

# もたれ擁壁に働く主動土圧の研究

地盤工学

新井偉史

## 1. 研究の目的

もたれ擁壁とは、地山や裏込め土砂のすべりや膨れ出しを擁壁の自重で抑えて抵抗する構造形式の擁壁である。もたれ勾配は主として1:0.3~1:1.0の間で施工されている。もたれ擁壁は基礎地盤が軟弱な場合には不適であり、耐震性にも劣るので高さの大きい土留め壁には用いられないが、経済性、施工性に優れているので多用されている。しかし、もたれ擁壁の設計は多分に経験的に行われ、力学的な扱い方、特に擁壁に働く土圧はいまだに謎に包まれたままであるとって過言でない。

そこで、本研究では、もたれ擁壁に働く土圧の分布を実験的に再現できる模型実験装置を開発した。この装置で可動壁を用いた遠心模型実験を行い、土圧の実態について研究する。その際、Modeling of Modelsの手法により、遠心力の相似則と実験の再現性を調べる。また、既存の土圧式による計算式と実験値との比較も行う。

## 2. 実験装置と方法

図-1のように、模型擁壁は長さ135cm×幅138cmでの上部は可変速モーターで駆動するスクリージャッキにヒンジで固定され、下部はローラーベアリング上の支持板にヒンジで固定し、支持板は下部のスクリージャッキで水平に押さえられている。今回の実験は上部のみを主動方向に動かし、下端をヒンジとして擁壁を回転変位させる。擁壁は図-2のように、両端を壁面摩擦をさけるダミー部として、中央部を上下に分割して幅12mmの受圧面とする土圧計となっている。

土圧計はアルミ合金製で、擁壁表面に垂直に作用する土圧を測る垂直土圧計と、受圧面の摩擦に起因するせん断土圧計を組として持つ。垂直土圧計は単純桁の両端で、また、せん断土圧計は垂直土圧計の取付部と壁への固定部との間に、それぞれ四角い孔を設けて桁の断面積を減らし、その縁に貼ったひずみケージで出力を得る、高感度の荷重計で採られる形式を採っている。土圧計のリード線は、模型擁壁ダミー部の空洞を通して上部に出している。試料土は乾燥豊浦砂 ( $\rho_{dmax}=1.65g/cm^3$ 、 $\rho_{dmin}=1.35g/cm^3$ ) を用い、擁壁を所定の角度に調整した後、空中落下法により供試体を作成した。変位は擁壁上部に固定した糸を回転変位計に伝えて測定する。また、地盤変形の観測用に、水で軟化させた素麺に油を塗って

乾燥地盤中で乾燥しないようにして観測ガラス面に貼り付けて用いた。遠心载荷装置に設置後、所定の遠心加速度に達し、擁壁を1°当り10分程度で動かした。回転変位が0.1°ごとに土圧を測定した。また、特定の擁壁角度ごとに写真撮影により、地盤の変形を記録した。

本研究の条件は、擁壁初期角度を $\alpha_0=90, 80, 60^\circ$ に、遠心加速度を25、50、75gに、相対密度を $D_r=25, 75\%$ に変化させた。

