

# 地盤工学会

## 2009 年 Morakot 台風による台湾の被害調査に対する災害緊急調査団 報告書

平成 21 年 12 月 1 日

地盤工学会 2009 年 Morakot 台風による  
台湾の被害調査に対する災害緊急調査団

## まえがき

台湾は日本に似た地形をしている。3000m 級の高い山が中央に連なり、急峻な斜面、深い谷が形成されている。雨量が多く台風も頻繁に襲い、地震活動も活発である。したがって日本と同様の、いや、それ以上の地盤災害が発生してきている。最近は特に台風による土砂災害が多発し、さらに 10 年前に発生した集集地震の傷跡も台風によって拡大している。本年 8 月にはこれまでよりさらに甚大と言える被害が Morakot 台風によってもたらされた。阿里山、玉山を中心とした広い範囲で斜面崩壊および土石流が多発し、約 700 名におよぶ人命が失われただけでなく、多数の橋梁が破壊され、道路、堤防も各地で被災した。この中には集集地震で被災斜面がさらにその崩壊を拡大したような、複合災害も発生した。

このような被災の実態を調査し、被害のメカニズムを現地で調べることを目的に、(社)地盤工学会では緊急調査団を派遣した。ただし、被災直後は交通路が途絶し現地にはいない状態であったため、被災から 3 ヶ月たった 11 月に現地にはいった。本報告書はその現地調査の結果をまとめたものである。

被災から 3 ヶ月の間に、台湾の地盤工学会では 6 チームに分けて現地を詳しく調査するなど、組織的な調査が行われてきた。海外の被害調査は日本からの調査団だけの力では不可能であり、この方々に現地を案内していただくことで、今回の現地調査が可能となった。台湾の地盤工学会の方々、特に、調査日程から現地調査の手配、現地の案内まで行っていただいた Prof. W. Lee (National Taiwan University of Science and Technology)には大変感謝する次第である。また、Prof. H.Liao, Prof. T.Chen, Miss C. Wang, Mr. T. Mei には現地で案内していただいた。さらに、Prof. C. Chen, Prof. M. Lin, Dr. T. Chen には調査終了後の検討会において有益な解説などをしていただいた。今回の調査はこれら台湾の地盤工学会の方々の協力なしでは行えなかった。大変感謝する次第である。

平成 21 年 12 月 1 日 調査団一同

## 目次

	ページ
1. 調査目的, 調査メンバーおよび調査行程 . . . . .	1
2. 調査地域の地形, 地質特性 . . . . .	6
3. 被災箇所の調査結果 . . . . .	10
4. 被災に関する考察 . . . . .	19
5. 台湾の地盤工学会と合同検討会結果 . . . . .	22
6. あとがき . . . . .	23

調査経路図および調査写真集は以下のホームページに掲載

調査経路図 (Google Earth data)

- ・ 第 1 日目 (11 月 14 日) [http://geot.civil.metro-u.ac.jp/events/2009/taiwan/ge/GE\\_20091114.kmz](http://geot.civil.metro-u.ac.jp/events/2009/taiwan/ge/GE_20091114.kmz)
- ・ 第 2 日目 (11 月 15 日) [http://geot.civil.metro-u.ac.jp/events/2009/taiwan/ge/GE\\_20091115.kmz](http://geot.civil.metro-u.ac.jp/events/2009/taiwan/ge/GE_20091115.kmz)
- ・ 第 3 日目 (11 月 16 日) [http://geot.civil.metro-u.ac.jp/events/2009/taiwan/ge/GE\\_20091116.kmz](http://geot.civil.metro-u.ac.jp/events/2009/taiwan/ge/GE_20091116.kmz)

調査写真集 <http://geot.civil.metro-u.ac.jp/events/2009/taiwan/>

上記写真集撮影箇所の位置データ <http://geot.civil.metro-u.ac.jp/events/2009/taiwan/gps.xls>

## 調査団メンバーおよび執筆担当

団長 : 安田 進 (東京電機大学, 地盤工学会災害連絡会議複合災害専門委員)

執筆担当: まえがき、第 1 章、あとがき

副団長: 北村良介 (鹿児島大学, 地盤工学会災害連絡会議降雨時の斜面崩壊専門委員)

執筆担当: 第 4 章

団員 : 岩佐直人 (日鐵住金建材) 執筆担当: 第 2 章

団員 : 塚本良道 (東京理科大学) 執筆担当: 第 5 章

団員 : 吉嶺充俊 (首都大学東京) 執筆担当: 調査経路図および調査写真集

団員 : 酒匂一成 (立命館大学) 執筆担当: 第 3 章

# 1. 被災概要および調査目的・行程

## 1.1 被災概要

2009年(日本年号平成21年, 中華民國年号98年)8月にモラコット(Morakot)台風(日本では台風8号と呼ぶ)が台湾を襲った。この台風は図-1.1に示すように台湾の東から進んできて、8月7日~9日にかけて台湾を横断した。最大風速は40m/s, 気圧は945kPaであった。この台風は台湾中部~南部の阿里山(Alishan)や玉山(Yu Shan)一帯の西側斜面を中心に多量の降雨をもたらした。阿里山では8月6日~8日の3日間に3,004.5mmの累積降水量があり、8月5日~8月10日の6日間では3,059.5mmに達した。土石流により甚大な被害が発生した小林(Hshao Lin)村付近では累積降雨量は2,076mmであった。また、図-1.2に示すように100mm/hに近い非常に強い降雨が広い地域で長時間続いた。阿里山付近では123mmの最大時間降雨量を観測した。

この台風によって阿里山, 玉山一帯から南部の高雄縣にかけて斜面崩壊, 土石流, 洪水が発生し, 人命, 家屋, 橋, 道路, 堤防などに甚大な被害が発生した。国道だけでも7つの国道で237箇所が大被害を受けた(Directorate General of Highwaysによる)。ただし, 11の国道で81箇所が大被害を受けたとの数え方もある。このうち阿里山を通る18号線では大きく被害を受けたのは14箇所であるが, 小規模なものも含めると52箇所で大被害が発生した(Directorate General of Highwaysによる)。

崩壊した土砂は土石流となって流れ, 下流の集落に襲いかかった。このため, 多くの家屋が土砂に埋まった。最も甚大な被害が生じた小林村では約450名の村民のうち400名がまだ土砂に埋まったままである。土石流は多くの橋梁を襲い破壊させた。斜面崩壊そのものにより被

災した橋梁もあった。さらに, 土石流により河床が土砂が厚く埋め尽くされ, 堤防も破壊されて, 下流域で洪水が発生した。

斜面崩壊および土石流は上記のように道路の決壊を数多く発生させ, また, 橋の崩壊をもたらした。このため, 3ヶ月たって調査に行った際でもまだまだ通行止めの箇所が多く残っていた。被災した橋梁は52に及んだ(Directorate General of Highwaysによる)。ただし, 120箇所の橋梁が被害を受けたとの数え方もある。

斜面崩壊, 土石流, 洪水によって失われた人命は619名に及び, 今でもまだ行方不明者が約76名に及んでいる(National Fire Agency Ministry of Interiorによる)。行方不明者は主に土砂の下に埋まっているか, または土石流や洪水によって流された者である。このように多数のこの台風は多数の人命を奪ったが, 負傷者は比較的少なかった。

## 1.2 調査団の目的と派遣の経緯

上記のように2009年8月7日に台湾南部を襲ったMorakot台風では, 斜面崩壊, 土石流が頻発し, 約700名ほどの多数の犠牲者を生じた。また, 1999年の集集地震で斜面崩壊が発生した地区ではさらにこの台風で崩壊が進んだのではないかと考えられた。そこで, これらの被害調査を現地で行うと同時に, 台湾の地盤工学会と豪雨, 地震時の斜面崩壊・土石流に関する今後の研究協力方法を検討するために, 調査団を派遣することとした。

ただし, 海外の被害調査では日本からの調査団だけでは行動は不可能であり, その国で援助してもらえる機関が必要である。幸いなことに, 台湾とはATC3 (Asian Technical Committee No.3 “Geotechnology for Natural Hazards”)の活動などを通して, 台湾の地盤工学会のメンバーと交流を深めてきていた。ATC3の関係で地盤災害

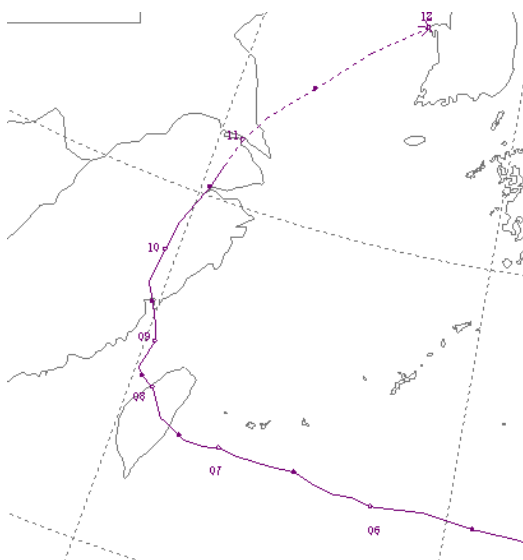
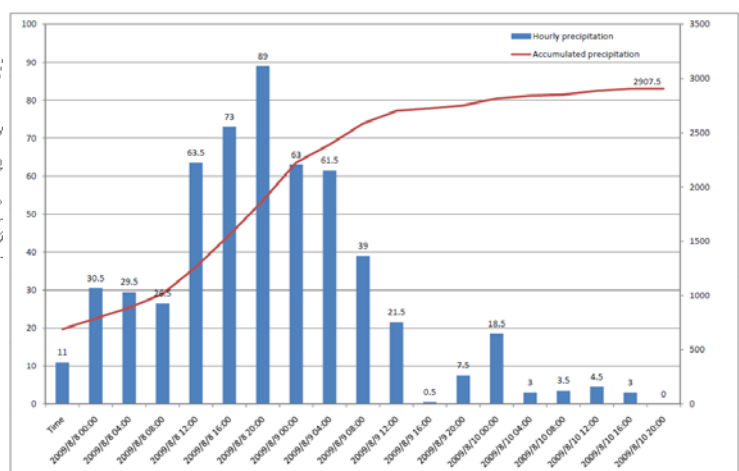


