

## 2000年鳥取県西部地震および2001年芸予地震における 斜面崩壊の特徴

山本哲朗<sup>1</sup>, 鈴木素之<sup>1</sup>, 寺山 崇<sup>2</sup>, 吉原和彦<sup>3</sup>, 原田 博<sup>2</sup>, 勝部安昭<sup>4</sup>, 宮崎晃一<sup>4</sup>

Tetsuro Yamamoto<sup>1</sup> and Motoyuki Suzuki<sup>1</sup> and Takashi Terayama<sup>2</sup> and Kazuhiko Yoshihara<sup>3</sup> and Hiroshi Harada<sup>2</sup> and Yasuaki Katsube<sup>4</sup> and Kouichi Miyazaki<sup>4</sup>

<sup>1</sup>山口大学工学部社会建設工学科

<sup>2</sup>日特建設㈱

<sup>3</sup>常盤地下工業㈱

<sup>4</sup>山口大学大学院博士前期課程

近年、中国地方において2つの大きな地震が発生している。一つは2000年10月6日に発生した鳥取県西部地震(M7.3)、もう一方は2001年3月24日に発生した芸予地震(M6.7)である。著者らは、両地震により発生した斜面崩壊を中心に調査を実施した<sup>1)~4)</sup>。鳥取県西部地震では鳥取県内で136箇所、芸予地震では山口県内で112箇所の斜面崩壊を確認した。両地震における斜面崩壊の特徴として、岩盤崩落の多くの事例で岩盤内の節理間隔が松などの木の根によって押し広げられており、これが岩盤崩落の素因になったと考えた。つまり、節理間に存在する木の根の成長が岩塊間の隙間を広げたり、あるいは木の根が支点となって岩塊を支持するようになり、岩塊が地震動に対して、より不安定な状態にあったと推論した。

### 1. はじめに

近年、中国地方においては2000年鳥取県西部地震(M7.3)および2001年芸予地震(M6.7)が発生した。両地震において各種構造物に甚大な被害を被った。著者らは、両地震により発生した斜面崩壊を中心にして調査を実施した<sup>1)~4)</sup>。その結果、鳥取県西部地震において鳥取県内136箇所、芸予地震においては山口県内112箇所の斜面崩壊を確認した。両地震に共通する斜面崩壊の特徴の一つとして、集中豪雨時によくみられる表層崩壊の他に、岩盤崩落、表層崩壊・岩盤崩落、落石および吹付けコンクリートの破損が発生していたことが挙げられる。

本論文では、これら地震における斜面災害の概要を述べるとともに、各地震において崩壊形態ごとに代表的な斜面崩壊事例を記述し、さらに今回の斜面崩壊の特徴について考察する。

### 2. 鳥取県西部地震における斜面災害

#### (1) 鳥取県西部地震の概要

鳥取県西部地震(M7.3)は、平成12年10月6日13時30分頃に北緯35度16分、東経133度20分9秒の位置で発生し、震源深さは約11kmであった。余震分布より推定される断層は延長約20kmで北北西から南南東にわたる。この断層はこれまでに存在が明らかにされていた活断層と方向や位置が異なることが指摘された<sup>1)</sup>。この地震により鳥取県日野町根雨と境港市東本町で震度6強を記録したのをはじめ、関東地方から九州地方にかけて広範囲で有感となった。これら地域の震度分布を図-

