

日本応用地質学会地下水変動研究小委員会報告書

報告書目次

- 0 はじめに
- 1 委員会の目的
- 2 委員会の構成
- 3 委員会活動
 - 3 - 1 委員会の活動概況
 - 3 - 2 委員会で行われた研究紹介とその概要
 - 3 - 3 現地見学会
- 4 当小委員会における議論の概要
- 5 地下水変動小委員会としてのまとめ
- 6 終わりに

0 はじめに

日本応用地質学会地下水変動研究小委員会（以降当小委員会と呼ぶ）は、日本応用地質学会阪神・淡路大震災特別委員会第三分科会（震調委第三分科会）のメンバーを中心とし、震調委第三分科会の積み残し課題の整理と、応用地質学的な観点から地下水問題を整理し、検討する場として1997年10月に設立された（活動期間2年間）。当小委員会は、設立当初の委員長であった大島洋志さんの方向付けもあり、当初の目的であった震調委第三分科会の積み残し課題の整理にとどまることなく、広く応用地質学的な視点から地下水問題を議論する場となっている。宮島吉雄前委員長も平成11年度シンポジウム予稿集で書かれているが、当小委員会の討議は実に愉快的な雰囲気、時には鋭い指摘や議論があり、ある意味で理想的な雰囲気であった。

2年間の活動期間を終わるにあたり、委員会の報告書として、無機的なものとすることなく、当小委員会で議論された、応用地質学的視点から見た地下水問題への取り組み方の一考え方についても報告書に含むこととした。学会会員各位の忌憚のない御意見・御批判等をいただけると幸いである。

最後になりましたが、当小委員会立ち上げに御尽力いただきました小島圭二前応用地質学会会長、柴田祐啓前研究企画委員長、また、委員会活動をサポートして下さった市川慧応用地質学会会長、登坂博行研究企画委員長をはじめとする研究企画委員会委員の方々に深く感謝申し上げます。

平成12年5月

地下水変動小委員会委員長 石橋弘道

1 委員会の目的

日本応用地質学会では、1995年1月17日に発生した兵庫県南部地震（阪神・淡路大震災）に対応するために、地震発生直後に会長を委員長とする阪神大震災調査委員会（後に阪神・淡路大震災調査委員会と改称）（震調委と略称）を1月下旬に設置し、被災地における地盤災害の実態把握に向け調査を開始した。震調委では、調査・研究テーマとして、「地震動と活断層（第一分科会）」、「地盤・地震動と構造物（第二分科会）」、「地震動と地盤災害（第三分科会）」の3つのテーマを選び、それぞれについて活動を行った。第三分科会では、上述のテーマのもと、主として「地下水変動とその応用地質学的問題点」に関して検討を行ってきた。その結果、地震時の広域にわたる地下水変動や深部の地下水挙動、地下水が地盤に与える悪影響等を明らかにしてきたが、その時点では、あいまいなままに残された課題が多いままであった。

一方、応用地質学にとって、地下水は避けて通れない重要な対象である。地下水を研究や業務の対象としている当学会の会員は少なくない。当小委員会は、震調委第三分科会を行った積み残し課題の整理を行うとともに、応用地質学的観点から地下水問題を整理し、検討する場として設立された。

これらの目的を達成するために、委員会では、委員各自の研究紹介とその内容の議論や現地見学会を行うとともに、「応用地質学的視点から地下水問題を考える」ことに関する意見交換を行った。さらに、そこで得られた知見を会員各位に還元することを目的とし、平成11年度学会シンポジウムの立案・企画に積極的に参加した。

2 委員会の構成

当小委員会は平成9年10月に設立された。その後、委員の人数を少しずつ増やしながら、活動を行ってきた。以下のメンバーが、現在（報告書作成時）の委員構成である。

石橋弘道（スイモンリサーチ（株））	平成9年10月から 平成11年8月から 委員長
伊藤一誠（応用地質（株））	平成11年1月から
大島洋志（国際航業（株））	平成9年10月から平成10年3月 委員長 平成10年4月から 顧問
長田昌彦（埼玉大学）	平成9年10月から 平成9年10月から平成10年9月 幹事
川島眞一（東京都土木技術研究所）	平成10年7月から
木谷日出男（（財）鉄道総合研究所）	平成9年10月から
佐々木崇二（（株）地水環境研究所）	平成10年4月から
塩崎功（（株）間組）	平成11年10月から
嶋田 純（熊本大学）	平成9年10月から

田中和広（（財）電力中央研究所）	平成 9 年 10 月から
谷口真人（奈良教育大学）	平成 11 年 1 月から
徳永朋祥（東京大学）	平成 9 年 10 月から 平成 10 年 9 月から 幹事
宮島吉雄（農林水産省）	平成 9 年 10 月から 平成 10 年 4 月から平成 11 年 8 月 委員長
横山尚秀（神奈川県温泉地学研究所）	平成 10 年 2 月から
脇坂安彦（建設省土木研究所）	平成 9 年 10 月から

3 委員会の活動

3 - 1 委員会の活動概況

当小委員会では、委員会を 2 ヶ月に 1 回程度の割合で開催し、研究紹介を行ってもらうとともに、その内容に関する議論を行った。当小委員会設立の当初の目的は、震調委第三分科会の積み残し課題であった地震に伴う地下水変動の評価・検討であり、そのために、横山委員、安池氏、川島委員、徳永幹事から、地震に伴う地下水変動の実例や評価例についての紹介をしていただいた。しかし、より一般に応用地質学的に問題となっている事象を理解する事が地震時の地下水変動の評価にあたっては重要であろうと考えたために、様々な視点からの地下水問題に関する検討結果も紹介していただいた。下表は、各研究紹介のタイトル及び紹介者の一覧である。紹介者は、主に委員であるが、外部の方にも研究紹介を行ってもらった場合もある。外部の方に関しては、表中に所属を記してある。各研究紹介の概要は、次節にまとめられている。

1997/11/26	神奈川県西部地震予知研究のための地下水位観測施設と地下水位解析	横山尚秀
1997/11/26	トンネルと地質環境との関わりを中心に	大島洋志
1998/2/2	都内の湧水池と地下水	佐々木崇二
1998/2/2	農林水産省における地下水関係調査について	宮島吉雄
1998/4/15	釜石鉱山で実施された地震による地下水影響調査の結果について	安池慎治(電力中央研究所)
1998/4/15	東京都における地震予知を目的とした地下水観測結果	川島眞一
1998/7/23	沿岸域における地下水流動	田中和広
1998/7/23	火山山麓部における地質構造と地下水の関係の例	脇坂安彦
1998/9/30	孔内水温を用いた地下水流動・変動解析	谷口真人
1999/1/26	淡路島北部に見られた地震時の地下水変動とその解釈	徳永朋祥
1999/3/12	統合的水理環境解析における新しい数値解析手法の開発と適用	伊藤一誠
1999/8/10	光ファイバーによる地温変動解析と地下水の水みち分布	渡辺修(スイモンリサーチ)
1999/12/2	水質データを利用したダム周辺地下水流動調査	塩崎功
2000/2/1	地下水浸透力を考慮した土砂トンネルの切羽安定性評価と地山分類	木谷日出男

また、地下水問題に対しては、現地における計測手法等についても見学し、議論することが重要であると考え、現地見学会を開催した。現地検討会では、建設省福島工事事務所を訪問し、阿武隈川平成の大改修の概要の説明をしていただくとともに、工事事務所に併設されている防災センターの見学をさせていただいた。また、阿武隈川平成の大改修に伴う堤防修復工事現場の見学及び、光ファイバーを用いた地温変動計測・解析調査現場の見学をさせていただいた。この詳細については、3-3にまとめられている。

さらに、委員会での研究紹介・議論の内容を広く会員各位に還元することを目的とし、平成11年度日本応用地質学会シンポジウム「地下水変動に関わる様々な要因と応用地質」の企画・立案に積極的に参加した。当シンポジウムは、平成11年5月27日(木)に、中央大学駿河台記念館において開催され、151名の参加をみた。当該シンポジウムにおける発表タイトル及び発表者は下表のとおりである。また、シンポジウムの予稿集及び「応用地質」第40巻3号に、講演及び講演会での議論の内容がまとめられている。

地下水変動に関わる自然的、人為的な要因と応用地質	石橋弘道(スイモンリサーチ)
建設工事に関わる地下水の様々な問題 - 特にトンネル工事の目から見て	大島洋志(国際航業)
地震予知研究のための地下水位観測とその解析	横山尚秀(神奈川県温泉地学研究所)
沿岸域の地下水流動	田中和広(電力中央研究所)
孔内水温を用いた地下水流動・変動解析	谷口真人(奈良教育大学)
時間・空間スケールを考慮した地下水変動・流動とその問題点	嶋田純(熊本大学)
総括討議「地下水変動に関わる要因と応用地質」	司会 嶋田純

その他の活動として、応用地質学会40周年記念号への寄稿を行った。寄稿した論文は、

嶋田純(1998) 地下水に秘められたロマンをもとめて. *応用地質*, 39(1), 60-68.

である。

さらに、平成11年度日本応用地質学会研究発表会の開催期間中を利用して、地下水問題に関する小集会の開催も行った。研究発表会初日の昼休みの時間(10月27日12時から12時50分)を利用した当小集会は、地下水問題に興味を持つ応用地質学関連技術者の交流の場を設けることを目的として行ったものである。

当日は、南九地質株式会社顧問の郡山榮氏に、「シラス地域の地下水」と題して講演をしていただいた。

講演では、鹿児島県地域における地質分布、特に、シラスの分布について概説された後に、シラスによって構成されている火砕流台地における地下水分布、湧水の分布について説明された。シラスの透水係数が $10^{-3} \sim 10^{-4}$ (cm/s)程度であること、また、シラスに狭在している降下軽石層が $10^{-1} \sim 10^{-2}$ (cm/s)程度の透水係数を持っていることが説明され、湧水の分布における降下軽石層の意義が説明された。また、火砕流堆積物層においても、溶結・非溶結の違いによって水理地質学的に大きな違いがあることが示された。さらに、シラス

分布地域における主要河川の渇水期比流量が全国平均の二倍程度と、大きな値を示すことから、シラスの透水性の高さとともに、保水性の重要さが指摘された。最後に、最近の傾向として、シラスに覆われている基盤岩類（四万十層群）を対象とした深井戸の事例が示され、今後の水利用の方向性の一つが示された。

講演の後には、特に、深井戸の性質等について討議が行われた。

以上が、当小委員会がこの2年間に行ってきた活動内容の概要である。

3 - 2 委員会で行われた研究紹介とその概要

神奈川県西部地震予知研究のための地下水位観測施設と地下水位解析

横山尚秀(神奈川県温泉地学研究所)

