

まさ土地帯における農地造成斜面の防災対策

Disaster prevention works for slopes of agricultural use in decomposed granite area

わ だ まさ ゆき え なみ のぶ ゆき
和 田 温 之* 榎 並 信 行**
なが え りよう じ ほん たに ひろ し
長 江 亮 二*** 細 谷 裕 士****

1. はじめに

近年の農地造成においては、圃場の効率を良くするために、大規模な土工を伴う改良山成畑工（現況地形の山を削取り、谷を埋めて緩傾斜の畑地を造成する工法）が採用されることが多い。この工法は「まさ土」の厚い花崗岩丘陵では特に容易であるため、これを採用する地区が増大してきている。

昭和51年9月の17号台風は、ほぼ全国的に大きな災害をもたらした。瀬戸内地方でも、8日から12日にかけての5日間の総雨量が800～1400 mm、最大時間雨量が60～100 mmと、計録的な豪雨にみまわれた。これによって、四国側の花崗岩丘陵にある、改良山成畑工法を採用した農地造成地（以下造成地とする）の一部で、崩壊や土砂流が発生し、大きな災害をもたらした（以下51災とする）。中でも多年生の樹園地が被災した農家では、経済的・心理的影響が大きく、一時的には開発意欲が減退するものもあった。

一般に「まさ土」は、豪雨によって崩壊しやすい特殊な地質であり、その分布地域では度々大きい災害を受けている。花崗岩の占める面積が陸地の30%¹⁾を越える中国四国地方では、特に「まさ土」の分布する地域（以下「まさ土」地帯とする）での災害が多く、戦後の主なものでも8回を数えている。

このような災害を受けやすい「まさ土」地帯における開発には、十分な斜面の防災対策が必要である。しかしながら、造成地の崩壊機構のうち、特に盛土の中の地下水の出入りや、これによる土質の変化等については必ずしも十分に解明されていない面がある。

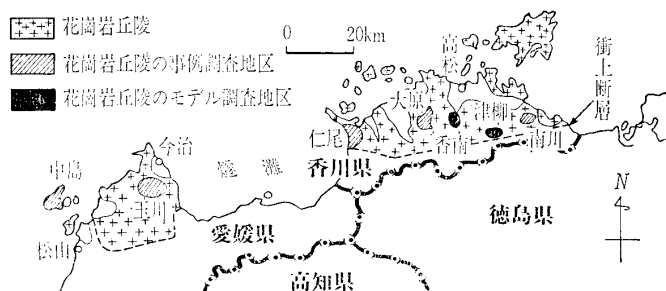
このため筆者らは、51災等で被災した、香川県と愛媛県における「まさ土」の造成地を選んで崩壊機構の調査を行い(図一1参照)、その造成斜面の防災のあり方について考察した。そして、その成果について「まさ土」の斜面の災害対策に携わったことのある技術者ら127人から、アンケートによって意見を求めた。その結果若干の意見の相違はあったものの、大勢においては筆者らの成果に賛同を得たのでここに報告する。

*農林水産省中国四国農政局計画部資源課 地資官

**農林水産省構造改善局計画部資源課 地下水係長

***農林水産省農業土木試験場水利部水利第二研究室 研究員

****農林水産省構造改善局計画部資源課 地下ダム係長



図一1 崩壊事例調査およびモデル調査地区位置図

2. 調査計画

造成地の崩壊機構を明らかにするために表一1に示す調査項目を選定した。また、盛土や地山の間隙水圧と地下水位等を直接観測するモデル調査地区としては、香川県の香南地区と津柳地区を選定した。このうち、香南地区では51災時に、下部から崩壊が始まって最後に盛土全体が崩壊したAブロック、このとりにある最下部が局部的に崩壊したのみで、盛土はほぼ全体が残ったBブロック、および最

表一1 崩壊事例の調査項目

調 査 項 目	調 査 内 容
1. 地	形……{斜面の形態(凹, 凸, 平板), 傾斜度(10°前後が問題), 集水域}
2. 地	質……{基盤岩の種類(細粒, 中粒, 粗粒等), 風化の度合の区分(まさ土化の程度, 粘度状か砂状か)および厚さ}
3. 地 質 構 造	……{亀裂や断層の存在, 方向性, 地下水との関連}(一部香川大学斉藤実教授に依頼)
4. 土	質……{基盤岩, 風化土(まさ土)および盛土の種類とその物理的性質および土塊強度の違いを明らかにする}(香川大学横瀬廣司助教授に依頼)
5. 施 工 状 況	……{暗渠の種類と数, 原植生はどう処理したか, 原地形は, 盛土の種類, 締固めの程度等}
6. 地 下 水	……{透水性, 上下浸透, 水位変動, 水温, 水質, 間隙水圧の測定を含む}
7. 地 表 水	……{流域, 降雨タイプに伴う 流量の変化, 水温, 水温}
8. 降 水 量	……{日雨量, 時間雨量, 連続雨量等}(香南地区内にある新高松空港建設のための 気象観測所の 資料を収集)
9. 事 例 調 査	……{崩壊の目撃者等からの聞き込み, 歴史的な記録の収集も含めた被害の実態を明らかにする}
10. 社会 経 済 調 査	……{災害が農業者の意識や農家経済に与える影響を調査する}(香川大学森和男教授に依頼)
11. 斜面の安定解析	……弾塑性理論(農業土木試験場川本治研究員に依頼)ビショップ法(岐阜大学仲野良紀教授に依頼)地下水収支を含むもの



図-2 モデル調査地区の観測施設配置図

上部の比較的傾斜のある盛土が瞬間的に崩壊して、土砂流となって流下したCブロックの三つのブロックにボーリング23孔を行った。また、これらのブロックでは、地下水位の自記観測7か所、流量の自記観測6か所および地山と盛土の間隙水圧の毎日観測3か所等を、昭和54年度から昭和57年度までの間に行った。もう一方の津柳地区では、51災後に防災対策として、均一型フィルダムのインターセプターに似た排水ドレーンが盛土の中に設置してある。この排水ドレーンの効果を調べるために、津柳地区では5か所で地下水位の自記観測を行った。これらの観測施設の配置は図-2に示している。崩壊の誘因となる降水量については、香南地区内にある香川県の新空港建設調査のための気象観測所の資料を収集した。

