

四国の地すべりの素因としての中期中新世熱水変質作用

長谷川修一 (香川大学工学部)

1. はじめに

四国の地すべり研究に関するここ約20年間の最大の研究成果は、八木則男先生、矢田部龍一先生を中心とする研究グループによる地すべり粘土の土質力学的、鉱物学的研究であろう。これらの研究によって、

- ・ 地すべりの工学的性質として最も重要なのは、すべり面の強度特性である。
- ・ すべり面が推定できれば、地すべりの強度定数としては、せん断抵抗角 ϕ' を使用し、有効応力に関する粘着力 $C' = 0$ として、安定計算が可能である。
- ・ ϕ' は乱された試料からでも求めることができる。
- ・ スメクタイトなどの膨潤性粘土を含むすべり面粘性土が、小さな ϕ' を持ち、地すべりの原因となっている。などが明らかにされた(例えば、八木ほか,1989; 矢田部,1999)。

地質技術者にとっては、スメクタイトなどの膨潤性粘土を含むすべり面粘性土が地すべりと密接に関係しているのは、経験的にわかっていた。しかし、鉱物学的視点を加えて、徹底的に土質試験、土質力学的検討を行なって、それを実証したのは八木先生たちの最大の功績であった。

それでは、地すべりの主犯であるスメクタイトなどの膨潤性粘土鉱物は、どのようにしてできたのだろうか? 筆者は、スメクタイトを主体とする熱水変質帯が、中期中新世約1400万年前の火成活動で形成され、その結果局所的に著しい岩盤劣化をもたらし、四国の地すべりの素因となったと推定している。本論では、スメクタイトなどの膨潤性粘土の起源を地質学的に推論し、四国の地すべりの黒幕について議論する。

2. 地すべり粘土の起源としての熱水変質作用

地すべりのすべり面は、多くの場合粘土質の層を利用して形成される。そして、すべり面を構成する粘性土は、地すべり粘土、すべり面粘性土などと呼ばれている。それでは、地すべり粘土、また地すべり粘土にしばしば含まれるスメクタイトなどの膨潤性粘土鉱物は、どのようにしてできるのだろうか?

四国の地すべりの場合、そのほとんどの母岩は、堆積岩であれ、火成岩である、変成岩であれ、いわゆる硬岩である。そして、母岩を構成する鉱物は、石英、長石を主体とする造岩鉱物である。もちろん、和泉層群の頁岩にはイライト、三波川変成岩類の緑色片岩、泥質片岩には、緑泥石、白雲母が含まれている。しかしながら、岩石の生成条件、続成作用と変成作用の条件を考えると、最初から(生まれながらに:氏として)岩石中にスメクタイトが含まれていたわけではない。つまり、その母岩が形成されて地表に露出し、地すべりするまでの過程(育ちかた)において、スメクタイトなどの膨潤性粘土鉱物が形成されたはずである。

スメクタイトなどの膨潤性粘土鉱物は、少なくとも地すべり運動、すなわちせん断変形によってできるとは考えられない(造岩鉱物が擦り砕かれて粘土鉱物になるわけがない)のだから、地すべりが発生する前に粘土鉱物に富む層が形成されなければならない。また、ある程度の規模の地すべりとなるためには、地表より強度定数が小さな弱層が地下に形成されていなければならない。一般に、風化作用は地表から進行するので、風化作用が強度低下の主原因なら、地表付近から風化が進行し、その結果強度低下を起こした部分から、崩壊が徐々に進行するだけである。もちろん、節理ら断層などに沿って風化が地下深部に進行することはあるだろうが、それでも地表付近の強風化部より地下のほうが著しく強度低下するとは、考えにくい。したがって、四国のような硬質岩盤の地すべり粘土の成因を風化作用のみで説明することは難しいと考える。むしろ、地下深部に岩盤劣化を発生させ、スメクタイトなどの膨潤性粘土鉱物を生成する作用を想定せざるを得ない。これが、熱水変質作用である。

熱水変質作用は、「広域的な地下増温率によって与えられる温度よりより高温の局所的な溶液が関与する変質作用で、熱変成作用やガルデラ型の沸石化作用との違いを明確にするため、対流系をなすものに限る。」と定義される(歌田,1995)。熱水溶液の流動は、断層、節理、岩脈などを通路にし、また地下から地表に向かって流動する。このため、熱水変質帯は周囲の地層、岩石とは不調和な構造をとる。

四国には第四紀の火山が分布しておらず、また新第三紀の火成岩体の分布もわずかなため、熱水変質作用による岩盤劣化が見逃されている。しかしながら、四国の中央構造線沿いには、中期中新世火成活動に伴う熱水変質帯が形成されており、地すべりの素因となっている(長谷川ほか,2001; 田村ほか,2001)。また同様の熱水変質作用は、中央構造線付近だけでなく、地質帯を問わず広く四国地方に存在する可能性が高く、地すべりの素因として注目される。

Middle Miocene hydrothermal alteration as geological factor of landslides in Shikoku Island, southwest Japan :
Shuichi HASEGAWA (Kagawa University)

3. 中央構造線沿いの中期中新世熱水変質作用

四国中央構造線沿いの断層破砕帯には、同じ母岩から形成されたにもかかわらず、スメクタイトを伴う破砕帯と伴わない破砕帯がある。このような粘土鉱物組成の違いを説明する仮説として、母岩である和泉層群の泥岩や三波川帯の泥質片岩およびこれらの破砕帯が通常の風化変質作用を受けた場合にはスメクタイトを生成しないものの、熱水変質作用を受けた破砕帯ではスメクタイトが生成された可能性が考えられる。

