

BIM/CIM と構造解析モデル -土木構造解析エンジニアの視点から-

エンジニアリング本部 国土防災情報部

竹重 和馬
西村 貴一
畝原 聡子

1. BIM/CIM 最新動向

1.1 BIM/CIMの背景と将来性(BIM/CIM原則適用)
国土交通省が2012年度(平成24年度)に全国で11件のCIM試行業務を実施してから10年目を迎えている。

試行段階(受注者提案)から仕様(発注者要求)に変化していく中で、CIMという言葉からBIM/CIMに名称が変わり、国土交通省からの発注件数も年々増えている。(図1.1参照)

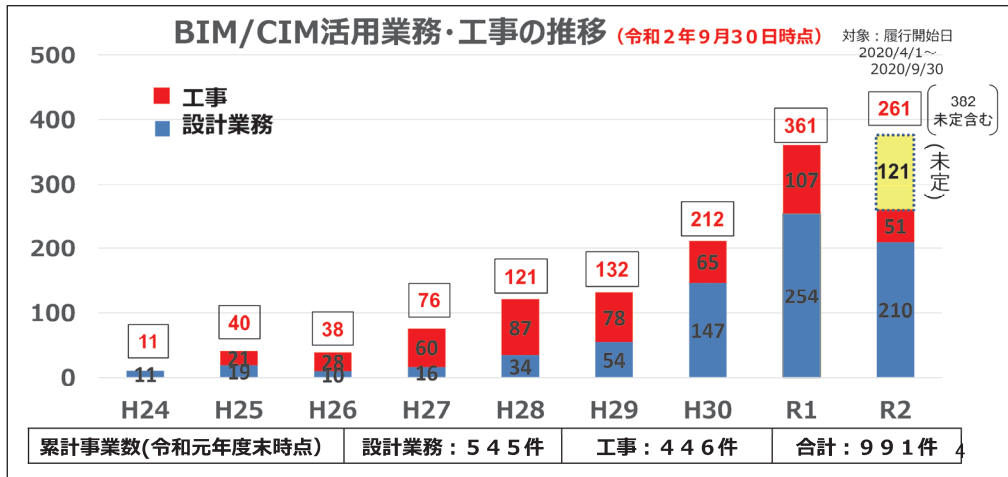


図 1.1 BIM/CIM 発注件数の推移

また、試行段階には策定されていなかった基準・要領類についても近年整備され、国土交通省のBIM/CIMポータルサイトで公開・運用されている。(図1.2、参考文献2)参照)

ポータルサイトで公開されている基準・要領類(ガイドライン等)は、2020年度(令和2年度)から2021年度(令和3年度)に大きく再編された。

冗長化していた各編を事業毎に集約・再編し、『導入』という言葉から『活用』という言葉に置き換えた点が重要である。(図1.3参照)



