

鉄道に対する落石に備えて 岩石の風化を予測する



浦越 拓野
Takuya Urakoshi
防災技術研究部
地質研究室
主任研究員



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



嶋本 敬介
Keisuke Shimamoto
構造物技術研究部
トンネル研究室
主任研究員



川越 健
Takeshi Kawagoe
前 防災技術研究部
地質研究室長

はじめに

線路沿線の斜面から岩塊が落下する落石災害への備えは、鉄道の安全確保に欠かすことができません。そのため、斜面にある岩塊の状態などの点検や、落石止柵などの落石対策が複合的に実施され、鉄道の安全が守られています。こ

れらの点検や対策などをより効率的に実施するためには、線路沿線に分布する数多くの斜面から、落石発生の可能性が高い斜面（以下、要注意斜面とよびます）を抽出することが望まれます。

落石の発生のタイプは大きく2つに区分され

図1 落石発生のタイプ



ます(図1)。1つは、岩塊を含んだ土砂からなる斜面において、岩塊の周囲の土砂が降雨などにより徐々に削られて、岩塊が転がり落ちるタイプ(転落型落石)です。もう1つは、岩盤が地表に露出している斜面において、岩塊が剥がれ落ちるタイプ(剥落型落石)です。これまでに、それぞれのタイプの特徴をふまえ、斜面の傾斜、岩盤中の割れ目の状況などに着目した調査結果に基づいて、要注意斜面を抽出する手法が提案

されてきています。

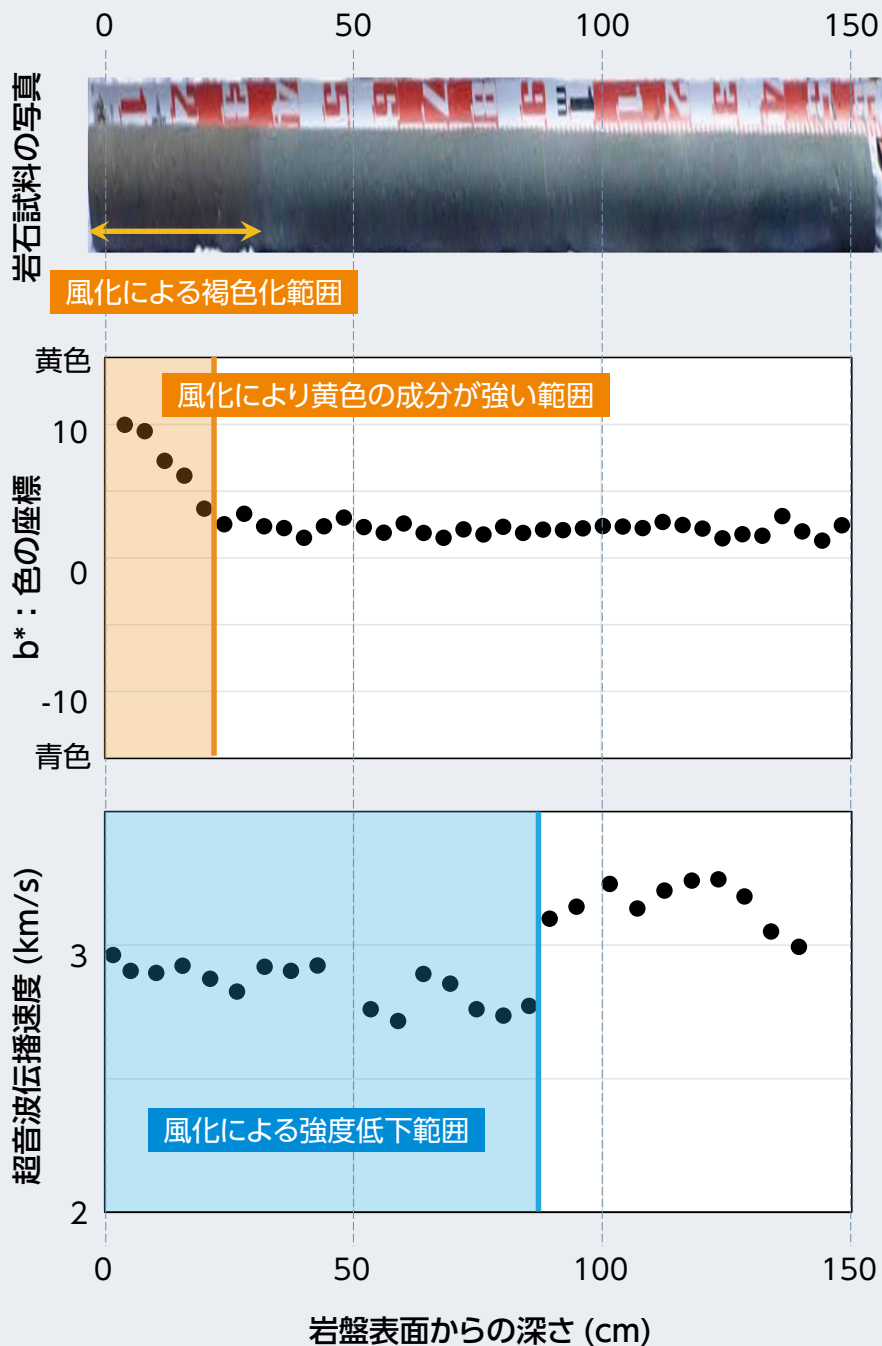
ここでは、2つのタイプのうち、岩盤斜面からの剥落型落石を対象とした取り組みを紹介します。剥落型落石の発生源となる岩盤は、岩石と割れ目から構成されています。岩石や割れ目の風化が進み、強度が低下することで、落石が発生すると考えられており、岩盤斜面が大きく崩壊して多数の岩塊が落下することもあります。そのため、岩石や割れ目の風化が、今後どのように進行し、強度がどのように低下するかを予測できるようになれば、剥落型落石の要注意斜面のよりよい抽出につながると考えられます。そこでここでは、岩盤を構成する岩石と割れ目のうち岩石部分に着目し、風化の進行による強度低下の予測手法を紹介します。



