

岐阜高専 正会員 狩 俣 恒 一

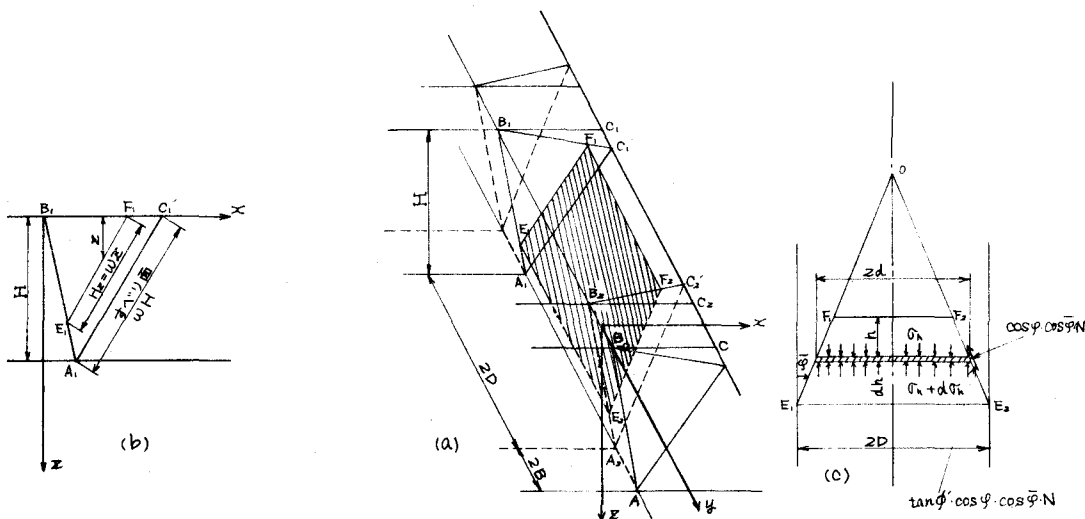
1 まえがき

盛りこぼし橋台に対する主働土圧の計算式は、いまだ明確な計算式はなく、クーロムの主働土圧係数の3倍あるいは数パーセントの値を慣習的に採用している状態にある。採用される係数に対しても、根拠ある説明はされていない。一方盛りこぼし橋台は溢流橋橋台、道路橋断面橋台としてよく採用される形式の橋台である。私は盛りこぼし橋台に働く主働土圧の計算式を誘導し、実験的にたしかめつつあるので、いままでに得た結果を報告する。

2 計算式

盛りこぼし橋台に働く主働土圧の計算式を誘導するにあたっては、次のような考え方から出発した。盛りこぼし橋台の裏込め土の崩壊は、まず橋台全体に何等かの変位が生じて主働土圧が発生し、その時点で前方斜面の土は崩壊してすべり出す。ついで脚柱間の土も前方へすべて脚柱間を抜けてゆくものと考えられる。脚柱間の土がすべろうとする時は、脚柱によつて支えられているくさび状土塊の両側面にせん断応力を与えることになる。土が砂のような非塑性体の場合は、脚柱によつて支えられているくさび状土塊は、主働土圧発生の際の塑性状態から再配列して弾性状態に近い土塊と考えられる。この土塊を仮に「主働せん断土塊」と名づける。

脚柱間の土がすべり抜けようとする極限の状態においては、脚柱間の土のアーチ作用により、抜けようとする土の重量の一部は「主働せん断土塊」の側面によつて支えられる状態となつて脚柱の受ける主働土圧の増加となる。ここでいうアーチ作用とは、山口氏が述べておられるように、¹⁾土の主応力線にそつて、土被り重量の一部が不動的な境界支点もしくは土の非塑性域へ伝達される現象をさしている。



主働せん断土塊の両側面に発生したせん断応力を導くために、崩壊しようとする脚柱間の土塊に、Marston's Load Theory²⁾を適用する。図-1(a)において、A, B, C, - A₂, B₂, C₂は脚柱間の崩壊土塊、すべる方向は主働土圧発生時のすべり線 A, C₁ (水平面となす角β) に平行とする。今 E, F, F₂, E₂の単位厚さを有する面について (C) 参照) 微少部分 d h の釣合から

$$2d \cdot \sigma_h + \frac{1}{2} r \sin \beta (2d + 2d + 2dh \cdot \tan \bar{\varphi}) dh \\ = (\sigma_h + d\sigma_h)(2d + 2dh \cdot \tan \bar{\varphi}) + 2(VN \sin \bar{\varphi} + V \cdot N \cdot \tan \phi' \cos \bar{\varphi}) \frac{1}{\cos \bar{\varphi}} dh \quad (1)$$