図 1.2 BIM/CIM ポータルサイト

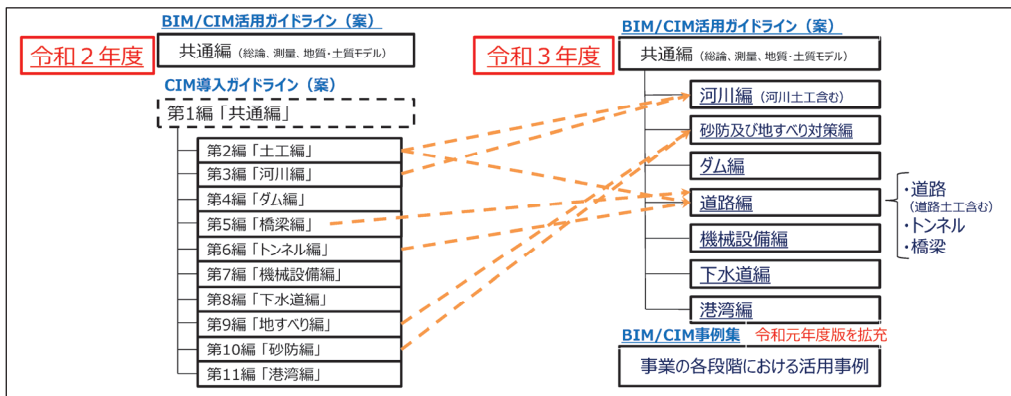


図 1.3 BIM/CIM 活用ガイドライン(案)の改定

このような背景の中で国土交通省は適用する事業について、令和元年度までは発注件数に重点を置き、図 1.4 に示すように発注件数 400 件を目標にしてきました。

これからは事業を問わず発注件数を拡大し、2023 年度(令和 5 年度)までに BIM/CIM を原則導入する方針を打ち出している。(図 1.4 参照)

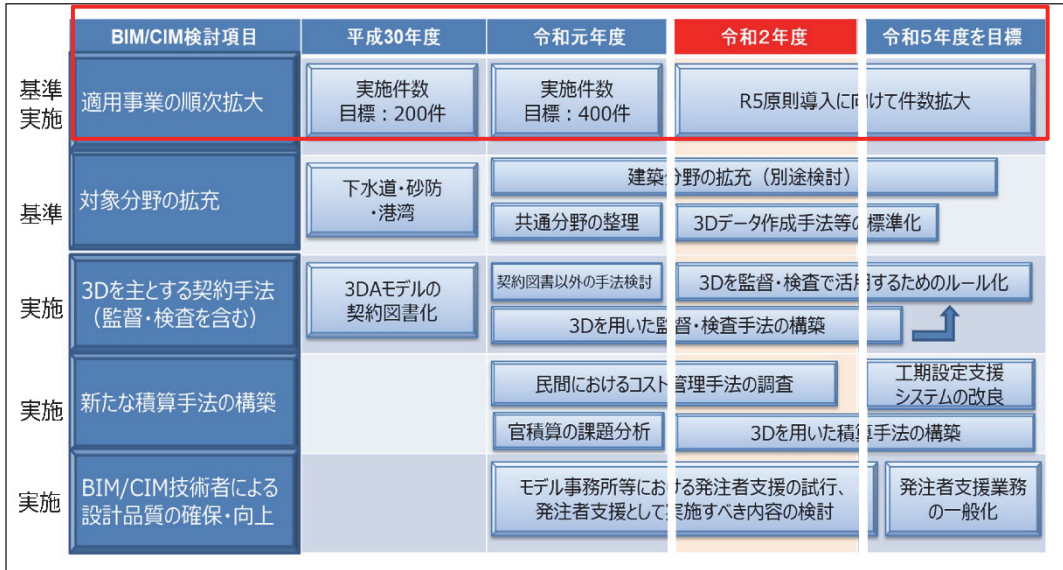


図 1.4 BIM/CIM のロードマップ

表 1.1 に示すように BIM/CIM 原則適用の流れはすでに始まっている。

2021 年度（令和 3 年度）には大規模構造物の詳細設計に原則適用され、2022 年度（令和 4 年度）には大規模構造物の詳細設計および工事と大規模構造物以外の詳細設計に適用される見込みである。

そして、2023 年度（令和 5 年度）には大規模構造物であるかを問わずに全ての詳細設計・工事に原則適用される見込みである。

表 1.1 BIM/CIM 原則適用の対象工種

	R2	R3	R4	R5
大規模構造物	（全ての詳細設計・工事で活用）	全ての詳細設計で原則適用（※） （R2「全ての詳細設計」に係る工事で活用）	全ての詳細設計・工事で原則適用	全ての詳細設計・工事で原則適用
上記以外（小規模を除く）	—	一部の詳細設計で適用（※）	全ての詳細設計で原則適用（※）	全ての詳細設計・工事で原則適用

