

座談会・岩盤力学を語る 主として岩盤の現地試験法を中心として

本座談会記事は昭和 44 年 12 月 5 日土木学会会議室で開催収録したものを岩盤力学委員会の主査が中心となって抄録したものである。

出席者 (発言順・敬称略)

糸 林 芳 彦 建設省中国地方建設局石手川ダム工事事務所長	八 木 則 男 委 員 京都大学 防災研究所
高 橋 英 夫 中部電力(株)高根水力建設所設計係長(現在本社勤務)	高 橋 彦 治 第二分科会主査 国鉄鉄道技術研究所
藤 井 敏 夫 東京電力(株)梓川水力建設所第一建設所(奈川ダム)第一土木工事課長(現在本社勤務)	北 原 義 浩 委 員 電力中央研究所技術研究所
近 藤 信 昭 関西電力(株)建設部水力計画課副長	小 林 茂 敏 委 員 建設省土木研究所
畑 中 博 文 建設省中部地方建設局矢作ダム工事事務所建設専門官	堀 和 夫 第一分科会主査 建設省関東地方建設局
<岩盤力学委員会側>	(司 会)
岡 本 舜 三 委員長 東京大学 生産技術研究所(現埼玉大学教授)	林 正 夫 第三分科会主査 電力中央研究所技術研究所

司 会 それでは、まず初めに岩盤力学委員会委員長の岡本教授に開催のごあいさつをお願いしたい。

岡 本 岩盤の現地試験法ならびにその使い方については、確立された定説もないままにここ数年やって参りました。しかし、未知の問題をかかえた重要な問題であると思われるので、今般土木学会の岩盤力学委員会から中間報告としてまとめられた報告書(編集部注・前掲委員会報告)を素材として、皆さまの豊富なお経験をお伺いしたい。また、岩盤力学全般についての意見を交換し、今後の発展に役立てたいので、よろしく願いたい。

節理と強度

糸 林 6年間、早明浦ダムの著しく片理面が発達した岩盤での設計・施工にあたってきたが、せん断強度が方向性に富んでいることが基本になった問題であった。当初、河床でブロックせん断試験をしたが、このときは合力型で、繰り返し荷重を 10 時間から 12 時間をかけて 1 つのテストをした。この方法では、経費も時間もかかったので、次からは試掘坑内で分力方式をもってテストした。一般に、ブロックせん断試験によって、基礎岩盤の c と ϕ を推定するには、全く同じ条件の位置で 2 個以上はやらないと目的が果たせないが、実際は、岩質、節理、割れ目、風化などがまちまちで、なかなかむずかしい。したがって 3 か所程度の試験から c と ϕ を

決めようとする場合、垂直荷重の決め方をあやまると設計に用いるべき適正な値に対して c が小さく ϕ が大きくなるか、またはこの逆の傾向となることがありうと思う。そこで、あらかじめ岩盤の工学的分類として片理面やクラックの状態、石英脈の有無などからせん断強度を推定して、できるだけ平均的な c 、 ϕ 直線がえられるよう、それに見合った垂直圧をかけることにした。

次の問題は、せん断方向に片理面があるときは、この片理面は滑動してしまうが、せん断抵抗は、この片理面に直角断面の抵抗でほとんどが決められており、このような場合せん断応力を求めるときに用いるせん断面積をどうとればよいか疑問があった。一般に、破壊後にブロックをひっくりかえしてみたいうえでの観察によって、実際にせん断された部分だけから c を求めるのが、みかけのせん断面積としてブロック寸法から機械的に決めるよりはより正しいと思う。

三番目として、現地試験法は湿潤状態でやるように明確に記載するのがよいと思う。

クリープ強度に着目を

高橋(英) われわれのやりました高根ダムの岩盤も層理の非常に発達したチャートで、層理の影響による異方的な強度を知るために、層理に直角なせん断を 3 ケース、平行なる 3 ケース、計 6 ケースのロックシャーテ