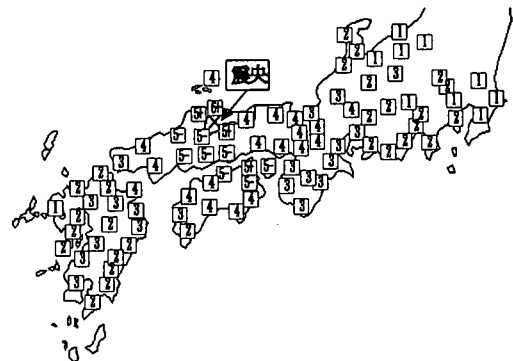


図-1 鳥取県西部地震の震度分布

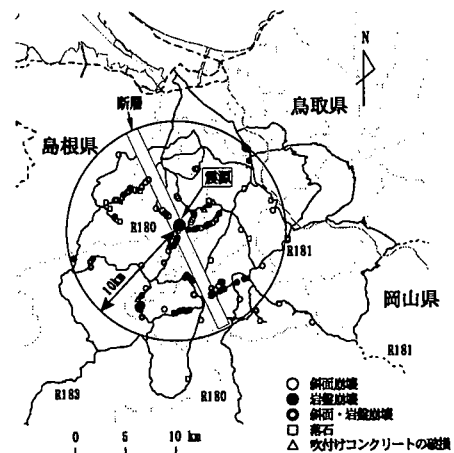


図-2 斜面災害の調査地点

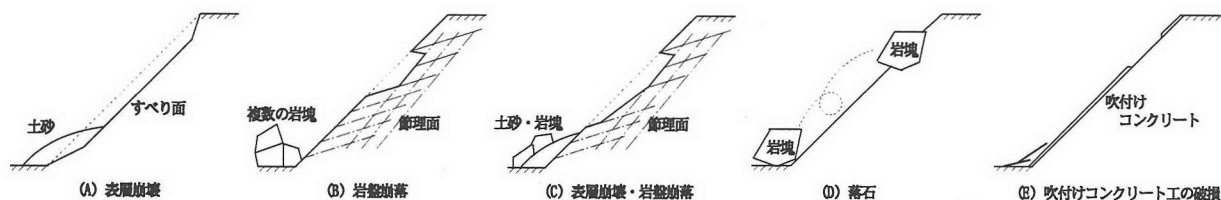


図-3 崩壊モデル

1に示している。

この地震による被害は鳥取県を中心にして10府県に及ぶ。平成13年10月10日時点での被害状況は負傷者182名、住家全壊434棟、住家半壊3,094棟、一部破損18,199棟、道路損壊667箇所、崖崩れ367箇所となっている<sup>9)</sup>。また、震央から約13kmに位置する江府町で記録された地震動の最大加速度は南北成分725gal、東西成分573gal、上下成分404galであった<sup>9)</sup>。

図-2に著者らによる斜面災害の調査地点を示す。図中の記号は表層崩壊、岩盤崩落、表層崩壊・岩盤崩落、落石および吹付けコンクリートの破損を表し、崩壊形態ごとに分類している。調査は国道180号線および国道181号線沿いを中心にして国道183号線、国道482号線およびそれらをつなぐ県道、農道、林道沿いの自然斜面および切り取り斜面を対象にした。調査した地域の岩種は大部分が花崗岩であり、その他、粘板岩、泥質片岩、玄武岩、流紋岩であった。

## (2) 崩壊形態ごとの代表事例

これら斜面災害を(A)著しく風化した表層土と下位の弱風化岩との境界ですべりが発生する表層崩壊、(B)節理面に沿って岩塊がすべり落ちる岩盤崩落、(C)表層崩壊と岩盤崩落が一緒に発生した表層崩壊・岩盤崩落、(D)数個の岩塊が斜面を落下する落石、(E)吹付けコンクリートの破損の5種類に分類し、それらを模式化したものを図-3に示す。斜面災害の総件数は136件であり、その内訳は、表層崩壊48件(35.3%)、岩盤崩落36件(26.5%)、表層崩壊・岩盤崩落22件(16.2%)、落石18件(13.2%)および吹付けコンクリートの破損12件(8.8%)である。図-2からわかるように、これら斜面崩壊は震央を中心にして概ね半径10kmといった狭い範囲内に集中して発生していることが大きな特徴である。崩壊形態ごとにそれぞれ代表的な斜面崩壊を取り上げ、以下に説明する。

### a) 表層崩壊

写真-1に県道46号線沿いの溝口町福岡における(A)表層崩壊を示す。斜面は強風化花崗岩(まさ土)からなり、斜面は走向N16°E、傾斜50°NWである。崩壊規模は幅28.6m、厚さ0.7mであり、崩壊は平面すべり形態を呈していた。斜面保護工として植生工が施されていた。なお、このような花崗岩斜面にみられる表層崩壊は集中豪雨時に度々発生することが著者らの現地調査により明らかにされている<sup>7)~9)</sup>。

### b) 岩盤崩落

写真-2に岸本町小野における(B)岩盤崩落を示す。斜面は粘板岩からなり、走向N18°W、傾斜40°NEである。崩壊規模は幅14.4m、長さ6.0mである。岩塊には幅約40cm間隔で柱状・板状節理面が著しく発達するとともに、節理面には、それを押し広げる形で樹木の根が入り込んでおり、これによって不安定化した岩盤が節理面に沿って崩落した。岩盤は延長約55

