

## 総括・一般報告

実用化されるときには、土の熱的性質特に土の熱伝導率の測定値が重要な基礎データとなるからである。

第二に、昨年度の総括にも述べたが、土の熱的性質は、温度のみならず他の土の物理的性質などに大きく左右されるから、凍上挙動のみならず、他の分野でも現場の物理性の変化に対応できるデータの蓄積が望まれる。

第三に、過去に蓄積された研究は、完成している訳ではないので、あらゆる研究課題でなお一層の解明が望まれる

ところである。

本年度の発表件数が、昨年、一昨年よりやや少なかったのは、研究が停滞している訳ではなく、61年1月に同時開催される「土の凍結に関するシンポジウム」と「土の熱的性質に関するシンポジウム」に備えて、発表を控えたものと思われ、これらのシンポジウムに有益な多数の論文が提出されることを期待したい。

## 岩の性質

## 一般報告

金沢工業大学 宮北 啓

341 高温・高圧下における岩石の透水性試験（その1：高温高圧透水性試験の開発）（村野・八尋・吉田・西）

342 軟岩盛土材の透水性と排水三軸特性（遠藤・岡本・越智）

343 割れ目の変形と透水性に関する一考察（平間・丸山・鈴木）

344 孔内湧水圧測定試験(JFT)による透水係数推定についての一考察（大東・生駒・磯部・植下）

345 岩石と間隙水の相互作用に関する理論的考察（里・亀村）

346 モデル化された節理性岩盤の浸透流解析（大西・西野・鍵本）

347 応力とのカップリングを考慮した節理性岩盤の透水性評価—基礎理論—（小田）

348 岩盤の水透性評価に関する数値実験（小田・羽出山・前洪・山辺・大西）

本セッションで発表された論文は8編である。主題は地盤の透水性に関するものであり、大別すれば実験に関するもの3編(341~343)、現場試験結果の解析に関するもの1編(344)、理論・解析に関するもの4編(345~348)である。

最近軟岩盛土材を使用する場合が増大し、その強度劣化が問題となっているが、342では従来スレーキングなど定性的試験が多かったのに対して、強制的に劣化させた材料について、排水三軸特性と異方圧密過程の変形および拘束圧下の透水性を定量的に試験している。今後このような施工上有用なデータの蓄積、更には圧密による強度増加との関係の研究が望まれる。

344はJFTによる実測データが必ずしも解析で用いる理論曲線と一致せず、透水係数が求めにくいことから、FEMシミュレーションにより、実測値の描くパターンの原因を考察し、更に自動解析プログラムの作成により、測定後期の直線部分の勾配を求める方法を示しており、実用上有用な研究である。ただ実測によれば管路内を流れる

time lagがかなり大きいこと、また影響半径を仮定しなければならない面から、将来この基本式を再考する必要があるように思われる。

岩盤の利用度は近年特に放射性廃棄物の地下処理や石油備蓄等エネルギー問題との関連で増大しつつあるが、この際割れ目のある岩盤内浸透の問題は重要である。高圧で更に高温または極低温の状況下では、岩盤および割れ目の熱応力による変形が加わり、更に浸透水自体の相も変化し複雑となる。特に放射性廃棄物の場合は、もしその核種が地表に浸出するような事態になれば生物圏に極めて危険となるため、この分野の研究が緊急の課題となっている。341, 343はいずれも人工的割れ目を与えた試料についての実験・解析である。341は高レベル放射性廃棄物を地中深く安定した岩体中に密封処分する際の地表面への浸透を検討するため、地下深部環境を再現する高温・高圧透水試験機を開発し、放射性廃棄物の処分に最適と認められている花崗岩試料を用いている。不透水性に近くかつ熱水状態での試験であるため、測定および解析上種々の問題はあがるが、この種の研究は将来非常に重要であるため一層の発展が期待される。343は単一割れ目を考え、その透水性の応力依存性を明らかにするため、3種類の試料についてそれぞれ人工的に圧裂およびカッターによる割れ目を作り、周面のみに拘束圧を与えた状態で透水性を求め、また岩石基質部の変形を測定している。その結果透水量の1/3乗が応力の対数に対して線形の関係にあることを検証しているが、これは動水勾配の小さい範囲はよいとしても、より深い場合には更に検討を要するようである。今後複数割れ目を有する試料についての試験および解析が望まれる。