ストをやった。長いときには、1ステップで24時間もかけるという緩速テストであったが、全試験期間・9ヶ月のうち実際のテストは41日で、残りの7ヵ月半は掘削、準備、段取り替えなどであった。本格テストはじっくりと時間をかけても工期的にはひびかないので、特にクリープ変形をよく確かめながらテストをすることが結果の解釈のために大切だと思う。通常のテストは早すぎて、実際に岩盤がもっている強度よりも、かなり大きな値を示すのではないかと感じている。

委員会の報告も、まだデータ数が少ないのでむずかしいと思うが、載荷速度によっても分類していくことが必要だろう。また、破壊の結果だけでなく、破壊の状況を記載すべきだ。層に平行な場合は、岩盤はほとんど破壊されずに層理面ですべっているが、層に直角なせん断の場合は、非常に複雑で岩そのものが破壊されている。層に平行と直角ではせん断強度のオーダーが違うので、それを明確にすべきだ。

層理面に平行な場合には、クーロン式がよく成立するようだ。緩速載荷が必要だと思ったのは、増荷後1時間ぐらいたって変形が止まったなど思っているが、その後また不連続的に変形が大きくなって、ついに破壊したことがあったからだ。

司会 クリープ強度の問題は岩盤の現地試験法としては、まだ明確に取り上げていないが、コンクリートでも通常強度の70%から80%になることがわかっており、今後大切な課題になると思う。

八木 粘土ではクリープ速度に着目してせん断試験をやることもあるが、あまり変形の時間に対する不連続的な現象はないようだ。

高橋(彦) 異方性のある地質のところで、現場試験の位置をどこにするかを決めるのに苦心することがあるが、その際割れ目の状態と傾度などの代表的なところを中心に作業をされていると思うが、その目安をつけるために、さらに弾性波のP波、S波の簡易測定法が役立つと思うが……。

糸林 実際の掘削線を決めるのに、シュミットハンマー、リップナーメーターである程度の相関を地質状況との間に得ているが、もっと適当なものが開発できればと思う。

断層の強さ

藤井 奈川渡ダムでは、まず断層の現地せん断強度を4m²でテストしたところ、断層の厚さが2~3cmもあり、断層面の起伏はあまりないので、かみ合せ作用は期待できなかった。結局、現地試験強度は不攪乱粘土資料とほとんど同じで $c=0.5 \text{ kg/cm}^2$ 、 $\varphi=20^\circ$ 程度とな

った。一ッ瀬ダムのときには、現地強度のほうが大きかったようだが……。

試験ブロックを岩盤から切り出すのに、手掘りでもエアハンマーを用いると節理の発達した岩はゆるむのでロータリーシステムでやる必要がある。岩盤のせん断試験の結果は、今回の委員会の報告書にもあるように、 c と φ の線の引き方によってかなり幅のある筈になるが、奈川渡ではクラッキーでない所の代表値として $c=30 \text{ kg/cm}^2$ 、 $\varphi=50^\circ$ を得た。なお、比較的クラッキーなところは 20 kg/cm^2 、 50° 程度であった。

奈川渡では、ロックせん断とコンクリートブロックせん断をすこし比較してみたが、両者の間に大きな差はなかった。

また、試みにせん断面の下1.5mに破壊音を聞くピックアップを入れて測ったところ、すべりが顕著になるまでにはロックノイズが時間あたり8000回から20000回出た。載荷初期の0.1~0.2mmの変位でも、すでに2000~3000回のロックノイズが感知された。また、曲げの問題はひずみ計で調べた。今後は、せん断試験の結果と、地質の量的な表示の相関を煮詰めていくべきだろう。

