

## ◆ 国土管理特集 ◆

# リモートセンシング技術を活用した地震による施設被害の検知

真田晃宏\* 村越 潤\*\*

## 1. はじめに

地震発生後、早急に適切な対策体制を確立するとともに、復旧活動等を展開するためには、被害の全容を迅速に把握することが必要である。このため、国土交通省総合技術開発プロジェクト「先端技術を活用した国土管理技術の開発」(平成11~14年度)において、研究課題の一つとしてリモートセンシング技術を活用した迅速な被害施設検知方法の開発を推進しているところであり、現在利用可能又は今後利用が想定されるリモートセンシング技術を対象に、データ精度、データ処理技術、データ処理時間等を調査し、適用可能性を検討している。検討対象のリモートセンシング技術は表-1の通りである。

表-1 検討対象のリモートセンシング技術

プラットフォーム	センサ
・人工衛星	・光学系センサ
・気球、飛行船 (成層圏プラットフォーム)	（カメラ ビデオカメラ スキャナ）
・航空機	・合成開口レーダー
・ヘリコプター	・レーザープロファイラー
・UAV	

本報では、表-1のプラットフォームとセンサの組み合わせのうち、人工衛星に高解像度の光学系センサを搭載して撮影した画像を基にした目視での施設被害の検知の可能性及び撮影画像から被害箇所を抽出するための一般的な画像処理方法の適用性、並びに航空機にレーザープロファイラーを搭載したりモートセンシング技術(航空機レーザープロファイラー)による施設の被害箇所の把握可能性について調査結果を報告する。

## 2. 高解像度衛星撮影画像による被害検知

平成10年12月に閣議決定(「情報収集衛星の導入について」)がなされ、大規模災害等への

Study to Develop the Method to Detect Damaged Facilities by Earthquake Using Remote Sensing Technologies

対応等の危機管理のために必要な情報の収集を主な目的として、平成14年度を目途に情報収集衛星が導入されることとなった。地震被害は広域に分布するため、適切な災害対策体制を早急に構築する上で、人工衛星等のリモートセンシング技術を活用し迅速に被害状況を把握することは有益であると考えられる。

そこで、兵庫県南部地震によって被災した構造物や液状化等の異常箇所のリモートセンシング画像を模擬的に再現した画像に基づき、画像の地上解像度の違いによる被害の検知可能性への影響、様々な被害現象に対する2.1で示す一般的な画像処理技術の適用性等について調査した。

### 2.1 被害検知方法

光学系センサで撮影された画像から被害箇所を抽出する一般的な方法を分類したものが図-1である。

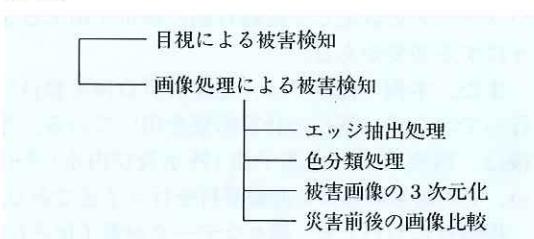
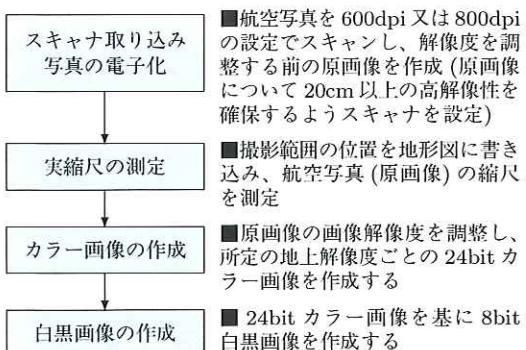


図-1 被害箇所を抽出する一般的方法

エッジ抽出処理は、地物の境界ではなく隣り合う画素の色が変化している部分を抽出し表現する手法である。従って、地上解像度が低くなる(画素が粗くなる)につれてエッジ抽出された線は太くなり、小規模の被害状況の検知については困難になるものと考えられる。

色分類処理は、画素の色情報をもとに対象物を抽出する手法であり、目的とする色の領域を抜き出す色抽出処理や、あらかじめ教師データとして色を与えた色に対応する画素領域を抽出する色判別処理がある。被害地点と非被害地点との色の相違が明確な災害現象の検知に適する。

