

## 性能発注のためのプロダクトモデルと 設計照査システムに関する基礎的検討

A Product Model and a Design Checking System for Performance Specification – Based Construction Order

室蘭工業大学工学部建設システム工学科  
室蘭工業大学大学院工学研究科建設システム工学専攻  
室蘭工業大学工学部建設システム工学科  
国土交通省国土技術政策総合研究所  
国土交通省国土技術政策総合研究所  
オリエンタル建設(株) 第2技術部

正会員 矢吹 信喜 (Nobuyoshi Yabuki)  
○学生員 古川 将也 (Masaya Furukawa)  
学生員 富岡 卓也 (Takuya Tomioka)  
正会員 松井 健一 (Ken-ichi Matsui)  
正会員 加藤 佳孝 (Yoshitaka Kato)  
横田 勉 (Tsutomu Yokota)

### 1. はじめに

現在、土木分野では技術基準類を従来の仕様規定から性能規定に変更する動きが盛んである。従来の仕様規定による発注（仕様発注）方式は、構造物の材料、寸法、工法等を明示する発注方式であり、受注者側にとっては、新技術を使うといった自由度は低く、目標とする性能が明確に示されていないといった問題点が指摘されている。一方、性能規定による発注（性能発注）方式では、要求される性能を守れば、そのプロセスは基本的には問われないことから、受注者側にとって設計や施工における自由度は増し、発注者側にとってはコスト縮減や品質向上につながる等のメリットがあると考えられる。

しかし、一方、性能発注方式では、要求性能をきちんと達成できるかどうかを、照査することが重要となる。照査方法は一つに限らず、自由度を持たせるべきだが、いずれにしても、要求性能と照査方法のリンクを図ることと、照査のために、構造物の設計情報と施工時における実際の状況をできる限り正確にデータ化する必要があると考えられる。構造物に関する種々のデータを随時、照査できるようにするためには、十分な柔軟性を持ち、アプリケーションソフトウェアに依存しない、一般化されたデータモデル、すなわちプロダクトモデルの適用が必要だと考えられる。

我々は、こうした視点から、プロダクトモデルの構築方法を策定するとともに、プロダクトモデルからデータを抽出しながら照査を行うシステムの開発に関する研究を実施している。本研究では、まず、簡単な矩形断面のRC梁を例題として、プロダクトモデルの開発方法を検討し、次に、仕様規定のうち要求性能との関係が一般にあいまいな構造細目を取り上げ、性能と規定とのリンクを明確にした性能照査システムを開発し、さらに、プロダクトモデルと照査システムの統合化に関する基本的な研究を実施したので、ここに報告する。

### 2. 性能発注と性能照査

性能発注は、さまざまな定義があるが、ここでは、発注者が要求性能、その照査方法、標準的な設計を示し、受注者がその性能を実現する施工を行う方式<sup>1)</sup>ととらえることとする。但し、性能の照査方法と標準的な設計を発注者が予め示す場合と示さないで受注者が提案する場

合がある。いずれにしても、発注者は何らかの方法で、設計図面や施工中あるいは完成した構造物の性能を照査する必要があるが、仕様発注と異なり自由度が高くなるため、性能の検証ができなかったり、検証方法があいまいでその結果に不安を抱いたりする可能性がある。

このような問題を解決するためには、コンピュータ上で限りなく現実に近いシミュレーションを行い、様々な想定される環境条件下で要求性能を満足するかどうか検定すればよい。これは究極的な性能照査であると考えられる。そのためには、2次元の図面では到底こうしたシミュレーションは不可能であり、3次元空間で材料などを含めて適切に表現できる構造物モデルが必要だと考えられる。我々は、これまでに図-1に示すような3次元のプロダクトモデルを中心としたシステムモデルを提案し、3次元CAD、設計照査、積算システム等を対象としたデータ運用の検証に関する研究を実施している<sup>2)</sup>。もし、限りなく現実に近いシミュレーションを行う照査システムが開発され、その照査システムの入力データとして必要なものは全て保有するような3次元プロダクトモデルを、3次元CADシステムで作成し、コンバータによりシステム間でデータの受渡しができるようになれば、設計・施工の段階でスムーズな性能照査が可能となろう。