現地試験値の見直しを

近藤 黒四の岩盤試験、実測、喜撰山の地下発電所の掘削中の試験、実測などを総合して感じられたことは、岩盤深部の地山が本来持っている変形係数や強度よりも現位置試験値はかなり下回る結果が多いのではないかとことだ。その原因は、横坑の掘削や供試体の切り出しによって多少ともゆるむし、破断面の不均等分布などが考えられるのだろうが、ともかく局地的な値そのままの値でなく、より広い範囲の値を併用して、コアのテスト、横坑間の弾性波テストなどを総合して、各標高の設計用の変形係数を推定した。この推定値を使って、黒部の実測値の解釈を試みたところが割り合いよく合った。また、補助データの分布をうまく使って測定値を修正して成功した。喜撰山の場合は、非常に大きな掘削を行なうということで、横坑内のテスト値をそのまま使って解析してみると、実測にくらべて大きな変形となってしまった。したがって、岩盤の物性は広い範囲で調べる必要があるが、いままでは弾性波テスト、シュミットハンマー、コアテストなどだが、シリンダージャッキなどは、地山深部でのテストとして使えないものだろうか。ボーリング孔が使えるし、簡便だと思うが……。

現地せん断試験は高橋(英)さんがいっておられたように、実構造物との対応で考えると、基本的には、もっ

とゆっくりやるべきだ。変形が事実上とまるまで待つべきだろう。

試験の基準化を

畑中 矢作ダムでは、せん断試験を22カ所もやった。最初、ブロックシャーを2カ所やったが、接合面でせん断されて本当の岩のせん断値は測れないとのことで、その後、60 cm 角の岩を切り出してかご状に鉄筋コンクリートを巻いてロックシャーをやったが、意外に大きなせん断抵抗が出た。その原因は、このかごがダイレタンシーを拘束したためと思う。破壊面の一般傾向としては、せん断抵抗の小さいものはベースよりやや深く凹面を形成し、大きいものは水平に近いが、もしくはベースよりいくらか高い位置で凸面を形成し、かつ前者では破壊面付近の破碎されたゾーンが深く、後者では浅いか、あるいは全くないからと考えられる。

次に、先行鉛直載荷から変形係数を c 、 ϕ とも相関をとって見たが、変形測定之感度ぎりぎりのところでの試験であったからかもしれないが、あまりよい相関はえられなかった。測定器の問題があった。この場合、1/100 mm のゲージであった。

今回の報告書を拝見して非常に感じたことは、現場では一つの見方についてやっており、 c と q_u の関係、節理本数との関係などについては特にやっていなかった。したがって、今後役に立つような資料が残せなかったのが残念だ。今後の仕事にいろいろな面で役に立つ資料を残すためには、事前に土木学会などで決定された試験基準があれば、各地のデータの比較にもっと適確に協力できたのではないと思う。

司会 本日の出席の方々が大ダムの岩盤層にかなり偏っている傾向があるのは残念であった。トンネルや本州四国架橋の橋梁基礎の方々もお招きはしたが……。今後もっと参加してもらって、岩盤力学を裾の広いものに育てていただきたいと思う。

いままでのお話の中でいくつかの本質的な課題が伺えたようで、特に、地山の真の物性を現行の試験が表現していないのではないかと。局地的な試験とマクロな他の試験を総合して設計値を決めるための基準となる考え方はいかにあるべきか？ 異方的な節理体の破壊をまだ十分に試験計画に取り入れていないのではないかと。現行のせん断荷重速度は実荷重の長期性から考えると、もっともっと緩速に規定すべきではないか？ ブロックシャーテストがロックシャーテストの代用として認めてもよいかどうか？ など……。話はいいよ本論に入ってきたようだが……。

挙動の実測値と現地試験値

畑中 ブロックシャーの値は強さが大きくでてしまっている。

岡本 近藤さんが、現地テストをやった結果よりも実物の方が強いような結果が出ていると話された。これは、黒四以来の貴重な経験からいわれたことで関心が深い。

藤井 奈川渡ダムでは、貯水後まだ半年ではっきりは言えないが、今までのところ、ダムからの推力方向の岩盤変位は実測で5~10 mm で、設計値の60~70%である。

岡本 この種の傾向は、トラスのような簡単なものでもそうだ。ダムでも安全をみるために実際よりは剛性の小さな仮定で計算している気がする。そのほかに、山をゆるめて試験していることもあろう。しかし、ゆるめないようになりに気を使ってテストしているから、ゆるめていることだけが、さきの話の原因ではないであろう。この問題は、構造計算と実測の共通的な傾向のように思う。

