

分散オブジェクト技術による構造解析と設計照査システムの統合化の試み

The Integration of Structural Analysis and Design Checking Systems Using a Distributed Object Technology

室蘭工業大学工学部建設システム工学科 正会員 矢吹 信喜 (Nobuyoshi Yabuki)
室蘭工業大学大学院工学研究科建設システム工学専攻 学生員 ○岩崎 充乗 (Mitsunori Iwasaki)

1. はじめに

有限要素解析 (FEM) コードは、20 年程前から商用コードを購入し使用することが一般的になった。その結果、FEM 解析が容易に実施できるようになったが、自らは必要とするが商用コードがサポートしていない要素や機能の開発が難しくなり、一部の商用コードを除けば、必要な時にすぐに対応できないといった問題が発生してきた。さらに、商用コードは、大規模なソフトの開発やメンテナンスを行う事から高価格になっていった。

大規模 FEM コードの開発・メンテナンスコストを大幅に低減するために、オブジェクト指向プログラミング技術による FEM コードの開発方法に関する研究が、Archer ら¹⁾ によってなされている。また、オブジェクト指向技術によるプログラム開発過程においては、クラスやオブジェクトの振舞いや機能を表記する標準的な方法として、UML (Unified Modeling Language) が広く使用されるようになってきている。

また、FEM コードをサーバやサーバと連動する他の複数のコンピュータに分散して配置することにより負荷が 1 台に集中するのを防ぐことができ、さらに、Linux の開発のように多数の地理的に離れた開発協力者が、それぞれのコンピュータ上で最新の要素を取り入れたコード (オブジェクト) を開発し、協調的に FEM コードの高度化を図っていくことができると考えられる。こうした考えに基づき、分散オブジェクト技術を用いた環境に関する研究が行われている²⁾。

我々は既にトラス要素、フレーム要素および 3 角形要素を含む 2 次元静的弾性 FEM コード “ObjFEM” をオブジェクト指向技術により開発した。開発過程ではダイアグラムの表記に UML を、プログラミング言語としては Java を使用した。次に、分散オブジェクト技術により、各要素および連立方程式を解く各種「ソルバ」等のコード (オブジェクト) をそれぞれ異なるコンピュータに分散的に配置し、インターネット上で動作する “WebFEM” を開発した^{3) 4)}。分散オブジェクト技術としては、ORB (Object Request Broker) の一つである HORB⁵⁾ (Hirano Object Request Broker) を使用した。さらに、WebFEM を使用して適当な有限要素解析を実施し、プロトタイプシステムの検証を実施した。

さらに我々は、有限要素解析のみならず各種設計照査プログラムをネットワーク上のオブジェクト群としてとらえ、分散オブジェクト技術により、解析と照査の統合化を図る研究を実施している。今般、鋼骨組構造部材を対象とした設計照査システムのプロトタイプを開発し、HORB により WebFEM と照査システムを統合化することができたので報告する。

2. 分散オブジェクト技術

オブジェクト技術の基本は、再利用し易いように相互の関係を系統的に表現し、中身を見えなくしたコード (オブジェクト) にメッセージを送ると動作する、ということだと考えられる。一方、分散処理技術は、複数のコンピュータを通信技術によりつなげて利用しようという発想から、クライアント/サーバシステムへと発展し、さらにインターネットの解放に伴い、地理的、組織的な壁が取り払われた地球規模の計算機環境における処理技術と位置付けられると考えられる。

ネットワーク上にある複数のコンピュータにそれぞれ異なったオブジェクトがあるとき、あるコンピュータからメッセージを別のコンピュータのオブジェクトに送れば、計算を実行し、答えを返すようにするという、オブジェクト指向技術と分散処理技術が融合した分散オブジェクト技術の発生は自然な流れといえよう。特に、構造解析や設計照査システムなど異なる複数の分散しているオブジェクトを 1 ヶ所に終結させるより、分散オブジェクト技術により協調的に動作させる方が、開発・メンテナンス等を考慮すれば妥当だと考えられる。