崩壊の素因としての地形地質については、谷の長さ、深さ、傾斜（谷底と盛土上面）、「まさ土」の形態、および割れ目と脈岩の分布等を現地調査すると共に、盛土や地山の電気比抵抗（エルトラン法の水平電気探査による）と弾性波速度（屈折波による弾性波探査による）を求め、ボーリング結果と比較して地質構造や地下水等の平面的分布を推定した。また土質については、51災による崩壊地のある、香南、大原、仁尾および南川地区の地山と盛土について土質試験を行って比較した。

「まさ土」の盛土斜面の安定解析については、香南地区のA、BおよびCブロックをビショップ法で行った。特に下部から数回にわたって崩壊したAブロックについては弾塑性モデルによる有限要素解析も行った。さらにAブロッ

クとこのとなりの崩壊しなかったBブロックについては、昭和54年の豪雨時に検証したタンクモデルを用いて、51災時点での地下水収支を考慮した安定解析を行った。

3. 調査地区周辺の地形地質

調査地区のある瀬戸内南岸の花崗岩丘陵は、地質構造区としては、いわゆる西南日本の領家帯に属している。この丘陵は標高100~500mであり、尾根は定高性があるため数段の侵食小起伏面が認められる。標高は津柳地区が400~450m、香南地区が150~200mであり、これらは標高からそれぞれ、中国山地の吉備高原面と瀬戸内Ⅱ面²⁾に対比される侵食小起伏面と思われる。

これらの丘陵を構成するのは、花崗岩類の中でも、主に粗粒黒雲母花崗岩と花崗閃緑岩である。この二つはいずれも、地表近くでは強風化して軟らかい「まさ土」(齊藤³⁾はこれを「軟まさ」とした)になっている。花崗閃緑岩の風化帯の「軟まさ」は褐色粘土状で厚く、粗粒黒雲母花崗岩も地表近くの厚さ1~3mだけが白色粘土状になっていることがある。さらに標高200m付近の高位段丘礫層のあるところでは最上部の「軟まさ」が赤色土状になっている。ここでは、これらの粘土質のまさを「粘土まさ」としてまとめておく。「粘土まさ」のところでは、円弧すべりはあっても土砂流は発生しない。香南地区の粗粒黒雲母花崗岩は図-3に示すように「軟まさ」の大部分は砂状になって

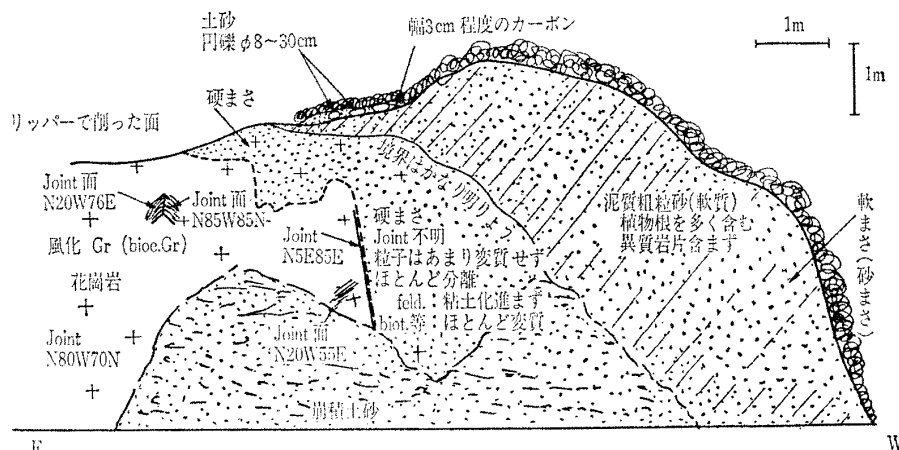


図-3 地山での「まさ土」の産状(香南地区Bブロック西方の切土面)

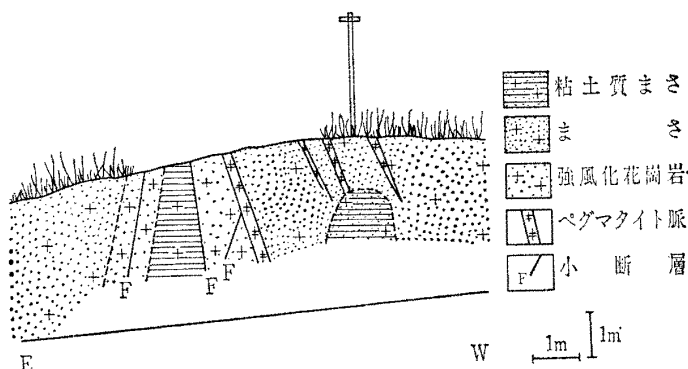


図-4 まさ土の中のアプライト脈(裂か水が多い)(香南地区Cブロック最上部)

いることが多い。ここではこれを「砂まさ」としておく。「砂まさ」の下には結晶間のかみ合せのしっかりした硬いまさ（斉藤³⁾はこれを「硬まさ」と呼んでいる）があり、さらにその下には岩片は堅いが細かな亀裂の発達した風化花崗岩がある。「硬まさ」は風化帯だけでなく、流紋岩質の貫入岩に沿って変質帯として分布していることもある。これらのどちらの「硬まさ」も掘削して結晶間のかみ合せを破壊すれば「砂まさ」と同じようになる。51災の例では、造成地の切土のり面について斉藤³⁾は、「軟まさ」のところが崩壊し、「硬まさ」は安全であったとして「硬まさ」を評価している。また、斜面勾配0.7～1.0の切土のり面では「砂まさ」の崩壊が多かったようである。

花崗岩には、図-4に示すように、アプライト等の細脈が多い。これらの中には裂か水（岩石の内部に発達する割れ目や空隙中に保持され、または流動している地下水）があり、深井戸や集水井戸によって日量50～1000 m³の地下水が得られている。また香南地区では花崗岩の主な節理面や脈岩の方向と谷の方向が一致しており、ほかの調査地区にもこれと同じような傾向がある。さらに谷頭部に湧水のある谷が多い。このように51災で造成地の崩壊した、花崗岩丘陵においては、谷の形成そのものが、地質構造に沿った地下水の影響を受けているようである。