しかしながら、上記のような強力なシミュレーションを行う性能照査システムの開発は、すぐには困難だと考えられる。なぜならば、力学的な性能は有限要素解析などにより、ある程度は現実に近い検証が可能であるものの、施工可能性や自然条件の中での長期にわたるコンク

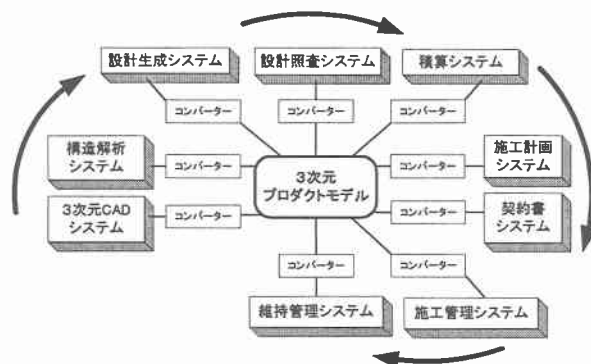


図-1 システムモデル

リートや鉄筋などの変化を正確にシミュレートすることは各種の不確定性もあり困難だと考えられるからである。

そこで、そうしたシミュレーションに替わる照査方法として、道路橋示方書<sup>3)</sup>の構造細目のように、過去の経験や実験データ等から、専門家らによって導かれたような仕様規定を用いることで、性能を照査することが可能になると考えられる。技術基準が性能規定化されると、要求性能だけが記述され、従来の仕様規定による照査方法は除かれるように思われがちだが、仕様規定は要求性能を達成するための一つの方法であるといえよう。但し、これまでのように構造細目の各項目を全て満足しなければならない、といった考え方は、本来の性能発注の主旨に反するものである。仕様と性能の関係を明確にすることが前提となる。また、逆に、構造細目と要求性能を比較検討していくと、ある項目は、例えば満足されなかったとしても、代替案を示すことによって要求性能を満足できる場合もあろうし、規定の基準値が絶対的なものではなく、かなり余裕がある場合もあろう。

我々は、道路橋示方書の構造細目の規定をみなし規定とし、目的とする性能項目および検証項目を表-1に示すように整理した<sup>4)</sup>。これにより、みなし規定が満足されなかった時、必ず修正して満足されるようにしなければならない項目なのか、何らかの代替案を採用することにより性能を満足させることが可能なのかを示す照査システムの開発が可能になると考えられる。

3. 3次元プロダクトモデル

3次元プロダクトモデルは、土木構造物の、計画、設計、積算、施工、維持管理といったライフサイクルにおいて、3次元 CAD によってモデリングされた構造物デ

ータを有効に活用することを目的としており、特定の CAD に依存しないデータ形式によって記述される。3次元プロダクトモデルの研究や開発については、ISO の STEP (the Sandard for the Exchange of Product model data)<sup>5)</sup>により機械分野等で開発が進められており、IAI (International Alliance for Interoperability) の IFC (Industry Foundation Classes)<sup>6)</sup>ではSTEPに準拠しながら建築分野の開発が行われているが、土木分野での3次元プロダクトモデルの研究は、他の分野に比べて進んでいるとはいえないようである。

3次元プロダクトモデルは、オブジェクト指向の概念を用いて対象となるもののモデル化(スキーマ)を行い、モデルを基に実際のデータ(インスタンス)を作成する。STEP、IFC とともにスキーマファイルの形式として EXPRESS、インスタンスファイルの形式として STEP Part21 形式のデータ形式を採用しているが、XML (Extensible Markup Language) の普及に伴い、IFC でも BLIS-XML (Building Lifecycle Interoperable Software - XML)<sup>7)</sup>や ifcXML<sup>8)</sup>のようにXML形式のプロダクトモデルの研究を行っている。

