

すべり面の非線形性を考慮した逆T型擁壁の土圧算定法

(株)第一コンサルタンツ 右城 猛
 (株)第一コンサルタンツ ○ 筒井 秀樹
 (株)第一コンサルタンツ 長山 学史

1. まえがき

著者らは逆T式擁壁の合理的な主働土圧評価式として改良試行くさび法を提案してきた。改良試行くさび法は計算の簡便化を図るためすべり面を直線と仮定している。しかし、この仮定が理論的に成立するのは、盛土が水平か一様勾配である場合に限られ、嵩上げ盛土を有する場合のすべり面は曲線になる。

本論文は、すべり面を折れ線で近似させ、主働塑性場を任意の四辺形または三角形のブロックに分割し、各ブロックの極限平衡条件から逆T型擁壁の仮想壁面に作用する主働土圧を算定する方法を提案した上で、ブロック数が解析結果に及ぼす影響について検討したものである。

2. 嵩上げ盛土がある場合のすべり面の形状

かかと版の長さが十分長い逆T式擁壁の場合、盛土表面が水平あるいは一様勾配であれば、主働すべり面は直線となる。しかし、嵩上げ盛土があり、地表面が折れ曲がっている場合には図-1のように3種類の主働塑性場が形成される。すなわち、地表面が水平に対応するランキン場Ⅰと一様勾配 β に対応するランキン場Ⅱ、そして遷移場Ⅲである。ランキン場にはⅠ、Ⅱとも直線のすべり線網が形成されるが、遷移場は曲線のすべり線網となる。

このため、嵩上げ盛土がある場合のすべり面は、CGとBFは直線となるがAGとAFは曲線になると考えられる。

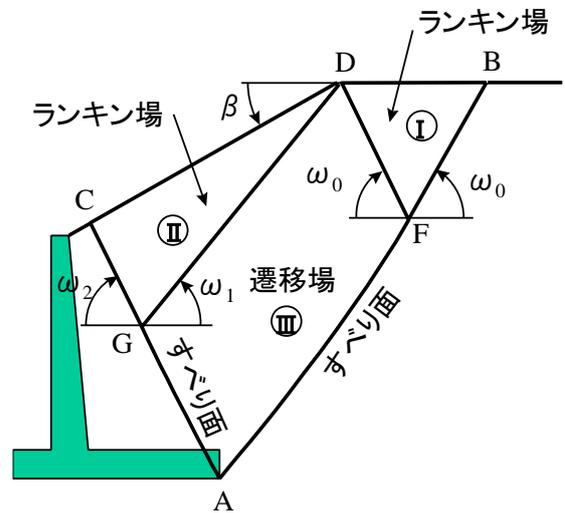


図-1 すべり面の形状

3. すべり面を折れ線で近似した解析法

かかとから前方へ向かうすべり面AGCはほぼ直線となる。このため、すべり面は図-2のように仮定する。すなわち、すべり面AGCは1個の直線、すべり面AFBは n 個の直線よりなる折れ線と仮定する。そして、すべり土塊を $(n-1)$ 個の任意の四角形と1個の三角形のブロックに分割する。

i 番目の任意ブロックに作用する力は、図-3(a)に示す通りである。いま、各ブロックが極限平衡状態にあるものとすれば、 i 番目のブロックに作用する力の関係は図-3(b)のように表される。ただし、 c は粘着力、 ϕ は内部摩擦角、

