

東海豪雨による山地斜面災害調査について

AN INVESTIGATION REPORT ON THE SLOPE FAILURES INDUCED BY TOKAI TORRENTIAL RAIN

清水泰弘¹・岡田富士夫²

Yasuhiro SHIMIZU and Fujio OKADA

¹ 正会員 博(工) 名城大学助教授 理工学部建設システム工学科 (〒468-8502 名古屋市天白区塩釜口一丁目 501)

² 正会員 名城大学講師 理工学部建設システム工学科 (〒468-8502 名古屋市天白区塩釜口一丁目 501)

The torrential rain on Sept. 11, 2000 in Tokai region caused floods and numerous landslides. Most of soil and rock slope failures occurred in Gifu prefecture, resulting in the closure of roadways. In addition bridges collapsed and residential areas were flooded. In this study, the slope failures and damage to trees in the southern mountainous area of Gifu prefecture are investigated with the consideration of the geomorphologic and geologic characteristics of the respective area. This report describes the relations between slope failures and torrential rain characteristics and discuss the possible causes.

Key words : torrential rain, landslide, investigation report

1. はじめに

平成 13 年 9 月 12 日に那覇市の東南東に有った台風 14 号は, 中心付近の気圧が 935hPa と非常に大きな勢力を保ちながらゆっくりとした速度で西に進んでいた。一方, 本土上には前線が停滞し, この前線に向かって台風から暖かく湿った空気が流れ込んだ影響がもたらした集中豪雨により東海地方において大水害が発生した¹⁾。

12 日未明には名古屋市で堤防の決壊や, 床上床下浸水があり甚大な被害が出た。一方, 愛知県東加茂郡, 岐阜県恵那郡および長野県下伊那郡の三県に及ぶ広い地域でも多くの山地斜面崩壊などの被害が発生した。

この地域では特に, 土石流を伴った沢ぬけ, 斜面崩壊といった土砂災害が多発し, 県道や市道が寸断され一時的に孤立状態になり, 自衛隊の援助を要請した地域もあった。中でも被害の集中した岐阜県上矢作町およびその北東部一帯で, 橋の流失や取り付部破損を含め 15 橋, 家屋の全壊 10 戸, 国道を含め道路路側帯決壊及び流失が 63 箇所, 護岸消失が数キロにも及んだ。今回の災害では倒木の影響が誘因と考えられる被害が多く見られた。ここでは, 今回直接調査した多くの調査結果から特徴のある被害事例を挙げて考察する。