図-1.1 台風8号の進路(気象庁による)



に関する日本—台湾のワークショップも3回行ってきていた。そこで、台湾の地盤工学会の方々に協力をお願いしたところ快諾していただいた。

当初は被災から1ヶ月たった9月中旬に調査団を派遣する予定であったが、今回の斜面崩壊、土石流による道路の被災が甚大であり、被災箇所には入れないのでしばらく後が良いとのことで、11月13日～18日の間に調査団を派遣することになった。

### 1.3 調査範囲と調査日程

台湾の地盤工学会では被災直後から精力的に被災箇所の調査が行われてきた。被災範囲は広範囲に及ぶため、6つのグループを結成し、そのうち5つのグループで現地を分担して調査し、また、残りのグループでデータ収集、整理を行ってきたとのことである。日本からの調査団を派遣した時点では、このように既に台湾の地盤工学会で調査が詳しく進められていたため、その結果に従って、調査範囲や日程を台湾の地盤工学会に設定してもらった。

図—1.3 に調査を行った範囲を示す。これは図—1.4～1.6 に示す次の3つの地区からなっている。

- ①阿里山を通る 18 号線沿いとその周辺
- ②20 号線およびその下流の 27 号線とその周辺
- ③21 号線とその周辺

これらの3つの地区を3日間にわたって現地調査し、その後台北に移動し台湾の地盤工学会メンバーと討議を行った。具体的なスケジュールを示すと以下ようになる。

#### (1) 11月13日(金)

- ・調査団台湾着
- ・嘉義(Chia Y)のホテルにて Prof. Lee とこれからの調査に関して打ち合わせ

#### (2) 11月14日(土)

- ・台湾側案内者：Prof. Liao, Prof. Lee, Miss Wang
- ・嘉義 8 時 15 分 出発
- ・阿里山を通る 18 号線沿いの道路斜面の調査
- ・曾文溪に下り、溪谷沿いの橋梁、斜面、橋梁の被害調査
- ・嘉義に 17 時半到着

#### (3) 11月15日(日)

- ・台湾側案内者：Prof. Liao, Prof. Chen, Miss Wang
- ・嘉義 8 時 15 分 発
- ・27 号線沿いの橋梁、斜面崩壊調査
- ・20 号線沿いの斜面、道路、橋梁の被害調査
- ・高雄に 19 時到着

#### (4) 11月16日(月)

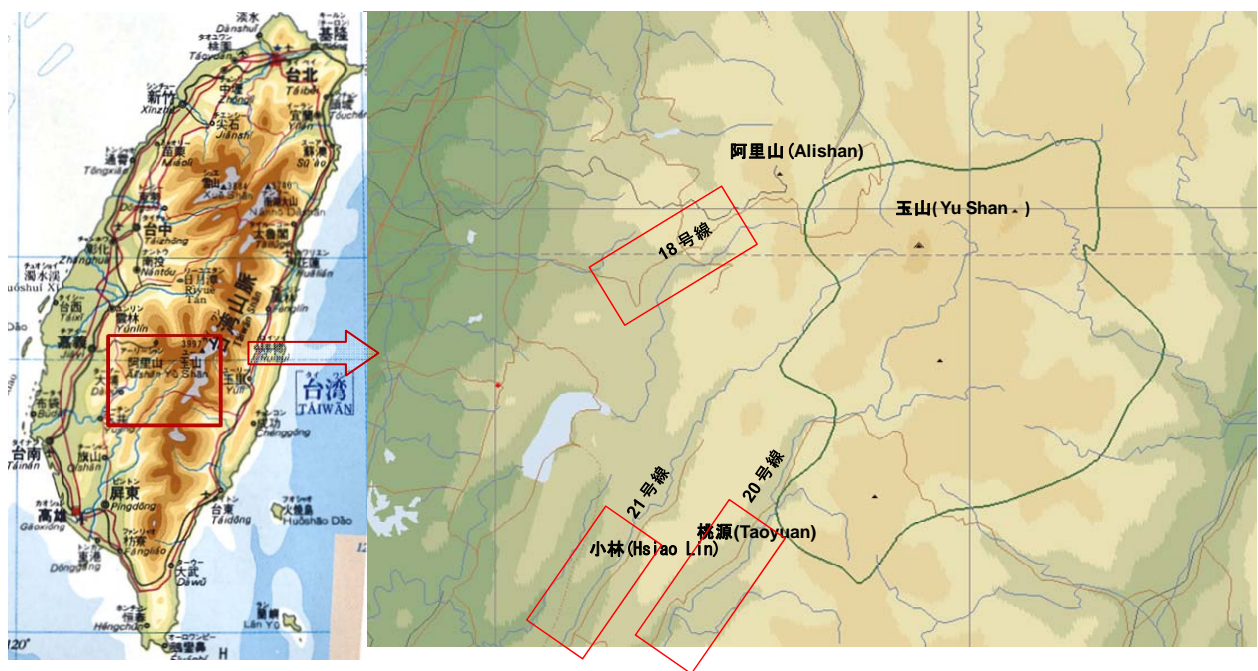
- ・台湾側案内者：Mr. Mei
- ・高雄 8 時半 発
- ・21 号線沿いの橋梁、道路、堤防被害調査
- ・小林村の斜面崩壊・土石流調査
- ・高雄 20 時 着

#### (5) 11月17日(火)

- ・高雄 10 時半 発
- ・台北 12 時 すぎ 着
- ・14 時～18 時：National Taiwan University of Science and Technology にて台湾地盤工学会メンバーと検討会

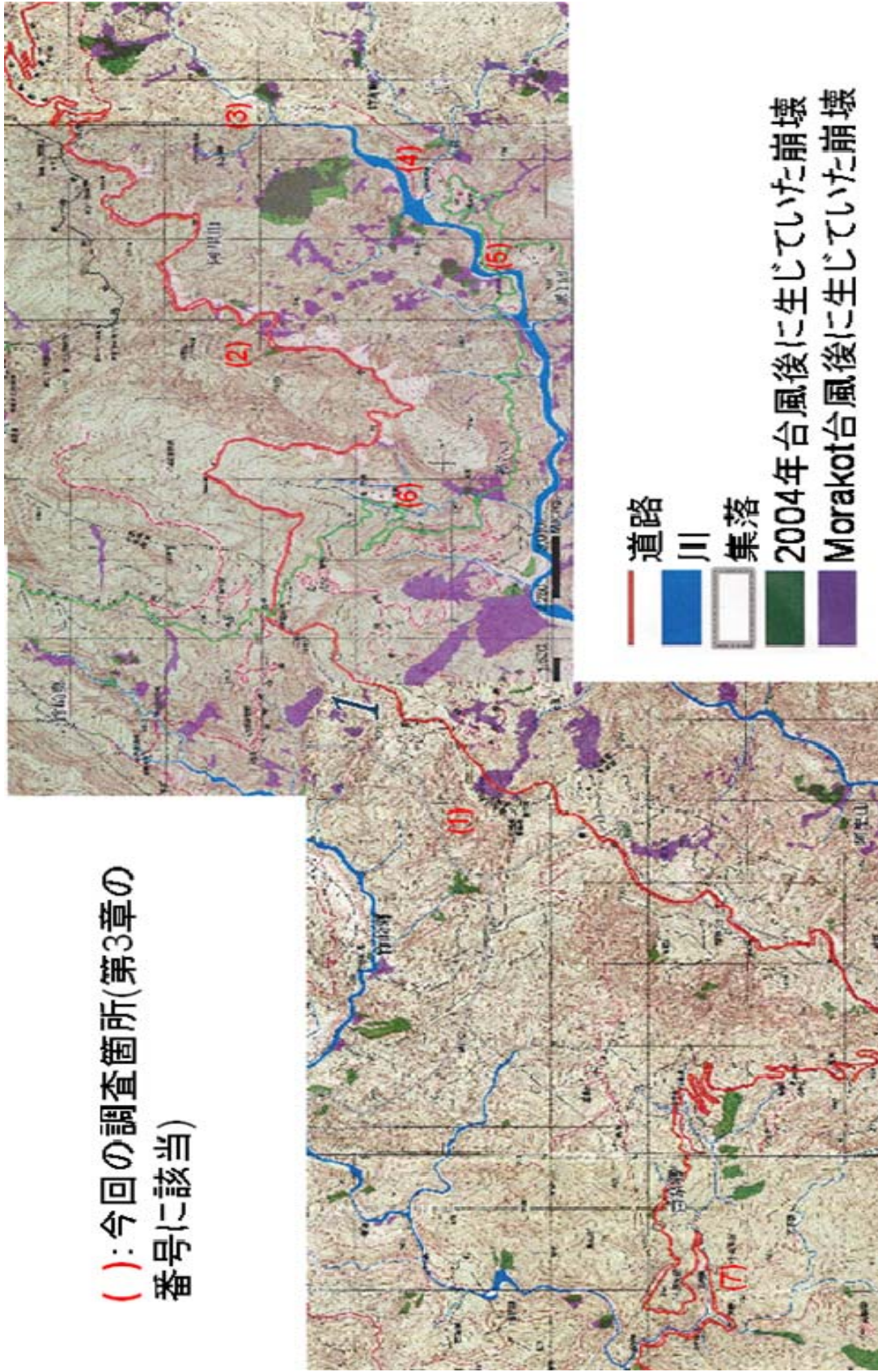
#### (6) 11月18日(水)

