■四国中央部の三波川, 御荷鉾及び秩父帯に産する粘土鉱物について—善徳, 怒田・八畝, 蔭, 西の谷地すべり及び桧山トンネルより得られたボーリングコアの分析結果—

Clay minerals formed in Sanbagawa, Mikabu and Chichibu belts, central Shikoku Island—Clay minerals in drilled cores from Zentoku, Nuta/Youne, Kage and Nishinotani landslide areas and Hinoki tunnel—

広島大学大学院理学研究科 (現)東北大学大学院理学研究科 広島大学大学院理学研究科 (現)千葉科学大学/地下まゆみ
 /宮原正明 Graduate School of Science, Hiroshima University Faculty of Risk and Crisis Management Chiba Institute of Science
 Graduate School of Science, Tohoku University /Mayumi JIGE
 /Masaaki MIYAHARA

広島大学大学院理学研究科 (現)東広島市役所/宇野洋平 広島大学大学院理学研究科/北川隆司
 Graduate School of Science, Hiroshima University Graduate School of Science, Hiroshima University
 Higashi-Hiroshima City office, Hiroshima Prefecture /Ryuji KITAGAWA
 /Yohei UNO

広島大学大学院理学研究科/末峯宏一 愛媛大学工学部環境建設工学科/矢田部龍一
 Graduate School of Science, Hiroshima University Department of Civil and Environmental Engineering,
 /Koichi SUEMINE Faculty of Engineering, Ehime University/Ryuichi YATABE

キーワード：三波川帯, 粘土鉱物, 御荷鉾帯, 秩父帯, 四国中央部

Key words : Sanbagawa belt, clay minerals, Mikabu belt, Chichibu belt, central Shikoku Island

1. はじめに

四国中央部には結晶片岩が広く分布しており, 我が国
 有数の地すべり多発地帯となっている。また, 日本海側
 を中心に位置する第三紀層分布地域も地すべりの多発地
 帯である。地すべり発生の素因の1つとして粘土鉱物,
 特に膨潤性粘土鉱物の存在が挙げられる。特に第三紀層
 分布地域に生成する粘土鉱物が地すべり発生の引きがね
 になるとする調査・研究は以前よりなされている (例え
 ば守随, 1984a, b; 守随・中村, 1986; 川原谷ら, 1999)。

しかし, 結晶片岩分布地域に発生する地すべりにどの
 ような粘土鉱物が生成しているのかは, 一部地域を除い
 てあまり研究されていない (高谷, 1978; 金原・藤井,
 1981)。四国中央部の地質構造は北から南に向かって三
 波川帯, 御荷鉾帯そして秩父帯に分帯されている。我々
 はこれらの各構造帯から得られたボーリングコア中に生
 成している粘土鉱物種をこれまで調べてきた (宇野ら,
 2002; 宮原ら, 2002; 宮原ら, 2003; Miyahara, 2004)。
 本報告はそれらの結果をまとめたものである。なお, ボー
 リングコアを採取したのは善徳地すべり (三波川帯),
 怒田・八畝地すべり, 蔭地すべり及び桧山トンネル (御
 荷鉾帯) 及び西の谷地すべり (秩父帯) である (図-1)。

図-1 四国の地質構造帯と試料採取地点 (Takeda, 1984に
 加筆)

2. 調査地の地質概要と分析試料

2.1 三波川帯

2.1.1 善徳地すべり

善徳地すべりは徳島県三好郡西祖谷山村に位置し, 祖
 谷川の北側の善徳地区, 南側の今久保地区より構成され
 ている (図-2)。善徳地区の地すべりの最大斜面長は
 900m, 幅2,000m, 平均斜面勾配27°で, 地すべり防止
 区域面積は220.9haに達する (建設省四国地方建設局,
 1998)。善徳地すべりは水持ちが悪く, 殆どが畑又は林

図-2 善徳地すべりと試料を採取したボーリング地点 (国土地理院発行の2.5万分の1地形図(大歩危)に加筆)

業地として利用されている。

善徳地すべりは三波川帯の南縁域に属している。善徳地すべりを含む周辺地域は、曹長石の点紋状斑晶をもたない無点紋帯であり、三波川帯の中では低い変成度の地域である。

試料はBV9-1 (L=53.0m) 及びBV9-5 (L=75.0m) 孔のボーリングコアより採取した (図-2)。BV9-1 及びBV9-5 は主に泥質片岩で構成され、片理に沿って破碎されている。破碎された泥質片岩は灰色或は黄褐色の砂状となっており、これらを分析試料として採取した。

2.2 御荷鉾帯

2.2.1 怒田・八畝地すべり

怒田・八畝地すべりは高知県長岡郡大豊町怒田地先に位置し、吉野川右支川の南小川の左支川である南大王川を挟んで、左岸側の立野と八畝地区、右岸側の怒田地区よりなる。怒田・八畝地すべりは明瞭な地すべり地形を呈し、水田として広く利用されている (図-3)。怒田地区の地すべりの最大斜面長は1,000m, 幅2,00m, 平均斜面勾配20°である。地すべり防止区域面積は410.8haに達し、我が国有数の地すべりである (建設省四国地方建設局, 1998)。

地質は大部分が御荷鉾緑色岩類で、一部三波川結晶片岩類より構成されている。怒田・八畝地すべりの御荷鉾緑色岩類は塩基性溶岩・凝灰岩ないし玄武岩質枕状溶岩を起源とする変成岩である。

試料は怒田地区のNS-39 (L=64.0m) 及び八畝地区

図-3 怒田・八畝地すべりと試料を採取したボーリング地点 (国土地理院発行の2.5万分の1地形図 (東土居) に加筆)

図-4 蔭地すべりと試料を採取したボーリング地点 (林野庁発行の森林基本図に加筆)

のY2-31 (L=105.0m) 孔のボーリングコアから採取した (図-3)。NS-39及びY2-31は共に塊状の御荷鉾緑色岩類から構成されている。大部分の御荷鉾緑色岩類は緑灰色の礫混じり粘土になっており、分析試料はこのような部分を主に採取した。

2.2.2 蔭地すべり

蔭地すべりは高知県長岡郡大豊町の南小川左岸にあたる山腹斜面に発生しており、主に水田として利用されている (図-4)。地すべりの最大斜面長は1,500m, 幅1,000m, 平均斜面勾配は20°である。地すべり防止区域面積は73.0haである (讃岐・島崎, 2000)。地質は大部

