III-262　修正仮想変位法による2次元不連続体弾塑性解析

埼玉大学　学生員　○福原俊一
大成建設　正会員　羽生　剛
埼玉大学　正会員　浜島良吉

１．はじめに

地熱開発に伴う水圧破砕などに見られるように、不連続性岩盤内での熱･流体･応力の連成解析が必要とされている。そこで、応力のつり合い式に対して修正仮想変位法[1)]を用いることにより、不連続性岩盤内での連成解析を扱うことが可能となる。本報告はその第１ステップである。

２．弾塑性解析

平面ひずみ場におけるポンチの押し込み問題を対象として解析を行った。表１に物性値を、図１にメッシュ図を示す。降伏条件はモール・クーロンの条件を用い、完全弾塑性体として計算した。極限荷重はすべり線解として、$p_m／2C = 1.22$と得られている。ここで、p_m は載荷面上の単位面積当たりの極限荷重である。本手法による計算パターンとして、

(a)要素間剛性を大きくし、降伏判定は要素内のみとする、すなわちFEMに近づけた場合 <FEM>

(b)要素内剛性を大きくし、降伏判定は要素間のみとする、すなわちRBSMに近づけた場合 <RBSM>

(c)要素間剛性を大きくし、降伏判定は要素内と要素間の両方で行う場合 <FEM+RBSM>

が考えられる。結果は、図２の荷重－変位曲線に示すように、(b),(c)の場合も共に$p_m／2C = 1.235$の値が得られ、約１％程度の誤差で極限荷重を求めることができた。弾性領域においては、変位の精度が低いRBSMに対して、(c)の場合ではFEMと同じ変位量を示し、精度の高い結果が得られた。FEMでは要素の塑性としてすべりを表現するため、比較的細かいメッシュ分割にする必要があり、(b),(c)の場合では、すべり線がメッシュ分割に生かされていれば、比較的粗いメッシュでも極限荷重を求めることができる。図３の変形図を見てみると、(c)の場合においては、(a)の場合のように要素内が変形し、しかも(b)の場合のように要素間のすべりが生じているのがわかる。

弾性係数　（E）	2.1×10^6kgf/cm^2
ポアソン比（ν）	0.3
せん断強度（C）	30.0kgf/cm^2
内部摩擦角（φ）	0.0°

表１　物性値

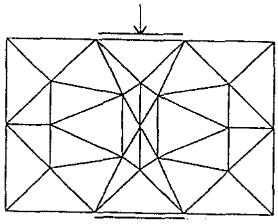


図１　解析メッシュ

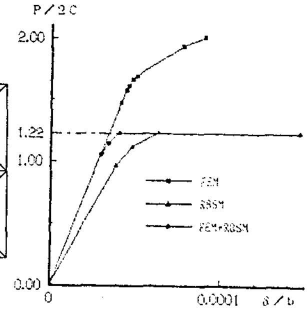
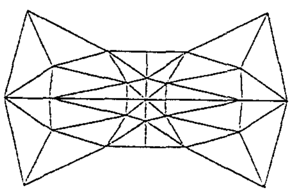
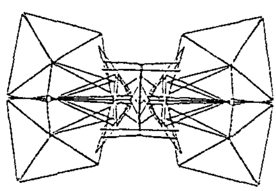


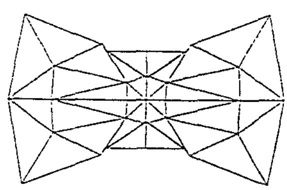
図２　荷重－変位曲線



(a)の場合



(b)の場合



(c)の場合

図３　変形図

3．引張り破壊に対する解析

一般に、土や多くの節理，亀裂等を含む岩盤は引張りに対して弱く、亀裂を生じやすい。そこで、引張り力が生じた部分では、いわゆる"ゆるみ"のような現象が生じていると考えられている。このような引張りに対して抵抗し得ないような材料に対し、従来解析的にいろいろと試みられてきた。そこで本報告では、要素間のバネに、ある許容量以上の引張り力が生じた場合についての検討を行った。
解放力の計算方法としては、次の２つが考えられる。

(a)簡易計算法

(b)厳密計算法

要素境界上の辺中央でのバネ応力値が等分布しているとして解放力を計算する方法が(a)の方法であり、この方法では、特にモーメント成分が存在する場合にモーメントを十分に考慮することができない。
解析例として、物性値を表２に示し、図４のメッシュ図に示すようなA-B間に単位分布荷重を受けた状態を想定してみた。ただし、A-B間のバネa～eに対して引張り破壊が起こりやすいようにし、その他のバネは引張り破壊が起きないようにしている。始めに中央のcのバネが引張り応力に達し、そこの応力を解放するとb,dのバネが切断され、再び解放することによってa,eのバネが切断され、それを解放することで完全に上下が切り離された状態になる。この場合、簡易計算と厳密計算とでは解放後の挙動が全く異なってくる。図５の変形図を見てみると、簡易計算法による場合では、正確にモーメントを考慮していないため、解放後の挙動がおかしいものになってしまう。これに対し、厳密計算による場合では、きちんとモーメントも考慮しているため、正確に応力を解放することができ、解放後きれいな一軸状態になることがわかる。

弾性係数	(E)	1.0kgf/cm^2
ポアソン比	(ν)	0.3
せん断強度	(C)	300.0kgf/cm^2
内部摩擦角	(ϕ)	0.0°
引張り強度	(σ_t)	0.5kgf/cm^2

表２　物性値

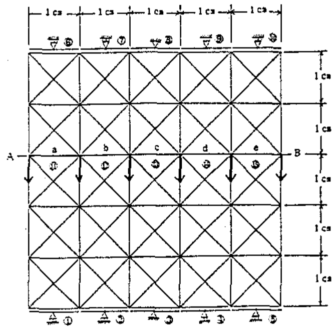
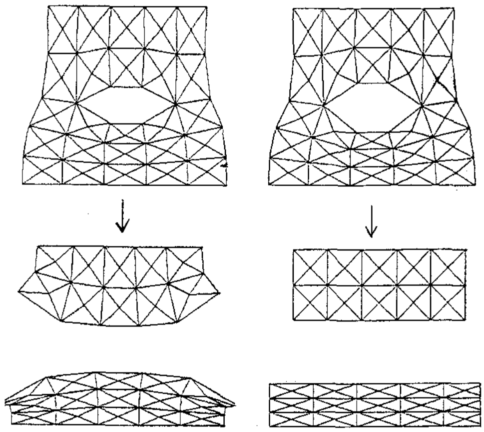


図４　解析メッシュ



(a)簡易計算法　　(b)厳密計算法

図５　変形図

4．結論

弾塑性問題に対しては、本解析手法は要素間剛性を大きくすることで、弾性領域におけるFEMと同様の変位に対する信頼性が得られ、しかも塑性域における要素間でのすべりを表現できるため、RBSMと同様に極限解析手法としても有効に適用することができる。従って、本解析手法はFEMとRBSMの長所を兼ね備えた手法であると言える。

引張り破壊問題に対しては、うまくその挙動を表現することができた。解放力の計算に関しては、簡易計算ではなく厳密計算によって解析しなければならない。特に、本解析手法では厳密計算で行わなければ、ひずみをきちんと解放できなくなり、誤差が大きくなる。

【参考文献】

1)羽生：埼玉大学修士論文,1992