

I-6 CALS を指向した GIS 利用のための CAD データの表現方法に関する基礎的研究

A CALS-Oriented Study on Representation of CAD-Data for Using GIS

三上 市蔵
Ichizou MIKAMI田中 成典^{**}
Shigenori TANAKA窪田 諭^{***}
Satoshi KUBOTA中村 修策^{****}
Shuusaku NAKAMURA

【抄録】 CALS の概念に基づき、土木構造物のライフサイクルに渡って生成される多種多様で膨大な情報の中から必要な情報を効率よく抽出・利用できる統合データベースの検討が必要不可欠となっている。

本研究では、統合データベースの基盤として GIS を用いることを考え、三次元 CAD データを利用できる環境を構築した。まず、CAD データ上の特定の点に測地基準点を与え、CAD データの座標系を測地座標系に変換させた。次に、測地データのデータ構造を標準化するために測地スキーマを作成した。そして、CAD データを測地データに変換するフローを考案し、出力フォーマットについて検討した。

【Abstract】 The integration databases should be constructed for the enormous information over the life cycle of civil engineering structures.

In this study, the environment where an integration database is controlled on the base of GIS and 3D CAD-Data are used. First, the Geodetic Reference Positions are specified on CAD-Data, and the coordinate system of CAD-data is transformed into the geodetic coordinate system. Next, the Geodetic-Schema is designed for standardization of data structure of Geodetic-Data. The CAD-Data are transformed into Geodetic-Data and output format is discussed.

【キーワード】 CALS, GIS, CAD, 測地基準点, STEP, ISO/TC211

【Keywords】 CALS, GIS, CAD, Geodetic Reference Positions, STEP, ISO/TC211

1. まえがき

土木構造物の計画・調査・設計・積算・施工・維持管理のライフサイクルに渡って発生する情報は、業務プロセスの合理化および品質確保の実現のため、CALS の概念に基づき、電子データとして業務関係者間で交換・連携・共有・再利用¹⁾³⁾されるべきである。そして、今後は土木構造物のライフサイクルに渡って生成される多種多様で膨大な情報の中から必要な情報を効率よく抽出し、利用できる統合データベースについて検討する必要がある。その場合、

統合データベースの基盤として、GIS (Geographic Information System : 地理情報システム)⁴⁾⁸⁾を利用することが考えられる。GIS は、地図上の特定の位置を選択することでその位置に関連する情報を効率よく抽出するためのキーワード (メタデータ) を表示させる。メタデータを様々なデータベースと連携させることにより、土木構造物に関する多種多様な情報を統合的に管理できる。

土木構造物のライフサイクルの各業務で生成される情報の中で、CAD データは、地質柱状図・測量

* 工博 関西大学 工学部土木工学科 教授
(E-mail : mikami.ichizou@mc.newweb.ne.jp)

(〒564-8680 大阪府吹田市山手町 3-3-35)

** 工博 関西大学 総合情報学部 助教授

(〒569-1095 大阪府高槻市霊仙寺町 2-2-1)

*** 工修 株式会社オーグス総研 GIS ソリューション部

(〒560-0083 大阪府豊中市新千里西町 1-2-1)

**** 関西大学大学院博士課程前期課程

(〒564-8680 大阪府吹田市山手町 3-3-35)

図・一般図など多種多様で、再利用し得る頻度が最も高い。したがって、CAD データは、標準化されたファイルフォーマットで取り扱い、GIS から抽出・利用されるべきものである。現在、CAD 製図基準 (案) 9)では、GIS からCAD データを抽出するために、CAD データに場所情報を与えることが考えられている 10)。しかし、そこでは二次元CAD データしか考えられていない。計画・設計段階で作成されたCAD データが施工・維持管理段階でも再利用されるためには、CAD データは三次元CAD データとしてやり取りされることが望ましい。したがって、三次元CAD データに場所情報を定義する必要がある。

本研究では、道路構造物の三次元CAD データをGIS から抽出・利用するために、CAD データ上の特定の点に測地座標系の座標値 (以後、**測地基準点**) を与え、CAD データの座標を測地座標系に変換させる方法を提案する。まず、CAD データの何処に測地基準点を与えるのか検討する。次に、測地基準点を与えたCAD データを測地座標系に変換する方法について提案する。そして、測地座標系で表現したCAD データ (以後、**測地データ**) のデータ構造を、標準化を意図して定義するため測地スキーマを

