

仮設構造物の自動設計 2 一山留め新設計システムについて一

清水建設㈱

正員 ○平井孝典

〃

〃

大西雄二

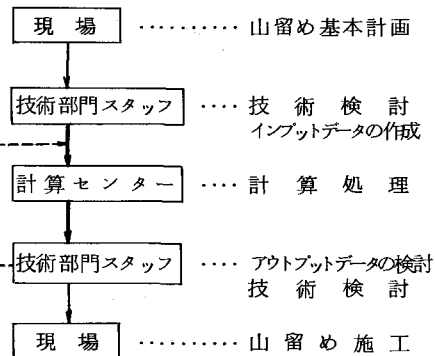
1 まえがき

近年、土木・建築物の多様化および大型化にともない構造物建設の際に深い掘削を必要とする場合が多くみられる。一般にこのようなときには背面からの土圧や水圧を、山留壁、切バリ、腹起しなどの一体構造物で抵抗させて掘削工事を行なっている。山留めの設計法は「仮設構造物の自動設計 1」にも示すようにこれまで多方面から設計規準などで提案されてきたが、これらの規準は10数mにもおよび非常に深い掘削の場合や超軟弱地盤での場合における山留めの設計には十分対応できるものではない。そこで、このような場合でも山留めの実際の挙動に追従できるような設計法が望まれるが、筆者らは山留め支持機構を実測結果を踏まえ¹⁾新しい力学問題としてとらえた設計法を提案した。本設計法の第一の特長は掘削が進むにつれて順次変化していく山留壁の応力・変位を追い求めていくことである。これらの計算には多元の連立方程式を解いたり計算過程でぼう大なデータの受け渡しをする必要がある。また、地盤を弾塑性的に評価しており塑性区間を求めるには繰り返し計算が必要とされる。このように本計算は手計算でできる範囲をはるかに超えるものであり、電子計算機を用いて計算を行なうことにした。さらに、電算機を利用して計算結果を自動図化し、データ整理に要する時間の短縮をはかった。本文では、本設計法の概要を述べるとともに本プログラムの利用システム、計算処理例などについて報告する。

2 本設計法の利用システムについて

図-1は本設計法を利用する際の作業の流れ図である。現場から山留めの基本計画、地質状況、現場環境などの情報が技術部門のスタッフに伝えられると、この部門では基本計画に基づいて各種の技術検討が行なわれる。そして、本設計法による山留め計算が必要な場合には本プログラムのインプットデータを作成する。これを計算センターで電算機にかけて処理する。この結果は技術部門スタッフに送られ、ここでアウトプットデータの確認や結果に基づく技術検討が行なわれる。当初設計の変更が必要な場合には再度インプットデータをつくり計算センターで処理する。最適な結果が得られるまでこれらを数回繰り返し、最終的な山留め計画を決定する。これらの結果は現場に送られ、これに基づいて山留めの施工を行なうことになる。図-1中の太線矢印間で本設計法が利用される。

(作業内容)



3 設計法の概要

掘削による山留壁の変形は図-2のような挙動を示す。1次掘削は第1段切バリが設置できるような深さまで行ない、山留壁は図-2(1)のように自立の状態で変形を起こす。ここで第1回目の計算を行なう。次に、図-2(2)に示すように第1段目の切バリを設置し2次掘削を行なうが、掘削中に増加する力により山留壁はさらに変形する。2次掘削が完了した状態で2回目の計算を行なう。以下、最終掘削まで同様の計算を繰り返す。

図-1 本設計法の利用システム

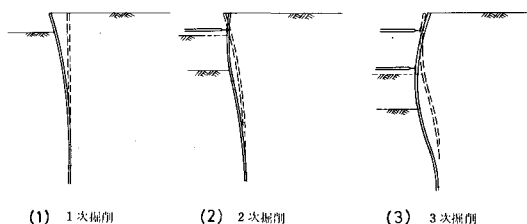


図-2 山留め変位図

したがって、各次掘削ごとの計算順序は次のようになる。

- ① 前掘削段階より今掘削段階までの間に生じた増加外力を求める。
- ② 増加外力を増加断面力・変位を求めるための計算モデルに载荷して前掘削段階からの増加断面力・変位を計算する。
- ③ 増加断面力・変位を前掘削段階までの値に加算し今段階での断面力・変位を求める。

