

盛土法尻部締固め改良地盤の地震時変形量簡易予測法

(独)土木研究所 正会員 石原 雅規
 (独)土木研究所 正会員 岡村 未対

1. 概要 締固め工法による液状化対策は単に液状化を防止するだけではなく、せん断変形を抑制することにより構造物の変位量を低減する目的で使われることも多い。堤防法尻部の地盤改良がその一例であり、地盤改良部の土はそのせん断抵抗によって堤体直下の液状化した土が側方流動することを抑制する。このような場合、地盤改良部の変形状態は概ね単純せん断変形と見なせること、及び地盤改良部の地震時変形量を予測できれば堤防の沈下量が簡便に評価できることが報告されている（岡村ら,2001）。そこで締固め工法による改良地盤の簡易変形量予測法の構築を試み、遠心振動台模型実験との比較を行った。

2. 予測法について 締固め工法により改良された地盤の地震による変形は、概ね図1のような単純せん断変形と見なせる。したがって、改良部を薄くスライスした薄層要素のせん断変形量を求めることにより改良地盤全体の変形（せん断変形面積）を求めることができる。

図2のように薄層要素に作用するせん断力は、改良部両側の未改良域から作用する土圧差と改良地盤自体の慣性力により生じるものと考えた。未改良域から作用する土圧差として、「河川堤防の液状化対策工法設計施工マニュアル（案）（建設省土木研究所,1998）」に示されている漸増成分荷重と振動成分荷重を考慮した。したがって、i番目の薄層底面に働くせん断力 T_i は、液状化層上端深度を0とし、改良幅をBとすると次式のように表せる。

$$T_i = \tau \times B = \int_0^{z_i} P(z) dz + \sum_1^i w_i = \int_0^{z_i} P_s(z) dz + \int_0^{z_i} P_d(z) dz + \sum_1^i M_i \times A(t)$$

なお、 z_i は i 番目の薄層底面の深度、 $P(z)$ は土圧差分布、 $P_s(z)$ は漸増成分土圧分布、 $P_d(z)$ は振動成分土圧分布、 w_i は各層に働く慣性力、 M_i は各層質量、 $A(t)$ は入力加速度、 τ はせん断応力である。

後述するモデルにより各層のせん断剛性 G を時々刻々に与えることができるので、せん断ひずみ γ は、j 番目の計算ステップの時間を t_j とすると次式により求めることができる。

