

SPH法解析による地盤改良の効果検証に関する一考察

立命館大学大学院
立命館大学大学院
立命館大学
立命館大学

都市システム工学科
都市システム工学科
都市システム工学科
都市システム工学科

○大矢綾香
山戸貴嗣
藤本将光
深川良一

1. はじめに

ベトナム南部ホーチミン市を流れるサイゴン川において、近年、河岸斜面の崩壊が頻発しており、崩壊により周辺の家屋や構造物の崩落、沈下が発生している。我々の研究チームでは、現地調査と数値解析を行い、現地の地盤を構成する地盤が軟弱であること、また、潮汐による河川水位の変動が斜面の安定性に影響を与えることを明らかにした¹⁾。さらに、対策として、安価で入手が容易な材料である生石灰、粉殻灰、稲わらを用いた地盤改良工法について検討し、地盤改良に用いる材料の配合比と改良土の強度の関係について明らかにした²⁾。今後、改良土を実斜面に適用する際に、現地の状況を考慮して、地盤改良の設計や斜面の安定性の照査を行う必要がある。本研究では、地盤の大変形を再現できる解析手法であるSPH(Smoothed Particle Hydrodynamics)法を地盤改良の設計や斜面の安定性の照査への適用を試みる。また、本報告では、改良地盤を含む実斜面をSPH法でモデル化し、変形解析を行う。さらに、改良地盤の厚さと河川水位が斜面の変形に与える影響を考察し、さらにSPH法が地盤改良の設計に適用可能。

2. SPH法による飽和土における水と土の相互作用を再現するモデルについて

本報告では、Buiら³⁾によって構築された水と土の相互作用を再現するSPH法解析モデル³⁾に基づき、変形解析を行う。この解析モデルでは、応力ひずみ関係から運動方程式を用い、連続体の挙動を求める。具体的には以下の通りに計算を行う。

- ① フックの法則、塑性流れ則にしたがい、ひずみ速度を算出する。
- ② ひずみ増分をひずみ速度から算出する。
- ③ ひずみ増分と応力-ひずみ関係から応力の増分を求める。
- ④ 応力と運動方程式から加速度を算出する。

本モデルでは、応力と運動方程式から加速度を算出する際に、間隙水圧を考慮し(式(1))、これにより、水と土の相互作用を再現する。

$$\frac{dv_i^\alpha}{dt} = \sum_{j=1}^N m_j \left(\frac{\sigma_i^{\alpha\beta} + \sigma_j^{\alpha\beta}}{\rho_i \rho_j} + c_{ij}^{\alpha\beta} \right) \frac{\partial W_{ij}}{\partial x_i^\beta} - \sum_{j=1}^N \frac{m_j}{\rho_i \rho_j} (p_{wj} - p_{wi}) \frac{\partial W_{ij}}{\partial x_i^\alpha} + g_i^\alpha$$

(1)

ここに、 v : 速度、 N : 影響範囲内の粒子の個数、 j : 任意の近傍粒子、 m : 質量、 ρ : 密度、 h : 平滑化長さ、 W : カーネル関数、 f : 加速度、 α, β : 座標方向、 σ : 応力テンソル、 p_w : 間隙水圧である。なお、本報告では、水面下の間隙水圧は静水圧分布とする。

3. 解析概要

Buiらによって構築された地盤のSPH法解析モデル³⁾に基づき斜面と改良地盤をモデル化し、改良地盤の厚さ(2 m, 4 m)と河川水位(11.4 m, 13.4 m, 15.4 m)を変えて計6パターンの解析を行う。SPH法解析における構成則は弾完全塑性、降伏基準はDrucker-Pragerモデルであり、モデル斜面と自然地盤のパラメータは現地調査、改良地盤のパラメータは改良土の三軸圧縮試験(CU)に基づく。斜面のモデルを図1、解析パラメータを表1に示す。改良地盤については斜面の第1層を2 mもしくは4 m切り取り、切り取った斜面と同等の厚さの改良土を被せるように覆う。斜面を切り取る角度は、自然斜面に近い形で改良するため30°とした。また、解析パラメータを表1に示す。それぞれ、 γ_{sat} :土の飽和単位体積重量、 E :ヤング係数、 ν :ポアソン比、 c :粘着力、 ϕ :内部摩擦角、 ψ :ダイレイタンシー角である。

