

油谷地域の地すべりとその対策について Landslides and their control in Yuya region

大原 資生* (Sukeo O-hara)
判野 充昌** (Michiaki Hanno)
久永 喜代志*** (Kiyosi Hisanaga)
村田 秀一**** (Hidekazu Murata)
松田 博***** (Hiroshi Matsuda)

キーワードズ：地すべり／地下水／水位低下／せん断強さ／安定解析／地質学（IGC：B-11／E-6）

1. まえがき

山口県北西部に位置する油谷地域は、古くから地すべり多発地として知られ、毎年かなりの被害を受けている。特に、昭和47年の集中豪雨以後、関係諸機関あわせて10数億円もの地すべり対策事業費が投じられてきているが、なお構造改善局、林野庁、建設省から地すべり防止地区とし46ヶ所が指定を受けており、早急に合理的な防災技術と災害予知技術を確立することが望まれる。

油谷地域の地すべり地は地質的にみると、緩斜面を形成する第三紀層を被って玄武岩溶岩が台地状に火山地形を形成しており、地質構造については永年の調査によりかなり明確にされてきている。しかし地すべりの機構およびその対策工については未だ明らかにされていない点が多い。

そこで、ここではまず油谷半島の地形地質の概要、およびこれまでに油谷地域で行われてきた対策工とその効果について示すとともに、特に今回は油谷地域内の白木地区に着目し、そこで実施された対策工およびその後の動態観測結果、安定解析結果について検討した。また、油谷地域の豪雨災害予知に関する研究も併せて行ったのでその結果を報告するものである。

2. 油谷半島の地形・地質概要

油谷半島は本州最西北端に位置し、油谷湾を南側に、日本海を北側に臨む風光明媚な海岸線に囲まれた半島である。図-1に油谷半島の地形および地すべり地を示す。

油谷半島の地形は、大浦（羅漢）地峡および小田地峡で境された大小3地区の山体よりなり、いずれも第三紀層丘陵地形と第三紀から第四紀にかけて火山噴出したと考えられる溶岩の台地状火山地形で特徴づけられる。

大浦地峡以西の油谷島地区は油谷半島突端にあつて、面積は約2.5 km²、ほぼ全域が高度150 m以下の台地状火山地形を呈しているが、東部および南部の海岸線沿いでは第三紀層の緩い丘陵地形が発達している。当地区では、台地状火山地形と第三紀層丘陵地形の境界付近に形成される本油谷、泊などの集落において地すべり地形が認められる。

大浦地峡と小田地峡にはさまれた向津具地区は、「向津具半島」と呼ばれる地区である。面積約15 km²の大部分は玄武岩溶岩台地で占められ、北浦地方最大の玄武岩分布地域となっている。溶岩台地の分布は道元山の標高212 mを最高点とし、100～150 mのなだらかな地形を形成している。油谷湾沿いの標高100 m以下の地域では第三紀層を基盤岩とする斜面勾配10°～20°の非常に緩い棚田斜面を形成している。当地区では溶岩台地と緩斜面の境界部に立地する久津、白木、久原などの各集落において地すべりが発生している。

小田地峡以東の雨乞山地区は油谷半島の根部にあたり、溶岩台地が妙見山(標高257 m)より雨乞山(標高347 m)に

*宇部工業高等専門学校 校長、 **山口県下関土木事務所 主査、 ***応用地質(株)広島支店 技術部長、
****山口大学工学部建設工学科 教授、 *****山口大学工学部土木工学科 助教授

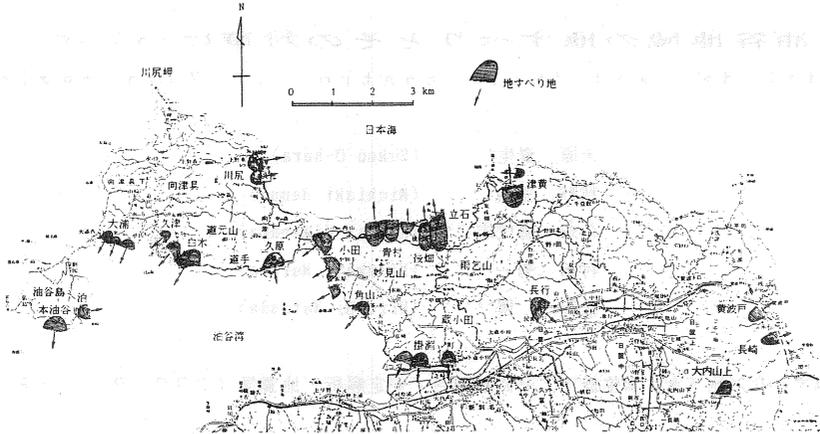


図-1 油谷半島の地形および地すべり地

至る東西方向の細長い稜線を形成している。稜線を境とした南北両斜面は $5^{\circ} \sim 15^{\circ}$ の緩斜面が広がる。第三紀層丘陵斜面に立地する北側（日本海側）斜面の青村、後畑、津黄および南側斜面の角山、蔵小田といった集落において地すべりが発生している。日本海に面した北側斜面においては、馬蹄形状の稜線を滑落崖とする大規模な地すべり地形が認められる。

油谷半島の主要な地すべり地を構成している基盤の地質は、砂岩、頁岩（泥岩）および砂岩・頁岩（泥岩）互層で代表される第三紀層（中新統）であり、尾根部においては鮮新世～洪積世の火山噴出物と考えられる玄武岩溶岩がこれら中新統をキャップロックとして被う。さらにこれら基盤岩を被って未固結堆積物の被覆層が分布する。

中新統の分布域は油谷島地区では南部及び東部の海岸線沿いに限られるが、向津具地区では大浦～久津～白木～道手～久原の油谷湾に面した緩斜面上の集落に沿って帯状の分布を示し、さらに雨乞山地区においては妙見山

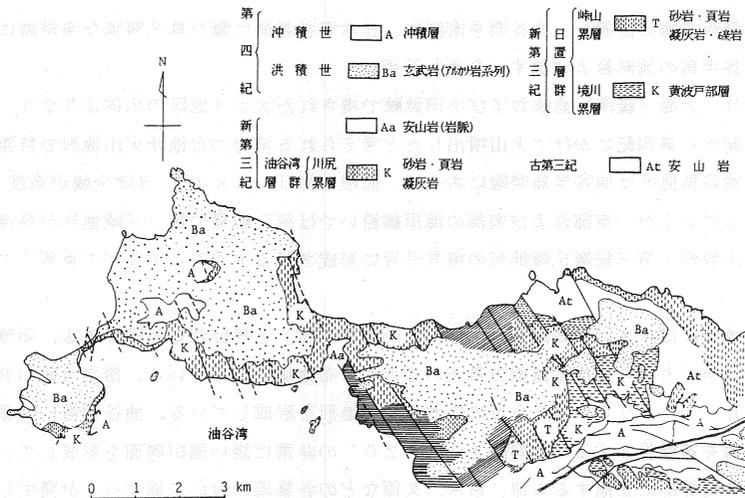


図-2 油谷半島の地質図

～雨乞山の稜線を境とした南北緩斜面一帯に広く分布する。

油谷半島に分布する中新統は、半島東部に分布する中新世前期の積成層と半島西部に分布する中新世中期の積成層に分けられ、前者は日置層群、後者は油谷湾層群と称される。

中新統の一般的構造はNE（北東）～ENE（東北東）走向で $10^{\circ} \sim 25^{\circ}$ N（北）またはS（南）の傾斜であり、ENE（東北東）方向を褶曲軸とする短軸褶曲を繰り返し、ときには小さな半盆状構造を作り、全体としてNNW（北北西）方向に傾斜する波状単斜構造を呈する。NE（北東）～ENE（東北東）方向の褶曲軸および断層はNW（北西）～NNW（北北西）方向の断層により切られることが多く、空中写真によってもNW（北西）～NNW（北北西）方向のリニアメントが支配的である。

日置層群は分布域によりさらに十楽、黄波戸、峠山及び人丸累層に区分され、また油谷湾層群も伊上、角山及び川尻累層に区分される。これら各累層の層相及び対比は岡本・今村（1964）に詳しく述べられている。

油谷半島における玄武岩溶岩としているものは礫らん石アルカリ玄武岩であり、少なくとも数枚の溶岩流よりなり、溶岩の他に数枚の火山礫凝灰岩および礫岩を挟むようである。玄武岩溶岩の分布高度は、妙見山～雨乞山の稜線より北西方で次第に低下し、ついには川尻岬周辺で海に没する。玄武岩溶岩と中新統の境界には向津具礫層と称される流紋岩質円礫を主体とする層厚5mの礫層が分布することがある。向津具礫層の分布高度は玄武岩溶岩の基底標高と同じく、白木では80m、久津、泊などでは40mでNW（北西）方向に傾斜し、玄武岩溶岩とは漸移的關係にある。油谷湾沿いの久津、白木、小田及び日本海側の立石、津黄などにおいては海岸線沿いに中新統を貫く岩脈がみられるが、これらの岩脈の多くは溶岩と同じく礫らん石アルカリ玄武岩よりなり、玄武岩溶岩とはほぼ同時期に生成したものと考えられる。

基盤岩を被覆して緩斜面に分布する未固結堆積物としては、洪積世の海岸段丘堆積物、洪積世～沖積世の崖錐堆積物及び沖積世の沖積層があげられる。海岸段丘堆積物は油谷湾及び日本海に面した高度10～60mに平坦面を形成するもので、多くの場合は崖錐堆積物により被覆されて地表に露出することは稀である。しかしながらボーリング結果によると、少なくとも2～3枚の段丘砂礫が分布することが確認されている。崖錐堆積物は地すべりによる新・旧崩積土、扇状地性崖錐堆積物、溶岩噴出時に堆積した火山泥流および火山灰の2次堆積物などよりなる。

以上の油谷半島の構成地質を図-2の地質平面図に示す。

3. 油谷半島の降雨特性

中国地方においては一般に、瀬戸内海側の山陽地方では降雨量が少なく、日本海側の山陰地方では降雨量が多く、両者の気象特性は異なる。油谷半島は山口県の日本海側に位置するため、降雨特性は典型的な山陰型に属し、毎年のように梅雨期および秋雨期に集中豪雨による被害を受けている。下関地方気象台のアメダスデータ（油谷）