図－5 桧生トンネルと試料を採取したボーリング地点（笠松ら, 2001に加筆）

分が塩基性溶岩・凝灰岩ないし玄武岩質枕状溶岩を起源とする御荷鉾緑色岩類である。

試料はBV11-1 (L=100.0m) 及びBV12-1 (L=118.0m) 孔のボーリングコアから採取した。BV11-1 及びBV12-1 は共に御荷鉾緑色岩類から構成されるが、僅かな泥質片岩を伴っている。分析試料は緑灰色或いは褐色の礫混じり粘土化した御荷鉾緑色岩類及び灰色砂状化した泥質片岩を採取した。

2.2.3 桧生トンネル

桧生トンネル（高知自動車道）は高知県長岡郡大豊町梅ノ本に位置し、地質的には三波川帯と御荷鉾帯にまたがっている。桧生トンネルは平成10年より北側の三波川帯側から掘削を進めており、三波川帯の泥質片岩分布域では特に問題は発生しなかった。しかし、断層破砕帯を境として御荷鉾緑色岩類が切羽に現れてからは、膨張性を示す大きな変位やロックボルトの破断など坑内に変状が発生した（日本道路公団四国支社, 1999）。

試料は変状発生後に地山調査の為STA.27+70, STA.27+90及びSTA.28+19で行われた水平ボーリング孔より採取した（図－5）。試料は全て御荷鉾緑色岩類であり、大部分は緑灰色の礫混じり粘土となっている。

2.3 秩父帯

2.3.1 西の谷地すべり

西の谷地すべりは愛媛県上浮穴郡柳谷村中津の仁淀川左岸に位置する（図－6）。西の谷地すべりの平均斜面勾配は20°, 地すべり防止区域面積は107.4haで、主に水田として利用されている（地すべり学会関西支部, 1988）。

西の谷地すべりは秩父帯北帯に属し、砂岩・粘板岩～千枚岩互層、砂岩、千枚岩、チャート、石灰岩、含礫泥質岩及び緑色岩からなる先白亜系が分布している。

試料はⅡ-1 (L=40.0m), Ⅱ-2 (L=60.0m), Ⅱ-3 (L=67.0m), Ⅱa-4 (L=38.0m), Ⅱc-4 (L=66.0m), Ⅱd-6 (L=64.0m), Ⅱe-3 (L=30.0m),

図－6 西の谷地すべりと試料を採取したボーリング地点（林野庁発行の森林基本図に加筆）

Ⅲ-5 (L=28.0m), Ⅲ-6 (L=52.0m), Ⅱj-1 (L=75.0m), Ⅱj-2 (L=70.0m), Ⅳ-1 (L=60.0m), Ⅳa-1 (L=60.0m), BV-2 (L=65.0m) 及びBV-3 (L=33.0m) 孔のボーリングコアから採取した。これらのボーリングコアは主として緑色岩と粘板岩より構成され、一部が砂岩、チャート及び石灰岩である。分析試料は緑灰色の礫混じり粘土化した緑色岩と灰色の砂～シルト化した粘板岩を主に採取した。

3. 分析方法

採取した試料はまず恒温装置内 ($t=35^{\circ}\text{C}$) で24時間乾燥した。試料の一部を振動ミルで破碎して粉末状にし、これを円形アルミホルダーに充填したものを不定方位試料とし、粉末X線回折法 (XRD) により構成鉱物を同定した。また、試料中に含まれる粘土鉱物を同定するために水中沈降法により粘土粒子 ($2\mu\text{m}>$) を分離し、こ

れをスライドガラスに塗布して定方位試料とした。粘土鉱物の同定にはエチレングリコール処理だけでなく、グリコール処理、陽イオン飽和処理、塩酸処理及び加熱処理も合わせて行った。X線回折計はMAC Science社のM18XHFを使用し、CuK α 線（40kV, 100mA）により、回折速度2-4°/minで行った。

同定した粘土鉱物の典型的な判断例を以下に示す。

未処理のX線分析では14.2Å, 9.9Å, 7.1Å, 5.0Å, 3.5Å, 3.3Åにピークが認められる。また28~30Åにもブロードな反射が見られる。エチレングリコール処理により14.2Å反射は一部が17.0Åに移動した。Mgグリコール処理ではほとんど反射に変化が認められない。KCL処理では14.2Åのピークの一部が12.3Åに移動し、8.2Åに新たにピークが出現した。1時間500℃過熱処理では14.2Åのピークの一部が11.7Åに移動した。9.9Å, 5.0Å, 3.3Å反射はいずれの処理でも変化が認められなかった。この処理結果から、いずれの処理でも変化が認められない14.2Å, 7.1Å, 3.5Å反射は緑泥石の反射に相当している。また、同じく変化の認められなかった9.9Å, 5.0Å, 3.3Å反射はイライトの反射に相当している。14.2Å反射の一部が17.0Åに移動していることからスメクタイトの存在が認められた。14.2Åの反射の一部がKCL処理により12.3Åに移動し8.2Åに反射が現れたこと、および28~30Å反射の存在から判断して、緑泥石/パーミキュライト混合層鉱物の存在が推定される。また、未処理で28.5Å, 14.1Å, 7.1Å, 4.7Å, 3.5Å, 2.8Å反射が認められる試料では、Mg処理ではほとんど変化がなく、500℃過熱処理では14.1Åは12.1Åに移動し、7.1Åは7.7Åに移動した。このことから緑泥石とスメクタイトの規則型混合層鉱物、いわゆるコーレンサイトの存在が推定された。

4. 結果

4.1 三波川帯

善徳地すべりのボーリングコアより得られた泥質片岩の主要造岩鉱物は石英、曹長石、白雲母及び緑泥石である。粘土鉱物としては、ほぼ全ての試料にイライトと緑泥石が含まれている（表-1、図-7a）。イライトと緑泥石はもともと泥質片岩中に含まれている鉱物である。一部の試料には変化が那賀スメクタイト、タルク或いは蛇紋石が認められた（図-7b）。スメクタイトはBV9