本研究では、図-2および図-3のような矩形断面 RC 梁の3次元プロダクトモデルを、今後の土木分野での標準化も視野に入れ、IFC にできる限り準拠した形式で作成することとした。著者らは、以前からXMLを用いた3次元プロダクトモデルの研究を行っており、今回IFCの形式を取り入れるに伴い、BLIS-XMLを用いてプロダクトモデルの実装を行うこととした。BLIS-XMLを採用した理由としては、ifcXMLが開発途上であり、BLIS-XMLの方が実装例が多いという点が挙げられる。

表-1 構造細目の性能整理

| 項目  | みなし規定          | 性能項目   | 妥当性検証項目                       |
|-----|----------------|--------|-------------------------------|
| 4.2 | (1), (2)       | 施工     | 材料の配置、コンクリートの充填性能             |
|     | (3), (4)       | 力学     | 応力集中に関する照査 (形状、接合部に関する構造解析)   |
| 4.3 | (1)            | 耐久     | 乾燥収縮・温度ひび割れに関する照査             |
|     | (2), (3)       | 力学     | じん性性能の照査                      |
| 4.4 | 4.4.1 (1), (2) | 施工, 耐久 | 塩害による構造腐食に関する照査, 耐火性の照査       |
|     | 4.4.2 (1), (2) | 力学, 施工 | 構造体としての品質照査 (コンクリートの充填性能)     |
|     | 4.4.3 (1)      | 品質, 施工 | フックの定着性能, 曲げ加工部の品質, 施工性能      |
|     | (2)            | 力学     | 曲げ加工部の品質性能 (曲げ半径)             |
|     | 4.4.4 (1)~(8)  | 品質, 施工 | 鉄筋端部の定着性能                     |
|     | 4.4.5 (1)~(7)  | 力学     | 継手部の強度, ぜい性破壊照査 (継手の品質, 施工性能) |
|     | (1), (2)       | 力学     | PC鋼材の摩擦損失性能                   |
|     | 4.4.6 (3)      | 力学     | PC鋼材の配置における応力照査               |
|     | (4), (5)       | 力学     | PC鋼材の配置におけるひび割れ照査             |
|     | 4.4.7 (1)~(3)  | 品質, 施工 | 定着具の品質性能 (定着具の配置)             |
|     | 4.4.8 (1), (2) | 力学     | 定着具背面の引張応力照査                  |
|     | 4.4.9 (1), (2) | 施工     | 鉄筋の配置                         |
|     | 4.4.10 (1)~(3) | 品質, 施工 | スターラップの品質性能 (形状, 配置)          |
|     | 4.4.11 (1)~(4) | 力学     | ねじりモーメントに対する応力照査              |
|     | 4.4.12         | 力学     | ハンチのひび割れ照査                    |
|     | 4.4.13 (1)~(6) | 耐久, 力学 | ひび割れに関する照査 (乾燥収縮, 温度, 応力集中)   |

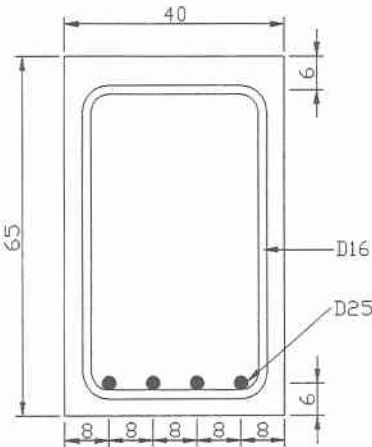


図-2 矩形断面 RC 梁の断面寸法 (単位: cm)