ネットワーク上の離れた別のコンピュータにあるプログラムを動作させるためには、遠隔手続き呼び出し (RPC: Remote Procedure Call) が必要である。従来、RPC はハード毎に個別であったが、オブジェクト技術を用いて統合化し、異機種コンピュータ間で相互運用出来るようにするために開発されたのが ORB である。さらに、業界団体である OMG (Object Management Group) は ORB を標準化し、CORBA (Common Object Request Broker Architecture) としてその仕様を発表している。CORBA では、仕様が統一された IDL (Interface Definition Language) によってプログラムを作成すればよいのだが、相当に難解である。そこで、産業技術総合研究所 (旧電子技術総合研究所) の平野らは、IDL を書かなくても Java で作成したプログラムを分散オブジェクトに変えることが容易に出来る HORB を開発した。HORB は分散オブジェクト技術の中では知名度は必ずしも高くはないが、オープンソースで無償であり、高速であることから本研究では HORB を使用することとした。

3. 分散オブジェクト技術による WebFEM

本研究で開発した WebFEM を説明する。要素としては、トラス要素・フレーム要素および 3 角形要素を含む 2 次元静的弾性有限要素解析が可能であり、連立 1 次方程式の解法としては Gauss-Jordan の消去法および LU 分解の二つが選択可能となっている。機能は基本的であ

るが、オブジェクト指向技術を用いているため、今後、機能を拡張していく事は比較的容易だと考えられる。

また、協調的に FEM コードを開発する場合や、分担開発者が手元のコンピュータで常にコードをメンテナンスしていきたいといった場合を想定して、分散オブジェクト技術により、要素のクラスとソルバのクラスをメインサーバとは別のサーバ群に分散配置して解析出来る環境を構築した。システムの動作環境として、OS は Windows2000、ブラウザに InternetExplorer6.0、Java プログラムには JDK1.3、サーバ環境に Apache1.3.12、分散オブジェクト環境に HORB2.0 を使用した。図-1 にシステムモデルを示し、以下に、解析の流れを記す。

ユーザは、WebFEM 内の WebServer へアクセスし、JavaApplet で作成された入力フォームへ解析に必要なデータを入力し、ObjectManager へ解析を依頼する。ObjectManager は、この入力データを元に、ObjFEM へ指示を出す。入力データに明示されている要素の種類に対応した要素を有する Distributed Element Service Provider 内のサーバにアクセスして要素剛性マトリクスを作成する。この結果をもとに ObjFEM で全体剛性マトリクスを作成する。次に、ユーザによって選択された連立方程式の解法により、Distributed Solver Service Provider 内の対応するソルバにアクセスし計算を実行させる。これらの結果を ObjectManager でまとめ、ユーザインターフェースを介して、ユーザ側へ結果を表示する。

FEM 解析において、最も計算時間がかかるのはソルバ部分であるから複数のサーバマシンに同じソルバを置いておけば、もし、他のユーザが既に使いたいソルバを

使用中であっても、空いているマシンを使用することで負荷分散が図られ、効率的に解析が実行できる。本研究では、LUSolver を 2 台のサーバにインストールし、1 台が計算をしている間にもう 1 つのジョブを与えられた場合、他のサーバを探してジョブを実行することが出来るように WebFEM を設定した。尚、詳細は文献⁴⁾を参照されたい。

4. 鋼部材の設計照査システム WebLRFD

設計基準をデシジョンテーブル（決定表）やオブジェクト指向技術を用いて定式的にプログラム化し、設計照査を自動化する研究が過去において数多くなされた⁶⁾。設計基準は、発行する機関や対象とする構造物などにより、非常に多くの種類が存在し、さらに地域によっては特例的条文を取り決めてあることがある。こうした特性を持つ設計照査をソフトウェア会社がプログラム化し、様々な場合に応じた柔軟なものとして維持していくことは極めて困難だと考えられる。そこで、我々は各設計基準は発行機関などが責任を持ってプログラム化し、インターネット上で課金制などにより、ユーザが使用できるようなシステムモデルの構築を提案する。これにより、ユーザは、任意の設計基準を選択して照査が可能であり、各オブジェクトは、各組織（責任者）によってメンテナンス等が行われるため、常に最新のシステムを利用可能となる。

