

新離散化モデルによる地盤基礎の極限解析 (その4)

—たわみ性土留壁—

Limit Analysis of Soil and Rock Foundation by Means of New Discrete Models (4th Report)

—Flexible Sheet Pile—

竹内 則雄*・川井 忠彦*
Norio TAKEUCHI and Tadahiko KAWAI

1. はじめに

開削工法により掘削を行うと、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。したがって、掘削した空間を一時的に保持するための仮設構造物が必要となる。また、岸壁等においても永久構造物としての壁体が必要であるケースが多く見られる。

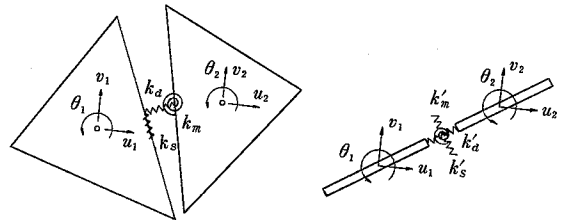
このような壁体には矢板が多く使われる。この種の問題に対する従来の簡易法的取り扱いでは、土圧分布を仮定し壁体だけの骨組構造解析を行ったり、地盤のみの安定解析を行うといった、壁体のたわみ性をあまり考慮しない解析法が多かった。近年、有限要素法による解析も非常に多く試みられてきているが、矢板等の土留壁を骨組置換するため取り扱いが多少面倒であり、また、壁体と地盤の摩擦や、地盤の入り破壊をうまく表現することが難しかった。

一方、川井によって提案された一連の一般化された極限解析用のモデル^{1)~3)}は骨組要素から3次元体まで、どの要素と組み合わせても自由度の変換はなく、簡単に扱うことができる。ここでは、平面ひずみ状態を仮定し、面内平面要素と骨組要素の組み合わせについて若干ふれ、たわみ性土留壁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

平面ひずみ要素と骨組要素に関する詳細な説明はすでに文献^{1),2)}にも発表されているので省略し、おもに平面要素と骨組要素の組み合わせ方について述べることにする。

さて、図2・1からも理解されるように、川井モデルでは平行変位(uv)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、これに貯えられるエネルギーをもって評価する。したがって、



(a) 平面ひずみ要素¹⁾ (b) 骨組要素²⁾

図2・1 平面ひずみ要素と骨組要素

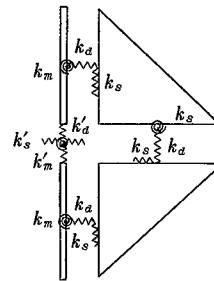


図2・2 平面要素と骨組要素の結合とバネ定数の設定

骨組要素と平面要素との間に自由度の変換はなく、まったく同じ自由度となる。川井モデルではこの重心間の相対変位を用い、図2・1に示されるバネを介して表面力を定義する。したがって、図2・2に示すように、平面要素と平面要素、平面要素と骨組要素の間のバネに平面要素のバネ係数を、そして、骨組要素と骨組要素の間のバネに骨組要素のバネ係数を用いれば、それぞれの要素が簡単に結合できる。

以上の組み合わせで要素剛性行列を組み立て、全体剛性行列にたし合わせればよい。また、平面要素と骨組要素の間の摩擦を考慮したりせん断強度を変えるならば、その特性を、平面要素と骨組要素のバネに持たせてやればよいことになる。

*東京大学生産技術研究所 第2部

3. 破壊条件と初期地圧

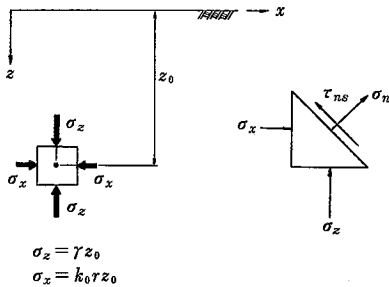
地盤の初期地圧や破壊条件を詳細に知ることは困難であり、なんらかの仮定が必要である。ここでは本論文の計算に用いた初期地圧の仮定と破壊条件を簡単に述べることにする。

