立命館大学	学生員	○平野	竜五
立命館大学	正会員	Ha Hon	g Bui
立命館大学	正会員	酒匂	一成
立命館大学	正会員	深川	良一

表-1 土質条件



図-2 崩壊後の盛土中央部の断面図(単位は cm)

水面上昇に伴い,堤体内から気泡の発生と細粒分 流出が確認できた.また,水面下の斜面表層部にお いて,土粒子の移動が見られた.そして,法先部の 変形により,斜面のバランスが崩れるとともに,水 面上の斜面土塊が崩れ,最終的には斜面全体が崩壊 した.よって,崩壊原因として,法先崩壊による法 面全体の安定度低下が,大規模な崩壊をもたらした と考えられる.

3. 数值解析

3.1 解析概要¹⁾

本研究では、土と水の連成問題に対して、SPH 法 による解析を行った.支配方程式は Naveir-Storkes の式から導かれ、土の塑性領域は Druker-Prager モデ ルで表現した.固体と液体を考慮した場合の土の運 動方程式を SPH 形式による表記で以下のように示す. $\frac{Dv^{\vartheta}}{Dt} = \sum_{j=1}^{N} m_{j} \left(\frac{\sigma_{i}^{\prime a \beta}}{\rho_{i}^{2}} + \frac{\sigma_{j}^{\prime a \beta}}{\rho_{j}^{2}} + C_{ij}^{a \beta} \right) \frac{\partial W_{ij}}{\partial x^{\beta}} + \sum_{j=1}^{N} \frac{m_{j}}{\rho_{i} \rho_{j}} (p_{wj} - p_{wj}) \frac{\partial W_{ij}}{\partial x_{i}^{a}} + g_{i}^{a} (1)$

<u>1. はじめに</u>

ベトナムホーチミン市のサイゴン川流域では,河 岸侵食を伴う洪水被害が頻繁に発生しており,河川 管理,防災計画の構築が急務である.本研究では, 水位変動に伴う河岸侵食現象を再現した室内土槽試 験を実施し,崩壊挙動を観測した.また,河岸侵食 崩壊現象を数値解析するため SPH 法を用いた. SPH 法の解析結果と室内土槽試験結果の比較検討から, 解析手法の妥当性を検証する.

<u>2. 室内土槽試験</u>

室内土槽試験の概要図を図-1に示す.試験試料と して,滋賀県産まさ土を用いた.土質条件を表-1に 示す.水位は,盛土底面から60cmの水頭差を与えた 貯水タンクから斜面正面側壁面下端に水が供給され, 土槽内の水位が40cmになるまで注水された.また, 変位計,間隙水圧計,水位計を設置し,各々沈下量, 地下水位変化,注水した水の水位変化を計測した. 図-2に崩壊後の盛土中央部における断面図を示す. 結果として,斜面全体にわたり沈下が生じ,斜面部 において計3回の大規模な崩壊の進行性崩壊が発生 した.



Ryugo Hirano, Bui Hong Ha, Kazunari Sako and Ryoichi Fukagawa rv00076@ed.ritsumei.ac.jp ここに, v: 速度, ρ: 密度, α, β: 座標方向, F: 外力 による加速度成分, σ': 全応力テンソル, p_w: 間隙水 圧, g: 重力加速度, N: 粒子群内の粒子数, m: 質 量, C_{ij}: 人工粘性項の反発力項和, W_{ij}: 平滑化関数. 式(1)中の C_{ii}は次式で表される.

$$C_{ij}^{\alpha\beta} = -\prod_{ij} \delta^{\alpha\beta} + f_{ij}^{n} \left(R_{i}^{\alpha\beta} + R_{j}^{\alpha\beta} \right)$$
(2)

ここに, Π: 人工粘性, f: 反発力, n: 平滑化関数に依存した指数, R: 人工応力テンソル.

人工粘性項は解析の安定性の改善や粒子間のすり抜けを取り去る効果があり、反発力項はSPHを固体に 適用する際に生じる原子の振る舞いに似た挙動を抑 えるために与えられる人工的な反発力である。

<u>3.2 解析条件</u>

表-2 に解析パラメータを示す.地下水面の設定は, 浸透解析を解析モデルに導入していないことから, 初期水位を 0cm とし,堤体モデル内も含め一様に水 面高さ 40cm まで上昇させ,一定時間水位を維持した. 水位以下では,粘着力を 0 とした.全解析時間は, 水位上昇 13.5 秒,水位維持 0.9 秒の計 14.4 秒とした.

		解析パラメータ
Е	ヤング係数(MPa)	6.5
ν	ポアソン比	0.33
ϕ	摩擦角(deg)	29.8
С	粘着力(kPa)	1.63
Ψ	ダイレイタンシー角(deg)	10
γ_t	単位体積重量(kN/m ³)	15.7
dx	粒子間の距離(m)	1.0×10 ⁻²

表-2 解析パラメータ

3.3. 解析結果

図-3, 図-4, 図-5 に各々4.5 秒後(水位 13.3cm), 9 秒後(水位 26.7cm), 14.4 秒後(水位 40cm)の塑性変形 を示す.





上図から堤体前面部において,水面以下での支持 力低下による沈下の発生や水面以下での土粒子の移 動が確認される.また,図5ではすべり面を明瞭に 認識することができる.以上より,数値解析におい ても水位上昇により法先部分の変形が生じ,徐々に 崩壊範囲が拡大して行くような進行性崩壊が発生す るといった結果が得られた.ただし,土槽試験で観 察された水面上の土塊が崩壊するような進行性崩壊 を解析では表現できてはいない.

<u>4. おわりに</u>

本研究では、水位変動に伴う河川堤防の崩壊挙動 の解明を目指し、室内土槽試験と SPH 法を用いた数 値解析を実施した.土槽試験結果では、水位上昇に 伴う進行性崩壊が観察され、数値解析でも進行性崩 壊が起こるという結果が得られた.しかし、水面上 の土塊崩壊など表現できていないところもあるので、 今後も改良を行っていきたい.

[参考文献]

1) H.H. Bui, R. Fukagawa, K. Sako and S. Ohno: Lagrangian meshfree particles method (SPH) for large deformation and failure flows of geomaterial using elastic-plastic soil constitutive model. *International Journal for Numerical and Analytical Methods in Geomechanics*, 32, pp.1537-1570, 2008.