

(34) ダム基礎の水みちネットワークモデル構築の試み

A TRIAL OF FORMULATION OF CHANNEL NETWORK MODEL FOR DAM FOUNDATION

杉村淑人*・森田 豊**・三枝博光***・鈴木 希****・渡辺邦夫*****

Yokito SUGIMURA, Yutaka MORITA, Hiromitsu SAEGUSA, Nozomi SUZUKI
and Kunio WATANABE

The authors have suggested the application of channel network model named "Don-Chan" based on the geologic structures of the major fractures for the seepage flow analysis on rock mass foundation of dam. This paper presents the methodology and an example relating to the survey and analysis on the channel structures dominating the seepage flow, intersection line between conjugate sets, "step" and "splay" structure in the rock mass through the field survey on the excavated granite dam foundation. An trial of formulation of the channel network model with careful consideration of geohydrological structure in rock mass of the same dam site is also presented.

1. まえがき

地下水の状態を把握することが困難といわれるのは、地下水の水理特性が明確となっていないこと、及び、地下水が存在する「場」いわゆる地質構造の不確定性によるものと考えられる。近年、ダムの建設サイトにおいても、「第三紀以降の火山岩地帯などで高透水ゾーンが地山深部にまで及び地下水位が低い・さらに溶岩のフローの境には浸透破壊抵抗性の小さい地層が不整合に分布している」といったような、地質構造に絡んだ浸透流の問題が顕在化してきている。このような場合、ダム基礎の遮水工の設計で重要となる点は、浸透流の実態を把握することであり、地質構造を踏まえた、現実性のある浸透流の調査・解析手法の確立が必要と考える。

筆者らは、花崗岩を基礎とするHダムをモデルとし、ダムサイトにおける浸透流の調査・解析手法の確立を試みた。そのとき着目する点は、岩盤中、無数に存在する割れ目の中から、浸透流を支配する主要な水みちを取り出し浸透流現象を表現する「現場対話型：水みちネットワークモデル¹⁾ (Don-Chan Model)」をダム基礎の岩盤浸透流解析に適用する事にある。具体的には、1) 掘削面の割れ目調査を基に水みちを支配する主要な割れ目系の抽出 2) 蒸発量測定により、割れ目集中部が水みちとなる仮説の検証 3) これらに水みち構造解析結果を加えて、3次元的な「水みちネットワークモデルの構築」である。

* 正会員 水資源開発公団試験研究所

** アイドールエンジニアリング (株)

*** 学生会員 埼玉大学大学院理工学研究科

**** 埼玉大学工学部

***** 正会員 埼玉大学工学部

2. 基礎掘削面の水みち調査

亀裂性岩盤における浸透流の評価は、まず、地質構造に支配された主要な浸透経路「水みち」を取り出すことである。地質構造の捉え方として Mazurek らは、割れ目の基本構造が、単一割れ目と割れ目の端点付近のスプレィ構造よりなる Simple fracture 部と各 Master fracture 部をつなぐ、ステップ構造を呈する Complex fracture 部からなり、「このような構造はある規則性を持つ」と提案している²⁾。こういった研究は、近年放射性廃棄物処分の研究に関連して、スイスやスウェーデンで進んでいる³⁾。わが国でも釜石鉱山において割れ目系の研究⁴⁾が行われており、割れ目の形態・規則性が極めて良く現されている。そこでモデル化を行うHダムの基礎岩盤でこのような構造を抽出し、その規則性を捉えられるか調査を行った。

図-1 は、当サイトの掘削面のスケッチで掘削面に見られる割れ目を可能な限り記したものである。●は、各割れ目の交差部を示しており、これらに見られる変位・構造等より主要な構造を抽出し、割れ目系を分類したものが図-2(a), (b)の一連の図である。図-2(a)は、スプレィ①、ステップ②を示す構造を持ち、この調査域では見られないが、図-2(b)に見られる共役系と別に存在する共役系の一成分と同じ方向性を持つことが分かっている。また、これらの割れ目とその交線方向の分布は、図-3 のようになっている。交線方向の分布には、それぞれ図-2(b)の共役系、図-2(a)の構造と共役系の交線と3つの集中部が見られ、これらの割れ目系及びそれらの交線が対象地域の水理地質構造の特性を示していると考えられる。