作成する。最後に、CAD データを測地データに変換するまでのフローを作成し、出力フォーマットについて検討する。

2. 三次元CADデータの測地データとしての表現方法

三次元CAD データをGIS で利用するためには、CAD データの座標系と現実世界の位置を示す測地座標系を連携する必要がある。本研究では、CAD データの特定の点に場所情報を与え、CAD データを測地座標系に変換する方法を提案する。三次元CAD の座標系と測地座標系の連携のイメージを図-1 に示す。

本章では、まず、三次元CAD の座標系と測地座標系を連携させるために、測地基準点の設置箇所を検討し、CAD データに与えるべき測地座標値を明らかにする。次に、測地データの標準化を意図して定義するため測地スキーマを作成する。

2.1 測地基準点の取得

ここでは、道路構造物のライフサイクルの観点から、三次元CAD データに設置する測地基準点の位置を決定する。新しい路線を計画する際、航空測量で作成された地形図や数値地図を基に数本の路線が

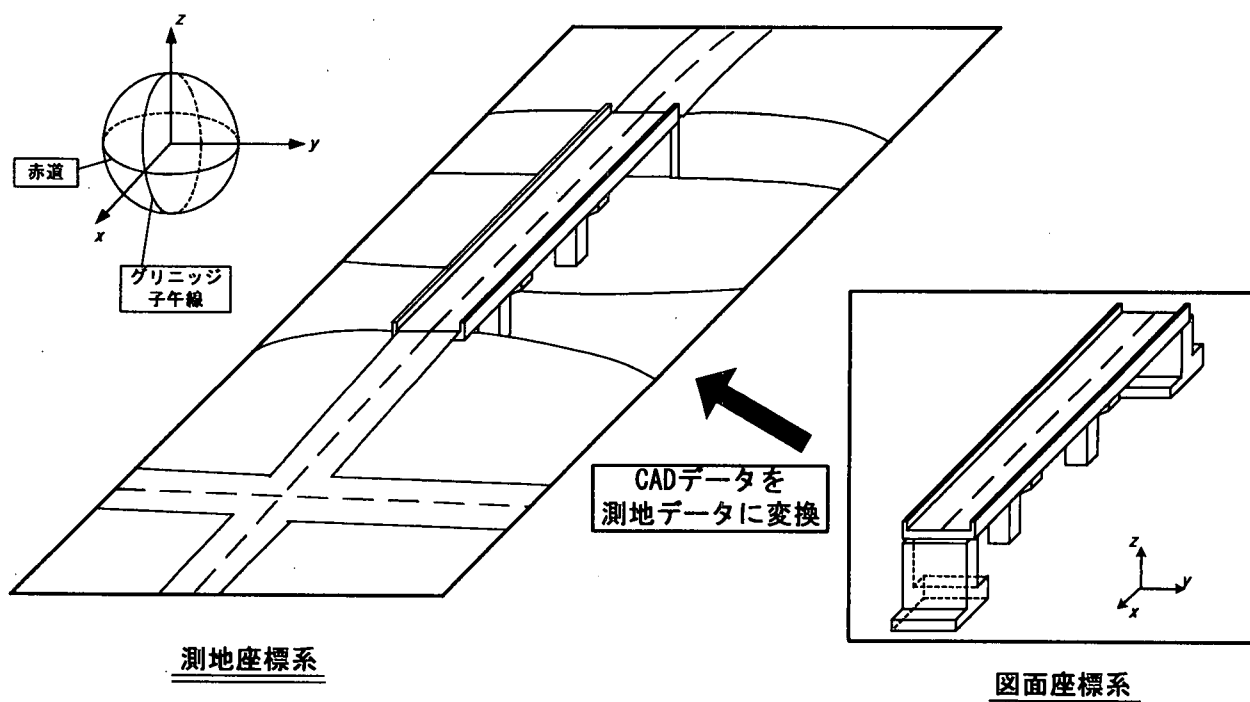


図-1 CAD と GIS の連携のイメージ

候補に挙げられる。そして、候補路線の全てに対して測量が行われ、平面図・縦断面図・横断面図が作成される。そこで、道路の起点から 20m ごとの測点および曲線・クロソイドの始点・終点・交点などの場所情報を保持した点が特定される。これらの点を測地基準点として利用するのがよいと考えられる。対象となる基準点を表-1 に示す。測地基準点の計測に、RTK-GPS (Real Time Kinematics-GPS) 測量¹¹⁾を行えば、高精度なデータがリアルタイムに取得できる。計画段階に作成された測地基準点を実施測量や工事測量で再利用することで、測量作業が効率化される。また、測地基準点が整備されると、同じ場所を再測量する際、近くの測地基準点を利用できるので、以後の測量作業の重複を回避できる。

