

鳥取県泊地区の地すべりと対策工

Landslides and Countermeasure Against Landslide in Tomari District of Tottori Prefecture

新 任修* (Tugunobu Atarashi)

岩本 志信* (Shinobu Iwamoto)

藤村 尚** (Hisashi Fujimura)

鳥取県泊地区の地すべり地の地質的特徴ならびに対策工の概要と被災履歴及び予知についてまとめたものである。当該地区の地盤は、第三紀鮮新世の火山岩類の上に分布する二次堆積物(礫混じり粘土)が豪雨等による地下水位ならびに間隙水圧の上昇を伴い、地すべりの発生することが明らかになった。地盤は常時では安定しているが、豪雨時に突発的に発生し、移動速度が極めて早い“崩積土地すべり”に属し、概ね4年ごとに大きな被災を繰り返している。

地すべり土塊の強度は、 $c' = 0.2 \sim 1.0 \text{ tf/m}^2$, $\phi' = 15 \sim 25^\circ$ と推定され、礫混じり粘土と基岩の風化土層との境界面をすべり面として移動する。常時の地下水位は風化土層に存在するが、累積降雨量が30mm程度に達すると水位変化が現れている。対策工は、地下水排除工のうち、地表面からの水抜きボーリング工や集水井工等の抑制工を主な工法として選定し、道路沿いには井桁組擁壁工の抑止工を設けている。また、地すべり発生予知についても言及した。

キーワード: 降雨, 地すべり, すべり面, 地下水, 地質学, IGC; E-6

1. まえがき

鳥取県中部の地すべり機構を代表する地区として泊地区をとりあげた。当該地区における地すべりの兆候は、昭和52年から認められていたが、昭和54年、57年、58年と相次いで地すべりが発生するにいたり、昭和59年に国の地すべり防止区域に指定された。昭和60年より本格的な地すべり防止対策工事を開始したが、昭和62年ならびに平成2年の概ね4年ごとに大規模な地すべりが発生した。

泊地区の地すべり地は、主に第三紀層が丘陵の基盤を形成して、斜面にはこれらを起源とする礫混じり粘土層の二次堆積物が樹枝状に分布しているのが特徴である。地質構造については、かなり明確になってきたが、地すべりの機構及び対策工については明らかにされていない。本報告では、地形・地質とこれまでの被災履歴を概観してその特徴を述べる。つぎに、そこで実施された対策工及び安定解析結果について検討し、さらに地すべり発生の予知について述べる。

2. 地形・地質概要

2. 1 地質概要

図-1と写真-1に示すように、当該地区は標高120~220mの丘陵地の緩斜面をなし、樹園地として利用されている。基盤は第三紀鮮新世の火山岩類(亀尻玄武岩類及び鉢伏山板状安山岩類)で構成され、稜線部には大山ローム層が分布する。また、丘陵斜面にはこれらを起源とする二次堆積物(礫混じり粘土)が樹枝状に分布する。断層系は、地区内でNSならびにNW方向のリニアメントが認められるが、露頭では確認されていない。しかし、

* 西谷技術コンサルタント(株)地質部 係長

* 西谷技術コンサルタント(株)地質部 部長

** 鳥取大学 工学部土木工学科 助教授

このリニアメント沿いに、常時0.2～1.0l/minの湧水地点が点在し、断層の存在する可能性が高い。

第三紀鮮新世火山岩類は、主として鉢伏山板状安山岩類よりなるが、標高140m付近より下位には亀尻玄武岩類が分布する。それぞれ、安山岩あるいは玄武岩と凝灰角礫岩が数メートル～十数メートルごとの互層をなす。いずれも風化が顕著で、地表面から20～30mまではN値が5～15の粘土状を呈する。安山岩は、灰～黄褐～赤灰色で、深度によって色調変化が著しい。コアは、礫混じり粘土状に採取されることが多いが、所々に人頭大～直径2m以上の風化残留礫が点在する。玄武岩は、黒褐～暗紫灰色の色調を呈し、地区の下部岩盤を構成している。全体に多孔質で丸い気孔が多く認められ、滞水層となっている。凝灰角礫岩は、灰白～赤褐色の軽石質凝灰角礫岩～砂質凝灰岩である。特に灰白色の凝灰岩は吸水による軟弱化が著しく、湧水のある露頭では指による圧入が容易である。

