

# 界面内蔵有限要素を用いた直接せん断の解析 Analysis for direct shear adopting a finite element with an embedded interface

○西山竜朗\* 長谷川高士\*\*

○ Tatsuro Nishiyama\* and Takashi Hasegawa\*\*

## 1 目的

ダムにおける岩盤の破壊機構に整合した設計, さらには合理的な基礎処理の実現を目的として, より妥当な強度評価を実現するために, 数値計算の援用による破壊解析に対する検討を行った.

## 2 手法

既往の岩盤せん断試験を模した石膏模型実験<sup>1)</sup>を解析対象とし, 模型の初期状態を定むずみ三角形要素を用いて表した(図1). 岩盤せん断試験における垂直荷重に相当する境界条件を第1荷重ステップにおいて等分布荷重として与え, 第2ステップ以降において, 傾斜荷重に相当する境界条件を変位増分0.01 mmとして与えた. 材料強度をHoek-Brown破壊規準<sup>2)</sup>によって表した上で, 作用する応力が材料強度に至った要素を界面内蔵要素<sup>3)</sup>に逐次置き換え, 局所の亀裂を表現した. 界面内蔵要素は, 要素内に, 要素を横切る界面を二重節点を用いて設置した三角形有限要素であり, 隣り合う要素間で連続した亀裂を表現することができる.

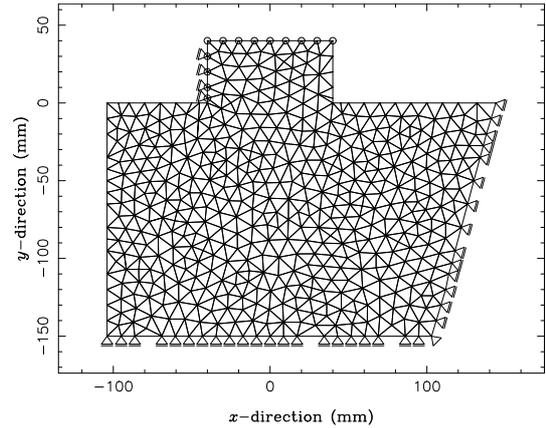
ただし, ここで一要素に対して考慮し得る界面は1個だけである. 界面内蔵要素に作用する応力が再度, 材料強度に至った場合には, 要素領域が破碎されたとみなし, 弾性係数を1/10に低下させた. また, 隣接3要素の界面先端を共有している要素の一回目の破壊に対しても同様の扱いとした. さらに, 応力の解放を表せない, 孤立して配置された界面内蔵要素に対しては, 材料強度超過応力の再分配処理<sup>4)</sup>を施し, 材料強度を大きく超過した非現実的な応力値の算定を回避した.

## 3 結果

実験との比較から妥当と考えられる破壊機構(図2)および変形特性(図3)が得られた. せん断抵抗は, 実測値よりやや下回るものの, 概ね実測値に沿う分布が得られた(図4). 破壊点における, 想定せん断面に沿う応力分布(図5)には, 非一様な部分が現れている. しかしながら, 図5, さらには試験過程における想定せん断面中央の応力経路(図6)を見ると, 想定せん断面上の応力が各応力円の円周上で材料強度に面した位置にあり, 三軸圧縮試験と概ね同様の破壊角が得られていることがわかる. これらの結果から, 直接せん断におけるせん断抵抗は, 本質的な機構として三軸強度よりしばしば下回るものの, 両者の発現機構には類似点があると考えられる.