ここで、記号等は図-1に示すとおり

$$\sigma_h = \sigma_z \cos \beta \sin \beta, \quad N = K \sigma_z, \quad K = \tan^2(45^\circ - \phi'/2) \\ V = \cos \varphi \cos \bar{\varphi}, \quad \tan \bar{\varphi} = \tan \varphi \cdot \sin(\alpha - \beta) / \sin \alpha$$

φ' = 主働土圧発生後の非塑性体と考えた場合の土の内部摩擦角, 主働土圧発生前の土の内部摩擦角φ, の約 2/3 程度になるものと思われる。

(1) 式の d h および dσ_h · dh を夫々微少として省略すると

$$\frac{d\sigma_z}{dh} + \sigma_z \frac{\tan \bar{\varphi} + K(\tan \bar{\varphi} + \tan \phi') / \cos \beta \cdot \sin \beta}{d} = \frac{r}{\cos \beta} \quad (2)$$

(2) 式の解は

$$\sigma_z = r \frac{d}{\eta \cos \beta} (1 - e^{-\eta \frac{h}{d}}) \quad (3)$$

$$\eta = \tan \bar{\varphi} + \frac{K}{\cos \beta \cdot \sin \beta} (\tan \bar{\varphi} + \tan \phi')$$

今考えている単位厚さを有する傾斜面の側面 E, F₁ にそうて、単位面積あたりに作用するせん断応力および垂直応力の合力は、主働せん断土塊の側面に外力として働くと考えられる。主働せん断土塊の側面 A₁, B₁, C₁ に働く全応力 Q₁ は、

$$Q_1 = \int_0^{wH} \int_0^{H_z} \frac{V K \sqrt{1 + \tan^2 \phi'}}{\cos \bar{\varphi}} \sigma_z \cdot dh \cdot dH_z \quad (4)$$

ただし

$$H_z = 1 / \sin \beta \cdot \cos \bar{\varphi} \cdot z \quad : \text{図-1におけるE, F}_1 \text{の長さ}$$

$$w = 1 / \sin \beta \cdot \cos \bar{\varphi}, \quad wH: \quad A, C_1 \text{の長さ}$$

主働せん断土塊は X-Z 平面に關して対称であるとする、この土塊に働くすべての力の X および Z 成分を X-Z 平面上において示すと図-2のとおりになる。(Y 方面の力の成分は土圧にそれほど影響しないものとして省略する。)

X-Z 面において、すべり傾斜線 A, C₁ に平行方向と直角方向の力の成分の釣合式は

$$2Q \sin(\beta + \lambda) + W \sin \beta - R \sin \phi - P_A \sin(\alpha + \delta - \beta) = 0 \quad (5)$$

$$2Q \cos(\beta + \lambda) + W \cos \beta - R \cos \phi + P_A \cos(\alpha + \delta - \beta) = 0$$

ここで、P_A: 盛りこぼし橋台の脚柱のうける主働土圧 (ton)

$$Q = \sqrt{(\sin(\bar{\varphi} + \phi') Q_1 \sin \beta)^2 + (\sin(\bar{\varphi} + \phi') Q_1 \cos \beta - N \sin \bar{\varphi})^2} \quad (\text{側面に働く外力の合力の X-Z})$$

面に投影された力)

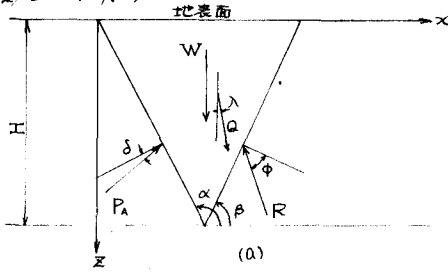


図-2 x-z面における主動せん断土塊の力の釣合

$W = W_c + 2W_s$ W : 主動せん断土塊の全重量 (ton)

