

## 4.5 地震動による山地流域の安全度評価手法に関する研究

研究予算：運営費交付金（治水勘定）

研究期間：平 18～平 21

担当チーム：土砂管理研究グループ（火山・土石流）

研究担当者：田村圭司、山越隆雄、武澤永純

### 【要旨】

平成 19 年度は、新潟県中越地震で斜面崩壊が多発した芋川流域において、引き続き地震後の土砂生産量の実態の把握を進めるとともに、砂防えん堤に設置された地震計のデータの整理分析を行った。その結果、以下のことが明らかになった。①芋川流域内の崩壊跡地で計測した年平均侵食速度は 2.0cm/yr であり、同流域内で地震後に計測された崩壊生産土砂量に対して 1 オーダー以上小さいこと等、地震後の山地流域の土砂生産特性に関する知見を得るとともに、②堤長/堤高比が 8 以下の場合には、基礎地盤に比べてえん堤堤体の加速度が 2 倍以上となるケースが見られる等、砂防えん堤の基礎地盤、堤体の地震動に対する応答特性に関する知見を得た。

キーワード：地震応答特性、砂防えん堤、芋川、土砂生産、レーザ計測

### 1. はじめに

本研究は、地震後の降雨、融雪による荒廃度や土砂流出の推移など土砂動態を追跡して、大規模地震後の流域からの生産・流出土砂量の変化予測手法の開発を行うことと、地震動の砂防施設への影響度を評価するとともに合理的な設計手法の検討を行うなど、地震動による土砂災害の安全度評価手法を提案することを目的とする。

平成 19 年度は、砂防えん堤に設置された地震計のデータの整理分析を行うとともに、新潟県中越地震で斜面崩壊が多発した芋川流域において、引き続き地震後の土砂生産量の実態の把握を進めた。

## 2. 地震後の山地流域における降雨・融雪に伴う土砂生産特性について

### 2.1 はじめに

平成 16 年（2004 年）10 月 23 日、新潟県中越地方で最大震度 7、M6.8 の地震が発生した。その後も M6.0 を超える余震が複数回発生し、各地で甚大な被害が生じた。この本震と余震により芋川流域でも多数の斜面崩壊や地すべりが発生した。同流域では、その後の豪雨や豪雪後の融雪に対しても、多くの斜面崩壊が発生し、斜面崩壊由来の活発な土砂生産が継続していることが平成 18 年度までの検討から明らかになっている<sup>1)</sup>。

平成 19 年度は、芋川流域における土砂生産プロセスの一つである斜面崩壊跡地の侵食由来の土砂生産量を現地計測によって明らかにした。

また、斜面崩壊由来の土砂生産量の経年的な推移を 1995 年兵庫県南部地震後の六甲山地における推移と比較し、その特徴を検討した。

### 2.2 地上レーザ測量による中越地震後の芋川流域における裸地斜面の侵食速度の算出

平成 16 年 10 月 23 日に発生した新潟県中越地震により、多数の斜面崩壊や地すべりが発生した。芋川流域では、地震後に複数時期の航空レーザ測量が実施されており、その差分処理により、地震後の流域全体の土砂動態が示されている<sup>1)</sup>。しかしながら、航空レーザ測量結果には精度上の限界があり、個々の崩壊斜面における地震後の細かな侵食特性（ガリー侵食、表面侵食など）の詳細は把握されていない。

一方で、斜面における侵食速度を把握する手法として、侵食杭や斜面下部に沈砂池を設けた研究がなされているが<sup>2), 3)</sup>、地点ごとあるいは斜面全体で平均した侵食速度の計測であり、面的な斜面の侵食特性は明確にされていない。

そこで、本研究では中越地震により斜面崩壊が多数発生した芋川流域における代表的な斜面において、面的な計測が可能である地上レーザ測量を用いて、2 時期でレーザ計測を行い、その計測結果の差分をとることで、崩壊後の降雨や積雪・融雪による面的な侵食特性の把握を試みた。

### 2.2.1 研究手法および研究対象地域

表-1 に計測に用いたレーザ測量データの諸元を示す。計測は2006年11月と2007年7月に実施した。解析はそれぞれの時期に計測したデータを基に10cmDEMを作成し、2時期の差分値を算出することで土砂の変動量を把握した。

研究対象箇所とした斜面の位置を図-1 に示す。対象箇所は芋川流域内の神沢川支川に位置する崩壊斜面であり、幅約50～60m、長さ約120m、斜面勾配38°程度を呈する(図-2)。また、周辺の地質は砂岩・泥岩互層からなる。対象斜面は、地震により崩壊した土砂が斜面末端部に崖錐状に堆積しており、崩壊面は基岩が露出している状況である。

## 2.2.2 解析結果および考察

### (1) 崩壊斜面における計測結果

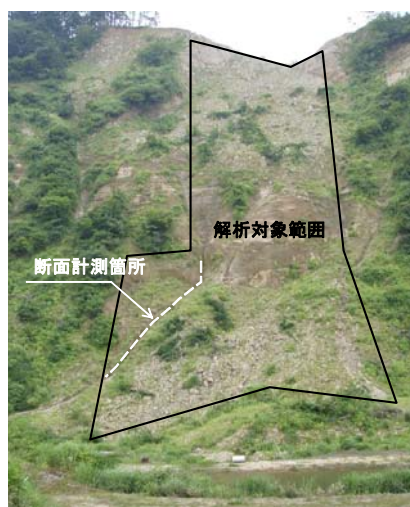
図-2 に解析対象範囲を示す。用いた写真は2007年7



図-1 研究対象とした神沢川支川の位置

表-1 地上レーザ測量の諸元

| 性能項目               | 2006年(H18年)11月       | 2007年(H19年)7月                     |
|--------------------|----------------------|-----------------------------------|
| 使用機種               | LMS - Z420i (Riegl社) | GX200 (Trimble社)                  |
| 測定範囲               | 2～1000m (反射率80%)     | 2～200m                            |
| スキャニング角            | 垂直80° × 水平360°       | 水平 ～60° (水平広角)<br>垂直 ～360° (垂直広角) |
| レーザ波長              | 905nm (近赤外)          | 640nm (青色)                        |
| 測定精度               | 標準±10mm              | 標準6mm                             |
| レーザービーム角 (スポットサイズ) | 25mm (100mのとき)       | 3mm (50mのとき)                      |



