

CIM-oriented 3D モデルを起点とした土木構造物の設計手法

鹿島建設(株) 正会員 ○山沢 哲也 上田 純広 大家 史

1. はじめに

近年注目されている CIM（土木における BIM）の活用は，設計部門における業務遂行体制を大きく変革する契機となると考えられる．元来，設計法と構造物の解析法とは表裏一体であり，現在多くの設計コードは骨組みモデルを念頭に断面力ベースの部材耐力の特性値が示されている．一方で，近年のシミュレーション技術の進展に伴い，構造解析に用いる形状モデルは 3 次元（3D，あるいは施工ステップを考慮して 4D）で直接記述されるようになり，3D・4D で求解することも実用段階に近づいている．本稿では，このような状況下，3D モデルを起点とした土木構造物の設計手法を提案し，CIM-oriented 3D モデルの利活用について論じる．

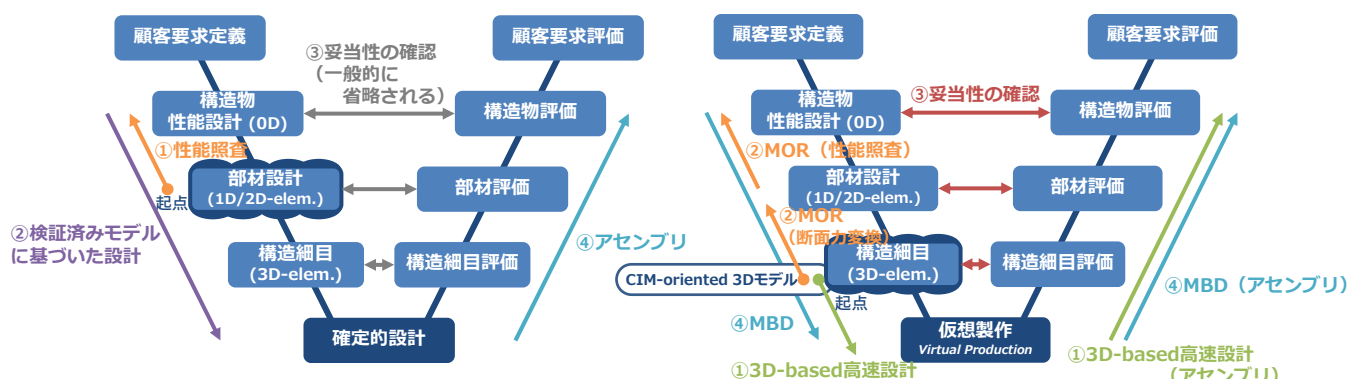


図-1(a) 既存の断面力ベースの設計法

図-1(b) CIM-oriented 3D モデルを起点とした
CAE/FEAによるものづくり

2. CIM導入による設計法の変革

他業種では 3D モデルを起点とした、シミュレーションによるものづくりが推進されている一方で、部品としての 3D モデルを組み上げたとき（アセンブル）、部材としての評価、製品としての評価を満足せず、大きな手戻りが発生する問題が指摘されている。例えば、製造不能の部材となってしまういたり、製品としての所要目標（燃費等）を満足しないといった問題が、開発後期に発生し致命的な工程遅延を生じさせてしまう。このため、アセンブルと同時に、上流にある物理現象モデルとの関連性が重要視されるようになり、Model Based Design (MBD) の考え方が近年注目されている。これは、部品をアセンブルすると同時に、性能を評価可能な次元へ縮退し (MOR)、部材あるは製品としてその妥当性を各段階で確認しようとするものである。

建設部門においては図-1(a)のように、 $1D \cdot 2D$ の部材断面を仮定し、予めキャリブレーションされた安全係数を用いて、検証済みの部材モデルに基づいた断面力ベースの設計が一般的に行われてきた。個々の部材耐力を構造物の耐力と見なし、続いて構造細目を検討する従来の設計手法では、製作・施工・供用（運転及び維持管理）の各段階で配慮すべき事項をいかに見通すことができたかによって、製品の品質が大きく左右される。また、新材料・新構造あるいは未踏領域でない限り、妥当性の確認は省略されている。

一方で、近年注目されている CIM の活用を念頭におくと設計は、図-1(b)のように CIM-oriented 3D モデルを起点とすることとなる。いま CIM-oriented 3D モデルを起点とすると、既存設計法は、物理現象と紐付いた 1D・2D モデルに相当し、これは MBD・MOR そのものである。したがって、アセンブリと MOR とをほぼ並行して実施し、既存設計法に基づいて部材の性能・構造物の性能を照査すると同時に、その妥当性を仮想製作 (Virtual Production) を通じて確認することができるようになる。物理現象と紐付いた記述可能な仕様を 3D モデルに反映させ (MBD)、仮想製作・アセンブリによって即時更新することが可能となれば、使用性・施工性といった性能を早期に評価できるようになり、高い精度で目標品質の構造物設計・製作が可能となる。

このように MBD の考えを導入すると、3D・4D で計算コストがかかる大規模な解析を必ずしも行う必要がない。あるいは未踏領域であったとしても最小限の回数で済むという利点がある。

キーワード BIM, CIM, MBD, CAE, 三次元設計

連絡先 〒107-8502 東京都港区赤坂 6-5-30 鹿島建設(株)土木設計本部 解析技術部 TEL03-5561-2111

3. CAE と FEA との関係

CIM-oriented 3D モデルを起点とする高速設計・アセンブリには、CAE と FEA との関係が欠かせない。高度に分業されている現在の設計業務において、設計者と解析者とはそれぞれ専任者であることが多い。また、従来は、3D 解析を行うにしても、2D 図面から 3D モデルを書き起こしていた。そのため、最新の設計情報を解析モデルに反映させるには、逐次設計者が修正を指示する必要があった。さらに、解析用の 3D モデルは、次元は 3D であっても、実物の一部を簡略化したり、理想化したりする必要がある。

