

成層岩盤の変形に関する数値計算

信州大学工学部 正会員 ○ 小西 純一

大学院 学生会員 大谷 和弘

1. まえがき 堆積岩やある種の変成岩などは、成層面とそれにはほぼ直交する節理とが卓越する成層岩盤を成す場合が多く、強度・変形特性に著しい異方性を示すので、斜面、地下空洞、アーチダム基礎などの安定性の検討に際しては、何らかの形でそれを考慮しなければならない。先に著者らは、石膏ブロック積層模型による検討も行なったが、その後 Goodman ら²⁾ によるジョイント要素を用いた有限要素解析を行なったので報告する。

2. ジョイント要素 ジョイントを解析的に表現する方法としてはいくつかの報告があるが、ここでは Goodman et al.²⁾ の方法を採用した。すなわち、ジョイントは平板状で、ジョイント面は垂直な方向の引張には抵抗しないが、圧縮には抵抗し、若干の変形と生じるものとする。ジョイント要素は図-1 に示すように長さ L 、幅 0 (零) と考え、節点 1 と 4、2 と 3 の初期座標は等しくとる。この要素に作用する荷重ベクトル $\{P\}$ が、上面の相対変位ベクトル $\{w\}$ に比例するとして次式が得られる。

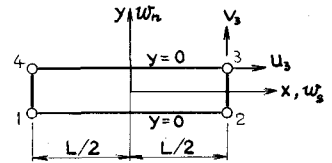


図-1 ジョイント要素

$$\{P\} = \begin{bmatrix} P_s \\ P_n \end{bmatrix} = [K] \{w\} = \begin{bmatrix} k_s & 0 \\ 0 & k_n \end{bmatrix} \begin{bmatrix} w_s^{\text{top}} - w_s^{\text{bottom}} \\ w_n^{\text{top}} - w_n^{\text{bottom}} \end{bmatrix} \quad (1)$$

ここに $[K]$ は単位長さ当りのジョイントの剛性、 k_s , k_n はそれぞれ接線方向、垂直方向のジョイント係数と呼ばれる。 $\{w\}$ は要素の節点変位を表わし、仮想仕事の原理を適用することによってジョイント要素の剛性行列が求められる。

3. 成層岩盤モデル 平面ひずみ条件下で考えることとし、成層岩盤を長方形 (長さ/幅 = 2) のブロックの4点配列で表現すること

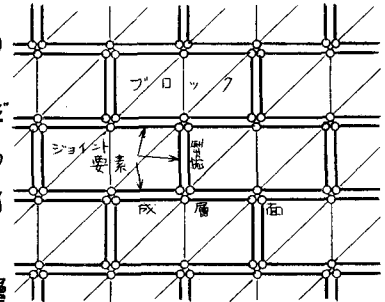


図-2 成層岩盤モデル

にする (図-2)。各層の節理は長さの $1/2$ ずつずれているものとする。各ブロックを4個の三角形要素に分割し、成層面および節理には上述のジョイント要素を配置する。このようにすると隅角部には同一の初期座標をもつ3つの節点があることになる。計算の便のため、計算の各ステップごとに、3節点の平均座標を求め、次のステップの初期座標と考えることにした。

4. 計算例 流れ目 45° 、差し目 45° および層理水平の3種の層理面を有する岩盤斜面の法肩に鉛直荷重がかかる場合について計算を行なった。計算に用いた寸法および諸定数は、先に行った石膏模型に合わせてある。すなわち斜面高約30cm、斜面角約 90° 、法肩載荷幅9cmとし、諸定数は図-6中に示した値を用いている (E, ν : 実質部の弾性定数)。自重は無視し、法肩荷重を段階的に増加させた。なおモデルの要素数および節点数は、流れ目 (497, 438); 差し目 (553, 493), 水平 (475, 422) であり、端部拘束条件はすべてヒンジとしている。

