

## 6. 比抵抗情報と地形情報を活用した地震による深層崩壊斜面の抽出

### Deep catastrophic landslide hazard map

due to earthquake by using airborne resistivity and digital elevation model

○水田朗・長谷川修一・野々村敦子（香川大学）・内田純二（西日本高速道路）  
河戸克志（大日本コンサルタント）・千葉達朗（アジア航測）

### 1. はじめに

近い将来南海トラフで巨大地震が発生すると予測されている<sup>1)</sup>。南海トラフで発生した巨大地震では、1707年の宝永地震による大谷崩れ<sup>2)</sup>や、加奈木の崩え<sup>3)</sup>のような深層崩壊が発生している。来るべき南海トラフの巨大地震によってこのような深層崩壊が発生すると、道路ネットワークが寸断され、長期にわたる復旧への遅れが懸念される。このため、危機管理上事前に発生しやすい場所を予測して、対応策を検討することが望ましい。

地震による深層崩壊の発生箇所を予測するためには、深層崩壊を発生させやすい地形・地質構造を明らかにし、そのような斜面を抽出する技術を開発する必要がある。長谷川（2011）<sup>4)</sup>は高知県室戸市の加奈木の崩えにおいて空中電磁法による比抵抗凹凸度と内田ら（2004）<sup>6)</sup>による地震による表層崩壊危険度（F値）を掛け合わせ地震による深層崩壊危険度を提案している。

本研究では徳島県馬路川沿いにおける三谷ら（2009）<sup>5)</sup>の探査データを活用し、長谷川（2011）<sup>4)</sup>が提案した比抵抗凹凸図と地震による斜面崩壊危険度（F値）（内田ら，2004）<sup>6)</sup>を掛け合わせた地震による深層崩壊危険度分布図を試作したので、その概要について報告する。

### 2. 研究対象地区

当該地区は徳島県北部にある吉野川低地の西端部に位置しており、四国山地を南北方向に横断した吉野川が讃岐山脈に出会い、その流れを直角に変えるとともに、東流する馬路川と合流している。また、当該地区では馬路川の北岸（讃岐山脈の南麓）に沿って中央構造線が東西に走り、中央構造線より南側は三波川変成岩類の泥質・砂質片岩からなる流れ盤斜面が、また中央構造線の北側には和泉層群からなる砂質勝ち互層の受け盤斜面が形成されている。