## 4 結論

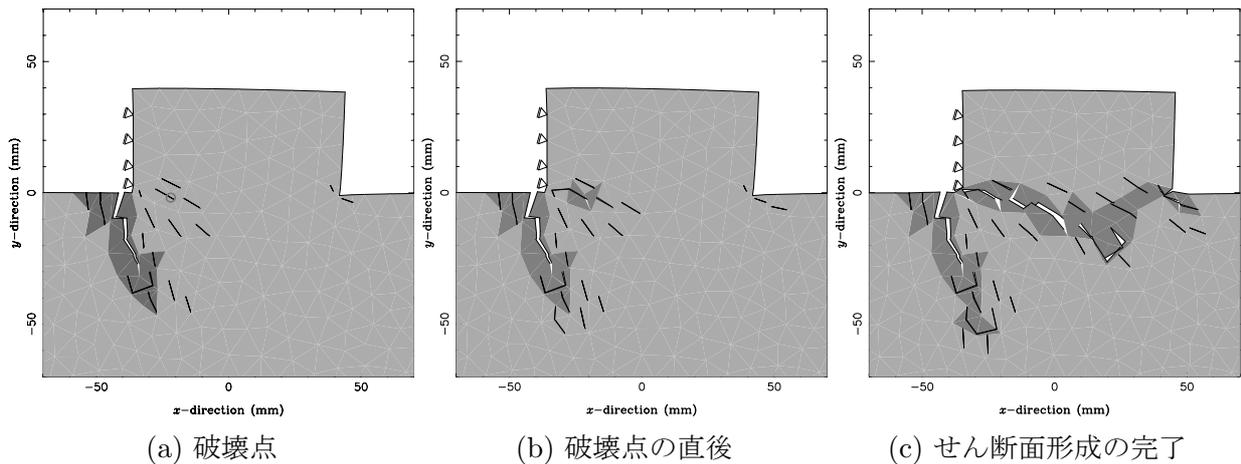
せん断の過程における応力分布が非一様であることから, せん断抵抗が三軸強度を下回る理由は, 想定せん断面上で局所ごとに応力が破壊規準に至るため, 結果として破壊規準に満たない応力を含めた平均値が算定されるためであると言える. しかし, せん断抵抗と三軸強度の発現機構には本質的に類似した要素があり, 応力分布について知見を整理することによって, せん断抵抗を理論的な材料強度と結び付け得ると考えられる. 今後, 実用に供し得る知見が得られるよう解析・整理を進めるとともに, 計算手法の効率向上および改善を図りたい.



弾性係数: 3,697 MPa, Poisson 比: 0.35,  
圧縮強さ: 16.56 MPa, 引張強さ: -2.844 MPa ;  
平面ひずみ, 初期節点数: 500, 要素数: 911.  
丸印は載荷に相当する境界条件を与えた節点を表す.

図1: 解析条件

\* 愛媛大学農学部 Faculty of Agriculture, Ehime University; \*\* 京都大学名誉教授 Professor Emeritus, Kyoto University; 岩盤力学, 構造物の設計手法, 数値解析



(a) 破壊点

(b) 破壊点の直後

(c) せん断断面形成の完了

図 2: 破壊様式 (初期垂直応力  $\sigma_n = 3.75$  MPa ; 変位 10 倍強調表示) ; (a)~(b) は図 3 に対応し, 色が濃い部分は破碎した領域を表す. (a) 図中の丸印が破壊点において現れた亀裂進展を表す.

