

レーザプロファイラ等を用いた 3次元CADデータの作成及び活用に関する研究 ～東日本大震災の復興支援及び大規模災害への備え～

田中成典¹・今井龍一²・中村健二³・

下野公仁⁴・平城正隆⁵・中村圭吾⁶・川野浩平⁷

¹関西大学 総合情報学部 (〒569-1095 大阪府高槻市霊仙寺町2-1-1)

²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 (〒305-0804 茨城県つくば市旭1番地)

³立命館大学 情報理工学部 情報システム学科 (〒525-8577 滋賀県 草津市 野路東1-1-1)

⁴近畿地方整備局 河川部 河川工事課 (〒540-8586 大阪市中央区大手前1-5-44)

⁵国土技術政策総合研究所 高度情報化研究センター (〒305-0804 茨城県つくば市旭1番地)

⁶水管理・国土保全局河川計画課 河川情報企画室 (〒100-8918 東京都千代田区霞が関2-1-3)

⁷関西大学大学院 総合情報学研究科 (〒569-1095 大阪府高槻市霊仙寺町2-1-1)

本研究の最終目標は、災害時・平常時の両局面で機動的かつ効果的に対応できる既存資産の活用環境の構築である。そのために、レーザプロファイラなどの既存資産から3次元CADデータを自動的に作成できる技術を開発する。また、迅速な被災状況の把握や復旧に必要な土量や資材の算出などの災害時での3次元CADデータの活用方策に加え、情報化施工や河川管理の平常時での3次元CADデータの活用方策を確立する。本稿は、その第一報として、レーザプロファイラから3次元CADデータを生成する技術の実用性の検証結果および北上川下流域を対象にした震災前後の3次元CADデータを用いた分析のケーススタディの取組み状況を報告する。

キーワード レーザプロファイラ, 3次元CAD, 災害, 情報化施工, 河川管理

1. まえがき

大規模な災害は、我が国の社会基盤に甚大な被害を与える。公共構造物は、社会経済の発展や人命・財産の保全に寄与し、一旦災害が発生すれば、応急・復旧対策の輸送経路など重要な役割を担う。各管理者は、災害が発生した途端、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、各構造物の被災状況を正確に把握することに加え、各構造物に関する主題情報を即座に入手できることが肝要である。これらの情報を統合的に得るには、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、有事に対して平常時から備えておく必要がある。

このことは、東日本大震災を受けた復興への提言¹⁾でも示唆されている。具体的には、被災した場合であっても、これをしなやかに受け止め、経済活動をはじめとした諸活動が円滑に実行できる災害に強い国づくりを進めること。そのために、今回の教訓を踏まえ、今後想定さ

れる東海・東南海・南海地震への新しい対策の方向性を示す必要があることが提言されている。

こうした状況下、河川事業に着目すると、有用な既存資産の一例として、河川基盤地図²⁾、レーザプロファイラデータ（以下、「LP」という。）や航空写真などが生成・蓄積されている。これらの資料は、各事業の目的に応じて生成されてきたが、各資料を組み合わせることで活用することにより、新たな知見が得られ、平常時や災害時の対応の高度化を実現する可能性を秘めている。

しかし、既存資料を組み合わせるには解決しなければならない課題がある。例えば、河川構造物を3次元化し、様々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大幅に向上するため、平常時・災害時における河川事業の高度化を図るうえで有力なマネジメントツールとなる。一部の既存資料は3次元化されているが、多くの既存資料は構造物の情報を2次元（平面）で表現している。したがって、各資料の特性を踏まえて上述の環境を構築していく必要がある。

3次元化された既存資料のひとつであるLPは、全国の

一級水系を対象に整備している³⁶⁾。このLPは、主として治水安全度評価³⁴⁾に活用されているが、用途が広く⁹⁾、河川管理の高度化を図る上で有用な資産である。しかし、LPは、汎用的なソフトウェアでは扱いにくく、CADデータに変換して活用することが考えられるが、変換技術が未成熟な状況にある。このため、現状は、オペレータがLPの無数の点群座標データから図化に必要な点を推定し、その座標を判読してCADやGISソフトに転記していることが多い。

このような状況を踏まえ、近畿地方整備局は官学を基軸とした新技術開発促進を目的として「河川事業のデータ流通環境の構築に関する研究会」を設置した。その中で田中ら⁷⁹⁾は、レーザ測量で計測した点群座標データから高精度なCADデータを作成する技術（以下、「新技術」という。）の開発に取り組んできた。新技術は、河川堤防の形状を表現する特徴的な線（以下、「ブレイクライン」という。）を考慮して高精度なCADデータを構築し、既往研究^{10)・14)}でも指摘されていた課題を解消する。ただし、この新技術は研究開発が完了した段階であり、今後は実用化に向けての検証や洗練を要する課題が残されている。

本研究の最終目標は、災害時・平常時の両局面で機動的かつ効果的に対処できる既存資産の活用環境の構築である。そのために、LPなどの既存資産から3次元CADデータを自動的に作成できる技術を開発する。また、迅速

