



# 真空透気試験を利用した岩盤のゆるみ現象の評価に関する研究

山田, 文孝

---

(Degree)

博士 (工学)

(Date of Degree)

1999-03-31

(Date of Publication)

2015-10-15

(Resource Type)

doctoral thesis

(Report Number)

甲1932

(JaLCD0I)

<https://doi.org/10.11501/3156333>

(URL)

<https://hdl.handle.net/20.500.14094/D1001932>

※ 当コンテンツは神戸大学の学術成果です。無断複製・不正使用等を禁じます。著作権法で認められている範囲内で、適切にご利用ください。



氏名・（本籍）	やま だ ふみ たか 山 田 文 孝	（千葉県）
博士の専攻分野の名称	博士（工学）	
学位記番号	博い第154号	
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当	
学位授与の日付	平成11年3月31日	
学位論文題目	真空透気試験を利用した岩盤のゆるみ現象の評価に関する研究	

審査委員	主査 教授 桜井 春 輔	
	教授 北村 泰 寿	教授 中山 昭 彦

### 論 文 内 容 の 要 旨

トンネル、地下発電所空洞等の岩盤構造物を構築するために岩盤を掘削すると、周辺岩盤の掘削面近傍にいわゆるゆるみが生じる。ゆるみの生じた領域内では岩盤がもともと有していた変形特性、透水特性等の諸物性が変化すると考えられるため、岩盤構造物の安定性を検討するにあたりゆるみを適切に評価することは重要な検討項目の一つである。ところが現状の岩盤工学においては、このゆるみを設計段階で完全に予測することは非常に困難である。また近年ゆるみを抑制する工法が種々研究されている。しかし、ゆるみの発生自体は避け得ない。このため実際の施工においては掘削の各段階で目的にかなった様々な調査手法を用いてゆるみを評価し、その結果を設計や施工にフィードバックする手法が用いられている。しかし既存のゆるみ調査手法は問題が少なくない。

本論文では新しいゆるみ領域評価手法として、簡便で信頼性の高い真空透気試験を提案し、その測定原理、データ解析方法、原位置への適用を述べるとともに、当試験を通じて岩盤のゆるみ現象の一端を明らかにすることを目的としている。

本論文は8章から構成され、それぞれに以下の知見を得た。

第1章は序論であり、本研究の背景や目的、論文の全体構成についてまとめた。

第2章では、土砂・岩盤を含めた地山のゆるみ現象について、既存文献の調査、ならびに現状におけるゆるみ領域調査手法や予測手法の調査から、従来如何なる現象がゆるみと捉えられているのかを考察した。その結果、ゆるみとは「何らかの原因で地山内において亀裂開口や亀裂増加、空隙増大が生じることにより引き起こされる一連の現象」と定義でき、これから引き起こされる現象が、天端上方の地山が重力場の中で落下しようとすることで支保に加わる荷重である「ゆるみ荷重」と、掘削壁面近傍の地山物性が変化した領域である「ゆるみ領域」という二つの異なった概念として取り扱われてきたことを明らかにした。また構造物の種類が異なればゆるみの発生機構や構造物に与える影響も異なることを明確にした。

これを踏まえて新しい数値計算手法を調査した結果、順解析では不連続面と重力の作用を考慮した

解析手法が、また逆解析では異方性や非弾性ひずみ、不連続面を考慮した手法が実岩盤のゆるみ現象を忠実に評価できる可能性があることがわかった。

第3章では、真空透気試験の測定原理とデータ解析法について述べた。真空透気試験はボアホールから空気を吸引することで岩盤の透気性分布を求め、これよりゆるみ領域を特定する。データ解析では、等方均質浸透場で温度一定という仮定の下、大気と接する岩盤表面からの浸透を考慮し、吸引空気流量と測定区間内圧力が定常状態に達したときのデータを解析する定常法、及びポンプを停止した後の圧力回復特性を「準定常」仮定を用いて近似する非定常法の双方に関して固有透過度の算定式を誘導した。そして、室内試験のデータを用いた検証で両方式の妥当性を確認した。また等価半径を適切に評価することで透水試験における透水係数と固有透過度を比較することが可能であることがわかった。