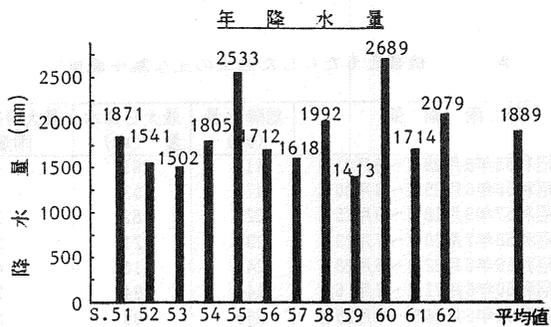


図-3 年降水量の経年変化

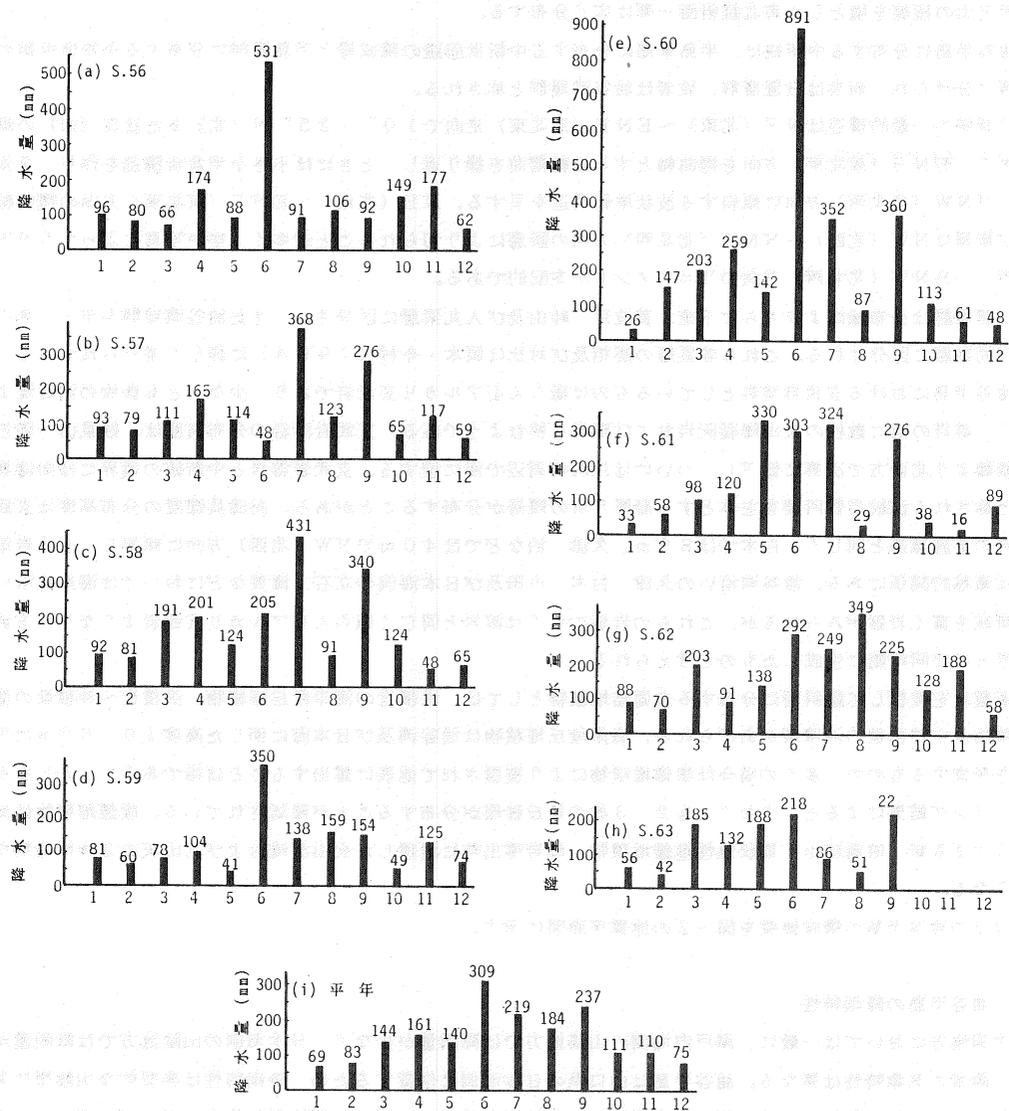


図-4 月降水量の経年変化

表-1 被害をもたらした過去の主な集中豪雨

年月	降雨期間	総降水量 (mm)	最大日降水量 (mm)	最大時間 雨量 (mm)
55年8月降雨	昭和55年8月28日～8月31日	414	261	--
56年6月降雨	昭和56年6月25日～6月30日	478	152	--
57年9月降雨	昭和57年9月18日～9月25日	228	82	19
58年7月降雨	昭和58年7月20日～7月23日	234	121	36
59年6月降雨	昭和59年6月22日～6月28日	244	110	49
60年6月降雨	昭和60年6月21日～7月6日	1144	294	32
61年6月降雨	昭和61年6月16日～6月25日	265	98	31
62年8月降雨	昭和62年8月22日～8月26日	230	110	62

によると、図-3に示すように年降水量の平均値は約1900mmであり、年降水量が1200~1600mmといわれる瀬戸内海側の1.2~1.6倍の降水量を示す。最近10ケ年で年降水量の平均値を上回る年は昭和55年、昭和60年および昭和62年であり、これらの年には油谷半島の各地で集中豪雨による広範囲な被害が発生している。各年の月降水量をみても図-4のとおりである。各年各月の降水量を平年値と比較してみると、昭和56年6月、昭和57年7月、昭和58年7月など、集中豪雨により平年値をはるかに上回る月の前の月、すなわち、昭和56年5月、昭和57年6月、昭和58年6月などは平年値をかなり下回っている。このことから異常降雨は、平年より大幅に降水量が下回る月の翌月に起こり易いという傾向がうかがえる。また、油谷半島において過去10年間で大きな被害をもたらした主な集中豪雨は表-1のとおりであり、6月の梅雨前線による集中豪雨が多い。

4. 油谷地域の地すべり機構

油谷半島の各地すべり地（図-1参照）においては、緩斜面を形成する第三紀層を被って玄武岩溶岩が台地状火山地形を形成するといった地形・地質構造が共通して認められる。このことは、油谷半島の地すべり機構がこの様な地形・地質構造と密接な関係のあることを示唆するものである。油谷半島の地すべり地におけるこの様な地形・地質構造は、長崎県北部より佐賀県西部にかけての北松浦半島の地すべりと類似するものである。油谷半島の地すべりが「北松型地すべり」と呼ばれる由縁でもあるが、地すべり機構の詳細は未だ明確にされていない。ここでは主として地質学的観点よりみた油谷半島の地すべり機構について述べる。

油谷半島の地すべり活動は崖錐堆積物分布域の緩斜面に立地する集落に甚大な被害を与えているため、地すべり調査および対策工事は被害を受けた緩斜面の局所のみ目が向けられがちである。しかしながら、第三紀層を玄武岩溶岩が被うという地質構造が油谷半島における地すべりの支配的要因であろうと考えられる以上、地すべり機構を解明するには広域な地質調査が必要となる。この様な観点より油谷半島における各地すべり地の地質構造を広域に調査すると、地すべり機構と関連すると思われる特徴的な地形・地質構造が明らかとなる。

図-5は小田地峡に近い油谷湾に面した久原地区~小田地区の地質平面図である。第三紀層は下位より上位へと砂岩・頁岩互層、頁岩、砂岩・頁岩互層、砂岩の層準を示すが、各層の分布を小田地区より久原地区へと追っ



図-5 久原~小田地区地質平面図

ていくと、田屋地区において地層分布のズレが認められる。これら地層のズレは、久原漁港を中心位置とした2重の半同心円に沿ったものであることがわかる。地層のズレを示す半同心円沿いには露岩がなく、崖錐堆積物が分布する溝状凹地を形成するとともに、そこには大小の溜池が分布し小崩壊が発生している。これらの地形・地質構造を説明するためには、図-6に示す様に、現在の地質構造を支配する程の大規模な地すべりが過去に発生したと考えざるを得ない。図-7に示す久原漁港近くの露頭もこの考えの論拠となる。この露頭は砂岩・頁岩互層よりなる横臥褶曲構造であり、堆積当時、未固結状態の地層が海底地すべりによるスランピングを起こして形成されたものと考えられる。

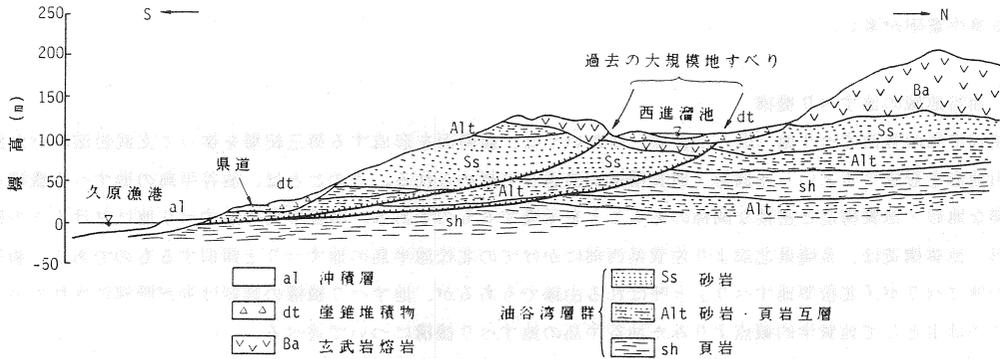


図-6 久原地区地質断面図

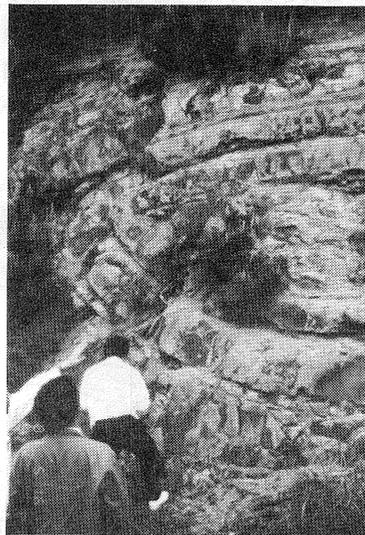


図-7 スランピングによる横臥褶曲構造

図-8は日本海に面した青村地区～津黄地区の地質平面図であり、ここでも過去の大規模な地すべり活動をうかがわせる地形・地質構造が認められる。玄武岩溶岩台地を形成する雨乞山は馬蹄形状の稜線をなし、稜線の直下には大小の溜池が密集し、その前方に玄武岩溶岩の分離小丘が散在し、さらに下方は緩斜面が日本海まで広がる。こうした地形は典型的な地すべり地形であり、雨乞山の馬蹄形状稜線北側斜面を滑落崖とし、溜池密集地帯を地