図2 約100年前に来待石の切り出しがなされた岩盤



岩盤表面からの深さ (cm)



※岩石試料の写真は、グラフのデータと比較するために、横方向を圧縮して表示しています。
 ※ b^* は、色を (L, a^* , b^*) 座標という方式で表示した場合の b^* の値を示しています。 b^* が小さいと青色が、大きいと黄色が強くなります。

図3 採取した岩石試料の写真ならびに色および超音波伝播速度の測定結果

岩石の風化

岩石の風化とは、岩石が降雨や気温変化などの影響を受けて性状が変化し、細片化していくことです。風化のタイプには大きく2種類があります。1つ目は、岩石が雨風にさらされることや、岩石が温度変化の繰り返しを受けることなどにより、徐々に岩石の強度が低下していくことで、物理的風化とよばれます。2つ目は、岩石中の成分と地下水や空気中の成分とが反応し、岩石の化学的な性状が変化して岩石が劣化していくことで、化学的風化とよばれます。一例として、酸性雨により大理石の彫刻が劣化することがあげられます。

岩石は、長い時間をかけて風化していきます。図2は、島根県松江市にある岩石の採石場の写真です。この採石場で採取される岩石は来待石きまちいしとよばれています。来待石は、石材として古くから利用されており、経済産業大臣指定伝統的工芸品である出雲石灯ろうの材料としても用いられています。写真の範囲では、おおむね100年前に岩盤から来待石が切り出されました。つまり、写真に示される岩盤は、風雨に直接さらされるようになって約100年経過した状態です。この100年間で岩盤の表面付近はどの程度風化したのでしょうか。

