

平成 25 年度研究実施

(一財)港湾空港総合技術センター研究開発助成

助成番号 : 平成 25 年 1 月 22 日付 第 12-5 号

研究開発項目 : (指定) ①港湾、海岸及び空港の施設の健全度評価に関する研究

TS と MMS を用いたコンクリート構造物
の変状の 3D 現況モデル作成に
関する研究

平成 26 年 4 月 30 日

大阪大学大学院 工学研究科
環境・エネルギー工学専攻

矢吹 信喜

目次

第1章 研究の背景と目的.....	1
1.1 研究の背景	1
1.1.1 港湾・空港施設のコンクリート構造物の健全度評価の現状	1
1.1.2 IFC (Industry Foundation Classes)	1
1.1.3 トータルステーションを用いた、変状の3次元形状データ取得技術	2
1.1.4 3次元レーザースキャナと3次元点群データ	2
1.2 研究の目的	2
1.3 論文の構成	3
第2章 既往の研究	4
2.1 土木構造物を対象とした変状の情報管理のためのプロダクトモデル	4
2.2 同心円状レチクル内蔵トータルステーション	5
2.3 モバイルマッピングシステム	5
2.4 点群データからの対話的な3次元モデリングシステムの開発	5
第3章 システムの開発	6
3.1 研究開発の概要	6
3.2 研究対象地の選定	6
3.3 対象構造物の3次元プロダクトモデルの開発	10
3.4 変状のプロダクトモデルの開発	11
3.5 変状のプロダクトモデルと対象構造物のプロダクトモデルの統合化	12
3.6 KUMONOSによって計測されるひび割れなどの3次元形状データの受け渡しプログラムの開発	13
3.6.1 現状の課題	13
3.6.2 作成したプログラム	13
3.7 MMSによって得られる点群データからポリゴンデータを作成し、4次元化するシステムの開発	16
3.7.1 入力する点群データ	16
3.7.2 平面抽出	18
3.7.3 三角形分割, メッシュ化	19
3.7.4 VRML 出力	21
3.7.5 3ds Max での修正	21
3.8 以上のシステムの統合化	22
第4章 総括	24
4.1 結論	24
4.2 今後の課題と展望	24
参考文献	26

第1章 研究の背景と目的

1.1 研究の背景

1.1.1 港湾・空港施設のコンクリート構造物の健全度評価の現状

現代の社会生活，経済活動に不可欠な交通，通信，エネルギー等の社会基盤の中心的存在は，道路，トンネル等の土木構造物である．土木構造物は，建設に多額の費用と長い時間を要し，一度建設すると取り換えが容易ではないため，長期間の供用が前提となる．土木構造物を長期間供用するためには，土木構造物の性能を要求された水準以上に維持することが求められる．しかし，土木構造物を取り巻く環境条件や利用状況の変化，材料の化学的変質等により，土木構造物の性能が低下することは避けられない．そのため，管理者は維持管理を行い，土木構造物の性能の維持に努めている．

様々な土木構造物の中でも，港湾・空港施設は広大な面積をコンクリート構造物で占めており，安全に施設運営していくために，ひび割れや剥落などの変状による劣化を常に監視し，健全度評価を適切に行う必要がある．しかし，変状は目視によるスケッチ，写真などの画像情報であるため，構造物の部材との連関を人間が強く意識しながら評価する必要があり，当該施設に精通している技術者以外には困難である．港湾や空港などの広大な面積をコンクリート構造物で占める土木構造物に対して技術者の目視による健全度評価をおこなう場合，時間と労力が大きくなり，課題となっている．

1.1.2 IFC (Industry Foundation Classes)

プロダクトモデルを建築分野の情報管理に応用させたものとして，BIM (Building Information Modeling) があるが，BIM における共通データフォーマットの中核として，国際団体 buildingSMART International¹⁾が開発してきている IFC (Industry Foundation Classes) がある．IFC はプロダクトモデルの意味づけされたデータ構造を記述できるため，データを読む人間の理解を助けるばかりでなく，コンピュータ等の機械を用いる場合でも情報の意味を損なうことなく，データ処理が可能であり，データ拡張に対しても柔軟性が高い．さらに，2013 年 3 月には国際標準である ISO 16739:2013 となりデータフォーマットとしての信頼性もある．このことから，長期にわたる構造物の維持管理の情報を記録するフォーマットとして適していると考えられる．

1.1.3 トータルステーションを用いた、変状の3次元形状データ取得技術

光波測距儀は、斜距離を計測するのには便利であるが、水平距離や高さ、また座標値を計算で求めるためには、セオドライトで角度を測定する必要がある。そこで、測距と測角を1台の機械で同時におこなうことができる装置として、トータルステーション (TS) がある。関西工事測量 (株) では、ノンプリズム TS で、TS からレーザー光線が反射する位置までの距離と基準となる点との間の角度が水平・鉛直両方とも瞬時に求まり、コンピュータも内蔵している事に着目し、コンクリート構造物のひび割れの形状を3次元形状データとして計測し、さらには、ひび割れの幅を遠隔で TS によって計測できるシステム、KUMONOS²⁾を開発した。ひび割れ幅は、TS に内蔵した蜘蛛の巣のようなレチクルによって計測する。これにより、遠隔で、コンクリート構造物の形状とひび割れの形状と幅を3次元 CAD データとして記録することができるようになり、従来の手作業による計測とスケッチに比べて、飛躍的に効率化し、安全でコストダウンができるようになった。

1.1.4 3次元レーザースキャナと3次元点群データ

3次元レーザースキャナは、高精度で物体の3次元の幾何学的構造を計測することが可能な装置である。また、車載式の3次元レーザースキャナを用いて、走行しながら3次元点群データを計測する MMS (Mobile Mapping System) の出現によって、都市や国スケールでの広域的な計測が可能となった。多くの MMS では、物体の3次元幾何学的構造だけでなく、同時にその色も計測することができる。MMS による計測では、固定式の3次元レーザースキャナに比べて精度が劣化してしまう問題点があるが、高精度 GPS 移動計測装置三菱モービルマッピングシステム³⁾などのように、これらの問題は日々改善されている。MMS を港湾・空港施設の対象構造物付近で走行させることにより、構造物の現況の3次元点群データが得られる。これにより、構造物の変位等の計測をおこなうことが可能であり、MMS に搭載されたデジタルカメラにより、画像データを計測データと紐付けしたり、重畳して表示したりすることが可能である。

1.2 研究の目的

本研究では、港湾・空港施設などのコンクリート構造物を対象として、KUMONOS 内蔵のトータルステーションを利用して、ひび割れ等の変状の3次元形状データを得、コンクリート構造物のプロダクトモデルに変状と統合化した形でデータ化する。さらに、レーザースキャナを搭載した MMS を用いて、構造物の3次元現況形状データを取得、プロダクトモデルと重畳して、時間軸を有する 4D モデルとし、健全度評価に資するシステムを開発することを目的とする。

1.3 論文の構成

本論文は全4章で構成されている。

第1章第1章 では本研究の背景について述べた上で、その目的について述べた。

第2章第2章 では本研究に関連する既往の研究について概説をおこなう。

第3章では開発したシステムの内容について述べる。

第4章では本研究をまとめ、今後の課題と展望について述べる。

第2章 既往の研究

2.1 土木構造物を対象とした変状の情報管理のためのプロダクトモデル

有賀らは、土木構造物の維持管理における情報管理にプロダクトモデルを用いることを目的として、変状を含めた開削トンネルのプロダクトモデルの開発の過程において、開削トンネルを構成する構造物に生じる変状の特徴を整理し、開削トンネルおよび変状の概念モデルを構築し、構築した概念モデルに基づいて IFC 実装可能なクラスを拡張し、実構造物を例としたプロダクトモデルの適用例を示した⁴⁾。

また、土木構造物の変状に関する情報作成過程の記録および経年変化する変状の情報管理を目的とし、IFC を拡張してプロセスモデルを開発し、プロセスモデルにおけるアクティビティの定義やプロセスモデルの構造、IFC のスキーマの拡張を行い、実業務への適用例を示した⁵⁾。本研究では、港湾、空港施設を対象とした 3 次元プロダクトモデル IFC-Harbor・IFC-Airport のプロトタイプを開発する。