- ・調査団帰国



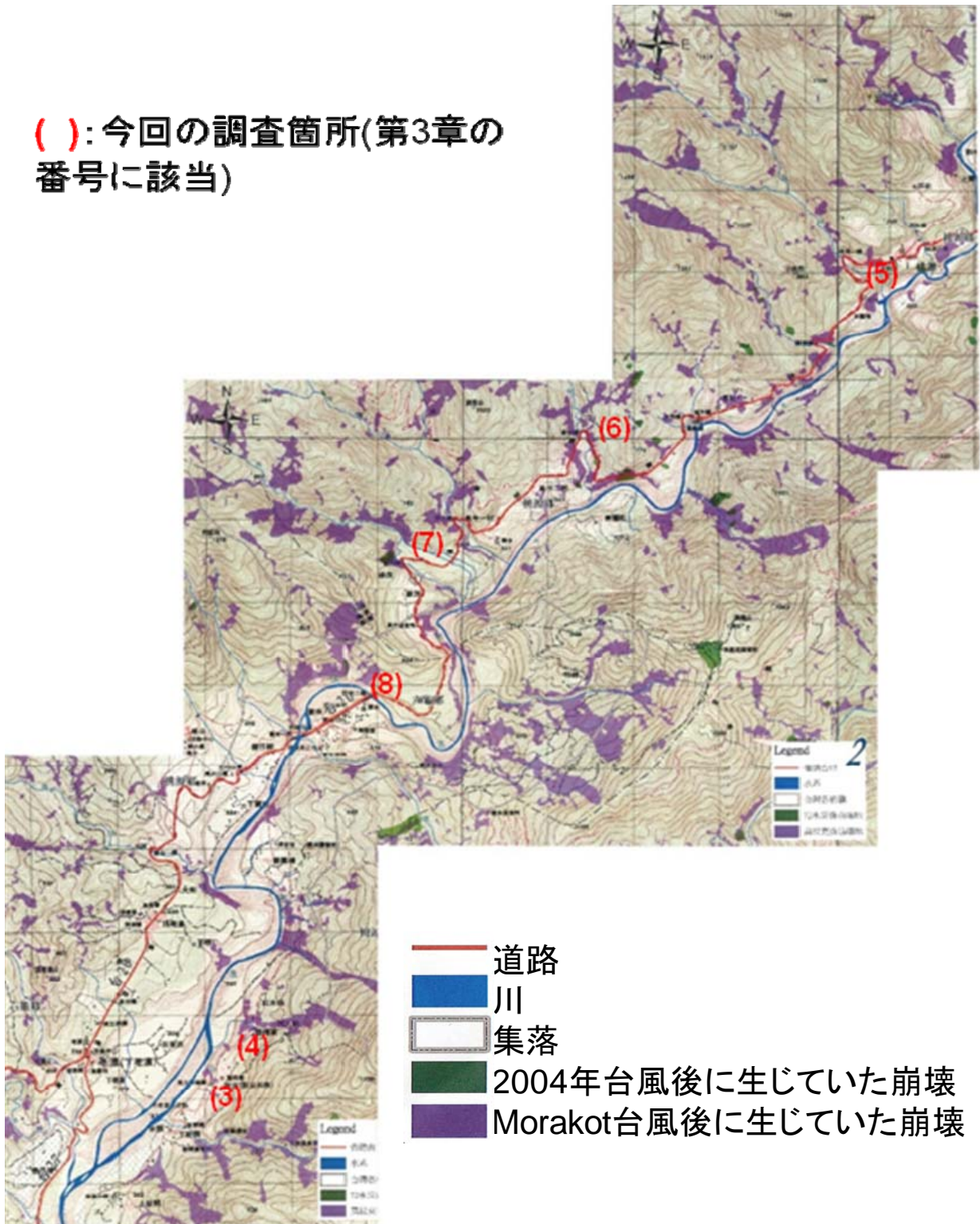
図—1.3 調査範囲

( ): 今回の調査箇所(第3章の番号に該当)



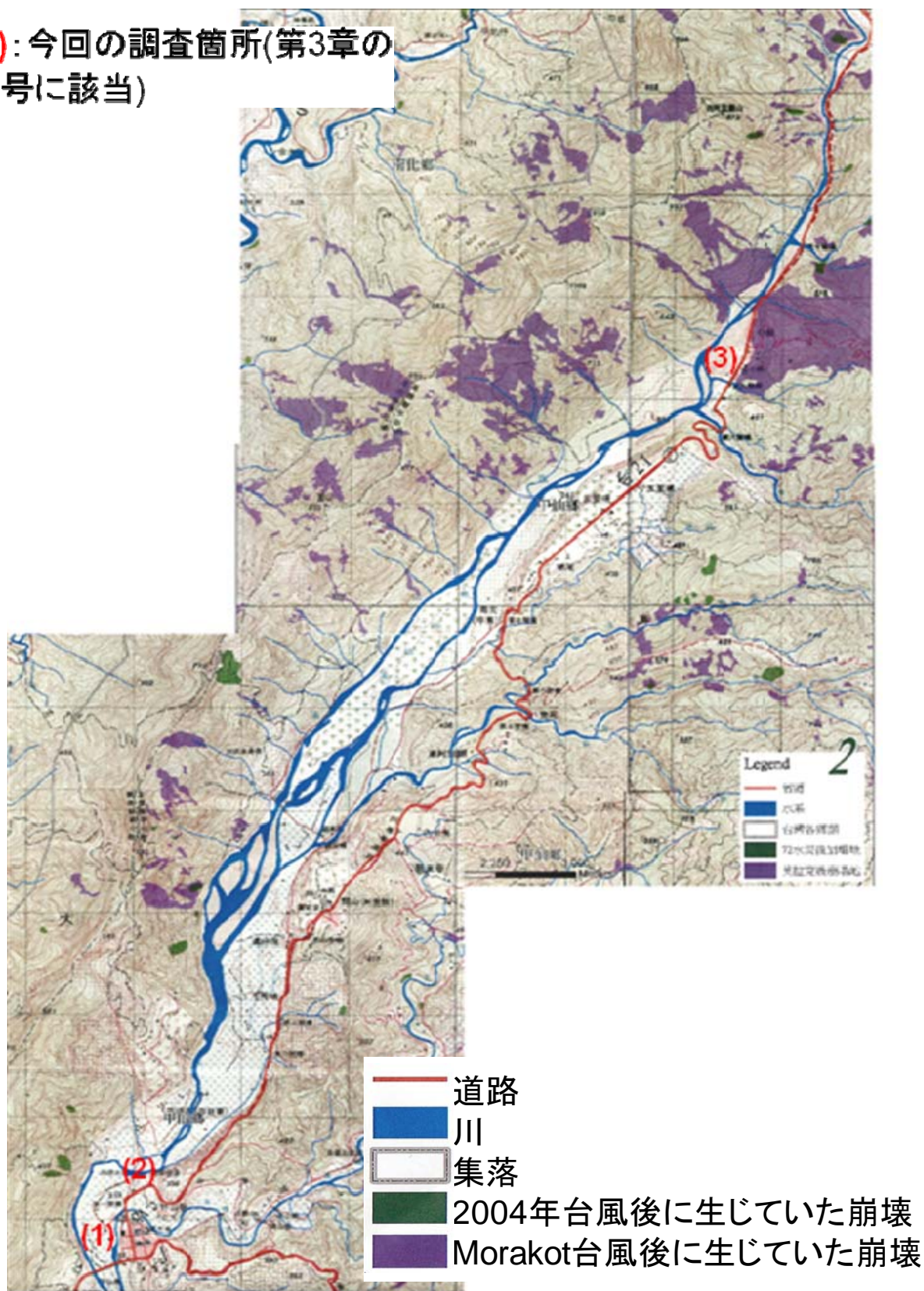
図一1.4 台湾の地盤工学会による18号線沿いの崩壊箇所の調査結果と今回の調査箇所(11月14日調査分)

( ): 今回の調査箇所(第3章の番号に該当)



図—1.5 台湾の地盤工学会による 20 号線沿いの崩壊箇所の調査結果と今回の調査箇所(11 月 15 日調査分)

( ): 今回の調査箇所(第3章の番号に該当)



図—1.6 台湾の地盤工学会による21号線沿いの崩壊箇所の調査結果と今回の調査箇所(11月16日調査分)



