

清水建設(株)	正会員	平井孝典
同	正会員	小林公博
同	正会員	○大西雄二

1. まえがき

掘削工事における山留壁に生じている断面力・変位は、掘削段階ごとに増加する断面力・変位が累加されたものである。本解析法は、この増加断面力・変位を前掘削段階から現掘削段階までに生じる外力の増分より求める方法を用いている。したがって、掘削途中における横抵抗強化のための地盤改良や山留壁の剛性強化等の各種施工条件の変化に対しても、十分に対処できる解析法である。本文では、この解析法についての説明を行い、さらに、掘削途中で地盤改良を行った場合の数値計算例について述べる。

2. 解析法の概要

図-1に、第3次掘削段階における山留めの状態を示す。山留壁背面からの側圧を、切バリ軸力と前面地盤の静止土圧および1次掘削より増加してきた地盤パネ反力で受けている。この段階で、地盤改良や山留壁の剛性強化を行う場合、その影響は以後の掘削過程で増加する断面力・変位にあられる。この施工後の増加断面力・変位については、施工条件の変化に応じた新しい山留壁の曲げ剛性や地盤の諸定数を用いて求められる。

増加断面力・変位の計算は、前掘削から現掘削までに生じた増加外力を、図-2に示す解析モデルに载荷し、弾性バリの基礎微分方程式を用いて求める。この計算式は、次の仮定を設ける。

- 切バリは、弾性支点とする
- 根切側地盤は、弾塑性的に評価した水平パネと考え、地盤パネ反力 $K_H \cdot \delta$ (K_H : 地盤反力係数, δ : 壁の変位) の極限抵抗値は、受働土圧から静止土圧を減じた値とする。

図-2に示す $f(x)$ は、前掘削から現掘削までに生じた増加外力である。また、 $g(x)$ は、現掘削の受働土圧から静止土圧および前掘削までの地盤パネ反力を減じた値でもある。

3. 計算式

図-2に示す解析モデルをもとに、第 i 次掘削段階における増加断面力、変位の計算式について説明する。図中の各領域の適用式は、次のようになる。

- 掘削面以上 ($0 \leq x \leq \ell_0$)

$$EI_i \frac{d^4 y}{dx^4} - f(x) = 0 \quad \dots\dots\dots (1)$$

$$\text{ここに、} \quad f(x) = q_1 x + r_1 + \sum_{j=1}^n K_{Hj} (E_{ij} e^{\beta_j x} \cos \beta_j x + F_{ij} e^{\beta_j x} \sin \beta_j x + G_{ij} e^{\beta_j x} \cos \beta_j x + H_{ij} e^{\beta_j x} \sin \beta_j x) \dots\dots\dots (2)$$

$$\text{ただし、} \quad \beta_j = \sqrt[4]{\frac{K_{Hj}}{4EI_i}}$$

$$\text{式(1)の一般解は、} \quad y = A x^4 + B x^3 + C x^2 + D x + \frac{q_1 x^5}{120EI_i} + \frac{r_1 x^4}{24EI_i} - \sum_{j=1}^n \frac{EI_j}{EI_i} (E_{ij} e^{\beta_j x} \cos \beta_j x + F_{ij} e^{\beta_j x} \sin \beta_j x + G_{ij} e^{\beta_j x} \cos \beta_j x + H_{ij} e^{\beta_j x} \sin \beta_j x) \dots\dots\dots (3)$$

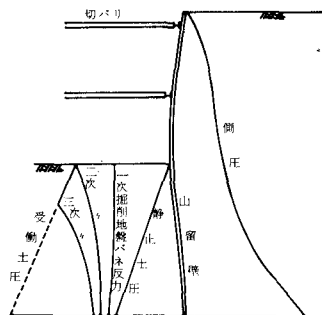


図-1 山留め一般図(3次掘削)

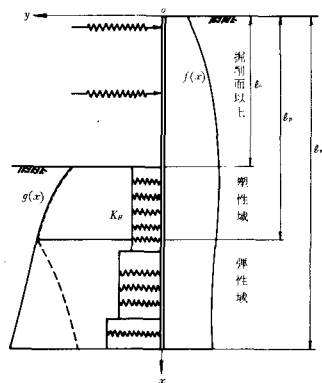


図-2 解析モデル図

b) 塑性域 ($\ell_p < x \leq \ell_n$)

$$EI \frac{d^4 y}{dx^4} - (f(x) - g(x)) = 0 \quad \dots\dots\dots(4)$$

$$\begin{aligned} \text{ここに, } f(x) - g(x) = & q_1 x + r_1 + \sum_{j=1}^m K_{Hj} (E_{1j} e^{\beta_j x} \cos \beta_j x + F_{1j} e^{\beta_j x} \sin \beta_j x \\ & + G_{1j} e^{-\beta_j x} \cos \beta_j x + H_{1j} e^{-\beta_j x} \sin \beta_j x) \dots\dots\dots(5) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{式(4)の一般解は, } y = & A_1 x^3 + B_1 x^2 + C_1 x + D_1 + \frac{q_1 x^5}{120 EI} + \frac{r_1 x^4}{24 EI} - \sum_{j=1}^m \frac{EI_j}{EI} (E_{1j} e^{\beta_j x} \cos \beta_j x \\ & + F_{1j} e^{\beta_j x} \sin \beta_j x + G_{1j} e^{-\beta_j x} \cos \beta_j x + H_{1j} e^{-\beta_j x} \sin \beta_j x) \dots\dots\dots(6) \end{aligned}$$

