

1. ま え が き

中国地方には広く花崗岩類が分布している。花崗岩は、新鮮な場合には強度が大きく、水密性にも優れていることから、100m超級の重力式ダムの建設に適しているが、風化や変質などダム建設にとって障害となる地質現象が確認される場合が多い。本論では、花崗岩にみられる土质地質の問題点について、中国地方の重力式コンクリートダムの事例をあげて述べるとともに、これらに対する地質的解釈や調査の留意点について言及する。

2. 中国地方の花崗岩

中国地方には、広く中生代白亜紀から新生代古第三紀の花崗岩類が分布している。花崗岩類は、南から領家帯、山陽帯、山陰帯に分かれて分布し、各帯はいずれもほぼ東西方向に連続している（図-1）。以下に村上允英(1993)¹⁾による各帯の花崗岩の特徴を概述する。

①. 領家帯の花崗岩類

山口県南東部から瀬戸内海の島しょ部にかけて分布している。変成岩類に調和的な構造を有する古期岩体とこれを切って貫入する新期岩体にわけられる。岩相は花崗閃緑岩を主体としており、放射性年代は75～95Maを示しており、後述の山陽帯の花崗岩類と有意な差は認められていない。

②. 山陽帯の花崗岩類

中国山地の脊りょう部から山陽側にかけてバツリス状あるいは岩株状に広く分布している。広島花崗岩類と総称される岩体であり、火山岩類との関係から4期の貫入時期が認められている。岩相は、花崗閃緑岩～花崗岩を主体としており、放射性年代は70～110Maの年代を示している。

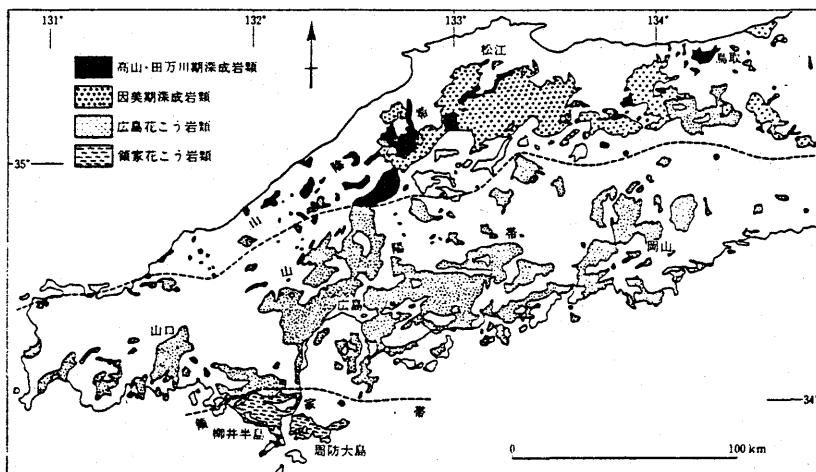


図-1 中国地方における白亜紀～古第三紀深成岩類の分布（日本の地質「中国地方」1987）

③. 山陰帯の花崗岩類

山陰帯の花崗岩類の時期は、広島期（75～90Ma：中生代白亜紀），因美期（50～65Ma：白亜紀末～新生代古第三紀），高山期（35～50Ma：新生代古第三紀），田万川期（25～35Ma：新生代古第三紀）の4期に分けられる。広島期の花崗岩は、分布が限られているが、山陽帯の花崗岩類の活動は山陰側まで及んでいたと考えられている。因美期の岩体は、鳥取県から島根県中央部にかけてバソリス状に分布しており、花崗閃緑岩～花崗岩を主たる岩相としている。高山期・田万川期の岩体は、環状の断層により基盤岩類と接し、コールドロンを形成している。

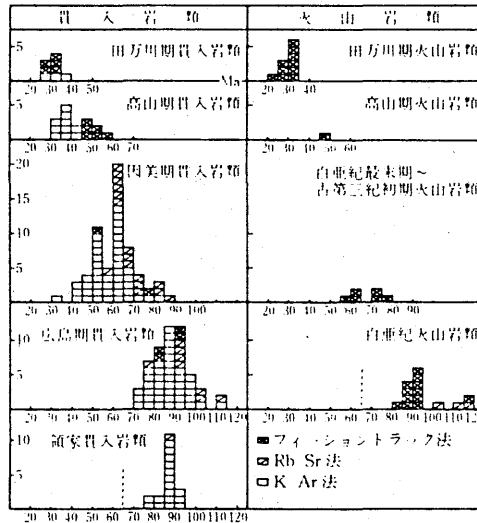


図-2 中国地方火成岩類の絶対年代頻度分布（日本の地質「中国地方」1987）

3. 花崗岩のダム基礎としての地質的問題点

中国地方の花崗岩にみられる土木に関わる劣化現象としては、以下のものがある。

- ・風 化
- ・熱水変質
- ・低角度節理

以下に、重力式コンクリートダムの基礎岩盤について上記項目ごとにその事例を示す。

①. 風 化

花崗岩の特徴的な現象として、深層風化がある。深層風化は、地表から地下深くまで風化を受ける現象であり、中国地方の花崗岩の場合は深いところでは深度50m程度までマサ状に風化しているところがある。

