

(15) 型枠の概念を用いたコンクリートモデルの基礎的研究

Development of A Concrete Model Generation Method Using Concept of Formwork

城古雅典¹・有賀貴志²・矢吹信喜³

Masanori JOKO, Takasi ARUGA, and Nobuyoshi YABUKI

抄録：土木分野における3次元モデルに関する研究は各所で行われているが、広く普及しているとは言いがたい。主な原因として、トンネルと橋梁では共通のパーツがほとんどなく、また、地形を考慮した現地合わせの部分が発生するため、単一なモデル化は困難であると考えられる。

そこで、本研究では、コンクリート構造物に着目し、パーツ化による3次元モデル生成ではなく、型枠の概念を用いた現場打ちコンクリート自体のモデル化に対する基礎的研究を行い、かつ、実用例にもとづき、型枠モデルの作成、幾何情報および位相情報の検証、コンクリートモデルの生成、面積および体積の取得が可能であることを検証したものである。

キーワード： 3次元モデル、型枠モデル、コンクリートモデル、幾何情報、位相情報

Keywords : 3D Model, Formwork Model, Concrete Model, Geometry, Topology

1. 目的

土木分野における3次元モデルに関する研究^{1)~3)}は各所で行われているが、広く普及しているとは言いがたい。一方、建築分野における3次元モデルはBIM (Building Information Modeling) に代表されるように、今後は3次元で行うことが常識となるであろう。建築分野で3次元モデルが普及した原因は、①梁、柱、壁などの共通のパーツで構成されており、モデル化が容易である、②地上部分は空間に作られるため、障害がない、③実施工においても、梁や壁のプレキャスト化が進んでおり、現場打ちから、梁や壁のパーツを組み立てる工法に移行してきている、④プレキャスト化の普及により、パーツの組立シミュレーションや鉄筋の干渉チェックなどは3次元で行った方が効率的である、⑤元々、意匠設計、構造設計、設備設計は、それぞれの専門家が独立して行っていたため、データ連携に関する意識が高い、⑥IAI⁴⁾ (International Alliance for Interoperability) によるIFC (Industry Foundation Classes) により、国際的に通用する3次元モデルの定義が決められている、⑦形状を表現する3次元CADだけではなく、梁、柱、壁などのオブジェクトを扱うことができる、たとえばAutodesk Revitのようなソフトが市販されており、それらソフトは、IFCにも準拠している。

一方、土木分野に目を向けると、たとえば、トンネルと橋梁では共通のパーツがほとんどなく、一部研究では、道路⁵⁾、橋⁶⁾、シールドトンネル⁷⁾といった工事種類ごとに3次元モデル化が行われているが実用化には至らず、また、地形の現地合わせを考慮する必要もあり、単一なモデル化は困難である。

そこで、本研究では、コンクリート構造物に着目し、①パーツ化による3次元モデルではなく、現場打ちのコンクリート自体をモデル化する、②従来モデルは完成品をモデル化していたが、施工プロセスを意識して、型枠の概念を用いた3次元モデル化生成手順を示す、③型枠面積、コンクリート体積の算出を行う、以上の基礎的研究を行うものである。

2. 型枠の概念を導入することによるメリット

型枠の概念を導入することにより、実施工に先立ち型枠工からコンクリート工の過程を再現することとなる。そのため、型枠が組めないとコンクリート構造物のモデル化ができないため、実施工の信頼性と実現性が保証される。また、モデル化した型枠が閉合しなければコンクリートのモデルが生成できないため、生成された3次元モデルと実構造物の乖離を小さくすることができ、モデル精度の向上が期待できるなどのメリットが考えられる。

1 : 正会員 国土基盤モデル研究会
(〒191-0011 東京都日野市日野本町 3-8-3, Tel :042-507-8594, E-mail : jiyouko.m@jcity.maeda.co.jp)

2 : 正会員 国土基盤モデル研究会

3 : 正会員 Ph.D. 大阪大学大学院工学研究科 環境・エネルギー工学専攻 教授

表-1 属性情報一覧

モデル	属性情報
コンクリートモデル	- 鉄筋の有無（無筋 / 有筋） - 鉄筋量 単位kg/m³（有筋の場合） - 配合（例：24-8-20-BB W/C=55%）
型枠モデル	材質（木製，鋼製）