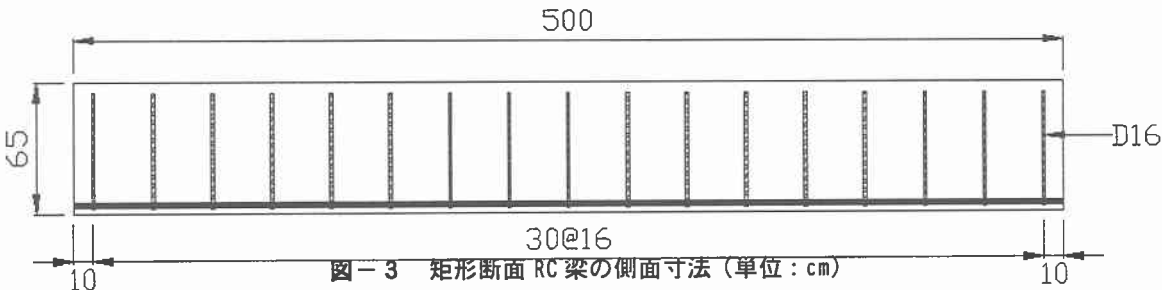


図-3 矩形断面 RC 梁の側面寸法 (単位: cm)

#### 4. 矩形断面 RC 梁のプロダクトモデル

RC 梁のモデル化に際しては、属性型とオブジェクト型の2つの手法を考案し、比較検討した(図-4)。属性型の表現方法では、主筋やスターラップを RC 梁オブジェクトの属性として表現する方法である。すなわち、RC 梁オブジェクトが主筋の本数、主筋の間隔、主筋の直径等のデータを直接持つことで RC 梁を表現する方法であり、主筋やスターラップの本数が増えてもインスタンスデータが増えないというメリットがあるが、デメリットとして鉄筋の配置などに柔軟性が無くなるということが挙げられる。

オブジェクト型の表現方法では、RC 梁オブジェクトが主筋オブジェクトとスターラップオブジェクトを RC 梁オブジェクトと関連付けている。すなわち、鉄筋一本が一つのオブジェクトとなり、RC 梁がその鉄筋を含むという表現方法である。メリットとしては、鉄筋の配置、形状などが自由に決められることであり、デメリットとしては、鉄筋1本ずつに対して図形表現、座標位置を定めるため、インスタンスファイルが膨大な量になることである。検討した結果、前者は、概略的な基本設計に向いており、後者は、詳細な設計に向いていると考えられる。本研究では、特に構造細目について照査を行うことが目的であることから、より詳細な後者の表現方法を採用することとした。

