

WG1 地盤災害対策に関する調査研究

研究テーマ	研究者名	ページ
児島湖周辺の液状化危険度分布図について	岡山大学大学院 西村伸一	1
岡山地域において懸念される津波災害	土質工学(株) 橘 徹	3
巨大地震による斜面崩壊の予測と対策	岡山大学大学院 鈴木茂之	8
巨大地震を引き金とする土砂災害の発生危険度評価	岡山理科大学 佐藤丈晴 岡山理科大学 西村敬一	11
簡便な液状化模型実験とその解析	岡山大学大学院 西村伸一	19

児島湖周辺の液状化危険度分布図について

岡山大学 西村伸一

1. 液状化危険度分布図について

図-1 にホームページ上に公開されているおかやま全県統合型 GIS-液状化危険度分布図を示す。ウェブサイトは

<http://www.gis.pref.okayama.jp/map/top/index.asp> である。

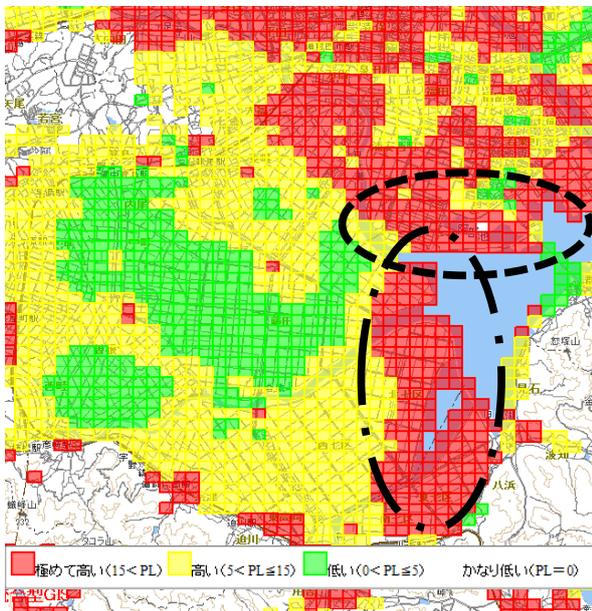


図1 おかやま全県統合型 GIS-液状化危険度分布図

図-1 は、南海トラフにおいて想定される最大クラスの地震が発生した場合を想定して作成されたものである。干拓地に焦点を絞り、図中の破線/一点鎖線の地域について、ボーリングデータに基づき検討を行う。

2. 検討に用いたデータ

液状化危険度分布図の検討に用いたデータは、岡山県地盤図（中国地方基礎地盤研究会 編集発行、1995年）より引用したものである。危険度が「極めて高い」と判定されている二つの地域（破線/一点鎖線の地域）について、検討を行う。

(1) 岡山南部地域（破線の地域）

この地域では、ボーリング柱状図と土質試験結果が一部得られている。

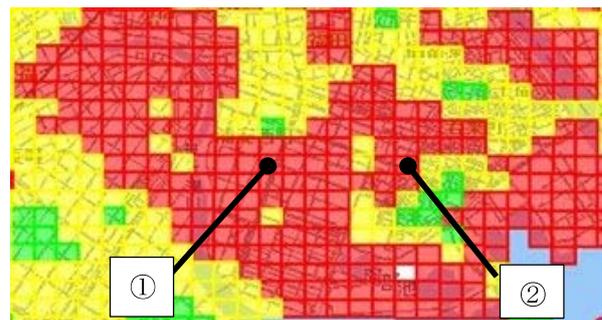


図2 岡山南部地域

図-2 は、図-1 の破線部の地域を拡大して示したものである。ボーリング柱状図は、上記範囲内で多数得られており、それぞれの地点の PL 値²⁾を計算すると、図-2 の液状化危険度と一致する。

次に①と②の点について、考察を加える。これらの点のボーリング柱状図では上層にシルトおよび粘土の層を確認することができる。このシルト・粘土層では、細粒分含有率 FC が 35% を超えているが、塑性指数 I_p が 15 を超える値となっており、液状化判定の対象からははずれる層である。従って、PL 値も低い値が得られている（ $PL=1\sim3$ 程度、つまり液状化危険度は「低い ($0 < PL \leq 5$)」)。しかし、①と②の地点の近傍では、液状化危険度が「極めて高い ($PL < 15$)」と判断されている。ボーリング柱状図が得られている①または②のところだけ周囲と地盤性状が異なっているとは考えにくいことから、周囲の地盤の液状化危険度を過大に（危険に）見積もっている可能性がある。

(2) 東七区・北七区・錦六区（一点鎖線の地域）

この地域のデータは、ボーリング柱状図のみ得られている。旧道路橋示方書に掲載されている、「土質分類と単位体積重量・平均粒径・細粒分含有率の概略値」を用いて計算すると、③および④では、危険度がそれぞれ「かなり低い ($PL=0$)」、「高い ($5 < PL \leq 15$)」となり、図-3 の「極めて高い」と

いう評価とは異なる結果となる。③では、ほぼすべて粘土層であるため、液状化危険度がかなり低いという結果が得られている。

図-3の液状化危険度が「極めて高い(15<PL)」領域には、ボーリング柱状図が19箇所で得られている。そのうち、「極めて高い(15<PL)」以外の判定が出た点が13点存在する。これらPL値が低く出た点は、(1)のケースと同様、上層に粘土・シルトの層が存在するためである。この地域においても、地盤の液状化危険度を過大に(危険に)見積もっている可能性がある。

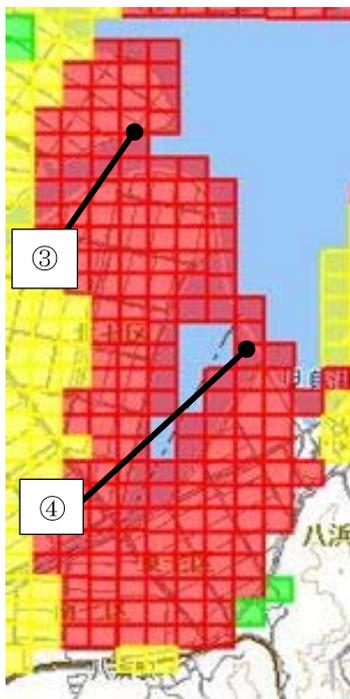


図3 東七区・北七区・錦六区

3. まとめ

Webで公開されている液状化危険度分布図は、過大に評価している場所がある。干拓地は、元々水面下に地盤があったため、液状化が発生しやすいというイメージを持たれることもあるため、液状化に対する正確な認識が重要である。

参考文献

- 1) 岡山県地盤図、中国地方基礎地盤研究会、岡山県建築士会、日本建築構造技術者協会中国支部、1995.
- 2) 道路橋示方書・同解説 V 耐震設計編、社団法人日本道路協会、2012.

岡山地域において懸念される津波災害

土質工学株式会社 橋徹

1. はじめに

西南日本の沿岸地域、なかでも東海地域から四国南部にいたる太平洋沿岸地域はこれまでに幾度も津波災害を経験してきた。古文書記録によれば684年の白鳳地震津波から1944年昭和東南海地震・1946年の昭和南海地震津波まで10数回の津波が西南日本の沿岸部に襲来したことが知られており、これらの記録に基づけば大地震による津波はおよそ100数10年間隔で発生していることがわかる。さらには津波によって海岸付近に再堆積させられた砂礫層（津波堆積物）が東海地域、紀伊半島沿岸地域、四国南部地域から見ついている。これらの津波堆積物は古文書に記録された津波および先史時代の津波を記録している。こうした過去の地震および津波の記録は、西南日本の沿岸部にほぼ周期的に大きな津波が襲来したことを示している。それゆえ、近い未来に地震および津波が発生することは確実であり、西南日本の沿岸地域では南海トラフ地震による津波災害への対策が検討されてきた。

しかしながら、2011年の東日本大震災の発生により、これまでの検討は十分なものではないと考えられるようになった。東日本大震災を引き起こした地震は、東日本の太平洋沿岸部の津波対策において想定されていた地震の規模を大きく上回っており、避難所に指定されていた施設ですら被災する事態が発生した。南海トラフを震源域とする地震についても、これまでは震源域の違いにより、東海地震・東南海地震・南海地震と分けられていたものが、これらがすべて連動して超巨大地震が発生する可能性が否定できなくなった。この巨大地震（南海トラフ巨大地震）の規模は、これまで西南日本において検討されてきた最も大きな地震（宝永地震に相当する）を上回っている。それゆえ、従来の検討は十分ではないと認識されるようになり、南海トラフ巨大地震を想定した津波災害対策の検討が国および自治体によって進められることとなった。

本論の対象としている岡山県の瀬戸内海沿岸地域でも、想定すべき津波の高さがより高いものと

なった。岡山県瀬戸内海沿岸部には太平洋沿岸部ほどの津波は押し寄せないものの、標高の低い地域が広いこと、想定される津波高の上昇は、この地域における津波災害の対策に大きな影響を及ぼす。それゆえ南海トラフ巨大地震（M9クラス）を前提とした、岡山県瀬戸内海沿岸部における津波災害対策を検討することが喫緊の課題となっている。本論の目的は岡山県瀬戸内海沿岸部における津波災害対策の有り様について論じることである。本論では東日本大震災以降に見直された内閣府および岡山県危機管理課による南海トラフ地震・津波の防災対策を踏まえ、どのような対策がなされるべきか検討した。

