



921集集(台湾)地震により発生した斜面崩壊地における定点観測

鳥居, 宣之
沖村, 孝
吉田, 信之

(Citation)

神戸大学都市安全研究センター研究報告, 6:51-71

(Issue Date)

2002-03

(Resource Type)

departmental bulletin paper

(Version)

Version of Record

(JaLCD0I)

<https://doi.org/10.24546/00317564>

(URL)

<https://hdl.handle.net/20.500.14094/00317564>



9 2 1 集集(台湾)地震により発生した 斜面崩壊地における定点観測

Fixed-Point Observation on Slope Failures Due to 921 Chi-chi Earthquake in Taiwan

鳥居 宣之¹⁾

Nobuyuki Torii

沖村 孝²⁾

Takashi Okimura

吉田 信之³⁾

Nobuyuki Yoshida

概要: 1999年9月21日に発生した921集集地震により, 台湾中央部では数多くの斜面崩壊が発生しており, その数は20,000箇所を越えると報告されている。地震に伴う斜面崩壊としては, 地震時に発生する斜面崩壊だけでなく, その後の降雨により発生する斜面崩壊が考えられるため, 台湾では地震直後から地震後の降雨による崩壊地の拡大や堆積崩土の土石流といった2次災害が懸念されてきた。本研究では, この地震により発生した斜面崩壊地において, 地震後の降雨により新たな崩壊もしくは崩壊地の拡大が生じるか否かの検討を行うため, 地震により崩壊が発生した斜面ならびにそれに隣接する非崩壊斜面を対象として定点観測地点を設定し, 2, 3ヶ月に1度の割合で定点観測を行ったので報告する。

キーワード: 921集集(台湾)地震, 斜面崩壊, 定点観測, 拡大性崩壊

1. 研究の背景と目的

1995年1月17日に発生した兵庫県南部地震により, 六甲山系では約750箇所の斜面崩壊が発生し, さらにその年の10月末までの間に降雨を誘因として, 新規崩壊や地震による崩壊地の拡大などの約940箇所の斜面崩壊が発生した。このような地震後の斜面崩壊を引き起こした降雨量(日雨量, 年間降水量)は, 六甲山系における平年並みの降雨量であった¹⁾。このような斜面崩壊による被害を軽減させるためには, 斜面崩壊発生位置の予知・予測手法を確立し, 危険と判断された斜面を対象として何らかの防災対策を講じることが重要である。そのためには, 崩壊がどのような地形立地条件の場所で発生していたかを明らかにするための地形立地解析や崩壊メカニズムの究明が重要である。

一般に, 地震時と降雨時に発生する崩壊地の地形的特徴は異なることが知られており, 前者の特徴としては急傾斜地, 斜面上方部もしくは斜面肩部, 凸型・直線型地形, 後者の特徴としては, 山腹部, 凹型・谷型地形などが挙げられる。六甲山系における過去の豪雨ならびに兵庫県南部地震, その後の降雨による斜面崩壊地を対象とした地形立地解析から, 地震後の降雨による斜面崩壊地は, 崩壊発生の直接の引き金(誘因)が降雨であったにもかかわらず, 地震時に崩壊が発生しやすい場所, 言い換えれば, 降雨時には崩壊が起こりにくい場所の地形的特徴を有する場所でも発生していた²⁾。これらのことから, 六甲山系において地震時には崩壊に至らなかったが, 地震により地盤の緩みやクラックなどの何らかの地盤変状が生じた斜面が地震後にも数多く残っていたため, 平年並みの降雨量であったにもかかわらず, その後の降雨によって地震時を上回る多くの斜面崩壊が発生したと考えられる。

1999年9月21日に発生した921集集地震により, 台湾中央部をほぼ南北方向に走る2つの断層(車籠埔断層と梨山断層)に囲まれた領域では数多くの斜面崩壊が発生しており, その数は20,000箇所を越えると報告されている³⁾。上述したように, 地震に伴う斜面崩壊としては, 地震時に発生する斜面崩壊だけでなく, その後の降雨により発生する斜面崩壊が考えられるため, 台湾では地震直後から地震後の降雨による崩壊地の拡大や堆積崩土の土石流といった2次災害が懸念されてきた。

そこで、本報では921集集地震により発生した斜面崩壊地において、地震後の降雨により新たな崩壊もしくは崩壊地の拡大が生じるか否かの検討を行うため、地震により崩壊が発生した斜面ならびにそれに隣接する非崩壊斜面を対象として定点観測地点を設定し、2、3ヶ月に1度の割合で定点観測を行ったので報告する。

2. 定点観測地点

本報で定点観測の対象とした斜面は、地震時に崩壊が発生しやすい地形的特徴を有する非崩壊斜面を隣接斜面に持つ崩壊地を選定した。具体的には、図-1に示した台湾中央部を東部から西部に流れる大甲溪流域の谷関地区（A-1）に4カ所、台湾中央部に位置する埔里地区（A-2）に2カ所の計6カ所の定点観測地点を設定した。これらの地区では、地震時に数多くの斜面崩壊が発生している。それぞれの地区における定点観測地点の位置を図-2、3に、観測日を表-1に示す。なお、図-2、3の丸印が定点観測位置を、矢印の向きが観測方向を示す。表-1に示したように、2000年7月末から2001年11月末までの期間に、S-1～5地点ではそれぞれ5回、S-6地点では3回の観測を行った。