凡例:(cm)

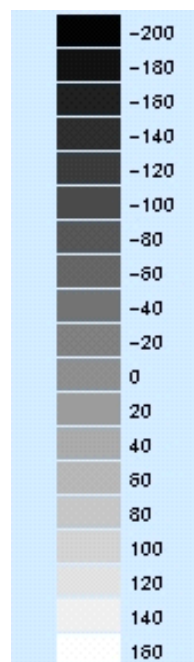


図-2 解析対象範囲(左図)と解析結果(右図、図中の破線は、図-3に示す縦断面の縦断線)

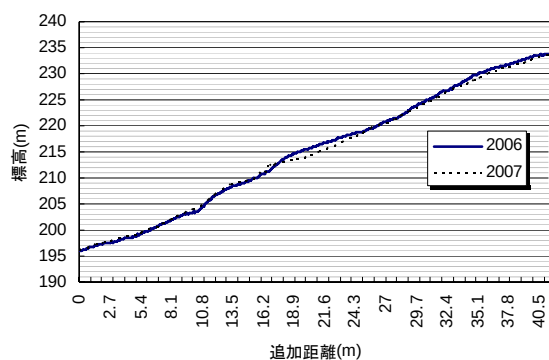


図-3 2 時期の断面の比較(2006 年 11 月、2007 年 7 月)

月撮影のものであり、斜面内に植生が見受けられるが、解析にあたってはフィルタリング処理を行うことで植生の影響は除去している。

2 時期における解析結果を図-2 ならびに表-2 に示す。

図-2 によると、一部で局所的な侵食・堆積やガリー状の侵食が確認される。現地踏査が可能である斜面下部について現地にて解析結果との整合性の確認を行った結果、解析による侵食・堆積状況と現地状況はほぼ一致していた。

次に、図-3 に図-2 の明瞭な侵食が認められる箇所において、斜面傾斜方向(破線部分)の2 時期の断面を示すが、断面中央部分で2006 年から2007 年にかけて大きく侵食しているのがわかる。現地にて確認したところ、この侵食部分は降雨による表面侵食ではなく、融雪時のスランプ状のごく小規模な崩壊により土砂移動が生じたものと推察された。

対象斜面ではガリー侵食や積雪・融雪時の小規模な崩壊と考えられる局所的な侵食が存在するとともに侵食部の下方には堆積部が認められる箇所も存在する。このことは、斜面全体が一樣に侵食しているのではなく、侵食

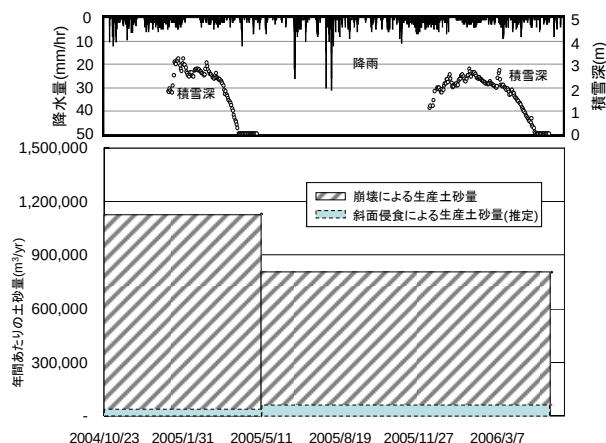


図-4 崩壊による生産土砂量との比較

域と堆積域が偏在しており、全体としてみると侵食傾向であることがわかる。

## (2) 崩壊斜面における侵食速度と他事例との比較

解析結果を用いて、対象斜面における年間の侵食速度を算出すると、約2.0cm/yrとなる(表-2)。花崗岩地帯の裸地斜面や降灰後の斜面において侵食速度を求めた既往研究成果と比較すると(表-3)、降灰直後の有珠山の斜面における侵食速度より小さいものの、風化花崗岩地帯の裸地斜面における侵食速度よりも大きいことがわかる。

## (3) 崩壊斜面からの侵食による芋川流域全体における土砂流出

芋川流域全体における崩壊斜面からの侵食を起因とした土砂生産量の概略値を把握するために、芋川流域における崩壊面積(2006 年5 月の空中写真より算出)に侵食速度を乗じて侵食量を求め、年間あたりの土砂量に換算すると約2.7 万m³/yrと算出される。次に、芋川流域における崩壊による土砂量と斜面侵食による土砂量を比較する。崩壊による生産土砂量は航空LPを用いた解析により求め

表-2 解析結果の整理

| 対象   | 期間(日) | 期間降水量(mm) | 対象面積(m²) | 侵食量(m³) | 堆積量(m³) | 年平均侵食速度(cm/yr) | 降雨当たり侵食速度(cm/yr/mm) |
|------|-------|-----------|----------|---------|---------|----------------|---------------------|
| 斜面全体 | 246   | 1894      | 7395     | 523     | 397     | 1.99           | 0.001               |