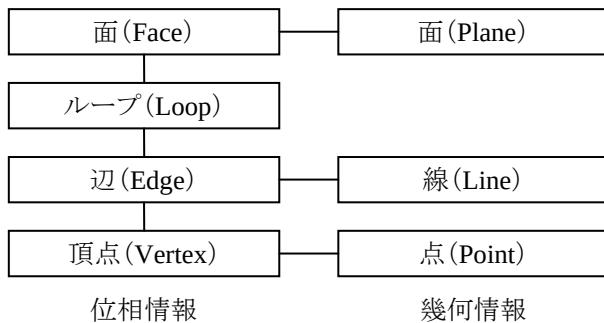


図-1 位相情報と幾何情報の関係

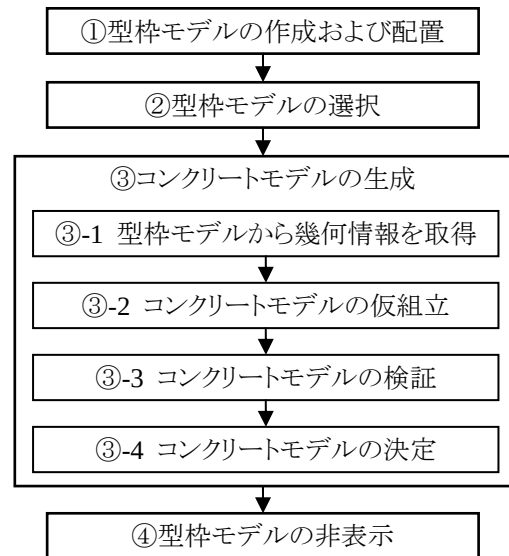


図-2 コンクリートモデルの生成プロセス

3. モデルの定義

（1）型枠モデル

型枠モデルは、1組の型枠を1つのグループ化したサーフェスによる面で表現するものとした。実際の型枠は、鋼製型枠、木製型枠等の種類があり、型枠の形状や強度を保持するさまざまな部品から構成されているが、型枠モデルは型枠がコンクリートに接する面のみをモデル化するものとした。

（2）コンクリートモデル

コンクリートモデルは、1つのグループ化したサーフェスモデルによる多面体で表現するものとした。鉄筋コンクリートの場合コンクリートの内部には鉄筋が配置されるが、本研究では鉄筋の有無は属性情報として与えるものとした。

（3）属性情報

コンクリートモデルおよび型枠モデルの属性情報を表-1に示す。属性情報は、型枠モデル作成およびコンクリートモデル生成には直接使用しないが、型枠モデルおよびコンクリートモデルからの数量算出に際して有効な情報を想定したものである。

4. 幾何情報と位相情報について

（1）幾何情報

型枠モデルおよびコンクリートモデルは、幾何情報と位相情報を持つ。幾何情報は形状を表現するための情報で、四角形のサーフェスモデルの場合、4つの点(Point)、4つの線(Line)、1つの平面(Plane)の要素がある。ただし、幾何情報はそれぞれ要素の形状を表すのみで各要素のつながりは分からない。

（2）位相情報

位相情報はモデルを構成する各要素のつながりを表す情報で、頂点(Vertex)、辺(Edge)、ループ(Loop)、面(Face)等の要素がある。四角形のサーフェスの場合、1つの面(Face)、4つの辺(Edge)、4つの頂点(Vertex)、面の周囲の辺の連なりであるループ(Loop)がある。ただし、位相情報は要素のつながりの情報のみであるため、形状を表現するためには幾何情報が必要になる。図-1に位相情報と幾何情報の関係を示す。

5. コンクリートモデルの生成プロセス

（1）生成プロセス

コンクリートモデルの生成は、図-2のフローに示すとおり、①型枠モデルの作成および配置、②型枠モデルの選択、③コンクリートモデルの生成、④型枠モデルの非表示、の4つのプロセスで行う。また、コンクリートモデルの生成は、③-1から③-4に示すとおり、型枠モデルから取得した幾何情報を用いて、コンクリートモデルの仮組立、検証、決定のプロセスで行う。

（2）コンクリートモデルの検証

コンクリートモデルの生成では、型枠モデルの幾何情報からコンクリートモデルの幾何情報および位相情報を構成する。型枠モデルからは幾何情報と同時に位相情報を取得できるが、1つの平面である型枠モデルの位相と多面体であるコンクリートモデルの位相は異なるため、型枠モデルの位相情報をそのまま使用することはできない。そこで、生成されるコンクリートモデルの位相が、閉じた多面体として成立しているか検証する必要がある。