被害画像の3次元化は、立体視可能な複数の画



- 注 1) 24bit カラー：  
1つの画素について 24 ピットの色情報を持たせる方式で、赤、青、緑の光の三原色を、それぞれ 8 ピット(256 階調)で表現したもの。
- 注 2) 地上解像度：  
識別可能な最小領域の距離または対象物の大きさ。

図-2 模擬画像の作成方法

図-3 国道 2 号浜手バイパスの被災状況  
(地上解像度 1m の模擬画像)図-4 神戸高速鉄道大開駅の被災状況  
(地上解像度 1m の模擬画像)

像をもとに画像を 3 次元化し、等高線図、鳥瞰図等を作成する手法である。災害状況が高低差をもって現れる現象について具体的に被害箇所を把握できる。

災害前後の画像比較は、災害前後の画像を利用し、ある地点の災害前後での色を比較し、色の変化が大きい箇所を災害前後で何らかの変化のあった箇所、つまり、被害箇所として抽出する手法である。本方法は、撮影画像だけでなく、エッジ抽出処理等の画像処理を施した画像に適用しても同様に被害箇所を抽出できる。

本文では、以上の画像処理による被害検知方法

のうち市販ソフトウェア(Adobe Photoshop)を用いて実施したエッジ抽出処理及び色分類処理について述べる。

## 2.2 模擬画像の作成

兵庫県南部地震の被害施設を実際に撮影した高解像度衛星の写真が入手できなかったため、本研究では、航空写真をもとに、模擬的に高解像度衛星撮影画像を作成した。作成した模擬画像は、カラー及び白黒の地上解像度 10m、2m、1m、50cm 及び 20cm である。模擬画像作成の流れは図-2 の通りである。

## 2.3 調査結果

### 2.3.1 調査対象の被害施設

模擬画像を用いた被害検知に関する調査について、以下の 4 施設を調査対象とした。

a) 国道 2 号浜手バイパス

けたが支承より離脱して橋軸直角方向へ最大約 2m 程度横ずれした<sup>1)</sup>(図-3)。

b) 神戸高速鉄道大開駅

駅構内の中柱が被災し、その結果、地上部の国道 28 号路面が延長約 90m、幅約 23m にわたり最大 2.5m 程度陥没した<sup>1)</sup>(図-4)。

c) 阪神高速道路 5 号湾岸線西宮港大橋

西宮港大橋の側径簡単純箱桁橋部分(橋長 52m、片側 3 車線)の片端が約 25m 落橋した<sup>1)</sup>(図-5)。

d) 神戸港中突堤(メリケンパーク)

重力式護岸が倒壊するとともに、液状化が発生した<sup>2)</sup>(図-6)。

### 2.3.2 目視による被害の検知性

本調査では、土木に関する専門的知識を有するが被害箇所や被害状況については全く情報を有していない者に、被害施設を含む周辺数百 m 四方程度を A4 サイズに落とし込んだ画像を目視してもらい、被害箇所の検知性を以下の 3 つに分類することにより目視による被害の検知性の評価を行った。

- ・ 被害箇所を明快に抽出可能な場合を「検知可能」、
- ・ 懐疑的ではあるが被害箇所を抽出可能な場合を「検知おおよそ可能」、
- ・ 被害箇所を抽出できない場合を「検知不可能」

被害箇所の検知に対しては、目視する画像の地上解像度が最も影響するものと考えられるところから、5 つの異なる地上解像度について調査を

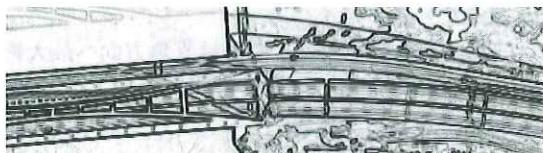
表-2 目視による被害判読(検知性)

被災施設	被害状況	地上解像度 20cm		地上解像度 50cm		地上解像度 1m		地上解像度 2m		地上解像度 10m	
		カラー	白黒	カラー	白黒	カラー	白黒	カラー	白黒	カラー	白黒
西宮港大橋	落橋	○	○	○	○	○	○	○	○	×	×
浜手バイパス	高架橋横ずれ	○	○	○	○	○	○	×	×	×	×
大開駅直上	路面陥没	○	○	○	○	△	×	×	×	×	×
神戸港中突堤	液状化	○	○	○	○	○	○	○	○	×	×
	土砂流出	○	○	○	○	○	○	○	○	○	×
	護岸被害	○	○	○	○	○	○	○	○	×	×