一般に造成では、雑木林の尾根が切土され、湧水を利用した小溜池や谷地田跡地のある谷に盛土されることが多い。この谷地田には、厚さ1 m前後でN値が5以下の青灰色シルトが、谷地田特有の堆積物として存在する。そしてこの上の盛土には主に砂まさが使われているが、ここでは盛土に使われたまさは、地山の残積性の「まさ土」と区別して「二次まさ」としておく。

香南地区での盛土のボーリング結果では、地下水面より上の二次まさはN値が5～10で、ボーリングコアも締まっているが、地下水面より下の飽和した二次まさはN値が5以下で軟弱である（表-2参照）。

51災による崩壊地のある、香川県の仁尾、大原、香南および南川の4地区と愛媛県の玉川地区における事例調査の結果、崩壊ブロックでは、造成前の谷が、細長くて総延長（盛土の下に二つ以上の谷のあるときはその合計）が80 m以上とか、深さが5 m以上とか、または谷底の傾斜が15度以上とかであって、谷底に湧水があったり、地下水が集中しやすい条件等があり、さらに盛土の造成面の傾斜が13度以上のところに多発している。また、崩壊層は主に「二次さ」と「青灰色シルト」であった。特に、瞬時に崩壊して大規模な土砂流を発生したブロックは、地山に脈岩が多くて、地下水を供給しやすい地質構造のところであった。

4. 「まさ」等の工学的性質

調査地区の地山と盛土の土を比較するために土質試験を行った。その試験内容と結果は表-3に示している。

表-2 香南地区の地質等の区分と工学的性質

区 分	弾性波速度	N値	透水係数	そ の 他
新鮮～弱風化花崗岩	km/s 3.3～4.2	—	cm/s —	堅硬で崩壊しない
風化花崗岩	1.6～2.0	—	2×10^{-4} ～ 5×10^{-5}	節理に沿って崩壊
硬まさ	0.8	50+	2×10^{-3} ～ 5×10^{-6}	結晶構造かみ合い崩壊しない
軟まさⅠ (砂まさ)	0.5	30	—	細粒分25%以下土砂流発生しやすい
軟まさⅡ (粘土まさ)	0.25	20	—	細粒分25%以上で円弧すべり発生する
青灰色シルト (谷地田の堆積物)	—	2～5	—	軟弱層ですべり面になりやすい
不飽和盛土 (二次まさ)	0.5	5～10	1×10^{-4} ～ 2×10^{-5}	ボーリングコアは締まっている
飽和盛土 (二次まさ)	0.2～0.35	1～4		ボーリングコアは柔らかい

横瀬ら^{4),5)}によるとまの土質特性は真比重の平均が2.64であり、ほぼ石英砂の真比重と同じである。間隙比の平均値は地山の砂まさのが0.61、盛土の不飽和二次まのが0.63と、その差は小さいが、測定値の幅は0.47～0.73とかなりある。粒度については、地山も盛土も、平均して礫分26.2%、砂分45.9%、シルト分20.7%および粘土分7.2%である。液性限界は25.1～67.7%、塑性限界も20.5～32.1%と幅はあるが、地山と盛土の違いより、採取地点の違いによる差の方が大きい。盛土の不飽和二次まの内部摩擦角は28°10'～33°50'、平均33°00'であり、地山の平均33°00'との差は少ない。粘着力についても0.12～0.77 kgf/cm²であるが地山と盛土の間に差はない。最適含水比は全体は11.3～21.9%で、平均16.8%である。また、最大乾燥密度は全体で1.55～1.88 g/cm³である。これらの土質特性は、同一地区では地山と盛土の土質の差は少なく、むしろ試料採取地区の違いによる差の方が大きい。ただし、盛土では粒度に比較して高い含水比や低い最大乾燥密度のものがあ、締固め作業によって粒子の細粒化が進むようである。また図-5に示すように、細粒部の重量比が異なっても内部摩擦角はあまり変化しないが、粘着力は変化し、その重量比が32%前後のときに最大となっている。

