

トンネル調査におけるラドン探査と各種物理探査の実施例

(株) エイトコンサルタント 木村隆行
 (株) エイトコンサルタント 島中雅裕
 ○(株) エイトコンサルタント 嶋 将志

1. はじめに

トンネルの地質調査を行う手法としては、調査ボーリング・弾性波探査などが代表的なものであるが、最近では電気探査（比抵抗法）や放射能探査などの物理探査も多く行われるようになってきている。放射能探査は、地下水・温泉・及び断層の調査手法として多くの実績があり、特にγ線放射能探査は比較的多く利用されている。

今回、広島県西城町においてトンネルの地質調査に伴い、弾性波探査・電気探査（比抵抗法）・γ線放射能探査・α線放射能探査（ラドンガス測定）などの各種物理探査を行った。

ここでは各種調査の結果とα線放射能探査結果を対比し、トンネル調査（特に断層調査）におけるα線放射能探査の有効性について検討する。

2. 探査方法

ラドンガス探査は、断層破碎帯や開口亀裂などを通じて地下深部から上昇してくるラドンガスを測定し、断層や割れ目の位置・性状等を把握しようとするものである。

ラドンガスは、自然界に存在する放射性元素の一種で不活性の気体である。ラドンガスは、α線を放射しながら崩壊するので、内壁に蛍光物質を塗った容器にラドンガスを入れると、蛍光物質にα線が当たることにより蛍光を発する（シンチレーション効果）。このことから、単位時間あたりの発光数を計測することによりラドン量が求められる。ただしこの手法によって得られたラドン濃度は、絶対値ではなく相対値であり、従って単位も計数率のCPMを使用する。

α線の測定は、(株)EDA製のRDA-200型α線シンチレーションカウンタにて行った。図-1に測定装置の概略図を示す。測定方法は、まずバックグラウンド値を把握するために大気を吸入し、1分間あたりの発光数を測定する。次に、表土中にφ3～4cm 深さ60～70cmの穴をあけて土壌ガスを採取し、1分間あたりの発光数を3回連続して測定する。

以上の操作により得られた計3分間のカウンタから各地点に対応するバックグラウンド値を差し引くことで補正する。最初の1分間の補正後の値をC1、以下順にC2、C3と表すと、半減期の相違により、ラドンのα粒子数(Δ222Rn)とトロン(Δ220Rn)は、次式にて求まる。

$$\Delta 222 R n = 0.868 C 3 + 0.317 C 2 - 0.339 C 1 \quad (式 1)$$

$$\Delta 220 R n = (C 1 + C 2 + C 3) / 3 - \Delta 222 R n \quad (式 2)$$

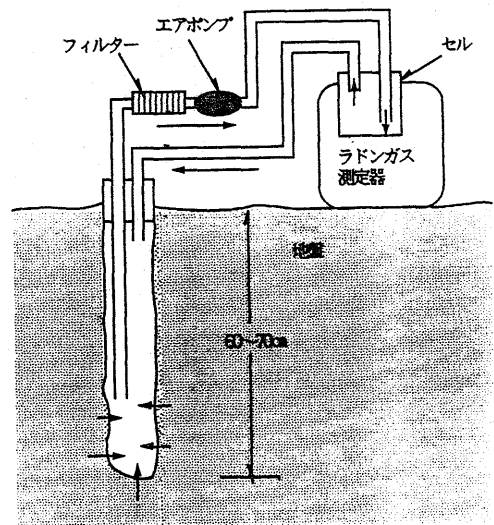


図-1. ラドンガス測定装置概念図

このようにして求めたラドン・トロン量の差により、断層や地下水の状況を推定するわけであるが、亀裂が閉口亀裂であったり粘土で充填されている場合は、ラドンガスの通り道がふさがれているために検出しにくいとされている。

3. 地質概要

トンネルの地質は、古生代の粘板岩に中生代白亜紀の花崗岩が貫入している。従ってトンネル両抗口には粘板岩が分布するが中心部には花崗岩の貫入岩体が分布している。粘板岩は花崗岩貫入の影響により局部的に破碎化・変質化が進行している。また、粘板岩中には厚さ数メートル規模の破碎帯を伴う断層が多く認められる。

花崗岩は全体的には均質で新鮮な岩盤が分布する。ただし粘板岩との接触部に近い貫入岩体縁辺部では、熱水変質やマグマ固結時の歪みを受け、やや軟質になっている。(図-2参照)

