

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。

遠心载荷装置に設置し、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 $\alpha_0=45^\circ$ は背面の自立した地山の傾斜角 $\varepsilon=63^\circ$ 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 $\alpha_0=90^\circ$ 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。

表-1 物理特性

試料	D_{max} (mm)	ρ_s (g/cm^3)	F_c (%)	U_c	ρ_{dmax} (g/cm^3)	ρ_{dmin} (g/cm^3)
豊浦砂	0.425	2.65	0	1.9	1.651	1.355

表-2 内部摩擦角と相対密度の関係

D_r (%)	25	75
ϕ_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 背面盛土 $H=3m, H_0=1.5m$	$\beta=34^\circ(1:1.5)$	90° (鉛直)
-2	$\beta=27^\circ(1:2)$	73°
-1 切土地山 $H=3m, \varepsilon=63^\circ(1:0.5)$	$d=0.5m$	63°
-2	$d=1.0m$	45°
有限背面 $H=3m, \delta=34^\circ(1:1.5)$ $B=1m$		

4. 深度別土圧と擁壁変位の関係

擁壁の傾斜角 $\alpha_0=90^\circ$ 、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。

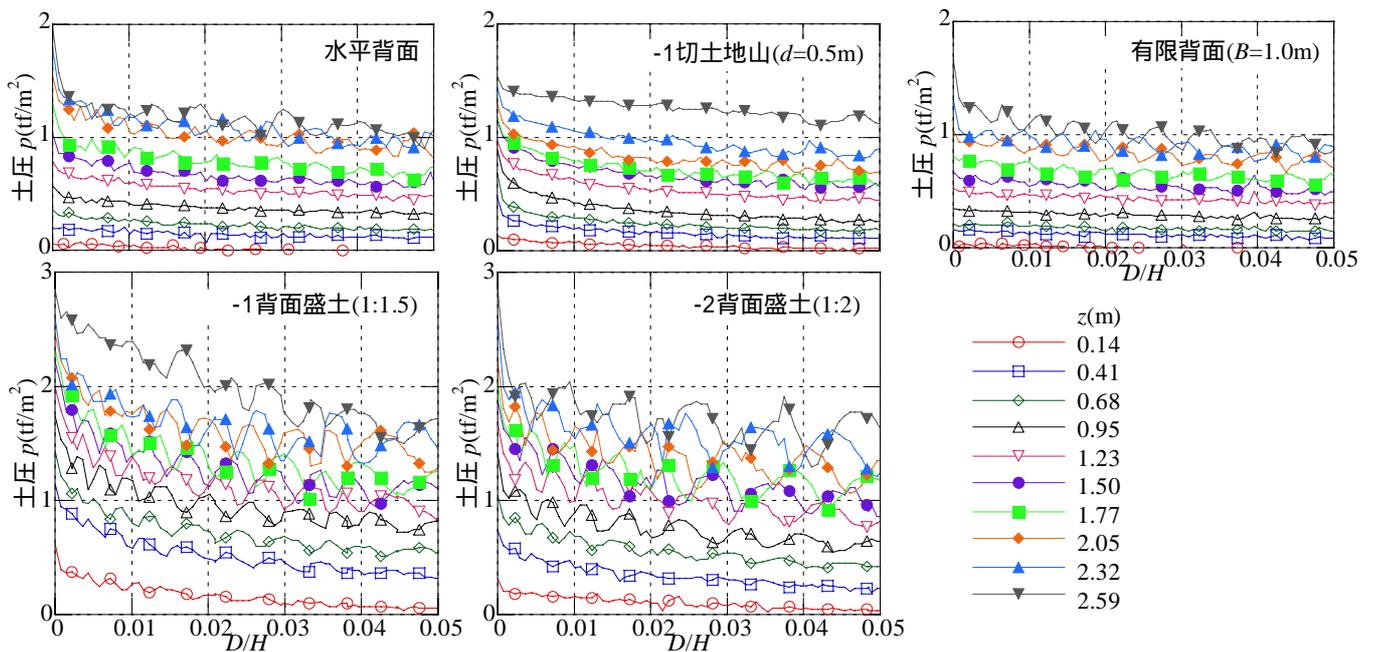


図-4 擁壁の傾斜角 $\alpha_0=90^\circ$ (鉛直) における深度ごとの計測土圧

5. 背面地盤形状と土圧

相対密度 $D_r=25\%$ 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。 $\alpha_0=90^\circ$ の場合の静止土圧をヤキー式の値を図に示すが、水平背面地盤の場合にはほぼ一致している。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 $\alpha_0=90^\circ$ 、 73° で $D_r=25\%$ 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、 $D/H=0.05$ で水平背面と同じく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。