初期地圧として図3・1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・2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 $f = \tau^2 - (c - \sigma \tan \phi)^2$ 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. 自立式土留工の数値計算例

簡単な自立式土留工の例として図4・1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とおりで（ ）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こるものとし、矢板については弾性とみなした。解析手順は初めに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



γ : 土の単位体積重量
 k_0 : 静止土圧係数

図3・1 初期地圧の仮定

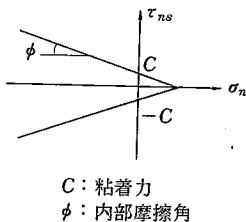


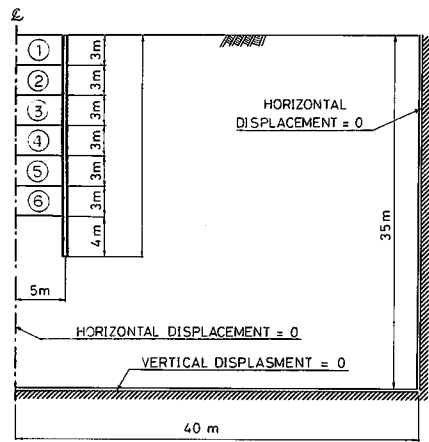
図3・2 破壊規準

中の番号順に掘削を進めていった。

図4・2は各掘削段階において塑性計算を行ったときの破壊状況を示したものである。掘削が浅いうちは地盤よりむしろ矢板と地盤の接触面でこり現象が発生しやすい結果となっているが、掘削が進むにつれ矢板後方の地盤破壊が進行し、さらに掘削底面の破壊が表れてくる。6段階目の掘削ではあきらかに掘削底面の破壊し、押え土の役割りははたしていないものと思われる。

図4・3は各掘削段階で塑性計算を行ったときの変位モードを示している。掘削の初期のころには矢板は前方に倒れる傾向にあるが、ある程度掘削が進むと矢板全体が前方に移動する傾向にある。また、掘削底面の盛り上がりも掘削が進むにつれて大きくなる傾向にある。

図4・4は各掘削段階における矢板の曲げモーメント



FOUNDATION		SHEET PILE	
$E(t/m^2)$	5000	$E(t/m^2)$	2.1×10^7
ν	0.3	ν	0.3
$\gamma(t/m^3)$	1.7	$A(cm^2)$	447
$C(t/m^2)$	0.5(0.1)	$I(cm^4)$	180000
ϕ	30°		
K	0.4		