2. 岡山地域における津波予測

津波災害対策の在り方については2011年の東日本震災により大きく変更、改善されることとなった。想定される津波を2つのレベルに区分し（最大級および高頻度）、それぞれの規模・頻度に応じた対策が目指されるようになってきている（表1）。最大級の津波（レベル2）については、低頻度ではあるが、甚大な被害が想定され、生命を守ることに対策の重点が行われている（減災）。高頻度の津波については人的災害だけでなく、津波保全施設を用いて建造物等の被害も防ぐことも目指されている（防災）。

表1 想定される津波のレベル区分

津波レベル	津波の概要	対策方針
最大級 (レベル2)	数100年～1000年程度に1度発生する津波。発生頻度は極めて低いが、発生すれば甚大な被害をもたらす。	住民避難を柱とした総合的防災対策により減災を目指す。人的被害をなくすことを主眼とするとともに物的被害をなるべく小さくすることを目指す。ハザードマップの果たす役割が大きい。
高頻度 (レベル1)	数10年～100年程度に1度発生する津波。発生頻度が高く、津波高は低いが、大きな被害をもたらす。	被害の発生を防ぐことを目的とする(防災)。海岸保全施設(防潮堤等)の果たす役割が大きい。海岸保全施設の設計で想定される津波。

3. 岡山地域における津波予測

南海トラフ地震が近い将来に発生することは予測されているが、その規模について予測することは困難である。それゆえ最大級の津波(レベル2)を想定した予測、対策が検討されている。内閣府南海トラフの巨大地震モデル検討会の資料によれば、南海トラフ巨大地震(想定マグニチュード9.1)によって、岡山県の沿岸部には最大で3～4m程度の高さの津波が押し寄せると推定されている(表2)。岡山県南部の平野の多くは干拓地であり、標高が低い。それゆえ岡山市南部では広い範囲が浸水する可能性がある(図1)。

表2 岡山県の最大津波高(内閣府資料より)

市町村別ケース別 最大津波高(満潮時・地盤変動考慮)	ケース別										最大値 (m)	
	ケース1	ケース2	ケース3	ケース4	ケース5	ケース6	ケース7	ケース8	ケース9	ケース10		
岡山県	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
岡山市中区	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
岡山市東区	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
倉敷市	3	4	4	3	3	3	4	4	3	3	3	4
玉野市	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
笠岡市	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
備前市	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
瀬戸内市	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2

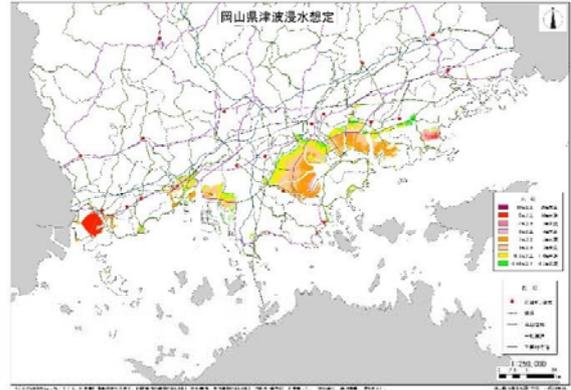


図1 岡山県の津波浸水想定図
(岡山県HPより)

岡山県危機管理課の資料によれば、南海トラフ巨大地震による津波によって、最大で1m以上浸水する領域はおよそ12000ha、1cm以上浸水する領域は19000haと推定されている。津波による人的被害は最も多い想定で3000人程度(死亡者)、建物被害はおよそ9000戸とされている。

4. 岡山県瀬戸内海沿岸地域で懸念される津波による災害

津波がどのような災害をもたらすかについては、対象とする地域の地形や土地利用状況が大きく影響する。東日本大震災では三陸海岸に襲来した津波と仙台平野に襲来した津波とではそれらの挙動が大きく異なった。

津波災害に対する脆弱性の観点から見て、岡山県瀬戸内海沿岸部には以下のような特徴が読み取れる。

- (1) 規模の大きな河川(吉井川・旭川・高梁川)が流下し、海岸平野を形成している
- (2) 岡山市南部を中心として標高の低い土地(干拓地)が広がる
- (3) 水島地域(高梁川河口部)には工業地帯が広がる
- (4) 東部地域(瀬戸内市～備前市周辺)はリアス式海岸となっている



図2 岡山地域の津波脆弱性

(1) 河川を遡上した津波による被害

津波は河川沿いに最も早く遡上し、かつ最も内陸部まで到達する。それゆえ河川沿いでは津波による被害が大きくなることが多い。岡山県内には吉井川・旭川・高梁川といった規模の大きい1級河川が中国山地から瀬戸内海へ流入しており、河口付近は標高の低い平野が形成されている。それゆえ、これらの河川沿いの地域、特に河口付近では大きな被害が発生することが懸念される。

加えて、河川の制水機能は通常、内陸部へと逆流する流れを想定していない。河川の衝水部は流下する流れと遡上する流れでは異なる。それゆえ現状の河川では遡上により(予期しない箇所での)破堤の危険性がある。また支流の合流部においては、海側からの流れに対する対策がなされていない場合が多く、支流沿いにも津波は侵入しやすくなっている。



図3 河川沿いの遡上において想定される脆弱性(吉井川の例)

(2) 干拓地の浸水

岡山県瀬戸内海沿岸部、特に岡山市南部の平野の多くは干拓によって形成されたものであり、標高の低い地域(ゼロメートル地帯)が広がっている。このような地域では津波による浸水を受けやすいだけでなく、浸水した海水の排出も困難である(津波後の海への流出がおきにくい)。すなわち被災および復旧の長期化が予測される。

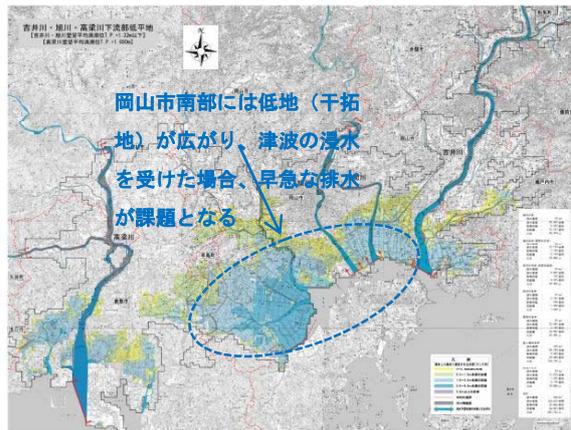


図4 岡山県南部の低地の分布(岡山県 HP より)
(児島湖周辺に低地が広がる)

(3) 臨海工業地帯の津波災害

高梁川河口部にあたる水島地区(倉敷市)は石油化学工場群(水島コンビナート)が形成されている。現在工場の敷地となっている場所の多くは埋め立てによって形成された軟弱な土地であり、地震による揺れや液状化による被害が懸念されている。さらには津波による浸水や建物の破壊といった通常の津波災害だけでなく、臨海部の近代化・工業化によって生じるようになった津波火災や、汚染物質(重油など)・有害物質の拡散も懸念される。



図5 高梁川河口域に広がる水島臨海工業地帯

(4) リアス式海岸での津波高の増大

一般に津波は水深が浅くなるほど、その波高が増大するが、小規模な湾と岬が繰り返すリアス式海岸では増大の仕方が著しく、しばしば想定以上の高さとなる。岡山県瀬戸内海沿岸部の東部（瀬戸内市～備前市周辺）の海岸では丘陵が海岸付近まで迫り、リアス式海岸となっている。この地域では湾奥部に集落があることも多く、想定を超える津波高により被災する懸念がある。



図6 岡山県東部のリアス式海岸の例（瀬戸内市虫明地区）

5. 岡山県瀬戸内海沿岸地域の津波災害に対して取り組むべき課題

以下の図7に、様々な津波の災害対策について、被害内容および被害対策ごとにその有効性を分類した。この図において、地域の特性に基づき岡山県における津波災害対策の検討の緊急度・必要度を色分けした。

岡山県瀬戸内海沿岸部では津波保全施設の設置や、緊急避難施設の設置、および避難訓練等が喫緊の課題である。

被害対象	被害内容	災害対策	緊急避難施設の設置	高台移転	都市計画・土地利用の見直し	ソフトマップ	避難訓練・防災教育	緊急避難施設の設置	避難訓練・防災教育
人	人的被害	○	○	△	○	○	○	○	○
建物・構造物	建物の破壊	○	○	○	《対象外》	《対象外》	《対象外》	《対象外》	《対象外》
	インフラの破壊	○	○	○					
	津波火災	×	○	○					
土地・環境	土地の浸食・堆積	○	○	○	《対象外》	《対象外》	《対象外》	《対象外》	《対象外》
	塩害・汚染物質の拡散	○	《対象外》	○					
	生態系への影響	▽	《対象外》	+					
津波廃棄物（瓦礫）	瓦礫の発生・移動	△	○	△	《対象外》	《対象外》	《対象外》	《対象外》	《対象外》
	海洋への流出	△	○	△					

図7 津波災害の区分

6. 津波災害対策

津波による災害は多様であり、その規模や被災地域の特性によっても大きく異なる。ここでは津波災害を被害対象に基づいて(1)人(人的被害)、(2)建物・構造物、(3)土地・環境に分けて考える。さらには被害対象とはやや異なるものの、被害の結果として発生し、東日本大震災では大きな問題となった(4)津波廃棄物(瓦礫)を加え、津波災害対策を検討することとする。それぞれの被害対象が被る被害内容は以下の表のようにまとめられるであろう。

