

埼玉大学工学部 正会員 山辺 正
 熊本大学工学部 正会員 尾原 祐三
 飛島建設(元・埼玉大学学部生) 石川 朗

1. はじめに

地盤に外力が作用すると、内部にはクラックが進展し高度な異方性体となり、この種の異方性は、誘導異方性(stress-induced anisotropy)として知られている。¹⁾ この効果をとりに入れた有限要素解析には、クラックを Goodman のジョイント要素で置換えたり、²⁾ 弾塑性構成式に従う要素を導入する試み^{3), 4)} などがあり、特に後者のクラックを含む要素は、Cracked Triangular Element (以後CT要素とする)と呼ばれている。³⁾

本研究では、三軸圧縮試験の供試体に発生するクラックに注目してCT要素のパラメータを決定し、弾塑性有限要素解析を行ない、この解析により極限支持力を求め得る事を示す。

2. 解析手法^{3), 4)}

CT要素においては、塑性クラックの発生条件と発生方向を Mohr-Coulomb の破壊規準から求め、さらにクラック発生後の塑性歪が全てクラック内で生じるとする。塑性歪増分は関連流れ則に従い、⁵⁾ その時の降伏関数としては Mohr-Coulomb の規準を用いる。また、降伏した要素は図1に示すように副要素①～⑤に分割し、①～④を弾性体、⑤をアイソパラメトリック要素を用いた弾塑性体として解析を行なう。節点番号1～3で表わされる要素の剛性マトリックスは、①～⑤の要素剛性マトリックスを static condensation method により、圧縮した形で求める。すなわち、主応力方向に応じて要素単位に異方性の主軸方向が変化する解析を行なっている事に対応する。

解析に必要なパラメータは、ヤング率E、おアソソ比 ν 、内部摩擦角 ϕ 、粘着力C、単位体積重量 ρ および、CT要素に関するパラメータ(γ , d)の計7種である。 γ は、降伏した要素の粘着力の低下率を表わすパラメータ($0 \leq \gamma \leq 1$)、dは図1に示すクラックの幅を表わす。

3. 解析パラメータの決定方法

図2は、シルト質軟岩の圧密排水三軸圧縮試験における応力～歪関係の一例である。歪軟化過程においては、せん断歪の進行に伴ない強度が低下し対する粘着力Cも低下している。この残留状態に至るまでの過程を、パラメータ γ によって表現し解析にとり込む事も可能であるが、本報告では一律に $\gamma = 1$ とした。

圧密排水三軸試験において相対的に拘束圧力が低い場合には、破壊後の供試体は主たるせん断面を挟んで、上下の剛体互いに上る形にモデル化できる。(図3) また、その時のダイラタンシー量は破壊面の真の

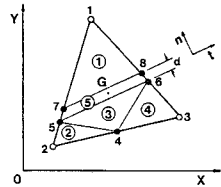


図1 Cracked Triangular Element

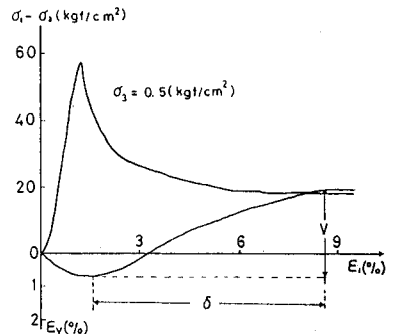


図2 軟岩の応力～歪関係の一例

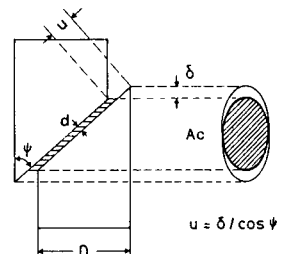


図3 破断供試体のモデル化

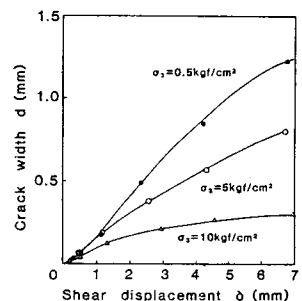


図4 クラック幅の拘束、せん断変位依存性

接触面積 A_c と、クラックの厚さ d の積に等置できる。したがって、体積変化量 V 、せん断変位量 δ 、試験体直径 D 、せん断面の鉛直からの角度 ψ を用いて、クラックの厚さ d は次式で表わされる。

$$d = 4V \sin \psi / \{D^2 (2\theta - \sin 2\theta)\} \quad \text{ここで } \theta = \cos^{-1}(\delta \tan \psi / D)$$

