岩盤斜面の不安定化挙動の数値解析

日本工営株式会社　正会員　倉岡千郎
独立行政法人北海道開発土木研究所　正会員　岡田慎哉
独立行政法人北海道開発土木研究所　正会員　日下部祐基
独立行政法人北海道開発土木研究所　正会員　國松博一
北海道開発局　芳川信之
日本工営株式会社　牧野孝久

１．はじめに

北海道浜益村雄冬の岩盤斜面において、人工的に崩壊誘因を付加する実験を実施し、その前後の岩盤挙動の計測[1)]と数値解析を実施した。その結果から破壊の進行形態を把握するとともに計測技術の評価を行うものである。当該斜面は新第三紀のスコリア層に形成された軟岩斜面であり圧縮強度は極めて低く、脆性度も低い点に特徴がある。本報告では、数値解析（個別要素法）による予測解析と再現解析結果を中心としてスコリアの力学特性と、岩盤形状に起因した崩壊機構について報告する。

２．実験概要

対象とする不安定岩塊には、亀裂 Cr1,Cr2,Cr3,Cr4 が確認されており（図１）、亀裂 Cr1,Cr2 によって形成されたくさび状の領域を対象岩塊、亀裂 Cr2,Cr4 の間の岩塊をキーブロックと呼ぶものとする。

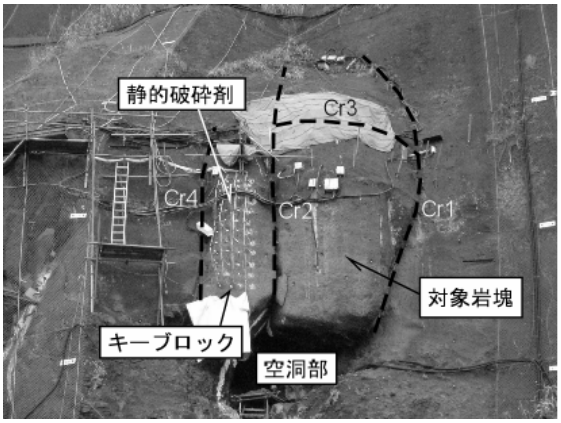

図１　対象とした岩盤斜面

（１） 油圧ジャッキによる載荷実験

空洞内部から２基の油圧ジャッキでキーブロックに荷重を与え、人為的に不安定化させる実験を行った。なお、事前の予測解析により載荷による崩壊過程の推定を行い、載荷実験の荷重の目安とした。

（２） 静的破砕剤による破砕実験

静的破砕剤でキーブロックを破砕し、対象岩塊を落下させた。実験後に再現解析を実施した。

３．室内強度試験

キーブロックの試料を用いて一軸圧縮試験と圧裂引張試験を実施したところ、一軸圧縮強度は軟岩としても極めて低い値を示した（表１）。一方、圧裂引張試験から求めた引張強度は比較的高く、脆性度(＝圧縮強度/引張強度)[2)]は５程度であった。

また、一軸圧縮試験から得られる応力-ひずみ曲線を見ると、ピーク強度を越えても脆性破壊せずに顕著な軟化挙動を示している。

表１　室内試験結果

	一軸圧縮強度 qu	変形係数 E	引張強度	密度	脆性度
	[kN/m2]	[kN/m2]	[kN/m2]	[g/cm2]	
試料1	1170.0	2.44E+05	257.0	1.51	4.6
試料2	1640.0	2.79E+05	406.0	1.64	4.0
試料3	1320.0	1.88E+05	194.0	1.51	6.8
試料4	1150.0	2.05E+05	---	1.51	---

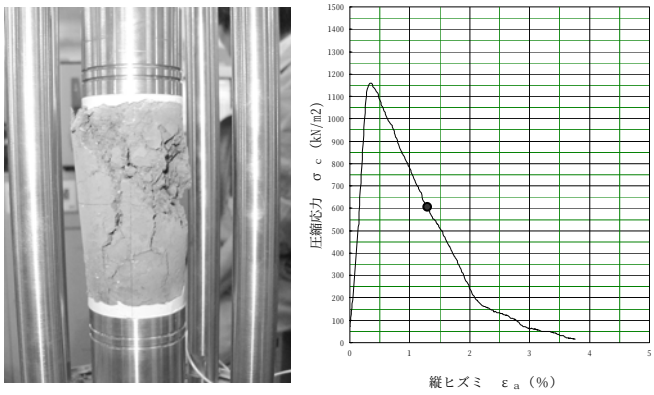

図２　一軸圧縮試験結果

４．数値解析による予測解析および再現解析

（１）解析モデル

数値解析は個別要素法（DEM）に基づく解析コード 3DEC を用いた。対象岩盤斜面の３次元地形形状デー

キーワード　個別要素法、岩盤斜面、スコリア
連絡先　〒300-1259　茨城県つくば市稲荷原 2304　日本工営株式会社　TEL:029-871-2092

タから解析メッシュを作成し、亀裂の走向傾斜および連続性については現地調査結果およびボアホールＴＶ観察に基づいて設定した。解析メッシュは亀裂によって形成された岩塊ブロックの内部を差分要素で分割している。図３に解析モデルとジャッキを設置した水平断面図を示す。また、キーブロックと対象岩塊を通る縦断面図を図４に示す。

