

三次元形状計測における大量点群データ処理システムの開発

Development of Data Processing System for a Cloud of Survey Points on the 3-D Shape Object

大津 慎一 SHUN-ICHI OHTSU

本稿では、大量の位置情報および付加情報を持つ点群データの一元的な処理を可能とするシステムの開発について述べる。大量な点群データの処理では、膨大な計測点数の取得によって従来の処理手法ではシステム等への負荷が問題となる。また従来手法では位置情報のみの成果作成がほとんどであるため、付加情報を活かした処理を行うことが難しい。そこで本システムの開発に当たり、大量の点群データの処理における負荷の軽減と付加情報の有効活用を可能とする手法の確立を行った。

キーワード：三次元形状計測, CG, CAD

This paper describes the development of the data processing system for a cloud of survey points, which have both mass position information and additional information. The existing mass point data processing method had problem in the system capacity etc. by acquiring the enormous amount of measured points. Since the existing method also generally being developed for processing the position information only, it is hard to process data with the additional information by the existing method. The Authors has established a system to enable the load reduction during the enormous amount of the data and to enable the application of the additional information.

Key Words: 3-D Shape Surveying, CG, CAD

1. はじめに

近年、地形計測¹⁾や構造物の形状計測²⁾などさまざま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、在来計測法とは異なり、対象物の詳細な形状の再現やCGなど視覚情報の構築も可能となる。その反面、従来計測機器では考えられないような大量の位置情報を取得するため、単純に従来法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がほとんどであるため、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可能性がある。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によって、大量の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。そこで筆者は、大量の位置情報と付加情報を持つ点群データの効率的な処理方法についての研究を行った。また既存成果品や付加情報を反映させた新たな成果品の作成工程を統一するシステムの構築を行い、成果作成における処理時間の短縮を図った。

本稿では、計測点数の増加による処理に生じる負荷の軽減と付加情報の有効活用に重点をおいた大量点群データの処理手法の研究とシステム化について述べる。

2. 大量点群データ処理システムの開発

トータルステーションやGPSなどの従来の計測方法では、ターゲットやGPSアンテナなど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

