

III-546

混合擁壁の土圧算定法

(株) 第一コンサルタンツ 正員 右城 猛
 " 正員 ○山岡 幸弘
 " 正員 瀧石 純

1. まえがき

ブロック積擁壁は、施工性と経済性に優れていることから土留構造として広く用いられているが、構造安定上の限界高さは経験上5m程度とされている。このため、土留高が5mを超える場所においてはブロック積擁壁と重力式コンクリート擁壁を上下に組み合わせた、混合擁壁を採用することが多い。混合擁壁の設計では、壁面の折れ曲がりの影響を考慮した土圧評価が必要であるが、これに関してはこれまでほとんど研究されていない。そこで、極限平衡法を適用したより合理的かつ実用的な土圧算定法の提案を行なう。

2. 土圧合力の算定法

擁壁の変位モード：混合擁壁は、壁高、壁面傾角、背面盛土の種類、上部擁壁と下部擁壁の結合条件などによって変位モードが異なり、それに伴い壁面土圧は主働、弾性、受働土圧と変化する。しかし、ここでは上部擁壁と下部擁壁が剛結合され、図-1(a)のような変位モードを示す場合を対象にする。すなわち、上・下部擁壁が一体となって剛的に前方へ変位し、背面盛土は主働塑性状態になる場合である。

上部擁壁に作用する土圧：上部擁壁に作用する土圧 P_1 は、盛土面が一様勾配の場合、周知のクーロン系主働土圧公式を用いて算定することが可能だが、嵩上げ盛土を有する場合は試行くさび法を適用する必要がある。試行くさび法による土圧算定式は(1)式で表される。

下部擁壁に作用する土圧：下部擁壁に作用する土圧 P_2 は、壁面に沿うすべり面と盛土内部のすべり面によって形成される土塊 $abcd$ に作用する力の極限平衡条件より求めることができる。

この土塊に作用する力は、土塊の自重 $W(=W_1+W_2)$ 、盛土内部すべり面の抵抗力 R_2 、上部擁壁の壁面土圧 P_1 、下部擁壁部の壁面土圧 P_2 であるので、 P_2 は(3)式で与えられる。これとは別に、上部擁壁と下部擁壁のそれぞれ下端から盛土内部に発生するすべり面 be と af とに挟まれた土塊 $abef$ に作用する力 R_1 、 R_2 、 W_2 、 P_2 の平衡条件を考え、(4)式で P_2 を求めることもできる。ちなみに、土塊に作用する力の多角形は図-2のように表され、(3)式と(4)式が同一の P_2 を与えることが容易に理解される。

$$P_1 = \frac{\sin(\omega_1 - \phi)}{\cos(\omega_1 - \phi - \delta_1 + \alpha_1)} W_1 \dots\dots\dots (1) \quad R_1 = \frac{\cos(\delta_1 - \alpha_1)}{\cos(\omega_1 - \phi - \delta_1 + \alpha_1)} W_1 \dots\dots\dots (2)$$

$$P_2 = \frac{(W_1 + W_2) \sin(\omega_2 - \phi) - P_1 \cos(\omega_2 - \phi - \delta_1 + \alpha_1)}{\cos(\omega_2 - \phi - \delta_2 + \alpha_2)} \dots\dots\dots (3) \quad \text{又は} \quad P_2 = \frac{W_2 \sin(\omega_2 - \phi) + R_1 \sin(\omega_2 - \omega_1)}{\cos(\omega_2 - \phi - \delta_2 + \alpha_2)} \dots\dots\dots (4)$$

ここに、 δ_1 (δ_2) は上部 (下部) 擁壁の壁面摩擦角、 ϕ は盛土の内部摩擦角である。(1)~(4)式において

$$\partial P_1 / \partial \omega_1 = 0, \quad \partial^2 P_1 / \partial \omega_1^2 \leq 0, \quad \partial P_2 / \partial \omega_2 = 0, \quad \partial^2 P_2 / \partial \omega_2^2 \leq 0 \dots\dots\dots (5)$$

の条件を満足させる ω_1 、 ω_2 が主働すべり角であり、そのときの P_1 、 P_2 が求めるべき主働土圧合力である。

3. 土圧分布および合力の作用位置

差分法：上部擁壁の土圧は、盛土面が一様勾配であると三角形分布になるが、嵩上げ盛土があると主働すべ

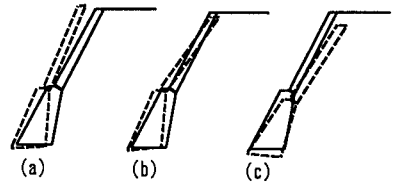


図-1 混合擁壁の変位モード

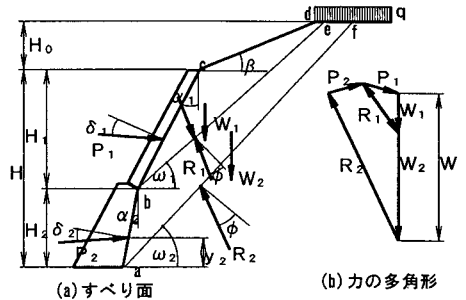


図-2 混合擁壁の土圧算定説明図

り面が嵩上げ盛土の肩より後方を通る区間では非線形分布となる。また、下部擁壁の土圧は、盛土面が水平でも非線形分布になる。しかし、差分法を適用すれば土圧分布および合力の作用位置を求めることができる。