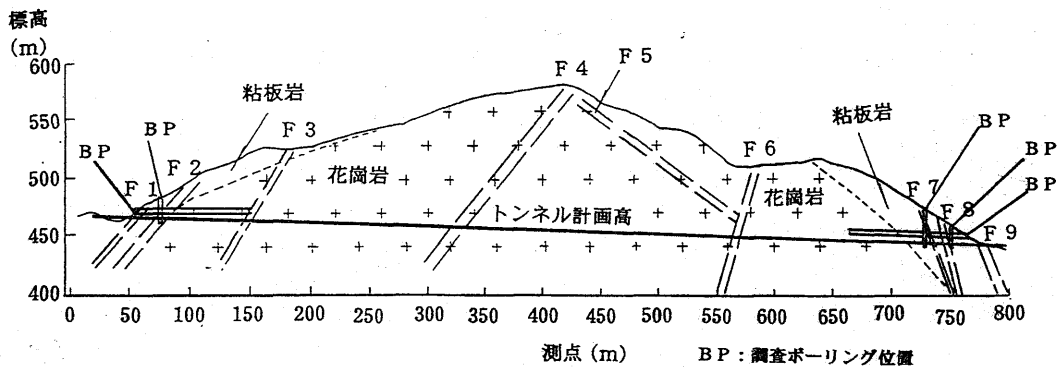


図-2. 推定地層断面図

4. 各種調査結果

トンネル区間の800mの測線において、各種物理探査を行い、調査ボーリングや地表踏査の結果と併せて地質状況を推定した。以下に各種調査結果についてまとめる。

①弾性波探査結果

弾性波探査解析断面を図-3に示す。

特徴的なことは、トンネル両抗口に当たる20~175m・700~785m付近に低速度帯が集中している点であり、これらは調査ボーリングで確認した断層の分布と一致している。

②電気探査(比抵抗法)

電気探査は10mピッチに電極を設置して行った。結果を図-4に示す。

全体に低比抵抗部の分布は粘板岩の分布地域とよく一致している。

比抵抗値1200Ω-m以上の高比抵抗部は花崗岩の分布と一致している。ただしこれらの高比抵抗部のうち、測点300~400付近で左下がり、測点530~590付近では右下がりの低比抵抗部(比抵抗値800~1600Ω-m)が認められる。こうした部分は、断層や変質帯の分布が予想される。

③γ線放射能探査

γ線放射能探査は、自然γ線を測定することにより、地下の断層系や岩体の境界などを明らかにしようとするものである。α線探査との違いは、α線の場合ラドン $\Delta 222Rn$ の濃度を直接的に測定するのに対し、