我が国では、2001 年 6 月に測量法が改正され、2002 年度から測地成果 2000¹²⁾に対応する必要に迫られている。現在の日本測地系は世界測地系へ変換する必要があるので、測地基準点の座標系は、世界測地系を採用する。世界測地系は、ITRF 系 (International Terrestrial Reference Frame : 国際地球基準座標) および GRS (Geodetic Reference System : 測地基準系) 楕円体で表現する。ITRF 系は地球の重心を原点とした三次元直交座標系である。GRS 楕円体は、楕円体の形状や軸の方向および地球の重心を定義している。

表-1 測地基準点として利用可能な点

項目	記号
測点番号	No. or STA
橋梁の始点	BB
橋梁の終点	EB
トンネルの始点	BT
トンネルの終点	ET
円弧始点	BC
円弧終点	EC
クロソイド曲線始点	KA
クロソイド曲線終点	KE
主接線交点	IP

2.2 測地データの作成方法

三次元 CAD データを測地データに変換するためには、前節の測地基準点を CAD データに与えた後、測地データに変換する。しかし、必要以上の緯度・経度・標高などの測地座標値を与えると測地データに誤差が生じる。そこで、測地基準点は必要最小限の情報を CAD データに与え、測地データに変換する。

CAD データに三点の測地基準点を与えると、CAD データを測地データに変換することができるので、橋梁¹³⁾¹⁴⁾の CAD データを対象とした場合、測地基準点の座標値を与える場所は、図-2 に示すように、一点目は橋梁の始点、二点目は橋梁の終点、三点目は橋梁上の道路面の四隅のうち一点と定義しておくべきである。そして、形状情報は既に CAD データで決められているので、三点の測地基準点全てに x, y, z の座標値を与えると過剰なデータを与えることになり、測地データの誤差を生む原因となる。そのため、一点目は (x, y, z) 、二点目は (y, z) 、三点目は (z) の座標値を与えることにする。

2.3 測地スキーマの作成

測地データを表現する際、標準化された表現手法が用いられなければ、様々なデータ構造が作られる可能性があり、測地データの利用が困難となる。そこで、データ構造を定義する測地スキーマを作成する。

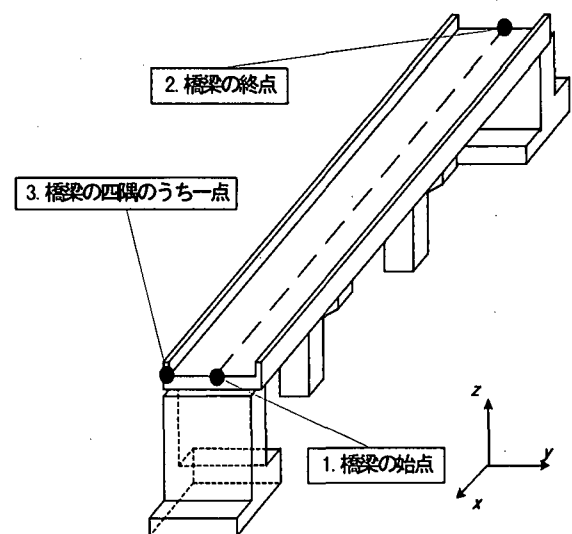


図-2 橋梁を対象とした場合のデータの取得箇所

2.3.1 ISO/TC211 の適用

測地スキーマの表現に必要な空間データの標準化¹⁵⁾¹⁶⁾に関する活動として、ISO/TC211、G-XML、OGC が挙げられる。

ISO/TC211 (International Organization for Standardization / Technical Committee 211) は、地理情報の国際標準規格を検討している ISO の専門委員会である。地球上の位置と間接的に関係する現象および対象物に関する情報（地物：フィーチャ）を構造化し、標準体系の確立を目的としている。