地震に伴う地下水位変動とその解析事例が報告された。まず、温泉地学研究所での地震・地殻変動観測施設の概要と、なまずの会での地下水観測網について簡単に紹介された後、伊豆大島近海地震、宮城県沖地震、1990年小田原直下地震における地下水位の異常現象が例示された。ここで、地層の空隙率を n とすると、地核歪みは水位変化に $1/n$ 倍で出現することとなり、この点で地下水位は感度良い歪み計であるとした。また、地下水位変動の要因には地球潮汐による地殻歪み、大気圧、降雨、地下水の定常的な流動、不規則変動が識別され、それぞれが観測記録にどの様に反映されているかが実例に基づき示された。この様な要因を観測記録の中に見だし、さらに人為の変動などを除去し、蓄積されたデータを統計処理することにより、地震の前兆となる地下水変動を識別することができる(下図)。また温泉地学研究所では、想定される地震を神奈川県西部地震に絞り込み、水位観測だけでなく測地、重力異常等も併せて観測することにより、有意な前兆現象を把握することに努めている事が強調された。

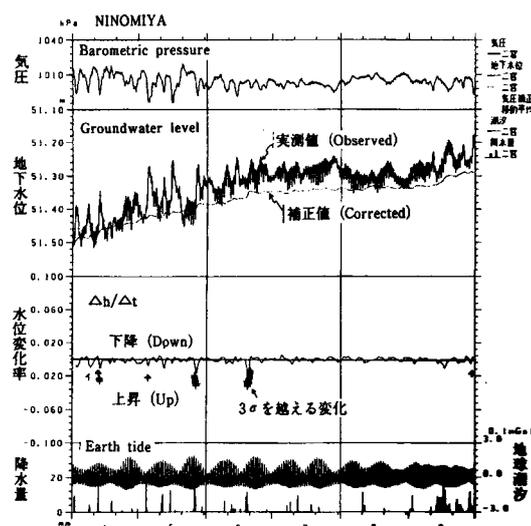


図 二宮観測井における地下水位変動の平滑化と統計解析結果

トンネルと地質環境との関わりを中心に

大島洋志(国際航業(株))

人間活動に起因する変動として、トンネル工事における施工・維持管理に対して地下水が与える諸影響、ならびにトンネル工事に伴う地下水変動が周囲の水環境に与える影響とその対策について講演がなされた。まず地下水がトンネル工事に与える影響として、施工中の集中湧水による諸障害が数多くの実例のもとで紹介された(下図)。それらは湧水による切羽の崩壊、高圧水による掘削障害や泥濁化などの作業能率の低下、高温ないし低温湧水による作業能率の低下に区分できる。またトンネル竣工後の恒常湧水が、トンネルの維持管理に与える影響として、多量の漏水や土砂流入が続くことによる排水設備への障害、漏水の凍結による交通障害や覆工の劣化、都市部における近年の地下水位回復による漏水量の増大や構造物の浮揚など様々な影響が紹介された。特に都市部では大量・長期にわたる揚水により、地盤沈下が発生し、その結果結果として地下水揚水が規制されている。このため、都市部の被圧地下水は復元したが、逆に地下水位が低い頃に作られた構造物を中心に坑内湧水の増加や、噴出土砂が増えるなどの現象が見られるに至っている(新幹線上野地下駅における隆起対策の例)。このような観点から耐震上の問題を含め、適正水位を前提とした地下水利用の可能性に関する提言がなされた。次にトンネル工事によって変動した地下水が周囲の水収支環境に与える影響として、トンネル内への湧水による周囲の水位低下およびその結果としての減水・濁水問題、トンネル掘削面と覆工との空隙が新たな水みちとなる場合、坑内水を地表に排出した際の温度差による農作物・植生への影響、ダム等の既設構造物と坑内湧水量との関わりなどが実例と共にあげられた。そして、これら地下水変動への対策として、地下水流路・水頭に配慮した路線縦断決定、シミュレーションの利用、対策工法、周辺環境への配慮などの例が詳細にあげられた。

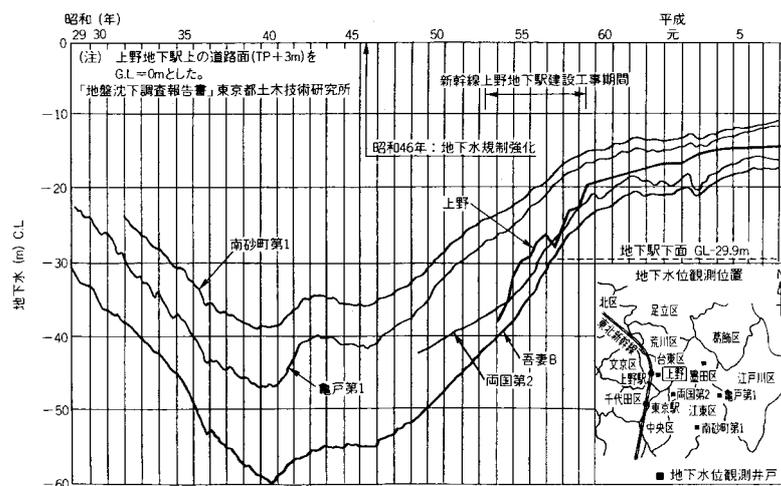


図 江東地区の被圧地下水の水頭変化

都内の湧水池と地下水

佐々木崇二((株)地水環境研究所)

1. はじめに

地下水の変動、流動の現象に関して最も身近に感じるものの一つに湧水がある。形成されている水循環において地下水の流出現象の一つである湧水は、地域の自然現象と密接に関連しているため自然的影響を受けて変化する。

都内には多くの湧水池が存在している。それら多くの湧水池の周辺は現在では都市化が著しく進み、それに伴って湧水池にはいろいろな問題が及んできている。特に隣接での工事と環境問題の関係で取り上げられることが多くなっているが、いずれの湧水池もその周辺の地下水と密接に関係していることから地下水変動・流動を把握することが必要になる。そこで以前に調査した都内の主な湧水池とその周辺の地下水実態について述べる。

2. 湧水池とその周辺地下水状況

(1)井の頭湧水池

井の頭池は、武蔵野台地の谷の源頭に湧水池として存在しており、それより北側にも善福寺池や三宝寺池が同じような形態で分布している。井の頭池は、常時満々と水を湛えているが、現在では深井戸から揚水された地下水を注入して維持されていることが多い。将来に渡って湧水池として維持していくには、周辺の地下水との関係を把握することが重要である。

池淵の周辺において実施したボーリング資料から、池の底が礫層に接していることが把握され、ここではその礫層の地下水との関係が示唆された。水位変動観測結果によると、池の水位と周辺の砂礫層の地下水位は、降水との反応した変動を示している。地下水位分布は、池の上流側から下流側に向かって低くなっており、時期によって分布形態は並行的変化を示し、いずれにおいても地下水流動パターンは同じである。池の水位とすぐそばの地下水位を比較すると、通常の降水がない状態では池の水位の方が地下水位より高い状態を維持している。この場合は池の水は浸透して地下水を涵養している。これに対して降水の多い時期では、池の上流部で地下水位の方が池の水位より高くなり、地下水が池に湧出している(図)。このような現象は、池の月単位の収支計算によって量的にも把握されている。また、水質分布を見ても、このような池と周辺の地下水の関係が変化として示されている。

都市化が著しく進んだ現在でも井の頭池では一時的であるが湧水現象は見られており、周辺の地下水位を高く維持することによって常時湧水池となり、ここでは地下水位を上昇させる涵養源が求められる。

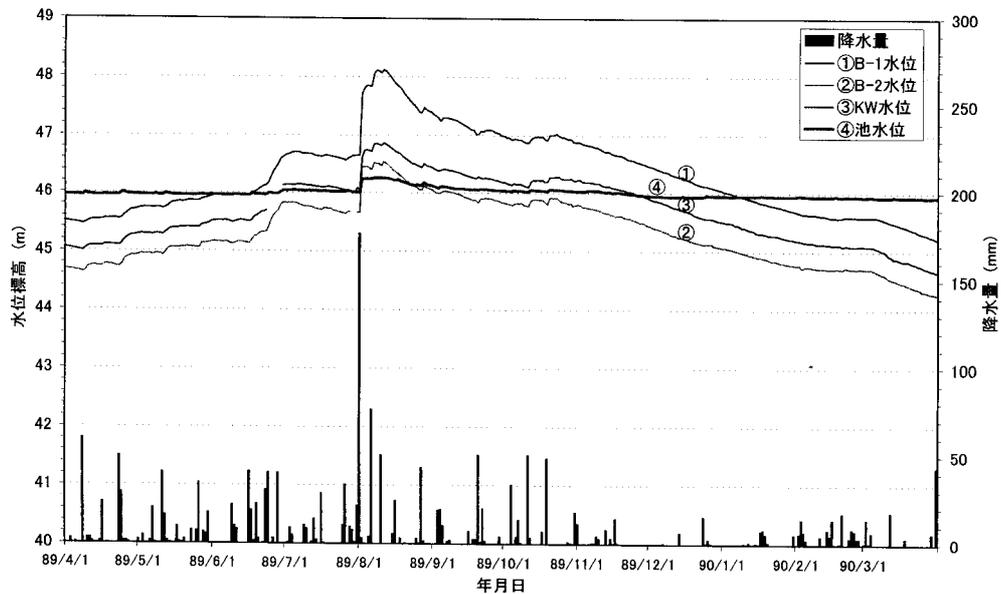


図 井の頭池水位と周辺地下水位変動

(2) 弁財天池

小田急線狛江駅前に小さな湧水池が存在している。そこは多摩川に近く、地形的には立川面に位置しており、立川礫層が分布している。井の頭池と同様に池の底は砂礫層と接しており、周辺の地下水と密接に関係している。地下水位が高い時期では池の水位も高くなって水を満々と湛えているが、渇水時期では池の水は著しく少なくなる。池の水位変動と周辺の地下水位の変動が同じであり、また水質も同じである。この地域に置いてはかつて近くを六郷用水や旧野川、それからの水路が存在していたが、都市化とともに見られなくなり、その水路からの涵養が無くなったことにより周辺の地下水位が低下したものと考えられる。ここでも周辺の地下水位を高くすれば常時満々と湛えた湧水池となり、湧水池の維持にはかつての水路のような地下水位を上昇させる涵養源が求められる。

(3) 東禅寺池

都心で高度に都市化された品川駅から近い港区高輪の東禅寺には小さな湧水池が存在している。そこは武蔵野台地の末端部にあたり、湧水池は台地の崖下に位置する。この池の底には台地上でのボーリングの地質柱状図から東京砂層が分布していると考えられた。また、ここでは池からすぐの台地上に地下構造物を建設するので、池湧水に対する影響が懸念された。そこで地下水流動、変動調査等を行い、建設地の周辺において深度別の地下水位観測を実施して地下水位変動を把握し、また池水の観測も実施した。その結果によると地下構造物の建設後予測した地下水位の変化が見られたが、湧水池には影響が及んではないことが把握され、池の湧水地点が建設地と異なる方向にあることが考えられた。それゆえ現状の湧水池は地下構造物建設後も維持されている。