1) 応力分布 図-3 に差し目 45° の場合の主応力の大きさと方向を示す。一般にひび割れを有す

る岩盤においては、荷重直下に応力が集中し、側方では応力が小さくなることが知られているが、図-3においても同様のことが言える。また、層理方向に、大きな応力が深部まで伝達されているのがわかる。層理水平(層理角 90°)の場合には、鉛直下方への分布、流れ目 45° では鉛直下方-層理方向への分布が卓越する。

ii) 変形 図-4および5にはそれぞれ、差し目と流れ目の場合の変形状況と拡大して示した。差し目においては各層の曲げ変形が、流れ目においては層間のすべりがそれぞれ卓越しているのがわかる。層理水平の場合は各層の圧縮が目立つ。このように、層理角によって、変形様式が異なるが、この結果は石膏模型実験とよく対応しており、荷重-沈下曲線や強度にも反映されている。

iii) 荷重-沈下曲線 図-6に計算で得られた荷重-沈下量関係を示す。層理角による差異が明らかであり、傾向的には模型実験と類似している。しかし荷重の絶対値が実験値の約1/10と過小となっている。この原因はジョイント係数 kn の推定方法に問題があるためと考えられ現在検討中である。

5. あとがき Goodmanらによるジョイント要素を用いた有限要素解析によって、成層岩盤の挙動をシミュレートできる。 kn の値の再検討および破壊に至るまでの解析を続けており、講演時に報告する。計算には本学センターを通じて東大大型計算機を使用した。

- 1) 大谷・小西・佐々木: 成層岩盤の安定に関する考察 III-28 1977
- 2) Goodman, Taylor, Brekke: A model for mechanics of jointed Rock, Journ. SMF Div. ASCE, 94 SM3, 1968

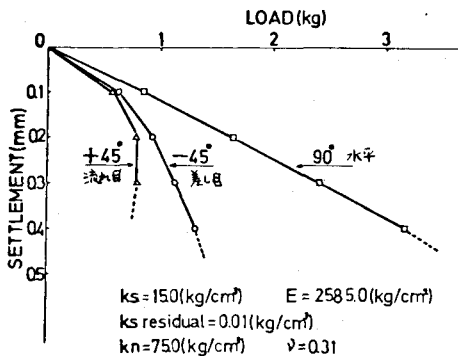


図-6 荷重-沈下曲線

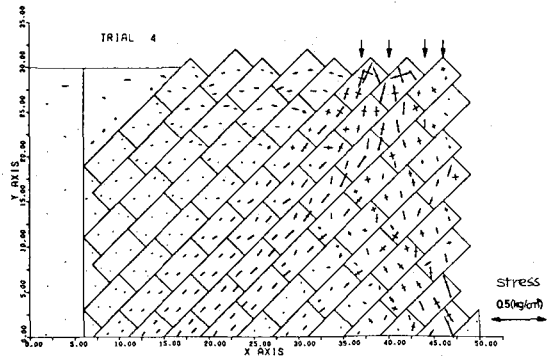


図-3 主応力分布, 差し目 45°

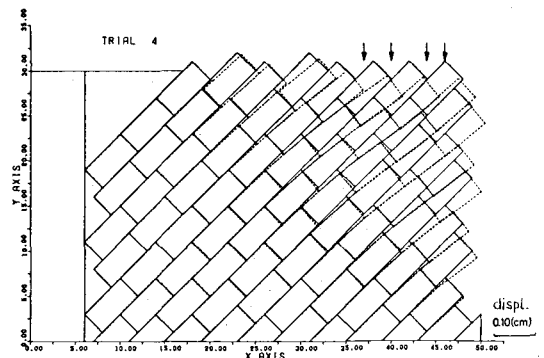


図-4 変位図, 差し目 45° , (変位は45倍して描く)

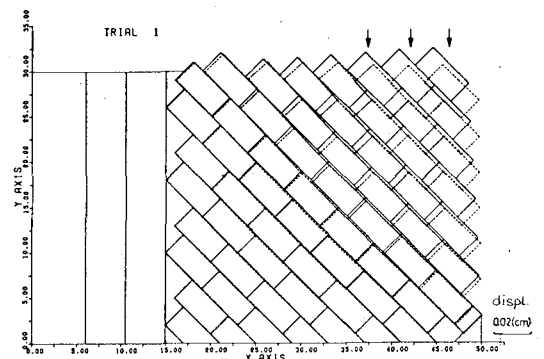


図-5 変位図, 流れ目 45° , (変位は200倍)