表4 被害対象と被害内容

被害対象	被害内容
人	人的被害・生命の危険
建物・構造物	建物の破壊
	インフラの破壊
	津波火災
土地・環境	土地の浸食・堆積
	塩害・汚染物質の拡散
	生態系への影響
津波廃棄物（瓦礫）	瓦礫の発生・移動
	海洋への流出

このような被害内容に対する対策についても様々なものがある。ハザードマップのようなもっぱら人命を守るための対策もあれば、津波保全施設のような人命だけでなく建物等にも有効な対策もある。ここではハード的対策として津波保全施設の設置、高台移転、都市計画・土地利用の見直し、ソフト的対策としてハザードマップの作成、避難訓練・防災教育、ハード的かつソフト的

な対策として緊急避難施設（避難タワーや避難ビル等）の設置、救助・医療・生活支援体制の拡充を取り上げ、上記の被害内容との関連を表にまとめた（表5）。

- (2) 津波保全施設の設置
- (3) 避難訓練・防災教育および緊急避難施設の設置

表5 被害対象・被害内容と災害対策の関連

被害対象	被害内容	災害対策						
		津波保全施設 の設置	高台移転	都市計画・土 地利用の見直し	ハザードマップ の作成	避難訓練・災 害教育	緊急避難施設 の設置	救助・医療・生 活支援体制の 拡充
人	人的被害	○	○	△	○	○	○	○
建物・構造物	建物の破壊	○	○	○	（対象外）			
	インフラの被害	○	○	○				
	津波火災	×	○	○				
土地・環境	土地の浸食・覆被	○	（対象外）	○				
	塩害・汚染物質の拡散	○		○				
	生態系への影響	×		?				
津波廃棄物 （瓦礫）	瓦礫の発生・移動	△	○	△				
	海洋への流出	△	○	△				

○	被害内容の低減にあたって有効な対策
△	被害内容の低減にあたってある程度は有効な対策
×	被害内容の低減にあたって有効でない対策
?	被害内容の低減において有効性が明確でない対策
（対象外）	元来その被害内容を対象としない対策

表5に示された対策について、岡山県瀬戸内海沿岸地域において検討が急務なもの等で区分を試みた（表6）。

表6 岡山県瀬戸内海沿岸地域における津波対策状況

被害対象	被害内容	災害対策						
		津波保全施設 の設置	高台移転	都市計画・土 地利用の見直し	ハザードマップ の作成	避難訓練・災 害教育	緊急避難施設 の設置	救助・医療・生 活支援体制の 拡充
人	人的被害	○	○	△	○	○	○	○
建物・構造物	建物の破壊	○	○	○	（対象外）			
	インフラの被害	○	○	○				
	津波火災	×	○	○				
土地・環境	土地の浸食・覆被	○	（対象外）	○				
	塩害・汚染物質の拡散	○		○				
	生態系への影響	×		?				
津波廃棄物 （瓦礫）	瓦礫の発生・移動	△	○	△				
	海洋への流出	△	○	△				

○	被害内容の低減にあたって有効な対策	黄色	検討が急務
△	被害内容の低減にあたってある程度は有効な対策	オレンジ	検討が必要
×	被害内容の低減にあたって有効でない対策	赤	十分に検討済み
?	被害内容の低減において有効性が明確でない対策	緑	現時点では検討が困難
（対象外）	元来その被害内容を対象としない対策	灰色	検討の必要なし・対象外

岡山県瀬戸内海沿岸地域における津波災害の対策として、津波保全施設の設置および避難訓練・防災教育、緊急避難施設の設置が急務と思われる。

7. まとめ

岡山県瀬戸内海沿岸地域の津波災害対策として、今後取りくむべき課題として以下のことが挙げられる。

- (1) 津波の痕跡（津波堆積物）に基づく津波挙動の解明、津波シミュレーションの補間

巨大地震による斜面崩壊の予測と対策

岡山大学 鈴木茂之

1. はじめに

兵庫県南部地震や鳥取県西部地震など、内陸直下型の震源地周辺では急傾斜地の斜面崩壊が多く発生している。東北地方太平洋沖地震のような巨大地震でも、震源地から離れているにもかかわらず斜面崩壊が発生している。南海地震を想定した場合、岡山県は太平洋沿岸地域よりさらに数10km以上離れているが、後述するように斜面崩壊の発生する危険性のある場所がいくつか存在することが考えられる。岡山県南部の備前市周辺で検討を行ったが、そのうち危険と考えられる伊部屏風岩周辺の例を以下に示す。

2. 伊部屏風岩周辺地域の地形

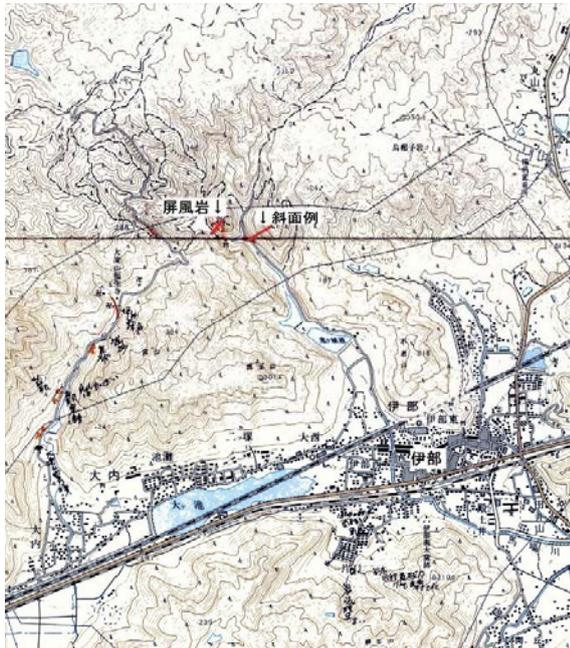


図1 伊部屏風岩周辺地域の地形
(断面図、図2及び図3の位置を赤線で示す。)

標高200m付近より高い位置に、吉備高原をなす古い小起伏面が尾根部に残っている。この古い吉備高原地形を浸食した新しい地形が山地斜面をなしている。吉備高原地形との境界は遷急線をなし、その直下は急傾斜斜面をなす。特に伊部を流

れる馬場川上流の屏風岩周辺は急傾斜地が多く存在する。

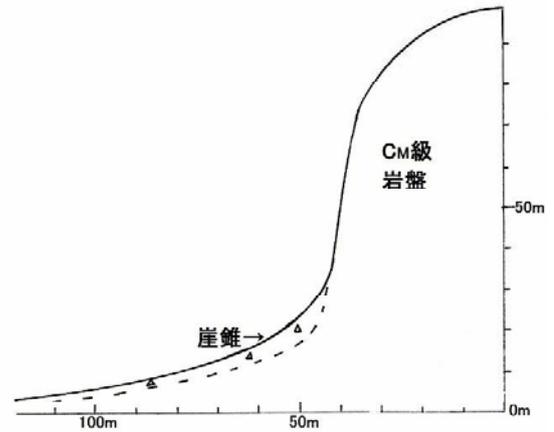


図2 屏風岩の地形断面および写真

屏風岩は図2に示されるように急な斜面をなしている。写真のように60°を超す崖をなしている。崖の高さは50m近くに達する。

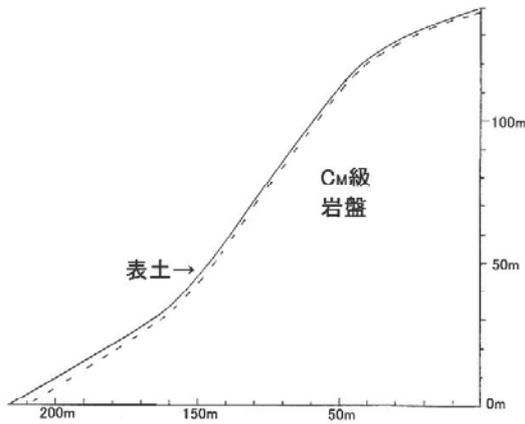


図3 屏風岩東方の斜面および写真

また図3にあるように、植生に被われた斜面でも、傾斜が 45° に達するものがある。

3. 伊部屏風岩周辺地域の地質

広く白亜紀後期の火山活動で形成された流紋岩質火山岩が分布している。流紋岩質溶岩から凝灰岩からなる。いずれも珪質で堅硬な岩石をなし、強度が大きい。しかし節理が発達しており、場所によって方向や開口性が異なるが、露出している岩盤は一般にCM級である。

屏風岩の麓では幅数10cm間隔の明瞭な節理が発達している。節理の方向は崖斜面の面に沿っている(図4)。屏風岩を遠望すると、同様の節理が発達し、一部開口している。

植生が発達する斜面は表土に被われている。道路際では頻繁に表層崩壊が認められ、表土が露出している。厚さは1~2m程度で土砂および岩盤由来の角礫からなる。D級程度の強度と推測される。



図4 屏風岩麓の露岩：垂直な節理が明瞭



図5 斜面の表層崩壊の例

4. 伊部屏風岩周辺地域での斜面崩壊の可能性

南海地震がマグニチュード9で発生した場合、岡山県南部備前市における岩盤地域の震度予測は、岡山県¹⁾によって震度5弱から5強が想定されている。岡山の地盤震動研究会²⁾の予測によると、南海トラフ断層中央部から破壊が同心円状に進行する仮定で求めた工学的基礎地盤位置での加速度は、地震のマグニチュードが8.4とした場合100Gal程度である。これまでの経験から震度5を超えたあたりから斜面崩壊発生の頻度が大きくなることから、何らかの災害がおこる可能性がある。

