

(18) LP データを用いた震災前後の被害箇所の可視化に関する研究

Research on Visualization Disaster Before and After Earthquake for Using Laser Profiler Data

田中成典¹・今井龍一²・中村健二³・川野浩平⁴

Tanaka Shigenori, Imai Ryuichi, Nakamura Kenji, and Kawano Kouhei

抄録：災害復旧では、被災状況を迅速かつ適切に把握可能な環境の構築が肝要である。河川事業では、被害箇所を把握する上で有用な LP 等の既存資産が生成・蓄積されている。例えば、既存資産の LP から生成した 3 次元 CAD データと現地計測の成果とを比較することで被害箇所の詳細な状況を把握できる。しかし、迅速な対応が求められる復旧対応のなかで、すべての被害箇所を詳細に確認するのは多大な手間を要する。

本研究では、震災前後の LP からブレイクラインを抽出し、その差分を比較することで被害箇所の候補地を抽出する手法を提案する。提案手法の有用性を評価するために、東日本大震災で得られた LP を用いてケーススタディ分析を実施し、被害箇所の候補地をどの程度まで把握できるかを明らかにした。

キーワード：点群座標データ、航空レーザ測量、3 次元モデル、東日本大震災

Keywords : Point cloud data, Aerial LiDAR, 3D model, Great East Japan Earthquake

1. はじめに

ひとたび災害が発生すると、公共構造物の管理者は、迅速かつ適切に機能回復を図る対応を取ることが求められる。このためには、既存の資産（各構造物の図面や管理情報など）を機動的かつ効果的に活用できる環境を構築し、平常時から有事に備えておく必要がある。

河川事業に着目すると、河川基盤地図¹⁾、航空レーザ測量の 3 次元地形データ（以下、「LP」という。）^{2),3)}や航空写真などの有用な既存資産が生成・蓄積^{4),5)}されている。この資産を活用して河川構造物を 3 次元化し、さまざまな主題情報と関連づけた環境があると、必要な情報へのアクセス効率が大幅に向上するなど、震災時における有用なマネジメントツールとなる。

こうした LP などの既存資産から生成した 3 次元 CAD データや、現地計測した測量成果を用いることで、震災時に被害箇所とその度合いなどの詳細情報を把握できる。しかし、災害復旧のように迅速な対応を求められる場面で、すべての被害箇所を詳細に確認するのは多大な手間と時間を必要とする。また、震災による道路の寸断などの理由から現地計測が困難⁶⁾な場合がある。この対策の一案として、震災直後の LP から生成した 3 次元 CAD データの解析によって高速かつ簡易的に被害箇所の候補地を絞り込むことができると、優先的に復旧対策すべき箇所や現地踏査を詳細に実施すべき箇所の選定など、震後対応の効率化が可能となる。また、候補地を確認することで現地踏査の際に見

落としていた被害箇所の発見も期待できる。こうした 3 次元 CAD データに関する既往研究として、著者らは、LP や MMS などの移動体計測装置で計測した点群座標データから、現況地形を精緻に再現した 3 次元 CAD データを自動生成する技術⁷⁾⁻⁸⁾を開発している。この技術では、河川堤防の形状的な特徴であるブレイクラインを LP から自動生成し、その特徴を考慮した 3 次元 CAD データを生成している。既往研究の技術を用いて震災前後の LP から生成した 3 次元 CAD データを重ね合わせて比較することで、形状的特徴であるブレイクラインの変化を即座に発見できると考えられる。

本研究の目的は、震災による被害箇所の候補地を取得して現地踏査の手間と時間の効率化を図る支援策の確立とした。具体的には、既往研究の技術を元に震災前後の LP から抽出したブレイクラインを比較する手法を考案し、この比較した差分から被害箇所をどの程度まで把握できるかをケーススタディによって明らかにする。また、復旧対応の支援策として、抽出した被害箇所の横断図を自動生成する技術を開発する。

2. 研究の概要

(1) 処理の流れ

本研究は、震災前後のブレイクラインを比較して差分を検出することで、河川堤防の被害箇所候補を検出するシステムを開発する。本システムの概要を図-1 に示す。本システムは、ブレイクライン候補線生成、

1:正会員 工博 関西大学 教授 総合情報学部

(〒569-1095 大阪府高槻市霊仙寺町二丁目一番一号, Tel:072-690-2154, E-mail:tanaka@res.kutc.kansai-u.ac.jp)