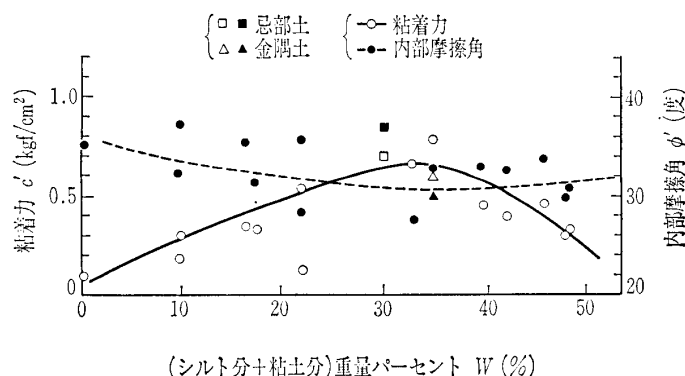


図-5 細粒部分重量とせん断強度定数（横瀬原因）

表—3 「まさ土」の土質試験結果（地区の位置は図—1 に示してある）

試料番号		香 南 地 区						大 原 地 区		仁 尾 地 区		南 川 地 区 1		南 川 地 区 2	
深 さ m		(南地山部) 表土	(南盛土部) 表土	(西地山部) 表土	(西盛土部) 表土	(東地山部) 表土	(東盛土部) 表土	(地山部) 表土	(盛土部) 表土	(地山部) 表土	(盛土部) 表土	(東地山部) 表土	(南地山部) 表土	(西地山部) 表土	(西盛土部) 表土
粒 度 特 性	礫分(2000 μ 以上) %	11.6	10.5	50.7	40.6	8.5	8.3	70.6	75.5	40.0	16.0	9.2	3.2	14.4	6.5
	砂分(74~2000 μ) %	45.9	43.5	32.8	42.6	43.3	43.1	24.3	19.0	48.4	61.7	50.9	65.5	63.4	58.5
	シルト分(5~74 μ) %	28.6	30.4	13.2	14.5	40.0	39.5	4.4	3.4	7.6	15.3	28.3	24.4	15.7	24.5
	粘土分(5 μ 以下) %	13.7	15.6	3.3	2.3	8.2	9.1	0.7	2.1	4.0	7.0	11.6	6.8	6.5	10.5
	最大粒径 mm	4.76	4.76	9.52	9.52	4.76	4.76	38.4	38.4	95.2	95.2	4.76	47.6	9.52	9.52
	均等係数 U_c	—	—	15	21	29	34	9.7	8.6	15.4	21.4	23.1	32.9	29	48
性	曲率係数 $U_{c'}$	—	—	1.4	1.7	2.1	2.0	0.9	1.1	1.2	1.3	2.1	2.3	3.1	2.1
コンシメーション特性	液性限界 w_L %	67.7	55.1	30.5	31.1	51.4	48.1	24.5	25.1	29.4	30.3	33.4	34.0	34.3	46.1
	塑性限界 w_p %	32.1	29.3	23.4	20.5	26.1	25.9	21.5	22.0	21.3	22.5	23.9	23.6	23.8	25.8
	塑性指数 I_p	35.6	25.8	7.1	10.7	26.3	12.2	3.0	3.1	8.1	7.8	9.5	10.4	10.5	20.3
	流動指数 I_f	17.2	19.1	18.5	14.3	16.8	17.7	8.1	8.5	11.4	11.0	14.1	14.9	19.5	16.8
分類		礫質砂質ローム	礫質砂質ローム	礫質砂質ローム	礫質砂質ローム	礫まじり砂質ローム	礫まじり砂質ローム	礫質砂質ローム	礫質砂質ローム	礫質砂質ローム	礫質砂質ローム	礫まじり砂質ローム	礫まじり砂質ローム	礫質砂質ローム	礫まじり砂質ローム
土粒子の比重 G_s		2.705	2.653	2.669	2.661	2.695	2.673	2.677	2.575	2.591	2.694	2.655	2.688	2.640	2.650
自然状態	含水比 w %	25.1	27.1	10.2	11.5	22.7	23.9	6.9	8.5	10.2	13.3	14.3	16.3	9.6	16.4
	湿潤単位体積比重 γ_{tg}/cm^3	1.94	1.91	1.97	2.00	1.85	1.89	1.73	1.69	1.88	1.90	1.83	1.87	1.79	1.84
	間隙比 e	0.69	0.70	0.48	0.47	0.73	0.69	0.59	0.65	0.62	0.55	0.61	0.67	0.62	0.68
	飽和度 S_r %	95.2	100.0	55.9	64.5	81.3	89.8	30.1	33.7	5.08	62.7	62.3	65.4	40.9	63.9
力学特性	*1 試験の条件 *2	CU	CU	CU	CU	CU	CU					CU	CU		CU
	粘着力 c_v' kgf/cm ²	0.39	0.45	0.34	0.32	0.29	0.31					0.12	0.45	0.53	0.77
	せん断抵抗角 ϕ' 度	32°20'	33°50'	35°10'	31°10'	29°50'	30°30'					28°10'	32°40'	36°30'	31°20'
締固め特性	試験方法	1-1-a	1-1-a	1-1-a	1-1-a	1-1-a	1-1-a					1-1-a	1-1-a		1-1-a
	最適含水比 w_{opt} (%)	21.9	21.6	12.9	12.5	20.0	21.0					11.3	13.5	15.4	17.3
	最大乾燥密度 ρ_{dmax} (g/cm ³)	1.64	1.60	1.84	1.88	1.61	1.55					1.86	1.73	1.75	1.69

備考 *1 非圧密非排水試験：UU，圧密非排水試験：CU，圧密排水試験：CD，（間隙水圧を測定した場合は記号の上に－を付す）

*2 締固め試料による浸水後の結果を有効応力で示した。

また、表—4、5に示すように、締固め回数が少なく乾燥密度の低い方が、浸水試料の強度定数の低下が大きく、締固めが十分でない盛土の「二次まさ」が水分の補給によって大きく強度低下することを示している。

香南地区や津柳地区における谷地田の堆積物（以下谷地田堆積物とする）は青灰色シルトである。これは高含水比（24~93%）で高塑性（ $I_p=20\sim28\%$ ）の粘性土であって、盛土の「二次まさ」よりかなり強度が低く、有機物も多いことから、この谷地田堆積物がすべり面となる可能性が大きい。しかし、この強度定数は内部摩擦角が27°、粘着力が0.14 kgf/cm²であり、傾斜20度以下の造成地は崩壊しないことになる。実際には傾斜20度以下の造成地も51災によって崩壊していることから、崩壊は、地下水を集めやすい谷地形とか、割れ目の多い地質構造とか、浸水による土の強度定数の異常な低下等の外的要因の影響を強く受けたことによるものとみられる。

5. 地下 水

香南地区と津柳地区の間隙水圧や地下水位の観測施設の配置は図—2 に示した。同じ位置の間隙水圧と地下水位の日変化量はほぼ同じ動きを示すので、これらの花崗岩地域の造成地では地下水位が間隙水圧を代表するみてよい。

地下水位は、連続降水量が20 mm 以下ではほとんど変動せず、30 mm 以上になると変動する。図—6 は昭和54年9月30日の台風16号による連続降水量272 mm のときの、香南地区のAブロック（災害復旧で大規模な暗渠を施工）とBブロック（災害前と同じく小規模の暗渠がある）の地下水位の変動である。

Aブロックの最上部のB3孔の地下水位は図—6 に示すように、時間雨量のピークから3時間遅れて1.7m 上昇し、約3日後に降雨前の水位近くまで下降している。そして、その後に雨もないに再上昇している。このブロックの最下部のB1孔の地下水位は、時間降水量のピークから約20時間遅れて約60cm 上昇し、降雨前の水位まで下るのに2週間以上を要している。この地点は常時地下水位が高く、果樹の生育が極端に悪い。これは暗渠による地下水排除が遅れるためとみられる。中位部のB2孔は時間雨量のピークから約30時間遅れて1.0m 上昇し、24時間同じ水位を保ったのち下降している。これらの違いは谷底の傾斜と暗渠の地表に出るまでの長さによるものと考えられる。B4孔は割れ目や脈岩の少ない「硬まさ」にあり、時間降雨のピークから16時間遅れて40cm 上昇し、降雨前の水位にまで下降するのに1か月以上を要している。