筆者らのグループは、中央構造線 (M T L) 活断層系の断層ガウジ、粘土化したカタクレサイトおよび母岩の粘土鉱物組成をX線回折法によって分析し、破砕帯における熱水変質作用と粘土鉱物組成との関係を検討したので、その概要について紹介する (長谷川ほか, 2001; 田村ほか, 2001)。

3.1 四国の中央構造線活断層系沿いにおける中新世貫入岩の分布

四国では、三波川変成岩類と和泉層群との地表境界断層としての中央構造線に一致もしくはその北側に並走して中央構造線活断層系の断層群が東北東—西南西方向に走っている (図—1)。これらの活断層は、一般に中~高角度の断層面を持ち、領家帯と三波川帯との境界断層の地表断層と推定される。

四国西部では、地質境界断層としての中央構造線および伊予断層等の活断層にそって、中新世の石鎚層群に対比される流紋岩などが貫入している。この貫入岩の K-Ar 年代は、14~15Ma に集中している (田崎ほか, 1993)。特に、伊予断層と川上断層の近傍には 14Ma の大規模な流紋岩体があり、活断層の走向を南北方向に規制している。四国中央部では、地質境界断層としての中央構造線に沿って流紋岩類が貫入しているが、活断層沿いには貫入岩は確認されていない。四国東部徳島県の中央構造線沿いには、中新世貫入岩類は確認されていない。ただし、讃岐山脈北麓の檜原、田中断層沿いには、14Ma の K-Ar 年代を示す流紋岩類が分布し、一部はセリサイトを主体とする陶石鉱床をととして採掘された。

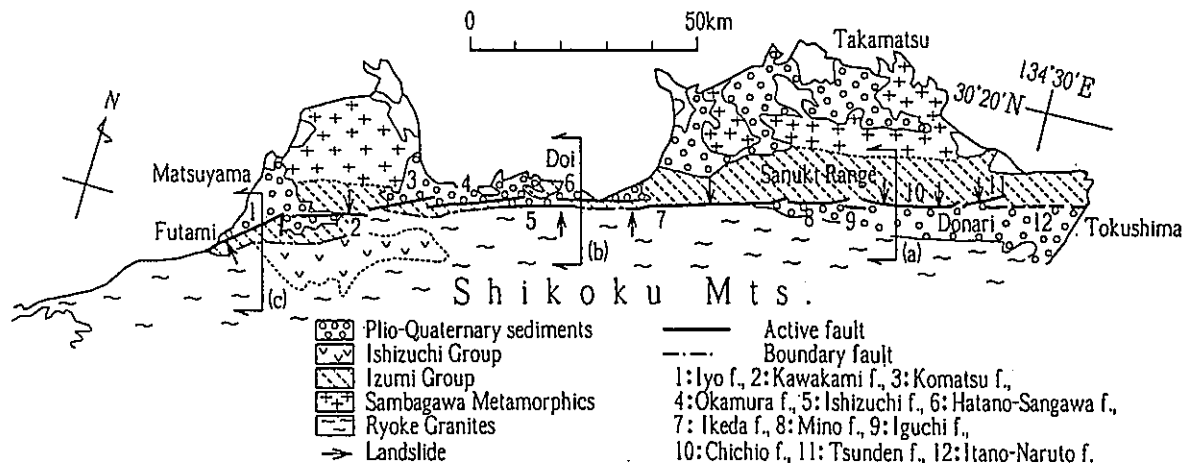
3.2 中央構造線活断層系破砕帯の産状と分析試料

(1) 伊予断層

愛媛県双海町高野川では、和泉層群中に貫入したデイサイトが、30m以上の幅で角礫上に破砕され、この中に泥質片岩を主体とする破砕帯が断層で挟み込まれている。この破砕帯は、粘土化したカタクレサイトを主体とし、数条のガウジが形成されている。ガウジを伴う最も明瞭な断層面は、N46° E の走向で、85° 南へ傾斜している。粘土試料は、デイサイト角礫破砕部 (a, b, c, h, k)、灰色ガウジ (e, j)、黒色ガウジ (d, f)、青灰色ガウジ (g)、泥質片岩カタクレサイト (n) および和泉層群角礫破砕部から採取した (長谷川ほか, 1996)。

(2) 石鎚断層

石鎚断層の破砕帯試料は四国電力が愛媛県土居町上野で掘削したボーリングコアから採取した。このボーリングコアは、総延長 105m で、地表から和泉層群砂岩頁岩互層、和泉層群破砕部、流紋岩、和泉層群泥岩ガウジ状破砕部、流紋岩角礫状変質部、泥質片岩ガウジ状破砕部、泥質片岩からなる (図—3、4)。泥質片岩中にドロマイトとマグネサイトを主体とする淡赤褐色脈が形成されている。



図—1 四国の中央構造線沿いの地質と活断層

(3) 畑野断層

畑野断層の破碎帯試料は、四国電力が愛媛県土居町上野で掘削したボーリングコア、地表断層露頭などから泥岩ガウジ状破碎部および角礫状破碎部から採取した。

(4) 池田断層

池田断層の破碎帯試料は、徳島県池田町馬路における高速道路掘削工事現場から和泉層群ガウジ状破碎部、泥質片岩粘土状カタクレサイト、および白色脈から採取した(長谷川ほか, 1996)。

(5) 三野断層

三野断層の破碎帯試料は、徳島県三野町芝生における高速道路掘削工事現場から和泉層群ガウジ状破碎部、泥質片岩粘土状カタクレサイト、および白色脈から採取した(長谷川ほか, 1996)。