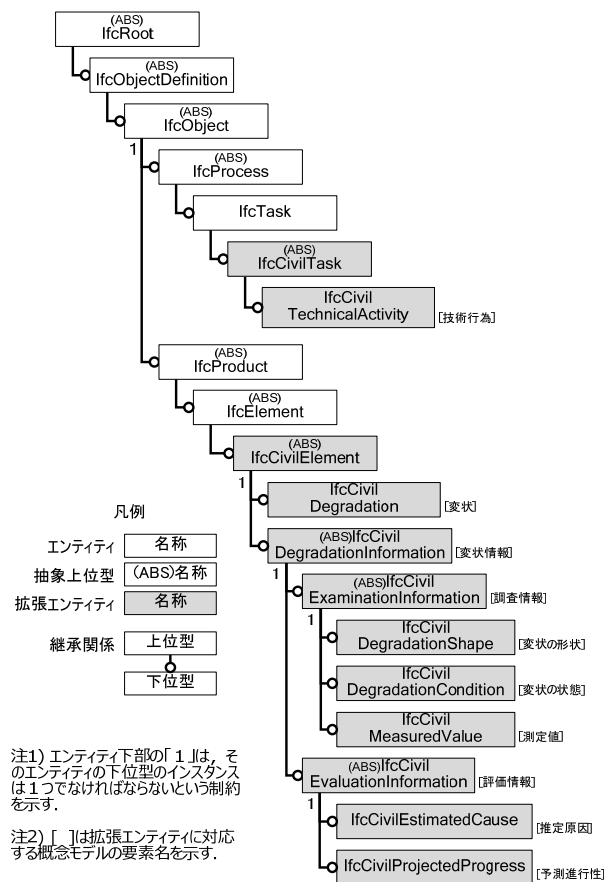


図 2-1 拡張エンティティに関するアトリビュートの継承図

2.2 同心円状レチクル内蔵トータルステーション

ノンプリズム方式のトータルステーション (TS) は照準用の線 (レチクル) が十字線であるため、計測対象位置に目印がないと正確な計測ができない。とくに、円柱構造物の中心線を求めることは難しい。中庭らは、従来のレチクルに代わり同心円状レチクル「Baum」を用いることを考案し、誤差評価のための計測実験を行った。その結果、Baum 内蔵 TS は円柱構造物の中心線上を計測することができ、2 点を計測することで中心軸の傾きと位置が算出できることを明らかにした⁶⁾。関西工事測量 (株) では、同心円状レチクル内蔵のトータルステーションを、「KUMONOS」として実用化している。

本研究では、KUMONOS 内蔵のトータルステーションによって得られたひび割れなど変状の 3 次元形状データを、プロダクトモデルおよび対象構造物の 3 次元現況モデルと統合するシステムの開発を目指す。

2.3 モバイルマッピングシステム

近年、3 次元レーザースキャナによる 3 次元点群データの計測技術が注目されている。3 次元レーザースキャナは、高精度で物体の 3 次元の幾何学的構造を計測することが可能な装置である。また、車載式の 3 次元レーザースキャナを用いて、走行しながら 3 次元点群データを計測する MMS (Mobile Mapping System) の出現によって、都市や国スケールでの広域的な計測が可能となった。MMS による計測では、固定式の 3 次元レーザースキャナに比べて精度が劣化してしまう問題点があるが、日々改善されている。

筆者らは、従来の水準測量器を用いた手作業による計測や、固定式の 3 次元レーザースキャナによる計測では時間、労力、コストが課題となっていた、切削オーバーレイ工法による道路舗装改良工事において、MMS を用いて路面上のデータを計測し、処理を施すことにより切削厚を決定できる新しい手法を提案した⁷⁾。

本研究では、関西工事測量 (株) の所有する MMS によって得られた対象構造物の 3 次元点群データを用いて、対象構造物の現況モデル作成をおこない、ひび割れ等の 3 次元プロダクトモデルと重畳して表示するシステムを開発する。

2.4 点群データからの対話的な 3 次元モデリングシステムの開発

福田らは、建築模型に含まれる凸多角形に加え、L 字型、ロの字型などの非凸多角形や掃引体を対象としてスキャンデータからの最適化を図りつつ 3 次元形状を対話的に生成するシステム「Poly-Opt2012」の開発を行った⁸⁾。備えられている GUI を操作する事で、対話的に点群データからポリゴンデータを生成する事を可能にしている。しかし、建物同士が近接している箇所、細い断面形状や線材を対象とした場合等について、点群データが不十分である場合は、適切なポリゴンを作成する事が不可能であるという課題がある。

第3章 システムの開発

3.1 研究開発の概要

下図に、本研究の開発フローを示す。

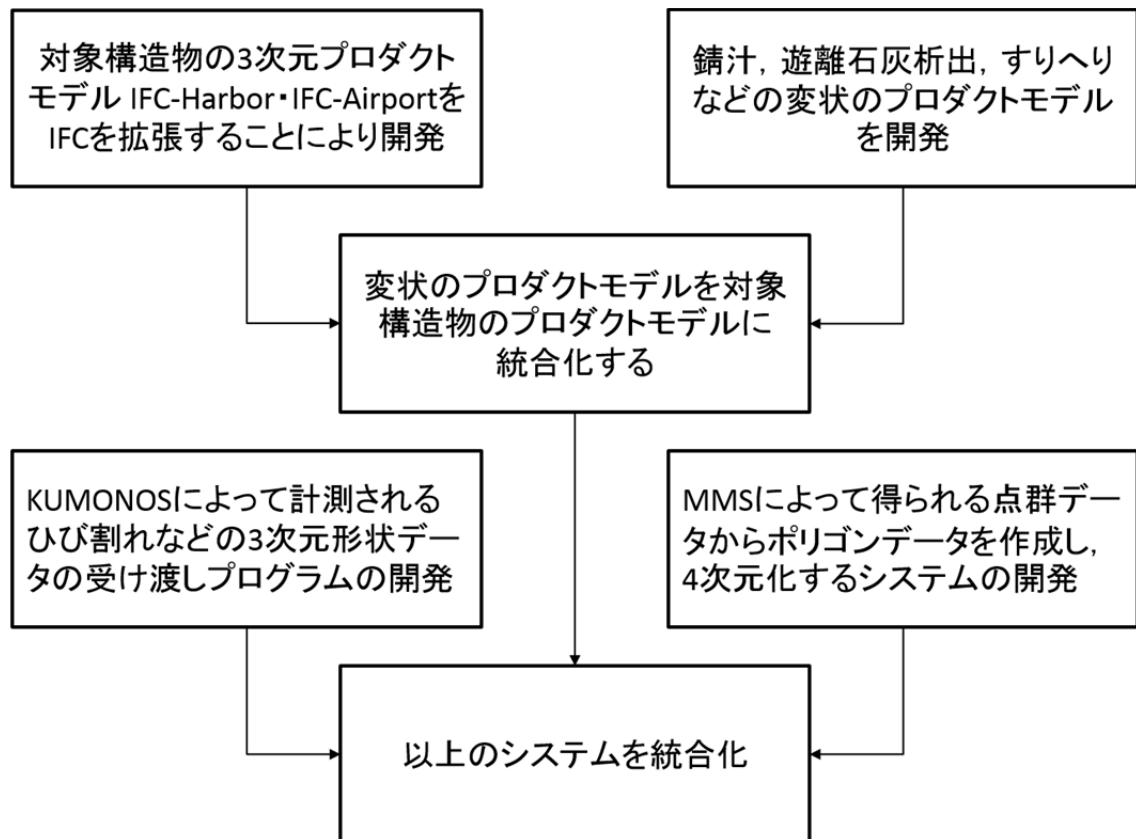


図 3-1 研究開発のフロー

3.2 研究対象地の選定

本研究の対象地として、兵庫県西宮市鳴尾川付近の堤防を選定し、コンクリート構造物である堤防擁壁を対象構造物とした。MMS による擁壁の点群データの計測と、KUMONOS 内蔵のトータルステーションによるひび割れ等の 3 次元形状データの計測は、関西工事測量（株）によって 2014 年 1 月に行われ、計測で得られた各データを本研究に使用した。



