1999年集集地震による台湾中部都市域の斜面災害

Wen-Neng WANG*・釜井俊孝**・守随治雄***

要 旨

1999年台湾集集地震では, 多くの斜面災害が発生した。その大部分は脊梁山地から台中盆地にかけての西部縁辺山地に発生している。西部縁辺山地と台中盆地の境界部には, 活断層の車籠埔断層に沿って地震断層の地表トレースが長さ80km にわたって出現した。この境界部は, 急速に拡大する台中市の郊外であり, ベッドタウン化が進みつつある地域である。したがって, 地震断層の地表トレースに沿って, 開発が災害の素因となった多くの斜面災害事例を認めることができる。このうち, 代表的な6事例について, 主として地表踏査にもとづく記載を行い, 災害の発生に及ぼした都市開発および人工地形改変の影響について報告する。

Key words : 集集地震 Chi-chi earthquake, 斜面災害 slope failure, 都市域 urban region

1. はじめに

1999年集集地震では, 台中盆地から東側脊梁山地の広い範囲で多くの地すべり・斜面崩壊が発生した。多くは自然斜面における変動であったが, 盆地東縁では近年の都市開発に関連する人工地形改変斜面の変動が顕著であった。こうした人工地形改変斜面変動の多くは都市域に近接している。そのため, 盆地東縁斜面(逆断層斜面)上に立地する大規模な宗教施設や高級別荘・住宅地等の都市構造物に大きな被害を与えた。しかし, これらは自然斜面の地すべり・崩壊に比べて小規模であること, 植生指標の変化に顕れにくいことなどから, 空中写真や衛星画像判読を主体とした既往の調査では, その存在と分布すら明らかにされておらず, これまで十分な議論が行われていなかった。そこでここでは, 主として地表踏査に基づいて主要な都市型斜面災害の事例を記載し, 災害の発生に及ぼした都市開発および人工地形改変の影響について報告する。

こうした都市型斜面災害は, わが国においては高度経済成長期以降に繰り返し発生しているが, 近年のアジア諸国における急速な経済的発展により, 今後同地域においても

都市型の斜面災害が多発すると予想される。したがって, 集集地震の事例は, 経済発展の顕著なアジア諸国における新たな斜面災害の先駆的事例としての意義を有している。

本報告の災害事例の記載は, 著者らによる「1999年台湾・集集地震災害調査報告書及び応急復旧技術資料」(日本建築学会)¹⁾および「1999台湾『集集地震』被害調査速報」(日本大学理工学研究所)²⁾の記述をもとに, 日本応用地質学会向けに加筆・修正したものである。

2. 台湾の地質³⁾

2.1 地帯構造

台湾はユーラシアプレートとフィリピン海プレートの接触によって形成された衝突型造山帯である。二枚のプレートの衝突によって, 中央山脈の隆起と中央山脈西側地帯の逆断層運動が発生している。日本列島では, 相対的に重いフィリピン海プレートがユーラシアプレート下に沈み込んでいるが, 台湾中部では, フィリピン海プレート上にルソン弧と呼ばれる軽い火山弧が存在するため, フィリピン海プレートが沈み込むことができず, 逆にユーラシアプレート上に乗り上げている。一方, 台湾の北部では, フィリピン海プレートがユーラシアプレート下に沈み込みこんでいる。

上記のテクトニクスを反映して, 台湾の基本的な地質構造は, ほぼ島の長軸方向に平行である。地層の大部分は, 古生代以降の堆積岩類からできている。最も古い岩体は中央山脈の東側斜面に露出する変成岩類で, 二畳系の石灰岩,

*工業技術研究院能源與資源研究所 Geo-engineering Department of Land and Mineral Resources Division, Industrial Technology Research Institute(会員)

E-mail: WenNengWANG@itri.org.tw

**京都大学防災研究所 Disaster Prevention Research Institute(会員)

***日本工営(株) Nippon Koei Co. Ltd. (会員)

塩基性火山岩を源岩とし、古生代末期から中生代にかけて形成された。中央山脈から西に向かうにつれて、地層は次第に若くなり、始新統から更新統までが、帯状に配列している。東海岸の海岸山脈は、これらの堆積岩類とは異質の火山岩類からなる。この部分は、フィリピン海プレートに属する火山弧がユーラシアプレート上の台湾弧に衝突し、接合したものと解釈されている。