な被災状況の把握や復旧に必要な土量や資材の算出などの災害時での3次元CADデータの活用方策に加え、情報化施工や河川管理の平常時での3次元CADデータの活用方策を確立する。

本稿は、その第一報として、まず2章にて新技術を概説する。3章では新技術の実用性の検証結果を報告する。4章では北上川下流域を対象にした震災前後のLPおよび新技術を用いて3次元CADデータを作成して比較分析しているケーススタディの取組み状況を中間報告する。

2. LPを用いた3次元CADデータの作成技術

本章は、新技術の各機能うち、LPから3次元CADデータを作成する手法に関する機能を概説する。なお、各機能の詳細や本稿では説明を省略した機能は参考文献⁷⁹⁾を参照されたい。

新技術による3次元CADデータの作成手順を図-1に示す。まず、LPから植生などのノイズとなる点群座標データを除去する。次に、ノイズを除去したLPからブレイクラインを抽出する。新技術では、ブレイクライン候補線を手掛かりとして、LPから形状を示す特徴となる点（以下、「断面変化点」という。）を自動抽出し、ブレイクラインの点群データとして取得する。そして、LPと取得したブレイクラインとを合成し、TIN（Triangulated Irregular Network）を発生させて現況形状を再現した3次元CADデータを作成する。また、作成した3次元CADデータに対して、実測横断面図を用いて補正処理を行うこともできる。

(1) LPのノイズ除去機能

LPのノイズ除去機能は、LPに含まれるノイズの点群座標データを目視で判定し、範囲指定により除去する。本機能は、図-2に示すとおり、3面図の可視化処理と範囲指定の除去処理の2つの処理で構成する。3面図の可視

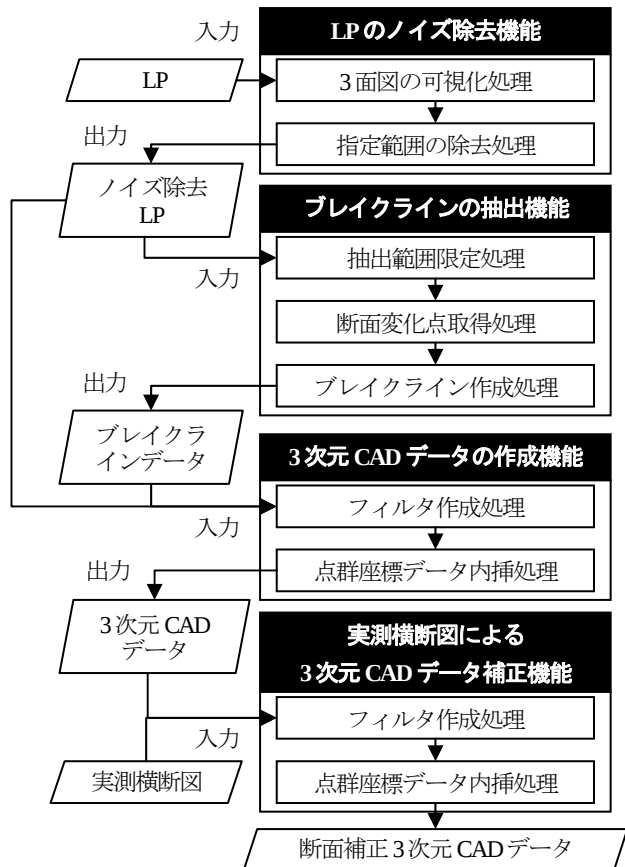
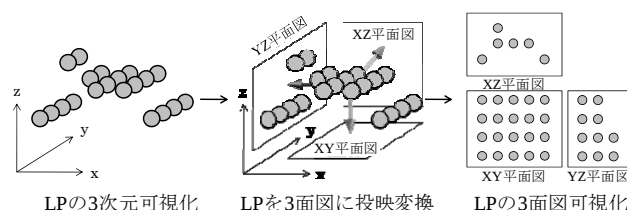


図-1 新技術による3次元CADデータの作成手順

3面図の可視化処理



範囲指定の除去処理

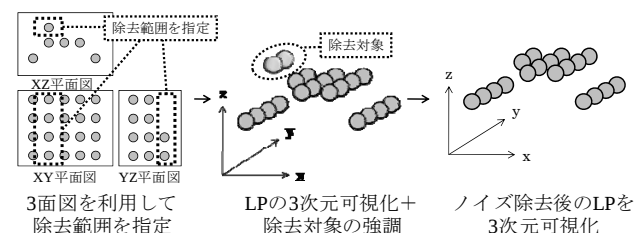


図-2 LPのノイズ除去機能

化処理は、LPをXY平面、YZ平面、XZ平面の3平面に投射した投影図を作成する。範囲指定の除去処理は、まず作成した3面図を用いてLPに含まれるノイズを目視で判定し、除去範囲を指定する。そして、LPから除去範囲に含まれる点群座標データをノイズとして除去する。

