模型斜面の安定に及ぼすアーチ作用と破壊機構の影響

1. 研究背景および研究目的

地盤内の局所破壊が進行し不安定化した斜面の評 価や斜面崩壊の早期予測を行うにためには、最終的 なすべり面上の応力関係だけでは十分ではなく、地 盤全体の変形と破壊機構の解明が不可欠である. 徳 江・重村・井坂ら(2009)は、地盤内の深い位置での土 塊の動きをきっかけに法先付近に生じたアーチ作用 が斜面安定上有利に働くこと,また,この結果,すべ り面に土の破壊規準を適用するだけでは、破壊の進 行した斜面を評価できないことを示している.一方, 地盤内のアーチ作用の実態については、詳細を把握 するには至っていない. そこで本研究では, 地盤全体 の変形・破壊の進行と地盤内アーチの関係に着目し た. 具体的には, 新たに模型斜面傾斜除荷実験装置を 開発し, ①微小な変形時からのせん断帯の形成・発達 過程を克明に捉え,②模型斜面内部の破壊の進行と アーチ作用の関連、および③アーチ作用の斜面安定 に果たす役割を明らかにすることを試みた.

2. 傾斜除荷実験装置および実験方法

2.1 実験装置および模型斜面

模型斜面傾斜除荷実験装置(図 1)は、ロッドに連結 した法面固定壁(高さ 50mm)を 12 段設置することで 法面を拘束し、段階的に固定壁を取り外すことでせ ん断帯やすべり面の発達過程を微小な変形時から克 明に捉えることが可能となっている.

模型斜面は,粘性砂質土(Gs=2.64の6号珪砂にベントナイト,機械油を配合)を,間隙比e=1.10の超緩詰状態となるよう以下の手順で作製した.

はじめに土槽底部に層厚 100mm の水平地盤を作 製し,以降層厚 50mm 毎に突き固めた後に 1:1.2 の勾 配で法面を成形し固定壁を取り付ける過程を,斜面 高さ 600mm となるまで繰り返し作製した.なお,模 型斜面を自立させ 2 次元変形を促す補強材兼画像解 析用標点を 20mm 間隔で配置した.また,模型斜面 の前後拘束板を外し,平面応力状態とした.

2.2 傾斜除荷実験方法

キーワード:斜面安定,アーチ作用,破壊機構 連絡先:〒101-8308 東京都千代田区神田駿河台1-8-14

〇日本大学	正会員	重村	暂
㈱復建エンジニヤリング		近藤綾太	

実験は"傾斜過程"と"除荷過程"の2 段階で構成され,傾斜過程では1°/minの速度で1°ずつ傾斜し,除荷過程では傾斜角度一定の下,法面固定壁を上部から1段ずつ取り外した(以降,除荷ステップと呼称).なお,各傾斜過程,除荷ステップ毎に供試体の変形・底板応力の安定を確認した.また,除荷過程ではデジタルカメラにより1枚/secの速度で撮影した.





3. 模型斜面の変形・破壊の進行とアーチ作用の関係

図 2 に傾斜過程および除荷過程における底板垂直 応力の変化を示す.なお,底板垂直応力変化量は,底 板上の土被り圧(計算値)と実測値の差であり,正値は 土被り圧以上に応力が集中していることを表す.



3.1 傾斜および除荷過程の変形と応力状態の変化

傾斜過程では傾斜に伴い法先近傍の底板2,3,4の垂 直応力が増加するのに対し,天端直下の底板8,9,10の 垂直応力が減少していく傾向が見られる.これは,模 型斜面が超緩詰のため,法面固定下でも,法先に向け て斜面が詰まる結果,斜面上方の荷重が法先付近に 集中すると同時に,底板8,9,10付近において斜面上

電話: 03-3259-0675, E-mail: shigemura.satoshi@nihon-u.ac.jp

方の荷重の負担が減ったためと考えられる.

除荷過程では除荷ステップ 5 以降に法先近傍の底 板 3,4 の垂直応力が徐々に上昇を始め,その後除荷ス テップ 8 以降で急激に増加し,最終的には除荷ステ ップ10で表層の最終すべり面に沿って土塊が崩落し, 全体破壊に至ることが確認された.

3.2 法先近傍の応力上昇時の変形・破壊と応力状態

ここで,除荷早期の除荷ステップ5における剛体 回転コンターを図3に示す.斜面後方から厚さ約7cm の反時計回り(正値,赤色)の剛体回転の集中領域とし てせん断帯の発達が確認できる.このせん断帯上の 土塊の動きに伴い,法面固定壁10~12と底板3,4を 支点とするアーチを形成し,土塊上方の荷重を支え た結果,底板垂直応力が増加したと推察される.





次に,法先近傍の応力が急増する除荷ステップ 8 の剛体回転コンターを図 4 に示す.なお,剛体回転 は,ステップ7安定後からの変化量で示した.



図 4 除荷ステップ8における剛体回転コンター 深い位置の「すべり面1」の発達のほか、9段目固 定壁上方の弱面(層理面)での「局所破壊1」の発生と 「潜在すべり面2」の形成,さらにその上の土塊の回 転(負値=時計回り、緑色)が確認できる.このとき、 上部土塊の荷重の一部を、法先付近のアーチ形成領 域に伝達する結果、底板垂直応力が急増したことが わかる.このことは,次の3.4のように考察できる. 3.4 局所破壊の発生とせん断帯の垂直応力の偏心

図4に示した法面付近の「局所破壊1」の発生によ り、その局所破壊面および同面に直交する面のせん 断抵抗は大幅に低下する.このとき,局所破壊部右脇 のせん断帯に着目すると, せん断帯左側面のせん断 応力が働かない状況となり,図5のような側面の摩 擦を軽減した五連単純せん断供試体に類似した状況 となる.この試験では、供試体上下面に作用するせん 断力による回転モーメントに抵抗するように垂直力 が大きく偏心することが確認されている(Shigemura and Tokue, 2005). したがって, 本実験においては, せ ん断力による反時計回りのモーメント(正値=赤色)を 打ち消すため、せん断帯下面の垂直応力は大きく左 にすなわち法先方向に偏心することになる. その結 果,上部土塊の荷重を図4に示す黄矢印の方向,す なわち法先アーチ形成領域方向に伝達する結果,底 板応力が急増したことがわかる.



図 5 五連単純せん断試験における垂直応力の偏心 4. 結論

新たに開発した傾斜除荷実験装置を用いて,斜面 の安定に及ぼすアーチ作用と破壊機構の1つの役割 を明らかにした.具体的には,押さえ盛土工法等の法 先の補強工法では,抵抗モーメントの増加効果を期 待しているが,本研究により法先の補強の効果とし て,①法先付近の地盤内アーチの形成を促す結果,② 法先付近の地盤内アーチにより上部土塊の一部を受 け持ち,斜面安定上有利に働く効果が確認された.さ らに,③地盤内に局所的な破壊が発生し不安定な状 態の斜面であっても,上部土塊の荷重を法先部のア ーチ形成領域に伝達可能な間は最終すべり土塊を支 えることを明らかにし,局所破壊の進行した不安定 な状態の斜面の評価における一視点を見出した. <参考文献>

徳江, 重村, 井坂, 2009, 模型斜面の破壊機構におけるアー チ作用の役割, 第 44 回地盤工学研究発表会講演集 pp.369-370. Shigemura and Tokue, 2005, Failure mechanism and characteristics of soil subjected to interaction between soil elements in simple shear, Proceedings of the 16th International Conference on SMGE.