3. おわりに

都内に位置している3ヶ所の湧水池とその周辺の浅層の地下水状況を述べた。池を形成している湧水は地表面から地下水が流出してきたものであり、どちらかという深層地下水よりも浅いところの地下水と関連していることが多く、空間的には相対的に狭い範囲の地下水で、時間的には比較的短時間の流動によるものであるといえる。ここに示したいずれの池も都市化の影響を受けた状況にあり、それによって地下水位が変化すると湧水池も変化するという関係にある。それゆえ浅層地下工事に伴う湧水池への影響問題を考える場合には、工事の規模によって範囲が異なるものの、主にその周辺の浅層地下水状況を十分に把握して検討しなければならない。

農林水産省における地下水関係調査について

宮島吉雄（農林水産省）

農林水産省では、農業用として地下水や地熱水を使うという立場から、その開発、保全、また、開発利用に伴って発生する各種の障害対策について調査を行っている。また、ダム等の構造物建設に関係した地下水調査や、地滑り等の防災対策に関連した地下水調査も行っている。発表では、以下の点について紹介がなされた。

- 農林水産省における地下水調査の歴史
- 開発関係の調査
- 保全、地盤沈下対策に関する調査
- その他地下水調査

釜石鉱山で実施された地震による地下水影響調査の結果について

安池慎治（電力中央研究所）

核燃料サイクル開発機構による原位置試験の一環として、(社)資源・素材学会は釜石鉱山において地震と地下水の関係についての調査を実施している。550mレベル(深度約300m)NW坑道奥の3本のボーリング孔を対象に、1991年11月より水圧のモニタリングが行われており、鉱山で観測された地震(約300例)のうち約20例の地震については、地震時にボーリング孔の水圧波形がステップ状に変化する現象が観測された。増減の方向や大きさは同一の地震であってもボーリング孔毎に異なっている。ステップ状の変化が特に大きかった例としては、1993年北海道南西沖地震(-260cmH₂O)、1994年北海道東方沖地震(-210cmH₂O)、1994年三陸はるか沖地震(-350cmH₂O)がある。

地震動の最大加速度との関係を検討した結果、静的な水圧の変化の発生と最大加速度の大きさの間にある程度の相関はあるものの、加速度の小さい(5gal以下)地震についても大きな水圧の変化が観測される事例があり、加速度以外にも関連する要因があることが示された。

次に地震の震央距離とマグニチュードから、地震による岩盤歪の大きさを推定し、水圧変化との関係を調査したところ、 10^{-8} strain を超える歪を伴うと考えられる地震について水圧の変動が多く観測される傾向が示された(図)。このことから水圧の変化は岩盤の歪との関係が深いことが推察される。

このほか、地震の初動の押し引きや、震源の方向についても、地震による水圧変動の有・無という観点から、その影響の大きさについて統計的な検討(数量化2類解析)を実施した。その結果、統計的に有意な関連はあるものの、その影響度は小さく、これらはいずれも主要な要因では無いという知見を得た。

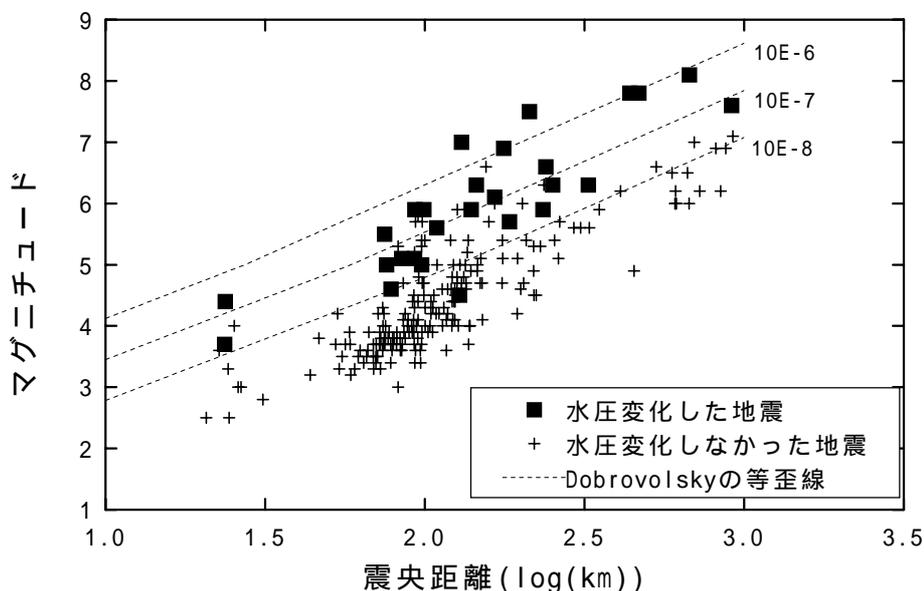


図 震央距離 マグニチュード平面上の地震の分布傾向

東京都における地震予知を目的とした地下水観測結果

川島眞一(東京都土木技術研究所)

地震予知を目的に、地震前後の被圧地下水位変動を検討・解析した事例が報告された。まず、東京における地下水位の観測状況とその経年変動状況について説明された。次に、地震前後における地下水位観測記録の例として、1978年伊豆大島近海地震の直後に急激な水位低下が見られた事例(下図)が示され、これを地震による応力解放の結果とすると、地震前の水位変動を詳細に検討することにより、地震予知に結びつく可能性があることが示された。しかし、地下水位変動には揚水による人為的要因の他に潮位や気圧など自然的要因による変動も無視できないため、これらの影響を除去する必要がある。そこで、これ

らを除くする方法を開発し、地震前の地下水位変動について検討したが、対象とした期間内では地震の前兆と考えられる特異な水位変動は見いだせなかったことが報告された。ただ、地震直後の急激な水位変動は、立川断層上など特定の地点に大きく現れること、さらに、より近くで生じ、またより規模の大きい地震の方が現れやすいことから、今後発生する地震によっては前兆が捉えられる可能性があることが指摘された。なお、本研究は 1990 年をもって休止し、現在は実施されていない。

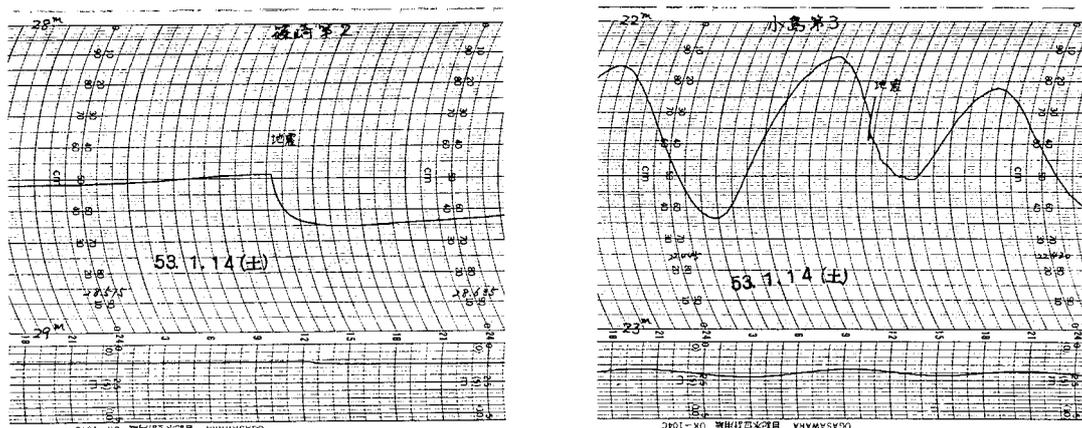
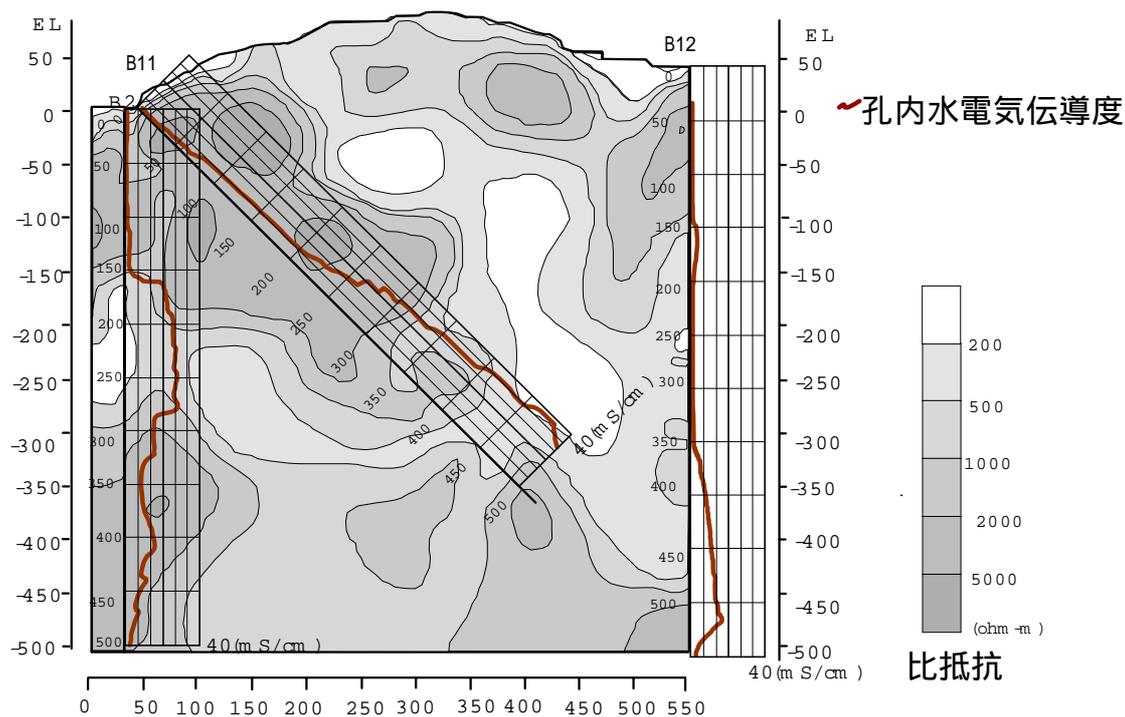


図 1978 年伊豆大島近海地震直後の地下水位変動例

沿岸域における地下水流動

田中和広（電力中央研究所）

沿岸海底下に分布する岩盤は天水よりもたらされる淡水と海水との混合域にあたり、いわゆる塩淡水境界の分布の解明が重要である。ここでは、特に沿岸部に分布する割れ目系岩盤である花崗岩の 500 m 程度の拡がりや深度を有する岩盤を対象として地質構造、水理特性、地化学特性を明らかとし、水理地質モデルをいかにして構築したかについて手法の解説を交えながら紹介した（図）。特に、地下水は割れ目群のうちフローメータ検層などにより抽出された水みちを流動すること、塩淡水境界は水みち構造の分布特性により複雑な形状を示していること、地下深部の地下水の起源は塩水と寒冷期に涵養した天水との混合で説明されること、地下深部の地下水は数万という年代を示すことなどを紹介した。