本研究では、設計基準として AISC-LRFD⁷⁾（American Institute of Steel Construction-Load & Resistance Factor Design）を採用し、鋼部材（梁、柱、梁-柱）を対象とした設計照査のプロトタイプシステム

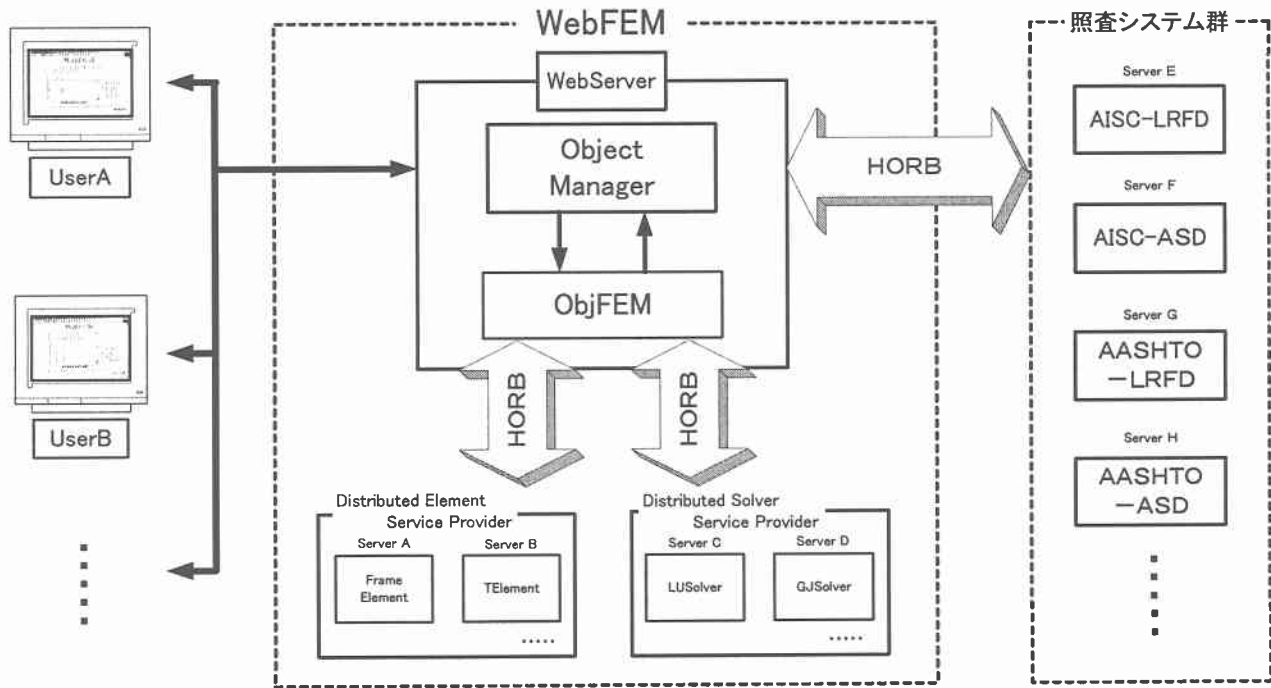


図-1 WebFEM と設計照査システム群を統合化したシステムモデル

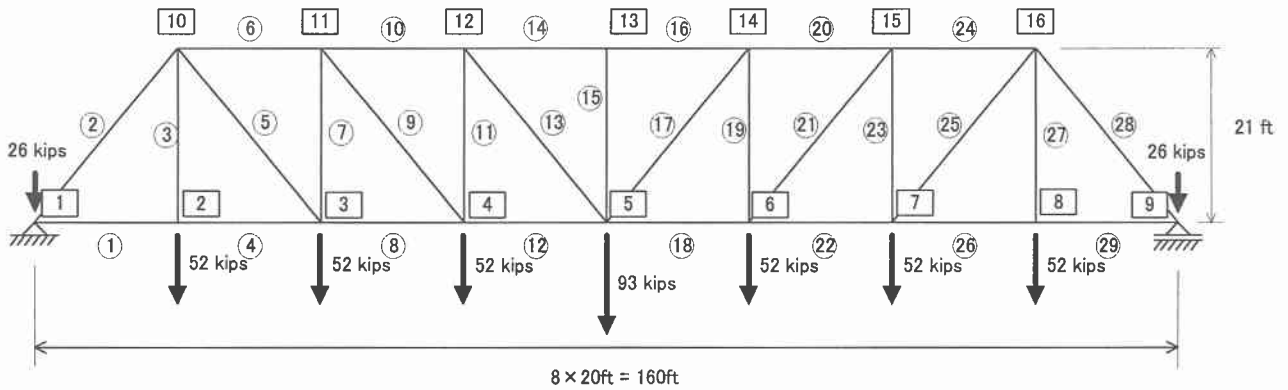


図-2 解析モデル

である“WebLRFD”を開発した。プログラミングにはJavaを使用した。本プロトタイプシステムの動作環境は、WebFEMと同様である。

照査の流れを以下に示す。ユーザは構造解析を行い、あらかじめ各部材にかかる力（曲げモーメント・軸力・せん断力等）を求めておき、その後、WebLRFDにアクセスし、所定の場所に必要なデータを入力する。すると、WebLRFDが、入力されたデータから、鋼材の種類、荷重の大きさ・作用方向等の各条件に対応する照査プログラムを呼び出し照査を行う。その後、ユーザに照査結果が表示されるが、もしここで照査結果がNGであった場合には、満足する結果が出るまで部材断面の種類を選択し直して何度でも繰り返し照査を行うことができるようになっている。

図-3 入力フォーム

5. 分散オブジェクト環境における WebFEM と WebLRFD の統合化

本研究では、先に説明した有限要素解析システム WebFEM と設計照査システム WebLRFD を HORB を使用して統合化した（図-1）。これらの統合化により、解析から照査までの一連の流れにおいて、データの受け渡しがスムーズになり、データ入力のミスの低減などの効果が期待できる。以下、実際にトラス構造物の解析・照査を行うことで、本システムの検証を行った。