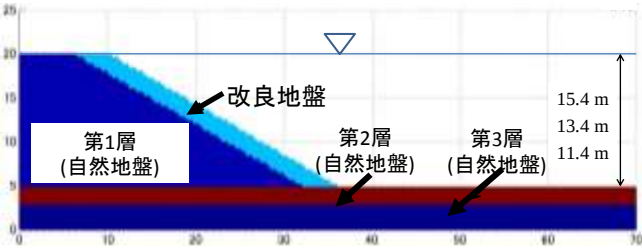


図1 モデル斜面

表1 解析パラメータ

	第1層	第2層	第3層	改良土
γ_{sat} (kN/m ³)	15.2	20.7	21.1	15.9
E (Mpa)	5.60	33.6	64.4	28.2
ν	0.33	0.33	0.33	0.33
c (kN/m ²)	10.8	36.3	9.81	17.9
ϕ (deg)	4.38	15.7	28.1	33.9
ψ (deg)	0	0	0	0

4. 解析結果と考察

図2(a)～(c)に改良地盤の厚さが2 mでそれぞれ河川水位が11.4 m, 13.4 m, 15.4 m, 図3(a)～(c)に改良地盤の厚さが4 mでそれぞれ河川水位が11.4 m, 13.4 m, 15.4 m, のときの変位の分布図を示す. いずれの改良地盤の厚さにおいても, 水位が低いと地盤は大きく変形し, 水位が15.4 mのときは, ほとんど変形は見られない. そして, 改良厚さが大きいほうが斜面の変形が小さい. このことから, 斜面は河川からの水圧に押されることで, 安定し, 水位低下により, 斜面に作用する水圧が低下することで, 斜面が不安定になることが分かる. また, 改良地盤はほとんど変形せず, 改良していない裏込め土が変形し, 改良地盤がそのまま河川側に滑るような崩壊形態を示している. この結果から, 改良地盤の強度は十分であり, 改良の形状を変える, もしくは, またアンカー等を併用することで, 本研究で用いる地盤改良工法により斜面の変形を抑制できると考えられる.

また, 以上より, 水位低下による斜面の変形や, 改良地盤の厚さの違いによる斜面の変形の違いをSPH法解析で再現できることを確認でき, 改良地盤の設計にSPH法解析が適用できることがわかった.

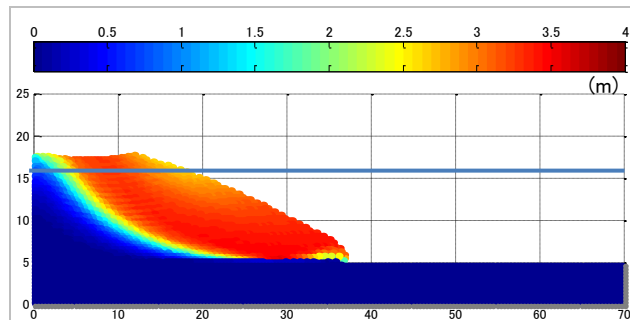


図2(a) 変位分布図(改良層厚さ2m, 水位11.4m)

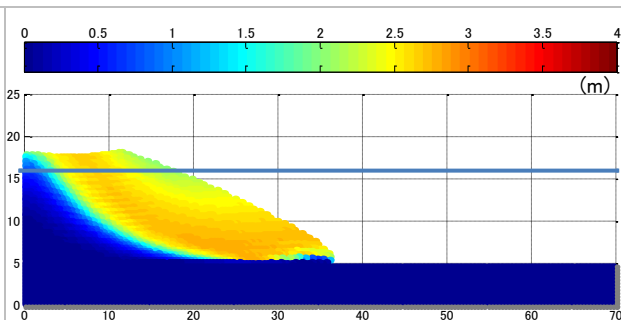


図3(a) 変位分布図(改良層厚さ4 m, 水位11.4 m)