表-1 善徳地すべり

孔番	深度 (m)	岩相	構成粘土鉱物					孔番	深度 (m)	岩相	構成粘土鉱物				
			sm	chl	ill	ta	ser				sm	chl	ill	ta	ser
BV9-1	4.25	Ps	++	+	+	++	+	10.40	Ps	n.d.	n.d.	+++	n.d.	n.d.	
	6.65	Ps	+++	+	+	+	+	12.85	Ps	n.d.	n.d.	+++	n.d.	n.d.	
	8.70	Ps	n.d.	+	+++	n.d.	n.d.	16.10	Ps	n.d.	++	+++	n.d.	n.d.	
	9.25	Ps	n.d.	+	+++	n.d.	++	23.80	Ps	n.d.	++	+++	n.d.	n.d.	
	10.70	Ps	n.d.	+	+++	+	++	33.60	Ps	n.d.	++	+++	n.d.	n.d.	
	11.20	Ps	n.d.	+	+++	+	++	48.80	Ps	n.d.	++	+++	n.d.	n.d.	
	11.90	Ps	n.d.	+	+	++	+++	51.20	Ps	n.d.	++	+++	n.d.	n.d.	
	13.85	Ps	n.d.	+	++	++	++	54.90	Ps	n.d.	++	+++	n.d.	n.d.	
	14.30	Ps	n.d.	+	+++	++	++	55.10	Ps	n.d.	++	+++	n.d.	n.d.	
	15.30	Ps	n.d.	+	++	++	+++	55.50	Ps	n.d.	++	+++	n.d.	n.d.	
	16.95	Ps	n.d.	+	++	+++	++	56.80	Ps	n.d.	++	+++	n.d.	n.d.	
	17.40	Ps	n.d.	+	+++	+	n.d.	58.70	Ps	n.d.	++	+++	n.d.	n.d.	
	18.40	Ps	++	+	++	++	n.d.	59.30	Ps	n.d.	++	+++	n.d.	n.d.	
	18.80	Ps	++	+	++	++	n.d.	59.90	Ps	n.d.	++	+++	n.d.	n.d.	
	19.05	Ps	n.d.	++	+++	++	n.d.	60.20	Ps	n.d.	++	+++	n.d.	n.d.	
	19.60	Ps	n.d.	++	+++	++	n.d.	60.80	Ps	n.d.	++	+++	n.d.	n.d.	
	20.15	Ps	++	++	++	++	n.d.	61.00	Ps	n.d.	++	+++	n.d.	n.d.	
	21.15	Ps	n.d.	++	++	+++	n.d.	63.50	Ps	n.d.	++	+++	n.d.	n.d.	
	21.85	Ps	++	++	++	+++	n.d.	63.80	Ps	n.d.	++	+++	n.d.	n.d.	
	22.40	Ps	n.d.	+	+++	n.d.	n.d.	64.10	Ps	n.d.	++	+++	n.d.	n.d.	
	23.20	Ps	n.d.	+	+++	n.d.	n.d.	64.50	Ps	n.d.	++	+++	n.d.	n.d.	
	23.75	Ps	n.d.	+	+++	+	n.d.	64.90	Ps	++	++	+++	n.d.	n.d.	
	24.10	Ps	n.d.	+	+++	n.d.	n.d.	65.10	Ps	+	++	+++	n.d.	n.d.	
	24.80	Ps	n.d.	+	+++	n.d.	n.d.	65.50	Ps	n.d.	++	+++	n.d.	n.d.	
	27.90	Ps	n.d.	+	+++	n.d.	n.d.								
	28.25	Ps	n.d.	+	+++	n.d.	n.d.								
	28.50	Ps	n.d.	+	+++	n.d.	n.d.								
	28.85	Ps	n.d.	+	+++	n.d.	n.d.								
	29.25	Ps	n.d.	+	+++	n.d.	n.d.								
	29.60	Ps	n.d.	+	+++	n.d.	n.d.								
	29.85	Ps	n.d.	+	+++	n.d.	n.d.								
	30.90	Ps	n.d.	+	+++	n.d.	n.d.								
	32.65	Ps	n.d.	+	+++	n.d.	n.d.								
	35.50	Ps	n.d.	+	+++	n.d.	n.d.								
	38.80	Ps	n.d.	+	+++	n.d.	n.d.								
	39.45	Ss	n.d.	+++	n.d.	n.d.	n.d.								