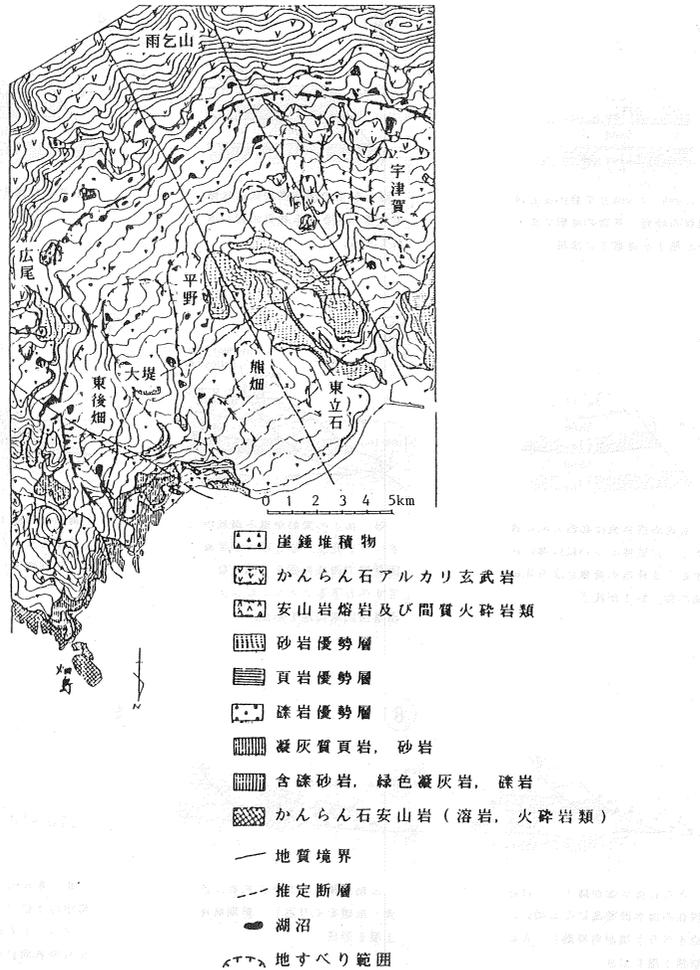


図-8 青村～津黄地区地質断面図

すべり凹地とする過去の大規模な地すべりの産物と考えられる。

上述した地すべり地形は油谷半島における他の地すべり地においても共通して認められる。地すべり地形の形成起源は、第三紀層を玄武岩溶岩が被う地質構造に支配された過去の大規模な海底地すべりにあると判断される。すなわち、第三紀層堆積後、比重の大きい玄武岩溶岩がキャップロックとして被い、溶岩の荷重により未だ固結度の低い状態の第三紀層がスランピングを起こし、ついには大規模な海底地すべりを発生したものと考えられる。過去の地すべり発生には、地殻変動あるいは海水面の変動も大きく作用したと思われ、その後、2次的、3次的な陸地部での地すべりを発生し、崩壊土を生産していったものと考えられる。その結果、新旧崩積土を主体とする崖錐堆積物が緩斜面を形成し、現在では地すべりは主として緩斜面における崖錐堆積物の再移動という形で活動しているものと考えられる。

以上、油谷半島における地すべり機構について、マクロな地質学的観点より考察したが、最後に油谷半島地すべりの形成変遷という形で概念図として図-9に示す。

5. 油谷地域の地すべり対策工

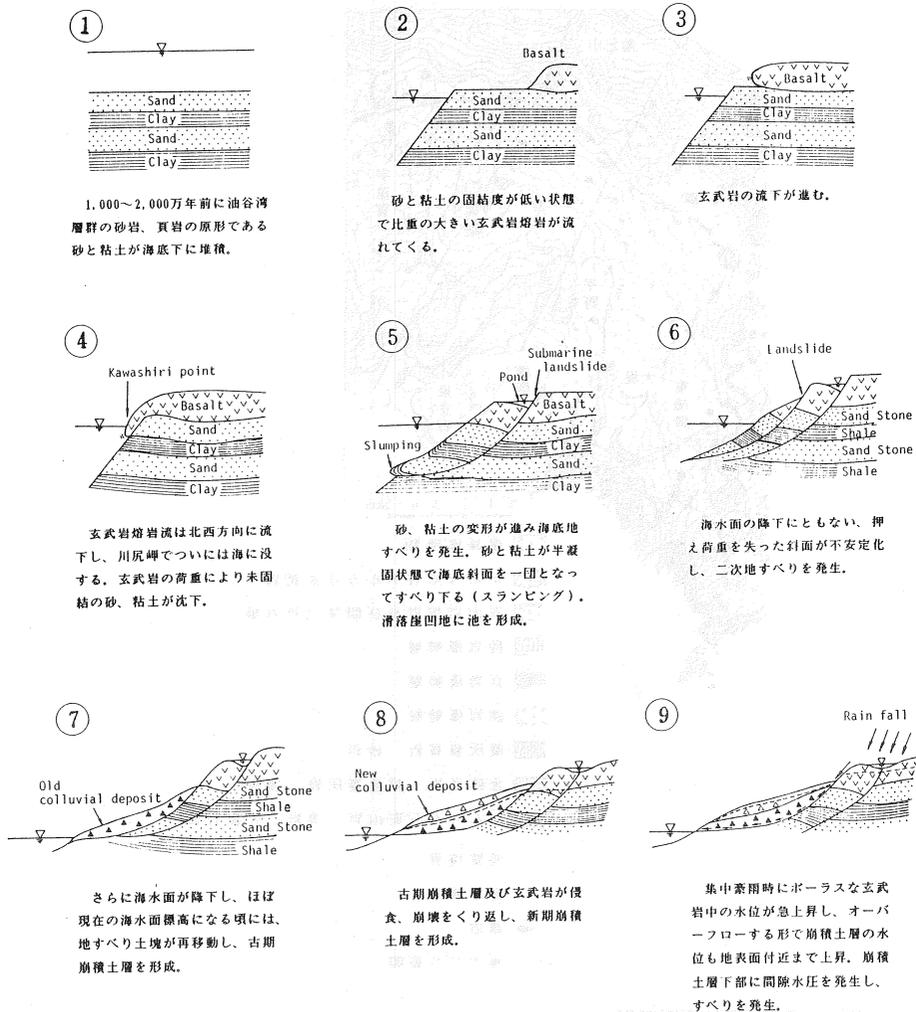


図-9 油谷半島地すべりの形成変遷（概念図）

ここでは、油谷地域において実施されてきた地すべり対策工のうち主要工事の概要について述べる。表-2は昭和62年度末までに油谷町・日置町全域で実施された対策工の概要を示し、表-3は各地域において実施された対策工を示したものであって、以下に各地区ごとに概説する。

5.1 長崎地区

当地区はJR山陰本線黄波戸駅のすぐ裏手にあたり、日本海深川湾を臨む東斜面に位置する。地形は巨視的にみると丘陵地形であり、馬蹄形状の台地状緩斜面を数段含み、典型的な地すべり地形を呈している。地質は、下位に中生代白亜紀の砂質凝灰岩および第三紀層の堆積岩（砂岩・頁岩）を基盤岩とし、これら基盤岩を被う玄武岩類により構成されている。地すべりは3ブロックに分かれ、いずれも基盤岩の強風化による粘土層をすべり面として地すべりが発生している。

昭和62年度より調査を実施、地下水位が高いためこれに着目し、地下水排除工を主体に現在対策工事を継続実施中である。

表-2 油谷地域における地すべり対策事業

区域の概要	防止区域数	22箇所
	防止区域面積	506.71 ha
工種	集水井	44基
	集水ホ-リック	515本
	横ホ-リック	24,026m
		709本
	杭打ち工	32,118m
		553本
		7,685m
	水路工	15,327m
	明暗渠工	2,604m
	擁壁工	1,113m
排土工	159,283m ³	
法面工	6,384m ²	

建設省所管 昭和62年度末まで

表-3 油谷地区における地すべり対策主要工事の概要

地区名	施工年度	対策工				地区名	施工年度	対策工			
日置町 長崎地区	62~	集水井	1基	水路工	248m	油谷町 西津黄地区	62~	集水井	3基	水路工	227m
		集水bou	6本	明暗渠工	742m			集水bou	34本	明暗渠工	47m
			180m	擁壁工	120m				1,352m	擁壁工	35m
		横bor	27本	排土工	10,483m ³			横bor	本	排土工	m ³
			1,230m	法面工	3,197m ²				m	法面工	m ²
		杭打ち工				杭打ち工					
日置町 大内山上 地区	57~61	集水井	基	水路工	1,174m	油谷町 津黄地区	34~38, 46~	集水井	6基	水路工	344m
		集水bou	本	明暗渠工	483m			集水bou	103本	明暗渠工	m
			m	擁壁工	10m				5,150m	擁壁工	m
		横bor	69本	排土工	m ³			横bor	本	排土工	m ³
			2,636m	法面工	m ²				m	法面工	m ²
		杭打ち工				杭打ち工					
日置町 黄波戸 地区	47,48,55, 56	集水井	1基	水路工	187m	油谷町 掛淵地区	43~48, 50~61	集水井	3基	水路工	1126m
		集水bou	13本	明暗渠工	m			集水bou	41本	明暗渠工	m
			512m	擁壁工	m				2,070m	擁壁工	230m
		横bor	5本	排土工	m ³			横bor	76本	排土工	m ³
			150m	法面工	m ²				3,022m	法面工	m ²
		杭打ち工				杭打ち工					

5.2 大内山上地区

当地区はJR山陰本線長門古市駅より国道191号線に沿って約4km東進した、日置町大内山地内に位置する。地形的には比高差にして50~60m程度のゆるやかな低丘陵が連なり、低平地は水田耕地が開け、主として丘陵の裾部から中腹台地に人家が点在している。

地質は第三紀層の砂岩、頁岩を基盤岩とし、凝灰質な頁岩は軟化し粘土状を呈している。第三紀層の上部には崖錐堆積物が分布し、低平地では沖積層が被っているが、山頂や尾根部は玄武岩が被っていて、いわゆるキャップブロックを形成している。