第4章では、いくつかの硬岩トンネル、中硬岩トンネル、岩盤斜面において真空透気試験による実岩盤のゆるみ領域評価を行い、他の調査法による調査結果と比較することにより、真空透気試験の有効性と信頼性を検証した。その結果、当試験は様々な種類の岩盤に対して十分に適用可能であり、さらに、ゆるみ領域の判定も短時間で比較的容易に行えることが確認された。また、コアの観察やボアホールTV観察等によるよりも信頼性の高いゆるみ領域評価が可能であり、弾性波トモグラフィーなど広範囲のゆるみ領域評価手法に比して、より局所特性を反映する精度の高い測定が可能であることが明らかとなった。さらに、ボアホールさえ存在すれば掘削の進行に伴うゆるみ領域変化を容易に追跡できることがわかった。

第5章では、真空透気試験によってゆるみ領域内外の岩盤の亀裂構造、あるいは空隙構造を評価する手法を検討した。さらに他の岩盤調査結果と真空透気試験結果とを比較し、ゆるみ領域、健全岩盤部双方における透気特性以外の諸物性との関係を論じた。ここで得られた知見は以下のようなものである。

真空透気試験で得られる固有透過度は、亀裂の幅や数よりもむしろ岩盤内部において亀裂が如何に連結して浸透経路のネットワークを形作っているかを表す指標であると考えられることができる。

また真空透気試験の測定データをもとに岩盤内で連結する空隙の容積を算出する手法を提案し、原位測定結果に適用したところ、固有透過度等と比較することで岩盤の状況をより詳細に評価できる可能性を示した。

さらに、ある岩盤空洞において実施された詳細なゆるみ調査を例にとり、真空透気試験結果とその他の調査結果を比較し、真空透気試験結果が力学特性を評価しうるか否かを検討した結果、空隙容積が良い指標になり、岩盤の非弾性コンプライアンスは空隙容積の1/3乗にある幅を持って比例することが判明した。

第6章では、ゆるみ領域以外の健全岩盤部の透気性に着目し、岩盤分類との関係を通じて、健全岩盤部の一般的な透気性を推定する手法を論じた。その結果、健全岩盤部の透気性は各種岩盤分類とある程度相関すること、なかでもQシステムやRMRの亀裂に関する評価点と、真空透気試験により得られた固有透過度とがより強く相関することが明らかになった。したがって岩盤等級からその岩盤の透気性がある程度推定可能であることが判明した。

第7章では、大断面トンネルのゆるみ現象に関して、真空透気試験で評価したゆるみ領域と、変位計測から求めたひずみ分布がどのような関係にあるかを論じた。その結果、トンネル工事で日常的に利用されている変位計測のみからゆるみを評価すると危険側の評価になる場合があることを示した。

第8章は、結論として本研究で得られた知見を要約し、今後の課題と展望をまとめた。

以上のように本論文は、新しいゆるみ調査手法である真空透気試験とその周辺技術を論じ、岩盤に生ずるゆるみ現象の一端を明らかにしたと考える。

## 論文審査の結果の要旨

トンネル、地下発電所空洞等の岩盤構造物を構築するために岩盤を掘削すると、周辺岩盤の掘削面近傍にいわゆるゆるみが生じる。ゆるみが生じた領域内では岩盤がもともと有していた変形特性、透水特性等の諸物性は変化すると考えられるため、岩盤構造物の安定性を検討する場合、ゆるみを適切に評価することが重要な検討項目の一つとなる。しかし現状においては、このゆるみを構造物の設計段階において完全に予測することは不可能に近い。このため実際の施工においては掘削の各段階で様々な調査手法を用いてゆるみを評価し、その結果を設計・施工にフィードバックすることが考えられる。しかし、既存のゆるみ調査手法には問題が少なくない。

