岩田 健作

地盤工学分野

剛な擁壁に働く砂地盤の土圧分布

- 擁壁の傾斜角と背面地盤形状の影響 -

1.はじめに

擁壁に作用する土圧は、クーロンやランキンの土圧 論に基づいて算出されているが、実際の現場状況は、 これらの土圧論の成り立つ仮定のように単純なもので はなく、多分に経験的、便宜的に想定されているのが 現状である。既往の実験的研究では、鉛直擁壁の土圧 の深度分布および擁壁に働く土圧全般については、こ れまで系統的な研究が行われていない。またもたれ形 式の擁壁土圧の計測例は見当たらない。

本研究では、下端ヒンジとして主動側に回転変位す る擁壁に働く主働土圧の大きさと分布が擁壁の傾斜角 および背面地盤形状によってどう変化するかを遠心加 速度場での模型実験で調べ、合わせて慣用の土圧論に よる算出土圧とも比較した。

2. 実験装置と方法

図-1 に実験模型の概要を示す。模型擁壁は、下端に 付けた厚さ 1mm のステンレス鋼板を擁壁台に彫られ た深さ 1mm の溝にはめ込んでヒンジ構造を形成して いる。擁壁上部はスクリュージャッキに連結棒を介し て固定されており、スクリュージャッキを動かすこと で、擁壁の角度を自由に変えられる。鉛直下向きへは ゴムで、水平受働方向へは空気圧シリンダー(ピスト ン径 20mm)で拘束し、模型地盤作製時のヒンジや連 結棒のピンなどによる擁壁の「遊び」を除去している。

図-2 に模型擁壁を示す。擁壁は長さ 138mm×高さ 166mm×厚さ 19mm である。擁壁の両側は、遠心容器 側壁の摩擦を緩和するためのダミーになっており、中 央部は幅 7.8mm の受圧面を有する 10 個の土圧計(設 置間隔 8mm)になっている。土圧計は、両端支持桁に 2 つの四角孔をあけて肉厚を薄くし、受圧面に荷重が はたらくと、肉薄部にひずみが集中するようになって おり、その部分にひずみゲージを4枚貼ってある。

模型地盤は背面地盤形状の違いで次の4つの場合を 想定する。擁壁背面地盤が水平である場合の 水平背 面、擁壁背面地盤に傾斜角がある場合の 背面盛土、 背面に自立する切土がある場合の 切土地山、堤防の ように背面地盤が有限長の場合の 有限背面。模型地 盤は擁壁台の溝の深さを引いた高さ87mmまで作製し た。模型地盤高を3mに想定しているので、擁壁傾斜



角の違いに対して遠心加速度を変え換算実地盤高 3m を維持している。図-3に模型地盤の構成を示す。表記 した寸法は遠心加速度場の原型換算値である。 地盤材料は、空気乾燥豊浦砂($\rho_{dmax}=1.65g/cm^3$ 、 $\rho_{dmin}=1.36g/cm^3$)を用い、空中落下法(横詰め法)で 模型地盤を作製した。表-1に物理特性を、表-2に内部 摩擦角と相対密度の関係を示す。変位は擁壁上端に固 定した糸で回転変位計に伝えて測定する。

遠心載荷装置に設置し、遠心加速度場で模型擁壁上 端をモーター速度 400rpm で動かし、変位計の計測値 0.13mm ごとに土圧を測定する。変位計の計測値が 10mm 程度で実験を終了する。

3. 実験条件

表-3 に実験条件を示す。表記した高さや長さは遠心 加速度場の原型換算値である。背面地盤形状は水平背 面、背面盛土(1:1.5、1:2)、切土地山(d=0.5、1.0m)、 有限背面とし、擁壁の傾斜角 α_0 は 90°(鉛直)、73°、63°、 45°とした。ただし、切土地山での擁壁の傾斜角 $\alpha_0=45°$ は背面の自立した地山の傾斜角 $\epsilon=63°$ より小さくなる ため省略した。また、切土地山(d=0.5、1.0m)の $\alpha_0=90°$ はどちらの場合も地山部がすべり土塊外に位置し、水 平背面と同じ結果が得られるのでd=1.0mは省略した。 すべての実験で、相対密度 $D_r=25\%$ (ゆる詰め地盤)、 75%(密詰め地盤)の2通りの地盤密度を与えている。