図 3-4 MMS による点群データの計測



図 3-5 KUMONOS 内蔵のトータルステーションによる変状の 3 次元形状モデル計測

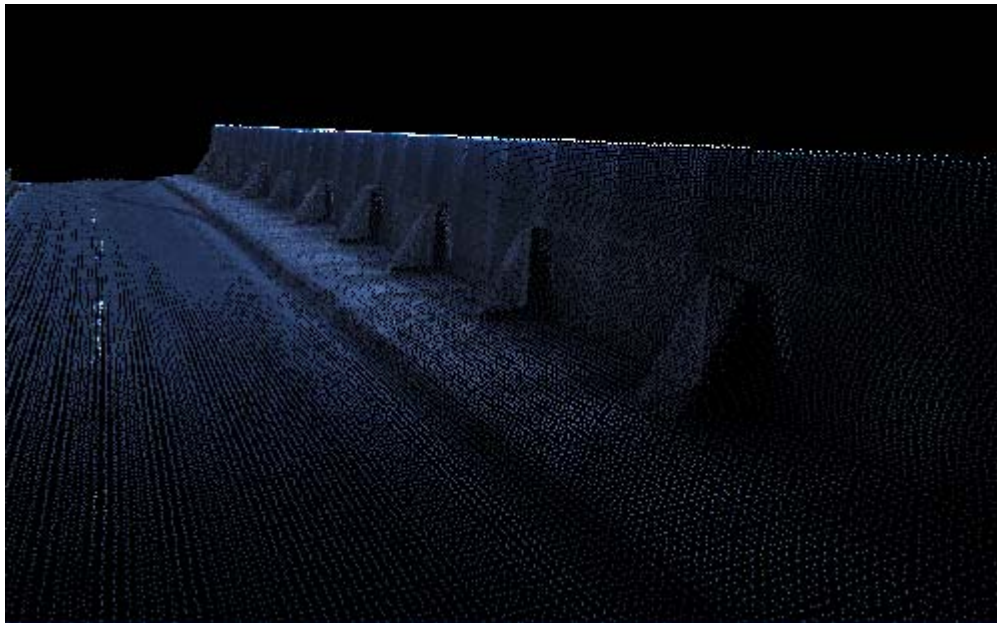


図 3-6 取得した点群データ

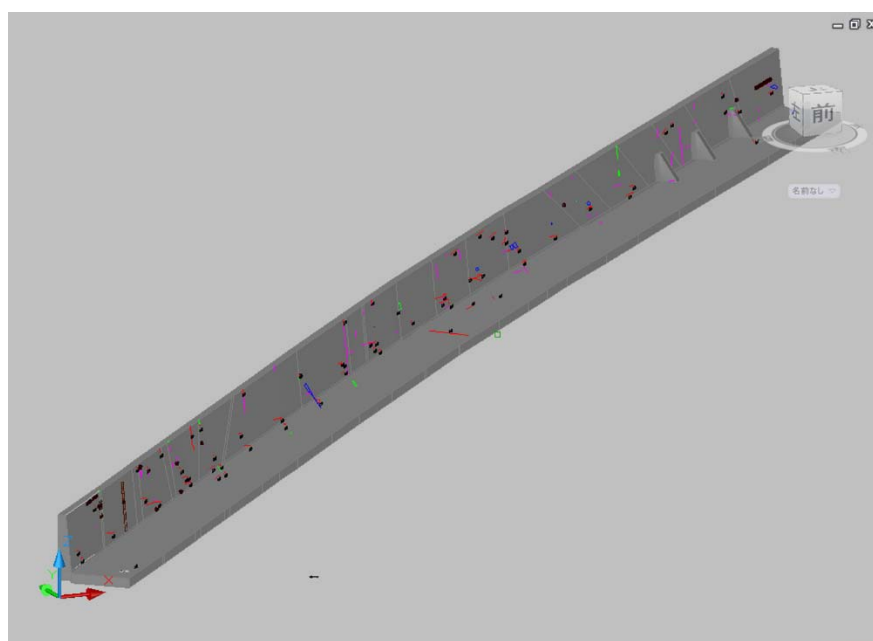


図 3-7 取得した変状の 3 次元モデルデータ

3.3 対象構造物の3次元プロダクトモデルの開発

有賀ら⁴⁾の構築した、開削トンネルおよび変状の物理要素の概念モデルを参考にしながら、空港および港湾の IFC クラス、IfcAirport および IfcHarbor を拡張するための概念モデルを作成した。図 3-8 においては、空港を構成する物理要素のうち、コンクリートに関する要素について詳細に概念モデルを構築した。空港においては、滑走路地面が大規模なコンクリート空間であるため、詳細に記述した。また、図 3-9 においては、港湾を構成する物理要素のうち、コンクリートに関する要素、防波堤や岸壁について重点的に概念モデルを構築した。そのため、要素の記述を省略している部分がある。また、図 3-9 において、防砂堤や防潮堤などにおいても防波堤と同様に、構成する物理要素としてコンクリートが挙げられるが、本報告書のスペースの問題上、省略している。今後、これらの概念モデルを基に、IfcAirport および IfcHarbor を拡張していく予定である。

