



トンネル掘削による地下水位低下影響圏とはどのように考えればよいのですか？



トンネル掘削によって生じるトンネル湧水（地下水）の流出は、山地の地下水位低下を引き起こします。その地下水位が低下する範囲をトンネル地下水位低下圏（範囲）、また、その地下水位低下圏の内、湧水としてトンネル内に流出する範囲をトンネル集水圏（範囲）として定義され、地下水位低下圏とトンネル集水圏とは異なっています。そのため、地下水位低下圏（範囲）をもとにトンネル工事による地下水位低下影響圏を設定する場合は、水源における地下水の供給源やその水文地質構造とトンネルとの関係、下流域を含む周辺の地下水利用など、総合的に判断することが重要です。

（１）はじめに

トンネルは、山地を貫く線形状の空洞構造物であり、当然であるが地下水面下であれば、トンネル湧水として地下水が流出してきます。現在でも大半のトンネル工事は、トンネル内の水压を低減させトンネル断面を確保するなど設計や施工コスト、工期的な問題などから水抜き工法が採用されています。そのため、山地の地下水面より下位のトンネルでは、トンネル内に地下水が流出することにより、流出量に応じて山地の地下水位が低下し、その結果地表で水源への影響が表面化することになります。

ここでは、山地における地下水分布の実態とその挙動を示し、トンネル湧水と地下水位低下のメカニズムを述べ、更にトンネル工事に伴う影響圏（範囲）などの考え方について以下に示します。

（２）山地における地下水分布と地下水流動

山地の地下水分布は、地表面（地形）が起伏に富んでおり、平地の様な比較的平坦な地下水分布に比べ地形の起伏に応じた複雑な分布を示しています。

一般的に水文地質踏査では、沢水の湧き出し口に当たる源頭湧水を確認することが重要です。この源頭湧水は、図-1（次頁）に示すように地山に分布する地下水面と地表面とが交わる箇所に当たり、それより下流で沢の河床より上位に地下水面が分布していることを意味しています。そのため、沢筋となる流水の認められる河床は、流下するにつれて流量が増加していきます。即ち、常時流水している沢筋は、周辺山地の地下水の流出域となっており、降雨の少ない時期での流量（基底流量）が、その地点の上流域からの地下水流動量を示しています¹⁾。

