盛土は、標準的な鉄道盛土を想定して、盛土天端幅が10m、高さ6m、のり面勾配は1:1.5と設定し、盛土基礎地盤の不整形性に関する形状パラメータは、表層地盤厚Dと基盤傾斜角 θ とした。図1に模式図を示す。 θ は0、10、20、30度の4通り、Dは6、10、20mの3通り、計12ケースについて解析した。FEMモデルの要素は8節点アインパラメトリック要素を採用した。境界条件は、側方が自重解析では水平固定・鉛直自由、地震慣性力解析では水平自由・鉛直固定とし、基盤面は両解析とも固定とした。

基礎地盤の土質定数は、標準貫入試験N値=10の地盤を想定して、単位体積重量 $\gamma=17.6\text{kN/m}^3$ 、変形係数 $E=1.96 \times 10^4 \text{ kN/m}^2$ 、ポアソン比 $\nu=0.3$ とした。盛土の土質定数は基礎地盤と同じ物性値を使った。ただし、この仮定は、せん断応力比に及ぼす影響は小さいと考えられる。なお、初期せん断応力比 SR_s および繰返しせん断応力比 SR_d は、次式で定義した。

$$SR_s = \tau_{\max,s} / \sigma_{m,s}, \quad SR_d = \tau_{xy,d} / \sigma_{m,s}, \quad \sigma_{m,s} = (\sigma_{x,s} + \sigma_{y,s}) / 2$$

ここに、 $\tau_{\max,s}$:最大せん断応力、 σ_m :平均応力、 τ_{xy} :せん断応力、添え字s:静的、d:地震時である。ここで、 SR_s を $\tau_{xy,s} / \sigma_m$ で定義した場合を検討したが、 SR_s の深度分布が θ によって余り変化しないので、この定義は採用しなかった。なお、せん断応力比の着目位置は盛土中心直下地盤とした。これは、のり尻付近の初期応力 σ_m が引張り状態になって特異分布を示したためである。

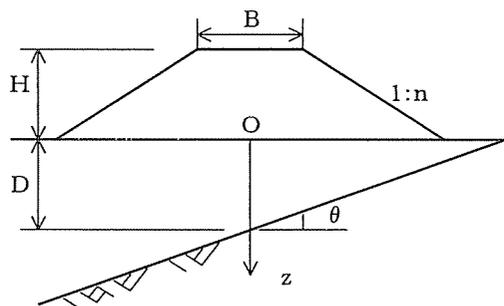


図1 不整形地盤と盛土の解析モデル

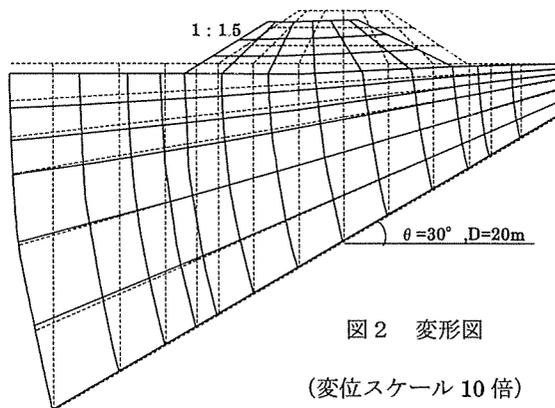


図2 変形図
(変位スケール10倍)

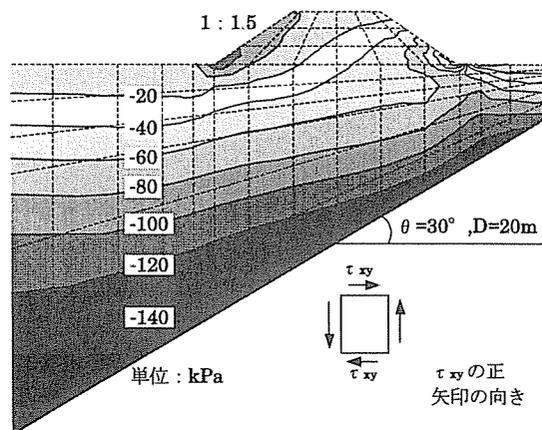


図3 せん断応力分布図

Effect of Irregularities of Base on Distribution of Initial Shear Stresses in Subsoil below Embankment.
Horii K., Tokita Y. (IGI), Tateyama M., Yamada T. (RTRI).