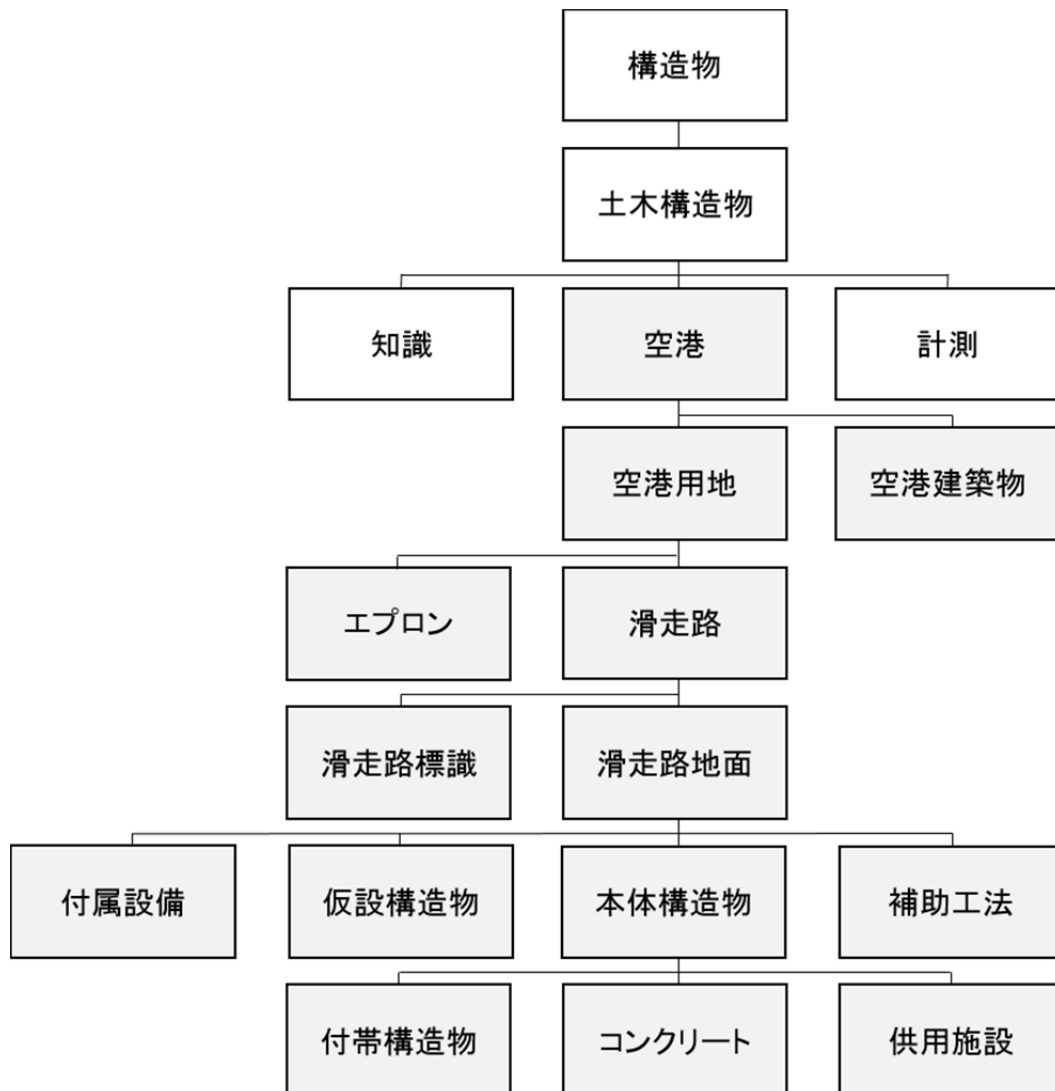


図 3-8 空港の物理要素の概念モデル

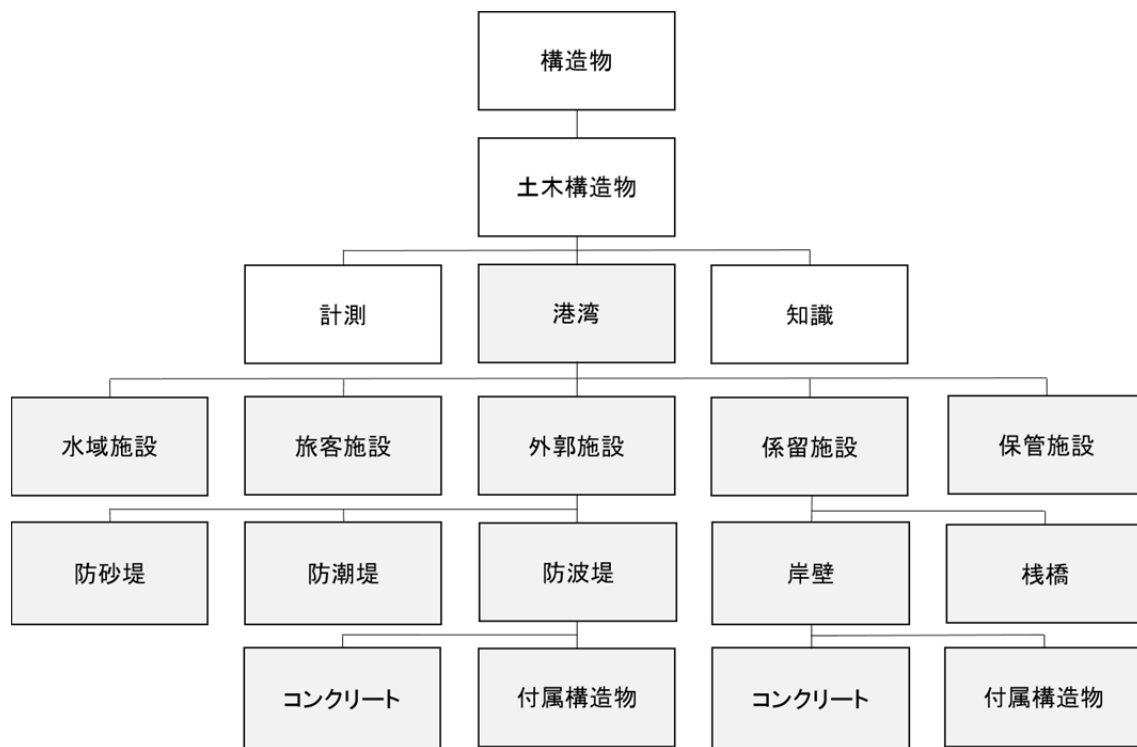


図 3-9 港湾の物理要素の概念モデル

3.4 変状のプロダクトモデルの開発

IFC によるコンクリート構造物の表現は、既存のエンティティを用いることで可能である。一方、すりへりや錆汁、遊離石灰析出を表すエンティティは存在しないことから、新たに定義する必要がある。そこで、第 2 章で示した図 2-1 を参考にしながら、IfcBuildingElementProxy を使用して変状に関する拡張クラスを作成した（図 3-8）。作成は EXPRESS 言語による記述でおこなった。

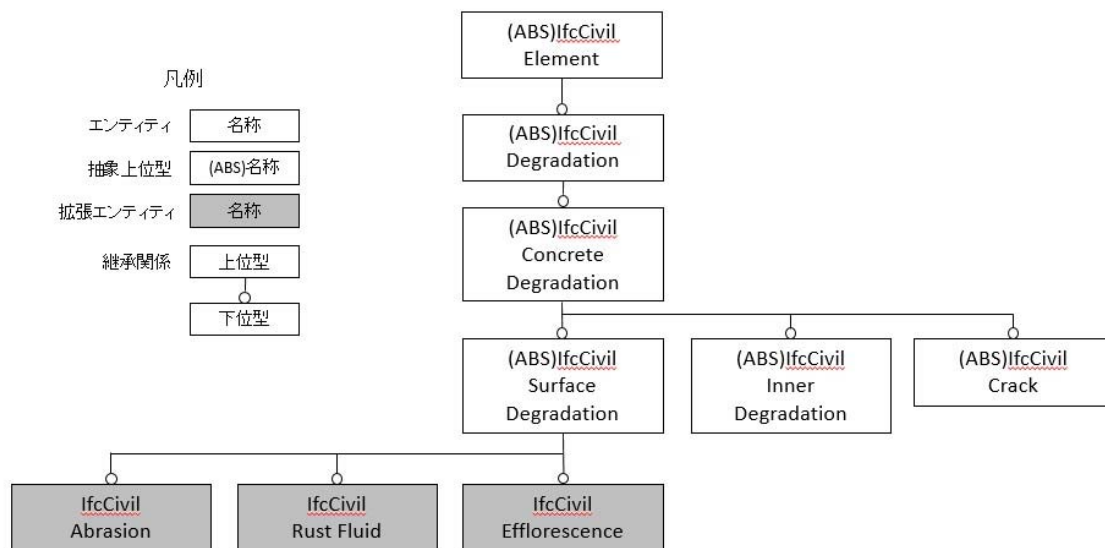


図 3-10 拡張した変状のクラス

```

ENTITY IfcCivilAbrasion↓
  SUBTYPE OF (IfcCivilSurfaceDegradation);↓
  DegradationFigure: IfcCivilDegradationFigureTypeEnum;↓
END ENTITY;↓
ENTITY IfcCivilRustFluid↓
  SUBTYPE OF (IfcCivilSurfaceDegradation);↓
  DegradationFigure: IfcCivilDegradationFigureTypeEnum;↓
END ENTITY;↓
ENTITY IfcCivilEfflorescence↓
  SUBTYPE OF (IfcCivilSurfaceDegradation);↓
  DegradationFigure: IfcCivilDegradationFigureTypeEnum;↓
END ENTITY;↓

```

図 3-11 EXPRESS 言語による記述

3.5 変状のプロダクトモデルと対象構造物のプロダクトモデルの統合化

変状のプロダクトモデルと対象構造物のプロダクトモデルの統合化をおこなうためには IFC を用いる必要がある。統合化のプロセス（図 3-12）として、変状のデータから IFC ファイルを作成し、対象構造物の IFC 情報に統合する。

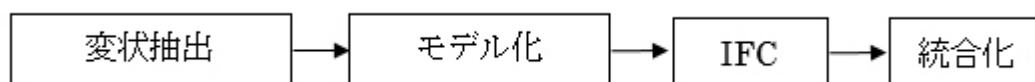


図 3-12 統合化のプロセスフロー

3.6 KUMONOS によって計測されるひび割れなどの 3 次元形状データの受け渡しプログラムの開発

3.6.1 現状の課題

KUMONOS 内蔵のトータルステーションで計測した対象構造物の変状データである DWG ファイルを利用して、IFC ファイルを出力するプログラムを開発する。AutoCAD Architecture を利用して、IFC を出力することが可能であるが、変状に関する IFC のクラスである、IfcCivilCrack、IfcCivilAbrasion、IfcRustFuid、IfcEfflorescence は現在一般的に実装されている IFC2x3 には定義されていない。そのため、IFC ファイルへの出力の際に変状に関する情報が失われてしまうという問題がある（図 3-11）。既存の IFC にある、プロダクトを対象とする代替可能なエンティティとして、IfcBuildingElementProxy がある。IfcBuildingElementProxy は、BuildingElement の代替要素として用いることができる。

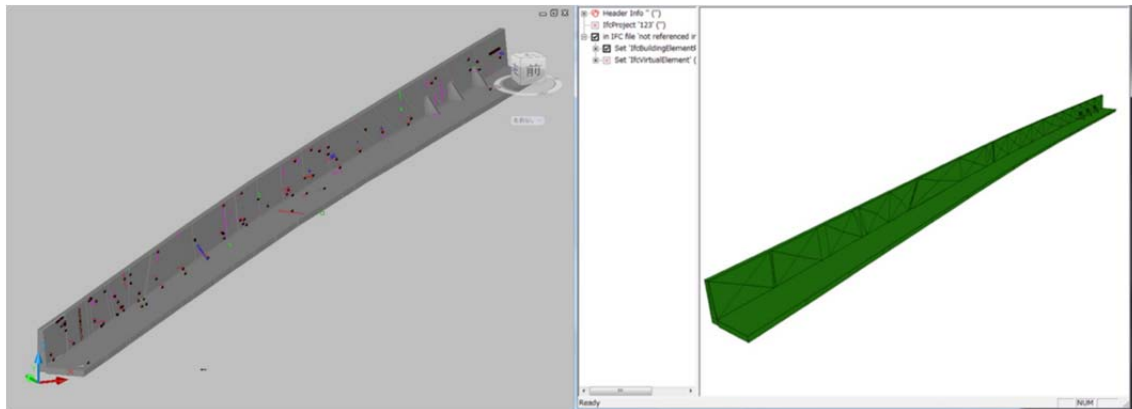


図 3-13 DWG データから IFC への出力結果（左：DWG，右：IFC）

3.6.2 作成したプログラム

変状に関する情報を保持した IFC を作成するために、図 3-12 のようなアルゴリズムフローのプログラムを作成した。はじめに、Autodesk 社の AutoCAD Architecture の機能を用いて、対象構造物の DWG ファイルから、DXF に変換し、プログラムに入力した。次に入力した DXF ファイルから変状情報を抽出し、変状情報の整理をおこなった後、IFC ファイルとして出力した。しかし、このプログラムは現段階では Spline の変状情報を出力することができないため、今後の課題として研究する。また、出力した IFC ファイルには 3 次元形状データが含まれていない。これは、変状の IFC クラスを、IfcBuildingElementProxy を用いて拡張したため、3 次元形状情報を付加することが困難であったためである。今後の研究で、3 次元形状情報を持った IFC ファイルの出力を目指す。