2:正会員 工博 国土交通省国土技術政策総合研究所高度情報化研究センター情報基盤研究室

3:正会員 博士(情報学) 大阪経済大学 准教授 情報社会学部

4:学生会員 関西大学大学院 総合情報学研究科

ブレイクライン抽出，被害箇所候補検出，3次元CADデータ生成および被害箇所候補検出の5つの機能で構成する．入力データは，震災発生前に蓄積されたLPと，震災発生直後に測量されたLPとする．出力データは，震災による被害箇所とその被害箇所の震災前後の河川堤防の横断面図とする．

ブレイクライン候補線生成機能は，LPから河川堤防の形状的特徴を利用して，ブレイクライン候補線を生成する．ブレイクライン抽出機能は，LPとブレイクライン候補線に従いLPから断面変化点を特定してブレイクラインを抽出する．被害箇所候補検出機能は，震災前後のブレイクラインを比較し，変化量に基づき被害箇所を検出する．3次元CADデータ生成機能は，LPとブレイクラインから，河川堤防の形状的特徴を再現した3次元CADデータを生成する．

本論文では，(2)にて被害箇所候補検出機能，(3)にて被害断面生成機能の内容を詳述する．ブレイクライン候補線生成機能，ブレイクライン抽出機能および3次元CADデータ生成機能の詳細は，既存研究⁸⁾を参照されたい．

(2) 被害箇所候補検出機能

本機能は，図-2に示すとおり，まず，震災前のブレイクラインを10cm間隔で分割した点（以下，「評価点」という．） $P=\{p_1, p_2, p_3, \dots, p_i\}$ を取得する．ここで，ブレイクラインはxyz座標 (x_a, y_a, z_a) を通り，ベクトル (v_x, v_y, v_z) で向きが表されている直線とし，評価点 p_i のxyz座標は (x_b, y_b, z_b) とする．次に，任意の評価点 p_i から震災後のブレイクラインへの最短距離 $Md_i=\{md_{(i,1)}, md_{(i,2)}, md_{(i,3)}, \dots, md_{(i,j)}\}$ を式(a)にて算出する．

$$md_{(i,j)} = \sqrt{\frac{v_x \cdot (x_b - x_a) + v_y \cdot (y_b - y_a) + v_z \cdot (z_b - z_a)}{v_x^2 + v_y^2 + v_z^2}} \quad (a)$$

そして，算出した Md_i から最短距離である $md_{(i,j)}$ をそのポイント p_i の変化量として取得し，ユーザが指定したブレイクラインの変化量の閾値 *near* 以上の値であった場合に，被害箇所として検出する．

(3) 被害断面生成機能

本機能は，図-3に示すとおり，震災前後のLPを用いて生成した3次元CADデータから，被害箇所候補を参考に震災前後の断面図を作成する．まず，被害箇所候補の位置を参考に被害が甚大である箇所をユーザが指定する．そして，ユーザが指定した任意の位置で震災前後のブレイクラインに直交する断面を生成した後，震災による被害箇所候補の被害断面を生成する．