司会 実際の変形の方が、あらかじめ現地での測定値に基づいて設計した変形よりも小さい傾向の生じる原因だが、構造解析上の簡略化からリジリティーを小さ目に評価する問題は、ダムの岩盤については従来は2次元ひずみの解析によっていたもので、まわりの3次元的分担効果を取り入れていないことが指摘できる。また、地山は地圧による拘束圧が効いているのに、現地せん断試験も変形試験も拘束圧をかなり解放してしまった状態でやらざるをえない。3つ目の原因としては、貯水し岩盤が飽和状態に近づくと、岩は水でながしかふくれるが、これはかなり良い岩でも、われわれが測定していると100 マイクロひずみ、粘土化しつつあるものは1000 マイクロひずみに達する吸水膨張をすることがわかってきている。これは、ダムからの推力による変形をおしもどすので、みかけ上、設計値よりも実測値が小さくなる傾向が生じる。これら以外の原因もあると思うが……。

要するに、実測と設計の差を煮詰めるためには、まだまだ、ほかの物性試験の項目があるように思う。

現地せん断試験

藤井 せん断試験のときの曲げの影響もあるのではないかと？

北原 境川で測ったときは、岩盤のひずみ分布を調べてみると、ジャッキ側はかなりひずみが偏っていた。高根の場合は、荷重端から順次後方に移行するようであ

った。奈川渡については、境川の場合と同様に、荷重端にひずみ分布が偏っていたように記憶している。

藤井 畑中さんがロックシャーのブロックを60 cmに成型したといわれたが、トラブルはなかっただろうか。

畑中 60 cmにまで小さくすると、場合によっては岩塊がぼろっとはく離することもあり、21ヵ所もテストをやったが結論が出しにくかった。地質工学的な分類とせん断試験値の分布との関係は、ジャッキ試験ほど明らかにできなかった。

岡本 結論が出ないのは、試験法でどこが足りないからかを考えてみたい。それが今日の議題にも合うし…

高橋(英) つまり、岩質と測定強度の相関がうまくでないのは、条件が複雑すぎるのではないか。しゅう曲の少ないところ、層理に直角と平行とをやるとか、単純化した条件でやらないと、いくら慎重に試験をしても結論がでにくいのではないか。

藤井 変形と地質の相関はある程度はでるが、強度と地質の相関がつけにくかったとの畑中さんの話は、せん断のサイズが60 cmだが、この寸法が小さすぎるからではないか。節理の入った岩盤では、60 cmでは小さすぎるように思う。

小林 話は変わるが、委員会では現地試験値と室内試験値との相関性に重点を置き、試験データの整理をした。一方、すでに行なわれていた試験の多くは、設計に必要な岩盤の値をうることを目的であるため、必ずしも室内試験との併用は行なわれていない。したがって、今回の整理対象からはずされたデータも多かったが、今後別の面からみた整理に役立てたい。

司会 試験法にも、荷重速度、試験体の寸法、弾性波試験との併用、その他に重要な問題があることが指摘されたし、実測と計算の対比にもさらに煮詰めるべき物性上の事項が指摘された。そこで、これらの指摘を十分に取り入れた現地試験基準案の作成に今後進むべきだろう。蛇足ながら、今回の調査は各機関から出していたのだが、代表値なので、悪いデータはあまり出なかった。データを学会に出すと公表されるだろう……というわけで(爆笑)。したがって、今後の岩盤の設計にこの調査結果を活用していただくのは有難いが、小さ目の値を活用していただきたい。大き目の値を設計に使いたいときは、ぜひ、現地試験を実施するように願いたい。

岩盤斜面

畑中 岩盤力学上の実用的な問題でよく出くわすが、難しいことに縦にきり立った断層にダムからの力

がかかった場合で、PSをかけたいが、そのためには断層の c で抵抗できる分をまず評価したいという場合である。その断層の全体の抵抗力が全くわかっていない。マクロな試験もできず、理論的にも断層の起伏やねじれを考えた計算もないし疑問が多い。断層材料の上質試験値を出してみたその値では自然のままでも動いてしまうことになり、納得できなかった。