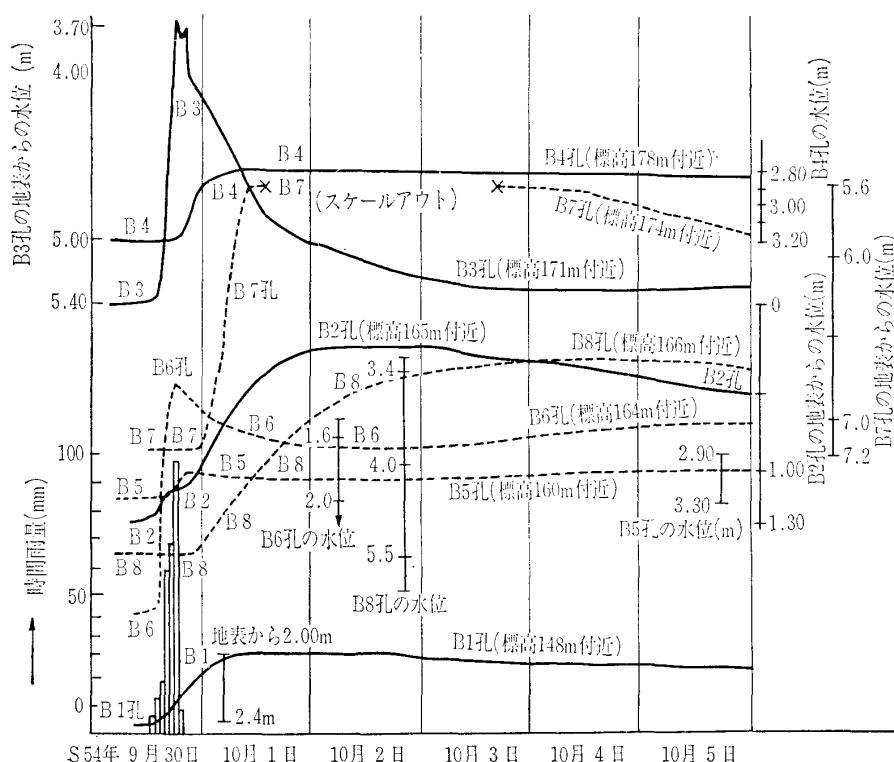
Bブロック上部のB7孔では、時間降雨のピークから18時間遅れて1.6m 以上（1.6m 以上スケールアウト）上昇

表—4 特殊地質斜面（まさ土）—南川地区（東地山部）三軸圧縮試験強度定数（有効応力解析）（横瀬による）

試 験 条 件		標 準 試 料			浸 透 試 料		
初期含水比 w_i (%)	乾 燥 密 度 $\rho_d(\text{g/cm}^3)$	粘 着 力	内 部 摩 擦 角		粘 着 力	内 部 摩 擦 角	
		$c'(\text{kgf/cm}^2)$	$\tan \phi'$	$\phi'(^{\circ})$	$c'(\text{kgf/cm}^2)$	$\tan \phi'$	$\phi'(^{\circ})$
乾 燥 側 $w_i=14.1\%$	1.52 <1.0 $\rho_{d0}(=1.52)$ >	0.74	0.735	36°20'	0.33	0.613	31°30'
	1.44 <0.95 ρ_{d0} >	0.67	0.746	36°40'	0.24	0.503	26°40'
	1.37 <0.90 ρ_{d0} >	0.60	0.716	35°40'	0.29	0.462	24°50'
	1.29 <0.85 ρ_{d0} >	0.52	0.734	36°20'	0.23	0.468	25°10'
最適含水比 $w_i=21.6\%$	1.60 <1.0 $\rho_{d0}(=1.60)$ >	0.67	0.655	33°10'	0.45	0.642	32°40'
	1.52 <0.95 ρ_{d0} >	0.60	0.639	32°30'	0.49	0.504	31° 0'
	1.44 <0.90 ρ_{d0} >	0.51	0.643	32°20'	0.28	0.552	28°50'
	1.36 <0.85 ρ_{d0} >	0.42	0.604	31°10'	0.21	0.521	27°30'
湿 潤 側 $w_i=24.8\%$	1.52 <1.0 $\rho_{d0}(=1.52)$ >	0.25	0.649	33°00'	0.25	0.504	26°10'
	1.44 <0.95 ρ_{d0} >	0.19	0.559	29°10'	0.15	0.533	28°10'
	1.37 <0.90 ρ_{d0} >	0.12	0.550	29°00'	0.11	0.525	27°40'
	1.29 <0.85 ρ_{d0} >	0.15	0.563	29°30'	0.18	0.500	26°40'

表—5 特殊地質斜面（まさ土）—仁尾地区（盛土部）三軸圧縮試験強度定数（有効応力解析）（横瀬による）

試 験 条 件		標 準 試 料			浸 透 試 料		
初期含水比 w_i (%)	乾 燥 密 度 $\rho_d(\text{g/cm}^3)$	粘 着 力	内 部 摩 擦 角		粘 着 力	内 部 摩 擦 角	
		$c'(\text{kg/cm}^2)$	$\tan \phi'$	$\phi(^{\circ})$	$c'(\text{kg/cm}^2)$	$\tan \phi'$	$\phi(^{\circ})$
乾 燥 側 $w_i=9.3\%$	1.80 <1.0 $\rho_{d0}(=1.80)$ >	0.19	0.790	38°20'	0.14	0.532	28°00'
	1.70 <0.95 ρ_{d0} >	0.15	0.782	38°00'	0.11	0.421	22°50'
	1.61 <0.90 ρ_{d0} >	0.14	0.741	36°30'	0.12	0.374	20°30'
	1.53 <0.85 ρ_{d0} >	0.15	0.672	32°50'	0.19	0.376	20°30'
最適含水比 $w_i=11.8\%$	1.89 <1.0 $\rho_{d0}(=1.89)$ >	0.27	0.673	33°00'	0.12	0.536	28°10'
	1.80 <0.95 ρ_{d0} >	0.17	0.640	32°40'	0.12	0.411	22°30'
	1.70 <0.90 ρ_{d0} >	0.18	0.618	31°40'	0.11	0.434	23°30'
	1.61 <0.85 ρ_{d0} >	0.23	0.584	30°20'	0.14	0.456	24°30'
湿 潤 側 $w_i=16.4\%$	1.80 <1.0 $\rho_{d0}(=1.80)$ >	0.28	0.525	27°40'	0.23	0.491	26°10'
	1.70 <0.95 ρ_{d0} >	0.25	0.475	25°20'	0.21	0.388	21°10'
	1.61 <0.90 ρ_{d0} >	0.24	0.445	24°00'	0.17	0.433	23°30'
	1.53 <0.85 ρ_{d0} >	0.20	0.435	23°30'	0.19	0.421	22°50'