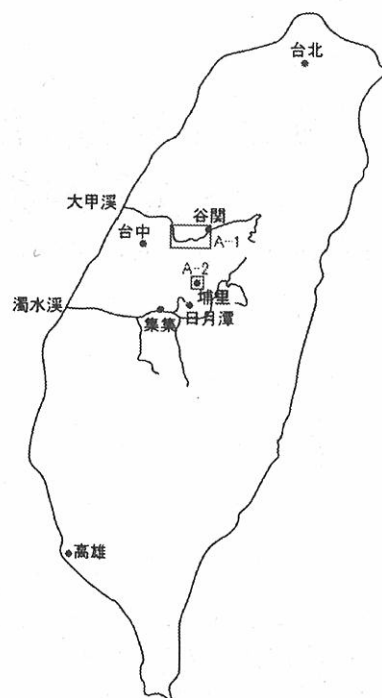


図-1 定点観測地点の位置

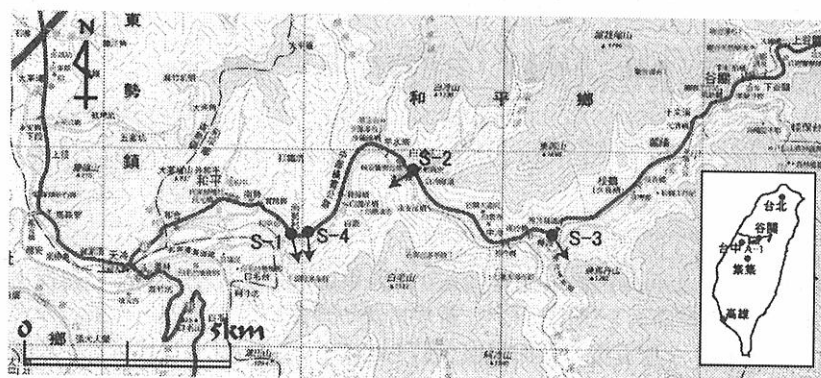


図-2 谷関地区（A-1）における定点観測地点

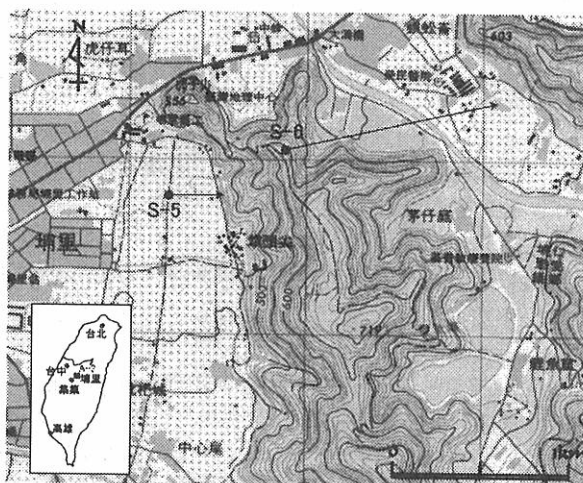


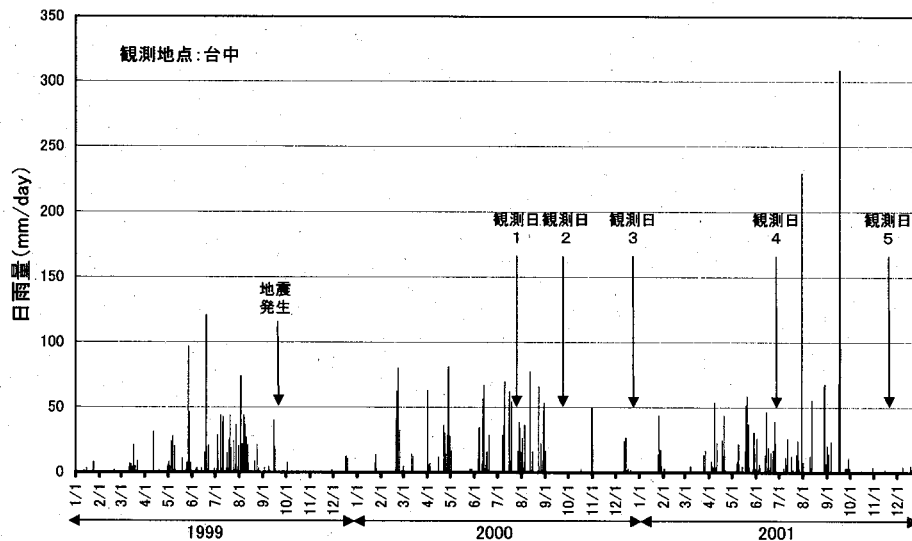
図-3 埔里地区（A-2）における定点観測地点

表－1 各定点観測地点における観測日

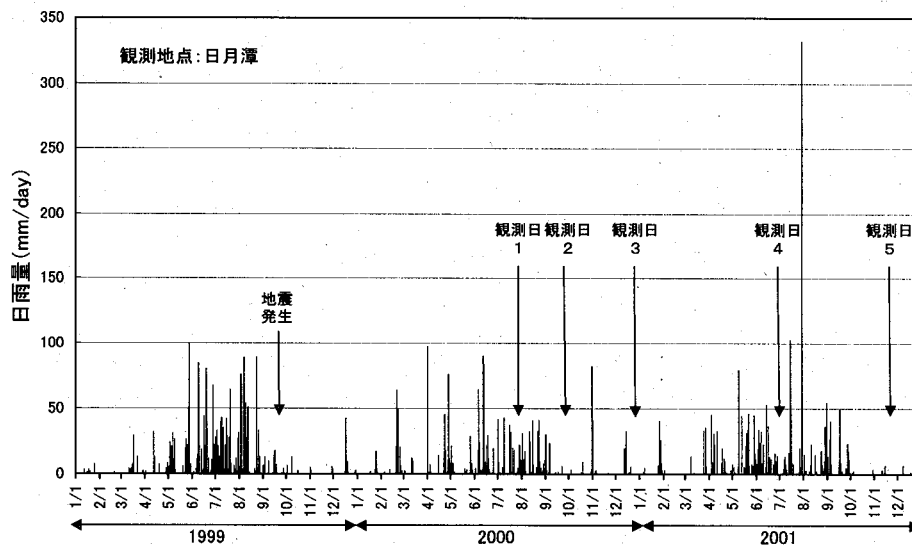
観測地点名		観測日1	観測日2	観測日3	観測日4	観測日5
谷関地区	S-1	2000/07/29	2000/09/27	2000/12/16	2001/06/30	2001/11/24
	S-2	2000/07/29	2000/09/27	2000/12/16	2001/06/30	2001/11/24
	S-3	2000/07/29	2000/09/27	2000/12/16	2001/06/30	2001/11/24
	S-4	2000/07/29	2000/09/27	2000/12/16	2001/06/30	2001/11/24
埔里地区	S-5	2000/07/30	2000/09/28	2000/12/15	2001/06/30	2001/11/24
	S-6	—	2000/09/28	2000/12/15	—	2001/11/24

3. 降雨量

図－4，5 に台中および日月潭で観測⁴⁾された1999～2001年までの日雨量を示す。



図－4 台中における日雨量（1999～2001）
（台湾中央気象局のデータ⁴⁾より作成）



図－5 日月潭における日雨量（1999～2001）
（台湾中央気象局のデータ⁴⁾より作成）

図-4, 5より, 両観測地点において地震発生から観測日5までの期間に, 日雨量が50mm/dayを越える降雨が数回にわたり観測されており, 特に2001年の7月ならびに9月には, 日月潭で332.9mm/day(7/30), 台中で229.5mm/day(7/30), 309.0mm/day(9/17)の降雨が観測されている。これらは, 台風が台湾に上陸もしくは近海を通過したためである。また, 地震発生から観測日1までの期間には, 台中で223.1mm(2/20~2/25), 201.4mm(4/22~4/28), 131.3mm(6/11~6/13), 128.5mm(7/16~7/19)の降雨が観測されており, 日月潭では158.7mm(2/20~2/25), 97.6mm(4/1), 169.7mm(4/22~4/28), 183.3mm(6/12~6/14), 74.2mm(7/16~7/19)の降雨が観測されている。

一方, 六甲山系では図-6に示したように地震後の1995年5月に158mm(5/11~5/12)と7月に230mm(7/3~7/6)の降雨が六甲山麓部に位置する神戸海洋気象台で観測されており, これらの降雨を誘因として, 新規崩壊や地震による崩壊地の拡大などの斜面崩壊が発生した。

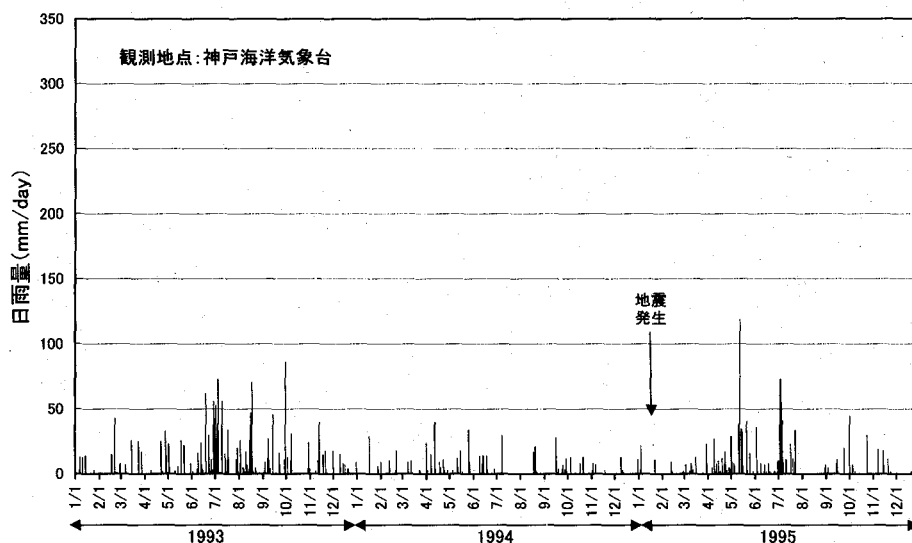


図-6 神戸海洋気象台における月間降水量(1993~1995)
(日本気象協会神戸支部のデータ⁵⁾より作成)

4. 定点観測結果

各観測地点における定点観測結果を以下に述べる。

(1) S-1地点

対象とした斜面は, 大甲溪の左岸側に位置する斜面である。S-1地点において, 各観測日に撮影した写真を写真-1~5に示す。観測を開始した時点で, 斜面上部の遷急点からの斜面崩壊が多数発生していた(写真-1)。この斜面における, 921集集地震による斜面崩壊の形態は, 基岩を薄く覆っていた表土層が崩落した表層崩壊であったと考えられる。観測開始当初, 写真-1に矢印で示したような崩壊地に残った表土層の崩落や丸囲みで示した崩壊地の側方に残っている表土層が側方の支持力を失うことにより崩落し, 地震による崩壊地の側方部への拡大が予想されたが, 観測日5までの期間中にそのような崩壊は発生しなかった。一方, 写真-4に丸囲みで示した崩壊地ではわずかながら植生の回復が見られた。