岩盤中の割れ目内の浸透は土中の場合と異なり、割れ目の長さ、幅、その分布状態および連続性等により多様な異方性を示すため、浸透流の挙動を解析するのに有力な方法は現在までのところ確立されていない。しかしながら既記のように岩盤の利用性が著しく高まってきた今日、早急な開発が切望されている。345~348はこのためのアプローチであり相互に密接な関連をもっている。345は岩石と間隙水の移動現象の連成問題を取り上げ理論的に考察している。この際岩石は連続体で、巨視的に等方性均一な弾性体とし

てモデル化し、基本方程式を求め間隙水と岩石の相互作用を考慮した変形・透水問題を扱っており、今後の展開が望まれる。346は岩盤の透水性の異方性を加味した浸透流解析を行う目的で、岩盤表面から不連続面の情報を求め、統計的手法でモデル化し、それを等価な透水係数テンソルを持つ連続体に置き換える方法を取り、その数値解析を行っている。この結果、処理前において判別しにくい要素間の結合性や異方性が感覚的にも分かりやすくなるという成果をえており、一連の解析結果より不連続性岩盤を等価な透水性を有する多孔質性連続体に置き換える可能性を確認できたことは重要である。348は節理性岩盤をそれと水理学的に等価な多孔質媒体に置き換えるための一般的手法を確立するために、既に知られている数値実験の方法を用いてその性質を明らかにしているが、この際等価な多孔質媒体で近似する場合の誤差の範囲について詳細に検討しており、また347は348とほぼ同様の目的で、節理などの不連続面を二つのスプリングで結合されたジョイント要素とみなし、節理性岩盤をそれと水理学的に等価な多孔質媒体に近似させ、その透水係数の応力依存性を考慮しつつ、基礎方程式を誘導している。なおこれらの過程においては内外の理論・実験結果に配慮しつつ評価を行っており、両編とも今後一層の展開が期待される。一般に理論・解析が今後更に高度化する中で、材料定数の求め方および検証のための実験の重要性はいよいよ高まるものと思われる。

(株)大林組 藤原紀夫

349 高圧三軸圧縮試験機の側圧と軸圧との関係および引張り強度と圧裂強度との相関(林・大林)

350  $K_0$  条件下での風化に伴う珪藻質軟岩の力学的特性(宮北・前川・小川)

351 膨脹性泥岩の特性について(辻・門脇・大石・馬場)

352 掘削泥岩表面部の風化現象の現場測定例(永田・山田・関屋)

353 岩石のカイザー効果とクリープひずみの関係(道広・藤原・吉岡・畑)

354 花崗岩(岩石および岩盤)の静的および動的弾性定数の関係について(石川・城ヶ崎・越智・山田)

355 軟岩の動せん断剛性率に関する室内試験と原位置試験との比較(西・藤原)

356 岩盤物性におけるデータベース化の試み(今津)

本セッションに提出された論文は8編であるが、当日351の論文の発表はなされなかった。8編の論文は内容が多岐にわたっており、分類するのが困難である。あえて分類すると、岩石および岩盤の風化、膨張、せん断などの現象解明をはかった研究4編(349, 350, 351, 352)と岩盤の設計や数値解析時に用いる入力定数の決定方法を取り扱った研究4編(353, 354, 355, 356)に大別できる。前者の現象解明研究は特定の岩種を対象としたものとならざるを得ず、これを普遍化してゆくには粘り強い研究が必要で

ある。後者の入力定数の決定は、岩石試験や岩盤試験などから得られるデーターを、対象とする岩盤の定数にいかに変換して入力定数としてゆくかということになる。種々の試験から得られるデーターを生かして種々の方法をクロスオーバーして決定することが大切である。

349は高圧三軸圧縮試験時の軸圧と側圧との関係および、引張り強度と圧裂強度の関係について述べたものである。三軸圧縮試験の結果は、軸圧と側圧との関係を論じるよりも、破壊包絡線例えばモール・クーロンの破壊基準とどのように適合するかしないかという整理をした方が良いと思われる。この点については討論の中でも同様の指摘がなされた。また、圧裂試験では、載荷が線接触であることが望ましいが、実際には、面接触となり易く、くさび状の破壊部分を押し込むことになり、試験に当たっては、この点の注意が必要であることの指摘もなされた。