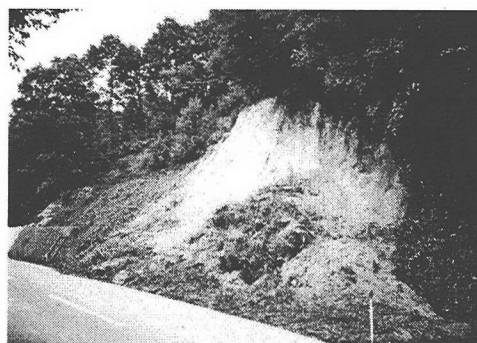


写真-1 表層崩壊(溝口町福岡)

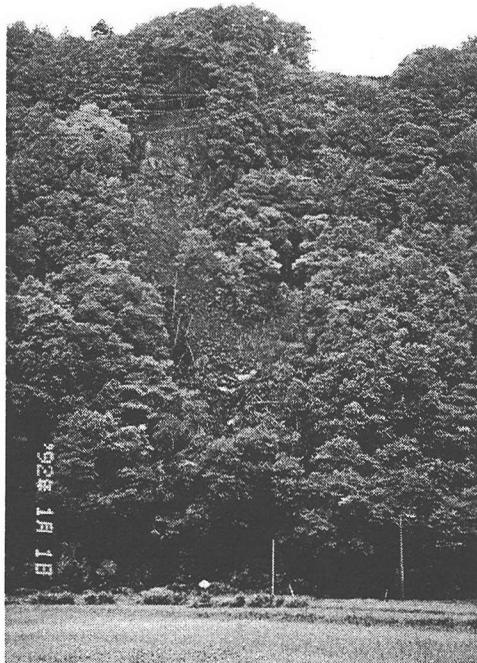


写真-2 岩盤崩落(岸本町小野)

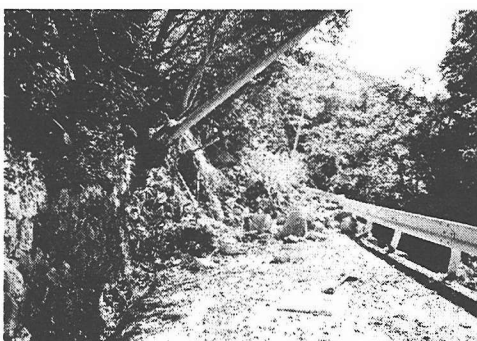


写真-3 表層崩壊・岩盤崩落(日野町久住)

mの山腹に沿って落下し、その内のいくつかは山腹下にあるアスファルト道路まで落下した。岩塊の大きさは最大のもので

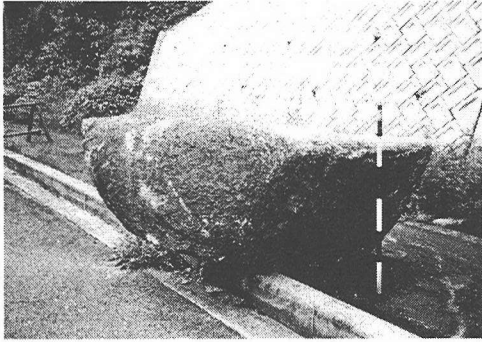


写真-4 落石 (西伯町大木屋)

4.1m×3.4m×2.6mであった。

c) 表層崩壊・岩盤崩落

写真-3 に県道 286 号線沿いの日野町久住における(C)表層崩壊・岩盤崩落の状況を示す。このタイプは上記(A)表層崩壊および(B)岩盤崩落が複合したものであり、地盤および岩盤が一つの斜面において同時に崩壊したものである。斜面は走向 N80° W、傾斜 62° NE である。崩壊規模は幅 50.0m および長さ 1.6m であった。

d) 落石

写真-4 に国道 180 号線沿いの西伯町大木屋における花崗岩の(D)落石を示す。この岩塊の大きさは 1.8 m×1.6 m×1.0m であった。この地点は震央から約 4 km にあり、この周辺では数多くの斜面被害が発生していた。

e) 吹付けコンクリートの破損

写真-5 に国道 180 号線沿いの日野町下黒坂における(E)吹付けコンクリートの破損の状況を示す。斜面上部で吹付けコンクリートが幅 15.4 m にわたって剥離していた。この斜面の周辺では、この他にも吹付けコンクリートの破損が 3 箇所、岩盤崩落が 1 箇所みられた。