なお、平常時の場合は植生などがノイズ候補になるが、災害時の場合は散在した瓦礫がノイズ候補になる。

(2) ブレイクラインの抽出機能

ブレイクライン抽出機能は、ノイズ除去したLPから3次元化したい対象物（河川堤防など）の形状を示すブレイクラインを抽出する。本機能は、図-3に示すとおり、抽出範囲限定処理、断面変化点取得処理およびブレイクライン作成処理の3つの処理で構成する。抽出範囲限定処理は、LPとブレイクライン候補線とを用いて断面変化点の抽出範囲を限定する。なお、ブレイクライン候補線の抽出方法は、参考文献⁹⁾を参照されたい。

断面変化点取得処理は、まず、限定された各抽出範囲に含まれる点群座標データをYZの2次元平面に圧縮し、断面線を作成する。次に、断面線を折れ線近似し、断面モデルとして取得する。そして、天端面を示す線分と法面を示す線分とを抽出し、それらの交点を断面変化点として取得する。ブレイクライン作成処理は、断面変化点を繋いでブレイクラインを作成する。

(3) 3次元CADデータ作成機能

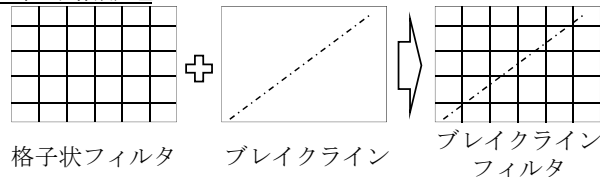
3次元CADデータ作成機能は、図-4に示すとおり、フィルタ作成処理と点群座標データ内挿処理の2つの処理

で構成する。フィルタ作成処理は、ブレイクラインと格子状のフィルタとを合わせたブレイクラインフィルタを作成する。点群座標データ内挿処理は、ブレイクラインフィルタを用いて点群座標データの内挿処理を行い、ブレイクラインを考慮した点群座標データを抽出する。そして、内挿処理した点群座標データからTINを発生させて3次元モデルを作成する。最後に、3次元モデルの設計・測量データのデファクトスタンダードのLandXML¹⁵⁾形式に変換し、3次元CADデータとする。

(4) 実測横断面図による3次元CADデータ補正機能

実測横断面図による3次元CADデータ補正機能は、河川管理などで作成している実測横断面図を用いて3次元CADデータを補正し、データの精度を向上させる。本機能は、図-5に示すとおり、3次元CADデータの断面取得処理と、

フィルタ作成処理

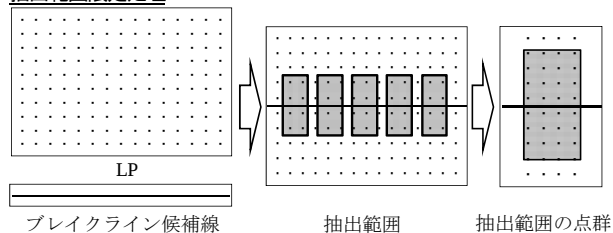


点群座標データ内挿処理

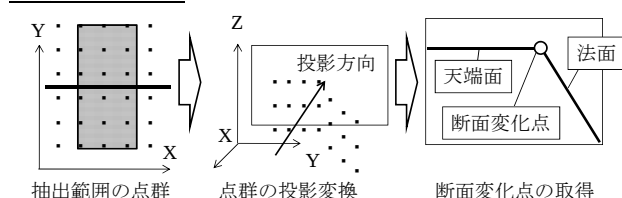


図-4 3次元CADデータの作成機能

抽出範囲限定処理



断面変化点取得処理



ブレイクライン作成処理

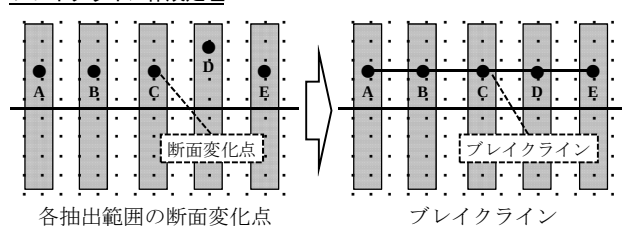
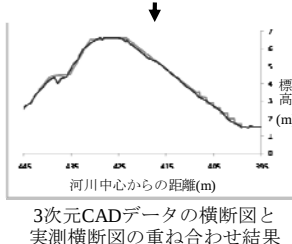
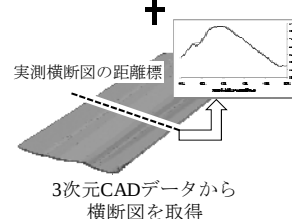
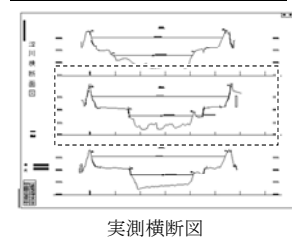


図-3 ブレイクラインの抽出機能

3次元CADデータの断面取得処理



閾値を用いた断面補正処理

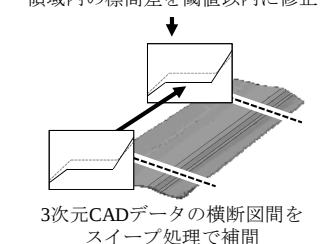
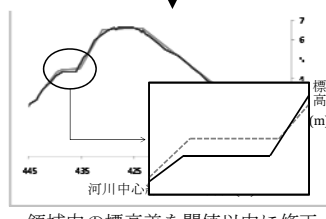
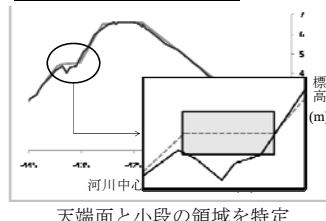