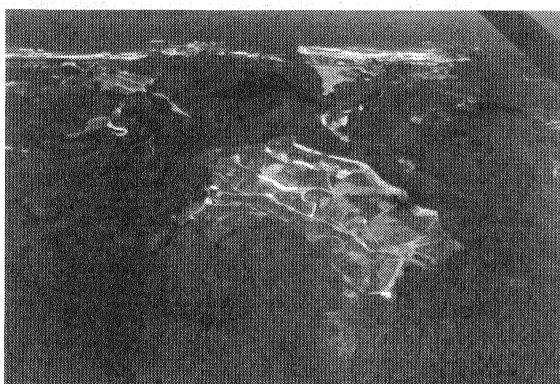


写真-1 調査地全景（航空写真）

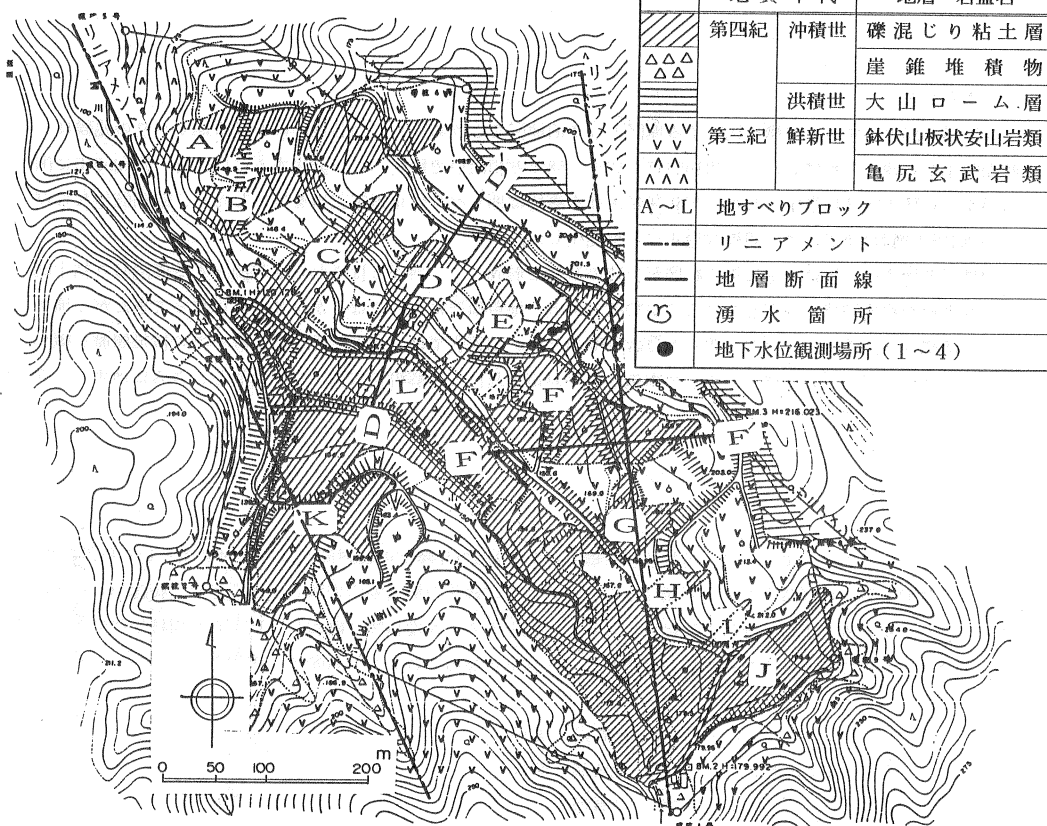


図-1 調査地の表層地質図

大山ローム層は、粘土と軽石よりなり、一般に大山中部火山灰層と呼ばれている。稜線部に厚さ2～3mで分布しており、極めて粘土質で含水比が高く、軽石はこね返すと著しく不安定となる。

礫混じり粘土層は、安山岩風化土の二次堆積物を中心とした暗褐～褐色の礫混じり粘土で、層厚は2～10m程度を有し、主として含水比の高い高塑性の粘土よりなる。礫は主として直径5cm以下の軟質角礫～亜角礫であるが、まれに直径0.3～2mの硬質軽石（安山岩質）が点在する。N値は2～4を示すことが多く、軟弱である。

地すべりはこの礫混じり粘土層の分布域で発生することが多く、分布域はA～Lの12ブロックにブロック化される。これらのブロックは地区の中央部の水路で分けられ、右岸西側にA～J、左岸にK、さらに水路沿いにLブロックがある。このうち、D及びFブロックが最も厚さが厚く、その厚さは10～15mで、地すべりの規模も当ブロックが最大である。

2-2 傾斜角の検討

地形図を適当なメッシュで区切り、各格子点に標高を与えた。ここでは、基図縮尺1000分の1の地形図と10m間隔のメッシュを採用した。

各メッシュの最急勾配角 θ は、図-2に示す解析メッシュの各格子点に与えた標高をもとに格子点間の中心標高を求めx方向、y方向について地形勾配 $I_x (= \tan \theta_x)$ 及び $I_y (= \tan \theta_y)$ を

$$\theta = \tan^{-1} \{ \sqrt{I_x^2 + I_y^2} \} \quad \dots\dots\dots (1)$$

で計算される。

例えば、崩壊地G、H、I、Jを囲む520×270mの区画内の平均勾配は25.7°であり、各崩壊地の平均勾配は、それぞれG=16.6°、H=25.5°、I=19.7°、J=12.1°であった。このように、崩壊地の勾配は、全体のものよりわずかに小さいことが知られる。