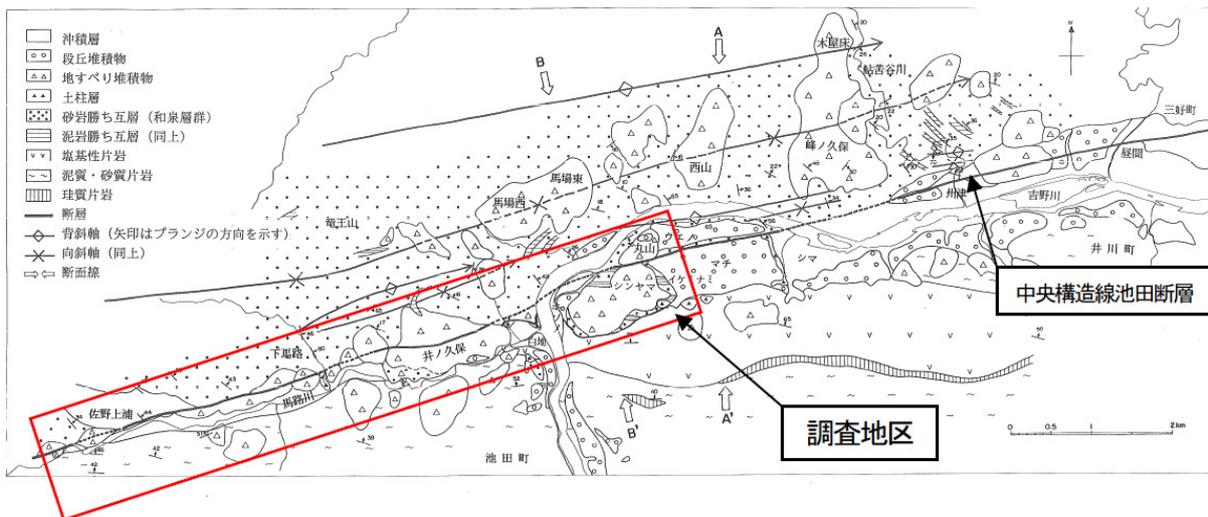


図1 研究対象地区の地質（長谷川（1992）<sup>4)</sup>に加筆）

### 3. 地形解析

#### 3.1 航空レーザー計測データ

航空レーザー計測では、 $1\text{m}^2$ に1点以上の密度でデータを取得し、フィルタリングにより地物や樹木を除去して、5mメッシュの数値標高図を作成した(図2)。

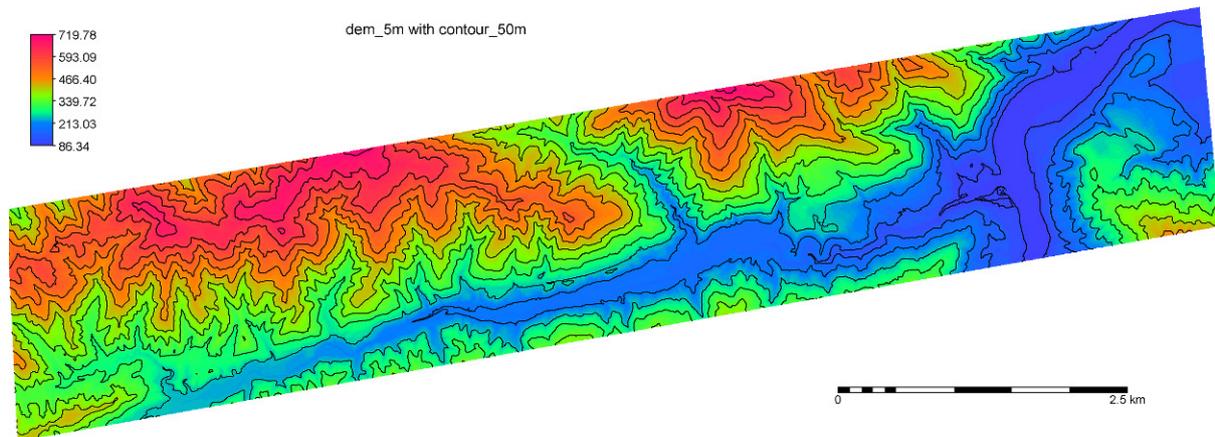


図2 数値標高図 (5m mesh)

#### 3.2 地震による表層崩壊危険度

地震時の表層崩壊危険度評価する手法として、内田ら(2004)<sup>6)</sup>は崩壊危険度評価値(F値)を提案している。

$$F=0.075 \times [\text{斜面勾配} (\text{°})] - 8.9 \times [\text{平均曲率}] + 0.0056 \times [\text{最大加速度} (\text{cm/s}^2)] - 3.2 \quad 6)$$

本研究では入力最大加速度について南海地震単独の発生を想定した150(gal)、その倍の300(gal)、および中央構造線断層帯の活動を想定した600(gal)を用いてF値を検討した。

#### 3.3 解析結果

入力最大加速度150, 300, 600(gal)で解析を行った結果をそれぞれ図3, 4, 5に示す。なお、地震による表層崩壊危険度評価値(F値)は判別得点であり、 $F < 0$ の場合表層崩壊の危険性はほぼなく、 $F \geq 0$ の場合表層崩壊の危険性があるため、 $F < 0$ の場合をすべて $F=0$ とし、 $F=0 \sim 4$ において強調表示を行った。地震による表層崩壊危険度評価値は150, 300(gal)では大差はないが、600galでは全体に $F > 4$ の値が増加する。