検証では、図-2に示すようなモデルを使用した。まず、このモデルを元に解析に必要なデータを作成するが、ここで荷重は No.12,14,16,18 の部材に対して厳しくなるように設定してある。次に、WebServer へアクセスし、図-3に示される入力フォームにデータを入力し、設計基準を選択（ここでは AISC-LRFD を選択）してから、スタートボタンを押す。すると、解析が自動的に開始され、さらに解析結果が WebLRFD へ自動的に渡され照査が行われる。その後、画面の指示に従い、リンクをクリックすると、図-4・図-5のような解析結果画面が表示され、次に、図-6のような照査結果画面が表示される。ここでは、一部の要素の照査結果が NG であったので設計変更の後、再度照査を行う必要がある。そこで画面の指示に従い、図-7の画面で示すように、照査結果

NodeNumber	Displacement(X)	Displacement(Y)
1	0.000000	0.000000
2	0.102311	-1.550946
3	0.204623	-2.672247
4	0.343736	-3.533825
5	0.521667	-3.903074
6	0.699598	-3.533825
7	0.838712	-2.672247
8	0.941023	-1.550946
9	1.043335	0.000000
10	1.249753	-1.518899
11	1.052429	-2.732952
12	0.800045	-3.562483
13	0.521667	-3.903074
14	0.243290	-3.562483
15	-0.009095	-2.732952
16	-0.206419	-1.518899

図-4 解析結果1（変位 [inch]）

がNGであった要素の部材の断面積が大きくなるように選択し、再度照査を行う。さらに、他の部材群、例えば No.8,9,10,11 の要素等に対しても、荷重条件を変えて再度解析を行い、解析と照査を繰り返す。