図一 1 孔内水電気伝導度及び比抵抗分布

火山山麓部における地質構造と地下水の関係の例

脇坂安彦（建設省土木研究所）

1 はじめに

第四紀火山地域の地質は、溶岩（塊状・自破碎）砕屑岩（火砕流堆積物、降下堆積物）旧河床堆積物、旧表土などから構成されており、多様性に富んでいる。地質構造も構成地質の多様性に支配されて複雑な事が多い。このような構成地質の多様性や地質構造の複雑さに起因して、地下水構造も複雑である事が多い。また、第四紀と地質時代が新しいため、未固結の火山砕屑物や堆積物が存在し、浸透崩壊を生じる恐れのある地質が認められるのも第四紀火山岩地域の特徴である。このようなことから、第四紀火山岩地域にダム建設を計画する際には、構成地質・地質構造の解明のほかに地下水構造の解明、構成地質の浸透崩壊に対する抵抗性の検討が重要な事項となっている。

2 第四紀火山山麓部における地下水調査の事例

1) 調査地の地質

調査が行われた火山の主用活動期は更新世である。山体の主要部は玄武岩類、安山岩類から構成されており、山麓部に火砕流堆積物～土石流堆積物が広く分布している。火砕流堆積物～土石流堆積物が分布している山麓部は緩傾斜を呈する台地状を呈し、山体中央部から山麓にかけて放射状に開析谷が発達している。調査が行われたのは山麓部の開析谷の一つである。この開析谷の兩岸の尾根はやせ尾根であり、特に左岸側に隣接する開析谷の

谷底の標高は、予定最高貯水位に比べかなり低い。このため、左岸やせ尾根部の透水性や地下水如何では、貯水の漏水が懸念される。

調査地の火砕流～土石流堆積物は、岩片やレキの形状、基質の性状から大きく三層に区分されている（仮に下位から A 層、B 層、C 層と呼ぶ）(図)。A 層は細粒砂基質で固結度が高く、B 層は細粒火山灰質基質部と細粒砂基質部との不規則な互層からなるやや固結した地層で、C 層は粗粒砂基質で固結度が低い。A 層と B 層、B 層と C 層との間には凝灰質部が狭在する（一部欠如している事もある）。なお、河床部には最上位の C 層は分布していない。これらの地層は固結度などから推測すると、通常のセメントグラウトの降下については十分な検討が要されるものである。

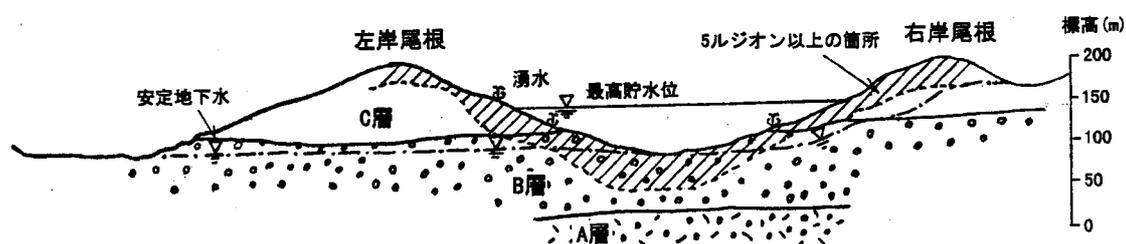


図 調査地域の地質断面図

2) 地下水の調査

開析谷を横断する測線で透水試験（ルジオン試験）を行ったところ、ルジオン値は地下深部になると全般的に低くなる傾向があり、地表からおおよそ 30～40m で 5 ルジオン以下となる。これ以上の深度でも部分的に 30 ルジオン以上の個所があるが、このような高透水部の空間的な連続性は不明である。

ボーリング削孔時の孔内水位の変化を見ると、河床部では B 層中の掘進につれ孔内水位も低下し、地表から 15m 程度の深度で安定水位となる。他方、左右岸では C 層と B 層とで明瞭に地下水水位が分かれており、安定水位は B 層中にある。さらに詳細に見ると C 層中、B 層中にもいくつかの異なる地下水水位が分布している。C 層と B 層との地下水水位は両層の境界にある凝灰質部が不透水層になって、それぞれ存在するものと思われる。C 層および B 層中の複数の地下水水位は両層中にある凝灰質基質部が不透水層になって存在するものと思われるが、詳細は不明である。左岸側尾根での B 層中の安定水位標高はダム貯水池の予定最高水位標高よりも低い。

孔内水位（両岸では合成水位）と降雨との関係を見てみると、河床部では降雨に関係無く、水位は年間を通して一定である。他方、左右岸では水位が降雨に比較的敏感に反応する孔、多少の反応が見られる孔と反応が無く安定した水位を示す孔とに分かれる。これらの孔の分布を面的に見てみると、河床付近の孔はすべて安定した水位を示し、両岸の尾根に近づくると降雨に反応する孔が増えるようになる。恐らくボーリング孔中に占める C 層の

割合が大きいものほど、降雨に敏感に反応しているものと思われる。

調査地点には湧水が多く見られる。湧水は、C層の特定層準に見られることが多いが、前述の地下水位や不透水層との関係は今のところ不明である。一部の湧水口は小規模なパイピングホールを形成している。対象としている開析谷のとなりの谷では、C層中のフローユニット境界にパイピングホールが形成されている。

3) 止水処理設計にあたっての課題

止水処理の設計にあたっては、1) ダム軸付近における安定地下水位が最高貯水位よりも低く、2) 安定水位と最高貯水位間の透水性が高いとともに、3) この間にパイピングホールが存在する事、4) 左岸側がやせ尾根であることから、特に左岸側の漏水と浸透崩壊に細心の注意を払う必要がある。今後の課題としては、1) 両岸の長期的な安定水位を面的に把握する事、2) 透水性が高いC層中の宙水構造を明らかにすること、3) 湧水とパイピングホールの地質的成因を明らかにする事、4) C層の浸透崩壊に対する抵抗性を把握する事、5) セメントグラウト等の改良効果を実験的に明らかにする事があげられる。

孔内水温を用いた地下水流動・変動解析

谷口真人(奈良教育大学)

鉛直孔内の地下水温を詳細に測ることにより、地下水涵養量、3次元の地下水流動、地表水と地下水の交流、気温温暖化・人間活動が地下水変動に与える影響、塩淡境界と海底湧水の推定が可能となる例が報告された。地下水は地表付近では大気温の影響を受けて変化するが、ある深度になるとその影響を受けない恒温層が出現する。この恒温層上限深度と温度減衰率を涵養域・流出域において測定することにより、地下水涵養量と地下水フラックスが求められることが実例に基づき示された。また地下水流動による水と熱の輸送は、地層の温度拡散率、水温、透水係数、地下水ポテンシャル等に基づく定常輸送式によって表せるため、気温変化の影響を受けない深層地下水温の3次元分布がわかれば地下水の流動状況が推定されることも示された。同時に地下水の流出域と涵養域では水温の温度勾配が異なって現れるため、井戸水温に基づく地温勾配を検討する際には、測定点を含む地域の地下水流動系を考慮する必要があることが示された。またこの他、地表水と地下水との交流や人為的活動による流動系の変化なども孔内水温の変化から読み取れることが示され(下図)、地下水変動に対する簡便かつ有効なトレーサーとしての機能が強調された。

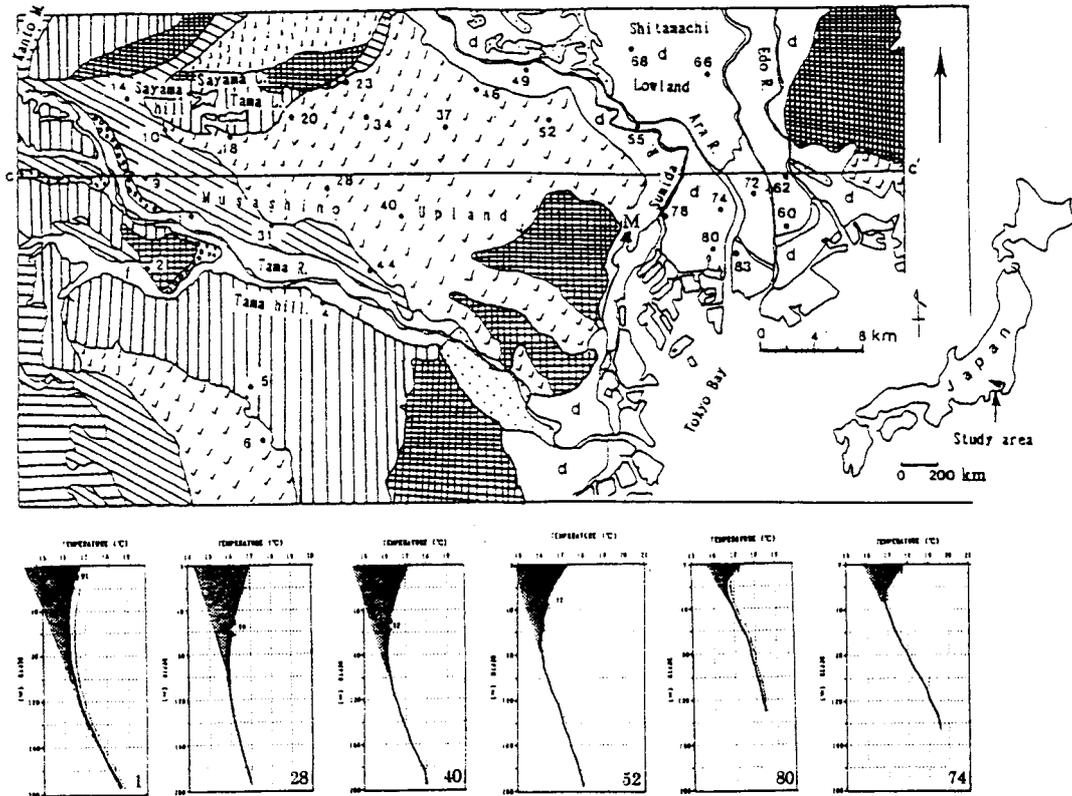


図 東京都地盤沈下観測井の位置と東西に並べた実測地下水温鉛直分布の例

淡路島北部に見られた地震時の地下水変動とその解釈

徳永朋祥（東京大学）

淡路島北部地域での地震後の地下水変動の主なものは以下のようにまとめられる。

- 1 地震直後には、淡路島北部の山間部で地下水の噴出現象が認められた。これらの湧水地点からは、多量の湧水が湧出していたが、その後漸減し、地震発生約 4 ヶ月後にはすべて涸れた。
- 2 淡路島北部の山間部では、島の中央部に位置する深井戸で地震後約 3 ヶ月の間に地下水面が約 70m 低下した。
- 3 地震後には、淡路島北部の活断層沿いで多量の湧水が発生した。
- 4 地震後に湧水の主成分の化学組成が変化した。

