

- 4 三次元形状計測における大量点群データの処理手法

Method of processing data with a cloud of points on the 3-D shape surveying

大津慎一¹・佐田達典²

Ohtsu Shun-ichi, Sada Tatsunori

抄録: 三次元レーザースキャナーなどの三次元形状計測機器では、計測対象の表面形状を細密な点群として取得するため大量な座標情報を含む計測データが取得される。計測データには位置情報だけでなく計測対象の色などの視覚情報も付加されるので、対象物の詳細な形状の再現など視覚情報の構築も可能となるが、その反面、情報量が膨大となり後処理に対する負荷が増大するなどの問題も生じる。また付加情報を持たない計測データと混在させて処理を行う場合、付加情報を活かした成果作成を行うことができない可能性がある。そこで筆者らは計測点数の増加による負荷を軽減し付加情報を有効に活用することに重点をおいた大量点群処理手法の研究およびシステム化を行った。

Abstract: This paper describes the development and systematization of processing technique of a large amount of 3-D points to reduce the processing load due to the increase of the number of points and additional information. Since the surface is measured in detail by the measurement equipment like 3-D laser scanner, data including a large amount of location information is obtained. Because information on the color etc. is also included in data besides the location information, the detailed object model can be made. But the volume of information is so huge that the processing load may grow to cause the serious problem. The proposed technique and system has been developed in order to solve the problem and to make use of the additional data such as color information etc.

キーワード: 三次元レーザースキャナー, CAD, 計測

Keywords : 3D-Laser Scanner; CAD, Surveying

1. はじめに

近年、地形計測¹⁾や構造物の形状計測²⁾など様々な分野における三次元レーザースキャナーの活用方法の研究および適用が進められている。三次元レーザースキャナーによる計測では、機器を中心とした一定範囲内を無差別に計測するため計測対象の表面形状を細密な点群として取得することが可能である。機器によっては位置情報だけでなく色などの視覚情報も付加されているので、色などの視覚情報と位置情報を合成し、CGなど従来計測と異なる表現をすることも可能である。その反面、1回の計測で数百万点といった大量な位置情報を取得するため、従来計測機器による計測と同様の処理を行おうとした場合、処理に対する負荷が増大する。また従来法の処理では位置情報のみによる成果作成であるため、処理の過程で三次元レーザースキャナーにより取得した付加情報が欠落する。そのため付加情報を反映した成果品を作成するためには従来成果品とは別の工程で作成する必要がある。

しかし今後、三次元レーザースキャナーのような対象物の表面形状を詳細に計測する三次元形状計測手法が普

及することで大量な位置情報の処理や対象物の色などの付加情報を反映させた既存成果にはなかった新たな成果品の作成などといったニーズが高まることが予想される。そこで筆者らは三次元レーザースキャナーによる計測を例とし、位置情報や付加情報を持つ数千万点規模の大量点群データの効率的な処理方法について検討を行うとともに従来成果品と付加情報を反映させた成果品の作成工程の統合化を行うシステム構築を行った。

本稿は、計測点数の増加による負荷を軽減し付加情報を有効に活用することに重点をおいた大量点群処理手法の研究およびシステム化による処理手法の検証についてである。

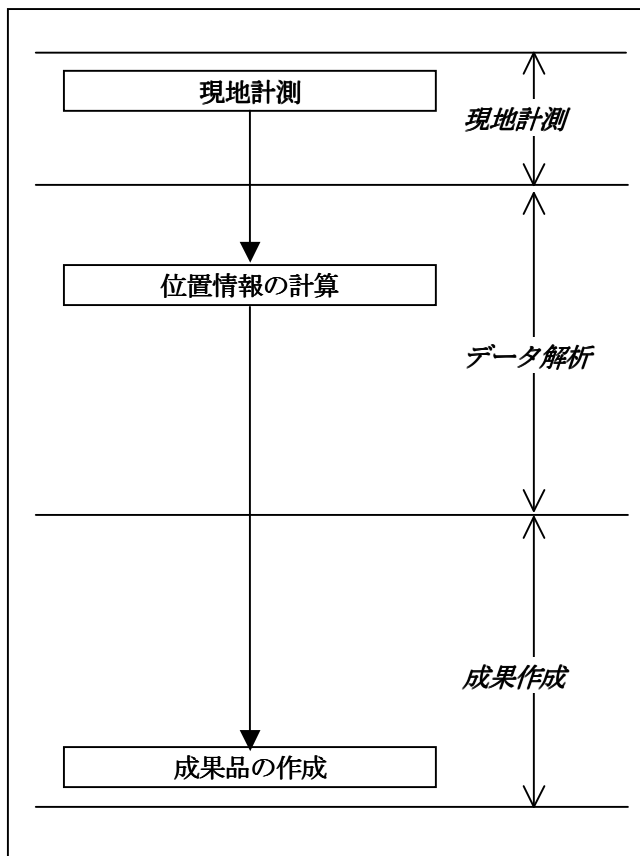
2. 三次元形状計測における問題

トータルステーションやGPSなどの既存の計測方法は、ターゲットやGPSアンテナを設置した箇所などを1点ずつ直接視準などして計測する。そのため1回の現地計測で取得される計測点数は、必要最低限の点数となり多くても数百点から数千点程度であり、取得した計測値を用いてそのまま成果品の作成を行うことが可能である

1 : 正会員 三井住友建設株式会社 技術研究所 土木研究開発部

(〒270-0132 千葉県流山市駒木 518-1, Tel : 04-7140-5202, E-mail : ohtsushunichi@smcon.co.jp)