昭和57年より調査を実施した。地すべり面深度が5~6mと比較的浅いため、表面排水路の整備を中心に排水ボーリング工を実施し、昭和61年度で工事完了している。

5. 3 黄波戸地区

当地区は油谷半島の東側日本海岸の深川湾に面した黄波戸漁港の西側斜面に位置する。地形的には 20° 前後の緩斜面の丘陵状をなし、その上部は馬蹄形状の稜線を形成している。

地質は第三紀層の砂岩、頁岩を基盤としており、これを被って崩積土が $4\sim 5$ mの厚さで堆積している。昭和47年7月の集中豪雨により、第三紀層の風化の著しい粘土層をすべり面として地すべりが発生し人家を緊急に保全する必要を生じたため、杭打ち工を実施するとともに集水井を設けた。しかし、その後昭和55年8月の集中豪雨により抑止杭が曲がり、被害が発生したため再度昭和55、56年の2ケ年で杭打ち（曲げ杭）を実施し現在安定を保っている。

5. 4 西津黄地区

当地区は油谷半島の北東部の日本海に面する津黄漁港の南斜面に位置する。地形的には標高 $100\sim 130$ mの山腹斜面で沢状地形を呈している。勾配は約 15° 程度で周辺より比較的緩くなっている。地すべりブロック下方の標高約 50 mには県道が走り、さらに下方は家屋の密集した斜面を経て津黄漁港に至る。

地質は第三紀の安山岩と第三紀の堆積岩（砂岩、頁岩）を基盤とし、これを被って玄武岩類が山稜部まで分布している。地表部には礫まじり粘土よりなる崖錐堆積物が分布している。

昭和62年の豪雨により山腹に幅約 70 mの滑落崖が発生する等、地すべり活動が活発化した。調査の結果、地下水位が高くなっていることがわかったので昭和62年度に対策工として、地下水排除を主体とした集水井3基を施工し一応の安定をみた。現在このブロックの隣接ブロックに着目して調査観測を継続実施中である。

5. 5 津黄地区

当地区は油谷半島の北東部の日本海に面した漁村であり、上部には棚田状の水田が分布している。

地質は安山岩よりなる基盤岩を被って、凝灰質粘土、崩積土の順に堆積し凝灰質粘土をすべり面として地すべりが発生している。地すべりが発生している範囲は約 10.4 haである。この地区の地すべりの歴史はかなり古く、以前は毎年家屋の復旧、石垣の補修などを繰り返してきた。

調査の結果、地下水位の上昇が見られたので、昭和34年より昭和37年までの4年間、排水ボーリング、集水井による排水工を主体に対策を行った。しかし昭和46年、昭和47年の集中豪雨を契機として、再び地すべり活動が活発化したため杭打ちや地下水排除工を中心に対策工事を再開した。現在も小ブロックの地すべりが生じておりこれらの対策工を継続している。

5. 6 掛淵地区

当地区はJR山陰本線人丸駅の北西方向約 2 km、油谷半島東南の油谷湾に面する斜面に位置している。

地すべり地は標高 $10\sim 60$ m、平均勾配 $20\sim 30^\circ$ の斜面であり、主に活動の活発な地域は幅約 200 m、長さ約 180 m ~ 110 mの範囲である。

地質は第三紀層の砂岩、頁岩が分布しこれを不整合に被って、玄武岩や崩積土が分布している。

昭和43年より調査を開始し、当時は地下水の排除に重点をおき、集水井2基、排水ボーリング、枠工、盲暗渠工、水路工を施工し、相当量の地下水が排除でき地下水位も低下し対策工の効果がみられた。この対策工は昭和48年に完了したが再度地すべり活動が活発化したため、昭和50年より再び杭打ちを主体に対策工を実施した結果、現在は小康状態にある。

6. 白木地区における地すべり機構と対策

6-1 概要

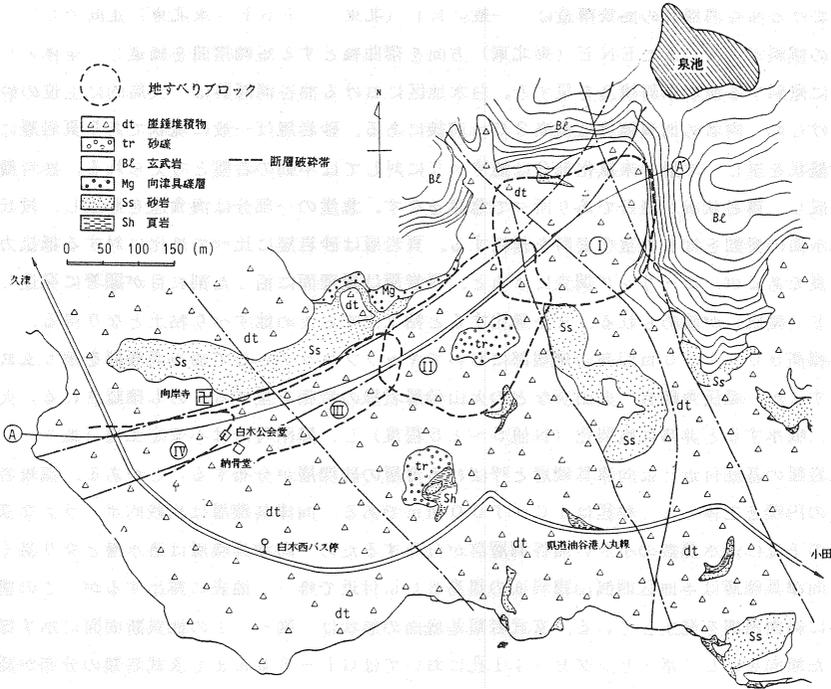


図-10 白木地区地質平面図

油谷半島の地形・地質構造と地すべり機構を代表する地区として白木地区をあげ、地すべり機構と対策について具体例を述べる。

ここで述べる白木地区は、正確には建設省所轄地すべり防止区域の「白木」（昭和36年5月指定、面積14.5ha）および「白木西」（昭和48年2月指定、面積41.6ha）の両地区にまたがる区域であり、ここでは“白木地区”と総称する。

白木地区は向津具半島の南側に位置し、建設省および農林省の地すべり防止指定区域が林立する油谷湾に面した海岸区域にある（図-1参照）。本地区における地すべりの兆候は昭和36年以前の古くから認められていたようである。白木公会堂と納骨堂の地盤クラック、向岸寺境内の変状、白木西バス停前の家屋変状などである（図-10参照）。それでも昭和46年までは比較的降雨量が少なく地すべり活動もさほど活発でなかったようであるが、昭和47年7月の集中豪雨により変状が顕著となり、昭和48年より本格的な地すべり調査が開始された。以後、集中豪雨のたびに甚大な被害を受け、昭和61年より開始した本格的な地すべり対策工事によりやや鎮静化し、現在に至っている。

6-2 地形・地質

白木地区の地形は、玄武岩より形成される標高100m～200mの火山性山地と標高100m付近以低における第三紀層の緩斜面よりなり、油谷半島地すべりの典型的な地形を呈する。第三紀層を基盤岩とする緩斜面は斜面勾配が5°～10°と非常に緩く棚田（千枚田）が発達し、所々で段丘性の平坦面を形成する。また斜面には地すべりの痕跡とみられる馬蹄形状の段差地形や凹地が各所にみられ、斜面の起伏に乱れが認められる。

白木地区の地質は、新第三紀中新世の油谷層群とこれを不整合に被う鮮新世～更新世に生成したとされる玄武岩類を基盤岩とし、これら基盤岩を未固結の段丘堆積物および崖錐堆積物が被って緩斜面を形成する。図-10に白木地区の地質平面図を示すが、こうした地質構成は油谷湾沿い海岸部の各地すべり地区と同一である。

白木地区における油谷湾層群の地質構造は、一般にNE（北東）～ENE（東北東）走向で $5^{\circ} \sim 30^{\circ}$ NNW（北北西）の傾斜を示す。またENE（東北東）方向を褶曲軸とする短軸褶曲を繰返し、全体としてNNW（北北西）方向に傾斜する波状単斜構造を呈する。白木地区における油谷湾層群は、大局的に上位の砂岩層と下位の頁岩層に分けられ、両者の地質境界は標高30m前後にある。砂岩層は一般に塊状であり頁岩層に比べて均質で安定した岩盤状を呈し、本層の未風化部分は地すべりに対しては不動の岩盤と考えられる。砂岩層は本地区西縁の山体を形成し、露岩状況が良好であり所々で急崖をなす。急崖の一部分は海食崖を形成し、段丘堆積物の分布とともに海水面の変動を知る貴重な資料を提供する。頁岩層は砂岩層に比べて風化に対する抵抗力が弱いため露岩状況が不良であるが、ボーリング調査によると、頁岩層は層理面に沿った割れ目が顕著に発達し、所々でスリッケンサイド（鏡肌）が認められる。また風化すると粘土化するため地すべり粘土となり得る。

白木地区の標高90～100m以上の尾根部においてキャップロックとして油谷湾層群を被う玄武岩類は、溶岩流を主体とするが、凝灰角礫岩、火山灰などの火山砕屑岩様の岩相を呈するものも確認される。火山砕屑岩は固結度が低く、吸水すると非常に脆弱化（N値5～15程度）し、降雨時には不安定土塊（地すべり土塊）となり易い。玄武岩類の基底付近には向津具礫層と呼ばれる薄層の砂礫層が分布することがある。流紋岩、石英斑岩などの酸性岩の円礫を主体とし、粒径は10～100mmである。向津具礫層は比較的ポーラスな玄武岩類の基底にあり、その下位に透水係数の小さい油谷湾層群が分布するため、向津具礫層は透水層となり易く降雨時に不安定となる。向津具礫層は本地区西側山腹斜面の標高80m付近で唯一、地表に露出するが、この箇所は昭和55年の豪雨時に斜面崩壊を発生している。玄武岩類基底面の形状は、図-11の地質断面図に示す様に山側（北側）に傾斜した傾向を示し、ボーリングB-11孔においてはGL-60mまで玄武岩類の分布が認められる。