## 2. 調査地域の地形、地質特性

### 2.1 台湾の地形・地質の概要

台湾は南北 385km、東西 143km、面積 35,960km<sup>2</sup> であり、九州よりやや小さい。山が多く、山岳地が、総面積の約 3 分 2 を占め、平野部は 3 分 1 程度である。島内には中央山脈と玉山山脈、雪山山脈、阿里山脈、台東山脈（別名：海岸山脈）がある。その地形的特徴としては、南北を走る中央山脈を分水嶺とし、それぞれ次第に東海岸と西海岸に向かって低くなっているが、東側が急峻である。

台湾は地形的に、この中央山脈を基準にして大きく二つの地域に分けられ、丘陵・平野部が多い中央山脈の西側エリアは、山岳地の東側エリアの約 2 倍の面積である。なお台湾の最高峰は玉山山脈の主峰である玉山で、その海拔は 3,997 メートルである。

台湾は大陸側のユーラシアプレートと太平洋側のフィリピン海プレート境界上の、フィリピン海プレートが、ユーラシアプレートの上に乗り上げるように衝突している箇所に位置しており、そのため、ユーラシアプレート上の大陸棚を構成する第三紀上部の泥岩類がフィリピン海プレートによってかき集められてプレート境界に堆積し、逆断層運動によって急上昇することにより、台湾島が形成されている。

このような形成過程を反映して、地質は瓦を積み重ねたような構造となっており、プレート運動の前面（西側）ほど新しい地層で構成されている。

図 2-1 に台湾の地質分布を示すが、台湾は地質的に大きく 3 つの領域に区分される。

#### 1：中央山脈（IV、V）

さらにこの領域は雪山山脈（IVa）と玉山山脈（IVb）を含む西側領域（IV）と頂領域（V）に区分される

#### 2：西側丘陵域（II、III）

#### 3：海岸山脈（VI、VII）

#### (1) 中央山脈

この領域は、第三紀中新世(Miocene)の泥岩類(粘板岩, slate)で構成され、台湾南部に続いている Laonungchi (または Chaochow) 断層と呼ばれている Chuchin 断層がその

東側に存在する。この中央領域はその東側にある東部縦長峡谷 (Eastern Longitudinal Valley) が境になっている。集集地震で被害の大きかった中央山脈西側の山地は第三紀鮮新世(Pliocene)から中新世(Miocene)にかけての堆積物(数百万年前に堆積した泥岩類)で構成されている。今回の調査箇所である老濃溪 (Laonong River) 沿いの新開 (Hshinka)、寶来(Baolai)や桃源 (Taoyuan) は、この領域に属す。

#### (2) 西側丘陵域

西側丘陵域 (III) は、更新世に構成された碎屑性堆積物の砂岩と頁岩の互層であって、局所的に石灰岩と凝灰岩が点在している。その厚さは 8000m またはそれ以上である。なおその西部の平野部 (II) もこの西側丘陵域に含めることができる。図 2-2 にこの領域に属す地質断面図を示す。なお今回の調査箇所である阿里山 (Arishan) 及び旗山溪 (Chishan River) 沿いの小林 (Sioalin)・甲仙 (Jiasian) は、この領域に属す。

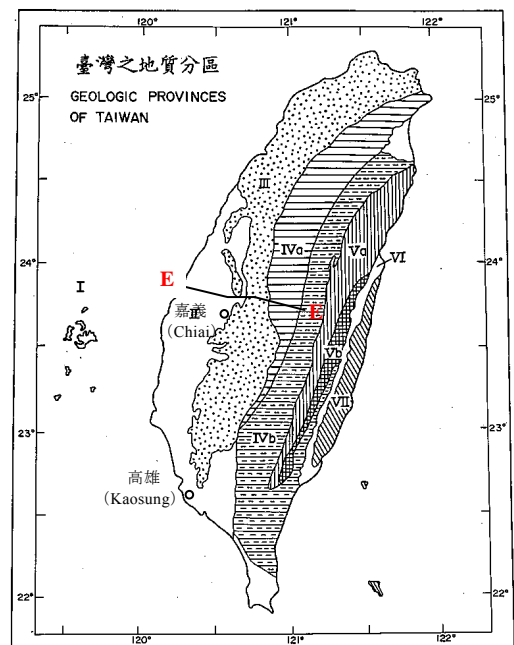


図 2-1 台湾の地質分布図<sup>(1)</sup>

#### (3) 海岸山脈

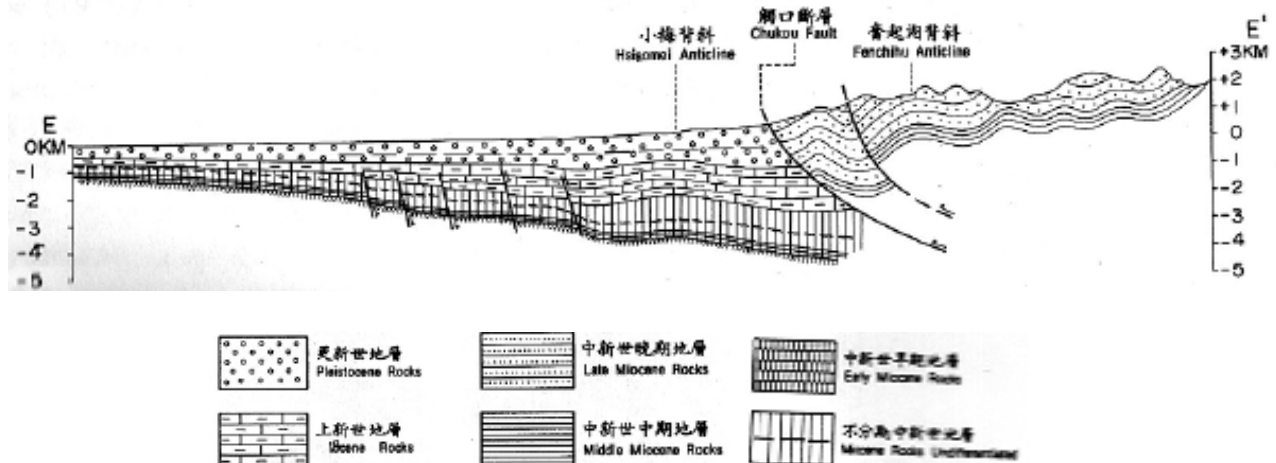


図 2-2 E-E 地質断面図<sup>(1)</sup>

台湾東部は海岸山脈（VII）に属し、この領域もまた新第三紀の堆積物からなるが、西側丘陵域の新第三期岩と比較して異なった地質学的環境によって、その火山碎屑的な地質を含んでいる。この海岸山脈は中央山脈から Taitung Longitudinal Valley（VI）で区切られている。

## 2.2 主要調査箇所の地質

### (1) 阿里山 (R18 龍頭坪 Long-tou Ping)

阿里山付近の地質は、第三紀中新世(Miocene)に属する南莊層及其相富地層（Nanchuang Formation and equivalent）であり、滑落崖の状況を見ると、風化した頁岩、泥岩類特有の玉ねぎ状の風化が見られ、またすべり面と見られる泥岩表面が露頭している状況が見てとれた。（写真 2-1～写真 2-5）

### (2) 阿里山郷 (Alishan), R18-71km 地点

台湾 18 号線 71km 地点の斜面崩壊地点の地質は、写真 2-6、写真 2-7 に示すように砂岩と頁岩の互層であり、褶曲も激しく頁岩のスレーキングが激しい状態であった

### (3) R20 号沿い老濃溪 (Laongnon River) 河床、桃源 (Taoyuan) 付近

桃源 (Taoyuan) に向かう R20 号が斜面崩壊で通行止めのため、途中から河床に設置された仮設道路を走行し、その際に見かけた地層状況を示す。

走行した区間では、比較的右岸側が河川によって浸食され、露頭している岩は砂岩と泥岩の互層であった。また左岸は砂礫・玉石の堆積層であった（写真 2-8）。

右岸側で見られた泥岩は風化し易くクラックが見られたほか、褶曲状態が観察された。また海成玄武岩の玉ねぎ状風化など地質的に興味深い箇所がいくつも見られ



写真 2-1 龍頭坪 Long-tou Ping 滑落崖全景



写真 2-2 A 部の拡大



写真 2-3 B 部の拡大



写真 2-4 C 部の拡大 (頁岩の風化)



写真 2-5 D 部の拡大 (すべり面?)