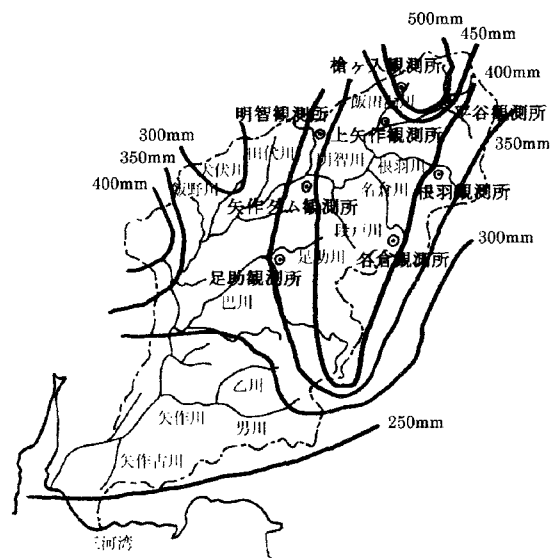
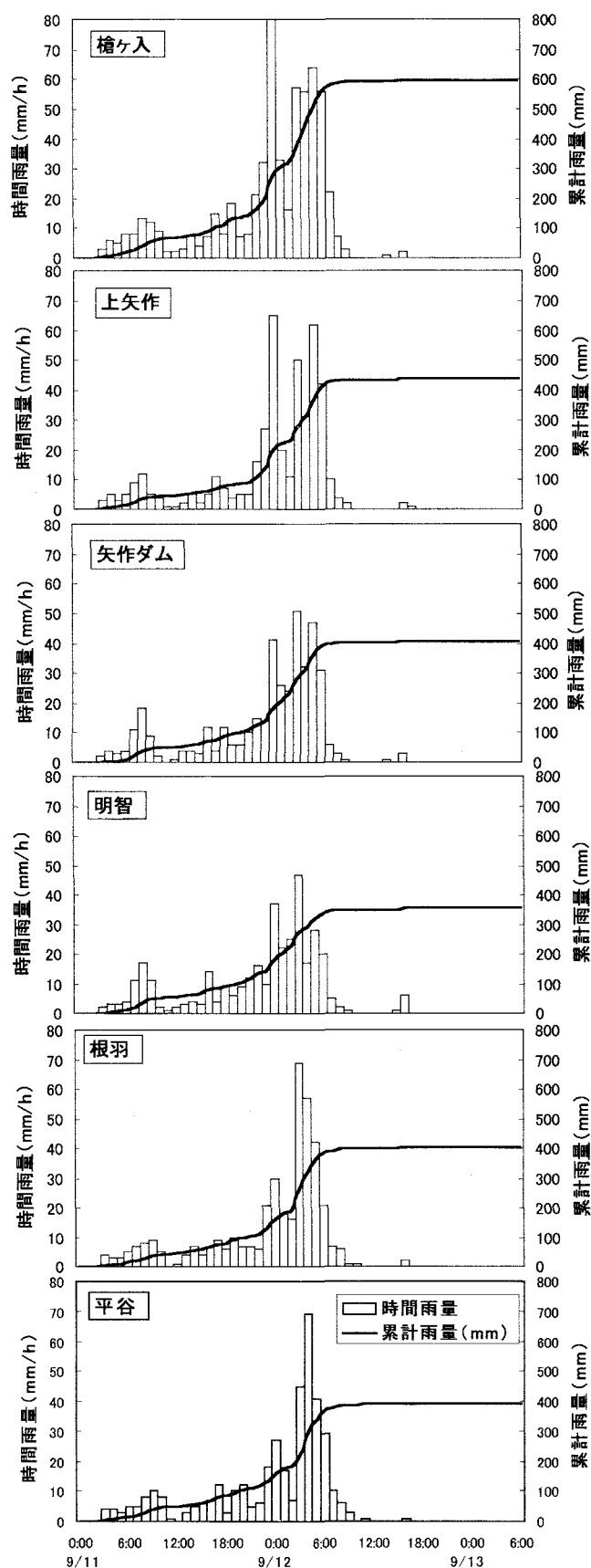


図-1 雨量観測所と等累計雨量

2. 降雨特性

9 月 10 日午後 8 時の降り始めから 12 日午前 11 時までの愛知県と岐阜県内の国土交通省雨量観測所の位置と等累計雨量線を図-1 に示す。また, 図-2 に 9



図一 各観測所の時間雨量図と累計雨量図

月 11 日 23 時から 12 日 6 時までの 1 時間ごとの時間雨量の変化について上矢作付近の国土交通省雨量観測

所である檜ヶ入、上矢作、矢作ダム、明智、根羽および平谷観測所の時間雨量図（図中、棒グラフ）と累計雨量図（図中折れ線グラフ）を示す。図一にも見られるように岐阜県上矢作町達原付近を中心として総雨量 500 mm の降雨地域があり、愛知県東加茂郡明知町より長野県下伊那郡浪合村までの細長い範囲で多雨量地域が発生していた。今回の豪雨ではどの観測所も記録的な雨量を記録しているが、中でも檜ヶ入観測所（達原）では 9 月 11 日の 23 時から 24 時までの最大時間雨量が 80 mm、総雨量 595 mm、同様に上矢作観測所（横道）でも最大時間雨量 65 mm、総雨量 437 mm を記録した。これらの雨量は国土交通省の記録によれば、500 年に一度の異常降雨であるとされている。

3. 災害調査

このたびの集中豪雨による斜面崩壊の発生箇所が広範囲であることから、調査範囲を矢作水系の矢作ダムより上流とし、山地斜面崩壊の状況、倒木および流木量、地形、地質、植林について調査を行った。この地方の地質は領家帯の新期花崗岩類の伊奈川、武節花崗岩あるいは古期花崗岩類の天竜峡、三都橋花崗岩が基岩を成しており、その表層部はこれらの強風化体であるマサ土が広く分布している。上矢作町、稲武町、根羽村の一带では 90% が森林であり、昔から林業が盛なことから杉、檜の植林樹が山林のかかなりの割合を占めている。