図-3は3次掘削後の山留め模式図である。背面から作用する側圧を切バリと地盤で受けている。地盤反力は静止圧と1次掘削から順次増加してきた地盤反力を加えた力で受働圧を極限值としている。

図-4は図-3と同じく3次掘削後の本設計法における計算モデル図である。切バリを集中バネ k_{ni} 、地盤を連続的な水平バネにモデル化している。ここで、 $f(x)$ は前掘削段階から今段階までの増加外力であり、 $g(x)$ は今段階での極限抵抗力を表わす。また、今段階での増加地盤反力 ΔP_r が $g(x)$ に達している領域を塑性域、 $g(x)$ にまで達していない領域を弾性域とする。

山留壁の断面力および変位を求める基本式は次式で表わす弾性バリの基礎微分方程式である。

$$EI \frac{d^4 y}{dx^4} - p(x) = 0 \dots\dots\dots(1)$$

ここに、

E : 山留壁の弾性係数 (t/m^2)

I : 山留壁の断面2次モーメント (m^4)

$p(x)$: x 点での荷重強度 (t/m)

また、山留壁の断面力、変位および切バリ軸力はそれぞれ次のように表わされる。

$$\left. \begin{array}{ll} \text{変位} & \delta = y \\ \text{たわみ角} & \theta = \frac{dy}{dx} \\ \text{曲げモーメント} & M = -EI \frac{d^2 y}{dx^2} \\ \text{せん断力} & S = -EI \frac{d^3 y}{dx^3} \\ \text{切バリ軸力} & N = k_n \cdot y \end{array} \right\} \dots\dots\dots(2)$$

式(1)の基本式は、図-4に示す各領域でそれぞれ異なる適用式となる。すなわち、掘削面以上の領域 ($0 \leq x \leq l_0$) では $p(x) = f(x)$ 、塑性域 ($l_0 < x \leq l_p$) では、 $p(x) = f(x) - g(x)$ 、弾性域 ($l_p < x \leq l_n$) では $p(x) = f(x) - K_H \cdot y$ (ここに、 K_H は水平方向地盤反力係数) である。

4 本設計法のプログラムについて

本設計プログラムのインプットデータは、工事名称、設計者、日付などの事務処理に必要な項目と切バリ段数、バネ係数、側圧、山留壁諸元などの計算に必要な諸定数である。計算処理は数ケースをまとめて行なえるようになっていいる。図-5は本設計プログラムのメインフローチャートである。1ケース目のインプットデータの読み込みおよび印刷が終わると、まず1次掘削段階での定数セットを行ない、かつ塑性区間の仮定を行なう。そして、頭部境界条件、各層連続条件および底部境界条件から図-6に示すようなマトリッ

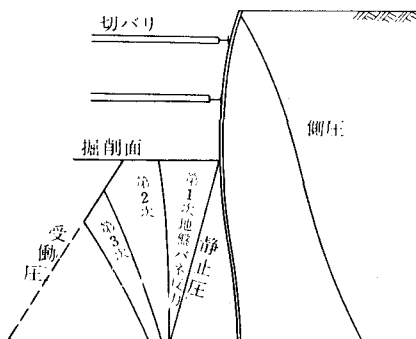


図-3 山留模式図

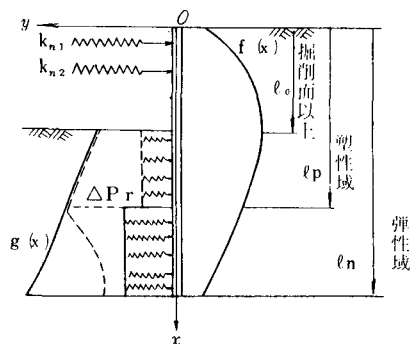


図-4 計算モデル図

クスを組み連立方程式を解く。図-6でAおよびCは頭部および底部境界条件から求まるそれぞれ2個の方程式によるマトリックスである。また、Bは各層間の連続条件から求まる4個の方程式によるマトリックスで層の数から1をひいた数だけ存在する。未定係数に値が定まると塑性区間の計算値が求められ、假定値との比較ができる。そして、計算値と假定値の差が許容値内にはいるまで繰り返し計算を行ない、塑性区間を決定する。塑性区間が求まると断面力・変位などを計算し、次の掘削段階での計算に進む。以下、同様のことを繰り返し最終段階まで全ケースの計算を行なう。

