## 個別要素法による不連続性岩盤斜面のたわみ性トップリング崩壊に関する検討

九州電力㈱総合研究所 正会員 香月 理 正会員 溝上 建 九州大学大学院工学研究員 正会員 江崎 哲郎 正会員 三谷 泰浩

## <u>1. はじめに</u>

一般に,斜面に対して流れ目状の不連続面を有する岩盤斜面では,平面すべりなどのすべり破壊が問題となるの に対して,斜面に対して差し目状の不連続面を有する岩盤斜面では,斜面を構成する岩柱あるいは岩塊が斜面前方 へ倒れ込むように崩壊するトップリング破壊を起こす場合がある.このような,トップリング破壊に関して,岩塊 ブロックのトップリング挙動に関する研究事例は幾つか存在する<sup>1)</sup>が,岩盤の曲げに伴い不連続面がずれを起こし て,塊状に崩壊するトップリング,いわゆるたわみ性トップリング破壊についてはそのメカニズムについて十分な 解明がなされていない.本研究では,法面の角度および不連続面の傾斜角の違いがたわみ性トップリング破壊に及 ぼす影響について,数値解析による検討を行う.

#### <u>2. 数値解析</u>

解析は,各ブロックを変形体として考慮でき,岩盤斜面の 形状および不連続面の幾何学的状況を比較的忠実にモデル化 できる不連続体解析手法のうち,個別要素法(解析コード: UDEC,Itasca 社製)を用いて数値解析を行う.

解析では,規則的な差し目状の不連続面が岩盤斜面全体に 分布する2次元化した斜面を想定する.図-1に示すように, 斜面高さを20mとし,解析モデルの左右境界は,掘削に伴う 岩盤の変形がモデル境界の影響を受けない位置となるように 十分に長く設定する.また,下部境界も同様に斜面高さ以上 となるように設定する.斜面全体の形状はパラメータの影響 を把握しやすいように,法肩から左側を水平面とし,法肩から 右側の側方境界を結ぶ線を地山線とする.不連続面は斜面に 対して差し目状となるように規則的に配置し,不連続面の間 隔を0.4mとする.基質部の力学的特性値については,斜面の 崩壊が顕著に再現できるように非常に弱い物性値を与える.

設定に際しては,一軸圧縮強度。を基準として,その他の物性値を参考文献<sup>2)</sup>を参考に設定する.また,不連続面の力学



図-1 解析モデル

表-1 岩盤基質部の力学的特性値

$\sigma_{C}$	$\sigma_{t}$	с	φ	Е	υ	ρ
(MPa)	(MPa)	(MPa)	(°)	(MPa)	(-)	$(kg/m^3)$
1.00	0.072	0.132	60	500	0.3	2645

<sub>C</sub>; 圧縮強度, <sub>t</sub>; 引張強度, c; 粘着力, ; 内部 摩擦角, E; 変形係数, ; ポアソン比, ; 密度

表-2 不連続面の力学的特性値

Kn	Ks	$\mathbf{c}_{j}$	$\phi_{\rm j}$	$\sigma_{tj}$
(MPa/m)	(MPa/m)	(MPa)	(°)	(MPa)
1	0.072	0.132	60	0.072

Kn; 垂直剛性, Ks; せん断剛性, C<sub>j</sub>; 不連続面の粘着力, <sub>j</sub>; 不連続面の内部摩擦角, <sub>tj</sub>; 不連続面の引張強度

的物性値については,過去に実施した頁岩の一面せん断試験結果<sup>3)</sup>の値を採用する.岩盤基質部および不連続面の 力学的特性値を表-1,表-2に示す.解析手順としては自重解析終了後,掘削を行う.解析パラメータは,法面の角 度 を水平面から反時計回りに45°,51°,59°(1割,8分,6分勾配),不連続面の傾斜角 を60°,70°,80° とする.解析ケースを表-3に示す.

