

## サイゴン川における水位変動を考慮した河岸斜面の安定解析に関する研究

立命館大学大学院 学生会員 ○大矢 綾香  
 立命館大学大学院 学生会員 平岡 伸隆  
 Monash University 正会員 Bui Hong Ha  
 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・ホーチミン市を流れるサイゴン川の流域では、降雨時に河岸斜面の崩壊が頻発し、崩壊のメカニズムの解明と、それに基づいた対策工の提案が緊急の課題となっている。そこで我々は、河岸近傍の地下水位と河川水位の変動が斜面崩壊の要因の1つと考え、1) 地下水位・河川水位がない場合、2) 地下水位・河川水位が一定の場合、3) 地下水位・河川水位が変動している場合の3ケースについて河岸斜面の安定解析を行い、安全率および変形挙動を比較して、水位変動と斜面崩壊の関連性について明らかにした。

## 2. 解析概要

本研究では、Buiら<sup>1)</sup>が提案した大変形後の挙動も追従可能である、SPH法を用いた斜面安定解析を実施した。この安定解析手法はせん断強度低減法<sup>2)</sup>を用いて行う。せん断強度低減法は、斜面の抵抗力に安全率FOSを除して変化させると、斜面が崩壊する場合と崩壊しない場合の解析結果が得られ、このとき崩壊しない最大のFOSを斜面の安全率とする手法である。斜面の抵抗力はせん断強度に依存するので、安全率FOSで除した仮想的な斜面のせん断強度 $\tau_{FOS}$ は式(1)のように表せる。

$$\tau_{FOS} = \frac{c}{FOS} + \sigma \left( \frac{\tan \phi}{FOS} \right) \quad (1)$$

ここに、 $c$ は粘着力、 $\phi$ は内部摩擦角である。

モデル斜面を図1に、各種のパラメータを表1に示す。モデル斜面は、サイゴン川河岸で取得した土質パラメータ、斜面の断面形状に基づき設定し、3層構成とした。せん断強度低減法で変化させる安全率FOSは0.025刻みとし、粒子の最大変位が2 m以上のものについて崩壊と判断する。解析条件は計算回数(タイムステップ)を500000回(406sec)とし、以下の3ケースについて実施する。ケースA: 河川水位・地下水位なし。ケースB: 河川水位・地下水位は時間変動せずモデル下端より19 mとする。ケースC: サイゴン川の1日2 mの水位変動を再現し、初期の水位は19 mで、100000ステップかけて2 m下降させ、次の25000ステップ間は水位17 mを維持させる。その後、100000ステップかけて2 m上昇させ、次の25000ステップ間は水位19 mを維持させる、という変動を2回繰り返す。なお、水面より上の粒子には湿潤単位体積重量、水面より下の粒子には飽和単位体積重量を与える。また、各ケースFOS=1.000時についても解析し、崩壊挙動を確認した。