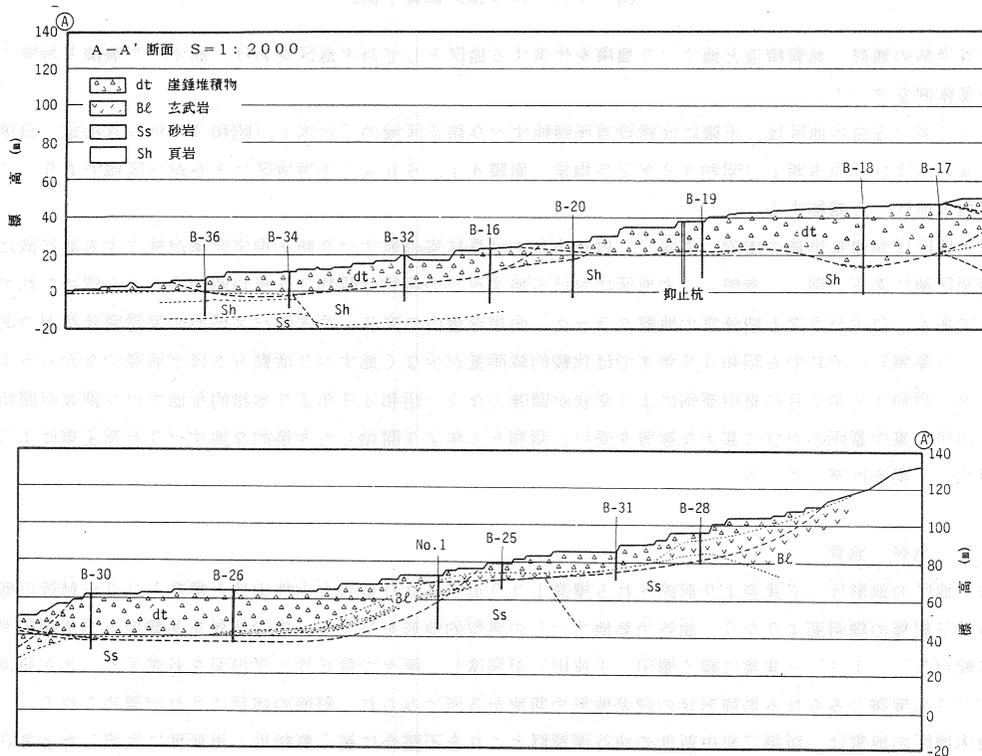


図-11 白木地区地質断面図

この様な調査結果より、大局的には白木地区北方の泉池付近を中心とする玄武岩類の盆状構造が予想される。玄武岩類は透水性良好であるため、玄武岩類を帯水層とする地下水盆構造を形成し、下方の地すべり斜面の地下水供給源になっているものと思われる。

段丘堆積物は標高10～62m間の緩斜面上の段丘平坦面に分布する。段丘地形は海面の変動により形成されたものであり、上位のものほど古いとされている。白木地区においては3層の段丘堆積物が確認されており、古いものより高位段丘（分布標高46～62m）、中段段丘（分布標高25～34m）および低位段丘（分布標高6～23m）となっている。段丘堆積物は粒径5～10mmの砂岩および流紋岩の小円礫を含む未固結砂礫層であり、地下水の貯留層となるとともにルーズで不安定な地層である。

崖錐堆積物は山裾部から緩斜面にかけて広範囲に分布する未固結層であり、粘土、砂、礫および玄武岩の転石などより構成されている。白木地区において崖錐堆積物として取り扱ったものには、様々な層相のものを含む。すなわち古い時代の崩積土で締まりの良好なもの（古期崩積土）、玄武岩生成時の火山泥流、火山灰などが流出して2次堆積したもの、近年の地すべり活動、斜面崩壊によって生成された崩積土（新期崩積土）などであり、層相変化に富む。ボーリング調査による崖錐堆積物のN値は、転石部分を除いておおむね20以下であり、10以下の軟質な部分が多い。崖錐堆積物の層厚は基盤岩（砂岩、頁岩）の上面形状によって左右されて変化に富む。基盤岩中の断層などによる岩盤脆弱部分は差別侵食を受けて溝状の基盤岩上面構造を呈し、この様な場所では崖錐堆積物の層相は20～30mに達している。

白木地区においては各種調査結果および地質解析の結果から6条の断層が推定される。NE（北東）-SW（南西）系のものが2条、NW（北西）-SE（南東）系のものが4条であり、前者NE（北東）-SW（南西）系の断層が後者NW（北西）-SE（南東）系の断層に切られることが多い。これらの断層のうち白木地区の地形・地質構造に最も大きな影響を与えるのはNE（北東）-SW（南西）系のほぼ平行する2条の断層である。これらは向岸寺前よりNE（北東）方向に伸び泉池の方向にぬける断層であり、断層傾斜が南方に60°～

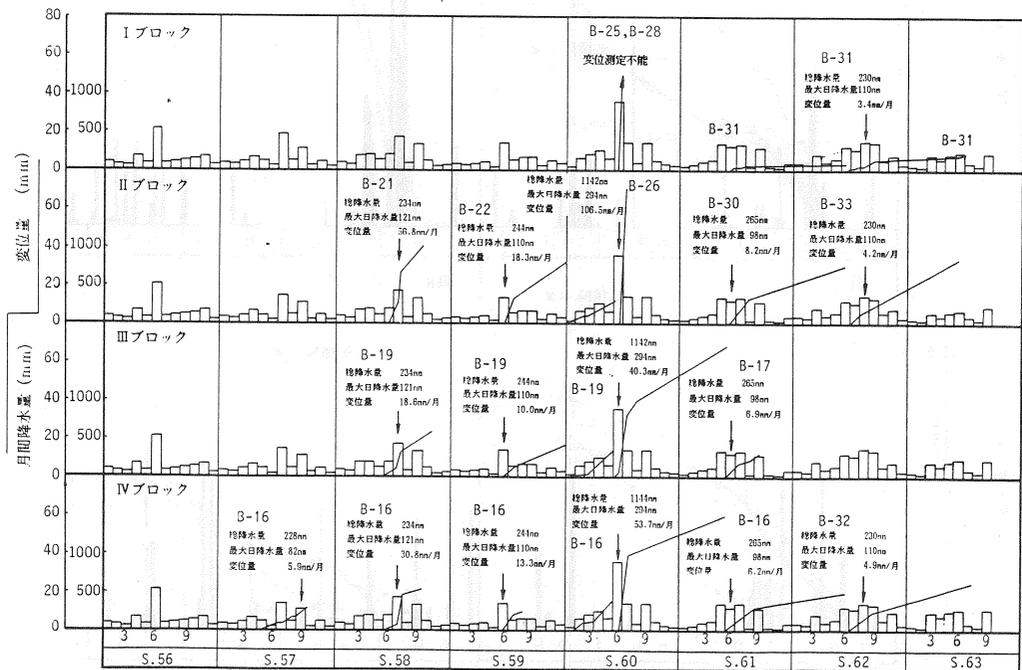


図-12 地すべりブロック別の地すべり動態経年変化

70°の正断層と考えられる。断層にはさまれた幅約50mは、基盤岩（砂岩、頁岩）上面形状が著しく落ち込んだ溝状凹地を形成し、この上に崖錐堆積物が厚く堆積している。このような地質構造が白木地区地すべり機構を大きく支配している。

6-3 動態観測結果

白木地区における地すべりの動態観測は、昭和55年以前は全てパイプひずみ計により行われていたが、地中変位量が不明であり、測定されるひずみ変化が地すべり挙動と必ずしも一致しないなどの問題点があった。このため昭和55年以降はケーシングパイプの各深度の傾斜角を計測して各深度の水平変位を求める高精度の孔内傾斜計を採用した。ここでは孔内傾斜計による白木地区の地すべり動態観測結果について述べる。