2.2 被害地域の地質と地形

被害地域は、台湾中部の台中盆地から雪山山地にかけての地域である。山地は、第三系の付加体堆積物(砂岩、礫岩、泥岩)から構成されており、東西方向の圧縮によって変形し、東から西に衝上する逆断層群によって切られている。変形はとくに中新統で顕著であり、複雑に褶曲し、固化が進んでいる。顕著な断層として、東から梨山断層(雪山山地の東縁)、水裏坑断層(古第三系と中新統の境界)、双冬断層(中新統と鮮新-更新統の境界)、車籠埔断層(鮮新-更新統と沖積平野の境界、つまり、山麓線)が知られている。

上記のような逆断層の運動は、急激な山地の隆起と河川浸食をもたらし、前期更新世以降、山地の西部に厚い砂礫層が堆積した(火炎山相)。また、盆地西縁や主な河川に沿って、中期-後期更新世の段丘が分布する。台中盆地は濁水溪、烏溪、大安溪等の河川が運搬した完新統の堆積物(主として砂礫)によって埋積されている。

この地域では、第四紀を通じて現在も造構運動が引き続いているため、大地震が繰り返し発生している。とくに1935年4月21日には、大安溪上流を震源とする地震(M7.1)が発生し、豊原から三義郷にかけての地域で死者15,000人余りの大きな災害となった。このときの地震断層は三義断層と呼ばれ、車籠埔断層と同様、巨視的には第三系の山地と第四系の盆地・平野を境する断層群の一部である。

3. 集 集 地 震

3.1 地震

地震は1999年9月21日、午前1時27分(現地時間)に発生した。震央は北緯23.85°、東経120.81°で、台湾中部の集集の近郊であった。このためこの地震は集集地震と呼ばれる。震源の深さは約10kmで規模はM7.3(リヒタースケール)であった²⁾。

3.2 震災の特徴

この地震による震動は30~60秒継続し、2,375名が亡くなり、10,000人以上の負傷者が発生した。台中盆地から中央山脈西側山地にかけて広い地域で構造物の被害や地盤の変形が発生した。この震災の特徴として、主として以下の3点があげられる。

(1) 人口稠密な近代都市における大きな被害の発生

台湾の面積は日本の約1割程度であり、人口は約2,200

万人と日本の約2割である。このため、人口密度は日本の約2倍(約600人/km²)と高く、香港、シンガポール等を除くと、バングラディッシュに次いで世界第2位である。しかも、人口の大半が西岸の海岸平野、台北盆地、台中盆地および台南平野に集中しており、居住地域の高密度化が進んでいる。今回の地震による死者の約85%、負傷者の約75%は台中県と南投県(台中盆地南部)に集中しており、近年開発が進行した台湾中部の台中盆地と山間の小盆地(埔里、魚池、国姓盆地等)に大きな被害が発生した。

(2) 長大な地震断層の出現

集集地震では、台中盆地南部の竹山から北部の石岡付近まで、約80kmの長さで南北に連続する地震断層が出現した。その地表トレースは、山岳部と平野部を境する車籠埔断層に沿っているが、北端部では既知の断層線よりも走向が大きく東に曲がっている。GPS観測によると南部では約1~2m、北部では約7~10m程度、東側の上盤が西側下盤に乗り上げたと推定される。上盤側のすべり方向は、ほぼフィリピン海プレートの運動方向と調和的であり、今回の地震は衝突型プレート境界地震であると考えられている³⁾。被害は地震断層の上盤側に集中し、下盤側にはほとんど発生しなかった。

(3) 山地斜面における多数の斜面変動

地震断層の東側の山地では、巨大崩壊・地すべり・斜面崩壊・土石流等の斜面変動が約26,000か所で発生した⁴⁾。多くは震源周辺、および双冬断層と梨山断層間の最大水平加速度の東西成分が300gal以上の地域で発生した⁴⁾。分布は地層の一般走向、断層・褶曲軸の方向と調和的な南北方向の帯状配列が顕著である(図-1)。このことから震央や断層からの単純な距離減衰による影響に加えて、岩相や局地的な震動の大きさが、地すべり・斜面崩壊の発生に大きな影響を与えていると考えられる。

斜面変動の大部分は浅い斜面崩壊や落石であるが、九分二山と草嶺で体積10⁷m³以上に達する巨大崩壊が発生した。また、第四系の礫層からなる九十九峰は、地震以前には植生で覆われていたが、地震による崩壊の密集的な発生で、全山が禿げ山化した。最大水平加速度の東西成分が、この付近で局地的に500~600galに達したためと考えられる⁴⁾。