図-5 実測横断面図による3次元CADデータ補正機能

閾値を用いた断面補正処理の2つで構成する。3次元CADデータの断面取得処理は、まず、実測横断面図の距離標と同様の位置から3次元CADデータの断面図を生成・取得する。そして、実測横断面図と3次元CADデータの断面図とを重ね合わせる。断面補正処理は、まず、実測横断面図を基準に天端面と小段の領域内における断面形状の標高差を取得する。そして、取得した標高差が閾値以上ならば、閾値以内に収まるように3次元CADデータの断面を補正する。この処理は、実測横断面図の枚数に応じて繰り返し行う。最後に、補正した3次元データの複数の断面の構成点を結合し、実測断面図による補正処理した3次元CADデータとして取得する。

3. 3次元CADデータ作成技術の実用性検証

(1) 概要

前述の新技术は、LPから3次元CADデータを効率よく作成できる。しかし、研究開発が完了した段階であり、実用化に向けての検証や洗練を要する課題が残されている。そこで、本研究は、新技术を用いて作成した3次元CADデータの精度を検証し、実用性を評価した。評価



図-6 3次元CADデータの精度検証実験の対象エリア

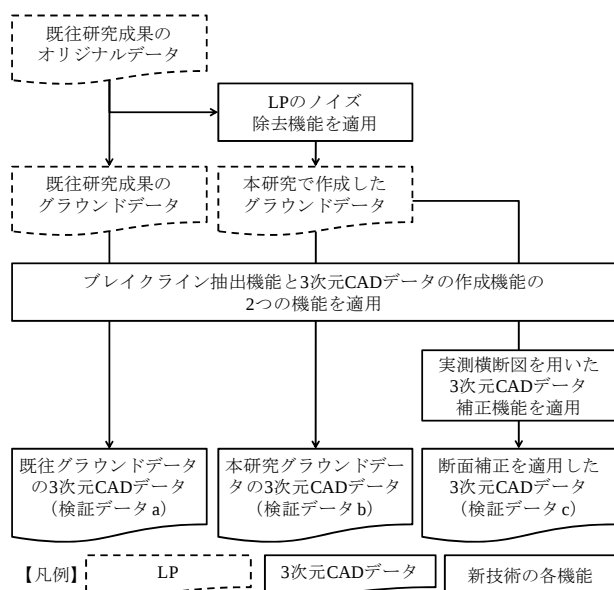


図-7 検証で利用する3次元CADデータの詳細

方法は、既往研究³⁹⁾に倣い、3次元CADデータから作成した横断面図と河川管理で利用している実測横断面図とを比較し、それらの断面間の標高差を検証することとした。

検証には、既往研究³⁾で取得された淀川のLP（オリジナルデータ、グラウンドデータ）のうち、図-6の範囲（距離標kp0.2, kp0.4, kp0.6の3地点）のデータを用いた。なお、オリジナルデータは、航空レーザ測量により得られた計測データに対して、調整用基準点による点検・調整を行った結果である。一方、グラウンドデータは、オリジナルデータに対して、地表面遮蔽物などの点群座標データをフィルタリングした結果である。

(2) 検証方法

本検証では、LP（オリジナルデータとグラウンドデータ）を用いて、図-7に示す3種類の3次元CADデータを次の方法により作成した。

- 既往研究成果のグラウンドデータから、ブレイクライン抽出機能と3次元CADデータの作成機能とを用いて3次元CADデータ（検証データa）を作成する。
 - オリジナルデータから、LPのノイズ除去機能を用いてグラウンドデータを作成する（図-8参照）。そして、ブレイクライン抽出機能と3次元CADデータの作成機能とを用いて3次元CADデータ（検証データb）を作成する。
 - オリジナルデータから、新技术の4つの機能を用いて3次元CADデータ（検証データc）を作成する。
- これら3種類の3次元CADデータから距離標の3点の位置の横断面図を作成し、次の方法により、各機能の実