災害現場の調査では、1/25000 地図、ノンプリズムレーザー距離計、クリノメーターなどを用いて災害地形、断面、勾配等を測量し、倒木の種類、本数、密集度を調査し、さらに、崩壊地最上部の残土を採取し土質試験を行った。崩壊地の調査結果を示すと表一のようなのである。同表の集水面積は 5000 分の 1 の地図で沢ごとに算出し、植生状態は植林の未間伐を密、間伐済み疎を疎と表示した。しかしながら、今回の崩壊地の植林樹は幼齢が多く、植林の未間伐を斜面崩壊の理由に挙げることは困難である。植林は年数が増すに連れ数回の間伐を行うことから 20~30 年頃までは下草が繁殖する程度の間隔に成らず、多くの杉、檜の植林地では密、疎にかかわらず表土が露出していた。

今回の斜面崩壊の特徴は、集水面積が広いことと崩壊長さが長いことである。調査結果では 400m を越える崩壊長さが 4 箇所も確認された。このことは崩壊地が海拔 900~1200m の高地であり斜面が急峻で谷までの高低差が高いことから伺える。さらに、集水面積の広さが斜面崩壊に影響を及ぼした。

表層土は殆どマサ土と腐植土の混合でその厚さは 4、50 cm から 3 m ほどであり、未風化岩盤との境界で崩壊が発生している。崩壊地は水平根を持つ杉、檜の植林地

表一 上矢作水系の斜面崩壊調査結果

No.		市町村	地点	地質	集水面積 ×10 ⁴ (m ²)	斜面勾配(度)	崩壊規模			素因	表面水の有無	植生	植生状態
							長さ(m)	幅(m)	厚さ(m)				
A	1	上矢作町	中島	花崗岩	2.5	31~47	130	7~17	1.0~2.5	その他	無	檜	密
	2	上矢作町	横道	花崗岩	14.3	41	28	3~6	0.5~1.0	集水地形	有	檜	密
	3	上矢作町	達原	変成岩	77.5	38	30	4~20	0.5~2.0	集水地形	有	杉、檜	密
	4	上矢作町	達原	変成岩	0.5	47	27	6~18	0.5~1.5	集水地形	無	杉、檜	密
	5	上矢作町	達原	花崗岩	13.1	35	52	4~20	0.5~0.7	集水地形	無	杉	密
	6	上矢作町	達原	花崗岩	0.7	28~38	172	16~20	0.5~1.5	節理	無	杉	疎
	7	上矢作町	達原	花崗岩	1.2	47	28	3~6	0.3~0.5	集水地形	有	杉	密
	8	上矢作町	達原	花崗岩	3.0	33~44	101	6~7	1.0~1.5	集水地形	有	杉、檜	疎
	9	上矢作町	達原	花崗岩	3.7	17~47	154	5~13	1.0~3.0	集水地形	有	杉、檜	疎
	10	上矢作町	達原	花崗岩	6.2	18~39	522	8~40	0.5~3.5	集水地形	有	杉	密
	11	上矢作町	達原	花崗岩	9.6	23~36	592	4.5~17	0.5~3.0	集水地形	有	杉、檜	疎
C	1	上矢作町	阿寺	マサ土	2.5	16~38	337	19~23	0.5~3.0	その他	無	杉、檜	疎
D	1	上矢作町	本郷	マサ土	11.0	1~37	479	11~60	0.3~1.0	その他	有	杉、檜	疎
E	1	稲武町	小田子	腐食土	1.0	11~35	123	12~14	0.3~0.5	集水地形	無	杉	密
F	1	稲武町	漆瀬	花崗岩	2.0	1~40	146	6~19	0.5~1.5	その他	無	杉、檜	疎
	2	稲武町	漆瀬	花崗岩	24.5	2~33	77	15~30	0.5~3.0	集水地形	無	杉、檜	密
J	6	串原村	ダム	花崗岩	70.1	7~14	523	17~30	0.3~1.5	集水地形	有	杉、檜	疎
K	2	上矢作町	山越	花崗岩	6.4	19~33	334	15~22	0.3~1.0	集水地形	無	杉、檜	疎