※令和2年度に3次元モデルの納品要領を制定予定。本要領に基づく詳細設計を「適用」としている。

1. 2 BIM/CIM 原則適用から発生する動き

BIM/CIM 原則適用が進むと、各段階（調査・計画段階、予備・概略設計段階、詳細設計段階、施工段階）で 3 次元データが作成されるようになる。

前工程で作成された 3 次元データがある場合は、

そのデータを引き継ぎ、活用に向けた加工・編集をするようになる。

また、設計業務の様々な検討行為に BIM/CIM の 3 次元データを情報基準として活用する流れになると想定される。設計業務の中で行われる各種の解析作業もその一つと考えられる。

更に検討した成果を次の工程へ引き継ぎ、共有ポータルとして活用されていくことも想定され、各種の解析情報と BIM/CIM（3 次元データ）とを連携させる必要性もあると思われる。

本稿では、土木構造解析技術者の視点から BIM/CIM 原則適用に向けた対応の可能性と課題を考察したい。

2. 土木構造解析と BIM/CIM

2. 1 構造解析ソフトウェアとは

弊社では、水工施設を中心とした土木構造施設の耐震構造解析を多く実施している。耐震構造解析では、想定地震に対して部材に生じる断面力（応力）、

変位(ひずみ)などを得ることが肝要であり、土木設計分野ではこのような部材に生じる断面力や変位を得る計算を構造解析と呼び、この機能を有するソフトを構造解析ソフトと呼称している。

土木施設の構造解析においては、一般に構造物を1次元の骨組みや、2次元の平板あるいは立体、バネ、質点に置き換えモデル化する。この過程で、構造計算上の不要な情報を削ぎ落とし、部材位置の変更なども行う。さらに施設の特定方向断面の抽出、全体から一部分のみを取り出して抽象化することもある。

建築分野では柱-梁構造が多用されるため画一的な一貫構造計算ソフトが発達した。これに対して、土木分野では構造様式が多様であるため幅広い種類の要素や解析に対応した汎用構造解析ソフトが重宝される傾向にある。

2.2 BIM/CIMと構造解析ソフトウェアの連携状況

BIM/CIMは、3次元モデルに様々な情報を付加し設計・施工から維持管理までのデータを統合的に扱う革新的なワークフローである。

しかし、土木構造解析で扱うモデルは意図的に現実と異なる形状に変更してモデル化する。その目的は単純化・省力化から、適用理論に合致させる必要のためと様々であるが、このために構造解析モデルとBIM/CIMのモデルでは、相互のモデルデータのやり取りに工夫が必要である。

筆者の調査範囲において、汎用構造解析ソフトとBIM/CIMとのモデルデータのやり取りをスムーズに実行できるソフトは未だにないようである。一方で、製図機能を備えた構造解析を伴う土木設計計算ソフトにおいては、BIM/CIMとの連携は進んでおり各ベン

ダーが積極的に連携機能を開発している。

前項の通り、土木施設の構造解析では汎用構造解析ソフトを利用することが多い。本稿では汎用構造解析ソフトとBIM/CIMとの連携や利用について述べる。

3. 土木構造解析の具体例

今回、BIM/CIMと汎用構造解析ソフトの連携の具体例として、ボックスカルバートの自重解析を題材とし、BIM/CIMで作成したモデルを利用して、2次元構造解析モデルを作成、解析する。

3.1 構造解析ソフトおよびBIM/CIMソフト

BIM/CIMモデル作成ソフトは、Autodesk社のRevit®を使用する。BIM/CIMでは構造物のジオメトリ(形状)に加えて、様々な属性情報が付加される。

構造解析ソフトはフォーラムエイト社のEngineer's Studio®(前述の汎用構造解析ソフト)を使用する。Engineer's Studio®では構造物の部位を棒に見立てた梁要素や、平面的な広がりを持つ平板要素などでモデル化し、外力に対する挙動を解析できる。

3.2 2次元構造解析の概要

現状、土木構造解析では2次元構造解析が主流である。構造物の代表的な断面で切り出し、解析する。(図3.1参照)