* 構成粘土鉱物の省略記号はFig. 7を参照。岩相: Ps = 泥質片岩; Ss = 砂質片岩。

多い+++ > ++ > + 少ない, n.d. = 検出されず

表-2 怒田・八畝地すべり

孔番	深度 (m)	岩相	構成粘土鉱物				孔番	深度 (m)	岩相	構成粘土鉱物				孔番	深度 (m)	岩相	構成粘土鉱物				孔番	深度 (m)	岩相	構成粘土鉱物			
			sm	co	chl	c-v				sm	co	chl	c-v				sm	co	chl	c-v				sm	co	chl	c-v
Y2-31	9.80	Gr	++	n.d.	++	+++	33.65	Gr	n.d.	n.d.	+++	n.d.	54.90	Gr	++	n.d.	+++	n.d.	15.10	Gr	+	n.d.	+++	n.d.			
	12.45	Gr	+	n.d.	++	++	33.98	Gr	+	n.d.	+++	n.d.	55.10	Gr	++	n.d.	+++	n.d.	16.80	Gr	+	n.d.	+++	n.d.			
	12.70	Gr	+	n.d.	+++	n.d.	34.40	Gr	n.d.	n.d.	+++	n.d.	56.90	Gr	+	+	+++	n.d.	17.20	Gr	n.d.	n.d.	+++	n.d.			
	13.15	Gr	+	n.d.	+++	n.d.	34.65	Gr	++	n.d.	+++	n.d.	58.80	Gr	++	n.d.	+++	n.d.	20.70	Gr	+	n.d.	+++	n.d.			
	13.95	Gr	+	n.d.	+++	n.d.	35.00	Gr	+	n.d.	+++	n.d.	60.40	Gr	n.d.	n.d.	+++	n.d.	22.40	Gr	+	n.d.	+++	n.d.			
	14.95	Gr	+	n.d.	+++	+	35.35	Gr	+++	n.d.	++	n.d.	61.50	Gr	++	+	+++	n.d.	22.60	Gr	n.d.	n.d.	+++	n.d.			
	16.65	Gr	n.d.	n.d.	+++	n.d.	35.50	Gr	++	n.d.	+++	n.d.	64.50	Gr	+	+	+++	n.d.	25.10	Gr	n.d.	n.d.	+++	n.d.			
	18.05	Gr	++	n.d.	++	++	48.65	Gr	++	n.d.	+++	n.d.	65.50	Gr	+	+	+++	n.d.	25.90	Gr	n.d.	n.d.	+++	n.d.			
	19.70	Gr	n.d.	n.d.	+++	n.d.	49.30	Gr	+	n.d.	+++	n.d.	67.65	Gr	+	n.d.	+++	n.d.	29.80	Gr	n.d.	n.d.	+++	n.d.			
	19.90	Gr	n.d.	n.d.	+++	n.d.	49.70	Gr	+	n.d.	+++	n.d.	70.40	Gr	++	+	+++	n.d.	37.00	Gr	n.d.	n.d.	+++	n.d.			
	20.50	Gr	+	n.d.	+++	+	49.90	Gr	+	n.d.	+++	n.d.	72.20	Gr	++	+	+++	n.d.	42.90	Gr	n.d.	n.d.	+++	n.d.			
	21.90	Gr	+	n.d.	+++	+	50.10	Gr	+	n.d.	+++	n.d.	74.15	Gr	n.d.	n.d.	+++	n.d.	43.40	Gr	n.d.	n.d.	+++	n.d.			
	22.90	Gr	n.d.	n.d.	+++	n.d.	50.50	Gr	+	n.d.	+++	n.d.	76.45	Gr	+	+	+++	n.d.	48.80	Gr	+	n.d.	+++	n.d.			
	23.30	Gr	n.d.	n.d.	+++	n.d.	51.20	Gr	++	+	+++	n.d.	79.55	Gr	+	+	+++	n.d.	49.30	Gr	+	n.d.	+++	n.d.			
	24.60	Gr	+	n.d.	+++	n.d.	51.30	Gr	++	n.d.	+++	n.d.	81.30	Gr	+	n.d.	+++	n.d.	51.10	Gr	+	+	+++	n.d.			
	25.50	Gr	n.d.	n.d.	+++	n.d.	51.70	Gr	++	n.d.	+++	n.d.	92.20	Gr	+	+	+++	n.d.	56.90	Gr	+	n.d.	+++	n.d.			
	26.35	Gr	+	n.d.	+++	+	52.10	Gr	++	n.d.	+++	n.d.	95.60	Gr	+	+	+++	n.d.	59.70	Gr	+	+	+++	n.d.			
	27.00	Gr	+	n.d.	+++	+	52.20	Gr	+	n.d.	+++	n.d.						60.30	Gr	+	+	+++	n.d.				
	27.20	Gr	+	n.d.	+++	n.d.	52.53	Gr	+	n.d.	+++	n.d.						60.80	Gr	+	+	+++	n.d.				
28.95	Gr	n.d.	n.d.	+++	n.d.	52.60	Gr	+++	+	+++	n.d.						61.70	Gr	+	n.d.	+++	n.d.					
29.90	Gr	n.d.	n.d.	+++	n.d.	53.10	Gr	++	n.d.	+++	n.d.						62.00	Gr	+	n.d.	+++	n.d.					
30.80	Gr	+	n.d.	+++	n.d.	53.20	Gr	+	n.d.	+++	n.d.						62.40	Gr	+	n.d.	+++	n.d.					
31.70	Gr	++	n.d.	+++	n.d.	53.40	Gr	+	n.d.	+++	n.d.						62.50	Gr	+	n.d.	+++	n.d.					
32.15	Gr	++	n.d.	+++	n.d.	53.45	Gr	+	n.d.	+++	n.d.						63.00	Gr	+	n.d.	+++	n.d.					
32.40	Gr	+	n.d.	+++	n.d.	53.70	Gr	+	n.d.	+++	n.d.						63.50	Gr	+	+	+++	n.d.					
32.55	Gr	++	n.d.	+++	n.d.	53.80	Gr	++	n.d.	+++	n.d.						63.90	Gr	+	n.d.	+++	n.d.					
32.80	Gr	++	n.d.	+++	n.d.	54.15	Gr	+	n.d.	+++	n.d.																
33.15	Gr	++	n.d.	+++	n.d.	54.50	Gr	n.d.	n.d.	+++	n.d.																
33.40	Gr	++	n.d.	+++	n.d.	54.60	Gr	+	n.d.	+++	n.d.																

* 構成粘土鉱物の省略記号はFig. 7を参照。岩相: Gr = 緑色岩。

多い+++ > ++ > + 少ない, n.d. = 検出されず

図-7 各調査地のボーリングコアに認められた粘土鉱物の代表的な粉末X線回折パターン (定方位試料)。
a), b) 善徳地すべり, c), d) 怒田・八畝地すべり, e) 蔭地すべり, f) 桧生トンネル, g), h) 西の谷地すべり。UT=無処理, EG=エチレングリコール処理, chl=緑泥石, sm=スメクタイト, co=コレンサイト, c-v=緑泥石/バーミキュライト混合層鉱物, ill=イライト, ta=タルク, ser=蛇紋岩, ac=アクチノ閃石

- 1 孔では地表から深度約22mまでの範囲, BV 9 - 5 孔では深度64.9mと65.1mに生成していた。

4.2 御荷鉾帯

怒田・八畝地すべりのボーリングコアより採取した御

荷鉾緑色岩類は主に緑泥石, アクチノ閃石及び単斜輝石より構成され, 他に曹長石, スチルプノメレン, スフェーン, 方解石或は石英を伴うこともある。粘土鉱物としては緑泥石とスメクタイト, そして緑泥石とスメクタイト

