

気象変化による岩石の割れ目進展を再現する



久河 竜也
Tatsuya Hisakawa
防災技術研究部
地質研究室
研究員



浦越 拓野
Takuya Urakoshi
防災技術研究部
地質研究室長



河村 祥一
Shoichi Kawamura
防災技術研究部
地質研究室
主任研究員

1. はじめに

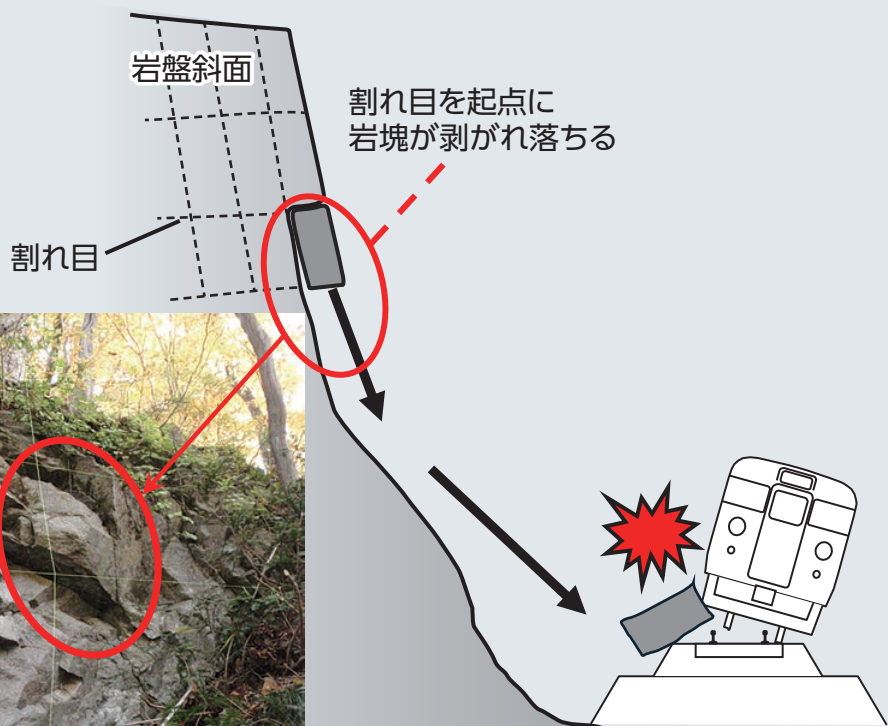
落石は鉄道の安全・安定輸送を脅かす災害形態の1つで、豪雨や地震などの外力が作用した時ではなくても、経年による岩石中の割れ目の進展によって発生することがあります(図1)。このような災害を防止するため、落石が発生しやすいと判断される斜面ごとに、落石発生源となる岩の除去や落石止柵の設置などの対策がなされています。しかしながら、鉄道沿線には数

多くの斜面が存在することから、こうした対策を行う優先順位を検討することが必要です。

落石対策を行う斜面の優先順位付けは、落石の発生しやすさに着目して行うことが望まれます。しかしながら、落石の発生しやすさを判断することは難しいため、専門家の過去の経験に基づくことが多いです。さらに、岩石中に割れ目が存在する斜面は数多くあるため、一般の技術者でも判断できるように、落石の発生しやす

さを定量的に評価する方法を確立することが求められています。また、落石は大雨や地震などの明確な要因によらず発生することがあり、温度や湿度などの日常的な気象変化によって発生することも考えられます。そこで、落石の発生しやすさの評価につなげることを目的に、日常的な気象変化による岩石の割れ目進展を再現する手法の開発に向けて研究を行いました。

図1 割れ目の進展により発生する落石と鉄道の関係



2. 気象変化による岩石の割れ目進展モデル

気温や湿度、降水等の気象変化によって、岩石は変形します(図2)。この岩石の変形に伴って、岩石の割れ目に引っ張られる力が作用することがあります。このような力が繰り返し作用することによって、割れ目が進展していくと考えられます。

