

東大生研 正員 竹内 則雄
佐藤工業(株) 正員 矢田 敬
東大生研 正員 川井 忠彦

1. はじめに: 開削工法により掘削を行なうと安定していた地盤が掘削による解放力によって破壊し不安定になる。従って、掘削した空間を一時的に支保するため矢板等の仮設構造物が必要となる。従来、この種の問題の取り扱いでは、矢板等の壁体のたわみ性をあまり考慮しない簡易解析法が多く行なわれてきた。近年、有限要素法による解析と試みられているが、矢板等の土留壁を骨組置換するため取り扱いが多少面倒であり、壁体と地盤の摩擦や、地盤のヒリ破壊をうまく表現することが難しかった。一方、川井によって提案された新離散化モデル(以後RBSMと呼ぶ)^{1)~3)}は骨組要素から3次元要素まで、どの要素でも自由度は同じであり、要素間の摩擦やヒリ破壊を表現することができる。ここでは、平面ひずみ状態を仮定し、自立式土留工に関する簡単な例題を取り上げ解析を試みた。

2. 面内平面要素と骨組要素の組み合わせ: RBSMでは平行変位(u, v)と回転角(θ)の3つの自由度を要素の重心にとる。そして、2つの要素間にバネを設け、バネに貯えられるエネルギーを評価して要素境界上の表面力を求める。従って、骨組要素と平面要素は全く同じ自由度となり、要素間の自由度の変換は必要なくなる。図1にそれぞれの要素の結合状態を示す。このように、RBSMでは平面要素と骨組要素がバネで結合されているため、平面要素と骨組要素の間の摩擦を容易に考慮することができる。また、バネ定数は実験および実測から決定することが望ましい。

3. 初期地圧と破壊条件: 初期地圧として図2のように静止土圧係数を用いて仮定し、各要素境界面にそって座標変換を行ない、得られた垂直応力 σ_n とせん断応力 τ_{ns} を表面力としてバネに与えた。破壊条件はモール・クーロン(直線包絡線)の条件を図3のように仮定した。一度破壊したスプリングについては、塑性ポテンシャルを $\psi = \tau_{ns}^2 - (C - \sigma_n \tan \phi)^2$ として、塑性流れ則に従うようバネを変化させて計算を進める。このようにすると、破壊面での表面力はモール・クーロンの条件を満足しながら変化する。なお、計算方法は山田の方法⁴⁾を用いた。

4. 数値計算例: 簡単な自立式土留工の例として図4に示すモデルを設定し解析を試みた。境界条件ならびに材料定数は図に示す通りで、()内は矢板と地盤の接触面上の定数を示す。また、破壊は地盤だけに起るものとし、矢板については弾性とみなした。解析手順は始めに3節で示した初期地圧を各バネに与え、その後、矢板を作成し図中の番号順に掘削を進めた。図5に各掘削段階において塑性計算を行なったときの破壊状況を示す。掘削が浅いうちは矢板後方の地盤よりむしろ矢板と地盤の接触面でヒリ現