写真 2-6 R18-71km 地点の流れ盤状況 (砂岩と頁岩の互層)



写真 2-7 頁岩の状況

た。

(写真 2-9～写真 2-12)



写真 2-8 老濃溪 (Laongnon River) の状況



写真 2-9 右岸側の頁岩 (slate) の状況



写真 2-10 褶曲状況



写真 2-11 海成玄武岩の風化



写真 2-12 左岸浸食状況

#### (4) 小林 (Sialin)

写真 2-13 に、斜面崩壊箇所全景を示すが、中腹の流れ盤表面の状況を写真 2-14 に示すが、流れ盤は泥岩であり、その表面は風化により亀裂が生じていた。また写真 2-15 は前述の流れ盤の下にある流れ盤天頂部の断面を示している。ベージュ色は砂岩であり、灰色が泥岩であり互層状態になっていることがわかる。

写真 2-16 は写真 2-13 の箇所に至る前で見られた泥岩付着した方解石脈であり、表面にはひっかき傷が見られた。また写真 2-17 は、砂岩中にあった貝の化石である。



写真 2-14 流れ盤表面の状況



写真 2-15 流れ盤天頂部断面



写真2-16 泥岩に付着した方解石



写真2-17 方解石表面の状況



写真2-18 砂岩表面の貝の化石

#### 参 考 文 献

- 1) C.S.Ho : An Introduction to the Geology of Taiwan  
Explanatory Text of the Geologic Map of Taiwan , Central  
Geological Survey The Ministry of Economic Affairs  
Taiwan, 1988

### 3. 被災箇所の調査結果

2009年8月6日～8月9日に台湾に襲来した莫拉克（Morakot）台風の豪雨により被害を受けた嘉義縣（Chiayi）と高雄縣（Kaohsiung）を調査した。本節では、2009年11月13日～17日に行った地盤工学会災害緊急調査団による調査結果をまとめる。

#### 3.1 嘉義縣（Chiayi）国道18号線の主な被災状況

##### (1) 阿里山郷（Alishan）、龍頭（Longtou）坪

龍頭（Longtou）坪は、嘉義市内より国道18号線（阿里山公路）で阿里山へ向かい龍頭トンネルを通り抜けた約59km地点に位置する。龍頭トンネルは崩壊土砂により、水平方向に約1～1.5m移動し、約2m沈下した（写真-3.1）。また、トンネルの中でズレが見られた（写真-3.2）。トンネルの基礎部は最初岩着させていたが、被災後、マイクロパイル（φ20cm、長さ20～25m）の斜杭で接合した。

北側の大崩壊は厚さ120m程度であり、頁岩と砂岩の互層で褶曲しているのが見られた（写真-3.3）。頁岩の風化が激しく、非常にもろい状態であった。層理面は向かって左側に向いており、崩壊面とは直交しているため、クラックがまず入ってから滑ったと考えられる。降雨のピークは8月8日の夜遅くであり、道路部分が滑ったのは8月9日の午後2時～3時の間であった。崩壊後、露頭した岩の一部から水が出ており、道路下の窪地には水



写真-3.1 龍頭坪の被害状況



写真-3.2 龍頭トンネル内部（崩壊現場方向を見て撮影）



写真-3.3 龍頭坪の斜面崩壊部

が溜まっていた。斜面の法尻には河川があり、最初に河川の水が増水し、川の源頭部に向かって侵食（向源侵食）が進むことで崩壊部下端（斜面法尻部）が崩れ、その後徐々に上部が崩れていき、滑落崖のようになっているところ（砂岩と頁岩の互層）では、クラックがまず入り、そこに雨水が浸透し水圧が上昇することで斜面崩壊が発生したのではないかと考えられる。阿里山郷の他地点と合わせて考えると、地震でクラックが入ってそこから水が浸入し、頁岩がスレーキングを起こしたか、8月8日あたりにクラックが入り、そこから水がしみ込んでスレーキングを生じていた可能性があると考えられる。

##### (2) 阿里山郷（Alishan）、国道18号線71km地点

台湾18号線71km地点の斜面崩壊地点の地質は、砂岩と頁岩の互層であり、褶曲も激しく、露頭での層理面の角度は15度から30度（写真-3.4）、道路下のすべり面は48度もあった（写真-3.5）。また、頁岩のスレーキングが激しい状態であった（写真-3.6）。この地点での崩壊は流れ盤に沿った崩壊であり、崩壊深さは比較的浅く、現在の道路から元の地表面まで約50m程度、道路から崩壊上端までは約80m程度であった。現地状況から、まず遷急点付近にクラックが入り、そこから水が浸入して頁岩のスレーキングを生じ、滑りを起こし、さらにそこにクラックが入って1枚下の頁岩層に水が浸入し、その部分が滑るという挙動が生じたのではないかと想定される。今後、どれくらいの時



写真-3.4 台湾18号線71km地点の斜面崩壊



写真-3.5 道路下の滑り面



写真-3.8 巴沙娜橋の被害状況



写真-3.6 頁岩のスレーキングが見られる箇所



写真-3.9 巴沙娜橋の下流側の状況

間でスレーキングが生じるか実験する必要がある。

### (3) 巴沙娜 (Basana) 橋付近

巴沙娜橋は、特富野 (Tefuye) 地区から巴沙娜を経て十字路地区に出る産業道路である巴沙娜討生古道に架かる橋である。この地点では、上流からの土石流および支流からの土石流が集まってきていた。上流側の斜面崩壊 (写真-3.7) は、過去に崩壊していたが今回も再び崩壊した。原因として、水衝部が土石流によって削られたものと考えられる。巴沙娜橋は1998年に建てられたものである。写真-3.8のように、土石流が橋の上に乗っているため、橋桁を越して流れたとみられるが、橋桁は流さ



写真-3.7 巴沙娜橋上流側の斜面崩壊

れていなかった。これは、土石流の堆積地に位置していたので、衝撃力が大きくなかったのではないかと考えられる。しかし、近くの看板には水深が深いので注意と書いてあったことから、被災前は河床は深かったものと推定される。現在、土石流の堆積している厚さは分からないが、河川水は伏流水となっており、下流で表流水となっていた。

### (4) 特富野 (Tefuye) 橋付近

特富野橋付近の斜面崩壊では、尾根筋の崩壊に着目した。通常、尾根筋が雨だけで壊れるとは考えられない。



写真-3.10 特富野橋付近の斜面崩壊



写真-3.11 達邦橋手前の右岸側斜面の状況



写真-3.12 土石流の堆積箇所

よって、この尾根筋の崩壊は、過去の地震でクラックが入っていて、雨で壊れやすい状況になっていたのではないかと考えられる。

#### (5) 達邦 (Darbang) 橋付近

達邦橋手前の右岸側斜面（写真-3.11）に着目した。この斜面は、2004年時点の写真にも崩壊した後が残っていた。尾根の上から滑っていること、また、斜面途中に未崩壊の凸部がありその上が崩壊していることから見て地震時に崩壊した箇所ではないかと考えられる。また、谷筋の崩壊は、降雨によって崩壊したものと考えられる。植生が異なる部分が見られ、複数回にわたって崩壊が生じていると考えられる。

また、達邦橋下流には河川支流からの土石流による扇状地ができていた（写真-3.12）。扇状地は、105度で広がっており、表面は7度程度の急勾配であった。伏流水はこの地点で表面流になっていた。

#### (6) 第三號橋付近

第三號橋は、特富野 (Tefuye) から石卓 (Shizhuo) に向かう道に架けられた橋である。斜面上部から巨大な落石が多く生じていた（写真-3.13）。崩壊直後には湧水が見られていた。また、擁壁の損傷や鋼製トラスの落橋が見られた（写真-3.14, 写真-3.15）。崩壊の順としては、まず、巨大な落石により橋桁が押し流された。そして、左岸側に大きな斜面崩壊が発生し、左岸側橋台が一



写真-3.13 斜面崩壊箇所の落石



写真-3.14 橋の落橋と擁壁の損傷



写真-3.15 鋼製トラスと控え壁式擁壁

緒に倒壊した。また、巨大な落石により右岸側の道路面にはクラックが入り、そこから水が浸入し、右岸側橋台の裏を洗掘し、さらに落石が当たって右岸側橋台の下流側隣の擁壁を押し倒したものと考えられる。この部分の擁壁（控え壁式擁壁）は取り付け部にあたるため、岩盤上に直接基礎が載っている訳でなく、土砂の上に載っていた状態であり、このような場合、よく侵食による被害が生じると考えられる。

#### (7) 信義 (Shinyi) 橋付近



写真-3.16 信義橋付近の被害状況



写真-3.18 五號隧道付近の左岸側



写真-3.17 新威橋（上流側を撮影）



写真-3.19 五號隧道付近の右岸側

信義橋付近では、山を越えるために道路が3ターンしている部分である。山を向いて右側の斜面で大きな崩壊が生じ、土砂が道路を塞いだ（写真-3.16）。現在は、道路は通行可能となっているが、工事のため渋滞が見られた。この付近を含む国道18号線の西側の部分における崩壊は、軍が航空写真を非公開としているため、台湾地盤工学会調査資料にも崩壊箇所が示されていない。

### 3.2 高雄縣 (Kaohsiung), 国道27号の主な被災状況

#### (1) 六龜 (Liouguei) 郷, 新威 (Sinwei) 橋

新威橋は、2年前に開通した橋であり、川幅は約2kmである（写真-3.17）。この付近の堤防の被害はないが、台風により上流側の河川堤防が被害を受けている。また、河床が2~3m上昇し、川の中心が変わってしまった。左岸側堤防付近に断層がある。

#### (2) 五號隧道 (Liouguei Tunnel)

五號隧道は、6つのトンネルから六龜トンネル (Liouguei Tunnel) の5番目のトンネルである。この付近の右岸側の国道27号線は破壊して現在仮設道路で対応している（写真-3.18）。右岸側の道路は川から50m離れており、その間に堤防があったが、台風による河川堤防の侵食により現在は川が道路まで広がってきた。左岸の谷地形部では過去に何度も土石流があった場所で、今回も土石流が発生し、村が埋まったが人々は避難していたため無事であった（写真-3.19）。土砂は、約30m