4. 都市域の斜面災害

地震断層に沿う地域の水平東西方向の最大加速度は、ほぼ300~400galであり、局地的に600galを超えた。そのため種々の斜面変動が発生したが、双冬断層以東の山地に比べてこの地域では斜面の高さが低く傾斜もゆるいため、斜面変動の規模や分布密度は小さい。しかし、この地域は近年拡大しつつある台中市郊外の一部であり、斜面変動は斜面上に立地する住宅等の都市構造物に大きな被害を与えた。

都市型斜面災害は、わが国においても過去繰り返し発生

図-1 SPOT 画像の NDVI 差分から推定した斜面変動域と主要な断層

している。この種の斜面災害の大きな特徴は、しばしば開発に伴う人工地形改変に関連して発生する点である。今回もこの傾向は顕著であった。都市型斜面災害は、災害の成立過程によって、都市内部型と外縁型に区分される⁹⁾。以下に、主要な被災事例について述べる。

4.1 都市内部型

既存の都市域で発生した斜面災害には、災害の背景となった地形・地質素因が、都市化の過程で生み出されたと考えられる場合が多い。これらは“都市内部型”と呼ばれる。都市の内部において、いわば都市開発の鬼子として生み出されたと考えられる災害である。今回の被災地域における土地利用は、わが国の大都市域ほど集約度が進んでいない。したがって、今回の地震災害では全体の事例数は少なかった。しかし、被害は地震断層の地表トレース沿いに点在しており、以下の事例がある。

(1) 台中日本人学校

台中県太平に位置する台中日本人学校が被災した。学校は鮮新統によって構成される山地から、小規模な河川(旱

溪)が台中平野に流れ出る出口に位置している。基盤は錦水頁岩であるが、学校は山脚部に堆積した斜面堆積物上に建設された。元の地形は学校建設によって大きく改変されている。校庭を広く確保するため、校舎は山側に接して建設された。また、校庭の付近は切り土と盛り土によって平坦化され、末端部には高さ約10mのコンクリート擁壁が設けられた。この擁壁は特殊な二重構造で、外側の擁壁を支圧盤とするアンカーが内側の壁を貫いている。これは当初から作用土圧が大きく、単純な重力式やもたれ式構造では支持できなかったためと推定される。

学校は、地震断層の上盤に位置し、その地表トレースに接近している。この付近では、約1.5mの隆起量が記録されている。学校の被害は、この断層の動きに誘発され、学校の敷地を巻き込むように発生した地すべりによるものと考えられる(図-2)。この地すべりの範囲は、ほぼ斜面堆積物分布域に一致し、校舎は、地すべりの頭部に位置していたため、クラックによって不規則に変形した。校庭では、擁壁の背後の盛土部分が沈下し、多くの開口クラックが形

図-2 台中日本人学校における斜面変動(模式図)

写真-1 台中日本人学校 校庭のクラックと擁壁の変形

成された(写真-1)。

(2) 克林頓山荘

霧峰南部の光復新村付近では、克林頓山荘と呼ばれる別荘地が被災した(写真-2)。この別荘地は、地震断層の上盤側でその地表トレースの近傍に位置している(図-3)。別荘地は、錦水頁岩で形成される山地斜面を、いわゆる雛壇状に造成したものである。切り土と薄い盛り土が交互に繰り返す形式の人工地形改変が施されている。この地域では、約15戸が半壊したが、人命等にかかわる深刻な被害は出ていない。これは、他の地域に比べて家屋の構造が堅固であったためと考えられる。

被害は盛り土部分と切り盛り境界線上に位置していた家屋で顕著であった。斜面脚部の斜面防護工事が貧弱であったことも、被害を拡大させた原因の一つと考えられる。台中市の周辺では、こうした造成地そのものが少ないため、このタイプの地すべりによる被災例は少ない。しかし、土地利用の集約度が増加すると、わが国におけるように問題が顕在化すると考えられる。

(3) 車平営

霧峰の車平営では、地震断層の直上に位置していた中産階級用の住宅地が被害を受けた。ここでは切り盛り土量をバランスさせるため、一連の造成地の中に谷埋め盛土の部分と切り土の部分が存在していた(写真-3)⁶⁾。盛土の部分には多層集合住宅が建設され、切り土の部分には、4階一戸建て住宅が建てられていた。地震の被害は、盛土部分で大きく、切り土部分では軽微であった。谷埋め盛土が旧・谷地形の中心部に向かって移動したため、谷埋め盛土部分