2 : 正会員 日本大学 教授 理工学部社会交通工学科

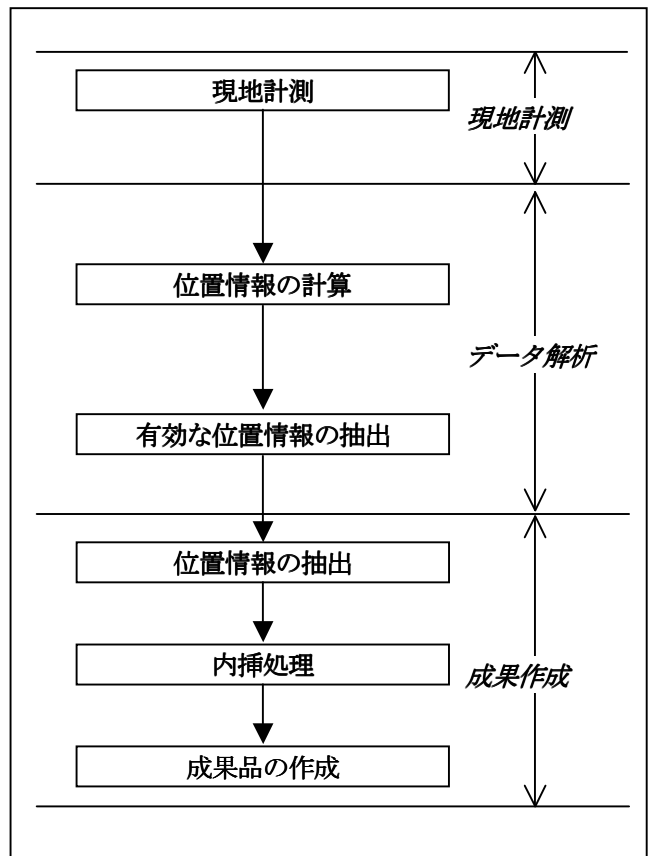


図—1 従来計測手法における成果作成の流れ

(図—1)。それに対して三次元レーザースキャナーのような大量な点群データを取得する計測機器では、一度器械を設置して設定を行うと設定にしたがい範囲内の位置情報を無差別に取得し、1計測で取得される位置情報は約数百万点となる。また現地計測では、計測対象となる地形や構造物などの状況によって器械位置の盛り替えを行いながら複数の計測を行うため、1回の現地計測で取得される位置情報は数千万点規模となることが少なくない。そのため以下のような問題が生じる。これら問題点を踏まえ、今回開発を行ったシステムでは図—2に示すような流れで大量な点群データの処理を行い成果品の作成を行っている。

(1) 既存処理方法の適用における問題

一般的な成果の作成などを処理方法では、従来計測手法で取得された位置情報の処理を前提としている。しかし従来計測手法と三次元レーザースキャナーのような大量な点群データを取得する計測手法では、取得される位置情報量に大きな差が生じるため、処理を行う機器やソフトウェアなどに大きな負荷が生じて処理能力の低下や処理不能な状態に陥る可能性がある。間引き処理などによって位置情報量を減らす方法も考えられるが、変化点を捉えきれない可能性があり計測対象の表面形状を詳細に計測するといった特長を活かすことができない。



図—2 三次元形状計測における成果作成の流れ

(2) 計測方法における問題

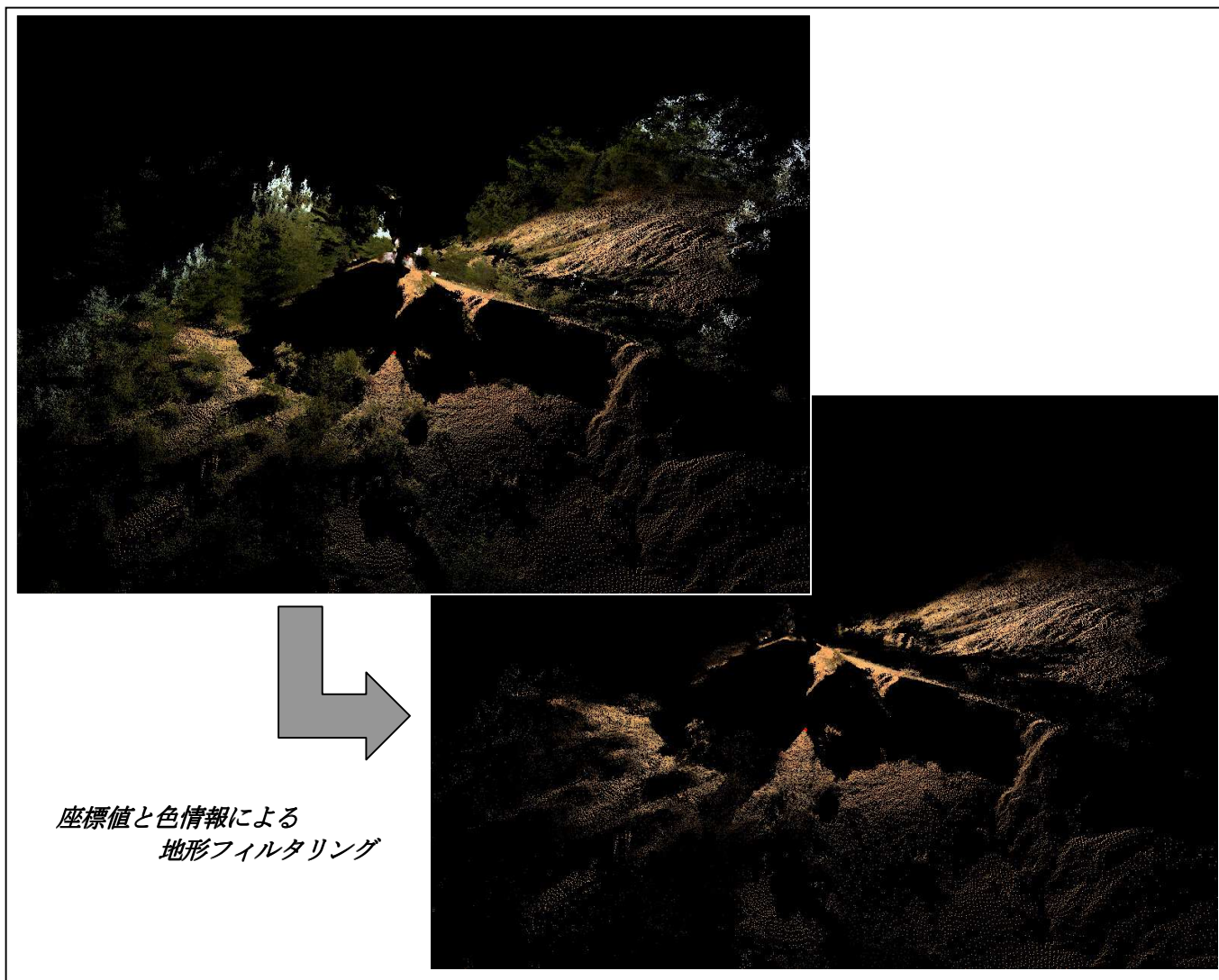
三次元レーザースキャナーでは、計測時に設定を行った範囲の計測を行っているため測点や測線など計測を行いたい箇所の直接的な位置情報ではなく、近傍の位置情報が取得される。そのため成果品を作成するための位置情報として直接利用することができず、内挿処理を行う必要がある。

(3) 不必要なデータ取得における問題

地形計測を行う場合には、計測範囲に含まれる樹木などの障害物も同時に計測される。このような不必要なデータは、現地計測の段階で除外することが不可能であるため、成果品を作成する前に計測データから除去する必要がある。

(4) 付加情報の取り扱いにおける問題

従来計測手法では、位置情報のみの取得を行い成果品の作成を行っている。しかし三次元レーザースキャナーでは、位置情報のほかに計測対象表面の色や反射レーザー光の強度といった付加情報も同時に計測を行っている。そのため従来計測手法と同様の処理を行った場合、これら付加情報が欠落する。



図—3 フィルタリングによる有効データの抽出

3. 処理における負荷の軽減

大量な点群データの処理では、前述のように大量な計測点数によって生じる処理に対する負荷の増大と計測方法における問題をどう対処するかが重要な要素となる。対処方法については様々な方法が考えられるが、本稿では以下の3点について述べる。