表-3 他事例との侵食速度の比較

| 計測地域                          | 計測期間               | 測定方法 | 傾斜(°)          | 地質        | 年平均侵食速度<br>斜面全体<br>(cm/y) | 備考                            |
|-------------------------------|--------------------|------|----------------|-----------|---------------------------|-------------------------------|
| 若女裸地谷<br>(田上山地) <sup>2)</sup> | 1979～<br>1983      | 沈砂池  | 34             | 風化花崗岩     | 0.5～1.0                   | 裸地斜面が対象                       |
| 有珠山 <sup>3)</sup>             | 1978/9～<br>1979/12 | 侵食杭  | 上部:20<br>下部:36 | 火山灰<br>軽石 | 5.4                       | リル・ガリーを含む平均侵食深より算出。降灰直後の斜面が対象 |
| 神沢川支川                         | 2006/11～<br>2007/7 | 地上LP | 38             | 砂岩泥岩互層    | 2.0                       | 地震による崩壊後の斜面が対象                |

た値を用いる<sup>1)</sup>。斜面侵食はこの期間のデータがないため、計測対象期間の侵食速度を期間雨量で除し、仮に今回対象とした期間と地震後～2006年5月の期間の受食性が同じと仮定して、この期間の崩壊面積と期間雨量から土砂量を推定するとそれぞれ、3万 $\text{m}^3/\text{yr}$  (2004/11-2005/5), 5.8万 $\text{m}^3/\text{yr}$  (2005/5-2006/5) と算定される。これは110万 (2004/11-2005/5), 80万 (2005/5-2006/5) と見積もられる崩壊による土砂量より大幅に小さく、その5%程度に相当することがわかる (図-4)。

### 2.3 新潟県中越地震後の芋川流域の降雨・融雪に伴う斜面崩壊に伴う土砂生産特性の経年変化について

地震後の降雨に伴う土砂生産、特に斜面崩壊の発生については、1995年の兵庫県南部地震後の六甲山地において詳細に調査されている。富田ほか(1996)は、地震後の降雨によって発生した斜面崩壊は、空間的には断層周辺に集中しており、また、地震前に発生した崩壊よりも少ない雨量で発生していることを明らかにした<sup>4)</sup>。一方、平野ほか(1997)は、地震による崩壊が多く発生したエリアでは、その後の降雨によってさらに多くの斜面崩壊が発生するエリアと、その後の降雨では斜面崩壊がむしろ発生しなくなるエリアがあることを明らかにしている<sup>5)</sup>。

本報では、中越地震によって斜面崩壊が多数発生した第三紀堆積岩類の芋川流域において、地震後の降雨・融雪に伴う斜面崩壊発生特性とその経年変化について、典型的な風化花崗岩山地である六甲山地における地震後の斜面崩壊発生の推移と比較を行い、考察した結果を報告する。

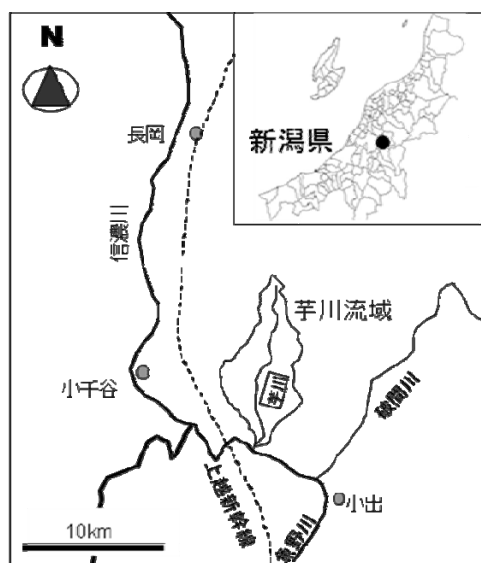


図-5 検討対象流域図

### 2.3.1 研究方法

研究対象範囲は中越地震で多数の斜面崩壊が発生した芋川流域 (流域面積約 38 $\text{km}^2$ ) とした (図-5)。地震後に撮影された3時期の空中写真より (表-4)、新規崩壊地、あるいは拡大崩壊地の数、面積を判読した。また、同流域に間隔1kmのメッシュを重ね、メッシュ毎の崩壊数を集計した。

### 2.3.2 検討結果と考察

図-6に、1995年の兵庫県南部地震後の降雨によって発生した斜面崩壊数の推移と、2004年の中越地震後の降雨、融雪によって芋川流域で発生した斜面崩壊数および崩壊面積の推移を示す。それぞれ約2年間の推移を示している。どちらも、地震時の崩壊発生数としてはほぼ同じ約1500箇所程度であるが、その後の降雨等による崩壊発生の推移は異なる。六甲山地では、1月に地震が発生し、その後、半年間は雨も少なかったためか、ほとんど大きな崩壊は発生しなかった (図-6 下段)。しかし、その後の降雨により、六甲山地全域で斜面崩壊が多発した (図-6 下段)。一方、芋川では、地震後の半年間に豪雪を経験し、融雪後の調査で多数の斜面崩壊が発生した (図-6 上段)。その後も豪雨、豪雪が続き、1年半後の時点でも多くの斜面崩壊が発生している。六甲山地と芋川では、地震後の降雨・融雪の状況が大きく異なるが、地震後の累積降水量で両者における崩壊発生推移を比較する。図-7の横軸は、芋川流域と六甲山地における地震後の累積降水量である。一方縦軸は、それぞれの地域でその後の降雨・融雪に伴い発生した新規崩壊の累積発生数である。これによると、六甲山地では、地震後2000mm程度の降雨を経験するまでは新規崩壊の発生は顕著であるが、その後は新規崩壊があまり発生しなくなった。一方、芋川流域では、新規崩壊の発生傾向は鈍化しているようではあるが、累積雨量が5000mm近くに達してもまだ緩やかに増大を続けているように見える。もちろん、同じ総降水量とは言え、降雨として斜面崩壊に寄与した降水量と、融雪水として斜面崩壊に寄与した降水量ではその意味合いは同じではないと考えられるが、両者の地質的、地形的な素因の違いや、地震動の影響の違いが表れていると考えられる。