このモデルに基づいて、温度や湿度の変化に伴う岩石の変形や、その繰り返しによる割れ目の進展を再現する実験を行いました。実施した実験は、①割れ目のない岩石に対して、気象変化を模して温度や湿度を変化させたときの、岩石そのものの変形を再現する実験と、②割れ目のある岩石に対して降水/乾燥に対応した変化を与えたときの、岩石の変形による割れ目の進展を再現する実験の2つです。

3. 割れ目のない岩石に対して湿度や気温を変化させる実験

割れ目のない岩石に対して、温度や湿度の変化に伴う変形を把握する実験を実施しました。岩石試料(図3)を温度や湿度を制御できる試験機に入れ(図4)、気温を35℃で一定として湿度を変化させる実験と、湿度を60%で一定として気温を変化させる実験を行い、岩石のひずみを測定しました。実験では、変化の特性を分かりやすくする

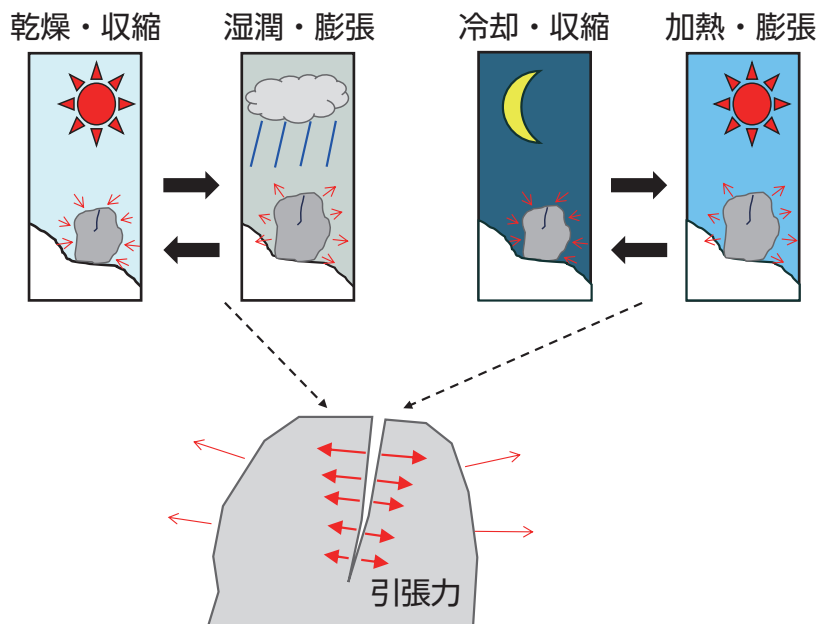


図2 気象条件の変化に伴う岩石の変形と割れ目への引張力の作用



図3 ひずみ測定用のセンサーを貼り付けた岩石試料

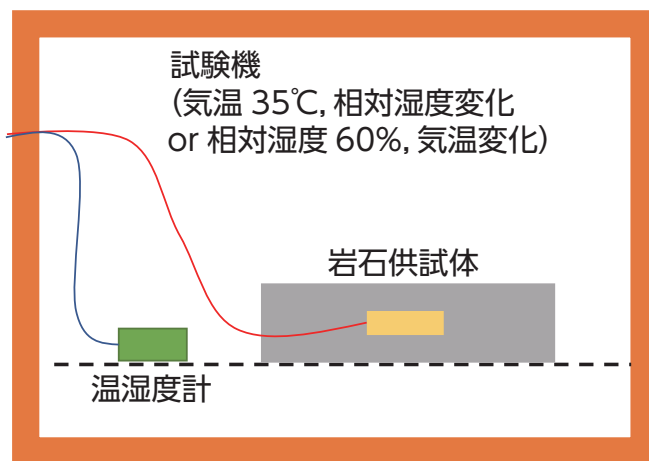
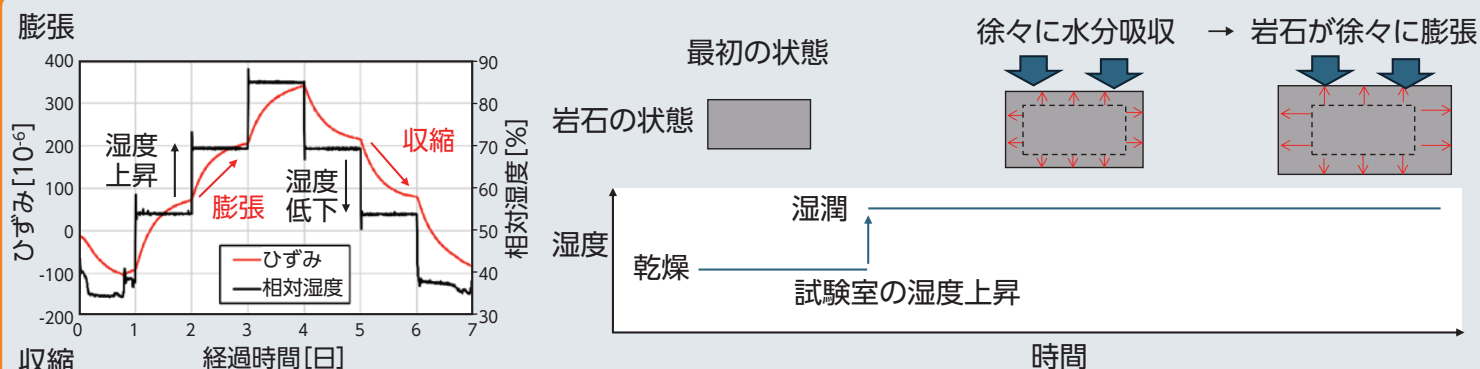


