

2013年6月25日

「東北電力東通原子力発電所敷地内破碎帯の調査に関する有識者会合」の  
有識者各位殿

東北大学理学研究科名誉教授 大槻憲四郎

コメント (その3)

## 粘土鉱物の吸水膨潤による断層成因説に関して

昨年11月26日と12月1日にもコメントを差し上げましたが、その後東北電力から追加された粘土鉱物に関するデータを検討したので、検討結果をお知らせします。お役に立てれば幸いです。

なお、参照しているデータは、以下の2つです。

- ・東通・現調 3-1 「東北電力株式会社 東通原子力発電所敷地内断層（破碎帯）の評価について 平成24年12月26日 東北電力株式会社」
- ・（参考資料2）「東北電力株式会社 東通原子力発電所敷地内破碎帯の調査に関する有識者会合 現地調査資料2日目」12月20日会合配布資料 ←粘土鉱物の定量的データ有り

### [検討結果]

#### 1. X線回折によるモンモリロナイト含有量と陽イオン交換容量 CEC およびメチレンブルー-BM 吸着量との関係

s-19 Tr-20'-1 と F-9 Tr-20'-2 におけるモンモリロナイト含有量と陽イオン交換容量 CEC およびメチレンブルー-BM 吸着量との関係を Fig.1a,b に示した。本来これらの諸量は正相関すべきだが、s-19 Tr-20'-1 と F-9 Tr-20'-2 におけるモンモリロナイト含有量と CEC とは弱く正相関するものの、モンモリロナイト含有量と BM 吸着量とは s-19 Tr-20'-1 では弱い負相関、F-9 Tr-20'-2 では弱い正相関を示す。

X線回折によるモンモリロナイト含有量は最も信頼できる測定値であるはずだ。これに対し、MB 吸着量は試料の分散状態、溶液の pH、交換性陽イオンの種類、溶液の濃度、測定のちょっとした手順の違いなどで異なった結果が出ると言われているので、ここでは信頼できる測定値とはみなすべきではないだろう。

CEC はモンモリロナイト含有量と弱く正相関しているが、ばらつきが非常に大きいので、参考値に留めるべきである。

#### 2. “岩盤劣化度”とモンモリロナイト含有量との関係

s-19 Tr-20'-1 と F-9 Tr-20'-2 におけるモンモリロナイト含有量と“岩盤劣化度”との関係を Fig.2a,b に示した。両者は正相関するものと期待されたが、s-19 Tr-20'-1 では弱い負の相関、F-9 Tr-20'-2 ではほぼ無相関である。

“劣化度”が A、B、C、D、E である岩盤の密度はそれぞれ 2.11、2.08、2.04、1.98、1.94 g/cm<sup>3</sup> とされている。このような密度変化がモンモリロナイト等の粘土鉱物の膨潤によるものと考え、

“体積歪” = (劣化度 A の密度 - 該当劣化度の密度) / 劣化度 A の密度

として“体積歪”を見積もっている。さらに、小逆断層 s-19 に関しては、“岩盤劣化度”分布を“体積歪”分布に置き換え、膨張によって断層が出来得るという有限要素法によ

る計算結果を示している。上に示したように、モンモリロナイト含有量と“岩盤劣化度”は無相関なので、粘土鉱物の膨潤によって断層が出来たという推論は棄却される。

### 3. 東北電力の言う“岩盤劣化度”とは何か。

よく知られているように、風化には酸化によって  $\text{Fe}^{2+}$  が  $\text{Fe}^{3+}$  になる他、Na、Mg、Ca、K などが溶脱・減少し、Al と  $\text{Fe}^{3+}$  が残留する過程が含まれる。東北電力の言う“岩盤劣化度”の主要な指標には軟質化の程度、割れ目の多さに加え、岩石表面の色調（暗褐色、赤褐色、褐色・・・）が含まれている。このような色調の変化はとりもなおさず鉄の酸化によるので、“低密度化”には Na、Mg、Ca、K などの溶脱が寄与していると考えるのが合理的である（風化とはまさにこのような過程）。

このようなことが起こる雰囲気は、炭酸ガスや植物腐植酸を溶かし込んだ天水が到達し、乾湿が交互する地表付近に実現する。小断層 s-19 ボーリング QB-1 の総合柱状図を見れば、岩盤劣化度が B 以上になる深度、針貫入試験強度、弾性波速度、および岩石密度が急に低下する深度が全て一致して 13m であり（多分、ここが地下水面）、これ以浅が風化が進行する岩盤劣化帯である。

