

建設分野における 3 次元幾何要素仕様の標準化の検討

Examination of the standardization of three-dimensional geometry element specifications in the of construction work

橋本裕也¹・青山憲明²・金澤文彦²・神原明宏²・渡辺完弥²

Hashimoto Yuya, Aoyama Noriaki, Kanazawa Fumihiko, Kambara Akihiro and Watanabe Kanya

抄録: 国土交通省では、CALS/EC 推進の一環として電子納品を実施している。CAD に関しては、2 次元図面を CAD データ交換標準 SXF (P21) 形式で電子納品を実施している。一方、ICT の急速な進展により、製造業等では 3 次元 CAD による設計・製造(CAD・CAM)が進められている。土木事業においても、業務の効率化、高度化をもたらす 3 次元設計、CG、情報化施工等の導入が進められており、3 次元 CAD データの交換、連携のための環境整備が必要となっている。本研究では、3 次元 CAD データ交換標準の整備を行うに先立ち、特に 3 次元幾何要素に関するデータ交換標準の実現可能性を確認するために、各種の先行標準を調査するとともに、建設分野で一般的に必要とする幾何要素の検討を実施した。本稿では、その取り組みを報告するものである。

キーワード: CAD, 3 次元幾何要素, データ交換, CALS/EC

Keywords : CAD, 3D geometry element, Data Exchange, CALS/EC

1. まえがき

製図によって作成される図面は、作図の関係上、実際の 3 次元形状の構造物が、平面や断面等の 2 次元図面として描かれる。2 次元図面の電子化については、CAD 製図基準(案)の策定、CAD データ交換標準 SXF の開発、目視確認を支援する SXF ブラウザの開発等によって、データ交換、流通のための環境整備が整った。

一方、ICT の急速な進展により、製造業等では 3 次元 CAD による設計・製造(CAD・CAM)が進められている。3 次元 CAD データは製品の形状や構造をわかりやすく表現するとともに、3 次元 CAD データを用いた設計解析、シミュレーション、ファクトリーオートメーション(FA)に活用されている。建設事業においても、業務の効率化、高度化をもたらす 3 次元設計、CG、情報化施工等の導入が進められており、3 次元 CAD データの交換、連携のための環境整備が必要となっている。

我が国の建設産業で用いる 3 次元 CAD データ交換標準を検討する場合、建設生産物の「形状特徴による暗黙的な表現形式¹⁾²⁾」を含めた定義が一般的であり、建設生産物(道路、橋梁、およびトンネルなどの製品)毎に、その特性に適したデータ交換標準を定義することが必要である(暗黙的な表現形式については、6 章参照)。ただし、これらを網羅的に短期間で定義することは現実的ではない。

また、電子納品制度によって、3 次元 CAD データを収集することを考えた場合、「暗黙的な表現形式」で構

成されるデータのみを収集した結果、例えば、完成した建設生産物の設計形状や出来形形状がソフトウェアによって異なるといった不具合が生じては不都合がある。

そこで、本研究は、「明示的な表現形式¹⁾²⁾」に限定して、建設生産物を 3 次元で表現する際に必要となる幾何要素の範囲を調査・検討した(明示的な表現形式については、6 章参照)。本稿は、その取り組みを報告するものである。

2. 既存 3 次元データモデルの調査

3 次元幾何要素仕様(案)の作成における基礎資料とするため、既存の形状モデルに関する調査を行い、モデル開発の背景、幾何要素の定義内容、実装ソフトウェア等を整理した。下記に示した既存 3 次元形状モデルを対象に調査を行った。

【調査対象既存データモデル】

- STEP (ISO10303)
- IFC2x (IAI)
- IGES (Initial Graphics Exchange Specification)
- XVL (eXtensible Virtual world description Language)
- VRML (Virtual Reality Modeling Language)
- DXF (3D)
- 地理情報標準 (JPGIS)

整理結果に基づき、既存 3 次元モデルの関連性を分析するため、各既存モデルが対応している 3 次元幾何および位相について一覧(表-1, 表-2)で整理した。なお、

1 : 非会員 国土交通省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 茨城県つくば市大字旭 1 番地, Tel :029-864-4916, E-mail : hashimoto-y8911@nilim.go.jp)
2 : 正会員 国土交通省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

既存モデルの全体構成の相関図を図-1に示す。

表-1 3次元幾何および位相

種類	内容	
ワイヤーフレーム	点や線データによる形状表現	
サーフェス	面データによる形状表現	
ソリッド	TIN	ドローネ三角形の面データによる形状表現
	SweptSolid	面データの引伸ばし又は回転体による形状表現
	CSG	直方体、円柱、円錐などの基本図形の組合せによる形状表現
	B-Rep	面データに位相を組み合わせて表裏を示し、閉じた立体による形状表現
位相	幾何の変形に対する普遍な特性を表現する	