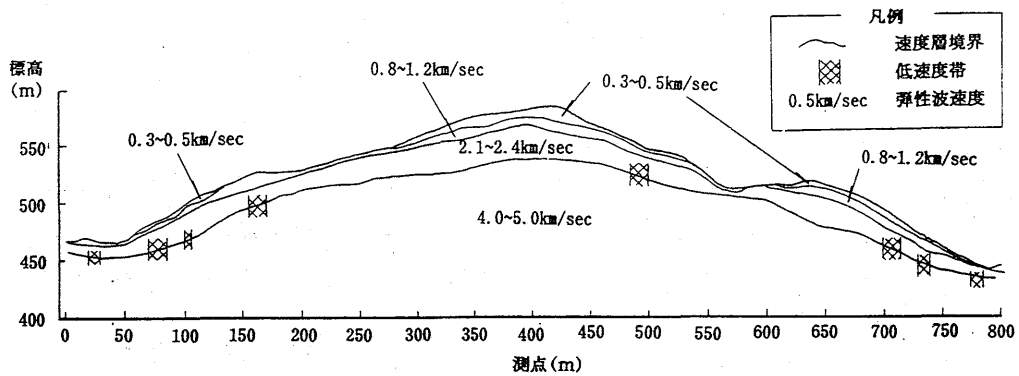


図-3. 弾性波探査解析断面図

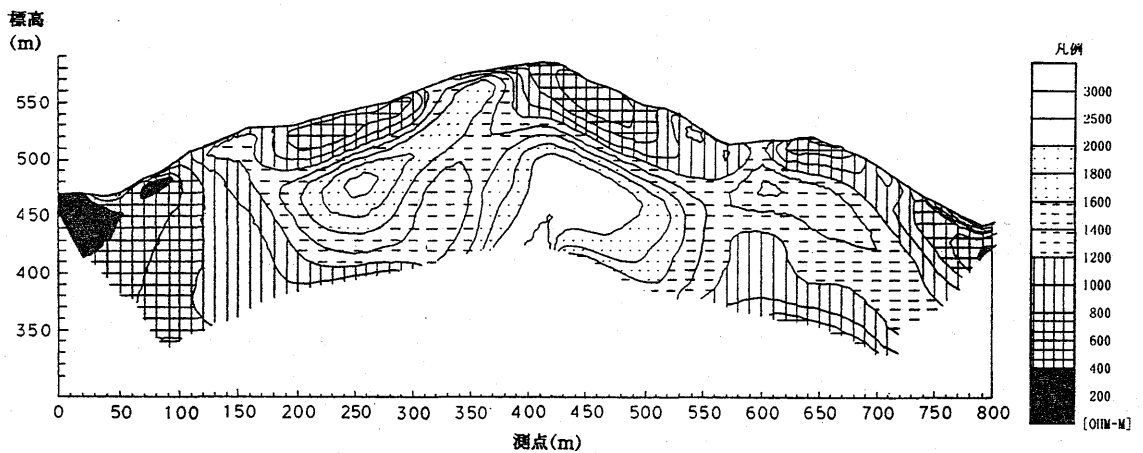


図-4. 比抵抗断面図

γ 線はラドンの娘核種であるビスマスの放出する γ 線強度から間接的にラドン濃度を測定する。また γ 線探査ではラドン以外の核種についての断層の情報が得られるとともに、 γ 線が強い透過能を有することから探査装置を車やヘリコプターに搭載して測定できるので広い地域の調査に適している。

γ 線の解析方法としてはトータル γ 線で行うことが多いが、地表付近の影響を除くために、カリウム(K)・ビスマス(Bi)・トリウム(Tl)を測定し、Bi/K・Bi/Tlで判断することが有効であるとされている。

測定は5mピッチで行った。図-5にカリウム(K)・ビスマス(Bi)・トリウム(Tl)の測定結果を示す。これによると三者ともほぼ同じ傾向を示している。また、測定値のばらつきがやや大きい。

また図-6にBi/K・Bi/Tlの測定結果を示す。これによると、カリウム(K)・ビスマス(Bi)・トリウム(Tl)の測定結果とはかなり異なった傾向を示しており、測定値のばらつきも大きい。

④ α 線放射能探査

図-7に α 線によるラドンとトロンンの測定結果を示す。特徴的な点としては、ラドンは高異常値が明瞭に現れているのに対して、トロンンはあまり明瞭ではない。また、トンネルの両抗口に当たる測点60~130m・760~800m付近で明瞭な異常部が認められ、これらは他の調査結果とも一致する。