(2) S-2地点

対象とした斜面は, 大甲溪の左岸側に位置する斜面である。S-2地点において, 各観測日に撮影した写真を写真-6~10に示す。観測を開始した時点で, 斜面上部の遷急点からの斜面崩壊や中腹部からの斜面崩壊が発生していた(写真-6)。この斜面における, 921集集地震による斜面崩壊の形態は, 基岩を薄く覆っていた表土層が崩落した表層崩壊であったと考えられる。観測開始当初, 写真-6の丸囲みで示した斜面中腹部で発生した崩壊地の上部の表土層が下部方向の支持力を失うことにより崩落し, 地震による崩壊地の斜面上方部への拡大が予想されたが, 観測日5までの期間中にそのような崩壊は発生しなかった。一方, 写真-9に矢印で示した崩壊地では一部植生の回復が見られた。

(3) S-3 地点

対象とした斜面は、大甲溪の左岸側に位置する斜面である。S-3 地点において、各観測日に撮影した写真を写真-11~15 に示す。観測を開始した時点で、斜面上部の遷急点からの斜面崩壊が発生していた(写真-11)。この斜面における、921 集集地震による斜面崩壊の形態は、基岩を薄く覆っていた表土層が崩落した表層崩壊であったと考えられる。また、左側には旧崩壊地も見られる。観測開始当初、写真-11 の丸囲みで示した崩壊地の側方ならびに上方部に残っている表土層が側方および下部方向の支持力を失うことにより崩落し、地震による崩壊地の側方部ならびに上方部への拡大が予想された。観測日 2 の際には、写真-12 の右側の矢印部において、若干ではあるが上方部へ拡大崩壊が見られ、左側の矢印部ではガリ浸食が見られた。また、旧崩壊地部において表面が削られたために、回復していた植生が消失していた(写真-15 の丸囲み部分)。

(4) S-4 地点

対象とした斜面は、大甲溪の左岸側に位置する斜面である。この斜面は、S-1 地点で対象とした斜面の上流に位置している。S-4 地点において、各観測日に撮影した写真を写真-16~20 に示す。観測を開始した時点で、S-1 地点と同様に斜面上部の遷急点からの斜面崩壊が発生していた(写真-16)。この斜面における、921 集集地震による斜面崩壊の形態は、基岩を薄く覆っていた表土層が崩落した表層崩壊であったと考えられる。観測開始当初、写真-16 に矢印で示したような崩壊地に残った表土層の崩落が予想された。しかし、観測日 5 までの期間中にそのような崩壊は発生せず、わずかにガリ浸食が見られた程度であった。一方、写真-20 に丸囲みで示した崩壊地の崩壊源内では植生の回復が顕著であった。

(5) S-5 地点

対象とした斜面は、埔里市街の東部に位置する斜面である。S-5 地点において、各観測日に撮影した写真を写真-21~25 に示す。写真-21 の丸囲みで示した斜面崩壊は、道路に近接した切土斜面と思われる斜面(斜面保護工は特に施工されていなかったと思われる)での崩壊であり、これらの斜面崩壊の崩土により道路が寸断されていた(観測日 5 の時点においても復旧工事が行われていた)。中央部の斜面(写真-21 の四角囲みの斜面)では、前述の斜面崩壊に比して小規模な表層崩壊が多発しており、また、写真-21 の矢印で示した斜面では、土石流が発生していた。観測開始当初、写真-21 の丸囲みで示した崩壊地の側方ならびに上方部に残っている表土層が側方および下部方向の支持力を失うことにより崩落し、地震による崩壊地の側方部ならびに上方部への拡大が予想された。また、写真-20 の四角囲みで示した崩壊地の側方に残っている表土層が側方方向の支持力を失うことによる崩落や、崩壊地に残った表土層の崩落により、地震による崩壊地の拡大が予想された。しかし、観測日 5 までの期間中にはそのような崩壊は発生せず、観測日 2 において写真-22 の丸囲みで示した崩壊地においてガリ浸食が見られた程度であった。また、観測日 5 において写真-25 の矢印で示した箇所では、崩壊地に挟まれた表土層が崩落したように見受けられるが、これは前述したように道路の復旧作業に伴う斜面保護工施工のために、人為的に削られたものであった。一方、写真-24 の丸囲みで示した崩壊地では一部植生の回復が見られた。

(6) S-6 地点

対象とした斜面は、埔里市街の東北東約 3 km に位置する斜面である。S-6 地点において、各観測日に撮影した写真を写真-26~28 に示す。観測を開始した時点で、斜面上部の遷急点からの斜面崩壊が多数発生していた(写真-26)。この斜面における、921 集集地震による斜面崩壊の形態は、基岩を薄く覆っていた表土層が崩落した表層崩壊であったと考えられる。観測開始当初、崩壊地の側方に残っている表土層が側方の支持力を失うことにより崩落し、地震による崩壊地の側方部への拡大や斜面上部に遷急点を持つ非崩壊斜面での新規崩壊が予想され、観測日 5 の矢印で示した斜面において、1 箇所ではあるが新たな崩壊が発生した。

5. 考察

本研究で対象とした斜面では、観測を開始した当初、地震後の降雨により地震による崩壊地の側方部ならびに上方部への拡大や新規崩壊が予測されたが、一部の斜面においてわずかに拡大性の崩壊や新規崩壊、ガリ浸食が見られた程度で、観測期間中には大きな変化が見られなかった。

前述したように、921 集集地震による崩壊の個数が 20,000 箇所以上と兵庫県南部地震による六甲山系の崩壊個数の 25 倍以上もの崩壊が発生していた。六甲山系の場合、地震により地盤の緩みやクラックなどの何らかの地盤変状が生じた斜面が地震後にも数多く残っていたため、その後の降雨により崩壊が多数発生したと

考えられた。一方、台湾の場合は、地震の影響を受けた斜面の大多数が地震時に崩壊し、六甲山系のような地盤変状が生じたにもかかわらず崩壊には至らなかった斜面が、地震後にはほとんど残っていなかった可能性も考えられるが、前述したように、地震発生から観測日1までの間に、六甲山系における地震後の降雨による崩壊を引き起こした降雨量と同程度の降水量が数回されていることから、観測日1の時点で既に拡大性の崩壊や新規崩壊が発生していた可能性が考えられる。これは、埔里地区における観測地点において、地震直後に撮影された空中写真では小さな崩壊であったにもかかわらず、観測日1の時点で既に崩壊地が大きく拡大していたことから容易に推定できる。

6. まとめ

本研究では921集集地震により発生した斜面崩壊地において、地震後の降雨により新たな崩壊もしくは崩壊地の拡大が生じるか否かの検討を行うため、地震により崩壊が発生した斜面ならびにそれに隣接する非崩壊斜面を対象として定点観測地点を設定し、定点観測を行った。その結果、本研究で対象とした斜面では、わずかに拡大性の崩壊や新規崩壊、ガリ浸食が見られた程度で、観測期間には大きな変化が見られなかった。

この原因として、地震発生から観測日1までの間に、六甲山系における地震後の降雨による崩壊を引き起こした降雨量と同程度の降水量が数回されていることから、観測日1の時点で既に拡大性の崩壊や新規崩壊が発生していた可能性が考えられ、本研究の調査期間中には、その後の降雨による崩壊地の拡大や新規崩壊がほとんど生じず、むしろ崩壊源内で植生回復が生じたものと考えられる。

謝辞：本研究を遂行するにあたり、文部省科学研究費補助金 基盤研究(B)(2)海外学術調査(研究代表者：沖村 孝、課題番号：12574003)の一部を使用した。また、国立台湾大学地理環境資源学系の林 俊全教授ならびに同研究室博士課程院生の任 家弘氏には多大な支援を受けた。ここに記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 永井久徳：六甲山系における地震後の降雨を起因とする山腹斜面崩壊メカニズムに関する研究，神戸大学大学院修士論文，72p.，2000.
- 2) 沖村孝，鳥居宣之，永井久徳：地震後の降雨により発生した斜面崩壊メカニズムの一考察，建設工学研究所論文報告集，40-B，pp.97-114，1998.
- 3) Wen-Neng WANG, Hiroyuki NAKAMURA, Toshiaki KAMAI, Mu-Ching LEE：A Photogeologic Study on the Earthquake-induced Slope Failure in Central Taiwan on September 21, 1999，第39回日本地すべり学会研究発表会講演集，pp.417-420，2000.
- 4) 台湾中央気象局：毎月気象資料，<http://www.cwb.gov.tw/index.htm>，2002.
- 5) 日本気象協会神戸支部：兵庫県気象月報，平成5年1月～平成7年12月，1993-1995.