図2の屏風岩では、岩盤は堅硬であるが、斜面が 60° を超える急傾斜をなしており、節理の方向は鉛直方向で一部トップリングをおこす方向にある。このことは比較的弱い揺れでも落石があり、強い揺れでは岩盤崩壊を起こす可能性が考えられる。この崖付近に民家はないが、神社の祠があることから、なんらかの対策が必要と思われる。

図3の斜面は約 45° の急傾斜部が広く存在する。周囲の露岩から推測して、地盤は堅硬であると考えられるが、ルーズな表層が1~2m程度被つ

ている。地震動による表層崩壊の可能性は否定できない。急傾斜部が広いことから、多量の崩壊土砂をなす可能性もある。この斜面の下には地方道がある。

5. 岡山県で今後検討すべき対策

このように地震による斜面崩壊危険箇所は容易に見出すことができ、今後綿密な調査を岡山県全域に行って、ハザードマップを作成し、災害に備える必要がある。以下のように主な検討項目が考えられる。

- (1) 岡山県の地形や地質に対応した危険箇所の判定や危険性の程度を見積もる手法を検討する。
- (2) ある地区単位ごとに斜面災害危険箇所を抽出する。
- (3) 地区ごとの自治組織と連携して対策を検討する。

引用文献

- 1) 岡山県ホームページ：
http://www.pref.okayama.jp/uploaded/life/311947_1422078_misc.pdf
- 2) 岡山の地盤震動研究会(1999):岡山県南部地域の地震アセスメントに関する調査研究報告書

巨大地震を引き金とする土砂災害の発生危険度評価

岡山理科大学 佐藤 丈晴
岡山理科大学 西村 敬一

1. はじめに

岡山県では、南海トラフ巨大地震によって甚大な被害が出ると想定されている。津波、液状化、ゆれやすさなどのハザードマップが発行され、住民に配布されている地域もある。土砂災害についても、岡山県や自治体によって独自の検討が進んでいる。

近年、中越地震、宮城岩手内陸地震といった地震によって、多くの地域で土砂災害が発生し、天然ダムなどの新たな課題も生じた。東日本大震災の被災事例研究より、傾斜量が急な箇所¹⁾、斜面地形が凸状の箇所²⁾が災害発生の特徴と記されている。地震時における土砂災害の発生危険度評価については、国土技術政策総合研究所の研究^{3),4)}によって危険度評価式（以下評価式と記述する）が提案されている。この評価式においても、危険度の評価に用いる要因として、傾斜量と曲率（地形の凹凸）と最大加速度が採用されており、東日本大震災で被災した災害箇所の特徴に合致した地形要因を採用している。提案された評価式は、平成7年の兵庫県南部地震の崩壊事例を基に設定された式であるが、東日本大震災において東北地方で再現解析が実施され、一定の適用性があることが既往の研究で示されている⁵⁾。

しかしながら、この評価式で採用されている地震時の加速度評価指標は、距離減衰式を採用している。距離があるほど、地震の影響は小さくなるという考えに基づいているが、実際の地震の影響は、地盤の状況に大きく依存している。今後想定される南海トラフ巨大地震を対象とした場合、内閣府の中央防災会議では、岡山県における定量的に算出された基盤震度⁶⁾を採用して揺れやすさや液状化範囲等、地震現象に基づく様々な検討が実施されている。中央防災会議で検討された複数のケースの中で、岡山県における揺れが最大になると想定される「陸側ケース」すなわち、特に強い地震波を放射する強震動生成域が、想定震源域の中の最も陸側に形成される場合である。このデータを採用することで、土砂災害の危険度評価にお

いても、岡山県の地盤状況に応じた信頼度の高い評価ができると考えられる。

本研究は、東日本大震災の被災事例にも適用した既往の評価式に基づき、最大加速度について改善提案を行うものである。適用地域は、岡山県南部地域でも山地が市街地にせまっている玉野市について評価を行い、危険度評価マップ(案)を作成した。

2. 採用した基礎データと危険度評価式

内田他(2004)³⁾では、急傾斜地崩壊危険箇所の範囲に対して代表断面を設定し、その斜面上部、中部、下部のメッシュに対して、傾斜度、平均曲率、最大加速度を計算する。そして、式(1)に示す評価式に代入して急傾斜地崩壊危険箇所ごとの危険度を算定している^{3),4)}。

$$F=0.075 \times [\text{傾斜度}(\text{°})] - 8.9[\text{平均曲率}] + 0.0056 \times [\text{最大加速度}(\text{cm/s}^2)] - 3.2 \dots (1)$$

Fが大きくなるほど危険と判定される。

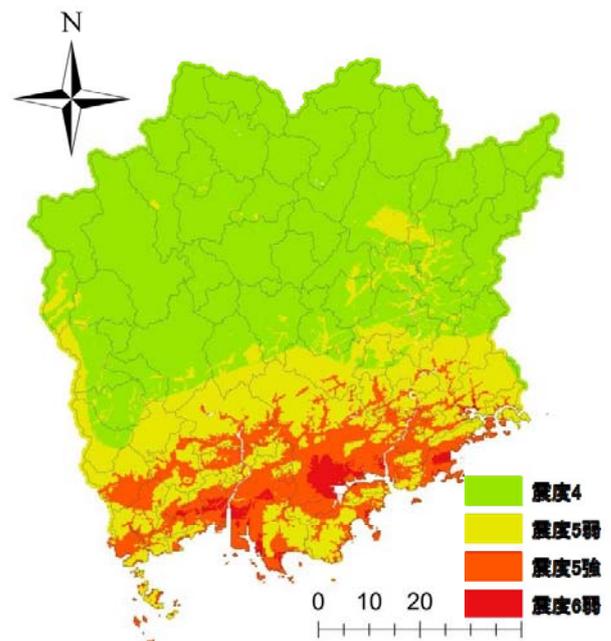


図-1 用いた震度(基盤深度に震度増分を追加)

しかしながら、地表での地盤のゆれは表層のやわらかい地盤の影響で深部よりも大きくゆれると想定されている⁶⁾。地表でのゆれが深部（工学的基盤）でのゆれに対して大きくなる割合（計測震度増分）を考慮した結果が、図-1に示した震度分布図である。図-1は、岡山県に最も大きな影響を与える陸側ケースである。南部の干拓地及び低平地では、最大震度6弱の揺れが想定されている。

本研究では、内閣府の中央防災会議で示された工学的基盤震度に平均S波速度(AVS30)⁸⁾の影響による震度増分を、横田他の式⁹⁾を用いて加算した。ここでAVS30は、ボーリング資料や微地形などから推定された深さ30mまでの平均S波速度である。岩盤露出斜面等AVS30mが計算できない場合は、工学的基盤震度をそのままを用いた。ここで得られた値から童、山崎の式を用いて最大加速度を算定した¹⁰⁾。なお上記算定に当たっては、1kmメッシュで与えられた工学的基盤震度から、岡山県全域で250mメッシュごとに内挿補完し、ボーリングデータ等の詳細な地盤情報に基づいた地表の加速度を算出した。