表-2 モデルが対応する3次元および位相

モデル名	ワイヤーフレーム	サーフェス	ソリッド				位相
			TIN	Swept Solid	CSG	B-Rep	
ISO10303	○	○	△	○	○	○	○
IFC	○	○	△	○	○	○	○
IGES	○	○	△	×	○	○	△
XVL	-	-	-	-	-	-	-
VRML	○	○	△	○	△	×	×
DXF	○	○	△	×	-	○	×
JPGIS	○	○	○	×	○	○	○

- ：対応可
- △：一部または擬似的に対応可
- ×：対応不可
- ：詳細仕様一般未公開 ※

※XVLについては、XVL仕様書が非公開であるため詳細は把握できていない。

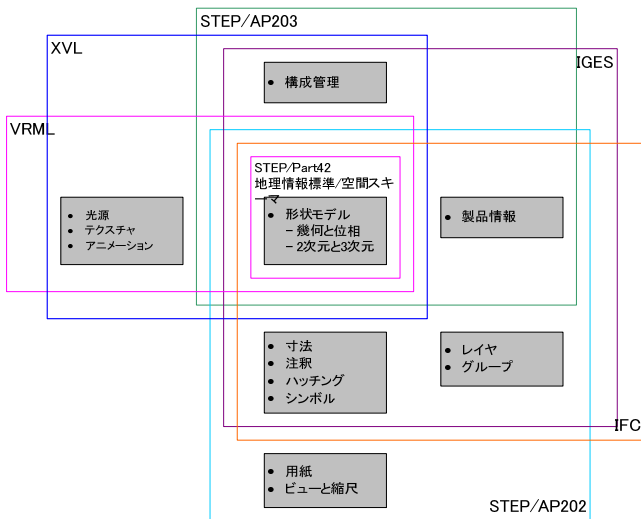


図-1 既存モデルにおける相関図

調査の結果、既存のモデルでは、ワイヤーフレーム、サーフェス、ソリッドにほぼ対応していることが判明した。なお、ソリッドは3次元形状を最も高度にモデル化したモデルであるが、主に製造業等の設計で多く利用されているモデルである。

3. 既存モデルを実装したソフトウェアの整理（モデルとソフトウェアの関連性）

3次元幾何形状モデルの利用にあたっては、ソフトウェアへの実装が必要であるため、ソフトウェアが実装できない3次元幾何形状モデルを選定することは、普及の観点から問題が発生する。市販されているCADソフト等のソフトウェアが対応している規格と対応可能なフォーマット（ファイル形式）を調査することにより、モデルとソフトウェアの対応関係の関連性を分析した。

調査の結果、機械・製造業等で利用されている3次元CADソフト(CATIA, Unigraphics, IDEAS CADCEUS, Acrobat3D Version8, Design Flow/Extractor, Craft MILL Ver.5.0等)では、ISO10303 (STEP) や IGES に準拠しているソフトが多く、また AutoCAD の関連製品では DXF に準拠した製品が多い。さらに、GIS ソフトでは JPGIS に準拠した製品も多いことがわかった。なお、建築関係のソフト(MED DB-CAD, DDS IFC Viewer Data Design System)では、IFC に対応したソフトも多い。

土木事業で利用されるソフトでは3次元に対応できるものは少ないため、本調査から実装可能なモデルを既存モデルから選定するに至らなかった。建設事業のCADデータ交換標準では、ISO10303 (STEP) や IFC を中心に検討されてきていることから、3次元幾何要素仕様(案)においてこれらのモデルを参考にしていくことにする。

なお、建築分野で導入が進められているIFCにおいて、3次元幾何要素モデルにソリッドモデルがあるが、実際はあまり利用されていないことが調査の結果わかった。従って、建設事業で3次元幾何要素のモデル化を考えた場合に、既存ソフトへの実装性を踏まえて、ワイヤーフレーム、サーフェス、ソリッドのいずれの3次元モデルを適用するのかを考慮する必要があると考える。

4. 建設事業で一般的に必要なとする幾何要素の検討

河川、海岸、砂防、道路事業（以下、建設分野という）の測量、調査、設計、工事で一般的に作成されている構造物等に対して、3次元で表現するために必要となる3次元形状モデルについて整理した。また、2次元データでは実現が困難であった業務の効率化等の要望（体積の数量算出等）に関し、3次元データで実現可能な事項について整理した。

調査の結果、3次元幾何形状を可視化する場合は、ワイヤーフレーム、サーフェス、ソリッドのいずれのモデルでも表現は可能である。逆に、可視化するだけであれば、全ての構造物をソリッドで表現する必要はないと考える。また、数量計算に利用する場合は、求める数量によって利用できるモデルが異なることから、1つの構造