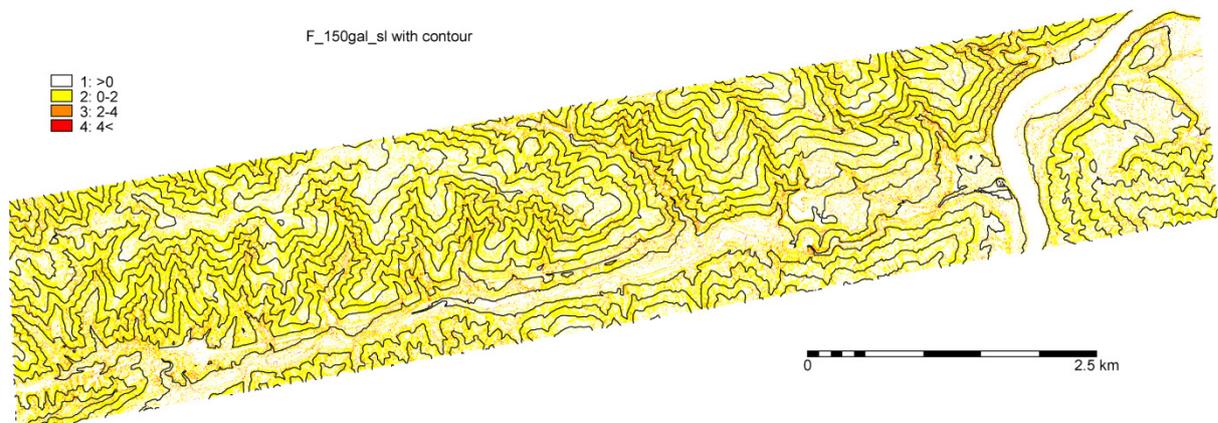


図3 地震による表層崩壊危険度評価値(F値)分布図(150gal)