(1) 有効データ抽出による処理点数の軽減

大量点群データは、器械設置時の設定をもとに設定範囲内の位置情報を無差別に取得しているため、樹木などの障害物や計測対象の背景地形などといった解析や成果作成に不必要な位置情報を取得している場合がある。このような位置情報を含んだ状態で処理を行うと、成果品の品質が低下する可能性がある。そのため計測データから解析や成果作成に必要な位置情報のみを抽出することで成果品の品質を確保し、かつ処理を行う位置情報の削減を行うことができる。有効データの抽出方法には様々な方法があるが、数値解析によるフィルタリングが

一般的である。位置情報は各計測点の三次元座標値であるので、この座標値を用いて図—3に示すように樹木など障害物の除去や領域設定による絞込みを行うことが可能となる。また三次元レーザースキャナーを例にあげると、位置情報のほかに対象物の色情報などといった付加情報が各計測点の情報に付加されているため、これを活用してk-means法やクラスタ分割などといったリモートセンシング技術³⁾では一般的となっている数値解析による有効データの絞込みも可能となる。

(2) 仮想的な接合による検索点数の軽減

大量点群データは、個々の計測データに含まれている位置情報量も膨大であるが、機器の盛り替えをすることによって取得された複数の計測データを接合することでさらに膨大な情報量となる。しかし各計測データは区切りのよい箇所では分割されているのではなく、あくまで計測時の設定と計測機器の性能などによって分割されている。特に計測データの周辺部では他の計測データとのラップを利用し、オクルージョンによるデータの欠損や点

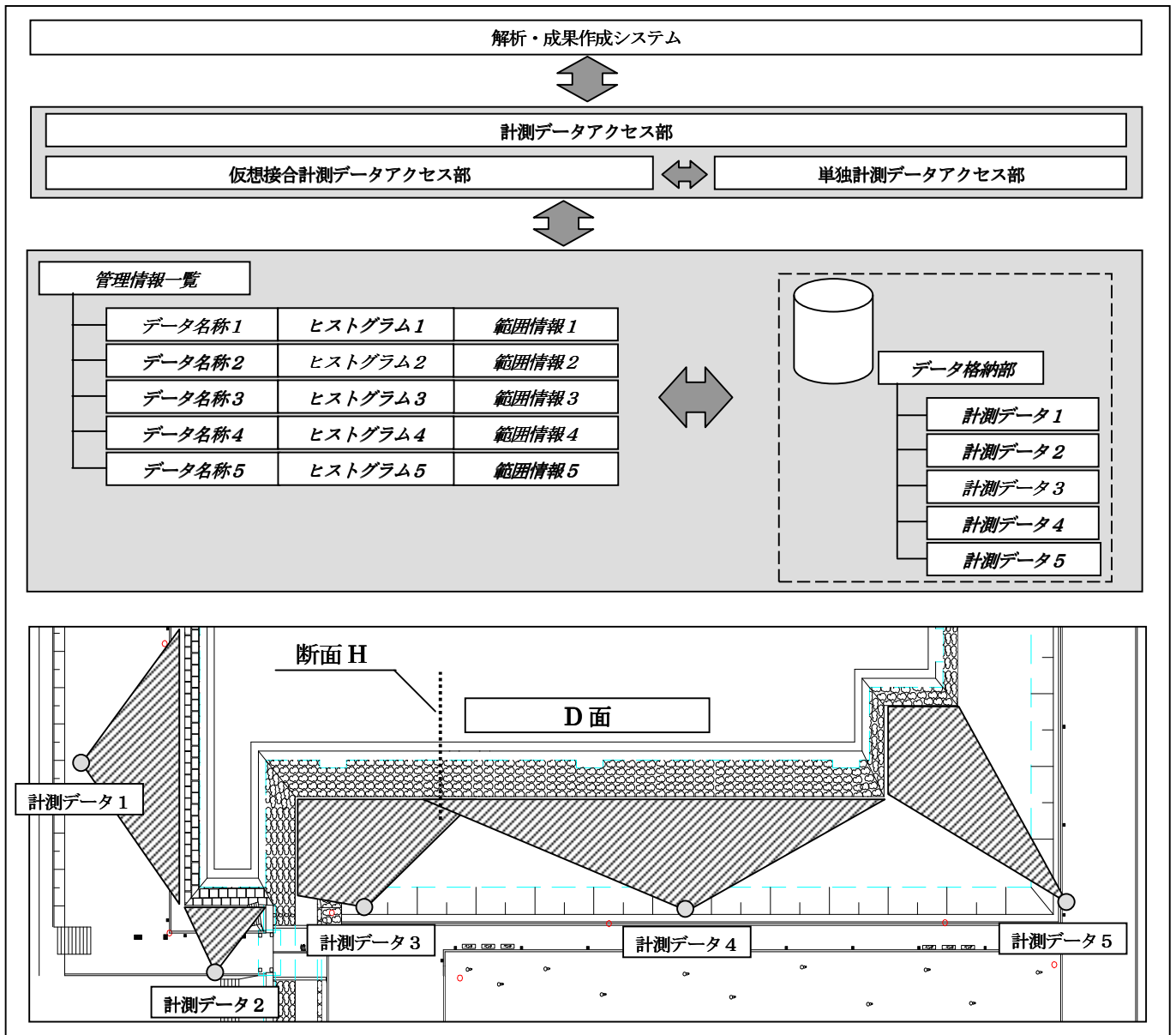


図-4 石垣計測における計測データの管理と計測位置

間の拡がりなどによる成果品の品質への影響を軽減する必要がある。ただし1回の現地計測で取得される計測点数は数千万点規模となることも少なくないため、1つの計測データに結合を行うとデータアクセス等に大きな負荷が生じる。そこで各計測データを物理的に接合するのではなく、あたかも接合された1つの計測データとして取り扱う仮想的な接合方法が必要となる。

仮想的なデータ接合方法としては、図-4に示すようにに接合された計測データのデータ名称一覧を作成し、計測データを参照するためのテーブルとして管理する方法が考えられる。このとき各計測データは、データ名称に関連付けられた独立したデータとして存在する。つまり必要に応じてデータ名称一覧を参照し関連付けられた計測データから位置情報を取得することで、1つの計測データに結合を行わなくても接合された計測データと同様に扱うことができる。

ただし単純にデータ名称だけで管理を行うと、どの計測データにどの範囲の位置情報が含まれているか判断することはできず、全体的な計測点数が増加するとデータの参照回数も増加し、処理効率の低下がおこる。そのためデータ名称以外にも計測データが含まれている範囲情報や計測データを構成する各点の明るさ（輝度）やレーザー光の反射強度などのヒストグラムを各計測データの固有情報として同時に管理することで、処理の内容に応じて参照する必要がある計測データであるか否かの判断を行うことが可能となる。