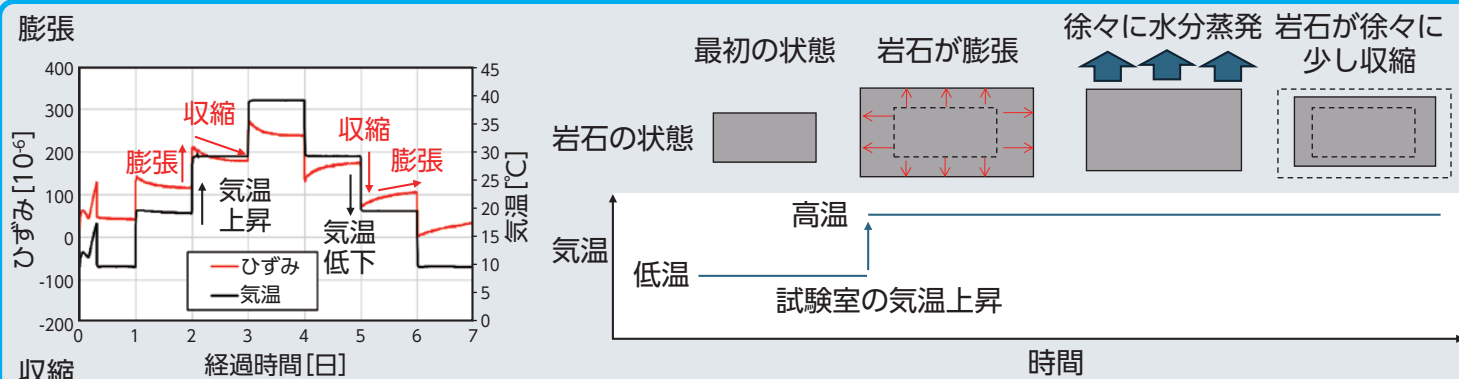
図4 気温・湿度変化時の変形測定試験の様子

ひずみ

変形量をもととの長さで割った指標で、変形の大きさに対応します。ここでは、値が大きいときに膨張、小さいときに収縮するものとします。



■ 気温一定で湿度を変化させた実験



■ 湿度一定で気温を変化させた実験

図5 割れ目を含まない岩石に対する気温・湿度変化時の変形測定実験結果

ため、温度や湿度を急に上げるように工夫しました。

その結果、気温一定で湿度を変化させた実験では、湿度が上がる際に岩石が膨張する傾向を示し、その変形は1日程度の時間をかけて発生しました(図5(A))。また、湿度一定で気温を変化させた実験では、気温が上がった直後に膨張し、その後、1日程度かけて少し収縮する傾向を示しました(図5(C))。これらの結果は、湿度が上がった際に岩石が時間をかけて吸水して徐々に膨張すること(図5(B))、気温が上がった際に岩石の温度が上がって即座に膨張し、その後徐々に岩石中の水分が蒸発して収縮するこ