構造解析には解析断面モデルに加えて、以下の①～③の解析条件が必要となる。

- ① 材料の情報
コンクリート、鉄筋などの種類や強度
- ② 外力
自重、土圧、水圧、地盤反力など
- ③ 境界条件
固定端、ヒンジ、ばね支承など

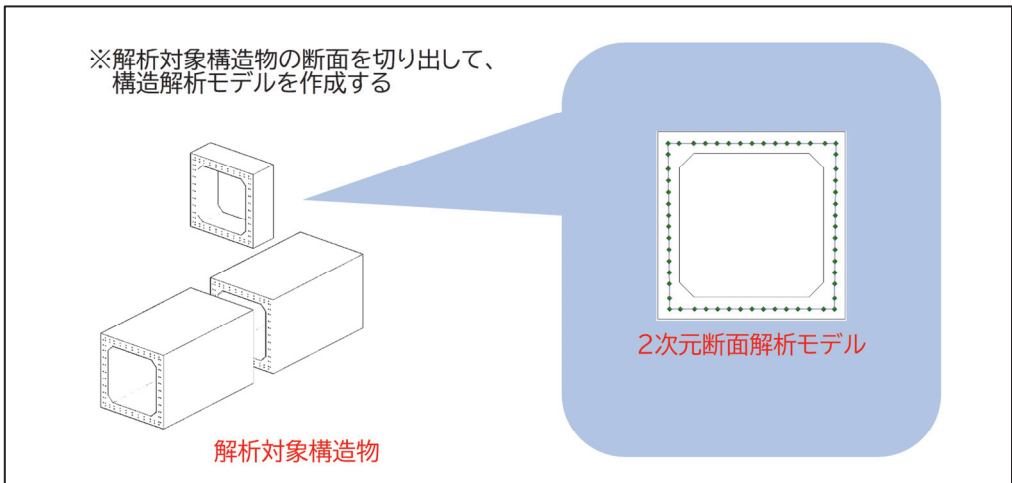


図 3.1 2次元断面解析モデル 概念

3.3 BIM/CIM モデルから断面解析モデルを作成

図3.2は Revit®を用いて作成したボックスカルバートのモデルである。

この BIM モデルから2次元断面解析モデルを作成

する。現状、Revit®から Engineer's Studio®にデータを直接インポートすることはできない。そこで今回は、BIM/CIM モデルをCAD 形式でエクスポートしたものを、Engineer's Studio®へインポートする。

