

## 改良土に加える稲わらの有無が斜面の変形に与える影響に関する一考察

|           |        |             |
|-----------|--------|-------------|
| 立命館大学大学院  | 学生会員   | ○大矢綾香       |
| Monash 大学 |        | Bui Hong Ha |
| 立命館大学院    | 学生会員   | 山戸貴嗣        |
| 立命館大学大学院  | 学生会員   | 飯田悟         |
| 立命館大学     | 正会員    | 藤本将光        |
| 立命館大学     | フェロー会員 | 深川良一        |

## 1. はじめに

ベトナム・ホーチミン市の中心部を流れるサイゴン川において、河岸を構成する軟弱地盤を素因とした河岸斜面崩壊が頻発している。周辺の構造物に影響が生じており、経済的かつ効果的な対策が必要とされている。そこで、入手が容易で安価な現地発生材である、生石灰、粃殻灰を用いた地盤改良が有用であるとする。本報告では脆性破壊を抑えるためにさらに稲わらを加えた地盤改良工法について検討する。飯田ら<sup>1)</sup>によって、改良土の一軸圧縮試験を基に、脆性破壊が抑制されることが明らかにされた。本報告では、SPH(Smoothed Particle Hydrodynamics)法で改良地盤を含む実斜面をモデル化し、稲わらなしの改良地盤の場合と稲わらを加えた改良地盤の場合の変形解析を行い、稲わらの有無が斜面の安定性に与える影響について検討する。

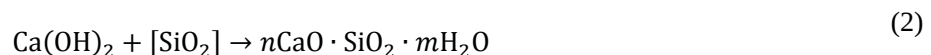
## 2. 改良土の硬化メカニズム

本研究で提案する地盤改良工法は、生石灰による脱水作用、および粃殻灰に質量比で約90%含まれるシリカによるポズラン反応の促進によって地盤を硬化させる工法である。以下にそのメカニズムを示す<sup>2)</sup>。

まず、生石灰  $\text{CaO}$  によって土中の水が蒸発し、土壌は最適含水比に近づき締固め強度が増加する。そのとき、水  $\text{H}_2\text{O}$  と生石灰  $\text{CaO}$  が反応することで消石灰  $\text{Ca(OH)}_2$  が生成する。



次に、消石灰  $\text{Ca(OH)}_2$  と粃殻灰と土壌に含まれるシリカ  $\text{SiO}_2$  が徐々に反応し珪酸カルシウム水和物  $n\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2 \cdot m\text{H}_2\text{O}$  が生成され、混合土が硬化する。この反応がポズラン反応である。



ここで式(2)中の  $n, m$  は整数である。生成された珪酸カルシウム水和物はセメントと類似した化合物である。この水和物により、組織が緻密化、硬化し、改良土の耐久性や水密性が向上し、地盤の強度が増加する。

さらに、稲わらを加えることで、稲わらと改良土が絡み合い、改良土の引張力の増加や応力が稲わらを通して分散されることで、脆性破壊が起きにくくなると考えられる。

## 3. SPH 法による変形シミュレーション

Buiらによって構築された地盤のSPH法解析モデル<sup>3)</sup>に基づき斜面と改良地盤をモデル化し、1) 地盤改良を

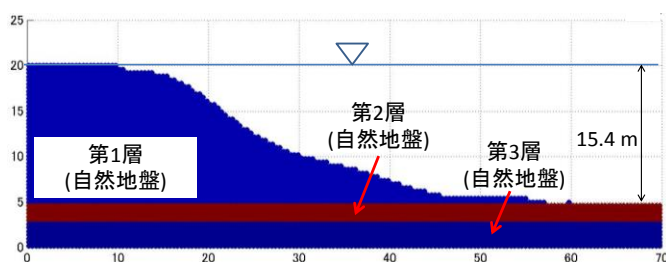


図1 モデル斜面(自然斜面)

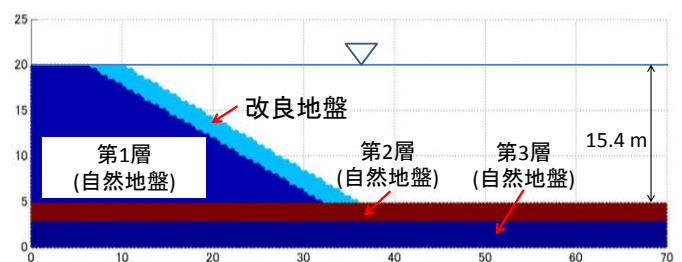


図2 モデル斜面(改良厚4m)

