

岩盤斜面掘削時の解析の現状

岩盤力学委員会 斜面安定小委員会 進士 正人（応用地質株式会社）

1 はじめに

昭和63年6月に発足した岩盤力学委員会斜面安定小委員会は、平成元年度より斜面計測班（宮島チーフ）と斜面評価・解析班（大西チーフ）にわかれて調査・研究を行なっている。本文では、斜面評価・解析班がとりまとめている岩盤斜面掘削時の安定性評価のための解析の現状と若干の問題点について報告する。

2 岩盤斜面掘削時の解析の現状

岩盤斜面の掘削時の解析を行なうためには、斜面をモデル化する必要が生じる。櫻井ら(1987)は、切り取り斜面の地山モデルを図-1に示すように、(a)連続体地山、(b)不連続体地山、(c)疑似連続体地山の3種類に分類できるとしている。連続体地山は、軟岩に代表されるような岩盤の破壊が岩石自身の強度に依存し不連続性の影響が小さい地山を意味している。不連続体地山は、その掘削（構造物）の規模と比較して考えた場合、不連続面の影響が大きい地山といえる。疑似連続体地山は、非常に破碎されたかあるいは風化が進み構造物の規模と比較して岩盤内の不連続面が多数存在することによって、地山全体としての挙動が見掛け上連続体的な挙動をするものを表している。

以下、斜面全体の挙動の違いにより不連続体地山と連続、疑似連続体地山に分け、それぞれの場合における解析の現状について述べる。

(1) 不連続体地山の掘削時の解析の現状

不連続体地山に対し、通常の連続体の解析を行なった場合には、予想と実際の挙動とが異なることが一般的であり、不連続性を何らかの方法で評価し、掘削時の挙動を予想する必要性が生じる。その方法のひとつとして、Romana(1985)は、Bieniawski(1973)が提案したRock Mass Rating(RMR)に改良を加えることによって、斜面の不安定要因を評価する指標としてSlope Mass Rating(SMR)を提案している。これは、以下の式によって表される。

$$SMR = RMR - (F1 \cdot F2 \cdot F3) + F4 \quad \text{ここで、}$$

F1: 節理の方向と斜面の走向の角度によって決まるパラメータ F2: 節理の傾斜角によって決まるパラメータ

F3: 斜面と節理の傾斜によって決まるパラメータ

F4: 掘削方法によって決まるパラメータ

Romana(1991)は、28の斜面においてこのSMR値の評価をおこない、その結果、斜面の安定度は、SMR値の示す安定度とほぼ一致することを確認した。これは、この地山分類によって斜面掘削前に、ある程度の斜面掘削時の挙動予測を行なうことができる可能性を示唆している。

また、川本ら(1984)、大西ら(1985)、吉中ら(1990)は、岩盤の不連続面の調査結果から岩盤崩壊を引き起こすキーとなる岩塊（キーブロック）の検出とその安定性の評価を行なう方法を提案した。

太田ら(1990)は、解析範囲を微小な直方体要素に分割し、それぞれの要素のすべり岩体の体積を求め、要素の釣り合いを検討することによって実際の斜面の形状および不連続面の走向・傾斜を考慮にいった精度良い斜面の安定性評価が可能となることを示している。

近年の新しい考え方の方向として、吉松ら(1989)や西ら(1991)は、ファジィ理論をそれぞれ、地震時の斜面崩壊危

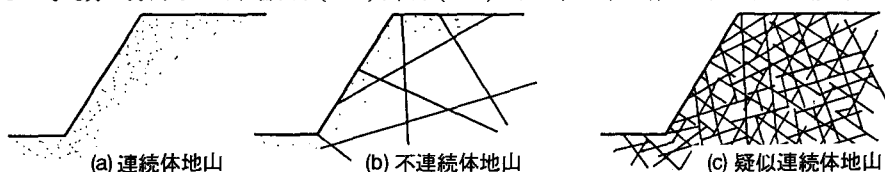


図-1 切り取り斜面の地山分類

険度の判定や斜面崩壊要因の評価に用い良い結果を得ている。また、佐々木ら(1991)は、自然斜面の崩壊規模や発生数にフラクタル性があることを、実際の事例研究から調査し、等高線のフラクタル次元から崩壊幅一箇分布のフラクタル次元が推定できる可能性を示している。