ここで、本研究で作成した矩形断面 RC 梁の3次元プロダクトモデルのスキーマの一部を図-5に、インスタ



図-4 RC 梁のモデル化手法



図-6 矩形断面 RC 梁のインスタンス

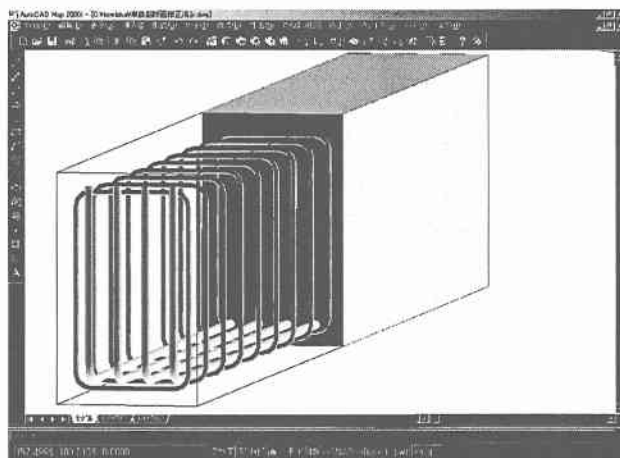


図-7 矩形断面 RC 梁の3次元 CAD イメージ

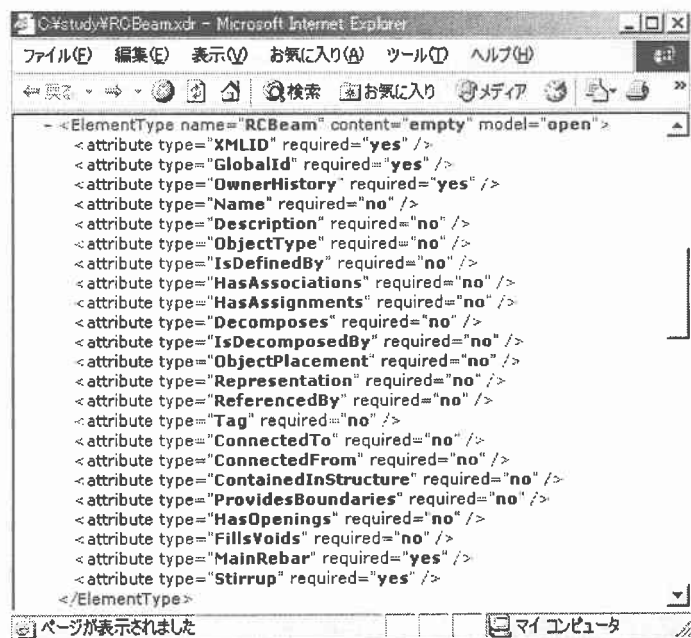


図-5 矩形断面 RC 梁のプロダクトモデルのスキーマ

ンスの一部を図-6に示す。スキーマにより、RC 梁、主筋、スターラップといったオブジェクトがモデル化され、そのモデルに基づき、実際の数値データ等が入力されたインスタンスを生成する。

#### 5. 構造細目による性能照査システム

本研究では、プロダクトモデルを用いた性能発注に対応した構造細目設計照査システムの開発を行った。設計照査システムは、オブジェクト指向プログラミング言語 Java を用いて開発し、3次元プロダクトモデルから設計照査システム用のデータに変換するコンバータは、Java と XML パーサによって開発した。実際の設計照査を行う流れとしては、まず、図-1のシステムモデルの流れに基づき、矩形断面 RC 梁を3次元 CAD システムによりモデリング(図-7)を行い、コンバータによって3次元 CAD データを変換し、3次元プロダクトモデルを生成することを想定している。続いて、3次元プロダクトモデルをコンバータを

図-8 矩形断面 RC 梁の構造細目照査結果画面

| 項目                      | 規定    | OKorNG | 要求性能                                    | 代替案の対象項目                        | 一覧 | 工法                                       |
|-------------------------|-------|--------|-----------------------------------------|---------------------------------|----|------------------------------------------|
| 最小鋼材量                   | 4.3   | OK     | ・力学的性能<br>・打設充填性                        | じん性性能の照査                        | 可  | 繊維補強コンクリート                               |
| かぶり鉄筋の直径以上(支間10m以下)     | 4.4.1 | OK     | ・耐久性能<br>・中性化・塩害・耐火性                    | 塩化物イオンの侵入に伴う鋼材腐食に関する照査・耐火性の照査   | 不可 | -                                        |
| かぶり鉄筋が3.0cm以上(支間10m以下)  | 4.4.1 | OK     | ・耐久性能<br>・中性化・塩害・耐火性                    | 塩化物イオンの侵入に伴う鋼材腐食に関する照査・耐火性の照査   | 不可 | -                                        |
| かぶり鉄筋の直径以上(支間10mより大)    | 4.4.1 | -      | ・耐久性能<br>・中性化・塩害・耐火性                    | 塩化物イオンの侵入に伴う鋼材腐食に関する照査・耐火性の照査   | 不可 | -                                        |
| かぶり鉄筋が3.5cm以上(支間10mより大) | 4.4.1 | -      | ・耐久性能<br>・中性化・塩害・耐火性                    | 塩化物イオンの侵入に伴う鋼材腐食に関する照査・耐火性の照査   | 不可 | -                                        |
| あきが鉄筋の直径の1.5倍以上         | 4.4.2 | OK     | ・コンクリートの流動性・施工性<br>・コンクリートと鋼材の付着性能      | 構造体としての品質照査<br>(コンクリートの充填性能)    | 不可 | -                                        |
| あきが4cm以上                | 4.4.2 | OK     | ・コンクリートの流動性・施工性<br>・コンクリートと鋼材の付着性能      | 構造体としての品質照査<br>(コンクリートの充填性能)    | 不可 | -                                        |
| あきが粗骨材の最大寸法の4/3倍以上      | 4.4.2 | OK     | ・コンクリートの流動性・施工性<br>・コンクリートと鋼材の付着性能      | 構造体としての品質照査<br>(コンクリートの充填性能)    | 不可 | -                                        |
| 鉄筋のフック                  | 4.4.3 | OK     | ・鉄筋の定着性能                                | フックの定着性能<br>曲げ加工部の品質・施工性能       | 不可 | (鉄筋の定着にフックを使用する場合は不可。それ以外の定着方法を使用する場合は可) |
| 鉄筋のフックの曲げ半径             |       | OK     |                                         |                                 |    |                                          |
| スターラップの曲げ半径             | 4.4.3 | OK     | ・鉄筋の局部応力                                | (はく離が何時生じるかによって、耐久性能が力学的性能に別れる) | 不可 | -                                        |
| 折曲げ鉄筋の曲げ半径              |       | -      |                                         | 曲げ加工部の品質性能(曲げ半径)                |    |                                          |
| 鉄筋の定着                   | 4.4.4 | -      | ・コンクリートと鋼材の付着性能<br>・鉄筋の耐引き出し性能<br>・施工性能 | 鉄筋端部の定着性能                       | 不可 | -                                        |
| 鉄筋の継手                   | 4.4.5 | -      | ・コンクリートと鋼材の付着性能<br>・継手部の強度              | 継手部の強度、脆性破壊照査<br>(継手の品質・施工性能)   | 可  | 解析                                       |