堆積している。左岸側は、急な河川のほうで、今回崩壊が起こっていないので、斜面崩壊に関して、風の影響があったのではないかと推測される。地質については、右岸側の斜面は更新世の六龜層（河成段丘礫層）、左岸側は廬山層（粘板岩）である。降雨は、8月6日~9日の4日間で約2900mmであった。そのうち、2日で日雨量1000mmを越えており、近くの新開 (Hshinka) のデータによると8月8日の午後3時~4時で最大時間雨量103mm/hourを記録していた。

#### (3) 寺院背後斜面崩壊場所 (彩虹山大佛)

新開 (hshinka) 地区にある彩虹山大佛の上流から土石流が流れてきて、大佛で両側に分かれて流れた（写真-3.20, 写真-3.21）。8月8日の午後5時~6時頃に落石の音がし始め、その日の夜9時に土石流が発生した。大佛から家まで10秒間程度で土石流が流れ、大佛の前にある家の位置で30cmほど土砂が埋まった。住民は、落石音がした際に避難していたので無事であった。被害は、大佛を見て右側に立っていた座禅を行う建物4件の全壊であった。

#### (4) 新開 (Hshinka) 村

新開村では、20軒程度家があったが土石流で埋まってしまった（写真-3.21）。28名亡くなったが、そのうち2名のみ発見された。崩壊前に現場を通った住民の話によ





写真-3.20 彩虹山大佛後背斜面の崩壊状況



写真-3.21 彩虹山大佛の背後



写真-3.22 新開村での土砂災害の状況

ると、大佛の箇所ですり落ちが発生して10分後にこの地点ですり落ちが発生した。川は2箇所ですり落ちしていたが、手前側は土砂に埋まったため、現在は一方のみで水が流れて



写真-3.23 新開村の被災状況



写真-3.24 桃源郷中心街の西側の被害状況



写真-3.25 千枚岩の崩落崖

いる(写真-3.23)。

### 3.2 高雄縣 (Kaohsiung), 国道20号の主な被災状況

#### (1) 桃源 (Taoyuan) 郷付近

国道20号は、翠谷 (Tsugu) 橋を越えた付近から通行止め状態であり、現在、河道を通行するしか手段がなく、降雨時には非常に危険な状態であった。桃源郷の中心の

西側では、斜面崩壊により道路が寸断されていた（写真-3.24）。右岸側斜面崩壊箇所は砂岩と千枚岩の互層であった。千枚岩は風化しやすく、斜面にはクラックが見られた（千枚岩は風化前は灰色であるが、風化すると黄色になる）。2つある斜面崩壊で、右側が尾根筋で発生している（写真-3.24）。一般的に尾根筋での崩壊は、降雨のみでは起こりにくいと考えられる。地震との複合作用かど



写真-3.26 海成玄武岩の玉ねぎ状風化

うか検討する必要がある。左側の斜面崩壊は典型的な降雨時の崩壊とみられる。

また、河道を通行している際に写真-3.25のような千枚岩の崩落崖（層の傾斜 60°）や写真-3.26のような海成玄武岩の玉ねぎ状風化など地質的に興味深い箇所がいくつも見られた。

#### (2) 翠谷 (Tsugu) 橋 (塔拉拉魯芙 (Tarararufu) 橋)

翠谷橋の左岸部分に損傷が見られた（写真-3.27）。左岸側斜面はネイリングで対策してあった。ネイリングは鉄筋が挿してあるだけで、上部にモルタルがつけてあり、表面にはネットが取り付けられていた。しかし、鉄筋が残ったまま表面が失われていた。橋には破損部のみならず土砂が堆積しており、橋は左岸側の斜面のすべりによって、左岸側橋台が押されて崩壊したものと考えられる。橋桁は大丈夫であった。右岸側橋台も押されたようで、根元にクラックが入っていた（写真-3.28）。

#### (5) 緑茂 (Rumau) 地域

ここでは、土石流により右岸側に位置していた橋に損傷が見られた（写真-3.29）。右岸側斜面に 30m 程度土石流が上がった跡があり、上流を見ると、左岸側にも同様に土石流が通った跡があり、右岸側にはなかった（写真-3.30）。従って、土石流が水衝部で高く上がったと思われる。このため、右岸側の橋台を流して落橋したと考えられる。

#### (6) 寶来 (Baolai) 第二橋

寶来第二橋の地点では、上流で土砂ダムができ、それが



写真-3.27 翠谷橋の被災状況（上流側向きに撮影）



写真-3.29 緑茂地域で損傷した橋



写真-3.28 翠谷橋の被災状況（下流側向きに撮影）



写真-3.30 緑茂地域の橋の上流の状況



写真-3.31 寶来第二橋の上流側の様子



写真-3.33 甲仙橋上流側の被災状況



写真-3.32 寶来第二橋の損傷状況



写真-3.34 公園下流方向の様子



図-3.1 被災前の甲仙橋付近の様子 (Google earth より)



写真-3.35 甲仙四徳大橋の被災状況

が決壊して一気に水が押し寄せてきたため、寶来の町では洪水になった。右岸側に大規模な斜面崩壊が見られた。また、左岸側は土石流が流れた跡(写真-3.31)があり、橋脚を乗り越えたものと考えられる。周辺の建物の汚れなどから、約2~3m程度増水したものと推測される。橋は、左岸側の橋台に大きな岩が挟まっており、欄干が半分流出していた(写真-3.32)。また、橋脚部分には、強度を増すために鋼版巻きになっていた。台湾では、近年、土石流対策としてこのような設計が行われている。

### 3.3 高雄縣 (Kaohsiung), 国道21号の主な被災状況

#### (1) 甲仙 (Jiasian) 郷中心街, 甲仙橋付近

甲仙橋付近では、親水性を高めるために河川敷に公園

が作られていた(図-3.1)。しかし、今回の豪雨により、上流からの土石流が流れ込み、公園が侵食されていた(写真-3.33, 写真-3.34)。また、甲仙橋も損傷を受けた。

#### (2) 甲仙四徳 (Sudae) 大橋

甲仙橋の北東方向(上流側)に進むと甲仙四徳大橋があった。この付近では、河床は土砂で多く埋まっていた(写真-3.35)。また、左岸側取り付け盛土が被災したようであり、左岸側が水衝部にあたるため、こちらだけが被災したのではないかと考えられる。橋脚は見当たらな



図-3.2 小林村の被災前の状況および調査箇所（Google earth より）



写真-3.36 小林村の被災状況（上流側を向いて撮影）



写真-3.37 左岸側の崩壊

かった。

### (3) 小林（Hsiao Lin）村の大崩壊

小林村は、今回の台風被害で最も多くの犠牲者が出た場所である。犠牲者は、およそ 400 名程度であり、事前に避難した約 50 名の村民のみが生き残った。住宅も 2 軒だけを残し、残りはすべて土石流により埋没したか流されていた。図-3.2 に小林村の被災前の状況および調査箇所を示す。写真-3.36 は、小林村の被災状況を上流側を向いて撮影したものである。この村では、豪雨の時は楠梓仙溪の水位が上がって家屋が危険になるので、小学校に避難するようになっていた。その小学校も今回の土石流で埋まってしまった。当時、住民が小学校に逃げていたかはわからない。

当時の降雨は、8/6 は 31mm/day, 8/7 は 405mm/day,

8/8 は 1061mm/day, 8/9 は 371mm/day で 4 日間に 2000mm 以上の降雨量であった。最初の崩壊は、8 月 9 日の午前 6 時頃で、村の北部において両岸で斜面崩壊が発生し、村の 2/3 を飲み込みつつ河川に自然ダムが生じた。自然ダムの高さは左岸側の崩壊により最大約 90m 程度、右岸側の崩壊により最大 30m 程度であった。左岸側の大規模崩壊は、すべり深さ 30~35m、幅 350m、長さ 2.5km の規模であった（写真-3.37）。また、右岸側の崩壊は、すべり深さ 20m、長さ 900m 程度の崩壊であった。このときに異常を感じた一部の住民（約 50 名）が高台に避難した。しかし、当時は降雨も激しく自宅に残るほうが安全と判断した住民もいた。その後、午前 9 時ごろに自然ダムが崩壊し、村の残りの部分が飲み込まれた。河川の幅は元々約 100m あったが、被災後は約 30m になっていた。当時



写真-3.38 風化した泥岩



写真-3.41 泥岩の流れ盤



写真-3.39 左岸側斜面崩壊の中間地点



写真-3.42 千枚岩の流れ盤



写真-3.40 左岸側斜面崩壊の上部からみた下流側の状況

自然ダムの崩壊前後の時間帯の約1時間は下流側の水位は下がっていたようである。2軒残った家屋は村の南側にあり、土石流発生箇所より南側にあった。また、この家屋は他に比べて5~6m高い所にあったため、唯一全壊せずに済んだ。また、家屋があったところの土砂の堆積層厚は15m以上あり、屋根も見えていない。現場には、風化した泥岩や頁岩が転がっていた(写真-3.38)。頁岩に比べて泥岩の方が風化の程度は激しいように感じられた。現地を過去2回調査にきている研究員によると、1回目(崩壊2週間後)は泥岩などが風化していなかった。それに対し2回目(9月15日)には既に風化していた。

写真-3.39に、左岸側斜面崩壊の中間地点の状況を示す。中間地点までは、泥岩などの風化が激しく、石がぼろぼろになった細礫が多く堆積していた。また、砂岩に花崗岩が薄く貫入した石がいくつか見られた。崩壊の右側の下流には、元々河川であった部分に小さな土砂ダムができていた(写真-3.40)。