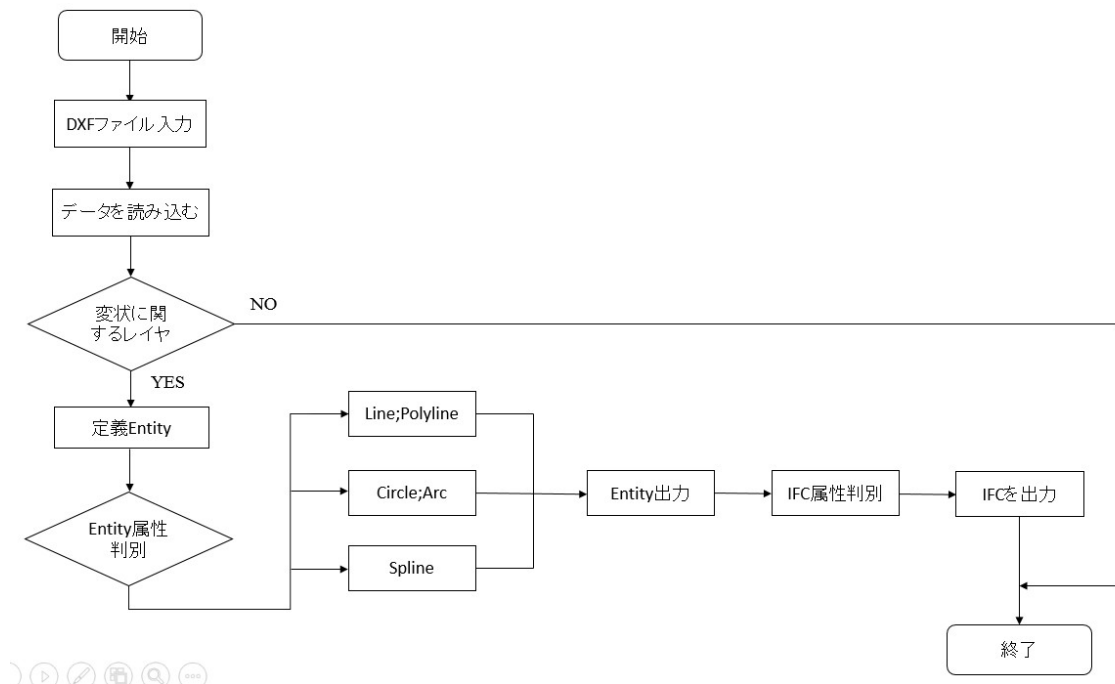


図 3-14 作成したプログラムのアルゴリズムフロー

```

28116 ひび割れ↓
28117 0↓
28118 POLYLINE↓
28119 5↓
28120 D2C↓
28121 330↓
28122 1F↓
28123 100↓
28124 AcDbEntity↓
28125 8↓
28126 ひび割れ↓
28127 100↓
28128 AcDb3dPolyline↓
28129 66↓
28130 1↓
28131 10↓
28132 0.0↓
28133 20↓
28134 0.0↓
28135 30↓
28136 0.0↓
28137 70↓
28138 8↓
28139 0↓
28140 VERTEX↓
28141 5↓
28142 D2D↓
28143 330↓
28144 D2C↓
28145 100↓
28146 AcDbEntity↓
28147 8↓

```

図 3-15 入力する DXF ファイル



図 3-16 抽出する line と polyline の変状（黒線が抽出する line と polyline）

```

C:\Users\komori\Documents\Visual Studio 2010\Projects\dx2\Debug\dx2.exe
Input a DXF file name :kumonos.dxf
-----LINE-----
Start : (94547.7,-142997,1.662)
End   : (94547.7,-142997,1.662)
=====
-----LINE-----
Start : (94547.7,-142997,1.662)
End   : (94547.8,-142997,1.662)
=====
-----LINE-----
Start : (94476.4,-143071,1.685)
End   : (94476.4,-143071,1.685)
=====
-----LINE-----
Start : (94476.3,-143071,1.685)
End   : (94476.4,-143071,1.685)
=====
-----LINE-----
Start : (94485.4,-143074,1.312)
End   : (94485.4,-143074,1.312)
=====
-----LINE-----
Start : (94485.3,-143074,1.312)
End   : (94485.4,-143074,1.312)
=====

```

図 3-17 変状情報抽出，整理結果

```

1 |HEADER;↓
2 |FILE_DESCRIPTION(('ViewDefinition [CoordinationView, QuantityTakeOffAddOnView, SpaceBoundary1stLevelAddOnView
3 |FILE_NAME('C:\Users\komori\Desktop\KKSdata140128\KUMONOS\KUMONOS3D\X90\X96\XCA.ifc', '2014-02-23T16:
4 |FILE_SCHEMA(('IFC2X3'));↓
5 |ENDSEC;↓
6 |DATA;↓
7 |#100 = IFCBUILDINGELEMENTPROXY( '1234-5678-9012-3456' ,#20,$,$,#101,#104,$)↓
8 |/* ObjectPlacement */↓
9 |#101= IFCLOCALPLACEMENT($,#102);↓
10|#102= IFCAXIS2PLACEMENT3D(#103,$,$);↓
11|#103= IFCARTESIANPOINT((0.,0.,0.));↓
12|/* Representation */↓
13|#104= IFCPRODUCTDEFINITIONSHAPE($,$,(#105));↓
14|#105= IFCSHAPE REPRESENTATION($, Body, 'GeometricSet' ,(#106));↓
15|#106= IFCPOLYLINE((#107,#108,#109));↓
16|#107= IFCARTESIANPOINT((94491.46,-143050.83,1.64));↓
17|#108= IFCARTESIANPOINT((94489.85,-143052.52,1.63));↓
18|#109= IFCARTESIANPOINT((94486.25,-143061.16,1.63));↓

```

図 3-18 出力した IFC ファイル

3.7 MMS によって得られる点群データからポリゴンデータを作成し、4 次元化するシステムの開発

MMS によって得られる点群データからのポリゴン化システムには、福田らの開発した Poly-Opt2012 で使用されている点群データからのポリゴン化のアルゴリズムを使用した。MMS によって計測された点群データの csv ファイルを読み込み、ポリゴンデータの VRML ファイルを作成し、AutoCAD 社の 3 次元モデリングソフトウェアである 3ds Max2010 でポリゴンデータの修正を行った後、DWG ファイルに変換した。3.7.1 項以降で詳細を示す。また、4 次元化に関しては、異なる日時に計測した点群データを入力し、個別にポリゴン化を行うことで対応が可能である。

3.7.1 入力する点群データ

はじめに、MMS で計測した点群データの csv ファイルを入力する。点群データは、平面直角座標系によって表現される。図 3-15 に、3 次元点群データのデータフォーマットを示す。X, Y には、平面直角座標系での X 座標、Y 座標が記録されており、H には、標高が記録されている。R, G, B は、3 次元点群データの色情報を 256 段階の整数で表した値である。図 3-16 に点群データのテキストファイルの一部を示す。入力に使用した点群データは、関西工事測量（株）の所有する MMS によって計測された。計測日は 2014 年 1 月 10 日で、3.2 節で示したように、計測対象地として、兵庫県西宮市鳴尾川付近の堤防を選定し、コンクリート構造物である堤防擁壁を対象構造物とした。計測した点群データの一部を図 3-17 に示す。

$X_1, Y_1, H_1, R_1, G_1, B_1$
 $X_2, Y_2, H_2, R_2, G_2, B_2$
 $X_3, Y_3, H_3, R_3, G_3, B_3$
 $\vdots$

図 3-19 点群データのデータフォーマット

```

94555.5700,-143014.9330,11.8300,64,52,81↓
94555.4820,-143015.0280,11.8340,46,69,115↓
94555.8920,-143015.1280,11.7210,136,191,255↓
94555.3930,-143015.1310,11.8410,38,86,167↓
94555.8130,-143015.0600,11.6650,142,197,255↓
94555.3060,-143015.2240,11.8450,238,255,255↓
94555.7350,-143014.9870,11.6080,139,196,255↓
94556.1300,-143015.3500,11.5910,146,190,255↓
94555.7210,-143005.3590,8.2290,123,199,255↓
94555.6560,-143014.9280,11.5550,134,189,255↓