図—6 造成地の地下水位変動(位置は図—2に示す。実線はAブロック,点線はBブロック)

し、下降もAブロックのB3孔のに比して緩やかである。これらは暗渠の規模の大小による違いを示している。中部のB6孔と下部のB5孔の地下水位は降雨直後に一たん上昇・下降した後、雨もないのにB7孔の地下水位が下降するときから再度上昇している。これは最初の上昇が降雨の地下浸透によるもので、後の上昇はブロック上部からの地下水供給によるものと思える。このブロックは暗渠の規模が小さいためにAブロックより全体の地下水位の低下が遅れている。

これから、盛土の「二次まさ」での降水の地下浸透はかなり早く、大規模な暗渠を設けても、地下水位の上昇を防ぐことは容易でないが、すみやかに低下させることには有効である。

図—7はCブロック最上部の地山の脈岩の多いところにあるB10孔の地下

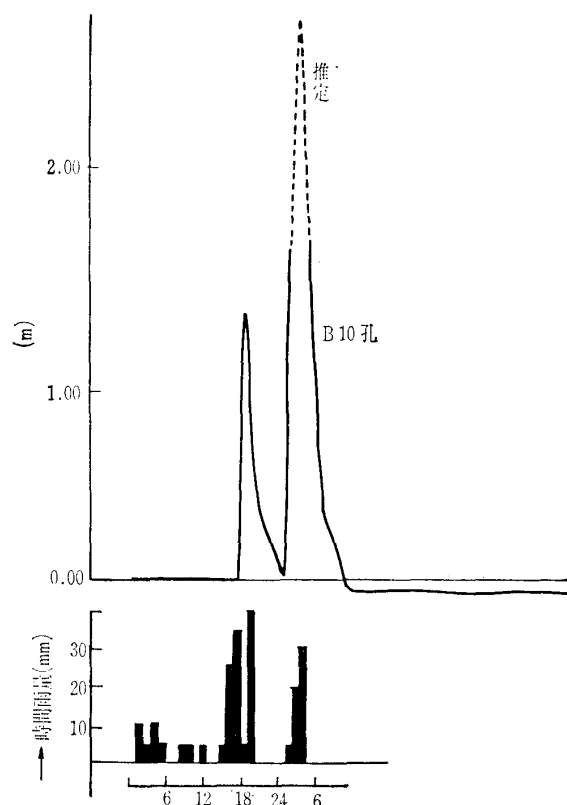


図-7 裂か水の水位急上昇(CブロックのB10地点)

水位の変動である。降雨によって急上昇急下降をしており、地山の脈岩から盛土に、急激な地下水供給があり得ることを示している。また、B 9 孔に隣接して盛土の中と基盤の中とに設けた間隙水圧の測定値の差は降雨時にやや上昇し、基盤の中の間隙水圧の上昇が盛土の中のそれより大きいことを示した。なお、排水路の末端に三角堰を設置し、この中の水位の、自記観測を試みたが、短期間に堆砂し流量観測は出来なかった。

一方津柳地区の盛土内の排水ドレーンに隣接している BT 1 孔の地下水位はほかの観測孔より 4 m 以上も低く、降雨により上昇する水位の下降も早いことから、造成地の斜面安定にかなりの効果があると思われる。また岩脈にある BT 2 孔の地下水位は降雨によってほとんど変動せず、注入や揚水をしても水位回復が早いことから、かなり連続性のある水脈のようである。

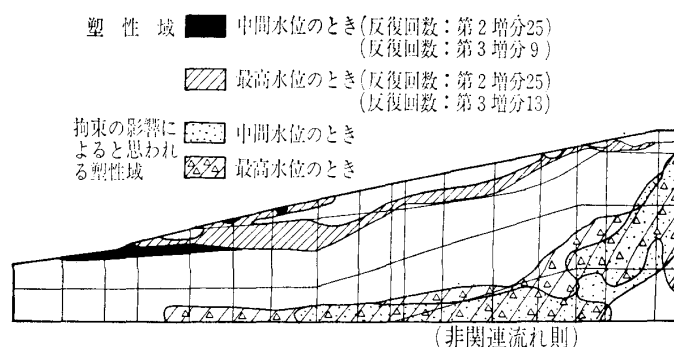
なお香南地区の透水係数（注入法による）は盛土の二次
まさが $10^{-4} \sim 10^{-5}$ cm/s のオーダーであり、基盤の硬ま
さは $10^{-5} \sim 10^{-6}$ cm/s のオーダーであった。

その他電気探査の水平探査（電極配列はエルトラン法）による比抵抗は地下水位の高いところで相対的に低く、地山や盛土の地下水排除を強化すべき区域を探す手法としては電気探査も有効である。

6. 斜面の安定解析

1) 弾塑性モデルを用いた有限要素解析

Aブロックの崩壊前の斜面について，川本ら⁶⁾は弾塑性



図一8 弾塑性論による塑性域の発達（川本原図）

モデルによる有限要素解析を行った。この非関連流れ則による解析結果は図-8に示すが、中間水位のときは盛土の下面の最末端に塑性域が発生し、地表までとした仮想最大水位のときは盛土の下面全体に塑性域が発達している。これは最下部から始まったAブロックの崩壊状況と一致する。このことは盛土の斜面安定のために、最末端の塑性域の発生を防止するための、ふとん籠やコンクリート擁壁による補強が重要であることを教えてくれる。

2) ビショップ法による解析

Cブロックについて、仲野⁷⁾は飽和と不飽和の「二次まさ」の内部摩擦角をそれぞれ 38.6° と 38.5° 、粘着力をそれぞれ 0.7 tf/m^2 と 0.3 tf/m^2 、と自らの土質試験を行って求め、ビシヨップ法等による安定解析を行った。この結果から、間隙水圧を土柱の高さの 1.1 倍にすれば、最小安全率 $F_{\min}=0.935$ となることから、地表面程度の水柱高の間隙水圧で崩壊が説明可能とした。実際にCブロックは崩壊寸前に水柱があがり、瞬時に全体が崩壊して土砂流となっている。なお川本⁸⁾はBブロック最下部の崩壊を粘着力 0 kgf/cm^2 、内部摩擦角 22° のときに崩壊するとビシヨップ法で逆算している。Aブロックは数回にわたって下部から崩壊し、ビシヨップ法で単純には説明し難い。