また、拡大崩壊の数という点でも、芋川流域と六甲山地では大きく様相が異なる。六甲山地では、新規崩壊数に比べてその数が極めて少ないが、芋川流域では、1年半後の調査結果では、その発生数が新規崩壊発生数を約2倍上回っている。六甲山地と比較して、芋川流域においては、斜面崩壊の発生が経年的に長く継続しているこ

表-4 検討に使用した空中写真

| 撮影時期          | 縮尺       | 撮影機関                | 備考                     |
|---------------|----------|---------------------|------------------------|
| 2004年10月24日   | 1/10,000 | 国土交通省北陸地方整備局湯沢砂防事務所 | 地震の翌日                  |
| 2005年5月11日    | 1/10,000 | 国土交通省北陸地方整備局湯沢砂防事務所 | 平成17年豪雪                |
| 2006年5月15-16日 | 1/10,000 | 国土交通省北陸地方整備局湯沢砂防事務所 | 平成17年梅雨前線豪雨<br>平成18年豪雪 |

と、そして、拡大崩壊の発生が顕著であることが特徴である。ただし、芋川においては、2004-2005年には平成17年豪雪が、2005-2006年には平成18年豪雪があり、また、平成17年6月には、既往最大の雨量に相当する豪雨がかったことに注意を要する。

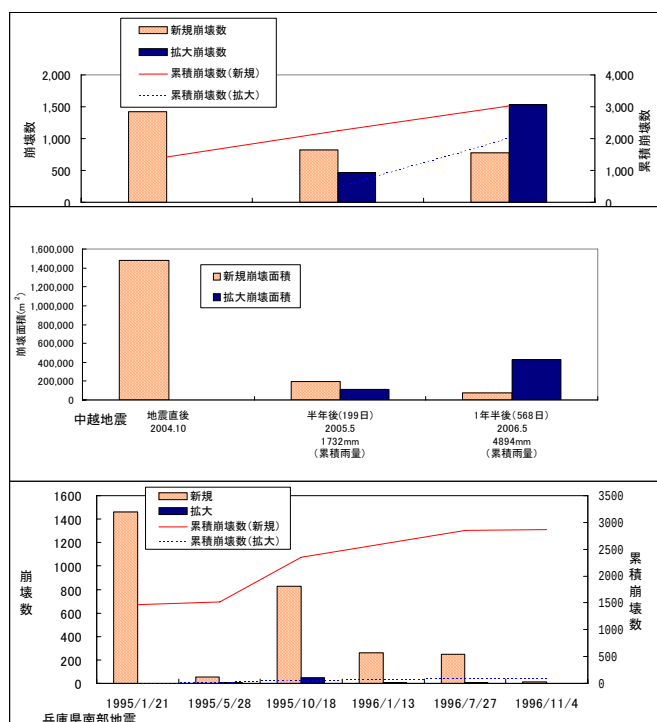


図-6 中越地震後の芋川流域（上図及び中図）と兵庫県南部地震後の六甲山地（下図）における地震後の崩壊発生状況<sup>⑤</sup>の推移

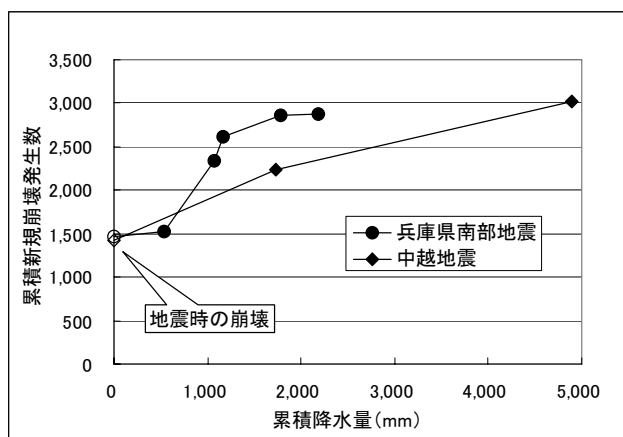


図-7 中越地震後と兵庫県南部地震後の累積降水量と新規崩壊の関係

図-6 の中段に空中写真から判読した新規・拡大崩壊の面積の推移を示す。新規崩壊発生数における2005年5月と2006年5月の違いはそれほど大きなものではなかったが、面積としては大きく減少していることが分かる。降雨・融雪を誘因とする斜面崩壊の発生に対する中越地震の影響は相対的に低下していることがうかがえる。一方、拡大崩壊は、発生数、面積とも増加している。2005年5月11日撮影の空中写真の判読結果によれば、拡大崩壊は既往崩壊地の上部から内部にかけて発生している事例が最も多く、ついで両側で多く発生した。既往崩壊地の下部での発生数は少なかった。豪雪地帯の芋川では、崩壊によって斜面の樹林がなくなったために積雪のグライドによって斜面崩壊が助長されていることが理由として考えられる。

