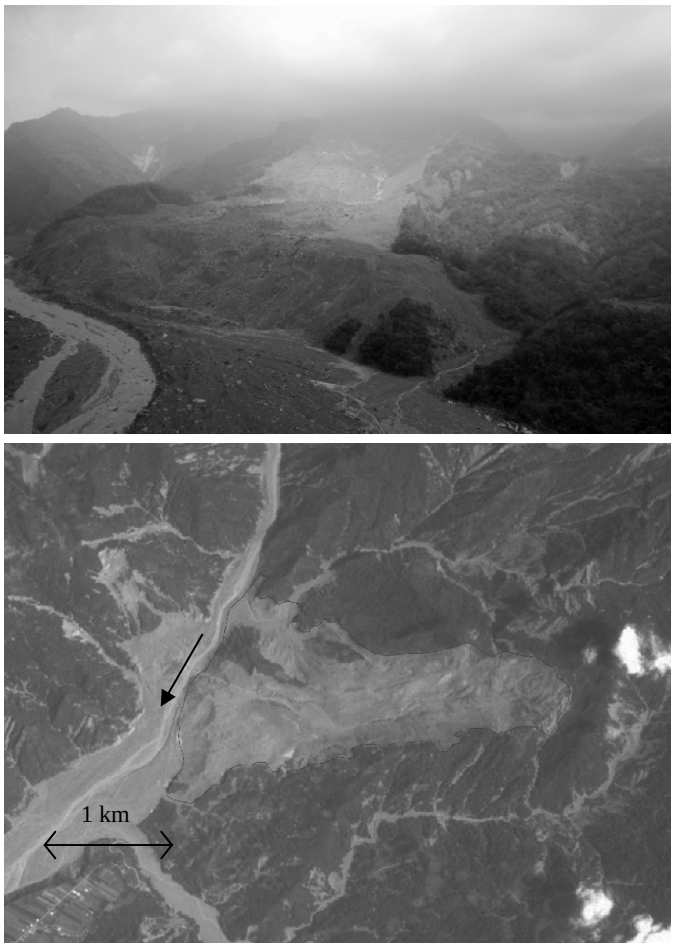
2009 年台風 Morakot による台湾高雄県小林村での深層崩壊に関する検討

京都大学防災研究所　○堤大三，藤田正治
筑波大学大学院生命環境科学研究科　宮本邦明，今泉文寿
京都大学大学院農学研究科　藤本将光
日鉄住友建材　国領ひろし
京都大学大学院工学研究科　泉山寛明

1.　はじめに

2009 年 8 月に発生した台風 8 号（Morakot）は，6 日から 10 日にかけて台湾に上陸し，全土に記録的な豪雨をもたらした．特に台湾中部から南部にかけての降水量が多く，場所によっては最大で約 3,000 mm を記録した．この豪雨によって，広範囲にわたって土砂災害と洪水災害が多発し，多くの人的・物的被害が発生した．その中でも，南部の高雄県甲仙郷小林村において発生した大規模な深層崩壊は，斜面脚部の集落を壊滅させ，400 名以上の犠牲者を発生させた未曾有の土砂災害となった（**写真－1**）．筆者らは，砂防学会と土木学会の調査団として現地に赴き，深層崩壊の現状把握と情報収集を行い，深層崩壊の発生機構の検討を行った．本稿では，これまでに得られた深層崩壊発生機構に関する検討結果を報告する．