物でも、可視化への利用、数量算出への利用等、用途に応じて 3 次元幾何要素モデルを使い分けていく必要がある。今後は、CAD ソフトへの実装性も考慮しつつ、どの 3 次元モデルを適用するかを、目的を明確にして詳細に検討する必要がある。

5. 3次元幾何要素仕様（案）の策定にあたっての基本方針

3次元幾何要素仕様（案）の策定にあたっては、以下の考え方をもとにしている。

- 早期の利用を考慮し、3次元 CAD への適用、実装が可能な既存モデルの中から標準化する
- 公共事業で利用することを前提として、できるだけ国際標準を採択する
- 利用目的に応じて、適用するモデルが異なることから、策定する仕様素案は、今後の詳細な検討の基礎資料として位置づける

上記の考え方をもとに、3次元幾何仕様（案）では、IFC2xでも採用されている ISO10303-42 (STEP/Part42) の規格をもとに、3次元幾何形状モデルの仕様とその解説を作成した。

6. SXF レベル 3, SXF レベル 4 との関係

SXF は、CAD データ交換のための中間フォーマットとしてわが国で策定されたデータ形式であり、現在 2 次元 CAD データ交換のための SXF レベル 2 が開発されている。今後、SXF レベル 3, レベル 4 の開発が予定されている。このため、ここでは、SXF レベル 3, SXF レベル 4 の内容を踏まえた上で、3次元幾何要素仕様（案）の位置付けについて整理した。

SXF レベル 4 とは、建設分野における製品（図-2 の例では「逆 T 型擁壁」）情報を交換するために最適化された情報（例えば、部材構成、部材形状寸法や設計条件などの属性）によって構成されるプロダクトモデルである（「暗黙的な表現形式¹⁾²⁾）。情報構成を理解するコン

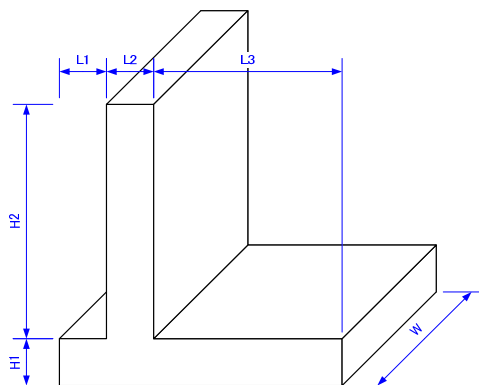


図-2 擁壁-逆 T 型擁壁の SXF レベル 4 形状表現例 (形状寸法のみ)

ピュータソフトウェアで処理するために最適化されていたモデルである。情報構成を理解できる専用ソフトウェアでプロダクトモデルを計算処理することで、3次元形状を再現することができる。また、暗黙的な形状に属性を付加することで、以下のような用途で利用することが可能なモデルである。

【SXF レベル 4-「逆 T 型擁壁」モデルの利活用例】

- 設計計算：安定計算
- 数量計算：必要鉄筋量の自動算出
- 2次元図面出力：配筋図、加工図、鉄筋重量表の自動生成
- 3次元形状データ出力：SXF レベル 3（後述）データの自動生成

一方、SXF レベル 3 は、レベル 4 の策定過程で必要な幾何部分の仕様であり、建設分野における製品（上図の例では「逆 T 型擁壁」）の形状情報のみを交換するために最適化された情報によって構成される 3次元形状モデルである。3次元座標や幾何、位相のモデルで構成されることから、完全な 3次元立体を表現することができる（「明示的な表現形式¹⁾²⁾）。また、SXF レベル 4（プロダクトモデル）における形状寸法から、各頂点（図-3における P1~P16）の 3次元座標 (X,Y,Z) を求め、3次元形状モデル（ワイヤーフレームモデル、サーフェスモデル、ソリッドモデル）に準じて、各頂点によって構成されるデータを出力することで SXF レベル 3 データを作成することができる。

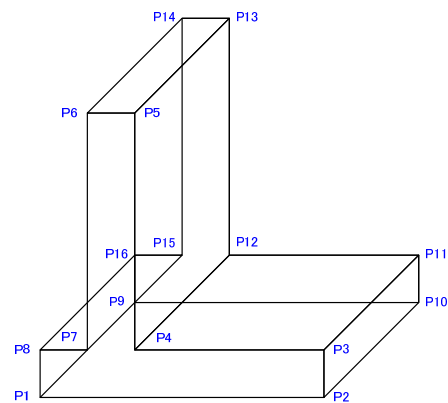


図-3 擁壁-逆 T 型擁壁の SXF レベル 3 形状表現例

建設分野における製品の情報構成を理解しないコンピュータソフトウェアであっても形状を再現できる点の特徴であるが、形状以外の属性等を有さないため、例えば、コンピュータソフトウェアが擁壁であることを前提とする処理（必要鉄筋量の自動算出など）は、実現不可能である。