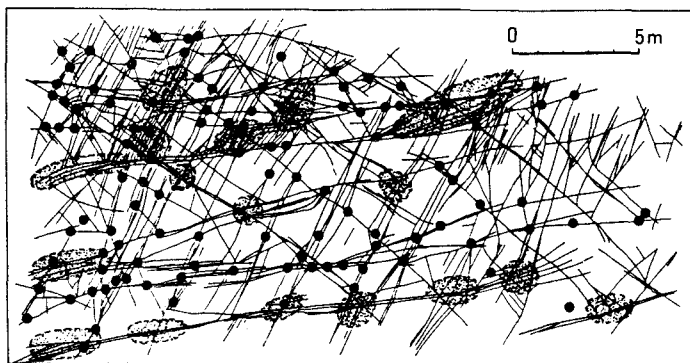


図-1 掘削面スケッチ

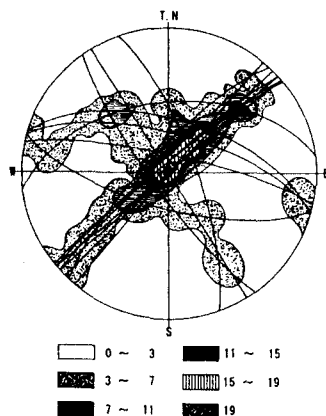
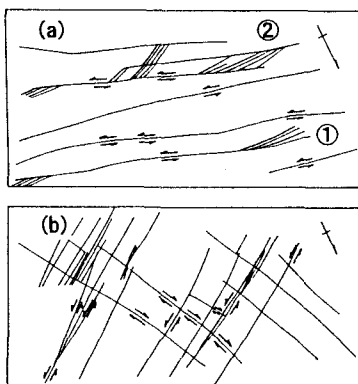


図-2 掘削面に見られる割れ目系 図-3 割れ目・交線方向の分布

このように、複雑に見える割れ目の情報から上述のような構造を抽出することで、対象岩盤における割れ目の規則性を取り出し得ることがわかった。

では、実際にこれらの割れ目の交線・掘削面上の交差部がどのような形態を持っているかを示す。図-4は、ある割れ目交差部を抽出したスケッチである。図中の太線は主要な割れ目、・で示した部分はマサ化した部分である。このマサ化部は地下水の透水経路と考えられる。しかし、全ての交差部で図のような構造が見られるわけではなく、それぞれ異なった形態を持ち、マサ化・割れ目集中の度合いは様々である。そこで、交差部のマサ化・割れ目の集中している範囲を円で近似し、交差部（図-1●）ごとにその直径を測定し、その結果を図

-5 のヒストグラムに表した。このヒストグラムに見られる傾向は、モデルを構築する上で「水みち」の物性の評価に有効であると思われる。

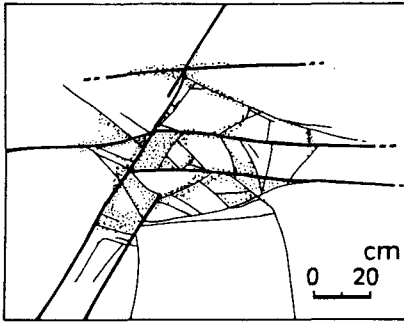


図-4 割れ目交差部のスケッチ

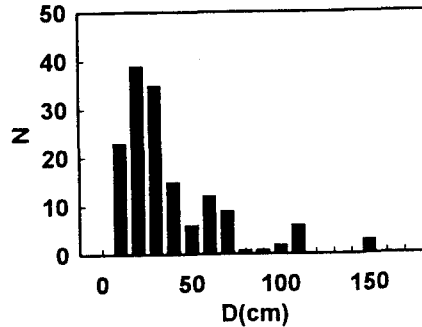


図-5 水みちのスケール分布

3. 水みちネットワークモデル構築の試み

ここにいう「水みちネットワークモデル」は、水理地質的主要構造を「水みち面」として捉え、実際の地下水流れが平行平板間の流れではなく「水みち面」の中でも特定の透水経路「水みち：channel」を流れるという考えに基づき、これらの「水みち面」に仮想透水経路「水みち」を発生させた管路系を指す。また「水みち面」の交線部は高透水経路であると考え、スケールの大きい管路をあたえるものとする。このモデルの特徴は、実際の水理地質構造を捉え、「透水性の高いゾーンは基本的に線状に伸びている」と考える点にある。このような考え方の妥当性は、国際的な放射性廃棄物処分技術開発が行われたスウェーデンのストリパプロジェクト⁵⁾の中でも指摘されている。