と(図5(D))によると説明できます。

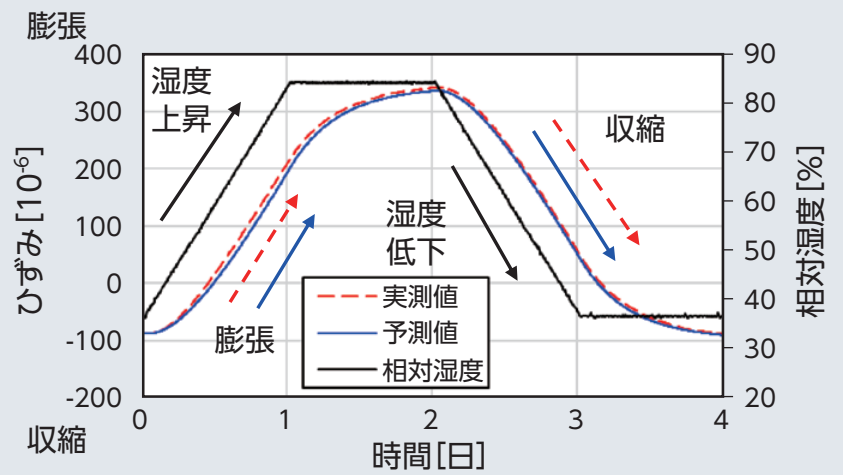
これらの結果を踏まえて、温度や湿度に対する岩石の変形を再現するモデル式を構築しました。このモデル式を用いて、より実現象に近い、温度や湿度を連続的に変化させた場合を対象とした解析を行うと、解析による予測値は実測値とほぼ一致し、気象変化による温度や湿度の変化に対する割れ目のない岩石の変形をよく再現できました(図6)。

4. 割れ目を含む岩石に対して 降水/乾燥に対応した変化を与える実験

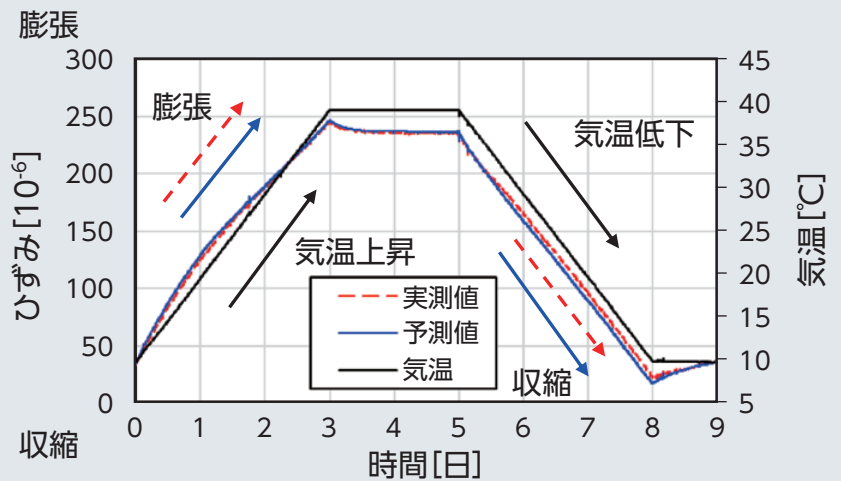
気象変化によって発生する力の繰り返しと岩

石の割れ目の進展の関係を把握するため、割れ目を含む岩石に対して、降水と乾燥に対応した変化を与える実験を行いました。実験では、降水と乾燥を、岩石の浸水と乾燥で再現しました。また岩石の割れ目を、前章で用いた岩石に幅0.5mmの切欠きを設けることで再現しました(図7)。さらに、割れ目が岩石自体の重さにより引っ張られている岩盤を再現するため、岩石に荷重をかけることで割れ目に引張力を作用させるように工夫しました(図8(A))。その状態で、試料を試験器具ごと40℃に調整した試験機内の水槽の中に入れ、水を出し入れすることで、乾燥と浸水の繰り返しを行いました(図8(B))。実験中には、切欠きをまたいで開口変位計を取り付け、割れ目の幅の変化を測定しました。