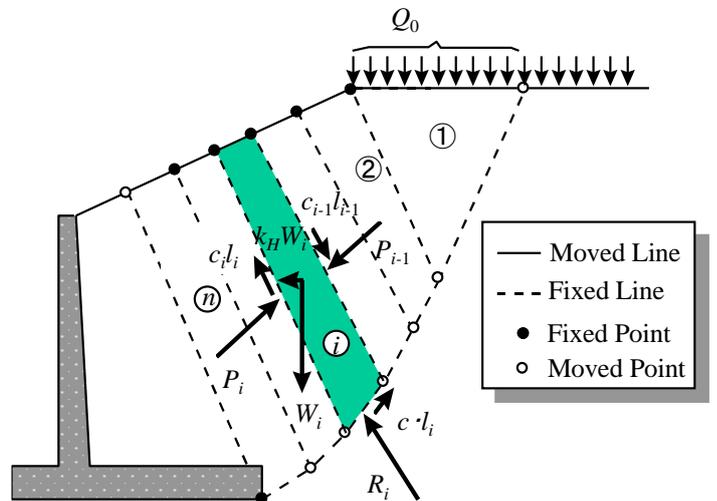


図-2 ブロックの分割

δ はブロック間面の摩擦角で、逆T式擁壁の場合は $\delta = \phi$ である。 Q は地表面載荷重を意味し、1番目のブロックのみに作用する。

各ブロックの形状が特定されているとすれば、ブロック頂点の各座標値は既知であるため、 $r_i, r_{i-1}, l_i, \theta_i, \theta_{i-1}, \omega_i$ はいずれも既知量となる。また、ブロックに作用する荷重のうち、物体力 $W_i, k_H \cdot W_i$ も既知量である。

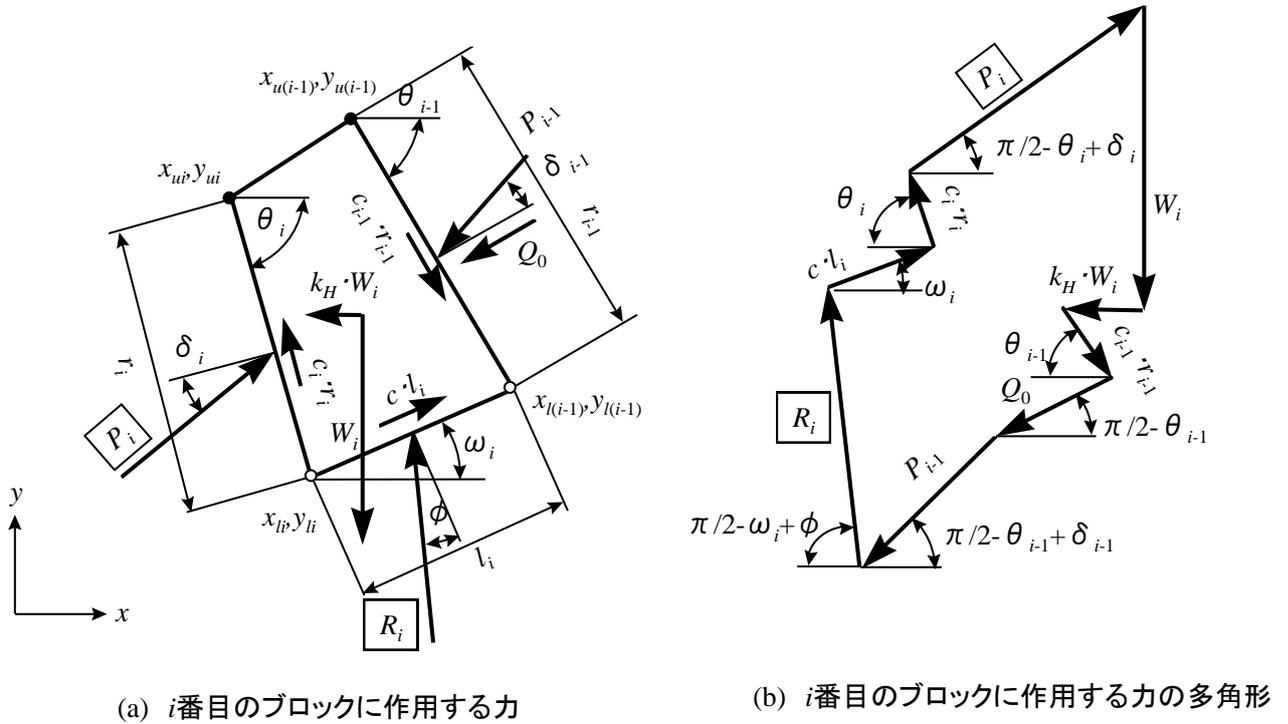


図-3 任意のブロックに作用する荷重

ところで、1番目のブロックに着目すれば、 $P_{i-1}=P_0=0$ であり、未知量は P_1, R_1 の2個のみである。したがって、これらの未知量は力のつり合い条件 ($\Sigma H=0, \Sigma V=0$) のみで決定される。次に2番目のブロックに着目すれば、 P_{2-1} は $P_{2-1}=P_1$ であり1番目のブロックのつり合い条件式で既に求められているので、未知量は P_2, R_2 の2個のみになる。したがって、これらの未知量についても2番目のブロックのつり合い条件から決定される。同様に、 i 番目のブロックに作用する荷重についても未知量は P_i, R_i の2個のみとなり、 i 番目のブロックに関する力のつり合い条件のみで決定される。