そこで本論文では新しいゆるみ評価手法として、簡便で信頼性の高い真空透気試験について、その測定原理、データ解析方法、原位置への適用性について詳細に検討するとともに、当試験を通じて岩盤のゆるみ現象の一端を明らかにすることを目的としている。

本論文は8章から構成されている。

第1章は序論であり、本研究の背景や目的、論文の全体構成についてまとめた。

第2章では、土砂・岩盤を含めた地山のゆるみ現象について、既存文献の調査ならびに現状におけるゆるみ領域調査手法や予測手法の調査から、まずゆるみの定義を明らかにした。さらに、ゆるみに関する数値計算手法を調査した結果、不連続面を的確にモデル化することにより、岩盤のゆるみ現象を忠実に評価できる可能性のあることがわかった。

第3章では、真空透気試験の原理とそのデータ解析法について述べた。真空透気試験はボアホールから空気を吸引することにより岩盤の透気性を求め、これよりゆるみ領域を特定するものである。データ解析では、等方均質浸透場で温度一定の仮定の下で、大気と接する岩盤表面からの浸透を考慮し、吸引空気流量と測定区間内圧力が定常状態に達したときのデータを解析する定常法、及びポンプを停止した後の圧力回復特性を「準定常」の仮定を用いて近似する非定常法の、双方に関して固有透過度を求める算定式を誘導した。そして、室内試験のデータを用いた検証で両方式の妥当性を確認した。また等価半径を適切に評価することで透水試験における透水係数と固有透過度を関係づけることが可能であることを示した。

第4章では、いくつかの硬岩トンネル、中硬岩トンネル、岩盤斜面において真空透気試験を用いて実岩盤のゆるみ領域の評価を行い、他の調査法による調査結果等と比較することにより、真空透気試験の有効性と信頼性を検証した。その結果、当試験は様々な種類の岩盤に対して十分に適応可能であり、ゆるみ領域の判定も短時間で比較的容易に行えることが確認された。

第5章では、真空透気試験によって岩盤の亀裂構造、あるいは空隙構造を評価する手法を検討した。その結果、真空透気試験で得られる固有透過度は、亀裂の幅や数よりもむしろ岩盤内部において亀裂が如何に連結して浸透経路のネットワークを形作っているかを表す指標であることが明らかとなった。

また真空透気試験の測定データをもとに岩盤内の連結する空隙の容積を算出する手法を提案し、原位置測定結果に適用したところ、固有透過度等と比較することにより岩盤内の空隙状況をより詳細に評価できる可能性を示した。

さらに、ある岩盤空洞において実施された詳細なゆるみ調査を例にとり、真空透気試験結果とその他の調査結果を比較したところ、真空透気試験により岩盤の力学特性を評価しうる可能性のあることを示した。

第6章では、ゆるみ領域以外の健全岩盤部の透気性に着目し、岩盤分類との関係を論じた。健全岩盤部の透気性は各種岩盤分類とある程度の相関を示し、特にQ値やRMRの亀裂に関する評価点を代替できる可能性を示した。

第7章では、実際に掘削された大断面トンネルのゆるみ現象に関して、真空透気試験で評価したゆるみ現象と、掘削中に実施された変位計測から求めたひずみ分布との関係を論ずるとともに、両者の結果から大断面トンネルのゆるみ現象に関して若干の考察を加えた。

第8章は、結論として本研究で得られた知見を要約し、今後の課題と展望を示した。

以上のように本論文は、岩盤の新しいゆるみ調査手法である真空透気試験について、その基礎理論から現場への適用性に至るまで、その周辺技術をも含めて詳細に検討し、既存のゆるみ調査法では得られなかった多くの知見を得たものとして価値ある集積であると認める。よって、学位申請者、山田文孝は博士（工学）の学位を得る資格があると認める。