実験の結果、繰り返し試験中に試料が2つに折れる場合があります。また、2つに折れなかった試料でも、顕微鏡で観察したところ、割れ目が進展していることが確認できました(図9)。割れ目の幅の測定結果から、全体的な傾向としては、乾燥と浸水を繰り返す過程で少しずつ割れ目が開くことが確認されました。この傾向は、割れ目が徐々に進展したことに対応すると考えられます。乾燥/浸水を変化させる1回のサイクルに着目すると、浸水時に割れ目が開き、乾燥開始直後にさらに割れ目が開き、その後乾燥が進むにつれて割れ目が閉じる傾向でした。こ



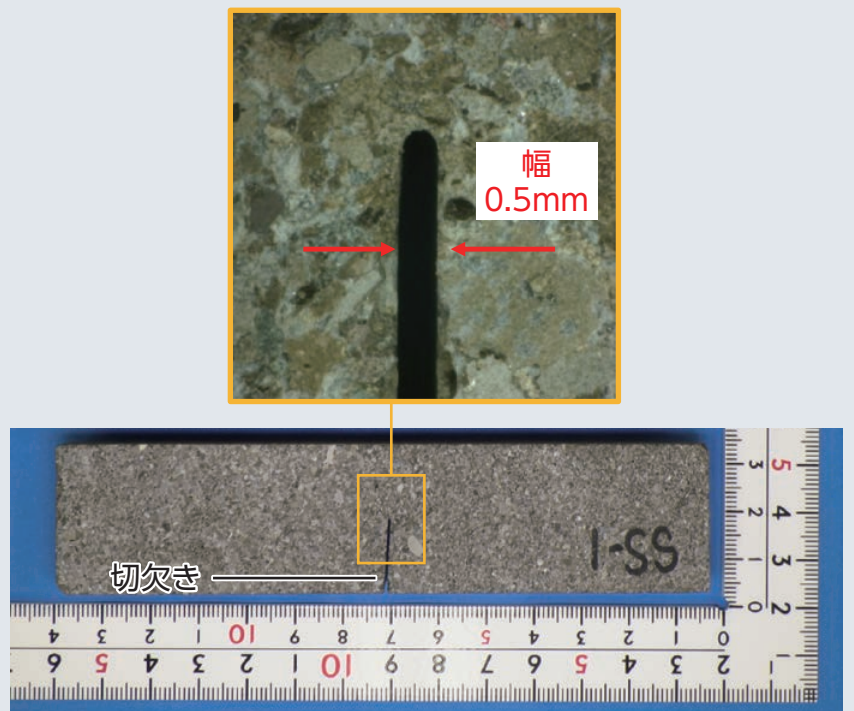
■気温一定で湿度を変化させた実験



■湿度一定で気温を変化させた実験

図6 割れ目を含まない岩石に対して気温や湿度を連続的に変化させた場合の解析による予測値と実験値との比較