検知性：被害箇所、状況等の情報は予め全く与えず被害を検知できるか調査 ○：検知可能 △：検知おおよそ可能 ×：検知不可能



(a) 地上解像度 1m 模擬画像

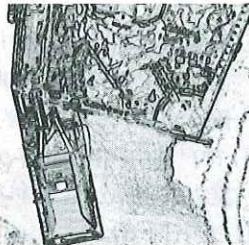


(b) エッジ抽出処理画像

図-5 西宮港大橋落橋状況



(a) 地上解像度 1m 模擬画像



(b) エッジ抽出処理画像

図-6 神戸港中突堤の液状化の状況

行った。

地上解像度別の調査結果を表-2 及び以下に示す。  
a) 地上解像度 20cm~50cm

ほとんどの被害箇所を十分検知できる。なお、大開駅の崩壊に伴う路面陥没箇所については、路面亀裂等の異常箇所を検知することは可能であるが、陥没しているか否かの検知は難しい。

b) 地上解像度 1m~2m

高架橋の横ずれや大開駅直上の路面陥没等については、地上解像度 2m の場合には検知が困難になる。

c) 地上解像度 10m

ほとんど全ての被害箇所の検知が困難である。土砂の海域への流出はこの地上解像度レベルでも

ある程度検知可能であった。

### 2.3.3 エッジ抽出処理による被害の観認性

2.3.1 で示した4つの施設のうち、被害が線状に広がる阪神高速道路5号湾岸線西宮港大橋及び被害が面的に広がる神戸港中突堤の2施設について、エッジ抽出処理を施し、処理後画像における被害箇所の観認性を調査した。

図-5は西宮港大橋の落橋被害の模擬画像及びエッジ抽出処理を施した画像である。地上解像度1mの模擬画像にエッジ抽出処理を施した画像では、落橋箇所において道路端や道路中心(中央分離帯)のエッジが不連続になっており、異常の生じていることが表現されている。

図-7は、図-5に示す落橋被害の地上解像度を4段階に変化させた模擬画像とそのエッジ抽出処理を施した画像である。地上解像度2m以上の高解像度の画像においては、落橋状況を確認することが可能であるが、地上解像度10mの画像では異常箇所を判読することは困難である。

図-6は、神戸港中突堤の被害画像にエッジ抽出処理を施したものである。抽出されたエッジに基づき液状化したエリアや海上に流出した土砂の流出エリアを確認することは困難である。

これらのことから、エッジ抽出処理は、液状化など面的に広がる被害現象よりも施設形状が線状に広がるものを探知することに適しており、被災により線が乱れ抽出されるエッジが切れたり曖昧になったりすることにより施設に発生している被害を検知できるものと考えられる。

### 2.3.4 色分類処理

色分類処理のうち、色判別処理を神戸港中突堤の液状化被害現場の画像に適用し被害箇所の把握状況を調査した。

図-8は、神戸港中突堤の液状化の模擬画像及び

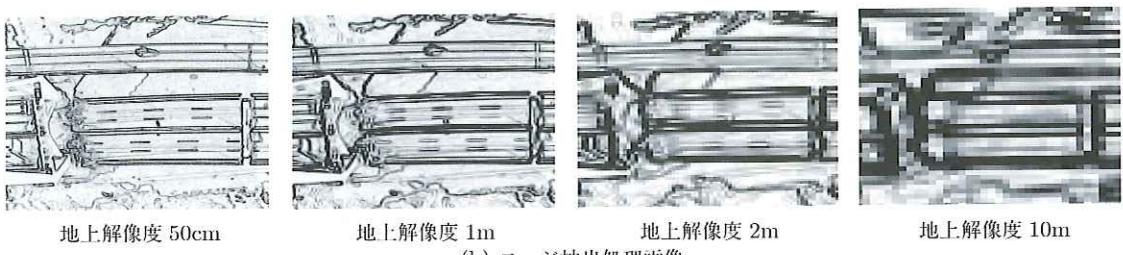
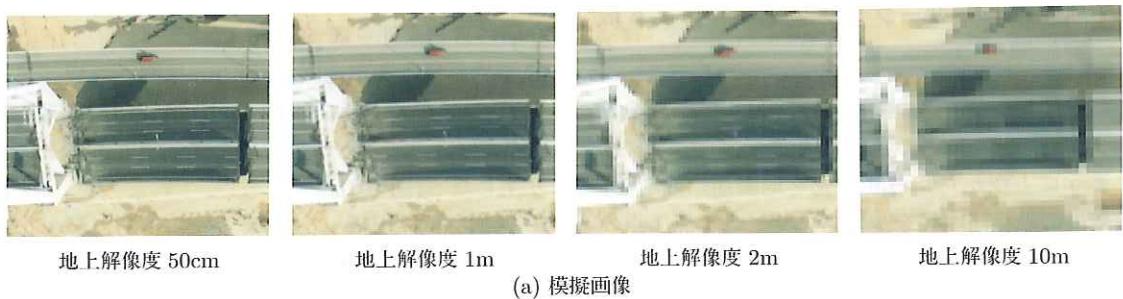