3.3 X線回折法による鉱物組成

伊予断層、池田断層および三野断層の試料については全岩粉末試料を作成し、構成鉱物の概要を把握した。また、石鎚断層および畑野断層については全岩粉末試料と水簸定方位試料を作成し、エチレングリコール処理と塩酸処理によって粘土鉱物の同定を行った。

(1) 伊予断層、池田断層、三野断層

伊予断層、池田断層および三野断層の全岩粉末試料のX線回折チャートを図-2に、鉱物組成を表-1に示す(長谷川ほか, 1996)。

1) 伊予断層

変質鉱物として、スメクタイト、ドロマイト、マグネサイトが大量に生成している。

2) 池田断層

変質鉱物として、ドロマイト、マグネサイトが生成しているが、スメクタイトのピークは認めがたい。脈は、石英、ソウ長石、ドロマイトを主体としている。

3) 三野断層

変質鉱物として、ドロマイト、マグネサイトが生成しているが、スメクタイトの含有量は少ない。脈は、石英、ソウ長石、ドロマイトを主体とし、マグネサイト、緑泥石を伴う。

(2) 石鎚断層および畑野断層

石鎚断層および畑野断層の破碎部の鉱物組成を図-4に示す(田村ほか, 2000)。

1) 石鎚断層

和泉層群および三波川帯泥質片岩を源岩とする中央構造線石鎚断層の破碎部には、スメクタイト、スメクタイト-セリサイト混合層鉱物、緑泥石、トリディマイト、ドロマイト、マグネサイト等が生成されている。ここではセリサイト、スメクタイト、混合層鉱物、トリディマイト、ドロマイトおよびマグネサイトからなる熱水変質帯が貫入岩付近に限って認められる。

2) 畑野断層

和泉層群を源岩とする畑野断層の破碎部は、風化を受けていないボーリングコアでは主としてイライト、石英、長石からなる。これに対して地表付近で得られた試料では長石がほとんど検出されず、長石の風化生成物であるカオリナイトが含まれる。

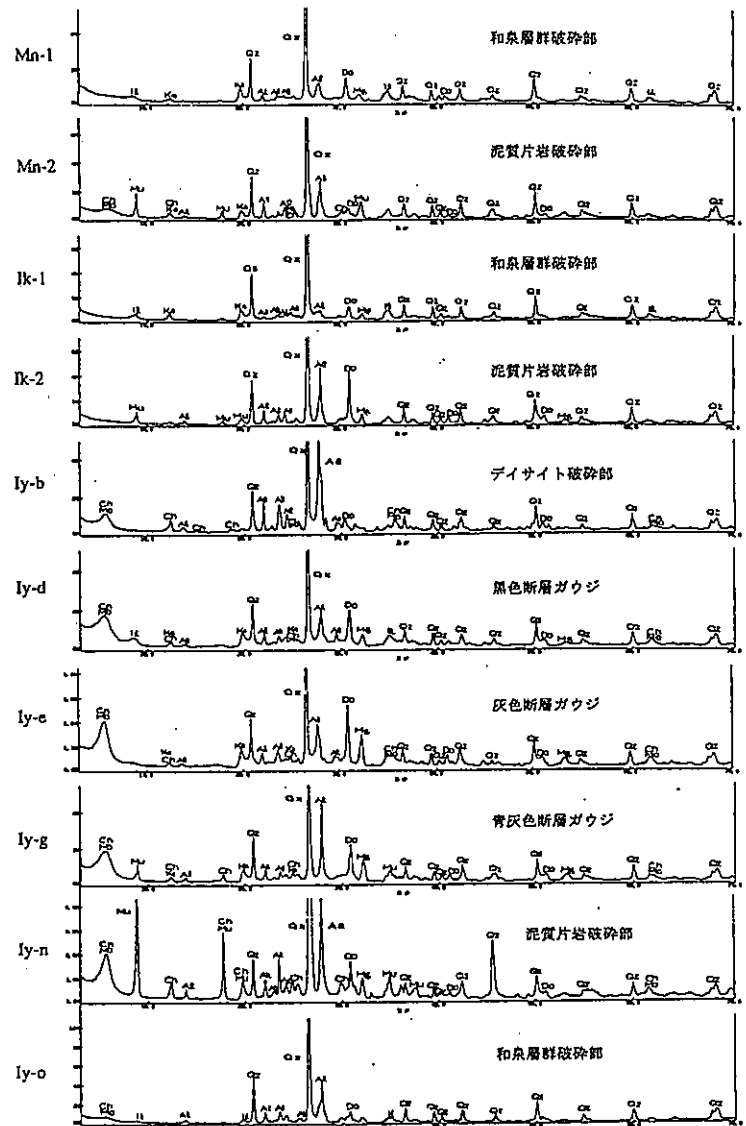
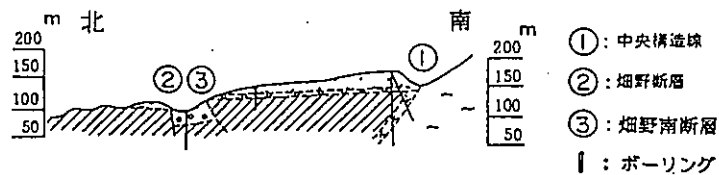


図-2 中央構造線活断層系の断層破碎帯のX線回折チャート(試料番号は表-1参照)(長谷川ほか, 1996)

