Japan Society of Engineering Geology

44. FEM解析によるゆるみ岩盤モデル化方法の検討

Study on Numerical Analysis Models of Loosening Process in Loosen Rock Mass by Finite Element Method

○日外勝仁（土木研究所），江口貴弘（土木研究所），佐々木靖人（土木研究所）
Katsuhito Agui, Takahiro Eguchi, Yasuhito Sasaki

1. はじめに

岩盤の中には，応力解放などによって開口亀裂が発達して岩盤が変形しやすくなり，もともとの岩盤の諸性質が大きく損なわれた領域がしばしば存在する．このような岩盤は「ゆるみ岩盤」として取り扱われ，「応力解放・重力作用・風化作用等に起因した変形・体積増加・密度減少などにより，亀裂の発生・開口・ずれなどを生じ，岩盤の状態を保ちつつも全体として変形しやすくかつ非弾性的性質が大きくなった状態」と定義[1]されている．このような複雑・多様な力学性状を示すゆるみ岩盤に対し，地質調査によりゆるみ状況を正確に把握し，ゆるみの成因とその進行メカニズムを踏まえた定量的な安定性評価手法の確立が望まれている．

本研究では，数値解析によるゆるみ岩盤の安定性評価手法の開発を目的に，連続体解析である有限要素法（FEM）によるゆるみ岩盤の解析モデル化方法について検討を行うこととした．本稿では，トップリング型のゆるみ現象[2]をとりあげ，ゆるみの進行に応じた段階的な解析ステップを設定し，岩盤の強度物性値や亀裂を模したジョイントの物性値を適宜変化させることで，ゆるみ進行現象の数値解析的再現を試みた．

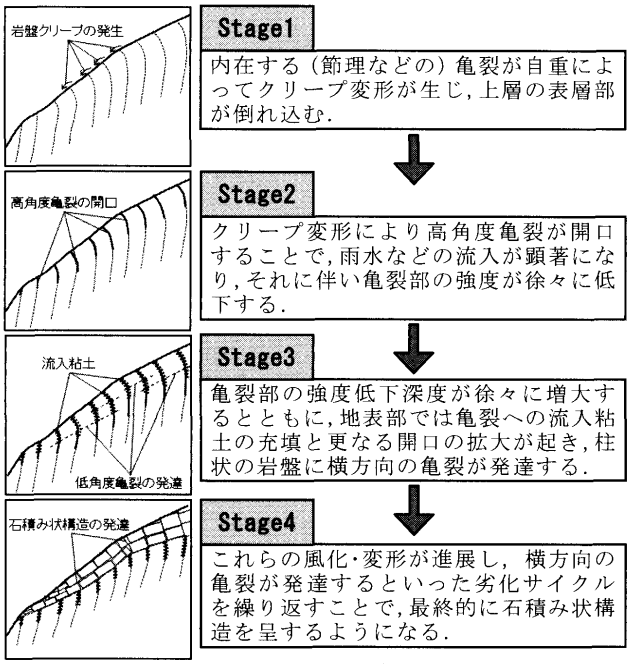
2. トップリング型ゆるみ進行パターンと解析モデル

自重による岩盤クリープ現象によるトップリング型のゆるみ進行過程（図-1）を数値解析で表現するための解析モデルメッシュを図-2に，使用物性値を表-1，表-2に示す．基となる岩盤を等価連続体で，組成段階からの節理などを縦ジョイントで構成し，また，高角度亀裂の開口を縦ジョイント物性値の低下で，亀裂を含む層の強度低下を岩盤物性値の低下で表現することで，ゆるみの進行を段階的に再現するモデルとした．

上位岩盤中の高角度亀裂の開口と風化等による上部岩盤の強度低下が，上層から下層へと段階的に進行していく過程のモデル化表現として，まずは亀裂の開口，その次に岩盤強度の低下の順に発生するものとし，その強度低下範囲がより下層まで進行するとともに，その劣化程度も徐々に大きくなる段階的なモデルとした．

3. 解析ステップ設定にいたる検討及び結果考察

本研究での最大の目標は，クリープ型のゆるみ進行過程の再現性の高い解析条件（解析モデル化方法）を試行錯誤により探し求めることである．最良となった解析ステップの例を図-3に，その時の変位と塑性ひずみの解析結果を図-4に示すとともに，その解析条件へと至った検討考察をもって本稿のまとめとする．



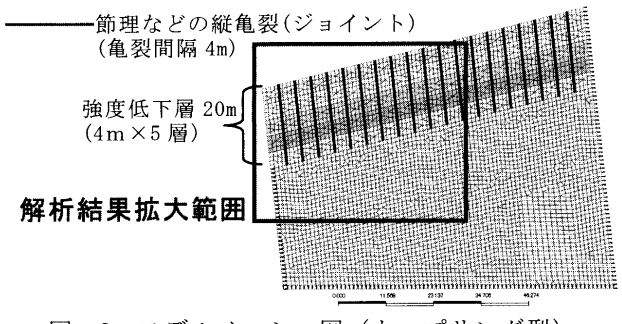
図－1　ゆるみ進行パターン（トップリング型）

亀裂の劣化のみが進行するとしたケースでは，亀裂の開口は発生するが塑性ひずみは確認できず，また，岩盤の劣化のみが進行するとしたケースでは，表層から近い範囲にのみ塑性ひずみが発生した．これらのことから，「ゆるみの拡大」を検討するには，亀裂の強度だけでなく岩盤自体の強度低下を考慮する必要があると考えた．また，ゆるみの進展を表すために，図-3に示すように解析ステップをできるだけ細かくするとともに，亀裂や岩盤の強度低下を一度に起こすのではなく，変化範囲と程度の両方を段階的に拡大させることで，現実的な風化・劣化の進行を表現することを試みた．

