

山裾のタケノコ畑の土壌水分に対するトンネル掘削の影響

奥西一夫(国土問題研究会)

1. はじめに 名神高速道路の天王山トンネルの改築(4車線を8車線に増設)が1995年に竣工したが、1991年からトンネル掘削の影響を受け、土壌水分が低下し、タケノコの収穫が質・量ともに低落した。日本道路公団は、トンネルは40m以上の深度にあるため、トンネル掘削による地下水位低下は土壌水分に影響を与え得ないとし、土壌水分の低下はトンネル掘削以外に原因があると結論した。しかし、被害農家はトンネル掘削以外に土壌水分低下の原因はないとして反発し、国土問題研究会に調査を依頼した。筆者ら国土問題研究会の調査メンバーは、現地地形条件を考慮すると深所の掘削による地下水位低下が土壌水分に影響する可能性があることと、道路公団によるpF測定は、水切れが起こった場合の処理が不適切なため、正しい測定値が得られていないことを明らかにした。その後道路公団では2001年度～2002年度に水文調査をやり直した。水文調査は、被害を訴えているタケノコ生産農家7戸のタケノコ林(被害林1～7)、および比較地点として自然条件が類似してトンネルの影響を受けていないタケノコ林(対照林)でおこなわれた。この調査は、極めて系統的で詳細なものであり、技術的にも先端的なものを含んでいるので、データが少し古いを紹介したい。

2. 水文調査の概要 水文調査の主要項目は次の通りである。

- 土質調査 23地点、深さ0.3、0.5、1.0、1.5mの4深度
- 土壌成分調査 12地点で実施
- 気象観測(降水量、気温、湿度、風速、日射量) 一部を除き3地点
- 土壌水分 8林分各1地点 ADR型土壌水分計で1時間ごとに測定。
- 土壌水サクション(pF)調査 2地点 毎日1回測定
- 高密度電気探査 2極法による水平・垂直比抵抗電気探査。
- 地下茎調査 5地点。竹林実態調査 8林分。
- トンネル湧水量 既設及び新設トンネルからの湧水量を毎日測定。
- 溪流流量調査 7地点 食塩水希釈法により測定。

3. 水文調査方法の評価 ADR方式による土壌水分の絶対値測定を中心とし、pFの測定法を改善した。その結果測定データに基づくpF-水分量の対応関係はかなり良い。したがって、2001年度以降の土壌水分とpFの測定値は測定地点の土壌の水分状態を正確に反映しているものと見なし得る。対照林の選定に当たっては、地形、地質の条件で相違が少ない地点が選定された。

4. 土壌水分とpFの測定に基づくトンネル影響の検討

土壌水分とpFの観測値に基づいてpF-水分関係図が得られた。各地点での各深度のpF-水分関係グラフは概ね同じ形を呈するが、竹林4の0.5m深と1.0m深ではpFが2.5以下の場合水分量がpF値によらずほぼ一定の高い値となる特徴がある。言い換えれば乾燥的な環境でも、ある限度までは土壌水分状態が飽和に近い状態に保つことができる。これは粘土分を多く含む土に特徴的なpF-水分関係である。しかし被害竹林ではpF測定値は1.5以下になることがほとんどない。すなわち、被害竹林はほとんど常に圃場容水量を割っていると言える。対照竹林では2001年9月に短期間乾燥状態になっているほか、2002年夏から年末にかけてほとんど常に乾燥状態になっている。これはこの年の夏から秋にかけて降雨量が異常に少なかったためである。被害竹林では林分によって土壌水分の時間変化に差があり、時には対照竹林よりも土壌水分が高いことがある。しかし、すべての被害竹林の0.3m深で、対照竹林にくらべて乾燥状態になっている期間が長く、トンネル増設によって土壌の乾燥が増大したと言える。

次に土壌水がどれだけ減少したかを詳しく検討するために、地表から2m深までの間の土壌に貯留されている水の量(積算水分量)を矩形積分公式により求めた。また対象地点と比較地点の違いを明瞭に検出するために両者の間の比(積算水分量比)を評価した。竹林2では無降雨が続くと積算水分量比はどんどん下がって行く傾向があり、最低値は0.5に近い。すなわち対照竹林の半分ほどしか土中に水がない状態になる。対照林で異常渇水となった2002年秋には逆に時間とともに積算水分量比が増加する傾向があり、植物による蒸散が減少することによって土壌水分量が下げ止まったことが示唆される。同じような傾向が竹林3、4、5で見られるが変化パターンは全く同じではなく、積算水分量比のレベルも少しずつ異なり、竹林4で約0.5、竹林3で約0.6、竹林5で約0.7である。竹林7も上記グループとやや似た変化傾向を示すが、積算水分量比は一貫して低く、降雨時にあまり上がらず、むしろ異常渇水期に高い値(0.9～1.0)になる。最低値は約0.5である。竹林1では竹林7と同様、積算水分量比の時間変化が小さいが、全般的にその値が大きく、特に2002年3月～12月の間は1以上であることが多い。しかしその期間以前では0.9内外であり、2003年1月には0.8まで落ち込んでいる。竹林6では2002年7月までは積算水分量比は概ね1以上であるが、9月以降は竹林2に似て、無降雨が何日か続くと急落して約0.75の最低値をマ

ークし、降雨時には最大1.5近くまで跳ね上がっている。全般的に、被害竹林ではトンネル直上を中心として、比較地点にくらべて土壌水分量が少なく、土壌水分量の変動が大きい。