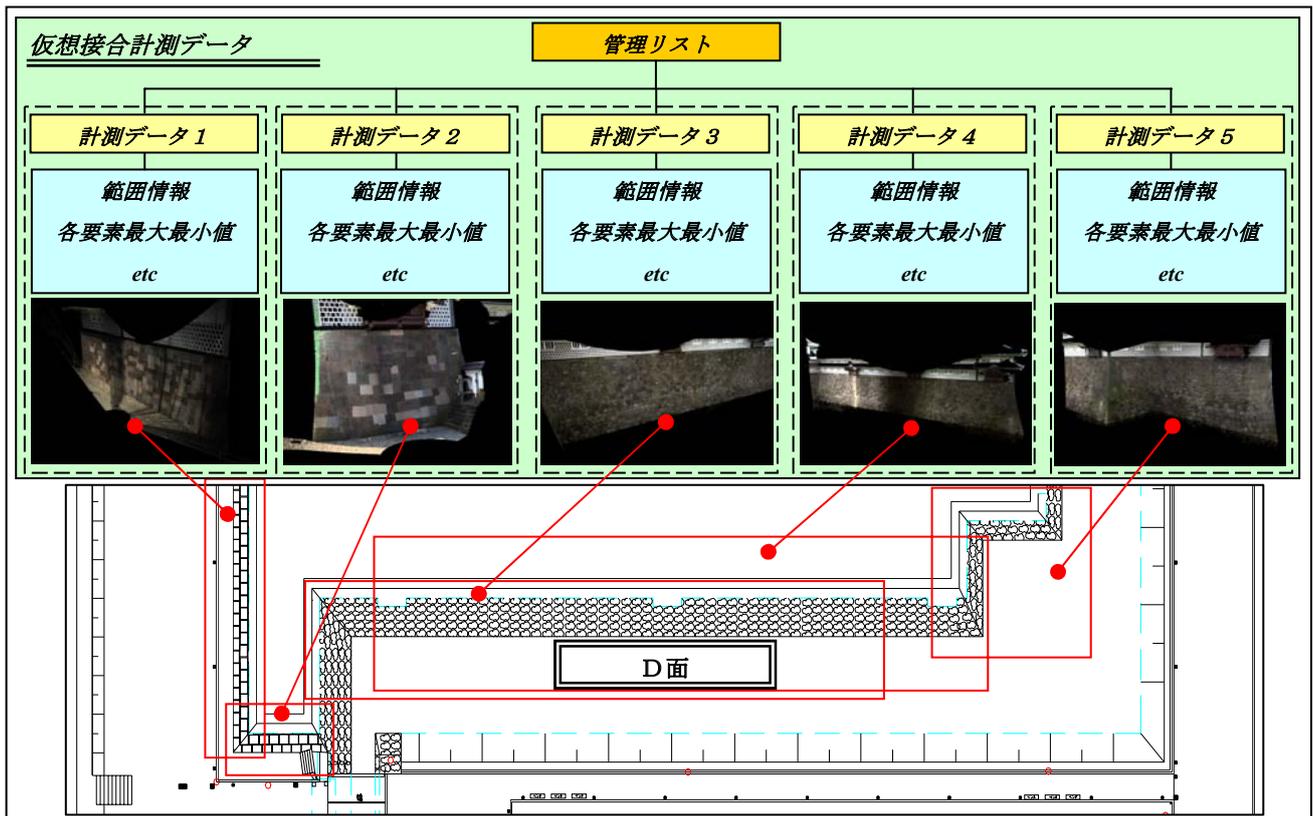


図-1 仮想的な接合による計測データ管理

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る。それに対して大量の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、設定に従い範囲内の位置情報を無差別に取得する。そのため1計測で約数百万点の位置情報が取得される。また現地計測では、計測対象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。このように大量の点群データを取得する三次元形状計測では、従来計測方法に比べ取得情報量に大きな差が生じる。そのため大量の位置情報を含む計測データを従来の処理方法により解析や成果作成などを行うと、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。つまり大量の点群データを取得する計測機器を用いて計測を行う場合には、処理などの際に生じる負荷をどのように軽減するかが重要な要素となる。以下に、本システムにおける大量の位置情報を持つ計測データに対する対処法と計測データの処理手法について示す。

(1) 計測データの管理手法

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、機器の設置位置を変更して

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。しかし個々の計測データは、計測視野角や分解能など計測時の設定や機器性能などによって位置情報が含まれる範囲が異なり、必ずしも処理に適切な領域で分割されているわけではない。また計測データの周辺部では計測データのラップが生じているため計測データを接合せずに単体で処理を行うと、位置情報の粗密によって成果品の品質にばらつきが生じる。そのため複数箇所から計測を行ったデータの接合を行い処理する必要があるが、同時に接合によって生じる情報量の肥大化についても考慮する必要がある。

本システムでは、登録された計測データのデータ名称や計測範囲などの情報をXML形式のプロジェクトファイルで管理することで計測データ間の関連付けし、仮想的な計測データの接合を行っている。このとき個々の計測データは独立したデータとしてプロジェクトが管理するフォルダー内に保存されるので、計測データ単位での参照も可能である。計測データを個別に管理するだけであれば、計測データの識別を行うために必要となるデータ名称をリスト管理するだけでよい。しかしデータ名称だけの管理では、各計測データに含まれている位置情報がどの範囲を示しているか判断することが困難となる。そのため成果作成を行う場合には、すべての計測データを検索して、成果作成に必要な位置情報を抽出する