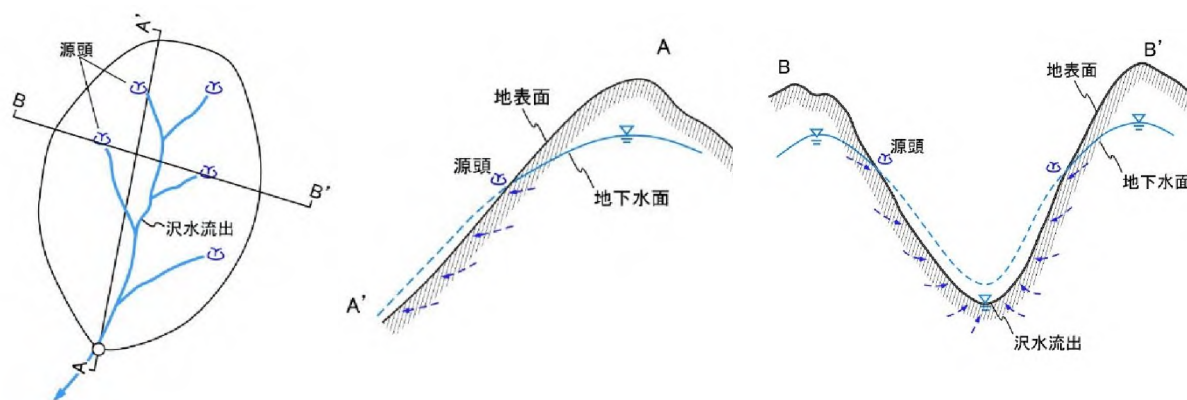
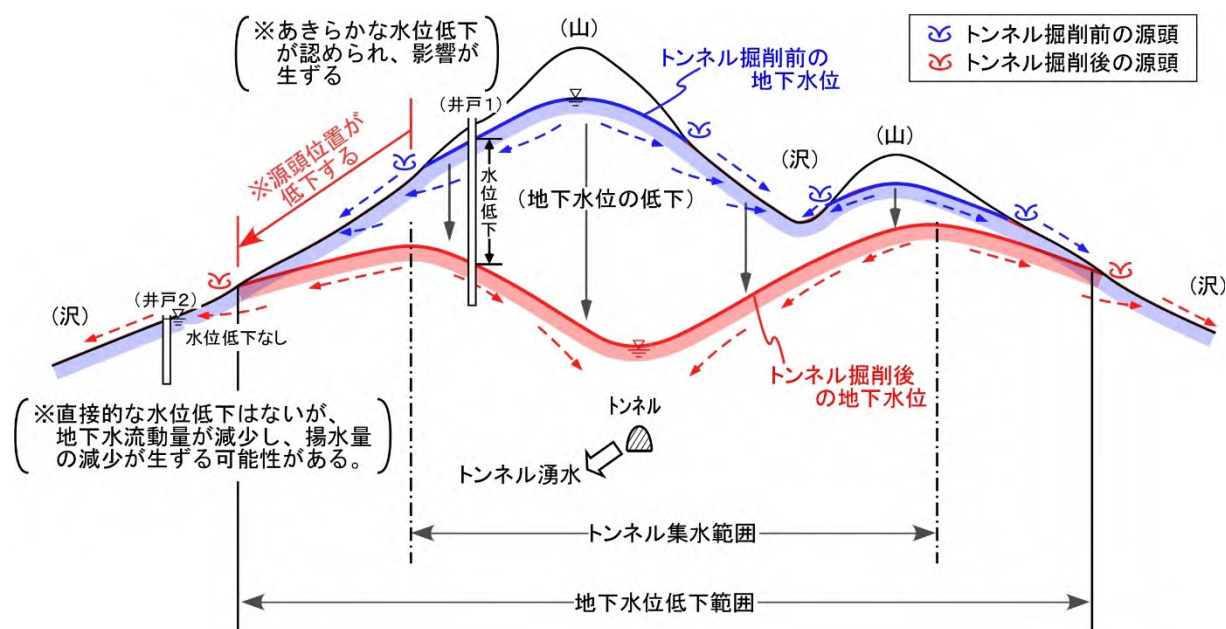


図-1 地山の地下水分布とその挙動

(3) トンネル湧水と地下水位低下及び渇水のメカニズム

トンネル湧水は、図-2 に示すように元々沢に流出していた地下水（これを基底流量と呼びます）が、沢の河床より低位に位置するトンネルに流出する現象です。即ちトンネル湧水は、特殊な地質構造^{※1}を除けば、沢などの表面を流れている水が直接トンネルに流出するものではなく、あくまでも地山の地下水がトンネルに流出しているものです。一方、沢に流出していた地下水（基底流量）は、山地の地下水位低下に伴い本来沢筋に流出していた地下水がトンネルに流出し、その分水量が減少します^{1),2)}。そのため、トンネル工事による渇水は、降雨の少ない渇水時に顕著な被害が生じます。

※1：例えば石灰岩分布域や扇状地などのように河床から表流水が伏流している地質構造など

図-2 トンネル湧水と地下水位低下の概念図³⁾

（４）トンネル地下水位低下圏（範囲）とトンネル集水圏（範囲）

山地の地下水位面は、図-2 に示す様に元々の水文地形・地質条件に左右された地下水流
出形態となり地下水面（トンネル施工前の地下水面）が形成されています。トンネル掘削
により地山の透水性に応じて、トンネル内に地下水が流出して新たな地下水面を形成し、
掘削前に比べ地下水位が低下する範囲（トンネル施工後の地下水面）が現れ、この範囲を
トンネル地下水位低下圏（範囲）と呼んでいます。ここで注意したいことは、図-2 から
分かるように元々の地下水面が地形の起伏に左右された複雑な地下水面形状を示しており、
トンネル湧水として流出する範囲（トンネル集水圏）と地下水位低下圏（範囲）は異なり
ます。

一般的に初期の調査段階でよく用いられる「高橋の水文学的方法」は、そもそもトンネ
ル湧水を予測するための手法として考案されたモデルで、その湧水量が出るための水収支
的な集水範囲を意味したものです⁴⁾。そのため、この手法による範囲は、あくまでもトン
ネル集水圏（範囲）であり、地下水位低下圏（範囲）とは異なります。よく見かけるケー
スで、この集水圏を影響圏^{※2}として評価している場合が多くありますが、誤解を招く可能
性が高く注意が必要です。