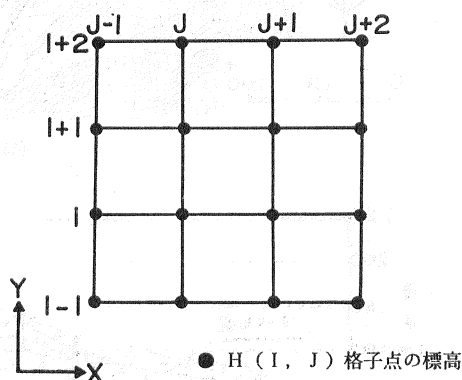


図-2 解析メッシュ

3. 地すべりの概況

主な地すべり災害の概況を表-1に示す。いずれの地すべりも主として“礫混じり粘土層”で発生しており、“風化土”の崩壊は極く少ない。当該地区の地すべりは、常時は静止しているが、豪雨時に突発的に発生し、移動速度が極めて速いのが特徴で、崩壊土地すべりとされる。

昭和54年災には、A～Gブロックで地すべりが発生し、単なる斜面崩壊として扱われ、対策工としては主に井桁組擁壁と布団竈で対応した。

図-3の昭和58年災には、D、F、Gブロックで地すべりが発生し、被災箇所は少ないが、1箇所当たりの規模が大きいのが特徴であった。このうち、Dブロックの地質断面図を図-4に示す。図中のすべり面（実線）の位置は、ボーリング等の結果及び崩壊後の目視観測によって描いたものである。また、移動土塊の厚さは最大15mになる。

表-1 地すべりの概況

災 害 名		昭和54年災	昭和58年災	昭和62年災	平成 2年災
被 災 日		10/19	9/28	10/17	9/19
被 災 原 因		台風20号	台風10号	台風19号	台風19号
総降雨量 (mm)	倉吉観測所	207	206	357	324
	T 観測所	—	166	297	271
	地すべり地内	—	—	—	524
最大4時間雨量 (mm)	倉吉観測所	34	23	78	20
	T 観測所	—	15	55	26
	地すべり地内	—	—	—	55
被 災 箇 所		38	16	42	23
被災種別	道 路 (m)	699	146	1,092	565
	水 路 (m)	244	69	19	160
	農 地 (ha)	4.07	0.98	1.41	1.12
	農地保全施設 (m)	—	0.61(ha)	42	100

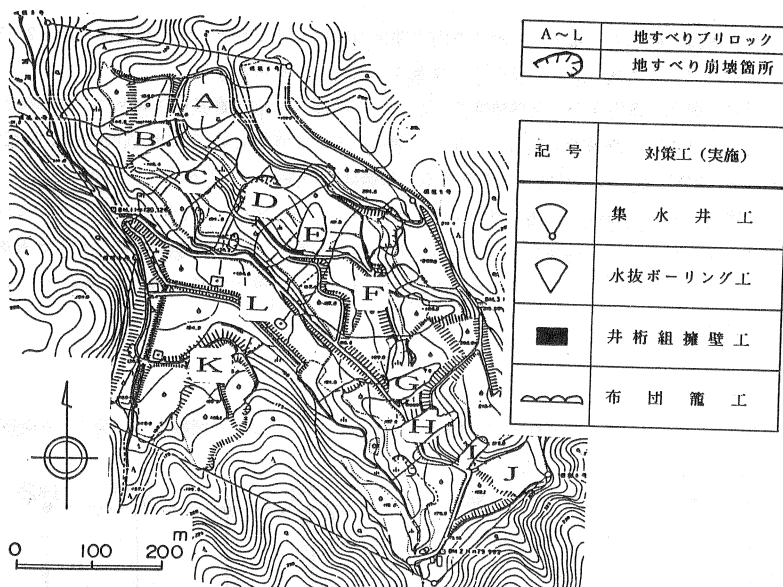


図-3 昭和58年災の状況

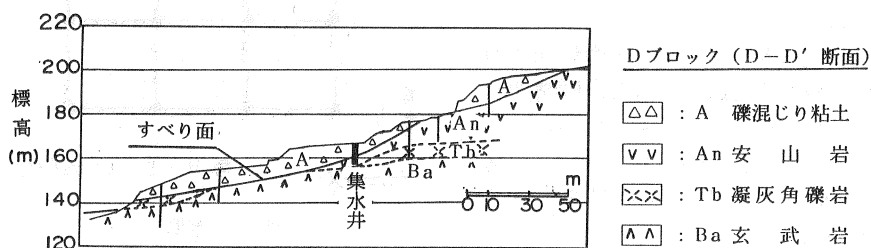


図-4 Dブロックの地質断面図

この災害を契機に地すべり防止区域に指定され、本格的な調査を実施するようになった。その結果、降雨後の地下水上昇が原因と考えられたので、対策工は主に地下水排除工で対応された。