これらの現象を説明するための単純なモデルを作成するとともに、地下水変動データを用いて、当該地域の水理特性（透水係数の変化の割合、比産出率）を推定することを試みた。ここでは、淡路島北部を横断する断面を用い、Dupuit-Ghyben-Herzberg モデルと単純な Dupuit モデルを組み合わせることによって現象を表現することを試みた。計測された断層沿いの湧出量の経時変化と山地部における地下水位の低下を拘束条件として地震前後

の透水係数の変化と比産出率を推定したところ、透水係数は地震後に地震前の 5 倍以上に増加したこと、比産出率は 0.3 から 1.7%程度であるという結果が得られた。また、本モデルの結果から、地震前後の湧水の主成分の変化の原因の可能性として、帯水層への塩水の侵入に伴う深層地下水の排出が考えられた。さらに、地震直後の湧水量の増加は、透水係数の増加の割合に非常に敏感であることから、地震直後の湧水量の計測が重要であることが示された。

統合的水理環境解析における新しい数値解析手法の開発と適用

伊藤一誠(応用地質(株))

ダム、トンネル等の大規模地上および地下構造物の建設は、流域全体の地表水、地下水の賦存状況に大きな影響を及ぼすだけでなく、多くの場合水質に対しても影響を及ぼす。一例としては、ダムの建設によるダム湖の出現、それに伴う河川の富栄養化があげられる。そのような問題を的確に予想し、かつ水文状況変化に対する対策を迅速に立案するためには、河川等の地表水流動と地下水流動の双方をモデル化すると同時に、地表水および地下水の水質変化を予測する統合的な水理環境の数値解析手法が必要となる。ここでは、特に地表水・地下水流動の連成解析に対する紹介を行う。

地表水および地下水流動の同時解析手法として、筆者らは『3次元陸水シミュレーション』の研究を行っている。これは3次元地下水解析に地表水流動の方程式を連立させて、空間、時間で離散化し、同型の非線形方程式として、圧力および水の飽和度(地表水の場合は水位)を解析する手法である。なお、地下水の流動は、多孔質媒体内における空気-水の2相流動モデル、地表水の流動は、エネルギー勾配として水路勾配と水深勾配のみを考慮する拡散波近似を用いている。

数値実験の一例として、断面2次元による斜面地における水理解析の例を示す。図-1に示したような地形を想定し、左側斜面の上面全体に5mm/dayの降雨を与えた。解析は、地表面が不透水の場合、および地表面から地下への浸透を許す場合の2種類について行った。解析による2000日後の水飽和率分布をイメージ的に図-2に示す。

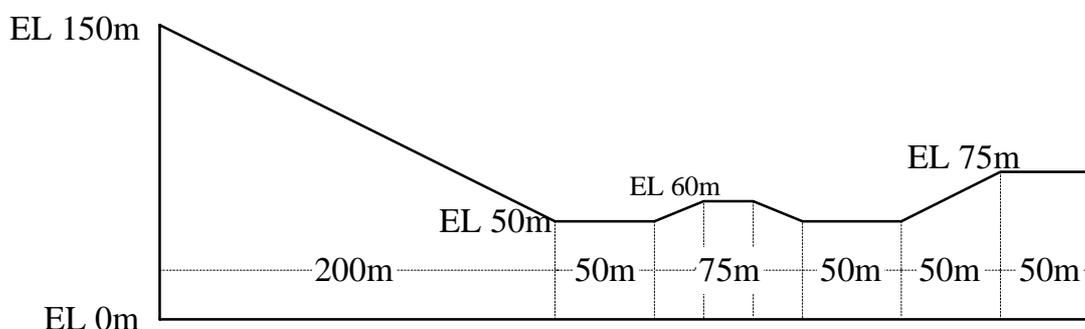
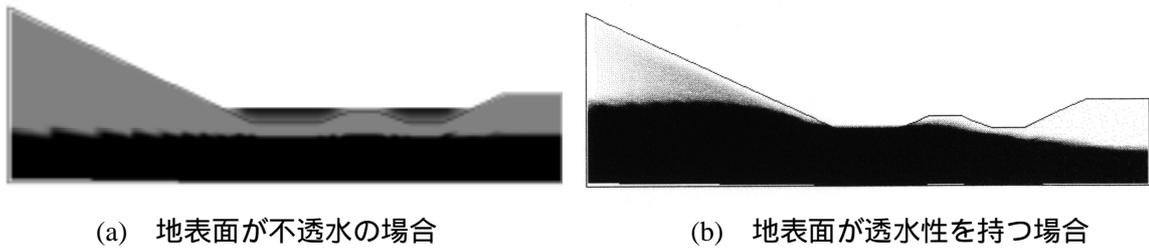


図 - 1 数値実験モデル模式図



(a) 地表面が不透水の場合 (b) 地表面が透水性を持つ場合
 図 - 2 数値解析による2000日後の水飽和率分布、濃い部分は飽和率が高く、薄い部分は飽和率が低い。

以上の2種類の解析結果を比較すると、地表面が不透水の場合には、斜面上を降雨が流動し、窪地に池を形成するとともに、最終的にはマウンドを乗り越える状況が再現できている。一方、地表面から浸透させる場合には、降雨は地下水位の上昇に費やされ、最終的に地下水位が法尻標高以上になった状態で窪地への流出が見られる状況が再現できている。従って、本解析手法は両ケースとも妥当な結果を示していると考えられる。

次に、この解析手法を実際の小流域での流出解析に適用した。対象とする流域は、京都大学桐生試験地であり、流域面積は5.99ha、平均年間降雨量は1738mmである。対象とした試験地の地形を図 - 3 に示す。

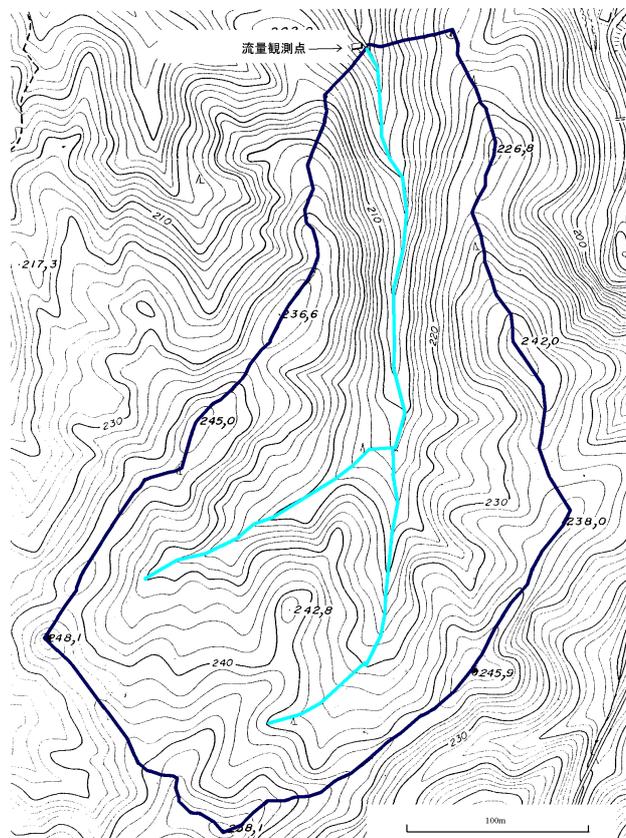


図 - 3 解析対象流域地形図、図中に流域境界および河川、流量観測点を併記

以上の流域に対し、地表水・地下水連成解析を適用し、1995年の日降雨を与えた結果の流出量の解析および実測との比較を行った。実測の雨量、流量および解析結果を図 - 4 に示す。解析結果は、夏期の一部を除きほぼ実測を再現している。夏期に関しては、ほとんど降雨がない状況であるため、地表面からの蒸発散が抑制されたため流量逡減が遅くなったため、蒸発散量一定という仮定で行った解析結果と差が生じたものと考えられる。しかしながら、ここで示した解析手法は、ほぼ実測の流量を定量的に再現することができたと考える。

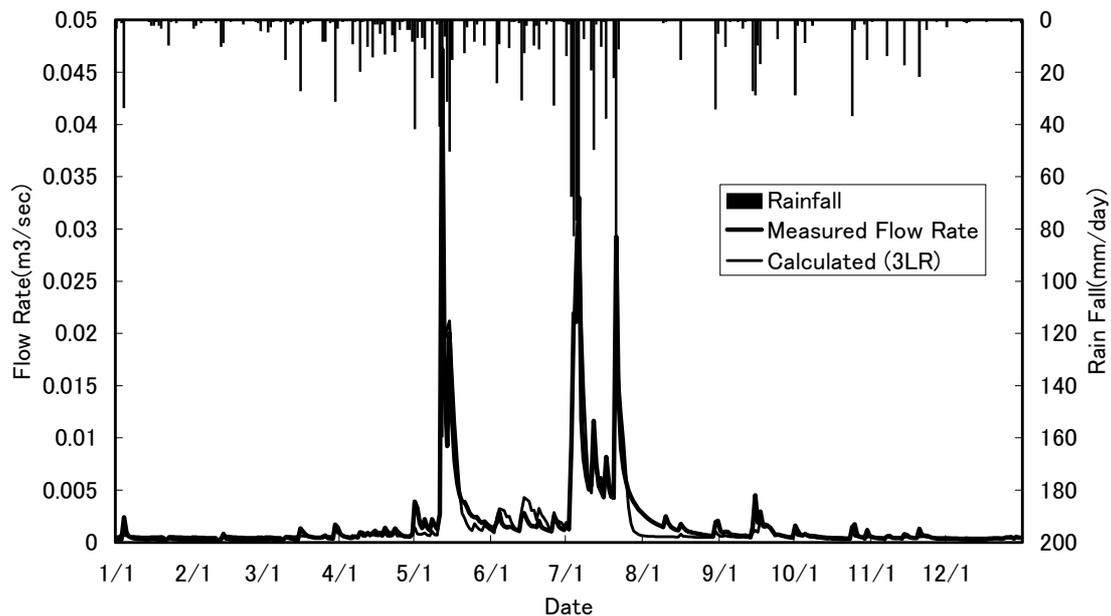


図 - 4 解析対象地域の降水量および実測・計算流出量

以上の結果より、地表水・地下水連成解析により、地下水位、河川流量を再現可能であることが、定性、定量的に示された。

光ファイバーによる地温変動解析と地下水の水みち分布

渡辺修 (スイモンリサーチ)

地下水の水みちは、揚水井戸等、水源の好適地としてばかりではなく、地滑りの発生、及び河川堤防等治水構造物の安全性を損なう原因ともなりうるということが知られており、その為その分布や規模の把握は重要な課題とされている。水みち分布の調査手法として有効なものの一つとして「1m 深地温探査」が知られており、既に実際の現場で適用されてはいるが、従来の方法では 1 回の測定に多大な労力を要するため、調査範囲がある程度以上広範囲に及ぶ場合、測定頻度や空間分解能を落とさざるを得ないのが現状である。