100年間での風化の状況を調べるために、岩盤表面から岩盤内部に向かって水平方向に岩石試料を採取しました(図3)。得られた試

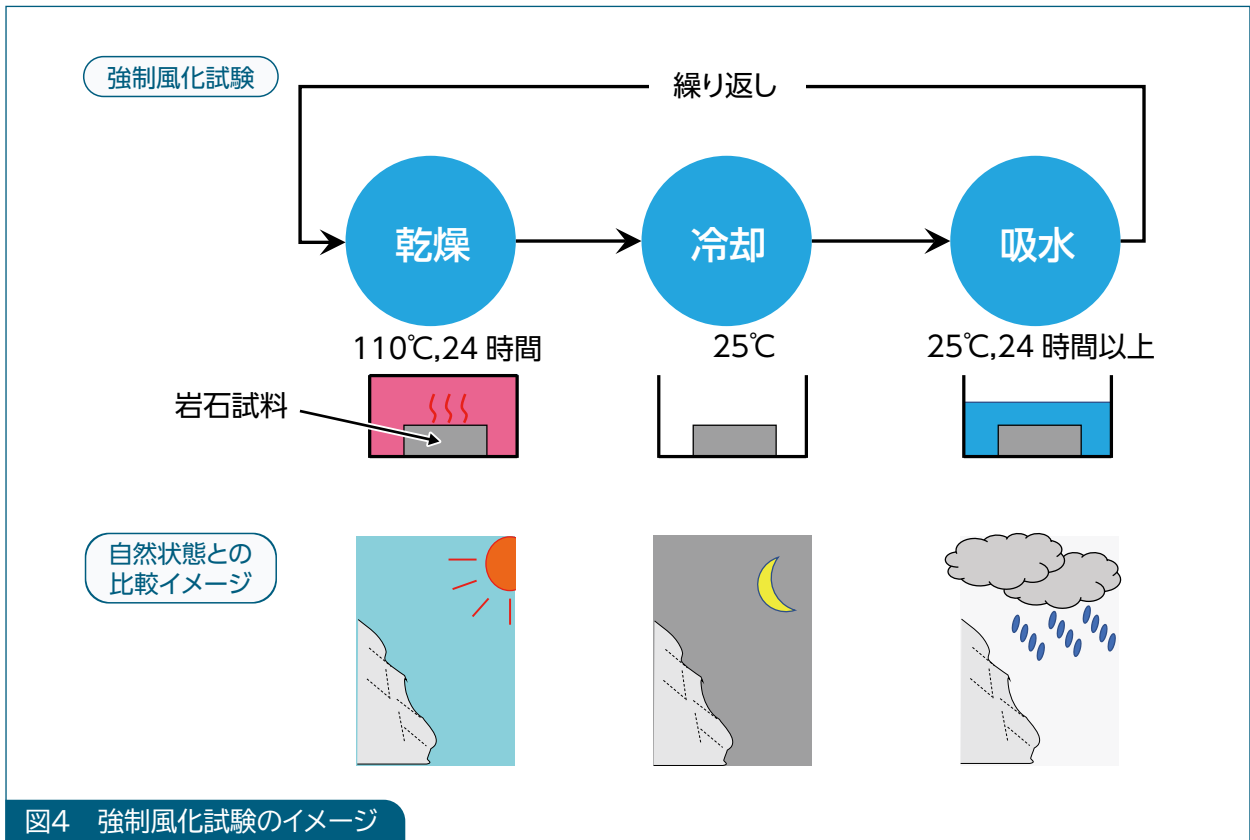


図4 強制風化試験のイメージ

料の色は、表面から約30cmまでは褐色で、それより奥では灰色でした。色を数値化できる色差計という装置で測定すると、表面から20cmまでは黄色の成分が強いことがわかりました。これは、岩石に含まれる鉄分が空気中の酸素と反応して褐色になったためと考えられ、100年間で表面から20～30cm程度まで空気中の酸素によって化学的風化が進行したと推定されました。