域であったが、部分的には垂直根を持つ他の樹木でも同様に崩壊したと考えられる。

4. 倒木災害

今回の集中豪雨による災害の中でも倒木による被害の割合は非常に高い。上流部における斜面崩壊、沢ぬけあるいは土石流による倒木によって発生した被害は、橋梁の流失および破損、ダムおよび水門の破損、家屋の倒壊および浸水など様々である。その倒木が矢作ダム湖内に過去2カ年平均(約600 m^3)の70倍近い約4万 m^3 も流入したとダム管理者から報告されている。写真一1に豪雨直後の矢作ダム湖に堆積した流木を示す。なお、副次的にはダムが多量の流木を貯留したことで、下流河川への被害の拡大防止が図られたものと推測される。

また、同様に同ダム湖に多量の土砂が堆積した。その堆砂量は、約110万 m^3 で、年平均(8万 m^3)の12倍以上と推定された。矢作ダム湖の上流部における堆砂曲線図を図-3に示す。この図から集中豪雨による崩土量の膨大さが見て取れる。

5. 山地斜面崩壊

岐阜県恵那郡上矢作地区において沢ぬけ、斜面崩壊などが無数に発生した場所は、殆どが集水地形を成し、平常時には地表面に流水が見られず植林樹に覆われていた。今回、行った崩壊地の調査結果の中で崩壊規模や地形および地質並びにその誘因に特徴的な斜面崩壊事例の幾つかを次に示して考察する。

(1) 林道が誘因となった斜面崩壊

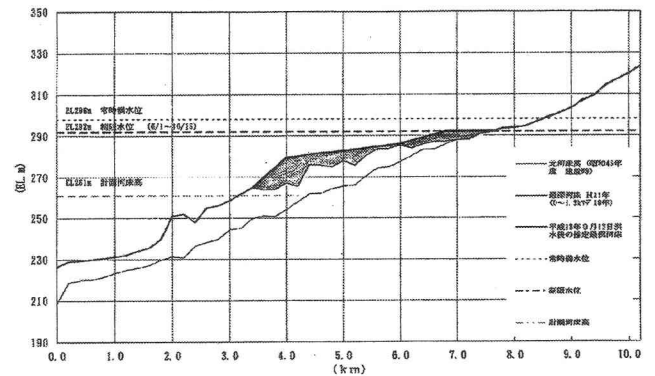


図-3 矢作ダム湖の堆砂量図²⁾



写真一1 矢作ダム湖の流木の堆積

上矢作町阿寺の斜面崩壊の中央部を写真一2に、その最上部を写真一3に示す。また、同崩壊地の地形図、横断面図、縦断面図などの測量結果を図-4に示す。この斜面は傾斜角が16~38度で上部ほど急傾斜になっていた。この崩壊地には上下両端部に林道が接しており、その崩壊規模は上下の林道間で斜長が296m、幅



