

13. 湧水の流出特性に基づく石灰岩地域の水文地質構造の推定

Estimation of the hydrogeological structure of a limestone area based on the characteristic of groundwater discharge.

○ 寺本光伸(テラ・アクアリサーチ)
栢木智明((株)K-HGS)

1. はじめに

石灰岩地域では、地表に降った殆どの雨が石灰岩特有な溶食された割れ目沿いに地下浸透するために地表水が殆ど存在しない特徴があり、石灰岩地域の地下水は、見かけ上複雑に分布する鍾乳洞などの洞穴を流動経路とし、数箇所湧水として地表に流出しているものと通常考えられている。これらの湧水は、水質や水温の変化が殆ど無く、こんこんと湧き出す湧水と謳われた名水として存在し、古くから飲料水源、養魚用水、水田用水などとして広く利用され、石灰岩地域では重要な水源に位置づけられている箇所が多い¹⁾。

このような水利用環境である石灰岩分布でのトンネル工事などの土木工事においては、数箇所の湧水が分布する以外に沢に水が無いなど、水文地質状況の把握が非常に困難となるケースが多い。そのため、トンネル工事などの土木工事に伴う設計施工、湧水対策では、「施工してみなければわからない」など場当たり的な対応となり、設計変更、工期の延長、更に水源湧水が社会問題化する事例が多いのが現状と言える²⁾。

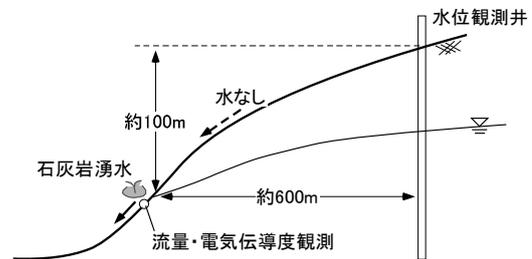
今回の発表では、付加体に分布する石灰岩からの湧水の湧水量、電気伝導度および地下水位変動の連続観測結果を基に、湧水の流出特性や水質特性が成り立つための考えられる水文地質構造について一例を示し、トンネルなどの土木工事に応用できる可能性を示唆したものである。

2. 湧水の流出特性

(1) 湧水地点での観測概要

対象湧水は、周辺に明瞭な鍾乳洞はないが、石灰岩分布域に形成された流域面積 0.32km² の沢筋中流部から常時湧出し続ける湧水である。

ここでは、湧水量および電気伝導度の連続観測を実施するとともに、この湧水箇所から 600m 上流側の山腹付近に観測井を設け、石灰岩地山地下水の連続観測を実施している。これらの観測結果を基に対象湧水の湧出特性について述べる。



(2) 湧水の流出特性

湧水の湧水量および石灰岩層中の地下水位観測結果を降水量とともに時系列で整理し、図-2 に示した。図から読み取れる湧水の流出特性を以下に示す。

- ・ 湧水量は降雨直後に急激な増加を示し、その後徐々に減衰するといった河川水の流量変動に似た傾向を示している。
- ・ 湧水の基底流出量は、長期的な降雨状況によって変動している。
- ・ 湧水量は、石灰岩層中の水位変動に類似した傾向を示している。
- ・ 湧水量は 50mm 以下の降雨時にはほとんど増加を示さないが、50mm 以上の降雨が生じた場合に大きな増加が認められる。

これらの流出特性からは、地山中には空隙(割れ目や石灰岩の洞穴などの水みち)の大きい地下河川などの存在が想定される。また、当湧水の基底流出量は降雨状況による変動を示していることから、地山内には多量の地下水を貯留するだけの帯水層が存在することが想定される。