上式を用いて実験結果を整理すると、図4に示すようにクラックの厚さ d は拘束圧力とせん断変位に依存して変化することがわかる。せん断変位が進行し残留状態に近づくにつれ、 d が一定値に漸近する事を考慮して解析においては、 d を一定とした。

4. 解析結果

図5は、平面ひずみ状態の平板の圧縮試験をシミュレートするための要素分割であり、上辺は端面拘束の影響を表わすために水平方向の変位を固定している。図中には解析に用いたパラメータを示してある。このメッシュ内部の要素 No. 10 について、Stress Transfer した場合と、しない場合の応力経路図を図6に示した。また、図7には Stress Transfer した場合の弾性変位量と反力から求まる応力-歪関係を示すが、至軟化現象を表現し得ている事がわかる。図中、 η は各要素の面積 A とクラック幅 d から求まるパラメータ ($\eta = d/\sqrt{A}$) で、 d が大きい程、強度が低下する傾向を示している。なお、図5の解析においては $\eta = 0.140$ の時、 $d = 1 \text{ mm}$ である。次に、図8に示すように、滑らかな平面基礎の上に平らな表面を持つ高さ h の媒体があり、その表面に幅 $2a$ ($a \leq h$) の滑らかな剛体が押し込まれる時の極限支持力問題を考える。この問題に対する剛塑性理論解は、図9に示す通り Hill (1950) によって与えられており、 $h/a > 8.74$ の時、無次元化した極限支持力 $P/2ca$ は、 $\pi+2$ となる。ここで c は高さ h の媒体の粘着力である。図9には計算値もプロットしてあるが、 $h/a < 6$ 程度の領域に対しては良好な結果を与えており、さらに常に安全側の極限支持力を与える事がわかる。

5. まとめ

諸要素非対称性を表現し得る Cracked Triangular Element を用いた弾塑性有限要素解析を行ない極限支持力を求められる事を示した。

謝辞：本研究を推めるにあたり、名古屋大学工学部、川本勝万先生、市川康明先生に御相談いただいた事を記して感謝いたします。なお計算には、東海大学大型計算機センターの M-280H を使用した。

参考文献：① 例えは 佐武 (1984) "地盤と土の異方性", 土基礎 vol. 32 no. 11 pp. 5-12

② Kawamoto, T. & Nakada (1979) 3rd. Int. Cong. Num. Methods in Geomech., Aachen, pp. 799-808

③ Obara, Y. et al. (1982) Proc. Int. Conf. on FEM pp. 756-760

④ 市川 他 (1982) 第37回土木学会年次講演会 III-116

⑤ Pietruszczak, St. & Z. Mróz (1981) Int. J. Num. Methods in Engng. vol. 19 pp. 327-334

⑥ Hill, R. (1950) "The Mathematical Theory of Plasticity," § 9.5 (iii), Oxford Press

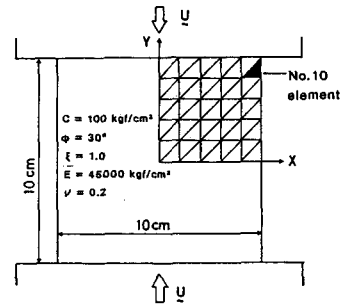


図5 平板の一軸圧縮試験のメッシュ分割と解析に用いたパラメータ

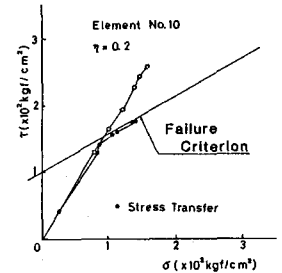


図6 Stress Transferによる収束状況

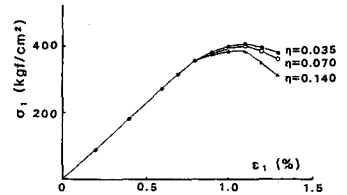


図7 一軸圧縮試験の解析結果

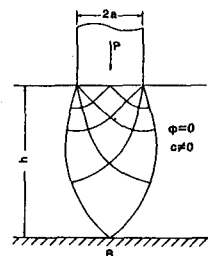


図8 剛体の押し込み問題

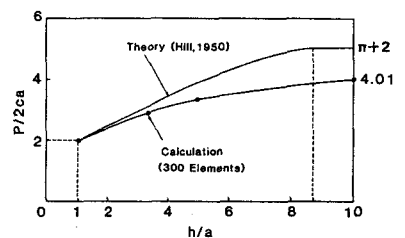


図9 極限支持力の比較