写真一2 上矢作町阿寺の斜面崩壊中間部



写真一3 上矢作町阿寺の斜面崩壊最上部



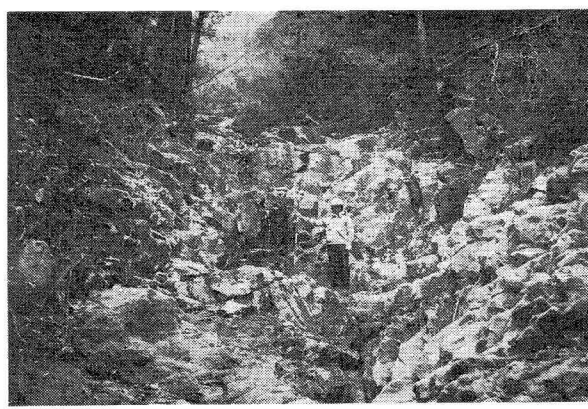
写真一4 上矢作町本郷の斜面崩壊中間部



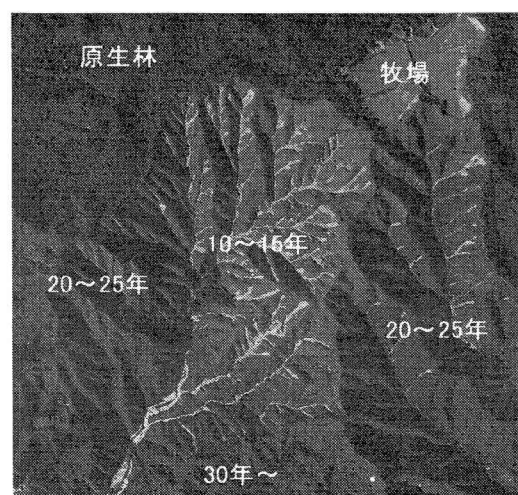
写真一5 上矢作町本郷の斜面崩壊上部



写真一6 上矢作町達原の斜面崩壊上部



写真一7 上矢作町達原の斜面崩壊下部



写真一8 根羽村小戸名の斜面崩壊²⁾
(航空写真)



写真一9 根羽村小戸名の斜面崩壊(地上写真)²⁾

が19~23mで崩壊面積は $6.2 \times 10^3 \text{ m}^2$ 、崩壊の厚さ0.5~3.0mである。表土はマサ土と腐植土の混合土で、崩壊地中央のほぼ全長にガリーが発生していた。なお、この崩壊断面は集水地形であるが崩壊前には表面流水は無く全面植林されていた斜面であった。

この斜面崩壊の誘因としては、図-4にも見られるように最上端部に接している幅員6.0mの林道の存在が考えられる。この林道がそれより高地の約200mの流域に降った雨水の水路と成り、屈曲部であるこの地点に集水したことが考えられる。林道は山側に傾斜する片勾配で側溝を有する構造であり、一定間隔に林道を横断する排水施設はあるが土砂で埋没しておりその効果は考えられない。また、林道沿いに雑草が轍の影響で列状に茂り、林道をより水路化させたものと考えられる。林道によって増加した集水面積は約 $8.6 \times 10^3 \text{ m}^2$ であり、同崩壊地の集水面積の34%の増加となった。林道からの集水の無い隣接地形では崩壊が発生していないことから以上のことが崩壊の誘因であると推測された。また、同様な崩壊現象は各所で確認された。

(2) 緩い傾斜の斜面崩壊

この斜面は上矢作町本郷で発生した斜長479mの崩壊地で、最先端部の29m間のみが最大傾斜角45度と急であり、幅は60mですり鉢状を成している。それより下流は幅が平均20m程度で平均傾斜角が約5度と非常に緩い傾斜であり、集水面積が $3.2 \times 10^5 \text{ m}^2$ と広く、崩壊面積が $9.9 \times 10^3 \text{ m}^2$ であった。この斜面の谷部は以前に水田であったが2、30年前に植林を行った。最上部の崩壊の先端から分水界までの面積が少なく、他の領域より集水したとは考えられない。崩壊斜面は白色のマサ土であることから、豪雨の浸水により最上部の斜面の安定が失われて一気に崩壊して、急速泥流化したと考えられる。この斜面崩壊の中間部を写真-4、上部の状況を写真-5に示す。

(3) 急傾斜地形の斜面崩壊

上矢作町達原の急傾斜地で発生した幾つかの斜面崩壊は、上村川沿いの国道418号を破壊し、上流の村落を孤立させた原因にもなった。その一つを写真-6、7に示す。この崩壊斜面は、斜長が592m、幅が4.5~17mと狭く崩壊面積は $7.0 \times 10^3 \text{ m}^2$ であり、23~36度で部分的には80度の急な傾斜角度である。崩壊後の斜面は全面に岩盤が露出しており表面は未風化の天竜峽花崗岩で節理が発達し、約80度の流れ盤で沢形状はV字型をなし節理方向から、くさび破壊も確認された。また、このV字の勾配は最大約45度もあり、表土層も1m以下と薄層であった。