図4・1 自立式土留工の計算に用いたモデル

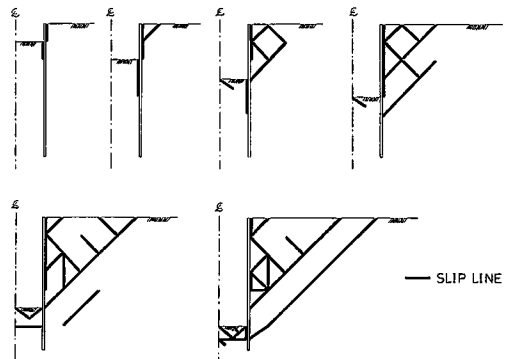


図4・2 自立式土留工の塑性計算におけるこり線

研究速報

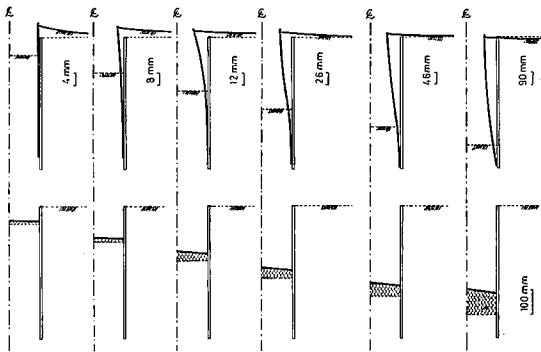


図4・3 自立式土留工の塑性計算における変位モード

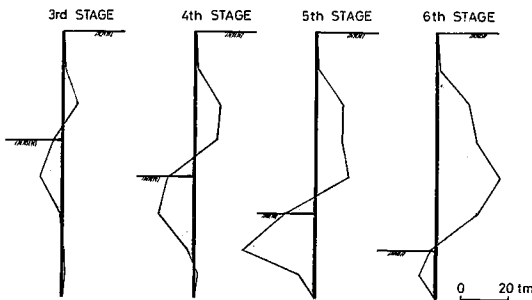


図4・4 自立式土留工の塑性計算における矢板の曲げモーメント

図を書いたものであり、掘削によって表面に現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ずる結果が得られた。

5. 切ばり式土留工の数値計算例

前節の自立式土留工では掘削が進むと矢板全体が移動してしまう傾向があった。そこで、図5・1に示すような切ばり式土留工のモデルを設定し解析を試みた。計算条件は4節の場合と同様であるが、掘削途中で切ばりが追加される。そこで、図5・2に示される3ケースを考えて計算を行った。

図5・3は各掘削方法におけるり線のパターンを掘削ステップごとに書いたものである。どの掘削方法においても前節のようにり線が広がることはなかった。また掘削底部の破壊もあまり進行しないようである。

そこで、矢板の曲げモーメントを調べてみた。図5・4は最終掘削時における結果を示している。切ばりの影響で前節の自立式の場合とまったく異なる結果となっている。また、掘削方法によっても多少変わる傾向にある。

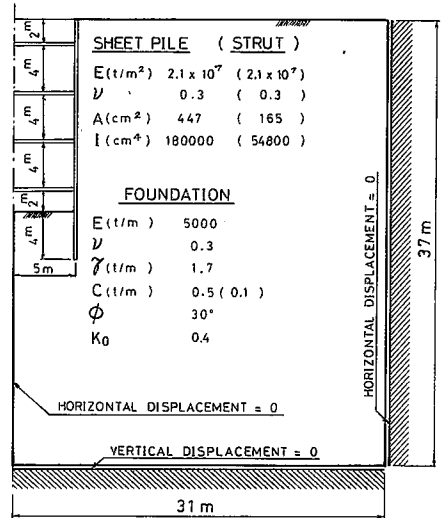


図5・1 切ばり式土留工の計算に用いたモデル

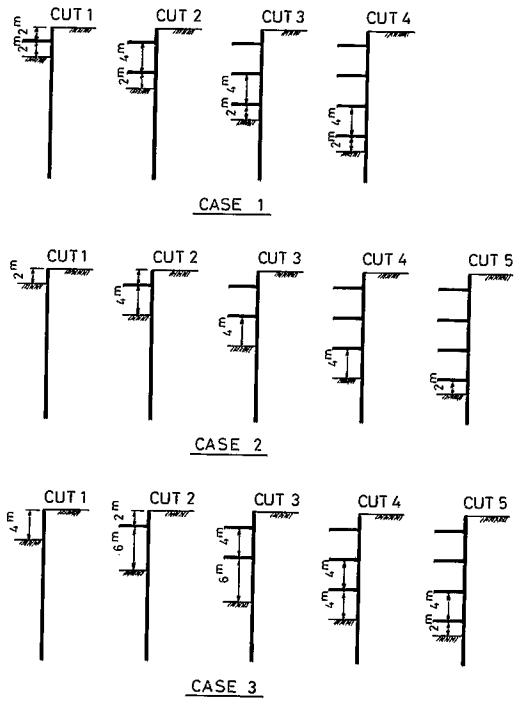


図5・2 掘削方法別による各計算ケース

切ばりを入れる時期によって曲げモーメント分布が変わるので十分な注意が必要であろう。

図5・5は最終掘削時における矢板の横方向変位をプロットしたものであるが、切ばりの入れる時期によって変位パターンが大きく変わることを示している。しかし、相対的に見て自立式の場合より小さな変位を与えるものと思われる。