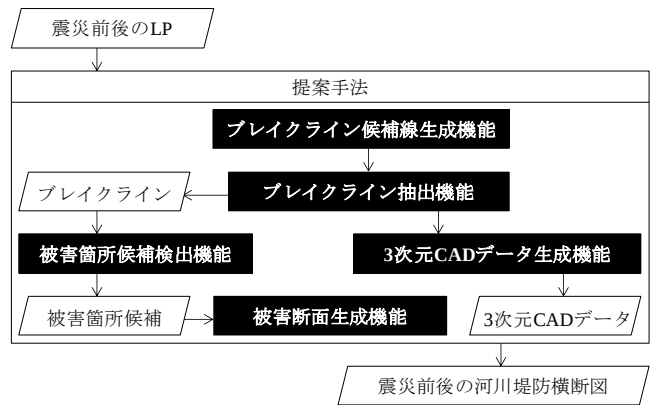


図-1 処理の流れ

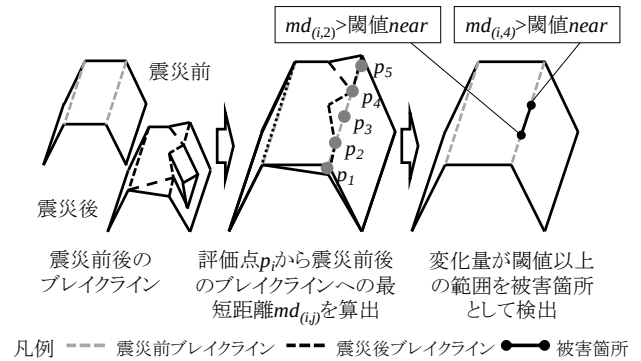


図-1 被害箇所候補検出機能の概要

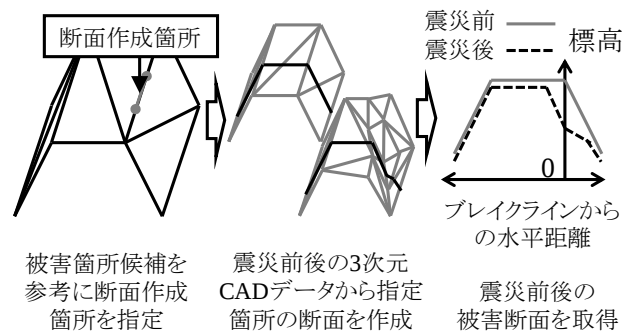


図-2 被害断面作成処理

3. 震災前後の3次元CADデータを用いた分析のケーススタディによる実証実験

(1) 実験概要

本研究では，災害対応の経験を持つ河川管理者の助言の下，復旧対策支援を本手法の適用場面とし，東日本大震災で得られたLPを用いてケーススタディを実施する．本ケーススタディでは，甚大な被害が発生した北上川下流域を対象に，震災前後のLPを用いて被害箇所の候補を検出可能であるかを評価し，本手法の有用性を検証する．また，被害箇所候補の検出および3次元CADデータの生成には，震災前のLPとして治水安全度評価²⁾における航空レーザ測量成果，震災後のLPとして国土地理院から提供を受けた東日本大震

災における航空レーザ測量成果を用いる。

(2) 対象エリア

本ケーススタディは、次の3つの選定条件を設定し、震災後の状況を踏まえて対象エリアを選定した。

- ・ 北上川下流域の浸水範囲であること
- ・ 震災状況が甚大な箇所であること
- ・ 堤防形状が大きく変化した緊急復旧が必要な箇所であること

対象エリアは、国土地理院からの提供の浸水範囲概況図などの資料や災害対応の経験を有した河川管理者の助言を参考にするとともに、現地踏査を経て、上述の3つの条件を満たす箇所(図-4)を選定した。なお、図-4には、国土地理院から提供を受けた浸水範囲概況図も重ね合わせて示している。

(3) 実験条件

本実験で用いた機器の仕様を表-1に示す。また、東日本大震災では、大規模な地殻変動が発生しており、震災前後のLPを正確に重ね合わせるには、震災後のLPの座標を補正しなければならない。そのため、本ケーススタディでは、国土地理院から公開されている座標補正パラメータ⁹⁾を用いて震災後のLPの座標を補正した。その上で、震災前後のLPを用いたケーススタディを実施した。

(4) 実験内容

本実験では、被害箇所候補検出機能により検出した被害箇所の候補地の断面形状と航空写真とを用いて正しく河川堤防の被害箇所を検出できているかを確認する。これにより、本手法の有用性を評価する。

(5) 結果と考察

被害箇所候補検出機能により検出した被害箇所を図-6に示す。本研究では、震災前後のブレイクラインの比較による変化量を被害の度合いと捉え、震災前後でブレイクラインが小さく変化した箇所から大きく変化した箇所まで、それぞれ検出した。被害箇所の詳細を確認すると、閾値 *near* の値が4mの場合に大きな変化を起こした被害箇所が明らかとなっていることが分かる。また、図-5の四角で囲った範囲は、河川管理者が緊急復旧工事¹⁰⁾を実施した箇所であり、被害の大きな箇所である。このことから、本手法は、震災による被害箇所の候補地をユーザが指定した任意の変化量に応じて検出できていることがわかった。また、本手法で正しく被害箇所を検出できているかを確認するため、図-6に示す大きな被害を受けた箇所(断面B、C、D)と被害を受けていない正常な箇所(断面A)の各断面の生成位置を図-7、震災前後の各断面に対応した航空写真を図-8に示す。各図を確認した結果、以下の知見を得た。