W_c, W_s : 図-1 (a)においてそれぞれ $ABC \rightarrow A_2B_2C_2$, 四面体 $A_2B_2C_2Q$ の重量 (ton)
 $\triangleq$ 兩柱

$$W = \gamma B H^2 \frac{\sin(\alpha - \beta)}{\sin \alpha \cdot \sin \beta} \left\{ 1 + \frac{1}{3} \frac{H}{B} \frac{\sin(\alpha - \beta)}{\sin \beta} \tan \varphi (1 - \cot \alpha) \right\} \quad (6)$$

$$\tan \beta = \frac{\sin \alpha + \sin \phi \sqrt{\frac{\sin(\phi + \delta) \sin \alpha}{\sin(\alpha + \delta) \cdot \sin \phi}}}{\cos \alpha + \cos \phi \sqrt{\frac{\sin(\phi + \delta) \sin \alpha}{\sin(\alpha + \delta) \cdot \sin \phi}}}$$

(5)式から P を求め整理すると、脚柱に働く単位巾あたりの土圧の式は

$$P_A / 2B = \frac{1}{2} \gamma H^2 \cdot K_A \cdot C_A \quad (\text{ton/m}) \quad (7)$$

ここで

$$K_A = \frac{\sin^2(\alpha - \phi)}{\sin^2 \alpha \cdot \sin(\alpha + \delta)} \left[1 + \sqrt{\frac{\sin(\phi + \delta) \cdot \sin \phi}{\sin(\alpha + \delta) \cdot \sin \alpha}} \right]^{-2} \quad \begin{array}{l} \text{土圧係数} \\ \text{主動土圧係数} \end{array}$$

$$C_A = 1 + C_{A1} + C_{A2} \quad \text{盛りにほし橋台に対する主動土圧増加係数} \quad (8)$$

$$C_{A1} = \frac{1}{3} \frac{H}{B} \cdot \tan \varphi (1 - \cot \alpha) \cdot \frac{\sin(\alpha - \beta)}{\sin \alpha \cdot \sin \beta} \quad (9)$$

$$C_{A2} = 2 \sqrt{\mu^2 - 2\mu \cdot K \sin \varphi \cdot \cos \beta + K^2 \sin^2 \varphi} \cdot \frac{\sin(\beta + \phi + \lambda)}{\eta \cdot \sin(\beta - \phi) \cdot \cos \beta \cdot \cos \varphi} \cdot \frac{\sin \alpha \cdot \sin \beta}{\sin(\alpha - \beta)}$$

$$\begin{aligned} & \frac{H}{B} w^3 \left(\frac{1}{2w} \cdot \frac{D}{H} - \frac{\tan \bar{\varphi}}{6} + \frac{1}{\tan \bar{\varphi}} \cdot e^{-\frac{\eta}{\tan \bar{\varphi}}} \left[-\frac{1}{2w} \left(\frac{D}{H} \right)^2 + \left\{ \left(\frac{D}{H} \right)^2 - \frac{D}{H} w \tan \bar{\varphi} + \right. \right. \right. \\ & \left. \left. \left. \frac{1}{3} w \tan \bar{\varphi} \right\} \left(\frac{1}{2w^2} + \frac{\eta}{w^2 \tan \bar{\varphi}} - \frac{1}{2} \eta^2 \log D \frac{1}{w^2 \tan \bar{\varphi}} - \frac{1}{6} \frac{\eta^3}{w^2 \tan^3 \bar{\varphi}} \right) + \right. \right. \\ & \left. \left. \frac{\eta^2}{6 \tan^3 \bar{\varphi} \cdot w^2} \left(\frac{D}{H} - w \tan \bar{\varphi} \right)^3 \left\{ \frac{1}{3} - \log(D - H \cdot w \tan \bar{\varphi}) \right\} + \dots \right] \right) \end{aligned} \quad (10)$$