例えば図-4においてD面上に断面Hを設定し断面図の作成を行ったとすると、D面に関連する計測データは計測データ3と計測データ4となる。人が目視で判断するのは違い、処理を行うシステムではどの計測データがどの範囲までの点群を含んでいるかを判断することができない。そこで範囲情報をもとにシステムは設定断面

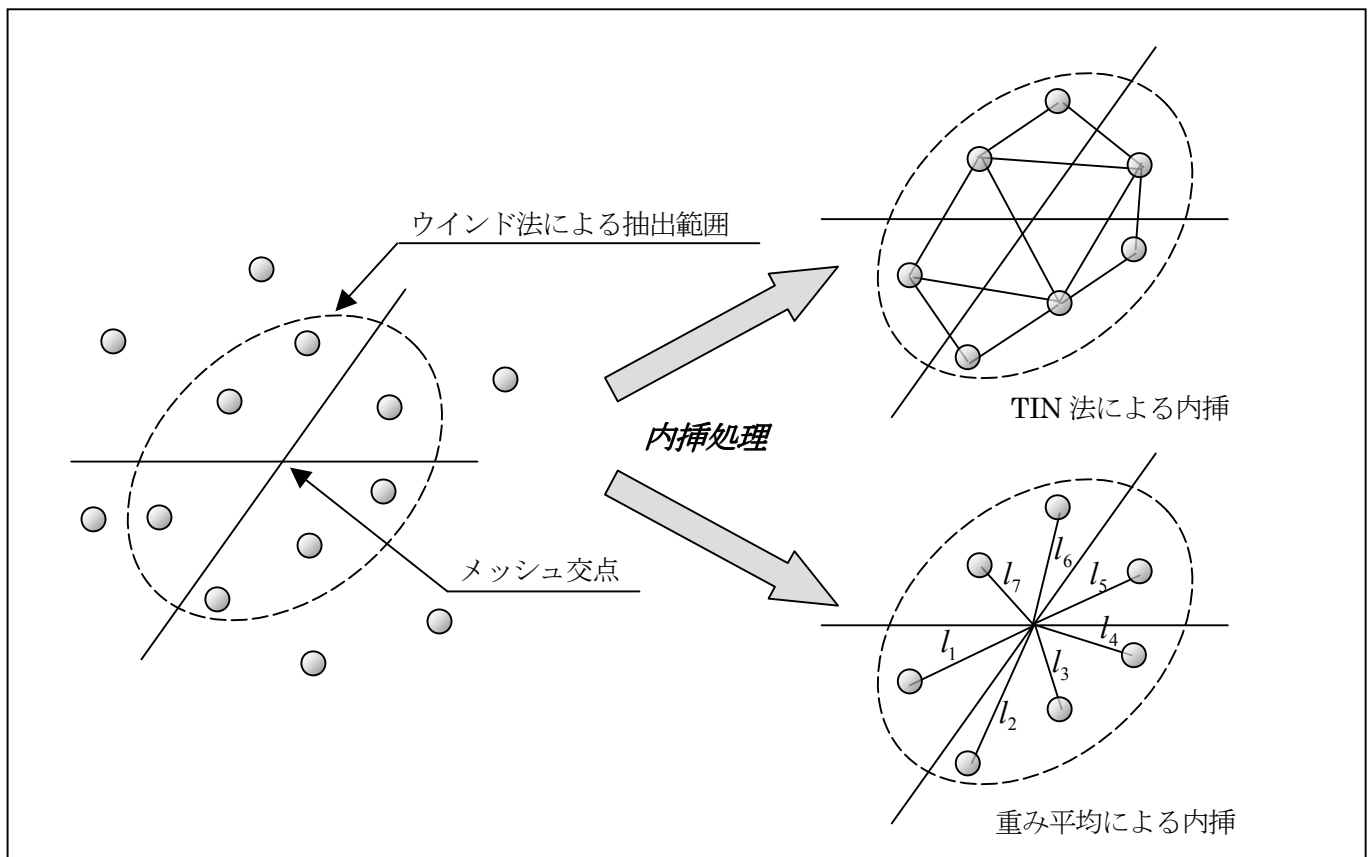


図-5 ウインド法によるメッシュ交点の算出例

に関する計測データを識別し、不要な計測データを参照することなく効率的な処理を行うことができる。

(3) データの特性を活かした処理

大量点群データは、現地計測の状況によって異なるが単位面積あたりに含まれる計測点数が非常に多いことが特徴である。このため従来処理のように処理範囲全体を対象とした TIN 法による解析を行う場合には、計算対象となる計測点数が多いため処理に与える負荷の影響が大きくなる。しかし逆に計測点の密度の高さを利用すれば、**図-5**に示すように比較的処理点数に影響を受けにくいウインド法により処理対象の絞込みを行い、内挿などの処理を行うことで処理範囲全体を対象とした TIN 法と同等の成果品を作成することも可能となる。**図-6**は設定線近傍の点を抽出し、近似処理によって細線化を行った断面である。点群表示を見てもわかるように目視でも断面の形状を十分把握することが可能である。このように効率的な絞込みとデータ特性に合った処理を併用することで計測点数に影響を受けにくい成果作成が可能となる。