図-8 は、芋川流域（下図）および六甲山地（上図）について求めた地震による1km<sup>2</sup>あたりの新規崩壊

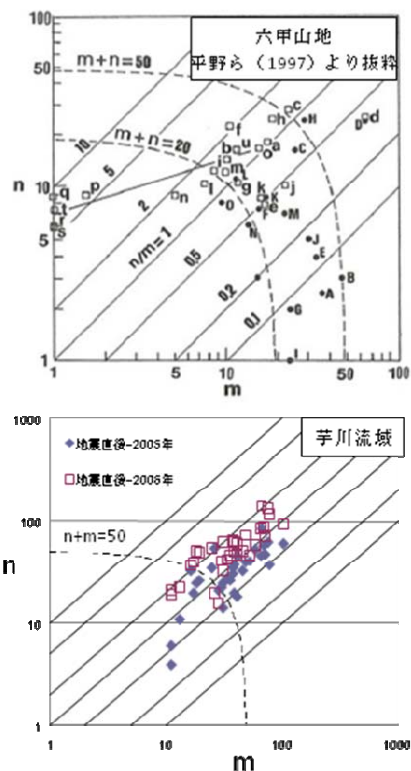


図-8 芋川流域（下図）および六甲山地<sup>⑤</sup>（上図）について求めた地震による1km<sup>2</sup>あたりの崩壊数mとその後の降雨・融雪による崩壊数nの関係



数 $m$ とその後の降雨・融雪による新規崩壊数 $n$ の関係を示したものである。崩壊の発生密度は、六甲山地ではおおむね $m+n \leq 50$ の範囲に収まっている一方で、芋川流域ではほぼ全域でそれを上回っていることが分かる。

また、六甲山地では、地震時には崩れなかったがその後の雨で斜面崩壊が多数発生するようになったエリアや、地震時には数多くの斜面崩壊が発生したものの、その後の降雨では崩壊があまり発生しなかったエリアがある等、おおむね $m+n$ が 20～50 の間に収まっていることが指摘されている<sup>9)</sup>。一方、芋川流域では、地震時に斜面崩壊が多く発生したエリアにおいて、その後の新規崩壊も多く発生するという傾向があると言える。六甲の花崗岩山地と、芋川流域の第三紀堆積岩類で構成された山地は、斜面崩壊に対する素因が大きく異なると考えられる。この素因の違いと、地震後の降雨・融雪および積雪の有無に伴う両者の斜面崩壊発生傾向の違いの因果関係の検討は今後の課題である。

3. 砂防えん堤の地震応答特性

1995 年 1 月 17 日の兵庫県南部地震では、砂防えん堤等の砂防施設では著しい機能の損失や、人命・家屋への直接的な災害および二次災害は生じなかった。しかし、この地震により、他の土木構造物が大きな被害を受けていることに鑑み、社団法人砂防学会は、砂防えん堤の耐震性について検討を行った。その結果、現行の設計基準は耐震性の面からは妥当であるとした上で、実測データに基づき、砂防えん堤の基礎および堤体の振動特性を明らかにし、解析手法の妥当性を検証する必要があるとした<sup>7)</sup>。このため、建設省（当時）、各都道府県では、1995 年以降、砂防えん堤に地震計を設置し、地震動データの観測を行っている。平成 17 年度に国土交通省砂防部が調査した結果、全国で 342 の砂防えん堤に地震計が設置されている。本検討では砂防えん堤の地震応答特性を明らかにするための基礎資料を作成することを目的として、1996 年から 2006 年までの、地震計データの分析を行った<sup>8)</sup>。

3.1 観測データ

表-5 に対象とした地震データ、表-6 に解析を行った砂防えん堤（44 ケース）の諸元を示す。表-5 については規模が大きく、ひとつの地震に対して、震源からの距離が異なる複数の箇所データが観測されている地震のうち、ノイズの影響を受けているデータが少ないこと（波形を見て判断）を条件に 4 地震を選定し、表-6 に示すえん堤を対象に解析を行なった。

表-5 対象とする地震データ

| 地震発生日      | 対象地震        | マグニチュード | 震源深さ(km) | 最高震度 | 震源位置                 |
|------------|-------------|---------|----------|------|----------------------|
| 2000年10月6日 | 鳥取県西部地震     | 7.3     | 9        | 6強   | 35°16.4'N 133°20.9'E |
| 2001年3月24日 | 芸予地震        | 6.7     | 46       | 6強   | 34°7.9'N 132°41.6'E  |
| 2003年5月26日 | 2003年宮城県沖地震 | 7.1     | 72       | 6強   | 38°49.2'N 141°39.0'E |
| 2005年8月15日 | 2005年宮城県沖地震 | 7.2     | 42       | 6強   | 38°8.9'N 142°16.6'E  |