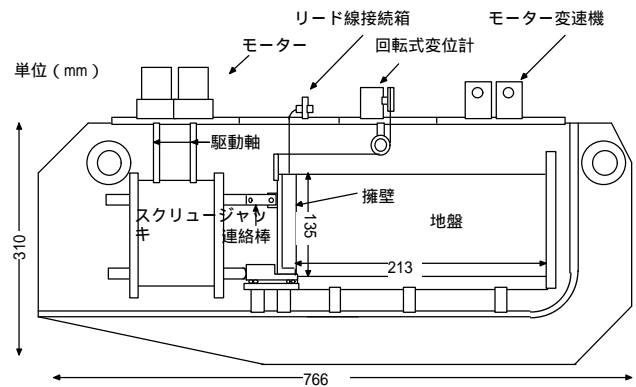


図-1 遠心模型容器の概略

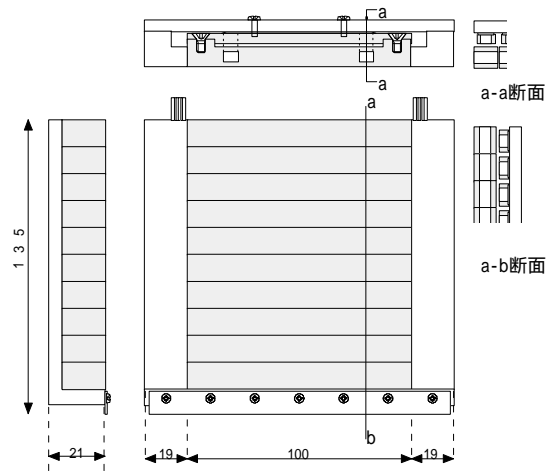


図-2 模型擁壁

## 3. 深度別土圧変化

図-4に深度別土圧 擁壁角度の関係を示す。ただし、今回の実験では壁面は滑らかで、せん断土圧が小さいため、垂直土圧のみで考える。遠心加速度50gのもののみを示す。土圧分布の地盤下部の土圧は擁壁の回転変位に対していずれも振動状態を示し、隣り合う土圧計同士の揺れの周期は等しく、位相がずれて、山と谷が一致している。特に、緩地盤に顕著に見られる。これは、局所的

なせん断が断続的に様々な場所で生じていると考えられる。密地盤の擁壁下部で、土圧が一旦下がっていくが、再び増加していく傾向が見られた。

#### 4. 土圧の深度分布

図-5 に水平土圧の深度分布を示す。これは、初期角度と特定の擁壁角度における土圧を実換算深度にプロットしたものである。ただし、測点は土圧計の中央にプロットする。擁壁の初期角度が小さくなると、水平土圧は小さくなる。静止土圧から僅かな擁壁の回転で主動状態になる。また、初期角度が小さいほど土圧の変化量は大きくなる。主動土圧がきれいな分布を示しているのに対し、静止土圧の分布はほとんどの条件でばらつきが見られる。これは、地盤作成時の締めムラに起因すると考える。初期角度  $90^\circ$  の場合はほぼ三角分布を示しているが、初期角度が小さくなるにつれて、下に凸の放物線分布に近くなる。

#### 5. 全土圧変化

図-6 に全土圧 擁壁角度の関係を示す。全土圧は土圧分布を深度方向に積分して求める。擁壁が傾くと地盤深度が小さくなるため、補正として、全土圧に  $\sin\alpha_0$  を掛ける必要がある。全土圧では、深度別土圧変化で見られた振動状態が緩和されている。緩地盤の主動土圧の方が密地盤より大きいが、密地盤において、土圧は一旦急激にさがり、ピークになるが、その後増加傾向を示し、緩地盤の主動土圧に近づく。これは密地盤では、ある程度までは砂同士の結びつきで耐えられるが、ある一定の擁壁角度を越えるとそれだけでは耐えられなくなり、擁壁に土圧として働くのだと考えられる。初期角度  $90^\circ$ 、 $80^\circ$ 、 $60^\circ$  の場合は、主動土圧はもたれ擁壁の高さが  $n$  倍になれば、主動土圧はほぼ  $n^2$  倍になる傾向が成り立っている。

#### 6. 地盤変形

図-7 に擁壁回転後の地盤の破壊状況を示す。これは、地盤に貼り付けた素麺と地盤の変形をトレースし、すべり線を引いたものである。密地盤の変形は素麺の変形が折れ曲がるように変形していることから、局部的なすべりを伴いながら段階的に変形したと思われる。相対密度が大きくなるとすべり角が大きくなる傾向がある。