地すべり挙動を地すべりブロック別に経年変化としてまとめると、図-12のとおり、また計測年度別に各地

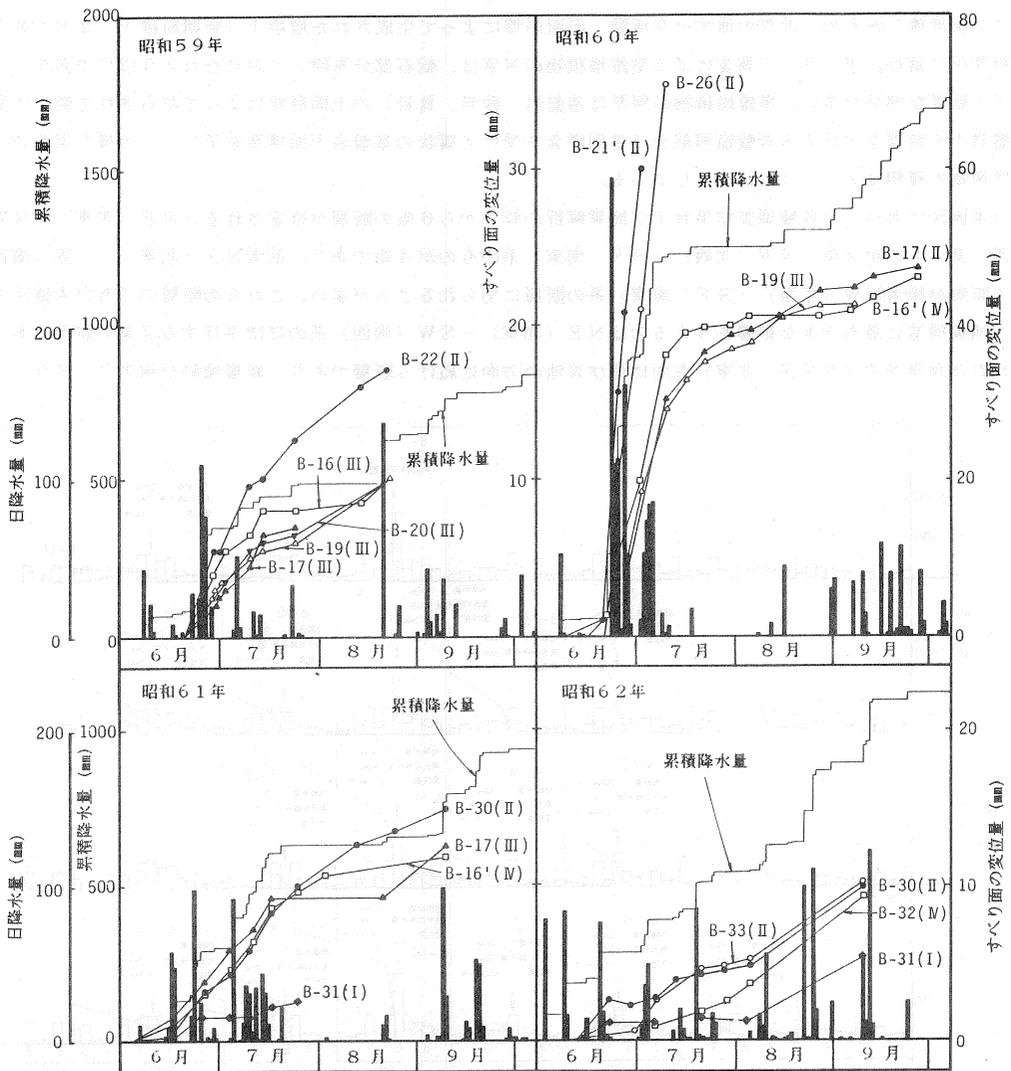


図-13 計測年度別の地すべり動態変化

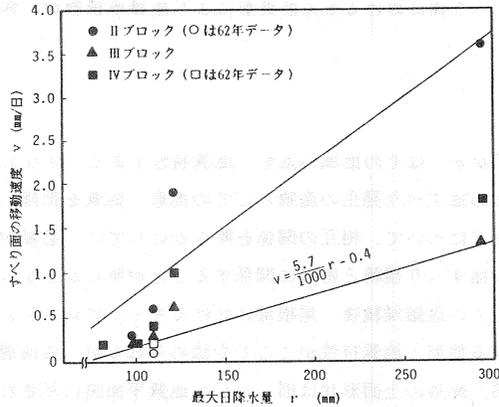


図-14 集中豪雨における最大日降水量と地すべり移動速度の関係

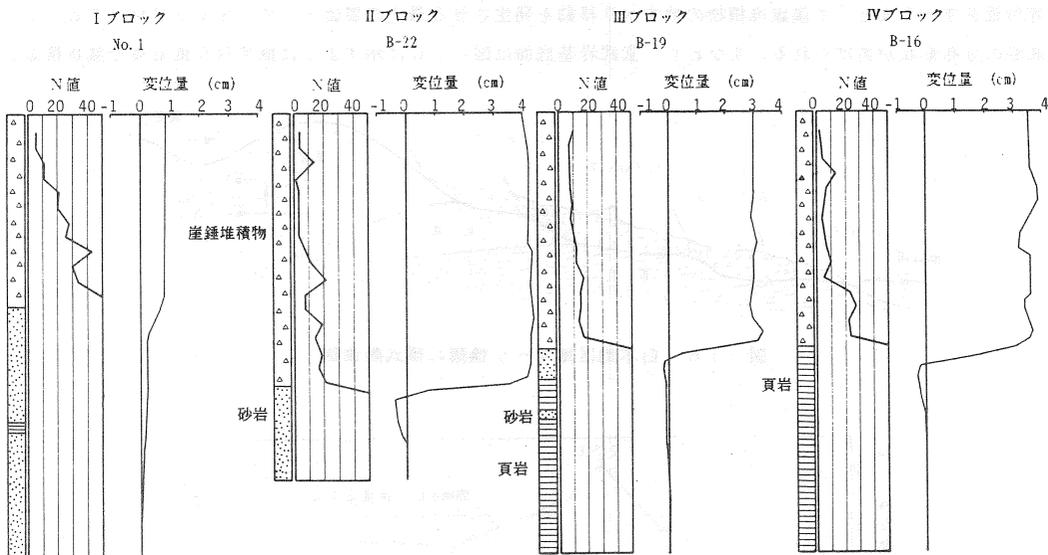


図-15 孔内傾斜計による地すべり挙動計測例

すべりブロックの挙動を整理すると図-13のとおりとなる。これらより、白木地区における地すべり挙動の特徴として、1) 日降水量が70~80mm程度以上の集中豪雨時に一斉に急速な地すべり移動を開始すること、2) 無降雨期を含む平常時においても緩慢な地すべりを継続すること、3) 一般に斜面上方の地すべりブロックI、IIの方が下方のブロックIII、IVに比べて動きが早いなどがあげられる。ただし、ブロックIでは昭和61年以降、集水井による対策工によって動きが緩慢となっている。

集中豪雨時の地すべり移動速度は総降水量よりも短時間の降雨強度との関連性が大きい。図-14には集中豪雨時の地すべり移動速度を最大日降水量との関係でまとめたものであり、両者に相関性のあることを示す。なお、図-14には本格的な対策工を開始した昭和61年の翌年の昭和62年のデータも加えているが、対策工の効果があがえる。平常時における地すべり移動速度は、地すべりブロック、その年の降雨条件、観測孔によって0.5~5.0mm/月の範囲で変動するが、おおむね1.5~2.5mm/月の範囲にある。孔内傾斜計による地中変位の変形パターンは図-15に示すとおりであり、いずれも崖錐堆積物と基盤岩(砂岩又は頁岩)との地質

境界付近の薄層をすべり面とし、すべり面におけるせん断変形により崖錐堆積物が一体となって移動するパターンを示す。

6-4 地すべり機構

地すべり機構を知る最も有効な手がかりはその地域の地形・地質特性である。すなわち、地すべり発生の素因としての地形、地質、あるいは過去の地すべり発生の産物としての地形、地質を把握した上で、地表および地中の挙動、地下水、降雨などの誘因などについて、相互の関係を明らかにしていく必要がある。

白木地区においても地形、地質が地すべり機構と密接に関係することが明らかとなった。緩斜面を形成する第三紀層（砂岩、頁岩）と被覆層としての崖錐堆積物、尾根部におけるキャップロックとしての玄武岩という、油谷半島全体の地すべり機構を象徴する地形・地質特性がここでも認められるが、各地層の特徴的な分布、形状がより詳細に明らかとなった。まず第三紀層の上面形状は図-10の地質平面図に示されるNE（北東）-SW（南西）系の2条の平行する断層の間が差別浸食を受けた結果、幅約50mの溝状凹地を形成する。ここに崖錐堆積物が最大30mの層厚で厚く分布して白木地区地すべりの平面骨格を形成する。崖錐堆積物と第三紀層の地質境界付近をすべり面として崖錐堆積物の地すべり移動を発生させる最大の要因として、キャップロックとしての玄武岩の分布形状があげられる。すなわち、玄武岩基底面は図-16に示すように地すべり地背後で盆状構造を

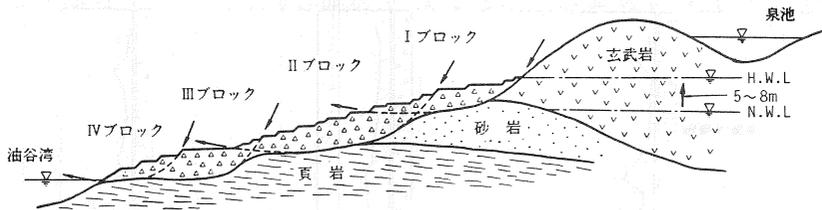


図-16 白木地区地すべり機構の模式断面図

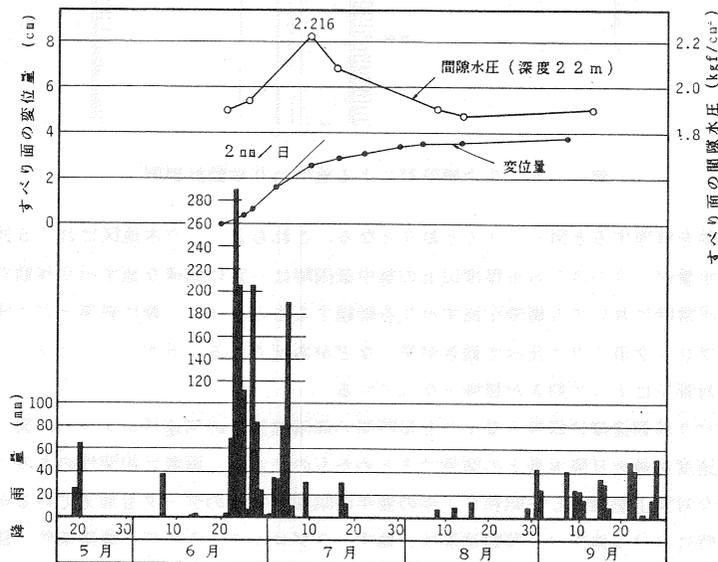


図-17 降雨とすべり面の変位量、間隙水圧の関係

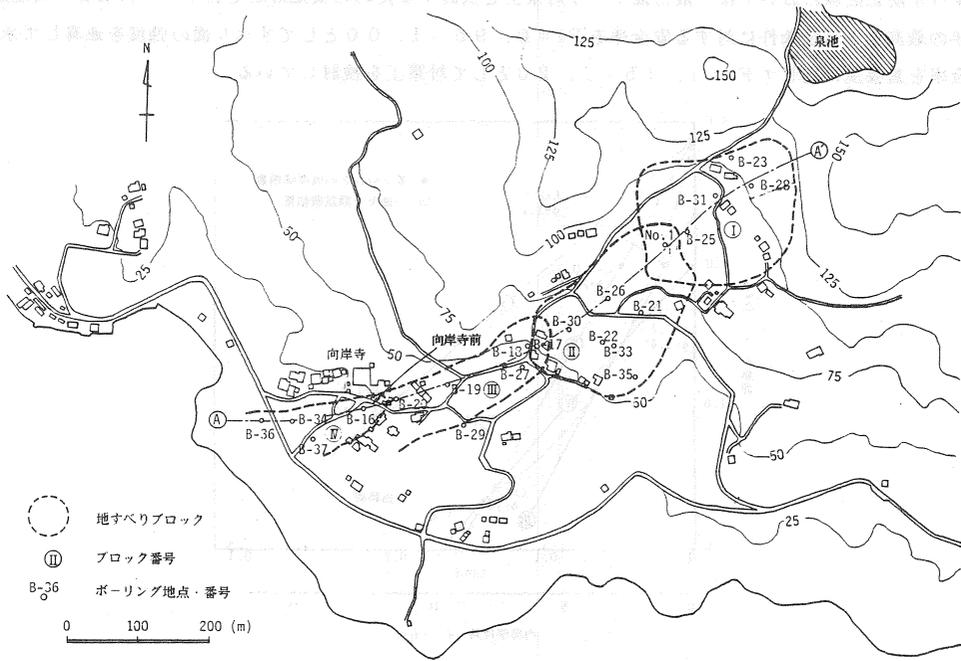


図-18 白木地区の地すべりブロック

形成して地下水盆となっているため、集中豪雨により急激な地下水上昇を伴い、降雨強度がある一定値を越すと崖錐堆積物へ多量の地下水を供給して地すべりを助長することになる。集中豪雨時の玄武岩における地下水上昇の深度幅は5～8mに達することが明らかとなっており（図-16参照）、崖錐堆積物の地すべり移動を助長する降雨条件は、先述のように日降水量70～80mm以上であると推察される。集中豪雨における玄武岩からの地下水供給は、崖錐堆積物の重量増加となって地すべりを助長する他、すべり面において静水圧以上の間隙水圧発生を伴っていることも確認されている。過去10ヶ年で白木地区に最も著しい被害を与えた昭和60年6月の集中豪雨時の計測データより、集中豪雨前後における降雨とすべり面の変位量、すべり面の間隙水圧の関係をみると図-17のとおりである。図-17より、降雨開始と同時にすべり面の間隙水圧の上昇とすべり面の変位が認められ、降雨ピークより約半月遅れですべり速度と間隙水圧がピークに達していることがわかる。