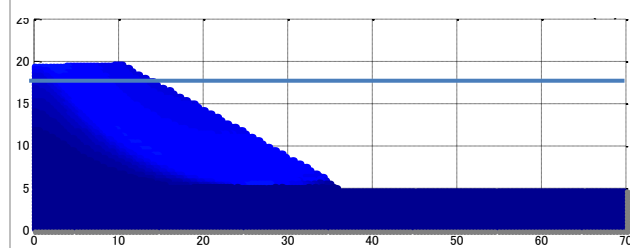


図2(b) 変位分布図(改良層厚さ2m, 水位13.4m)

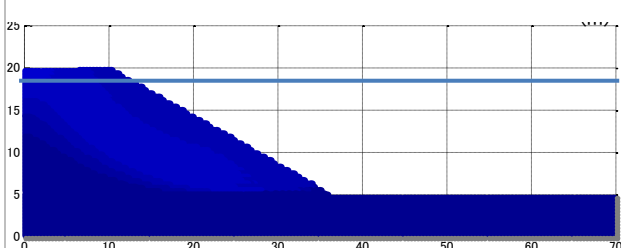


図3(b) 変位分布図(改良層厚さ4 m, 水位13.4 m)

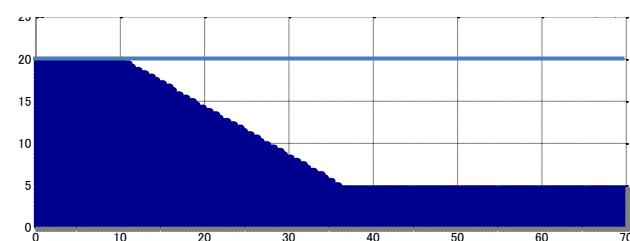


図2(c) 変位分布図(改良層厚さ2m, 水位15.4m)

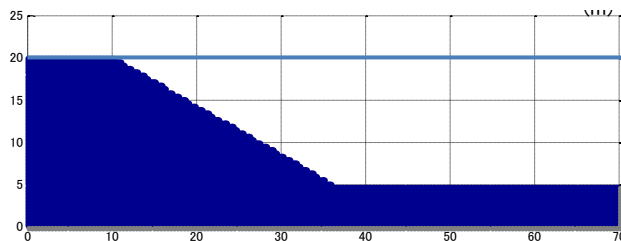


図3(c) 変位分布図(改良層厚さ4 m, 水位15.4 m)

5. おわりに

改良地盤の厚さと河川水位が斜面の変形に与える影響をSPH法解析を用いて検証した. 水位が低いと地盤は大きく変形し, 改良厚さが大きいほうが斜面の変形が小さいことわかり, 水位低下による斜面の変形や, 改良地盤の厚さの違いによる斜面の変形の違いをSPH法解析で再現できることを確認でき, 改良地盤の設計にSPH法解析が適用できることを確認した.

謝辞 平成28年度砂防学会若手研究助成による助成を受けて行ったものである.ここに記して謝意を表す.

引用文献

- 1)大矢: サイゴン川の水位変動に焦点を当てた河岸斜面の安定性評価と崩壊メカニズム解明, 立命館大学修士論文, 2015.
- 2)飯田ら: 稲わらの配合比が改良土の力学特性に与える影響について, Kansai Geo-Symposium 2015論文集, pp.13-18, 2015.
- 3)Bui et al.: Slope stability analysis and discontinuous slope failure simulation by elasto-plastic smoothed particle hydrodynamics (SPH), Geotechnique, 61, No.7, pp.565-574, 2011.