また、図3には超音波伝播速度^ばの測定結果も示しています。表面から80cmまでは超音波伝播速度が小さく、それよりも奥では大きいことがわかります。表面から80cmの範囲で超音波伝播速度が小さい理由として、例えば気温の

超音波伝播速度

物体中を超音波が伝わる速度です。物体の硬さや密度と関係があり、密度が同じであれば固い(変形しにくい)物質ほど、超音波伝播速度が大きいことが知られています。また、岩石の強さ(破壊のしにくさ)と、相関があることが報告されています。

変化や乾燥・湿潤の繰り返しの繰り返しにより、物理的風化が進行したためと考えられます。この調査結果から、岩盤表面付近の超音波伝播速度は、風化を受けていない状態の3.2km/sから、100年間の風化により2.9km/sへ低下したと考えられます。

風化現象の再現試験

岩石の風化現象を室内試験で再現するために、例えば温度変化や酸性雨のような自然状態での風化の原因を岩石に与えることで風化を促進させる方法があり、強制風化試験と称しています。ここでは、温度と水分量の変化を岩石に繰り返し与えた試験例を紹介します。

この試験では、まず岩石を110°Cで加熱して乾燥させ、次に25°Cまで冷却し、その後25°Cの水に浸すという3つの処理を1サイクルとして、このサイクルを風化していない来待石に繰り返し与えました(図4)。1サイクルにおける加熱の過程は24時間、水に浸す過程は48時間