白木地区における地すべり領域は4つの地すべりブロック（I～IV）に分割され、それらの平面分布は図-18の通りである。各地すべりブロックの形状は主として第三紀層上面の縦断形状に支配されていることは図-16より明らかである。このような第三紀層上面形状は第三紀層生成以降の海水面変動によって形成されたであろうことが、海食崖の露頭などから推察される。

孔内傾斜計による変形パターン（図-15）にみられるように、すべり面は崖錐堆積物と基盤岩との地質境界付近の薄層にあり、すべり面におけるせん断変形により崖錐堆積物全体がほぼ一様に水平移動している。すべり挙動は降雨に敏感に対応し、集中豪雨時のすべり速度は最大日降水量100mm当り0.2～0.7mm/日である。また降雨の少ない平常時においても1.5～2.5mm/月の緩慢な速度で移動を継続していることなどが明らかとなった。すなわち、斜面勾配5°～10°の非常に緩い斜面を構成する主として粘土質材料よりなる層厚10～30mの崖錐堆積物が、緩慢かつ降雨と敏感に対応した地すべりを継続している。

6-5 安定解析および対策工

地すべり防止区域においては一般に地すべり対策工を検討するための安定解析を行う。この場合、安定解析は、その年の最高地下水位条件に対する安全率を $F_s = 0.95 \sim 1.00$ としてすべり面の強度を逆算して求め、計画安全率を重要度に応じて $F_s = 1.15 \sim 1.20$ として対策工を検討している。

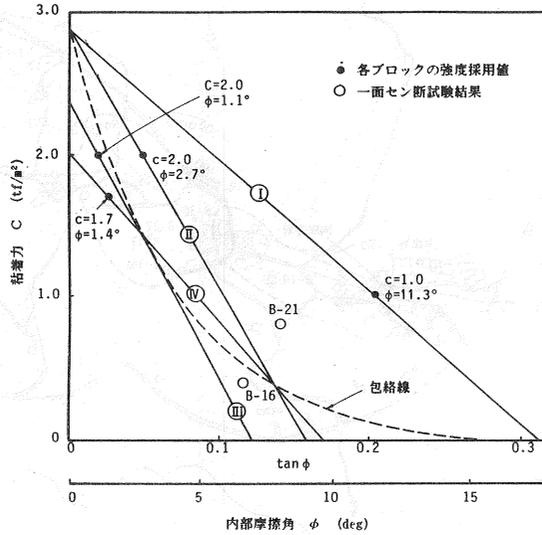


図-19 逆算法によるC-φ関係

白木地区においては各年の最高水位条件下で顕著な地すべり挙動を示すため、 $F_s = 0.95$ として強度逆算し、毎年のように地すべりによる被害が甚大であることを考慮し、計画安全率を $F_s = 1.20$ として対策工を検討した。図-19は地すべり各ブロックにおける強度逆算結果である。各ブロックの地すべり強度は各々の $c \sim \tan \phi$ 直線上の任意の点として選択されるが、一般には地すべりの層厚に対する c を先に選定する方法 (c (tf/m²) = $0.1 \times$ 地すべり最大層厚(m)) が採用されている。白木地区においてもこの方法を採用して、図-19に併せて示したように各地すべりブロック毎に強度採用値を決定し、対策工を検討した。

なお、地すべり強度をチェックするため崩壊土の攪乱試料をリモールドした試料を用いて一面せん断試験を行ったが、その結果を図-20に示す。一面せん断試験による残留強度も併せて図-19に示したが、IIブロックとIVブロックについて得られた逆算強度線の交点近傍の値は、地すべりブロックのすべり層厚、すべり面の傾斜、地下水条件などにより変化すると考えられる。また、白木地区のII、III、IVの地すべりブロックにおいては、地すべり形態が類似しているため、マクロ的には地すべり強度も類似するものと判断される。すなわち、II、III、

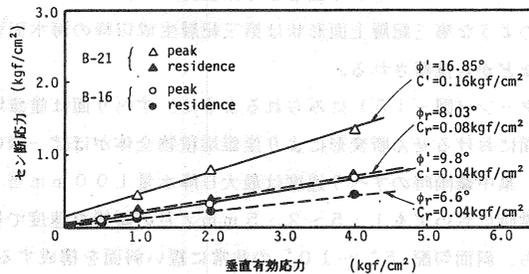


図-20 崩壊土の一面せん断試験結果

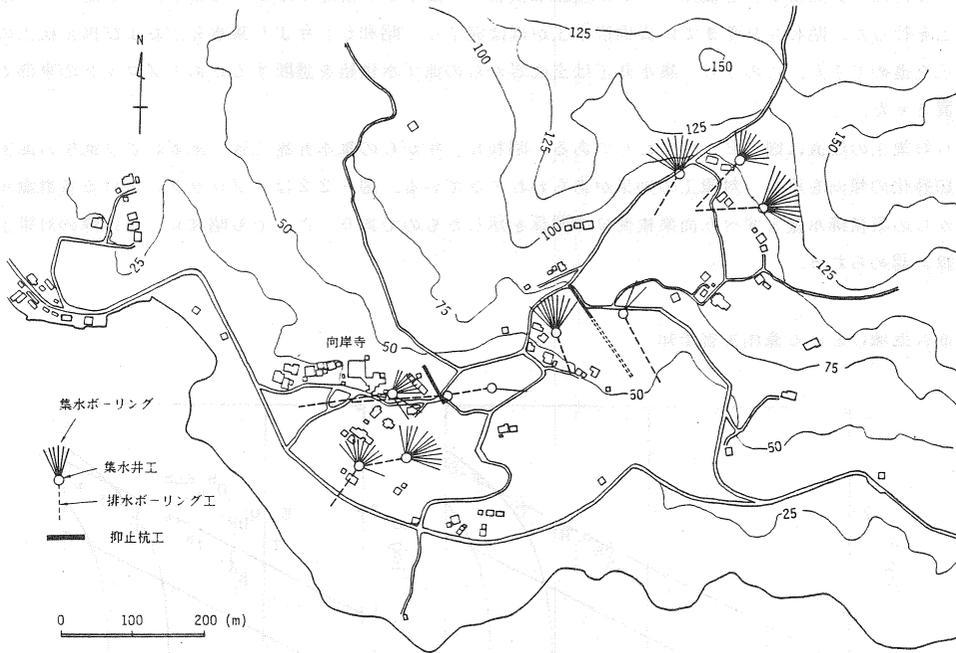


図-21 白木地区対策工平面図

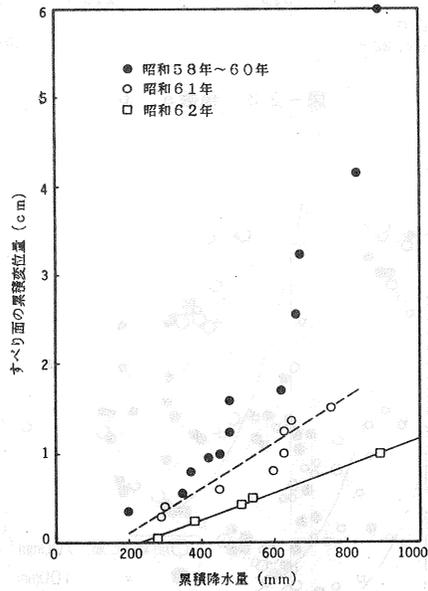


図-22 累積降水量とすべり面の累積変位量

IVブロックの逆算c-φ線は、図-19に破線で示したように、各ブロックに対して得られたc-φ線の交点を結ぶ包絡線で与えられるとも考えられる。

白木地区における対策工は地すべり機構を考慮して、まず厚い地すべり層を形成する崖錐堆積物への雨水浸透

を抑制するための表面排水工を優先し、次に崖錐堆積物中の地下水を排除するための集水井工を施工し、最後に抑止杭工を行った。昭和59年までに表面排水工がほぼ完了し、昭和60年より集水井工および抑止杭工の本格的対策工を進めてきた。このうち、集水井工は玄武岩からの地下水供給を遮断するためIブロックの東部で集中的に配置させた。

これら対策工の配置は図-21のとおりである。昭和61年からの集水井施工後、地表および地中の地すべり挙動は鎮静化の傾向を示し、対策工の効果があらわれてきている。図-22はIIブロックにおける各計測年の計測開始からの累積降水量とすべり面累積変位の関係を示したものであり、ここでも昭和61年以降の対策工の効果が明瞭に認められる。