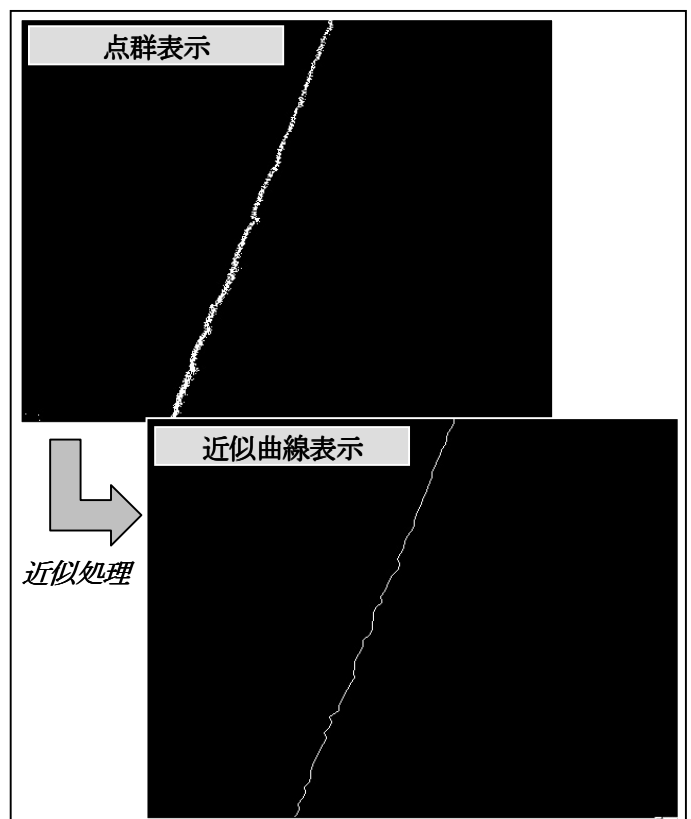


図-6 抽出断面と近似処理による細線化

4. 付加情報を含む点情報の取得

次に計測データに含まれる付加情報の取り扱いについて述べる。三次元レーザースキャナーによる計測を例にあげると、多くの機種で生成される計測データには対象

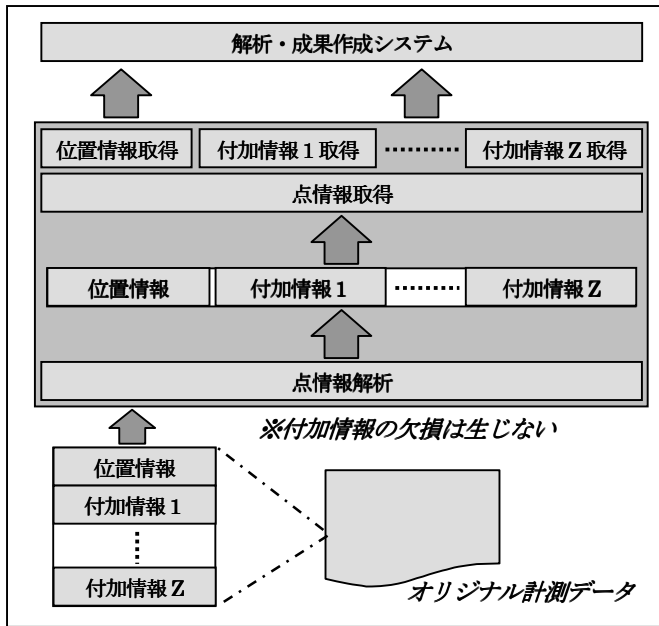


図-7 データアクセス時における点情報構築

物の位置情報のほかに計測対象表面の色や反射レーザー光の強度などの付加情報が含まれている。従来の計測方法では位置情報のみの取得であったため、処理において付加情報といった概念が存在しない。しかし詳細な形状計測によって取得された位置情報と計測対象表面の色情報などを組み合わせることで計測対象の詳細なモデルを作成することが可能となり、大量点群データの取得における利点となる。また前述のようにデータ解析による有効データの抽出においても付加情報による解析が可能となるため有用な情報であるといえる。しかし使用する機器によって取得できる付加情報の種類が異なる可能性があるため、複数の計測機器の計測データを共存させて処理を行う場合には、対応する計測データに含まれるすべての付加情報の取得を可能にする方法（図-7）と一般的な付加情報に絞込んで処理を行う方法（図-8）の2通りが考えられる。

(1) データアクセス時における点情報の構築

図-7に示すように計測データに対してアクセスを行う際に点情報の構築を行う場合には、アクセス時にデータ形式の識別を行う。識別の結果により対応する計測データであれば、点情報の構築を行いシステムに対して構築された点情報の受け渡しを行う。この場合、対応する計測データについてはデータ構造を把握しているため、点情報の構築における付加情報の欠損は生じない。つまりデータアクセス時にデータ形式の識別および点情報の構築を逐次行う場合には、対応可能な計測データが持つすべての情報を利用することが可能となる。

ただし、計測データへのアクセスを行うごとにデータ形式の識別と点情報の構築を行うため、データアクセスが頻繁に発生すると、点情報の取得に対してタイムラグ

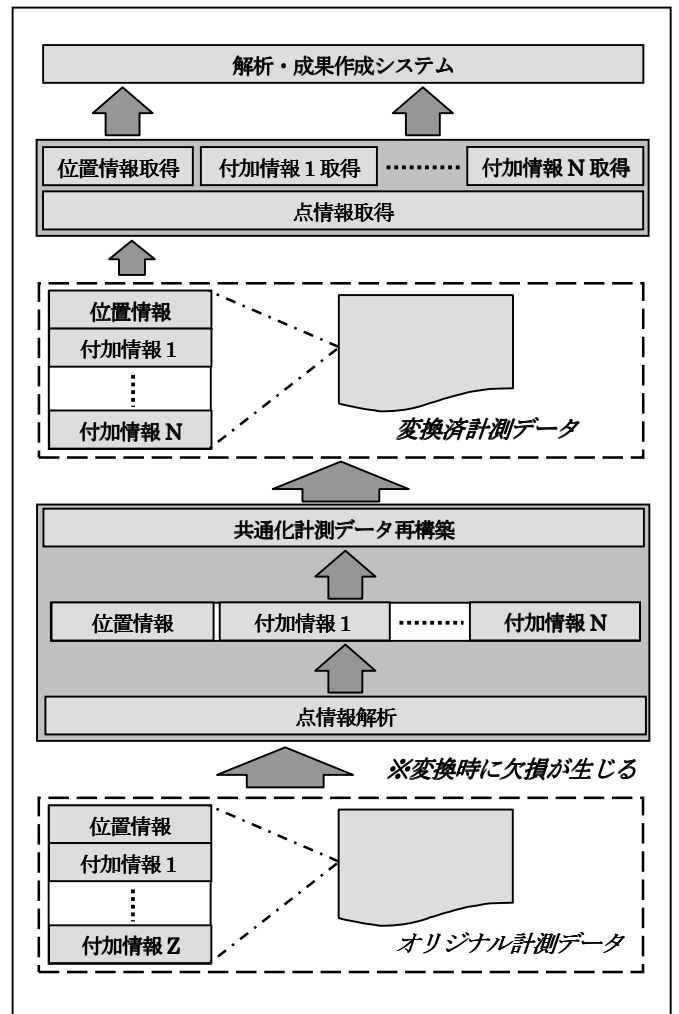


図-8 データ形式の共通化

が生じ処理能力が低下する可能性がある。また新しいデータ形式を扱うためには、システムの再構築が必要となる。

(2) データ形式の共通化

図-8に示すように大量点群データを共通したデータ形式に変換を行い、点情報の統一化を行うことで複数計測機器の計測データを共存させた処理を実現する方法も考えられる。しかしデータ形式を統一する場合には、データ形式を決定してシステムの構築を行った段階で考慮されなかった付加情報は、データ変換時に欠損するといった問題も生じるが、データアクセス時において直接点情報の取得が行えるため、ほぼリアルタイムなアクセスが可能となる。また新たな計測機器の対応についても計測データを変換するソフトウェア上での対応が可能であるため、システムの再構築が不要となる。

ただしデータ形式の統一化を行う際には、付加情報の欠損のほかに元計測データの各点情報がどのように配置されているかについても留意する必要がある。つまり配列構造を持ったデータ形式とランダムな点群構造として格納されるデータ形式の2種類のデータ形式が存在する