図-3 克林頓山荘における災害と人工地形改変の関係

写真-2 克林頓山荘における被害状況

盛土部分が前面にせり出している

の多層集合住宅が被害を受けた(写真-4)。建物の基礎が谷埋め盛土の中にあつたため、数棟の多層集合住宅が基礎ごと引きずられて谷埋め盛土とともに移動し、その過程で傾き、局部的に約1～2m沈下した。変形の境界部では、建物が引き裂かれ、構造に大きな損傷を受けた。その結果、少なくとも1棟が倒壊した。谷埋め盛土以前に存在した旧・谷地形の下部では、地下水がしみだし、流れ出していた。このことから谷埋め盛土内部の地下水位が高かったことも、こうした激しい被害の原因の一つと考えられる。

(4) 水底寮

竹山北方の水底寮では、52戸が全壊し、39人が死亡する被害が発生した。地震断層の地表トレースが平野部(河床)を横切る地点で、住宅地が大きな被害を受けた事例である。水底寮は、濁水溪の最低位段丘面上に位置する集落である。汜濫源に接する崖(段丘崖)の高さは、20～25mで、傾斜は70度以上の急崖である(図-4)。地震断層の地表トレースはこの急崖の直下を通過している。倒壊した家屋は、この急崖に沿った幅約40m、長さ約350mの帯状の地域に位置し、この倒壊域では、崖に平行な開口クラック群が発達している(写真-5)。すなわち、地震によって隆起した段丘崖が不安定化し、崩壊には至らなかったものの、クラック群が崖の背後に形成されたと考えられる。家屋倒壊域の震動はクラックの変位が加わり、他の地域よりも激しかったことが推定される。

写真-3 車平宮の斜め空中写真 谷埋め盛土の部分で大きな被害が発生した

写真-4 車平宮における4階建て集合住宅の被害 旧・谷地形の中心部に向かって変形しながら移動。手前の建物は倒壊

1988年の1/25,000地形図における水底寮付近の段丘崖の比高は、約10～15mである。さらに、崖の傾斜は現在よりは相当緩傾斜であったことが読みとれる。このことと、現地での聞き取り調査から、今回家屋が倒壊した地域の崖は、1994年ごろの切り土工事によって高さと傾斜を増していたことが判明している。しかも切り土斜面の脚部には、とくに擁壁等の斜面防護施設は設けられていなかった。すなわち、水底寮では人工地形改変によって、平常時においても斜面の不安定度が増していたため、他地域に比べて被害が拡大したと考えられる。

4.2 都市外縁型

“都市外縁型”とは、市街地の周辺が都市化してゆく過程で発生した災害である。都市が膨張し、開発がもともと居住に適さない領域にまで及んだ結果、発生した災害であ

図-4 水底寮における災害と人工地形改変の関係

写真-5 水底寮の被災地域（中央奥、倒壊した建物の残骸）に連続する開口クラック 右手は急斜面となっている

る。いわば都市の外縁部で発生する点に特徴がある。今回の災害では地震断層の地表トレースが市街地の外縁部に出現したため、このタイプの斜面災害が多く発生した。とくに台湾では、新しい宗教施設や学校、高級住宅地が市街の外縁部に建設されることが多く、こうした施設の被害が顕著であった。以下に主要な事例を示す。

(1) 一江橋

台中県太平の一江橋から約1km西方、頭坑坑溪左岸の比高約150~200mの丘陵斜面で大規模な地すべりが発生した。付近には太平工業区がある。基盤岩は灰色塊状の泥岩(鮮新統の錦水頁岩)で風化・粘土化している。地すべりは幅500m、長さ700mで深さは最大約50mと推定される(図-5, 6)。地震断層の地表トレースが地すべりを縦断しており、地震断層に関連した地すべりとしては最も規模が大きい。

この地すべりは、過去の地すべりの再活動である。今回は3個のブロックに分かれて活動した。Cブロックは、地すべり全体から見れば末端部の二次すべりであり、凹地状の地形を呈している。脚部が、頭坑坑溪の攻撃斜面であり、溪岸に小規模な崩壊が多数発生している。このブロックはすべり面深度の浅い退行性地すべり群によって構成され、