写真－1　台湾高雄県小林村で発生した大規模深層崩壊の様子（上：斜面下から，下：航空写真，台湾国立成功大学提供）

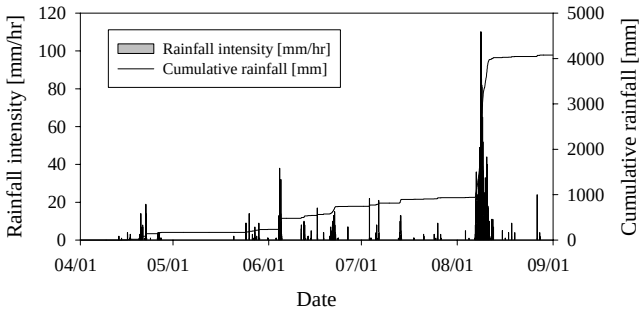
2.　深層崩壊発生に関わる諸特性

2.1 災害の概要

小林村は Chishan 川左岸，崩壊が発生した斜面脚部にまとまった集落として存在していた．崩壊発生前日の 8 日夜には，降雨が 1500mm を超えており，各種の警報や非難指示が発令されていたが，周辺への避難路となる道路や橋が土石流等で破壊されており，集落は孤立状態であった．ほとんどの住民が集落内の小学校に避難していたようである．9 日朝 6 時過ぎに集落上部の斜面が長さ約 2.5 km，最大幅約 800 mにわたって崩壊し，避難所の小学校を含むほぼ全域が崩土の直撃を受けて破壊され，住民 400 名以上が犠牲となった．このとき崩壊した土砂が Chishan 川をせき止めて，高さ 50 m 程度の天然ダムが形成された．約 40 分後に天然ダムは決壊した模様である．

2.2 降雨特性

災害が発生した 2009 年 8 月より 4 ヶ月前の 2009 年 4 月から 8 月までの降雨の記録を**図－1** に示す．4 月から 7 月にかけてまとまった降雨が何度か観測され，積算降雨量は 1000 mm 程度まで到達している．しかし，8 月 6-10 日の台風 Morakot による降雨では，いっきに積算降雨量が 4000 mm まで急増しており，いかに莫大な降雨量であったかということがわかる．また，8 日午後には最大降雨強度 110 mm/hr が記録されおり，それ以外の時間帯でも 20 mm/hr 以上の強度が約半分を占めている．降雨は 6 日の降り始めから 4 日以上も途切れることなく続いており，継続時間も長い．これらをまとめると，台風 Morakot による降雨は，継続時間が長くかつ強い雨であったため，結果として 4 日間で 3,000 mm という莫大な降雨となったといえる．これは，Morakot の進行速度が遅く，勢力を保ったまま台湾上空にとどまったことに起因する．このような記録的な降雨が，通常の降雨では安定していた深い土層に浸透し，不安定化したことが深層崩壊発生の最も大きな要因であると考えられる．



図－1　小林村に最も近い地点で観測された降雨（高雄縣桃源鄉高中派出所，2009/ 4/1-8/31）

2.3 地形変動

崩壊発生前後にとられた DEM データから作成した地形図(陰影図)の比較を**図－2** に示す．図中央に位置する斜面の地形が大きく変化していることがわかる．崩壊前には比較的平坦であった斜面上部の地形が，崩壊後にはいくつもの溝のようなものがある地形に変わっている．現地調査では，当該地域に不透水面となるような基岩が斜面横断方向に傾いた形状で筋状に露出しており，この基岩に沿ったガリー状の地形を表していると考えられる．一方，斜面下部では，元々あった谷地形が崩壊土砂の堆積によって平坦形状に変わっている様子が見られる．このように大きく地形が変動している領域が斜面崩壊の主要部であると考えられるが，その周辺部でも明らかに地形が変化している斜面も存在し，斜面が複数のブロックに分かれて崩壊しているものと考えられる．

さらに詳しく見るため，主要な崩壊部の中心線に沿って，尾根から河道までの縦断形状を DEM データから読み取り，**図－3** に表示した．図から明らかなように，斜面上部約 1 km の部分は地形が低下，下部約 1 km の部分は上昇しており，斜面上部で崩壊が発生し，流下した土砂が，斜面下部に堆積したであろうことが想像される．ただし，結果として土砂が堆積している部分でも，はじめに崩壊した可能性も十分あるが，地形がほとんど変動していない斜面中部によって斜面上部と下部が分断されており，斜面上部から下部までが一体となって崩壊したわけではないと考えられる．崩壊前後の標高差から，斜面上部の主要崩壊の最大深は 72 m，平均深は 37 m であり，崩壊形状は非常に深く崩壊土砂量も多いことがわかる．