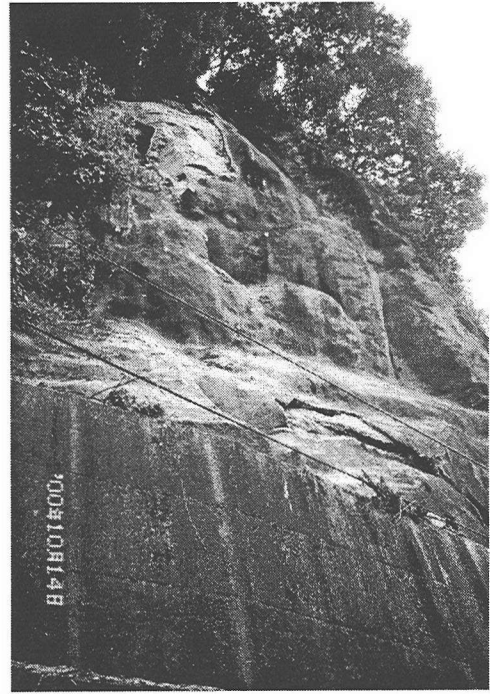


写真-5 吹付けコンクリートの破損 (日野町下黒坂)

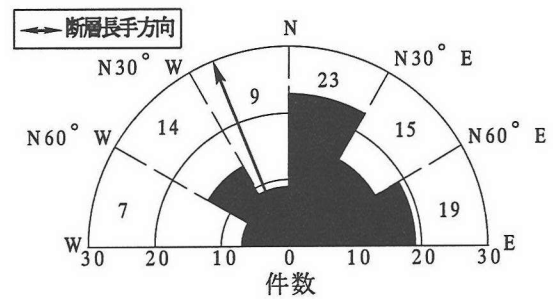


図-4 崩壊した斜面の走向の頻度分布

(3) 斜面崩壊の特徴

斜面崩壊の崩壊形態に関して特筆すべき点として、集中豪雨時にはあまりみられない岩盤崩落、落石、吹付けコンクリートの破損といった被害が多数発生していたことが挙げられる。特に、岩盤崩落では柱状および板状節理面に沿って岩盤が崩壊しているのが多くみられた。写真-2 にその代表的な例を示したように、岩盤崩落では節理面の間隔は樹木の根によって押し広げられていた。そのため、岩塊は振動に対して不安定な状態になり、今回の地震動により岩盤は容易に崩落したと考えられる。次いで、斜面崩壊を調査した地点のうち、斜面の走向がわかっている 87 件の頻度分布を調べ、図-4 の結果を得た。この図から、斜面は走向 NS~N29° E の頻度が 23 件で最も多く、N~W 方向より N~E 方向を向いている斜面において崩壊が多く発生している。この方向は断層の長手方向と直交する。ここで 12 地点で発生した吹き付けコンクリートに着目すると、N~E 方向のものが 11 件で最も多く、そのうち、N60° E~N89° E のものが 8 件を占めていた。

崩壊形態ごとに崩壊の幅、長さおよび厚さの頻度分布を図-5 に示す。斜面崩壊の規模については、幅 5.0~9.9 m で 24 件、長さ 4.9 m 以下で 13 件、厚さ 0.5~0.9 m で 15 件と最大の頻度で

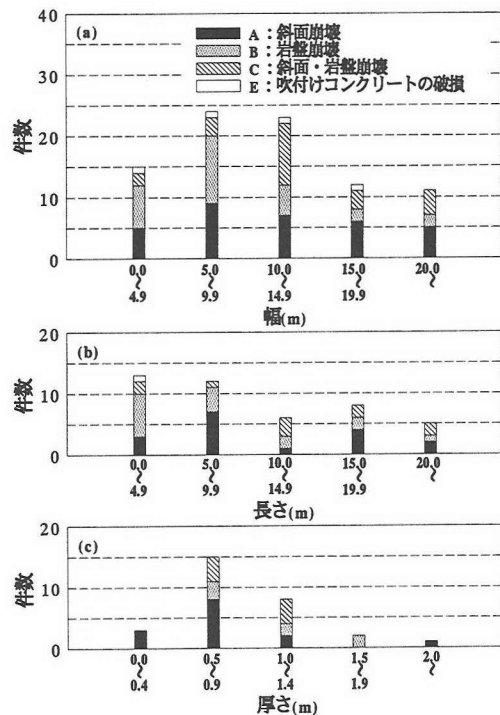


図-5 崩壊規模の頻度分布

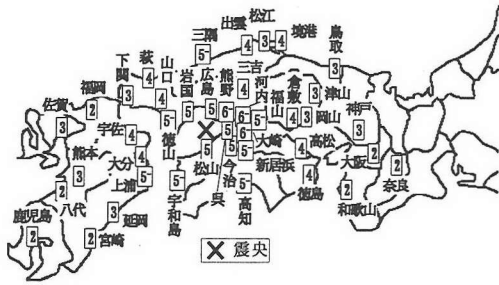


図-6 芸予地震の震度分布



図-7 斜面災害の調査地点 (山口県東南部)