```

図 3-20 点群データのテキストファイルの一部

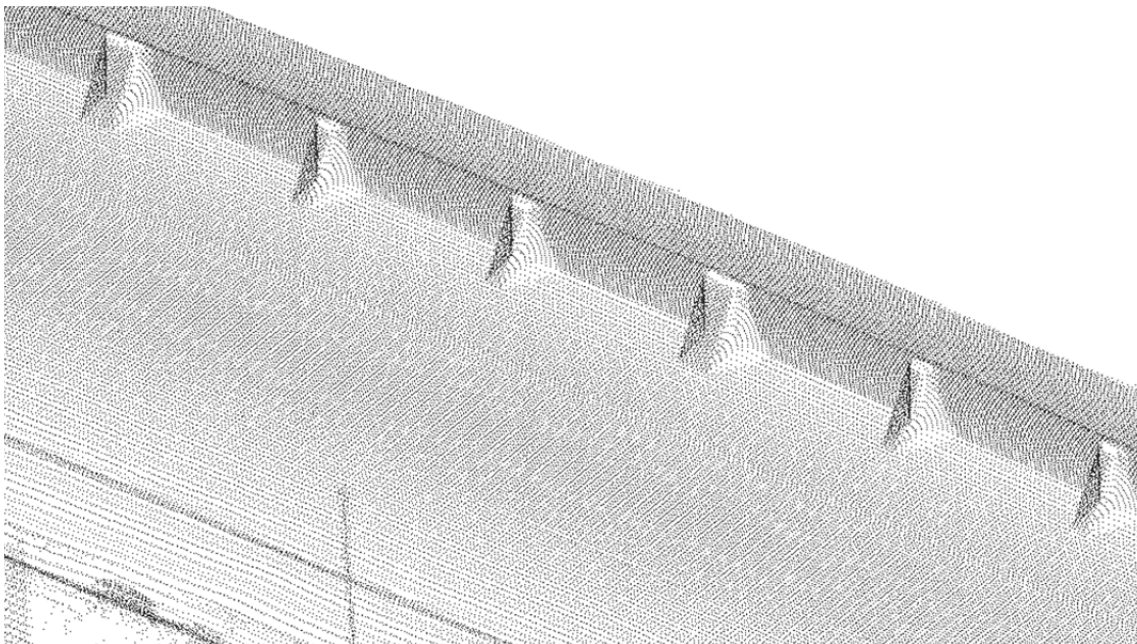


図 3-21 入力した点群データの一部

3.7.2 平面抽出

入力した点群データに対して、ポリゴンに置換する部分の点群データを抽出する。システムのユーザーは、マウスのクリック操作によって、ポリゴンに置換する部分に含まれる点群データ 1 点を選択する。この点からの距離が短い順に 100 点を全点群から抽出し、最小二乗法を適用することで抽出された点群に最も近い平面を算出する。この平面から垂直方向に $L_{1_1}(\text{mm})$ 以内、かつ選択した点を基点として平面に投影した点同士の距離が引数 $L_{1_2}(\text{mm})$ 以内に存在する点群を抽出する。

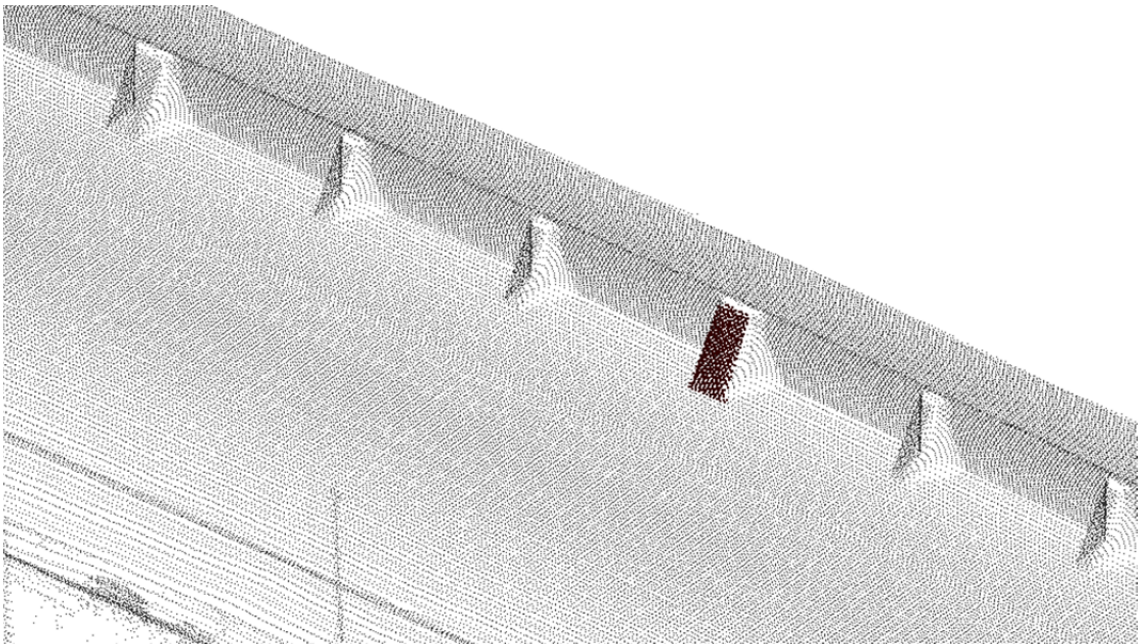


図 3-22 平面抽出結果

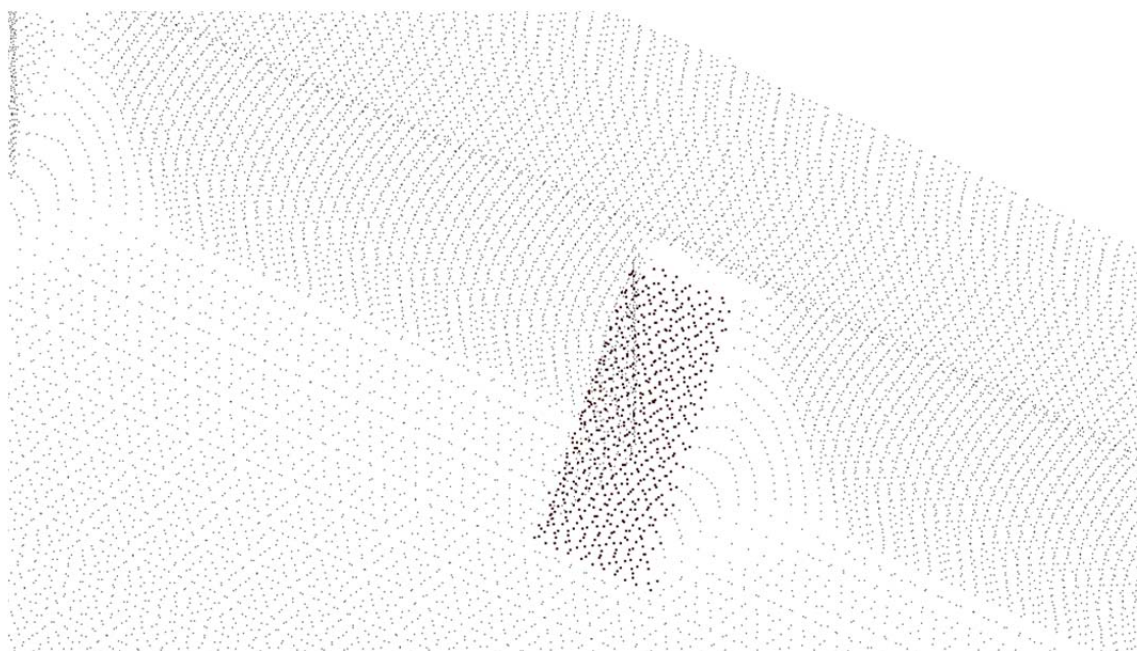


図 3-23 平面抽出結果（拡大）

3.7.3 三角形分割, メッシュ化

ドロネー三角形分割により、抽出した平面に含まれる点群のメッシュ化を行う。ドロネー三角形分割は、空間内の点を連結して三角形のグループを作成し、その三角形の全ての角に対する最少角度を最大とするように分割するアルゴリズムである。

まず、平面抽出によって選択された点群 $\{p_i\}$ を全て包含する長方形 R を設定し、これを 2 分割してメッシュを生成する。次に点群 $\{p_i\}$ 内の任意の点 p_i から、この点を包含する外接円を有するメッシュを抽出する。そして、抽出されたメッシュを 1 つの凸多角形に結合する。結合された凸多角形の各頂点から点 p_i に線分を引き、新たなメッシュを生成する。その後、再び点群 $\{p_i\}$ 内の任意の点から、同様の操作を繰り返す。最後に、最初に設定した長方形 R の各頂点を通る線分を除去し、ドロネー三角形分割は完了する。ドロネー三角形分割結果を図 3-22 に示す。ドロネー三角形分割後、生成されたポリゴンの境界線を構成する任意の点群に対してロバスト推定処理を行い、生成されたポリゴンの境界線を近似する稜線を算出する。作成したメッシュを図 3-23 に示す。