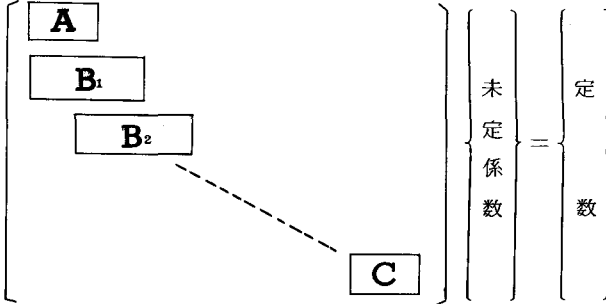


図-6 連立方程式の解法

5 計算処理例

最後に本設計プログラムによる計算処理例を示す。

図-7は例題に用いた山留めおよび地盤条件である。図-8は計算結果の一例で最終掘削完了時の山留壁の変位、曲げモーメントなどを示す。弾塑性境界位置は11.352mで9回の繰り返し計算の後に来ったことを表わしている。図-9は最終掘削完了後で3段切バリ時の土圧および変位などの値を自動図化機を用いて書いた図である。このような図が各掘削段階ごとに表わされる。図-10は各掘削段階における変位などをまとめて表わした図で同じく自動図化機によるものである。これらの図より変位や曲げモーメントの深度による傾向、最大値の位置、掘削の進行による変化などが一見にして理解できる。

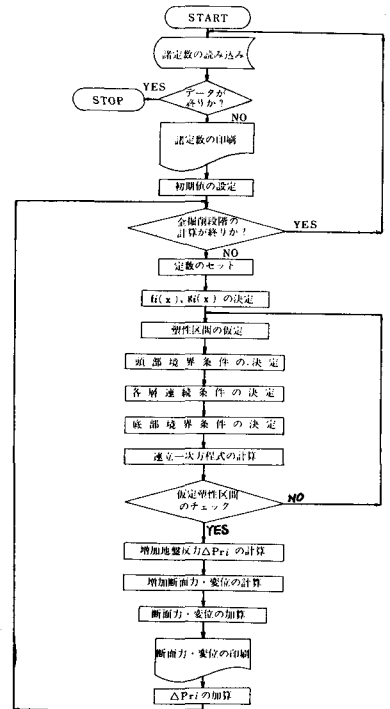


図-5 メインフローチャート

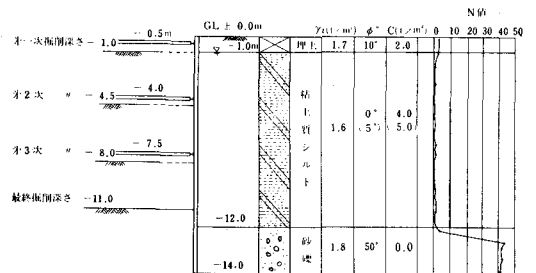


図-7 山留め計算条件

***** OUTPUT DATA (7) *****

KIRIPARILANSUU ----- 5

DEPTH (m)	DISPLACEMENT (cm)	MOMENT (Tm)	SHEARING FORCE (T)	STRUT REACTION (T)	GROUND REACTION (T/m2)
0.0	1.025	0.0	0.0	0.0	0.0
0.5	1.710	-0.025	-0.150	3.269	13.995
1.0	2.407	1.049	2.895	0.0	0.0
1.5	3.772	3.772	1.576	0.0	0.0
2.0	4.613	3.936	-1.219	0.0	0.0
2.5	4.716	0.009	0.009	55.236	0.0
3.0	6.250	6.921	6.734	0.0	0.0
3.5	6.707	7.264	6.519	0.0	0.0
4.0	7.301	6.762	-0.595	0.0	0.0
4.5	7.446	6.264	-6.623	0.0	0.0
5.0	7.447	2.166	-9.961	95.245	0.0
5.5	7.272	6.157	10.267	0.0	0.0
6.0	6.916	14.965	3.236	0.0	0.0
6.5	5.467	14.370	-4.620	0.0	0.0
7.0	4.194	6.029	-12.503	10.900	0.0
7.5	2.713	-7.113	-12.565	6.539	0.0
8.0	0.007	-6.435	6.361	16.076	0.0
8.5	-0.007	-0.000	6.606	-10.131	0.0
MAXIMUM	7.446	14.965	13.633	95.245	0.0