以上、地震動データの作成に関するフローを下に示した。

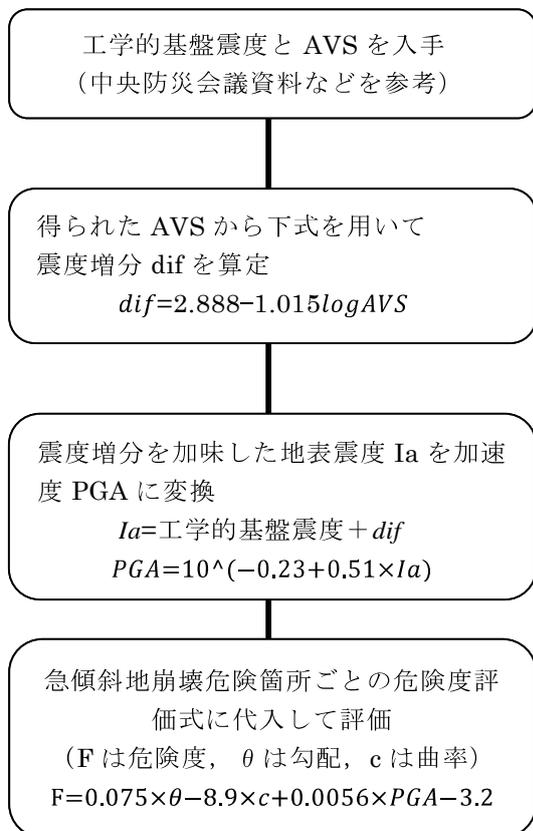


図-2 最大加速度データの作成手順

傾斜度や平均曲率は、国土交通省基盤地図情報の10mDEMデータ（標高）を用いて、地形量を算定した。

傾斜度は、下式に基づいて算定した¹²⁾。数式中のa~iについては、図-3に示した。下式は、中央に位置するセルeの傾斜度の算定式である。

$$(\text{傾斜度}) = \text{atan}(\alpha) \times 57.29578$$

$$\alpha = \sqrt{\left(\frac{dz}{dx}\right)^2 + \left(\frac{dz}{dy}\right)^2}$$

$$\frac{dz}{dx} = \frac{\{(c + 2f + i) + (a + 2d + g)\}}{8 \times l(x)}$$

$$\frac{dz}{dy} = \frac{\{(g + 2h + i) + (a + 2b + c)\}}{8 \times l(y)}$$

$l(x)$: x方向のグリッドサイズ

$l(y)$: y方向のグリッドサイズ

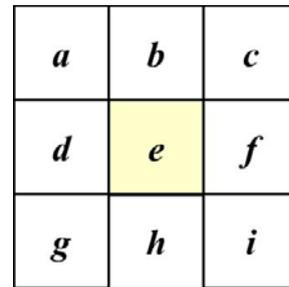


図-3 グリッドe周辺のグリッドの名称

玉野市全域の傾斜度について、算定した結果を図示した。

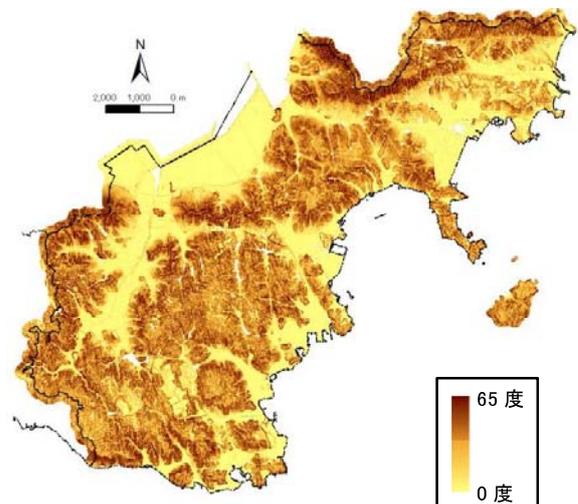


図-4 玉野市の傾斜度分布図

続いて曲率について、傾斜度と同様に図-3 を用いて算定式を以下に示した¹²⁾。

$$(\text{曲率}) = -2(D + E) * 100$$

$$D = \left(\frac{d+f}{2} - e \right) / l(x)^2$$

$$E = \left(\frac{b+h}{2} - e \right) / l(y)^2$$

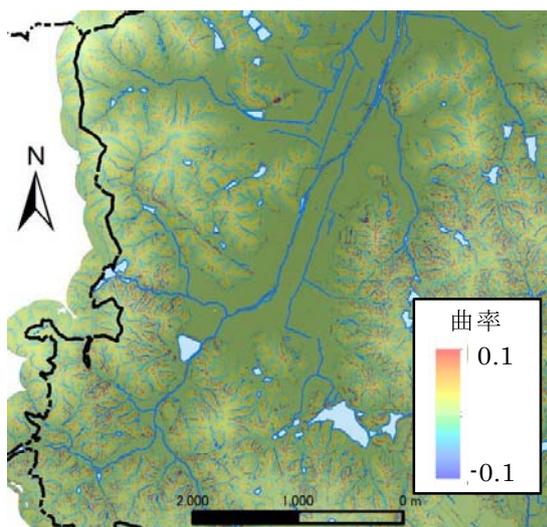


図-5 曲率の分布図（尾根が黄色、谷が水色）

急傾斜地崩壊危険箇所的位置と形状については、国土数値情報¹³⁾のデータを採用した。土砂災害危険箇所データから急傾斜地崩壊危険箇所を抽出し、地図上にプロットした。

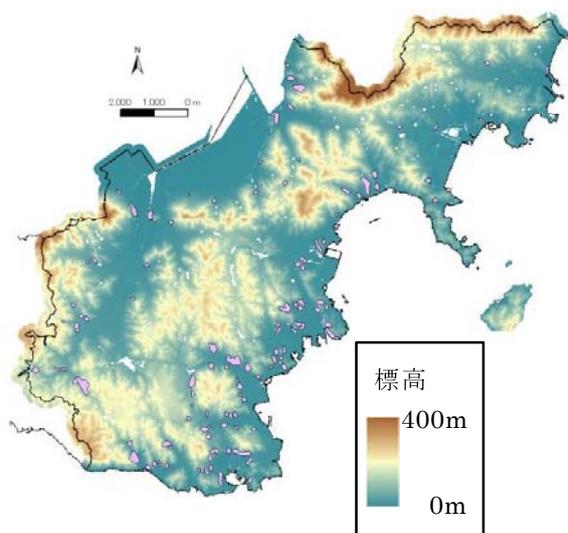


図-6 玉野市における急傾斜地崩壊危険箇所（図中ピンク色の位置が急傾斜地崩壊危険箇所）

このポリゴンデータを用いて、危険箇所ごとの計測座標を算定し、傾斜度、曲率、最大地震加速度のデータを抽出した。以下に、玉野市における急傾斜地崩壊危険箇所の分布図を示した。本研究では、119 箇所の急傾斜地崩壊危険箇所を対象に式(1)を用いて危険度評価を行った。

3. 危険度評価結果

以上の算定式を用いて整理したデータを基に式(1)に代入して急傾斜地崩壊危険箇所ごとの危険度を算定した。相対的な危険度を着色によって分類した図を示した(図-7)。また、併せて国土数値情報で整理されている避難施設（災害対策基本法に基づき都道府県及び市町村により作成された地域防災計画に示される避難施設）を併せてプロットした。

4. 避難施設が急傾斜地直下にある現地の状況

避難施設が急傾斜地崩壊危険箇所のポリゴンに含まれている箇所について現地の状況を確認した。現地の状況と調査結果については巻末に整理した。現地を確認した箇所は、図-7に記載した。

5. 今後の課題

今後の課題を以下に列挙する。

- ・式(1)は兵庫県南部地震に起因した急傾斜地崩壊危険箇所の災害状況に基づいた評価式である。近年の他の地震時に起因した土砂災害の発生状況で確認されているが、東日本大震災における土砂災害については、他の直下型地震と比較して、若干傾向が異なっていることが確認されている¹¹⁾。

この点に関して、東日本大震災で発生した土砂災害箇所の地形と震度特性を確認し、式(1)の係数の見直しの検討が課題として残されている。

- ・併せて相対的に危険度の高い箇所を抽出したものの、どのくらいの確率で崩壊が発生するかについて、評価できなかった。この課題においても東日本大震災の崩壊データを収集整理し、傾向分析を行って、危険度得点と崩壊発生率の関係を分析したい。
- ・地震の震度データに関しては、今回内閣府が算定した 250m メッシュのデータを採用し、従前と比較して大幅に精度が向上したと考える。しかしながら、本データについても粗さが目立つことから、より詳細なデータが入手できれば、再度の改善を図っていきたい。