SXF レベル 3 は、例えば、擁壁にはワイヤーフレームモデルを用いることを定めることで、はじめて擁壁の形状データを 3次元形状モデルで交換することが保証される。本研究で検討した「3次元幾何要素仕様（案）」は、

「SXF レベル 3 フィーチャ仕様書」が定めることのできる幾何要素仕様の範囲を定めるものである。また、SXF レベル 3 とは、これらフィーチャ仕様書を含めた全体を指す。

7. 3次元幾何要素仕様（案）の概要

本仕様は、建設事業に必要な 3 次元形状モデルを、ISO10303-42 (STEP/Part42) をもとに仕様の解説をしたものである。本研究で作成した「3 次元幾何要素仕様（案）」の目次構成を以下に示す。本仕様では、3 次元形状を表現するためのワイヤフレームモデル、サーフェスモデル、ソリッドモデル及び各モデルで利用する幾何形状と位相を記述した。モデルの記述は、ISO10303-42 (STEP/Part42) で採用されている EXPRESS-G, EXPRESS スキーマを用いている。

本仕様は、STEP の規格が膨大で難解であるために、今後 SXF レベル 3, SXF レベル 4 を開発する際の参考資料としての位置づけであり、本仕様がそのまま SXF レベル 3 の仕様となるものではない。表-3 に 3 次元幾何要素仕様(案)の目次構成を示す。

表-3 目次構成

1 適用範囲
2 引用文書
3 定義および略語
3-1 定義
3-2 略語
4 モデル要件
4-1 ワイヤフレームモデル
4-2 サーフェスモデル
4-3 ソリッドモデル
5 モデル詳細
5-1 <u>geometric_curve_set</u>
5-2 <u>edge_based_wireframe_model</u>
5-3 <u>shell_based_wireframe_model</u>
5-4 <u>geometric_set</u>
5-5 <u>face_based_surface_model</u>
5-6 <u>shell_based_surface_model</u>
5-7 <u>solid_model</u>
5-8 <u>swept_area_solid</u>
5-9 <u>swept_face_solid</u>
5-10 <u>csg_solid</u>
5-11 <u>manifold_solid_brep</u>
6 附属書 A (規定) <u>geometric_model_schema</u>
7 附属書 B (規定) EXPRESS-G ダイアグラム
8 附属書 C (参考) 参考文献

8. あとがき

本稿では、3 次元 CAD データ交換標準の整備を行うために、3 次元幾何仕様の検討の取り組みを報告した。本取り組みは、CALS/EC アクションプログラム 2005 の一環として行われたものであり、3 次元情報の利用を促

進する要領整備による設計、施工の高度化を目指したものである。建設事業における情報化推進に向けて、3 次元 CAD データ交換標準の検討を引き続き実施していく予定である。

謝辞: 本検討の遂行にあたり、建設情報標準化委員会 図面/モデル交換小委員会 次世代モデル検討WG (座長 矢吹信喜大阪大学教授) で検討を実施し、多大なご協力を賜った。ここに記して謝意を表する。

参考文献

- 1) ISO 10303-42:2003 Industrial automation systems and integration --Product data representation and exchange -- Part 42: Integrated generic resource: Geometric and topological representation
- 2) JIS B 3700-42:1996(ISO 10303-42:1994) 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 42 部: 統合総称リソース:幾何及び位相の表現
- 3) JIS B 3700-202:1998(ISO 10303-202:1996) 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 202 部:アプリケーションプロトコル:製品形状と関連した製図
- 4) JIS B 3700-203:1997(ISO 10303-203:1994)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 203 部:アプリケーションプロトコル:形態管理された設計
- 5) Industry Foundation Classes(IFC)2x3,
<<http://www.iai-international.org/#>> (入手 2007.5.10)
- 6) The Initial Graphics Exchange Specification (IGES) ,
<<http://ts.nist.gov/standards/iges/>>(入手 2007.5.10)
- 7) (財)日本情報処理開発協会 STEP 推進センター, AP203 解説書, 1998
- 8) (財)日本情報処理開発協会 STEP 推進センター. CALS/STEP セミナー「AP203 の基礎と概要」, 1997
- 9) CAD データ長期保存研究会. CAD データ長期保存規約, 株式会社カッタシステム, 2000
- 10) 社団法人 日本設計工学会. 3 次元 CAD 実践活用法, 株式会社コロナ社, 2006