

(6) 地下空間の光と色の環境に関する基礎研究

Fundamental studies on the lightning and colour conditions in underground space

渡辺 邦夫^{*}、内山 浩史^{*}、志田原 史子^{*}、小島 雅樹^{**}、神谷 宏^{**}

Kunio WATANABE, Hiroshi UCHIYAMA, Fumiko SHIDAHARA, Masaki KOJIMA
and Hiroshi KAMIYA

The proper use of under ground space has become a important problem in the field of rock engineering. The lightning must be carefully designed for providing a comfortable environment for peoples who are visiting and working in the underground space. The colour and the roughness of the rock wall must be the essential factors that are carefully considered in the design of the lightning. The present authors have studied the lightning conditions in the underground concert hall in the Kamaishi mine, that is now under construction. The characteristic nature of the fracture system in the hall is described in the paper. A new equipment developed for measuring the wall roughness is also shown with an obtained result. The colour change due to the lightning direction is also experimentally investigated in this study. As the result of the study, the framework of the technology that is needed for designing the underground space is made clear.

はじめに

最近、地下空間の有効利用について多くの検討がなされるようになってきている。フィンランドなどでは、以前から公共スポーツ施設、音楽ホールなどが作られ、実用に供されている¹⁾。地下空間の利用を考える時大事となる点は、人間にとって快適な空間をいかにして建設するかである。この快適さにつながる一つの要因が、地下空間壁面そのものの形状、色彩²⁾などを含んだ光と色の環境である。地下空間利用の一つの考えとして、もし空間の長期安定性の問題が解決されるならば、地下の岩盤、地層などの状態を壁としてそのまま生かしたいというものがある。実際の岩盤は人に極めて大きな存在感を与える。または岩盤表面は、地表環境と異なった感覚を人に与えることが想定される。従って、そのような感覚が必要、あるいは良しとされる地下空間の使用目的が設定されれば、岩盤の壁面をなるべくそのままの形で残すことに大きな意味があると考えている。そういった観点から、筆者らはとくに花崗岩内の地下空洞を対象として、光環境の問題を研究してきた。本論文では、まず光環境を考える上で必要と考えられる要因について考察する。ついで、釜石鉱山の音と光の地下実験場と室内で行ったいくつかの研究成果を示す。

1 光と色環境に関与する諸問題の整理と今回の注目点

^{*} 埼玉大学工学部 ^{**} 西松建設技術研究所

地下の光環境を考える時、まず地下空間壁面の色、形状が問題となる。空間を囲む壁面の状態は一般に人の心理状態を左右すると考えられるからである。従って、まず、壁面の色を支配する要因について検討する。その要因のうち支配的と思われるものについて整理したものが図-1である。まず、岩盤の元々の色を支配する地質的要因がある。この要因の予測では、固有の色を持つ岩種や地層の分布予測、割れ目系形状予測、岩脈形状予測、壁面凹凸予測などが重要な評価要素となる。つぎに、岩盤の水分状態要因である。岩盤の色は表面の飽和度によって変化する。そのため、湧水の状態や壁面の乾燥しやすさなどを予測しなければならない。長期変化要因は、空間の使用による壁面の劣化、一部岩盤の剝離などによる状態変化である。長期間使用が考えられる地下空間では、元々の状態からの変化を把握しておくことが必要である。最後の要因は、照明に対する色変化である。これには、光そのもの、光の入射角、陰影の影響の評価が必要となる。岩盤の光と色環境では、これら多くの予測、評価技術が必要となる。しかしながら、地質や割れ目の前方予測、岩盤の水分状態の予測はそれ自身極めて難しい問題である。そのため、今回の研究では、その基礎となる割れ目系の全体的な形状把握技術の検討、壁面凹凸の評価、光の入射角の色に与える影響の検討に課題を絞って検討する事とした。