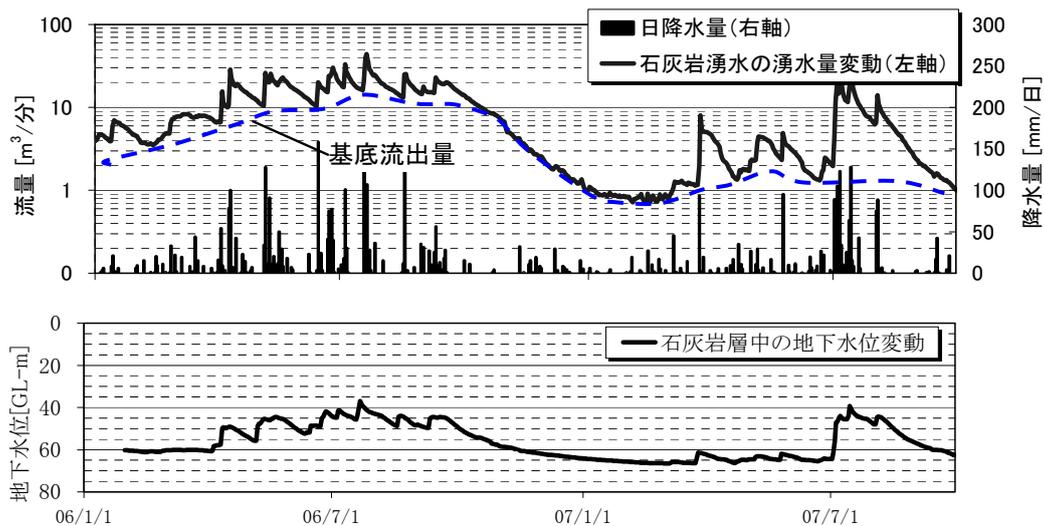


図-2 石灰岩湧水の流量変動および石灰岩中の水位変動

(3) 水収支特性

湧水の湧出量と収支的な集水範囲には、①式に示すような収支式が成り立つ。

$$\text{流量 } Q = (P - E) \times A \cdots \cdots \text{①式}$$

ただし、P:降水量，E:蒸発散量，A:集水面積

湧水の年間湧出量を基に、①式を用いて集水範囲を求めると3.1km²となり、地形的な集水範囲(0.32km²)と比べて10倍の集水範囲を持っていることがうかがえる。

また、降雨によって増加した流量が降雨発生前の流量に戻るまでの期間を1降雨イベントとし、イベント毎の湧水の水収支上の集水範囲について試算した場合、0.5~5.6km²と約10倍以上の開きが生じる結果となった。

この降雨イベント毎の集水面積は収支期間中の平均地下水位と相関性がみられる(図-3)。このことから、降雨によって地山の地下水位が高くなれば、湧水の集水範囲が広がるような特殊な帯水層構造の存在がうかがわれる。

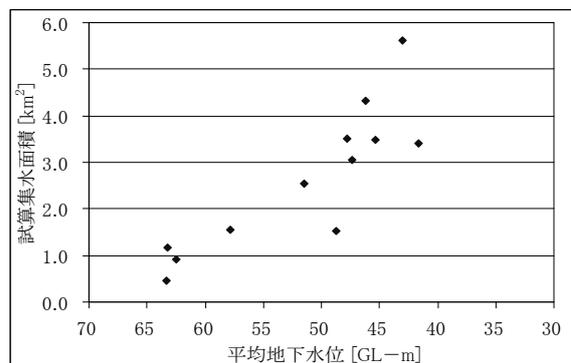


図-3 集水面積と地下水位の関係

3. 湧水の湧出量と流出成分の特性

(1) 湧水の電気伝導度の特徴

図-4は、湧水の電気伝導度の変化を湧出量、降水量とともに時系列変化図として整理した図である。当図から読み取れる電気伝導度の変化の特徴を以下に示す。

- ・ 降雨時の湧出量増加に伴い値が大きく低下し、降雨後湧出量減少とともに数日間で元の安定した基底値に戻る。
- ・ 電気伝導度の基底値は、年間通じて概ね250 μS/cmの値で安定している。

この電気伝導度変化の特徴から、湧出量の増加時には雨水の混入が推察される。さらに電気伝導度の基底値が年間を通じて同じであることは、湧水は年間を通じて同じ水理条件下での帯水層を流動しているものと考えられる。