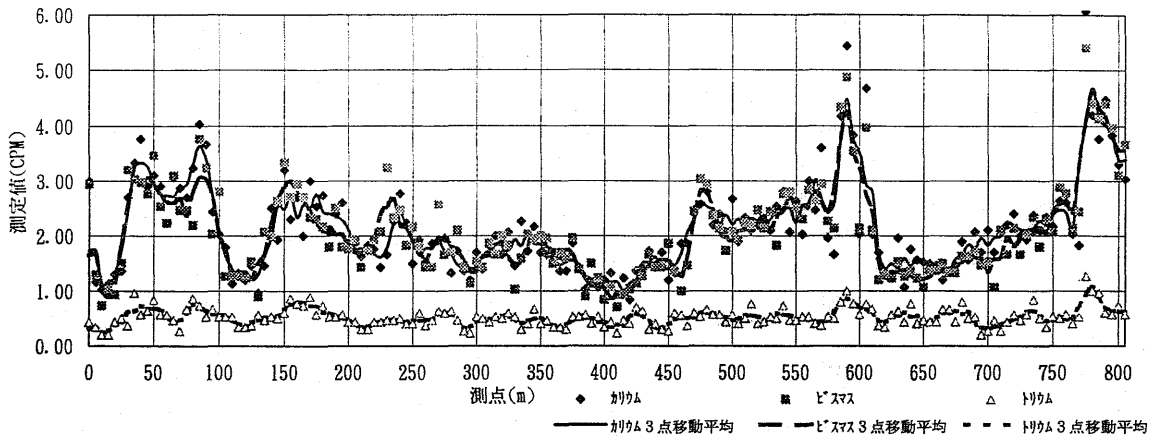


図-5. γ 線(カルウム・ビスマス・トリウム)測定結果

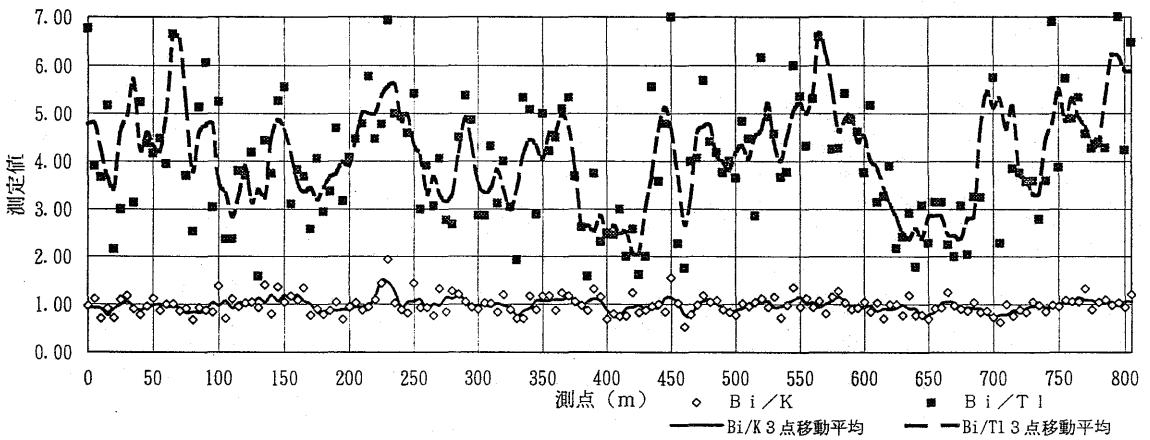


図-6. Bi/TlとBi/Kの測定結果

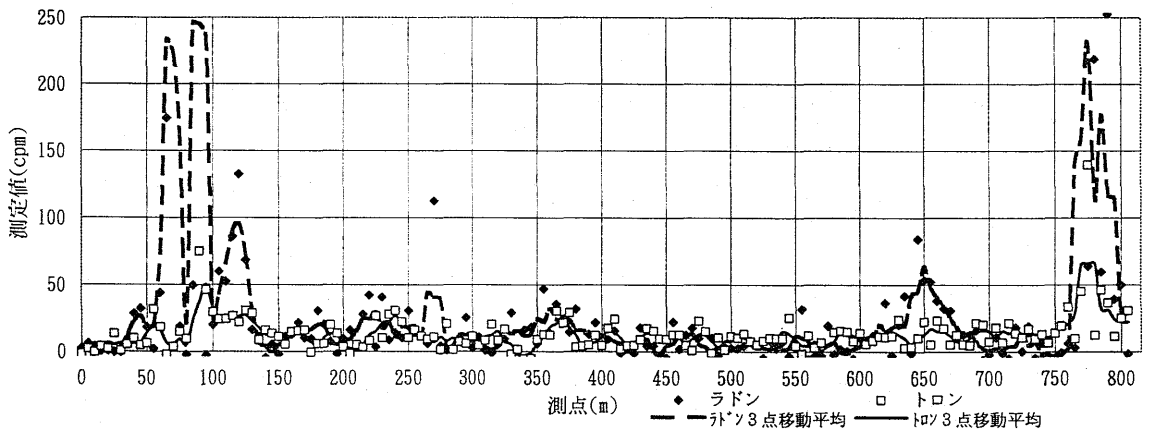


図-7. α 線(ラドン・トリウム)の測定結果

以上の調査結果と、調査ボーリング及び地表踏査の結果などから推定した地質状況が図-2である。

トンネルの両抗口部付近には粘板岩が分布する。比抵抗二次元探査で認められた低比抵抗部は主にこれらをあらわしていると考えられる。粘板岩は全体的に破碎質であり断層も多く認められることから、特に低比抵抗となっている可能性もある。また α 線や γ 線も粘板岩分布地域でやや高くなる傾向を示しているが、これらも断層の分布や亀裂の多さを反映している可能性が高い。

各調査結果から推定した断層をF1～F9とする。表-1に推定した断層と各調査結果の判定についてまとめる。またその結果から各断層の確実度を判定し数値で表す。ここでは各調査の結果から可能性の高いものを◎、可能性があるものを○、不明なものを△としてあらわし、それぞれ2点・1点・0点として集計した。地形・地表踏査結果・比抵抗二次元探査・ γ 線探査の判定は不明瞭な点もありやや客観性に欠けるが、他の調査結果と比較してもほぼ同じような傾向を示しており、良好な判定結果を示していると思われる。