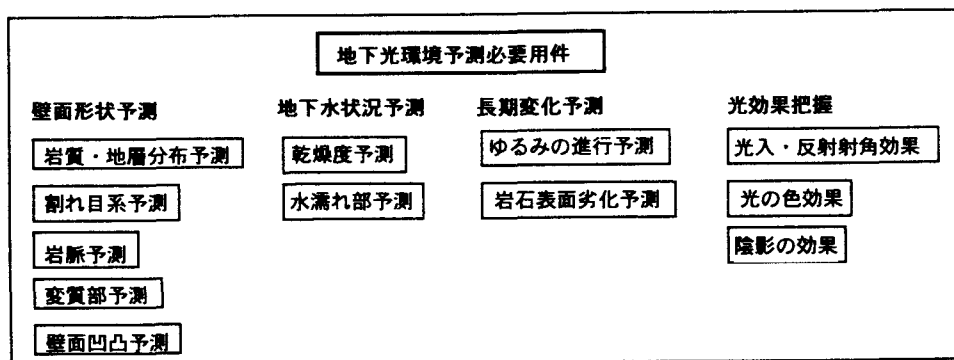


図-1 地下の光環境に関係する要因

2 釜石鉱山地下実験場における割れ目系構造把握

現在、釜石鉱山 550m レベル坑道では、西松建設を中心として、花崗岩を対象とした地下音楽ホールおよび地下光芸術展示場の実験場が建設されている。この実験場は、既存坑道内の従来休憩場や資材置き場として使われていた空間を拡幅して作られるものである。拡幅された後の空間壁面に現れる割れ目系と岩脈、変質脈等の予測のため、まず既存坑道壁面の割れ目系構造把握を行った。図-2(a)に拡幅される側の壁面に見られる割れ目系のスケッチを示す。図-2(b)は天井面に見られる相対的に大きな割れ目である。これら2つの図の中で、F1からF6で示される地点は同一割れ目の連続した位置を示す。天井面の割れ目系中に顕著に見られる、ほぼEWとNEの走向を持つ割れ目は相互に共役の関係にある。この内、走向NE系の割れ目は壁面上にとくに顕著に発達する。図-2(a)中の、左落ちで示される割れ目がそうである。この系列の割れ目が、ほぼ同一傾斜で多数発達していることが分かる。このようにほぼ同一の方向に発達する割れ目群は、従来筆者らが報告している様に Step、Splay 構造³⁾である。

図-2(a)中の割れ目の内、高角でほぼ鉛直の傾斜を持つ割れ目は、共役割れ目のうちのNE系に属するものである。図中もう一つ、右落ちの傾斜を持つ割れ目群が認められる。これらの割れ目群は、一般に、図の5-7m地点にはっきりと見られる様に前述の共役割れ目に切られている。従ってこれらは、より古い地質時

代の割れ目と判断される。

図-3は地下実験場付近の主要割れ目系構造を概念的に示したものである。

全体としてEW系とNE系の共役割れ目が構造を支配し、そのうちEW系の割れ目にStep、Splay構造が発達している。

Step、Splay構造は、ほぼ同一方向に発達した割れ目群として認知される。そのため岩壁壁面上では、視覚的にはっきりとした方向性を与える事になる。

また壁面は掘削時に既存割れ目に支配されて破断するため、規則的な凹凸を作り易い。以上から、これらの構造は地下の環境、景観を構成する大きな要素と言える。Step、Splay構造割れ目群の中の割れ目間隔や、その壁面上の傾斜（見かけの傾斜）は、壁面方向と割れ目群方向との角度によって決定しうる。したがって、景観や音の伝わり、また照明効果などから見てどの方向に岩壁を残すかが設計課題となる。

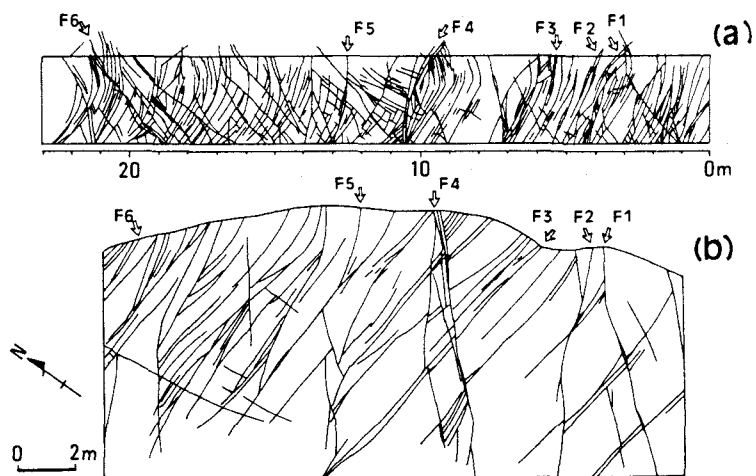


図-2 地下実験場の割れ目系

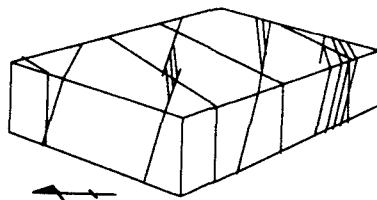


図-3 割れ目構造概念図

3 光切断法による壁面凹凸状態把握装置の開発

壁面凹凸状態は、照明下では陰影を作る。また、同じ岩種の壁面であっても、光の入射角を変化させることにより、光の反射・吸収に差を生じさせることが考えられる。そのため、壁面凹凸状態を簡便に把握する方法を検討し、今回、線状に広がるレーザーを用いた光切断法⁴⁾による測定装置を開発した。図-4にその考え方と測定装置の概念図を示す。光切断法とは、壁面に線状に広がる光をあて、その線を斜め横から見た