流れ盤の滑った大きな跡が下から5つほど見えたので、写真-3.39における左側の尾根を通り、流れ盤の地点まで登頂した。途中は泥岩、千枚岩、頁岩など多くの風化した岩で敷き詰められていた。写真-3.39の中央部に見える黒い流れ盤は泥岩であった(写真-3.41)。その上は現在も水が流れ、浸食して小さな沢を形成していた。傾きは32度であった。また、写真-3.39の左中腹部に見える2つの流れ盤の位置まで登頂した。写真-3.42にその流れ盤を示す。茶色い流れ盤は千枚岩と考えられる。その傾きは28度、上下端の位置を測定したところ、長さ約39.8m、垂直高さ約18.7m程度であった。

これらの流れ盤が今回の崩壊に大きく影響しているものと考えられる。今後、ボーリング調査などで詳細に調べる必要があるが、現段階では、土砂の下に犠牲者が埋まっているため、被災後ボーリングは行っていない。

#### 4. 被災（斜面崩壊による土砂災害）に関する考察

今回の調査での第一印象は、北村が関連した日本での台風・降雨による土砂災害に比較すると、すべての点において規模が大きいことである。しかし、21世紀に入って日本でも規模は小さいが今回の台湾での災害と類似のものが発生している（例えば、2005年台風14号災害、2006年鹿児島県北部豪雨災害等）。これらの災害では、過去の降雨イベントと比較すると時間雨量（降雨強度）、累積降雨量ともに記録を更新している観測地点が多く、日本・台湾を含む東アジア地域での降雨パターンが変化していることをうかがわせている。すなわち、従来の「異常」降雨（例えば、時間雨量50mm以上、累積雨量500mm以上）は、異常ではなくなりつつあるのではないかとおもわれる。地球温暖化が進行中であることを考慮すれば、今後もメリハリのきいた降雨（局所的、集中的）イベントが増加する傾向にあるものと考えられる。このような状況に対応するためには、人命保護を最優先としたソフト対策が重要となるであろう。

本章では、今後の継続した災害発生機構の解明、防災・減災対策を講じる作業を行うための基礎データの収集・処理に関する提言を試みる。すなわち、斜面崩壊個所の情報を記載した台帳の作成とそれらのデータベース化に関する考察をおこなう。台帳は、国の防災・減災に携わる一機関が作成・管理し、他の機関はそれらのデータを常に得ることができる（データの共有化）ネットワークシステムを構築する必要がある。その際、ネットワークは双方向であることが望まれる。

台帳には、次のような項目が含まれる。すなわち、素因、誘因、崩壊形態、崩壊シナリオ（時系列での斜面状況の変化）に関する情報、復旧対策、今後の防災・減災対策の提言等である。以下、各項目についてメモ的に記載する。

##### 4.1 素因

###### (1) 地質・土質

崩壊地の地盤材料：台湾の地表面近くの地盤材料は第三紀に生成された堆積岩とそれらの風化した残積土からなっている。風化の程度によって岩石と残積土の割合が異なり、必然的に土塊全体の強度を考えた時、平面的にも深度方向にも強度は分布することになる。強度の低い地点を連ねたものがすべり面となる。崩壊地の岩石は、砂岩、頁岩、泥岩、粘板岩、千枚岩、玄武岩等であり、「玉ねぎ状」風化が進んだ岩石を崩壊個所で数多く見ることができた。玉ねぎ状風化が進むと風化残積土となる。頁岩や泥岩は粘性土となり、砂岩は砂質土となっている。台帳には、岩石の種類・生成年代・風化の程度（観察者の主観の入らない定量的な評価法（例えば、針貫入試験等）を確立する必要がある）、残積土の粒径加積曲線・土粒子密度、不攪乱試料の採取が可能であれば、間隙比を記載することが必要である。また、崩壊地周辺でのボーリングデータ（土質柱状図等）があれば、それらも記載する。簡易貫入試験等により、強度の低い面（潜在すべ

り面）が同定できれば、それらのことも記載する必要がある。

断層の有無：台湾は、フィリピン海プレートの下にユーラシアプレートが潜り込む地域に属しており、これまでも活発な地殻変動を行ってきている。そのため多くの断層が存在している。台帳には、崩壊地周辺の断層の位置、活動状況を記載する

表-4.1 台帳に記載すべき斜面を構成する地盤・岩盤材料に関する項目

岩石	種類
	岩石の生成年代
	風化の程度
残積土	土質柱状図
	潜在すべり面
	粒径加積曲線
	土粒子密度
断層	位置
	活動履歴
地下水位	経年変化
植生	種類
	樹齢
	腐植土層の厚さ



写真-4.1 緑茂地区の災害直後の状況

必要がある。

地下水位：断層とも関連するが、地下水流動を把握する必要がある。そのためには、観測井や住民が使用している井戸での地下水位データの収集と一元管理・共有化が必要である。台帳には、崩壊地周辺の観測井や井戸で観測された地下水位データがあれば、それらも台帳に記載する。

表-4.1 に台帳に記載すべき斜面を構成する地盤・岩盤材料に関する項目をまとめている。

###### (2) 地形

多様な崩壊パターンが見られた。谷地形での馬蹄形の崩壊、尾根につながる遷急線（直線）を源頭とする崩壊、馬蹄形ではあるが、途中で小さな尾根が残っている崩壊等がみられた。一例として、緑茂地区の災害直後の状況を写真-4.1に示す。谷地形での馬蹄形の崩壊は、降雨がトリガーになっているものと考えられる。遷急線を源頭とする崩壊は、崩壊が法先から始まったのか、法尻から始まったのかによって、トリガーが異なる。法先から始まった崩壊では、源頭部付近に地震（1999年9月の集集地震）によって過去にクラックや地盤の緩みが発生しており、そこへ雨水が浸透したのと考えられる。法尻から始まった崩壊は、法尻部の河川（溪流）の水位が上昇し、法尻部を侵食したことがトリガーになったと考えられる。馬蹄形ではあるが、途中で小さな尾根が残っている崩壊は、過去の地震によるクラックや地盤の緩みがある斜面に雨水が浸透したためと考えられる。台帳には、崩壊斜面付近の地形図（崩壊形状を付け加えたもの）、斜面の方向、源頭部の標高、法尻部での河川の有無等の記載が必要である。

表-4.2 に台帳に記載すべき斜面の崩壊に関する項目をまとめている。

### (3) 植生

台帳には、崩壊地付近の植生状況（樹木の種類、樹齢、腐食土層の厚さ等）が記載される必要がある。

表-4.1 に台帳に記載すべき斜面の植生に関する項目も付け加えている。

## 4.2 誘因

### (1) 降雨

今回の土砂災害の最大の誘因は、雨量である。資料によると、多くの観測地点で、時間雨量が100mm、4日間の累積雨量が2000mmを超えている。日本での年間降水量の平均は1700mm程度、また、過去の豪雨災害でも2000mmを超える累積雨量は稀であり、台湾での降雨の異常さがうかがえる。日本と同様に台湾でも雨量に関するデータ（土壌雨量指数などの土砂災害危険指標を含む）はリアルタイムで収集・処理・公表するシステムを構築する必要がある。台帳には、崩壊地周辺の雨量観測点の位置、時間雨量と累積雨量の時系列変化、崩壊あるいは災害が発生した時刻の記載が必要である。

### (2) 地震

1999年9月に発生した集集地震の影響が今回の土砂災害に影響を与えていることが推測されるが、現時点では明確ではない。台帳には、尾根部や遷急線付近でのクラックの有無の記載が必要である。

### (3) 風

今回の災害は台風8号に伴う豪雨をもたらしたものである。

表-4.2 台帳に記載すべき斜面の崩壊に関する項目

パターン	谷筋の馬蹄形崩壊
	源頭が遷急線付近にある崩

	壊
	尾根筋の崩壊
	混合型崩壊
ディメンション	崩壊深
	崩壊幅
	崩壊長
	崩壊前・後の断面形状
	崩壊土塊の移動距離
	クラックの有無、位置
崩壊履歴	位置
	発生年月
標高	崩壊前の斜面法肩
	崩壊前の斜面法尻

台風は、台湾付近に停滞し、2日間以上暴風域に巻き込んだ。すなわち、長期間にわたって特定の方向の風により樹木はゆすられ、根元の地盤を緩ませたと推測される。台帳には、観測地点での風向・風速の時系列変化が記載されなければならない。崩壊斜面の向きは風向と関連するものと考えられる。

## 4.3 崩壊形態

崩壊形態は浅層崩壊、深層崩壊に分けられる。浅層崩壊とは、通常崩壊深が2m程度以下の崩壊とされる。通常、浅層崩壊での崩壊断面形状は非円弧である。深層崩壊は崩壊深が20m程度以上であり、崩壊断面形状は円弧に近い。崩壊深が2m~20mの崩壊は中間型であり、崩壊断面形状で浅層型か、深層型かを判別すればよいであろう。非円弧であるということは、異なる地盤材料が層状に堆積して（あるいは同一地盤材料の風化の程度が異なり）、崩壊時にキャピラリバリアが発生していた可能性がある。浅層崩壊は累積雨量がピークに達する前に生じることが考えられる。深層崩壊は均質な地盤材料から構成されている場合が多い。深層崩壊は累積雨量の時系列変化がピークに達してから生じることが考えられる。台帳には、崩壊地のスケッチ、崩壊断面形状（崩壊深、崩壊幅、崩壊長さ、崩壊前後の斜面傾斜角度を記入）、崩壊土量の記載が必要である。また、過去に崩壊地に隣接する斜面の崩壊がある場合が多いので、周辺の調査を行い、崩壊履歴の有無を確認しておくことが必要である。また、崩壊地の上に比較的平坦な畑地等が広がっている崩壊地があった。このような崩壊形態は別に解析の対象とする必要があるかもしれない。