### 4. モンモリロナイトの成因は？

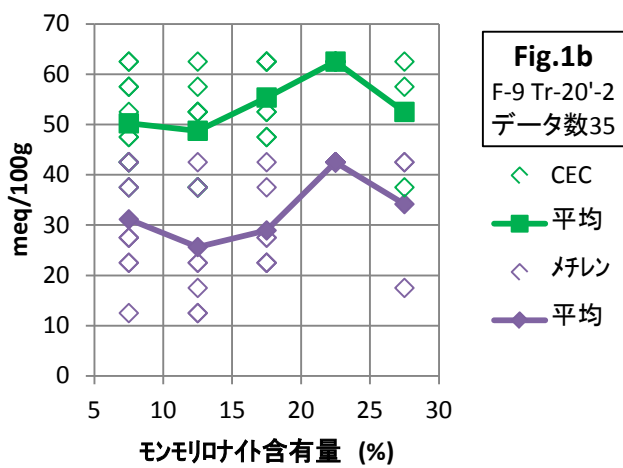
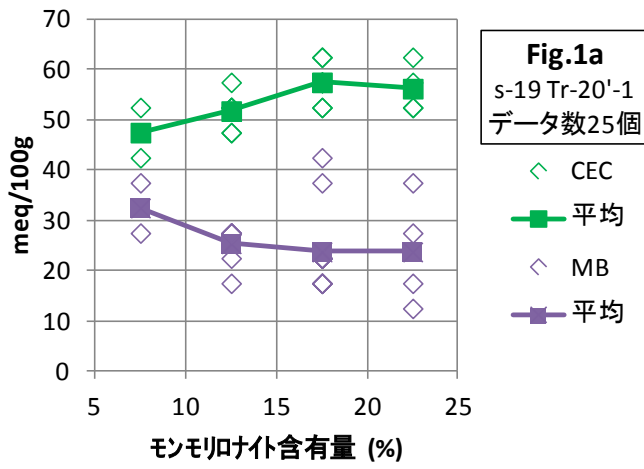
注目すべきことは、小断層 s-19 ボーリング QB-1 の 13m 以深は最も風化が軽微な“劣化度 A”であり、そうであっても CEC はすでに 33~46 meq/100g に達していることである。1 で述べたように、CEC はモンモリロナイト含有量を示す参考値でしかないが、33~46 meq/100g という値は最高レベルの値の約 70% に達しているのである (Fig. 1a,b)。すなわち、モンモリロナイトの 70% 程度は、地表近傍で風化を被る前にすでに（地下水で飽和された状態で）生成されていたのである。

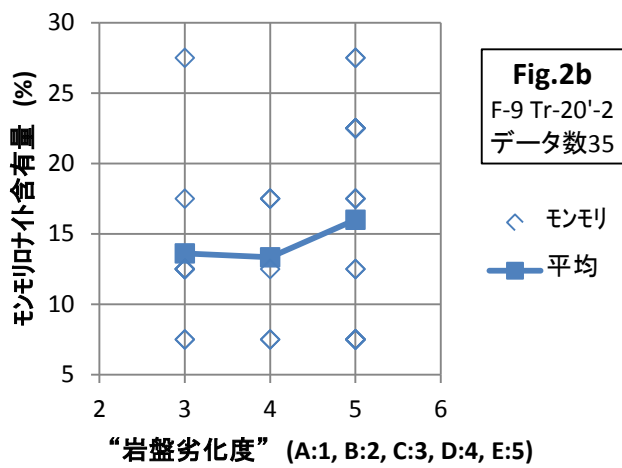
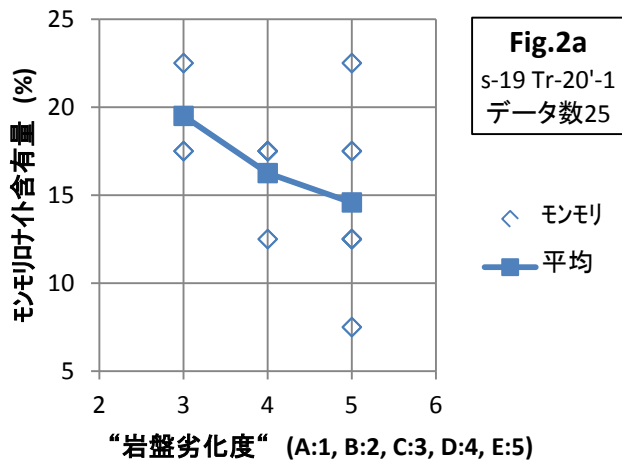
なお、s-19 Tr-20<sup>1</sup> の M1 面段丘堆積物からの 3 試料ではモンモリロナイト含有量、CEC、BM 吸着量のいずれもが“未検出”となっているが、このことも上の推論を支持する。

本来、モンモリロナイトを含むスメクタイトは中性～アルカリ性の雰囲気で生成されやすい。そのような所は地表付近の弱酸性・酸化雰囲気が及ばないより深い所である。モンモリロナイトの大部分は M1 層が堆積するずっと前に続成作用で生成されていて、“岩盤劣化”がこれに重複したのであろう。

追記 1：モンモリロナイト含有率が高く、かつ硬いチョコレートのようなベントナイトは、砕いて水に浸すとパチパチと割れて飛び跳ね、細粒化し、ついには泥になる。これは緻密な岩石だからで、多孔質ならこうはならないだろう。原岩は細粒の酸性凝灰岩。コロラド州の heaving bedrock というのは、こういうものでしょう。Noe et al. (2007) という文献は手元にないのですが、持っている方は岩質とモンモリロナイト含有量を調べて下さい。

追記 2：モンモリロナイトを構成する 2:1 層は、それらの間に陽イオンを挟み、負の層電荷と引きあう。陽イオンの周りには水分子が配位し、水分子同士あるいは四面体層の底面酸素との間に水素結合を作っている。水分子層の枚数が増えるにつれ、層の負電荷と層間陽イオンの正電荷との距離が離れ、結合力が小さくなり、ついには分散状態になる。湿度を高めるだけでも水を吸って膨張する。これは可逆反応である。





参考文献

1. 土木学会岩盤力学委員会（委員長岡本舜三）編、1966、土木技術者のための岩盤力学、489p.,(株)技報堂
2. 土木工学会監修・最上武雄ほか著、1979、土質力学、1048p., 技報堂出版(株)
3. 土壌物理研究会編、1979、土の物理学－土質工学の基礎－、365p., 森北出版(株)
4. 白水晴雄著、1998、粘土鉱物学－粘土科学の基礎－、185p. (株)朝倉書店