筆者：1) 鳥居 宣之，都市安全研究センター，助手，2) 沖村 孝，都市安全研究センター，教授，
3) 吉田 信之，都市安全研究センター，助教授

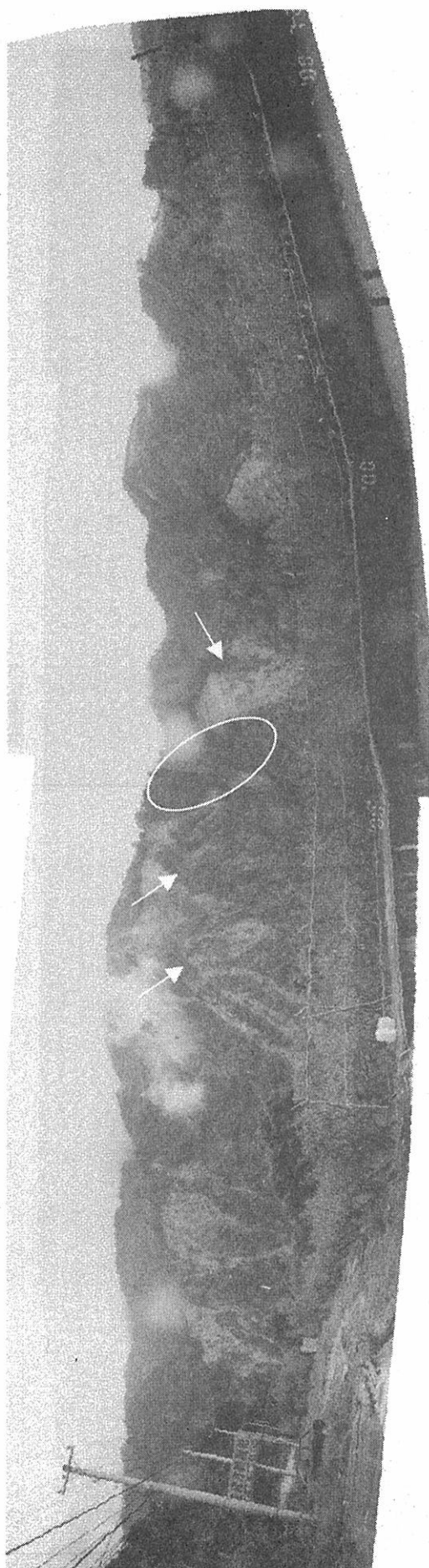


写真-1 S-1 (観測日1)

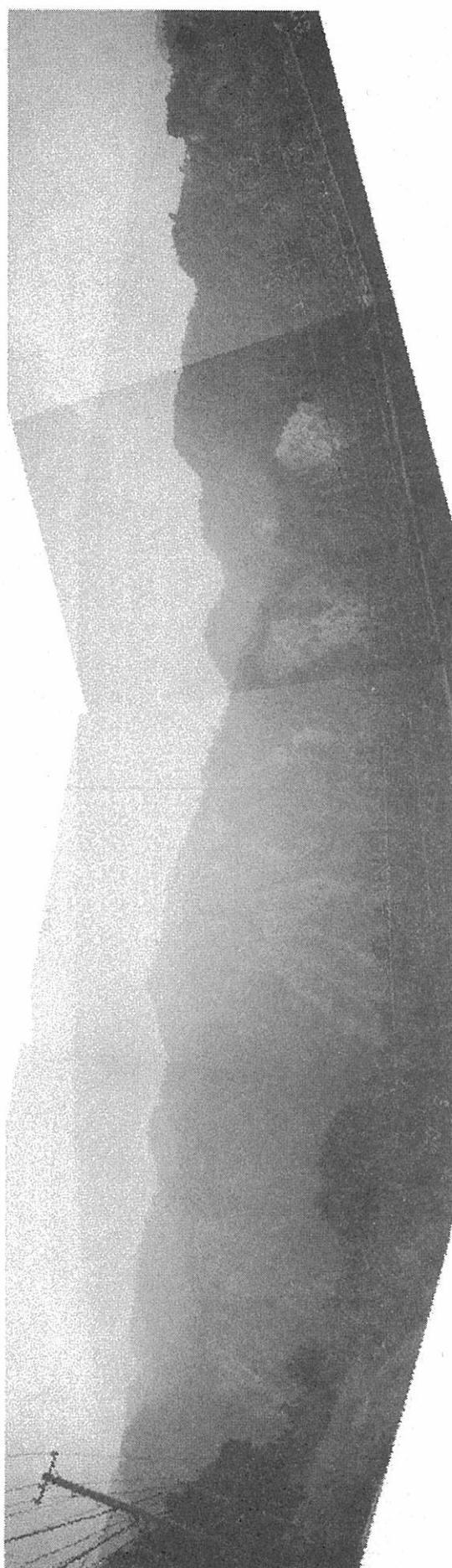


写真-2 S-1 (観測日2)



写真-3 S-1 (観測日3)

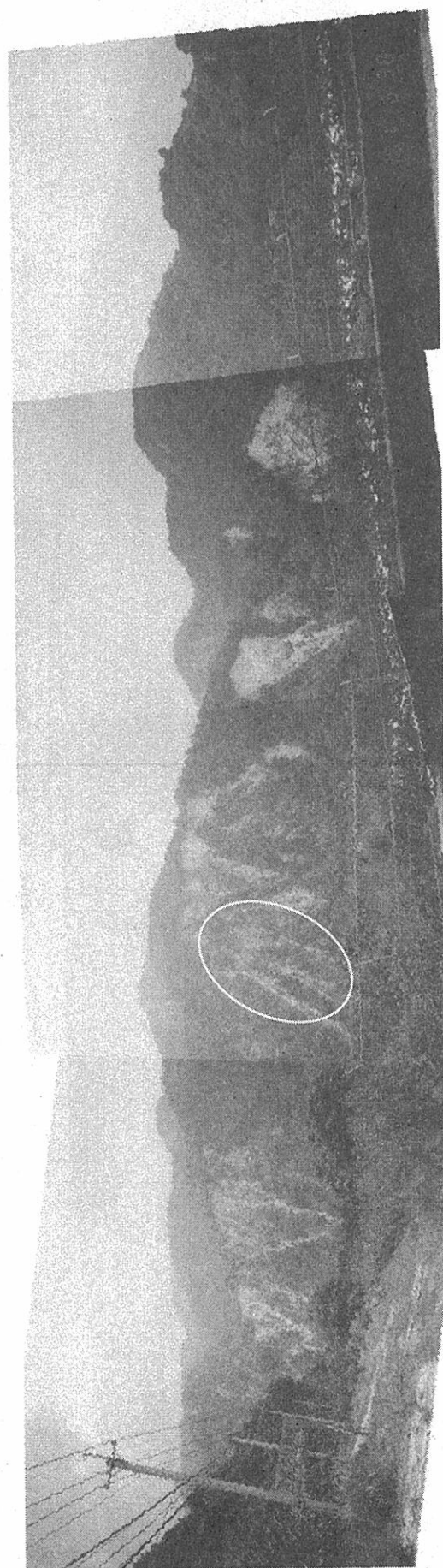


写真-4 S-1 (観測日4)



写真-5 S-1 (観測日5)