今回、Hダム左岸（以下、モデルサイト）の水理地質構造を考慮した「水みちネットワークモデル」の構築を試みた。大局的に見たモデルサイトの地質構造は、痩せ尾根地形で基礎岩盤は頷家複合岩類の花崗岩を主体とし一部に捕獲片麻岩が存在する。骨格地質構造は、F-16 断層 (N74W65N)・F-13 断層 (EW24S)・雁行する不連続な低角度川落ちの亀裂帯 (N80W25N) が調査によって確認されている。基礎掘削面に見られる多数の節理は、横坑・ボーリングデータより、掘削面下約 20m 程度から密着したものとなることが分かっている。また、この範囲には 20Lu 程度の高透水ゾーンが遍在し、これらは、骨格地質構造の交差・集中部と考えられる。

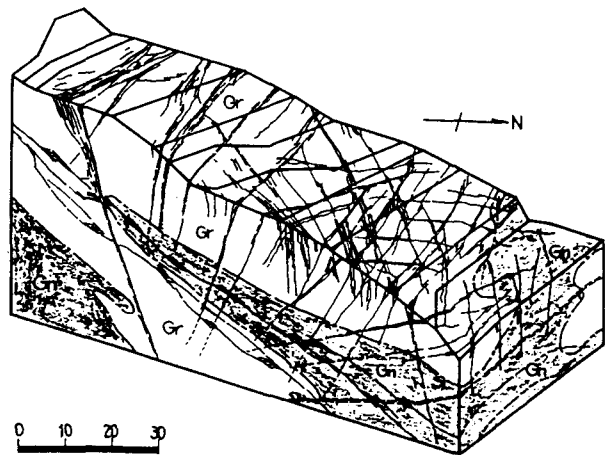


図-6 水理地質構造模式図

水理地質的な視点から見ると、掘削面に見られる節理群は、深部では密着した状態にあり「水みち」として

の影響はさほどないと考えられ、骨格地質構造が水理地質構造として支配的になると思われる。図-6 にモデルサイトの堤体基礎掘削面下における水理地質構造の模式図を示す。

当モデルサイトでは、水理地質の主要構造「水みち面」を1) 骨格地質構造は、領域全体を通して主要な「水みち面」をなす。2) 掘削面に見られる節理群は深部にまでは至らない。3) ただし、共役系を構成する割れ目はかなり深部にまで至っている。として捉え、図-7 のような「水みち面」システムを構成した。この「水みち面」上に仮想透水経路を発生させ、図-8 の「水みちネットワークモデル」を構築した。図中の太線は「水みち面」の交線である。

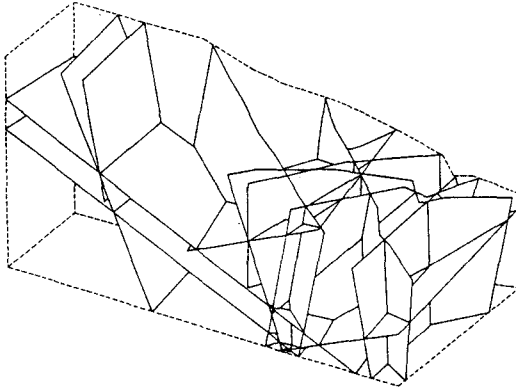


図-7 水みち面システム

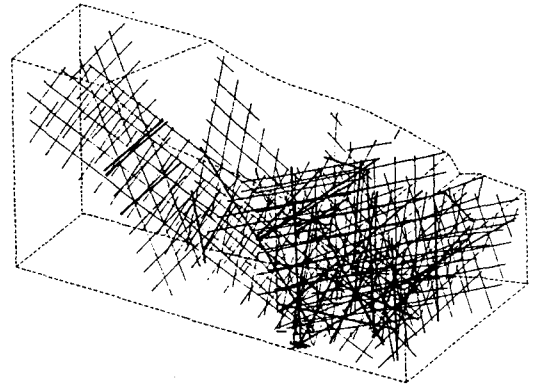


図-8 水みちネットワーク

4. 蒸発量測定による水みちの立証

ここでは、前述の割れ目交差部を水みちと考えた場合、水蒸気フラックスも交差部を主な経路とすると仮定し、図-9 に示す、主要割れ目の交差部と単一割れ目にボックスを設置し蒸発量の測定を行った。測定は、図-10 に示す蒸発散量測定装置を用いた。本装置は、簡易ベンチレーション試験器と同様のもので、岩盤上に設置したボックス内に空気を通過させ、入気側・排気側それぞれの温度・湿度センサーから得られたデータより入・排気空気の水分量を求め、その差より蒸発量を測定するものである。