G-XML は、様々な地理情報をインターネット上で交換し、相互流通できる環境を構築することを目的としている。そのために、地理情報をインターネット上でのデータ記述の標準形式である XML (eXtensible Markup Language) で記述するためのデータ定義を検討している。

OGC (Open GIS Consortium) は、様々なソフトウェアで作成された地理情報をデータ変換することなく利用でき、分散ネットワーク環境において GIS の利用を加速できる仕様である OpenGIS (Open Geodata Interoperability Specification)の作成を進めている。そして、地理情報を XML で実装するために、GML(Geography Markup Language)の検討が行われている。

本研究の測地スキーマは、データの永続性を確保するために、ISO/TC211 の作業項目に挙げられている、

- ・空間データの構造
(ISO/DIS 19107 Geographic information - Spatial schema -)
- ・座標による空間参照
(ISO/DIS 19111 Geographic information - Spatial referencing by coordinates)

に準拠した表現とする。ISO/TC211 で適用した項目とそれに対応する測地スキーマのエンティティを表-2に示す。

2.3.2 EXPRESS による記述

測地スキーマのデータ構造の記述には、製品情報全ての表現と交換（プロダクトモデル）の標準化に取り組んでいる ISO10303 規格の STEP (STandard for the Exchange of Product model data)¹⁷⁾¹⁸⁾の

表-2 適用する項目と対応するエンティティ

項目	エンティティ
幾何形状	GM_Primitive
測地基準点	GM_Point
測地座標系	DirectPosition
位置座標	GM_Position
曲線片	GM_CurveSegment
曲線	GM_Curve
折れ線	GM_LineString
線分	GM_LineSegment
円弧列	GM_ArcString
円弧片	GM_ArcSegment
円弧	GM_Arc
円	GM_Circle

データ仕様記述言語である EXPRESS 言語¹⁹⁾を用いる。

表-2 で述べた測地スキーマのエンティティ間の関連性を明確にするために、測地スキーマを図的に表現した EXPRESS-G を作成する。作成した結果を図-3 に示す。そして、測地スキーマのエンティティを EXPRESS で具体的に記述すると図-4 のようになる。

- ・測地スキーマ(geodetic_schema)は、測地データの点・線・面を表現する幾何形状要素 (GM_Primitive) から点要素 (GM_Point) や曲線要素 (GM_Curve) を継承している。
- ・GM_Point エンティティは、測地座標系で表現する基準点 (position) と図面座標で表現する点 (location) を属性に持ち、直接参照要素 (DirectPosition) とデカルト座標上の点要素 (cartesian_point) を継承している。
- ・DirectPosition エンティティは、座標参照系 (coordinateReferenceSystem) を属性に持ち、測地座標系 (SC_CRS) による緯度 (latitude) ・経度 (longitude) ・標高 (elevation) を実数 (REAL) で実装する。
- ・GM_Curve エンティティは、測地データの曲線を定義しており、円弧列要素 (GM_ArcString) と折れ線要素 (GM_LineString) を継承している。

