

深層風化

Deep Weathering

徳 山 明 (とくやま あきら)

兵庫教育大学教授

1. 深層風化とは

日本では広い範囲で、岩盤の風化が深さ 100m 以上にも達することがあるが、このように風化作用に伴う岩盤の変質が、地表から地下深層にまで及んでいる場合に深層風化という。花崗岩地域のマサはその代表的な例であるが、花崗岩地域に限らず、また、厚さに多少の差はあるにせよ、どの岩石の地域にも深層風化はある。岩盤は地下水滞水域中では風化作用が進み、原岩中の長石等の造岩鉱物およびガラス質等の珪酸分や金属イオンが移動して粘土質に変化するが、過去の高温・多雨気候下（日本ではほとんどの場合中新世または鮮新世）には、この風化反応に加わる地下水滞水域の厚さが厚く、したがって、変質部（風化殻または風化層、風化帯という）も厚く発達した。この風化殻は厚い所では 200m に達するが、その後の隆起と削はくにより、地表に近い上部が削り取られた所では厚さが薄くなっており、原地形の保存されている所では厚いまま残っている。

2. 深層風化の機構

地表を構成する岩石のほとんどは珪酸塩鉱物からなり、シリカやアルミナのほか、アルカリ、苦土類、鉄・マンガン等の金属が組み合さって構成されているが、地下水滞水域ではこれらが空気中の二酸化炭素等により、地下水温度や pH の変化に応じて、安定な物質に再配列されて風化殻が形成される。地下水滞水域は全体として一つの化学平衡系を保つので、当時の地下水の構成により水平な累帯構造が発達する。ほとんどの場合、上部酸性の溶脱帯(I)と下部の中性および微弱アルカリ性の交換・集積帯(II)とに分かれる。

デイサイト（石英安山岩）、花崗岩等の礫を含む

地層では、溶脱帯の最上部では、長石のシリカ等が溶脱しギブス石やカオリナイト等が生成し、赤鉄鉱の色で赤色となり、それら礫の密度は $0.8 \sim 1.0 \text{ g/cm}^3$ 程度にまで低下する。その下の帯ではハロイサイトが卓越し、礫の密度は 1.5 g/cm^3 程度になり、色は白または淡色である。さらに下の交換・集積帯では、モンモリロナイトが卓越し、色は褐鉄鉱により褐色となる。含まれる礫の密度は $1.8 \sim 2.0 \text{ g/cm}^3$ 程度となる。この帯の上部に鉄・マンガンの酸化・水酸化物による黒色層が挟在することがある。また、集積帯の下部には上部層からの溶脱によるシリカ（フリント）の集積する帯があり、珪化木ができることがある。

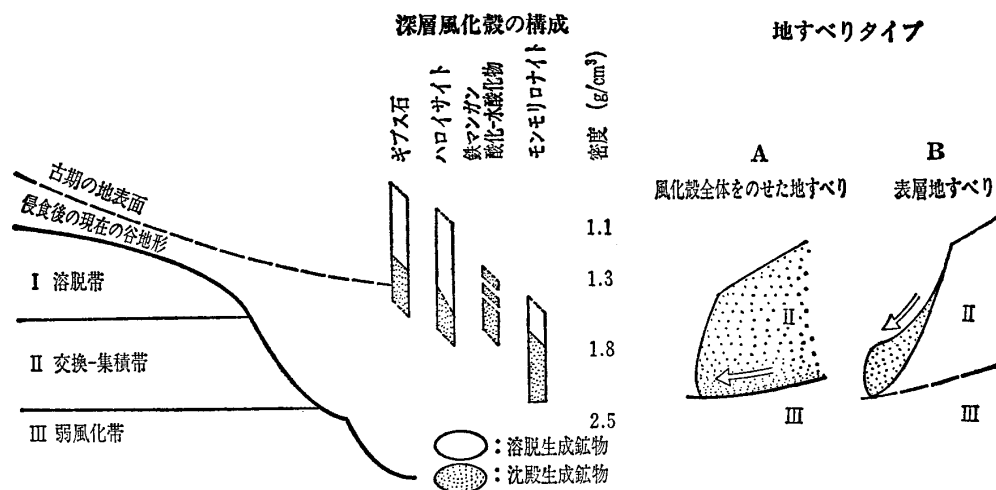
3. マサの例

中部地方以西の西日本には花崗岩が広く分布し、深層風化に伴うマサが卓越している。花崗岩の例はほかの岩石の地域の風化の基本を示すので、中国地方マサの代表例を述べることにする。

3.1 最上部赤マサ

二次形成の粘土鉱物組成としてはギブス石、カオリナイト、加水雲母等が特徴的であり、いずれも長石や雲母が溶脱し、置換生成した、長石の 95%、石英の約 30% が溶脱変化し、石英の大半は残存している。原岩の組織がそのまま残っている場合をサプロライトというが、その全体の密度は $1.0 \sim 1.2 \text{ g/cm}^3$ となり、多孔質で非常にもろい。色は赤鉄鉱による赤～赤紫色が卓越する。

深層風化の最上部は、いわゆるラテライト層であるが、日本ではほとんどの所で、後の削はくにより欠如している。削はくされずに残っている所では、地表の平坦面の直下にある。厚さはもともとは 50m はあったと思われるが、現在は数 m 程度しか残って