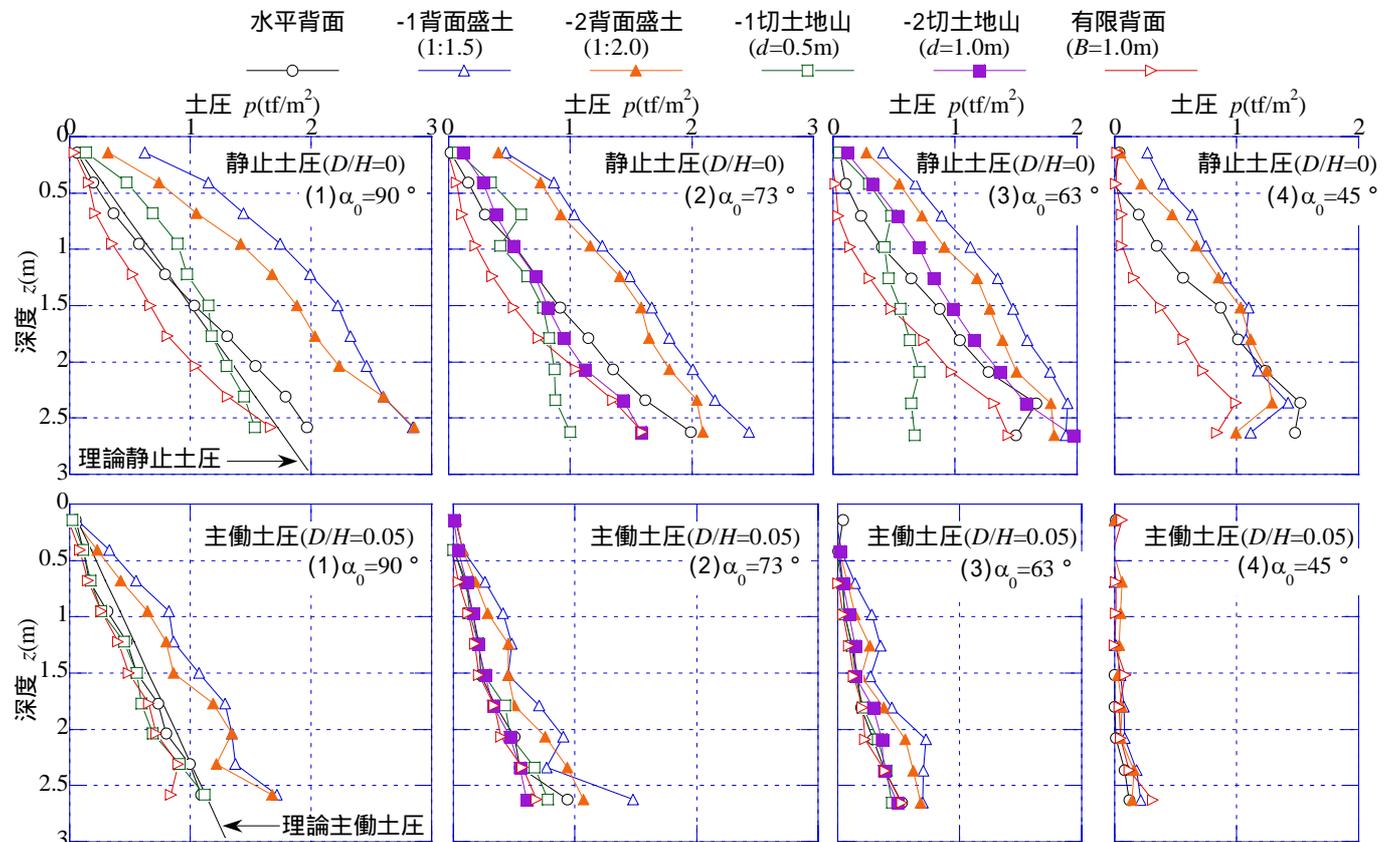


図-5 土圧の深度分布($D_r=25\%$ の場合)