### <u>3. 解析結果および考察</u>

図-2 に斜面の変形図および内部主応力の拡大図の例を示す.本解析では基質部は連続体として扱われるため,塑 性破壊が発生した以降の挙動を完全に再現することはできないが,斜面より緩い角度で曲率の最大となる位置に直 線状に塑性破壊が生じる.その部分では,基質部の右側に圧縮応力,左側に引張応力を生じていることから,岩盤 部では曲げによるたわみを生じていることが分かる.また,曲げによるたわみが生じるとき,不連続面が弱面とな ることから,不連続面間でのずれを伴う.変形の挙動としては各ケースとも同様で,法肩で最大変位を生じる.各

キーワード;不連続性岩盤,個別要素法,たわみ性トップリング,岩盤斜面,法面角度 連絡先:〒815-8520 福岡市南区塩原2丁目1-47 九州電力㈱総合研究所 TEL092(541)2910 FAX092(551)1583 ケースの法肩位置での最大変位を表-3 に示す.法面の角度が45°,51°,59°いずれの場合も,不連続面の傾斜角が60°,70°,80°と大きくなるに従い法肩の変位も大きくなる.一方,不連続面の傾斜角が60°,70°,80°において,法面の角度が45°,51°,59°と大きくなるに従って法肩の変位も大きくなるが,不連続面の傾斜角による影響に比べて,その影響の程度は小さい.

次に,不連続面の傾斜角の違いによる影響について Case7, Case8, Case9,を用いて検討する. 図-3 に各岩盤基質 部において,曲げによる変形により,曲率が最大となる位置(この位置を,以降塑性境界と称す)を示す.この位 置より上方には,曲げによる引張応力が発生し,塑性状態となる.引張応力はまず,法肩から伸びる不連続面付近 に発生し,それが法尻方向に広がった後,斜面の奥へと進行していく.また,この塑性境界は帯状にほぼ直線的に

生じる.この塑性境界より右上の三角形の領域がトップリン グを生じる領域である.不連続面の傾斜角が大きくなるに従 って,塑性境界の角度は,水平面から時計回りに34°,25°, 18°と変化していく.また,トップリングを生じる三角形の 領域は,不連続面の傾斜角が大きくなるに従って拡大する. このような挙動は法面の角度が同じ時には,同様の傾向を示 す.一方,法面の角度の違いによる影響について Case2, Case5, Case8, を用いて検討する. 図-4 に曲げによる変形により,曲 率が最大となる位置を示す.法面の角度が大きくなるに従っ て,塑性境界の角度は,水平面から時計回りに27°,26°, 25°となる.また,塑性境界の位置はほとんど変わらないた め、トップリングを生じる三角形の領域には相対的に影響が ないといえる.このような挙動は不連続面の傾斜角が同じ時 には,同様の傾向を示す.今回行った不連続面の傾斜角60° ~80°および法面の角度45°~59°の範囲においては,塑性 境界は法尻付近より斜面の奥に向かって緩い傾斜をなし,そ の角度は不連続面の傾斜角によって決まり,不連続面に対し て約 95°となる.また,トップリングを生じる三角形の領域 が拡大するに従って最大変位も大きくなるが,斜面の変形が 収束するため,たわみ性トップリングでは大きな変位を生じ ても,力の平衡は保たれていると考えられる.

# <u>4. 結論</u>

本研究では個別要素法を用いた解析により,法面の角度お よび不連続面の傾斜角がたわみ性トップリングに及ぼす影響 について検討した.その結果,たわみ性トップリング破壊が 岩盤の曲げ引張破壊に起因して発生すること,塑性境界は法 面付近より斜面の奥に向かって不連続面に対して約95°の傾 きで生じること,およびその広がり方,トップリングを生じ る三角形の領域は,不連続面の傾斜角によって支配され,不 連続面のずれによってトップリングが進行していくことが分 かった.これらよりトップリング破壊には不連続面の傾斜角 の影響が大きいことが明らかとなった.



図-4 法面の角度による塑性境界の影響

【参考文献】1) R.E. Goodman & J.W. Bray: Toppling of Rock Slope. Rock Engineering and Foundations and Slopes, Vol2.pp.201-234. 2) 九州電力株式会社総合研究所:岩石及び岩盤の工学的諸性質,研究報告,1986

3)T.Esaki: Modeling joint rock masses and prediction of slope stabilities by DEM, The37th U.S. Rock mechanics Symposium.pp.83-90.1999.