〈事例1〉

本ダムは、粗粒の広島花崗岩類を基礎岩盤としており、中国地方に発達する浸食平坦面のうち最も下位の瀬戸内面（標高200m前後）に計画された。尾根部には、厚さ30mを超えるマサ状の風化帯が存在しており、河床部も低角度節理（後述）に沿って風化していることから、せん断強度の不足が問題となった。このため、アバット部は、節理が残る程度に風化が弱い部分まで掘削し、河床部についても新鮮な岩盤まで掘削線を下げることで対応した。

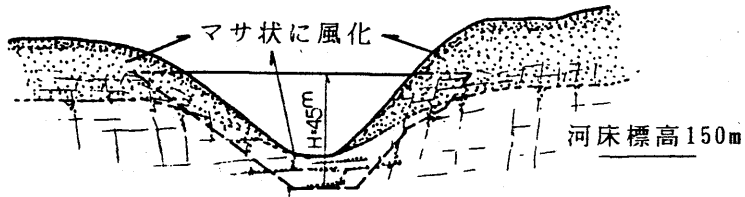


図-3 ダムサイト模式地質断面図

〈事例2〉

山陰帯の因美期の花崗岩類を基盤岩としている。閃緑岩と花崗岩が混在しており、古期の貫入岩体である閃緑岩に花崗岩が貫入したと考えられる。閃緑岩は風化が著しく、本岩が広く分布する左岸側で厚さ40m 超える風化帯が存在することから、アバット部の強度・止水の両面から、検討が行われている。また、風化帯中に、硬質な風化残留岩塊が多数存在したことから、初期のボーリング間隔の広い調査では的確に風化深度をつかむことができなかった。

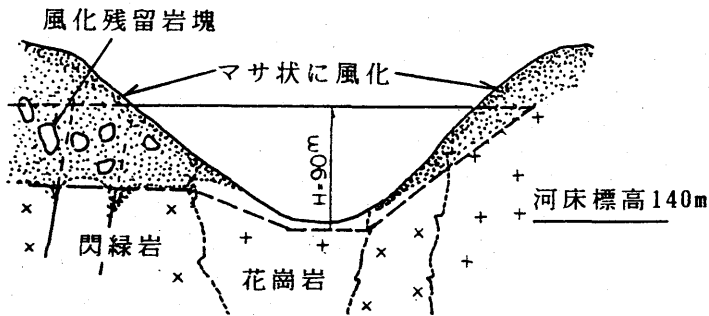


図-4 ダムサイト模式地質断面図

②. 熱水変質

熱水変質は後マグマ期の熱水液による母岩の変質であり、緑泥石化作用・絹雲母化作用・珪化作用・粘土化作用などがあり、土木分野では岩石強度が低下したり、粘土化が進むなどが特に問題となる。

〈事例3〉

本サイトは山陰帯の高山期の花崗岩類を基盤岩としており、これにヒン岩の岩脈が貫入している。熱水変質は、調査時にはヒン岩に沿って分布していると推定していたが、掘削面観察によるとヒン岩のみならず花崗岩にも及んでおり、強度の低下したゾーンが河床部に広く分布していた。このため強度不足による堤体の不安定化が懸念されたことから、堤体形状を変更させることで対応した。