- ・ 断面Aは、震災前後で断面形状がほぼ一致しているのがわかる。このことから、震災の被害を

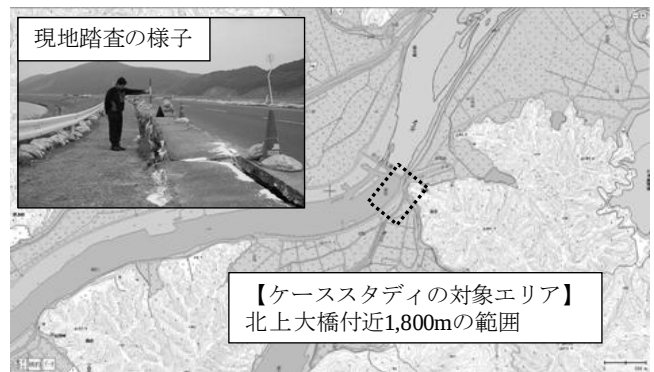


図-4 ケーススタディの対象エリア

表-1 実験環境

種類			仕様
ハード	実験機器	CPU	Intel® Core™2 Duo CPU 2.50Ghz
		メモリ	4.0GB
		HDD	280GB
ソフト	開発環境・言語		Visual Studio 2010 Visual C#
	CAD		AutoCAD Civil3D 2010

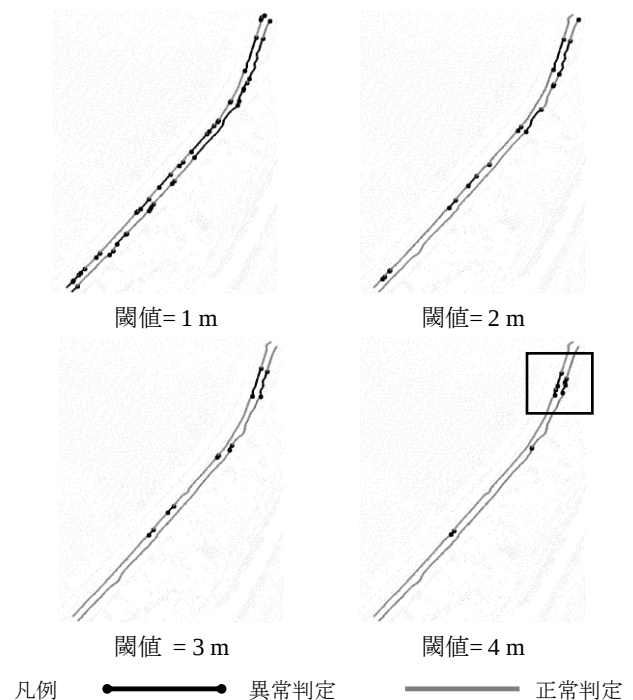


図-5 東日本大震災による河川堤防の被害箇所

受けていない、もしくは軽微な箇所を正しく検出できていることがわかった。

- ・ 断面Bおよび断面Cは、天端面の形状が変化しており、堤内側の法肩の変化が著しいのがわかる。このことから、本手法により局所的な損傷箇所が正しく検出できていることがわかった。
- ・ 断面Dは震災前後で断面形状が著しく変化して

おり、実際に図-8にも示すとおり、震災前後の航空写真からも堤防形状が大きく変化していることがわかる。また、断面Dは大きな被害が特に集中して検出されており、河川管理者が緊急復旧工事¹⁰⁾を実施した箇所である。このことから、破堤などの堤防形状が局所的に大きく変化している箇所が正しく検出できていることがわかった。

4. おわりに

本研究では、震災前後のLPから3次元CADデータを生成する既往研究の技術を用いて抽出したブレイクラインの比較手法を考案した。また、考案した手法により、災害による被害箇所をどの程度まで把握できるかをケーススタディによって明らかにした。

本手法は、既往研究の技術と震災前後のLPから生成した3次元CADデータを重ね合わせて比較し、形状的特徴であるブレイクラインの変化を即座に発見する。その結果、優先的に復旧対策すべき箇所や現地踏査を詳細に実施すべき箇所の選定など、効率的な震災対応を支援する。

ケーススタディでは、具体的な利用シーンを想定して、災害対応の経験を有した河川管理者の助言の下、災害発生時の復旧対策支援をテーマに、東日本大震災で得られたLPなどを用いて本手法の有用性を確認した。また、河川管理者に本研究結果を説明したところ、災害対応で有用であるとの評価を得た。

今回は河川堤防を対象にしたが、本手法は地表面構造物の形状的な特徴を比較する汎用性を確保している。今後の展開として、その他の土木構造物（道路、海岸や山間部を走る線路など）を対象に本手法の適用可能性を探っていく予定である。