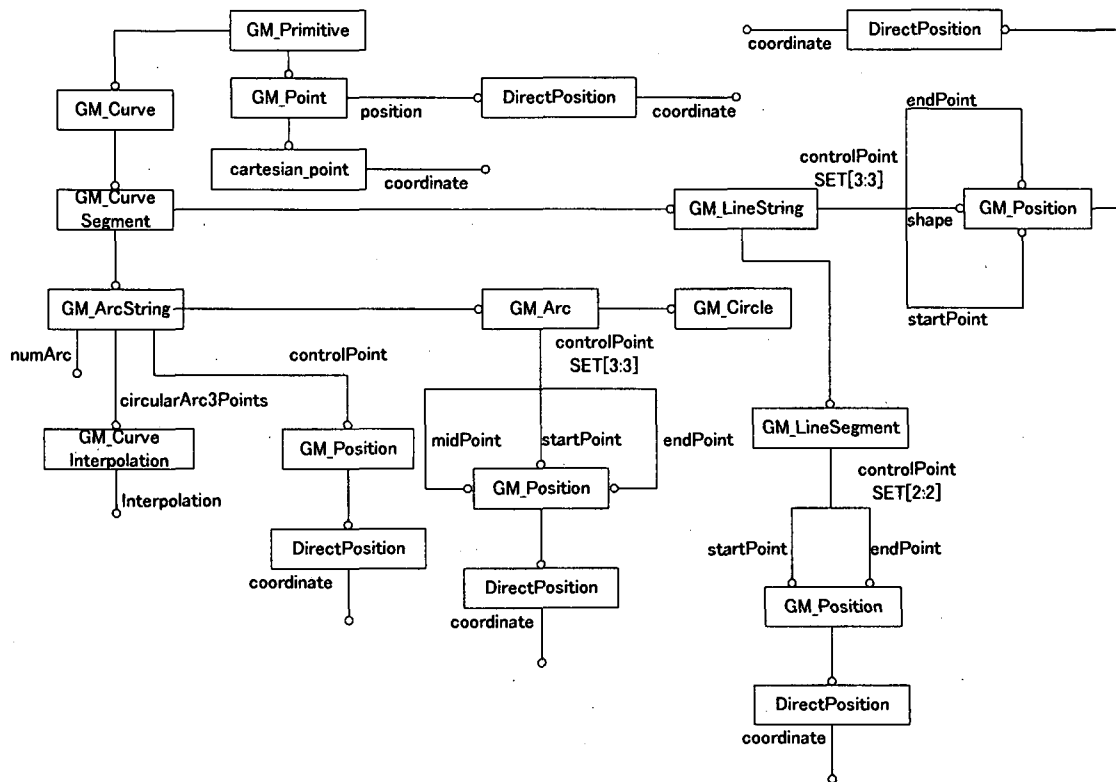


図-3 測地スキーマの EXPRESS-G

SCHEMA spatial_schema

TYPE gm_position = SELECT
(directposition,indirectposition);
END_TYPE; -- gm_position

ENTITY gm_primitive
SUBTYPE OF (ONEOF (gm_point, gm_curve));
END_ENTITY; -- gm_primitive

ENTITY gm_point
SUBTYPE OF (gm_primitive);
position : directposition;
END_ENTITY; -- gm_point

ENTITY direct_position
coordinate LIST[2:2] OF (latitude, longitude, elevation);
latitude : REAL;
longitude : REAL;
elevation : REAL;
coordinateReferenceSystem : SC_CRS;
END_ENTITY; -- direct_position

ENTITY gm_curve
SUBTYPE OF (gm_primitive);
SUPERTYPE OF (gm_curvesegment);
END_ENTITY; -- gm_curve

ENTITY gm_curvesegment
SUPERTYPE OF (ONEOF (gm_linestring, gm_arcstring));
SUBTYPE OF (gm_curve);
END_ENTITY; -- gm_curvesegment

ENTITY gm_linestring
SUBTYPE OF (gm_curvesegment);
SUPERTYPE OF (gm_linesegment);
controlPoint LIST[3:3] OF (startPoint, shape, endPoint);
startPoint : gm_position;
shape : gm_position;
endPoint : gm_position;
END_ENTITY; -- gm_linestring

ENTITY gm_linesegment
SUBTYPE OF (gm_linestring);
controlPoint LIST[2:2] OF (startPoint, endPoint);
startPoint : gm_position;
endPoint : gm_position;
END_ENTITY; -- gm_linesegment

ENTITY gm_arcstring
SUPERTYPE OF (gm_arc);
SUBTYPE OF (gm_curvesegment);
numArc : Integer
DRIVE
controlPoints : SEQUENCE gm_position SIZE
= [2*numArc + 1];
interpolation : gm_curveinterpolation
= circularArc3Points;
END_ENTITY; -- gm_arcstring

ENTITY gm_arc
SUPERTYPE OF (ONEOF (gm_circle));
SUBTYPE OF (gm_arcstring);
controlPoints LIST[3:3] OF (startPoint, midPoint, endPoint);
startPoint : gm_position;
midPoint : gm_position;
endPoint : gm_position;
END_ENTITY; -- gm_arc