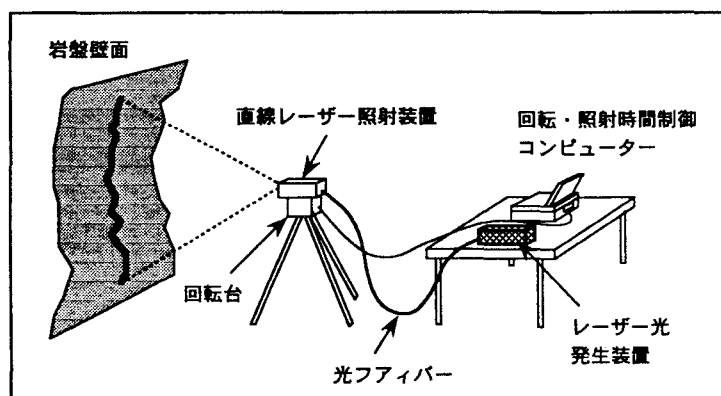


図-4 光切断法による壁面凹凸計測模式図

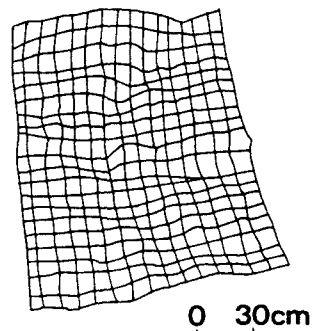


図-5 壁面凹凸計測例

ときの投影線の凹凸から壁面の持つ形状を把握するものである。今回開発した装置では、まずレーザー光を光ファイバーを通して直線レーザーに変換するレンズに導き、その後、壁面に照射する構造とした。照射装置は回転台の上に置かれる。この回転とレーザー照射時間はコンピューターにより制御される。壁面上に投影されたレーザー光を写真に撮り、凹凸状況を把握する。レーザー光の照射角度を変え、壁面上に多くの投影線を描き出し、それらの投影線を一枚のフィルム上に撮れば、光の格子を照射したことになる。つまり、面的な凹凸状態の把握が可能となる。釜石地下実験場において実際にこのような格子投影を行った1例を図-5に示す。この方法の利点は、壁面凹凸の把握が視覚的に容易にできる点である。また実際に照明を行った場合の、陰影や色彩変化を生ずる凹凸を特定することができる。ただ、まだ投影線の凹凸から実際の壁面の凹凸に換算する解析システムを完成させるに至っておらず、定性的な把握にとどまっている。この解析技術の開発が今後の課題である。

4 壁面色と光入射角による色変化の基礎的研究

岩盤は各種鉱物の組み合わせで形成されて固有の色を持っている。また、それが部分的に変質し色を変える。さらに岩脈の貫入があれば、その部分は異なった色となる。まず実際の色の場所的分布について検討した。その一例を図-6に示す。図は釜石地下実験場の、図-2(a)中では10 m地点の岩盤壁面状態である。斜線部分が安山岩の貫入部である。また点で網掛けをした部分に変質部であり、ピンク色から褐色を呈している。この部分をカラー写真に撮り、画像解析を行った。その結果、同図中のS1-S5の黒丸で示した部分のRGBが図-7に破線で示されるように得られた。また、黒丸と太い実線は写真全体の平均値である。この図から、かなり場所的に異なった色により壁面が構成されていることが認められる。ただ今回、現像された写真の解析であり、実際の色を反映していない可能性がある。今後は、デジタルカメラなどの情報を直接解析に取り込むことを考えている。