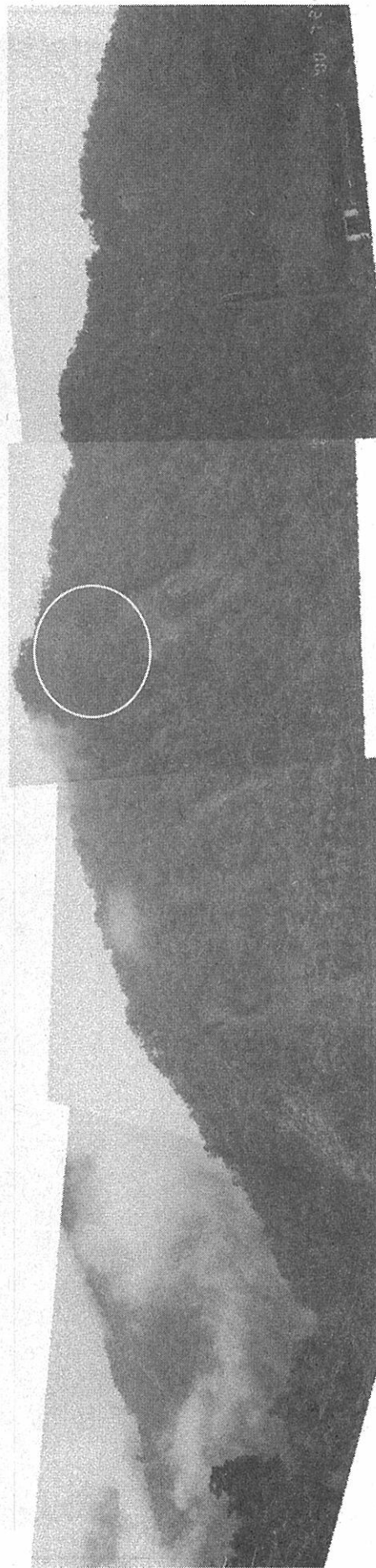


写真-6 S-2 (観測日1)



写真-7 S-2 (観測日2)

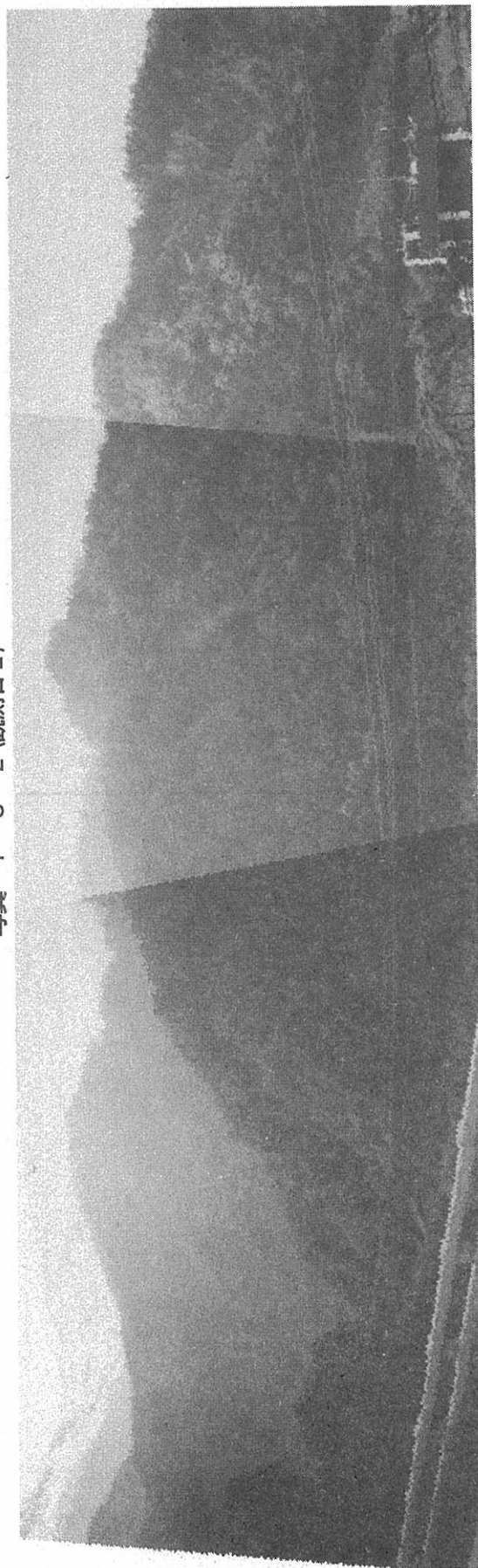


写真-8 S-2 (観測日3)

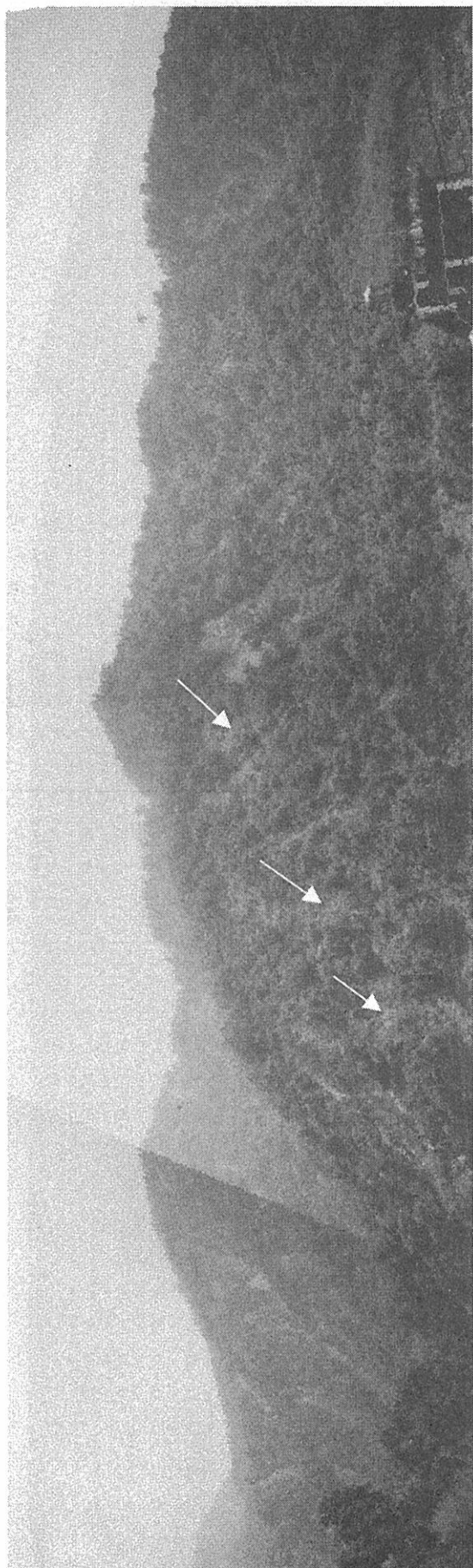


写真-9 S-2 (観測日4)



写真-10 S-2 (観測日5)

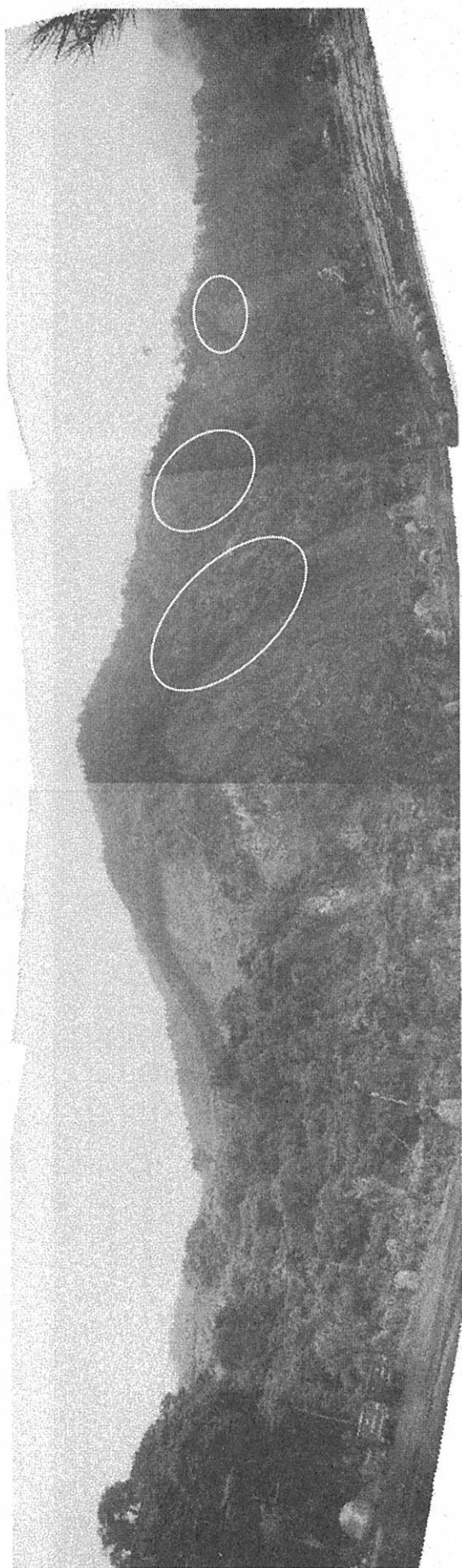


写真-11 S-3 (観測日1)