ENTITY gm_circle
SUBTYPE OF (gm_arc);
END_ENTITY; -- gm_circle

END_SCHEMA; -- spatial_schema

図-4 測地スキーマ

- ・ GM_LineString エンティティは、線分要素 (GM_LineSegment) と位置情報要素 (GM_Position) を継承している。始点 (startpoint), 終点 (endpoint), 中間点 (shape) を属性に持ち、それぞれを直接参照要素 (DirectPosition) で表現している。
- ・ GM_LineSegment エンティティは位置情報要素 (GM_Position) を継承している。そして、始点 (startpoint), 終点 (endpoint) を属性に持ち、直接参照要素 (DirectPosition) で表現している。
- ・ GM_ArcString エンティティは、円弧要素 (GM_Arc), 曲線の内挿法要素 (GM_CurveInterpolation), 位置情報要素 (GM_Position) を継承している。GM_CurveInterpolation エンティティは circularArc3Points を属性に持つ。これは制御点を三点取り出し、その三点を順に通る円弧を意味する。三点目は次の三点の始点となるので、制御点として指定される座標値は三以上の奇数 (2n+1) となる。また、三点が直線上に並んでいるときは直線となる。そして制御点をそれぞれ、直接参照要素 (DirectPosition) で表現している。
- ・ GM_Arc エンティティは、円要素 (GM_Circle) と位置情報要素 (GM_Position) を継承している。始点 (startpoint), 終点 (endpoint), 中間点 (shape) の三点の制御点を属性に持ち、直接参照要素 (DirectPosition) で表現している。

以上のエンティティの集合によって作成した測地スキーマを用いることにより、測地データを表現できる。

3. 三次元 CAD データの測地データへの変換

前章では CAD データを測地データに変換するために必要な条件を定義した。本章では、これらの条件を踏まえて、橋梁を対象として実際に CAD データを測地データに変換するまでのフローを作成し、出力フォーマットについて検討する。

3.1 測地基準点を与えた三次元 CAD データの作成

CAD データに測地基準点を与えるには、まず、CAD データと測地基準点のデータを読み込む。次

に、2.2 節で定義した測地基準点の場所に、一点目は緯度・経度・標高のデータ、二点目は経度・標高のデータ、三点目は標高のデータとそれぞれ対応した測地系の座標値を入力する。測地基準点を与えた CAD データは STEP の Part21 形式で保存される。このデータの一部を図-5 に示す。

Part21 形式の測地基準点のデータ構造は、測地スキーマで定義した GM_Point エンティティを用いて表現している。#140 行の GM_Point エンティティは、#120 行の cartesian_point エンティティと #130 行の DirectPosition エンティティを継承している。#130 行の DirectPosition エンティティは、緯度・経度・標高すべてのデータを保持しているため、#140 行の GM_Point エンティティは、橋梁の始点の測地基準点を表現している。また、#160 行の DirectPosition エンティティの緯度は、\$ で表現されている。これは緯度を保持していないことを意味する。したがって、#170 行の GM_Point エンティティは、橋梁の終点の測地基準点を表現している。そして、#190 行の DirectPosition エンティティは、標

```
.....
DATA;
#10=DIMENSIONAL_EXPONENTS(0.,0.,0.,0.,0.,0.);
#20=DIMENSIONAL_EXPONENTS(1.,0.,0.,0.,0.,0.);
#30=(NAMED_UNIT(#10)PLANE_ANGLE_UNIT()
SI_UNIT($,RADIAN,));
#40=(LENGTH_UNIT()NAMED_UNIT(#20)SI_UNIT
(MILLI.,METRE,));
#50=(GEOMETRIC_REPRESENTATION_CONTEXT(2)
GLOBAL_UNIT_ASSIGNED_CONTEXT(#30,#40))
REPRESENTATION_CONTEXT('ID1','2D');
.....
```

```
#120=CARTESIAN_POINT(321,457,82);
#130=DIRECTPOSITION(135.012365,42.19238,8.234);
#140=GM_POINT(#120,#130);
#150=CARTESIAN_POINT(442,457,83);
#160=DIRECTPOSITION($,42.1946,8.234);
#170=GM_POINT(#170,#180);
#180=CARTESIAN_POINT(558,457,82);
#190=DIRECTPOSITION($,$,8.236);
#200=GM_POINT(#220,#230);
.....
```

```
#300=CARTESIAN_POINT(788,457,82);
#310=CIRCLE(#300,7);
#350=CARTESIAN_POINT(168,426,83);
#360=CARTESIAN_POINT(168,218,82);
#370=LINE(#350,#360);
.....
```