測定箇所の割れ目をボックスで覆い、岩盤とボックスの間からの空気の漏れを建築用パテ（油性）で処理した。測定箇所は蒸発量測定に先立ち浸水させ、割れ目を飽和状態にした上で、岩盤表面の水分を高圧のエアで吹き飛ばし、岩盤表面からの蒸発の影響を除去した。図-11 は、割れ目の交差部と単一割れ目の蒸発量を比較したもので、図が示すように単一割れ目からの蒸発がほとんどないのに対して、割れ目の交差部では蒸発があるという結果が得られ、このことから割れ目の交差部が「水みち」を形

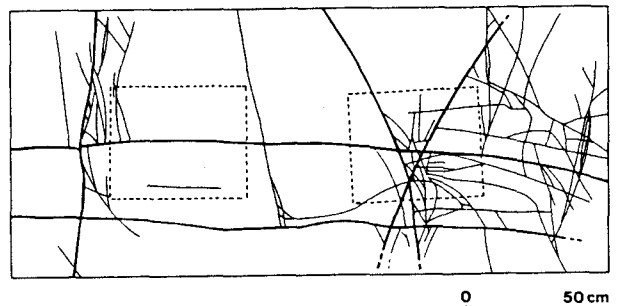


図-9 測定対象割れ目図

成しているということが理解される。

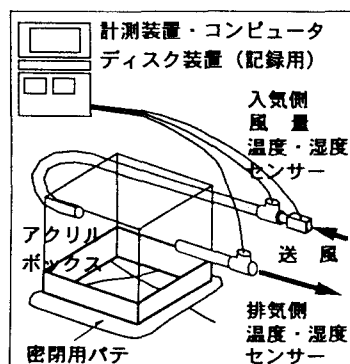


図-10 蒸発量測定装置概要

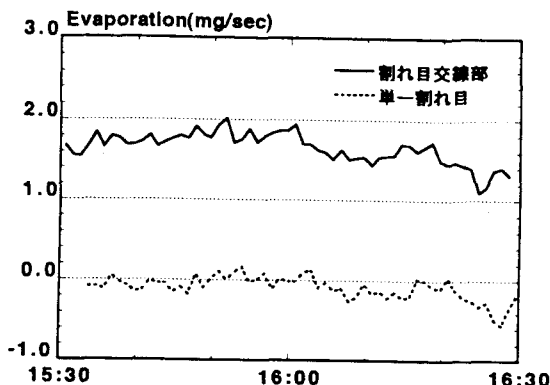


図-11 測定結果

5. まとめ

1) 掘削面の割れ目調査から、水みち構造として共役割れ目の交線、ステップ、スプレー構造が抽出でき、岩盤中の割れ目の分布に規則性があることが示し得た。2) モデルサイトの「水みち」調査結果から「水みちネットワーク」構築に至るコンセプトを示した。3) 割れ目集中部が「水みち」となることを原位置の蒸発量測定により立証した。

今後、孔間透水試験・孔内微流速測定の実施、また湛水時の各種計測結果との比較等により、ここで提案した亀裂性岩盤のダム基礎浸透流に関する調査・解析手法の開発を進めていきたいと考える。

6. 謝 辞

本研究の実施に際し多大なご協力を頂いた現場の方々、蒸発量測定において、現地測定から解析にわたり様々なアドバイスとご支援を頂いた埼玉大学大学院理工学研究科・濱田史郎君に心から感謝の意を表します。

7. 参考文献

- 1) 杉村淑人、木戸研太郎、渡辺邦夫：フラクチャーネットワークモデルによるダム基礎浸透流解析の試み、第 50 回土木学会年講 1995
- 2) Maturek 他: Classification and characterization of water conducting features at Aspo, Progress R.25-95-03, SKB, pp.1-73, 1995
- 3) Ahlbom 他: Overview of geologic and geohydrologic conditions at the Finnsjon site and its surroundings, Technical R.91-08, SKB, pp1-52, 1991
- 4) 三枝博光、渡辺邦夫、大沢英昭：釜石鉱山での割れ目系特性調査とスプレィ・ステップ構造、第 50 回土木学会年講 1995
- 5) Black 他: Site characterization and validation-stage4, Technical R.91-08, Stripa Project, pp.51-163, 1990