$$\gamma(t_j) = \gamma(t_{j-1}) + (\tau(t_j) - \tau(t_{j-1})) / G(t_j)$$

これより、各層の水平変位 D_i とせん断変形面積 S は、各層の厚さを z_i とすると、次のように表せる。

$$D_i = \sum_{l=1}^N \gamma_l \Delta z_l \quad S = \sum_{l=1}^N D_l \Delta z_l$$

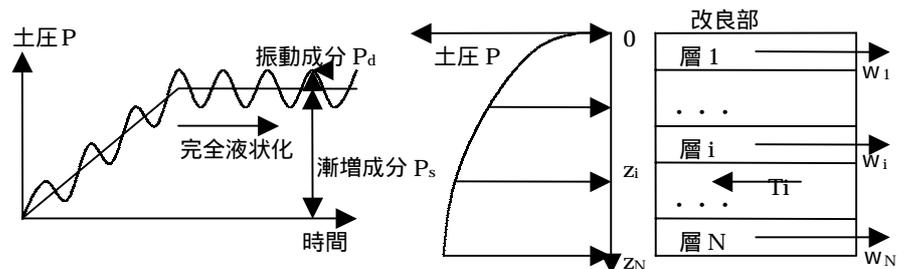


図2. 改良域に作用する力

3. せん断要素モデル 図3は、非排水中空ねじり試験より液状化した砂のせん断応力ひずみ曲線から接線剛性を求め、せん断応力比に対してプロットした場合の模式図である。載荷時の剛性(載荷、載荷)はせん断応力比に対して曲線(曲線A)となる。応力振幅を変えてもこの曲線はほぼ変わらない。これに対し、除荷開始時の剛性(除荷、除荷 矢印の始点)は応力振幅によって異なる。除荷開始時の応力比と剛性の関係を曲線(曲線B)でフィッティングしたものが破線である。除荷を継続すると、せん断応力比に比例して剛性が減少する。このような関係を示すのは、平均有効主応力と剛性の間に密接な関係があるためと考えられる。さらに、液状化した砂に対してせん断応力比が正、あるいは、負の領域のみで繰返しせん断を行った場合、剛性とせん断応力比の関係は図3右下のような直線的な経路をたどる。繰返し回数の増加とともに徐々に剛性は高くなるが、安全側となるよう初期の経路をモデル化している。このようにせん断剛性せん断応力比関係における2つの曲線(曲線A、曲線B)を室内

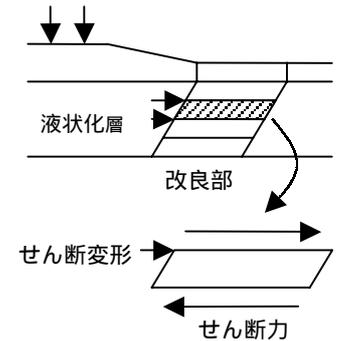


図1. 締固め工法による改良地盤の全体変形と薄層要素の変形

キーワード 締固め工法、変形量、予測法

連絡先 〒305-8516 茨城県つくば市南原1-6 (独)土木研究所技術推進本部 TEL 0298-79-6759

試験より決定すれば、せん断応力比の履歴からせん断剛性を求めることができる（石原、2002）。

さらに、ひずみが一方向に蓄積した場合、除荷中の剛性が低下する現象()が観察されたので、除荷中の剛性を载荷中の剛性を下回らない範囲で最大8割低減させた。

4. 遠心振動台模型実験

岡村らによって次のような締固め工法を施した盛土の遠心振動台模型実験が行われた。支持層は7号硅砂、他は江戸崎砂を使用し、1G場において図4に示した模型を作成した。両法尻部の改良幅が6mと10mの2ケースの実験を行った。1G場における入力波形は図5上のように1Hz約250gal 7波の主要動部と約80gal 4波3セットの余震部からなる。遠心加速度を50Gまで上昇させ、前述の波形を入力した。変形状況の観察は、50G場で撮影した写真をもとに標点やメッシュの座標位置を読み取って加振前後で比較することにより行った。このような観察に基づくせん断変形面積は、対策幅6mのケースで片側平均3.4m²、10mのケースで1.55m²であった。

5. 計算結果

遠心振動台模型を対象とした解析を行った。入力波形は模型実験と同じ図5上の波形とした。せん断要素モデルのパラメータは、改良部と同じ材料（江戸崎砂）を同じ密度（D=105%）に締固めて供試体を作成し、応力振幅比を変えた非排水中空ねじり繰返しせん断試験を行った。これよりパラメータを $a_1=320, a_2=20, b_1=b_2=0.56$ とした。解析によるせん断変形面積の時刻歴を図5下に示す。主要動部において大きな変形が生じており、その後の余震部では変形していない。実験による盛土沈下量の時刻歴が同じ傾向を示しているため、側方流動面積も同じ傾向にあると考えられる。最終せん断変形面積を実験結果と比較（図6）すると、解析の方が大きな値となった。漸増成分土圧と振動成分土圧は対策工の剛性に応じて補正係数を低減することになっているが今回の解析では低減させなかったこと、加振開始から完全液状化状態を仮定し土圧を作用させたこと、せん断要素は完全液状化状態の砂をモデル化しているために、解析結果が安全側になったと考えられる。