7. 油谷地域における豪雨災害予知

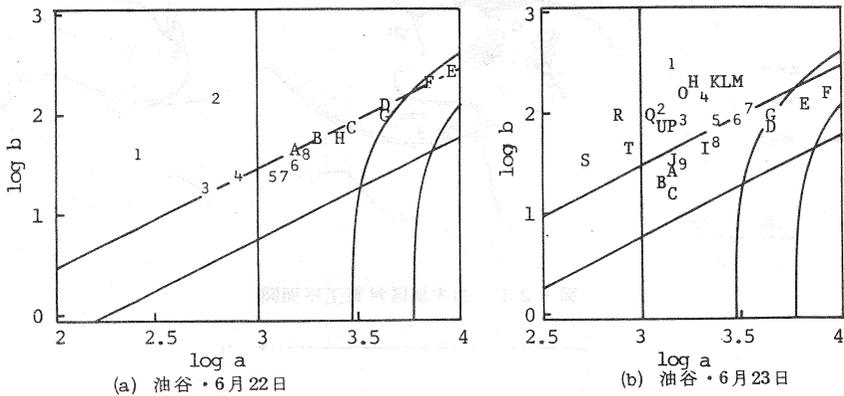


図-23 係数 a, b

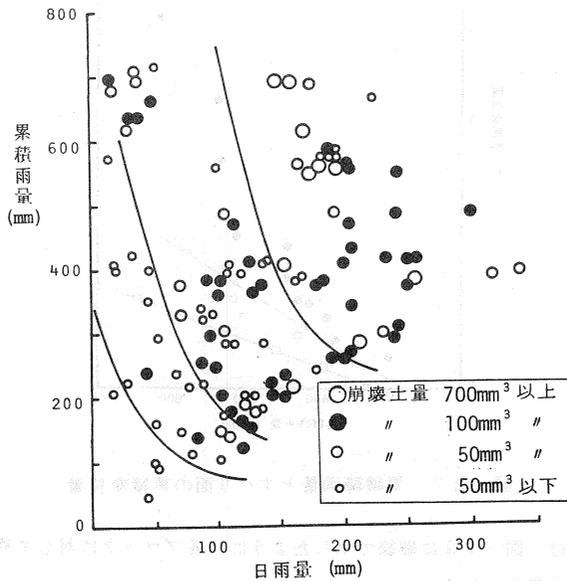


図-24 崩壊規模と雨量の関係

ここではとくに豪雨災害予知の面から、すでに報告している方法（塩月、大原他、1986年）を用いて災害予知を行った。この方法はR-T曲線（例えば図-23）を用いる方法であって、その詳細については参考文献6）を参照されたい。

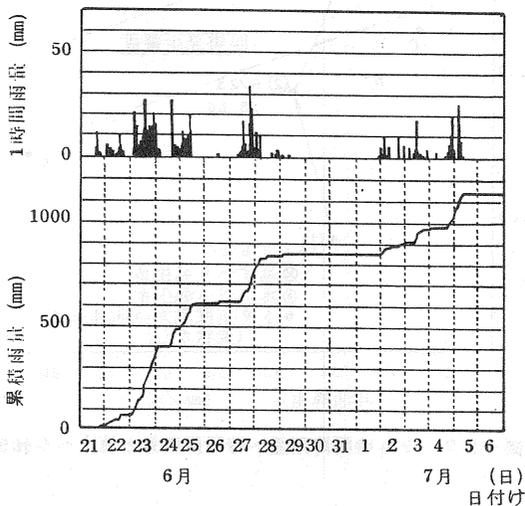


図-25 油谷町における1時間雨量の時間変化

油谷町では昭和60年6月23日18時に崩壊が発生し、ここでの予測方法では図-23に示すように22日、23日もF領域に入っているが、22日には崩壊は発生していない。このことと図-24より、崩壊の発生には日雨量や時間雨量の大きさだけでなく、約100mm以上の累積雨量が必要であることがわかる。すなわち図-25によれば、22日までの累積雨量は約70mmであるが、23日18時までのそれは約300mmとなっている。したがって、このような累積雨量の違いによって崩壊の発生が左右されたと考えられる。

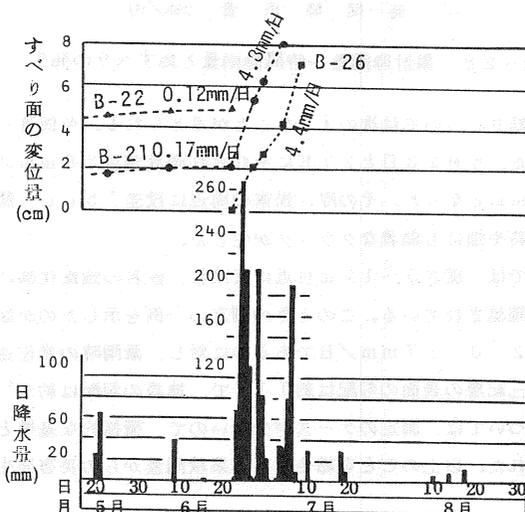


図-26 孔内傾斜計による変位量～降水量

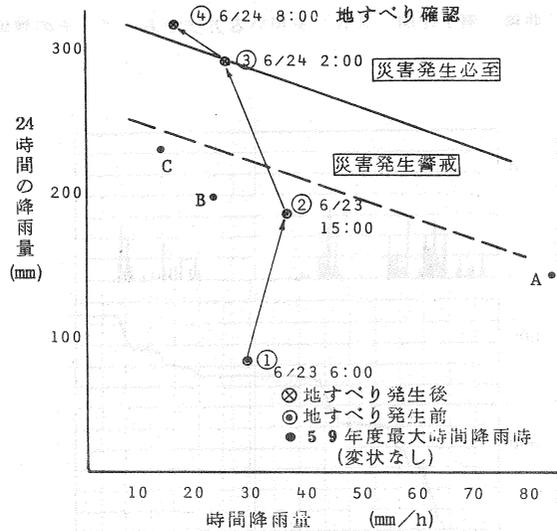


図-27 24時間降雨量～時間降雨量と地すべり発生

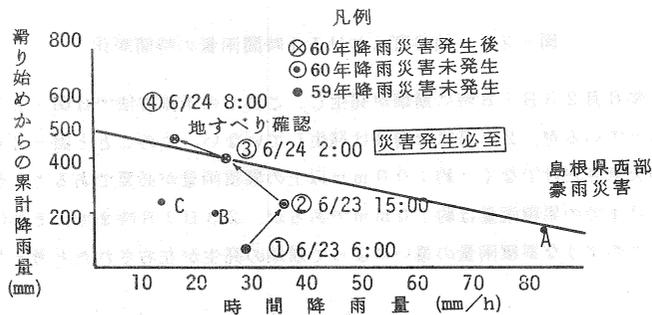


図-28 累計降雨量～時間降雨量と地すべりの発生

一方、地すべりによる地盤の動きについては次のようなことが考えられる。今回著しい地すべり変状を生じた白木西地区において観測を行った。6月23日と27日にそれぞれ雨量強度36mm/時、43mm/時の集中豪雨があり、累積雨量は973mmとなった。その際、民家の周辺に段差15cm、開口幅10cmのクラックが24日に確認され、周囲の道路や畑にも顕著なクラックが生じた。

また、孔内傾斜計による測定では、深さ5～17m付近に玄武岩、砂岩の強風化部にすべり面が存在し、豪雨時に大きい変位を生じたことが確認されている。このときの測定の一例を示したのが図-26である。これによれば豪雨前の変位速度が0.12～0.17mm/日であるのに対し、豪雨時の変位速度は4.4～4.8mm/日となっている。この地域の第三紀層の表面の勾配は約11°で、地表の勾配は約8°である。

この地域の災害発生の予測については、測定のカースが少ないので、概括的な基準となるが、今回の測定から図-27および図-28が得られた。以上のことを総合すると累積雨量からの災害発生の基準としては300mmが一応の目安となろう。

なお災害発生の予知として用いることのできる要因として地下水位の上昇が考えられる。災害発生時のこの地点の地下水位はG. L. -2.4mで、このとき孔内傾斜計では大きい変位が測定されている。しかし、9月の

長雨時に地下水位がG. L. - 2. 8 mまで上昇したが、このとき変位は生じなかった。したがって、災害発生予知の要因として地下水位上昇も重要であって、当地での地下水位の目安としてはG. L. - 2. 5 m前後が考えられる。

8. まとめ

油谷地域の地すべり機構、実施されてきた対策工の概要および動態観測結果について種々の検討を行った。その結果をまとめると次のとおりである。

1) 油谷半島の地形、地質の特徴は、棚田の緩斜面を形成する第三紀層(砂岩、頁岩など)とこれを被覆する崖錐堆積物(崩積土など)、台地状尾根部を形成するキャップロックとしての玄武岩により代表される。油谷半島における地すべり形態の根幹をなすものは、油谷半島におけるこうした地形・地質特性にあるものと判断される。すなわち、油谷半島の地すべりを地質学的形成変遷史としてみると、第三紀層堆積後、玄武岩溶岩がキャップロックとして被い、溶岩の荷重により未だ固結度の低い状態の第三紀層がスランピングを起こし、ついには大規模な海底地すべりを発生したものと考えられる。その後、2次的、3次的な地すべりを発生して崩積土を生産していった結果、新旧崩積土よりなる厚い崖錐堆積物が緩斜面を形成するに至った。現在では緩斜面における崖錐堆積物の再移動という形で地すべり活動しているものと考えられる。

2) 油谷半島の地すべりを代表する白木地区においては、各種調査の結果、地形・地質構造と地すべり機構の関連性、地すべり挙動と降雨の関連性などについて、詳細が明らかになった。断層沿いに形成された第三紀層の溝状凹地に最大層厚30 mもの崖錐堆積物が堆積する。地すべり地頭部にキャップロックとして分布する玄武岩が地下盆を形成するため、集中豪雨時に急激な地下水上昇を伴い、崖錐堆積物へ多量の地下水を供給して地すべりを助長する。その結果、斜面勾配5°~10°の非常に緩い斜面を構成する崖錐堆積物が第三紀層との地質境界を地すべり面として、緩慢かつ降雨と敏感に対応した地すべり挙動を継続している。

3) 白木地区を代表とする油谷半島各地の地すべり地区における対策工は、このような地すべり機構を考慮して、主として集水井などによる地下水位低下工法を採用し一応の効果をあげている。

謝辞

本報告は、土質工学会中国支部「油谷地域地すべり対策に関する研究委員会」での成果に加筆してまとめたものである。資料の提供等便宜をはかって頂いた山口県土木建築部砂防課五十嵐武課長をはじめとして委員会のメンバーの方々、また現地調査等に同行して頂いた山口県長門工事事務所の方々に、深謝の意を表す。

また、図面の清書にあたっては、山口大学工学部山本修三技官、椋木隆技官の協力を頂いたことを記して、謝意を表します。

参考文献

- 1) 高橋英太郎他：「山口県の地質」、山口県立山口博物館、pp. 171-182、1975年。
- 2) 岡本和夫、今村外治：山口県油谷湾付近の第三系、広大地研報告、No. 13、pp. 1-42、1964年。
- 3) 久永喜代志、梶谷啓二：山口県油谷半島の地すべり機構、未発表資料。
- 4) 久永喜代志、熊谷満行：新しい地すべり調査法の提案、応用地質(株)社内資料、1987年。
- 5) 建設省河川局：「海底建設省河川砂防技術基準(案)」計画編、p. 196、1978年。
- 6) 塩月善晴、大原資生、山本哲朗：土砂災害を起こす豪雨の予報について、土木学会論文報告集、第381号、1987年。