図-5 測地基準点を与えた CAD データの Part21 フォーマット (一部)

表-3 CAD データと測地データの記述の比較

比較項目	エンティティ	
	測地基準点を保持した CAD データ	測地データ
測地基準点	GM_POINT	GM_POINT
点	CARTESIAN_POINT	DIRECTPOSITION
直線	LINE	GM_LINESEGMENT
円	CIRCLE	GM_CIRCLE
円弧	TRIMMED_CURVE	GM_ARC

高のデータのみ保持しており、緯度・経度は\$で表現されている。したがって、#200 行の GM_Point エンティティは、橋梁上の道路面の四隅のうち一点の測地基準点を表している。

3.2 測地基準点を与えた三次元 CAD データから 測地データの作成

測地基準点を与えた CAD データの中にある橋梁の始点における緯度・経度・標高のデータ、終点における経度・標高のデータ、橋梁上の道路面の四隅のうち一点における標高のデータを利用して測地データに変換する。そして、表-3 に示すようにデータ表現を対応させ、測地スキーマに従って測地データを作成する。測地データの一部を Part21 形式で表現した結果を図-6 に示す。

#80 行の GM_LineSegment エンティティは、#60 行と#70 行の DirectPosition エンティティを継承している。これは、#60 行に示されている測地座標系の緯度・経度・標高を保持した直接参照点と#70 行の点を結んだ直線を表現する。#190 行の GM_Point エンティティは、測地基準点を表現している。これは、測地基準点を与えた CAD データを作成する際に、すでに表現されている。#530 行の GM_Circle は、#500 行、#510 行、#520 行の DirectPosition エンティティを継承している。これは、#500 行に示されている測地座標系の直接参照点と#510 行の点と#520 行の点を通る円を表現する。#4250 行の GM_Arc エンティティは、#4220 行、#4230、#4240 行の DirectPosition エンティティを継承している。

```

.....
ENDSEC;
DATA;
#10=DIMENSIONAL_EXPONENTS(0.0,0.0,0.0,0.0);
#20=DIMENSIONAL_EXPONENTS(1.0,0.0,0.0,0.0);
#30=(NAMED_UNIT(#10)PLANE_ANGLE_UNIT($SI_UNIT
($,RADIAN));
#40=(LENGTH_UNIT(NAMED_UNIT(#20)SI_UNIT
(MILLI,METRE));
#50=(GEOMETRIC REPRESENTATION CONTEXT(2)
GLOBAL UNIT ASSIGNED CONTEXT(#30,#40))
REPRESENTATION_CONTEXT('ID1',2D));
#60=DIRECTPOSITION(135.53141,34.72497,8.64341;
#70=DIRECTPOSITION(135.53745,34.72492,8.64945);
#80=GM_LINESEGMENT(#60,#70);
.....

#170=CARTESIAN_POINT(442,457,$);
#180=DIRECTPOSITION(135.532472,34.72446,8.643);
#190=GM_POINT(#170,#180);
.....

#500=DIRECTPOSITION(135.53138,34.724565,8.642);
#510=DIRECTPOSITION(135.53141,34.724571,8.643);
#520=DIRECTPOSITION(135.53153,34.724689,8.643);
#530=GM_CIRCLE(#520,#510);
#540=DIRECTPOSITION(135.53189,34.724572,8.643);
#550=DIRECTPOSITION(135.53201,34.724686,8.643);
#560=DIRECTPOSITION(135.53179,34.724547,8.643);
#570=GM_CIRCLE(#550,#540);
.....

#4220=DIRECTPOSITION(135.52871,34.72833,8.640);
#4230=DIRECTPOSITION(135.53756,34.73719,8.640);
#4240=DIRECTPOSITION(135.53754,34.73715,8.641);
#4250=GM_ARC(#4220,#4230,#4240);
#4260=DIRECTPOSITION(135.53745,34.72412,8.649);
#4270=DIRECTPOSITION(135.53964,34.72631,8.648);
#4280=DIRECTPOSITION(135.53965,34.72632,8.647);
#4290=GM_ARC(#4260,#4270,#4280);
.....