表-3 蔭地すべり

孔番	深度 (m)	岩相	構成粘土鉱物					孔番	深度 (m)	岩相	構成粘土鉱物				
			sm	co	chl	c-v	ill				sm	co	chl	c-v	ill
BV11-1	12.40	Gr	n.d.	n.d.	+	+++	n.d.	BV12-1	2.50	Gr	++	n.d.	++	++	n.d.
	19.30	Gr	n.d.	n.d.	++	++	n.d.		7.50	Gr	n.d.	n.d.	+++	n.d.	n.d.
	21.80	Gr	++	n.d.	+	+++	n.d.		12.50	Gr	+	n.d.	+++	n.d.	n.d.
	32.50	Gr	n.d.	n.d.	+	+++	n.d.		14.60	Gr	++	n.d.	+++	n.d.	n.d.
	36.60	Gr	n.d.	n.d.	+	+++	n.d.		17.50	Gr	+++	n.d.	++	n.d.	n.d.
	43.60	Gr	+	n.d.	+++	n.d.	n.d.		20.50	Gr	+	n.d.	+++	n.d.	n.d.
	47.30	Gr	+	n.d.	+++	n.d.	n.d.		21.50	Gr	n.d.	n.d.	+++	n.d.	n.d.
	52.70	Gr	n.d.	n.d.	+++	n.d.	n.d.		23.10	Gr	++	n.d.	+++	n.d.	n.d.
	57.70	Gr	n.d.	n.d.	+++	n.d.	n.d.		26.70	Gr	n.d.	n.d.	+++	+	n.d.
	62.80	Gr	n.d.	n.d.	+++	n.d.	n.d.		37.40	Gr	+	+	+++	n.d.	n.d.
	63.40	Gr	+	+	+++	n.d.	n.d.		47.10	Gr	++	n.d.	+++	n.d.	n.d.
	63.98	Gr	+	n.d.	+++	+	n.d.		57.10	Gr	n.d.	n.d.	+++	n.d.	n.d.
	65.60	Gr	+	+	+++	n.d.	n.d.		57.50	Gr	n.d.	n.d.	+++	n.d.	n.d.
	70.00	Gr	n.d.	n.d.	+++	+	n.d.		67.50	Gr	n.d.	n.d.	+++	n.d.	n.d.
	70.40	Gr	n.d.	n.d.	+++	n.d.	n.d.		72.50	Gr	n.d.	n.d.	+++	n.d.	n.d.
	72.00	Gr	+	+	+++	n.d.	n.d.		79.15	Gr	+	n.d.	+++	n.d.	n.d.
	76.65	Gr	+	+	+++	n.d.	n.d.		85.10	Gr	n.d.	n.d.	+++	n.d.	n.d.
	84.50	Gr	+	+	+++	n.d.	n.d.		87.00	Gr	+	+	+++	n.d.	n.d.
	85.80	Gr	+	n.d.	+++	+	n.d.		92.50	Gr	+	n.d.	+++	n.d.	n.d.
	87.80	Gr	n.d.	n.d.	+++	n.d.	n.d.		93.15	Gr	+	+	+++	n.d.	n.d.
	89.35	Gr	n.d.	+	+++	n.d.	n.d.		107.15	Gr	+	+	+++	n.d.	n.d.
	91.50	Gr	n.d.	n.d.	+++	n.d.	n.d.		107.50	Gr	+	n.d.	+++	n.d.	n.d.
92.40	Gr	n.d.	n.d.	+++	n.d.	n.d.	112.90	Ps	n.d.	n.d.	+++	n.d.	+++		
93.10	Gr	+	n.d.	+++	n.d.	n.d.	117.50	Ps	n.d.	n.d.	+++	n.d.	+++		
93.20	Ps	n.d.	n.d.	+++	n.d.	+++									
95.80	Ps	n.d.	n.d.	+++	n.d.	+++									
99.85	Ps	n.d.	n.d.	+++	n.d.	+++									
100.80	Ps	n.d.	n.d.	+++	n.d.	+++									

* 構成粘土鉱物の省略記号はFig. 7を参照。岩相: Gr = 緑色岩; Ps = 泥質片岩。
多い+++ > ++ > 少ない, n.d. = 検出されず

の1:1規則型混合層鉱物であるコレンサイトが生成していた(表-2, 図-7c)。コレンサイトの出現は稀であるが, スメクタイトはほぼ全ての試料に生成が確認された。スメクタイトのX線回折波形は, 善徳地すべりのものに比べてシャープであり, その結晶度が高いことを示す。Y2-31孔の地表近くの試料では, 緑泥石とパーミキュライトの混合層鉱物も認められた(図-7d)。

蔭地すべりより得られた御荷鉾緑色岩類の主要構成鉱物は緑泥石, アクチノ閃石及び単斜輝石であり, 僅かな曹長石, スフェーン, 方解石或はパンペリー石を伴うことがある。粘土鉱物としては主として緑泥石とスメクタイトが含まれている(表-3, 図-7e)。BV11-1孔では, 地表から深度約37mの御荷鉾緑色岩類が褐色の礫混じり粘土化しており, この部分では緑泥石/パーミキュライト混合層鉱物が卓越している。BV11-1及びBV12-1孔の最深部にのみ分布する泥質片岩の主要構成鉱物は石英, 曹長石, 白雲母及び緑泥石であり, 粘土鉱物として緑泥石とイライトが含まれていた。

桧生トンネルから得られた御荷鉾緑色岩類は主に緑泥石とアクチノ閃石から構成され, 少量の曹長石, スフェーン或は方解石を伴うことがある。粘土鉱物として緑泥石とスメクタイトが含まれていた(表-4, 図-7f)。

4.3 秩父帯

西の谷地すべりから得られた粘板岩の造岩鉱物は石英, 曹長石及び白雲母である。粘土鉱物としては主にイライトと緑泥石が含まれている(表-5, 図-7g)。粘板岩中にスメクタイトは極稀にしか含まれない。地表近くの風化した粘板岩中にはカオリン鉱物と緑泥石/パーミ

表-4 桧生トンネル

孔番	距離 (m)	岩相	構成粘土鉱物		
			sm	co	chl
STA. 27 + 70	0.50	Gr	+	n.d.	+++
	3.80	Gr	+	n.d.	+++
	7.50	Gr	++	n.d.	+++
	12.70	Gr	+	n.d.	+++
	17.80	Gr	+	n.d.	+++
STA. 27 + 90	1.10	Gr	+	n.d.	+++
	2.80	Gr	+	n.d.	+++
	14.50	Gr	+	n.d.	+++
	17.90	Gr	+	n.d.	+++
	21.40	Gr	+	n.d.	+++
	27.20	Gr	++	n.d.	+++
STA. 28 + 19	8.50	Gr	+	n.d.	+++
	17.80	Gr	++	n.d.	+++
	31.40	Gr	++	n.d.	+++

* 構成粘土鉱物の省略記号はFig. 7を参照。岩相: Gr = 緑色岩。
多い+++ > ++ > 少ない, n.d. = 検出されず

キュライト混合層鉱物も認められる。

緑色岩の主な構成鉱物は緑泥石, 単斜輝石, 角閃石及び曹長石で, 方解石, パンペリー石或は石英を伴うこともある。粘土鉱物として緑泥石とスメクタイトを含んでおり, 稀にコレンサイトも認められた。緑色岩中にも稀にイライトが含まれていることがあるが, 多くの場合は, 緑色岩と粘板岩の物理的混合によるものと推定される。