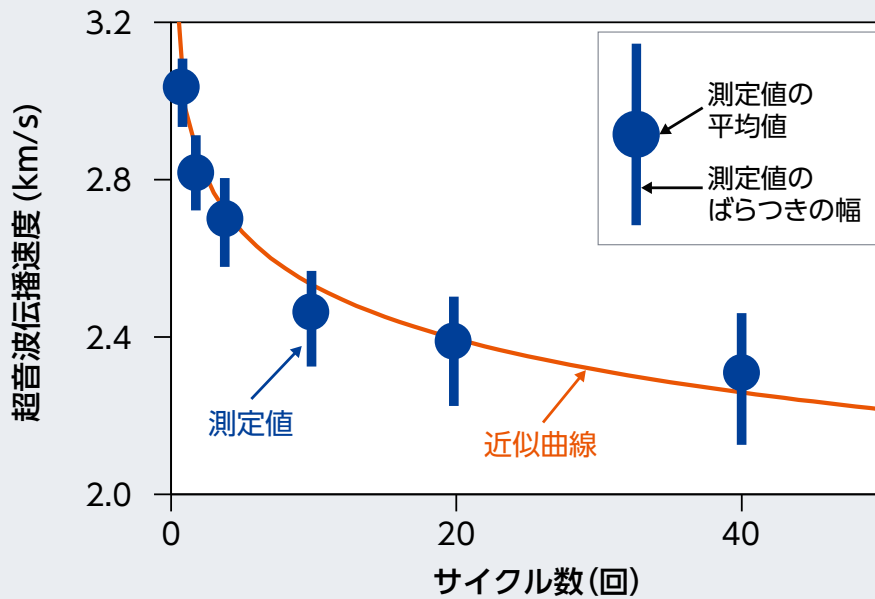


図5 強制風化試験で得られたサイクル数と超音波伝播速度の関係

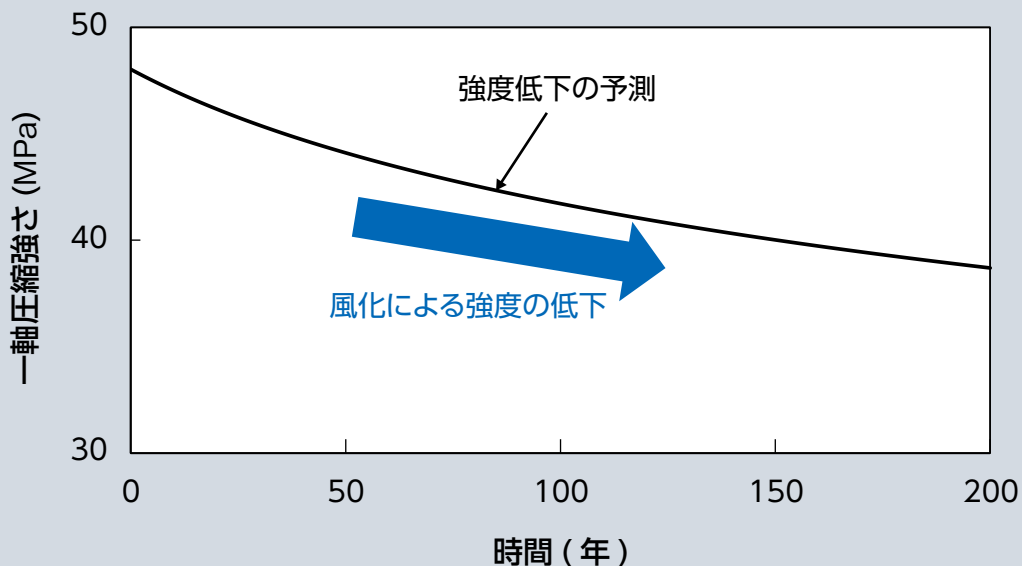


図6 来待石の風化による強度低下の予測

としました。この試験での110℃と25℃の温度変化の繰り返しは、自然での昼夜などでの気温変化の繰り返しをイメージしています。また、乾燥と水浸の繰り返しは、自然において晴れの日には岩石が乾燥し、雨の日には岩石中の水分が増加する変化の繰り返しをイメージしています。いずれも、実際の自然よりも極端な変化を与えることで、自然の状態よりも短い時間で風化さ

せるように工夫しています。

最大40サイクルの強制風化試験を実施した結果、サイクル数の増加にともなって、岩石の超音波伝播速度が低下する傾向があることがわかりました(図5)。強制風化試験の初期に大きく超音波伝播速度が低下し、サイクルを繰り返すと徐々に超音波伝播速度の低下幅が小さくなる傾向がありました。