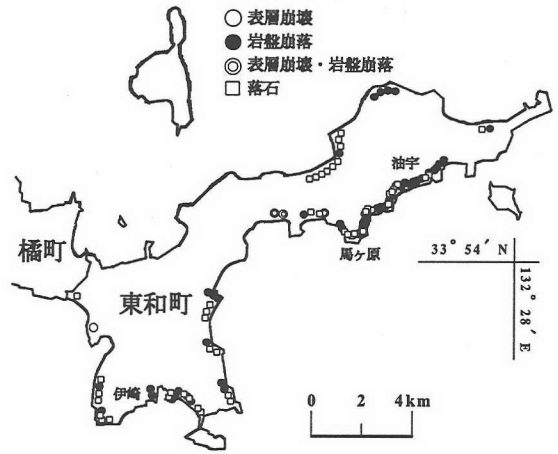


図-8 斜面災害の調査地点 (大島郡東和町)

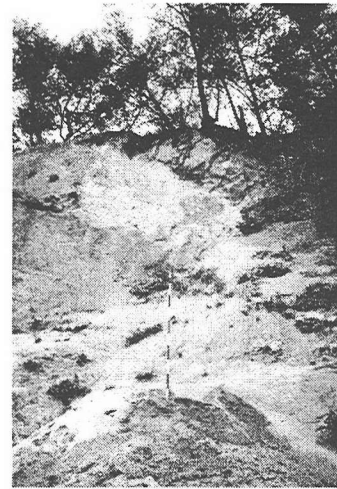


写真-6 表層崩壊 (岩国市錦見)

あり、小規模な斜面崩壊が多くみられた。地震時の特徴的な崩壊である岩盤崩落の規模については、幅 5.0~9.9 m、長さ 4.9 m 以下、厚さ 0.5~0.9 m のものが最大の頻度であった。表層崩壊については、幅 5.0~9.9 m、長さ 5.0~9.9 m、厚さ 0.5~0.9 m のものが最大の頻度であった。この表層崩壊についての結果は 1999 年 6 月末集中豪雨時において山口県内で発生した斜面崩壊の規模の頻度分布<sup>7)</sup>とほぼ同じ傾向を示している。

### 3. 芸予地震における斜面災害

#### (1) 芸予地震の概要

芸予地震 (M 6.7) は平成 13 年 3 月 24 日 15 時 28 分頃、震央が北緯 34° 72'、東経 132° 425' の位置で発生し、その震源深さは 51 km である。広島県河内町、大崎町および熊野町で震度 6 弱を観測されたのをはじめ、瀬戸内海沿いに中国、四国および九州地方の広範囲で震度 6 弱から震度 4 を記録した。図-6 に芸予地震の震度分布を示している。この地震による被害は広島県を中心に 10 県に及び、平成 13 年 11 月 14 日現在で死者 2 名、負傷者 287 名、住家全壊 69 棟、住家半壊 749 棟および住家一部破損 48、602 棟となっている<sup>9)</sup>。広島県呉市で記録され

た地震動の最大加速度は、南北成分 312 gal、東西成分 425 gal、上下成分 203 gal である<sup>8)</sup>。これは 2000 年鳥取県西部地震において鳥取県江府町で観測された加速度値に比べて小さい。

図-7 に著者らが斜面災害の調査を実施した山口県東南部地域および斜面崩壊地点を示す。調査は国道 2 号線、国道 188 号線、国道 437 号線および県道 60 号線沿いの切り取り斜面を対象にした。図-7 にみられるように斜面崩壊は岩国市および大島郡 (屋代島) 東和町を中心に発生し、その最も西側は震央距離から 68 km の地点にあることが明らかとなった。