表-6 解析を行った砂防えん堤の諸元

| No. | 対象地震        | 型式        | 堤高(m) | 堤頂長(m) | 地震計位置(堤体・天端) | 地震計位置(地盤) |
|-----|-------------|-----------|-------|--------|--------------|-----------|
| 1   | 鳥取県西部地震     | 重力式コンクリート | 13.5  | 44.0   | 左岸袖          | 左岸下       |
| 2   | 鳥取県西部地震     | その他(鋼製箱桁) | 7.9   | 124.0  | 右岸袖          | 右岸上       |
| 3   | 鳥取県西部地震     | 重力式コンクリート | 11.0  | 45.5   | 右岸袖          | 右岸下       |
| 4   | 鳥取県西部地震     | 重力式コンクリート | 14.0  | 62.4   | 右岸袖          | 右岸下       |
| 5   | 鳥取県西部地震     | 石積        | 8.0   | 58.0   | 左岸袖          | 左岸下       |
| 6   | 鳥取県西部地震     | 重力式コンクリート | 16.0  | 101.0  | 右岸袖          | 左岸下       |
| 7   | 鳥取県西部地震     | アーチ式      | 36.5  | 91.4   | 右岸袖          | 右岸下       |
| 8   | 鳥取県西部地震     | 重力式コンクリート | 15.0  | 53.9   | 左岸袖          | 左岸上       |
| 9   | 鳥取県西部地震     | 重力式コンクリート | 7.0   | 88.0   | 左岸袖          | 左岸下       |
| 10  | 鳥取県西部地震     | 重力式コンクリート | 8.5   | 42.0   | 左岸袖          | 左岸上       |
| 11  | 鳥取県西部地震     | 重力式コンクリート | 10.0  | 47.0   | 右岸袖          | 右岸下       |
| 12  | 芸予地震        | 重力式コンクリート | 14.5  | 49.0   | 左岸袖          | 左岸下       |
| 13  | 芸予地震        | 鋼製オープン    | 14.5  | 100.0  | 左岸袖          | 左岸上       |
| 14  | 芸予地震        | 重力式コンクリート | 20.8  | 71.9   | 右岸袖          | 右岸上       |
| 15  | 芸予地震        | 重力式コンクリート | 14.5  | 58.0   | 右岸袖          | 右岸下       |
| 16  | 芸予地震        | 重力式コンクリート | 14.5  | 51.0   | 右岸袖          | 右岸下       |
| 17  | 芸予地震        | 重力式コンクリート | 13.0  | 42.0   | 右岸袖          | 右岸下       |
| 18  | 芸予地震        | 重力式コンクリート | 14.0  | 73.4   | 右岸袖          | 右岸下       |
| 19  | 芸予地震        | 重力式コンクリート | 16.0  | 101.0  | 左岸袖          | 左岸下       |
| 20  | 芸予地震        | アーチ式      | 36.5  | 91.4   | 右岸袖          | 右岸下       |
| 21  | 芸予地震        | 重力式コンクリート | 15.0  | 53.9   | 左岸袖          | 左岸上       |
| 22  | 芸予地震        | アーチ式      | 36.6  | 109.7  | 右岸袖          | 左岸上       |
| 23  | 芸予地震        | 重力式コンクリート | 14.0  | 78.0   | 右岸袖          | 右岸下       |
| 24  | 芸予地震        | 重力式コンクリート | 6.0   | 19.0   | 左岸袖          | 右岸下       |
| 25  | 芸予地震        | 鋼製クロスドーム堤 | 6.0   | 28.4   | 左岸袖          | 左岸上       |
| 26  | 2003年宮城県沖地震 | 重力式コンクリート | 8.0   | 51.0   | 右岸袖          | 右岸下       |
| 27  | 2003年宮城県沖地震 | 重力式コンクリート | 22.0  | 99.0   | 右岸袖          | 右岸下       |
| 28  | 2003年宮城県沖地震 | 重力式コンクリート | 10.7  | 53.5   | 右岸袖          | 右岸下       |
| 29  | 2003年宮城県沖地震 | 重力式コンクリート | 9.5   | 76.0   | 左岸袖          | 左岸下       |
| 30  | 2003年宮城県沖地震 | 隔壁ダブルウォール | 8.0   | 60.0   | 右岸袖          | 右岸上       |
| 31  | 2003年宮城県沖地震 | 木製枠+砕石    | 7.4   | 19.0   | 右岸袖          | 右岸上       |
| 32  | 2003年宮城県沖地震 | 重力式コンクリート | 14.0  | 144.0  | 左岸袖          | 左岸下       |
| 33  | 2003年宮城県沖地震 | 重力式       | 10.0  | 77.0   | 右岸袖          | 右岸下       |
| 34  | 2003年宮城県沖地震 | 鋼製スリット    | 6.0   | 33.2   | 左岸袖          | 左岸上       |
| 35  | 2003年宮城県沖地震 | 重力式コンクリート | 7.5   | 103.5  | 左岸袖          | 右岸下       |
| 36  | 2003年宮城県沖地震 | 重力式コンクリート | 12.0  | 43.5   | 左岸袖          | 左岸下       |
| 37  | 2003年宮城県沖地震 | 重力式コンクリート | 13.0  | 84.0   | 左岸袖          | 左岸下       |
| 38  | 2005年宮城県沖地震 | 重力式コンクリート | 10.5  | 97.5   | 左岸袖          | 左岸下       |
| 39  | 2005年宮城県沖地震 | 重力式コンクリート | 10.0  | 54.4   | 左岸袖          | 左岸下       |
| 40  | 2005年宮城県沖地震 | 重力式コンクリート | 17.0  | 105.0  | 右岸袖          | 左岸下       |
| 41  | 2005年宮城県沖地震 | 重力式コンクリート | 11.0  | 82.5   | 右岸袖          | 右岸下       |
| 42  | 2005年宮城県沖地震 | 重力式コンクリート | 15.0  | 78.0   | 左岸袖          | 左岸下       |
| 43  | 2005年宮城県沖地震 | 重力式コンクリート | 12.5  | 78.0   | 右岸袖          | 右岸上       |
| 44  | 2005年宮城県沖地震 | 重力式コンクリート | 9.5   | 57.0   | 左岸袖          | 左岸下       |