藤井 奈川渡でもその問題は何度か出くわしたが、わずかな経験から考えると、結局は断層材料の厚さがあつたら、断層の起伏やねじれのインターロッキング効果は消えてしまう。岩盤掘削中にくずれ落ちそうな岩壁がわずかのひっかかりでもっているのが雨が上りに落ちたことがある。このようなインターロッキングの抵抗を評価するのは、かなり幅があり難かしい。

藤井 工事中の測定としては、コンソリデーショングラウトの前後による変形性の変化を簡易弾性波テストで測った。しかし、方法が簡便すぎたのか結果がばらついてよく判定できなかった。また、貯水後アパットメントの動きを測定したが、着岩面のゆるみは結果的には特に認められなかった。もちろん、コンソリデーショングラウトの効果によるものであるだろう。したがって、ジャッキによる変形係数などの設計時の値は特に変更しなくてはならないとは思われなかった。

PS 工事の工事管理などの目的には、変位計と併行して簡便で数多くできるボーリング孔内での透水試験値を3 mおきにやって、全体的な岩盤のゆるみの診断に役立たせた。

地下発電所の掘削、ルジオン値

近藤 工事中の保安を目的とした測定としては、私どもでは喜撰山の地下発電所の掘削中の測定がある。アーチの落盤、側壁のはらみ出しを事前にロックデフォーマーターで測ったが、できるだけ単純に機械的測定を主とした。変形の危険信号としては、掘削の中止時のクリープ変形の有無に着目した。側壁の一部分でクリープが止まらない状態になり、急きょストラットをかけて崩落を防止しながら無事に工事を完了した。結果的にはこの測定は効果があった。別な問題として、さきほど話のでた岩盤強度試験値は真の強度値とはいえずに実用的な特性値だということは同感だが、実用的な特性値ということになると、自分のところだけの値をみても自信が生れてこないのが、他所の結果と比較してこそ意味を増してくる。しかし、岩盤の強度はいろいろな要素によって変わる。たとえば、供試体の大きさ、目の数、目の方向、載荷速度、繰り返し回数によって変わる。黒四では、繰り返し荷重のときの強度は単純増加荷重の

きの強度の 70% ぐらいであった。したがって、他所の結果とくらべるといっても、条件がそれぞれ違うことがはっきりしてないと困る。だから、今後の岩盤試験はなるべく同じ条件でやることはできないか。少なくとも載荷方式を合せてやると相互に結果を比較しやすい。委員会でその方向にもって行ってもらいたい。

高橋（英） いま一つは、結果だけに頼ってはいけないということであって、もっとも大事なのは破壊の過程がどうなるかを実感としてつかむことだと思う。また、破壊するまでには意外と変形が進む、粘りがあるということだ。

実際に問題なのは、局所的な現地強度もさることながら、全体の分布をつかむことだ。そのためには、水の問題と岩の強度との関連性、ルジオンの妥当性は問題だが、ルジオン試験値の分布が有効な判断資料になると思う。私の考えでは、ルジオンよりも小さな値を基準にすべきだと思うが……。

さらに、今後の問題としてはシームや小さな規模の断層など肉目で確認できない地山内部の弱面をどのようにしてつきとめるという問題がある。これらについては、なかなかつかみにくいので、何かうまい確認方法はないだろうか。

糸林 石手川ダムでは、ロック シャー テストを行なってダムの基本設計を行なったし、巨視的な安定計算をヘニーの式でやったが、実際に掘り始めてからは、はたしてどの程度まで掘ればよいのか、安全と経済の見地から判断しなくてはならない。その際の視察による判断と平行して、シュミット ハンマー、リッパー メーターの値とせん断強度の大ざっぱな相関に頼って、ある程度定量的な判断ができるようになった。今後、積極的に掘削線の定量的決定に活用してゆきたい。