図-5 一江橋地すべりの平面図 地すべりは地変線(断層)が屈曲し、分岐する位置に発生した

地震以前から活発に活動していたと考えられる。しかし、今回の地震による再活動では、むしろ平常時には目立たなかったAブロックとBブロックの変動が顕著であった。Aブロックの頭部には幅約100m、長さ約400m、深さ約50mの陥没帯が出現した(写真-6)。また、末端が隆起し、川底を高さ約10m、幅約200mにわたって押し上げた。その結果一時的に地すべりダムが形成されたが、数日後には新たな流路が掘削され、天然ダム湖は解消した。Bブロックの頭部には落差約50mの滑落崖と幅約100mの陥没帯が形成された(写真-7)。主滑落崖の背後には幅約500mにわたって、開口クラック帯が出現した。

A・Bブロックおよびその背後の地域は、台地状の地形である。この部分は1992年頃に住宅地として造成された。記録によれば、この宅地造成後に一度地すべりの再活動が発生している。造成の詳しい状況は不明であるが、地すべりブロック背後の切り土を除き、造成は自然の傾斜を利用して行われたようであり、地形改変の規模は大きくない。

写真-6 一江橋地すべりの頭部(Aブロック)
大規模な陥没帯が形成された。遠方は台中市街

写真-7 一江橋地すべりの頭部(Bブロック)
大規模な滑落崖と傾動した頭部が認められる

図-6 一江橋地すべりの断面図(AブロックからBブロック頭部および後背地)
不安定化は、B、Cブロック滑落崖背後の平坦地にまでおよんでいる。この部分は、宅地開発のため、1992年ごろに形成された

しかし、土地被覆状況の変化は著しく、全域にわたって舗装道路網が建設されるとともに、植生が大幅に改変され、芝生や庭木等の面積が増加した。しかし、これに伴う側溝等の排水施設は貧弱であるため、造成の前後で地すべりの水文環境が大きく悪化して、地すべりの安定度が低下していたと考えられる。すなわち、今回のAおよびBブロックにおける激しい変動は、宅地造成に伴う人工地形改変が、斜面の長期的安定度(体力)の低下という形で影響した可能性が大きい。幸い住宅の建設は行われていなかったため、人的被害は発生しなかった。

(2) 雷蔵寺

雷蔵寺は、草嶺西郊の山地に位置する大規模な寺院である。伽藍は平野に面する尾根の一角を占め、地震断層の上盤に位置し、その地表トレースに近接している。尾根は卓蘭層の砂岩・泥岩からなる。1983年から1988年にかけて行われた寺院建設によって尾根の先端部が掘削され、平坦地が造成された。掘削土砂は、平坦地を更に拡大するため、尾根の左右の斜面にすり付けるように盛り土された(図-7)。

地震後、寺院本堂と背後のブロック積擁壁に圧縮クラックが発生し、地震発生から2か月後の調査時点においても拡大を続けていた。本堂背後の尾根の上部には、こうした圧縮部に対応する落差約5mの滑落崖、幅約10mの古い陥没帯が発達している。これらの構造はすべて尾根を切っている。これより、雷蔵寺付近には、以前から岩盤地すべりが存在し、その地すべりが地震によって再活動を開始したものと推定される。寺院建設に伴う人工地形改変は、この岩盤地すべりに対しては末端切り土であり、不安定化を助長したと考えられる。また、地層は東南東に傾斜しており、岩盤地すべりに対しては受け盤構造である。

岩盤地すべり本体の左右には、本体の動きに押し出されるように小規模な二次ブロックが形成されている。これらの大部分は、寺院建設の際のすり付け盛り土部分か、元々の斜面上の強風化一表土部分に相当する。この二次ブロック上には多数の開口クラックが発達し、活発に活動している。

図-7 雷蔵寺における人工地形改変と地すべりの関係 大規模な岩盤地すべりの発生が予測される

5. 風水思想の影響

日本も含めて中華世界とその文化的影響下にある地域では、近代以前、風水思想に基づいた都市計画や居住地の決定が行われてきた。平安京の都市プランはその代表例である。台湾では現在も風水を行動規範の一つとすることが一般に行われており、住宅の造成の際にもその思想的影響は無視できない。風水では、山に囲まれ水に恵まれた地形(背山臨水)を住宅建設予定地として理想とする。山間の盆地の小高い場所やなだらかな山麓斜面がこれにあたる(図-8)。一般に、こうした地形は、古代中国社会において最大の脅威であった洪水に対しては安全であるため、理想とされたと考えられる。台中盆地の場合、東方の主山から流れて来た気は、盆地西方の大度山と八卦山が案山(朱雀)となって受けとめられる。すなわち、大度山か八卦山を適当な高さ(目の高さが理想的とされる)に見ることができる台中盆地東方の山麓斜面は、風水的には住宅や施設の立地として良好な地点であると考えられる。

