

京都大学工学部 正員 松尾新一郎
 福山大学工学部 正員 ○富田 武満
 同 田辺 和康

1. まえがき

地すべりあるいは斜面崩壊の物理化学的な調査と対策工について、筆者らは種々の観察から考察を加えてきた。その結果、人工的な斜面下部の切取り、豪雨および地震等の外的な物理的、力学的に崩壊した斜面を除いて、自然斜面および人工斜面の突然の崩壊については、非常に長期にわたる物理化学的な作用が大きな影響を及ぼしている。したがって、本報告においては、地すべり粘土に着目して、その物理化学的な特性変化と地すべり発生に関連について考察する。

2. 物理化学的調査

2-1. X線解析

斜面構成土が粘土に近いものが粘土であれば、その斜面の安定度の調査として物理化学的方法是極めて有効である。その方法の第一は斜面構成土の粘土鉱物の同定であり、これは現地から得られた試料のX線分析によつて2μ以下のもを採取し、粉末法あるいはアルコール・サスペンション法によつて試料を作成し、回折を行なう。図-1はその結果であり、当地すべりでは、地すべり下部ですべり面が露出したので、そこから試料を作成して回折を行なった。すべり面直上ではモンモリロナイト、イライト、カオリナイトがほぼ等量ずつ含まれているのに対し、すべり面粘土では、ほとんどモンモリロナイトに変わっている。このすべり面の厚さは約5mmであり、もともと同じ粘土層内で発達したにもかかわらず、粘土鉱物として異なった種類のもが見られる。したがって、モンモリロナイトの生成は純粹に摩擦による微粉化と化学的な吸着イオンの変化によるものとしが考えられぬ。

2-2. 吸着カチオン

地すべり粘土は上記のように表面活性の大きなモンモリロナイト系の粘土鉱物からなっていることが多いので、物理化学的な変化を受け入れ易い状態におかれている。表-1はある地すべり地の測定結果であるが、吸着イオン組成で、その他のイオン（主として水素イオン）が比較的多い層が見うけられる。このカチオンが多量になることは、 K^+ 、 Na^+ 、 Ca^{++} 、 Mg^{++} がそれぞれ置換脱落された事を意味する。また、C.E.C.が大きい、その他のイオンが多いと、その粘土層は弱体化しており、すべり面となっていることが多い。

図-2は各地の地すべり粘土の吸着カチオン組成比を示したものであるが、図中の1の領域は Ca^{++} の吸着量が、2の領域は Mg^{++} の吸着量が大きく、それぞれ安定な地層を示している。3の領域は Ca^{++} 、 Mg^{++} 、その他のイオンがほぼ等量吸着されているので、ある程

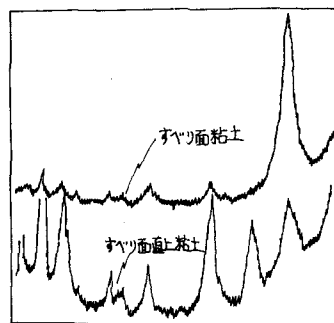


図-1 X線回折結果

表-1 吸着カチオンとC.E.C. (meq/100g)

採取深さ	K^+	Na^+	Ca^{++}	Mg^{++}	その他イオン	C.E.C.
25~31	0.115	0.206	1.120	0.698	7.681	9.820
60~65	0.213	1.255	2.685	1.770	1.316	7.239
90~95	0.409	1.069	1.840	2.345	5.205	10.868
130~137	0.470	0.554	8.237	9.308	0.671	19.240
150~155	0.279	0.690	6.188	8.158	0.549	15.844