この斜面は集水地形で集水面積は $9.6 \times 10^4 \text{ m}^2$ であり、最上部に接する林道の側溝から雨水が流入する

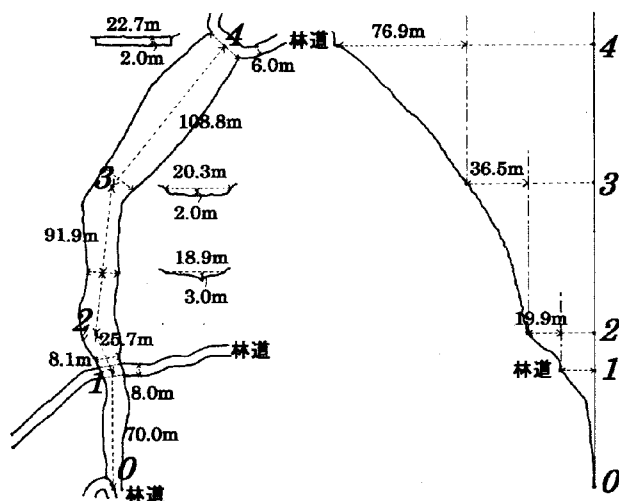


図-4 上矢作町阿寺の斜面崩壊の平面図と断面図

構造で降雨時には狭い幅ではあるが水路となった。崩壊後の斜面表面は大小の階段状に岩盤が露出しており、最下部に崩落し堆積した倒木や土砂量から、崩壊前には地表面は植林されており、1m幅程度の水路が存在していたようである。この斜面崩壊の特徴は崩壊土砂の中に1tonにも成る岩塊が多数見られたことである。この斜面の中上部以上では節理面に沿った勾配や数十cmの小段の連続であるが、下部では幅と高さが数mの階段状の岩盤が連続している状態が見られた。この現象は、土石流化した崩壊土砂の勢いで節理面が数mの深さまで掘り起こされ剥ぎとられたものと考えられる。写真-7に数mの階段地形を示す。

(4) 幼齢林が誘因となった斜面崩壊

長野県下伊那地方でも今回の豪雨で広範囲に沢ぬけが多発した。特に根羽村小戸名の北部では集中的に斜面崩壊が発生した。その崩壊地の一例を写真-8、9に示す。周辺にはこのような崩壊が無数に点在するが、斜面崩壊地の全てが10~15年ほどの檜の幼齢林であることが特徴である。本崩壊も幼齢林の範囲のみで発生しており、隣接する20~30年以上の植林地では崩壊が生じていないことが写真-8からも明らかである。この地域は、海拔1000~1200mで集水面積が $8.7 \times 10^5 \text{ m}^2$ 、平均傾斜角が15度で15年前までは樹齢50年ほどの檜林であった。

針葉樹は伐採すると、残された切り株や根が枯れ、腐食が進行し地中根の部分が空洞化する。そのことが地盤を緩める原因となり、今回の崩落を誘発したものと考えられる。写真-8でも見られるように尾根筋の南側斜面で崩壊が多発しており、北側斜面では崩壊がほとんど見られない。このことは皆伐により残った根の腐食条件の違いにより北向き斜面に比べ、より早く南側斜面の腐食が進行したことが考えられる。

6. 雨量と斜面崩壊の関係

上矢作地区の累積降雨量の多い地域の各沢の傾斜角と集水面積の関係を崩壊の有無によって分類し図示すると図一5のようである。図中△印は未崩壊、▲印は崩壊を示す。図では傾斜角が急な沢でも未崩壊が多いが、集水面積が大きくなると傾斜角が緩くても崩壊している箇所が多いことが分かる。今回の斜面崩壊は、地質条件や地形条件が複合して発生しているが降雨量の影響が顕著に現れた災害と見ることもできる。

7. 斜面崩壊地の地質特性

8箇所の崩壊斜面について最上部の残留土を採取し密度、粒度分布、土質分類等の土質試験を行った。その結果殆どがSG、GSで、平均密度が 2.47 t/m^3 、均等係数1.06、平均粒径 1.26 mm と成り、密度が小さく粒度分布も悪く、形状も写真一10に見られるように丸身をおび浸水すると非常に流動化しやすい性質であることが明らかとなった。

