

土留弾塑性解析システムの開発

川田テクノシステム(株) 正会員 ○松本 正三
(株)間 組 正会員 藤本 明生

1. まえがき

近年、土木建築工事は、ますます複雑な環境下で行われ、都市の発達に伴い市街地における大深度、大規模な土留掘削工事が急増している。その設計方法も、掘削深が3～15m、掘削幅が2.5m以下の適用範囲内で用いられる慣用計算法では理論上無理があり、弾塑性解析を採用する方向に変わりつつある。有限要素法を用い土留壁の背面および前面側の地盤をモデル化し弾塑性解析を行う手法も用いられつつあるが、一般的な方法になっていない。現在、側圧分布、土留架構の構造条件や根切り底以深の支持条件など複雑な要素を単純なモデルに置き換え、変形法で解析する弾塑性解析が広く用いられている。その解析モデルは、数多く発表されているが、基本となるモデルは、弾塑性法（拡張法）が多く採用されている。特に、設計に用いる側圧は、各設計基準により異なり、変形法を用い各施工段階毎に解析するため、電算化が必要となる。そこで、我々は数年前からパソコンによる弾塑性解析の開発に取り組み、機能アップを行ってきた。そのシステムの概要と解析モデルを以下に示す。

2. システムの概要

(1) システムの流れ

計算項目は有効側圧の計算、断面力・変位・切梁反力の計算の2つに分け、各々単独に計算できるようにし、一括処理を選択すると2つの計算項目を一括計算する。また、各計算項目毎にサブメニューがあり、入力、計算、表示、出力、描画の5つからなり、各処理を行う。図-1に全体の流れを示す。

(2) 適用範囲

- ・土層数(20層) 切梁段数(30段) 施工数(50ステップ)
- ・節点数(120点)

(3) 特徴

- ①掘削側と背面側の土質定数を変えられる。
- ②各施工ステップ毎に土質定数、掘削側および背面側の水位、掘削面、切梁設置位置、土留壁の剛性を変えられる。
- ③各層毎に、粘着力を深さ方向に増加できる。
- ④土留壁の断面変化を考慮できる。
- ⑤弾塑性解析か弾性解析かを選択できる。
- ⑥弾塑性境界の決定方法は単一層か多層から選択できる。
- ⑦水圧は三角形水圧、台形水圧、動水勾配を考慮した水圧、任意形水圧から選択できる。
- ⑧前施工ステップまでで塑性化した層は弾性化させないようにできる。
- ⑨逆巻壁やリングバネ等、先行変位を考慮した分布バネを用いることができる。
- ⑩掘削時、プレロード時、盛替撤去時、埋め戻し時の解析ができる。
- ⑪土留壁の上端下端の支点条件をヒンジ、ローラ、固定、自由、バネ支承（鉛直バネ、せん断バネ、回転バネ）から選択できる。
- ⑫外力として土留壁にモーメント、集中荷重をかけられる。

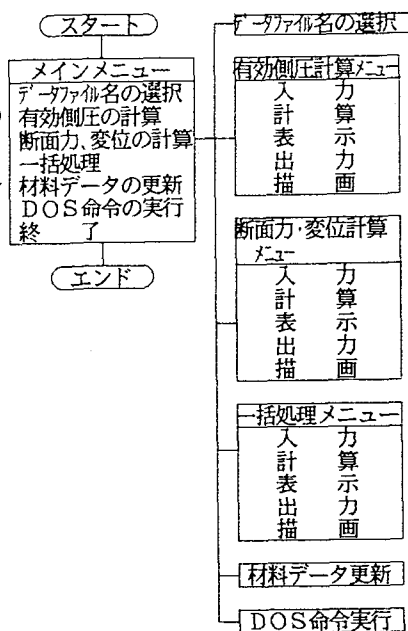


図-1 全体の流れ

b)プレロード時のモデル

プレロードとは、次施工段階の土留壁の変位を抑えるため、掘削する前に切梁に一定の軸力をかけることである。(図-3 参照)