上部あるいは下部擁壁の壁高を H_m とし、 H_m を ΔH （0.1m程度以下）の間隔で m 等分する。そして、 i 点より上方に作用する土圧の合力を P_i 、 $(i-1)$ 点より上方に作用する土圧の合力を P_{i-1} とすると、 i 点の土圧強度 p_i および土圧の合力 P の作用高 y は(6)、(7)式で与えられる。

$$p_i = (P_i - P_{i-1}) / \Delta H \quad \cdots (6), \quad y = \sum \Delta P_i \cdot \Delta H (m-i+0.5) / P \quad \cdots (7)$$

簡便法：盛土面が一様勾配 β の場合の主働土圧係数 K_a 及び主働すべり角 ωa はクーロン公式で算定できるので、土圧が線形分布になる区間 H_a とこの区間の土圧は(8)、(9)式で求めることができる。

$$H_a = \frac{\tan \omega a \cdot \cot \beta - 1}{1 - \tan \omega a \cdot \tan \alpha_1} \quad \cdots (8) \quad p_{11} = \gamma \cdot K_a \cdot H_a \quad \cdots (9)$$

H_a より下方の土圧は非線形分布となるが、これを近似的に台形分布とみなせば、土圧及び合力の作用位置は(10)～(14)式で与えられる。ただし、 P_1 は上部擁壁の土圧合力、 P_2 は下部擁壁の土圧合力、 P_{2h} は下部擁壁高 H_2 の1/2を下部擁壁高とみなして求められる土圧合力である。

$$p_{12} = \frac{2P_1 - p_{11} \cdot H_a}{H_1 - H_a} - p_{11} \quad \cdots (10) \quad y_1 = \frac{p_{11} (3H_1 - 2H_a) H_a + (2p_{11} + p_{12}) (H_1 - H_a)^2}{3p_{11} \cdot H_1 + 3p_{12} (H_1 - H_a)} \quad \cdots (11)$$

$$p_{21} = \frac{4P_{2h} - P_2}{H_2} \quad \cdots (12) \quad p_{22} = \frac{3P_2 - 4P_{2h}}{H_2} \quad \cdots (13) \quad y_2 = \frac{4P_{2h} + P_2}{6P_2} \cdot H_2 \quad \cdots (14)$$

4. 計算例と考察

$H_1=5.0\text{m}$, $H_2=3.0\text{m}$, $H_0=0\text{m}$, $\beta=33.69^\circ$ (1:1.5), $\alpha_1=26.565^\circ$, $\alpha_2=5.711^\circ$, $q=1.0\text{tf/m}^2$, $\phi=35^\circ$, $\delta_1=\delta_2=(2/3)\phi$, $\gamma=2.0\text{tf/m}^3$ の条件のもとで差分法を用いて計算した結果を図-5に示す。ただし、分割幅 ΔH は0.01mとしている。また、差分法と簡便法の計算結果を比較すると表-1のようになる。

表-1 差分法と簡便法の計算結果の比較

case	解析法	上段擁壁			下段擁壁			備 考 (tf/m)
		土圧強度 (tf/m ²)		作用位置 (m)	土圧強度 (tf/m ²)		作用位置 (m)	
		P ₁₁	P ₁₂		Y ₁	P ₂₁		
H ₀ =0m	差分法	—	0.94	1.67	1.82	3.23	1.36	P ₁ =2.346 P ₂ =7.651 P ₂ =3.299
	簡便法	—	0.94	1.67	1.85	3.25	1.36	
H ₀ =5m	差分法	0.93	1.67	1.73	2.84	4.69	1.38	P ₁ =4.586 P ₂ =11.446 P ₂ =5.035
	簡便法	0.93	1.70	1.73	2.90	4.73	1.38	

本提案法を適用すれば、混合擁壁の壁面の折れ曲がりの影響を考慮した土圧を合理的かつ簡便に算定することが可能である。土圧合力作用位置の算定に簡便法を適用しても、差分法と同一の解を得ることができる。ただし、簡便法は土圧を台形分布と仮定するため、土圧強度の値は若干異なる。

5. あとがき

本研究では、背面盛土が主働塑性状態になる擁壁の変位モードを対象に混合擁壁の土圧算定法を提案したが、今後は他の変位モードに対しても同様の定式化を試みる予定である。また、同時にRBSM等の数値解析、模型実験をも試みたいと考えている。

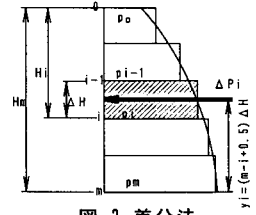


図-3 差分法

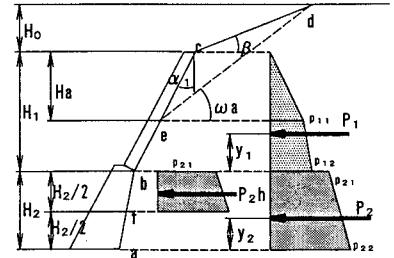
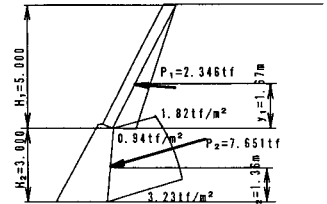
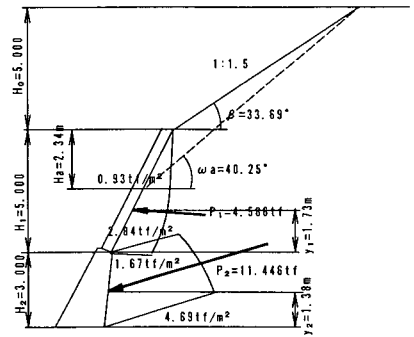


図-4 簡便法による土圧合力位置算定



(a) $H_0=0.0\text{m}$ の場合



(b) $H_0=5.0\text{m}$ の場合

図-5 差分法による計算結果