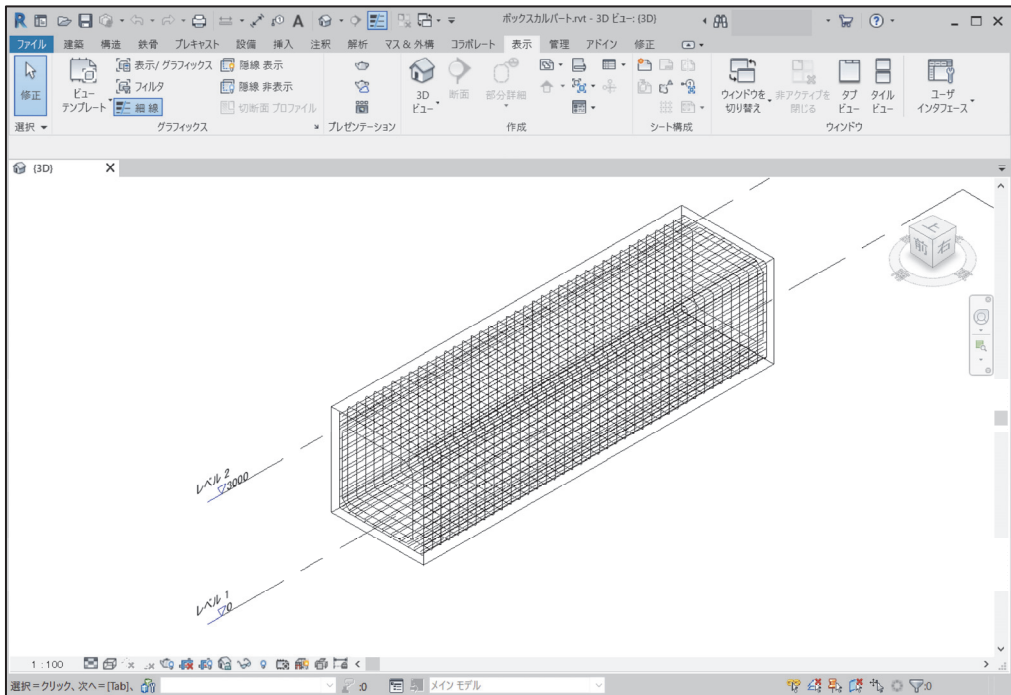


図 3.2 ボックスカルバートのモデル (Revit®)

図3. 3は、Revit®モデルの断面を2D で CAD にエクスポートしたものである。本稿では、Autodesk 社の AutoCAD®を使用する。

断面解析モデルは、部材厚の中心位置に梁要素を配して、モデル化する。(図3. 4参照) そのため

CAD 上で、構造物の外形線をオフセットして、断面解析モデル用の線分を作成する。

作成した線分を解析ソフトにインポートし、断面解析モデルを作成する。(図3. 5参照)

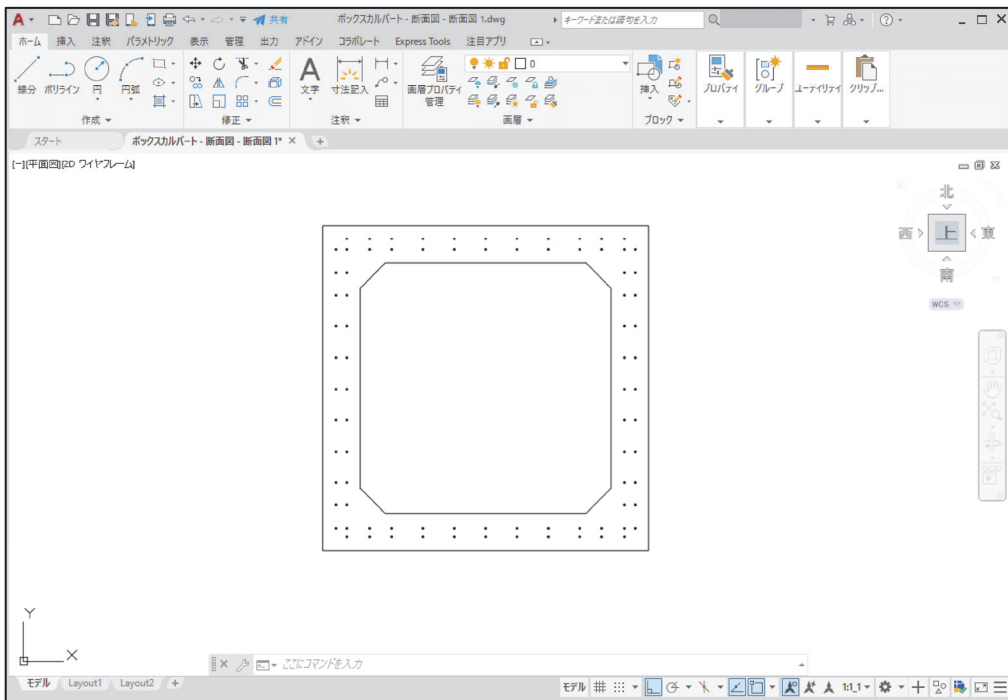


図 3.3 2D エクスポート画面 (AutoCAD®)