目下、光ファイバー温度センサーを、地下水の水みち分布探査のシステムとして用いる試みが建設省 東北地方建設局 福島工事事務所によって進められている。この実験に用いられている光ファイバーセンサーでは、空間的に1m 毎、時間的に10 分毎の温度分布測定が可能である。地温探査の新しい道具としてこのセンサーを応用することにより、既存の手法の可能性を拓げることができると期待されている。

治水地形分類図等を用いた机上検討、及び従来式地温探査を含む現地での事前調査に基づき、テストフィールドとして阿武隈川河川堤防（18.2～18.4km 区間）が選ばれた。テストフィールドに設置されている実験施設の概略を図に示す。

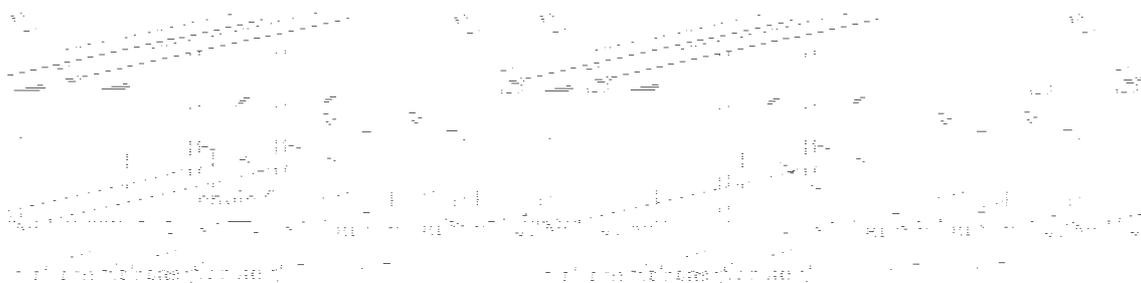


図 光ファイバー温度センサーを用いた地温探査実験施設

システムは大きく分けて、センサー部分と計測機器本体との2つに分けられる。堤内に設けられた観測小屋内には、計測機器本体としてのパーソナルコンピューターや光ファイバー温度計測装置等が設置されている。そこから観測地へと伸ばされた光ファイバーケーブルには、十分な被覆が施されており、そのまま地下に埋設され、温度センサーとして使用される。このシステムでは、光ファイバーケーブルを一筆書きに配線しさえすれば、配線した部分全ての温度測定が可能となる。よって本実験では1本のケーブルを上下に折り返した構造をとることで、同時に2つの異なる深度（GL.-0.5m, GL.-1.0m）での測線配置を実現させている。この200mの測線範囲内には、深度約8mの観測孔が既設されており、そこでの地下水位・水温観測が可能である。同時に、光ファイバーセンサーのデータを検証するためのサーミスター温度計をファイバーケーブルに沿わせて配置してある。

テスト観測の結果、現時点で得られている知見は以下のとおりである。

- ✓ 事前に同じ箇所に関して行った従来式地温探査結果とほぼ同じ温度分布測定結果が得られた（光ファイバー温度センサーの精度は ± 1 とされているが、地温探査

のための道具として実用レベルであろう)。

- ✓ 治水地形分類図により旧河道の分布範囲と予想された箇所での地温分布異常(冬期、他の箇所と比べて地温が相対的に高く、夏期に低い地温分布を示していること)が確認された(水みちの兆候と考えられる)。
- ✓ 50cm 深と 1m 深の測線で得られた地温分布の差分をとると、上記の水みち存在箇所での地温勾配(垂直方向)が他に比べて大きい(50cm 深と 1m 深での地温差が大きい)ことが明らかになった(地温分布の異常をもたらす熱源が、より深部に存在していることが考えられる)。

本実験サイトに於いては、今後追加の観測孔を設けることになっており、それによる水みち地下水の直接観測(水温・フラックス測定)を行う予定である。複数の観測孔で実測された地下水流動状況の空間的な相違と、光ファイバーで捉えられた地温分布との対応関係を確認することで、地温探査手法の有効性を再確認すると共に、これまで定性的な議論にとどまっていた地温分布測定結果の解釈を、少しでも定量的なものにグレードアップしていくためのアルゴリズム^(注)を確立していきたいと考えている。更に、従来の地温探査ではなし得なかった連続観測により得られる時系列データからは、水みち分布の把握だけでなく、これまで着目されていなかった水みちの拡大・縮小あるいは移動といった現象を捉えることが可能となると考えている。一旦設置を終えさえすれば、数 km に及ぶ範囲に関する地温分布の連続測定を実現できるシステムであるので、地温探査が有効とされ且つ継続的な測定が要求される現場への応用が期待されている。

(注): ここでいうアルゴリズムとは、「解析の手法・考え方」といったソフトウェア的なことだけでなく、(水みち)観測システムとして必要とされる同時観測体制(観測孔による地下水温・水位の直接観測など)の提案など、ハードウェア的な面をも含んでいる。

水質データを利用したダム周辺地下水流動調査

塩崎功(間組)

人工構造物の築造に起因する地下水変動の 1 例として、ダム湛水に伴う地下水流動状況の変化が挙げられる。一般に、ダム湛水時における地下水関連の調査項目としては、漏水量、揚圧力(間隙水圧)、地下水位があるが、漏水量が増加してもその起源が貯水池にあるとは限らない。また、地下水位や間隙水圧は圧力の伝播だけで変化するため、その値が変動したとしてもその計測地点を貯水池水が通過していることの証拠にはならない。そこで、ダム初期湛水時にはこれらの欠点を補うために、実際に水が移動することにより変化する地下水中のイオン濃度の調査やトレーサ調査を実施することがある。以下にその適用事例を報告する。

天然地下水に含まれる物質を利用した方法として、電気伝導度や主要イオン濃度の増減を利用する方法、硝酸イオンのように特定のイオン濃度の変化に着目する方法、トリチウムや酸素・水素の同位体を利用する方法があるが、ダム湛水時に適用可能なもの

は と であらう。

図 - 1 に、ダム湛水時における監査廊内湧水の硝酸イオン濃度の時間変化を示す。硝酸イオン濃度の濃度減少 濃度増加 濃度減少という変化は、基礎岩盤中にあった地表面近傍の硝酸イオン濃度の高い地下水の到達、深部岩盤の硝酸イオン濃度の低い地下水の到達、湛水初期に貯水池内に貯留していた硝酸イオン濃度の高い地下水の到達、硝酸イオン濃度が低くなった貯水池水の到達、という段階的な地下水の押し出し現象を反映したものと判断できる。

近年の分析機器の発達により実用化が可能となった手法として、インジウムや希土類元素をキレート処理したものをトレーサとして利用する方法がある。これらのトレーサは従来のトレーサに比べて分析感度が数オーダー高いという利点がある。図 - 2 に示すダムでは、トレーサの投入量は 200g~1kg とごく少量であったが、約 50~150m の領域内でのトレーサの到達が数ヶ月後に確認できた。

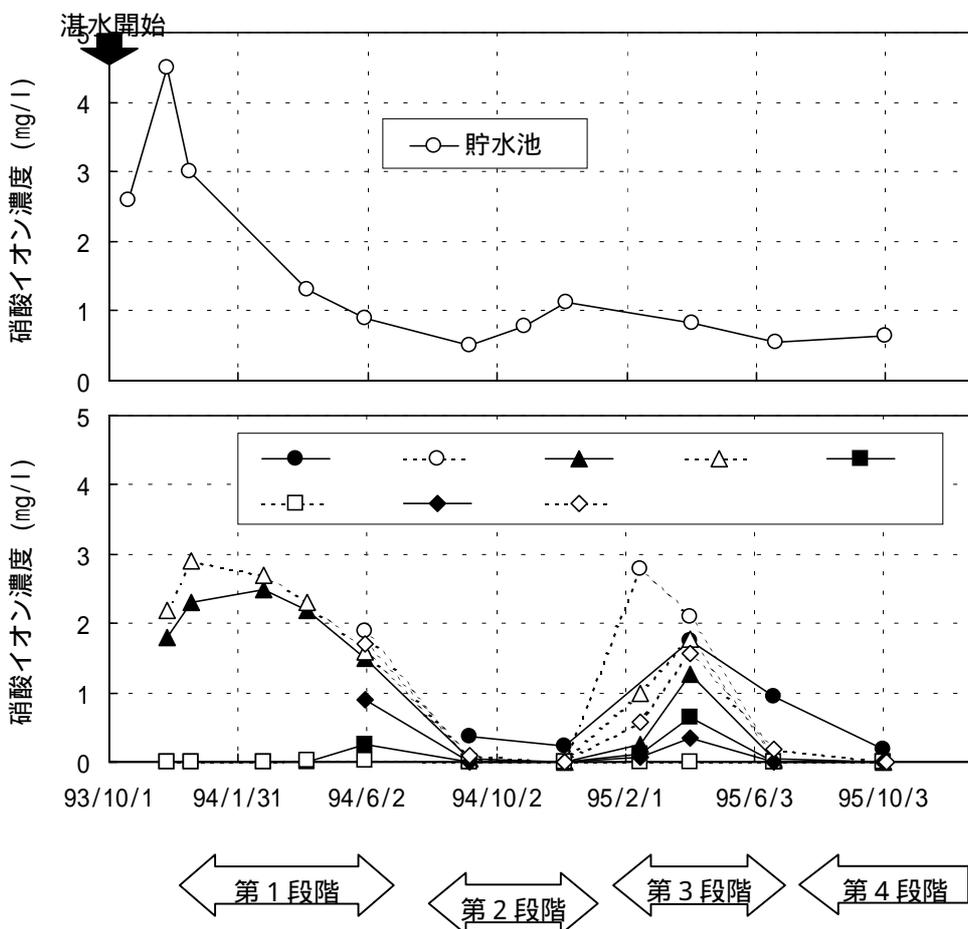


図 - 1 ダム監査廊内湧水の硝酸イオン濃度の時間変化

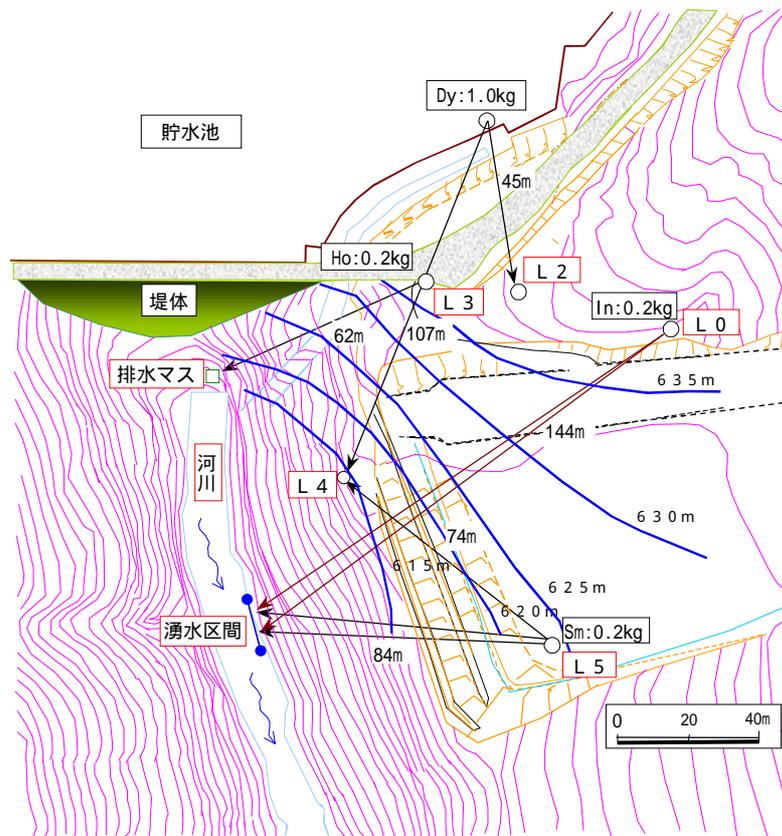


図 - 2 インジウム及び希土類元素を利用したトレーサ試験結果
(矢印はトレーサが検出されたパスを示す。)