昭和62年災には、礫混じり粘土層分布域のほぼ全ブロックで地すべりが発生したほか、軟岩斜面が節理面に沿って崩壊した。過去最大の被災箇所を数えるに至ったが、比較的浅いすべりが多いのが特徴であった。このうち、代表的な被災状況を写真-2に示す。

図-7の平成2年災では、昭和62年につぐ被災箇所を数え、主に水路右岸側の中段斜面が顕著であった。被災した規模は大きく、深いすべりが多いのが

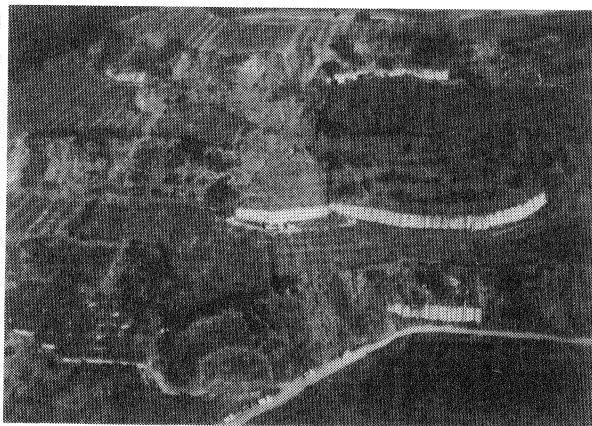


写真-2 崩壊地 (Dブロック)

特徴であった。当災害発生時の地すべり地内の降雨量の変化を図-5に示す。このときの様子を所有者は以下のように述べている。“最初の崩壊は9月19日午前8時頃に、まず、Gブロックで発生した。その直前の時間降雨量は30mm/h、降り始めからの累積降雨量は244mmに達していた。以後、様々なブロックで次々に崩壊が始まった。”翌20日、午前9時頃、筆者らが現地を訪れた時点では、Fブロックを除くすべてのブロックで崩壊が生じていた。同午前10時50分頃、木の根の切断される音を伴いながらFブロックの崩壊が始まった。雨は8時間前の20日、午前3時には止んでいたが、累積降雨量は524mmに達していた。また、最大時間降雨量は9月19日午前10時～12時に連続55mm/hを記録している。図-6にFブロックの地質断面図を示す。移動土塊の規模は幅80m、長さ100m、厚さ5～10mで、約6万 m^3 である。滑落崖は高さ5～10mで、礫泥じり粘土がその斜面を構成する。地すべり土塊は、平均5m/min

の速度で斜面を下り、同11時40分頃、地区の中央部を流れる水路に達し、同50分頃に水路を堰止めて一応停止した。以後、上流に水が溜まり始めたが、12時30分頃、堰の一部が決壊し、少しずつ排水し始めたので下流集落への二次災害（土石流）は避けられた。

