

土槽模型実験における斜面側面と土槽の壁面境界に作用する摩擦に関する考察 Consideration of the lateral friction on the boundaries between a soil chamber and a slope model

○吉田伊織・ピパットポンサー ティラポン・宮崎祐輔
○Iori YOSHIDA, Thirapong PIPATPONGSA, Yusuke Miyazaki

Slope failure is a critical issue that can cause substantial socio-economic losses. In order to understand the causes and mechanisms of slope failure, simple model experiments have been conducted. In such model experiments, the setting of parameters at the boundary is very important. In particular, the effect of lateral shear resistances on the side walls cannot be ignored. In previous studies, some methods have been suggested to reduce the lateral shear resistances, but there are insufficient researches in which the lateral friction is considered. This study included the effect of friction in the formulation of the lateral earth pressure based on Rankine's passive earth pressure theory.

1. はじめに

近年、日本をはじめとするアジア地域において、斜面災害が深刻な問題となっている。斜面崩壊による人的・経済的被害を低減させるため、そのメカニズムの解明・また予測手法の確立が望まれる。斜面崩壊の起因やメカニズムを解明する上で、供試体を用いた簡易なモデル実験による研究が進められている。こうしたモデルを用いた実験においては、境界面におけるパラメータの設定が非常に重要である。特に、側方仕切りのあるモデルを用いた実験では、側面の摩擦力の影響を無視することはできない。これまでの研究では、側方摩擦を低減するための提案が多数なされてきたが、側方摩擦を考慮した理論についての研究はあまり進んでいないのが現状である。本研究では、斜面側方に作用する土圧を推定するための理論を提案し、1G 模型実験の実験結果と比較することにより、妥当性を評価する。

2. ランキン土圧理論を用いた側方土圧の推定

Chen and Fang (2008)によると、非変形性の擁壁に作用する土圧の変化は、供試体の締固めによるものであり、鉛直方向の土圧への影響は小さいが、横方向の土圧への影響は大きいことを示している。供試体上部の横方向の土圧は静止状態ではなく、むしろランキンの受動土圧に近い値を示しているが、実際にはそれよりも小さい値を示す。そこで、側方土圧を精度よく推定するために、ランキンの受動土圧における線形分布項と一様分布項をそれぞれ減少させる2つの軽減係数 n_1 , n_2 を導入する。

この軽減係数の導入により、側面に作用する応力 σ_L は次式(2.5)で表される。

$$\sigma_L = \frac{1}{2} \sigma_N K_p n_1 + 2c\sqrt{K_p} n_2 \quad (1)$$

$$K_p = \frac{1 + \sin \phi}{1 - \sin \phi} \quad (2)$$

ここで、 σ_N は斜面に対し鉛直方向に作用する応力 σ_N 、 n_1 は線形分布項に適用される軽減係数、 n_2 は一様分布項に適用される軽減係数、 K_p は式(2)に示すランキンの受動土圧係数である。また、 ϕ は内部摩擦角、 c は粘着力である。

さらに軽減係数 n_1 , n_2 を求めるために、斜面上の直方体供試体の滑り出し実験を行った。供試体の上部よりローラー付きのサーチャージ荷重を載荷し、さらに斜面の傾斜角 α を大きくすることによりすべりを発生させる。供試体の自重とサーチャージによる駆動力 F_S と境界面（側方と底面）に発生する摩擦力 S が等しくなった時にすべりが発生する。 F_S と S は以下の式で表される。

$$F_S = W \sin \alpha + \Delta W (\sin \alpha - \tan \phi_r \cos \alpha) \quad (3)$$

$$S = 2(\sigma_L \tan \phi_i + c_i) LT + F_N \tan \phi_i + c_i LB \quad (4)$$

ここで、 W は供試体の重量、 ΔW はサーチャージの重量、 ϕ_i と c_i はそれぞれ供試体と境界面の間の

摩擦角と粘着力である。これらの式と式(1)より、すべり発生時の ΔW と α を記録することにより、実験結果から軽減係数 n_1, n_2 を求めることができる。以上の手順により、 $n_1 = 0.491, n_2 = 0.782$ が得られた。