地下水浸透力を考慮した土砂トンネルの切羽安定性評価と地山分類

木谷日出男（鉄道総合技術研究所）

トンネル工事の地山評価は、類似の地山条件での過去の施工データを分析した結果に基づき、掘削区間の地質の状態に応じて等級区分する方法が採られる。この地山条件の調査および評価作業を地山分類といい、等級区分の結果は適切な設計（標準設計）の選定に用いられる。これに対し、近年適用事例が増加する都市部地盤等の主な条件である未固結の土砂地山では、その分類法が未設定であった。なお、土砂地山は粘性土、砂質土、礫質土および火山碎屑物等の特殊土の総称であり、低い強度を共通の条件とする。このうち、粘性土を除く粒状土からなる土砂地山ではトンネル建設上の重要な問題としてトンネル湧水に伴う切羽の流出の発生がある。そのため、これらの地山条件でのトンネル設計は切羽の安定性が必要条件となっている。

この土砂地山を対象とする切羽安定性評価および地山分類基準の設定を目的として、施工データの統計手法による分析、モデル実験や数値解析によるパラメータ解析に基づく境界条件の考察を主に砂質土地山を対象として行った。

施工データの分析では、切羽流出の発生にはトンネル切羽の湧水量が強く関与し、その他、切羽の安定性に密接に関わる物性値として、細粒分含有率、均等係数、土粒子の密度、等が抽出されたが、これらの要因は直接的に切羽安定性を評価するための指標としての精度はないことが明らかとなった。これはトンネル切羽に向かう地下水流の浸透力が地盤の本来持つ切羽を保持しようとする力を越えた時に切羽の流出が発生することに起因し、切羽の自立性の問題はこの2つの要因群からなる力のバランスを評価する必要があることを示す結果と考えられる(図1)。

この考えに基づき、その発生の有無を評価することを目的とする、地下水の浸透力と地山の強度の関係をモデル化した基礎的な実験を行った。この実験は、トンネルを模擬した水平方向での浸透実験であり、試料の崩壊時の動水勾配に当たる限界動水勾配を求めるものである。その結果は次のとおりである。

不攪乱試料を用いた実験結果は、トンネル掘削時の切羽の状態を良く説明し得る。

現場での攪乱状態の試料を用いた実験結果は、細粒分含有率をパラメータとして、限界動水勾配と相対密度の間の基本的関係は指数関数の回帰曲線で精度良く表される(図2)。この指数関数曲線を浸透崩壊特性曲線と称す。トンネル切羽の自立性は各土試料の特性曲線を比較することにより相対的に評価し得る。

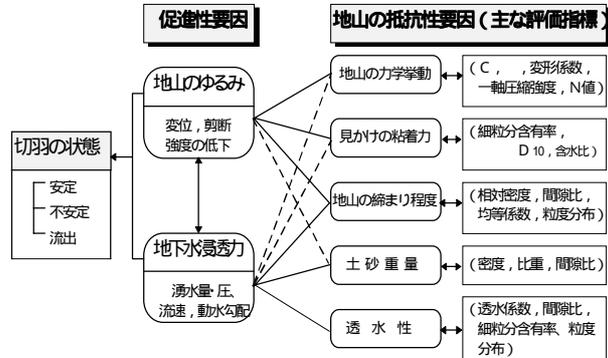


図1 切羽周辺の安定性決定要因と指標

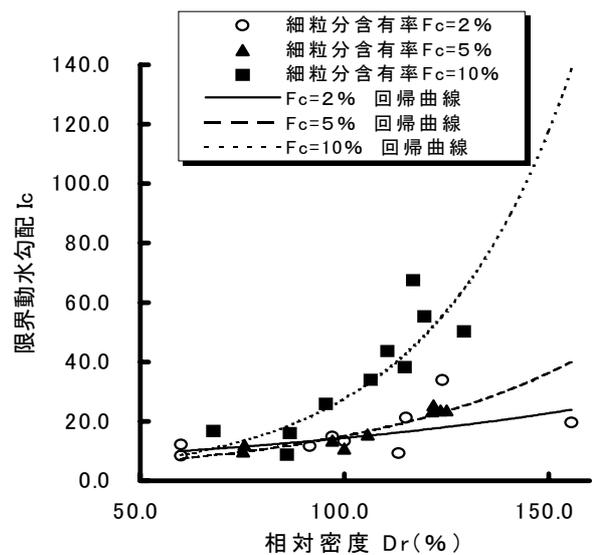


図2 浸透崩壊モデル実験結果

また、この基本実験を 3 次元的に検証するために土槽実験を行い、さらに実験時の切羽崩壊の過程を有限差分法に基づく力学-地下水流れ連成解析法を用いてシミュレーションした結果、土槽実験での切羽崩壊の条件も切羽近傍の動水勾配と限界動水勾配の大小関係で説明されること、その崩壊発生過程が数値計算で再現し得ることを確認した。この結果に基づき、砂地盤の物性値と地下水頭を組み合わせたトンネル切羽の安定性に関する実物大でのパラメータ解析を行い、砂質土地盤のトンネル切羽の安定する条件として、地盤の

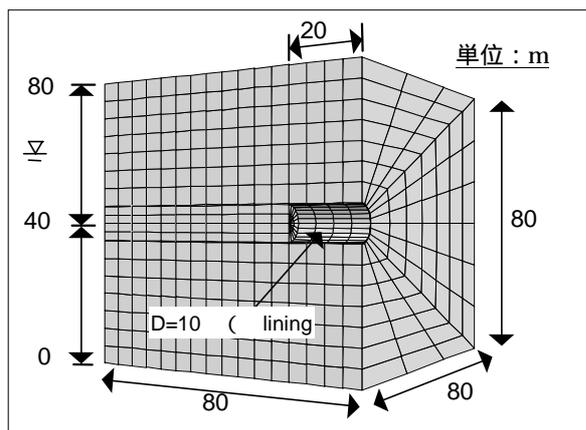


図3 パラメータ解析における地盤モデル

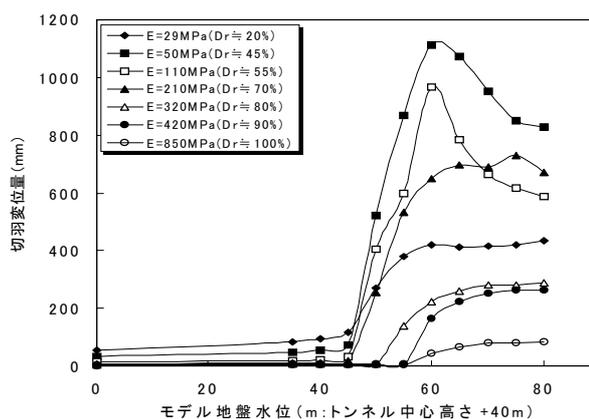


図4 切羽面最大変位量の解析結果

相対密度が 80%以上であること、初期の水頭がトンネル中心から 10m未満であることが明らかとなった(図3, 4)。

これらの成果に基づき、鉄道トンネルに適用する砂質土の地山状態の分類法を表1に示すように提案した。さらに、砂質土以外の粒状土の評価に関する実験的検討や複雑な地質構成からなる層状の地盤構造としての特徴の考察から、土砂地山の分類の手順を提案した。

表1 砂質地山の計画段階での地山分類

地山等級	地山の状態	分類指標	
		相対密度 Dr(%)	細粒分含有率 Fc(%)
N	切羽がほぼ安定した状態とみなされる地山	Dr 80	Fc 10
L	切羽が不安定で、わずかな変化によって流出する可能性のある状態の地山		Fc < 10
特L	切羽の自立性が著しく低い状況にあり、掘削に支障する重大な状態変化が予測される状態の地山	Dr < 80	

注1) 鉄道トンネルの地山等級区分による。

注2) 本分類は土砂地山のうち、主に砂質土からなる地山条件に適用する。

注3)本分類は掘削時の切羽前方圧力水頭が切羽中心より+10m未満であることを適用条件とする。なお、+10m以上の場合は別途水位低下工等の検討を要す。

3 - 3 現地見学会

応用地質学における地下水問題の1つとして、対象とする規模に係わるものがある。これは、帯水層の形成メカニズムに由来するものとも密接な関係にある。特に砂層以上の粗い粒径の堆積は流れに伴って生ずるために、その流速分布や蛇行などの流路変更に支配を受けるため、帯水層としては『水みち』(preferred pathway)と呼ばれる。この『水みち』は大規模なものから「もぐら」の穴程度まで堆積時の流水の規模によると考えられている(Reynold's Number)。

この『水みち』はその周辺の地山の透水性とは数十～数千倍も大きく、ダルシーの平均的な流速による透水性の扱い方に対して、しばしば戸惑うことがある。

応用地質学会の地下水変動の捉え方の一つに、従来の平均的な方法とは別に、不均質なものとしての捉え方も現実には必要ではないかと考えられる。今回の現地検討会は、その一つとして地中・地下水の温度に着目した阿武隈川の大改修に直面しての現実的な地下水変動のアプローチの方法などを題材に議論をした。

現地検討見学会の概要は、次の通りである。

集合日時：平成11年 8月10日(火)9時45分

集合場所：新幹線 福島駅改札出口

日 程：8月10日10時 建設省福島工事事務所

廣木 所長より阿武隈川平成の大改修及び新しい防災システムの説明を受ける。

午後 現場見学(阿武隈川平成の大改修工事現場 伊達郡梁川町栗野護岸工事 及び 光ファイバーセンサーによる地温測定現場 伊達郡伊達町 等)