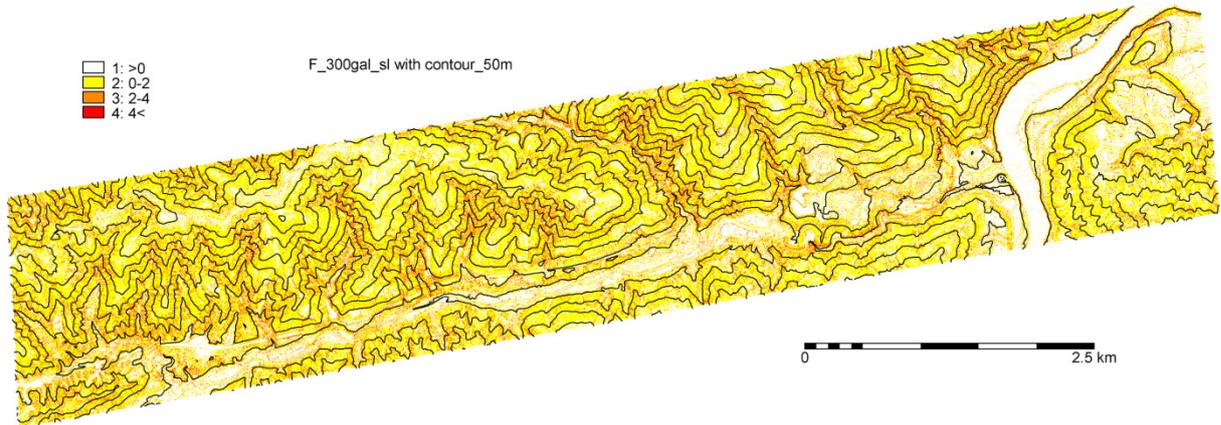


図4 地震による表層崩壊危険度評価値（F値）分布図（300gal）

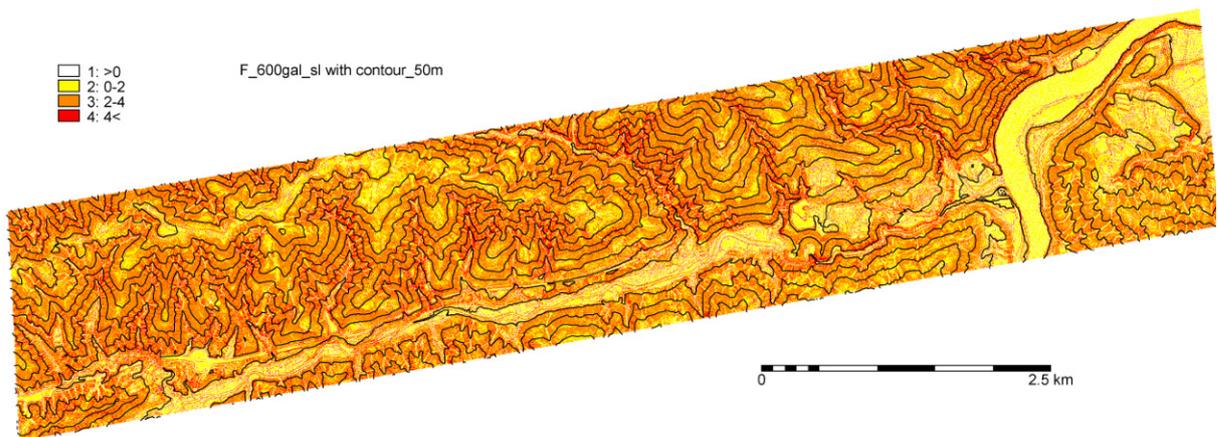


図5 地震による表層崩壊危険度評価値（F値）分布図（600gal）

#### 4. 比抵抗解析

##### 4.1 空中電磁法探査データ

空中電磁法は、ヘリコプターを用いて上空数十 m に配置した電磁コイル（送信・受信コイル）のうち送信コイルに交流電流を通じて誘起された1次磁場と地盤に起因する2次磁場の割合を受信コイルで測定することにより、磁場が透入した深度までの地盤の平均的な比抵抗を測定する物理探査である（小西・塚田，2001）<sup>8)</sup>。本研究では三谷ら（2009）<sup>5)</sup>で探査を行ったデータを使用した（表1）。

表1 探査仕様

項目	内容等
飛行速度	30km/h
測定高度	測定送受信機の対地高度：30～60m
航跡確認方法	GPSとビデオ画像確認
探査周波数	6周波数：140,000, 31,000, 6,900, 3,300, 1,500, 340Hz

##### 4.2 探査結果

探査結果を図6に示す。馬路川沿いの中央構造線に沿って低比抵抗帯が東西に延びておりその北側の和泉層群斜面及び南側の三波川変成岩類が高比抵抗になっている。また、井ノ久保地すべりやシンヤマ地すべりの地すべり地形も低比抵抗となっている。