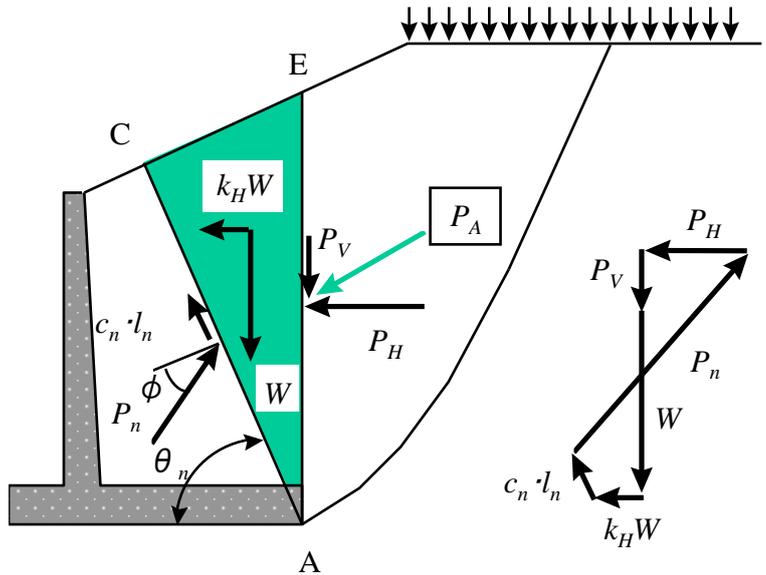


図-4 仮想壁面に作用する主働土圧

1番目のブロックから n 番目のブロックまで順次計算を進めていけば、最後の n 番目のブロックの P_n も決定されることになる。

次に、擁壁のかかと後端から鉛直に立てた仮想壁面 AE と、すべり面 AC に囲まれた土塊 ACE に

作用する力のつり合いについて考える。この土塊に作用するのは、土塊 ACE の自重 W と慣性力 $k_H \cdot W$ 、すべり面 AC からの反力 P_n 、 $c_n \cdot r_n$ 、それに仮想壁面に作用する内力 P_H 、 P_V である。これらの力のうち P_H 、 P_V 以外はすべて既知量であるため、 P_H 、 P_V は力のつり合い条件のみで求めることができる。

以上を定式化すれば(1)～(6)式となる。

$$P_A = \sqrt{P_H^2 + P_V^2} \tag{1}$$

$$P_H = P_n \sin(\theta_n - \delta_n) - k_H \cdot W - c_n \cdot r_n \cos \theta_n \tag{2}$$

$$P_V = W - P_n \cos(\theta_n - \delta_n) - c_n \cdot r_n \sin \theta_n \tag{3}$$

ここに、

$$P_i = \{W_i \sec \theta_0 \sin(\psi_i + \theta_0) - c_{i-1} \cdot r_{i-1} \cos(\psi_i + \theta_{i-1}) + Q_0 \sin(\psi_i + \theta_{i-1}) + P_{i-1} \sin(\psi_i + \theta_{i-1} - \delta_{i-1}) - c \cdot l_i \cos(\omega_i - \psi_i) + c_i \cdot r_i \cos(\psi_i + \theta_i)\} \times \frac{1}{\sin(\psi_i + \theta_i - \delta_i)} \tag{4}$$

$$\theta_0 = \tan^{-1} k_H \tag{5}$$

$$\psi_i = \omega_i - \phi \tag{6}$$

ただし、 $\omega_i \leq \omega_{i-1}$

(1)～(6)式で、 θ_i 、 ω_i 、 r_i 、 l_i 、 θ_{i-1} 、 r_{i-1} 、 l_i を変化させて計算し、 P_H の最大値を探索すれば、 P_A が仮想壁面に作用する主動土圧の合力になる。

