

Ⅲ-A385 ブロックせん断試験において岩盤中に作用する応力の発達

岡山大学環境理工学部 正会員 西山竜朗
近畿大学農学部 正会員 長谷川高士

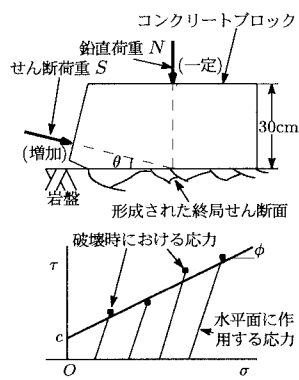
1. 目的 ダム基礎岩盤の破壊強度は、ブロックせん断試験において岩盤のせん断抵抗を測定することにより評価される。試験における測定結果は図1のように解釈され、ほぼ水平面に沿った圧縮の垂直応力域におけるせん断破壊を考える。一方、ブロックせん断試験を想定した弾性解析を行い、結果を岩の破壊基準に照合すると水平から大きく傾斜した破壊面を生じる引張破壊を得る。このような現象は実際に生じる終局破壊と大きく異なるが、ここで類似した条件下におけるコンクリート破壊試験の結果を参照すると、弾性解析において得た破壊が、実際の試験のせん断過程における岩盤中の局所破壊に相当すると予想される。そこで、ブロックせん断試験において生じる破壊現象を理論的に説明することを目的とし、せん断過程における局所破壊の発生を考慮した有限要素解析を用いて岩盤中に作用する応力を検討した。

2. 解析手法 本稿に結果を報告する解析においては、ブロックせん断試験自体の力学的機構を調べるために、未破壊の岩盤を均質な等方弾性材料として取り扱った。まず、等方弾性解析を行うと、ブロック打設面直下の岩盤中に作用する応力が図3aに示すように圧縮・引張の両側へほぼ一定の割合で発達する結果を得る。応力がこのように発達すると引張側で岩盤の破壊基準に至り、このときの破壊面は水平から大きく傾斜したものとなる。また、ブロック打設面直下に位置する個々の要素に注目しても同様の応力の発達が見られ、作用する応力が引張の垂直応力域において破壊基準に至る。そこで、せん断荷重を増加させる過程において、作用する応力が破壊基準に至った要素中には要素を分離させる引張亀裂が生じたと見做し、次の荷重段階以降において破壊面を等方面とする異方弾性要素に置き換えて解析を行い、ブロック直下の岩盤中に作用する応力を検討した。

3. 解析結果 引張破壊が生じた要素を順次異方弾性要素に置き換えて解析を進めたときの、局所破壊の進行を図4に示す。ここで、図3aおよびbを比較すると、異方弾性要素を用いた解析においては、等方弾性解析を行った場合と比較して応力が明らかに圧縮側へ発達することが分かる。なお、図3中の記号および記号を結ぶ折れ線は水平面に作用する応力を表す。

図3bおよびcを比較すると、異なる鉛直荷重に関する解析において、鉛直荷重の増加に伴い応力の発達が遅くなることが分かる。また、異なる鉛直荷重に関して局所破壊の進行を比較すると、鉛直荷重が大きいほど破壊の進行が遅い結果を得る。これらの結果は、実際の試験において鉛直荷重が大きいほど破壊時のせん断荷重が大きいことに相当すると考えられる。

図5のように等方および異方弾性解析における主軸方向を比較すると、異方弾性解析における主軸方向は、引張破壊が生じた要素の増加に伴い等方弾性解析結果より水平に近い方向へと逸れることが分かる。なお、図5におい

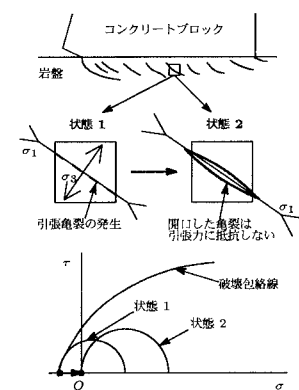


せん断面を水平とみなし、破壊時に作用する応力を Coulomb 則 $\tau = c + \sigma \tan \phi$ に従って評価する。水平面に作用する垂直応力 σ およびせん断応力 τ は、ブロック打設面の面積を A として次式のように算定される。