表-4.2 に台帳に記載すべき斜面の崩壊に関する項目をまとめている。

## 4.4 崩壊シナリオ

崩壊シナリオとは、時系列で斜面の変状を記述することである。崩壊シナリオは学術研究のために必要であるが、防災教育の教材としても必要なものになる。

### (1) 小林村

小林村の災害は、歴史に残る災害であり、後世の人々にできるだけ正確な災害の経緯（時系列で記録）を残しておくべきである。現時点では、推測を交えた種々のシ

ナリオがあるようである。地盤調査、生き残った人への事情聴取等により、より客観的な情報を積み上げ、統一した崩壊・災害発生シナリオを示すべきである。

#### (2) その他の崩壊地

住民やドライバーへの事情聴取を行う。それらの情報を基に、台帳には、崩壊発生時刻、崩壊のトリガー、崩壊現象を時系列で記載することが望まれる。

#### 4.5 復旧対策

今後、被災地では道路法面、橋梁、河川護岸等において種々の恒久対策が計画・施工されるであろう。設計・管理に携わる技術者（すなわち、土木技術者）は、設計限界（側溝・排水溝の設計容量、設計土圧、設計に用いたせん断強度パラメータ、安全率）を認識し、それらの情報を広く知ってもらうことが必要ではないかと考える。すなわち、どの程度の降雨には耐えられるが、それ以上の降雨になれば通行止め、避難等の適切なソフト対策をとらなければならない閾値を示す必要があると考える。

#### 4.6 今後の対応（日本・台湾の地盤工学会の対応）

地球温暖化の影響を考慮すれば、このような台風による豪雨災害が日本・台湾を含む東アジア地域において発生することが予想される。今回の緊急災害調査団の派遣は、海外の研究団体との交流、活動成果の社会への還元に関連していると考えられる。台湾地盤工学会との継続的な共同研究の立案等を今後考えていく必要があるのではないかと考える。

**追記：**土砂災害のトリガーは、斜面崩壊なのか、土石流なのかという議論があった。災害に重点を置くとトリガーは重要である。しかし、地盤工学（力学）の観点からみると区別があいまいとなる。本章では、力学の観点からの考察を行った。



## 5. 台湾の地盤工学会との意見交換会

2009年11月17日(火)に、国立台湾科技大学において、台湾地盤工学会のメンバーとの意見交換会を実施した。今後、調査と研究を進めるにあたり、いくつか重要な課題が指摘されたので、以下の項目ごとにまとめることとする。

### 5.1 過去の地震・台風にもなう災害との関連性

2009年8月のMorakot台風在先立ち、過去にいくつかの地震・台風にもなう災害が発生している。1999年9月21日発生した集集地震、2001年7月29～31日に通過したToraji台風、2004年7月2日に通過したMindulle台風は阿里山で全雨量1200mmを記録している。今回の2009年8月7～9日に通過したMorakot台風は全雨量1874mmをCishan River沿いの甲仙で記録している。台湾地盤工学会では、地すべり発生箇所の特定を、地図上に行なってきたおり、とくに2004年7月のMindulle台風で発生した地すべり箇所との比較を行なっている。いくつかの地すべり跡を見てみると、今回発生した地すべりの源頭部上部を囲むようにして植生の違う箇所があったり、以前に崩壊・すべりを起こしている箇所が存在することが見てとれた。今後、地震と台風にもなう地すべり崩壊の特徴などを抽出していくことが期待される。

### 5.2 スレーキング現象にもなう風化速度の加速

今回無数の土石流と地すべり崩壊が発生したLaonong RiverやCishan River沿いには、第三紀層の堆積岩の褶曲構造から発達した流れ目に沿う地すべり崩壊を多数確認することができた。この地域には、泥岩、砂岩、頁岩、粘板岩、千枚岩などが分布しており、写真5—1に示すように、玉ねぎ状や板状に風化が進行しているのが見てとれた。泥岩特有の乾湿の繰り返しも脆弱化するスレーキング現象が、この地域で岩盤の風化速度の加速をもたらしていることが予見される。岩石の種類の違いがスレーキング現象に及ぼす影響などが、今後解明されることが望まれるところである。



写真 5—1 玉葱状に風化した泥岩と板状に風化した頁岩

### 5.3 小林(Shaolin)村の大規模地すべり

今までの台湾地盤工学会の調査で、400名の人命を巻き込んだ小林(Shaolin)村の大規模地すべりについて、有用な情報を得ることができた。

写真5—2に示すように、静かな山村を襲った大規模地すべり発生とその後の経緯について、以下のようであったということである。

- (1) 8月9日午前6時に、写真5—3と5—4に示すように、Cishan Riverの左岸側で大規模地すべり発生。
- (2) 小林村の約2/3程度が地すべり土砂で埋め尽くされる。40～50名の住民が、高台へと避難。
- (3) 小林村に沿って流れるCishan Riverに、この大規模地すべりと対岸で発生した地すべりの土砂が堆積し、河道閉塞が生じ自然ダムが発生。これにより、川の水が一時的に下がる。
- (4) 午前8時に、自然ダムが破堤。これにより、自然ダムを形成していた土砂が土石流化し、写真5—5に示すように村全体が埋め尽くされる。合計で400名死亡。



写真 5—2 Cishan Riverの左岸に広がる静かな山村であった小林村を示す横断幕(横断幕の左上が大規模地すべり発生地)



写真 5—3 小林村を襲った大規模地すべりの遠景



写真 5—4 小林村を襲った大規模地すべりの近景



写真 5—5 土砂により埋め尽くされた小林村(写真の右手奥が左岸側の大規模地すべり)



写真 5—6 大規模地すべりの源頭部付近の流れ盤を形成する鏡面

Cishan River に沿って、小林村の下流に位置する甲仙では、全雨量 1874mm を記録していた。日雨量で見ると、8 月 6 日に 31mm、7 日に 405mm、8 日に 1061mm、9 日に 371mm であった。この雨量は、Return period で 100 年に相当しているとのことであった。

大規模地すべり崩壊地の下半分は頁岩が分布する箇所、上半分は砂岩が分布する箇所であった。大規模地すべり崩壊地の面積は 120acre で、崩壊距離は 2.5km、源頭部の深さは 30~50m であった。崩壊量は 1,000 万 m<sup>3</sup> に達する。我々の踏査でも確認したが、写真 6 に示すように、崩壊地の源頭部付近に流れ盤を形成する約 30 度の傾斜をもついくつかの鏡面が存在する。この鏡面が不透水面を形成し、降雨が上部に滞留し、スレーキング現象にともなう岩盤の風化の加速が生じ、地すべり崩壊につながったことが予見される。

大規模地すべりの対岸においても、地すべり崩壊が発生している。地すべり崩壊地の面積は 20acre で、崩壊距離は 900m、源頭部の深さは 20m であった。約 45 度の崩壊斜面を形成しており、同様に源頭部付近には鏡面が存在する。

上記のように、この両岸で発生した地すべり崩壊土砂が自然ダムを形成し、その後破堤し土石流化し、村全体が埋め尽くすこととなった。

#### 5.4 今後の台湾地盤工学会の調査予定

現在、台湾地盤工学会では、6 つのグループに分かれて、鋭意活動を進めているということであった。具体的には、60 の小規模地すべり、20 の大規模地すべり、68 の橋の崩壊、20 の河川堤防を抽出し、調査を進める予定

である。今後、日本と台湾の合同調査・研究について、模索すること。

## 6. あとがき

1.2 で前述したように、ATC3 では地震と豪雨による地盤災害に関する日本—台湾ワークショップを 3 回ほど行っている。第 1 回目は 2004 年に台北で行ったが、その際に、台湾側から土石流による被害の紹介があった。その時には、橋が壊されて、ひどい被害だとは感じたが、あまり実感が沸いてこなかった。ただし、「これは自然災害というよりは自然現象である。」との言葉を聞いたのが印象的であった。

2 回目のワークショップを日本の長岡で行ったあと、3 回目は昨年 (2008 年) の秋に台湾の基隆で行った。そして会議後の現地見学として、大甲溪沿いの被害を見せてもらった。そこでは、集集地震で被災した斜面がさらにその後の台風で大きく崩壊し、土石流が発電所、建物、道路、橋を襲って甚大な被害が発生しているのに驚かされた。発電所の復旧にはまだまだ時間がかかっていた。

このように次第に台湾の斜面崩壊や土石流の被害が甚大であることがやっと理解できていたところに、今回の台風による被害が発生し、さらに、斜面崩壊および土石流によって様々な被害が発生し、被害は莫大なものになっていることが改めて認識された。

台湾ではこの斜面崩壊、土石流の被害が年とともに増えているようである。これが地球の気候変動に関係していると思われる。我が国でも同様に斜面崩壊や土石流が頻繁に起き始めている。マレーシアでも増えているとのことである。被災メカニズムの解明、ハードおよびソフトな対策の検討が急がれていると感じた次第である。