c) 弾性域 ($\ell_p < x \leq \ell_n$)

$$EI \frac{d^4 x}{dx^4} - f(x) + K_H \cdot y = 0 \quad \dots\dots\dots(7)$$

$$\text{ここに, } f(x) = q_1 x + r_1 \quad \dots\dots\dots(8)$$

$$\text{式(7)の一般解は, } y = e^{\beta_1 x} (A_1 \cos \beta_1 x + B_1 \sin \beta_1 x) + e^{\beta_2 x} (C_1 \cos \beta_1 x + D_1 \sin \beta_1 x) - \frac{1}{K_H} (q_1 x + r_1) \quad \dots\dots\dots(9)$$

式(2), (5)中の総和項は、弾性域で生じた累加地盤バネ反力を示すものであり、 m は、この領域において掘削途中の山留壁の剛性変化や地盤改良により β_j の値が変化する回数である。式(3), (6), (9)の K_{Hj} , E_{1j} は、第 i 次掘削段階の値である。また、 $E_{1 \sim 2, j}$, $F_{1 \sim 2, j}$, $G_{1 \sim 2, j}$, $H_{1 \sim 2, j}$, $q_{1 \sim 2}$, $r_{1 \sim 2}$ は定数であり、 $A_{1 \sim 2}$, $B_{1 \sim 2}$, $C_{1 \sim 2}$, $D_{1 \sim 2}$ は、未定係数である。これら各領域の一般解に頭部境界条件、各層連続条件および底部境界条件を与えて未定係数を決定し、第 i 次掘削段階の増加断面力・変位を求める。

4. 数値計算例

上記に述べた解析法を用い、図-3に示す山留めで第1次掘削後に根切側の粘土質シルト層の地盤改良を行うと想定して数値計算を行った。改良後の地盤定数については、図-3中のカッコ内の値を用いている。山留壁は鋼矢板Ⅳ型で曲げ剛性 $EI = 2325 \text{ t} \cdot \text{m}^2$ とした。側圧は側圧係数を1次掘削で0.7 最終掘削で0.5とし掘削深度にともない順次変化させている。また、静止土圧は $0.7 \gamma_1 h$ で一定とし、受働土圧はランキンの受働土圧式を用いた。以上の諸定数による計算結果を図-4, 図-5に示す。図中の実線は地盤改良を行った場合の値であり、破線は地盤改良を行わない場合の値である。これらの図より、山留壁の水平変位、曲げモーメントに地盤改良の影響が十分確認される。

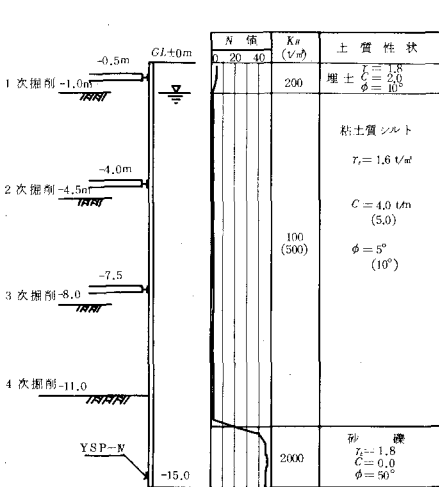


図-3 計算山留め状況図

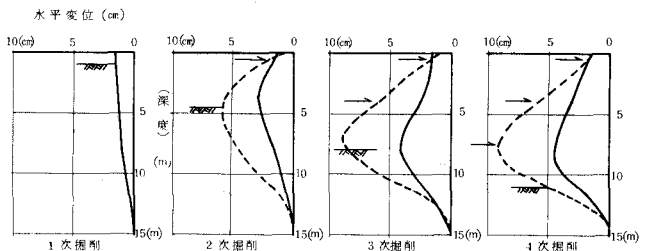


図-4 水平変位図

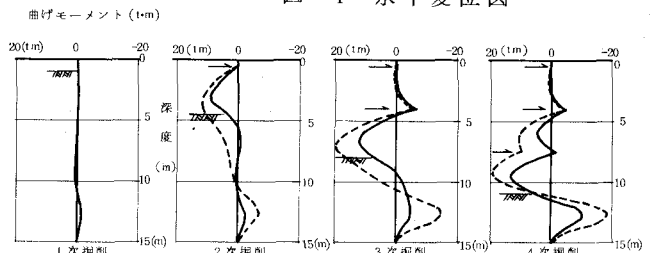


図-5 曲げモーメント図

— 地盤改良を行う場合
--- 地盤改良を行わない場合

参考文献：1) 宮崎，青山，平井，小林：掘削過程を考慮した山留め計算法，第10回土質工学会研究発表会講演集，1975.6