①プレロードをかける切梁の支点はスライドにし、その他の切梁は固定にする。

②プレロード荷重分の集中荷重を切梁に作用させ、背面側に地盤バネをセットし単独解析を行う。その結果と前施工ステップの結果を重ね合わせプレロード時を評価する。

c) プレロード導入後の先行変位

切梁にプレロードPを作用させると、切梁はP分弾性圧縮 δs しながら背面側に δw 分押し戻される。この時、プレロードを作用させた切梁の先行変位 δb は、元の先行変位 δa から $\delta w + \delta s$ 差し引いた値に変化する。プレロード時以降の施工ステップの先行変位は δb となる。そのメカニズムを(a)~(c)に分解し、図-4(1)(2)(3)に示す。

(a)切梁を設置した状態である。この時、

既に土留壁が変位 δa した後に切梁を設置したので、反力 $R = 0$ である。

(b)プレロード荷重Pを切梁にかける。この時、切梁は弾性圧縮 δs しながら背面側に δw 分押し戻され、一定のプレロードがかかったら油圧ジャッキを固定する。この状態がプレロード導入直後であり、反力 $R = \delta s K = P$ となる

(c)プレロード後の先行変位 δb を考えるため(b)の状態、切梁を δs 分背面側に移動させると、反力 $R = 0$ となる。従って、プレロード後の先行変位 δb は元の先行変位 δa から $\delta w + \delta s$ を引いた値となる。

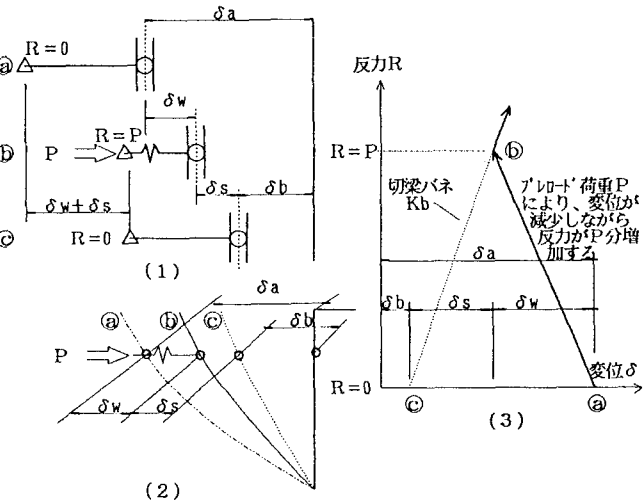


図-4 プレロード導入後の先行変位

$$\delta b = \delta a - (\delta w + \delta s) = \delta a - (\delta w + P / Kb)$$

プレロード以後の施工ステップの先行変位は δb となる。

d) 先行変位を考慮した分布バネ

逆巻壁、リングバネ、埋戻し土等、土留壁が変位した後にセットする分布バネを増加分布バネと呼ぶ。増加分布バネは変位 δ が0の点からではなく、バネをセットした時点の変位(先行変位)からバネが効くようにモデル化しなければならない。プログラム上は、変位 $\delta = 0$ の点から分布バネをセットしているため、実際の変位より小さくなってしまいます。そこでバネをセットした時点の変位 δ に増加分布バネ ΔKh を乗じ増加荷重を計算する。この荷重を背面側から作用させることで補正する。(図-5 参照)

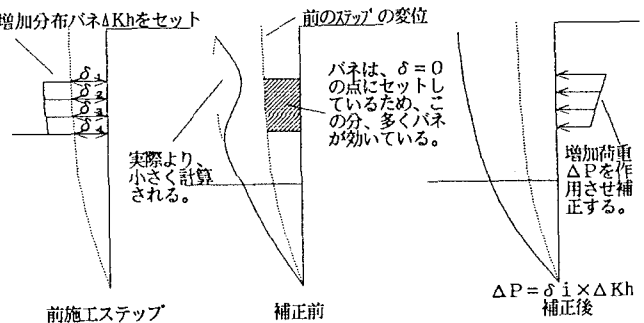
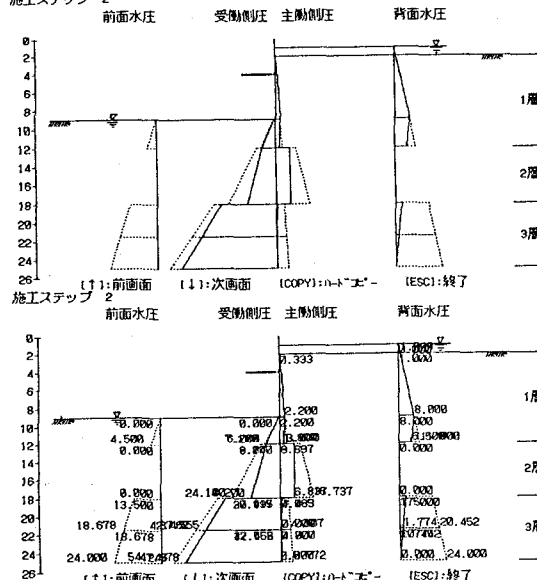