地圧による拘束

高橋（彦） さきほど岩盤テストの結果とその後の実測との対応が 20~30% ほどちがう原因のなかで、林さんが三軸状態での変形の拘束が現地テストでは見逃がされがちだと述べられたが、私もそれが非常に効いてきていると思っている。岩盤テストをやるときにダムの設計

から決まる荷重条件と、周辺地山からの拘束力とその両方を考慮するような現地規模のうまい試験方法がないものだろうか。

司会 ボーリング孔内でのシリンダー ジャッキやプレッショ メーターの類をもっと活用していったらどうか。

高橋（英） 高根 ダムの右岸の破碎帯でプレッショメーターをやってみたが、実際問題としては使いものにならなかった。ゴム チューブが破れ、岩盤の場合はだめだった。シリンダー ジャッキは鉄の輪をくさびで押し広げる方式なので、これなら岩盤にも使える……。

司会 三軸拘束下の現地試験方法は、実用上、どうも今後の課題といわざるをえないようだ。次に、岩盤の工学的分類に話題を移そう。

高橋（彦） 岩盤の地質工学的な分類が建設省や電力関係からでているが、トンネルの場合も分類がいつも問題になる。トンネルでは、マッシブな岩よりも適当にきれつがあった方が掘り易い場合がある。これを調査するのに、地表から弾性波試験をやって深部のトンネル通過地の岩盤の弾性速度を出し、これとその地点の新鮮な岩石コアの速度を比較して、きれつの具合の目安にすることをやっている。この方法を厳密に考えてみると、地表から深部岩盤の速度を測ることは、岩盤が三軸拘束下にあるので、そこから採取したコアについて実験室で無拘束圧のもとで測るより大きな値が実際には出ている。したがって、割れ目の評価が往々にして甘く出ている。実際にトンネルを掘ると、もっと割れ目が多いという問題がある。

弾性波試験

岡本 弾性から非弾性領域を推測するのにあまり間違いない方法と、弾性を越すとぐっとくいて違って推測できない方法と両方あると思うが……。

高橋（彦） 割れ目に粘土が入っているかどうかとか、岩盤中の粘土の密度がどうかとかということになると、弾性波もかなりむずかしい。

畑中 岩盤 1~2m で測った場合、感度 1/4 mm/sec のリッパー メーターでは、一つ隣に赤 ランプがついて

解説

ルジオン値

割れ目のある岩盤の透水係数については、土質材料のように室内試験から現地での係数を類推することはむずかしい。そこで、岩盤の透水性、グラウトによる遮水性を判定するために、現地で Lugeon 試験が行なわれることが多い。この試験はボーリング孔への水の圧入量から透水性を評価するもので、上下のパッカーの間の圧入部の長さは 5m を標準とし、5~10 kg/cm² の圧力をかけて約 10 分後の安定した圧入量からルジオン値を算定している。1 ルジオンは、圧入長 1m 当りの 10 kg/cm² の圧力での 1 l/sec の圧入量の場合と定義している。1 ルジオンはごく大まかには 1×10⁻⁵ cm/sec の透水係数に相当するとされている。ルジオン値は、パッカーの良否、地下水圧の有無、適用する圧力の大小、割れ目の状況、グラウト孔からの距離などに左右される。

しまうと数 km/sec もの違いに測定されてしまうこともあり、測線が短いときには問題がある。反対に、距離を長くするとノイズをひろうし、なかなか実用上は改良の余地が多いように思う。

八木 弾性波の P 波は土の場合は間げきの水分によって非常に影響される。一方、 S 波は間げきの水分の影響を受けない。したがって、動的な弾性係数は別として、間げきの水分の影響を受けない静的な弾性係数は S 波の速度から推定するのがよい。

畑中 矢作ダムでの S 波測定の実収率といいますか S 波の読み取れる測定値は 60% 程度しかない。 S 波の上がりの確認が岩盤の場合は素人ではむずかしい。土の場合はやさしいようだが……。