上：計測データの二次元画像表示
 右：計測データの三次元モデル表示

図—9 計測データの可視化

ため、2つのデータ形式の特長を活かす上でそれぞれ異なるデータ形式として定義する必要がある。

a) ランダムな点群構造を持つデータ形式

ランダムな点群構造の計測データは、特に法則性のない点情報が格納されるデータ形式である。この計測データを可視化する場合には、三次元モデルとして表現することができる(図—9)。これにより有効データの抽出状況を目視で確認することが可能である。また付加情報と関連付けを行った三次元モデルとして成果作成を行うことでも文化財や遺跡などの計測における表現方法のひとつとして活用することも可能である。

b) 配列構造を持つデータ形式

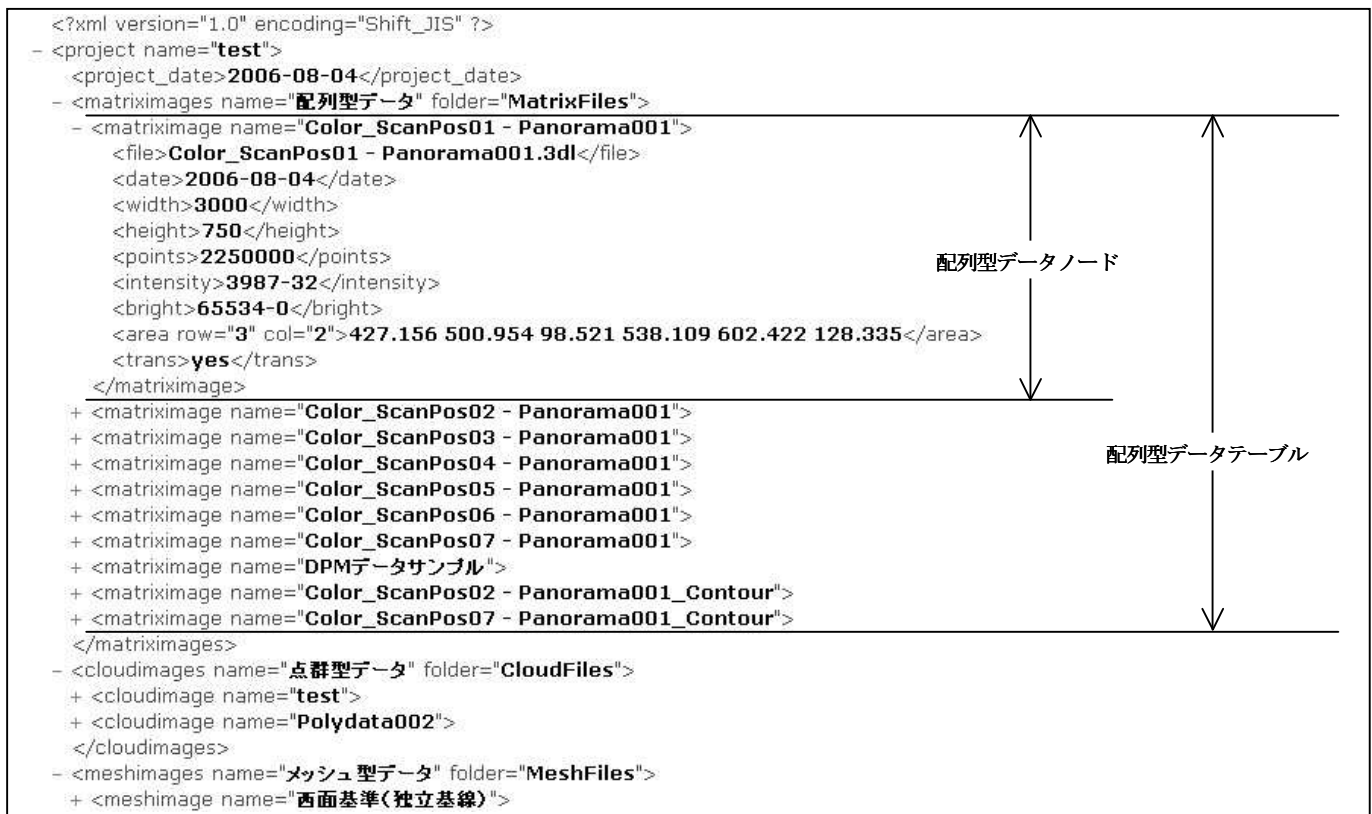
配列構造のデータ形式は、一定の法則に従って多次元な配列として点情報を格納している。配列という条件を無視すればランダムな点群としてみることもできる。しかし、配列構造の特性を活かして点情報を画像における画素として置き換えることで、様々な二次元画像として可視化することが可能である(図—9)。二次元画像化す

ることで通常の計測データでは不可能であったエッジ抽出などの画像処理技術の応用も可能となる。またランダムな点群と同様に三次元モデルとして可視化することも可能である。

なお、図—9に示す二次元画像および三次元モデルは、同一の計測データである。二次元画像は三次元レーザースキャナーを中心としたパノラマ画像、三次元モデルは三次元レーザースキャナー設置箇所の上方からの鳥瞰視点として可視化している。

5. システムの構築

本稿で述べた処理手法の検証を行うために、大量点群データを用いた解析や様々な成果作成を行うシステムの構築を行った。本システムでは、点情報の取得方法として計測データをあらかじめ決められた計測データ形式に変換することで対応している。以下に処理手法の実装方法について示す。



図—10 XML形式のプロジェクト構造

(1) データの管理手法

計測データの管理では、現地計測で取得した計測データを図—10に示すXML形式のプロジェクトによって一元的に管理することで計測データの仮想的な接合の実現を行った。プロジェクトでは、登録した計測データごとにノードの作成を行い、仮想的な接合手法で必要となるデータ名称一覧の構築を行っている。また範囲情報や個々の付加情報の最大値と最小値などは、各ノードにおける要素値として登録されている。登録された計測データは、登録時に本システムによって統一されたデータ形式に変換を行い、プロジェクトによって管理されたフォルダー内に保存される。

またプロジェクトでは計測データだけでなく、各種処理によって生成された断面データやメッシュデータなどの処理データの管理も行っており、処理結果の再編集や二次処理等への利用などが可能となっている。

(2) 有効データのレイヤー管理

本システム上で実現を行った有効データの抽出機能では、解析や成果作成などに不必要な点情報の削除を行わずに、新たな付加情報としてレイヤー情報を設けることで有効データであるか処理に不要なデータであるかの判断を行うようにしている(図—11)。レイヤー管理を行うことで、有効データ抽出の再試行を容易にし、有効データの抽出処理の際に発生するフィルタリングなどのヒューマンエラーの軽減を図っている。また有効データを