図-5 増加分布バネと増加荷重

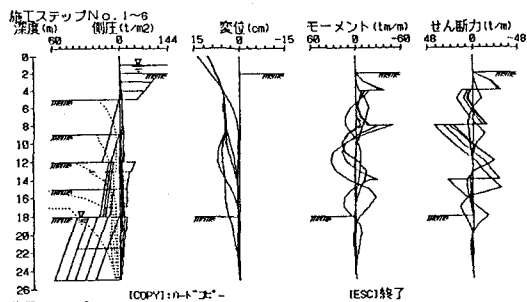
4. 出力例

施工ステップ 2



(2) 断面力、変位の集計表

施工 Step	最大変位		最大曲げモーメント		最大せん断力	
	深度(m)	$\delta_{max}(cm)$	深度(m)	$M_{max}(t/m)$	深度(m)	$S_{max}(t/m)$
1	0.000	149.860	11.000	-76.668	14.000	21.430
2	0.000	137.409	4.000	-119.807	4.000	-91.148
3	0.000	137.846	4.000	-115.853	4.000	-88.427
4	0.000	138.322	4.000	-114.241	4.000	-87.232
5	0.000	138.372	8.000	-139.622	8.000	-103.155
MAX	0.000	149.860	8.000	-139.622	8.000	-103.155



(1) 切戻反力の集計表

施工 Step	最大変位		最大曲げモーメント		最大せん断力	
	深度(m)	$\delta_{max}(cm)$	深度(m)	$M_{max}(t/m)$	深度(m)	$S_{max}(t/m)$
1	0.000	149.860	11.000	-76.668	14.000	21.430
2	0.000	137.409	4.000	-119.807	4.000	-91.148
3	0.000	137.846	4.000	-115.853	4.000	-88.427
4	0.000	138.322	4.000	-114.241	4.000	-87.232
5	0.000	138.372	8.000	-139.622	8.000	-103.155
MAX	0.000	149.860	8.000	-139.622	8.000	-103.155

切戻反力 (t/m) 切戻位置(m)

5. あとがき

以上、本システムの概要について述べた。近年、都心部の一局集中化による人口密度の増加等により、交通渋滞、地価高騰、住宅環境の悪化等、都市の機能が十分に消化しきれなくなっている。現在、地下の浅い部分では地下鉄、下水道、共同溝等が網の目に配置され有効利用できず、大深度地下空間を有効利用するジオ・フロント構想も多く提案されている。また、地下に駐車場、鉄道、道路、河川、地下タンク等も徐々に建造されつつあり、大深度土留工事もますます増加する傾向にあると思われる。本システムを使用することにより設計、施工業務の軽減がはかれれば幸いと思われる。今後は、情報化施工に用い、解析モデルの改良を重ね、システムの精度向上をはかっていくと共に、逆解析や根入れ長計算に連動するシステムへ拡張していく所存である。また、施工過程の土留壁の挙動はまだ未知の部分が多く、皆様のご意見をお聞かせ願えば幸いである。

参考文献

- 1) 日本道路協会：共同溝設計指針、昭和61年3月
- 2) 建設省土木研究所：掘削土留め工設計指針(案)、昭和57年3月
- 3) 土木学会：トンネル標準方書(開削編)・同解説、昭和61年6月
- 4) 首都高速道路公団：仮設構造物設計設計基準、平成元年
- 5) 東京第一工事局：土木関係『仮設構造物設計要領』(案)、昭和53年9月
- 6) 日本建築学会：山留め設計指針、昭和63年1月
- 7) 建設省土木研究所：大規模土留め壁の設計に関する研究、昭和63年3月
- 8) 松本正三：最適手法による山留め予測解析システムの開発、第13回電算機利用に関するシンポジウム