

土木研究所 石 井 文 雄

" 飯 田 隆 一

" 岸 本 貞 男

1 はじめに

最近建設されるダム地点では、なんらかの形でその基礎となる岩盤の安定性を問題にしなければならない場合が多いようである。したがって、ダムの設計を合理的に進めるためには、基礎岩盤の安定性を合理的に検討することが必要である。しかし、現在その方法で確立されたものはないようで、23の実用的な便法がとられているようである。それには、円弧すべり面法や支持力理論のいわゆる土質力学的な取り扱いと、例えば川俣ダム¹⁾、湯田ダム²⁾、黒部ダム³⁾などの基礎岩盤の検討資料の一つとしてとられた模型実験による方法である。これらの方法にはいろいろの長所もあるが、欠点もあるように思われる。すなわち、上の方法はどちらかと云えば現象をマクロに見ている。もちろんそれが必要なことは云うまでもないが、岩盤のように大小さまざまな不連続面の影響を考慮するためには、これをミクロにみる段階が必要であるように思われる。しかし、そのとき現段階では、すべてを解析的に取り扱うことは不可能である。こうした観点から、本文では、上述の模型実験と土質力学的な方法を組み合わせて、岩盤の安定性検討方法の一試案を示し、この検討方法の適用性について、若干の考察を加えた。なお、こうした試みはすでに行なわれているようである⁴⁾。

2 安全率の定義とすべり線

安全率を定義するまえに、岩盤の破壊条件について考えなければならない。ここではこれを実用的にクーロンの式

$$\tau = \tau_0 + f\sigma, \quad f = \tan \phi \quad (1)$$

であらわされるものとする。しかし、垂直力 σ の値とくに σ が負のとき、上式が適用できるかどうかは疑問であると思われる。 ϕ ：内部摩擦角、 τ_0 ：純せん断抵抗力

さて、岩盤内の応力をやむを得ず、二次元状態で考えその主応力を σ_1, σ_2 とする。この点の安全性は、この応力状態と(1)式とのへだたりで表わされると考えられる。両者が接するようなとき、その点は降伏状態に達するわけで、その成り方には2つの場合がある。それは、すでにいろいろの形で指適されているように、荷重変動と強度劣化である。この二つの面から、安全率、および、すべり面を眺めると、まず荷重変動では、応力の大きくなり方に大きな問題があるが、これを直線とすると、安全率 N_1 は、

$$N_1 = \tau_0 \cos \phi / \left\{ \frac{1}{2}(\sigma_1 - \sigma_2) - \frac{1}{2}(\sigma_1 + \sigma_2) \sin \phi \right\} \quad (2)$$

すべり面は、第1主応力方向から $\pm(\frac{\pi}{4} + \frac{\phi}{2})$ だけ傾いた方向にあらわれる。

また、強度劣化の場合には、強度劣化の進みかたなどに重要な問題があるが、その常数 τ_0, f が一樣に劣化する(その推定誤差も含めて)ものとする安全率 N_2 は

$$N_2 = \sqrt{(\tau_0 + f\sigma_1)(\tau_0 + f\sigma_2)} / \left\{ \frac{1}{2}(\sigma_1 - \sigma_2) \right\} \quad (3)$$

となり、すべり面は、第一主応力の方向から $\pm\{\frac{\pi}{4} + \frac{1}{2} \tan^{-1}(f/N_2)\}$ だけ傾いた方向である。

なお、荷重変動の安全率 N_1 は、立場をかえて眺めると、 τ_0 のみの劣化現象と一致する。このように、見方によって、安全率およびすべり線の方法が異なることは注意を要することである。これは、前述した支持力計算と円弧すべり計算に対応する。一般に $N_1 \geq N_2$ であり、すべり線の方法は、前者の方がより第一主応力に近くなる。

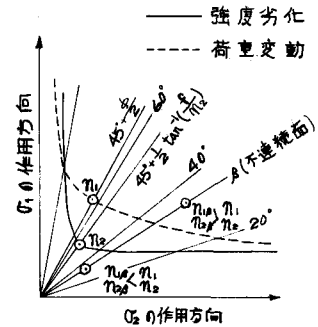
さて、いま考えている点が等方性の場合には、上の面にすべりがあらわれると考えてよいが、もし、この点を通る不連続面があるとその面ですべり得る可能性が生じる。それは 次式で示される不連続面上（強度； $\tau = \tau_0' + f \sigma'$ 、方向； σ_2 から β ）でのすべり安全率、 $N_{1\beta}$ （荷重変動）、 $N_{2\beta}$ （強度劣化）と ② 式あるいは ③ 式との比較によってきめられると考えてよい。

$$N_{1\beta} = \tau_0' / \left[\frac{1}{2} (\sigma_1 - \sigma_2) \sin 2\beta - f' \left\{ \frac{1}{2} (\sigma_1 + \sigma_2) + \frac{1}{2} (\sigma_1 - \sigma_2) \cos 2\beta \right\} \right]$$

$$N_{2\beta} = \left[\tau_0' + f' \left\{ \frac{1}{2} (\sigma_1 + \sigma_2) + \frac{1}{2} (\sigma_1 - \sigma_2) \cos 2\beta \right\} \right] / \left[\frac{1}{2} (\sigma_1 - \sigma_2) \sin 2\beta \right] \quad (4)$$