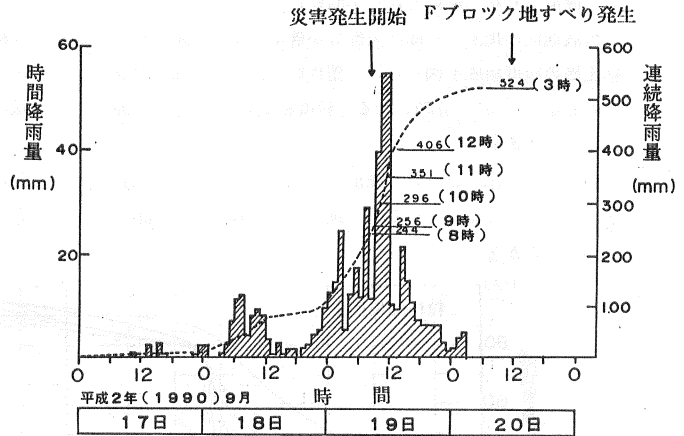


図-5 平成2年災の降雨量

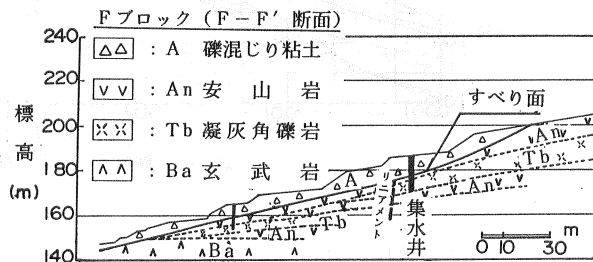
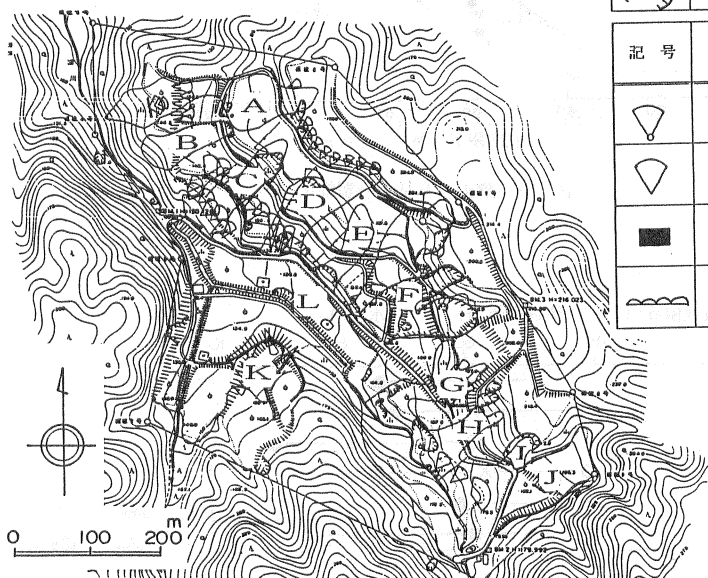


図-6 Fブロックの地質断面図



A～L	地すべりブロック
	地すべり崩壊箇所
記号	対策工(実施)
	集水井工
	水抜ボーリング工
	井桁組擁壁工
	布団籠工

図-7 平成2年災の状況

4. 礫混じり粘土層の土質工学的性質

当該地区の地すべり面は大部分が礫混じり粘土層あるいは礫混じり粘土層と風化土の境界部にある。礫混じり粘土層の粒度組成を図-8に、塑性図を図-9に示す。図に示したように、礫混じり粘土層は5~30%の礫分を混入するが、C' Hに分類される。粒度組成のうち、 F_L は地すべり末端部（舌部）のものであり、 $F_H \sim D_H$ は冠頭部のものである。

図-10に示すように、礫混じり粘土は平常時では自然含水比が液性限界以下にあり、コンシステンシー指数が0.4~0.7で安定しているが、地すべり土塊として移動しているときには、自然含水比が液性限界を大きく上回っていることが多い。