図-7 阪神高速道路 5 号湾岸線西宮港大橋の落橋被害

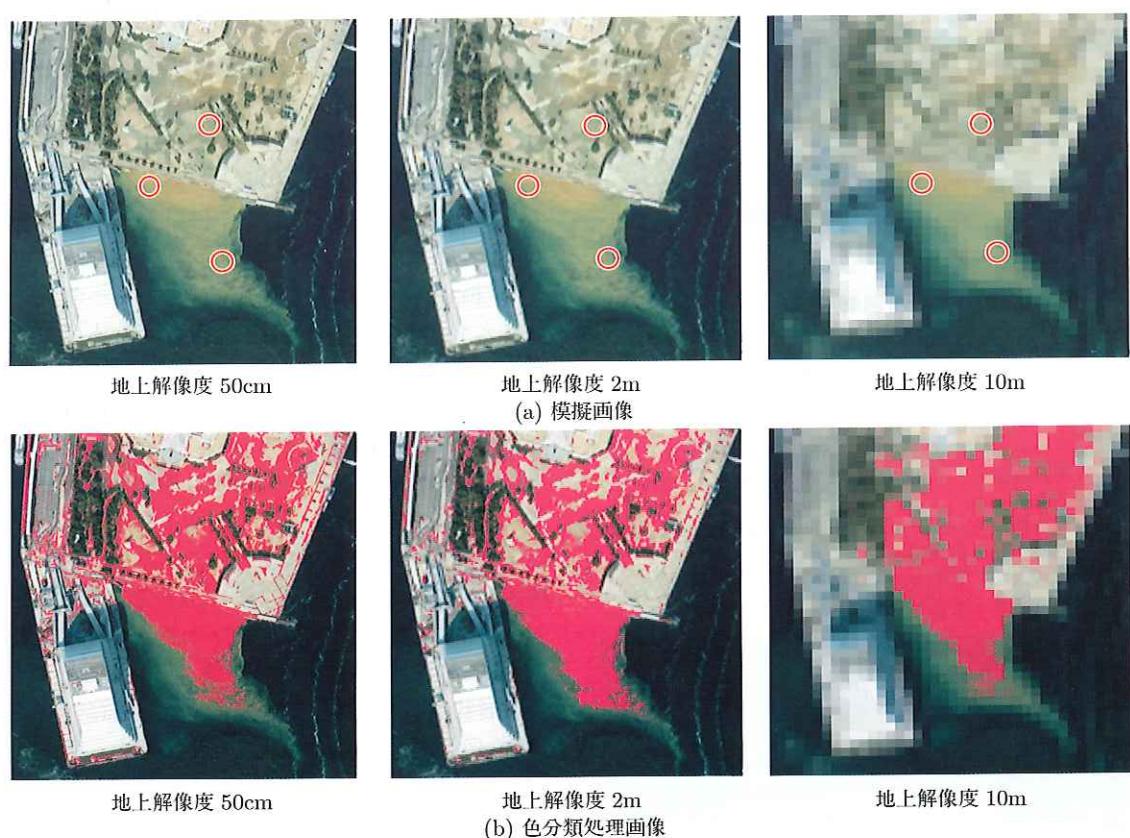


図-8 神戸港中突堤(メリケンパーク)の液状化被害

色分類処理画像である。被害地域内で教師データとして 3 点(図-8(a) 中の○印箇所)を選択し、教師データの色と画像内各地点の色を比較、色の類似性を基準に被害地域の広がりを判断した。地上解像度 2m 程度であれば、液状化エリアを特定できるものと考えられる。