#### 7. Modeling of Models の検証

Modeling of Models の検証は初期角度  $90^\circ$ 、相対密度 75%、実地盤高さが 3m になるように、遠心加速度と模型地盤高を  $25 \times 12$ 、 $50 \times 6$ 、 $75 \times 4$ cm で行った。図-8 は静止土圧と、擁壁角度  $90.1^\circ$ 、 $91^\circ$ 、 $92^\circ$  の主動土圧を示す。図中に破線でランキン土圧（主動土圧・式(1)）とヤーキー土圧（静止土圧・式(2)）を示す（ただし、 $\gamma=1.56$ 、 $\phi=36^\circ$ ）。主動土圧と静止土圧の深度分布は、それぞれランキン土圧とヤーキー土圧に似た分布を示しているが、50g の場合は底面付近を除いて全体的に小さい値を示

している。

#### 8. 実験値と計算値の比較

既存の土圧式として、静止土圧はヤーキーの土圧式、主動土圧はランキンの土圧式を用いた（いずれも  $\alpha_0=90^\circ$  の場合）。また、もたれ擁壁には「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系の土くさび式を用いた。

$$p_a = g \cdot z \frac{1 - \sin f}{1 + \sin f} \quad (1)$$

$$p_0 = g \cdot z(1 - \sin f) \quad (2)$$

$$P_A = \frac{W \sin(\alpha - \omega_A) - c l \cos(\alpha - \omega_A)}{\cos(\alpha - \omega_A + \beta)} \quad (3)$$

$$\omega_A = \tan^{-1} \left\{ \frac{\cos(f - \beta)}{\sqrt{\frac{\cos(-\beta) \sin f}{\cos \beta \sin f} - \sin(f - \beta)}} \right\} \quad (4)$$

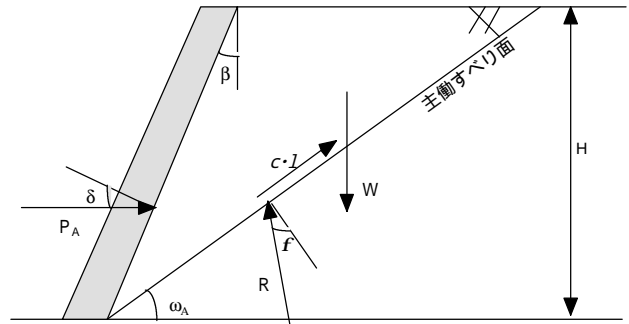


図-3 盛土部擁壁の主動土圧の計算法

ここに、

$P_A$ :主動土圧の合力(tf/m)、 $W$ :地表面の引張亀裂深さ  $z_c$  を考慮したすべり土塊の重量(tf/m)、 $\phi$ :裏込め土のせん断抵抗角(度)、 $c$ :裏込め土の粘着力(tf/m<sup>2</sup>)、 $\gamma$ :裏込め土の単位体積重量(tf/m<sup>3</sup>)、 $\omega_A$ :主動すべり角(度)、 $l$ :すべり角の長さ(m)、 $\beta$ :壁面が鉛直面となす角(度)

ただし、式(3)、(4)は一般式をこの実験条件に合わせて整理している。式(1)、(2)の場合は図-5(1)に示す。主動土圧については非常に良く合っているが、静止土圧は多少ばらつきが見られるため、合っているとは言い難い。図-9 は計算値と実験値の関係をグラフにしたものである。ただし、主動すべり角( $\omega_A$ )は式(4)で示したものをを用いている。実験値と計算値はほぼ近い値を示しているが、初期角度  $90^\circ$  の場合は計算値の方が大きく出ている。一方、初期角度  $60^\circ$  の場合は実験値の方が大きく出ている傾向がある。