図-8 に斜面崩壊が集中して発生した大島郡東和町における斜面崩壊の発生地点を示す。斜面崩壊の形態は鳥取県西部地震の場合と同様に分類したところ、(A)表層崩壊、(B)岩盤崩落、(C)表層崩壊・岩盤崩落および(D)落石の 4 パターンがみられ、(E)吹付けコンクリートの破損はゼロであった。斜面崩壊の総件数は 112 件であり、広島県内での擁壁の崩壊を含む斜面崩壊件数 117 件にほぼ匹敵する<sup>10)</sup>。その内訳は、表層崩壊 14 件 (12.5%)、岩盤崩落 47 件 (42.0%)、表層崩壊・岩盤崩落 4 件 (3.5%) および落石 47 件 (42.0%) である。以下に岩国市および東和町における斜面崩壊の代表的な事例を崩壊形態ごとにそれぞれ記述する。



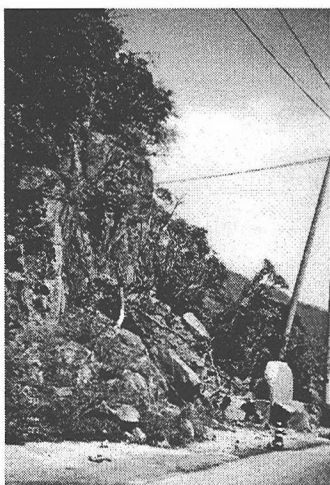


写真-7 岩盤崩落 (東和町伊崎)

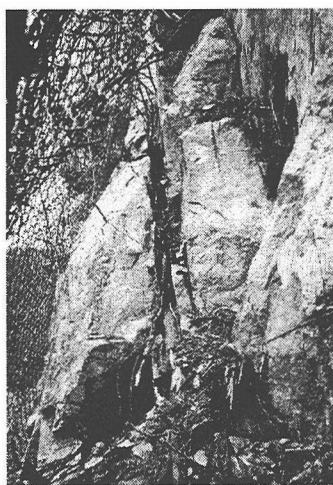


写真-9 節理面に沿った木の根 (東和町由宇)

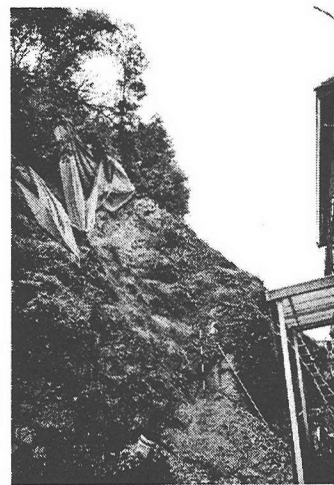


写真-10 表層崩壊・岩盤崩落 (岩国市門前)

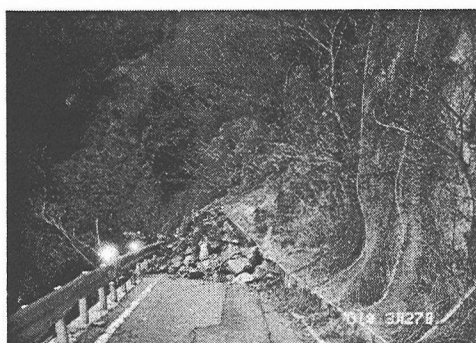


写真-8 岩盤崩落 (東和町由宇)

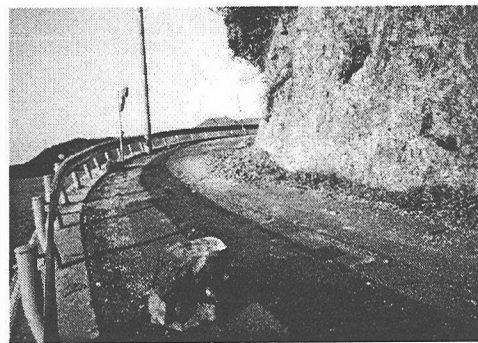


写真-11 落石 (東和町伊崎)

## (2) 崩壊形態ごとの代表事例

### a) 表層崩壊

写真-6 に岩国市錦見における花崗岩斜面の表層崩壊の状況を示す。崩壊規模は幅 35 m、長さ 75 m および厚さ 1.0 m である。斜面は広島花崗岩からなり、走向  $N24^{\circ} W$ 、傾斜  $52^{\circ} SW$  である。まさ土からなる切り取り斜面において節理面(弱面)に沿って崩壊が発生していた。また、松の根が張って崩壊面の間隔を広げていたことを確認している。