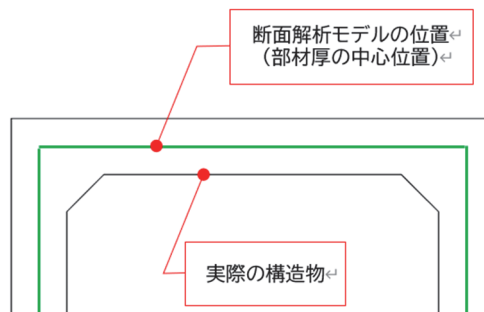


図 3.4 断面解析モデルの位置

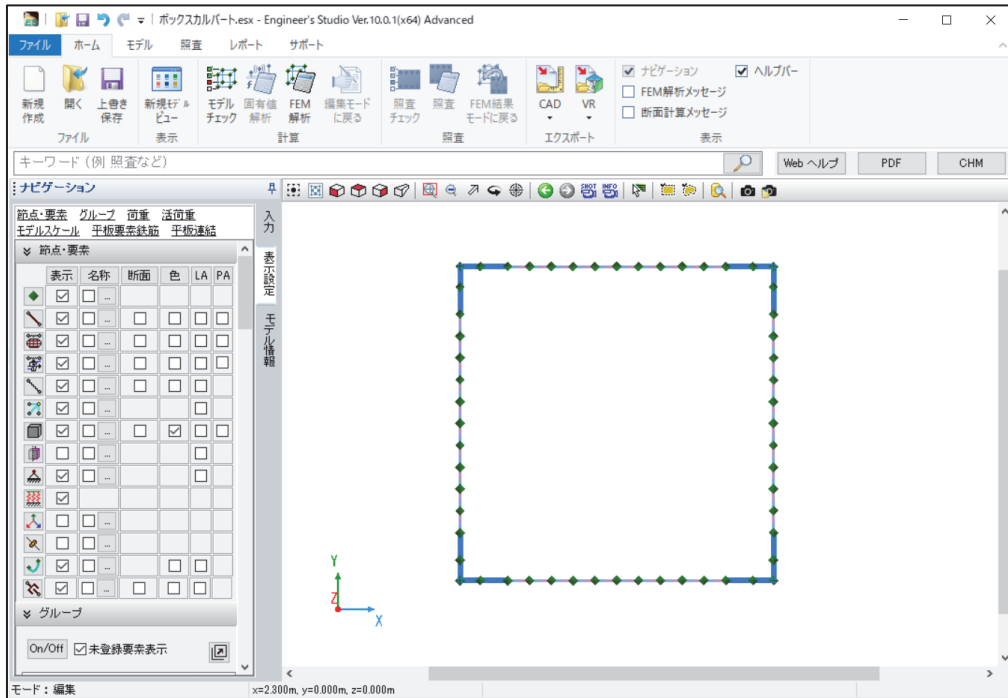


図 3.5 断面解析モデル(Engineer's Studio®)

3.4 解析条件の入力

①材料の情報、②外力、③境界条件について、CAD に属性情報の入力項目がないため、BIM/CIM モデルをCAD 形式でエクスポートした時点で①～③の情報は無い。

よって、①～③の解析条件については、従来どおり解析ソフトでの入力が必要となる。

3.5 構造解析の実行

各種解析条件の入力後、構造解析(自重解析)を実行する。3.3および3.4の手順で作成した解析モデルで、解析結果が得られることを確認した。

(図3.6および図3.7参照)