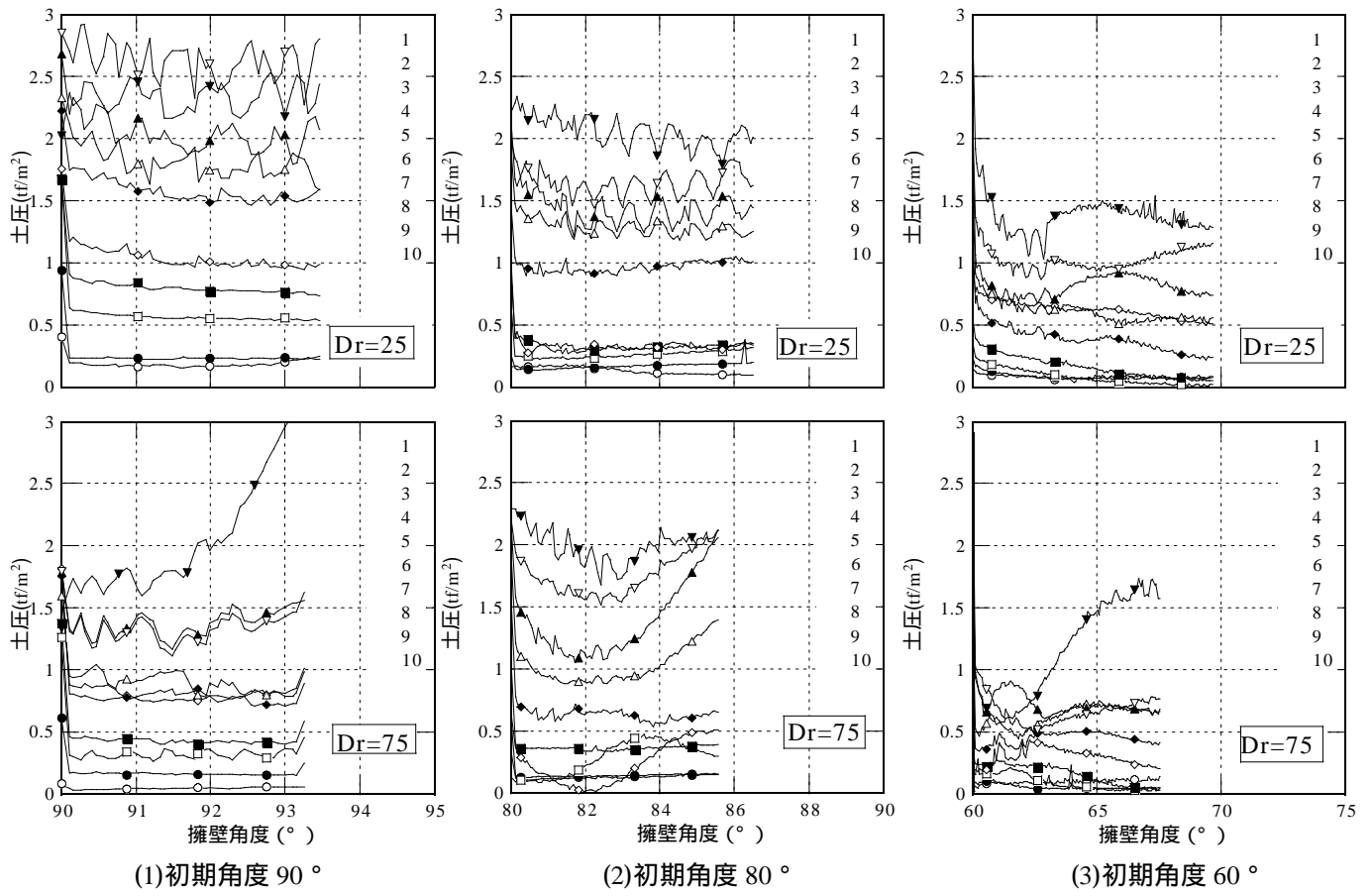


図-4 深度別土圧変化 (遠心加速度 50 g)