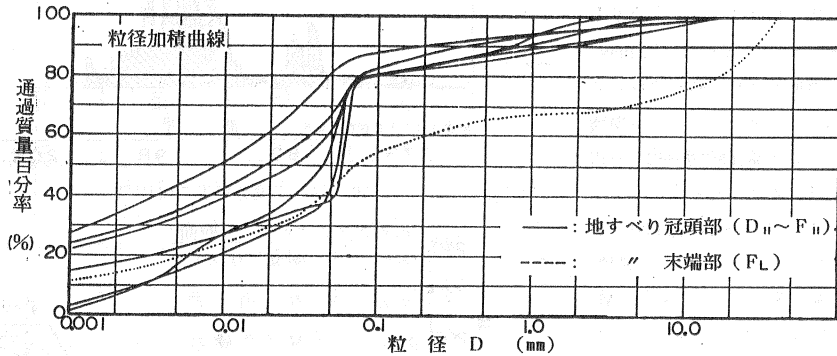


図-8 礫混じり粘土の粒度組成

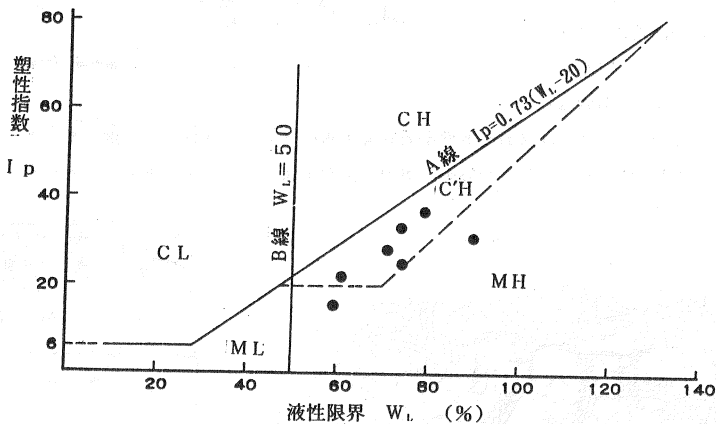


図-9 礫混じり粘土の塑性図

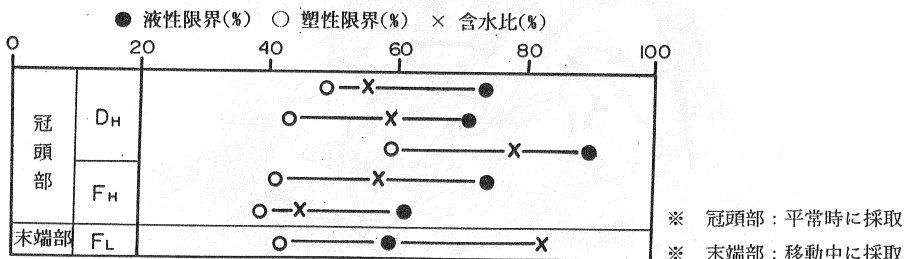


図-10 礫混じり粘土のコンシステンシー

表-2 に礫混じり粘土層の密度を示す。

湿潤密度は $1.55 \sim 1.65 \text{ g/cm}^3$ 、乾燥密度は $0.9 \sim 1.1 \text{ g/cm}^3$ の範囲にあり、平均値

はそれぞれ 1.6 g/cm^3 と 1.0 g/cm^3 である。

一方、標準締固め試験によると最大乾燥密度は、 1.3 g/cm^3 程度で、礫混じり粘土層の締め具合はこれらの75%程度を示し、極めて緩い状態にある。礫混じり粘土層は、礫分を多く混入するので、乱さない試料によるせん断試験が

困難である。したがって、せん断強度定数は移動土塊厚 1.0 m につき 0.1 tf/m^2 の粘着力を見込む“逆算法”で推定した。

図-11 は安定時の安全率 $F_s = 1.0$ として推定した $c' \sim \phi'$ 曲線を示す。粘着力は、 $c' = 0.2 \sim 1.0 \text{ tf/m}^2$ 、せん断抵抗角は $\phi' = 15 \sim 25^\circ$ のせん断強度定数を示す。当該地区の場合も一般的に言われているように、 ϕ' は地すべりが発生したB~Kブロックにおいて、ほぼ一定値を示す傾向にある。

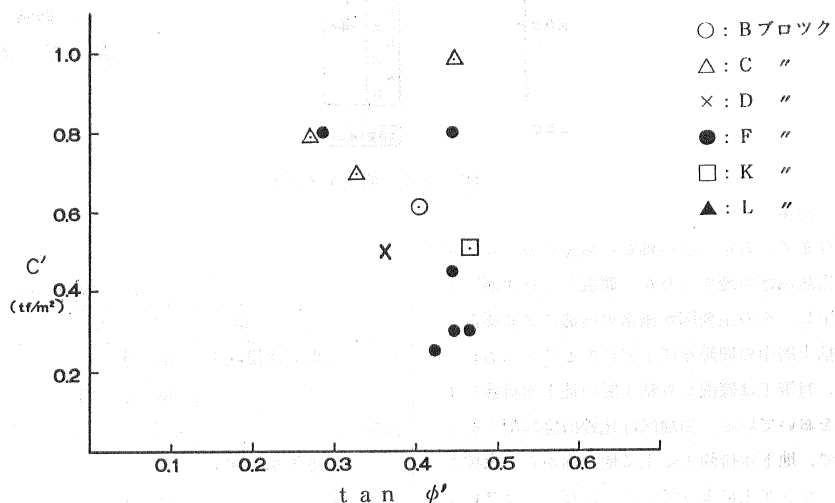


図-11 $c' \sim \phi'$ 曲線

5. 透水性ならびに地下水位

表-3 は簡易揚水試験から求めた礫混じり粘土層ならびに風化土の透水係数を示す。同表のように、礫混じり粘土は他の層に比べて透水性が大きい。

D, F ブロックの平常時と豪雨直後の地下水位の関係を図-12 に示す。同図のように、平常時の地下水面は礫混じり粘土層の下の方風化土にあることが多く、礫混じり粘土層内にあることはまれである。降雨時の地下水位上昇量は $3 \sim 14 \text{ m}$ で、水位が低い所ほど大きく、豪雨時には地下水位が概ね地表面まで上昇している。水位変化は、時間降雨量や透水係数に関係するが、降雨後、累積時間降雨量が 30 mm 程度に達すると直ちに变化する。

表-2 礫混じり粘土層の密度 単位: g/cm^3

試料の状態	乱さない試料				乱した試料
	湿潤密度		乾燥密度		最大乾燥密度
測定値	1.57	1.66	0.96	1.07	1.28
	1.62	1.57	1.02	0.87	1.34
平均値	1.60		0.98		1.31

表-3 透水係数

地層名	透水係数 k (cm/sec)
礫混じり粘土	$9.6 \times 10^{-3} \sim 9.9 \times 10^{-2}$
安山岩	$9.4 \times 10^{-4} \sim 2.3 \times 10^{-6}$
凝灰角礫岩	$6.1 \times 10^{-4} \sim 4.4 \times 10^{-7}$
玄武岩	$6.9 \times 10^{-3} \sim 8.8 \times 10^{-7}$