似性を基準に被害地域の広がりを判断した。地上解像度 2m 程度であれば、液状化エリアを特定できるものと考えられる。

### 3. 航空機レーザープロファイラーによる被害検知

航空機レーザープロファイラーは上空から地上の3次元形状を取得できる技術である。図-9に示すように上空からレーザー光を地表面に照射し、航空機の飛行高度等を基にレーザー光1点1点の地表面の標高データを計算して取得するものである。取得データを利用し、等高線図、断面図、鳥瞰図を描き、被害状況を把握できる。

本調査では、鳥取県西部地震によって被災した構造物を対象に航空機レーザープロファイラーによる標高データの取得を行い、被害箇所の把握の可能性を検討した。

#### 3.1 調査結果

##### 3.1.1 調査対象施設

航空機レーザープロファイラーによる標高データ

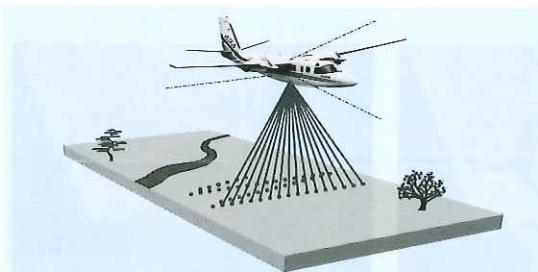


図-9 レーザープロファイラーの計測原理

表-3 計測条件一覧

##### ①レーザー機器類

- レーザーパルス発射頻度：15,000回/秒
- スキャン頻度：25.2回/秒 スキャン角度：8度
- 地上での計測幅：136.4m
- レーザー計測密度：1点/約2m×0.5m四方
- 水平計測誤差：±30cm 垂直計測誤差：±15cm

##### ②飛行条件

- 対地高度：975m 飛行速度：185km/hr (51m/秒)

##### ③計測時天候、計測時間帯

- 計測時天候：風速4m/sec、快晴

- 計測時間帯：午後1時～午後4時5分



図-10 岸壁に生じた段差の状況

タの計測は以下の2施設について行った。また、今回の計測条件を表-3に示す。

##### a) 境港外港昭和南地区水深13m岸壁

岸壁エプロン部にケーソンと後背地盤の間に60cm程度の段差が岸壁に沿って約270mにわたり生じた<sup>3)</sup>(図-10)。

##### b) 西伯町道原田橋

支間7m、幅員4mの橋梁が、右岸側橋台が崩壊し落橋した<sup>4)</sup>(図-11)。



(a) 落橋の状況

(b) 上空からの状況

図-11 落橋の状況

##### 3.1.2 計測結果に基づく被害箇所の検知可能性

##### a) 境港外港昭和南地区水深13m岸壁

図-12は、岸壁端平均高さとの高低差を色相段階で示したものである。白色部分は接岸中の船舶や図-10に見られる岸壁上の荷揚げ装置である。岸壁端より10m程度あたりから色相の変化が確認でき(高低差が60cm程度となる色相トーンのエリアが広がっており)、ここに段差が生じていることが推定できる。図-13は岸壁断面(図-12中A-A'断面)の標高の現場測量結果とレーザープロファイラー計測結果を比較して示したものである。レーザープロファイラー計測点は厳密にA-A'断面上には存在しないため、A-A'断面近傍の計測点を利用し内挿によりA-A'断面上の標高を得た。そのため、計測結果は折れ線状になっている。図-13中の①から②までの沈下が生じていないエリア、②から③の段差が生じ岸壁エプロンが傾斜しているエリア及び③から④までの沈下したエリアともに、レーザープロファイラー計測結果は測量結果にほぼ一致している。以上のように、被害形状が高低差として現れる施設被害については検知可能性が高いと考えられる。また、震前段階でデジタル標高データが整備されていれば、被災後のデータと重ね合わせることにより、地震による被害を高低差によって捉えることができ被害の検知に有効と考えられる。