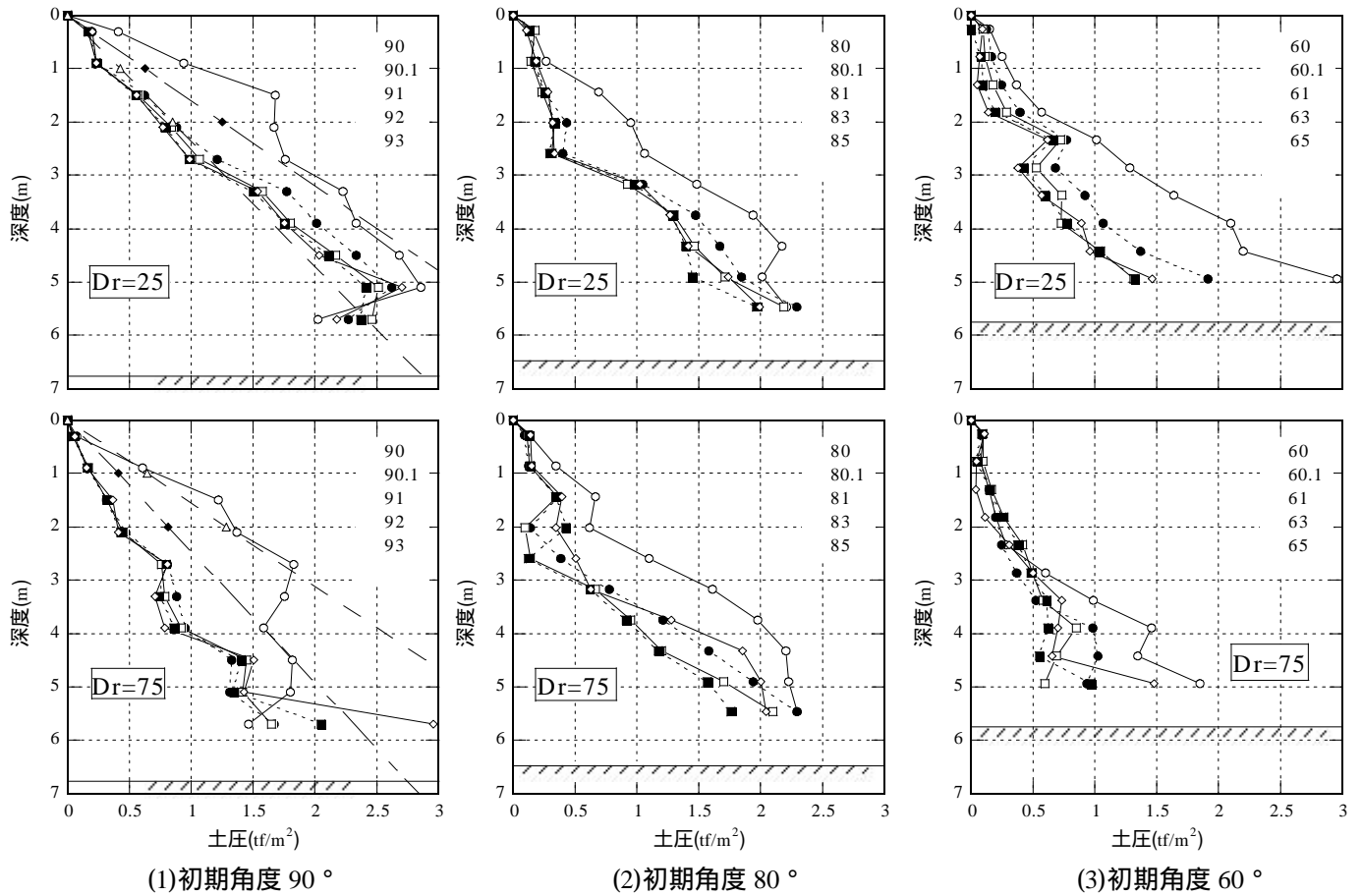


図-5 土圧の深度分布 (遠心加速度 50 g)