複数レイヤーに分けることで処理の分割化も可能となるため処理点数の軽減を図ることもできる。

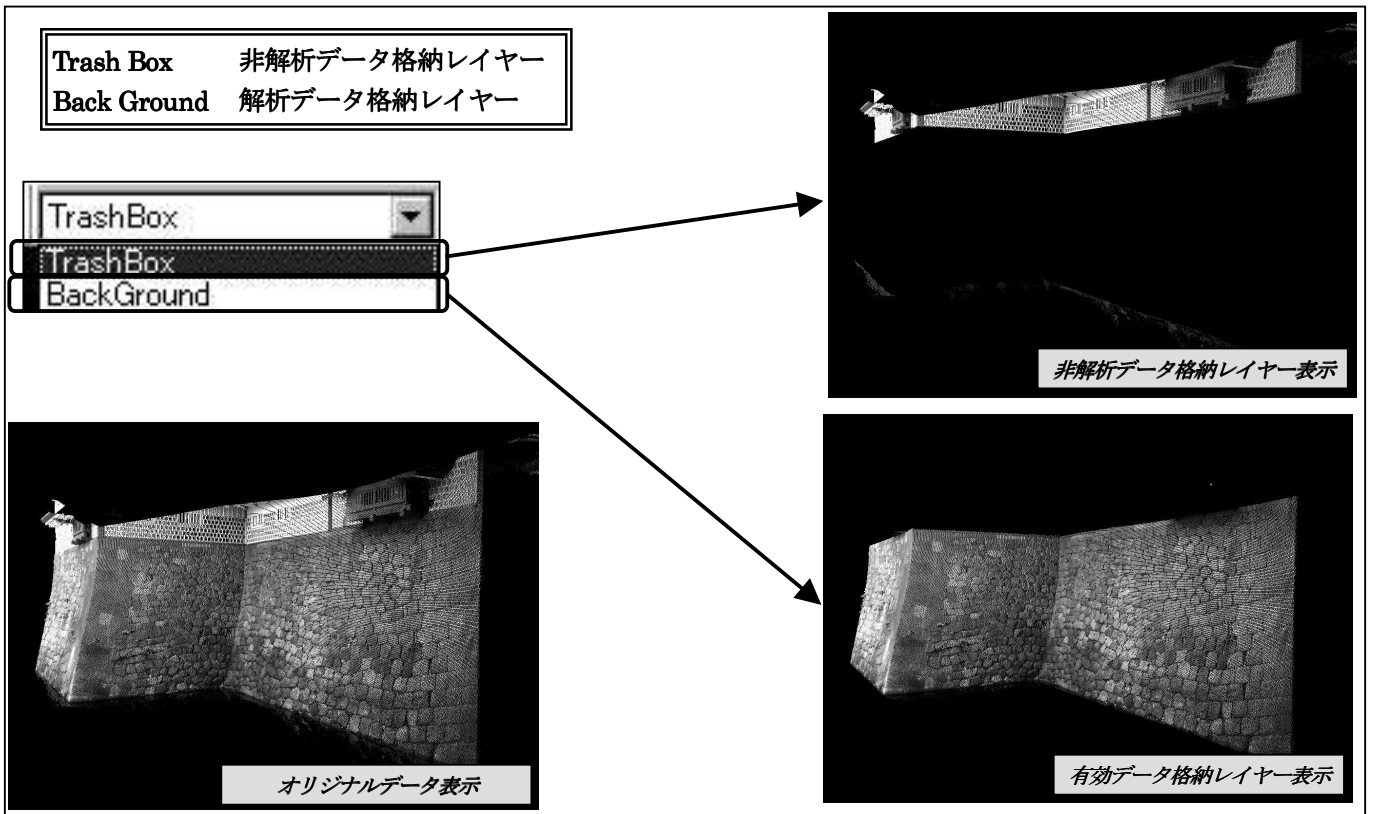
本システムでは、有効データの抽出作業を個々の計測データ単位で行えるようにしている。抽出の方法としては、位置情報や付加情報を用いた数値解析によるフィルタリングや計測データの二次元表示による画像解析を用いたフィルタリングがある。また数値解析や画像解析だけでは抽出困難な状況もあるため、手で範囲設定を行うことでフィルタリングすることも可能である。

(3) 既存成果品の作成

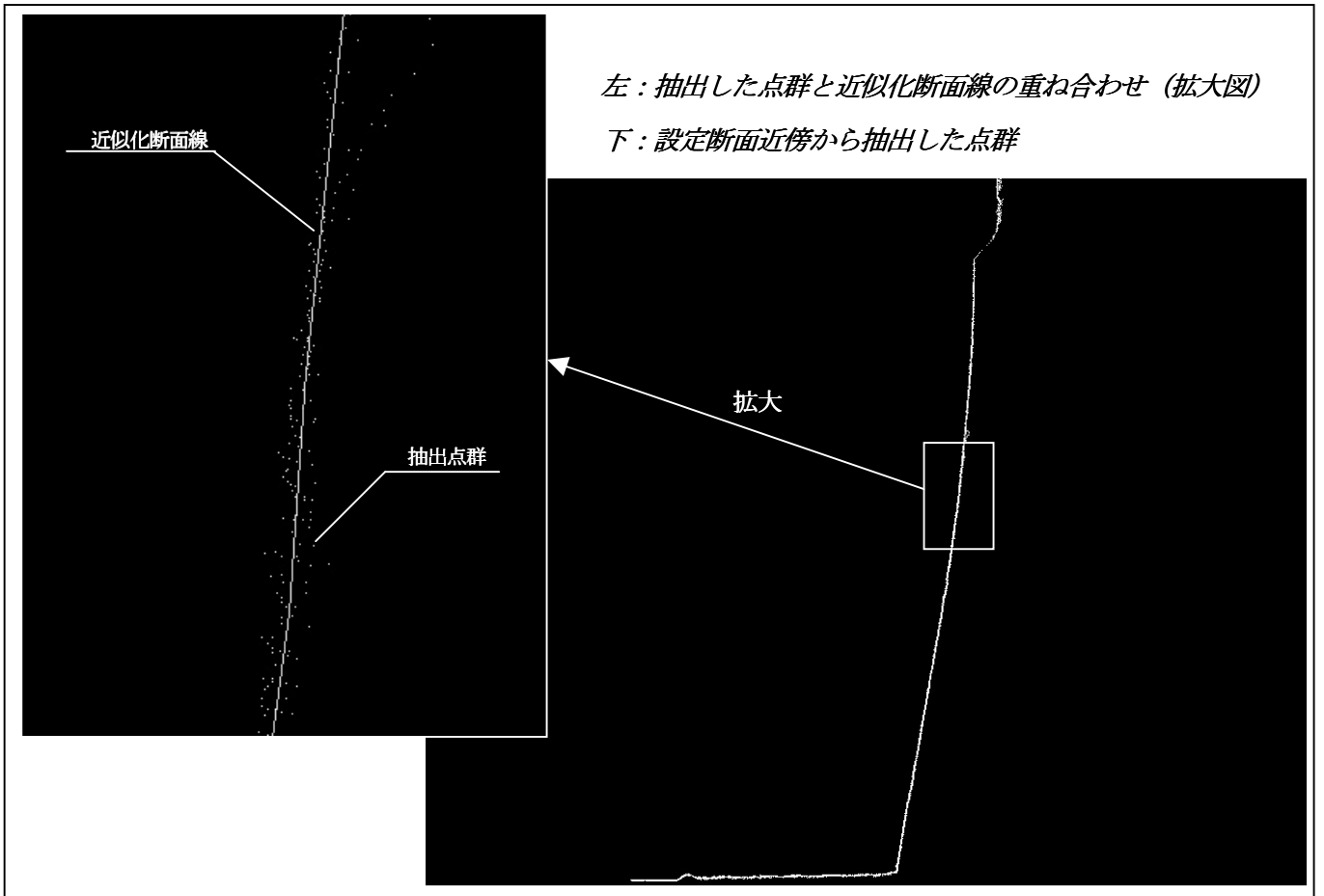
既存成果品の作成は、登録されている計測データもしくは作成成果の二次利用によって作成を行う。本システムで作成可能な成果品は、断面データ、メッシュデータである。