```

図-6 測地データの Part21 フォーマット (一部)

これは、#4220 行に示されている測地座標系の点を始点、#4230 行の点を中間点、#4240 行の点を終点とし、これらを結ぶ円弧を表現する。

以上のように、CAD データを測地データに変換することで座標値やデータ構造は変化するが、三次元モデルはそのままの状態を保持し、GIS でも利用できる。

4. あとがき

本研究では、道路構造物の三次元 CAD データを GIS で利用するために、CAD データに特定の点に測地座標系の座標値を与え、CAD データの座標系を測地座標系に変換させる方法を提案した。CAD データを測地データに変換するために、CAD データに設置する測地基準点の場所を定義し、多数の測地基準点の中から三点の座標値を用いて変換する方法を提案した。そして、測地データの表現手法を標準化するために、ISO/TC211 に準拠した測地スキーマを作成し、これを EXPRESS で記述した。以上の提案を踏まえ、橋梁の CAD データを測地データに

変換するまでのフローを作成し、測地データを Part21 形式で表現した。

今後は、受発注者が必要とする情報を効率よく抽出するためのメタデータを整備し、プロダクトモデルデータベースなどと連携してデータを共用できる環境を構築する必要がある。そのためには、GIS を中心としたクリアリングハウスが開発されることが望ましい。本研究の提案は、CALS の実現に向け、GIS を基盤とする統合データベースの実現のための基礎となるものである。

最後に、日本工営株式会社 今井龍一氏に GIS に関する資料の提供を受けるとともに助言をいただいた。ここに記して感謝の意を表す。

参考文献

- 1) 国土交通省：工事完成図書の電子納品要領(案)，2001.2.
- 2) 国土交通省：土木設計業務等の電子納品要領(案)，2001.2.
- 3) 国土交通省：電子納品運用ガイドライン(案)，2001.3.
- 4) 古田均，三上市蔵，碓井照子，広兼道幸，田中成典：建設 CALS/EC に向けた電子地図の動向を探る -CAD/CG/GIS/GPS の統合-，山海堂，2001.5.
- 5) 杉原健一，ハンマードアミン，林良嗣：GIS と CG の統合化システムによる都市の 3 次元モデルの自動生成とその活用，土木情報システム論文集，土木学会，Vol.9，pp.41-48，2000.10.
- 6) 高橋広幸，山崎元也，本郷延悦：道路に関わる情報の整備と活用，土木情報システム論文集，土木学会，Vol.9，pp.11-18，2000.10.
- 7) 馬智亮，伊藤義人：最新情報処理技術に基づいた道路ライフサイクルシステムの設計，土木情報システム論文集，土木学会，Vol.8，pp.127-134，1999.10.
- 8) 電気学会・空間情報統合化技術調査専門委員会：GIS の基礎と応用－空間情報の統合化技術－，オーム社，2001.3.
- 9) 国土交通省：CAD 製図基準(案)，2001.2.
- 10) 日経コンストラクション：電子納品ようやく“本番”へ，日経 BP 社，No.286，pp.68-7，22001.8.
- 11) 国土地理院：RTK-GPS を利用する公共測量作業マニュアル，A-1，No228，2000.6.
- 12) 橋梁編纂委員会：デジタル化・グローバルに向けた新位置基準，橋梁&都市 PROJECT，Vol.36，pp.43-48，2000.2.
- 13) 日本橋梁建設協会：鋼橋の概要，1994.4.
- 14) 日本橋梁建設協会：鋼橋の設計と施工，1991.2.
- 15) 空間情報技術入門：国土空間データ基盤推進協議会，1999.11.
- 16) 地理情報標準推進委員会：地理情報標準 第 1.1 版，建設省国土地理院，2000.7.
- 17) Fowler, J. : STEP for Data Management, Exchange and Sharing, 1995. (邦訳，プラント CALS 研究会：STEP がわかる本－情報の管理・交換・共有のための世界標準－，工業調査会，1997.10.)
- 18) 木村文彦，小島俊雄：製品モデル表現とその利用技術－STEP－，日本規格協会，1995.4.
- 19) ISO10303-11 : Industrial automation system and integration - Product data representation and exchange - Part11 : The Express language reference manual, International Organization for Standardization, 1994.12. (JIS B 3700-11:産業オートメーションシステム及びその統合－製品データの表現及び交換－第 11 部：記述法：EXPRESS 言語，日本規格協会，1996.12.)