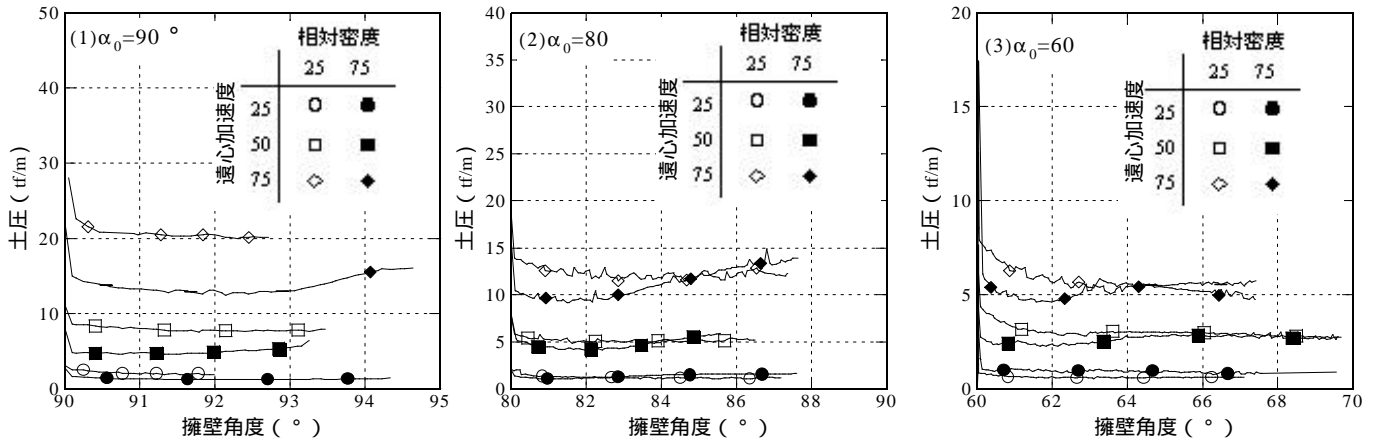


図-6 全土圧 擁壁角度の関係

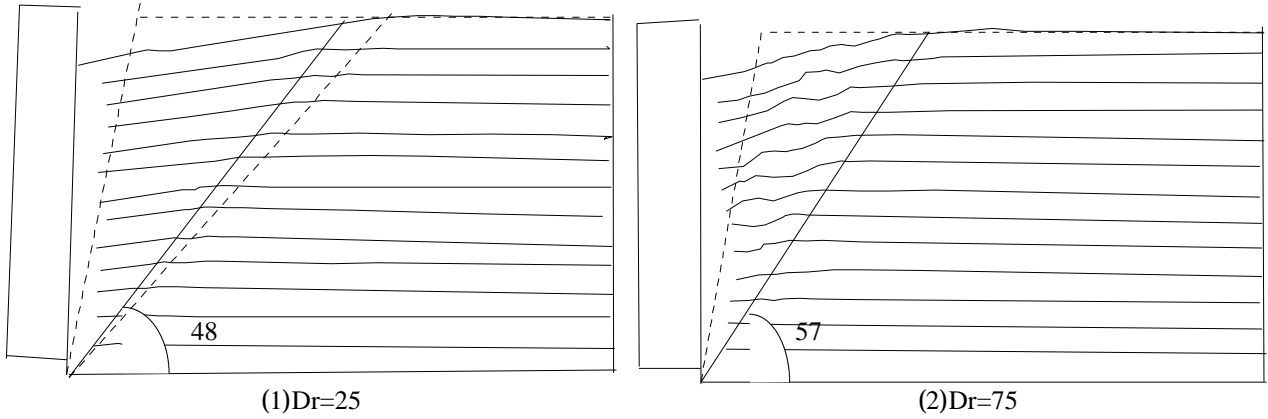


図-7 地盘变形 ( $\alpha_0=80^\circ$  遠心加速度 50g)