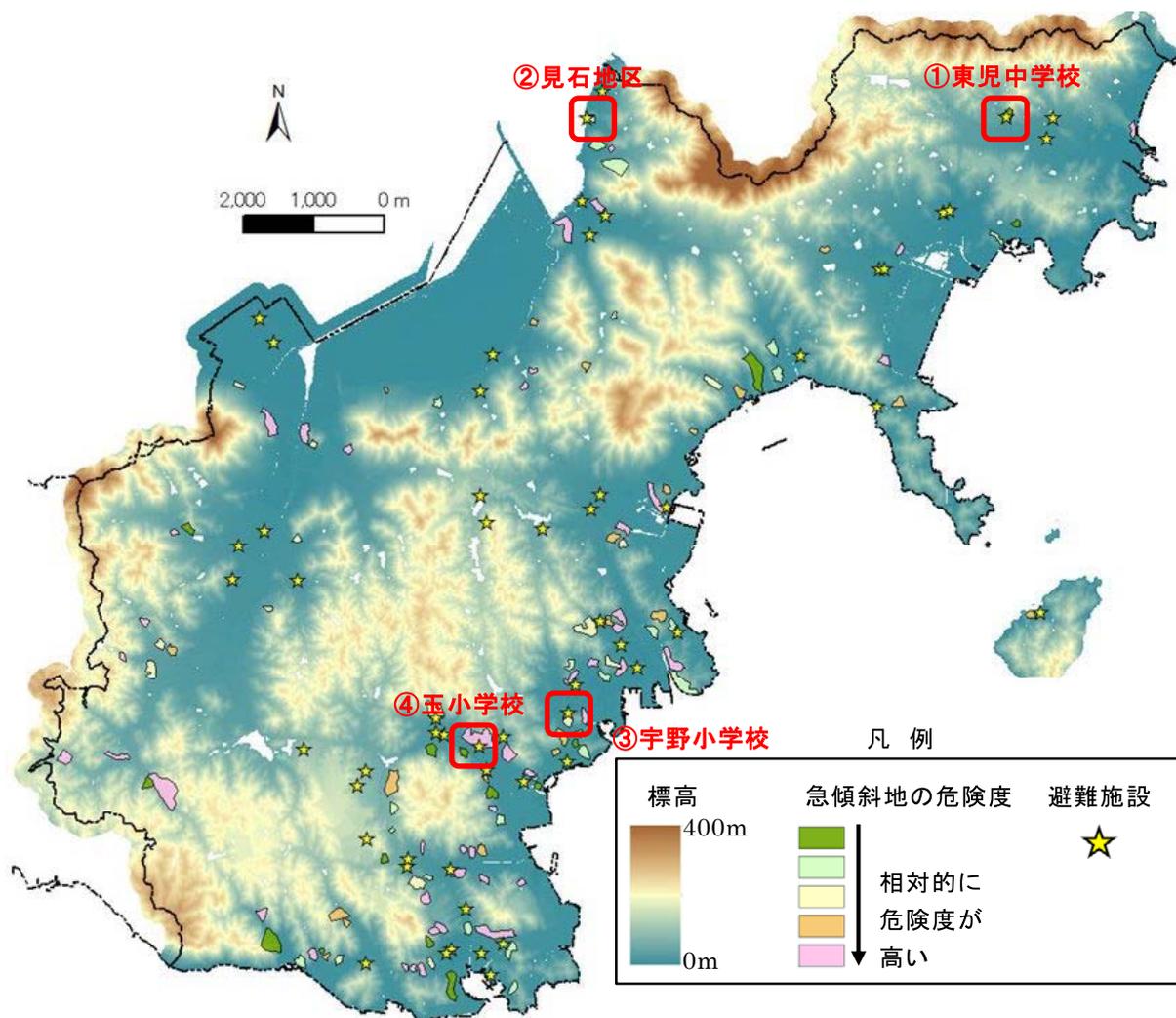


図-7 危険度評価結果と避難施設の分布

・本論文で用いた急傾斜地崩壊危険度の評価式(1)は、1995年兵庫県南部地震をはじめとするM6～7クラスの地震による斜面崩壊事例から導かれたものである。この式をM9クラスと想定される南海トラフ巨大地震に適用する場合に問題になるのは、地震動継続時間の影響が考慮されていないことである。斜面崩壊の危険度は、最大加速度の大きさだけでなく震動の継続時間の長さにも左右されると考えられるので、今後、各地の地震動継続時間が3分以上に及んだ東北地方太平洋沖地震による被害事例を、この観点からも分析したい。

<引用文献>

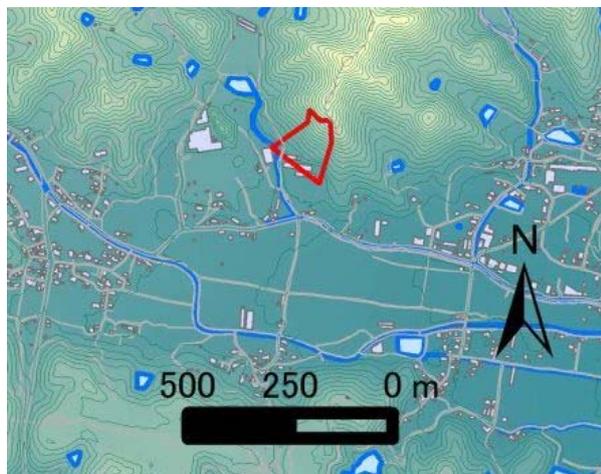
- 1) 千葉紀行, 檜垣大助, 宮城豊彦, 佐藤剛: 東北地方太平洋沖地震による南岸の崩壊の特徴, 第51回日本地すべり学会研究発表会講演集, pp204, 2012.8
- 2) 武士俊也, 石田孝司, 杉本宏之, 阿部大志, 宇都忠和, 坂野弘太郎, 本間宏樹: 平成23年東北太平洋沖地震によって福島県白河市で発生した地すべりの地形・地質的特徴, 第51回日本地すべり学会研究発表会講演集, pp185, 2012.8
- 3) 内田太郎, 片岡正次郎, 岩男忠明, 松尾修, 寺田秀樹, 中野泰雄, 杉浦信男, 小山内信智: 地震による斜面崩壊危険度評価手法に関する研究, 国土技術政策総合研究所資料 No204, 2004.11
- 4) 小山内信智, 秋山一弥, 松下智洋: 地震時の急傾斜地崩壊危険箇所危険度評価マニュアル(案)(個別箇所における危険度評価手法)に関する研究, 国土技術政策総合研究所資料 No511, 2009.1
- 5) 奥山悠木, 野村康裕, 岡本敦, 高山陶子, 戸村健太郎: 地震時斜面崩壊危険度評価手法の高度

化に関する検討, 平成 25 年度砂防学会研究発表会概要集, pp.B-371, 2013.5

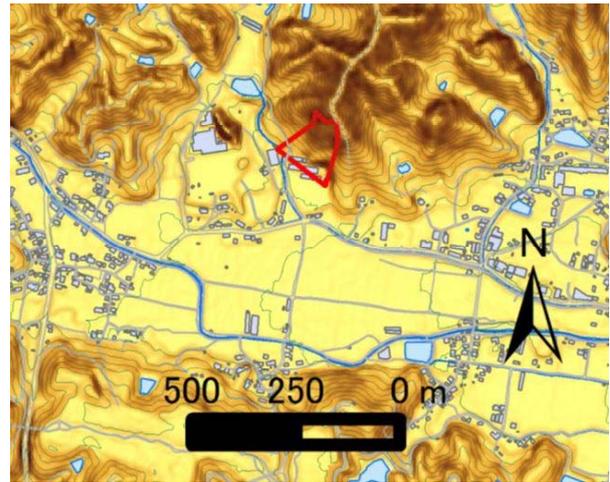
- 6) 中央防災会議: 南海トラフ巨大地震の被害想定について(第二次報告)～ 施設等の被害 ～【定量的な被害量】 2013.3
- 7) 国土地理院: 基盤地図情報サイト <http://www.gsi.go.jp/kiban/>
- 8) 南海トラフの巨大地震モデル検討会: 第 15 回会合【定量的な被害量】 AVS30 と震度増分について 2012.3
- 9) 横田崇, 稲垣賢亮, 増田徹 (2005): 数値実験による地盤特性と増幅率の関係, 日本地震学会講演予稿集 (2005 年度秋季大会), B064, 86
- 10) 童華南, 山崎文雄: 地震動強さと新しい気象庁震度との対応関係 生産研究 vol48, No11, 1996.11
- 11) 奥山悠木, 内田太郎, 秦雅之, 蒲原潤一, 高山陶子, 松田昌之: 地震による斜面崩壊危険度の絶対的評価に向けての検討, 平成 26 年度砂防学会研究発表会概要集, pp.B-319, 2014.5
- 12) ArcGIS10.2 ヘルプページ
- 13) 国土地理院: 国土数値情報ダウンロードサービス <http://nlftp.mlit.go.jp/ksj/>

< 1. 東兎中学校裏斜面 >

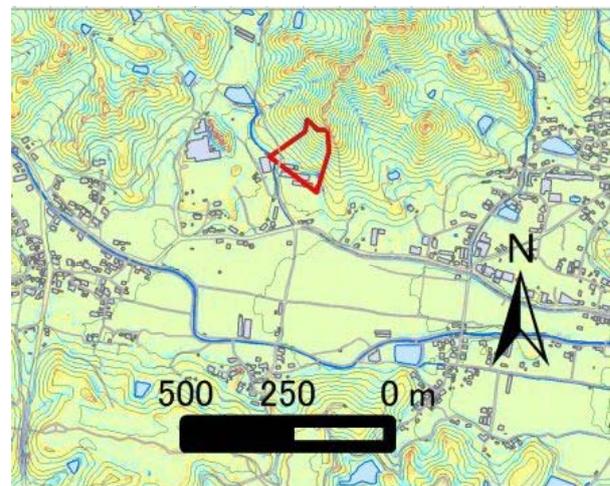
遠方から岩盤が露出した状況が確認できる平坦な斜面である。斜面の勾配は上部ほど急であり、斜面内の凹凸もそれほど顕著ではない。今回の評価では、相対的に危険度は低いと評価されたが、他か所と比較するとその評価は妥当と思われる。



参考図-1 周辺地域の地形図



参考図-2 周辺地域の傾斜区分図



参考図-3 周辺地域の曲率図

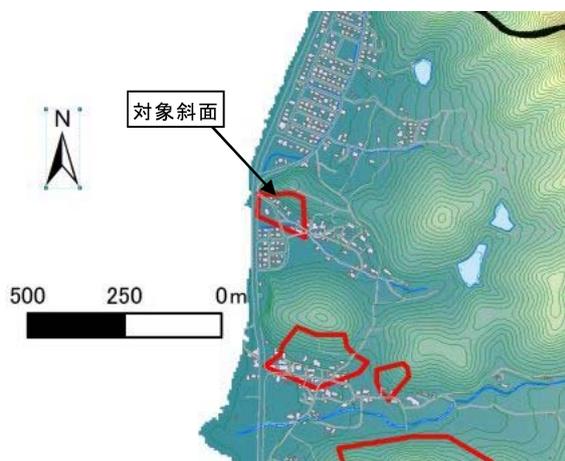


写真-1 対象斜面の状況

< 2. 八浜町見石地区 >

民家のすぐ裏の急崖である。民家裏に非常に近接した斜面であり、急傾斜の表面を法枠で防災対策が実施されている。

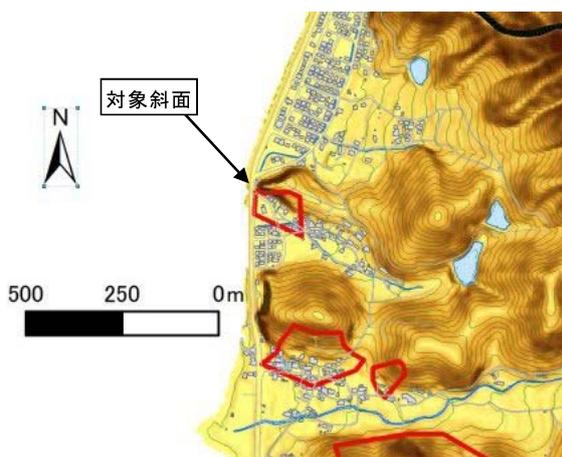
民家裏のため、近接して確認できなかったが、対策に変状はなかった。やや危険度が高いと評価されていたが、防災対策が実施されていることから、大幅に危険度は軽減されると考える。