表一 伊予断層、池田断層および三野断層の全岩粉末試料の鉱物組成 (長谷川ほか, 1996)

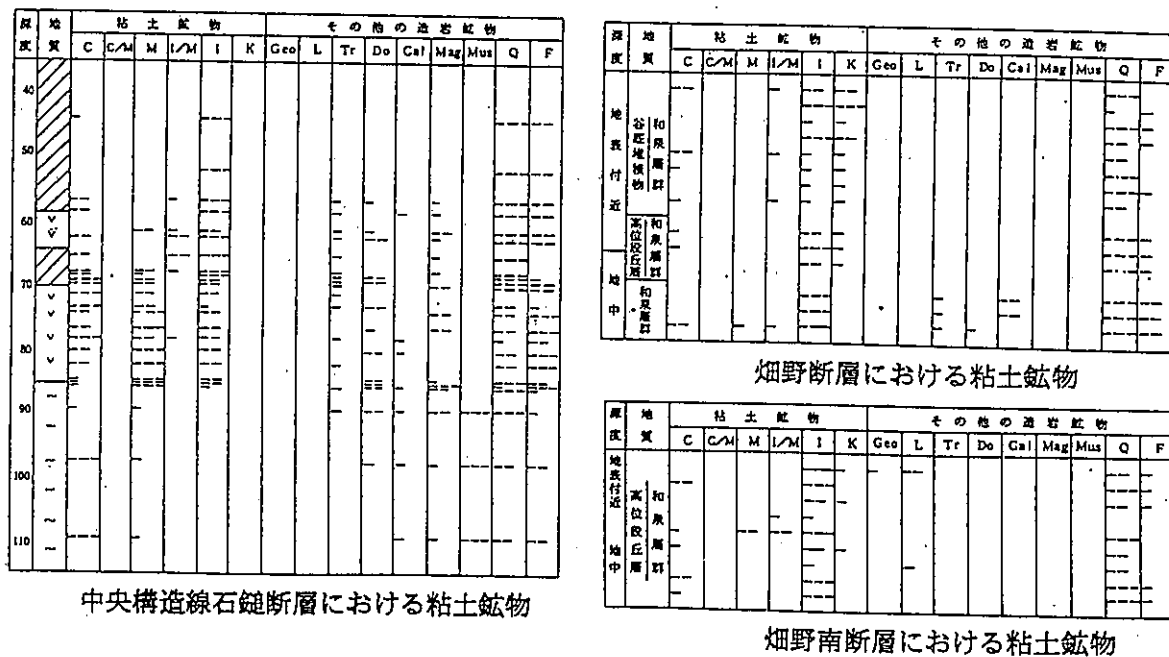
断層名	試料採取地点	試料No.	原岩	色	鉱物組成								
					Qz	Al	Ch	Il	Mu	Ka	Do	Mg	Sm
三野断層	三野町芝生	Mn-1	和泉層群	黒	+++++	++		++		++	++	+	
		Mn-2	泥質片岩	青灰	+++++	+++	+		++	+	+		+
		Mn-3	礫岩	灰	+++++	+++	++		+	+	++++	+	
池田断層	池田町佐野上清	Ik-1	和泉層群	黒灰	+++++	+		++		++	++	+	
		Ik-2	泥質片岩	青灰	+++++	+++			++	+	+++	+	
		Ik-3	礫岩	白	+++++	++			+		++		
伊予断層	双海町高野川	Iy-a	ㄗ付付	緑灰	++++	+++++	+++	+		+	+	+	++
		Iy-b	ㄗ付付	ㄗ-ㄗ 灰	+++++	+++	++			+	+		++
		Iy-c	ㄗ付付	灰	++++	++++	+++				++	+	++
		Iy-d	和泉層群	黒	+++++	+++	+	++		++	+++	++	+++
		Iy-e	ㄗ付付	灰	+++++	+++	+			+	+++	++	+++
		Iy-f	和泉層群	黒	+++++	+++	+	++		+			
		Iy-g	泥質片岩	青灰	+++++	+++	+		++	+	++	+	+++
		Iy-h	ㄗ付付	ㄗ-ㄗ 灰	+++++	++++	++				+		++
		Iy-j	ㄗ付付	灰	+++++	+++	+		+	++	+++	++	+++
		Iy-k	ㄗ付付	灰	++	+++++					++		++
		Iy-n	泥質片岩	青灰	+++++	+++	++		++++		+++	+	+++
		Iy-o	和泉層群	黒褐	+++++	++	+				++		+
Iy-r	和泉層群	灰褐	+++	+++++		+				++++			

(鉱物組成) Qz:石英, Al:曹長石, Ch:緑泥石, Il:イライト, Mu:白雲母, Ka:ㄗ付付, Do:ㄗ付付, Mg:ㄗ付付, Sm:ㄗ付付
 (相対的な量比) +++++:非常に多い, ++++:多い, +++:普通, ++:少ない, +:非常に少ない



南北地質断面図

図一 三 畑野断層・石鎚断層調査地点の地質断面 (田村ほか, 2000)



(鉱物名) C:緑泥石, C/M:緑泥石-スメクタイト混合層鉱物, M:スメクタイト, I/M:イライト(セリサイト)-スメクタイト混合層鉱物, I:イライト(セリサイト), K:カオリナイト, Geo:ゲーサイト, L:レピドクロサイト, Tr:トリデイマイト, Do:ドロマイト, Cal:方解石, Mag:マグネサイト, Mus:白雲母, Q:石英, F:長石

図一 四 X線回折による畑野断層・石鎚断層破碎部の鉱物組成 (田村ほか, 2000)