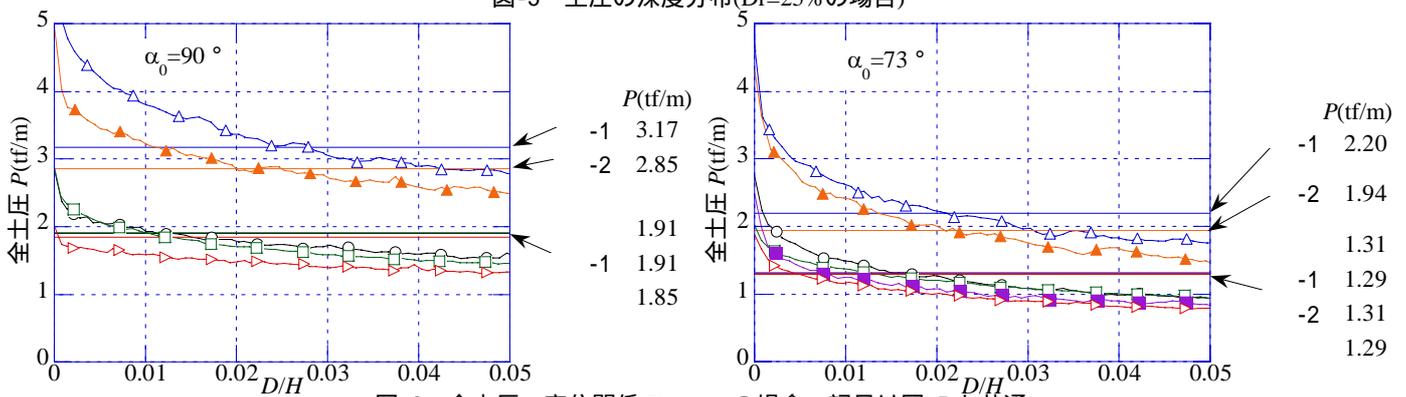


図-6 全土圧 - 変位関係($D_r=25\%$ の場合、記号は図-5 と共通)

6. 土圧の算出式

静止土圧はヤークーによる式(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。

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

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。

$$W_1 = \frac{\gamma}{2 \sin \omega_A} \cdot \frac{\cos(\omega_A + \alpha)}{\cos \alpha} \cdot H^2$$

$$W_2 = \frac{\gamma}{2 \cos \alpha} \left\{ \frac{\cos(\omega_A + \alpha)}{\sin \omega_A} (H + H_0)^2 - \frac{\cos(\alpha + \beta)}{\sin \beta} H_0^2 \right\}$$

$$W_3 = \frac{\gamma}{2 \sin \omega_A} \cdot \frac{\cos(\omega_A + \alpha)}{\cos \alpha} \cdot H^2 - \frac{\gamma}{2} \cdot \frac{\sin \omega_A \sin \delta'}{\sin(\omega_A + \delta')} \cdot \left\{ \frac{\cos(\omega_A + \alpha)}{\sin \omega_A \cos \alpha} \cdot H - B \right\}^2$$

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

$$P_A = \sqrt{1 - \left(\frac{d - d_1}{d_1} \right)^2} (P_{A1} - P_{A0}) + P_{A0}$$

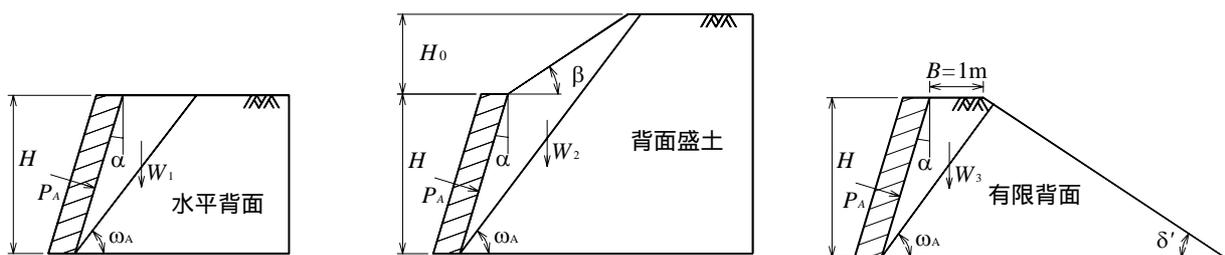


図-7 主働土圧式を導くモデル

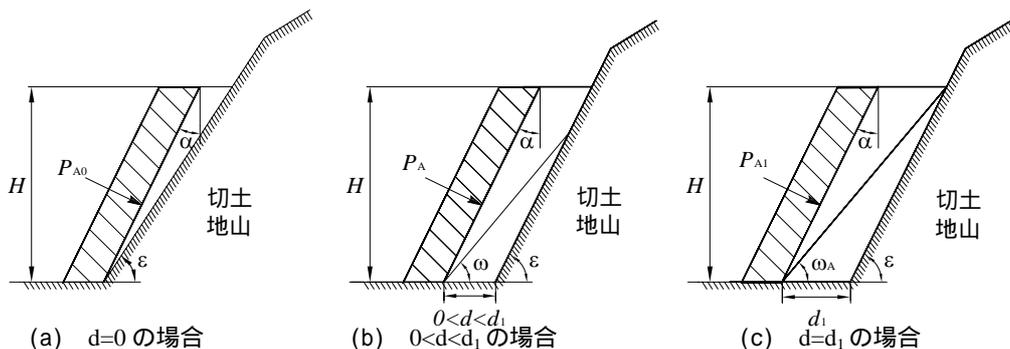


図-8 切土地山の主働土圧式を導くモデル

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

d : 擁壁かかとから地山までの距離(m)

d_1 : 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 $\omega_A = \varepsilon$ とに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 $\alpha_0=90^\circ$ の場合にヤーク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