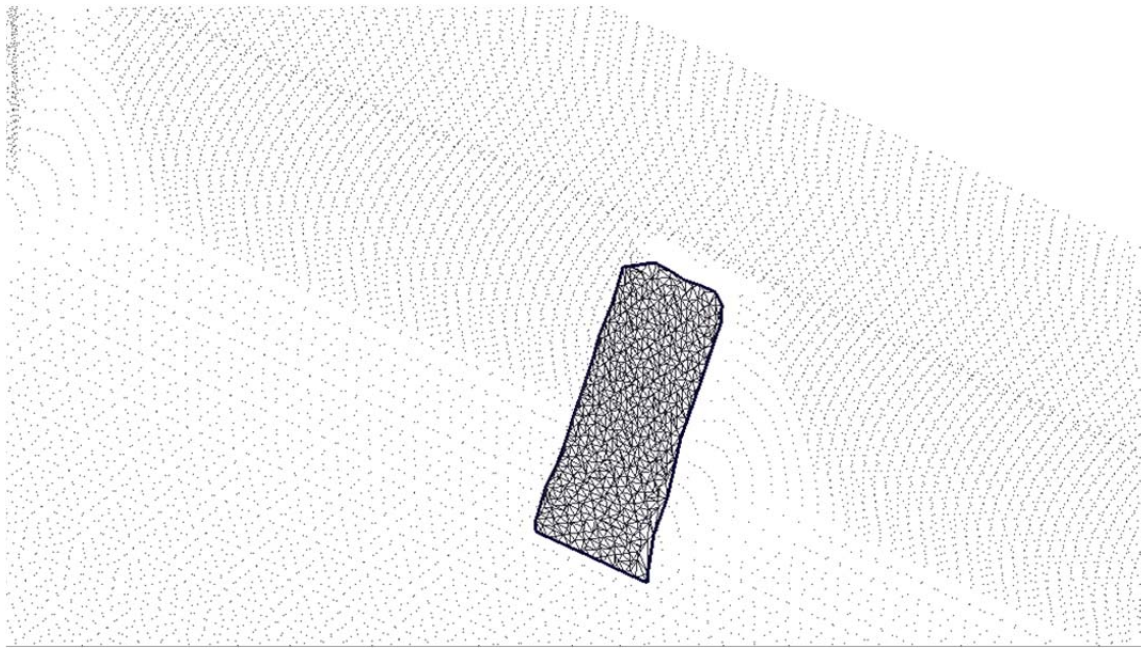


図 3-24 三角形分割結果

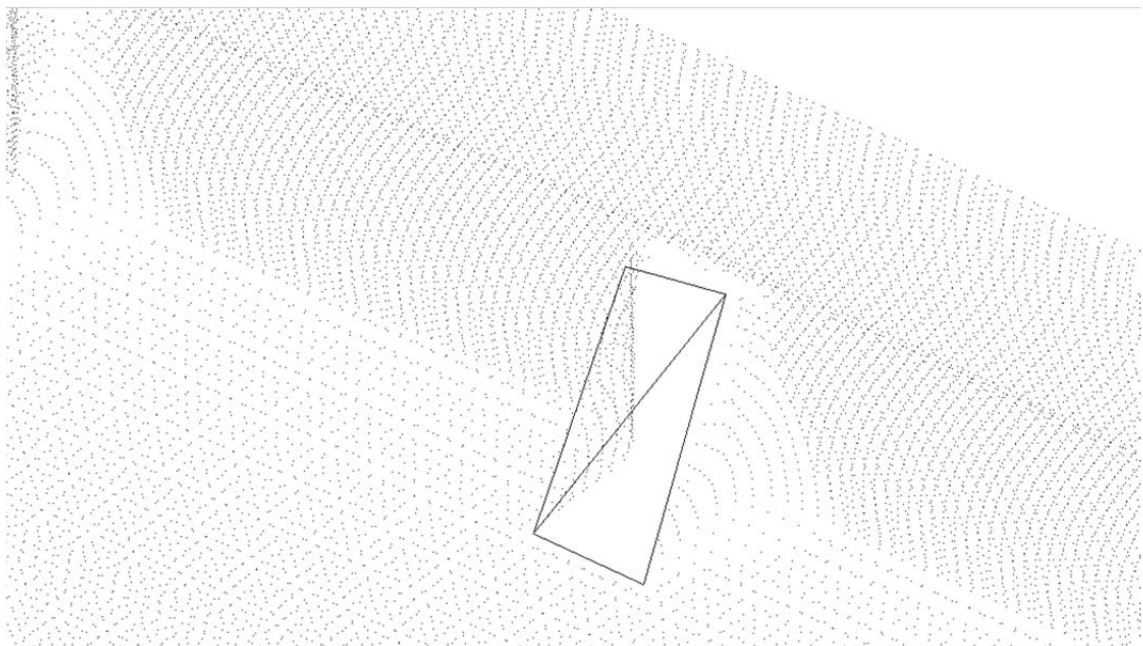


図 3-25 メッシュ化結果

3.7.4 VRML 出力

以上の操作を繰り返し、計測対象地全体のメッシュデータを生成した。生成したメッシュは、3次元形状データとしてファイル出力した。データ形式はVRMLである。作成したポリゴンデータを図 3-24 に示す。

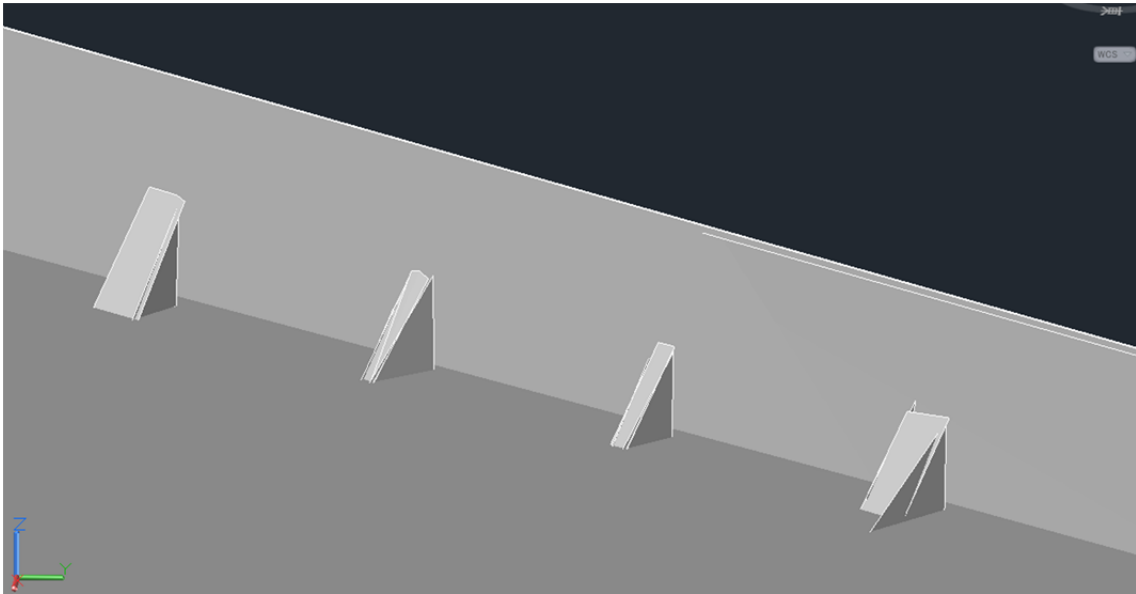


図 3-26 作成したポリゴンデータ

3.7.5 3ds Max での修正

作成したポリゴンデータには、実際の計測対象地を正確に再現できていない部分があるため、Autodesk 社の 3ds Max 2010 を用いて、ポリゴンデータの修正を行った。また、作成したポリゴンデータを、3.6 節で作成した変状の 3 次元形状データと重ね合わせて表示するために、3ds Max 2010 を用いて、ポリゴンデータを VRML ファイルから AutoCAD で表示可能な、DWG ファイルに変換した。修正後のポリゴンデータを図 3-25 に示す。

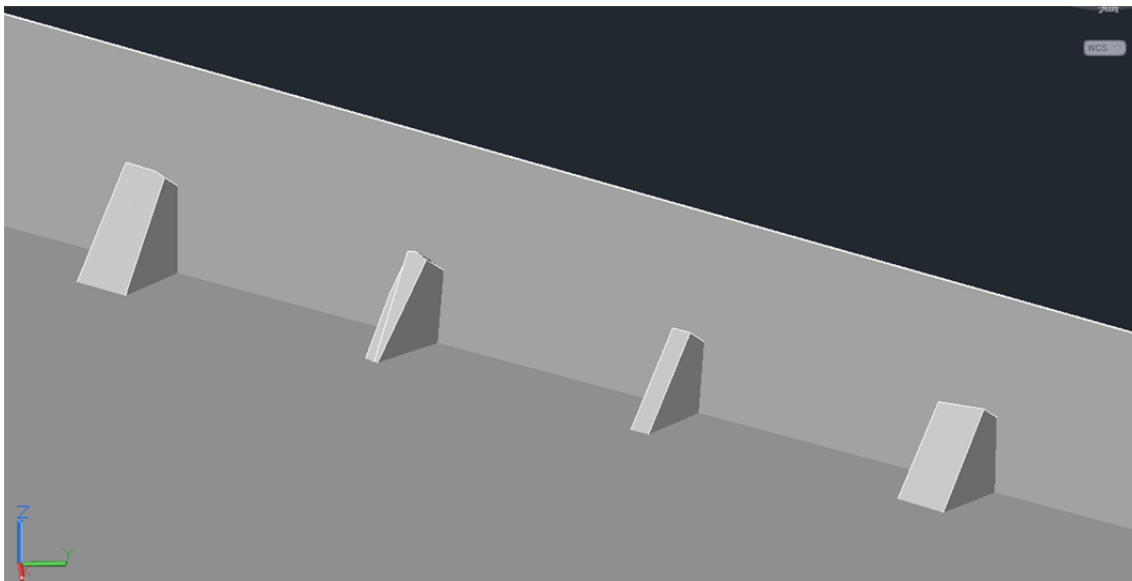


図 3-27 3ds Max で修正後のポリゴンデータ

3.8 以上のシステムの統合化

変状のうち、line および polyline として抽出されたプロダクトモデルの 3 次元形状データと、点群データから作成したポリゴンデータを重畳表示した結果を図 3-26 に示す。CAD 上で計測対象地の 3 次元現況と、ひび割れの 3 次元形状の把握が可能である事が確認された。