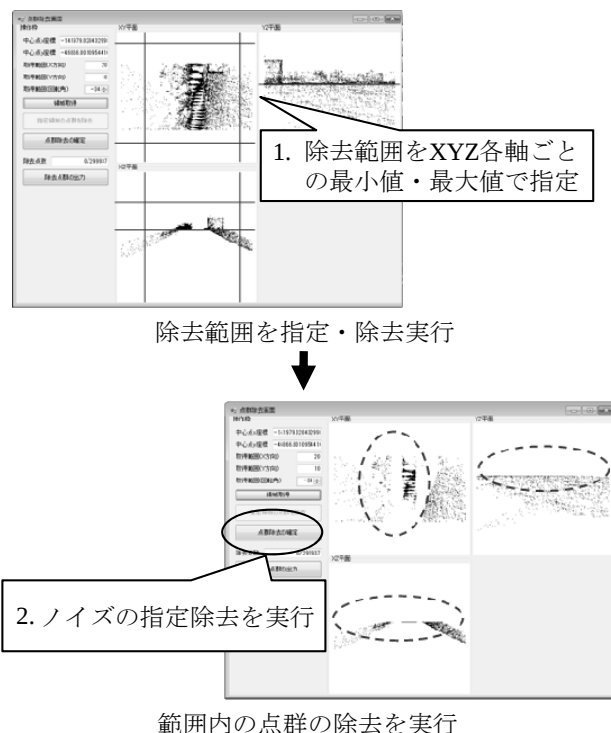


図-8 ノイズ除去機能の操作例

用性を検証した。なお、実用性を評価するための3次元CADデータの精度は、それぞれの3次元CADデータから作成した横断面図と実測横断面図とを重ね合わせて評価した。具体的には、図-9に示すように、検証データの横断面図と実測横断面図との標高差を10cm間隔で算出して集計し、3次元CADデータの再現精度を評価した。

- LPのノイズ除去機能の実用性は、検証データaと検証データbの横断面図の精度を比較し、ノイズ除去機能を用いて作成したグラウンドデータが既往研究成果のグラウンドデータと同等の精度を保持しているかを検証した。
- ブレイクライン抽出機能および3次元CADデータの作成機能の実用性は、検証データaとcの横断面図の精度をランクに分類して評価した。精度評価のランクは、既往研究³⁶⁾や規程¹⁰⁾で定められている表-1に示す評価基準に従い、3つのランクを用いた。
- 3次元CADデータ補正機能の実用性は、検証データbと検証データcの横断面図の精度を比較検証した。

(3) 検証結果

表-2は、検証結果を示しており、次の2点の特徴がみられ、新技術が実用性を確保していることが確認できた。

- 検証データaとbとの比較から、すべての横断面で同等の精度であった。このことから、LPのノイズ除去機能は、既往研究成果のグラウンドデータと同程

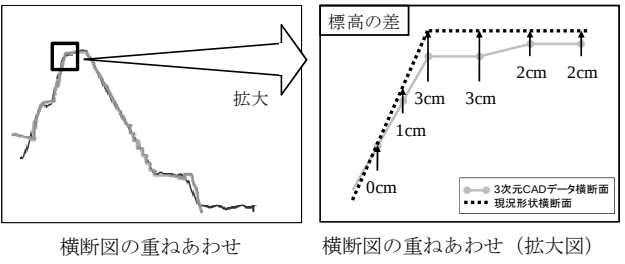


図-9 実験の精度評価の尺度

表-1 評価レベル

評価レベル	標高差の範囲
A評価	0cm~15cm 未満
B評価	15cm~30cm 未満
C評価	30cm~

度の精度を得られることがわかった。

- 検証データaとbのランクを確認すると、すべての距離標で9割近くの評価点がA評価であった。航空レーザ測量の誤差が $\pm 25\text{cm} \sim 30\text{cm}$ ¹⁶⁾であることを考慮すると、新技術で開発した3次元CADデータは、航空レーザ測量の性能限界に近い精度で現況形状を再現できていると考えられる。
- 検証データbとcの比較から、補正処理を行った3次元CADデータの精度が優れていた。結果の詳細として、98%の評価点がA評価であるkp0.4の横断面図の重ね合わせた結果を図-10に示す。重ね合わせ結果を確認すると、検証データa, bから作成した横断面図は法肩の部分が正しく取得できていないのに対して、検証データcから取得した横断面図は実測横断面図と断面形状がほぼ一致している。このことから、実測横断面図による3次元CADデータの補正機能を用いると、再現精度が向上することがわかった。

4. 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

本研究は、災害対応の具体的な支援策の確立に向けて、北上川下流域を対象に震災前後のLPおよび新技術を用いて3次元CADデータを作成して比較分析のケーススタディを実施している。本章は、この取組み状況を中間報告する。

表-2 3次元CADデータの精度検証の集計結果

kp	検証データ	A評価		B評価		C評価	
		点数	割合	点数	割合	点数	割合
0.2	a	383	0.89	44	0.11	0	0
	b	383	0.89	44	0.11	0	0
	c	398	0.93	29	0.07	0	0
0.4	a	388	0.91	39	0.09	0	0
	b	388	0.91	39	0.09	0	0
	c	419	0.98	8	0.02	0	0
0.6	a	394	0.88	52	0.11	4	0.01
	b	394	0.88	52	0.11	4	0.01
	c	423	0.94	23	0.05	4	0.01