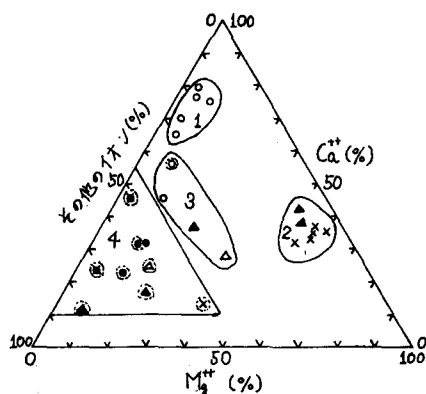


図-2 地すべり粘土の吸着カチオン組成比

○ 宇坂地すべり、● 三田地すべり、△ 黒河地すべり
 ▲ 生駒地すべり、× 堀江地すべり、○ すべり面粘土

度イオン交換が進んでいるが、強度その他の工学的性質において弱体化が起こっていない。しかし、将来はこの層ですべり面が形成される恐れがある。4の領域は、各地のすべり面粘土がほとんどこの中に含まれる。この領域は地下水その他の作用によるイオン交換の影響をとくによく受けており、強度の弱体化が著しい。したがって、斜面構成土の吸着力チオン組成が明らかになれば、地すべり発生予知および、すべり面の位置の推定が可能である。

2-3. 化学組成

上記の吸着イオンの変化はほぼ10年程度の変化であるが、その時間的なスケールを大にして、元素組成の変化についての観察を行なった。表-1は堆積岩中に発生した地すべりにおいて、堆積岩種と元素組成の関連を求めたものである。堆積岩種は、通常、それを構成している源堆積物の粒度によって識別されるが、アルカリ金属、アルカリ土類金属および Al_2O_3 について極めて顕著な差異が認められる。図-3は同じ試料のすべり面が形成された泥岩層の分析結果であるが、同じ岩種からなるものでは Al_2O_3 の変動が最も少ないという事実に基づいて、 Al_2O_3 を横軸にその他の化学組成の変化を縦軸に示している。同図で右元素組成が変化するものは Al_2O_3 量が23.9%と25.9%の点である。前者はすべり面にあたり、後者は砂岩の部分にあたる。泥岩中に生ずるすべり面の特徴は SiO_2 の量が多い。図-4 地表付近の化学組成

表-2 堆積岩種と化学組成(単位: %)

元素	Na ₂ O + K ₂ O	CaO + MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	TiO ₂	Fe ₂ O ₃
堆積岩						
礫岩	6.30	1.10	23.7	63.3	0.27	2.10
砂岩	5.30	1.40	25.5	61.0	0.65	2.00
シルト岩	3.30	2.77	26.3	54.3	1.03	5.23
泥岩	2.82	7.75	31.9	49.2	0.66	6.54

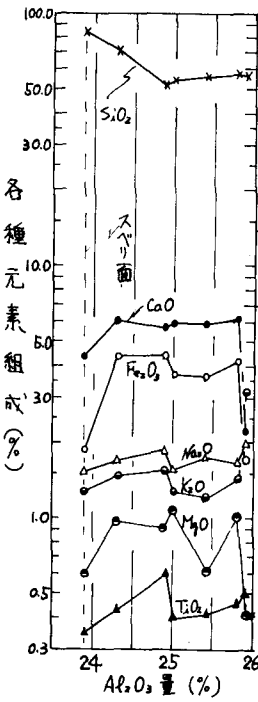


図-3 Al_2O_3 に対する化学組成の変動

これは2:1型粘土鉱物であるモンモリロナイト量の増大による。また、Ca, Mg, Na, Kの量が減少すると共に、比較的安定なFe, Tiまでも減少している。

図-4は地表付近の化学組成の変化を示しているが、地表面付近では雨水の浸透、気温の変動および植生の影響により、Na, K, Ca, Mgの濃度が高くなるが、Feは相対的に増大する。

3. 物理化学的対策工法

図-5はイオン交換によって粘土が弱体化した斜面に、イオン交換工法を施工した詳細図である。施工後4年の現在において、完全に安定化しており、今後の工法として十分利用できるものと確信している。

4. あとがき

斜面の物理化学的調査と対策工法については、系統立ったものとなっていないが、今後この面での調査が肝要と思われる。

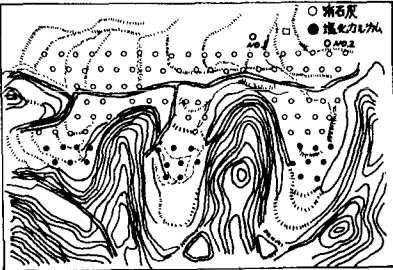


図-5 イオン交換工法施工位置図(三田)