

Ⅲ-A222 不連続性岩盤における進行性破壊に対する等価連続体解析

○ 東京大学 学生員 井上 岳
東京大学 正 員 堀井 秀之

1. はじめに

北海道古平町豊浜トンネルにおいて、崩落した岩盤が通行車両を直撃し、多数の被災者が出る不幸な事故があった。それを契機に全国に多数分布する岩盤斜面の安定性評価・崩落に対する危険予知への要請が社会的に高まっている。

岩盤崩壊はジョイント・弱面といった岩盤内の不連続面が一部分ではすべり、一部分では開口し、それらが連鎖・連結して全体崩壊に至るものと理解される。従って、不連続性岩盤における進行性破壊を正確に捉えるためには、それを支配する局所的なジョイントのせん断・開口変形に着目することが重要である。個別要素法などの解析手法を用いる場合、使用可能な要素数に制限があり、少ない要素数で現実を近似しなければならない制約があることから、解析結果が要素分割の方法に大きく依存する問題が指摘されている。本研究では実際の不連続性岩盤における進行性破壊の問題を力学的に等価な連続体における進行性破壊の問題に置き換えることを基本的な概念とした新しい解析手法を提案する。提案する解析手法の特徴は、有限要素法のメッシュ分割と不連続面の配置が無関係であること、ジョイントの方向と破壊面の方向との関係・ジョイントの強度分布・局所的破壊領域の幅・ジョイントの連続性などの影響が解析結果に反映されることなどである。

2. 解析手法

本研究で提案する解析手法は、図1のように実際の不連続性岩盤における進行性破壊の問題を力学的に等価な連続体における進行性破壊の問題に置き換えることを基本的な概念とする。実際の問題では、局所的な破壊が分布して発生する、破壊領域の進展が現象を支配していると考えられるが、等価連続体ではこれを1つの破壊面としてモデル化する。

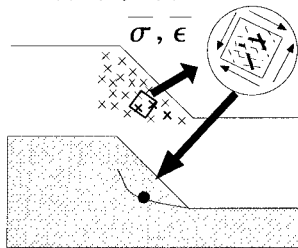


図1 不連続性岩盤と等価連続体

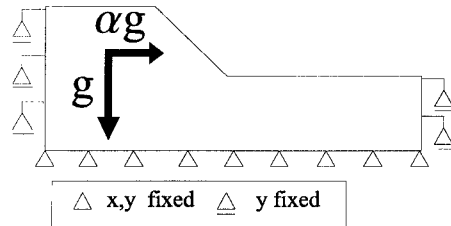


図2 等価連続体解析の境界条件

等価連続体における進行性破壊面のパスを決定することが1つの課題であるが、本研究では簡単のため、図2のような境界条件の下で弾塑性解析を行い、相当塑性歪みが卓越する箇所から巨視的破壊面のパスを決定する。荷重条件としては、自重及び重力加速度の α 倍の水平加速度を加え、 α の値を0から単調に増加させる。等価連続体問題に帰着する際に、問題の力学的な等価性を確保するために、図1に示すような局所的破壊が内部で生じている領域の挙動を代表する岩盤要素を考えることとする(図3)。岩盤要素としてジョイントなどの微視構造にくらべ十分大きな領域を考えるものとする。岩盤要素には実際の問題において検討する領域の条件に対応して、卓越するジョイントを統計的情報に基づいて配置する。具体的には、巨視的破壊面の方向と卓越するジョイントセットの方向が考える岩盤要素ごとに様々な角度をなすので、図3のように巨視的破壊面を水平に取り、それに対する卓越するジョイントセットの方向を巨視的破壊面上の各点ごとに考え、弱面と潜在的な不連続面を与えられた確率密度関数に基づき分布させる。ジョイント強度の確率密度関数の与え方によって様々な状況に対応することが出来るが、本研究では風化等によって強度の低下した弱面と強度の比較的高い潜在的な不連続面にわけられることとする。