従来は、いくつもの荷重パターンに対して、あらかじめ解析を行い、それぞれの解析結果に対して照査を行い、

ElementNumber	Force	Stress
1	192.857143	12.362637
2	-279.642857	-19.832827
3	52.000000	3.687943
4	192.857143	12.362637
5	207.833333	9.53639
6	-336.190476	-23.843296
7	-98.500000	-6.985816
8	336.190476	16.809524
9	136.023810	7.599096
10	-430.000000	-30.496454
11	-46.500000	-3.297872
12	430.000000	21.500000
13	64.214286	4.554205
14	-474.285714	-33.637285
15	0.000000	0.000000
16	-474.285714	-33.637285

図－５ 解析結果２（断面力 [kips] および応力 [ksi]）

ElementNumber	DesignStrength	Force	Check
1	209.704969	192.857150	O.K.
2	456.840000	-279.642850	O.K.
3	172.564513	52.000000	O.K.
4	209.704969	192.857150	O.K.
5	236.220525	207.833330	O.K.
6	456.840000	-336.190500	O.K.
7	456.840000	-98.500000	O.K.
8	370.797087	336.190500	O.K.
9	189.296670	136.023800	O.K.
10	456.840000	-430.000000	O.K.
11	456.840000	-46.500000	O.K.
12	370.797087	430.000000	N.G.
13	90.624082	64.214290	O.K.
14	456.840000	-474.285700	N.G.
15	172.564513	0.000000	O.K.

図－６ 照査結果

Please select other Elements

W14-48
W14-50
W14-61
W14-68
W14-82

Element(1): W14-61
Element(2): W14-61
Element(3): W14-68
Element(4): W14-68
Element(5): W14-82
Element(6): W14-82

clear Check Start

Name: W14-68

Name	Value	Unit
A	20.0	in ²
d	14.04	in.
tw	0.415	in.
bf	10.035	in.
tf	0.720	in.
T	11	in.

show CheckResult

図－７ 部材断面の再選択

NGであれば設計変更の後、全ての解析をやり直す必要があったが、上記のように、解析システムと設計照査システムを統合化することで、一連の流れがスムーズになったことが示されたと考えられる。

6. おわりに

本研究では、まず、分散オブジェクト技術を使用して、構造解析システム WebFEM 及び、設計照査システム WebLRFD を開発した。次に、これらを分散オブジェクト技術により統合化したシステムを開発し、実際に解析から照査までを行うことでシステムの有効性の検証を行った。その結果、効率的にデータ運用ができるようになったと考えられる。

今後は、構造解析システムにおいては、3次元解析等のシステムの高度化を図り、設計照査システムでは、他の設計基準に対応したシステムの開発等を行っていく予定である。

謝辞

本研究を遂行するにあたり、社団法人鋼材倶楽部から援助をいただいた。ここに謝意を表します。

参考文献

- 1) Archer, G., Thewalt, C., and Fenves, G. L.: A New Architecture for Finite Element Analysis, Proceedings of the Third Congress on Computing in Civil Engineering, pp.683-689, 1996.
- 2) Peng, J., McKenna, F., Fenves, G. L., and Law, K. H.: An Open Collaborative Model for Development of Finite Element Program, Proceedings of the Eighth International Conference on Computing in Civil and Building Engineering, pp.1309-1316, 2000.
- 3) 矢吹信喜, 岩崎充乗, 照井陽祐, Law, K.H.: 協調的分散オブジェクト技術による Web ベースの有限要素解析システム, 土木学会北海道支部論文報告集, 第 57 号, pp.128-131, 2001
- 4) 矢吹信喜, 岩崎充乗: 分散オブジェクト技術による Web ベースの協調的有限要素解析システム, 土木情報システム論文集, Vol.10, pp.95-102, 2001.
- 5) <http://horb.etl.go.jp/horb-j/>
- 6) Yabuki, N. and Law, K.H.: An Object-Logic Model for the Representation and Programming of Design Standards, Engineering with Computers, Vol.9, No.9, pp.133-159, 1993.
- 7) Manual of Steel Construction - Load & Resistance Factor Design, Second Ed., American Institute of Steel Construction, Inc., 1993.