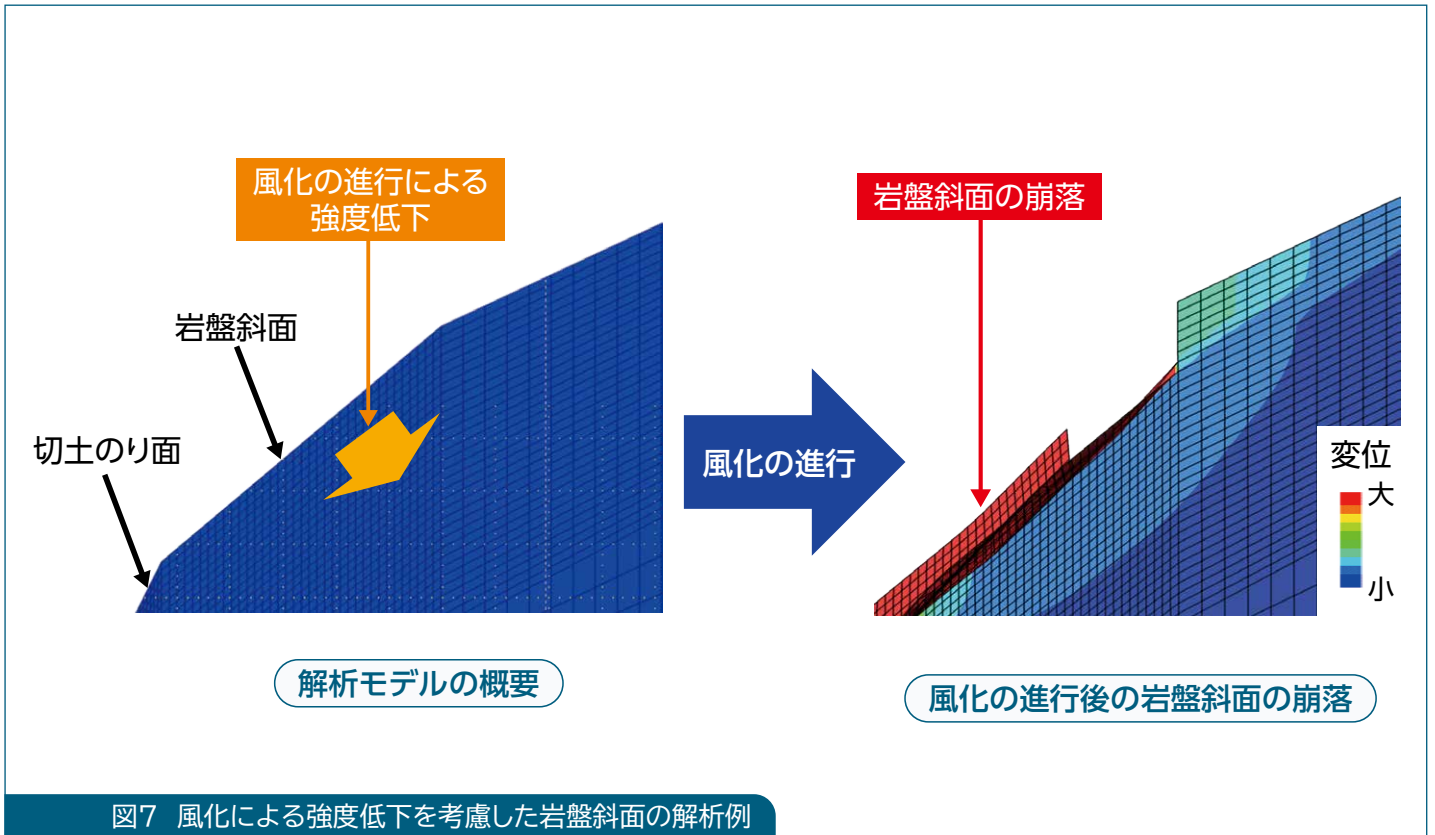


図7 風化による強度低下を考慮した岩盤斜面の解析例

岩石の風化による強度低下の 予測手法と今後の課題

自然状態での100年間の風化で超音波伝播速度の低下量 (図3) と、強制風化試験での超音波伝播速度の低下量 (図5) とを比較することで、強制風化試験の1サイクルと自然状態で風化を受けた年数との換算をおこなうことができます。この換算を行い、また、超音波伝播速度と岩石の一軸圧縮強さ¹⁾の関係を用いると、図6のように、風化経過年数に対する一軸圧縮強さの関係を求めることができます。図6から、来待石が風化した際の強度低下を予測することができます。

このように得られた強度低下の予測を、斜面の安定解析に組み込んだ試計算の例を図7に示します。図7では、岩盤斜面の一部を掘削して

1) 岩石の一軸圧縮強さ

岩石の強さ(破壊のしにくさ)の指標の一つです。同じ種類の岩石では、岩石の一軸圧縮強さは、風化を受けていない状態では大きく、風化を受けるほど低下する傾向があります。

できた面(切土のり面とよばれます)が、新たに風雨にさらされるようになり、風化により経年的に劣化し、一定の時間が経過した後に崩落に至る可能性が示されています。将来、このような風化により強度が低下して不安定となった可能性がある斜面を要注意斜面として抽出することができるになれば、より効率的な落石対策につながると考えられます。

おわりに

鉄道の落石対策をより効率的に行うため、岩盤の風化を考慮した要注意斜面の抽出に取り組んでいます。岩盤は岩石と割れ目からなりますが、ここでは、岩石の風化による強度低下の予測手法を紹介しました。今後、岩盤中の割れ目に関する検討を進め、岩盤全体の風化のしやすさや強度低下を考慮した要注意斜面の抽出につなげていきます。RRR