

III-A 326

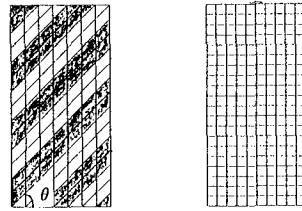
層状堆積岩盤の強度異方性に関する実験と考察

法政大学 学生会員 高橋 寛  
 法政大学 常世田 祥宏  
 法政大学 正会員 草深 守人

1.はじめに 従来、ダムや地下発電所は良好な岩盤に計画され建設されてきた。しかし、地質条件に恵まれた地点の乏しい我が国では、建設可能な地質条件の範囲を拡大せざるをえない状況となってきた。水力発電所等の新設工事では、ダムの基礎岩盤となる長大斜面の掘削や地下発電所空洞の掘削において、岩盤の強度異方性を配慮した設計・施工対策の検討が重要な課題として取り上げられつつある。本研究では、岩盤材料の強度異方性が、異方性の方向（以後、層理角  $\theta$  と呼ぶ）と圧縮強度の関係でどの程度発生するのか実験と解析の両面から考察することを目的とした。

2.試料及び実験方法 本研究で用いた人工岩盤材料は、試料土として豊浦標準砂、固結材として早強ポルトランドセメント、また、供試体作成時間の短縮を図るための混和材として急硬性セメント混和材を用いた。この人工岩盤材料を、圧縮強度が2:1の比になるように強層、弱層として配合し（実際の実験結果では約1.7:1）、強層と弱層を互層に木製の型枠に打設し、人工互層岩盤材料を作成した。さらに、その人工互層岩盤材料の異方性を調べるために、各層の境界面に対し、傾き ( $\theta = 0^\circ, 20^\circ, 45^\circ, 70^\circ, 90^\circ$ ) の方向よりコア抜きし、高さが10cmになるよう整形したものを24日間水中養生し  $\phi 5 \times 10\text{cm}$  の供試体とした。試験は載荷速度 (0.25mm/min) とし、排水条件で一軸圧縮試験を実施した。

3.解析方法 本研究では2種類の解析方法を行った。まず、解析Aとして、各層を等方性材料とし、異方性を有限要素分割で表現した解析を行った。材料モデルは、等方性の Drucker-Prager の降伏条件を採用し、上、下端共に拘束条件とした。したがって、解析Aにおける供試体の強度異方性は、材料特性における異方性ではなく構造の上での異方性として再現した。次に、解析Bとして、次式に示すような応力空間基底補正型降伏関数を用いた均質化した異方性材料としての解析を行った（図1）。これらの解析に用いた材料定数を表1に示す。ただし、解析Bは谷岡らによる解析結果を比較値として使用した。また、解析Aと解析Bでは解析Bの方がはるかに労力を削減できる。



解析A 解析B

図1: 有限要素分割図

表1: 材料定数

	一軸圧縮強度	変形係数	ポアソン比	粘着力	内部摩擦角
強層	80.5	17000	0.402	19.4	38.5
弱層	48.2	11300	0.382	11.9	37.4

応力空間基底補正型降伏関数

$$\sqrt{(b_1\sigma_{11} - b_2\sigma_{22})^2 + (b_2\sigma_{22} - b_3\sigma_{33})^2 + (b_3\sigma_{33} - b_1\sigma_{11})^2 + b_4^2\sigma_{12}^2 + b_5^2\sigma_{23}^2 + b_6^2\sigma_{31}^2} + a_1\sigma_{11} + a_2\sigma_{22} + a_3\sigma_{33} = \sigma^Y$$

ここで、 $a_1 \sim a_3, b_1 \sim b_6$  は材料試験から決定される材料定数である。

4.結果および考察 図2は一軸圧縮試験後の供試体の破壊形態を示したものであり、図3は実験値を解析値Aおよび解析値Bと比較したものである。また、図4は解析Aによって得られた各層理角の供試体の塑性ひずみ分布図である。まず、実験結果と解析Aによる結果を比較すると、層理角が70度の場合を除いて、ほぼ5%以内の誤差で一致している。一方、層理角が70度の場合、解析値と実験値において大きな差が見られる。次に、塑性ひずみ分布図を見ると、層理角が0,20,45度の場合、いずれも塑性ひずみが弱層内部で層理面方向に発達している。また、層理角が70,90度の場合では、強層と弱層を横断するような塑性ひず