3. 解析結果

変形図とせん断応力分布図

解析結果の1例として、表層地盤厚 $D=20\text{m}$ 、基盤傾斜角 $\theta=30^\circ$ の場合で、地震慣性力(水平震度 $k_h=0.5$)を左向きに様に作用させたときの変形図とせん断応力分布図を、それぞれ、図2、3に示す。図2より水平変位の鉛直分布は二次曲線の形状を示す。地表面の水平変位量は盛土から離れるほど大きくなっている。これは水平方向に引張り状態を意味し、地盤の剛性が圧縮と引張り状態で前者が大きいことを考えると、傾斜基盤では水平変位はさらに大きくなることが予想される。鉛直方向の水平変位分布は二次曲線を呈し、水平地盤と同じ傾向を示す。なお、その他のケースの結果は図示していないが、表層地盤厚が大きい方が地表面での水平変位は大きくなる。図3に示すせん断応力 $\tau_{xy,d}$ のコンター分布図より、コンターは概ね基盤に平行に現われている。 $\tau_{xy,d}$ について盛土のり尻直下の鉛直線上で左右を比較すると、表層地盤厚の薄い右側の方が表層地盤厚の厚い左側より大きくなっている。これは、傾斜基盤面を固定にしているの、着目断面を右にとればとるほど、地震慣性力が作用する左側の三角形領域が大きくなるからである。

初期せん断応力比 SR_s

図4に、 SR_s の深度分布を表層地盤厚 D と基盤傾斜角 θ 別に示す。 SR_s は $0.4 \sim 1.4$ の間に分布する。 SR_s は表層地盤の深度 $z=0$ で最大を示し、深さとともに減少する。 SR_s は $\theta=0$ および 10° 度では 0.5 付近に分布し、深度方向の変化は少ない。しかし、 $\theta=20^\circ$ 度で少し影響が出始めて、 30° 度ではその影響は更に大きくなる。 SR_s の深度分布は D によって大きな変化はない。

なお、 $\theta < 20^\circ$ 度で SR_s が 0.5 付近に分布するのは、以下のように解釈することができる。今、弾性水平地盤を考えると、主応力比 $\sigma_3/\sigma_1 = \nu/(1-\nu) = 0.43$ となり、 SR_s に代入して $SR_s = (1-\sigma_3/\sigma_1)/(1+\sigma_3/\sigma_1) = 0.4$ を得る。この値は台形盛土荷重の影響を考慮していない値であるので、FEM解析の約 0.5 との差(約 0.1)は、盛土荷重の影響で生じたものと考えられる。

以上の結果より、 SR_s に及ぼす θ の影響は、 $\theta=20^\circ$ 度から生じ、 $\theta=30^\circ$ 度から影響が大きくなることがわかった。

繰返しせん断応力比 SR_d

図5に、繰返しせん断応力比 SR_d の深度分布を D と θ 別に示す。ただし、 SR_d は水平震度 k_h で除して、単位震度当たりで示している。 SR_d/k_h は $1.0 \sim 1.5$ の間に分布する。 SR_d/k_h は表層地盤の深度 $z=0$ で最大を示し、深さとともに減少する傾向を示す。これは、盛土荷重や基盤傾斜のためである。 SR_d/k_h は、 SR_s の深度分布と同様に、 $\theta=0, 10^\circ$ 度では 1.2 付近に分布し、深度方向の変化は少ない。しかし、 $z=0$ での SR_d/k_h は θ が 20° 度から影響が生じて、 θ が 30° 度になると大きい差になっている。 SR_d/k_h の深度分布は表層地盤厚 D によって大きな変化はないといえる。ただし、 $D=20\text{m}$ の場合は、深度とともに大きく低下する傾向を示している。