5. まとめ

我々がこれまで採取した約440試料のXRDによる分析結果をまとめると, 泥質片岩・粘板岩と緑色岩では明らかに卓越する粘土鉱物種が異なっている。すなわち, 破

表-5 西の谷地すべり

構成粘土鉱物									構成粘土鉱物									構成粘土鉱物								
孔番	深度 (m)	岩相	sm	co	chl	c-v	ill	ka	孔番	深度 (m)	岩相	sm	co	chl	c-v	ill	ka	孔番	深度 (m)	岩相	sm	co	chl	c-v	ill	ka
II-1	0.00	Gr	n.d.	n.d.	+++	n.d.	+	n.d.	0.00	SI	n.d.	n.d.	+++	+	+++	n.d.		0.00	SI	n.d.	n.d.	+++	n.d.	+++	+	
	3.00	Gr	n.d.	n.d.	+++	n.d.	n.d.	n.d.	2.00	SI	n.d.	n.d.	+++	+	+++	n.d.		1.10	SI	n.d.	n.d.	+++	n.d.	+++	n.d.	
	5.10	Gr	n.d.	n.d.	+++	n.d.	+	n.d.	4.70	Gr	n.d.	n.d.	+++	n.d.	n.d.	n.d.		5.40	Gr	++	n.d.	+++	n.d.	n.d.	n.d.	
	7.40	Gr	n.d.	n.d.	++	n.d.	++	n.d.	9.50	Gr	+	n.d.	+++	n.d.	n.d.	n.d.		7.50	Gr	+	n.d.	+++	n.d.	n.d.	n.d.	
	17.30	Gr	n.d.	n.d.	+++	n.d.	+	n.d.	12.50	Gr	++	n.d.	+++	n.d.	n.d.	n.d.		10.90	Gr	+	n.d.	+++	n.d.	n.d.	n.d.	
	18.10	SI	n.d.	n.d.	+	n.d.	+++	n.d.	13.50	Gr	+	n.d.	+++	n.d.	n.d.	n.d.		13.30	Gr	++	n.d.	+++	n.d.	n.d.	n.d.	
	19.70	SI	n.d.	n.d.	+	n.d.	+++	n.d.	19.50	Gr	++	n.d.	+++	n.d.	n.d.	n.d.		14.30	SI	n.d.	n.d.	+++	++	+	n.d.	
	21.80	Gr	n.d.	n.d.	+++	n.d.	n.d.	n.d.	23.50	Gr	+	n.d.	+++	n.d.	n.d.	n.d.		16.60	SI	n.d.	n.d.	+	n.d.	+++	n.d.	
	22.70	SI	n.d.	n.d.	+	n.d.	+++	n.d.	27.80	Gr	++	n.d.	+++	n.d.	n.d.	n.d.		19.20	Gr	+	n.d.	+++	n.d.	n.d.	n.d.	
	30.90	SI	n.d.	n.d.	+	n.d.	+++	n.d.	31.50	Gr	++	n.d.	+++	n.d.	n.d.	n.d.		35.30	Gr	n.d.	n.d.	+++	n.d.	n.d.	n.d.	
II-2	32.15	SI	n.d.	n.d.	+	n.d.	+++	n.d.	43.10	Gr	+	n.d.	+++	n.d.	n.d.	n.d.		35.80	Gr	n.d.	n.d.	+++	n.d.	n.d.	n.d.	
	34.40	SI	n.d.	n.d.	+	n.d.	+++	n.d.	44.80	Gr	+	n.d.	+++	n.d.	+++	n.d.		37.50	Gr	n.d.	n.d.	+++	n.d.	n.d.	n.d.	
	35.40	SI	n.d.	n.d.	+	n.d.	+++	n.d.	48.10	Gr	+	n.d.	+++	n.d.	n.d.	n.d.		41.30	Gr	n.d.	n.d.	+++	n.d.	n.d.	n.d.	
									48.80	Gr	+	n.d.	+++	n.d.	n.d.	n.d.		54.50	Gr	n.d.	n.d.	+++	n.d.	n.d.	n.d.	
									49.10	Gr	n.d.	n.d.	+++	n.d.	n.d.	n.d.		55.10	Gr	n.d.	n.d.	+++	n.d.	n.d.	n.d.	
									52.30	Gr	+	n.d.	+++	n.d.	n.d.	n.d.		60.00	SI	n.d.	n.d.	+++	n.d.	+++	n.d.	
									53.40	Gr	+	n.d.	+++	n.d.	n.d.	n.d.										
									56.20	Gr	+	n.d.	+++	n.d.	n.d.	n.d.										
構成粘土鉱物									構成粘土鉱物									構成粘土鉱物								
孔番	深度 (m)	岩相	sm	co	chl	c-v	ill	ka	孔番	深度 (m)	岩相	sm	co	chl	c-v	ill	ka	孔番	深度 (m)	岩相	sm	co	chl	c-v	ill	ka
II-a-4	0.00	SI	n.d.	n.d.	++	+	++	n.d.	0.50	SI	+	n.d.	+++	n.d.	+++	n.d.		0.50	SI	n.d.	n.d.	+++	+	+++	+	
	1.70	SI	n.d.	n.d.	++	+	++	n.d.	4.50	SI	n.d.	n.d.	+	n.d.	+++	n.d.		4.50	SI	n.d.	n.d.	+	n.d.	+++	n.d.	
	4.60	SI	n.d.	n.d.	++	+	++	n.d.	6.40	SI	n.d.	n.d.	+++	n.d.	+++	n.d.		6.40	SI	n.d.	n.d.	+++	n.d.	+++	n.d.	
	8.00	SI	n.d.	n.d.	++	+	++	n.d.	7.40	SI	n.d.	n.d.	++	n.d.	+++	n.d.		7.40	SI	n.d.	n.d.	++	n.d.	+++	n.d.	
	10.70	SI	n.d.	n.d.	++	+	++	n.d.	11.50	SI	n.d.	n.d.	+++	n.d.	+++	n.d.		11.50	SI	n.d.	n.d.	+++	n.d.	+++	n.d.	
	13.40	SI	n.d.	n.d.	+	++	++	n.d.	14.40	Gr	+	n.d.	+++	n.d.	n.d.	n.d.		14.40	Gr	+	n.d.	+++	n.d.	n.d.	n.d.	
	14.60	SI	n.d.	n.d.	+	n.d.	+++	n.d.	21.40	Gr	++	n.d.	+++	n.d.	n.d.	n.d.		21.40	Gr	++	n.d.	+++	n.d.	n.d.	n.d.	
	15.30	SI	n.d.	n.d.	++	n.d.	+++	n.d.	28.40	Gr	++	n.d.	+++	n.d.	n.d.	n.d.		28.40	Gr	++	n.d.	+++	n.d.	n.d.	n.d.	
	16.20	SI	n.d.	n.d.	++	n.d.	+++	n.d.	28.90	Gr	++	n.d.	+++	n.d.	n.d.	n.d.		28.90	Gr	++	n.d.	+++	n.d.	n.d.	n.d.	