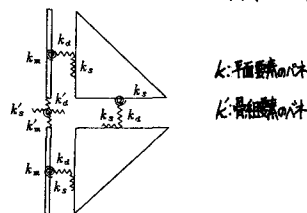


図1. 平面要素と骨組要素の結合

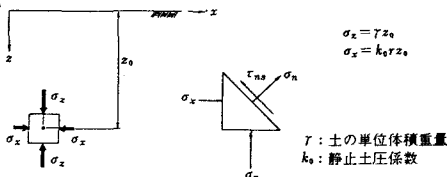


図2. 初期地圧の仮定

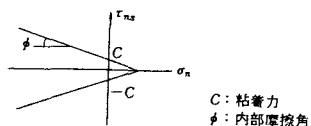


図3. 破壊基準

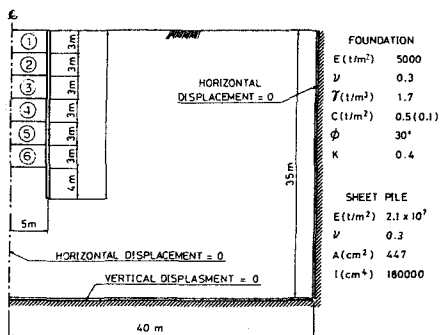


図4. 計算モデル

象が発生しやすい結果となっているが、掘削が進むにつれて矢板後方の地盤がすりばち状に破壊してゆき、さらに掘削底面の破壊が表われてくる。6段階目の掘削ではあきらかに掘削底面が破壊し、押え土の役割りをはたしていないものと考えられる。図6に各掘削段階で塑性計算を行なったときの変位モードを、図7に弾性計算を行なったときの変位モードを示す。地表面は、塑性計算において掘削の初期には盛り上がる傾向にあり、勾配は左上がりであるが、掘削が進むにつれて沈下し、勾配は左下がりとなる。弾性計算における地表面は、もとの地表面位置より塑性計算に比べて著しく隆起しており、隆起の勾配は常に左上がりである。矢板は、塑性計算において掘削の初期には全体が浮き上がり、掘削底部を境にして上部は後方に下部は前方にたわむ傾向にあるが、ある程度掘削が進むと、全体が沈下し矢板上部が前方に移動する傾向がある。弾性計算における矢板は、掘削が進むにつれて浮き上がり、弓なりに変形する傾向がある。また、掘削底面の盛り上がりは、塑性計算、弾性計算ともに掘削が進むにつれて大きくなる傾向にあるが、弾性計算は塑性計算に比べて5倍程度の値となっている。図8、図9に塑性計算および弾性計算による各掘削段階における矢板の曲げモーメント図を示す。弾性計算に比べて塑性計算における矢板の曲げモーメントは約2倍の値を示しており、掘削によって表面に現われた部分ばかりでなく、地中部でも大きな曲げモーメントを生じる結果が得られた。

6. むすび： 川井によつて提案された極限解析用新離散化モデルは種々の要素と組み合わせが簡単にこなせる利点がある。ここでは簡単な例題を取り上げてその有効性を示した。また、たわみ性の土留壁等ではその変位パターンがかなり地盤に影響を与えるものと考えられるが、ある程度予想し得る結果が得られたと考えられる。この種の問題では、地盤の這りによる破壊や矢板と地盤の接触面を考慮しないとあまり良い結果が得られないケースが多い。RBSMでは、このような地盤の破壊や、接触面の考慮が簡単にでき、しかも計算時間が早いので、この種の問題には今後さらに有効に使うことができるものとする。

7. 参考文献： (1) Kawai, T. and Toi, Y. "A New element in discrete analysis of plane strain problems", J. of 'Seisan Kenkyu', Institute of Industrial Science, Univ. of Tokyo, 29, 4, pp204-207 (1977) (2) Kawai, T. and Chen, C.N. "A discrete element analysis of beam bending problems including the effect of shear deformation", J. of 'Seisan Kenkyu', Institute of Industrial Science, Univ. of Tokyo, 30, 5, pp165-168 (1978) (3) 竹内, 川井 "新離散化モデルによる地盤基礎の極限解析(その4)" 生産研究, 32, 10 (4) 山田 "非線形問題解析法の現状と展望" 生産研究, 22, 1 pp. 6-14 (1970)

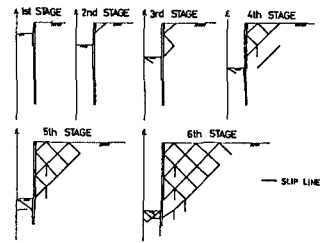


図5. 変位線

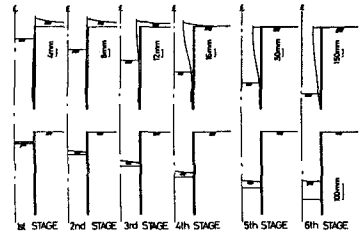


図6. 塑性計算における変位モード

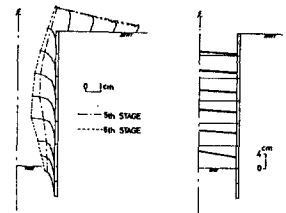


図7. 弾性計算における変位モード

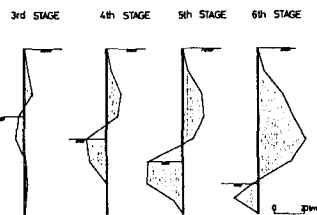


図8. 塑性計算における矢板の曲げモーメント

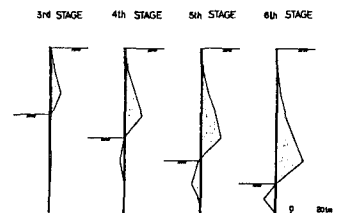


図9. 弾性計算における矢板の曲げモーメント