図一 深層風化殻の性状と地すべりタイプ

深層風化殻は第三紀後期などの高温多雨気候下の地下水滞水域で、岩石が溶脱・変質して生じ、I 溶脱、II 交換・集積、III 弱風化の3帯に分かれ、当時の古期の谷の表面からIIIの下底までを含む。図にはそれぞれの帯に特徴的な粘土鉱物と密度の分布を示してある。左側のカーブは現在の谷斜面の傾斜を模式的に示すが、傾斜は密度の大きさに対応し、密度変化の境が地形遷急点となる。

地すべりはモンモリロナイト帯(II)の下底で生ずるが、Aタイプは風化殻全体がすべる大規模地すべりで、間氷期に地下水位が上昇し、II帯が湛水した時に生じたと考えられる。Bは雨後、雪どけなどで地表・地下水位が移動する際に生じ、Aより規模は小さいが発生頻度は大きい。

いない。

3.2 赤マサ (厚さ約50m)

二次構成粘土鉱物は長石から生成したハロイサイト (または、カオリナイト) が卓越し、雲母はカオリナイトになる。組成は最上部赤マサとほとんど同じであるが、溶脱生成物はハロイサイトまたはカオリナイトで、ここではギブス石にはならない。この帯のギブス石は水酸化アルミニウムが上の層から移動して沈殿生成したものである。密度は1.2~1.3 g/cm³程度であるが、長石等の溶脱度により異なる。色は赤色であるが、長石の結晶がハロイサイト化し、白く斑状となる。

3.3 白マサ (厚さ約50m)

二次構成粘土鉱物のうちではハロイサイトが卓越している。この層付近に鉄・マンガンの酸化・水酸化物の黒色集積層が挟まることがあり、かつて陶器の顔料に使用し、鬼板の名前がある。長石の50%、ほとんどの石英、雲母・角閃石等の大半が変化せずに残っているので、密度は1.5~1.8 g/cm³程度である。ハロイサイトの色により白色が卓越する。

白マサは赤マサほどにはもろくないが、多孔質であり、水を通しやすいので、豪雨時には崩れやすい。

3.4 黄～褐色マサ (厚さ約100m)

二次構成粘土鉱物としてはモンモリロナイト、バ

ーミキュライトが特徴的である。地下水滞水域のこの部分では、上位の層からの溶脱によるシリカが過多となり、またアルカリ性が勝ち、それらの化学的条件によりハロイサイトはできず、モンモリロナイトおよびバーミキュライトが集積することとなる。密度1.8~2.0 g/cm³程度である。上部のマサに比しやや硬いので、急な崖をなし、この上に地形遷急点ができる。下の弱風化花崗岩との間に孔隙率の差があり、地下水突出による崖崩れが生じやすい。

3.5 弱風化花崗岩 (厚さ数~10m)

風化二次鉱物は認められないが、長石の一部が溶脱し、密度2.3 g/cm³程度となったものをいう。地下水滞水域の下底なので、ここまでを風化殻とする。

4. 深層風化の地形、地すべり等

風化殻内では、地表に近いほど溶脱が進み、密度に差ができる。後に隆起し侵食を受けると、そこが地形遷急点となり、溶脱帯(I)は緩傾斜、集積帯(II)はやや急傾斜となる。日本では氷期の乾燥気候下で風食作用が卓越し、(I)の上部はほとんどの所で地表の削はくにより欠如し、平坦面となっている。(II)が直接地表に露出しているところも多い。

溶脱により、岩盤は多孔質になっているので、崩れやすい。このためマサ地域では集中豪雨時には特

に斜面崩壊が生じやすく、白マサ、黄マサの所が多い。

堆積岩地域では、風化変質に伴う粘土のうち、モンモリロナイト等が吸水膨潤性を有するので、地すべりの原因となり、風化殻(Ⅱ)下底のモンモリロナイト集積層で発生することが多い。深層風化は広域的なので、地すべりも大規模となり、(Ⅱ)の上の風化殻全体をのせた地すべりが発生することもある(図一1(A))。東北地方等の大規模地すべりはこの例である。このような場合には、地形遷急点付近で生ずるので、地域的地形との関連調査が重要である。

このように、深層風化は地盤災害の発生に大きな関係があり、特にダムやトンネル等の大規模土木事業に際しては注意しなければならない。

なお、図一1には深層風化殻の性状と谷の地形、ならびにそこに生ずる地すべりのタイプを説明した。

参 考 文 献

- 1) 徳山 明：古期深層風化，地学雑誌，Vol.92，No. 7，pp.488～494，1984.
- 2) 徳山 明・湊 秀雄：古期深層風化殻の形成と後期第三紀以降の地形化作用，(Ⅰ)風化殻形成の機構，地学雑誌，Vol.95，No.2，pp.114～125，1986.
- 3) 徳山 明：古期深層風化殻の形成と後期第三紀以降の地形化作用，(Ⅱ)風化殻の形成と地形，地学雑誌，Vol.95，No.3，pp.155～166，1986.
- 4) 徳山 明：モンモリロナイトの4相と大規模地すべりの機構，北村 信記念地質学論文集，pp.571～586，1986.

(原稿受理 1992.12.28)