

不連続性岩盤の(数値)解析技術の現状と課題

土木学会岩盤力学委員会 試験・計測小委員会

コーディネーター 小林 昭一(京都大学)

岩盤の特徴は、その不連続性にある。それは種々の規模で現れる。一般に、岩盤はその生成過程とその後の地殻変動を経歴し、さらに風化、侵食などの作用も受けており、それらを反映した、地域と場所に固有の特性を持っている。地表近くの岩盤の最も重要な特徴は、亀裂、節理、断層などによって細かく分断されていることである。

岩盤の不連続性のうち、ほとんど変位を伴わない面的な亀裂とか破壊域は節理と呼ばれる。それは、断続的に数十メートルにも達するものから顕微鏡スケールのものまで様々である。また、それは種々の鉱物で充填されていることもあり、開口したものでは被圧水で満たされていることも多い。節理系は、岩石の種類と岩石学的な特徴によっても異なるけれども、普通には平行に配列された組になって存在し、それらの組は幾つかの異なった方向を向いた交差系を示す。したがって、岩盤は全体としてはブロックが集成された構造になっている。断層は、相対的な変位を伴う破壊面である。ほとんどの場合、断層は平面的であるが、ある厚さを持った破碎帯を形成することもある。力が作用するとその面に沿った分離や滑りを生じる危険性がある。岩盤にはこのような種々の不連続面が存在するので、岩盤は数学的な意味での連続体としてではなく、節理とか断層の特性に大きく依存した性質を示す不連続体として理解されなければならない。

岩盤は、このような不連続特性のために、その巨視的な変位応答にも不連続性が現れる。それらは、岩盤の構成要素の特性と構造上の特性に支配されるが、その不連続変形量の許容範囲はそこに構築される構造物の規模と力の作用特性と、さらには構造物の重要度とを考慮して評価される。岩構築物では、設計上の第一義的な力は重力とそこに存在する初期応力である。このような力のもとでは、岩盤特性を支配する最も重要なファクターは上記の不連続面の結合強度と摩擦特性である。一方、節理や層理などは平面的なものが多く、岩盤全体としてみると異方的な特性を示すこともある。また、成層構造を有する岩盤も多い。このような場合には、さらに異方特性なども考慮しなければならない。

岩盤の挙動は、一般的にいえば、岩石固有の特性と不連続面を含んだ構造体としての挙動との両者に支配される。そのどちらがより支配的であるかは、対象とした岩盤の不連続特性のみならず、構造物の力の影響域との係わり合いによって異なってくる。例えば、岩盤の不連続性の間隔に比べて、構築する構造物の規模がはるかに大きければ、岩盤は不連続面の特性を考慮した連続体と見なしてよい。すなわち、不連続面の特性をも含めた平均的な特性を考えればよいことになる。一方、構築する構造物の規模が不連続面の間隔に比べてはるかに小さければ、連続体部分の岩石固有の特性を考慮すればよいことになる。しかし、現実には、岩盤の不連続性は、規模の大きなものから微細なものまで階層的な重構造となっており、対象とした構造物の規模も岩盤の不連続特性が顕著に影響する範囲のものが多いため、その取り扱いが簡単ではない。もし、力が不連続面に影響を及ぼさないように作用すれば(分離とか滑りを生じない状態であれば)、岩盤は岩盤試験から得た平均物性を持った連続体として取り扱ってもよいであろう。そうでなければ、岩盤は、摩擦などの結合特性に大きく左右され、多くの個別の要素からなる構造体と考えなければならない。いずれにしても、岩盤の不連続特性は構造物との係わり合いにおいて考慮されることになる。

岩構造物の構築に際しては、建設工事に先立って設計と施工過程および供用時の岩盤挙動の解析、予測および測定方法が検討される。その際には、応用力学的な解析・予測手法が駆使される。その基礎データとしては、対象とした岩盤を構成する材料物性と同時に対象とした岩盤の構造モデルが必要となる。対象とした岩盤は、不連続面を含む複雑な構造であることが多いが、それはしばしば単純化された初期値・境界値問題としてモデル化される。当然のことではあるが、解析と予測の結果は、モデルと選択した物性並びに初期ないし境界条件としての初期応力状態に支配される。したがって、これらを適切に決定することが、成否の鍵であるといっても過言ではない。一般に、岩盤は不連続面を多く含むために、これらの解析に際しては、岩石個々の特性ばかりでなく、対象とした規模に応じて原位置で実施する物性試験並びに初期応力の測定結果が必要となる。

実際には、まず地下水調査なども含めた広域調査に続いて、地質学的不連続面の調査が行われ、

1) サイトの原位置での特性が調べられ、適当なスケールの地図上に記録される。また、

2) ステレオ投影などによって統計的に処理して図化される。

これらは、対象としている領域の平均的な特性を知る上では重要ではあるが、実際問題としては、岩盤解析には不十分であり、さらに

3) 不連続面の特性と分布状態、岩盤の力学的ならびに岩石的な特性を決定するための原位置試験と

4) サイトの初期応力状態を把握するための詳細な調査が行われる。

こういう調査を通じて得られた情報をもとに、適切に設定したモデルに基づいて、岩盤の掘削とか載荷などに伴う応力変動とか変形応答を推定することができる。これが岩盤解析の役割である。

なお、詳細な調査・試験には多大な労力と経費・期間を要するので、簡便にRQDなどの指標を用いて岩盤の不連続性の状況を含めて岩盤分類によって大まかな特性を推定することもある。岩盤分類には、さらに弾性波などの情報も考慮されることも多い。

初期応力状態を把握することは、岩構造物を設計・施工する上では最も基本である。岩盤の応力状態は、過去の地殻の構造的な変化の履歴と地質・地形的な特性を反映している。大規模的には、応力状態はプレートテクトニクスに起因する応力が第一義的であろうが、その応力を理論的に推定することは困難であり、また局所的な地殻の履歴に依存する応力を推定することはさらに困難である。これらを正確に知り得る望みはない。したがって、ある地点での現在の応力状態を信頼できる程度に推定するには、原位置での応力測定以外に方法はないようである。

本日は、このように複雑な岩盤を「不連続性岩盤の解析技術の現状と課題」というテーマのもとに、主として数値解析技術を中心に、まず岩盤のモデル化の考え方と具体的な解析手法、さらにそれから得られる評価とか解釈をご紹介頂き、続いて不連続性岩盤を取り扱う上で、何がどのように問題であり、どのように対処するか、また将来その解析技術はどのように発展していくかをパネルディスカッションを通じて展望してみたい。

本日の講師とトピックスは次のようである(敬称略)。

京谷孝史(東北大学) 均質化を用いた岩盤の変形強度特性評価

山辺 正(埼玉大学) 間隙水の相変化を伴う岩石の弾塑性応力・浸透・熱連成現象と原位置試験

吉田秀典(東京大学) 地下空洞掘削における解析手法の現状と将来性

佐々木猛(鹿島建設) 不連続体解析法の現状と課題

芥川真一(神戸大学) 不連続性岩盤の変形挙動評価と逆解析の問題点

岩構造物は、今後ますます多く構築され、その規模も大きくなり、より苛酷な条件のもとでも建設を余儀なくされるであろう。その際には、岩盤解析に基づく挙動の予測と施工管理は、ますます重要となるであろう。このパネルディスカッションが岩構造物の解析を考える上でお役に立てば幸いである。