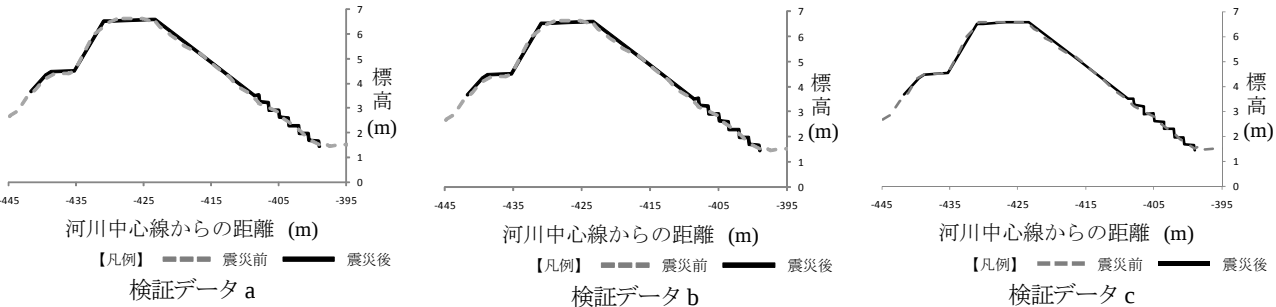


図-10 3次元CADデータの精度検証の結果 (断面図可視化)

(1) 対象エリアの選定

本ケーススタディでは、震災後の状況を加味するため、次の3つの選定条件を設定し、対象エリアを選定することにした。

- ・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緊急復旧が必要な箇所であること

対象エリアは、浸水範囲概況図などの資料を参考に、実際に3次元CADデータを作成(図-11 参照)し、さらに現地踏査を経て図-12 に示す1,800mとした。なお、図-12 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。

(2) 震災前後の3次元CADデータの比較・分析

a) 概要

本ケーススタディでは、対象エリアのLPから作成した震災前後の3次元CADデータを用いて、次に示す3つの視点に基づき有用性を検証する。

- ・大局的な変化が確認できるかを検証する。具体的には、震災前後の3次元CADデータを重ね合わせて可視化し、破堤した可能性のある箇所や地形が大幅に変化した可能性のある箇所などを視覚的に確認できるかを評価する。

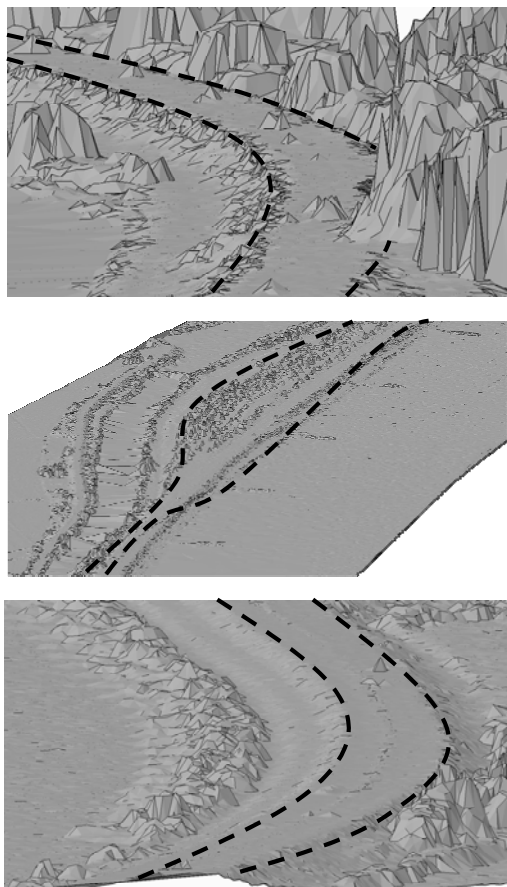


図-11 3次元CADデータの作成例

- ・局所的な変化が確認できるかを検証する。具体的には、震災前後の3次元CADデータを重ね合わせて断面形状を可視化し、堤防の損傷や地盤沈下による影響の有無を視覚的に確認できるかを評価する。
- ・復旧工事に必要な土量や資材を算出できるかを検証する。具体的には、堤防の震災前後の土量の差分を算出し、復旧工事に必要な概略数量が把握できるかを評価する。

東日本大震災では、地殻変動が発生しており、震災前後の3次元CADデータを正確に重ね合わせるには、震災後の3次元CADデータの座標を補正する必要がある。公共基準点などの地震に伴う地殻変動による位置の変化を補正する座標補正パラメータは、国土地理院から2011年10月下旬に公表予定となっている。このため、本ケーススタディでは、暫定措置として、「地震前の測量成果を地震後の測量成果に補正する例」¹⁾を参考に、かつLPを目視で確認しながら補正パラメータを設定し(表-3 参照)、震災後のLPを補正した。その上で、震災前後の3次元CADデータの重ね合わせによる比較、震災前後の任意断面形状の比較と震災前後の堤防の土量差分を実施した。したがって、次項以降は、震災前後の3次元CADデータによる分析方法を解説するものであり、変化量などの信憑性は確保していないことに留意されたい。

b) 震災前後の3次元CADデータの比較

本分析では、震災前後の3次元CADデータを重ね合わせ、航空写真などの資料も活用して比較し、大局的な変化が確認できるかを検証した。震災前後の3次元CADデータを重ね合わせた結果を図-13 に示す。図中Aの箇所では、河川敷などの堤防周辺のエリアが浸水した