350と352は風化現象を解明しようとしたものであるが、前者は珪藻質軟岩という特殊な軟岩を用いた室内試験結果の報告であり、後者は掘削工事現場における現場測定結果の報告である。350は風化現象の解明を目的とした一連の研究のうちの一編であり、今後の粘り強い研究が期待される。対象岩が特殊なものであり、また試験方法も $K_0$ 条件という特殊性があり、これらの結果を斜面崩壊の対策などに利用するには、実際の現場の状況と常に対比しながら研究を進めてゆく必要があると思われる。会場から、 $K_0$ 条件という土質試験の方法、試料採取時に応力が開放される点、風化状態を作り出した条件等について討論があった。352は現場における風化現象を超音波の伝播速度、針貫入抵抗と含水比の変化で測定し、経時的に風化域が深くなることを示している。会場から、この風化は、掘削の応力解放による緩み域的なものも計測していることにならないかという指摘がなされた。

351は当日発表がなされなかったが、討議を希望した人も見られた。膨脹性に関係する9項目の岩物性値から、あるトンネルの膨脹性の予測例について述べている。9項目以外の膨脹性に関係する項目、例えばモンモリロナイトの含有量や地山強度比等も含めた予測方法を確立する必要があると思われる。

353は、AE試験によって岩盤の初期応力を測定する方法の確立を目ざした一連の研究のうちの一編であり、今回は岩石のカイザー効果とクリープひずみの関係について述べたものである。AEのカイザー効果は応力よりもむしろひずみに大きく依存し、推定される応力は、必ずしも過去に受けた最大の応力としないことを供試体試験によって示している。会場から、ひずみ依存性について、軸ひずみでなく、体積ひずみで整理してはどうか、試料採取後AEが発生するひずみは、経時的にどのように変化するかについて討議がなされた。

354は、広島型黒雲母花崗岩盤を対象として、静的およ

## 一般報告

び動的弾性定数の関係について、各種試験法により求めた弾性定数を比較検討したものである。その結果、岩盤の割れ目の程度の影響の他に、応力開放や被土圧の影響によって、各定数間の変化が異なることについて考察している。割れ目係数について、まぎらわしい新定義は避けるべきであるという意見が出された。

355 は、軟岩の動せん断剛性率について、室内試験と原位置試験の比較について述べたもので、岩石と岩盤との相違という観点からとらえている。微小ひずみレベルで、一軸圧縮強度が  $50 \text{ kgf/cm}^2$  以上の時には、両者の値は比較的良い一致を示すとしている。原位置試験においてひずみをどのように評価したかについて討議があった。

356 は、岩盤物性のデータベース化の試みについて述べたもので、ダム工事現場を中心とする 261 サイトの岩盤物性のデータベース化をすることによって、岩石物性から岩盤物性を推定することが可能であるとしている。今後、このデータベース化がより有効に利用されるためには、地域別とか工事別に分けて、データベース化を進めるのが良いと思われる。

京都大学 大西有三

357 繰返し荷重下における粘土シームを有する岩盤の力学特性に関する研究（足立・矢野・岡）

358 弾性波速度による岩盤の不連続面の評価（山本・岩野・里・亀村・久保）

359 ラフネスを有する岩盤不連続部のひずみ軟化特性（浜島・パレリオ・グティエレス・草深・山下）

360 不連続性岩盤の節理分布性状の幾何学モデル作成に関する研究（大西・鍵本・菊地）

361 個別要素法による単体ブロックの挙動解析と解の安定性について（大西・河野）

362 不連続性岩盤のひずみ軟化解析（浜島・山下・草深・グティエレス）

363 Block理論による不連続性岩盤のくさび状岩塊の安定性評価（大西・長野）

364 物性値のばらつきが地盤の安定性に及ぼす影響（伊藤）

岩盤は不連続面を有し、不連続面の影響により非均質性、異方性を呈することはよく知られている。本セッションの主題は岩盤の不連続性、不均質性についてである。

岩盤の構造的な基本要素である不連続面を特徴づける記載すべき事項には次のものがあると言われている。

## A. 幾何学的特性

1. 方向性（走向・傾斜） 2. 間隔（平行な不連続面までの垂直距離） 3. 粗さ（ラフネス、表面の凹凸性） 4. 開口幅（不連続面の壁面間の開き） 5. 不連続面の組の数（節理系列の数） 6. 不連続面の広がり 7. ブロック寸法（不連続面で境される岩塊寸法）