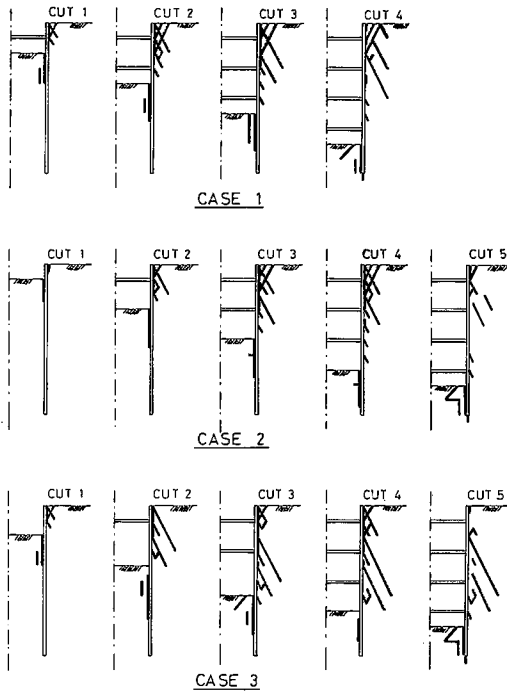


図5・3 各掘削方法における切り線

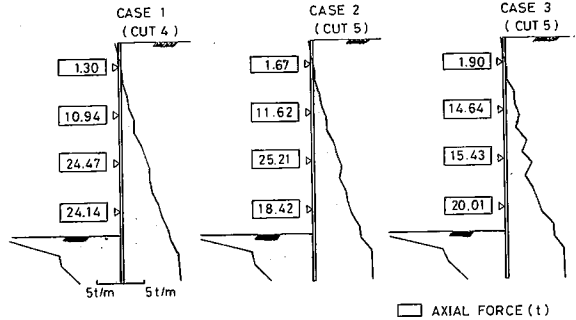


図5・6 各掘削方法における最終掘削段階の矢板に加わる土圧

最後に矢板に加わる土圧を調べてみた。どの掘削方法でも大きく変わることはないと思われるが、切ばりに加わる軸力は大きく異なる部分がある。

6. むすび

川井によって提案された極限解析用モデルは種々の要素との組み合わせが簡単に行える利点がある。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る。この種の問題では地盤の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。川井モデルでは、このような地盤の破壊や接触面の考慮が簡単に行え、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考えられる。

(1980年6月25日受理)

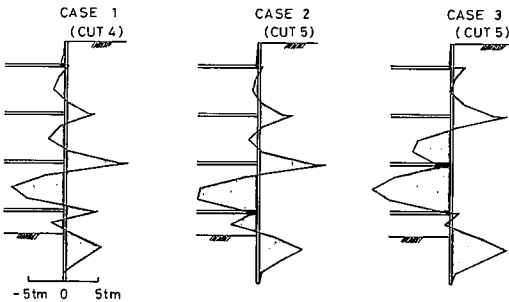


図5・4 各掘削方法における最終掘削段階の矢板曲げモーメント

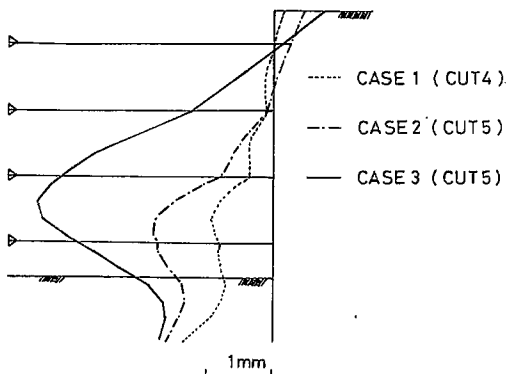


図5・5 各掘削方法における最終掘削段階の矢板横方向変位

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) 川井・川端・近藤 : "新しい離散化手法による3次元連続体の最終強度解析" JSSC, 第11回大会マトリックス解析法研究発表会論文集, pp89-92, (1977)
- 4) 山田 : "非線形問題解析法の現状と展望" 生産研究, 22, 1, pp6-14 (1970)