4. 試計算の方法と結果

本論文で提案する主動土圧算定法の妥当性を検証する目的で、高さ $H=4\text{m}$ 、底版幅 $B=4.0\text{m}$ の逆 T 式擁壁 (図-6) について試計算を行った。ただし、 $\beta=33.69^\circ$ 、 $\phi=35^\circ$ 、 $c=0$ 、 $\gamma=19.6\text{kN/m}^3$ 、 $Q_0=0$ 、 $k_H=0$ とした。

図-5 は分割ブロック数が解析結果に及ぼす影響を調べるため、分割数 $n=1, 3, 5, 10, 20, 50$ の 6 ケースについてそれぞれ仮想壁面での主動土圧の合力 P_A を計算した結果である。ただし、嵩上げ盛土高さは $H_0=4.0\text{m}$ として計算してある。図中に示してある数値は、ブロック分割数を $n=50$ とした解析値に対する比を表している。

ブロック数を 10 程度以上とすれば解析値は一定値に収れんする。筆者らが提案してきた改良試行くさび法は $n=1$ の解析に相当するが、 $n=50$ の場合との解析誤差は 0.9% であり、改良試行くさび法を適用したとしても実用上は全く問題ないといえる。

図-6 は、ブロック数 $n=1$ 、 $n=5$ 、 $n=50$ のそれぞれの解析で求められた主動すべり面を示している。 $n=1$ のすべり面は直線である。 $n=5$ と $n=50$ ではほとんど差異が見られず、図-1 に示したように遷移場では曲線となっている。

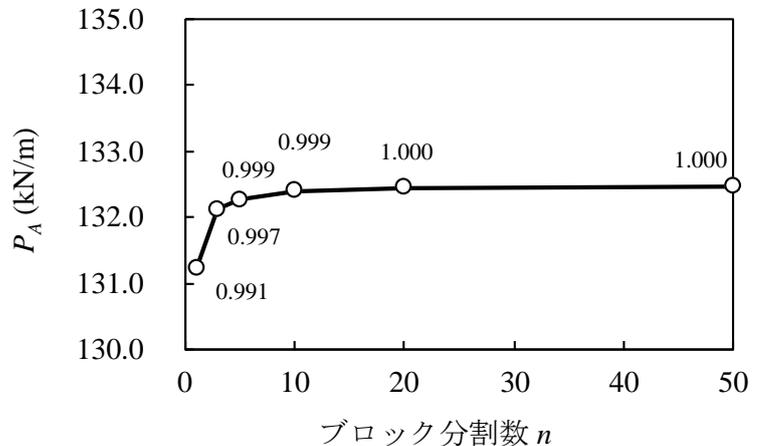


図-5 ブロック分割数と解析結果の関係

図-7は、本提案式でブロック数を $n=1, n=10$ とした場合と、現在設計の実務で適用されている道路土工指針の計算法（試行くさび法）とについて、嵩上げ盛土高さ H_0 を 0m から 20m まで変化させて主働土圧の合力 P_A を計算した結果である。いずれの計算結果も $H_0=0$ では $P_A=42.49\text{kN/m}$ であり、地表面が水平（ $\beta=0$ ）の場合の Rankine 解に完全に一致している。また、 $H_0=20\text{m}$ では地表面が $\beta=33.69^\circ$ で一様勾配の Rankine 解 $P_A=205.93\text{kN/m}$ に収れんしている。

$0\text{m} < H_0 < 20\text{m}$ の間でもブロック分割数あるいは解析法の違いが主働土圧に及ぼす影響は非常に少ない。分割数 $n=1$ と $n=10$ による解析値の差は H_0 が $5\text{m} \sim 8\text{m}$ の間が最も大きくなるが、それでも 1.2% 以下である。また、提案式による分割数 $n=10$ の解析値と道路土工指針の土圧算定法（改良試行くさび法）との解析値は $H_0=1\text{m}$ で 8% の差を生じるものの、それ以外では 1.4% 以下に収まっている。

