

大谷石と大谷石類似石の強度発現に関する実験的検討

宇都宮大学大学院 学生会員 ○島田大輔
株式会社草津ナウリゾートホテル 坂田裕樹
宇都宮大学大学院 正会員 清木隆文

1. はじめに

大谷石は、栃木県宇都宮市で産出される石材として、耐震性、耐火性に優れていることから様々な用途に利用されてきた。硬岩と比較しても岩質が軟らかく、加工がしやすい一方で、風化の進行が早いため、強度低下や変色、岩石表面の欠落が多く見られる。また、栃木県内において、大谷石の類似石である深岩石、田下石、芦野石等も石材として採掘・利用されている。大谷石は地質学的に、軽石火山礫凝灰岩に分類され、深岩石、田下石も同様の凝灰岩。芦野石は石英安山岩質溶結凝灰岩である。既往の研究より、各岩石について構成鉱物の種類や含有率の違いが判明している。そこで本研究では各岩石において、どの鉱物がどのような構造で組み合わされて強度を発現するか検討する。

2. 研究手順

大谷石と、その類似石である深岩石、田下石、芦野石に対し針貫入試験を各岩石 25 か所ずつ行い、それぞれの岩石表面の換算一軸圧縮強さを求めた。その後 SEM(走査型電子顕微鏡)を用いて各岩石を高倍率で観察し、表面の構造の形状を確認。EDX(エネルギー分散型 X 線分析装置)、XRD(X 線粉末回折試験)により定量定性分析を行った。

3. 観察・試験結果と考察

表-1は各岩石における物理特性値で、換算一軸圧縮強さ隣の()は変動率である。図-1～図-5はSEMにより確認された岩石の割裂断面における構造である。外見的特徴から大まかに5種の構造に分類され、各岩石試料の表面を構成する構造の割合を示したものが表-2である。構成比は岩石基質部分のSEM画像から各構造の割合を求めて総数で除して算出した。表-3はEDXとXRDによる定量定性分析結果であり、各岩石の主な含有鉱物を示している。

各岩石試料において、岩屑状(図-1)の構造の割合の減少と共に換算一軸圧縮強度は増加しており、基質部分の強度は岩屑状の割合の大小と関係があると考えられる。観察結果から、岩石によって鉱物粒径に差が見ら

れ、より乾燥密度が高い岩石ほど粒径は小さく、構造的に密な様子が確認された。

柱状(図-2)の構造は深岩石で多く見られて、岩屑状の中に埋め込まれるようにして存在していた。またそれらが一本の帯を形成するような形で集まり、間隙部分には岩屑状が充填されていて間隙が少なく、鉱物同士の結び付きが強いのではないかと考えられる。岩屑状と柱状は、EDXとXRDの結果から、Clinoptiloliteの結晶によりこの構造が作られている可能性が高い。

平滑な構造(図-3)は間隙のない、一枚岩の様な表面をしている。針が貫入するには鉱物の隙間を割くようにして刺さるか、鉱物そのものを破壊して突き進んでいくかのどちらかであり、平滑な構造においては前者の刺さり方は考えにくい。芦野石の換算一軸圧縮強さが他に比べて高いのは、針に対して強い抵抗をしている平滑な構造を多く有するためと考えられる。EDXとXRDの結果から、Quartz、Cristobaliteの結晶によりこの構造が作られている可能性が高い。

繊維状構造(図-4)は田下石にて多く見られた。XRDにより同定されたMordeniteの繊維状結晶によるものであると考えられる。田下石の構造構成比と他の構造の強度の低さから見ると相対的に強い構造と考えられるが、その確認には至っていない。

スポンジ状構造(図-5)は、田下石と芦野石において観察した表面の約1/3を占めていた。既往の研究²⁾による知見では、大谷石においては相対的に弱い構造と報告されているが、芦野石のスポンジ状はその目が約1 μ mと、大谷石よりも緻密な構造をしていることから同様な強度とは言い難いがその検証までは至っていない。既往の研究²⁾より、Montmorilloniteなどで観察されるひだ状結晶と形状が似ていることが指摘されている。

大谷石の基質部分は白色と緑色に分けられ、それぞれに対しSEMによる観察を行った。白色部分は岩屑状を中心とした各種構造が確認され、緑色部分は柱状構造のみで形成されている様子が見られた。間隙部分が目立つことから針貫入試験にて両方の部分の強度を測定したが、白色部分の1.95MPaに対し緑色部分は1.42MPaと、緑色部分における構造の弱さが確認できた。

キーワード：大谷石 類似石 強度特性 岩石構造 SEM画像 EDX XRD

連絡先：〒321-0904 栃木県宇都宮市陽東 7-1-2 宇都宮大学大学院工学研究科 岩盤工学研究室

TEL:028-689-6218

表-1 各岩石の物理特性値

特性値 岩石名	換算一軸圧縮 強さ (MPa)	乾燥密度 (g/cm3) ¹⁾	有効間隙率 (%) ¹⁾
大谷石	1.36 (0.387)	1.36	36.91
深岩石(青目)	3.17 (0.337)	1.66	25.50
深岩石(白目)	3.25 (0.202)	1.63	26.56
田下石	3.29 (0.165)	1.68	24.89
芦野石	5.61 ¹⁾ (0.232)	2.00	18.46