謝辞：本論文を遂行するにあたり、国土交通省近畿地方整備局の各氏には貴重なご意見を賜った。ここに記して感謝の意を表する。

参考文献

- 1) 国土交通省河川局河川計画課：河川基盤地図ガイドライン（案）第2.1版，2001年12月。
- 2) 国土技術政策総合研究所：航空レーザ測量を活用した治水安全度評価，
<<http://www.nilim.go.jp/lab/rcg/newhp/seika.files/lp/>>，（入手 2012.7.13）。
- 3) 伊藤弘之，山本品，大谷周：航空レーザ測量により取得した河川データの管理手法に関する検討，国土技術政策総合研究所年報（調査・試験・研究の成果の概要），国土技術政策総合研究所，pp.298-299，2009年7月。
- 4) 国土交通省：「国土交通省 CALS/EC アクションプログラム 2008」の策定について，2009年3月。

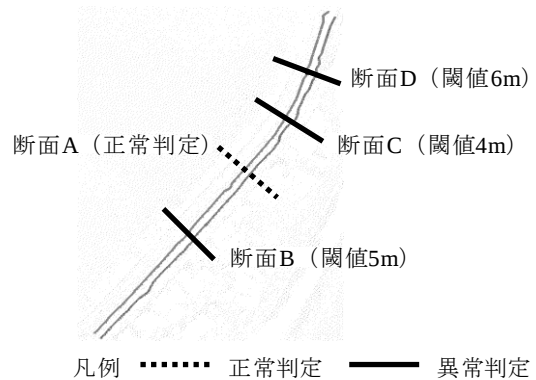


図-6 被害断面の生成箇所

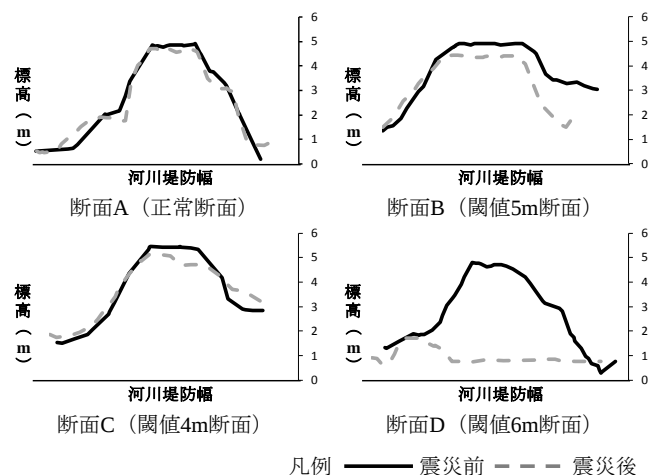


図-7 4箇所の断面形状の比較結果

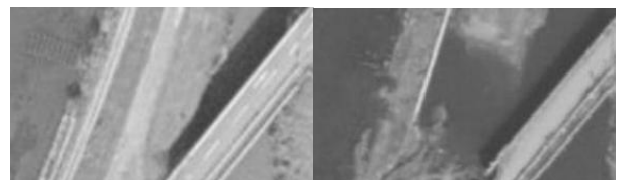


図-8 震災前後の航空写真（D断面周辺）

- 5) 国土交通省：ICTが変える、私たちの暮らし～国土交通分野イノベーション推進大綱～，2007年5月。
- 6) 国土交通省：大規模自然災害時の初動対応における装備・システムのあり方（提言），2009年5月。
- 7) 田中成典，今井龍一，中村健二，川野浩平：点群座標データを用いた3次元モデルの生成に関する研究，土木情報利用技術論文集，土木学会，Vol.19，pp.165-174，2010年。
- 8) 田中成典，今井龍一，中村健二，川野浩平：点群座標データを用いた3次元モデルの自動生成に関する研究，知能と情報，日本知能情報ファジィ学会，Vol.23，No.4，pp.572-590，2011年8月。
- 9) 国土地理院：座標補正パラメータ，
<<http://vldb.gsi.go.jp/sokuchi/>>，（入手 2012.7.12）。
- 10) 国土交通省東北地方整備局：平成23年（2011年）東北地方太平洋沖地震 鳴瀬川・北上川被害状況，
<<http://www.thr.mlit.go.jp/karyuu/taiheiyookijisinn/index.html>>，（入手 2012.7.13）。