3. 4 スメクタイトを伴う断層ガウジの生成環境

上述の粘土鉱物組成から、スメクタイトは中新世貫入岩に密接に関係して形成されていることがわかる。

中央構造線石鎚断層破碎部の粘土鉱物には、スメクタイトに伴ってトリディマイト、ドロマイトおよびマグネサイトが形成されていることから、これらの粘土鉱物は流紋岩類の貫入に伴う熱水変質作用により生成されたと推定される。これに対して畑野断層および畑野南断層の断層ガウジの粘土鉱物はイライト、クロライトを主体とし、一部スメクタイトを含んでいるが、トリディマイト、ドロマイトおよびマグネサイトはほとんど認められない。この粘土鉱物組成は、基本的には母岩の和泉層群の破碎と風化によって生成され、貫入に伴う熱水変質をほとんど受けていないことを示している。すなわち、スメクタイトを伴う和泉層群起源の断層ガウジは、流紋岩類の貫入に伴う熱水変質によって形成された可能性が高い。また、スメクタイトを伴う泥質片岩起源の断層ガウジも、流紋岩類の貫入に伴う熱水変質によって形成された可能性がある。

また、四国西部から東部にかけての中央構造線活断層系の断層破碎帯および周辺地域には、貫入岩の有無にかかわらずスメクタイトもしくはスメクタイト/イライト混合層鉱物、スメクタイト/緑泥石混合層鉱物を主体とし、ドロマイト、マグネサイトを伴い熱水変質帯が、広く分布している(長谷川ほか、1996; 長谷川・宮田、2001)。スメクタイトおよび混合層鉱物を主体とする粘土鉱物組み合わせは、変質分帯ではスメクタイト帯に相当し、100°C前後の熱水変質作用を受けたと推定される(吉村、2001)

4. 熱水変質による岩盤劣化と斜面安定

4. 1 高速道路切土法面の事例

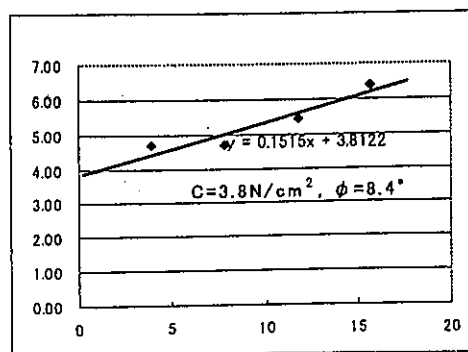
四国縦貫自動車道の建設に伴い、熱水変質粘土に起因する法面崩壊、地すべりが発生した(例えば、矢田部、1999)。

例えば、徳島県土成町高尾の引野断層沿いでは、スメクタイトを含有する破碎帯が弱層となり、規模の大きい地すべりが発生した(山下ほか、1999)。この和泉層群砂岩・泥岩を源岩とする破碎帯には、明瞭な熱水変質帯が認められ、破碎帯の粘土には、スメクタイトないしスメクタイト/イライト混合層鉱物が生成されている。引野断層を含む徳島県域では中央構造線に沿う貫入岩の存在は知られていないが、引野断層の事例は中央構造線に沿って中期中新世に広域の熱水変質があった可能性を示唆している。

また、徳島県鳴門市桧地区における和泉層群からなる切土法面では熱水変質による著しい岩盤劣化が認められる(長谷川・宮田、2001)。粘土脈は縦横に走り、スメクタイト及びスメクタイト/イライト混合層鉱物などの膨潤性粘土鉱物を伴う。粘土脈の産状および鉱物組成により、粘土脈は熱水変質作用で形成された可能性が高い。本法面における最大の粘土脈は、厚さ 6.5cm で、その走向・傾斜は、N40° E, 18° E と、法面に対して流れ目に入っている。また、本粘土脈は、礫をほとんど含まない比較的均質な粘土脈(粘土含有量が 70%) で、X線回折によればイライト、スメクタイト、イライト・スメクタイト混合層鉱物が主体としている。一面せん断試験によれば、 $C=3.8(N/cm^2)$ 、 $\phi=8.4^\circ$ という極端に小さな強度定数が得られた。

スメクタイトを多く含む断層破碎帯の粘性土のせん断抵抗角 ϕ' は 30° 前後と小さく、また残留状態で著しいせん断抵抗角の低下を示す(例えば、矢田部、2000)。さらに、純度の良い熱水変質粘土脈は、10° 未満のせん断抵抗角を持つ場合がある。したがって、四国の中央構造線沿いで発生した大規模な岩盤すべり(長谷川、1992, 1999)の地質的素因としても、中期中新世熱水変質作用は注目される。

密度試験	土粒子の密度 ρ_s g/cm^3	2.54
	液性限界 ω_L %	80.8
	塑性限界 ω_P %	25.52
質性・液性試験	塑性指数 I_p	55.38
	粗礫分 %	0
粒度試験	中礫分 %	0
	細礫分 %	0
	粗砂分 %	7
	細砂分 %	3
	シルト分 %	20
	粘土分 %	70
	2mmふるい通過質量百分率 %	100
	0.425mmふるい通過質量百分率 %	93
	0.075mmふるい通過質量百分率 %	90
	最大粒径 d_{max} mm	2.0
	60%粒径 D_{60} mm	0.0023
	50%粒径 D_{50} mm	0.0012
	30%粒径 D_{30} mm	—
	10%粒径 D_{10} mm	—
均等係数 U_c	—	
曲率係数 U_c	—	
一面せん断試験	強度定数 C N/cm^2	3.8
	せん断抵抗角 ϕ'	8.4