被災年度	昭和 62 年 災	平成 2 年 災
地すべりブロック	Dブロック	Fブロック
管 号	D-1	F-1 F-2 F-3 F-4
総降雨量	T: 297mm	T: 271mm S: 524mm
最大時間雨量	T: 55mm/h	T: 28mm S: 55mm/h

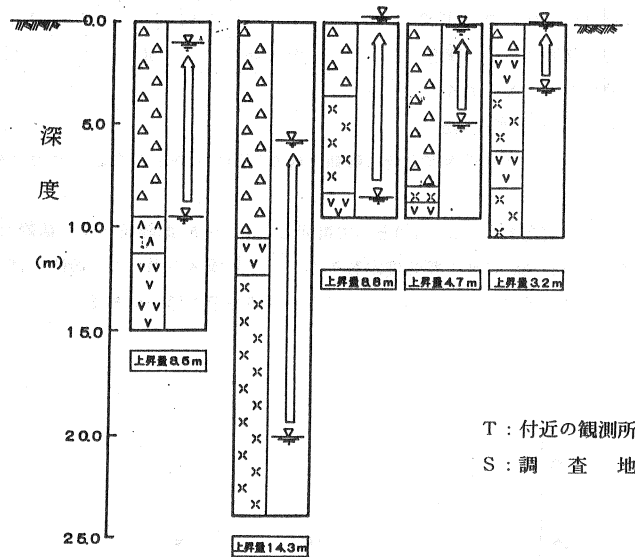


図-12 地下水上昇変化

6. 対策工

今までの対策工の種類と数量を表-4に示す。

当該地区の地すべりが“礫混じり粘土層”で発生し、その主要因が雨水の浸透による礫混じり粘土層中の間隙水圧上昇にあることに着目して、対策工は礫混じり粘土層の地下水排除に主眼をおいている。当地区は比較的急勾配であるので、地下水排除工は主に地表面からの水抜きボーリング工によっている。ただし、DブロックやFブロックのように、基盤の被圧滞水層からも地下水が供給されている場合や、礫混じり

表-4 地すべり対策工

対 策 工 法		既 実 施
抑制工	地表水排除工	排水路工 284 m
		承水路工 445 m
	地下水排除工	水抜きボーリング工 428 本
		集水井工 9,913 m
抑止工		井桁組擁壁工 2 基
		井桁組擁壁工 527 m

粘土層の厚さが10m以上と厚い場合は集水井工を採用している。対策工の完了した地点でも一部で崩壊した場合もあるが、その規模は軽微で対策工の効果があつた。また、地区内の道路を確保するために、井桁組擁壁工を地すべりブロック末端部及び中央部に採用して小崩壊を抑止している。

当該地区で最も大規模な地すべりとなった平成2年のFブロックの対策工を図-13に示す。同図のように、Fブロックは礫混じり粘土層と風化土の境界部での平面すべりである。地すべり頭部及び末端部の土砂は下方へ流出して風化土が現れている。滑落崖ならびに農道法面は、農地として復旧するために、盛土する計画で井桁組擁壁を施工して耕作面積を確保するものとする。また、地すべり直後の滑落崖付近の風化土から湧水が認められた。地下水位上昇の原因は、地表面からの雨水の直接的浸透のほか風化土からの供給が考えられるので、地すべり頭部に集水井工を施工して冠頂部からの浸透を遮断した。集水井から施工する集水ボーリング工は、30mを36本、延べ1,080mで、これを2段に分けて施工するものとしている。これにより、冠頂部風化土からの浸透はかなり減少するが、さらに側面方向から浸透することも考えられるので、風化土の表面に地下排水溝を施工する。礫

混じり粘土の含水比は、崩壊後長時間が経過して低下しているが、施工中の浸透水を排除するために、盛土高2mごとに透水マットを敷設して間隙水圧の消散を促進させるものとした。