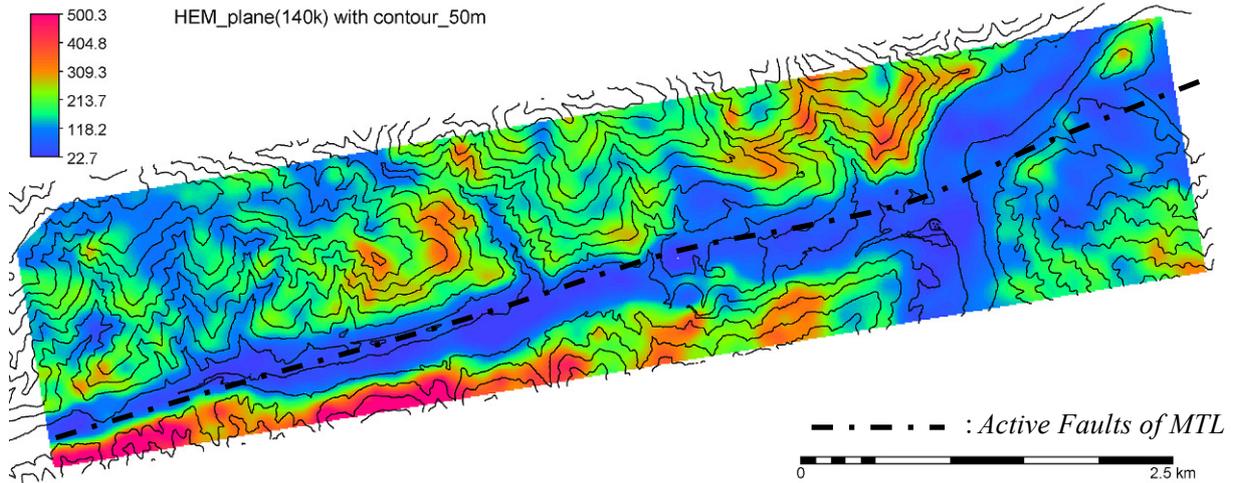


図6 比抵抗平面図

### 4.3 比抵抗凹凸度

横山ほか (1999)<sup>9)</sup>はある着目点から見える空の広がりを変現するために地上開度，地下開度というフィルタを定義した．地上開度，地下開度とは，数値標高モデルの各メッシュ地点が周囲に比べて地上に突き出た度合いを数量化したものであり，各メッシュ地点から8方向の考慮距離内での地上・地下最大傾斜角をそれぞれ求め，これら8方向の平均を天頂角からの角度で表したものである．また，千葉ほか (2007)<sup>10)</sup>は地上開度，地下開度を用いて尾根谷度を定義した．尾根谷度とは数値標高モデルの各メッシュ地点が周囲に比べてどの程度開けているかを表したものであり，尾根地形は正，谷地形は負の値で表現される．

本研究では数値標高モデルで用いられてきたこれらのフィルタを比抵抗値に適用した．比抵抗値に適用した地上開度，地下開度及び尾根谷度はそれぞれ上方開度，下方開度及び比抵抗凹凸度と定義する．比抵抗凹凸度は着目点の比抵抗値が周囲に比べ相対的にどの程度高いかを表したものである．本研究では比抵抗凹凸度の考慮距離を30mとし，各着目点において8方向すべての最大開度が求められないデータは除いて解析を行った．