3) 地下水収支を考慮した安定解析

「二次まさ」の地下浸透は早く、地下水位の急上昇と高水位の持続による崩壊が多いことから、AとBブロックについて地下水収支を組み入れた安定解析も行った。始めに昭和54年9月の台風16号による連続降水量 272 mm のとき

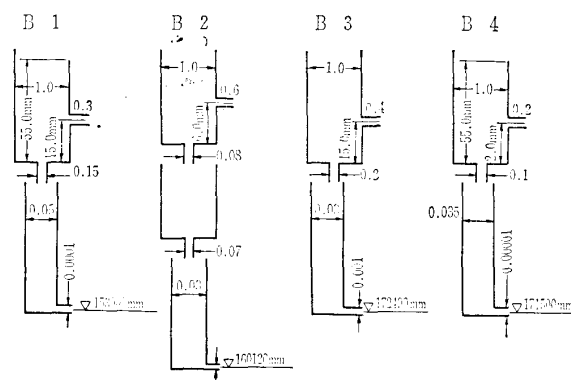
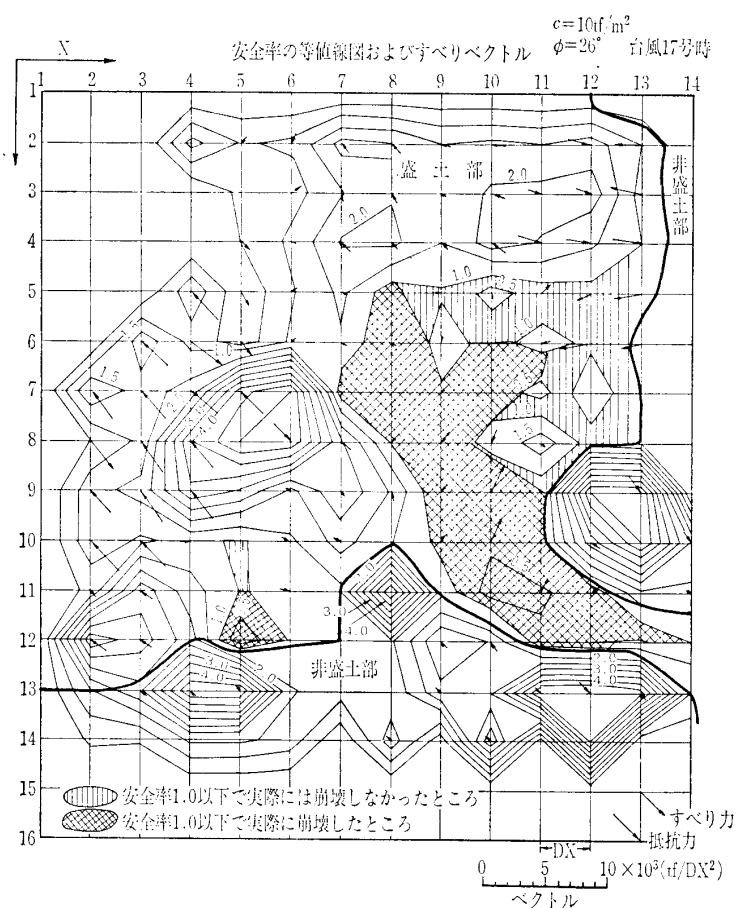


図-9 Aブロックの直列貯留モデル(位置は図-2に示してある)



図—10 地下水収支を組入れた解析

の観測孔の水位の応答から図—9のような直列貯留モデルをつくり、これに昭和51年9月の台風17号による降雨量を与え、これで得た水頭から推定した、20mメッシュ（以下単位斜面とする）ごとの水頭をもつ単位斜面の安全率を求めた。すべり面については弾性波速度の0.5km/sと0.8km/sの層の境界と、ボーリング結果および旧谷地形から求めた。土質定数については、土質試験から、湿潤密度1.93g/cm³、最大乾燥密度1.68g/cm³、粘着力0.3kgf/cm²、内部摩擦角32°08'としたが、単位斜面の安全率がすべて1.0を越えたので、災害復旧後のかなり安定した斜面の安全率を1.05として推定した内部摩擦角26°、粘着力0.1kgf/cm²を使用したところ、図—10のように、安全率1.0以下のメッシュが実際の崩壊したところとほぼ一致した。

51災時におけるAブロックの地下水収支を、崩壊の中心のB—2地点（流域面積3.92ha）を含む断面で考えると降水量の26%が地下に浸透し、この浸透量の36%が自然排出されるが、その残りのおよそ3300m³が地下水頭を2.86m上昇させる。このとき地下排出の割合を72%とするように0.013m³/s/haの暗渠を設けると地下水位の上昇は1.3mにおさえられ、安全率が

1.0を割るメッシュは消滅する。「まさ」地帯の造成地に暗渠を設けるときはこのような解析も参考にすることができる。

7. 改良山成工による造成地の防災

「まさ土」地帯の造成地の崩壊を経験した技術者ら127人からのアンケート⁹⁾によっても、崩壊の原因としては、「旧地形谷部にあった湧水の事前調査不足」が最多数（35%）であり、次いで「排水暗渠の容量不足」が多く（25%）、3番目は「盛土の締固め不足」（22%）と筆者らの考えと同じであった。

これらの原因を除去する手法を考えるために、モデル地区等においてこれまでに説明したような詳細な調査を行ってきた。これらの結果から、実用的な防災対策の試案としては次のように考えられる。