断面データの作成は、図—12に示すように抽出をおこなった設定断面線近傍の点情報を用いて数値解析による近似線形の算出を行い生成している。図—12に示す近似線形は、非一様有理 B-Spline 曲線式³⁾(NURBS)を用いて近似線形の算出を行い生成したものである。

メッシュデータは、図—13に示すようにメッシュ基点などのパラメータをもとに複数の計測データから点情報を算出することで生成を行っている。またメッシュデータを構成する各交点の評価値は、ウインド法によってメッシュ交点近傍の点情報を抽出し、重み平均法による内挿処理⁴⁾によって算出している。



図—11 レイヤー管理による有効データの抽出



図—12 抽出点群と近似化断面線

(4) 付加情報を活用した成果品の作成

付加情報を活用した成果品として作成可能なものは、断彩データである。断彩データとは、筆者らが以前作成を行った城郭石垣計測システム⁵⁾におけるカラースペクトルデータを崖面や法面などでの変状計測や造成工事における出来形計測に対して応用できるように汎用化したものである。断彩データの作成は、**図-14**に示すように2つのメッシュデータの較差を色情報に置き換えることで三次元モデル上での変状などの視覚化を実現している。

6. まとめ

本処理手法の研究および実証システムの構築によって、従来手法では処理が困難であった大量点群データの処理を容易に行うことが可能となった。これによって処理の際に生じる負荷を考慮して現地計測で計測解像度を意図的に低下させることや解析時における点情報の間引きなどによる処理点数の軽減の必要がなくなり、計測機器が持つ性能を十分に活用することが可能となる。また解析時に付加情報を含めた処理が行えるため、従来成果品と付加情報を含めた成果品を同一の工程で作成することが可能となり、処理の重複による処理作業の手間を軽減することもできる。

しかし現状では、付加情報を持つ大量な点群データを生成可能な計測機器はあまり多くない。そこで今後は写真計測技術などを応用した三次元計測機器の開発を行い、本処理手法の有効活用を進めていく予定である。

参考文献

- 1) 大津慎一, 佐田達典, 村山盛行: RTK-GPS/三次元レーザー扫描仪を用いた自走型地形計測システムの開発, 土木学会第58回年次学術講演会, 2003年9月.
- 2) 大津慎一, 佐田達典: 三次元レーザー扫描仪を用いたプラント配管図作成システムの開発, 土木学会第57回年次学術講演会, 2002年9月.
- 3) 清水保弘: http://www.unisys.co.jp/tec_info/tr52/5203.htm, 日本ユニシス株式会社技報 52号 (一般号), 入手 2006年5月.
- 4) 村井俊治: 空間情報工学, 社団法人日本測量協会, 1999年4月.
- 5) 大津慎一, 佐田達典, 水本雅夫: 三次元レーザープロファイラを用いた城郭石垣計測システムの開発, 土木情報利用技術論文集, No.13, pp.165-172, 2004年10月.

(2007.5.18受付)

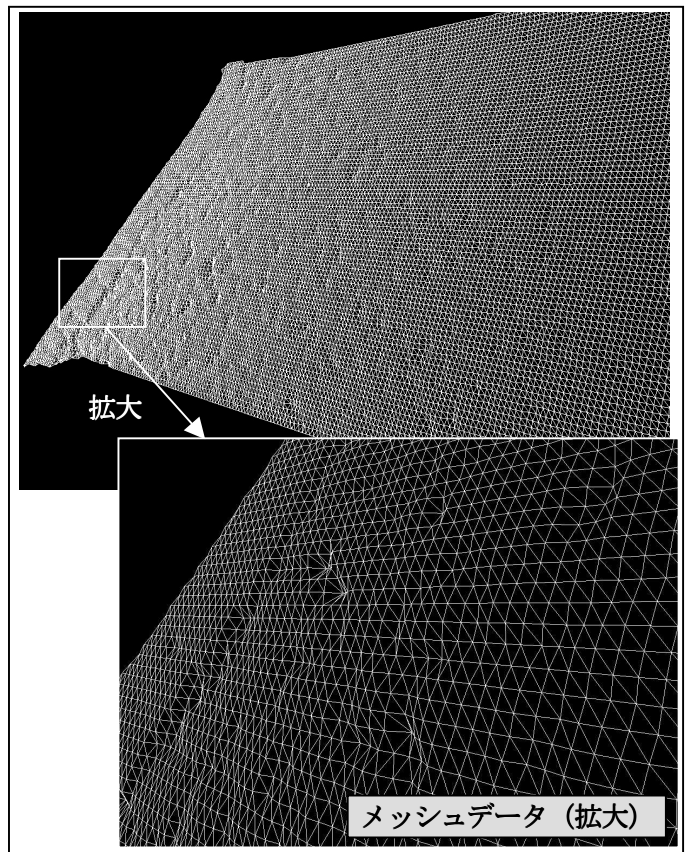


図-13 メッシュデータ

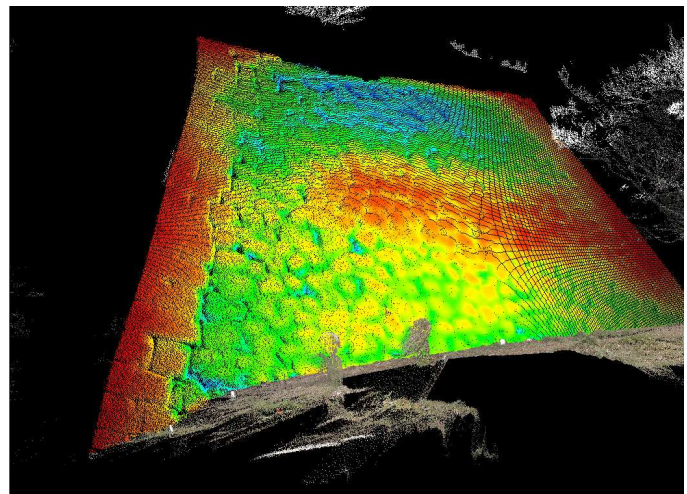


図-14 断彩データ