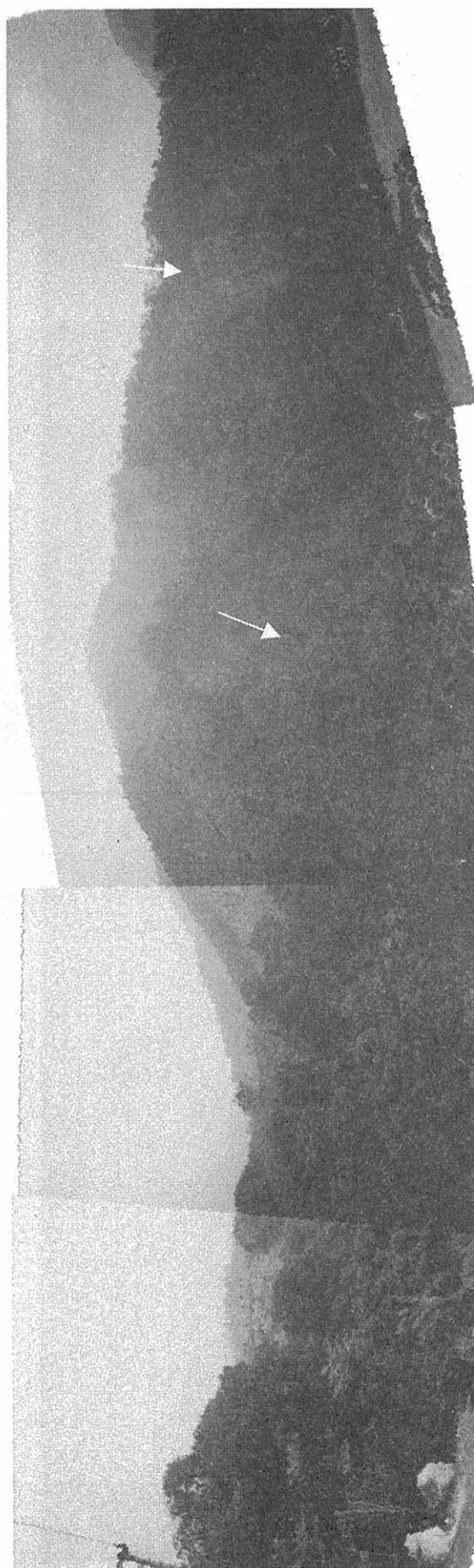


写真-12 S-3 (観測日2)



写真-13 S-3 (観測日3)



写真-14 S-3 (観測日4)

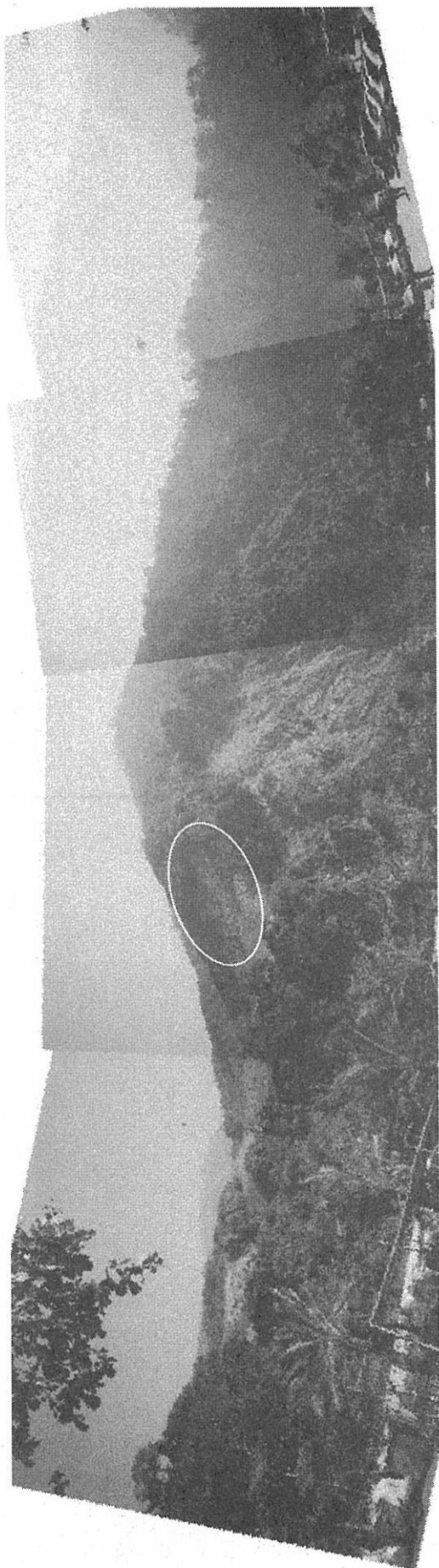


写真-15 S-3 (観測日5)

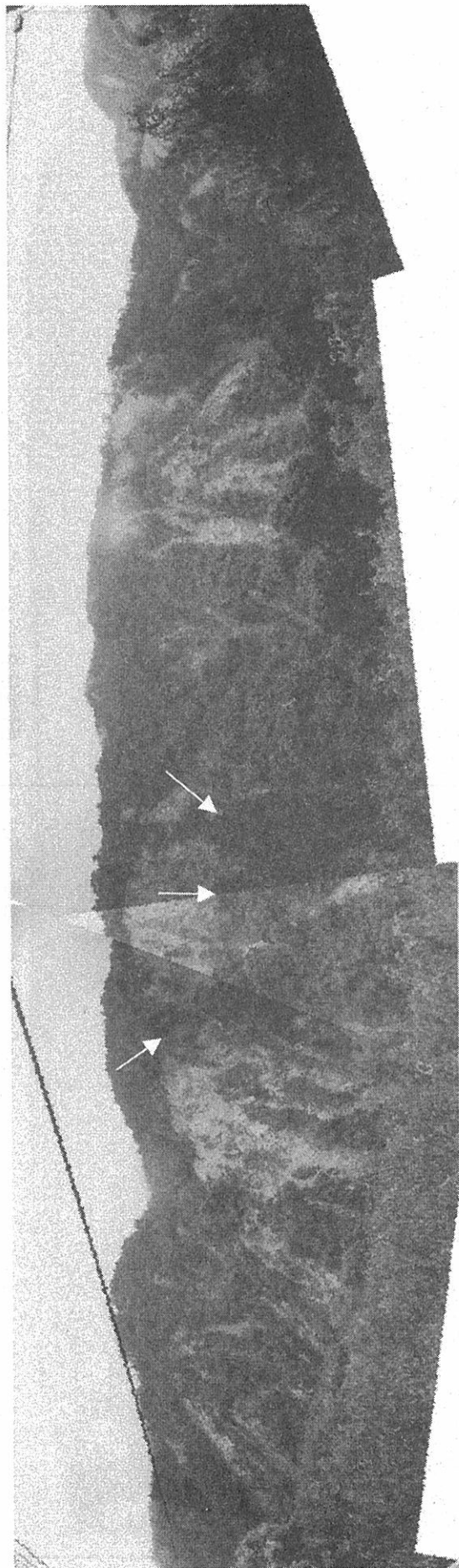


写真-16 S-4 (観測日1)



写真-17 S-4 (観測日2)