6. 多面体として成立しているかどうかの検証

型枠モデルは手動で配置する。コンクリートモデルが閉じた多面体となるには、隣り合う型枠モデルの頂点あるいは辺に隙間があってはならない。隙間があると、面が生成されない場合や、面が交差し多面体とならないことが考えられる。そこで、生成したコンクリートモデルが閉じた多面体として成立するかを、式(1)に示すオイラーの多面体定理⁸⁾を用いて検証するものとした。

$$v + f - e = 2 \quad (1)$$

ここに、 v : 頂点 (vertex) の数

 e : 辺 (Edge) の数 f : 面 (Face) の数

生成したコンクリートモデルの、頂点の数、辺の数、面の数を抽出し式(1)を満たせば、多面体として成立していることが検証できる。オイラーの多面体定理は穴の開いていない多面体にしか適用できないため、この条件を満たせばコンクリートモデルは閉じた多面体として成立する。

7. 実装

(1) 実装方法

5. コンクリートモデルの生成プロセスに示した各プロセスを処理するプログラムを作成し、Google SketchUp⁹⁾のプラグインとして実装した。

なお、本研究は基礎的研究であるため、①型枠モデルは曲面ではない1つの平面とする、②生成したいコンクリートモデルの側面に配置する型枠のみ考慮する、③コンクリートモデルにテーパは設けない、ものとした。

(2) 型枠モデルの作成および配置

型枠モデルの作成は、Google SketchUp のコマンドを用いて、型枠のコンクリートに接する面のサーフェスモデルを作成し、一つずつグループ化する。

型枠モデルの配置は、生成したいコンクリートモデルの形状となるよう、かつ、型枠モデルと型枠モデルの間に隙間ができないように配置する．これにより、実施工を想定したモデル化が可能となる．型枠モデルと型枠モデルの隙間は、コンクリートモデルの生成段階でその有無を検査し、隙間がある場合はコンクリートモデルを生成せず、隙間の存在をメッセージで警告する．

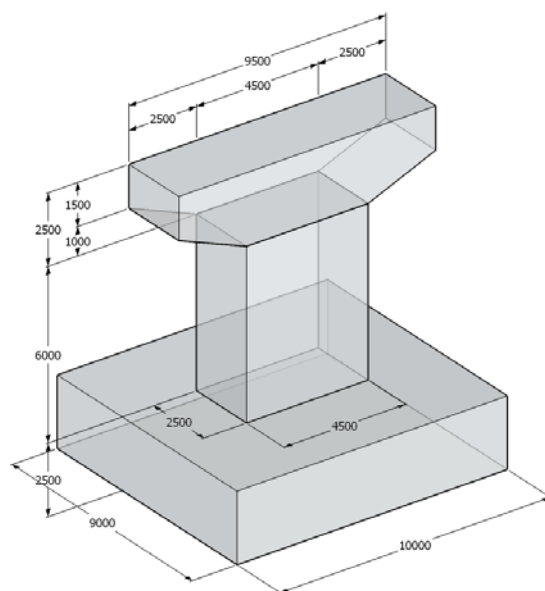


図-3 モデル概要

(3) 型枠モデルの選択

生成したいコンクリートモデルの形状を構成する型枠モデルを選択する．コンクリートモデルの生成は選択した型枠モデルに対して行うため，型枠モデルはコンクリート打設ステップ等を考慮して選択する．

(4) コンクリートモデルの生成

コンクリートモデルの生成は、選択した型枠の内側に対して、①型枠モデルから幾何情報の取得、②コンクリートモデルの最上面、最下面の設定および仮組立、③コンクリートモデルの検証、④コンクリートモデルの決定、の手順で行うものとした。

(5) 面積および体積の算定

型枠モデルから型枠面積、コンクリートモデルからコンクリート体積を算定⁸⁾することができる。この時、モデルの属性を参照することにより、型枠面積を材料ごとに、コンクリート体積をスペックごとに分類することが可能である。