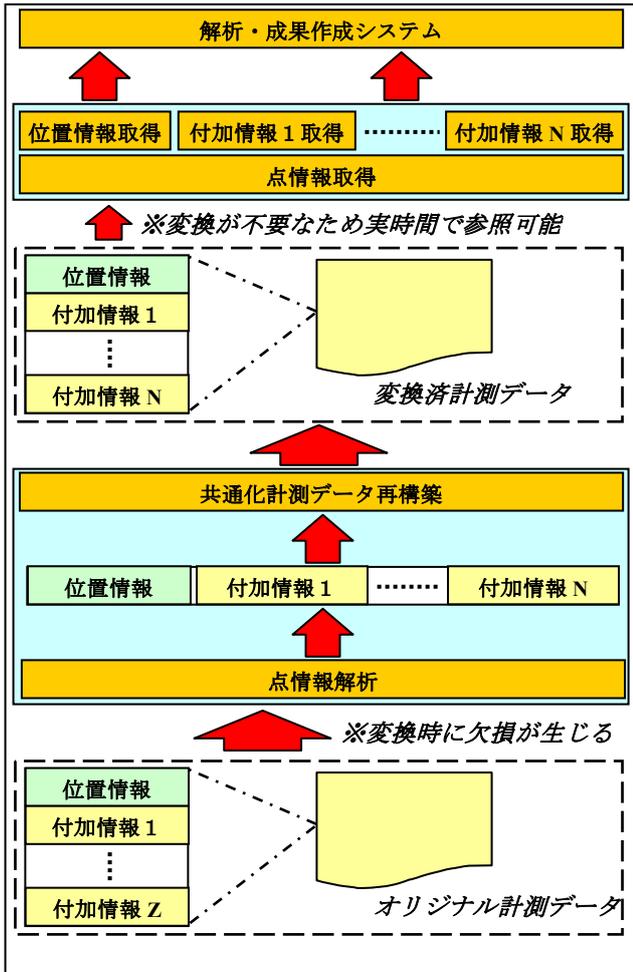


図-2 独自データ形式によるデータ管理

必要がある。特に断面の作成では、断面の設定を行った箇所近傍以外の位置情報は不要となるため、処理効率に問題が生じる。そこで図-1 に示すように計測データのデータ名称だけでなく、計測範囲など成果作成に必要な位置情報や付加情報の検索を効率的に行う際に不可欠な情報も一元的に管理することで、効率的な計測データへの参照を可能としている。例えば図-1 において D 面上に断面を設定したとすると、設定断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 である。システムでは、リスト内の計測範囲と断面のパラメータを参照することで、断面データの作成に必要な位置情報が含まれているか否かを判断することができるので、不必要なデータを参照せずに効率的に断面データを作成することができる。

また計測データは、計測機器によってデータ形式などが異なる場合がある。システムの構築では、データ形式などの違いをシステム側で対処する必要がある。対処方法としてはさまざまな方法が考えられるが、本システムでは登録時に計測データを統一した独自形式のデータに変換し管理する手法をとっている。計測データを独自形

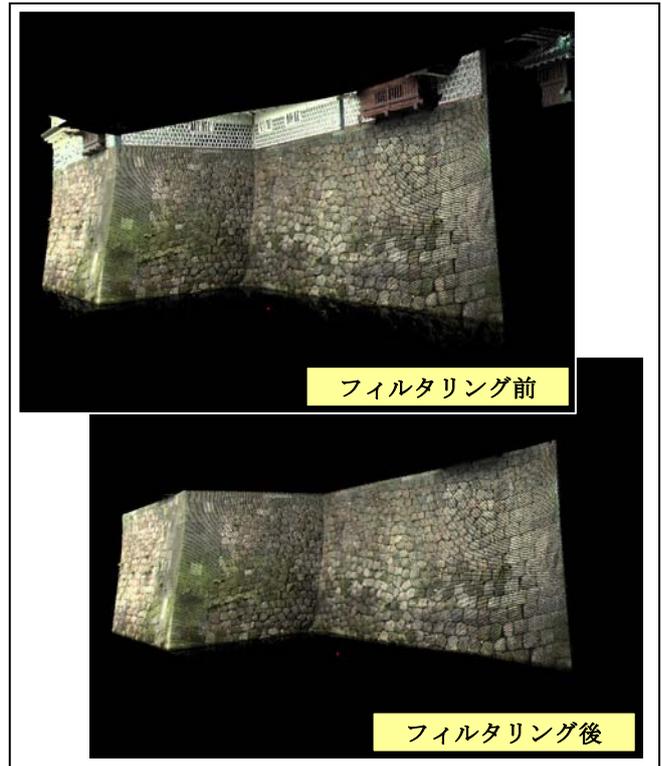


図-3 高さに対するバンドパスフィルター

式に変換する場合、変換後のデータ形式にはない付加情報などが欠落するといった問題点も生じるが、計測データの参照時にデータ変換が不要となり、ほぼ実時間で参照することが可能となる (図-2)。