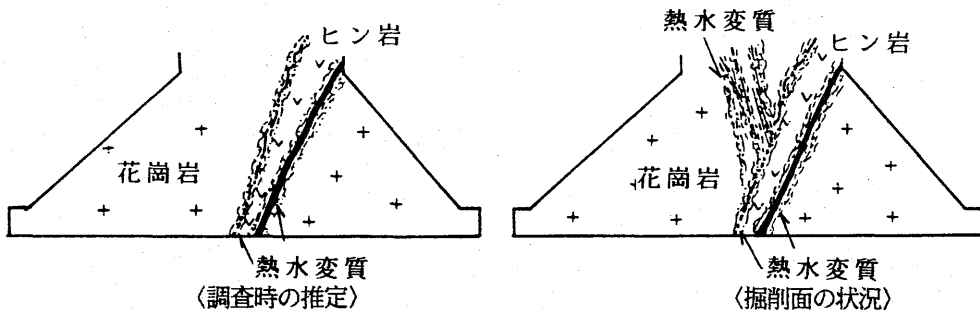


図-5 ダムサイト模式地質平面図

〈事例4〉

基礎岩盤は、山陰帯の田万川期の花崗岩及び火砕岩類からなり、コールドロンを形成している。ダムサイトは花崗岩の貫入境界に当り、周縁急冷相と考えられる細粒相（アプライト、斑岩）が広く分布している。全般にセリサイトが生成されており、断層や節理に沿って粘土化が著しい。特に細粒花崗岩部で粘土化が著しく、ダム軸はこの熱水変質による粘土化帯が最も避けられる位置に設定した。

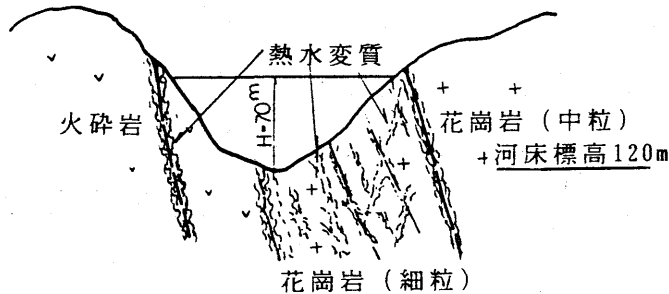


図-6 ダムサイト模式地質断面図

③. 低角度節理

花崗岩には、低角度の分離面が発達する場合があります、これの性状や連続性によっては強度や止水面で問題となることがある。

〈事例5〉

本ダムは山陽帯の広島花崗岩類を基礎岩盤としており、風化帯が極めて薄く、断層も未発達な堅硬岩が分布している。基礎掘削の最終段階に河床を深さ数m掘削したところ、岩盤の浮き上がり（岩はね）が発生した。地質構造についての精査や初期地圧測定を行った結果、岩はねの発生原因は、急激な下刻作用によるシーティングジョイントの発達に加えて、掘削に伴う応力集中が短時間に起こり、変状が発生したものと推定した。このサイトは、事例1のサイトと同一水系にあるが、侵食力が大きく異なっていたことが、ダム建設に関わる問題が全く違ったものとなったと考えられる。

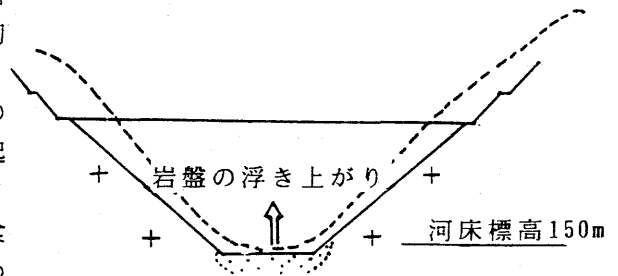


図-7 ダムサイト模式地質断面図

〈事例6〉

本サイトは山陽帯の広島花崗岩を基礎岩盤とするダムサイトであり、低角度節理の発達による岩盤の剪断強度の低下が懸念された。低角度節理は、マサ状の軟質岩を挟在する剪断節理であり、10~15m程度の連続性を有していた。このためその発達状況からせん断破壊の進行過程を推定し、低角度節理のせん断試験とこれを含まない岩盤のせん断試験の結果から、設計強度を設定した。

〈事例7〉

山陽帯の広島花崗岩類を基礎岩盤とするダムサイトであり、調査時に河床部に分布する新鮮な岩盤中の透水性が高い部分が認められ、掘削後には浅部においてさらに透水性の高いゾーンが拡大した。河床のボーリング時にコアにディスクングが生じ、河床部への応力集中が推定されることから、事例と同様に掘削による除荷により、シーティングジョイントを分離面とした浮き上がりが生じたために、高い透水性を示したものと判断した。