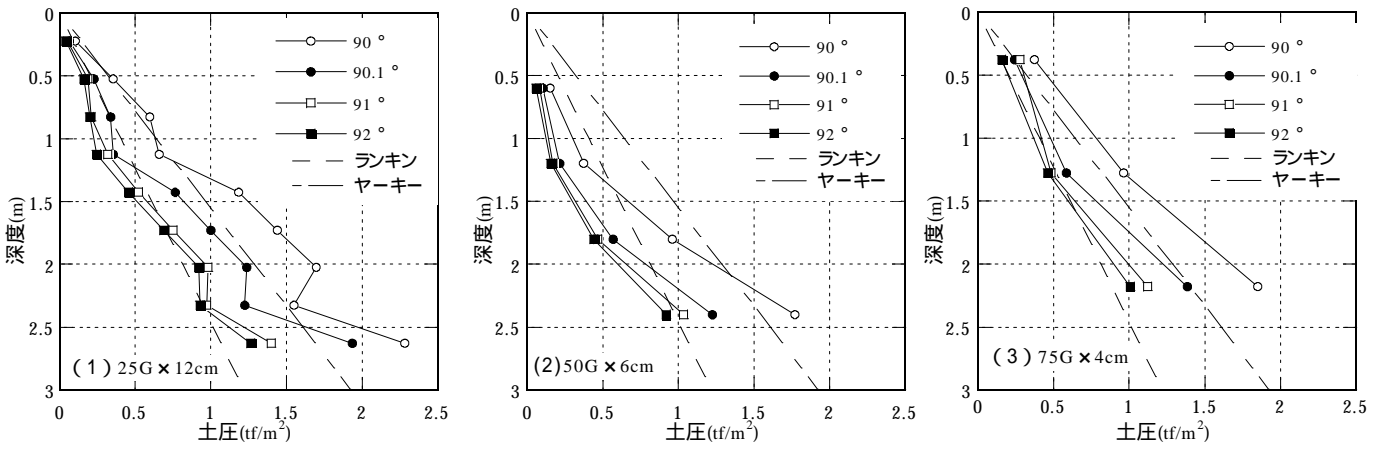


図-8 modeling of models の検証 ( $\alpha_0=90^\circ$ 、 $Dr=75\%$ )

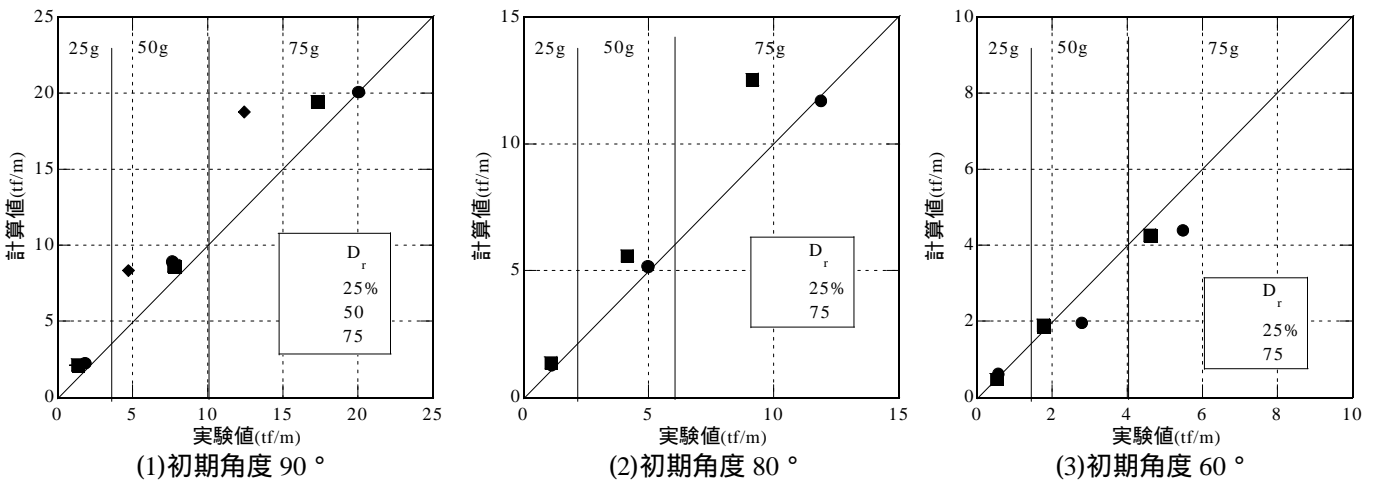


図-9 計算値と実験値の比較