(2) 有効データの抽出による処理点数の軽減

大量の点群データを取得する機器では、計測時の設定に従い設定範囲内の位置情報を無差別に取得する。そのため、樹木などの障害物や計測対象物の背景などといった解析や成果作成に不要な位置情報も同時に取得する。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場合がある。そこで現地計測で取得した位置情報から解析や成果作成に必要な情報のみを抽出することで、成果品の品質を確保することができる。また不要なデータを削除することで点群データの軽減にもなる。以後、点群データを用いた解析や成果作成に必要なデータの有効データと呼ぶ。

有効データの抽出にはさまざまな方法があるが、そのなかでも閾値設定によるバンドパスフィルターとクラスタ解析が一般的な方法である。バンドパスフィルターによる抽出は、位置情報や付加情報に対して上限値と下限値を設定し、範囲内もしくは範囲外の情報を抽出する手法である。図-3 に示す例では、高さ要素に対して上限値と下限値を設定し、その範囲内の位置情報のみの抽出を行っている。クラスタ解析は、k-means 法などに代表さ



図-4 クラスタ解析による地形データの抽出

れる統計分類手法である。リモートセンシング技術では一般的な解析手法である。クラスタ解析を用いて計測データの各点をいくつかのクラスタに分類し、有効データ群となるクラスタのみを抽出することも可能である。特に色などの付加情報を用いた統計的な分類方法により、計測データから樹木などの植生を示す位置情報を判別して除去することも可能である。図-4は、色情報や位置情報をもとにクラスタ分析を行い、地形部分のみを抽出した事例である。しかしバンドパスフィルターやクラスタ解析などといった数値解析などによる自動的な抽出処理だけでは、十分な有効データの抽出を行えない可能性もある。そこで本システムでは、自動的な抽出処理の補助的な機能として、表示画面に対して範囲指定を行う手動フィルタリング機能も設けている。

(3) 計測データのレイヤー管理

有効データの抽出処理では、有効な計測点と判断されなかったデータについては、以後の処理において参照されないため保持する必要性はない。ただし有効データの抽出処理において、フィルタリングミスなどといったヒューマンエラーが生じる可能性がある。また作成を行った成果品の品質が十分でない場合、有効データの抽出処理の再実行を行う必要がある。このような場合、不必要なデータを削除してしまうと、抽出処理を最初からやり直