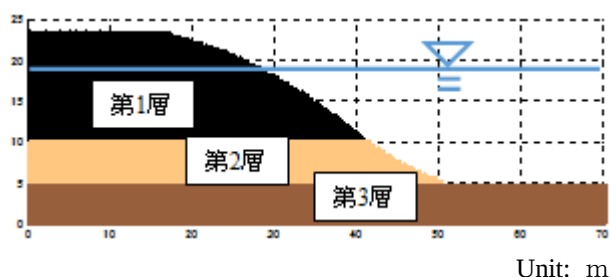


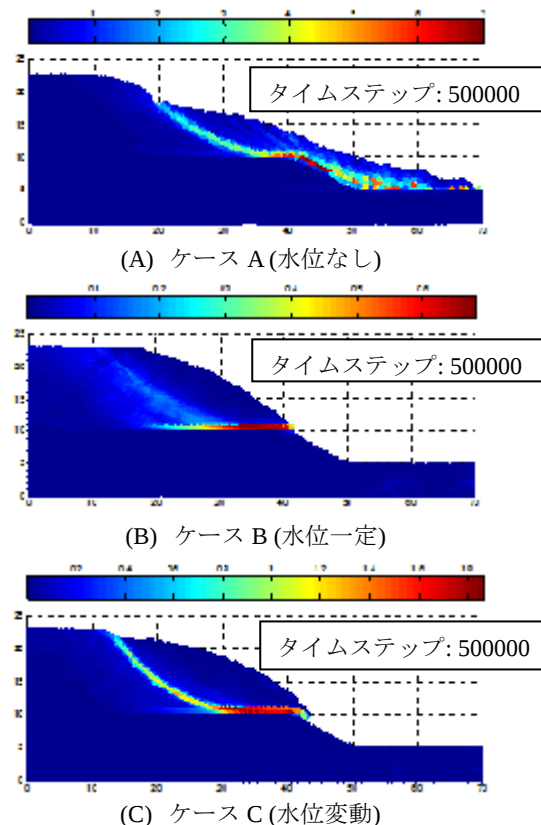
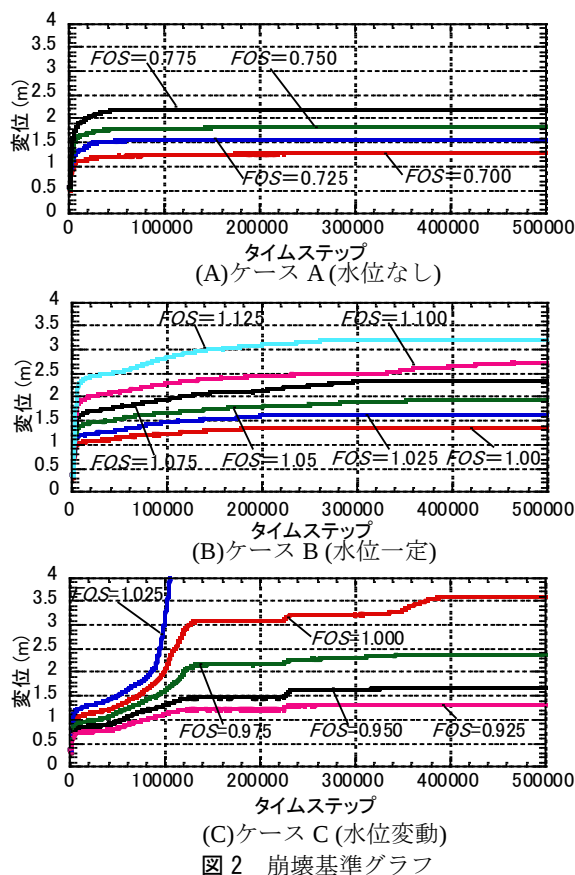
図1 斜面モデル

表1 解析パラメータ

|           | 単位                               | 第1層   | 第2層   | 第3層   |
|-----------|----------------------------------|-------|-------|-------|
| 湿潤単位体積重量  | $\gamma_t$ kN/m <sup>2</sup>     | 13.92 | -     | -     |
| 飽和単位体積重量  | $\gamma_{sat}$ kN/m <sup>2</sup> | 14.11 | 19.21 | 17.15 |
| ヤング係数     | $E$ MPa                          | 4.2   | 27.3  | 22.4  |
| ポアソン比     | $\nu$                            | 0.33  | 0.33  | 0.33  |
| 粘着力       | $c$ kN/m <sup>2</sup>            | 11.25 | 23.72 | 17.15 |
| 内部摩擦角     | $\phi$ deg                       | 9.43  | 12.28 | 23.38 |
| ダイレイタンシー角 | $\psi$ deg                       | 4.72  | 6.14  | 11.19 |

キーワード SPH 法, 河岸斜面, せん断強度低減法, 斜面安定解析, 水位変動

連絡先 〒525-0058 滋賀県草津市野路東 1-1-1 立命館大学 TEL: 077-561-2666



### 3. 解析結果および考察

表2に安定解析より求められた斜面の安全率、図2にFOSを変化させたときの崩壊基準グラフ、図3にFOS=1.000時の解析結果を示す。

表2より、ケースAの安全率が0.750であることから、河岸斜面は地下水位・河川水位がないと自立しないと考えられる。ケースBの水位変動なしでは安全率は1.050、ケースCの水位変動ありでは安全率は0.950であり、水位変動があると斜面の安全率が下がることがわかる。また、図2より、FOS=1.000時における解析では、ケースAにおいては、斜面が完全に崩壊している。このことから、地下水位・河川水位がないと斜面が自立しないと考えられる。水位変動がないケースBでは、斜面の崩壊は発生せず、水位変動があるケースCにおいては天端の沈下、第1層下端の変形、すべり線の発生がみられ、斜面の崩壊が発生している。

河川からの水圧によって斜面が押されることで、斜面が自立しているが、水位低下時に斜面が受ける河川からの水圧が低下することで、崩壊が進行することが考えられる。また、水位上昇時に地盤が浮力を受けることも崩壊の1つの要因として挙げることができる。これらのことから、水位変動によって、斜面の安定性は低下し、より大きな崩壊にいたると考えられ、サイゴン川の河岸斜面の安定性と水位変動は関連があることが確認された。

### 4. おわりに

SPH解析によって、サイゴン川河岸の斜面は河川からの水圧によって支持されているが、水位変動によって斜面の安定性は低下し、より大きな崩壊をまねくことがわかった。また、実際の現象をさらに精度よく再現するために、変形による粘着力やヤング係数の変化および水の浸透を考慮した解析を行う必要がある。

**謝辞** 本研究は独立行政法人日本学術振興会の「組織的な若手研究者等海外派遣プログラム」およびJSPS 科研費23404012による助成を受けて行ったものである。

### 参考文献

- 1) 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.
- 2) Matsui et al.: *Finite element slope stability analysis by shear strength reduction technique*, Soils and Foundations, Vol.32, No.1, pp.59-70, 1992.