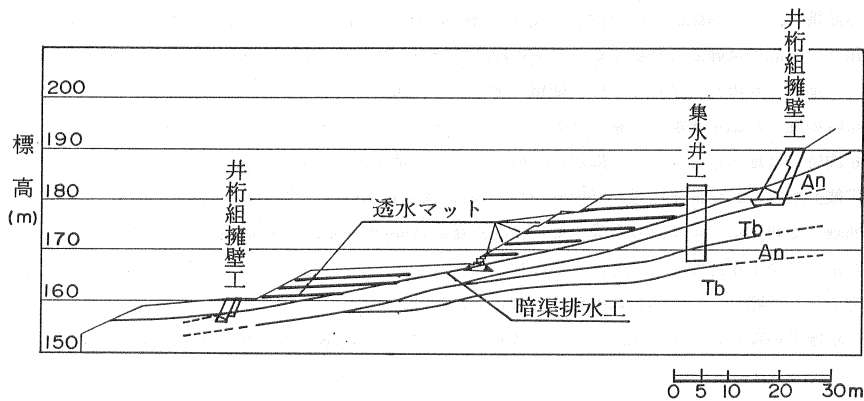


図-13 Fブロックの対策工

7. 地すべりの予知

調査地付近の観測所
(T観測所)と当該地区内(S観測所)に設置した雨量計の観測結果から、集中豪雨による地すべり発生の予知を検討する。

図-14は、昭和58年以降のT観測所データならびに平成2年以降のS観測所データの中から、崩壊に関与する降雨量をピックアップして、時間降雨量(r)と24時間降雨量(R)の関係プロットし、過去の災害事例から“安定領域”、“災害要警戒領域”ならびに“災害必至領域”を推定し

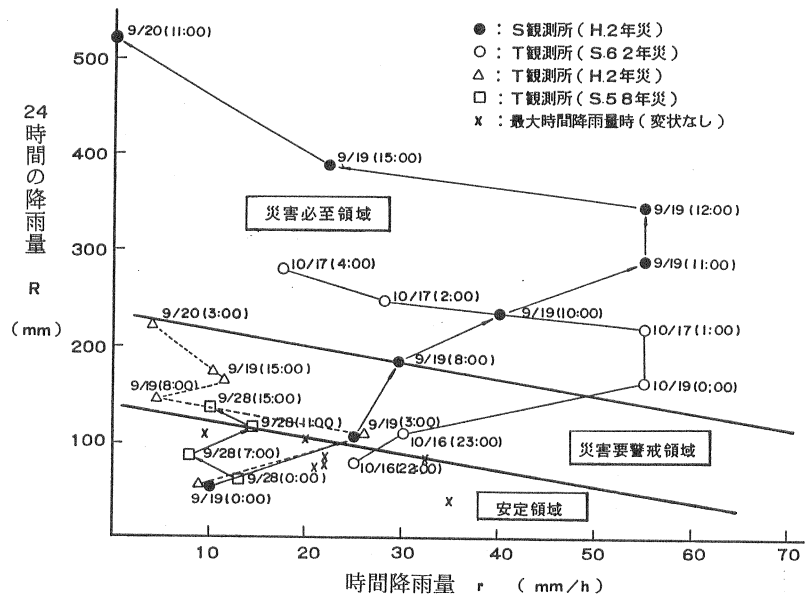


図-14 $R \sim r$ 曲線

たものである。図の境界線はTならびにS観測所の雨量が等しいものとして描いたが、両観測所の距離は2.5km程度で、T観測所は海辺、S観測所は丘陵地に位置し、降雨量は大幅に異なることがわかっている。したがって、今後S観測所のデータが蓄積されれば図-14の各領域は多少変更される可能性がある。しかし、平成2年の両観測所のデータを用いて、地すべりの発生した9月19日午前8時には、T観測所でも警戒領域にある(S観測所では必至領域)ので、T観測所で、24時間降雨量が200mmに対し時間降雨量20mm/h、24時間降雨量が150mmに対し時間降雨量50mm/hを越えれば崩壊が必至の状態と言えよう。また、日降雨量が100mmを越えれば、警戒が必要となろう。

8. ま と め

鳥取県泊地区の地すべりについて、地すべりのメカニズム及び実施された対策工の概要ならびに崩壊と降雨量の関係について検討した。これを要約するとつぎのとおりである。

- (1) 当該地区は平均勾配20～25°程度の丘陵地を樹園地として開発されている。基盤は第三紀鮮新世の火山岩類で、斜面には礫混じり粘土が5～15mの厚さで分布している。地すべりは、主にこの礫混じり粘土で発生し、地すべりのタイプとしては、崩積土地すべりに属する。
- (2) 常時の地下水面が礫混じり粘土層の下位にある風化土内にあることが多く、地盤は安定しているが、集中豪雨時には地下水位ならびに間隙水圧の上昇により地すべりが発生する。
- (3) T観測所での24時間降雨量が200mmに対し、時間降雨量20mm/h、24時間降雨量が150mmに対し、時間降雨量50mm/hを越えると地すべりが発生し、日降雨量が100mmを越えると警戒が必要である。
- (4) 対策工は地下水排除工のうち、地表面からの水抜きボーリング工や集水井工等の抑制工を主な工法として選定し、道路沿いには井桁組擁壁工の抑止工を設けている。

今後は、現地での降雨量や地下水位を詳しく観測して崩壊に関わる降雨量と地下水位の関係を明らかにしていきたい。