

III-15 岩盤内のジョイント機構に関する一考察

京都大学工学部 正員 山本和夫

1. まえがき

地表面近くの岩盤内に構造物を築造・設計しようとするときに問題となるのは、地質学的構造特徴としての層理・褶曲・断層・節理などの存在であろう。ここでは節理を主としたこれらの地質学的構造特徴の成因について概覧し、これらの機構を把握するための方向づけと、岩盤全体としてのモデル解析の問題点および先に筆者の提案した副体（岩石ブロック）とバネ（ジョイント）からなるブロック・ジョイント・モデルによる解析法の加修正ならびに解析例について述べることにする。

2. 岩盤内の地質学的構造特徴

地質学的構造特徴はそれが形成された過程とその後の変動により、その特性を異にする。岩石に限らず物質は一般に作用する圧力の大きさや温度の高低とその継続時間によっては、極端に剛体的挙動を示したり、節のような流状体挙動、または気体的挙動までも示すことが知られる。地表面近くに出ている岩石の多くは堆積岩であるが、これは堆積層としての地層を形成しており、地質構造の重要な役割を演じている。もし、この地層の方向に高い圧力が長期間ゆっくりと作用すれば、地層帯は流動して屈曲して褶曲を形成するだろう。この褶曲の背斜・向斜に見られるように、地層に大きな圧縮力や引張力が作用すると、地層は内的なせん断による破砕を起こして、地層の相対的移動を伴う断層面を形成する。また断層は単に1つの面だけで存在するとは限らず、むしろある場合には帯状となって広い破砕帯となったり、数本の平行な断層面やこれらに直交する副断層を伴うことが多い。したがって地殻は多数の主断層と副断層により、モザイク状を形成し易い。また等質的岩石においてよく見られる規則的な割れ目を形成している節理について、その成因がいろいろ述べられているが、節理に沿う相対的変位は一般に少なく、金属材料に見られる Luders' Line とその生成機構と同じくすると言われている。節理の種類としてはその成因の違いにより、張力節理・圧縮節理・ねじり節理・せん断節理が挙げられ、地層に直交・斜行・平行なものが見られる。以上のほかに岩盤には、片理・侵入岩体やひび割れなども存在する。また浸透水・湧水・地下水などは岩石の組織中よりは、むしろ節理・層理・ひび割れ等の孔目に沿って流れるために、割れ目の拡大・浸透水路のまわりの風化や雜物の搬入を著しくし、非常に複雑となる。これらの地質学的構造特徴の存在により、岩盤は強度が低くするとともに、応力や変位の不連続を生じ、多くの場合異方性を示すこととなる。このように見えてくると、地質学的構造特徴を単に弱面という言葉で表わすとしても、その弱面の分布組織と形状・充填物質の有無とその性質はそれぞれ非常に異なるであろうし、それとともに岩盤内の応力・変形および強度に及ぼす影響もそれぞれ変ってくる。以下に主に節理（ジョイント）に関する種々の因子をとり挙げ、その機構の把握への序としたい。

(1) ジョイントの規則性と不規則性：ジョイントの方向に規則性が存在することが一般に多く見られ、地層に平行なものとそれに垂直なクロス・ジョイントの存在が多く認められる。この場合は異方性を示すことが多い。それにくらべて不規則にジョイントが存在する場合はブロックのガミ合わせが強く、

また全体として等方性と考えることができる。ここでは規則性のあるジョイントについて考える。

(2)ジョイントの間隔と長さ：ジョイントの間隔は先の2つのジョイント(地層に平行なものと垂直なもの)について、個々に測定されるべきで、ある数(例えば100)のジョイントを含む範囲において平均的に求められよう。ジョイントの長さについては地層に平行なものは長く、垂直なものは短かく、その比は種々変るが時に数百倍にもなるといふ。

(3)ジョイント面の凹凸形状と粗度：これらはジョイント面のせん断強度を左右する重要な因子で、ジョイント面の凹凸の程度が大きく、かつ面が粗であればジョイント面をはさんだ隣り合う岩石ブロックのからみ合いが強くなり、せん断強度は大きくなる。

(4)ジョイントの開口と充填物質の有無：先に述べたジョイントの成因の違いにより、ジョイントが開口していたり、閉じていたりする。開口しているときは、その面を横切る力の伝達はなく、閉じているときは、ジョイントの剛度は接する岩石のそれと等しいと考えられる。また水の流入や風化によりジョイント部に軟弱な充填物質が介在することが多く、その充填物質の性質が非常に大きく岩盤の強度を支配する。

3. モデル解析法

ジョイント等弱面を含む岩盤内の応力・変形・破壊を論じるには、岩盤を連続体として、あるいは不連続体として扱うかによって、大きく2つの解析法がある。しかし、連続と不連続とは何をもって定義するかとなると、話はややこしくなるが、ここでは考えている物質(岩盤)内で応力と変形の連続性を保持するか否かで定義しよう。前者としては弱面の存在により岩盤が変形性を増し、強度を減ずるということから岩盤全体の弾性係数や強度を一律に減少させたり、ある方向や領域にだけ減少させるようなアプローチ法が挙げられる。また一般の有限要素法によって個々の要素の諸性質を変化せしめるアプローチ法もこの部類に含まれよう。しかし、これらの方法では岩盤内に空間が生じている現象を表わすのに限度がある。したがって、弱面を有する岩盤に対しては後者の不連続体としての取り扱いが必要となる。この種のアプローチとしては、鉱物粒・岩石粒の集合体としての方法、ブロック・ジョイントモデルとしてアーチング作用を導入した方法、ジョイント要素を加味した有限要素法、ラングムパラメーターモデルとして質点と応力点を別個にしてバネで連結した方法などが挙げられる。この中でジョイント等弱面のパターンから、ブロック・ジョイントモデルとして岩盤を近似するものが、この種の岩盤に対して一般的でないかと判断する。したがって、筆者はブロック・ジョイントモデルをとりあげ、ジョイント要素として垂直応力とせん断応力を伝達する8つのバネを導入して解析法を提唱した*。そこでは今までジョイント部分の破壊条件として一本のモールクーロン式を適用し、破壊後はその部分のバネを取り去ることによって不連続性をつくり出した。今回は圧縮域と引張域での破壊条件の分離とまさつ係数および粘着力の変化による影響を調べ、かつ破壊後の条件としてジョイント部が圧縮域ならば圧縮力とそれによるまさつ力が伝達されることを解析法に加修正することにする。また、二軸応力状態下の岩盤および地層が傾斜している場合の岩盤等への解析応用例を述べることにする。計算例は残念ながらここに記すことができないので、当日ご報告させていただくことでお話し願いたい。

* 山本和夫・有岡正樹：不連続体の力学的挙動に対する解析 昭和42年度内政部第2次学術講演会概要(Ⅱ-7)