ちなみに、地下水位低下範囲（圏）の予測手法としては、三次元水収支解析^{※3}等が必要
となります。過去においては、集水範囲内を直接影響圏、以外を間接的影響圏などとして
評価した事例もありました。

※2：トンネル工学においては、トンネル影響範囲と言う用語が無く、トンネル集水範囲（トンネル流出範
囲）で統一されています（文献1、2、4など）。

※3：三次元水収支解析は、簡単に言えば境界条件を考慮した計算範囲内の地形・地質を再現した三次元モ
デルを基に、ダルシー則に従い透水係数、貯留係数（有効空隙率など）を設定し、必要な涵養条件を
与えることにより、現況地下水流動の再現、工事後の予測を定量的に解析する手法です。

しかしながら、岩盤が主体の山岳トンネルでは、地下水の流動経路や貯留層が地質構造に支配され
た亀裂系が主体であることが多く、単純な地質区分での常数設定では、現況を再現することが困難と
なり、答えの信憑性にも影響を与えます。

そのため、事前に地質的な観点から地下水の貯留・流動を支配する水文地質構造を反映した空隙の
分布、範囲内における現状の水収支、地下水の起源や流動経路を示す水質などが総合的に整合とれた
水文地質区分が重要となります。この水文地質区分は、概念モデルと呼ばれています。この概念モデ
ルを基に構築した三次元モデルで現況を再現できれば、かなり現実的な工事後の影響を予測すること
が可能となります。

このように、三次元水収支解析とは、当然設定する水理常数も重要ですが、詳細な水理常数分布の
把握が困難であり、上記した地下水の貯留・流動場となる水文地質構造（概念モデル）の設定がより
現実的な結果を導き出す重要な要因となります。概念モデルの構築には、地質技術者の力量が大きく
関わってきます。

（５）トンネル掘削による地下水位低下による影響圏の考え方

地下水位低下圏（範囲）内に分布する水源（水利用）がある場合は、当然水源となっている沢水、湧水の水量減少や井戸水位の低下が生じ利用量に満たない場合に限り、渇水補償が必要となることは誰でも納得できます。

例えば、井戸１などの場合、図-2 に示すように地下水位低下圏（範囲）内であれば水位低下が、トンネル工事により生じていることが理解できます。一方、井戸２のように地下水位低下圏（範囲）外でもその下流で地下水位低下が生じない場合でも地下水供給量が減少し、必要な揚水量が確保できない（エアーをかむなど）場合は、トンネル工事による渇水影響として評価する必要があります。

このようにトンネル掘削による地下水位低下影響圏は、水源における地下水の供給源やその水文地質構造とトンネルとの関係、下流域を含む周辺の地下水利用など、総合的に判断することが重要です。

また、沢水などでは、山地の地下水位低下に伴い基底流量の減少が生じます。仮に沢水を利用する水田用水を地下水位低下範囲外で取水していても、トンネル掘削による地下水位低下の影響として評価する必要があり、広義的に考えれば水田分布範囲までが影響圏と言えます。

したがって、トンネル掘削による地下水位低下影響圏を設定する場合、誤解を招く可能性が高い表現を避け、トンネル掘削による地下水位低下圏（範囲）、トンネル集水圏（範囲）など説明できる表現を用いることが望まれます。ただし、影響圏（影響範囲）を使用する場合は、十分な説明と影響圏とした根拠（前提条件など）を示すことが重要です。

【引用文献】

- 1) 高橋彦治（1974）：土木技術者のための地質学，鹿島出版会，p. 178-186, p193
- 2) 大島洋志監修（2000）：わかりやすい土木地質学，土木工学舎，p. 150-159.
- 3) フィールドの達人編集委員会（2007）：土木地質の達人になる 第18回誰も教えないトンネル水文地質調査の極意！，土木施工，Vo. 148, No. 6, p. 118-121.
- 4) 大島洋志，西森紳一（1979）：鉄道技術研究報告 トンネル工事を対象とした水文調査法の研究，日本国有鉄道鉄道技術研究所，p. 161-16

（回答者 栢木 智明）