トンネルは十分深い位置を通過しているため、トンネル工事とトンネルの存在が直接土壌水分に影響することは考えにくい。しかしトンネル湧水が周辺の地下水位を大きく下げたことは別資料で明らかであるから、考えられるメカニズムは、地下水位低下が表層土壌への毛管水の上昇や毛管水の保持を困難にし、土壌水分を引き下げたことである。竹林7を除くすべての被害竹林で、降雨時には0.3m深の土壌水分はかなり上昇し、飽和度が70%程度になることから、降雨によって土壌水分が涵養されていることが分かる。しかし、前項で述べたように、竹林2、3、4、5では降雨後積算水分量比が急速に減少する。これは植物による蒸散が格別増加しない限り、毛管現象による土壌水分の保持が不十分で、土壌水が鉛直下方に移動して減少したものと考えられる。すなわち、地下水位低下の影響である。次に積算水分量比の変化パターンが異なる3つの竹林について、各深度の土壌水分の時間変化を見ると、竹林7では、小降雨では0.3m深と0.5m深の土壌水分が増加しないことが他の竹林と特に異なる点である。ほとんど常に、深いほど土壌水分が高いということも注目される。これは雨水のほとんどが地表または表土中の側方流として流去し、土壌水は斜面上方から流下する地中側方流（おそらく一時的に生じる浅い地下水流）によって涵養されているものと考えられる。そうすると当然、地下水位低下の影響を最も大きく被ることになり、対象地点の中で積算水分量比が最も低いことが納得される。竹林1では全般的に土壌水分が豊富な2002年の前半と異常渇水状態の同年後半に積算水分量比が高く、むしろ平均的な降雨状態であった2001年度後半と2003年に低いことが特徴的である。この竹林は増設トンネルの真上であるが、尾根上の緩傾斜部に立地しており、地形的に土壌水分を保持しやすい環境にあると考えられる。そのため、多雨時には全層にわたって土壌水分が高くなり、異常乾燥時には深い土層中の水分が下支えをするが、やや少雨の時は深い土層の水分が比較的速く低下するために水分欠損になるものと考えられる。この、深い土層の水分不足は、やはり地下水位低下の影響によるものと考えられる。竹林6では異常乾燥時以外は水分欠損が見られず、むしろ比較地点よりも土壌水分が多い。ここでは竹林7とは逆に、浅いほど土壌水分が多い時期が多い。ただ異常乾燥期間にだけ、降雨時を除き1.5m深の水分が最も高くなっている。このことから、この竹林では土壌水分はほとんどの場合に雨水浸透によって涵養されているが、異常に渇水状態になった時にだけ地下水起源の毛管上昇水によって涵養され、その時期にのみ地下水位低下の影響を受けると言える。これは、この竹林が被害竹林の中で最も上流側に位置していることに起因するものと考えられる。

5. その他の調査結果について この地域の山地は中・古生代に属する丹波層群の砂岩、粘板岩を基岩とし、表層はこの基岩が風化した砂と粘土の混合物からなるが、山麓近くには地表部に大阪層群の海成粘土が分布し、これを客土することによって土壌水分を保持したり、その他タケノコにとって望ましい環境を作り出していると言われている。そのため、1~1.5m深では同一林分でも地点によって土の粒度に違いがある場合でも、0.3m深ではほぼ同一の粒度に調整されている。

風速と日射量については林分ごとに竹の密度を反映した違いが見られた。しかし気温については3つの地点でほとんど差がない。これは本地域が山崎地峡の山麓部に位置し、全般的に風通しがよい立地条件であるため、空気が常に入れ替わっており、林分ごとの熱収支の差異が気温に直接影響しない条件があるものと考えられる。

0.3m~1.5m深の地中温度は気温に対して1ヶ月弱~1.5ヶ月の遅れを示している。このため、植物による土壌水の蒸散のピークは秋にずれ込み、秋の前半に降水量が少ないと一般に土壌水分が低下し、秋の後半から冬にかけてはいつも降水量が少ないので、春まで土壌水分が回復しない。この時期の水分不足はタケノコの生育に大きい影響を及ぼすと言われている。

斜面を縦断する測線に沿って電気探査（多電極方式による比抵抗探査）の結果を見ると、基岩と見られる部分では比抵抗が200Ωm以下である。表層2mくらいは全般的に比抵抗が高く、所々に比抵抗が特に高い（乾いた）塊状の部分が存在する。解析深度はトンネル（標高40~50m）位置までは及んでいないが、大局的には深いほど比抵抗が低く、表層部の土壌水分が地下水に起因する毛管水の上昇によって支えられていることを示唆している。

トンネル増設後、既設トンネルからの湧水量が減少しているが、全湧水量には有意な変化が認められない。しかし地下水位は顕著に低下したことが別資料で確かめられている。1999年頃から記録が中断しているが、再開後の2002年からは既設トンネルからの湧水量が顕著に減少しており、その分だけ全湧水量も減少しているようである。その原因はつまびらかではないが、タケノコ生産量が年々減少していることから、地下水にもかなり経年的変化があったのではないかと推測される。

天王山トンネルの工事によって地下水位が大きく低下しているが、調査対象域の真ん中を流れ、最も流量減少が著しいと言われている鈴谷川について、希釈法による流量測定が2001年8月から2002年2月にかけて3回実施された。測定時の流況は平水流量よりもやや少ない程度であった。上流から下流にかけて、溪流流量はいったん増加してから急激に減少して伏没地点でゼロになる。これは明らかにトンネルの影響であり、トンネルの鈴谷川への影響は毎分20リットル程度と推測される。