しかし、今回の地震における都市型斜面災害は、こうした風水思想上は良好な場所で発生した。それは、盆地に面する東方の山麓斜面が、もともと車籠埔断層の断層崖であったためである。すなわち、地震断層の地表トレースが斜面の脚部に出現し、斜面上に存在した多くの古い地すべりや

図-8 風水と斜面災害の関係

斜面堆積物が、今回の地震によって再活動した。一江橋地すべりはその典型例である。住宅団地や寺院の建設において、風水診断がどの程度の決定要因であったかは判然としない。しかし、台湾においては、風水判断が、結果的に災害の地形・地質的素因を有していた山麓斜面の開発を促進したことは、否定できないと思われる。

6. おわりに—1999台湾から日本へ—

1999年台湾集集地震では、多くの斜面災害が発生した。その大部分は脊梁山地から台中盆地にかけての西部縁辺山地に発生している。西部縁辺山地と台中盆地は、活断層によって境界され、今回の地震断層もこの部分に発生した。一方この境界部は、急速に膨張する台中市の郊外であり、ベッドタウン化が進みつつある地域である。したがって、今回の地震においても、開発が災害の素因を形成したと思われる。多くの斜面災害が発生した。これらの都市化に伴う斜面災害は、わが国では既に1978年宮城県沖地震の際の仙台市、1993年北海道東方沖地震の際の釧路市、1995年兵庫県南部地震の際の阪神地域で発生しており⁷⁾、他のアジアの大都市域での発生が懸念されていた。

集集地震では、形成されつつある郊外と地震断層が現れた地域がほぼ一致していたため、活断層近傍における都市開発を考えるうえでの典型的な災害事例が多く見られた。これらの事例に共通の特徴は、人工地形改変(開発)が斜面災害に対して不安全側に働いた点である。断層近傍における自然斜面の変動が、山地域の自然斜面に比べて少なかった点を考慮すると、人工地形改変(開発)が災害の発生に及ぼした影響は大きかったと言える。したがって、今後は都市域における適正な人工地形改変(開発)のあり方を議論す

るとともに、都市型斜面災害の可能性を考慮に入れた都市計画が必要である。

謝辞 能源與資源研究所の Yin, Chen-Yuan 氏には現地調査にご協力いただいた。研究にあたって、科学研究費補助金・基盤研究(B)(2)(課題番号15310129)および(株)エスイーの奨学寄付金の一部を使用した。関係者各位に感謝します。

引 用 文 献

- 1) 日本大学理工学部(2000): 1999台湾「集集地震」被害調査速報, 日本大学理工学研究所, 77p.
- 2) 日本建築学会(2000): 1999年台湾・集集地震 第I編 災害調査報告, 1999年台湾・集集地震災害調査報告および応急復旧技術資料, 234p.
- 3) Central Geological Survey of Taiwan(1999): An introduction to the geology of Taiwan and Explanatory text of the geological map of Taiwan, 192p.
- 4) WANG, W., NAKAMURA, H., TSUCHIYA, S. and CHEN, C.(2002): Distribution of landslides triggered by the Chi-chi Earthquake in Central Taiwan on September 21, 1999, 地すべり, Vol. 38, No. 4, pp.18-26.
- 5) 釜井俊孝(1998): 都市の斜面災害—大都市圏斜面災害予測図作成の意義と課題—, 地質ニュース, No. 516, pp.7-12.
- 6) 黄漢勇・連永旺(1999): 大地裂痕, 飛虎文化事業股份有限公司, 150p.
- 7) 釜井俊孝・守隋治雄(2002): 斜面防災都市—都市における斜面災害の予測と対策—, 理工図書, 200p.

(2003年9月16日受付, 2003年11月11日受理)

Landslides in Urban Region of the Central Taiwan Induced by the 1999 Chi-chi Earthquake

Wen-Neng WANG, Toshitaka KAMAI and Haruo SHUZUI

Abstract

Sprawling urbanization leads to increases in the risk of landslide damage to residential and industrial suburbs. Several incidents of landslide related damage to urban developments occurred along the Cher-Lung-Pu fault of 1999 Chi-chi earthquake on the eastern edge of the Tai-chung basin in Taiwan, severely damaging homes and infrastructure. Six representative cases of landslides are discussed. They have provided important data concerning the effects of earthquakes in sprawling urban districts, and serve as a useful lesson for the future development of industrial countries.

Key words : Chi-chi earthquake, slope failure, urban region