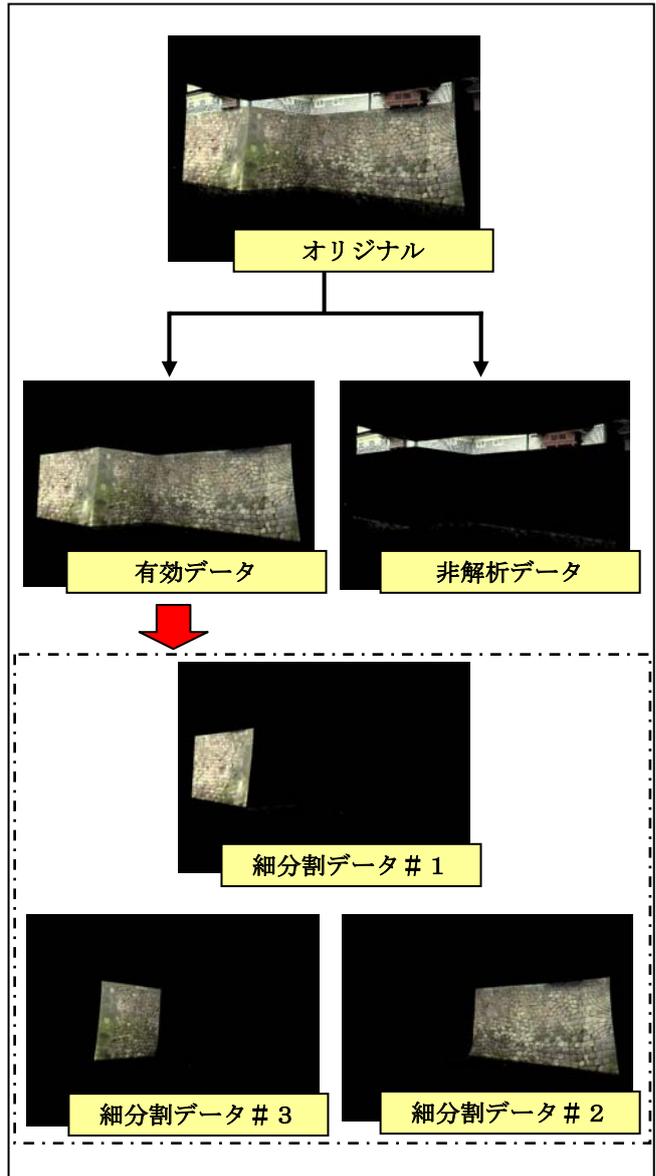


図-5 有効データおよび細分割におけるレイヤー管理

すこととなり作業効率の低下を招く。そのため本システムでは、不必要と判断されたデータを削除するのではなく、新たな付加情報として各計測点にレイヤー情報を設けることで、有効なデータであるか不必要なデータであるかの判断を行っている(図-5)。レイヤー情報による有効データの判別では、成果作成処理などにおいて判別処理を行わなければならないという問題も生じるが、抽出処理の再実行などと比較すると、全体的な処理工程に与える影響はほとんどない。また有効データの抽出や仮想的なデータ接合だけでは、十分な計測点数の軽減ができない場合においても、図-5に示すように計測データを成果作成の品質に対して影響を与えない範囲でさらに詳細な分割およびレイヤー管理することで、レイヤー単位の成果作成が可能となり、処理負荷の軽減を図ることができる。