### b) 岩盤崩落

写真-7 に県道 60 号線沿いの東和町伊崎における岩盤崩落の状況を示す。崩壊規模は幅 108 m、長さ 80 m である。斜面は粗粒花崗岩からなり、走向  $N80^{\circ} E$ 、傾斜  $80^{\circ} SE$  である。また、東和町由宇においては、県道の通行止めとなるほどの岩盤崩落が発生した。崩壊規模は幅 10.1 m、長さ 25.0 m および厚さ 15 m である。幸いにも人的被害はなかった。その状況を写真-8 に示す。花崗岩塊の大きさは最大で  $19 m \times 10 m \times 0.9 m$  であった。この崩壊によって保護対策工の落石防止網工が破損していた。

写真-9 に県道 60 号線沿いの東和町由宇において花崗岩に発達した節理面に沿って松の根が張っている状況を示す。由宇での根の太さは 65 cm であった。他の現場でも、同じように松の根が節理面に沿って楕円状を呈して存在していたことから、松の生育に伴ってその根が節理面を広げたと考えられる。

### c) 表層崩壊・岩盤崩落

写真-10 に岩国市門前における表層崩壊・岩盤崩落の状況

を示す。崩壊規模は幅 63 m、長さ 45 m および厚さ 1.0 m である。斜面は石英斑岩からなり、その走向・傾斜はそれぞれ  $N30^{\circ} W$ 、 $57^{\circ} NE$  である。崩壊斜面上部には木の根が存在していた。

### d) 落石

写真-11 に県道 60 号線沿いの東和町伊崎における落石の状況を示す。アスファルトが破損していた。岩塊の大きさは  $0.45 m \times 1.0 m \times 0.7 m$  であった。

## (3) 斜面崩壊の特徴

斜面崩壊の崩壊形態の特徴として、鳥取県西部地震の場合と同様に集中豪雨時にあまりみられない落石および岩盤崩落がきわめて多く発生していた。岩盤崩落では既存の節理面に沿って松の根が張っており、その根の太さは 20 cm~140 cm の範囲にあった。節理面のせん断強度はそれ以外の部分よりも小さいことは言うまでもないが、木の根により節理面が広げられた結果、地震動に対して岩盤は不安定な状態であったということが指摘できる。

斜面の走向がわかっている 65 件の頻度分布を調べた図-9 に示す。斜面の走向は  $N60^{\circ} E \sim N89^{\circ} E$  のものが 17 件で最も多く、次いで  $EW \sim N61^{\circ} W$  のものが 12 件となっている。これは崩壊斜面の地形および地震波の伝播方向が反映された結果であると考えられる。また、崩壊形態ごとの崩壊の幅、長さおよび厚さの頻度分布を調べた結果を図-10 に示す。図-10 から、斜面崩壊の規模について最大の頻度は、幅 4.9 m 以下で 40 件、