CONSOL: KIRIP41 ----- (11.352) ITERATION: (9)

図-8 プリントアウト例

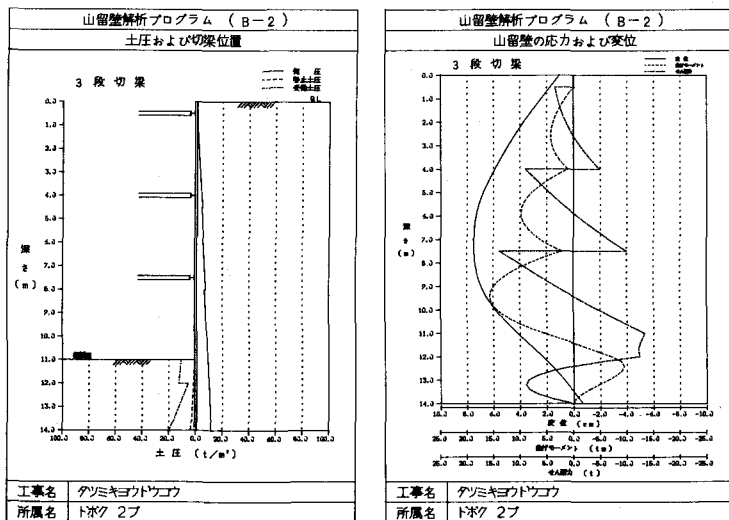


図-9 自動図化機による3段切戻り等の土圧および応力・変位図

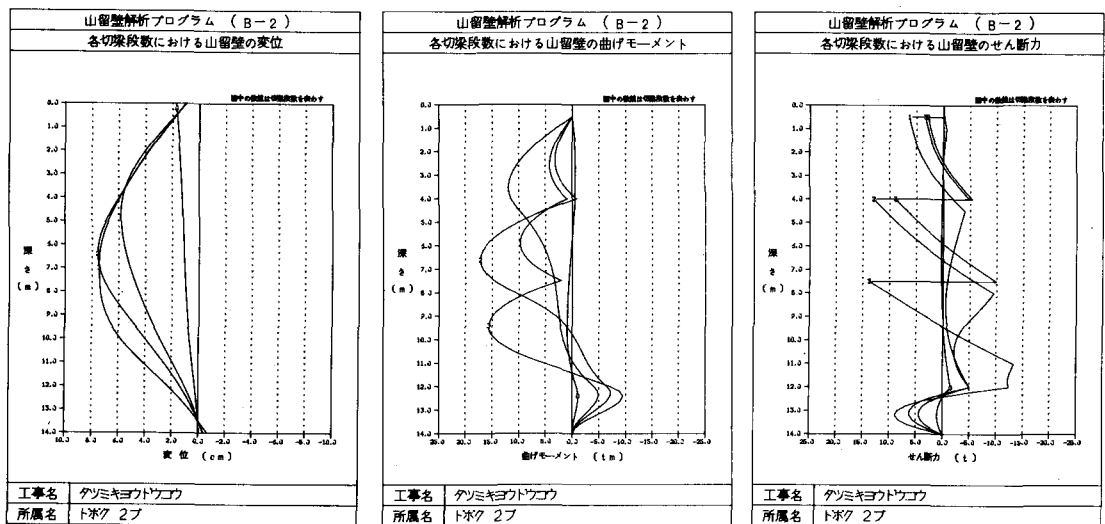


図-10自動図化機による各切戻り段数における山留壁の変位、曲げモーメントおよびせん断力図

参考文献1) 宮崎徳次郎：「掘削過程を考慮した山留め計算法」 第10回土質工学研究発表会講演集，昭和50年