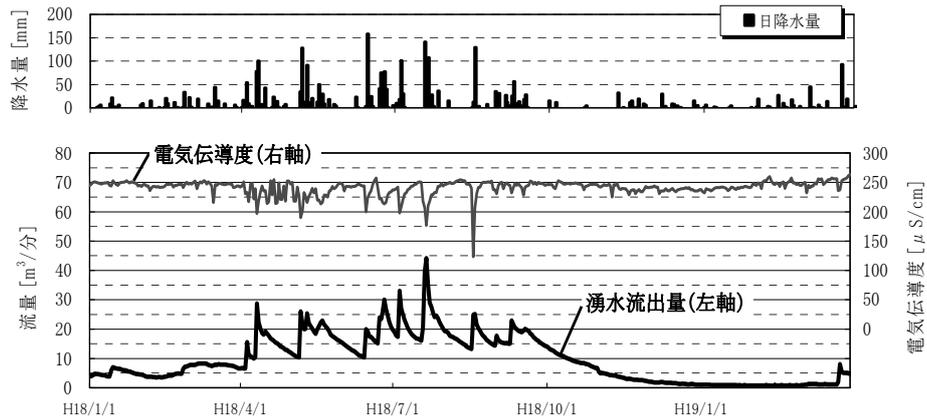


図-4 石灰岩湧水の電気伝導度時系列変化図

(2) 湧水の起源(湧水の流出成分)

湧水の水量および電気伝導度の観測値を基に、石灰岩層中の地下水の電気伝導度を $250 \mu\text{S/cm}$ 、雨水の電気伝導度を $35 \mu\text{S/cm}$ として湧水中に占める地下水流出分と降雨直接流出分の混合割合を試算した。

図-5 は、ある降雨時の流出成分の試算結果を時系列変化図として示した図である。

この結果によれば、湧水として流出する成分のうち、多くは石灰岩層中に滞留していた地下水であり、雨水の直接流出分は降雨時の流量増加分に対し約 20%程度の値となっている。

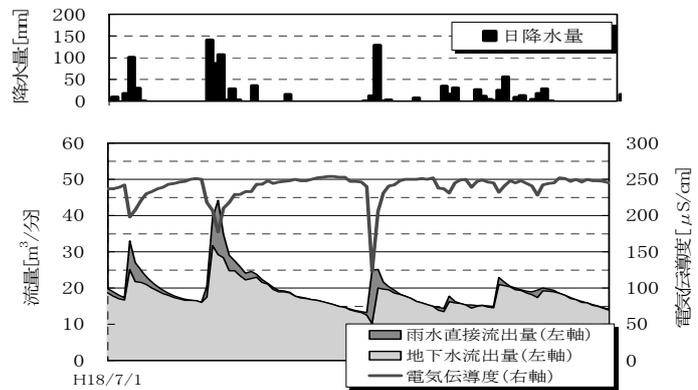


図-5 石灰岩湧水の電気伝導度時系列変化図

4. 湧水の流出特性から推定される水文地質構造

湧水の流出特性から推定される水文地質構造を以下に整理する。

- ① 湧水量・水位変動特性から推測される水文地質状況
 - ・ 降雨後の湧水量変動傾向から、地山中には地下水空隙(割れ目や石灰岩の洞穴などの水みち)の大きい地下河川等の存在が推定される。
 - ・ 湧水の基底流出量の変動から、地山には多量の地下水を貯留する場所が存在する。
 - ・ 湧水の集水範囲は、地下水位が上昇すると広がる傾向がある。
- ② 流出成分特性から推測される水文地質状況
 - ・ 無降雨時期には電気伝導度の値が概ね一定の値を示していることから、一様に同じ水理地質条件の帯水場が存在することが想定される。
 - ・ 降雨時の湧水中に含まれる雨水成分は 20%程度であり、地山に浸透した雨水は洞穴の様な地下空洞を一気に流動するのではなく、一旦地山の地下水として貯水されたのちキレツ・空隙を流動して湧水箇所に流出する形態を示していると想定される。