表-1. 推定断層と調査結果

	調査ボーリング	地表踏査・地形	弾性波探査	比抵抗二次元探査	γ 線放射能探査	α 線放射能探査	判定
F1	◎	○	○	○	◎	◎	8
F2	◎	◎	◎	◎	◎	◎	12
F3	○	△	◎	○	○	△	5
F4	△	○	○	◎	△	△	4
F5	△	△	◎	○	○	△	4
F6	△	△	○	○	◎	△	4
F7	◎	△	◎	○	○	△	6
F8	◎	△	○	○	◎	△	6
F9	△	○	◎	○	◎	◎	8
備考	◎はトンネル法線沿い、○はトンネル法線から離れたボーリングで確認	F2は明瞭なリニアメントと一致する	○は解析された低速度帯とのずれがあるもの、及び横断方向の弾性波で認められたもの	◎は断層と思われる低比抵抗部 ○はそれ以外の可能性がある低比抵抗部	○は異常の程度が低いものやズレがあるもの	異常値は明瞭に現れている	◎は2点 ○は1点 で点数をつけた
◎可能性が高い ○可能性がある △不明							

F2についてはすべての調査で異常が認められており判定値も高い。実際、調査ボーリングの結果から、幅10m以上の断層破碎帯であることが確認されている。F1・F7・F8についても調査ボーリングにより確認できている。花崗岩中に分布するF3～F6は、調査結果にばらつきがあり判定値も低いことから、小規模な断層か、断層以外の原因（貫入岩・変質帯等）である可能性も考えられる。比抵抗値が1200～1600 Ω -mと高いことからそのことが指摘できる。

5. 調査結果と α 線放射能探査の対比

表-1で α 線放射能探査の判定結果は判定値と同じ傾向を示している。すなわち、 α 線放射能探査で明瞭に出現した異常部は、断層の確実度が高く規模も大きいことが予想される。逆に α 線放射能探査で異常値が検出されなかったものは、小規模な断層か、断層以外の原因（貫入岩・変質帯等）である可能性が高い。ただし、 α 線放射能探査では閉塞された断層（閉口亀裂・粘土充填など）は検出しにくいという特徴があり、必ずしもすべての断層を検出しているとは限らない。

また、 α 線放射能探査では測点645で高異常を示し、測点680に向けて異常値が連続しながらもだんだんと低くなる傾向を示している。花崗岩と粘板岩の地層境界が、ちょうど測点645付近にあり、しかも測点680

に向けて傾斜していることからみて、この異常が地層境界をあらわしているとも考えられる。

γ 線放射能探査と α 線放射能探査の関係を図-5と図-7で比較してみる。両者は同じ傾向を示している部分もあるが、全体としては相関性は低そうである。測点50~100付近・測点770~800付近の異常部については、両者とも同様の傾向を示しているが、それ以外の異常部についてはあまり一致しない。こうした差は、 γ 線と α 線の起源や透過性の差・放射性元素の半減期の差・測定対象や方法の違いなどが原因と考えられる。特に γ 線は断層のみならず地質の違いなどを反映しており、それらの差を見極めることがやや困難である。それに対し α 線では岩盤の開口亀裂の分布に影響するため、断層の分布を直接的にあらわしていると考えられる。

6. まとめ

α 線放射能探査では、対象が開口性の亀裂や断層であった場合、非常に明瞭にピークが現れると考えられる。それに対し γ 線放射能探査の場合、異常部のピークが α 線ほど明瞭ではなく、亀裂や断層以外の原因(貫入岩・地質境界等)でもピークが現れる。そのため異常部の原因についてもさぐる必要がある。

こうした点から、断層を調査対象とする場合には α 線放射能探査はかなり有効な手法と考えられる。ただし閉口性の亀裂や断層の場合、 α 線では検出できないことがあり、 α 線で異常が現れなくても断層が分布する可能性がある。

実際の調査においては、 α 線放射能探査と γ 線放射能探査を並行して行い、両者を比較することが望ましいが、トンネル調査の場合は断層の把握が重要な要素であるため α 線放射能探査を優先した方が効果的と考えられる。

〈引用文献〉

小池克明・大見美智人・吉永 徹：ラドン濃度特性と温泉の分布との関係に関する一考察。物理探査 Vol.46 ;P36-48(1993)

荒木春視・杉浦邦朗：自然環境におけるラドンの起源と移動。物理探査 Vol.46;P196-206(1993)

今泉眞之・小前隆美・浜田浩正：ガンマ線スペクトロメトリーによる断層調査-長野県山口村の阿寺断層を例として- 応用地質 Vol.32;P31-43(1992)