図-9 砂防えん堤の地震計設置概念図

表-6 に示す地震計設置位置についての概念図を図-9 に示す。本報告で対象とする 44 基の砂防えん堤は、すべて堤体（袖部天端）と地盤の両者に地震計が設置され

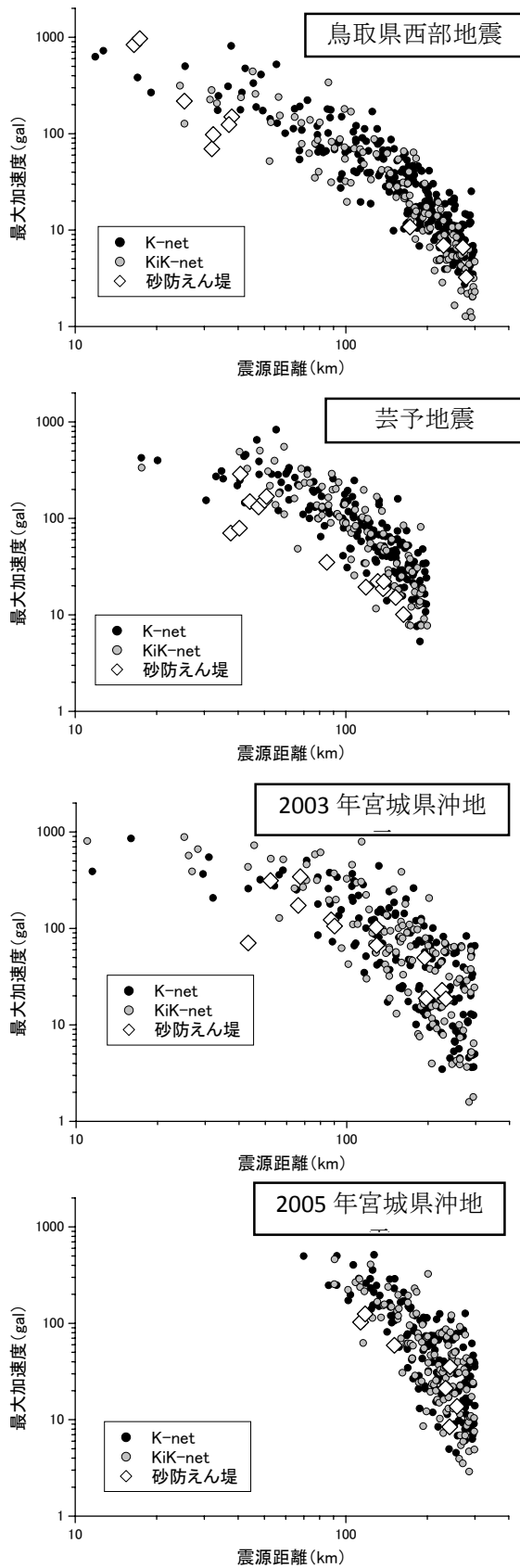


図-10 地震ごとの地盤の最大水平加速度

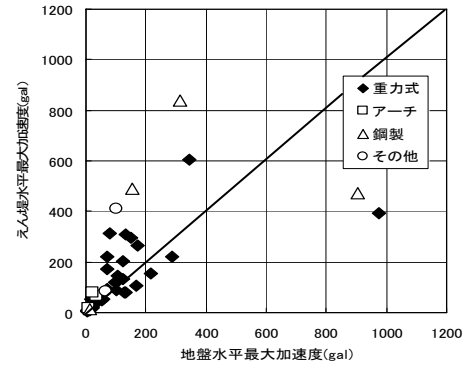


図-11 地盤水平最大加速度とえん堤の水平加速度の関係

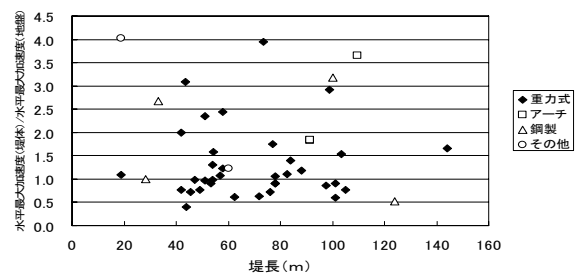


図-12 地盤に対する堤体の水平加速度の比と堤長との関係

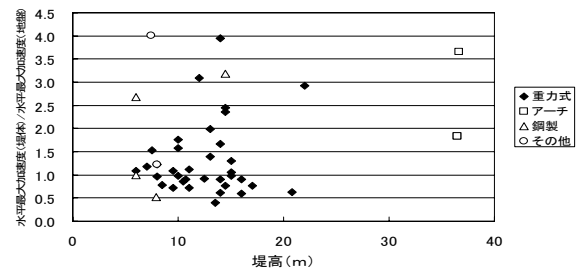


図-13 地盤に対する堤体の水平加速度の比と堤高との関係

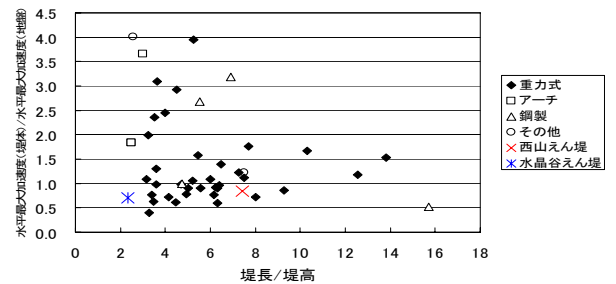


図-14 地盤に対する堤体の水平加速度の比と堤高に対する堤長の比の関係

一方、図-14 に示したとおり、水平加速度の比は、堤長に対する堤高の比（堤長/堤高）が大きくなるに従い、小さくなる傾向が示された。具体的には、堤高に対する堤長の比が8を超える場合には、地盤に対する堤体の水平加速度の比が2を越えるケースはなかったのに対し、

堤高に対する堤長の比が8未満の場合には、地盤に対する堤体の水平加速度の比が2を超過するものは39ケース中、9ケースあった。また、地盤と比較して堤体の加速度は最大4倍程度まで増幅されているものが確認できた。

ここで、砂防設備の耐震設計に関する検討委員会では、兵庫県南部地震で被災した西山砂防えん堤（水平・縦打継目にクラックが発生）および被災がなかった水晶谷砂防えん堤について3次元FEMによる地震応答解析により、地震時の挙動を検討している<sup>12)</sup>。その計算結果を図-14にプロットした。図より、両えん堤の解析結果は1.0以下の値を示している。これは当時山地の観測データがなかったため、入力地震動は神戸海洋気象台の波形を基本として、ダムサイトの最大加速度値を参考に振幅を縮小させて入力していることが原因のひとつと考えられる。