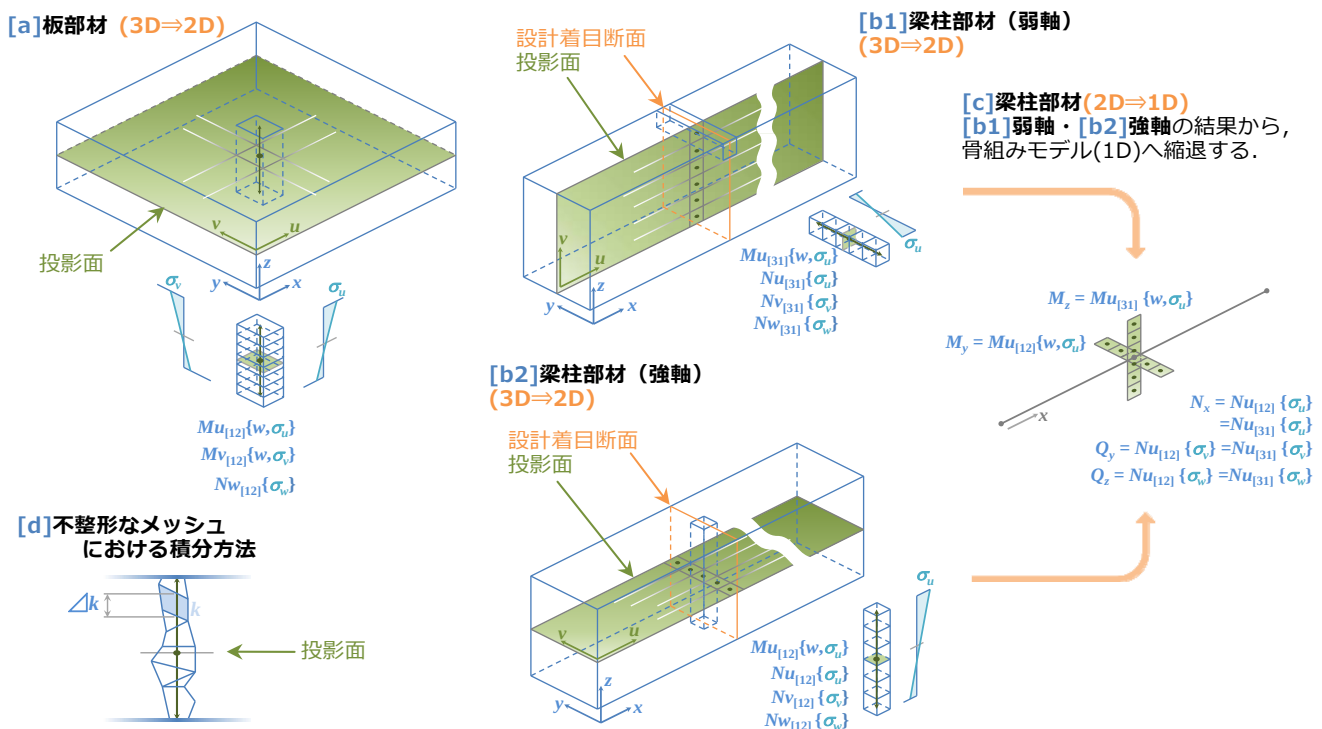
そこで、CIM-oriented 3D モデルに対して、解析可能な Level of Development (LOD) の階層を設け、これを利用する。例えば、全体構造を解析するのであれば、継手の詳細構造は解析時には一般に理想化されるため、ボルト 1 本毎をモデル化する必要はなく、単に隣接要素と結合すればよい。後述する 1D・2D モデルについても、根本的な考えはこの LOD に基づく。

また、CIM-oriented 3D モデルは、設計行為によって変更する可能性がある寸法は、パラメトリックに定義しておくことで、即時に変更点を更新することが可能となる。

4. 既存設計法との関係・断面力への変換

3D 解析を行う範疇は、解析規模によって異なり、小規模な構造物の弾性計算であればソリッドモデルを自動メッシングして即時に解を求めることは比較的容易である。しかし、現状多くの場合は 1D・2D へ縮退させる必要がある。このとき、既存の設計基準は断面力ベースであることから、3D 解析を行うにしても 1D・2D の縮退モデルに対する断面力の投影が必要となってくる。

3D 解析 (ソリッドモデル) によって得られる応力成分を、断面力に変換する作業は、設計着目断面に直交する応力成分を積分することで求める。具体的には、図-2[d]にあるように、断面力評価点に直交し要素 k を貫く区分線長 Δk を用いて積分する。これによって、不整形なメッシュであっても破綻なく断面力に変換することが可能である。また、この計算量は解析モデル規模が増大しても指数的に増大しない $O(n)$ アルゴリズムであるので、一般的な限られた設計断面数であれば、ほとんど待ち時間なく設計断面力を得ることができる。



5. CIM-oriented 3D モデルを設計利用することの効果

土木構造物の設計において、Model Based Design の考え方を応用し、CIM-oriented 3D モデルを起点とした設計手法は、上述のように設計変更による修正点の反映を即時に行うことで、構造物の性能を多面的かつ効率的に評価することが可能なる。現在は、高度に分業化されている設計業務も、様々な立場の関係者が互いに全体像を俯瞰することが可能となり、徐々に融合していくものと推察される。