図-1 はこのようすを示したものである。

このようにして、岩盤内の応力値を知ることができれば、上述の式によって、点安全率およびすべり面の生ずる方向が計算できる。この値そのものが、重要な意味をもつことはもちろんであるが、これらの値から、全体としてのすべり破壊がどのような形で生ずるかを問題にしなければならない。これを厳密にとり扱うためには、岩盤の逐次破壊現象とそれに伴う応力の再配分の機構がわからなければならない。しかし、このことは後に述べる岩盤の応力のつたわり方とともに、良くわかっていないので、ここではこれを考慮せず、後にこの点について、若干の考察を加えることにする。すなわち弾性状態から、破壊現象を推定する方法をとる。種々の点のすべり線がわかれば、全体としてのすべりはこれを連続的に結ぶことによって求めることができる。すべり線は2つのグループから成り、お互いに一定角で交わる。これを解析的に求めるには、荷重変動に対しては主応力線を既知として、これに一定角で交わるということから、等角截線として求められる。強度劣化に対しては、交角がその点の安全率 N_2 の関数となって、より複雑となる。したがって、これを実用的にある点から出た、円弧または対数らせんとしたすべり線がどの方向に進んだとき、次の点のすべり安全率が最少になるかを求めることによって得ることとする。こうして得られたすべり線上の安全率のばらつき、および平均安全率を全体の安全性評価の指標とする。



いので、ここではこれを考慮せず、後にこの点について、若干の考察を加えることにする。すなわち弾性状態から、破壊現象を推定する方法をとる。種々の点のすべり線がわかれば、全体としてのすべりはこれを連続的に結ぶことによって求めることができる。すべり線は2つのグループから成り、お互いに一定角で交わる。これを解析的に求めるには、荷重変動に対しては主応力線を既知として、これに一定角で交わるということから、等角截線として求められる。強度劣化に対しては、交角がその点の安全率 N_2 の関数となって、より複雑となる。したがって、これを実用的にある点から出た、円弧または対数らせんとしたすべり線がどの方向に進んだとき、次の点のすべり安全率が最少になるかを求めることによって得ることとする。こうして得られたすべり線上の安全率のばらつき、および平均安全率を全体の安全性評価の指標とする。

以上の過程で応力はすでにかわったものとして話しを進めたが、実際には、これが難問題であってとくに岩盤のように分離面の多い、しかも不均質な物体では、弾性体と異なった変形性のため、^{4), 5)} 応力を求めることは容易ではない。ここではこれを模型実験によって行っている。もちろん、模型実験をすることによって上述のことがすべて満足するわけではない。

3 適用性に関する検討

上述の方法では、いろいろの非常に重要な事項について、かなり大胆な仮定や省略を設けているので、この方法で検討された事からが事実と大きく異なるかも知れない。この点について若干の検討を加える。このための資料として石膏の模型実験¹⁾の結果を用いる。なおここでは岩盤そのものの安定

性を問題とはしない。模型による応力測定値と石膏のせん断強度常数⁶⁾を用いて、荷重変動に対する点安全率とすべり線を求め、破壊実験結果と比べると、図-2、3のようである。