司会 拘束圧に対してはシリンダー ジャッキ、節理や水に対しては S 波という具合に、今後の問題の解決の糸口が出てきたようだ。ここで話を移し、広く岩盤力学に目を向けた場合の問題点をお伺いしたい。

岩盤力学に望む

糸林 重力ダムのせん断テストの値を設計に使うときにいまの大ダム会議の基準では巨視的なすべり摩擦安全率を 4 だけ取ることになっているが、岩盤テストをやっていると破壊点の前に途中で浮び上がる特異点があり、この特異点を設計に反映させていくべきではないか。

もう一つは、基準になっているヘニーの安全率は非常に大きい目を見た安全率だが、現実には岩盤テストは局地的なものなので、内部応力の分布からいいういゆる点安全率において用いるべき強度値なのではないか。その場合、点安全率が高い応力の位置ではとて 4 は取れないので 2 を取ってきたが、今後もっと岩盤テストの結果を現表面に反映させるような安全率の方向に進めるべきだろう。

高橋(英) 岩盤力学は、単に力学の岩盤への応用というものが多く、それに比べて物性的なものに対する知識が少ないのではないかと。もっと基礎的な物性の研究を進めるべきだ。

現地試験をしていると、破壊前のクリープが大きくなるときの応力が、繰り返し荷重や長期クリープ強度と密接に関係しているように思うので、ジャッキ試験などの非破壊試験のクリープが急増する異常点と、強度との間の相関を考えていくのも一つの方法だと思う。

藤井 現場をやってみて、高いり面をもった斜面の掘削の安定の問題がいつも頭にあって、しかもクレーンでなく、まごまごする問題であった。どうもすっきりしない。ロック ボルト一つにしても、その安全度がわからない。よくもっているようでもあるし、壊れれば壊

れたで、なるほど壊れたような計算であったということ……。

もう一つは、岩盤工事後できた岩盤が、設計で見込んだものよりも安全か危険かという確認の方法を追究すべきではないか。岩盤の変位の測定値と計算値との対応にしても、部分的に変形が多少多くても、全体としての応力の変化はないと割り切れれば全体としての抵抗はまだ特に低下していないのではないかと……など、実際につくったあとの岩盤構造物の安全を反省するアプローチを煮詰めていくことが必要だ。

近藤 岩盤力学を必要とした体験ということになると、最近の悩みを話すことになるが、最近、揚水発電の大型のものが多くなり、高落差大容量でトンネルにしても高圧、大口径であり、地下発電所は大きなビルが入るくらいの空洞を掘ることになってきた。むずかしくなる一方、コストの低限を非常に強く要求される。喜撰山地下発電所で、いろいろな測定をやり設計をやった。その勉強の結果を次の工事に役立てるためには、従来の地下構造物の設計上の固定観念から、一歩先に踏み出すように設計面の新しい提案が必要だ。岩盤力学もまだ若い学問だし、物性なり測定のデータの集積の段階だとは思いますが……。

畑中 現場では事故を発生させない工事を進める要請が強いが、のり面の災害の面でも岩盤力学でなんとかもっとすっきりさせるべきだ。もう一つは、グラウトの問題だ。やればやるほど複雑でわからなくなるようだが……。1ルジオンにもっていくには、スプリットスペースでグラウトを中間、中間と押していくから、これを1にもっていくとなると工事が倍、倍になる。マージャンの点と同じになってしまう(爆笑)。この判断が非常に工期と工費を左右する。

ルジオン値の基準は

高橋(英) ……さきほど私が1ルジオン以下を基準と考えたと申し上げたが、それは透水の問題に対してでなく、岩盤の強度の面からだ。岩盤の中の構造はよくわからないのだから、無条件でそこに信頼してよいと判断するには1ルジオンではあまずぎないかと思う。よい岩盤の場合にはルジオンよりはるかに下の値を示している。水成岩の場合だが……。