参考図-4 周辺地域の地形図



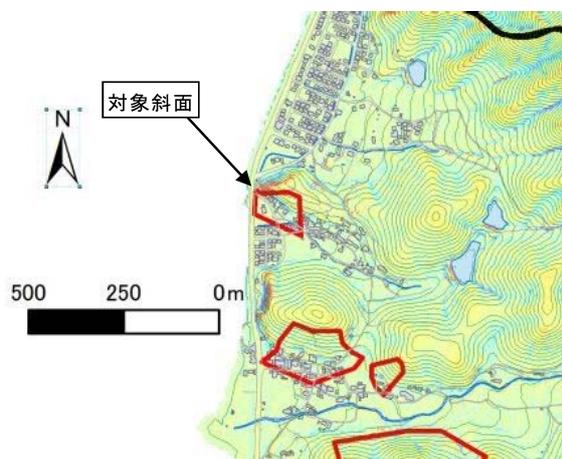
写真-2 民家裏の状況



参考図-5 周辺地域の傾斜区分図



写真-3 対象斜面の状況



参考図-6 周辺地域の曲率図

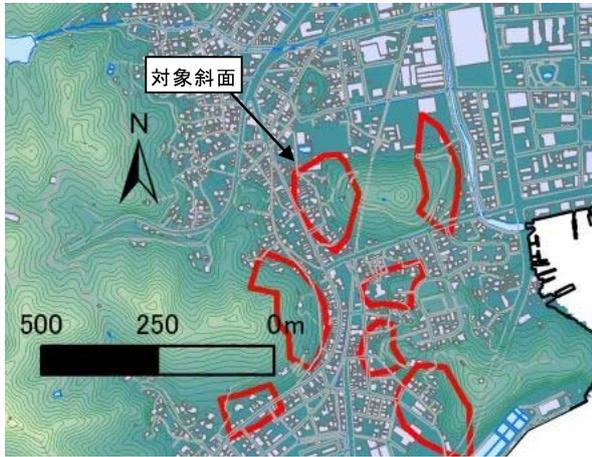


写真-4 対象斜面の正面遠景

< 3. 宇野中学校裏 >

お椀型の山体で民家及び小学校の裏が急崖となっている。一部で防災対策が実施されているものの、対策はほとんどない。民家の壁ははらみ出しが見られ、土砂流出の危険性が高い斜面である。

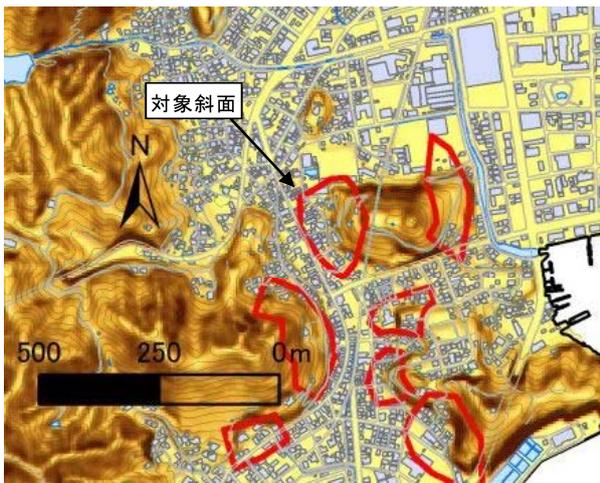
解析結果では、やや危険度が高いと評価されたが、2の箇所と比較して対策の状況から、この箇所の危険度がより高い。



参考図-7 周辺地域の地形図



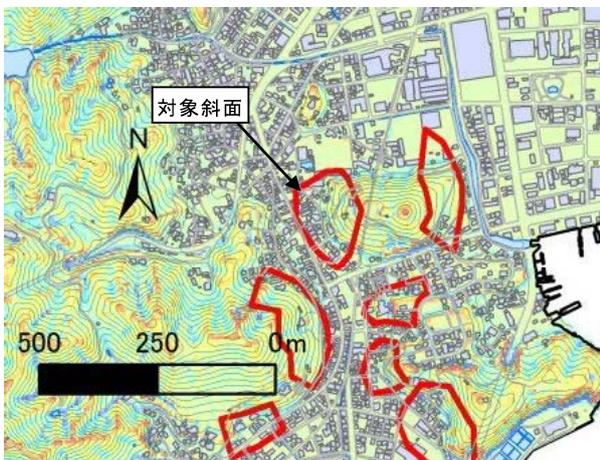
写真-5 急傾斜地崩壊危険箇所の看板



参考図-8 周辺地域の傾斜区分図



写真-6 対象斜面の正面遠景



参考図-9 周辺地域の曲率図



写真-7 対象斜面の防災対策

< 4. 玉小学校裏急傾斜地 >

住宅密集地にある斜面で、地形の凹凸が著しいことが、傾斜区分図と曲率図より見て取れる。斜面末端及び中腹にまで宅地が密集しており、対策もほとんど実施されていない。

斜面に迫っている民家裏は急崖となっているが、その他の斜面は、土砂の堆積が進んでおり、地震による崩壊が発生しやすいと考える。この急傾斜地は、最も危険な斜面と評価されており、現地を確認した4か所では最も危険度が高い箇所である。



参考図-10 周辺地域の地形図



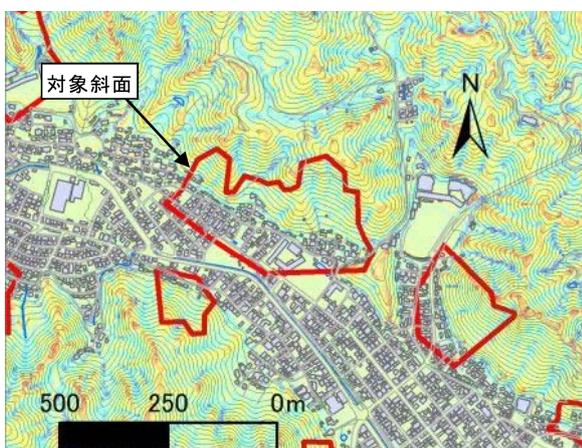
写真-8 対象斜面の遠景



参考図-11 周辺地域の傾斜区分図



写真-9 対象斜面の状況



参考図-12 周辺地域の曲率図



写真-10 対象斜面の状況

簡便な液状化模型実験とその解析

岡山大学 西村伸一

1. はじめに

本論文では、簡便な動的模型実験装置を提案し、解析により検証を行う。本試験機は要素試験と同程度に簡便に実施することができるのが特徴である。本論文では開発した簡便な液状化試験機を用いて模型実験を行った。さらに既存の動的有効応力解析用有限要素法である LIQCA¹⁾ を利用し、実験結果と解析結果の比較を行った。模型試験結果を利用し、現在用いられている構成式に基づいた解析法を大幅に簡略化した解析法を提案することが最終的な目的である。

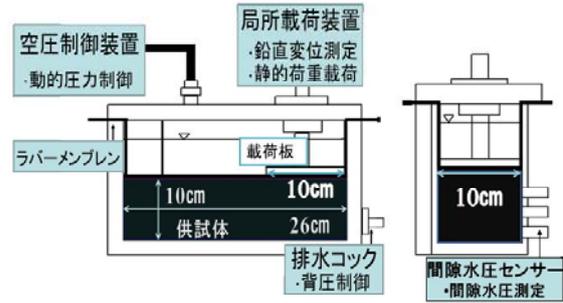


図1 試験機模式図

2. 実験概要

作成した液状化試験機の模式図を図1に示す。液状化は砂地盤で起きるため、珪砂を用いて奥行き10cm横26cm高さ10cm程度の供試体を作成した。本試験機は砂地盤の上にある盛土の液状化を模擬しようとするものである。本試験機は、空気圧制御による動的荷重と、静的局所載荷が同時にできるようになっており、地震時の構造物の二次元的な挙動が模擬できる仕組みになっている。また、コンパクトな構造になっているため、振動台実験や遠心模型実験と比べて試験実施が極めて簡単である。

供試体には、ラバーメンブレンを通して表面全体に動的荷重が負荷される。また、ラバーメンブレンによって非排水状態が保たれる。今回は、動的荷重として図2に示すサイン波を用いている。載荷板を通して静的局所載荷がなされる構造となっており、動的試験では、動的載荷と一定の静的局所荷重を同時に負荷している。載荷板は奥行き10cm、横10cmで、載荷板の位置で鉛直変位を、その直下3カ所の高さで間隙水圧を測定している。

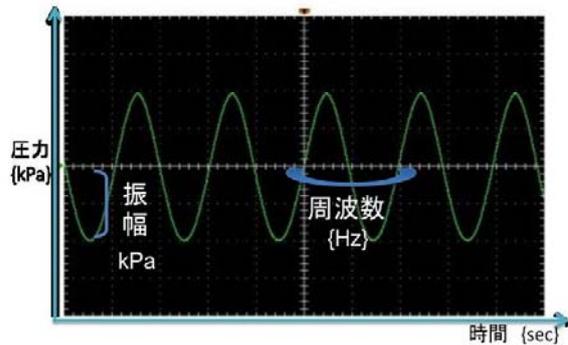


図2 繰り返し動的圧力模式図

3. 実験条件

空圧制御装置を用いてサイン波で繰り返し荷重を10分間載荷した。また、そのサイン波の振幅を40、70、100、130kPaの4通りとし、静的局所載荷重を0.4、0.8、1.2kNの3通り、合計12通りの実験を行った。