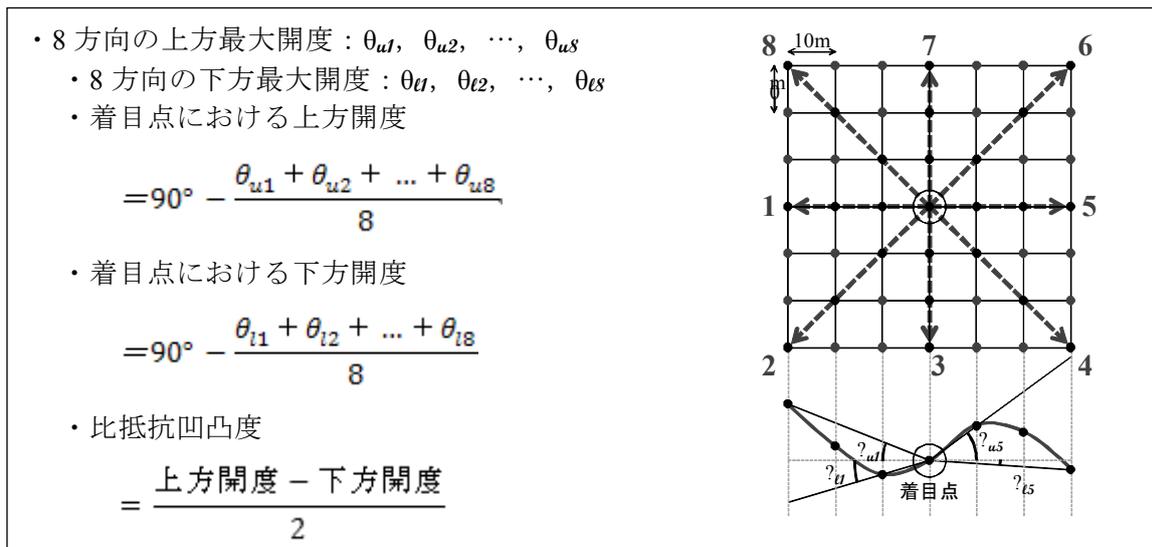


図7 比抵抗凹凸度概念

#### 4.4 解析結果

比抵抗凹凸度の解析結果を図8に示す。図8より、中央構造線より北側の受け盤斜面において高比抵抗凹凸度を示している箇所が抽出できた。比抵抗凹凸度は吉野川の湾曲部に位置する攻撃斜面で顕著であり、硬質な岩盤から形成されている、あるいは岩盤の緩みが進行している可能性が高い。

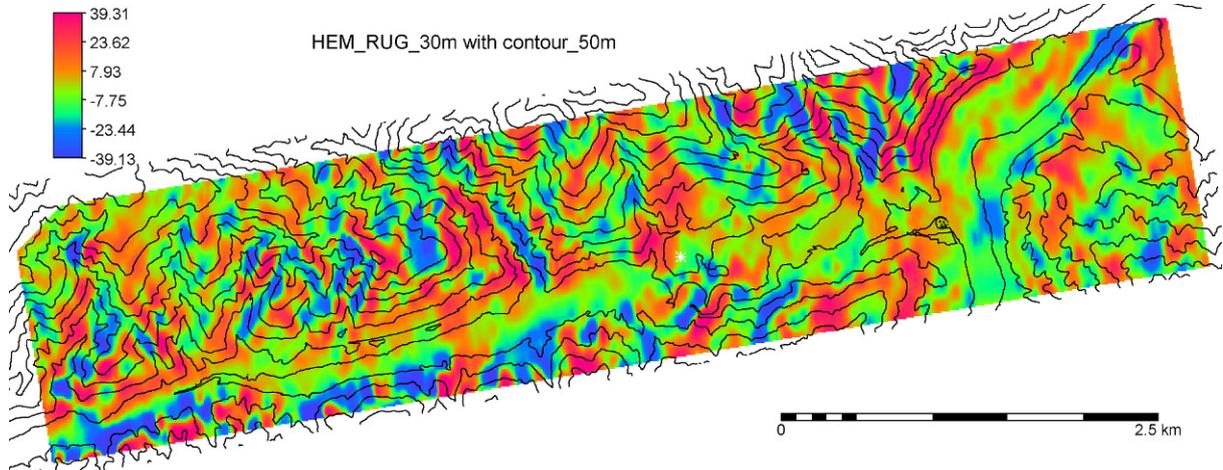


図8 比抵抗凹凸度分布図

### 5. 地震による深層崩壊危険度評価

#### 5.1 解析方法

比抵抗凹凸度による岩盤の緩みと地震による表層崩壊危険度（F値）による地形情報を用いて地震による深層崩壊危険度を評価するために比抵抗凹凸度と地震による表層崩壊危険度を掛け合わせたものを地震による深層崩壊危険度評価値が提案されている（長谷川，2010）<sup>4)</sup>。ここでは、比抵抗凹凸度及びF値のマイナス値はゼロとして計算を行った。

$$\text{深層崩壊危険度評価値} = \text{比抵抗凹凸度} \times \text{地震による表層崩壊危険度（F値）}$$

#### 5.2 解析結果

入力最大加速度 150, 300, 600(gal)の地震による崩壊危険度評価値をそれぞれ比抵抗凹凸度に掛け合わせた地震による深層崩壊危険度評価値の分布図を図9, 10, 11に示す。地震による深層崩壊危険度評価値は 150, 300, 600(gal)になるに従い、40以上の箇所が増加する。全体の傾向としては中央構造線より北部の斜面に位置する尾根地形で高く表れており、また、吉野川の湾曲部に位置する攻撃斜面でも高く表れている。