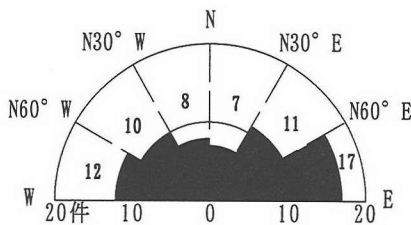


図-9 崩壊した斜面の走向の頻度分布

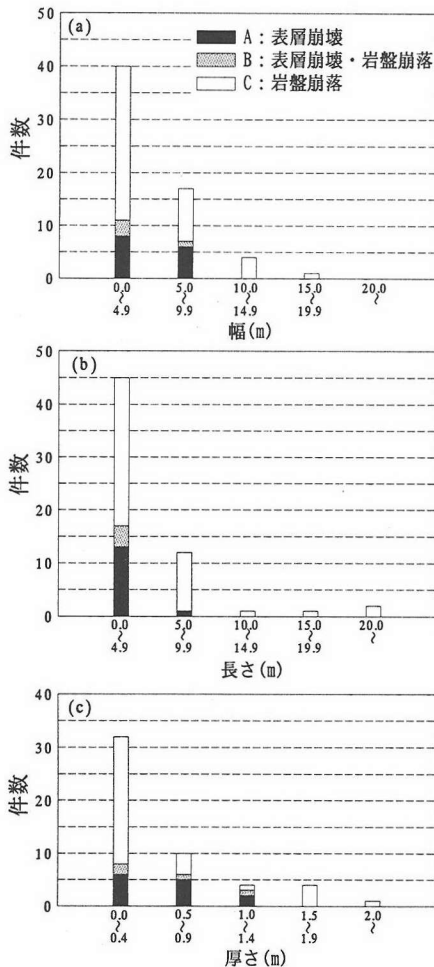


図-10 崩壊規模の頻度分布

長さ 49 m 以下で 45 件、厚さは 49 m 以下で 32 件である。このように、小規模な斜面崩壊が多く発生していた。地震時の特徴的な崩壊である岩盤崩落の規模については、頻度の最も大きいものは幅 49 m、長さ 49 m 以下、厚さ 0.4 m 以下であった。表層崩壊については幅 49 m、長さ 49 m 以下、厚さ 0.4 m 以下のものが最大の頻度であった。法面対策として、一部に擁壁工（6 件）および落石防止柵工（3 件）も施工されていたが、圧倒的に多いのは落石防止網工（42 件）であった。

#### 4. まとめ

2000 年鳥取県西部地震および 2001 年芸予地震における斜面崩壊について現地調査して得られた結果は次のようにまとめることができる。

- 1) 鳥取県西部地震による斜面崩壊は断層付近に密集し、震央から半径 10 km の範囲で発生していた。一方、芸予地震による斜面崩壊は震央から半径 68 km の圏内で発生していた。
- 2) 両地震において、集中豪雨時の斜面被害ではあまり例がみられない岩盤崩落および落石が著しく多く発生していた。
- 3) 山口県大島郡（屋代島）では、樹木の根によって節理の間隔が押し広げられたことに起因した岩盤崩落が数多くみられた。鳥取県西部地震においても同様の原因による岩盤崩落が発生していた。
- 4) 崩壊形態で最も発生件数の多い岩盤崩落の規模は両地震ともに小さかった。

#### 謝辞

現場調査につきましては、常盤地下工業（株）瀬原洋一氏、また本研究室の宮内俊彦氏（現前田建設工業（株））、松下英次氏、千田隆行氏（現東亜建設工業（株））、谷川勝也氏（現日特建設（株））および藤本哲生氏に御協力をいただいた。これらの方々には甚大な感謝の意を表します。

#### 参考文献

- 1) 山口大学調査団：平成 12 年鳥取県西部地震とその被害に関する緊急調査報告、土と基礎、Vol.49, No.1, pp.36-40, 2001.
- 2) 山本哲朗・鈴木素之・宮内俊彦・寺山 崇・伊藤恭平・寺本学・原田 博：平成 12 年鳥取県西部地震における斜面崩壊、第 36 回地盤工学研究発表会 平成 13 年度発表講演集、pp.2277-2278, 2001.
- 3) 山本哲朗・鈴木素之・寺山 崇・勝部安昭：平成 13 年芸予地震による山口県東部の斜面災害調査、第 40 回日本地すべり学会研究発表会講演集、pp.381-384, 2001.
- 4) 山本哲朗・鈴木素之・寺山 崇・勝部安昭・瀬原洋一・原田博・河内義文：2000 年鳥取県西部地震・2001 年芸予地震において発生した岩盤崩落、第 1 回日本地震工学研究発表・討論会梗概集、p.124, 2001.
- 5) 自治省消防庁：インターネット閲覧資料 (<http://www.fctma.go.jp/>), 2001.
- 6) 科学技術庁防災科学研究所：インターネット閲覧資料 (<http://www.k-net.bosai.go.jp/>), 2001.
- 7) Yamamoto, T., Suzuki, M., Matsumoto, M. and Sehara, Y.: Characteristics of Cretaceous granite slopes that failed during heavy rainfall, IS - SHIKOKU'99 Slope Stability Engineering, Vol.1, pp.121-126, 1999.
- 8) 山本哲朗・鈴木素之・原田 博・寺山 崇：広島県における最近の降雨特性と花崗岩斜面の崩壊-1999 年 6 月 29 日広島県豪雨災害を例として-, 土と基礎, Vol.49, No.1, pp.13-16, 2001.
- 9) 山本哲朗・鈴木素之・宮内俊彦・寺山 崇・原田 博：花崗岩からなる斜面の表層崩壊について、自然災害科学研究西部地区部会報, Vol.25, pp.49-52, 2000.
- 10) 地盤工学会・芸予地震災害緊急調査団：平成 13 年芸予地震災害緊急調査速報、土と基礎, Vol.49, No.6, pp.35-38, 2001.