4. 深度別土圧と擁壁変位の関係

擁壁の傾斜角 α_0 =90°、相対密度 D_r =25%の場合を例 として、図-4に擁壁の変位に対する深度別土圧の測定 結果を示す。凡例の深度 z は各土圧計の中心深度を遠 心加速度場の原型換算した値である。水平背面では擁 壁の下部ほど、土圧が大きく計測されており、他の背 面地盤形状でも同じ傾向を示した。水平背面の場合は、 擁壁の変位に対して、最初に土圧が急激に減少し、そ の後緩やかに減少しており、増減のゆれを生じている。 切土地山では変位に対してあまり土圧は減少せず、ゆ れ幅も小さい。有限背面では水平背面の場合よりも土 圧が少し小さく、ゆれ幅が多少大きい。背面盛土では 水平背面と比べて、土圧も大きく、ゆれ幅は非常に大 きい。盛土勾配 1:2 の方が、変位が進んでも土圧の減 り方が少ない。

変位に伴う土圧のゆれは深度ごとに位相がずれて現 れる。隣り合う土圧計で計測される土圧の差がゆれ幅 より小さくなり、深度順に並ばない場合がある。擁壁 の変位は下端をヒンジとする回転変位であるため、地 盤は地表付近から下方に向かって変形する。その結果、 土圧のゆれが地盤の深度方向に伝播しているようであ る。

表-1 物理特性

試料	D _{max} (mm)	$\rho_{\rm s}$ (g/cm ³)	F _c (%)	U _c	$\rho_{\rm dmax}$ (g/cm ³)	$\rho_{\rm dmin}$ (g/cm ³)
豊浦砂	0.425	2.65	0	1.9	1.651	1.355

表-2 内部	2 内部摩擦角と相対密度の関係						
$D_{\rm r}(\%)$	25	75					
$\phi_{d}(^{\circ})$	32	36					

表-3 実験条件

背面地盤構成	擁壁の傾斜角 α_0
水平背面 H=3m	
-1 背面成十 $H=3mH_0=1.5m$ $\beta=34^{\circ}(1:1.5)$	90°(鉛直)
-2 $\beta = 27^{\circ}(1:2)$	73°
-1 $t_{\rm T}$ +	63°
-2 $d=1.0m$	45°
有限背面 H=3m,δ=34°(1:1.5) B=1m	



5.背面地盤形状と土圧

相対密度 Dr=25%の場合を例として、図-5の上欄に 擁壁変位前の静止土圧を、下欄に主働土圧を示す。主 働土圧は変位が D/H=0.05 の時の値としている。α₀=90° の場合の静止土圧をヤーキー式の値を図に示すが、水 平背面地盤の場合にほぼ一致している。この土圧の深 度分布を変位ごとに積分して全土圧を求め、擁壁の変 位との関係として図-6 に示す。図中の矢印で示す数値 は後述の算出式で求めた主働土圧である。図は擁壁の 傾斜角 α₀=90°、73°で Dr=25%の場合を示した。 (1) 静止土圧

水平背面の場合は擁壁の傾斜角が小さいほど、土圧 が小さい。背面盛土の場合は水平背面と同じ傾向を示 すが、水平背面と比べて土圧が大きい。切土地山の場 合は、ほかの背面地盤形状に比べて傾きが小さく、土 圧が小さい。またこの傾向は d=0.5 の方が顕著である。 これは切土面の摩擦抵抗の効果であると考えられる。 有限背面では水平背面と似ているが、全般に小さい。 (2) 主働土圧

主働土圧はほぼ三角分布で擁壁の傾斜角が小さくなると、土圧が小さくなり、 $\alpha_0=45^\circ$ ではほとんど土圧は発生していない。背面盛土の場合は水平背面よりも土圧が大きい。切土地山と有限背面の場合は水平背面とほぼ同じである。

(3) 全土圧 - 変位関係

D/H=0.01 までは急激に、その後緩やかに減少してい る。水平背面の場合は理論値と D/H=0.02 までに交差 し、D/H=0.05 で土圧が低い。背面盛土の場合は理論値 と D/H=0.03 までに交差し、D/H=0.05 で水平背面と同 じぐらい理論値より土圧が低い。切土地山、有限背面 の場合、水平背面と同じ傾向で水平背面、切土地山、 有限背面の順に土圧は小さくなっている。