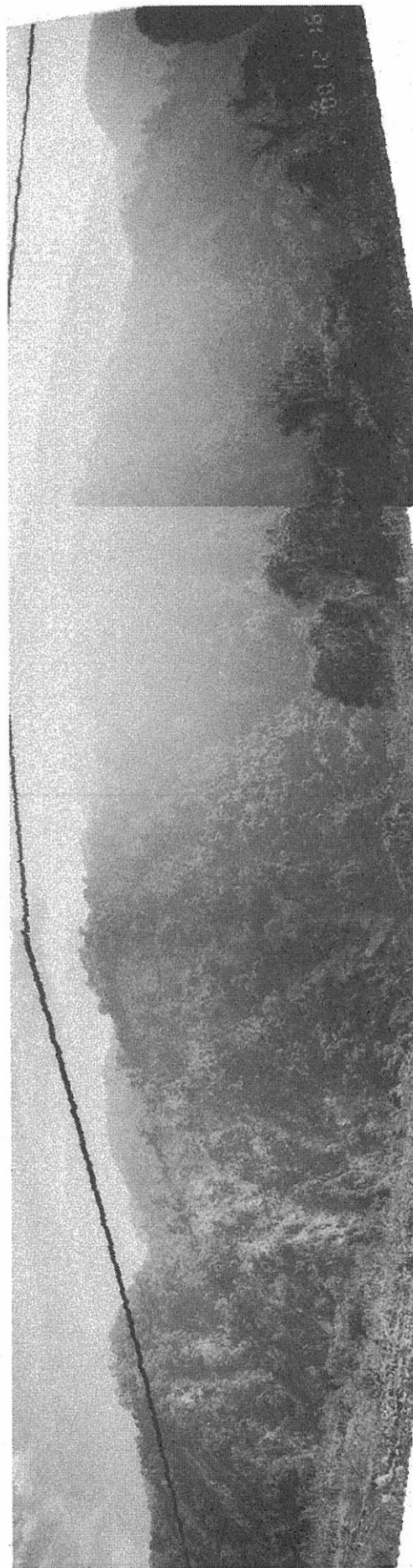


写真-18 S-4 (観測日3)

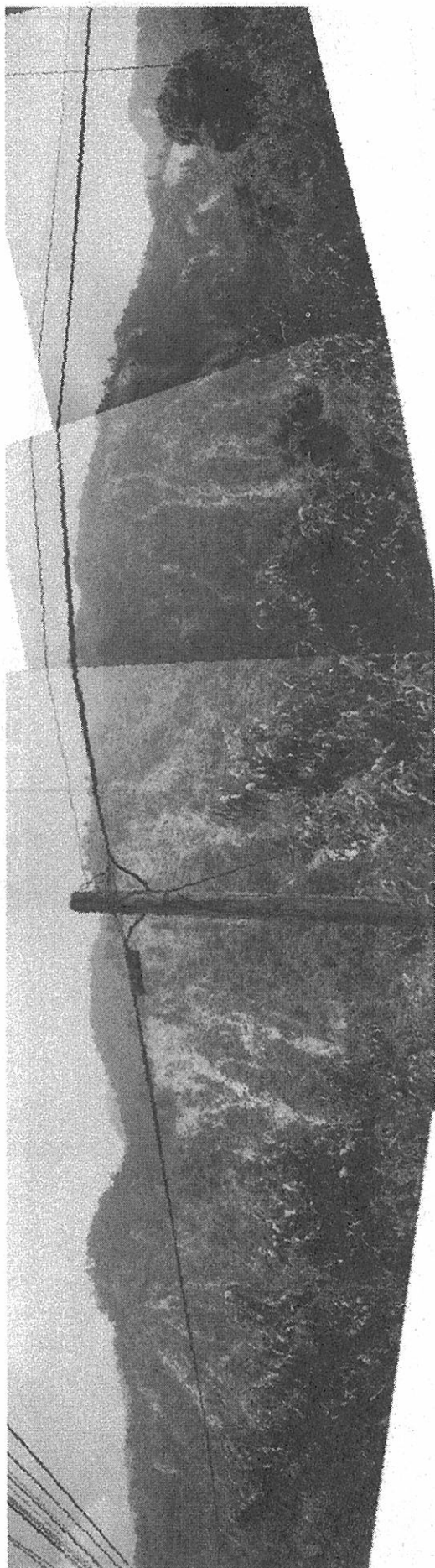


写真-19 S-4 (観測日4)

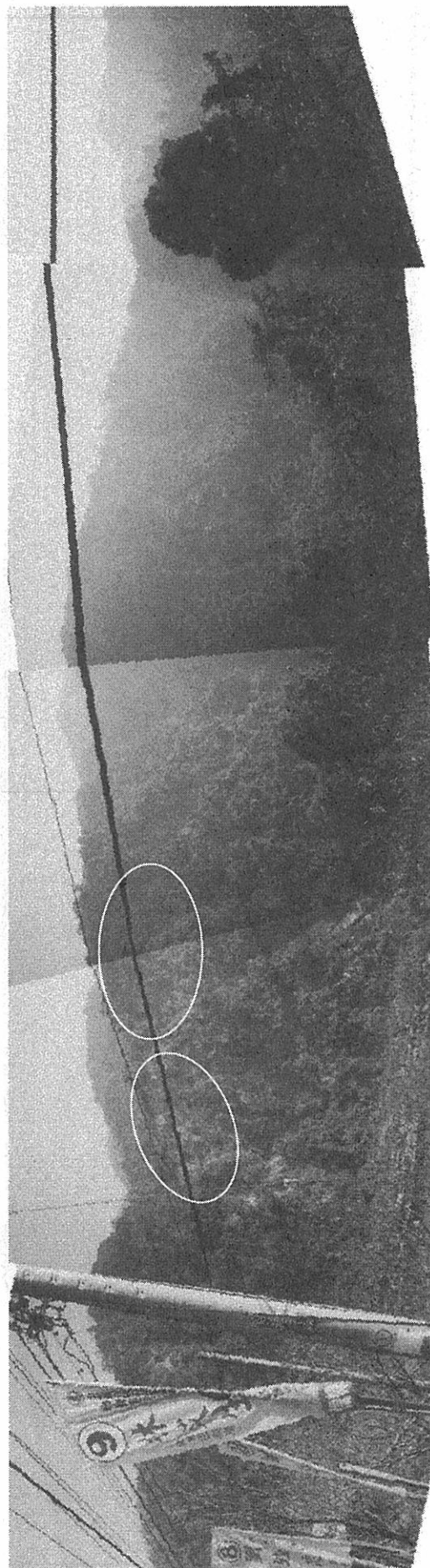


写真-20 S-4 (観測日5)

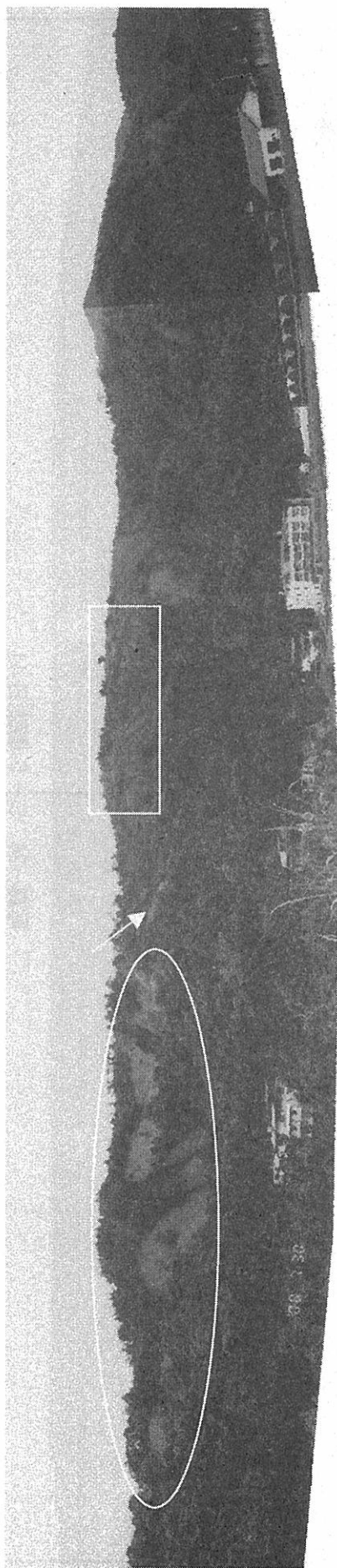


写真-21 S-5 (観測日1)