強度劣化をモデル化した解析を行う場合，定数低減を段階的に行った方が変化の累積が顕著に現れる傾向があった．その理由として，極端な定数低減を行うとジョイント部や塑性域の拡大により荷重伝達が行われ難いことが考えられる．段階的に定数を低減することで変化の累積が適切に表現される傾向が認められた．

縦ジョイントで分断されたブロックでは自重により変形と開口が生じている（図-4）．この状態がクリープ変形であると思われる．岩盤の強度を低下させることで，ブロックの斜め横方向に塑性ひずみが発生する．この状態は，縦ブロックにせん断破壊が生じていることを表現している．縦ブロックの強度劣化が進行すると横方向の破壊面が生じ，積み石状のブロックへと状態変化すると推察できる．

NII-Electronic Library Service



図－2　モデルメッシュ図（トップリング型）

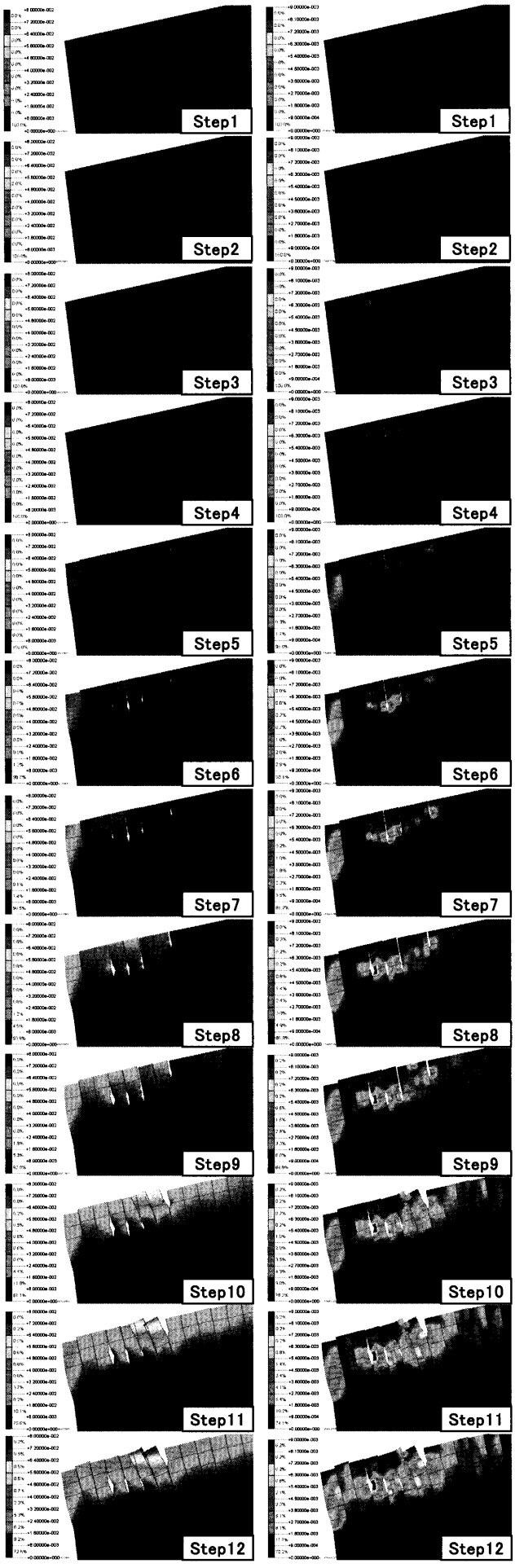
表－1　岩盤物性値（トップリング型）

名称	物性値							
	ポアソン比 νs	ヤング率 $Es(kN/m^2)$	せん断弾性係数 $G(kN/m^2)$	単位体積重量 $\gamma(kN/m^3)$	粘着力 $C(kN/m^2)$	内部摩擦角 $\phi(°)$	引張強度 $\sigma t(kN/m^2)$	線膨張係数 $\alpha(1/t)$
岩盤200	0	1,400,000	0	18	350	40	200	0.000001
岩盤100	0	700,000	0	18	150	40	100	0.000001
岩盤50	0	140,000	0	18	35	30	50	0.000001

表－2　ジョイント物性値（トップリング型）

名称	垂直方向剛性率 $Kn(kN/m^3)$	せん断方向剛性率 $Ks(kN/m^3)$	開口最大量 $Vmc(m)$	引張強度 $\sigma t(kN/m^2)$	粘着力 $C(kN/m^2)$	内部摩擦角 $\phi(°)$	せん断破壊時の応力分配係数 FACT	一軸圧縮強度 $qu(kN/m^2)$	最大強度に対する残留強度の比 Bo	ダイレタンシー角 Io(°)	Ur-τpの関係係数 M
ジョイント100	17,500,000	6,481,481	0.04	100	0	40	0	1,000	0	20	0
ジョイント50	3,500,000	1,296,296	0.04	50	0	30	0	500	0	20	0
ジョイント25	1,750,000	648,148	0.04	25	0	20	0	250	0	20	0

図－3　解析の流れ（トップリング型）



図－4　解析結果拡大図（左図:変位，右図:塑性ひずみ）

文献

1) 佐々木靖人・片山弘憲・倉橋稔幸(2005)：ダムにおけるゆるみ岩盤の実態と分類試案，ダム技術，No.228，pp.9-21，ダム技術センター.

2) 江口貴弘・日外勝仁・佐々木靖人(2012)：ダム建設事例におけるゆるみ岩盤のパターン分類，平成24年度日本応用地質学会研究発表会(投稿予定).

NII-Electronic Library Service