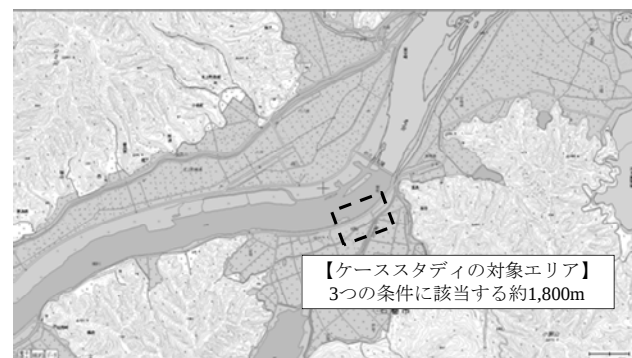


図-12 ケーススタディの対象エリア

表-3 3次元CADデータの補正パラメータ

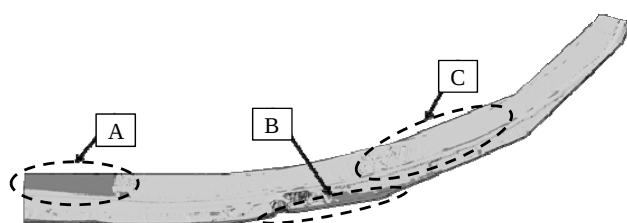
項目	補正量
X方向平行移動	-4.5m
Y方向平行移動	+2.0m
Z方向平行移動	+0.3933m
回転角度	0.0001335°

状態である。図中Bの箇所では、がれきなどが堆積し、地表面の形状が震災前後で異なっている。図中Cの箇所では、震災の影響で堤防の法肩の形状が変化している。

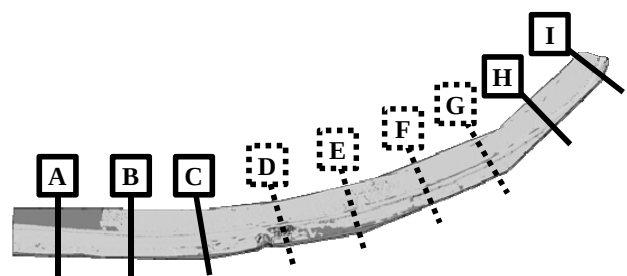
以上の結果からも、震災前後の3次元CADデータを重ね合わせた結果や航空写真などを用いて確認することで、地形が大幅に変化した可能性のある箇所が容易にわかることが明らかとなった。

c) 震災前後の任意断面形状の比較

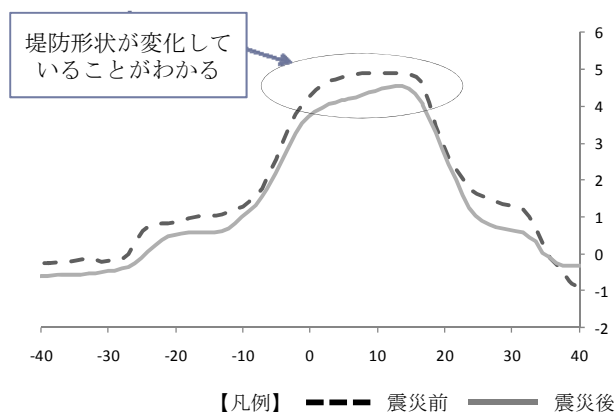
本分析では、震災前後の3次元CADデータの任意断面形状を比較し、局所的な変化が確認できるかを検証した。任意断面形状は、重ね合わせた震災前後の3次元CADデータから、200m間隔で横断面を指定し、横断面図を自動生成して比較した。図-14は横断面の作成箇所を示している。特徴が同様の箇所もあるため、本稿では、断面A（図-15）および断面I（図-16）を取り上げて考察する。



【凡例】 震災前 震災後
図-13 震災前後の3次元CADデータ重ね合わせ



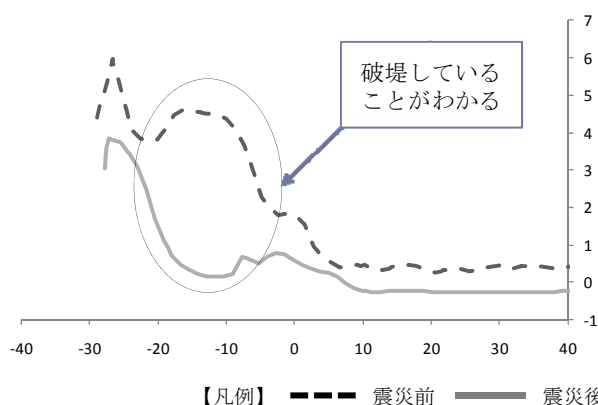
【凡例】 震災前 震災後 □—断面測線
図-14 震災前後3次元CADデータ任意断面の作成箇所



【凡例】 --- 震災前 — 震災後
図-15 震災前後3次元CADデータ任意断面Aの可視化

- 震災後の標高が震災前と比較して低下している。震災後の3次元CADデータはZ方向に約+39cm補正しているため、エリアによっては1m程度の沈下の可能性がある。このことから、各エリアの断面の比較により地盤沈下などの度合いが即座に確認できる。
- 断面Aを確認すると、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、局所的な損傷箇所などが確認できる。
- 断面Iを確認すると、震災前後の堤防形状が大きく変化していることがわかる。震災前後の3次元CADデータの拡大図と航空写真（図-17）とで詳細に確認すると、破堤していることがわかった。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確認できる。