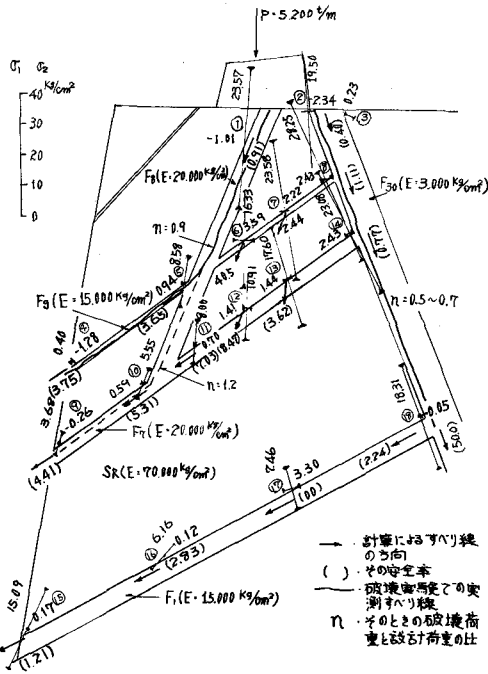


図-2 計算結果と実験結果の比較（処理前）

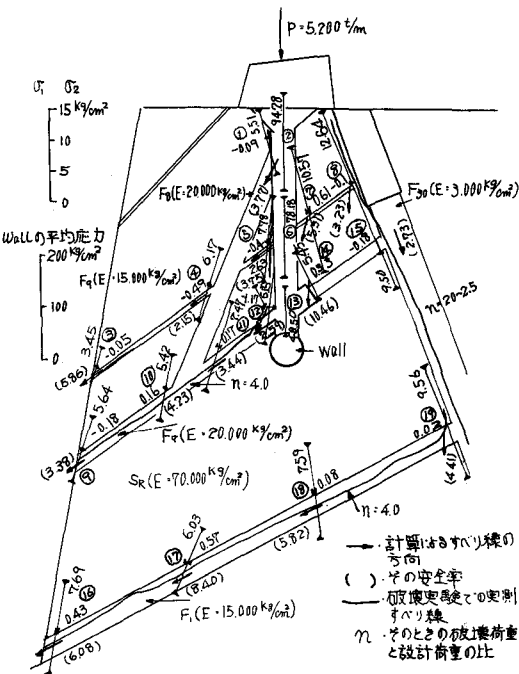


図-3 計算結果と実験結果の比較（処理後）

図によって、総じて、上の検討方法による結果が破壊実験と比較的よく一致しているが、石膏の破壊条件などを考えれば、このことからすぐに、本方法の適用性が高いとはいえない。しかし、顕著な断層などのある岩盤ではこうした検討によってかなり詳しい判断の資料が得られる。

さらに、前述した変形性や逐次破壊現象は、荷重変動に対しては任意点の平均垂直応力 σ_m と主せん断応力 τ_m の相関に現われるとみられ、その関係について、2、3の模型による破壊実験の結果について検討中である。

4 計算例

ここで示す計算例に用いた条件は、かならずしも事実にもとづいていない。対象とする岩盤には図-5に示されるような数本の断層がある。この岩盤の安定性を上に述べた方法によって検討する。ダムスラストによる内部応力は石膏を用いた模型実験によって求めた。岩盤に取り入れる岩盤の力学的な定数である弾性係数は、岩質や分離面間隔、その規模などを考慮した岩盤区分を考慮して定めている。その最大値と最少値の比は6程度である。

後で考察するように、模型実験は断層の影響を知るために、仮りに断層がないとしたものと、断層を模型に取り入れた模型の2種について行っている。

つぎに、これらの実験結果と岩盤区分に対して、推定される強度常数を用いて安定性に検討を加えた結果を要約すると、

- 1 断層の有無によって、応力分布図が大きく異なる。これは断層の形状、変形性（弾性係数、

参考文献 1) 中村ほか“川俣ダム基礎処理”，第一回岩力シンポジウム，土木学会，1962．
2) 富士野ほか“湯田ダム基礎処理計画”，“”，“”，“”，“”．
3) 高野，“アーチダムの基礎の安定性に対する実験的検討方法に関する研究”，土木論文，1962．
4) 林，“ひびわれ性基盤，斜層基盤の応力伝播の特性・・・”，第一回岩力シンポジウム，1962．
5) 多目的岩盤班，“日本の多目的ダムにおける岩盤試験”，第8回大ダム，C・5，1963．
6) Ishii and others, “On the Strength Characteristics of Bedded Rock” 土研所報，（投稿中）．

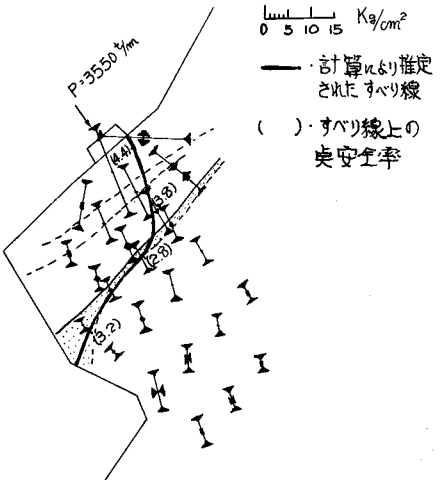


図-5 主応力およびすべり線図(断層)

A proposal of a Method Discussing the Safety of a Foundation Bedrock for Dam

Public Works Research Institute

F.Ishii

R.Iida

and

S.Kishimoto

Summary

A remarked tendency to construct a number of large dam is seen lately. However their foundation bedrock are found not always so sound enough to support such dams, it is also a recent trend to built them with some positive foundation treatments. Here is a reason why the establishment of a method to discuss the safety of a bedrock is strongly called for.

At present there are no established methods for this problem but a few convenient methods, for example, the slip circle method, the theory of bearing capacity and so on. These methods belong to the macroscopic one, of course that is necessary, but the phenomena of the failure of bedrock should be observed microscopically in order to considering the effects of discontinuities such as faults, seams, etc.

In the method proposed here, therefore, having an eye to the stress condition in the bedrock, we defined the safety factor on a point and calculated its slipping direction from the both view points the maximum critical load and the minimum critical strength.

In this method we prepared some bold assumptions and omissions concerning to the effects of the transmitting mechanism of stress, of progressive failure and of the rearrangement of stress. Distribution of stresses in the bedrock was not always decided analytically but mesured by model tests in which some important dicontituities were expressed.

Some examples calculated in this method were shown in this paper.

Through these examples we could consider the effects of the existence of discontinuities; when there were some faults, fractured zone and so on, a difference appeared in the distribution of stress in the bedrock and the factor of safety decreased.