#### 4. まとめ

平成19年度は、新潟県中越地震で斜面崩壊が多発した芋川流域において、引き続き地震後の土砂生産量の実態の把握を進めるとともに、砂防えん堤に設置された地震計のデータの整理分析を行った。その結果、以下のことが明らかになった。

- 1) 地震後の山地流域における降雨・融雪に伴う土砂生産特性について
  - ①中越地震に伴う崩壊斜面における年平均侵食速度は2.0cm/yr(2006/11/16～2007/07/20)と算出された。
  - ②この侵食速度と他研究事例を比較すると、降灰直後の斜面より小さいものの、風化花崗岩地帯の裸地斜面の侵食速度よりは大きい結果となった。
  - ③芋川流域における崩壊による土砂生産量と比較すると、侵食による土砂生産量は1オーダー以上小さく見積もられた。
  - ④芋川流域における地震後の降雨・融雪に伴う崩壊土砂生産特性は、以下の点で大きく兵庫県南部地震後の降雨に伴う六甲山地における崩壊発生と相違点が見られた。すなわち、六甲山地に比べて、崩壊発生件数の経年的な減少過程が緩やかであるとともに、拡大崩壊が著しく多かった。また、地震時に斜面崩壊が多く発生したエリアにおいて、その後の新規崩壊も多く発生するという傾向があった。
- 2) 砂防えん堤の地震応答特性について
  - ①砂防えん堤の地盤で観測されたデータについて、K-net, KiK-netの地震計で観測されたデータと比較すると、同じ震源距離のK-net, KiK-netのデータと比較して加

速度が小さい領域のデータが多かった。

②地盤の最大加速度と堤体の最大加速度について、今回のデータではえん堤の加速度が地盤の加速度を上回っているものが25ケースあり、全体の56%を占めた。

③堤長／堤高が8を越える場合には、堤体／地盤が2を超えるものはなかったのに対し、堤長／堤高が8を下回る場合には、堤体／地盤が2を超過するものは39ケース中、9ケースあった。

平成20年度は、地震後の山地流域における土砂生産特性について、その経年変化メカニズムの検討を進めるとともに、その土砂生産メカニズムを考慮した土砂流出数値計算の試行と改良点の検討を始めたいと考えている。

また、砂防えん堤の地震応答特性については、引き続きデータの収集・整理を行い、砂防えん堤の地震動観測記録を用いた堤体・地盤の地震応答特性とともに、砂防えん堤の耐震性の評価等について検討していきたいと考えている。

#### 参考文献

- 1) 田方 智, 栗原淳一, 桜井 亘, 小川紀一郎, 吉野弘祐, 山本 悟: 中越地震後の芋川流域における土砂生産量の推移, H19年度砂防学会研究発表会概要集, p.300-301, 2007
- 2) 鈴木雅一・福嶋義宏: 風化花崗岩山地における裸地と森林の土砂生産量—滋賀県南部, 田上山地の調査資料から—, 水利科学, Vol.33, No.5, p.89-100, 1989
- 3) 山本 博: 有珠山の一斜面における1977-1978年降下火砕堆積物の侵食, 地形, Vol.5, p.111-124, 1984
- 4) 富田洋子・桜井亘・中庸充: 六甲山系における地震後の降雨による崩壊地の拡大について, 新砂防, Vol.48, No.6, pp.15-21, 1996
- 5) 平野昌繁・石井孝行: 1995年兵庫県南部地震による六甲山地の斜面崩壊の特性と経時的变化, 砂防学会誌, Vol.50, No.1, pp.23-32, 1997
- 6) 国土交通省近畿地方整備局六甲砂防事務所技術資料
- 7) 社団法人砂防学会: 砂防設備の耐震設計に関する検討委員会報告, 砂防学会誌, Vol.48, No.6, pp.37-60, 1995
- 8) 土木研究所資料 4071号: 砂防えん堤に設置されている地震計の観測記録(平成8年～18年)、



#### 4.5 地震動による山地流域の安全度評価手法に関する研究

- 独立行政法人土木研究所土砂管理研究グループ  
火山・土石流チーム、2007
- 9) 独立行政法人防災科学技術研究所 強震ネットワーク K-net : <http://www.k-net.bosai.go.jp/k-net/>
- 10) 独立行政法人防災科学技術研究所：基盤強震観測網KiK-net : <http://www.kik.bosai.go.jp/kik/>
- 11) 例えば翠川三郎、松岡昌志、作川孝一：1987年千葉県東方沖地震の最大加速度・最大速度にみられる地盤特性の評価、日本建築学会構造系論文報告集第442号、pp.71-78、1992.
- 12) 社団法人砂防学会：第4回砂防設備の耐震設計に関する検討委員会資料（資料2），pp.53-106, 1995.

## STUDY ON THE METHOD TO EVALUATE THE RISKS OF THE POST SEISMIC SEDIMENT-RELATED DISASTERS IN MOUNTAINOUS CATCHMENTS

**Abstract** : In the F.Y.2007, the authors have investigated post-seismic sediment yield processes in the Imo River Basin where many landslides had occurred at the time of the Chuetsu Earthquake in 2004. In addition, the authors have also studied monitoring methods which would be suitable to watch natural dams. As a result, the following are clarified. 1) Some technical problems have been revealed to be necessary to be improved to watch natural dams against dam breaks; 2) Applicability of equipments to measure erosion of natural dams have been shown through some field experiments; 3) Post-seismic sediment yield processes have been shown as of the year 2006.

**Key words** : sediment yield, sediment discharge, natural dam, seismic motion, the Imo river