5. 結論

主働すべり面の非線形性を考慮した主働土圧問題の近似解法として、ブロック分割法を提案し、その定式化を行うとともに、提案する解析の妥当性及びブロック分割数が解析結果に及ぼす影響について検討した。

その結果、以下の結論が得られた。

- ①ブロック分割数を増やしていけば、解析値は一定値に収れんする。また、主働すべり面は曲線へと収れんしてゆく。
- ②ブロック分割数 n が解析結果に及ぼす影響は極めて小さい。 $n=1$ と $n=50$ との解析誤差は 1% 程度以下である。
- ③盛土地表面が水平な場合のブロック分割法による解析結果は、Rankine 解と完全に一致する。また、嵩上げ盛土高さが大きくなれば、一様盛土勾配の Rankine 解に収れんする。
- ④以上より、ブロック分割法を適用すれば、嵩上げ盛土を有する逆 T 式擁壁の主働土圧を合理的に評価することができる。
- ⑤これまで提案してきた改良試行くさび法を適用すれば、極めて高い精度で主働土圧を算定することができる。

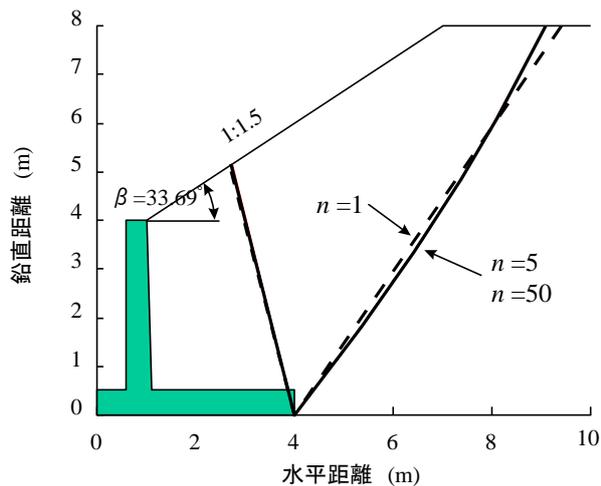


図-6 主働すべり面

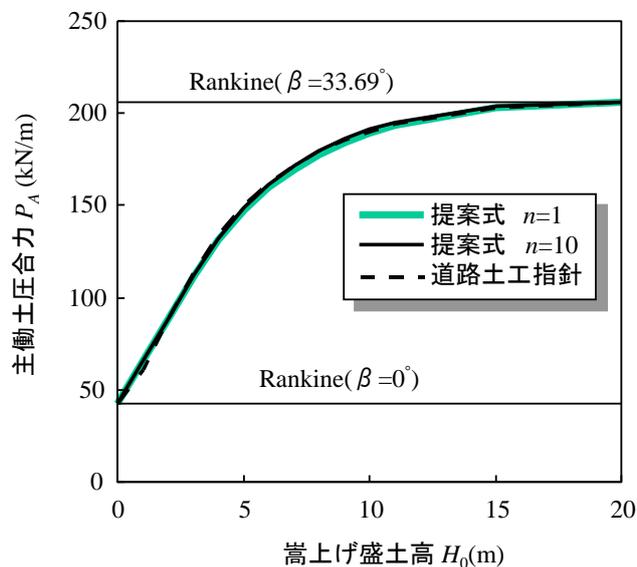


図-7 嵩上げ盛土高と主働土圧合力の関係

表-1 嵩上げ盛土高と主働土圧合力

$H_0(\text{m})$	提案法		土工指針 (試行くさび法)	Rankine
	$n=1$	$n=10$		
0	42.493	42.493	42.493	42.493
1	66.042	66.042	60.868	
2	88.112	88.219	87.661	
3	111.514	112.122	113.670	
4	131.222	132.271	133.966	
5	147.039	148.695	149.940	
6	159.632	161.563	161.700	
7	169.667	171.578	171.500	
8	177.694	179.703	179.350	
9	184.132	186.024	185.220	
10	189.297	191.002	190.091	
11	193.442	194.922	194.138	
15	203.036	203.546	202.855	
20	205.927	205.933	205.799	205.929