一面せん断試験の実験結果

図一5 鳴門市桧地区の和泉層群切土法面における粘土脈の工学的性質(長谷川・宮田, 2001)

4. 2 熱水作用による岩盤劣化の特徴

熱水変質帯に伴う岩盤劣化には、以下の特徴がある。

(1) 熱水作用による岩盤劣化は、新たな粘土鉱物の生成による変質作用(粘土化)と、熱水の浸透に伴う破碎作用とに区分できる。

(2) 熱水変質作用は、貫入した流紋岩を中心に広がっている。また、貫入岩が分布しない場合にも、顕著な粘土脈にそって粘土化が進行している。また、熱水作用の周辺部には、水酸化鉄による褐色化帯がしばしば形成されている。

(3) 熱水変質帯の岩盤には、不規則な割れ目が形成されている。岩盤すべりによる不規則割れ間が開口しているのに対して、熱水作用による割れ目には粘土脈、白色の充填物、褐色充填物等が形成されている。

(4) 風化作用による岩盤劣化は、地表から進行するのに対して、熱水作用による岩盤劣化は地下から、また岩脈、粘土脈沿いに進行する。このため、地表付近より地下ほど岩盤劣化が進行している場合が多い。

(5) 熱水変質の程度が同じなら、熱水による破碎作用は、透水性の高い砂岩のほうが、透水性の低い泥質岩より顕著である。

(6) 熱水作用では、ある高度(深度)で著しい岩盤劣化を発生させる場合がある。これは、熱水の沸騰による急激な体積膨張による可能性が考えられる。

このような、岩盤劣化は、一見破碎帯の見かけを呈する。しかしながら、この破碎帯は断層破碎帯に特徴的なせん断変形を伴わず、水圧破碎に類似する引張割れ目が発達する。したがって、断層破碎帯とは、成因的には区別されるべきものである。これまで、中央構造線沿いの岩盤劣化は、中央構造線の断層運動によると短絡されていたが、岩盤すべりによる地表部での局所的な破碎(長谷川,1999)と熱水作用による地下深部の破碎と識別する必要がある。また、断層破碎帯も熱水変質によって粘土化が進行している場合もあるため、いわゆる破碎帯の地質学的検討が重要である(木村,1981)。更には、破碎帯地すべりの用語も、熱水変質帯の視点から見直す必要がある。

4. 3 広域的な熱水変質作用の可能性

熱水変質帯は、流紋岩体などの貫入岩近傍だけでなく、貫入岩の分布が認められない地域においても普遍的に分布している。また、熱水変質作用は、中央構造線沿いに限定されるのではなく、その北側の和泉層群分布域およびその南側の三波川変成岩類分布域に広く認められる。これらの地域には、鮮新世および第四紀の火成活動ないものの、中期中新世の流紋岩体などが点在するので、広域的な熱水変質作用は中期中新世の火成活動時に形成された可能性が高い。四国内には以下のような熱水変質の事例がある(長谷川ほか,2001)。

(1) 讃岐山脈東部の和泉層群

徳島県板野町大坂付近の和泉層群砂岩頁岩互層には、節理面沿いに白色の粉が形成されている。この粉は、石英、アルバイト、イライト、緑泥石からなり、150°Cより高温の熱水変質作用によって形成された可能性が高い。このような切土法面では、小規模な法面崩壊が発生した。

(2) 三波川帯

徳島県神山町兎籠野では、泥質片岩からなる破碎帯の粘土中に10-20%のス멕タイトが形成され、掘削基盤面が隆起した(田村ほか,2001)。また、付近の同じ破碎帯を対象とした国道切土法面は、工事中に法面崩壊を繰り返した。熱水変質帯は規模の大きな断層沿いに認められる。

(3) 御荷鉾緑色岩類

四国中央部の上八川一池川構造線の背斜軸部に沿って、14Maの流紋岩等が東西方向に分布している(梅原ほか,1991)。その延長線上の御荷鉾緑色岩類分布域は四国有数の地すべり地帯である。母岩の特性とともに、ス멕タイトに富む熱水変質帯が、地すべりの素因になった可能性がある。

(4) 秩父帯

上韮生川断層の破碎帯中には中央構造線沿いの貫入岩に特徴的なドロマイト・マグネサイト脈が形成されている。さらに、秩父帯中においても、粘土化の著しい熱水変質帯が岩盤すべりやトンネル変状の原因になっているところがある。

5. 四国の地質現象の黒幕としても中期中新世火成作用

5. 1 中期中新世珪長質火成岩体の存在

四国、特に外帯には、14Maの花崗岩体が伏在している可能性が高い。これは、以下の事実から推論できる(長谷川・澤田,1999,2001)。

(1) 地質分布: 四国には、内帯、外帯を問わず、中期中新世珪長質火成岩体が点在しており、これらの放射年代は約13-15Maで、14Ma前後に集中している(高橋,1999など)。

(2) 地震波トモグラフィ: Zhao et al. (1999) の地震波トモグラフィによれば、深度0~18km 断面において、足摺岬、室戸岬、潮岬の半島部でP波速度の速い岩体が南北方向に分布する。これらは、地下に潜在する中新世花崗岩体を暗示している。

(3) 微小地震活動: 中村ほか (1997) の微小地震データによれば、地表の地質分布、地震波トモグラフィから14Ma 花崗岩が推定される地域の地震活動は低調である。これは、四国西部で特に顕著である。