3. 1G 模型実験の概要と結果

先に述べたランキン受動土圧理論、さらに実験により得られた軽減係数 n_1, n_2 の妥当性を評価するために別の 1G 模型実験を行った。実験の概要を図 1 に示す。

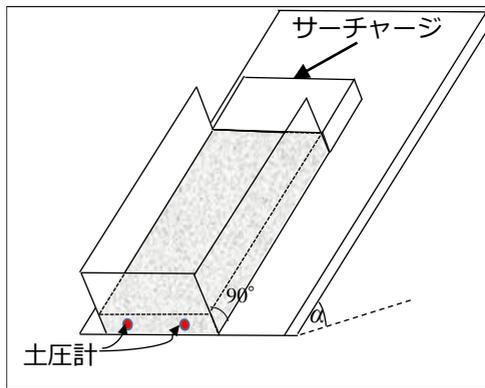


図 1 1G 模型実験の概要

前述の実験と異なる点は、斜面下部にストッパーを設置し、土圧計 2 台を設置した点である。またレーザーセンサーで変位を測定した。斜面の傾斜角 α は 30° 、ストッパーの角度 β は 60° とし、サーチャージ荷重を徐々に増加させ、斜面下部における応力 σ_b を測定した。斜面が安定状態にあるとき、締固めにより発生する受動土圧により、 σ_b は以下の式で表される。

$$\sigma_b = \sigma_L = \frac{1}{2} \sigma_N K_p n_1 + 2c \sqrt{K_p} n_2 \quad (5)$$

また、荷重の増加により斜面が不安定な状態にあるとき（遷移状態）、 σ_b は以下の式で表される。

$$\sigma_b = \frac{F_S - S}{BT} \quad (6)$$

さらに、応力が限界に達すると受動土圧が軽減されずに直接載荷される。つまり $n_1 = n_2 = 1$ となる。

$$\sigma_b = \frac{1}{2} \sigma_N K_p + 2c \sqrt{K_p} \quad (7)$$

以上の理論と実際に計測された値を図 2 に示す。

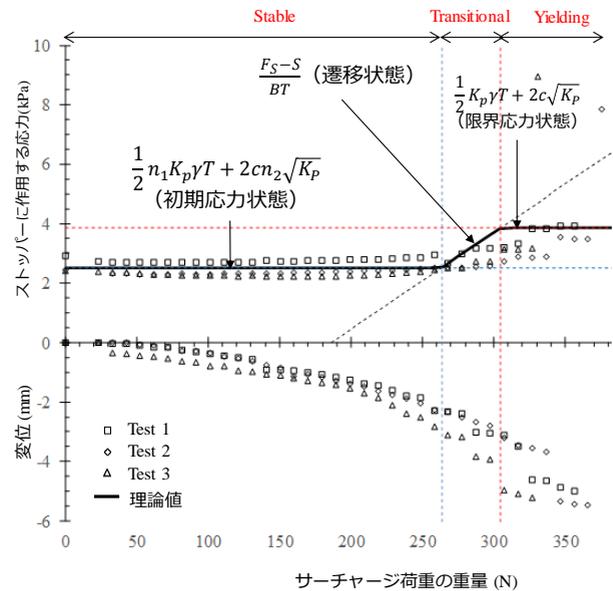


図 2 実験結果と理論の比較

実験結果より、ランキン受動土圧理論を用いることで、精度よく側方摩擦を推定することができた。さらに、計測された変位と土圧の値の変化の仕方に着目すると、変位は荷重が比較的小さい段階から徐々に増加していくのに対し、土圧はある閾値を超えると上昇を始める。したがって、斜面崩壊の予測や土砂災害の警報発令の観点からは、土圧の値に着目することが有効であると考えられる。

4. まとめと今後の展望

供試体を用いたモデル実験において、側方摩擦の影響を看過することはできない。そこで、ランキンの受動土圧理論を供試体の側方土圧の推定に適用したところ、実際に計測された値と概ね一致した。今後はさらにケース数を増やし、本研究の整合性を評価することが求められる。

参考文献

Chen TJ, Fang YS (2008) Earth pressure due to vibratory compaction. J Geotech Geoenviron Eng 134(4):437-44.