16時～18時 検討会

現地の案内及び説明にあたっては福島工事事務所 調査課 貫名課長 が一日我々と行動を共にしていただき、参加委員からの細かな質問に対応頂いた。

また、光ファイバーによる地温測定に関しては、3-2 委員会でおこなわれた研究紹介の項を参照願いたい。

阿武隈川平成の大改修は、平成10年8月末洪水及び9月台風5号洪水による甚大な浸水被害を解消するため、阿武隈川の抜本的な改修を平成12年度末までに、約800億円の事業費によりおこなわれるものである。事業の主な内容は、築堤約20km、断面不足の解消(掘削)、堤防強化約30km、排水機場(排水ポンプ車含)5カ所、光ファイバーケーブル約41km、河川防災ステーション4箇所の整備である。

4 当小委員会における議論の概要

当小委員会においては、地震時の地下水変動に関して検討することを当初の目的としたが、そのような問題に対応するにあたっては、より一般に応用地質の分野で問題となって

いる現象について検討する事も必要であろうと考え、委員会の議論の中で応用地質分野における地下水問題に関する今後の展望に関して予備的な検討を行ってきた。ここでは、小委員会における議論においてポイントとなった点について、キーワードとともに以下にまとめる。

<地下水変動には様々な時間・空間スケールがある>

平成 11 年度日本応用地質学会シンポジウム予稿集のなかで宮島がまとめているように（7,8 ページ）地下水変動を考えるにあたっては、それに関与している空間・時間スケールは様々なものが有り得る。応用地質に関係する技術者・研究者が多く遭遇するのはこのうち、数日から数十年スケールの時間と数メートルから数キロメートル程度の空間スケールの変動現象である。しかしながらシンポジウムの中では、実際の地下水変動には海水準変動や気候（涵養量）変動に伴う数万年から数十万年スケールの時間、数キロから数十キロの帯水層スケールに及ぶ変動、あるいは地震動のような水平方向数十キロスケール、深度方向数キロの広範囲に及ぶ自然的な要因に基づく変動も存在することが報告された。これは、今後の応用地質学の問題の広がりに伴って、地下水問題を考える上で重視すべきことであろう。

<地下水流動も水循環の一環である>

このように様々な時間・空間スケールの地下水が存在するが、いづれも基本的には涵養・流動・流出という一つの地下水流動系を形成している。地球上の乾燥地域で多く確認される非常に年齢の古い地下水の存在もまた、異なる気候条件下にまたがる非常に大きな時間スケールの地下水循環と捉えることで、水循環の一環に加えることが可能になる。但し、油田鹹水のような地層形成時に封入された水が化石水化したものや、マグマ起源の温泉水のような地下水は循環系に含むことはできない。

この地下水流動系に影響を与える大きな因子として、地下水の入れ物である帯水層及びその周辺を構成する地質の存在がある。応用地質技術者が得意とする地質状況の把握は、この地下水の入れ物の形態評価にあたり、地下水流動もこの入れ物の形で大きく変化する。例えば人為的な掘削に伴う地下水変動は、入れ物の形態を人間が変化させた結果の変動と捉えることもできる。

<地下水変動を地下水流動に対する自然及び人為的な作用のレスポンスと考える>

例えば、涵養に対するコントロールとして降水量変化（気候変動、植生変化）浸透量変化（土地利用変化、都市化）人工涵養・注水等が考えられるし、また流出に対するコントロールとして海水準変化（気候変動）地下掘削・トンネル工事、地下水揚水、地下遮水工事等が自然・人為的な要因として想定できる。これらの作用によるレスポンスとして、地下水頭・地下水位の変動や、その間接的な影響としての湧水湧出量の変動が発生すると考

えることが可能である。地震動も、地殻の歪みが地下水の流動場を変形させたものとして捉えることで、結果として水位・水頭変化が発生したものと考えることができる。

<地下水変動には量的な変動に加えて質的な変動もある>

これまで取り上げてきた地下水変動は、流動に伴う水量や、水位・水頭といった量的な側面を見てきた。自然状態で流動する地下水は、その流動の過程で帯水層母岩との接触時間によってその水質を変化させており、また異なった母岩の地質からなる帯水層の地下水は違った水質を呈することが知られている。また、地下水帯水層中への人為的な汚染物質の漏洩・注入は、地下水質そのものを大きく変貌させる要因である。このように見ると、地下水の水質変動もまた地下水流動に対する自然・人為的な作用のレスポンスと捉えることができる。

<地下水変動から何を見るか？何が見えるか？>

これまで述べてきたように、地下水流動系の中での各種要因によって引き起こされた地下水変動情報を基に、様々な新たな情報が抽出できる。シンポジウムでは、地下水温変化による温暖化に伴う地表面気温の変化情報の抽出、地下水の年齢と安定同位体変化による涵養時の古気候・古水文情報の抽出、地下水位変化と地震発生との関係を基にした地震予知の可能性の検討、トンネル湧水の水質・同位体変化を基にしたトンネル周辺地山の地下水変動の実態把握、地域的な地下水揚水規制に伴う水位変動を基にした誘発涵養量の存在の確認等々の事例が報告された。よく考えてみると、実は地下水研究者の研究そのものが、地下水変動に基づいたものであることに他ならない。

<地下水変動を捉える事は、地下水を地盤センサーとして用いる事である>

地下水は、存在する場を規定する様々な時間、空間スケールの中で流動、変動する。これは地下水が、周辺の地盤に発生する応力、熱あるいは重力等の影響に対し鋭敏に応答するためである。この点で地下水の流動を考えるには、地盤中での水としての挙動と、地下水の流動の原因である地盤、岩盤内の応力状態や熱やポテンシャル勾配の発生に関する現象を考える必要がある。

この性質は、地下水が地盤、岩盤中の応力をはじめとする物理的なエネルギーの発生履歴の記録媒体としての役割を持つことを示唆している。同様に、地下水の持っている溶媒としての能力は、地下水の流動の履歴を示すと同時に、地盤の化学的な特徴を、その存在した場とともに情報として提供していると考えられる。これを応用地質学的に整理すると、主に2つのセンサーとしての位置づけが可能である。

地盤、岩盤内の状態を示すセンサー

地下水の流動経路の化学成分をモニターするセンサー

<応用地質技術者・研究者の地下水問題への取り組み姿勢>

人間が地球に対して各種の作用を行うと、必ずそのリアクションが発生し地下水もその例外ではないことがわかり頂けたと思う。地下水におけるリアクションは、水質・水量の変動であり、これらは地下水流動系の一環として捉えることができる。この事実を謙虚に受け止め、水資源としての地下水の有効利用を図るために応用地質学の技術者・研究者は積極的に社会に働きかけてゆく必要がある。

これまでの応用地質学では、地下水は土木工事上の障害対策としてのアプローチが主体的であったが、例えば地盤沈下対策として行われた揚水規制も、資源の有効利用という観点から一定レベルの地下水頭を維持できる範囲での揚水を許容することで、現在問題になっている地下施設の浮力上昇や、大量湧水処理対策の軽減化が図られることになり、人類全体としての口スを相対的に少なくすることが可能となる。また、地下水汚染の潜在的可能性のある各種廃棄物処理施設のサイト選定に当たっては、相対的にリスクの高い地下水涵養域を避ける等の配慮も必要とされる。

社会と地下水の接点に深く関与している応用地質技術者・研究者の今後の地下水問題への取り組み姿勢を一言で換言するとすれば、『地下水流動系への配慮』を挙げることができる。

5 地下水変動小委員会としてのまとめ

応用地質学会内に地下水変動研究小委員会を設置して約 2 年が経過した。そこでは、地震に伴う地下水変動に関する検討を当初の目的としたが、より基本的な問題として、応用地質学として地下水問題をどのように捉えるべきであるかを考える事が重要であろうという議論がなされてきた。

今回の整理からも分かるように、地下水問題を考えるにあたって、地下水流動系を念頭に置いて事象を見る事が重要であると言う事があらためて示された事は、本委員会の一つの成果であろう。

一方、地下水流動系の概念は、地質の分布やその成因、地質分布から推定される物性分布のような、今まで応用地質学分野で活躍してきた人たちが得意としてきたものの考え方とは一見違ったものの捉え方のようにも思われる。

今後、応用地質学会として地下水問題を検討するにあたっては、地質調査をはじめとする地質学的なものの捉え方がどのように地下水問題に貢献をする可能性があるのか、また、地下水流動系の概念を持った上で、地質分布や地質成因論のような、地質学的なアプローチからえられる情報を有効に活用するにはどのような方法論が考えられるのかについて、実例を基にした検討・議論を行い、新しい地下水・地質の捉え方について検討してみる事にあるのではないだろうか。

例えば、第四紀地質学的な見方が、沖積平野の物性分布の検討に大きな貢献をしたように、応用地質学会の会員の多くが得意とする地質学的なものの見方から地下水問題に貢献

するような可能性について検討していく事ができれば、今後の、応用地質学・環境地質学分野に対する新しい展望が開ける可能性があるものとする。

6 終わりに

応用地質学会内部に地下水関連の委員会を発足させ、この種の問題に関係ある方を中心に活動を始めて2年半が経過した。私自身、応用地質学は地下水を抜きにしてあり得ないという立場で、かなり地下水を理解しているつもりでいた。しかし、委員会でのお付き合いを通して、私は「土木工事に対して邪魔な存在」として地下水に接している者であり、この他に水資源という立場で対処している方、あるいは古環境推定的手段として利用しようとしている方、その他いろいろ、思った以上に実に多様な局面から地下水に応用地質学的なアプローチがなされていることを認識させられた。自分自身が抱えている問題に関しても、より広い視野で見れば、別のアプローチがあってもいいのかもしれない、と刺激を与えられた場であったことを感謝している。

当委員会では、「地下水変動を応用地質学的な観点から考える」という観点で各人が従事している業務を中心に話題を提供し、それに対して意見を出し合うという形で検討を進めた。かつ、その議論は、応用地質学会としての地下水研究はいかにあるべきかということ念頭におくよう努めたつもりである。

委員会の成果は、表面的には第4章でまとめられたことになるといえる。しかし、その成果はむしろ、応用地質という中で地下水に深く接している方々が議論できる場ができたことにあるのではなかろうか。その意味で、交流の輪をさらに大きなものとしながら応用地質学にとって無視できない大切な地下水研究のあり方を定常的に議論・検討し発展させる場は今後とも継続させるのが望ましいと考える。当委員会のメンバーにはその中心的役割を果たし、強力に導いていてもらいたいと希望する。

最後に、ざっくばらんな雰囲気の中で、実用的議論を重ねることにご協力をいただいた、二代目、三代目委員長をはじめとする委員会の各位、ならびに当委員会の活動を暖かく見守っていただいた、研究企画委員会や総務委員会、行事委員会の各位に謝意を表し結びとする。

平成12年5月

当委員会顧問（初代委員長） 大島洋志