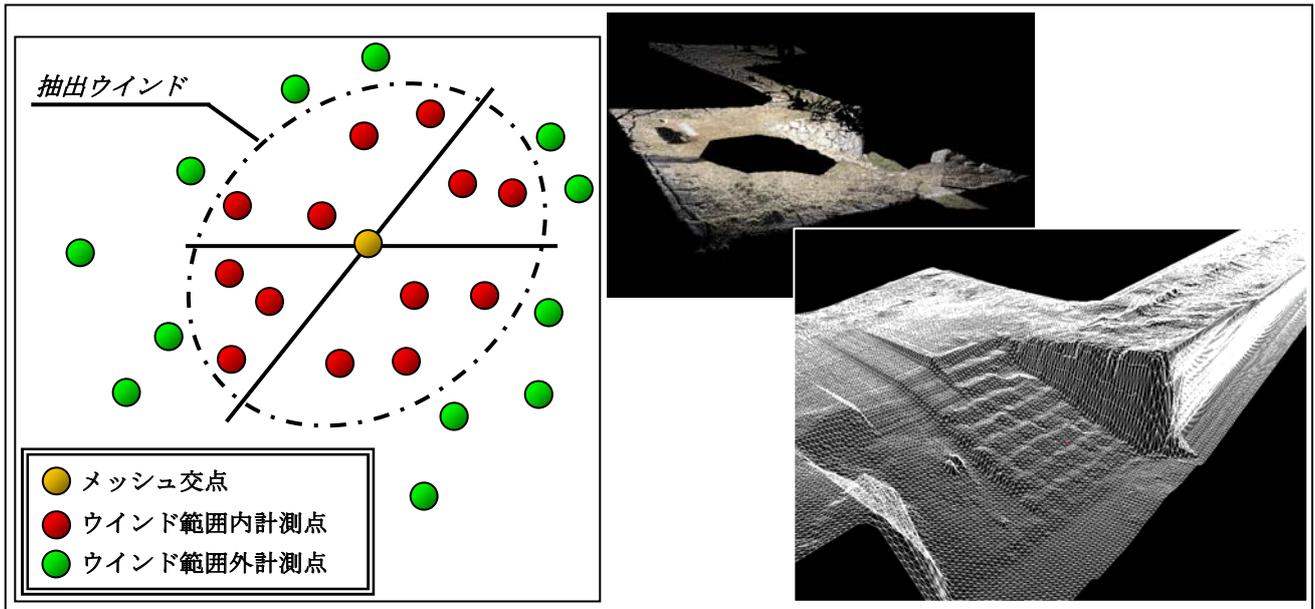


図-6 ウインド法によるメッシュデータの作成

(4) データ特性を活かした成果作成処理

大量点群データは、現地計測の状況にもよるが、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。そのため従来のように TIN 法によって処理を行った場合、処理対象となる計測点数が非常に多いため処理に対する負荷が大きくなる。しかし逆に単位面積あたりに含まれる計測点数の過密さを利用すれば、比較的処理点数に影響を受けにくい簡易的な作成手法を用いても TIN 法とほぼ同等な成果品の作成を行うことが可能である。

a) メッシュデータの作成

本システムでのメッシュデータの作成は、図-6 に示すようにウインド法³⁾を用いてメッシュ交点近傍の計測点の抽出をする。メッシュ交点の評価値は、抽出された計測点をサンプルとすることで重み平均や双一次内挿などの挿処理により算出する。

b) 断面データの作成

断面データの作成では、まず図-7 に示すように設定を行った断面線ごとに近傍の計測点を抽出する。抽出された点群データは、目視でも十分断面の状況を把握することが可能であるが、断面を構成するデータ量が多いため細線化を行う。細線化処理には、移動平均やスプライン補間などを用いる。図-7 は、式(1)に示す非一様有理 B-Spline 曲線式 (NURBS) を用いて線形の近似により細線化処理したものである。

$$C(t) = \frac{\sum_{i=0}^{n-1} f_{i,k}(t) P_i w_i}{\sum_{i=0}^{n-1} f_{i,k}(t) w_i} \quad (1)$$

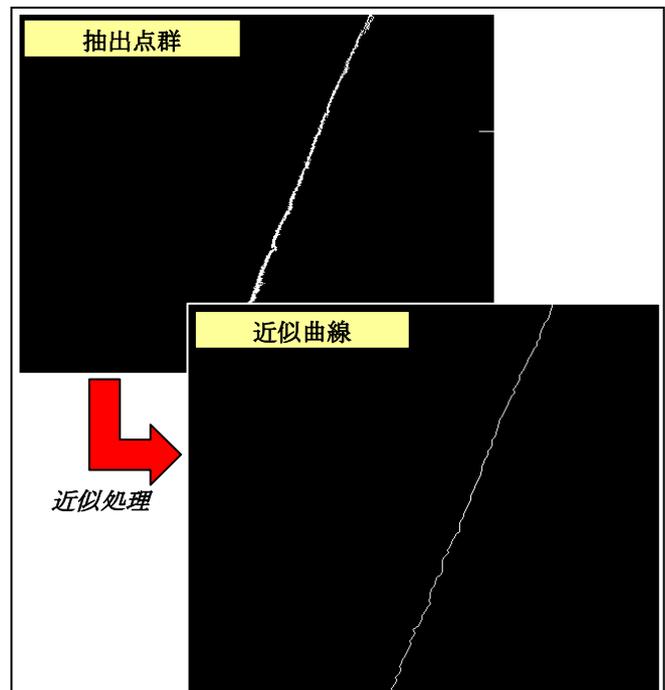


図-7 抽出断面と近似処理による細線化

B-Spline 基底関数は式(2)、式(3)となる。

$$f_{i,1}(u) = \begin{cases} 1 & (x_i \leq u \leq x_{i+1}) \\ 0 & (\text{otherwise}) \end{cases} \quad (2)$$