8. 実用例

(1) モデル概要

実用例として、T形橋脚のコンクリートモデルを生成する。図-3 に想定するT形橋脚の形状および寸法を示す。

型枠モデルは、幅 900mm×縦 1800mm を基本サイズとした。また、構造物形状に合わせるため基本サイズより小さいサイズの型枠モデルを用いた。

(2) コンクリートモデルの生成

コンクリートモデルの生成は、図-4 に示すようにフーチング部、躯体部、張出部の3ステップに分けて行うものとした。

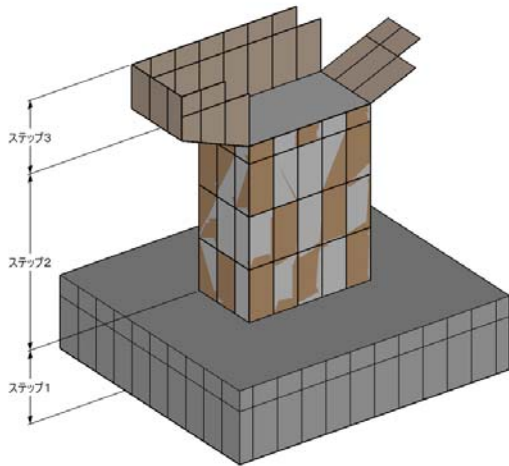


図-4 コンクリートモデル生成過程

数量	
型枠数量	
ステップ1 木製	
総面積	95.0 m2
900x1800 木製 40枚	面積 64.8 m2
900x700 木製 40枚	面積 25.2 m2
500x1800木製 4枚	面積 3.6 m2
500x700木製 4枚	面積 1.4 m2
コンクリート数量	
ステップ1 有筋,100kg/m3, 24-8-20-BB W/C=55%	
体積	225m3

図-5 面積および体積の取得

ステップ1のフーチング部はコンクリートモデル生成後の状態を示す。型枠モデルからの生成結果であることを示すため、コンクリートモデルの型枠モデルが接していた面に型枠跡を表現する辺（Edge）を残すものとした。ステップ2の躯体部は、型枠モデルとコンクリートモデルの関係を示すため、コンクリートモデル生成後に型枠モデルを残した状態を示した。ステップ3は、型枠モデルの生成および配置の過程を示す。型枠モデルは想定するコンクリート形状に合わせたモデル化と配置が必要となる。

（3）面積および体積の取得

型枠モデルおよびコンクリートモデルから取得した数量の一部を図-5に示す。なお、コンクリート数量中の鉄筋数量 100kg/m³は、コンクリート 1m³当りの鉄筋量を示している。

9. まとめ

型枠モデルの概念を用いて、コンクリートモデルを生成できることを示した。本手法を用いることにより実施工の前に現場打ちコンクリートの構築過程を検証することができ、施工の信頼性に寄与できるものと考ええる。

今後は、多様な型枠配置およびコンクリート打設量を考慮したコンクリートモデルの生成、型枠支保工等の付随する数量の算定、型枠に作用するフレッシュコンクリートの側圧の算定などについて研究を行う予定である。

参考文献

- 1) 小林一郎, 竹本憲充, 高尾篤志, 山根裕之, 星野裕司: 地形設計初期段階への立方体地盤モデルの適用, 土木情報利用技術論文集, Vol.18, pp.17-24, 2009.
- 2) 有賀貴志, 矢吹信喜, 城古雅典: ブロックモデルを用いた土工計画および積算シミュレーション, 土木学会論文集 F, Vol.66, No.3, pp.432-446, 2010.
- 3) Hando Kim, Claudio Benghi, Nashwan Dawood, Doyoung Jung, Jaehong Kim, yoengin Baek : Developing 5D system Connecting Cost, Schedule and 3D Model, Proceedings of 10th International Conference on Construction Applications of Virtual Reality, pp.123 - 129, 2010.
- 4) IAI : ホームページ<<http://www.building-smart.jp/>> (入手 2011.7.23)
- 5) 金澤文彦, 青山憲明, 阿部寛之, 今井龍一, 上坂克己: 道路中心線形データ交換標準(案)基本道路中心線形編 Ver.1.0, 国土技術政策総合研究所資料, No.371, 2007.1.
- 6) 矢吹信喜, 志谷倫章: PC 橋梁の 3 次元プロダクトモデルの開発と応用, 土木学会論文集, pp171-187, 2005.3.
- 7) 矢吹信喜, 東谷雄一郎, 秋山実, 河内康, 宮亨: シールドトンネルのプロダクトモデルの開発に関する基礎的研究, 土木情報利用技術論文集, Vol.16, pp261-268, 2007.
- 8) 山口富士夫: 情報数理シリーズ B-3 CAD 工学, 培風館, 1998 年 2 月.
- 9) Google SketchUp : ホームページ<<http://sketchup.google.com/intl/ja/>> (入手 2011.7.22) .