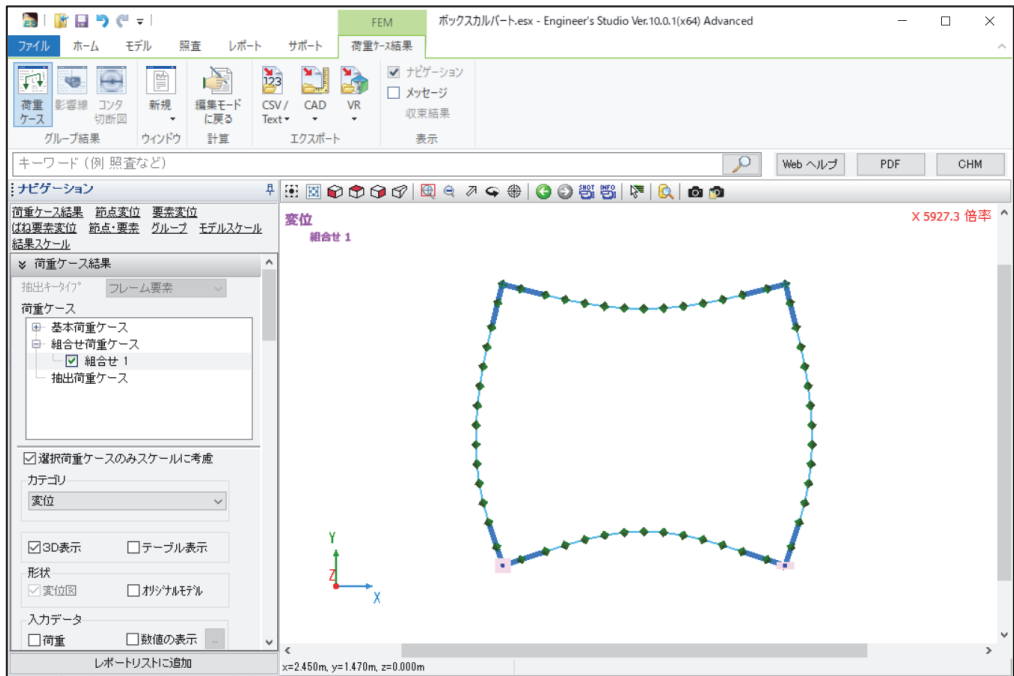


図 3.6 変形図(Engineer's Studio®)

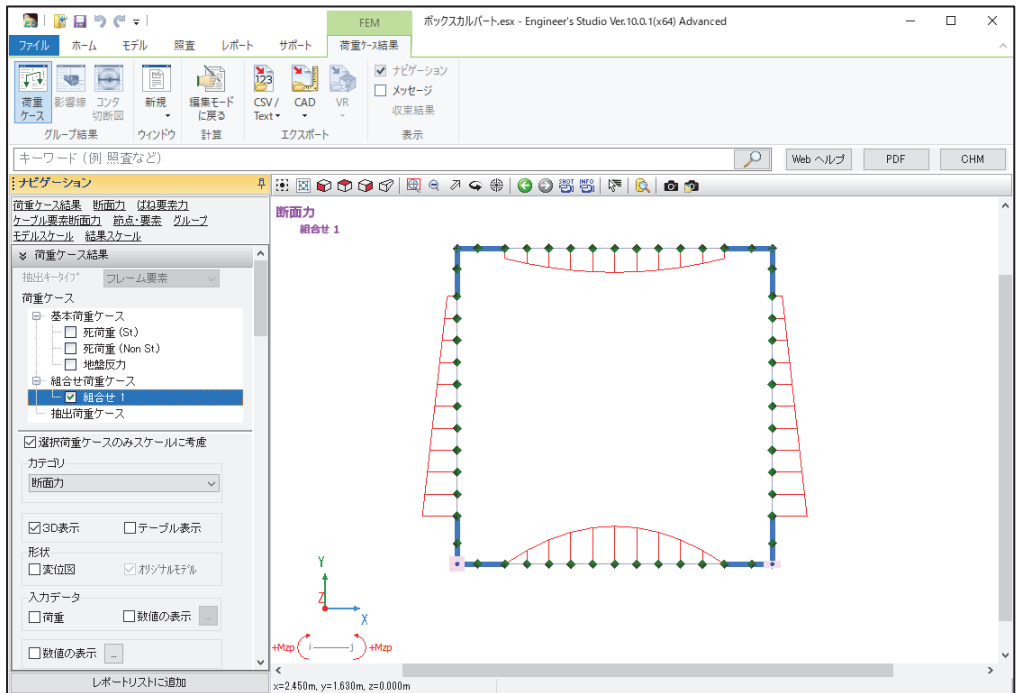


図 3.7 モーメント図(Engineer's Studio®)

3.6 構造解析モデル・結果の BIM/CIM への提供
作成された解析モデルの形状や属性、得られた解析結果を BIM/CIM モデルへ反映する工程が想定される。ただし、現状では反映する項目や方法について未検討な課題が多いため本稿では割愛する。今後の議論の深まり、知見の蓄積に期待する。