6. まとめ

提案した方法により締固め工法による盛土法尻部改良地盤の地震時変形量を簡便に予測することができる。

参考文献

- [1]岡村未対、他、地盤の液状化による盛土沈下対策工（締固め工法）の効果、第36回地盤工学研究発表会、2001、
- [2]建設省土木研究所、河川堤防の液状化対策工法設計施工マニュアル(案)(設計編 鋼材を用いた対策工法)、
- [3]石原雅規、他、砂の液状化時せん断特性の簡易モデル、第37回地盤工学研究発表会、2002

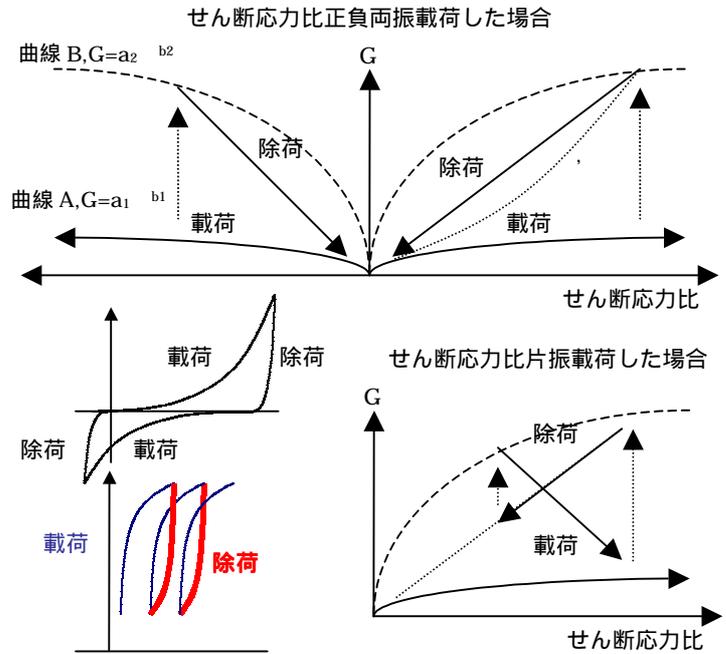


図3. せん断剛性とせん断応力比の関係（模式図）

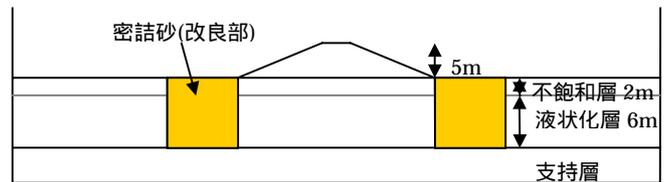


図4. 遠心振動台模型

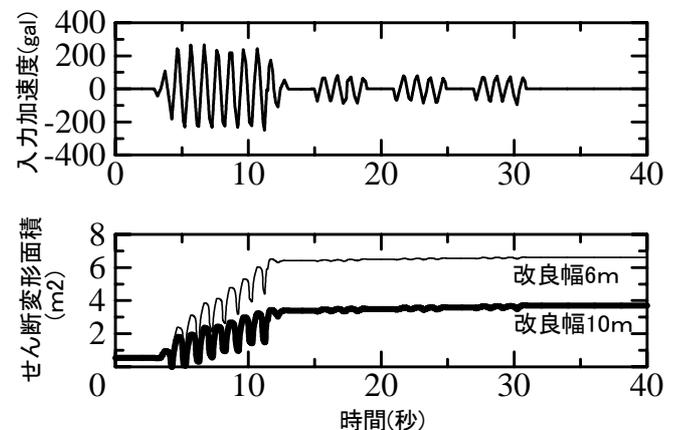


図5. 入力波形（模型、解析共通）と解析によるせん断変形面積時刻歴

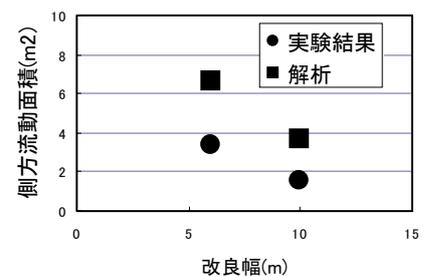


図6. 実験・解析結果の比較