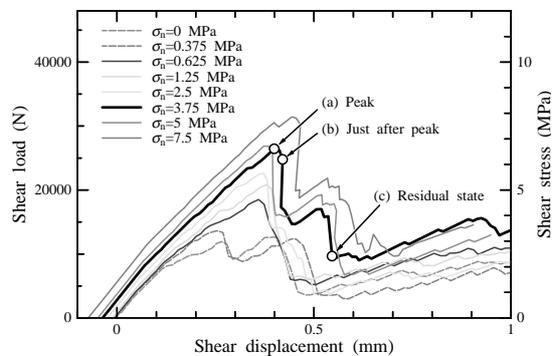


図 3: 変位—荷重関係

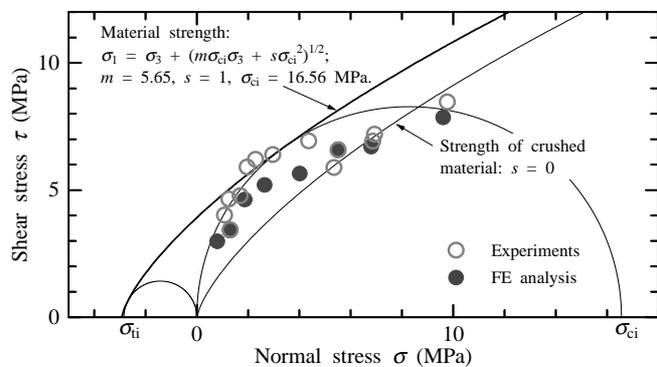


図 4: せん断抵抗

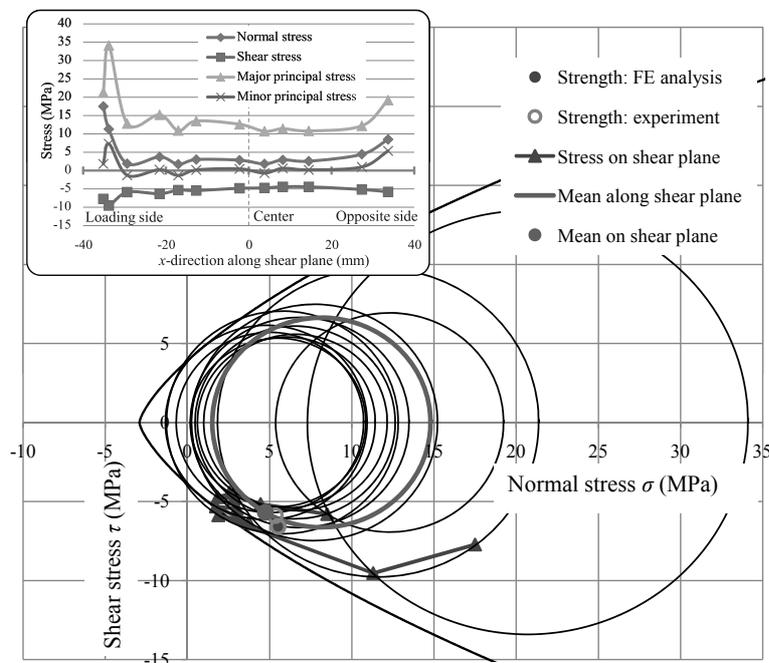


図 5: 破壊点における想定せん断面に沿った応力分布 ( $\sigma_n = 3.75$  MPa ; 図 2 (a) に対応)

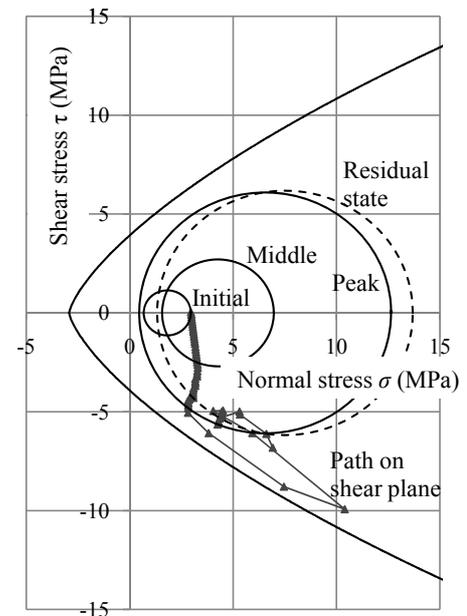


図 6: 想定せん断面中央の応力経路 ( $\sigma_n = 3.75$  MPa)

参考文献 1) 西山・長谷川 (2002) 応用力学論文集 **5** 349–356. 2) Hoek E (1983) *Géotechnique* **33** 185–223. 3) Bolzon G (2001) *Computational Mechanics* **27** 463–473. 4) Zienkiewicz O C, Valliappan S and King I P (1968) *Géotechnique* **18** 56–66.