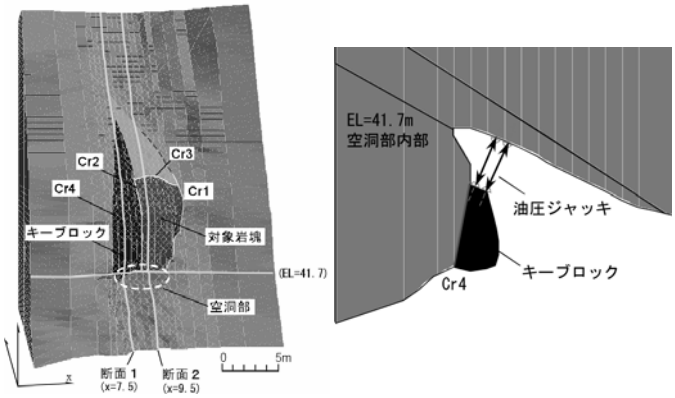

図３　解析モデルおよび水平断面図

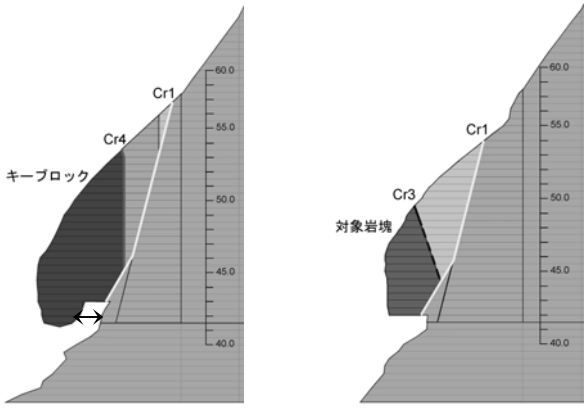

図４　解析モデル断面図

（２）載荷実験の事前予測解析結果

実験前の予測解析では、載荷に伴い空洞上部から引張破壊が発生し、ジャッキ１基の荷重が 225kN に達した時点で引張域がキーブロックの地表面に達し、その結果、対象岩塊が不安定化すると予想された。また、亀裂を境に落下するのではなく、対象岩塊自体の崩壊が予想された。

しかし、実験から得られた荷重-変位曲線は岩盤の塑性化の進展を示したものの、引張破壊により崩落が発生するには至らなかった（図５）。

（３）載荷実験後の再現解析結果

予測解析結果と実験結果の差異は、引張強度の設定にあるものと考え、引張強度を補正して再現解析を行った。その結果、大きな崩落にいたる破壊は発生しない結果となった。さらに変形係数を調整することで解析と実験結果は概ね一致する結果が得られた（図５）。

（４）破砕実験の再現解析結果

キーブロックを静的破砕剤で破壊する破砕実験により、対象岩塊を崩落させた。実験だけでなく、崩落現象の再現解析を実施した結果からも亀裂に規制された岩塊が落下するのではなく、対象岩盤自体が引張破壊で割れて落下する破壊機構が示された（図６）。

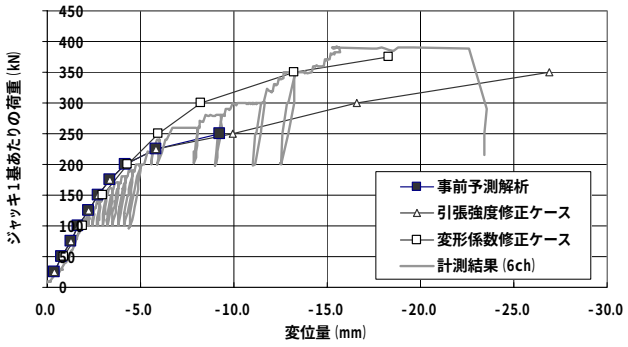

図５　荷重－変位結果（実験結果と解析結果）

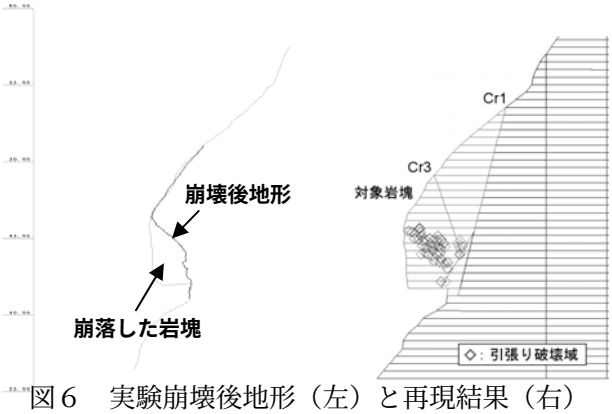

図６　実験崩壊後地形（左）と再現結果（右）

５．まとめ

本岩盤斜面には卓越した亀裂によって不安定岩塊が形成されていることから、亀裂を境に岩塊が崩落すると予想された。しかし、本現場のように岩塊下部に空洞があると空洞の上部の角から進展する引張破壊が支配的であることが示された。

載荷実験では岩塊は崩落せず、静的破砕剤を用いてキーブロックを大きく破砕しなければ対象岩塊は崩落しなかった。このことから、スコリアのように脆性度の低い岩盤の場合、せん断応力や引張応力による新たな亀裂は進展しにくい特徴があると考えられる。

参考文献

1) 伊東佳彦、國松博一、岡田慎哉、芳川信之、岩佐卓実、小山田昌樹、雄冬地区岩盤モニタリング－不安定化実験の実施と結果－、土木学会第 60 回年次学術講演会講演概要集（投稿中）

2）三木幸蔵、岩盤力学入門、鹿島出版会、p204