## B. 力学的特性

1. 充填物（割れ目の中の充填物質） 2. 浸透水 3. 壁面強さ（表面を作る岩石の強さ）

357～364の報告はこれら不連続面を特徴づける事項と関係のある研究である。報告の内容を実験と解析に大別すると、357, 359, 362が室内実験、358, 360, 361, 363, 364が数値解析を主体としたものである。

357 は三軸試験用供試体（大谷石）にあらかじめ切断面を入れ、その間に粘土を挟んで圧縮試験を行った結果を検討したものである。粘土の影響で供試体の強度は低下するが、その度合は岩石本体の透水性、粘土の厚さに左右され、かつ繰返し荷重下では単調載荷時と異なる挙動をすると結論づけている。不連続面に充填物が介在する場合の力学的挙動は不明な点が多く、一面せん断試験の多くの結果は定性的な答えを出すにとどまっている。三軸試験を生かしての結果がどのような結論に至るのか今後の成果に期待したい。359 は一面せん断試験機を用い、多段階載荷試験から強度特性を求めたものである。特に、岩石表面の凹凸が強度に及ぼす影響をひずみ軟化の程度を考慮しながら検討している点が興味深い。不連続面の強度とラフネスの関係はPatton（パットン）の双一次曲線提示以来重要な研究課題となっており、定量的な結果を期待する。362 は359 と同様の研究グループによるもので、不連続面のラフネスによって生じる力学的特性を解析面から解明しようとしたものである。Ladanyi（ラダニ）と Archambault（アーチャンボルト）の式を拡張し、進行性破壊とひずみ軟化について検討しているが、実用に供するには求める定数の数が多すぎるようである。自然岩盤内の不連続面のラフネスをどう決定するかも含めて、今一度不連続面の強度特性を検討して欲しい。

358 は岩盤内に存在する不連続面の分布を弾性波速度の変化から決定する方法を数値解析的に有限要素法を用いて評価しようとしたものである。弾性波速度は岩盤分類の重要な指標であるが、岩盤内の不連続面の空間分布を推定する手段とは考えられていない。この報告の意図は理解できるが、解析モデルの決定も含めて条件設定に十分留意して研究を進めないと単に解析を行っただけという結果を招く可能性もある。360 は現場でサンプリングされた不連続面の情報を統計的に処理し、補正する一方法を提示したものである。現場での不連続面の記録は限られた壁面からしか得られないため、面の広がりについてはデータに偏りが生じる。これを補正し、現実のパターンに対応した近似モデルを作成する方法を検討しているが、三次元的な考察への今後の展開が望まれる。

361 は個別要素法を適用するときに常に問題となる時間ステップのとり方、解の収束性について考察したものである。この手法で用いられる定数の決定方法についてもっと具体的な提案がなされれば、この方面の研究の大きな助けとなるであろう。363 は多くの不連続面を有する岩盤の多

面体岩塊の中から危険と思われるもの（いわゆるキープロック）を同定し、その滑落を防ぐための方策を検討したものである。岩盤のモデル化や初期応力との関係について問題は残されているが、簡便に三次元安定解析が可能というユニークな手法であるので十分考察を加えて実務に利用できるように配慮されたい。364は岩盤を対象に、物性のばらつきを考慮した確率論的手法により地盤のすべりや沈下に及ぼす影響をばらつき幅や特性を変化させて検討したものである。影響係数を導入することにより物性値のばらつきをある程度確定論的な手法を適用することで評価できるという興味ある結果を得ている。信頼性設定や確率有限要素法など確率統計処理を考慮した新しい方法が提案されている折でもあり、確定論的手法をどのように位置づけるかについて貴重な助言となる。条件設定を変えた場合の今後の研究に期待したい。