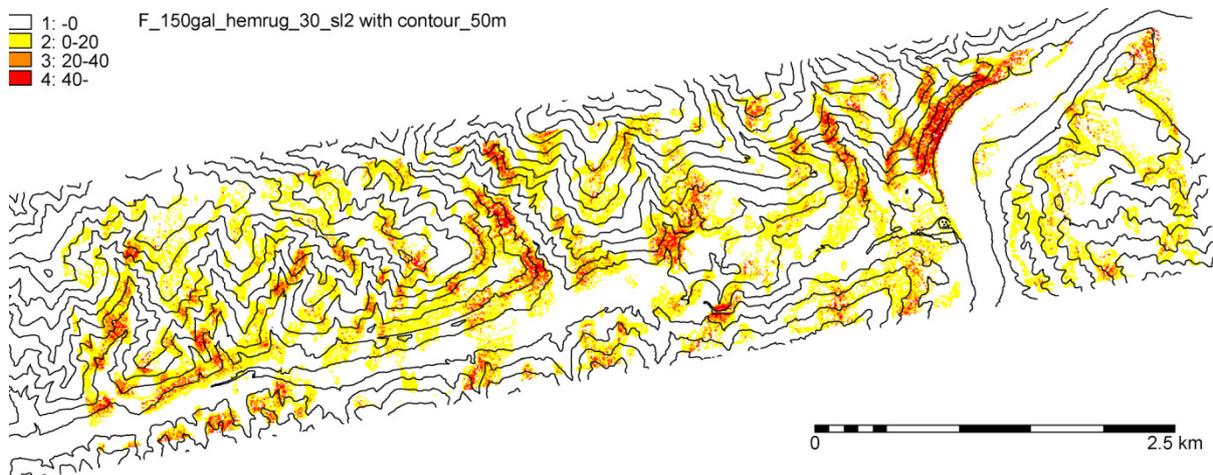


図9 地震による深層崩壊危険度評価値分布図(150gal)

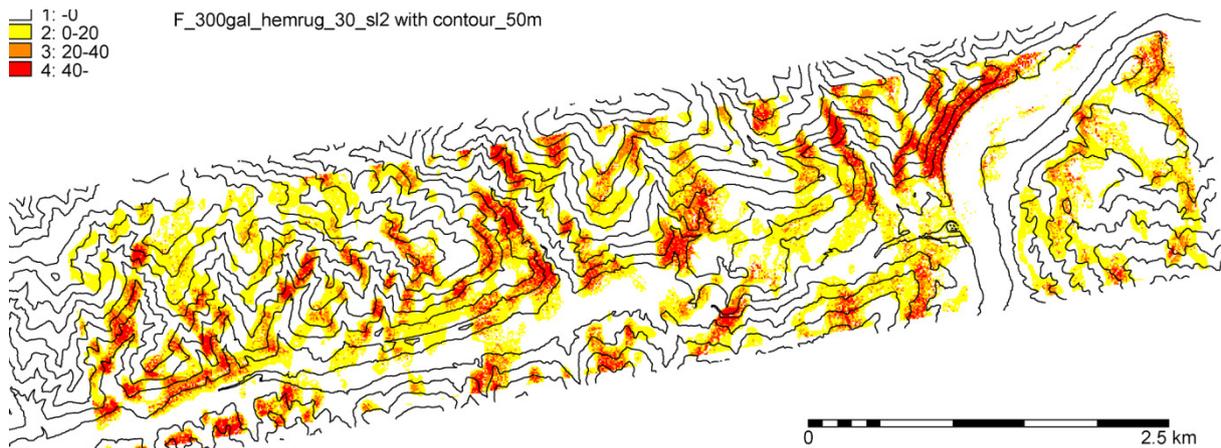


図 10 地震による深層崩壊危険度評価値分布図 (300gal)