藤井 私どもで火成岩でも水成岩でも3カ所のダムを最近やってみて、20~30m の掘削をした岩盤でも4~10ルジオンはあり、1ルジオンのところははるかに深く河床から50~60m、両翼なら、さらに奥で100~150m以上の深さにもなってしまう。一般論として、1ルジオン以下でなくてはならないというのは相当にシビ

アであると思う。

堀 花崗岩とか火山性の岩盤は岩が硬いが、クラッキーで1ルジオン程度の透水係数であれば良好な基礎といえる。水成岩では層理が多く1ルジオン以下であっても、20 kg/cm²以上の圧力に対しては層理が開き透水係数が大きくなる場合が多い。したがって、ルジオン値をもって岩盤を評価する場合、1ルジオンより小さい値の使用の適否は、岩盤の種類によるのではないと考える。ルジオンテストの圧力と岩の構成の間にむしる問題があるのではないか。

高橋(彦) 粘板岩とか千枚岩などの水成岩では、ベディングプレーンなど地質的分離面が数多く発達しているので変形が起りやすい。したがって、ルジオン値は低く抑えておき、一方、火成岩はクラッキーだが、層理や片理の発達した水成岩ほどには顕著でないから、相対的に見るなら少しあまくルジオン値を考えておいてもよいのではないか。

近藤 1ルジオンは確かにきびしいように思う。ダムサイトが異なれば、ルジオン値の基準について、かなりちがう判断が行なわれているようにも思う。しかし、1つのサイトで、ルジオン値の分布を強度や変形性の目安にするのは適切だと思う。

糸林 1ルジオンという値は厳しいように思う。この1という値にこだわらなければ、石手川ダムでもルジオン値とブロックシャーテストの値を関連づけたが、かなり相関が高いといえる。

司会 局所的にしか実際上できないシャーテストに基づいて、さらに全体の分布を推測するにはルジオン値の分布を媒介として活用するのが良いという意見には一致したようだ。ルジオン値の期待値についてはまだ意見がわかれているが、水成岩か火成岩系かによっての強度と透水の相関特性の違いなどについて、物性的な研究の蓄積が必要のように思う。

委員会に望む

糸林 土木学会の岩盤力学委員会で、現地試験の荷重形式、荷重速度を基準化するべき時期だと思う。また岩盤の工学的分類、数値表示を統一してもらいたい。

近藤 電力需要が急増し、揚水発電や原子力発電での用地取得がきわめて困難になりつつあり、どうしても地下の大空洞に入れてしまう技術を進めておく必要性がでてきたので、この点でも手をうっておくべきだ。

岡本 地下発電所の大空洞の力学面、掘削面の人たちの分科会を、この岩盤力学委員会の中に設けて今後の推進をはかたらどうか。

高橋(英) 岩盤力学委員会のシンポジウムや報告は、かなり進歩がはやい。その発達の間段階で適時適切に現場で利用できるためには、さらに日常の情報交換活動をすすめてもらいたいと考える。また、学会誌に発表された報告の電算手法は、広く普及させるためにプログラムをつけてほしい。

畑中 岩盤力学委員会は、試験基準を早く作成するべきだろう。

藤井 立派な本が改訂されるまでには時間がかかるから、技術の積み重ねとしてパンフレットでよいから、岩盤力学の手引きを次々に出していったらどうか。

司会 その手引きの第1回をこの現地強度の中間報告が果たすとして、さらに試験基準、岩盤の工学的分類、地質調査基準、グラウチング、実測値の集約などを次々と実施してゆき、岩盤力学の成果がより多く活用されるように活動していくことが必要であると考えます。

本日は、ごく基礎的な論議から始まり、さらに今後の進むべき方向まで熱心に討議が重ねられ、有難うございました。

土質実験指導書 45年改版刊行

土質試験法(土質工学会発行)の改訂にともない土質実験指導書も大幅に改訂し45年改版を刊行しましたので広くご利用下さるようご案内いたします。

体 裁 : B5判 本文 66 ページ データーシート 32 枚
定 価 : 340 円 送 料 : 70 円
編 集 : 土質工学会・土木学会
発 行 : 土木学会