岩盤斜面の地震時安定性評価手法の構築に向けた試み(3)テンションクラックが斜面の地震時安定性に及ぼす影響

(独)原子力安全基盤機構	正会員	○中村英孝	村田雅明	
(財)鉄道総合技術研究所	正会員	西村隆義	坂井公俊	室野剛隆
日本大学 工学部	正会員	中村晋		

1. はじめに 地震時の斜面安定性を検討するため、図 1 に示す ように斜面内に崩壊が危惧される弱層を模擬した斜面の模型振動実 験を実施している¹⁾。その結果、斜面上部においてテンションクラッ クが発生した後、滑り線が発生して斜面崩壊する流れが確認され、 テンションクラックの発生が斜面崩壊の引き金となっている可能性 が想定された。そこで本検討では、テンションクラック発生の有無 をジョイント要素でモデル化した 2 次元 FEM 解析による実験シミュ レーションを実施し、テンションクラックの存在が斜面の応答に与 える影響を検討した。

2. 解析モデルの概要とテンションクラックのモデル化 斜面模型の振動挙動の解析には、鉄道総研が開発している 2 次元有限要素法による動的非線形解析プログラムを用いた。図 2 に解析モデルの概要を示す。斜面は高さ 0.9(m)、幅 1.5(m)であり、表層、弱層、基盤層の 3 層より構成されている。解析で着目する弱層は斜面内に角度40°、厚さ約 16cm で設定されており、これを実験時に設けた段切りを含めてモデル化した。各要素は平面ひずみ要素でモデル化し、弱

層付近は段切り部の変形にも追随できるように段切り1段で 4 要素程度(大きさ 2cm 程度)になるように分割した。境界 条件は実験条件と合わせて、斜面底面は固定境界、斜面背面 では基盤層を水平方向にアンカーで固定していることから鉛 直ローラーとした。表1に示す地盤物性値は、実験で使用し た地盤材料の要素試験から得られた値を用いた。また、弱層 の剛性は拘束圧依存性を考慮している。表層および弱層には 非線形性を考慮し、構成則は広いひずみ領域において試験結 果を再現可能なGHE-S²⁾モデルを適用した。基盤層については、 実験で変形がほとんど確認できないことから線形とした。

テンションクラックは、実験におけるクラック発生位置に ジョイント要素を導入(図2参照)することでモデル化した。



図1 実験モデル概要と実験でのクラック発生位置



図2 解析モデルとテンションクラックモデル化位置





ジョイント要素を導入(図2参照)することでモデル化した。図3には、ジョイント要素に与える圧縮方向の物性値と解析ケースを示す。解析のパラメータとなるテンションクラックの有無は、ジョイント要素に与える引張限界応力の違いで考慮することとし、無視する Casel では上限を設けず(=∞(kN/m²))、考慮する Case2 では引張応力が発生した時点(=0(kN/m²))を上限とした。ジョイント要素に与える圧縮剛性は、接触状態は剛、引張限界応力を超えた場合は概ね0となるように与えている。また、ジョイント要素が接触状態でのせん断剛性も剛で与えた。入力波は、振動台実験で与えた振動台加速度波形を用いた。減衰は、解析の安定を目的として、剛性比例減衰(β=0.0001)を設定した。なお、加速度については、実験を良好にシミュレーションできていることを確認済である。

キーワード 斜面, 地震応答, テンションクラック, ジョイント要素, 最大せん断応力

連絡先 〒105-0001 東京都港区虎ノ門 4-3-20 神谷町 MT ビル (独)原子力安全基盤機構 耐震安全部 TEL03-4511-1561

3. 実験のシミュレーション

自重状態について検討する。 図4には、自重状態での水平応 力 (σ_{xx}) コンター図を示す。 表層が斜面の崩壊する方向へ 滑ろうとするため、Casel では、 弱層上部(図中A)は引張応力状 熊であり、自重状態でもテンシ ョンクラックが発生しやすい 状況であることがわかる。 Case2 では、自重状態でジョイ ント要素が剥離し引張応力が 伝達せず、ジョイント要素の背 面側に応力がほとんど発生し ていないことがわかる。図5に は、自重状態での最大せん断応 力 (tmax) コンター図を示す。 弱層内の最大せん断応力は Case1,2 ともに、実験で確認さ れたすべり線上に発現される 傾向は確認できるが、テンショ ンクラックの考慮の有無によ る差は見られなかった。斜面が 崩壊する方向(図2参照)に変

位が最大となる時刻 11.3(sec)(以降、変位最大時)に着目 して、最大せん断応力を比較すると(図 6)、Case2 におい てジョイント要素に近い範囲(図中 A)で明らかに最大せん 断応力が増加しているのがわかる。また、図7には変位最 大時におけるすべり線上の要素(図6内の図7着目エリア 参照)に発生している最大せん断応力を示した。この結果





約30%の増加

より、Case2ではCase1に比べて、ジョイント要素付近の複数の要素で約30%の増加が見込まれることがわかった。 最大せん断応力が増加した原因としては、テンションクラックを無視した場合、引張応力を伝達してしまうた め、弱層上部(ジョイント要素背面)が弱層の破壊に対して抵抗力として寄与してしまうが、テンションクラッ クを考慮すると、要素が剥離するために、抵抗力として寄与しないことが挙げられる。特にジョイントの付け根 に局所的に応力が発生し、ジョイント要素に近い要素で最大せん断応力が増加したものと考えられる。

4. おわりに 本検討から、テンションクラックの発生をモデル化することで弱層上部の応力負担が小さくな り、実験で発生したすべり線上の最大せん断応力が増大することが確認できた。これは、テンションクラックが 発生した後、すべり線上の最大せん断応力が急激に増大し、破壊に至る可能性を示唆するものであり、実験で確 認されたテンションクラック発生の後に斜面が崩壊する現象とも整合する結果であると考えられる。したがって 引張破壊を考慮することで、より実現象に近い解析や安全性評価が可能となることが期待される。

*参考文献 1) 村田,中村,篠田,渡辺,中村:弱層を有する岩盤斜面の安定性評価のための模型振動実験,第45回地盤工学研究発表会,2010(投稿中),2) 室野 剛 隆、野上 雄太:S字型の履歴曲線の形状を考慮した土の応力~ひずみ関係、第12回日本地震工学シンポジウム論文集、2006