$$f_{i,k}(u) = \frac{u - x_i}{x_{i+k-1} - x_i} f_{i,k}(u) + \frac{x_{i+k} - u}{x_{i+1} - x_{i+k}} f_{i+1,k-1}(u) \quad (3)$$

c) 断彩データの作成

断彩データ⁴⁾とは、点群データを三次元表示した際の各位置情報を何らかの評価基準に従って色彩グラデーション化したものである。本システムでは、2つのメッシュデータの較差を評価基準として作成する。図-8は、石垣面に設定した仮想基準面と実測した石垣面のそれぞれを示すメッシュデータの較差を色彩グラデーション化したものである。

3. まとめ

本論文で提案した処理手法および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の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群データの間引きの必要がなくなり、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。また処理過程において不要となるデータを削除することなくレイヤー管理によって保持するため、有効データの抽出処理でのヒューマンエラーの軽減や不要なデータを断彩データにおいて背景として活用することも可能となる。

以上のように本論文で提案するシステムは、付加情報を持つ膨大な点群データを取り扱う場合に大変有効である。しかし、現在では膨大な点群データを生成する計測機器は少ない。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、ハードウェア的な面からも本処理手法の有効活用を進めていく予定である。

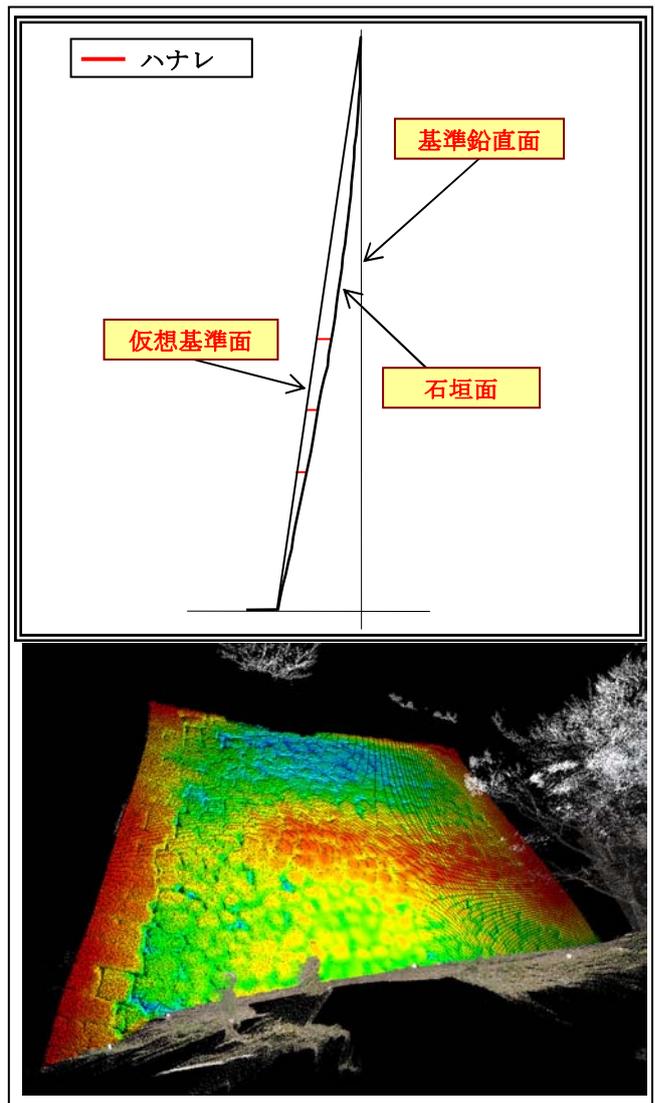


図-8 作成基準と石垣断彩データ

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สキャナー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สキャナー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) 村井俊治: 空間情報工学, 社団法人日本測量協会, 1999 年 4 月
- 4) 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