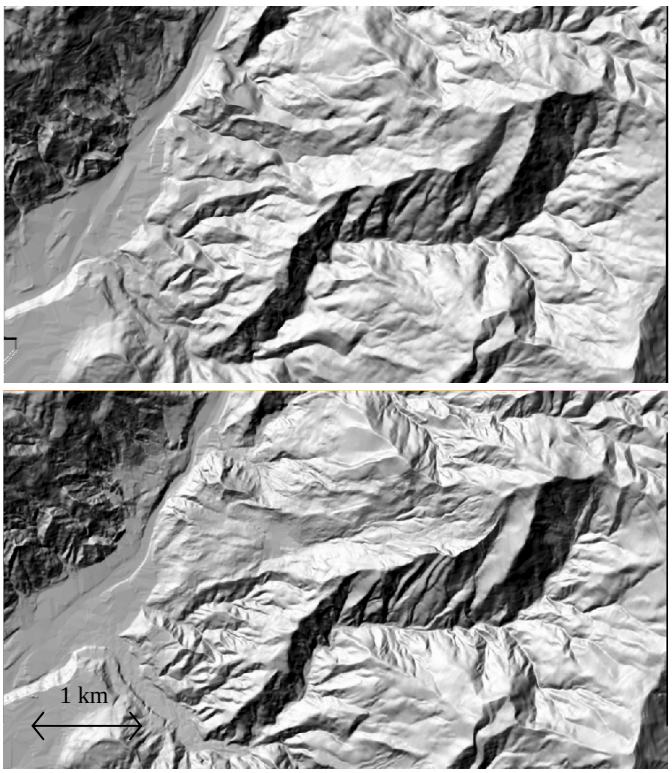
また，**図－2，3** から，河道や右岸側の地形も大きく変化しており，一時的に形成された天然ダムの痕跡を見ることができる．

2.4 土層の水理特性

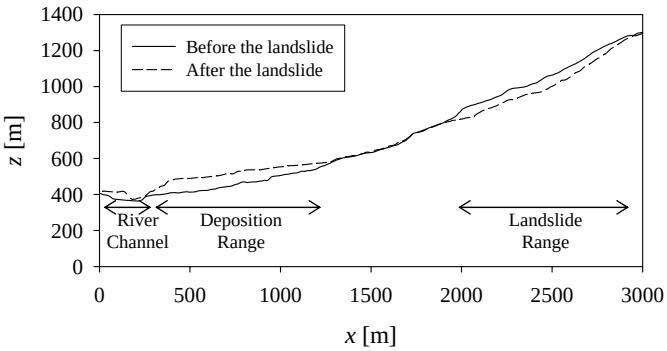
現地において，崩壊残土や崩壊周辺の表層土からサンプルを採取し，実験室に持ち帰って pF 試験を実施した．その結果得られた水理特性を**図－4** に示す．土層底部のサンプルは基岩直上から採取したもので，岩石が風化した状態の土層である．そのため，含水率が通常の土層に比べ小さい．

3. 降雨浸透解析

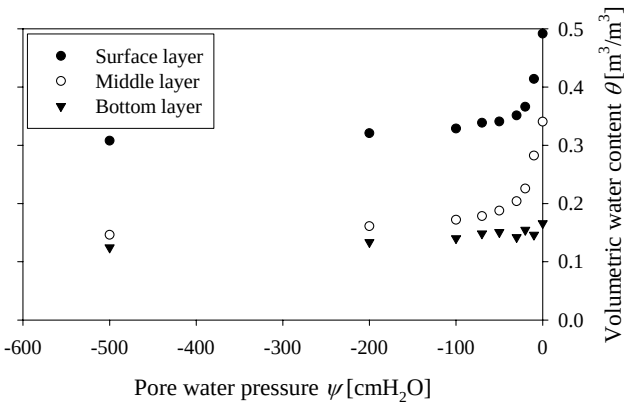
前節で示した降雨，地形変化，土層水理特性を用いて，斜面における降雨浸透解析を実施することができる．ただし，対象領域が非常に大きいため，通常は可能である三次元解析が困難である．そのため，まずは斜面中心線に沿った $x-z$ 二次元解析を実施し，降雨の浸透現象の再現を行い，斜面安定解析と組み合わせて，崩壊発生機構の検討を行う予定である．



図－2　DEM データから作成した深層崩壊前後の地形の比較（上:崩壊前，下:崩壊後，台湾林務局提供）



図－3　深層崩壊の前後における崩壊中心線の標高変化



図－4　崩壊土層の代表的な水理特性曲線

4. おわりに

本稿で対象とした現象は，降雨，崩壊規模の面から，これまでの日本では考えられない程大きなものである．ただし，台湾にとってもこれほど大規模な降雨と土砂移動現象は未経験のものであり，被害も未曾有であったといえる．このことからも，日本では起こりえない災害と決め付けることはできない．台湾での災害を教訓に，調査研究を進めることで，将来わが国でも起こりえる大規模で複合的な降雨･土砂災害に対する備えに貢献できるものと考える．