さらに、同一の色を示す部分でも、照明光の入射角の違

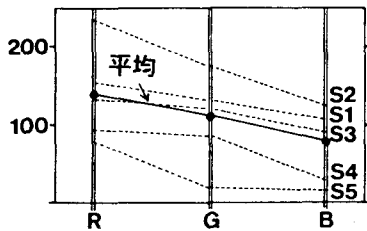


図-7 岩盤のRGB指標
黒丸と実線は、平均値

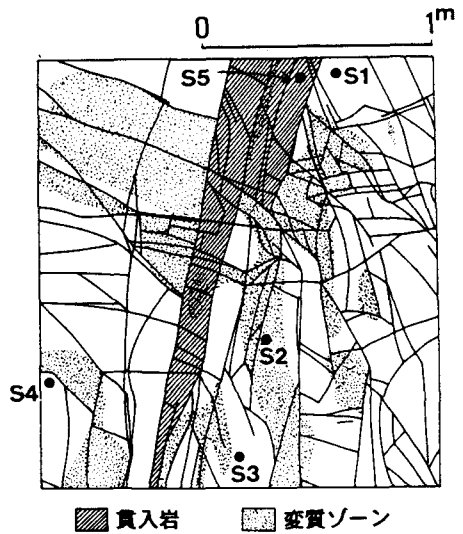


図-6 岩盤割れ目と色解析地点

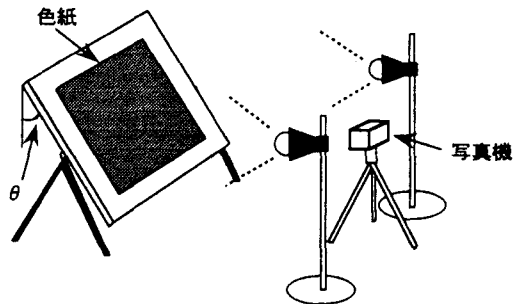


図-8 光の入射角の影響実験模式図

いによって異なった色となる可能性がある。そのため、図-8に模式的に示す実験を行った。図中示される様に、一定の照明に対して色紙を回転し、それを写真に撮って色の变化を調べ

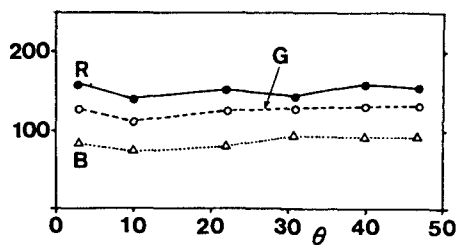


図-9 入射角と RGB 指標

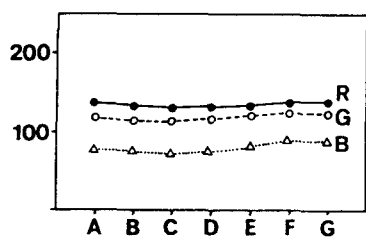


図-10 折り目パターンと RGB 指標

た。また、色紙に様々な折り目を付けて、微小な凹凸の存在による差を見た。実験に先だって、多くの色紙の写真を撮り、各々の RGB 指標を調べた。その内、RGB 指標が、前述の釜石実験場の岩壁の平均値に近い色を選んだ。その色についての実験結果例を図-9、図-10、図-12に示す。図-9は回転角 θ の差による RGB 指標の差を表している。

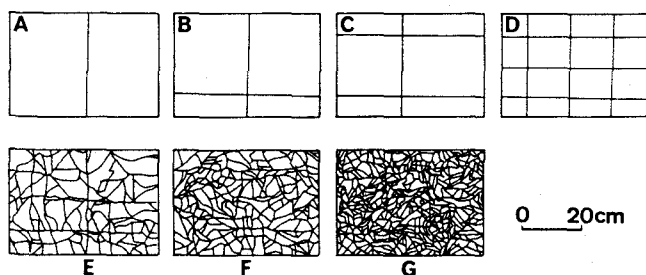


図-11 折り目パターン

図-10は、折り目状態の差異による RGB の変化である。これは、割れ目面上に多数の微小な凹凸があることをモデル化したものである。図中 A-G で示される折り目状態を図-11に示している。さらに、図-12は、かなり折り目の多い状態での、回転角による変化である。図を全体的に見て、回転角や折り目の差は RGB に多少の変化を与えるものの、全体的に見て影響は少ないと判断される。なお、この影響が少ない傾向は他の色についても同様であった。つまり、RGB 指標の評価では、光の入射角による影響は少ない。

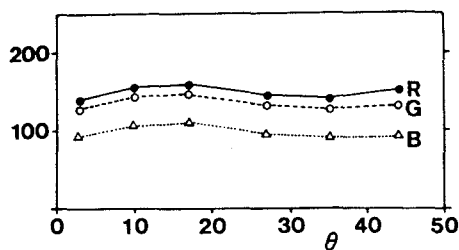


図-12 光入射角と RGB

5 結論

今回、釜石鉱山の音と光の地下実験場を一つの対象として、地下空間の光と色環境に関する基礎的な研究を行ない、技術的な問題点について考察した。まず光と色の環境に係る要因を整理した。それらの要因の中で、今回は、割れ目系の全体構造把握、壁面凹凸の把握法の開発、壁面色の解析に注目して基礎的な研究を行った。研究の結果、まず光と色の環境に係る要因が極めて多岐にわたることを示した。ついで、釜石地下実験場の全体的な割れ目構造を明らかにした。また、光切断法に基づく壁面凹凸状態調査装置を開発した。さらに、岩盤壁面色に関して基礎的な性質を明らかにした。

参考文献

- 1) Kari Saari etc., THE ROCK ENGINEERING ALTERNATIVE, MTR FTR, pp.1-207, 1988.
- 2) 中島悟、地球色変化、近未来社、pp.292, 1994.
- 3) 渡辺邦夫、地下水研究に関する最近の話題、土と基礎、vol.43,no.9,pp.1-6,1995.
- 4) 藤村貞夫、光計測の基礎、森北出版、pp.160, 1993.