これらの特徴は、3次元CADデータから作成した任意断面の重ね合わせによって容易に確認できることが明らかとなった。そのため、破堤箇所などを確認した結果を



【凡例】 --- 震災前 — 震災後
図-16 震災前後3次元CADデータ任意断面Iの可視化



図-17 断面I周辺の3次元CADデータと航空写真

踏まえた発注工事の設計図書の横断図は、3次元CADデータから自動作成して活用できると考えられる。

d) 震災前後の堤防の土量差分

本分析では、震災前後の3次元CADデータの河川水位を基軸とした堤防の土量を算出し、復旧工事に必要な数量を把握できるかを検証した。土量の算出には、AutoCAD Civil 3Dの土量算出機能を用いたが、とくに支障なく対処することができた。その結果、地殻変動が伴うような大規模な災害の条件下でも、震災前と同様の堤防に復旧するために必要となる土量の概数が把握できた。したがって、復旧工事の規模の把握や積算の基礎資料として活用ができる。

なお、今回のケーススタディでは、震災後の座標補正パラメータとして、独自の暫定措置による値を用いており、算出した土量の信憑性は保証できないことから、算出結果の数値の提示は割愛する。

5. おわりに

本研究は、LPなどの既存資産を用いた3次元CADデータの作成・活用方法を検討している。本稿は、その第一報として、新技術（LPから3次元CADデータを生成する技術）の実用性の検証結果および北上川下流域を対象にした震災前後の3次元CADデータを用いた分析のケーススタディの取組み状況を報告した。

新技術の実用性を検証した結果、現行の河川事業で扱っている資料（測量成果など）と同等の精度を確保していることを確認できた。また、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の結果、次の知見が得られ、復旧支援に利用できる汎用性を備えていることを確認できた。

- 震災前後の河川堤防が俯瞰できるので、堤防の面的変化や被害の甚大な箇所把握などが容易である。
- 3次元CADデータから任意で横断図が容易に作成できるので、堤防形状の変化や各箇所の堤防・地盤沈下の度合いの違いなどが確認可能となり、迅速な復旧対策や発注工事の設計図書の利用に寄与できる。
- 被害状況の定量化（津波で流された土量）が容易にできるため、復旧工事の規模（積算）などの目安が早期に把握できる。

今後は、情報化施工や河川管理の平常時での3次元CADデータの活用方策も検討し、災害時・平常時の両局面で機動的かつ効果的に対処できる既存資産の活用環境の構築に取り組む。

参考文献

- 1) 東日本大震災復興構想会議：復興への提言～悲惨のなかの希望～，2011。

- 2) 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。
- 3) 国土交通省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，2011.8.30）
- 4) 野仲典理，藤田光一，石神孝之：河川の整備状況評価の中小河川を含む水系全体への展開，土木技術資料，土木研究センター，Vol.48，No.8，pp.36-41，2006。
- 5) 榎村康史，山本晶，大谷周：航空レーザ測量による3次元データの管理及び高度活用検討，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.291-292，2007。
- 6) 伊藤弘之，山本晶，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。
- 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。
- 8) Tanaka, S., Imai, R., Nakamura, K., Kawano, K.: Research on Generation of a 3D Model Using Breakline from Point Cloud Data, *Proceedings of the 10th International Conference on Construction Applications of Virtual Reality*, pp.347-356, 2010.
- 9) 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誌），日本知能情報ファジィ学会，Vol.23，No.4，pp.198-216，2011。
- 10) 大津慎一，佐田達典：三次元形状計測における大量点群データの処理手法，土木情報利用技術論文集，土木学会，Vol.16，pp.27-36，2007。
- 11) 谷口健男，真下啓治：3次元体表面上の点群を用いた形状生成と要素分割，応用数理，応用数理学会，Vol.15，No.4，pp.310-319，2005。
- 12) Gumhold, S., Wang, X. and MacLeod, R.: Feature Extraction from Point Clouds, *Proc. of 10th International Meshing Roundtable*, Sandia National Laboratories, pp.293-305, 2001.
- 13) 古谷隆志，真鍋友和，谷口健男：point cloudsからの特徴線抽出とそれを利用した3次元領域形状の生成，計算工学講演会論文集，計算工学会，Vol.9，pp.773-776，2004。
- 14) 小林一郎，宮下征士，坂口将人，上田誠：MMSデータを用いた視距改良設計，土木情報利用技術論文集，土木学会，Vol.18，pp.1-8，2009。
- 15) LandXML.org：LandXML-1.2，2008。
- 16) 国土交通省河川局：航空レーザ測量による河道及び流域の三次元電子地図作成指針（案），2005。
- 17) 国土交通省国土地理院：地震前の測量成果を地震後の測量成果に補正する例，＜<http://psgs.v.gsi.go.jp/koukyou/public/qanda/q101.htm>>，（入手，2011.8.30）