$$\sigma = \frac{N + S \sin \theta}{A} \quad (1)$$

$$\tau = \frac{S \cos \theta}{A} \quad (2)$$

図1: ブロックせん断試験における測定結果の評価



Hoek and Brown 破壊基準

$$\sigma_1 = \sigma_3 + (m\sigma_c\sigma_3 + s\sigma_c^2)^{1/2} \quad (3)$$

図2: 局所破壊の取り扱い; 応力が破壊基準に至った要素を異方弾性要素に置き換える。

キーワード 岩盤, 応力, 破壊基準, 局所破壊, ブロックせん断試験

連絡先 住所: 〒700-8530 岡山市津島中2-1-1, 電話: 086-251-8362, FAX: 086-251-8361

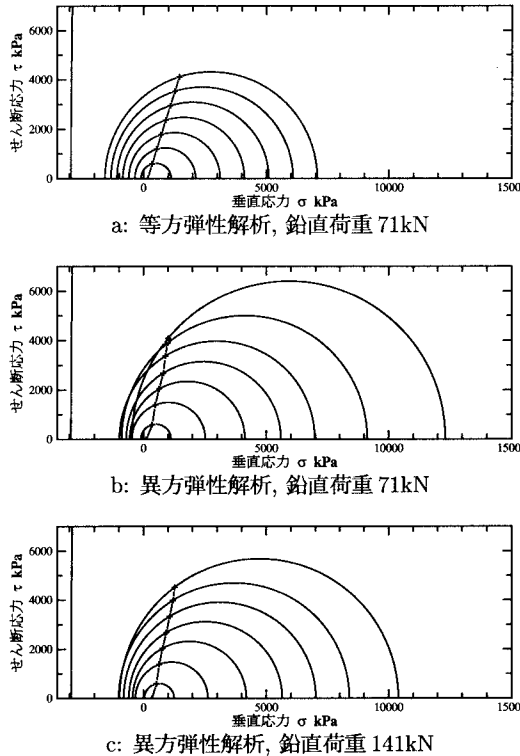


図 3: ブロック打設面直下の要素に関して平均した応力; いずれもせん断荷重 0~2059kN に関して表示. 図左端の曲線は解析に用いた破壊包絡線を表す.

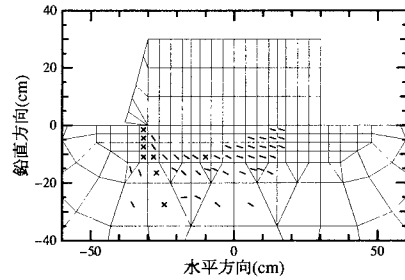


図 4: 引張亀裂の発生; 鉛直荷重 71kN, せん断荷重 2059kN. 要素中の線分が亀裂の存在および角度を表す. また, ×印は作用する応力が 2 度破壊基準に至った要素を表す.

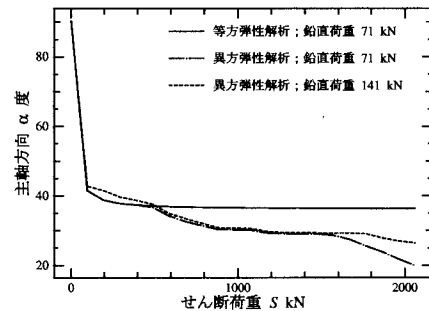


図 5: 主軸方向の変化; 図 4 における水平方向を 0, 時計回りを正として表示.

て値が大きく変化しているせん断荷重を与えた際に、多くの要素に引張破壊が生じる結果を得た。さらに、異なる鉛直荷重に関する異方弾性解析結果を比較すると、鉛直荷重の増加に伴い主軸方向の変化が遅くなることが分かる。これらの結果から、実際のブロックせん断試験において岩盤中に進行性破壊が生じているならば、終局破壊に近づくに従い局所破壊の影響を強く受け、主軸方向が水平に近づくと考えられる。

4. 結論 ブロックせん断試験に関して、異方弾性要素を用いることにより局所破壊を考慮した有限要素解析を行い、局所破壊の進行に伴い岩盤中に作用する応力が圧縮側へ発達する結果を得た。この結果から、実際のブロックせん断試験において進行性破壊が生じているならば、局所破壊の進行に伴い岩盤中に作用する応力が圧縮側へ発達し、やがて圧縮の垂直応力域において何らかの破壊基準に至り終局破壊が生じると考えられる。また、異なる鉛直荷重に関する解析結果を比較すると、鉛直荷重が大きいほど応力の発達および局所破壊の進行が遅い。このような傾向は、実際のブロックせん断試験における測定結果に類似している。さらに、局所破壊の進行に伴い、主軸方向が水平に近づく結果を得た。この結果から、実際のブロックせん断試験において進行性破壊が生じているならば、終局破壊に近づくに従い、主軸方向が水平に近づくと考えられる。

参考文献

- [1] Hoek, E.: "Strength of jointed rock masses," *Géotechnique*, **33**(3), 187-223, 1983.
- [2] Kaneko, Y., Conner, J. J., Triantafyllou, T. C. & Leung, C. K.: "Fracture Mechanics Approach for Failure of Concrete Shear Key. I: Theory," *J. Engng. Mech.*, ASCE, **119**(4), 681-700, 1993.
- [3] 西山竜朗・長谷川高士: "局所破壊を考慮したブロックせん断試験に関する弾性解析," 平成 11 年度農業土木学会大会講演会講演要旨集, 1999.
- [4] 西山竜朗・長谷川高士・島田清・山崎弘学: "原位置岩盤せん断試験における応力の発達," 第 34 回地盤工学研究発表会 平成 11 年度発表講演集, 1999.
- [5] O. C. ツィエンキーヴィッツ著, 吉識雅夫・山田嘉昭訳: マトリックス有限要素法, 培風館, 三訂版, 1984.