4. 土木構造解析技術者が求める要素

4.1 納品、情報共有に必要な機能

BIM/CIM と土木構造解析モデルの連携の問題点を指摘したが、BIM/CIM が優れたソリューションであることは瞭然である。今後は、BIM/CIM のモデル提供を受けて、耐震診断をすることや改築の構造設計をする機会も増えてくることが予想される。その際には、従来は設計図書、構造計算書から読み取った情報を BIM/CIM から読み取ることとなる。

すなわち、構造物の部材厚や材料、配筋、基礎形状などを決定するに至った根拠を情報として有すれば便利である。土木構造解析技術者は、図書より設計に用いた思想や条件の設定を読み取り、耐震診断や改築のための構造解析モデルを構築する。これらの情報が散逸することなく BIM/CIM に取り込まれるならば、土木構造解析技術者も BIM/CIM に利点を見出すだろう。

例えば、下水道処理池や揚排水機場などの場合、仮想的に鉛直 2 次元断面を想定して応力解析をするが、想定する断面位置が異なると導かれる応力解析の結果は異なる。したがって、BIM/CIM モデルに検討断面の位置が情報として付加されていれば、設計思想を汲み取る助けになると考えられる。

また、吐出水槽や集水桝、人孔などの壁は、設計マニュアルにより、水平 2 次元断面、鉛直 2 次元断

面、3 辺固定板などモデル化手法が異なるが、選定した手法により導かれる結果は異なる。このモデル化手法の種別が提供されれば便利である。

他にも、上水と農業施設を兼ねるような複合施設もあり、設計に用いた基準の推定が困難な状況が散見されるが、設計基準が属性情報として提供されれば便利である。

いくつか例示したが、土木構造物を維持管理し、改築するには構造解析が必要となるので、BIM/CIM に必要情報を集約することができれば、検討条件の入手が容易になり、土木構造解析技術者にとっても BIM/CIM が強力なツールとなる。

4.2 今後の検討課題

土木構造解析技術者としての視点から、BIM/CIM の現状や今後期待することを記載した。しかし、実現には課題も多いので課題を 2 点挙げる。

まず、構造解析モデルと BIM/CIM の思想の差異により、インポート/エクスポートに障害がある点を述べたが、障害を少なくするツールや規格の整備は必要である。そうすれば、「3. 3Revit®モデルから構造解析モデルを作成」で示したような煩雑なモデル作成手順が簡単になるため、達成すべき課題であると考える。

次に、設計図書や構造計算書に相当する情報を BIM/CIM のモデルに取り込むことが土木構造解析技術者にとって有用だと記載したが、有益情報の精査は必要であり、その取捨選択は課題である。

構造解析では壁厚や配筋、設計外力を変えた複数ケースの比較検討を行い、最終決定案を設計する。現状、BIM/CIM はこの最終決定案にて構築するのが普通である。しかし、土木構造解析技術者は廃棄

案となったケースからも多くの情報を拾い出す。廃棄された案の情報は、BIM/CIMで構築するモデルとは別のモデルの情報であるため、この保存方法や入力方法に多大な工夫が必要と思われる。しかし、土木構造解析技術者は、廃案から構造物の力学的特徴や弱部を読み取り、その構造にとって避けるべき改築案や補修案を読み取る。したがって、廃案の情報を付加する方法論を確立することは構造解析技術者にとって恩恵が大きく、達成すべき課題と考える。

この2点の他にも多くの課題がある現状ではあるが、一土木構造解析技術者としても BIM/CIM の発展と一般化には期待を寄せているところである。

<参考文献>

- 1) 「第5回 BIM/CIM 推進委員会資料」
(国土交通省, 令和3年3月)
- 2) 「BIM/CIM ポータルサイト」
(<http://www.nilim.go.jp/lab/qbg/bimcim/bimcimindex.html>)