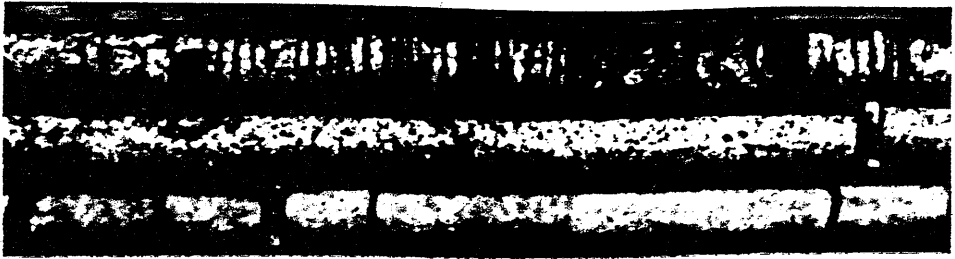


写真-1 ボーリングコアに生じたディスク現象

4. 地質的解釈と地質調査

前述の事例の地質的解釈と調査時の留意点を以下にまとめる。

1). 風化

①. 深層風化は、地形面や岩相と対応が見られる。瀬戸内面や吉備高原面などの侵食平坦面で特に風化が厚い。また一般に塩基性の岩石ほど強く風化を受けている。

よって調査においては地質分布や岩種ごとの風化状況の差異を把握するとともに、地形発達史にも十分配慮し、総合的に解釈する必要がある。

②. 深層風化地域では、風化帯下底面が地表の地形形状に関係なく平坦であることがしばしばある。また断層などの存在により部分的に風化深度が深くなっている場合も多い。また風化残留岩塊の存在なども風化深度の推定を困難にしている。

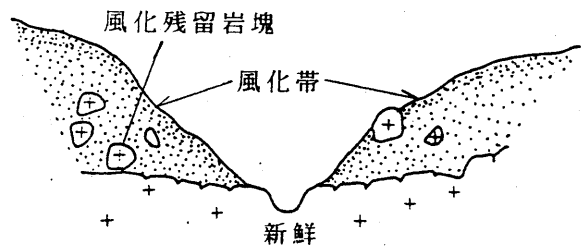


図-8 深層風化の例

風化深度を把握する調査手法としては、一般的には弾性波探査が有効な手法である

が、風化帯が極めて厚い場合は、走時曲線がミラージ構造を示すことも多く、堅岩の分布深度の推定に誤差が生じやすい。またボーリング調査だけでも前述の事例の様に推定を誤る危険がある。各種の物理探査との併用や横坑調査が有効である。

2). 熱水変質

①. 熱水変質は、岩脈や断層破碎帯に沿って進行している場合が多いが、節理に沿うものやスポット状に分布するものについては、強度低下部を調査時に網羅することは困難である。

よって熱水変質が予測されるサイトについては、変質粘土の比抵抗値が低いことに着目した電気探査や比抵抗トモグラフィーなどの探査手法を用いるとともに、河床部などの特に高い強度が要求される部分については、ボーリングを面的（深度は浅くてよい）に配置することなどが有効である。

②. 前述のように熱水変質には様々な作用があり、これにより生ずる鉱物も異なっている。このため変質鉱物に着目した変質区分を行い、地質構造との関連を検討することにより、変質帯の方向性を大局的に推定できる場合がある。

調査時の留意点としては、精度の高い地質観察を行うとともに、顕微鏡観察やX線回折などの地質学的手法を活用する必要がある。

3). 低角度節理

花崗岩にみられる低角度節理は以下のように様々な成因で形成され则认为られる。

- a. 岩体冷却時に生じた冷却節理
- b. 地殻応力により生じた伸張節理やせん断節理
- c. 侵食-風化の過程に生じたシーティングジョイント

これらは、成因により挟在物の状況や連続性・分布範囲などが異なり、土木構造物への影響も大きく異なってくる。

よって調査時には、強度や透水性の把握と同様にその成因を考察することが重要であり、そのためには精度の高い観察が不可欠である。またその地域の構造発達史や応力場とその変遷なども十分考慮する必要がある。

調査手法としては、地表踏査や横坑調査があるが、ボーリング孔内の観察なども有効である。

なお前述の岩はねの現象は稀な現象と认为られるが、V字谷を形成するダムサイトで、河床部に断層が存在しない場合などはその可能性があると认为られる。また岩はねまで至らなくても掘削により透水性が高くなる現象などは多くのサイトで経験することである。ボーリング調査時にディスクングの現象が認められた場合には、地圧測定などを行い岩はねの可能性も検討する必要がある。

5. あとがき

地質調査においては、問題点を概括的に把握する場合も、成因論まで踏みこんだ結論を出す場合にも地表踏査が重要な調査手法となる。この際には正確な観察眼と広範な地質学的知識が要求される点は土木地質においても純粹地質学と同様である。また土木地質学の分野で開発された地質構造の調査手法に電気探査(比抵抗映像法)・各種トモグラフィ・ボアホールカメラなどがある。これらの新旧手法を組み合わせることにより、更に精度の高い調査が行えるものとする。

<引用文献>

- 1) 村上 允英(1993): 火成岩の概要, 日本の地質 7 中国地方, 第3章 白亜紀~古第3紀火成岩類 ; p63 ~65, 共立出版株式会社