みの進展が見られる。これは、強層あるいは弱層でのせん断よりはむしろ供試体端面の拘束により供試体内部に発生する引張り応力による割裂破壊が主体となっているものと思われる。次に、供試体の破壊形態を見ると、層理角が70度の場合以外は、各層理角の塑性ひずみ分布図で予想される破壊面ではほぼせん断破壊している。しかし、層理角が70度の場合の実験結果は、層境界面での滑りまたは剥離によって破壊しており、このことが実験値と解析値に大きな差が見られた原因と考えられ、供試体の作成上に問題があったと思われる。層理角高角度の供試体ほどせん断と引張りによって破壊するものと考えられ、層理角が载荷軸方向に近づくほど引張り応力の影響を受けやすく、層境界面直交方向の拘束圧力の減少により滑りあるいは剥離を生じることの意味している。

一方、解析値Aと解析値Bは全てのケースでほとんど一致し、実験値に対しても層理角70度の結果以外はほとんど一致しているのがわかる。この比較によって、異方性材料はもちろんのこと、構造的に異方性を示す層状材料に対しても、これを均質化した異方性材料として応力空間基底補正型関数等の数学モデルによって理想化した解析が可能であると思われる。

5.あとがき 今回の実験と解析の比較により、層状堆積岩盤における強度異方性を解析的に表現できることを示すことができた。このことは、積層岩盤を構成する個々の層理を有限要素によって分割する必要はなく、層理面が一様方向性を有する地層毎に均質化された異方性材料として扱うことにより、解析領域全体の要素分割数を大幅に減少させることが可能であることを意味する。すなわち、適切な降伏関数を用いて層状積層岩盤の異方性を表現することによって、数値解析に要する時間と労力の低減、コンピュータ資源の有効利用、あるいはより大規模な解析領域の確保や複雑な地質構造のモデル化などが可能となるなどの利点が期待される。しかし、本研究はあくまでも基礎的研究であり、今後、均質化した異方性材料として扱える層構成の限界の評価、実際の異方性岩盤材料による実験と解析の評価など、実際問題への適用には幾つかの課題が残されている。

<参考文献>

谷岡，草深，武田：静水圧に依存する強度異方性降伏関数と材料定数の評価方法，土木学会第51回年次学術講演会講演概要集，1996年

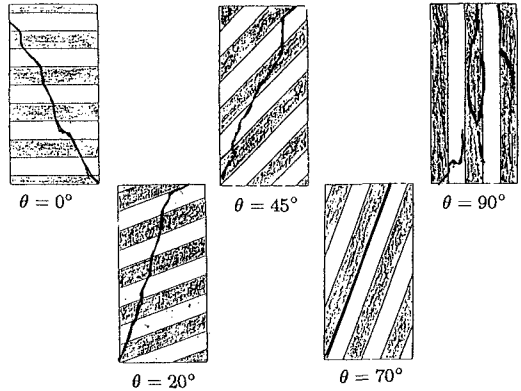


図2: 供試体の破壊形態

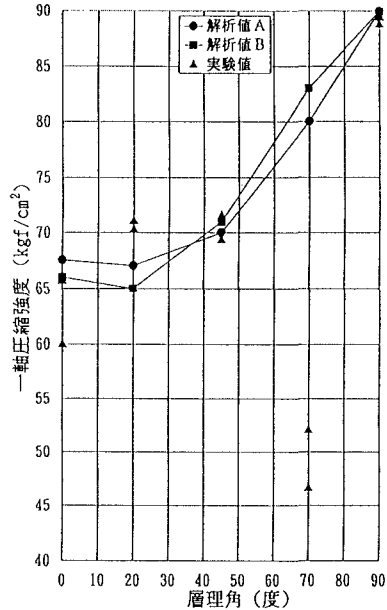


図3: 実験値と解析値の比較

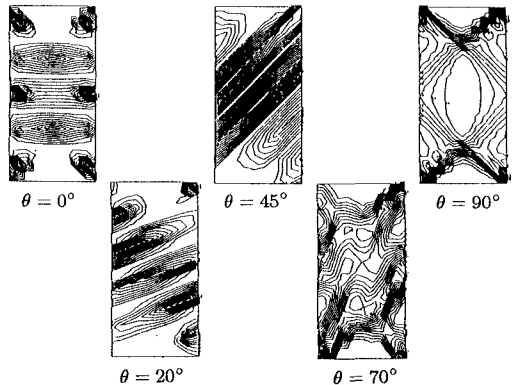


図4: 塑性ひずみ分布図