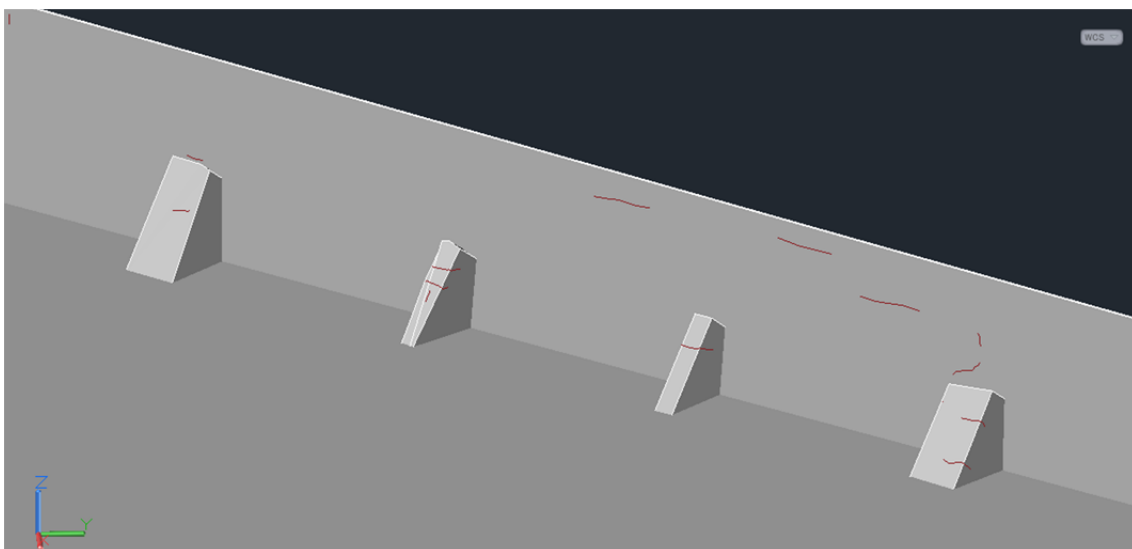


図 3-28 3ds Max で修正後のポリゴンデータ

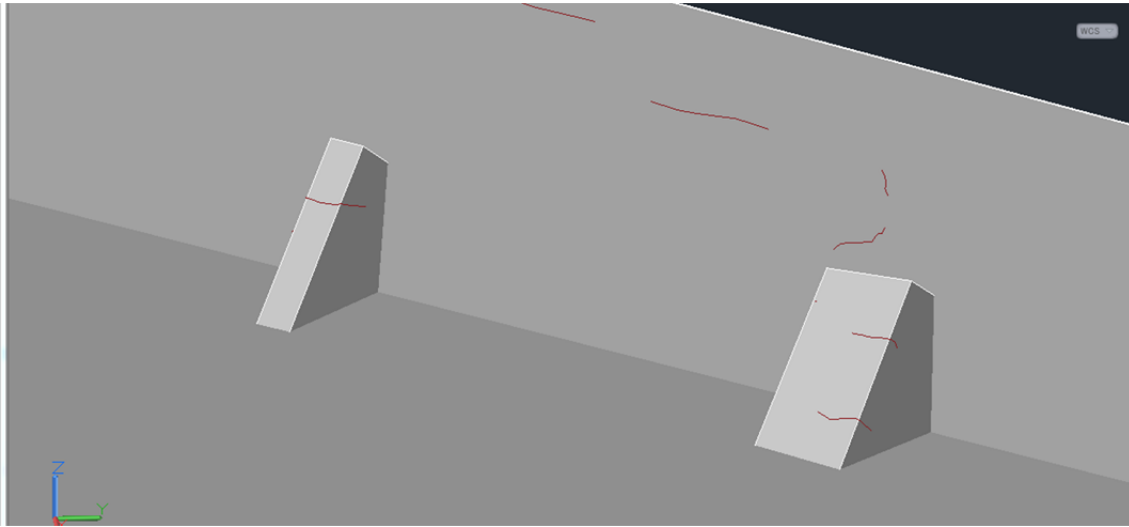


図 3-29 3ds Max で修正後のポリゴンデータ (拡大)

第4章 総括

4.1 結論

以下に，本研究による開発成果を示す．

- ・港湾・空港構造物の3次元プロダクトモデル IFC-Harbor・IFC-Airport のプロトタイプを開発した．
- ・コンクリート構造物のひび割れ，剥離，錆汁，遊離石灰析出，すりへり等の変状のプロダクトモデルを開発した．
- ・KUMONOS によって計測されるひび割れなどの3次元形状データから，変状情報を抽出し，IFC ファイルとして出力するプログラムを作成した．
- ・MMS によって得られる3次元点群データからポリゴンデータを作成するプログラムを作成した．
- ・KUMONOS 内蔵のトータルステーションによって得られる変状の3次元形状データと変状のプロダクトモデルおよび対象構造物の3次元現況モデルを統合化して表示するシステムを開発した．

4.2 今後の課題と展望

本研究で開発したシステムの課題と展望として，以下の点が挙げられる．

- ・KUMONOS によって計測されるひび割れなどの3次元形状データの受け渡しプログラムの開発を行ったが，現段階では Spline の変状情報を出力することができないため，今後の課題として研究する．
- ・KUMONOS によって計測されるひび割れなどの3次元形状データから，変状情報を抽出し，IFC ファイルとして出力するプログラムにおいて，現段階では3次元形状情報が失われた IFC ファイルが出力されるため，今後，3次元形状情報を保持した IFC ファイルの出力が可能なシステムの開発を目指す．
- ・MMS から得られた3次元点群データを，3次元モデルへポリゴン化する際，モデリングの精度が悪く適切なポリゴンが生成されない場合，モデリングソフト等で手操作によるモデルの修正が必要となる．点群からの自動ポリゴン化の精度を高めていく必要がある．

参考文献

- 1) buildingSMART International : <http://buildingsmart.com/>
- 2) KUMONOS (関西工事測量(株) Web サイト) : <http://www.kankou.co.jp/topics/kumonos/>
- 3) 瀧口純一：高精度 GPS 移動計測装置三菱モービルマッピングシステム，情報処理学会研究報告．CVIM, [コンピュータビジョンとイメージメディア], 2011-CVIM-176(20), pp.1-5, 2011.
- 4) 有賀貴志，矢吹信喜，新井泰：変状データを含む開削トンネルのプロダクトモデルの構築，土木学会論文集 F3 (土木情報学)，Vol. 68, No. 1, 58-70, 2012.
- 5) 有賀貴志，矢吹信喜：土木構造物を対象とした変状の情報管理のためのプロセスモデルの開発，土木学会論文集 F3 (土木情報学)，Vol. 68, No. 1, 58-70, 2012.
- 6) 中庭和秀，矢吹信喜，阿部幸夫：同心円状レチクル内蔵 TS の開発と斜杭打設システムへの応用，平成 24 年度建設施工と建設機械シンポジウム論文集・梗概集，51-56, 2012. 11.
- 7) 矢吹信喜，中庭和秀，木寺浩紀，西乃輔：モバイルマッピングシステムの切削オーバーレイ工法による道路舗装改良工事測量への適用，土木学会論文集 F3(土木情報学)，Vol.67, No.2, I_18-I_28, 2011.
- 8) (福田知弘，北川憲佑，矢吹信喜：非凸多角形を含む建築模型に対応した点群からの対話的な 3 次元モデリングシステムの開発，日本建築学会計画系論文集 第 78 巻 第 687 号，1231-1239, 2013.5.)
- 9) 瀧口純一：高精度 GPS 移動計測装置三菱モービルマッピングシステム，情報処理学会研究報告．CVIM, [コンピュータビジョンとイメージメディア], 2011-CVIM-176(20), pp.1-5, 2011.