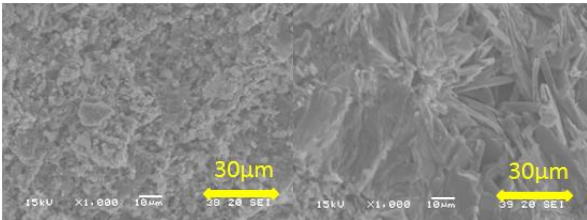


図-1 岩屑状

図-2 柱状

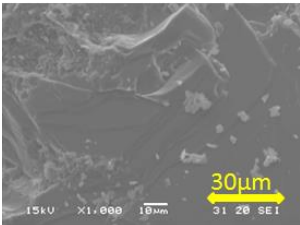


図-3 平滑

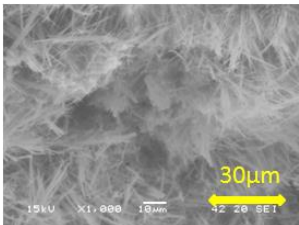


図-4 繊維状

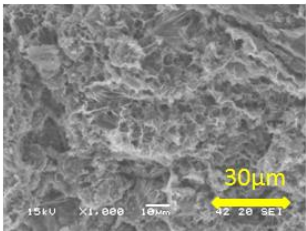


図-5 スポンジ状

表-2 各岩石で確認された微視的構造と構成比 (%)

	岩屑	柱状	平滑	繊維	スポンジ
大谷石 ²⁾	83.0	5.4	3.4	—	8.2
深岩石(青目)	60.2	23.2	12.4	2.4	1.8
深岩石(白目)	45.0	37.7	5.6	10.7	1.0
田下石	31.7	0.5	5.5	26.5	35.8
芦野石	30.3	—	34.8	0.3	34.6

表-3 各岩石の主な含有鉱物

	鉱物名		
大谷石	Clinoptilolite	Quartz	
深岩石(青目)	Clinoptilolite	Quartz	Albite
深岩石(白目)	Clinoptilolite	Quartz	Albite
田下石	Mordenite	Quartz	Albite
芦野石	Cristobalite	Quartz	Albite

4. まとめ

深岩石は類似石の中でも大谷石と一致する特徴が多いが、内部の柱状構造が大きく異なる点である。柱状の結晶が強度に与える影響として、帯状に集合することで岩石内部に張り巡らされた強固な柱としての役割を担っていると推定した。この帯状構造に取り込まれず単体で存在する結晶も、岩屑状の中において補強材として機能していると考えられ、Clinoptiloliteの結晶の形状の違いによって、深岩石は大谷石よりも高い圧縮強度を持つものと思われる。

田下石の岩屑状構造は、10000倍で観察すると微細孔を有していることが確認された。目の細かな岩屑状とスポンジ状が表面を覆い、亀裂部分に繊維状が存在していた。構造上空隙が多いために、有効間隙率が高くなり、強度がそれほど大きくなかったと考えられる。

芦野石は平滑な構造が、緻密な構造をしている岩屑状とスポンジ状によって取り囲まれ、隙間のない密な構造を形成していることが強度の増加につながっているのではないかと考えられる。

大谷石は内部の大半を占める岩屑状構造の粒径が比較的大きく、粗い構造が顕著であることから、針への抵抗力が弱く、結果的に低い換算一軸圧縮強さになったと考えられる。また、岩石内に点在する緑色基質部分、目の粗いスポンジ状構造が強度を下げ、平滑な構造が強度を上げる効果があると考えられ、針貫入試験によるデータのばらつきは、これらの要素が岩石内でランダムに広がっているためと考えられる。

5. 今後の課題

岩石内部における微視的構造と強度との関連は他の岩石との比較による相対的な評価であり、試料表面の限定された範囲内における強度特性にすぎず、定量的な評価方法の確立が求められる。また、鉱物構造と鉱物と強度との関連性について信頼性を高めるために、純度の高い鉱物試料に対してSEMによる観察、強度試験を行うことが望ましい。

参考文献

1) 林聖也, 高梨倫明, 佐藤陽, 清木隆文:
大谷石類似石の工学的性質の比較と大谷石の自硬性に関する研究, 第40回岩盤力学に関するシンポジウム講演 論文集, 土木学会, 6p, CD-ROM, pp.381-386,2011.

2) 清木隆文, 高葉悠, 井上達也, 木村理沙子, 斎藤友彦, 大谷石の岩石構造および色調変化機構の推定, 第13回岩の力学国内シンポジウム&日韓ジョイントシンポジウム講演論文集DVD, pp.191-196,2013.