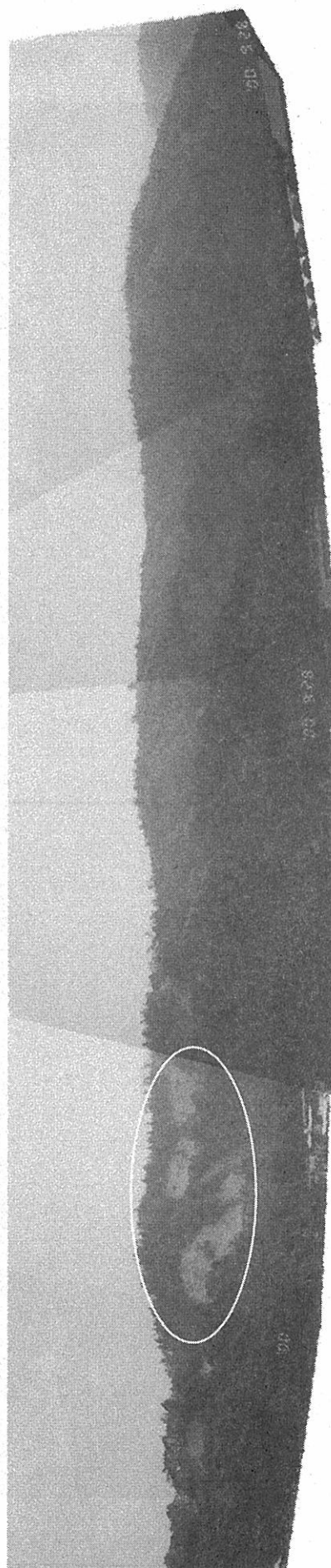


写真-22 S-5 (観測日2)



写真-23 S-5 (観測日3)

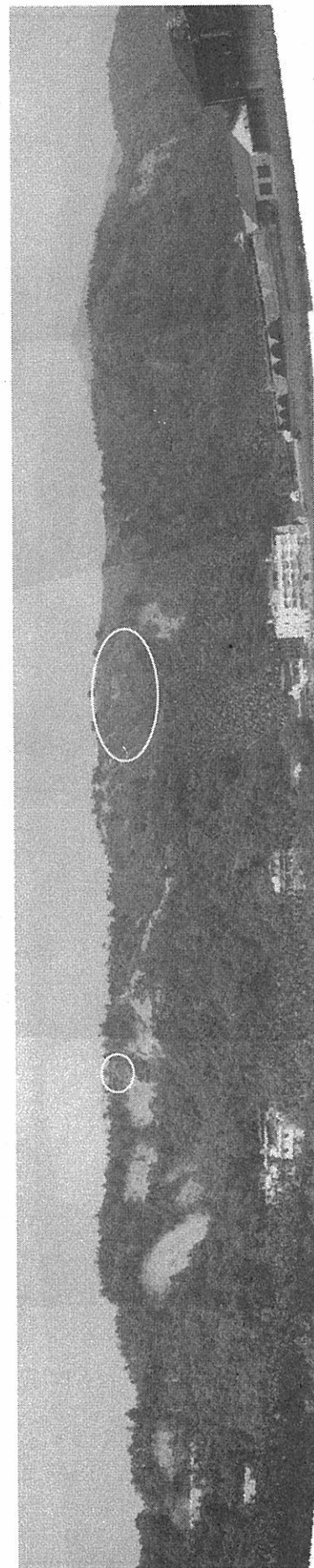


写真-24 S-5 (観測日4)



写真-25 S-5 (観測日5)



写真-26 S-6 (観測日2)

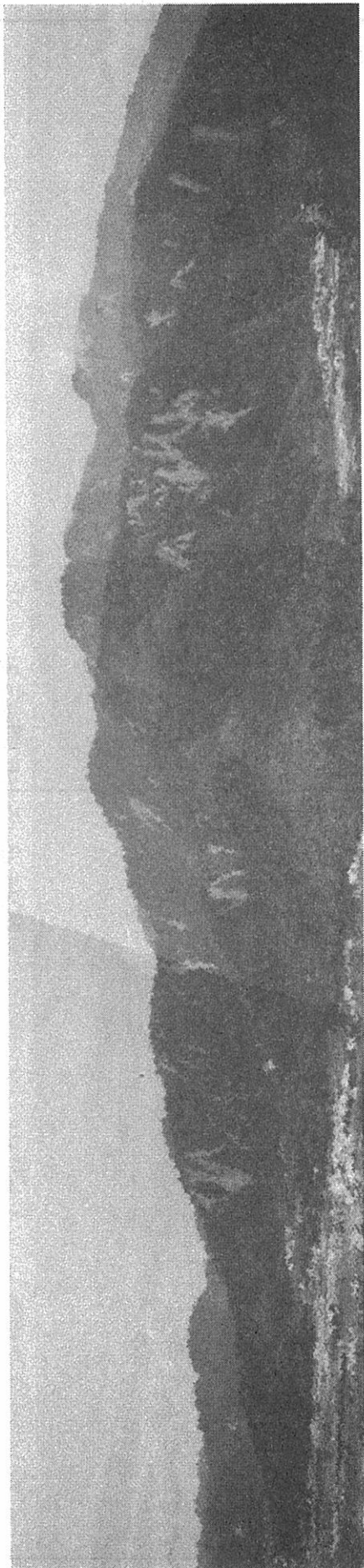


写真-27 S-6 (観測日3)

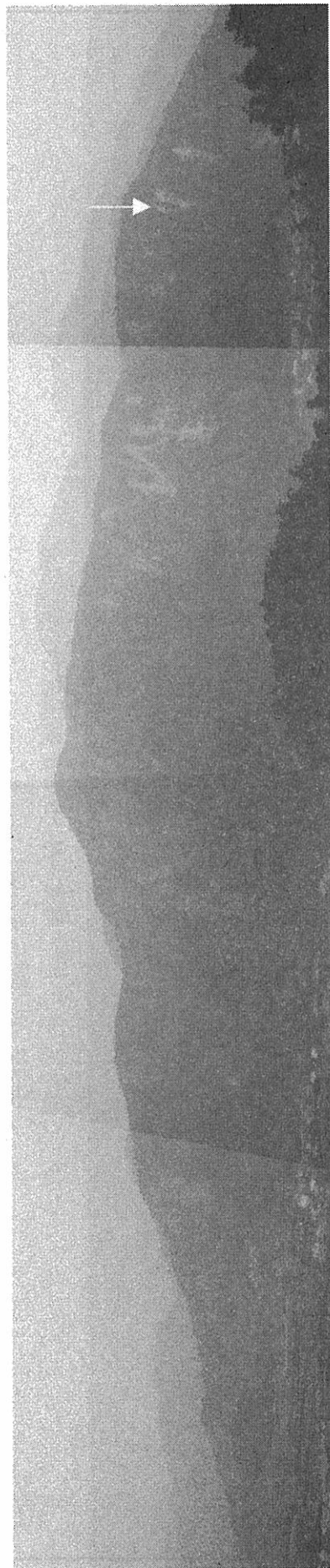


写真-28 S-6 (観測日5)

Fixed-Point Observations on Slope Failures Due to 921 Chi-chi Earthquake in Taiwan

Nobuyuki Torii
Takashi Okimura
Nobuyuki Yoshida

Abstract

It has been reported that the “921 *Chi-chi*” earthquake on September 21st, 1999 triggered over twenty thousand slope failures in central Taiwan. As for quake-induced slope failures, these could be activated not only by the seismic movement itself but also by post-quake rainfalls. In Taiwan, there has been worry about secondary disasters such as new slope failures, extension of existing ones and debris flows of sedimentation due to post-quake rainfalls after the earthquake. In this research, in order to examine whether post-quake rainfalls might generate new failures and extension of existing ones or not, the fixed-point observation sites were set at failed and non-failed slopes adjacent to them. The fixed-point observations have been carried out once every 2 or 3 months.