（造成地を改良山成工で計画するときの防災試案）

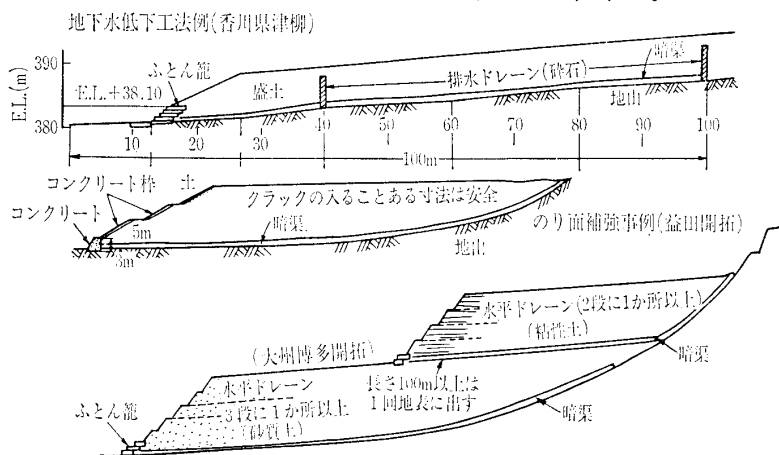
1) 地形地質調査

地形は空中写真判読と現地調査によって行い、谷の延長が80m以上、深さ5m以上、または谷底の傾斜角が15度以上のところを要注意（アンケート結果により修正）として暗渠の配置や規模を検討する。風化帯の厚さと種類にかかわる侵食小起伏面の分布も調べる。

地質は現地踏査により、地下水の多いアプライト脈等と湧水の分布を調べ、地山から大量の地下水が供給される可能性のあるところは、すみやかに地表に排除できる暗渠を計画する。また、湧水が存在が不明のときは電気探査等で推定し、谷の中部から上部に低抵抗値があればボーリング調査で確認し、地下水位が高ければ、これを排除する暗渠を設ける。

2) 土質調査

地山の「まさ土」と谷底堆積物については、粒度特性、湿潤単位体積重量、浸水試料の力学特性および締固め特性等の土質試験を行う。盛土の「二次まさ」の強常定数は攪乱した地山の「まさ土」と同じとする。盛土が「砂まさ」のときは地下浸透の多いことを考え暗渠の規模を大きく（0.013m³/s/ha以上排出可能なもの）する。



図—11 対策例の模式図

3) 盛土斜面の安定解析

仲野⁷⁾は「まさ土」地帯ではビショップ法が適合し、標準スライス法はかなり安全側であると指摘している。間隙水圧は「二次まさ」では地下水位で代用してもよい。必要に応じて、弾塑性モデルによる有限要素解析や地下水収支を組み入れた解析を行う。

4) 防災対策

盛土高が10mを越すものは、小段上下盛土の締固めによる密度差から表層すべりが発生する恐れがあり、のり面の強化、勾配の変更または水平ドレーン等による対策を検討する。特殊な方法としては、盛土内の垂直な排水ドレーンも効果大きい。のり面の最末端には、塑性域が発生しないように、ふとん籠やコンクリートで補強する(図-11参照)。

仲野⁷⁾は「まさ土」の浸水による粘着力の低下を考え、のり面付近を粘土まさを使って締め固め、この背後に排水ドレーンを設ける方法を提案している。

二つ以上の暗渠の勾配が著しく異なるときは、合流は可能な限り避けるものとする。これは急勾配の暗渠の水が緩勾配の暗渠の水の流れを一時的にせき止める恐れがあるからで、実際にせき止められた暗渠の水位が高さ10m以上の盛土面の上まで上昇した例がある。

5) 造成後の措置

造成後にのり面に湧水が出るとか、割れ目が発生するとかの疑問が生じたときは、必要に応じて電気探査や、ボーリング、盛土の土質試験および安定解析等を行って、地下水排除の強化、のり面の補強または再締固め、さらには盛土上部の除去または抑え盛土等を行う。崩壊後は盛土の強度が低下し、対策の規模が大きくなることが多いので、で

きるだけ事前に対策を講じた方がよい。

8. あとがき

本調査にあたって、地質調査は香川大学齊藤実教授の協力を得、土質試験は香川大学横瀬廣司助教授に、安定解析は、香南地区のCブロックを岐阜大学仲野良紀教授に、Aブロックを農業土木試験場川本治研究員に、それぞれ依頼して行った。これらの方々の御協力と御指導に対し深甚の謝意を表する。さらに調査に御協力いただいた香川県および愛媛県の方々、ならびにアンケートに御協力いただいた方々に厚く御礼を申し述べる。

参 考 文 献

- 1) 国土庁：自然条件等分級作業調査報告書概要編, p. 146, 1976.
- 2) 岡田篤正：吉備高原中部の地形発達, 東大地理修士論文, 1967.
- 3) 齊藤 実：マサ斜面の崩壊および土石流(土砂流)について, 中国四国農政局計画部資源課特殊地質斜面防災基礎調査讃岐花崗岩丘陵地区(以下讃岐花崗岩丘陵地区とする)地形地質・土質調査報告Ⅰ, pp. 20~21, 1980.
- 4) 横瀬廣司：マサ土の工学的性質, 讃岐花崗岩丘陵地区地形地質・土質調査報告Ⅰ, pp. 39~86, 1980.
- 5) 齊藤 実・横瀬廣司・森下一男：マサ土の工学的性質に関する調査Ⅱ, 讃岐花崗岩丘陵地区調査報告Ⅱ, pp. 5~45, 1981.
- 6) 川本 治・田中忠次：弾塑性論を適用した斜面の崩壊解析, 農業土木試験場技報, 15号, pp. 35~48, 1983.
- 7) 仲野良紀：マサ土地帯における改良山成開墾造成斜面の安定解析及び結晶片岩地すべりの安定解析について, 昭和57年度斜面安定小委員会資料, p. 6, 1983.
- 8) 川本 治：讃岐花崗岩丘陵の安定解析, 讃岐花崗岩丘陵地区地形地質・土質調査報告Ⅰ, pp. 95~115, 1983.
- 9) 中国四国農政局計画部資源課：昭和57年度讃岐花崗岩丘陵地区事例調査報告, 1983.
- 10) 齊藤 実・森 和男・潮崎昭二：昭和51年17号台風による被災が農家に与えた経済的心理的影響に関する調査報告, 讃岐花崗岩丘陵地区調査報告Ⅲ, 1981.

(原稿受理 1985.7.3)

学会発行図書案内

現場技術者のための土と基礎シリーズ

9. 薬液注入工法の調査・設計から施工まで

A 5 判 252ページ 送料 350円
定価 3,100円 会員特価 2,400円

発行：土 質 工 学 会

東京都千代田区神田淡路町2-23(菅山ビル4階)
〒101 電話 03-251-7661(代)