##### b) 西伯町道原田橋

図-14は、計測結果から落橋した区間を含む道

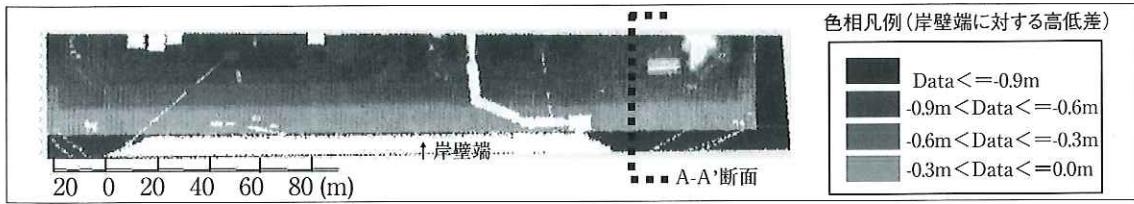


図-12 岸壁の高低差に関する計測結果(本号グラビア参照)

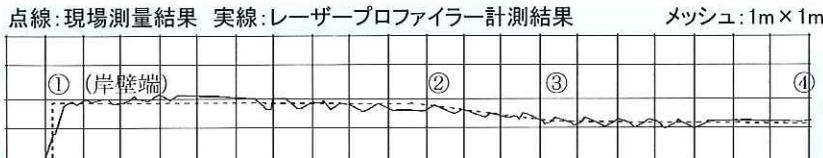


図-13 岸壁断面標高の比較

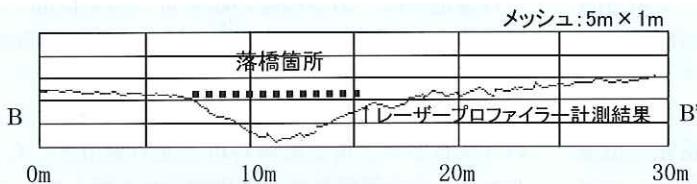


図-14 B-B' の道路縦断面の標高計測結果

路区間(図-11中のB-B':現道道路端)の縦断曲線を示したものである。図-14中の破線は、地震前道路縦断曲線を推定して概略示したものである。落橋に伴う縦断高さの変化を読みとくことができる。落橋や路面の著しい段差等の被害の場合には、道路中心線や道路端について図-14に示すような縦断曲線を描き、路面の高低差の大きな変化箇所を検知することにより、被害箇所の推定は可能と思われる。

#### 4.まとめ

本報では、土木施設の被害を対象として、模擬的に再現した高解像度衛星撮影画像を用いた地上解像度の違いの被害箇所検知性への影響及び一般的な画像処理方法の被害箇所抽出への適用性、並びに航空機レーザープロファイラー計測による被害に伴う地表面高さ変化の検知可能性について研究結果を報告した。以下に結果をまとめる。

(1) 模擬的な高解像度衛星撮影画像については、地上解像度が50cm程度以上であれば、落橋、液状化等比較的規模の大きい被害箇所の検知は目視判読により十分可能である。

また、被害箇所抽出のための画像処理方法としては、道路、護岸等線状に広がる施設の被害の検知にはエッジ抽出処理、また、液状化等面的に

色相凡例(岸壁端に対する高低差)

Data <= -0.9m
-0.9m < Data <= -0.6m
-0.6m < Data <= -0.3m
-0.3m < Data <= 0.0m

広がる被害の検知には色分類処理が、各々有効である。

(2) 航空機レーザープロファイラー計測について  
は、岸壁の沈下や落橋等

の被害形状が高低差として現れる施設被害の検知に有効である。また、施設の被災前の標高データが整備されていれば、地震による高低差の変化箇所の自動抽出も可能と考えられる。

今後は、リモートセンシング技術を活用して取得したデータを基にした地震による被害箇所の抽出の自動化、被害箇所抽出の正確性や迅速性を高めるための震前における各種データのデジタル化等環境整備、現場における具体的活用手順等の検討を進めることとしている。

#### 参考文献

- 建設省土木研究所:平成7年兵庫県南部地震災害調査報告、土木研究所報告第196号、1996.
- (社)土木学会:阪神・淡路大震災調査報告 土木構造物の被害、1997.
- (社)地盤工学会:平成12年鳥取県西部地震災害緊急調査団報告、2000.
- 建設省土木研究所:平成12年(2000年)鳥取県西部地震緊急調査報告書、土木研究所資料第3769号、2000.

真田晃宏



村越潤



国土交通省国土技術政策  
総合研究所危機管理技術  
研究センター地震防災研  
究室主任研究官  
Akihiro SANADA

同 地震防災研究室長  
Jun MURAKOSHI