図-8 矩形断面 RC 梁の構造細目照査結果画面

用いて、設計照査システム用のデータ形式に変換し、設計照査を行う。照査結果は、図-8のようにHTML形式で出力され、照査した各項目について満足したか(OK)、満足しなかったのか(NG)が表示される。この例では、図-2および図-3の寸法のRC梁を照査した結果であり、すべての項目を満足する結果となっている。その他、その項目がどのような性能を要求しているのか、照査に満足しなかった場合、代替工法があればその工法を提示する等の情報も出力される。さらに、HTMLのリンクにより、その項目の規定の内容や具体的な要求性能といったものを、その場で見る事ができるといった支援機能が付いている。このような構造細目照査システムを開発することにより、性能発注に対応した構造細目の照査を行うことができるものと考えられる。

## 6. おわりに

本研究では、まず、構造細目の要求性能を明確にすることにより、性能発注に対応した構造細目設計照査システムを開発した。次に、3次元プロダクトモデルの表現方法として属性型とオブジェクト型を考案し、詳細な設計に向いているオブジェクト型を採用し、矩形断面RC梁の3次元プロダクトモデルを構築した。さらに、このモデルによるデータを構造細目設計照査システムを用いて照査を実施した。その結果、3次元プロダクトモデルを利用することにより、構造細目の性能照査を行えることが確認された。今後の課題としては、より複雑な構造物でも実証していきたいと考えている。

## 謝辞

本研究を遂行するにあたり、社団法人プレストレスト・コンクリート建設業協会の性能発注に関する検討委員会およびIAI日本支部構造分科会の皆様には、多大なるご協力を頂きました。ここに感謝の意を表します。

## 参考文献

- 1) 松井健一：性能発注方式について、建設マネジメント技術、No.10, pp.4-7, 2001.
- 2) 矢吹信喜, 古川将也, 加藤佳孝, 横田勉, 小西哲司：プロダクトモデルによるPC中空床版橋の設計照査と概略積算の統合化, 土木情報システム論文集, 土木学会, Vol.10, 213-220, 2001.
- 3) 道路橋示方書・同解説, 日本道路協会, 1996.
- 4) 加藤佳孝, 松井健一, 藤本聡, 矢吹信喜：性能規定化に対応した設計照査システムに関する検討, 第19回建設マネジメント問題に関する研究発表・討論会講演集, pp.243-246, 2001.
- 5) Julian Fowler：STEPがわかる本, 工業調査会, 1997.
- 6) <http://www.interoperability.gr.jp/>
- 7) <http://www.blis-project.org/>
- 8) <http://iaiweb.lbl.gov/>