ここで

$$\mu = \sin(\bar{\varphi} + \phi') \cos \varphi \cdot \cos \bar{\varphi} \cdot K \sqrt{1 + \tan^2 \phi'}$$

$$\tan \lambda = \frac{\mu \cos \beta - K \sin \varphi}{\mu \sin \beta}$$

盛りとばし橋台における主動土圧増加係数 C_A は、 α 、 β 、 δ 等の関数としてだけでなく、 $\frac{H}{B} \cdot \frac{D}{H}$ の関数として表わされている。長い式ではあるがグラフ化しておけば十分に実用に供され得ると思う。一例として図-3に C_A の $\frac{D}{H}$ による変化を示した。巾が 2.5 m、高さ 10 m、脚柱間隔 5 m、 $\alpha=90^\circ$ 、 $\phi=30^\circ$ の場合、 C_A は 1.44 であることがわかる。

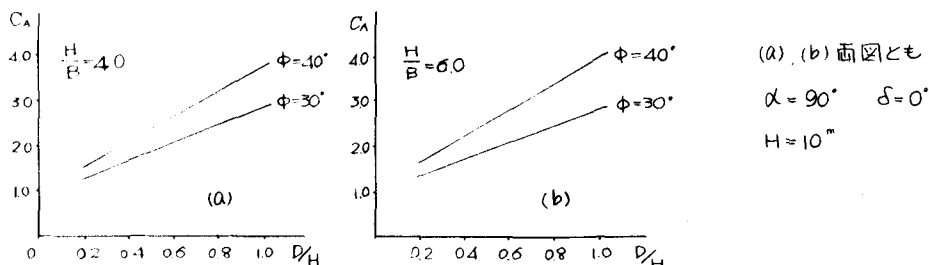


図-3 主動土圧増加係数 C_A

3. 実験と考察

実験は計算式と同じように、脚柱とその間にはさまれている壁を最初一体として、下端ヒンジで上端を倒して主動土圧を発生させ、ついで、脚柱を停止し、脚柱間の壁および外側の壁を静かに倒して、脚柱間の土を崩壊させた。すると脚柱のうける土圧は増加して一定値に達する。図-4は測定された C_A を、図-5は増加土圧をあらわしたものである。実験に使用した砂は乾燥砂で $\phi=30^\circ$ の Loose Sand で $\delta=0^\circ$ 、 $2H=20$ cm、 $H=10$ cm、 $2D=30, 40, 60$ cm の間隔等の条件で行った。 $\frac{D}{H}$ が小さい範囲においては、実験値と理論解は合うように思われる。

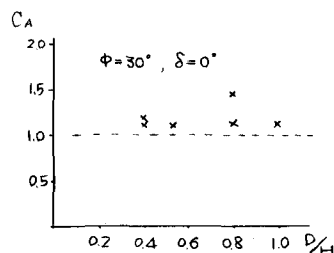


図-4 C_A の測定値

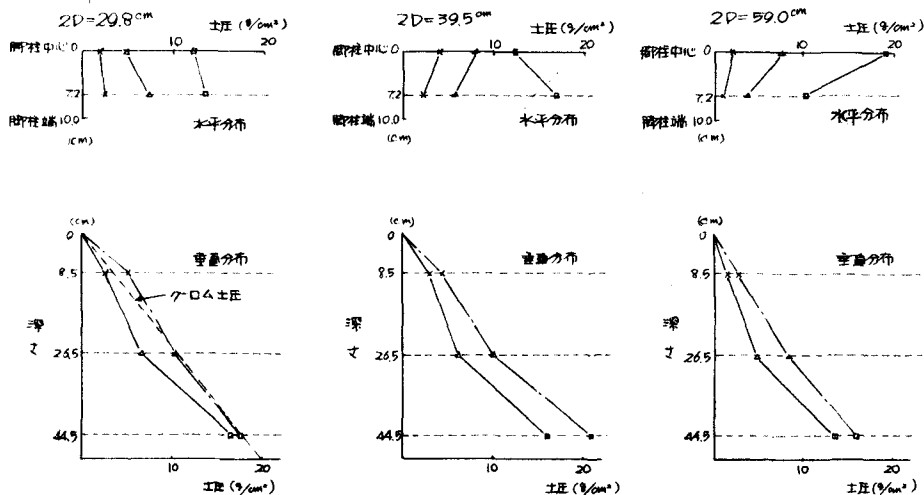


図-5 増加土圧

参考文献

- 1) 山口 「アーチ作用の理論とその応用」土木学会第20回年次学術講演概要
- 2) Spangler M. G Under ground conduit ASCE Div. of Soil and Found 1950, Sept