

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。

図-2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。

図-3に不連続面の傾斜角による塑性境界の影響を示す。Case7, Case8, Case9の比較から、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。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。

4. 結論

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。

【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.

表-3 解析ケース

	法面角度(°)	不連続面角度(°)	最大変位(m)
Case1	45	60	0.038
Case2		70	0.148
Case3		80	1.787
Case4	51	60	0.041
Case5		70	0.624
Case6		80	3.947
Case7	59	60	0.091
Case8		70	3.025
Case9		80	7.116

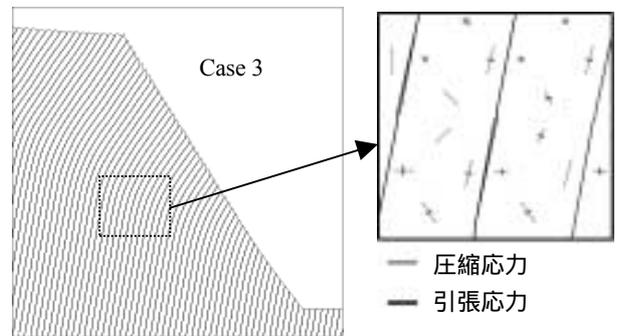


図-2 変形図および内部応力図

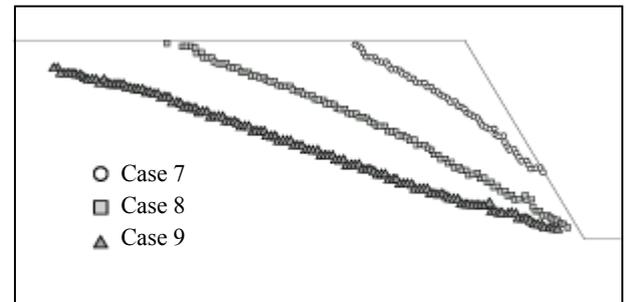


図-3 不連続面の傾斜角による塑性境界の影響

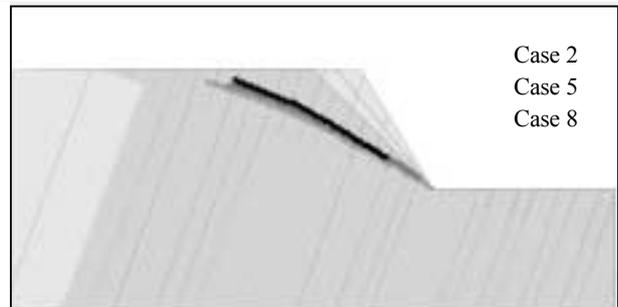


図-4 法面の傾斜角による塑性境界の影響