6. 土圧の算出式

静止土圧はヤーキーによる式(1)を用いた。
$$P_0 = \gamma \cdot z(1 - \sin \phi)$$

 γ :単位体積重量(tf/m³) z:地盤面からの深さ ϕ :せん断抵抗角(度)

主働土圧は「大型ブロック積み擁壁設計・施工マニ ュアル」に示されているクーロンの土圧論に基づいた 算出式を用いた。図-7に主働土圧を導くモデルを示す。

$$P_A = \frac{W\sin(\omega_A - \phi)}{\cos(\omega_A - \phi + \alpha)} \tag{1}$$

P_A: 主働土圧の合力(tf/m) W: すべり土塊の重量(tf/m) ω_A: 主働すべり角(度)α: 壁面が鉛直面となす角(度)

式(1)において、すべり角を1度程度の刻みで変化さ せて計算し、 P_A の最大値を求める。その P_A が主働土 圧であり、そのときのすべり角が主働すべり角 ω_A であ る。式(1)中のWは背面地盤形状によって以下の式で 求める。 W_1 :水平背面、 W_2 :背面盛土、 W_3 :有限背面 の場合のすべり土塊の重量である。

$$W_{1} = \frac{\gamma}{2\sin\omega_{A}} \cdot \frac{\cos(\omega_{A} + \alpha)}{\cos\alpha} \cdot H^{2}$$
$$W_{2} = \frac{\gamma}{2\cos\alpha} \left\{ \frac{\cos(\omega_{A} + \alpha)}{\sin\omega_{A}} (H + H_{0})^{2} - \frac{\cos(\alpha + \beta)}{\sin\beta} H_{0}^{2} \right\}$$
$$W_{3} = \frac{\gamma}{2\sin\omega_{A}} \cdot \frac{\cos(\omega_{A} + \alpha)}{\cos\alpha} \cdot H^{2} - \frac{\gamma}{2} \cdot \frac{\sin\omega_{A}\sin\delta'}{\sin(\omega_{A} + \delta')} \cdot \left\{ \frac{\cos(\omega_{A} + \alpha)}{\sin\omega_{A}\cos\alpha} \cdot H - B \right\}$$

切土地山の場合は、「大型ブロック積み擁壁設計・施 エマニュアル」に示されている簡便式を適用する。

$$P_{A} = \sqrt{1 - \left(\frac{d - d_{1}}{d_{1}}\right)^{2} \left(P_{A1} - P_{A0}\right) + P_{A0}}$$

 $d_1 = \sin(\varepsilon - \omega_A) / \sin \varepsilon \sin \omega_A \cdot H$

d: 擁壁かかとから地山までの距離(m)

d₁:地山の影響を無視できる距離(m)

 ε :地山が水平面となす角(度) ω_A :主働すべり角(度) $P_{A0}: d=0$ の場合の主働土圧合力(tf/m)。盛土部擁壁で 主働すべり角を $\omega_A = \varepsilon$ とおいて算出することができる。 $P_{A1}: 盛土部擁壁とみなした場合の主働土圧合力(tf/m)$

図-8 の(a)の状態と(c)の状態についてそれぞれ主働 土圧を算出し、2 つの主働土圧 *P*_{A0}、*P*_{A1}と盛土部擁壁 と見なせる地山からの離れ距離 *d*₁とによって任意の *d* における主働土圧を算出する。

7. 結論

静止土圧と主働土圧ともに土圧の深度分布において、 三角分布が測定できた。擁壁の傾斜角が小さくなると 土圧も小さくなり、 $\alpha_0=45^\circ$ ではほとんど土圧の発生が なくなった。水平背面で $\alpha_0=90^\circ$ の場合にヤーキーの静 止土圧と近い静止土圧が測定でき、クーロンの主働土 圧と近い主働土圧が測定できた。

全土圧は、主働土圧とした D/H=0.05 において理論 値よりも低くなったが、理論値はどの背面地盤形状に おいても目安値を与えている。

全土圧に対する背面地盤形状の影響は有限背面、切 土地山、水平背面、背面盛土の順で土圧が大きくなる ことがわかった。また、擁壁の傾斜角 α_0 が小さいほど、 土圧が小さく背面地盤形状の影響も受けにくい。

参考文献 大型ブロック積み擁壁設計・施工マニュア ル(改訂版):社団法人土木学会四国支部 耐震性大型 コンクリートブロック積み擁壁に関する研究委員会