一般的に、石灰岩地域の水文地質構造としては、図-6 に示す様な、地下水面より上部の不飽

和層に洞穴(鍾乳洞等)が分布する構造が考えられ、①に示す湧水量・水位変動特性を示す様な地下水流動場を形成している。しかしながら、この水理地質構造は、降雨時に早い段階で供給された大部分の雨水が直接流出する構造であり、②に示すような水質変動特性を満足できない状況にある。

このことから、当地域の水文地質状況として、図-7 に示す様な、地下水面下で地下水を貯水出来る、一様な帯水場を形成する構造を想定する方が、当地域の湧水の流出特性を満足することができると考える。

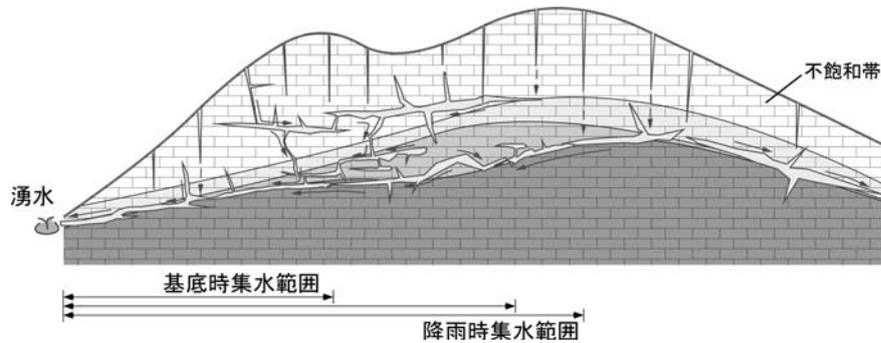


図-6 一般的に考えられる石灰岩地域の水文地質構造の模式図

地下水は、地下の洞穴(鍾乳洞等)を流動し、湧水として流出する。

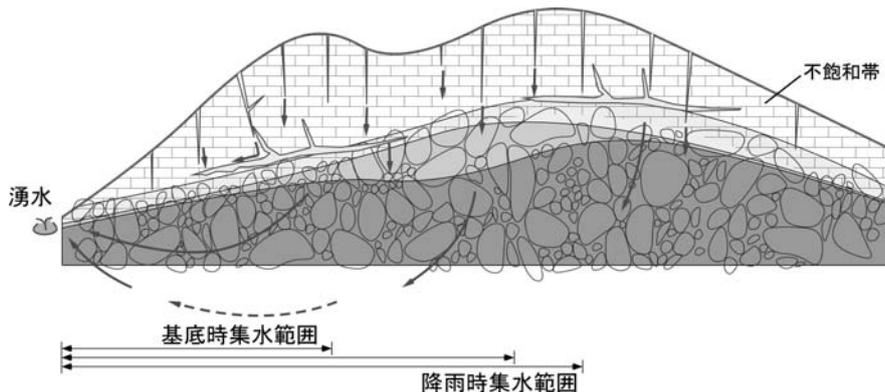


図-7 当石灰岩地域で考えられる水文地質構造の模式図

地下水は、地下水面下に貯水され、一般地山のように空隙やキレツの発達した石灰岩中を流動して湧水として流出する。

5. まとめ

今回の発表では、湧水の流出特性から石灰岩地域の水文地質構造を推定できそうな一例を示した。

トンネル工事などの土木工事においては、現地のデータを基に水文条件(湧水量・水質等の流出特性)を満足する様な水文地質構造を把握することが、工事に伴う影響の度合いを的確に予測する上では重要となる。また、現地の水文地質構造を的確に評価することが、無駄のない調査方針を策定するための一助となるとともに、工事中の対応方針についても事前に決定することが可能となると考える。

(参考文献)

- 1) 日本地下水学会編, 2000, 地下水水質の基礎, 理工図書, P183
- 2) 日本応用地質学会中国四国支部編, 2010, 中国四国地方の応用地質学, 高浜出版, P264