動的載荷をする前に、空気圧による拘束力を200kPa、背圧を150kPaと設定し、排水コックを開いて圧密を終了させ、初期有効拘束圧を50kPaとした。さらに、静的局所荷重を載荷して、圧密を終了させた。今回の実験では、サイン波の周波数を0.5Hzと固定した。間隙水圧、鉛直変位を0.5秒間隔で計測し、二次元変位は、動画を撮影した。その他初期条件として、平均供試体高さは0.107m、平均初期間隙比 e_0 は1.00、平均相対密度 D_r は12.55であった。

4. 解析結果との比較

本研究では、液状化挙動が表現できる動的有効応力解析用有限要素法である LIQCA を使って解析を行った。局所載荷板は弾性モデルを、珪砂層には繰返し弾塑性モデルを適用した。パラメータは、供試体作成時の計測結果や供試体材料の室内試験²⁾³⁾から表1のように設定した。また、今回、土質試験で設定できなかったパラメータについては、一般的な砂層パラメータの値とした¹⁾。境界条件や排水条件、サイズなど詳細を図3に示す。メッシュサイズはすべて横1cm、高さ1cmである。

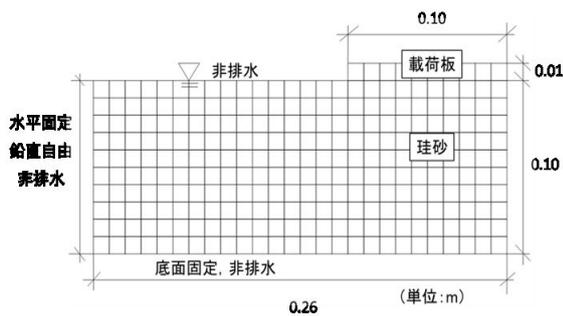


図3 解析モデル

表1 解析パラメータ

パラメータ名	記号	供試体
湿潤密度	$\rho_t \{g/cm^3\}$	1.82
透水係数	$k\{m/s\}$	2.48E-04
初期間隙比	e_0	1.0005
圧縮指数	λ	0.0988
膨潤指数	κ	0.0228
疑似過圧密比	OCR*	1
無次元化初期せん断係数	G_0/σ'_m	873
変相応力比	M_m^*	0.909
破壊応力比	M_f^*	1.122
硬化関数中のパラメータ	B_0^*	2200
	B_1^*	30
	C_f	0
規準ひずみ(塑性剛性)	γ_r^{P*}	0.005
規準ひずみ(弾性剛性)	γ_r^{E*}	0.01
ダイレイタンシー係数	D_0^*	5
"	n	1.5
異方性消失のパラメータ	C_d	2000

図4、図5では、振幅130kPa、局所荷重1.2kNのときの、間隙水圧の比較を行っている。実験後の間隙水圧の値が実験前より初期有効拘束圧分の50kPa上昇することが観察された。これにより、初期有効拘束圧のみが載荷されている供試体の部分は有効応力が0となり、液状化していると推測される。解析結果も実験結果と同じように、加振後の間隙水圧の値が加振前より初期有効拘束圧分の約50kPa上昇している。しかし、実験結果は0秒から100秒以降は間隙水圧がほぼ一定になっているのに対し、解析結果は0秒から600秒まで間隙水圧が上昇し続けている。また、解析結果では、センサーの高さによる間隙水圧の違いはなかった。

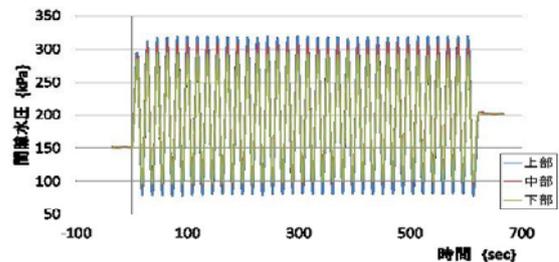


図4 間隙水圧 実験結果

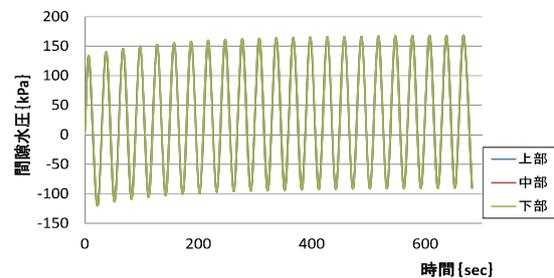


図5 間隙水圧 解析結果

図6、図7では、4種類の振幅と局所荷重1.2kNの場合を比較している。加振により鉛直変位が観察され、振幅に比例して鉛直変位が大きくなった。ただし、実験値では振幅130kPaの値が他の振幅から急激に大きくなっているが、解析値ではそのような結果は出ていない。これは局所荷重による拘束の影響と思われる、振幅がある大きさを超えなければ沈下が起こりにくいという現象を示唆していると考えられる。解析ではこのような現象を模擬できていない。また、沈下の絶対量を比較すると、解析値は実験値の6分の1から13分の1になるという結果が得られた。沈下量が大きいほど解析結果の適合度は低くなった。

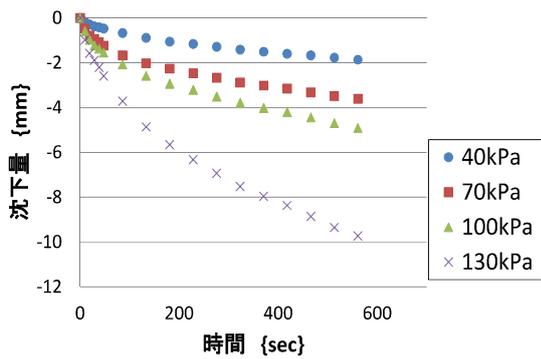


図6 沈下量 実験結果

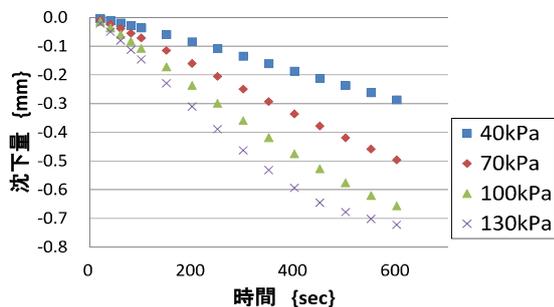
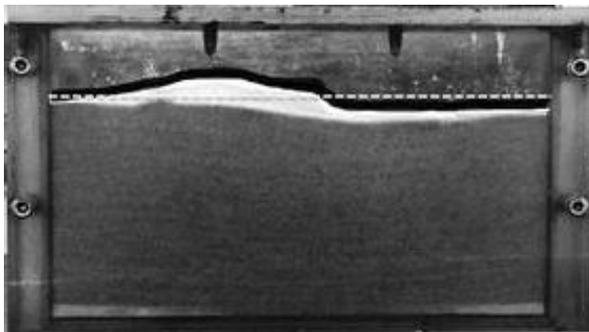


図7 沈下量解析結果

図8、図9では、振幅130kPa、局所荷重1.2kNの条件での変形モードの比較を行っている。局所荷重の載荷された位置が沈下し、供試体が側方へ変形するという変形の様子は解析・実験ともに同じであった。加振によって供試体の有効拘束圧が小さくなり、液状化した供試体が局所荷重によって変形したと考えられる。よって提案した試験機での、液状化現象の発現を確認できたと言える。

解析結果では、限界状態となる要素が大きく変形しているため、局所的に大きな変位が発生しているように見える(図9)。しかし、実験ではこのような局所的な変形は見られない。



実験前の高さ

図8 変形 実験結果

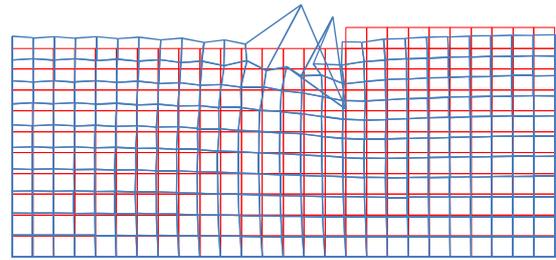


図9 変形 解析結果
変位倍率 (5倍)

5. 結論

実験において加振により、供試体間隙水圧の上昇と側方への変形が見られた。よって液状化現象を発現できる試験機を作成できたと言える。これにより、解析手法の結果を検証する際に本試験機を用いることができる。しかし、解析結果と比較すると、傾向は模擬できているものの、値には大きな違いが見られ、解析パラメータの検討が必要である。

参考文献

- 1) 液状化解析手法 LIQCA 開発グループ:
LIQCA2D11・LIQCA3D (2011年公開版)
資料,pp. I-1, pp. II-1-II-5, pp. II-49-II-52,
pp.III-1-1, 2011.
- 2) 地盤工学会: 土質試験 基本と手引き,pp.17-38, pp.59-64, pp.99-119, 2010.
- 3) 河上房義:土質力学 森北出版, pp.20-25,2011.