ジョイントの挙動特性は、図4に示すように、ジョイントのせん断変形に対して応力降下が生じ、あるせん断変位に

キーワード：ジョイント，岩盤の斜面崩壊，等価連続体

〒113-8656 東京都文京区本郷 7-3-1 TEL:03-3812-2111 FAX:03-3812-4977

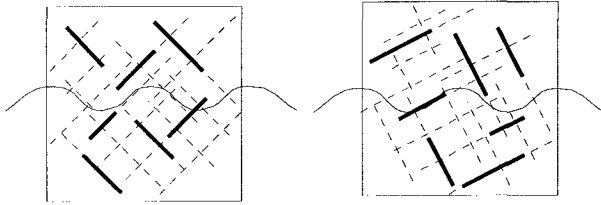


図3 ジョイントを含む岩盤要素
(太線部が弱面、点線部が潜在的な不連続面、波線部が巨視的破壊面)

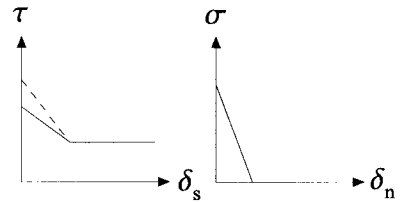


図4 ジョイントの挙動特性のモデル化

上では応力降下が一定になるものとしてモデル化する。また、ジョイントの開口変形に対しては、開口変位に対して直応力が降下し、ある開口変位に達すると完全にジョイントが開口するとストレスフリーになるものとしてモデル化する。ジョイントのせん断・開口変形には、ジョイント周囲の応力状態が大きく影響を及ぼす。本来、岩盤要素の解析と等価連続体解析を連成させるべきであるが、ここでは前述の弾塑性解析において検討している巨視的破壊面上の点における応力履歴を岩盤要素の破壊解析における外力とすることによって考慮することとする。

3. 解析結果・考察

比高 30m、傾斜角 45 度、ジョイントの走向は斜面に平行、傾斜は左落ち・右落ち共に 45 度、平均間隔 0.1m の仮想的な岩盤斜面に対し、ジョイント強度の弱い場合 (Case1) と強い場合 (Case2) の 2 ケースについて進行性破壊の解析を行なった。前節の方法で設定した等価連続体問題を図2の境界条件の下で解析した。

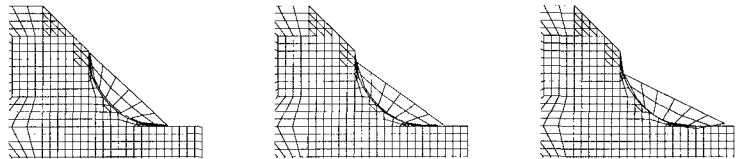


図5 岩盤斜面の崩壊挙動の過程 (Case1:左から $\alpha = 2.32, 2.4, 2.48$)

図5はCase1に関して斜面崩壊時における岩盤の崩壊挙動をプロットしたものである。加えた静的な水平加速度の値を重力の α 倍とした場合、Case1の場合は $\alpha = 2.48$ に至った時に崩壊挙動を示した。Case2の場合は $\alpha = 4.48$ に至った時に崩壊挙動を示した。このことは破壊面近傍のジョイントの強度の大小が岩盤斜面の安定に大きく影響することを示している。解析から求まる α の限界値はジョイントのセット数、傾斜、強度等に依存する。解析によって得られる限界水平加速度の値は斜面崩壊に対する安定性の示標となり得ると考えられる。岩盤内の風化が進行すれば、ジョイントの強度は低下すると考えられるが、本解析手法により風化によって斜面崩壊に対する危険性が増す度合が評価できる。

4. まとめ

本研究では、ジョイント等の不連続面を多数含む岩盤の斜面崩壊問題を、等価連続体における進行性破壊の問題に帰着させる新しい方法を示した。本解析手法は個々のジョイントの挙動を捉えた連続体解析手法であり、等価な連続体問題に帰着させる際に卓越する各ジョイントセットの走向・傾斜・平均間隔やせん断強度等の情報を入力データとして直接解析に反映することができること、岩盤崩落に対する安定性の示標として崩落時の限界水平加速度が得られることを大きな特徴としている。

本研究では仮想的な岩盤斜面に対しての解析を行なった。今後の課題として(1)岩盤要素における局所破壊解析と等価連続体における進行性破壊の解析を連成させること、(2)等価連続体における破壊面のパスを仮定せず、解析の結果としてパスが求まるようにすること、(3)解析手法の妥当性を何らかの方法により検証することが挙げられる。

参考文献

- 1) 土木学会岩盤力学委員会編：「岩盤斜面の安定解析と計測」土木学会,1994