(4) 熱水鉱床: 四国の外帯には、中新世の火成活動によって形成された可能性のある水銀とアンチモンの浅熱水鉱脈が分布している (渡辺ほか, 1973)。また、岩体の貫入に伴う熱水活動による厚い石英脈も報告されている (坂口, 1996)。

(5) 熱変成作用: 中期中新世と推定される高温流体による熱変成作用が、火成岩体から離れた三波川帯に認められる (榊原ほか, 1993 など)。

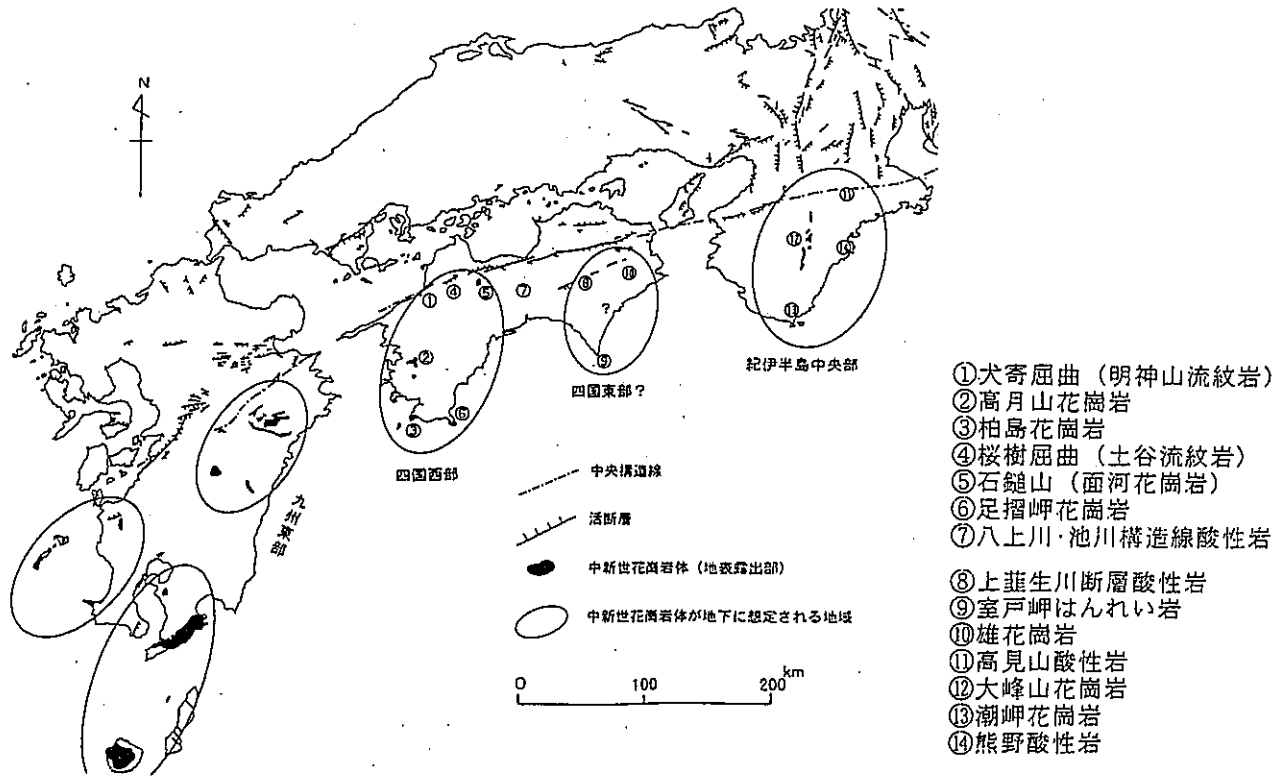


図-6 西南日本外帯に伏在する中新世中期の花崗岩体と活断層との関係 (長谷川・澤田, 2000)

5. 2 中期中新世珪長質火成作用と応用地質

四国では帯状に地質帯が配列しているが、地下に中新世花崗岩体が伏在していると仮定すると、様々な地質現象が理解しやすくなる。

(1) 大地形: 西南日本外帯の大地形は、特に南北性の半島の分布形態とそれぞれの最高峰は中期中新世の花崗岩と密接な関係があることは、既に木村 (1985) によって指摘されている。外帯の大地形は、地下伏在する軽い花崗岩体が隆起して形成された可能性がある。また、これは第四紀になって四国山地が急速に隆起したモデルを支持しない。

(2) 活断層の分布: 西南日本では、中央構造線に平行する東西方向の帯状構造が顕著で、その境界には東西方向の断層が分布するにもかかわらず、これらの断層が活断層でないのは、その地下に広く断層の発達が未熟な中期中新世花崗岩が分布している地下構造によって説明できる。また、南海トラフと中央構造線間の地殻強度が大きな原因も剛性の大きな花崗岩体の存在で説明できる。

(3) 南海地震の活動区: 西南日本外帯における半島の地形配置と南海トラフの地震発生区が対応するのは、陸側の花崗岩体がバリアとして働いているためかもしれない。

(4) 地殻熱流量と温泉: 紀伊半島などの外帯に高い地温勾配が高く、泉温の高い温泉がある原因として、中期中新世花崗岩体の潜熱が考えられる。この潜熱は、半島が大きいくらい大きいようである。

(5) 斜面変動: 中新世珪長質火成活動は、隆起による四国山地の原型を構築することにより斜面変動の場 (地形的素因) を提供するとともに、熱水変質作用による岩盤劣化により斜面変動の地質的素因を提供した可能性が高い。すなわち、熱水変質による粘土脈が地すべりの犯人とすると、中期中新世の熱水変質作用は犯罪組織、そして地下に伏在する花崗岩体はその黒幕といえるだろう。