この結果より、 SR_d についても、基盤傾斜角の影響は、 $\theta=20^\circ$ 度から生じ、 $\theta=30^\circ$ 度から影響が大きくなるといえる。ただし、繰返しせん断応力は、動的効果の影響を受けるので、擬似静的解析結果の適用に関しては、検討の余地があると考えられる。

4. まとめ

基盤が傾斜している不整形地盤の初期せん断応力比および繰返しせん断応力比を弾性 FEM 解析より推定した。この結果、基盤傾斜角の影響は $\theta=20^\circ$ 度から生じ、 30° 度ではさらに大きくなることがわかった。ただし、本結果は基礎地盤の剛性が一様な条件の結果であるので、適用は限られる。今後の課題としては、地盤剛性が深さ方向に変化する場合の検討、動的応答解析による繰返しせん断応力の検討、不整形性の影響を考慮した地盤沈下量の推定法の検討などが残されている。

<参考文献>

- 1) 鉄道総合技術研究所編: 鉄道構造物等設計標準・同解説 耐震設計、丸善、1999。
- 2) 山田・館山・蔭: 不整形基礎上の無対策盛土の液状化実験、第35回地盤工学会研究発表会、1999。
- 3) 浦川・堀井・館山・小島・貝瀬: 不整形地盤の地震応答解析、土木学会第52回年次学術講演会Ⅲ、2000。
- 4) 堀井・館山・小島・青木・米澤: 砂質土の累積変形特性と実験式、土木学会第52回年次学術講演会Ⅲ、2000。

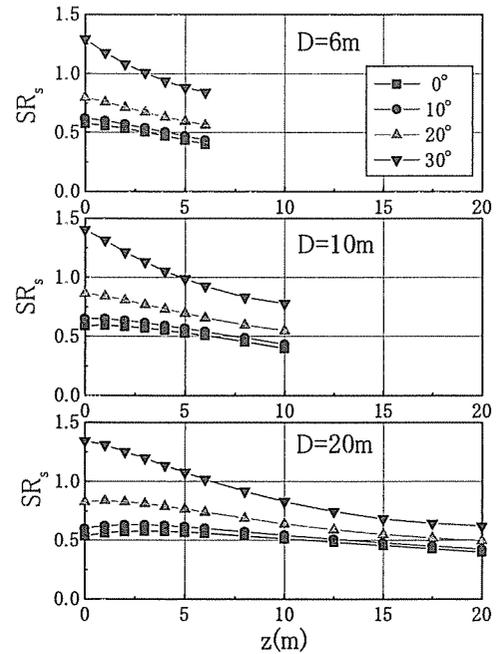


図4 初期せん断応力比の深度分布

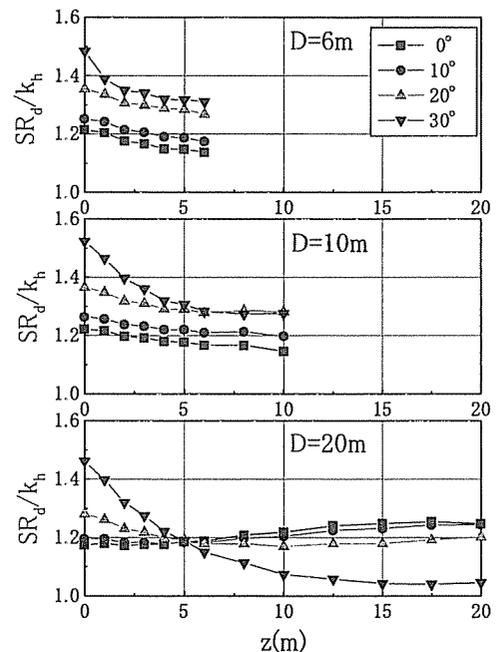


図5 繰返しせん断応力比の深度分布