不連続体地山を対象とした数値解析としては、Cundall(1971)や川井(1980)が提案した個別要素法(DEM)や剛体バネモデル(RBSM)に代表される不連続体の力学モデルがある。また、有限要素解析の場合では、ジョイント要素等の不連続要素が用いられる。藤田(1990)は、地滑りの安定解析において、滑り面を非線形ジョイント要素で表現し、滑り面の応力と安全率を推定し、この結果を用いて独自の対策工の設計を行なっている。

(2) 連続体地山および疑似連続体地山の掘削時の解析の現状

これらのモデルの解析を行なう場合、連続体地山の場合は、地山の物性値並びに初期応力を精度良く求める(あるいは推定する)ことができれば、連続体力学によりほぼ正確に推定可能である。さらに木山ら(1991)はCundallが提案した個別要素法の考え方に有限要素法の手法を取り入れ、大変形をも解析可能な解析手法(流動要素法)を提案している。

疑似連続体地山の解析については、地山物性値を事前に把握することは困難であり、掘削時の挙動から逆に斜面の物性値を推定する方法が用いられることもある。櫻井らは、切り取り斜面掘削時にあらわれる弾性変形、すべり並びにトッピングの3種類の変形モードを統一的に表現できる応力-ひずみマトリックスの提案を行なっている。また、このマトリックスの構成要素を逆解析によって同定する方法論を示し、実際の変形計測結果に適用している。

3 岩盤斜面の解析の問題点

紙面の都合上問題点の骨子のみを述べる。

(1) 地山状況と解析の対応に関する問題

斜面掘削時においては、施工規模が徐々に変化する。そのため、斜面に及ぼす不連続性の影響が変化する過程で、弾性的な挙動が支配する場合の他に、すべりやトッピングなどの種々の不連続挙動が斜面の挙動として現われることもありうる。この場合、対応する解析手法も変化させる必要がある。

(2) 計測システムとの関連に関する問題

設計で最もよく用いられる物理量は、応力である。しかし、現場計測において計測の容易な物理量としては変位である。従って、変位が管理基準に用いられることが多いが、設計に対しては、この応力と変位を結び付ける方法論を構築して行く必要がある。

参考文献

- Cundall, P.A. (1971): *A Computer Model for Simulating Progressive Large-Scale Movements in Blocky Systems*, Symp. of ISRM, pp. 8~11. 川本 隼万 他(1984): 岩盤掘削面におけるキーブロック安定解析のシステム化について、土木学会論文集No.346/III-1、pp.47~55。川井 忠彦(1980): 物理モデルによる連続体力学諸問題の解析、生研セミナーテキスト。櫻井 春輔 他(1987): 現場計測結果に基づく切り取り斜面の安定性の評価、第7回岩の力学に関する国内シンポジウム、pp.307~312。大西 有三 他(1985): ブロック理論による不連続性岩盤掘削時の安定性評価について、土木学会論文集No.364/III-4、pp.209~218。吉松 弘行 他(1989): ファジィ理論による地震時斜面崩壊危険度の判定、土木技術資料31-4、pp.39~44。吉中 龍之進 他(1990): ブロック理論による不連続性岩盤掘削時の安定性評価について、土木学会論文集No.364/III-13、pp.143~152。藤田 壽雄(1990): 有限要素法による地滑りの安定解析と対策工の設計、地すべり、第27巻 第1号、pp.19~26。太田 秀樹 他(1990): 不連続岩盤斜面におけるすべり岩体の特定と安定性の評価、土木学会論文集No.424/III-14、pp.217~225。佐々木 靖人 他(1991): 斜面崩壊の規模と発生数に関するフラクタル、応用地質32巻3号、pp.1~11。西 邦正 他(1991): ファジィ回帰モデルによるのり面崩壊要因の評価に関する研究、第23回岩盤力学に関するシンポジウム、pp.76~80。Romana M. (1991): *SMR classification*, 7th Congress of ISRM at Aachen, pp.955~960。木山 英郎 他(1991): 連続体の大変形解析のための流動要素法(FLEM)の提案、土木学会論文集No.439/III-17、pp.63~68。