6. まとめ

- (1) 四国の中央構造線沿いには、中期中新世火成活動に伴う熱水変質帯が形成されており、地すべりの素因となっている。
- (2) 同様の熱水変質作用は、中央構造線付近だけでなく、地質帯を問わず広く四国地方に存在する可能性が高く、地すべりの素因として注目される。
- (3) 広域的な熱水変質作用は、四国の地下に伏在する中期中新世花崗岩体に由来する可能性がある。

謝辞：愛媛大学工学部八木則男教授には、長年にわたりご指導、ご議論いただきました。また、同矢田部龍一教授には、論文発表の機会を与えていただいた。心から感謝申し上げます。

<参考文献>

- 1) 長谷川修一(1992):讃岐山脈南麓における中央構造線沿いの大規模岩盤すべりと第四紀断層運動, 地質学論集, (40), 143-170.
- 2) 長谷川修一(1999):中央構造線沿いの大規模地すべり—その特徴と地盤工学上の問題点—, 地盤工学会誌, 47(2), 21-24, 1999.
- 3) 長谷川修一・鶴田聖子・金山清一・大野裕記・澤田臣啓(1996):X線粉末回折法による中央構造線活断層系の断層ガウジの源岩判定方法, 四国電力・四国総合研究所研究期報, (67), 37-42.
- 4) 長谷川修一・澤田臣啓(2000):変動帯における安定岩体としての中期中新世花崗岩, 土木学会第55回年次学術講演会講演概要集.
- 5) 長谷川修一・田村栄治・大野裕記, スメクタイトを伴い破碎帯と伴わない破碎帯, 第36回地盤工学研究発表会講演概要集, 14-42.
- 6) 長谷川修一・田村栄治・大野裕記・鶴田聖子(2001), 四国の中央構造線沿いの中期中新世熱水変質作用, 日本応用地質学会中国四国支部平成13年度研究発表会論文集, 7-12.
- 7) 木村敏雄(1981):断層、特に断層破碎帯の見方, 考え方, 応用地質, 22(1)4-16.
- 8) 木村敏雄(1985):日本列島—その形成に至るまで—(III下), 古今書院, 1715-2155.
- 9) 中村正夫・渡辺晃・許斐直・木村昌三・三浦勝美(1997):西南日本外帯における地殻下地震の活動特性, 京都大学防災研究所年報, (40)B-1, 1-20.
- 10) 坂口有人(1996):, 応用石炭組織学会論文集, 15, 31-38.
- 11) 梶原正幸・小松正幸・高橋美千代・小山内康人・板谷徹丸(1993):四国西部三波川帯における中期中新世の熱変成作用, 地質学論集, (42), 603-604.
- 12) 高橋正樹(1999):中新世西南日本外帯の大規模珪長質マグマ活動—熱い海洋リソスフェアの沈み込みによるパルス的な大陸地殻の形成か?—, 月刊地球号外, (23), 160-168.
- 13) 田村栄治・長谷川修一(2000)中央構造線活断層系石鍬断層と畑野断層の粘土鉱物組成, (社)地盤工学会四国支部平成12年度技術研究発表会概要集, 89-90, 2000.
- 14) 田村栄治・川邊敏弘・岩原廣彦・大野裕記・久保慶徳(2001)泥質片岩破碎帯に設置された基礎の隆起原因, 第36回地盤工学研究発表会講演概要集, 89-90, 2000.
- 15) 田崎耕市・加々美寛雄・板谷徹丸・永尾隆志(1993):四国北西部の中央構造線に沿う酸性火山岩の起源とK-Ar年代, 地質学論集, (42), 267-278.
- 16) 梅原直道・板谷徹丸・吉倉紳一(1991):上八川—池川構造線に沿う珪長質火成岩類のK-Ar年代, 岩鉱, 86, 299-304.
- 17) 歌田実(1995):地下深部における岩石の変質, 放射性廃棄物と地質科学—地層処分の現状と課題—, 東京大学出版会, 226-308.
- 18) 渡辺武男・沢村武雄・宮久三千年(1973):日本地方鉱床史「四国地方」, 朝倉書店,
- 19) 八木則男・矢田部龍一・榎明潔(1989):土質工学よりみた四国の地すべり, 土質工学会四国支部支部創立30周年記念出版「30年のあゆみ」, 44-61.
- 20) 山下秀信・江上浩・徳増育男・中村晃一・田村栄治・小笠原誠・長谷川修一(1999), 高速道路法面に発生した和泉層群地すべりの発生要因と対策, 「斜面崩壊と地すべりの諸問題」シンポジウム論文集, (社)地盤工学会四国支部, 161-172.
- 21) 矢田部龍一(1999):四国の地すべり粘生土の強度特性, 地盤工学会四国支部40周年記念論文「四国の地すべり」, 115-134.
- 22) 吉村尚久編著(2001):粘土鉱物と変質作用. 地学団体研究会, 293p.
- 23) Zhao D., A. Hasegawa and A. Yamamoto(1999): Evidence for the location and cause of large crustal earthquakes in Japan. J. Geophys. Res.

Abstract: This paper describes the geological characteristics and mineral composition of fracture zone materials of the MTL, and then it discusses the hydrothermal origin of the smectite. The Middle Miocene hydrothermal alteration has produced smectite and smectite bearing mixed-layer minerals in bedrocks as fault gouges or clay veins and become a geological factor to cause the landslides