	19.90	SI	n.d.	n.d.	+	n.d.	+++	n.d.	30.30	Gr	+	n.d.	+++	n.d.	n.d.	n.d.		30.30	Gr	+	n.d.	+++	n.d.	n.d.	n.d.	
II-c-4	21.70	SI	n.d.	n.d.	++	n.d.	++	n.d.	47.40	Gr	n.d.	n.d.	++	n.d.	+++	n.d.		47.40	Gr	n.d.	n.d.	+++	n.d.	n.d.	n.d.	
	24.60	SI	+	n.d.	++	n.d.	+++	n.d.	51.40	Gr	++	n.d.	+++	n.d.	+	n.d.		51.40	Gr	++	n.d.	+++	n.d.	n.d.	n.d.	
	27.60	SI	n.d.	n.d.	++	n.d.	+++	n.d.	56.40	Gr	++	+	+++	n.d.	n.d.	n.d.		56.40	Gr	++	+	+++	n.d.	n.d.	n.d.	
	30.20	SI	n.d.	n.d.	++	n.d.	+++	n.d.	64.40	Gr	+	n.d.	+++	n.d.	n.d.	n.d.		64.40	Gr	+	n.d.	+++	n.d.	n.d.	n.d.	
	31.00	SI	n.d.	n.d.	++	n.d.	+++	n.d.																		
構成粘土鉱物									構成粘土鉱物									構成粘土鉱物								
孔番	深度 (m)	岩相	sm	co	chl	c-v	ill	ka	孔番	深度 (m)	岩相	sm	co	chl	c-v	ill	ka	孔番	深度 (m)	岩相	sm	co	chl	c-v	ill	ka
II-c-3	0.10	SL	n.d.	n.d.	+++	+	+++	n.d.	0.30	SI	n.d.	n.d.	++	n.d.	+++	n.d.		0.30	SI	n.d.	n.d.	++	n.d.	+++	n.d.	
	1.40	SL	n.d.	n.d.	+++	n.d.	+++	n.d.	1.50	SI	n.d.	n.d.	++	n.d.	+++	n.d.		1.50	SI	n.d.	n.d.	++	n.d.	+++	n.d.	
	8.70	SL	n.d.	n.d.	+++	n.d.	+++	n.d.	2.70	SI	n.d.	n.d.	++	+	+++	n.d.		2.70	SI	n.d.	n.d.	++	+	+++	n.d.	
	12.40	SL	n.d.	n.d.	+++	+	+++	n.d.	5.80	SI	n.d.	n.d.	++	+	+++	n.d.		5.80	SI	n.d.	n.d.	++	+	+++	n.d.	
	13.40	SL	+	n.d.	+++	n.d.	+++	n.d.	11.80	Gr	+++	n.d.	+++	n.d.	n.d.	n.d.		11.80	Gr	+++	n.d.	+++	n.d.	n.d.	n.d.	
	14.60	Gr	+	n.d.	+++	n.d.	n.d.	n.d.	19.70	Gr	+	n.d.	+++	n.d.	n.d.	n.d.		19.70	Gr	+	n.d.	+++	n.d.	n.d.	n.d.	
	15.60	Gr	+	n.d.	+++	n.d.	n.d.	n.d.	26.70	SI	n.d.	n.d.	++	n.d.	+++	n.d.		26.70	SI	n.d.	n.d.	++	n.d.	+++	n.d.	
II-j-1	18.60	Gr	n.d.	n.d.	+++	n.d.	n.d.	n.d.	43.50	SI	n.d.	n.d.	++	n.d.	+++	n.d.		43.50	SI	n.d.	n.d.	++	n.d.	+++	n.d.	
									46.40	SI	n.d.	n.d.	++	n.d.	+++	n.d.		46.40	SI	n.d.	n.d.	++	n.d.	+++	n.d.	
構成粘土鉱物									構成粘土鉱物									構成粘土鉱物								
孔番	深度 (m)	岩相	sm	co	chl	c-v	ill	ka	孔番	深度 (m)	岩相	sm	co	chl	c-v	ill	ka	孔番	深度 (m)	岩相	sm	co	chl	c-v	ill	ka
IV-a-1	0.50	SI	n.d.	n.d.	++	+	+++	+	0.00	SI	n.d.	n.d.	++	+	+++	+		0.00	SI	n.d.	n.d.	++	+	+++	+	
	2.00	SI	n.d.	n.d.	++	+	+++	+	2.20	SI	n.d.	n.d.	+	n.d.	++	+		2.20	SI	n.d.	n.d.	++	n.d.	+++	n.d.	
	3.00	SI	n.d.	n.d.	n.d.	+	+++	n.d.	3.60	SI	n.d.	n.d.	n.d.	+	++	+		3.60	SI	n.d.	n.d.	+	n.d.	+++	n.d.	
	7.30	SI	n.d.	n.d.	n.d.	+	+++	+	5.40	SI	n.d.	n.d.	++	n.d.	++	n.d.		5.40	SI	n.d.	n.d.	++	+	+++	n.d.	
	10.90	SI	n.d.	n.d.	n.d.	+	+++	+	8.40	SI	n.d.	n.d.	++	+	+	n.d.		8.40	SI	n.d.	n.d.	++	+	+++	n.d.	
	13.10	SI	n.d.	n.d.	n.d.	+	+++	+	11.30	SI	n.d.	n.d.	++	n.d.	+++	n.d.		11.30	SI	n.d.	n.d.	++	n.d.	+++	n.d.	
	16.90	SI	n.d.	n.d.	n.d.	+	+++	+	19.00	SI	n.d.	n.d.	+	n.d.	+++	n.d.		19.00	SI	n.d.	n.d.	+	n.d.	+++	n.d.	
	20.00	SI	n.d.	n.d.	++	n.d.	+++	n.d.	21.50	SI	n.d.	n.d.	++	n.d.	+++	n.d.		21.50	SI	n.d.	n.d.	++	n.d.	+++	n.d.	
	22.90	SI	n.d.	n.d.	++	n.d.	+++	n.d.	27.20	SI	n.d.	n.d.	++	n.d.	+++	n.d.		27.20	SI	n.d.	n.d.	++	n.d.	+++	n.d.	
	28.60	Gr	+	n.d.	+++	n.d.	n.d.	n.d.	30.90	SI	n.d.	n.d.	++	n.d.	+++	n.d.		30.90	SI	n.d.	n.d.	++	n.d.	+++	n.d.	
	30.70	Gr	+	n.d.	+++	n.d.	n.d.	n.d.	33.50	SI	n.d.	n.d.	+	n.d.	+++	n.d.		33.50	SI	n.d.	n.d.	+	n.d.	+++	n.d.	
	36.80	Gr	+	n.d.	+++	n.d.	n.d.	n.d.	37.50	SI	n.d.	n.d.	+++	n.d.	+++	n.d.		37.50	SI							