図7 切欠きを設けた試料



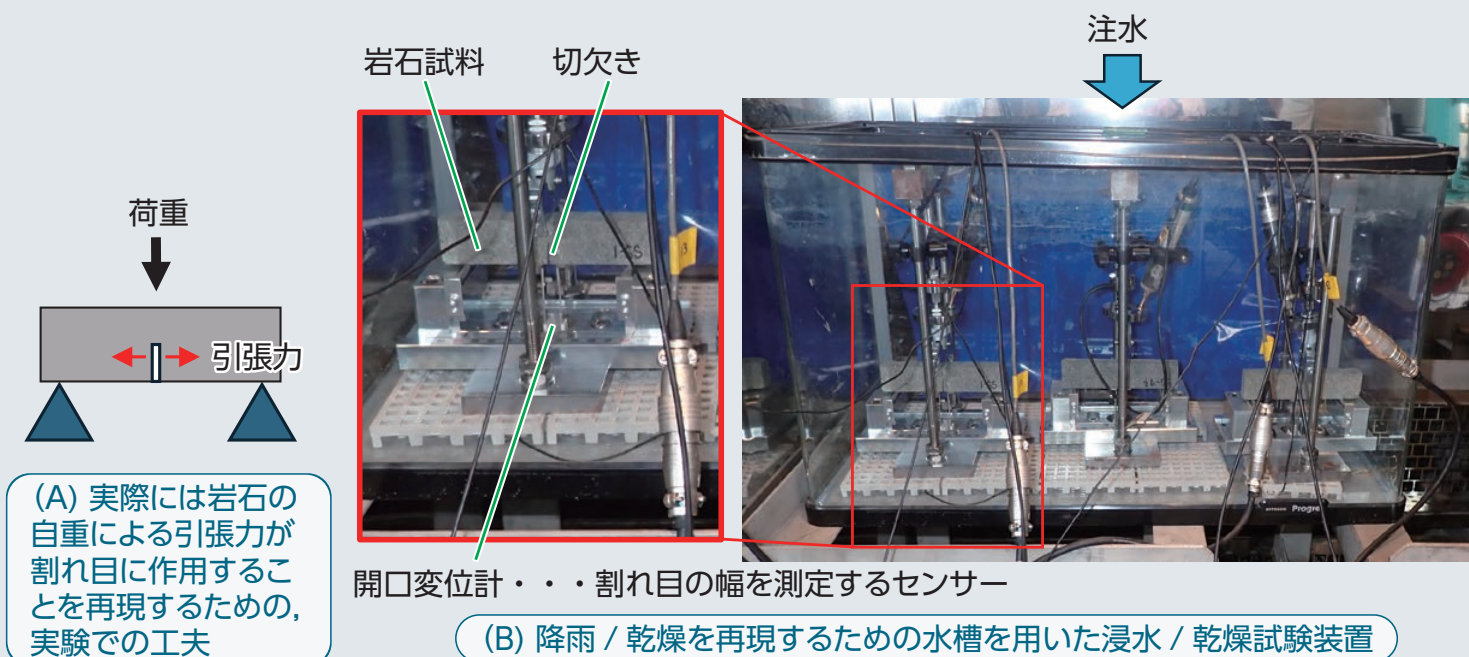


図8 割れ目を含む岩石に対して降水/乾燥に対応した変化を与える実験

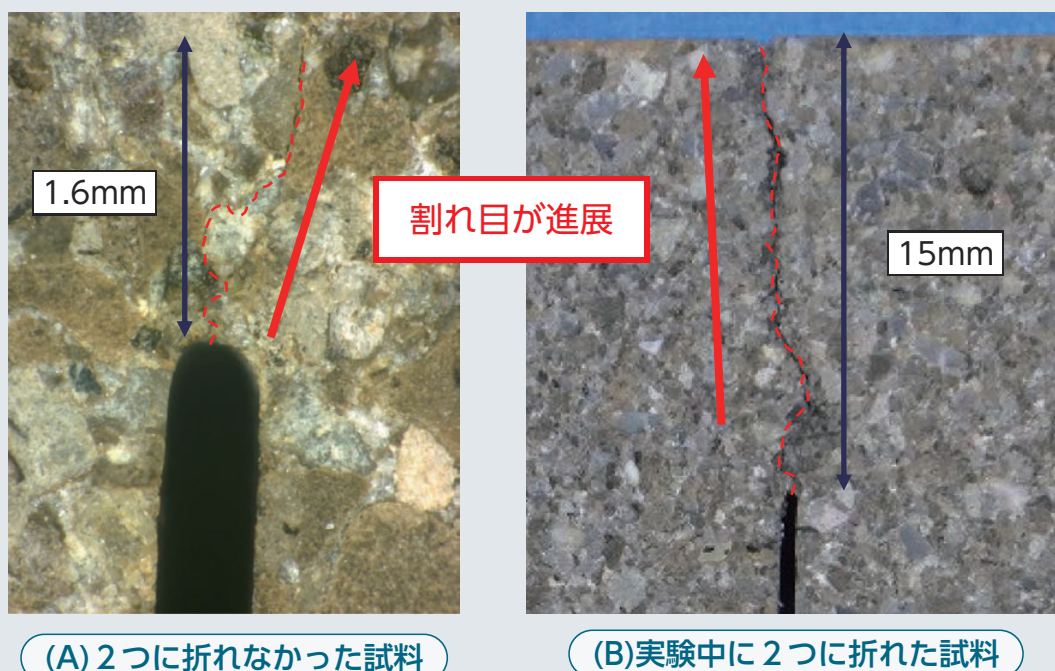
のように、浸水と乾燥による割れ目の状態の変化を確認できました。(図10)。

5. 気象変化による割れ目の進展を再現する解析モデル

4章の実験結果を、実験条件を踏まえて分析することで、岩石の割れ目進展速度を予測する

式を構築し、実測値とよく対応することを確認しました(図11)。3章で得られた割れ目のない岩石の湿度変化に対する変形の解析モデルを、4章の実験結果に適用すると、割れ目を含む岩石の変形量を予測できます。その変形量から、割れ目先端に作用する繰り返しの力の大きさを解析すれば、図11の予測式とあわせて、割れ