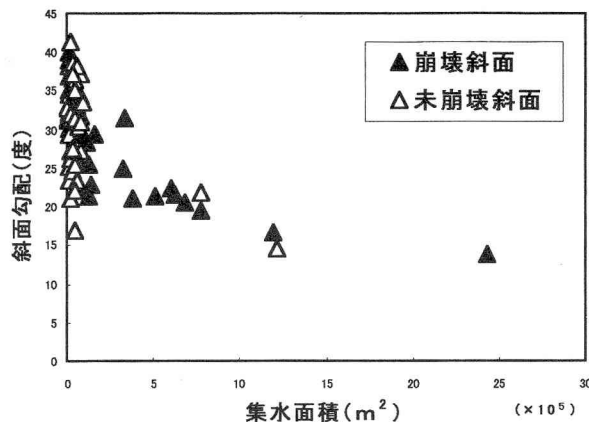
8. まとめ

今回の集中豪雨による斜面崩壊の特徴は、豪雨地域が海拔 $900\sim 1200\text{m}$ の高地であり、急峻な斜面と集水面積が大きな集水地形であることから沢ぬけや土石流などによる植樹林の倒木が多発し、国道および下流河川沿いに甚大な被害を与えた。調査結果から災害の誘因と成った項目をまとめると以下のようである。

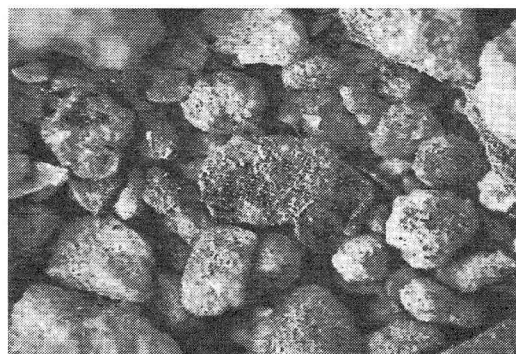
- (1) 斜面崩壊は海拔 $900\sim 1200\text{m}$ の高地の急峻な斜面で、集水面積が特に広い地形が多かった。
- (2) 林道の構造が斜面崩壊の誘因となることが明らかとなった。
- (3) 今回の斜面崩壊地は強風化花崗岩地帯で表土は殆どマサ土で崩壊しやすい地質であった。
- (4) 斜面破壊は殆どが植樹林で発生した。なお、十分間伐された植林あるいは自然林では殆ど発生していない。
- (5) 植樹林の倒木が大量に発生したことで、道路構造物、農耕地、建築物および人身に甚大な被害を及ぼした。
- (6) 幼齢林地帯の斜面崩壊が多く、皆伐後の根の腐食による地盤の緩みが崩壊の誘因となった。

今回のような豪雨による大規模な斜面災害を防止する方法は、俄かには見出すことはできないが、考えられる方策として

- (1) 林道が水道にならないよう沢ごとに十分に雨水を分散できる道路構造にする。
- (2) 植林地帯の沢の出口には留止柵を設ける。



図一5 斜面勾配と集水面積の関係



写真一10 マサ土の顕微鏡写真(倍率 40

また、等高地に沿って一定間隔に垂直根を持った樹木を帯状に植樹する。

- (3) 間伐を施し下草が繁殖する状態に改善する、或いは木竹を用いた簡易砂防工を施す。

等が挙げられる。

謝辞： 本調査研究に関して、名古屋大学大学院工学研究科辻本哲郎教授、同研究室の諸氏に多くの助言を頂いた。さらに、国土交通省中部地方整備局をはじめとして多治見工事事務所、岐阜県恵那郡上矢作町、愛知県北設楽郡稲武町、恵南森林組合、愛知県設楽事務所、長野県飯田建設事務所、長野県下伊那地方事務所(林務課)、根羽森林組合に多くの資料を快く提供して頂いたことに深謝いたします。また、この現地調査に協力して頂いた本学大学院生溝部美幸、宮田伸吾および林紀寛(ゼンヨーコンサルタンツ株式会社)、村瀬秀仁(トピーエンジニアリング株式会社)の諸氏に深く感謝いたします。

参考文献

- 1) 中日新聞社：中日新聞 2000年9月12日日刊
- 2) 建設省豊橋工事事務所：東海豪雨緊急調査報告書 2000.10

(2001. 4. 16 受付)