砕・変質を受けた三波川帯の泥質片岩と秩父帯の粘板岩は灰色砂状となり, それらにはイライトと緑泥石が含まれていた。泥質片岩・粘板岩ではスメクタイトの出現は稀であり, その量比も少ない。カオリン鉱物と緑泥石/バーミキュライト混合層鉱物も認められるが, これらは, それぞれ曹長石と緑泥石の風化生成物であると考えられる。

緑灰色の礫混じり粘土化した御荷鉾緑色岩類と秩父帯の緑色岩中には, 緑泥石とスメクタイト (+コレンサイト) が普遍的に認められた。Miyahara (2004) によれば, 怒田・八畝, 蔭及び西の谷地すべりの緑色岩中のスメクタイトとコレンサイトは, 方解石或は曹長石と共に岩石中の割目を充填する産状を示し, 過去の熱水活動で生成した可能性がある。一方で, 緑泥石/バーミキュライト混合層鉱物も認められ, これは緑泥石の風化により生成したものであろう。

地すべり発生やその滑動様式は, 地盤の物理的特性の差異に左右されるが, その違いはそこに含まれる物質に依存している。四国中央部に分布する結晶片岩は, 著しく破碎・変質作用を受けている。しかし, これらの結晶片岩の変質メカニズムに関する鉱物学的研究は, これまで殆ど行われていないのが現状である。今後, 地すべり発生のメカニズムを理解する上でも, 結晶片岩の変質メカニズムを地質鉱物学的に解明していく必要があるであろう。

謝辞

本研究を行うにあたり建設省四国地方建設局四国山地砂防工事事務所 (現国土交通省四国地方整備局四国山地砂防工事事務所), 高知県本土木事務所, 愛媛県松山地方局久万土木事務所, 日本道路公団四国支社から貴重なボーリングコアと報告書を多数提供して頂いた。(故)横田公忠助教授, 川崎地質株式会社, 基礎地盤コンサルタント株式会社及び木本工業株式会社には, 試料採取にあたって便宜を図って頂いた。広島大学大学院理学研究科の富岡大介氏, 藤原千香子氏, 宮原良介氏, 渡辺克晃氏及び植田友規氏には分析の手伝いをしていただいた。ここに深く感謝の意を表します。

引用文献

- 宇野洋平・宮原正明・北川隆司・矢田部龍一・横田公忠 (2002): 西の谷地すべりにおける粘土鉱物と地すべりの関係, 第41回日本地すべり学会研究発表会地すべり2002講演集, pp. 1-4.
- 笠松弘治・小川澄・溝手一憲・御手洗良夫 (2001): 御荷鉾帯における併設トンネル周辺の地山挙動-高知自動車道松生トンネル-, トンネルと地下, Vol. 32, No. 12, pp. 1067-1076.
- 川原浩浩・阿部真郎・荻田茂 (1999): 地すべり粘土の物性に関する一考察-東北地方, グリーンタフ地域の地すべりについて-, 地すべり, Vol. 36, No. 1, pp. 20-27.
- 金原啓司・藤井紀之 (1981): 徳島県木藤-宗森地すべりにおける結晶片岩類の風化 (その2) -観測堅坑内結晶片岩類の風化, 粘土科学, Vol. 21, No. 1, pp. 14-18.
- 建設省四国地方建設局 (1998): 四国山地直轄砂防事業-平成10年度事業概要-, 34pp.
- 讃岐利夫・島崎博 (2000): 高知県大豊町「蔭地すべり」の深尺ボーリングと踏査結果の対比, 日本応用地質学会中国四国支部平成12年度研究発表会発表論文集, pp. 37-40.
- 地すべり学会関西支部 (1988): 愛媛県・西の谷地すべりの調査対策史, 地すべり学会関西支部現地討論会資料, 76pp.
- 守随治雄 (1984a): 福島県一ツ坪田地すべりにおける粘土鉱物および水質の特徴について, 応用地質, Vol. 25, No. 1, pp. 23-33.
- 守随治雄 (1984b): 地すべりにおけるスメクタイトと斜ブチロル沸石の関係について, 地すべり, Vol. 21, No. 3, pp. 17-23.
- 守随治雄・中村二三雄 (1986): 第三紀層地すべりにおける粘土層の産状および成因について, 地すべり, Vol. 23, No. 1, pp. 20-25.
- 高谷精二 (1978): 結晶片岩地域における地すべりと粘土鉱物(1)-徳島県・穴吹町首野地すべり, 井川町倉石地すべり-, 新砂防, Vol. 109, pp. 28-34.
- Takeda, K. (1984): Geological and Petrological Studies of the Mikabu Greenstones in Eastern Shikoku, Southwest Japan. Journal of Science of the Hiroshima University, Series C, 8, pp. 221-282.
- 宮原正明・宇野洋平・北川隆司 (2002): 御荷鉾緑色岩類中の地すべり地に生成する粘土鉱物-怒田・八畝, 蔭地すべり地, 粘土科学, Vol. 42, pp. 81-88.
- 宮原正明・北川隆司・矢田部龍一 (2003): 御荷鉾帯地すべり地に分布する緑色岩の変質, 日本応用地質学会中国四国支部平成15年度研究発表会発表論文集, pp. 47-52.
- Miyahara, M. (2004): Genesis and mineralogical study on chlorite in metabasites in the Mikabu belt and the North-Chichibu belt, Shikoku Island, SW Japan. Ph.D. thesis, University of Hiroshima, Hiroshima, Japan, 113pp.
- 日本道路公団四国支社 (1999): 高知自動車道 (四車線化) 松生トンネル工事-地山調査編-, 147pp.

(原稿受付2005年3月14日, 原稿受理2005年8月12日)