図9 試験後の試料の様子



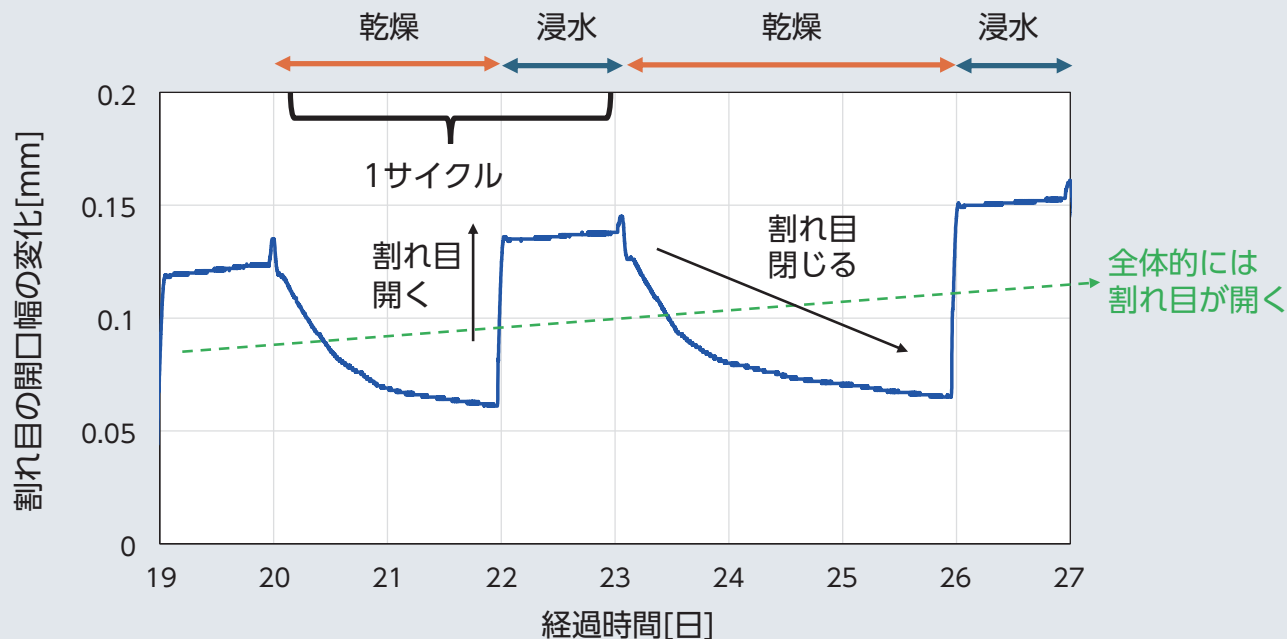


図10 繰り返し試験中の割れ目の開閉

目の進展速度を予測するモデルを構築できます。

を用いると、気象変化を入力として、岩石中の割れ目の進展しやすさを評価できます。

6. おわりに

日常的な気象変化に伴う岩石中の割れ目の進展現象の再現を試みる2種の室内試験を行い、その結果発生した岩石の状態変化を再現する解析モデルを構築しました。得られた解析モデル

今後は、実際の岩盤斜面等で計測データを蓄積することで、より高い確度で割れ目の進展を再現する手法の確立を目指します。RRR

図11 割れ目の長さで割れ目の進展速度の関係