キーワード 斜面安定, 地盤改良, SPH 法

連絡先 〒525-8577 滋賀県草津市野路東 1-1-1 立命館大学 TEL 077-561-2875

しない自然地盤のみで構成される斜面と、2) 稲わらなしの改良層がある場合、3) 稲わらを加えた改良層がある場合の計3パターンの斜面の変形シミュレーションを行い、稲わらの有無が斜面の安定性に与える影響、および地盤改良効果について検証する。自然斜面のモデルを図1、改良地盤がある斜面のモデルをそれぞれ図2に示す。改良地盤がある斜面は第1層を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、 $\gamma_{sat}$ :土の飽和単位体積重量、 $E$ :ヤング係数、 $\nu$ :ポアソン比、 $c$ :粘着力、 $\phi$ :内部摩擦角、 $\psi$ :ダイレイタンシー角である。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。構成則は弾完全塑性、降伏基準はDrucker-Pragerモデルであり、本解析では水面下の水圧は静水圧分布を仮定している。

図3に1)地盤改良をしない自然斜面で構成される斜面、図4に2)に稲わらなしの改良層がある斜面、図5に3)稲わらを加えた改良層がある斜面の変位分布図を示す。図の自然斜面においては、斜面の第1層の法肩と法面に変位の大きい部分が集中し、第1層の下端からすべり崩壊のような変形がみられる。図4、図5の改良層がある斜面においては、若干の変形が観察できるが、地盤改良をしない場合の結果と比べて全体的に変位が小さく、斜面の安定性が改善されたことがわかる。さらに、図5の稲わらを加えた改良層がある斜面(最大変位 0.040 m)においては、稲わらなしの改良層がある斜面(最大変位 0.048 m)よりも改良層の変位が小さいことがわかる。稲わらがある場合とない場合では、表より粘着力に大きく違いがあることから、稲わらを加えることで、改良土の粘着力が増大し、結果として斜面の変形が抑制されたと考えられる。以上より、地盤改良により、斜面の安定性は向上し、特に改良土に稲わらがない場合に比べて、改良土に稲わらを加えた場合においては改良土の粘着力の増加により、斜面の安定性は向上することがわかった。

## 6. おわりに

本報告では、SPH法に基づく斜面の変形シミュレーションにより、現地発生材を用いた地盤改良の効果の検証と改良土に加える稲わらの有無が斜面の安定性に与える影響について考察した。地盤改良により、斜面の安定性は向上し、特に改良土に稲わらを加えたことによる改良土の粘着力の増加により、より斜面の安定性が向上することがわかった。

## 参考文献

- 1) 李徳河: 安定処理した土の強度とその浸蝕特性について, 国立成功大学土木工程研究所修士論文, 1976年4月。
- 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.

表1 SPH法解析パラメータ

|                                     | 第1層  | 第2層  | 第3層  | 改良土<br>(稲わら無) | 改良土<br>(稲わら有) |
|-------------------------------------|------|------|------|---------------|---------------|
| $\gamma_{sat}$ [kN/m <sup>3</sup> ] | 15.2 | 20.7 | 21.1 | 16.2          | 15.9          |
| $E$ (Mpa)                           | 5.60 | 33.6 | 64.4 | 18.1          | 28.2          |
| $\nu$                               | 0.33 | 0.33 | 0.33 | 0.33          | 0.33          |
| $c$ [kN/m <sup>2</sup> ]            | 10.8 | 36.3 | 9.81 | 1.54          | 17.9          |
| $\phi$ (deg)                        | 4.38 | 15.7 | 28.1 | 35.7          | 33.9          |
| $\psi$ (deg)                        | 0    | 0    | 0    | 0             | 0             |

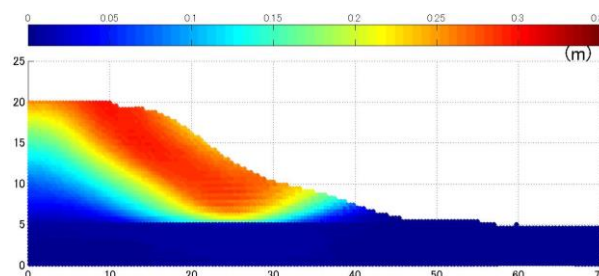


図3 自然斜面(地盤改良なし)変位分布(単位:m)

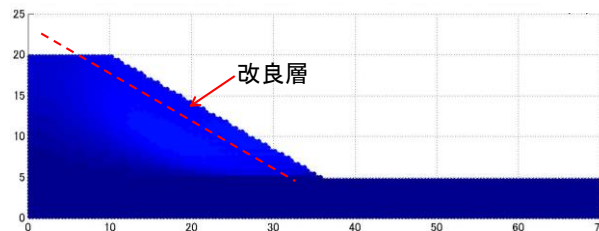


図4 改良層4 m(稲わらなし)変位分布(単位:m)

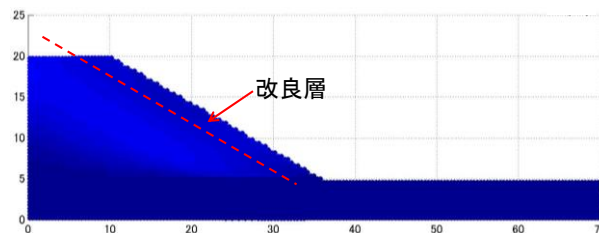


図5 改良層4 m(稲わらあり)変位分布(単位:m)