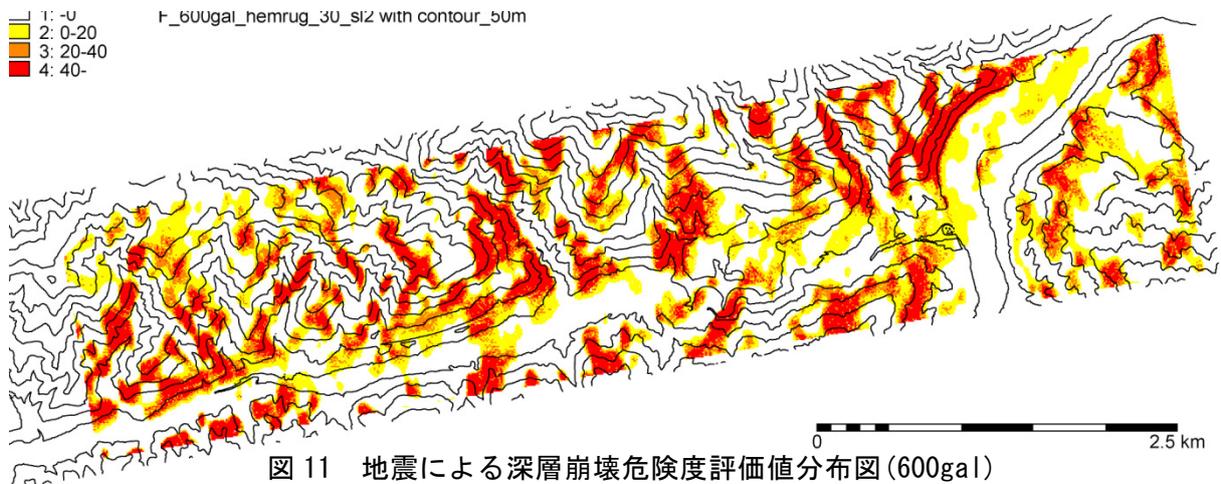


図 11 地震による深層崩壊危険度評価値分布図 (600gal)

## 6. まとめ

徳島県馬路川沿いの地区において空中電磁法を適用し、長谷川 (2011)<sup>4)</sup>の深層崩壊危険度評価値を用いた結果、深層崩壊発生危険箇所を抽出することができた。今後は妥当性の検証が必要である。

### 参考文献

- 1) 地震調査研究推進本部地震調査委員会：南海トラフの地震の長期評価について，2001.
- 2) 八木浩司，井口隆：山体重力変形地形および地震性地すべりとしての三伏・大谷崩れ，地すべり学会誌，vol47，No.1，pp.66-68，2010.
- 3) 千木良雅弘，長谷川修一，村田明広：四国の四十万十帯にある加奈木崩れの地質・地形特性，日本応用地質学会平成10年度研究発表会講演論文集，pp.61-64，1998.
- 4) 長谷川修一：地形情報と空中電磁法を使って深層崩壊危険箇所を予測する，日本地すべり学会関西支部シンポジウム，深層崩壊/高速地すべりとその発生場の評価，pp.41-54，2011.6
- 5) 三谷浩二，大寺正宏，細倉撰央，大川義明，長谷川修一，野々村敦子：空中電磁法による徳島県馬路川沿いの中央構造線の比抵抗構造，応用地質学会中国四国支部平成21年度研究発表会論文集，pp.39-44，2009.10
- 6) 内田太郎，片山正次郎，岩男忠明，松尾修，寺田秀樹，中野泰雄，杉浦信男，小山内信智：地震による斜面崩壊危険度評価手法に関する研究，国土技術正研総合研究所資料，204，pp.91，2004.
- 7) 長谷川修一：中央構造線沿いの大規模岩盤地すべりと第四紀断層運動，東京大学学位論文，pp.219，1992.
- 8) 小西尚俊，塚田幸広：空中電磁法による地質評価への実際的検証，土木学会論文集 No.680，III-55，pp.285-294，2001.
- 9) 横山隆三，白沢道生，菊池祐：開度による地形特徴の表示，写真とリモートセンシング，pp.26-34，1999.
- 10) 千葉達朗，鈴木雄介，平松孝晋：地形表現手法の諸問題と赤色立体地図，日本国際地図学会(地図) Vol.45，No.1，pp.30-34，2007.