## 総括

埼玉大学 吉中龍之進

『岩の性質』のセッションには、24編の発表があった。ここで取り扱われた内容は“岩の性質”に限らず、試験・調査・解析など多岐にわたるものであり、一般的な意味での“岩の力学”ないし岩盤力学に近い。他のセッションに含まれたこの関係の発表を加えると、今回の研究発表会では、岩の関係が約30編程度発表されたようである。

研究発表の内容の動向は、最近の岩盤力学の全体的な流れを良く反映したものである。しかし、岩の分野における研究の活発さから見ると、量的には、やや淋しい感じがしないではない。

Geotechnical Engineering においては、土も岩も共に地盤材料であり、両者の間に明確な線を引くことはできない。岩盤からなる地盤は、地球上のいかなる場所においても、直接に露出し、あるいは土を上に乗せて分布している。岩は地下において、安定性・恒常性に優れているがゆえに、科学技術のもとで高度に発達した社会機構を支える重要な施設を設けるための、種々な条件を備えた地盤でもある。

“岩の力学”は、岩石あるいは岩盤の力学的挙動を研究する科学であるから、工学や理学のいろいろな分野で研究が行われており、それらは互いに密接な関係にある。そのため互いの情報交換や研究協力が、“岩の力学”の発展のためには非常に大切なことである。

このような観点から、国内的には土質工学会、土木学会、日本鉱業会および日本材料学会の4学会を組織団体とする“岩の力学連合会”が組織されて、これがその任に当たるとともに、また国際的には国際岩の力学学会 (ISMR) がこの任に当たっている。

岩の力学関係の研究情報は、岩の力学連合会によって集約され、発表された論文ないし論文リストは、毎年、連合

会資料として印刷されている。昨年のもは『岩の力学'84』として、既に関係機関に配布されている。これによると、国内における毎年の研究発表量は1000頁をはるかに越えており、岩の力学ないし工学の研究活動は、関係分野で非常に活発であることが分かる。

初期の岩盤力学は、主として硬い岩の上に建設するダムを中心に発展したと言っても過言ではない。しかし、その後、地下発電所空洞、長大橋基礎、長大トンネル、NATMを導入したトンネル、軟岩上のダム、原子力発電所の基礎、長大切取り斜面、大型タンクのための岩盤掘削、エネルギー備蓄・その他の目的の大規模地下空洞、地熱開発、核廃棄物処理施設など、岩盤を利用する対象が多様化して岩に関する研究環境を大きく変化させた。

このような状況の中にあって、“岩の力学”分野の最近の特徴的な動向は、地下空間の利用に対する社会的ニーズに対応した研究にあると思われる。初期地圧、高温・高圧下の岩盤物性、岩盤浸透流、不連続性を考慮した岩盤物性の評価と安定解析などがそれである。

今回の研究発表の多くもその範疇にある。これらは、従来からも岩の工学における基本的かつ重要な研究テーマであったが、岩盤地下利用という現実の問題解決のためにクローズ・アップされて来たといえる。いずれも、その解明が容易でない難問ばかりである。今後も引き続き多角的なアプローチが必要であろう。

なかでも、不連続性の問題に対する関心が高い。岩盤は本質的に不連続体としての性質を持つので、この分野の一層の発展が望まれる。不連続性岩盤の性質は、原位置岩盤試験でマクロ的にその性質が評価されるのが一般的であるが、不連続性を評価するのに十分な寸法の岩盤供試体を準備することは、経済的な面から困難な場合が多い。まして、実構造物ないし解析の対象となる大きな広がりがある岩盤の性質を、小規模な岩盤試験結果と結びつけることは容易でなく、そのためには多年にわたる実務経験とそれに裏打ちされた高度な技術的判断が必要となる。

不連続性岩盤の性質を、不連続面の性状と岩盤を構成する岩石の性質から評価することができれば、岩の工学への寄与は極めて大きい。そのためには、不連続面の精度高い現地調査方法の開発、データの処理方法と岩盤解析のためのモデル化手法の開発および不連続性岩盤解析方法の研究などが必要である。

このような目的に沿った研究が、今回の研究発表に多く見られたことは注目に値する。一方、この種の手法が、自然地盤である岩盤（地質材料）の工学となるためには、いずれの問題においても、予測と綿密な現場計測による確認が不可欠であることはいままでもない。その意味から、現場と研究室との間の密接な研究協力が、特に強く望まれる。