

II-2 分散オブジェクト技術による FEM と設計照査システムの統合化

矢吹 信喜¹
Nobuyoshi Yabuki

岩崎 充乗²
Mitsunori Iwasaki

志谷 倫章³
Tomoaki Shitani

【抄録】我々は、以前に 2 次元静的弾性有限要素解析コードの内、各要素及び連立方程式を解くソルバ等のコードをそれぞれ異なるコンピュータに分散的に配置し、分散オブジェクト技術によりインターネット上で動作する WebFEM を開発した。本研究では、これに加えて各種設計基準による照査プログラムや形鋼の寸法等のデータベースをネットワーク上のオブジェクト群、すなわち WebLRFD, WebAISC-DB として開発を行い、分散オブジェクト技術により、WebFEM と統合化したシステムを開発した。さらに、実際に骨組構造物を対象として、解析から照査までの作業を実施することにより、システムの有効性の検証を行った。

【キーワード】分散オブジェクト技術、分散処理、有限要素解析、FEM、設計照査、WWW、Web、LRFD

1. はじめに

大規模化し管理が困難になりつつある有限要素解析 (FEM) コードの開発およびメンテナンスコストを低減するために、オブジェクト指向プログラミング技術を用いた FEM コードの開発方法に関する研究がなされている¹⁾。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と同時に、Linux の開発のように多数の地理的に離れた開発協力が、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 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。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)}。

構造設計においては、解析に引き続いて照査を行うが、解析システムと照査システムは、それぞれ別々になっているか、逆に 1 つのソフトウェアとしてバンドル化されていることが多い。前者の場合は、解析と照査の間でスムーズにデータが流れないため非効率的で

ある。後者の場合は、照査に使用する設計基準は多岐にわたるため、照査システムは解析コードに対して独立している方が良い。

そこで、本研究では、有限要素解析および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、分散されたままインターネット上で、解析と照査の統合化を図る研究を実施した。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、HORB⁵⁾ (Hirano Object Request Broker) 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的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

1 正会員 Ph.D. 室蘭工業大学工学部建設システム工学科 助教授 〒050-8585 室蘭市水元町 27-1

TEL: 0143-46-5219 FAX: 0143-46-5218 Email: yabuki@news3.ce.muroran-it.ac.jp

2 工修 釧路市役所 (元・室蘭工業大学大学院工学研究科建設システム工学専攻)

3 学生員 室蘭工業大学大学院工学研究科建設システム工学専攻

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。

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 (Object Request Broker) 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 FEM

以前に開発した WebFEM を簡単に説明する。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。

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い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 HORB を使用して構築した。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、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である “WebLRFD” を開発した。プログラミング言語としては Java を使用した。

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。

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)。システムの動作環境としては、OS は Windows2000、ブラウザには Internet Explorer 6.0、サーバには Apache 1.3.12、分散オブジェクト環境には HORB 2.0 を使用した。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、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。

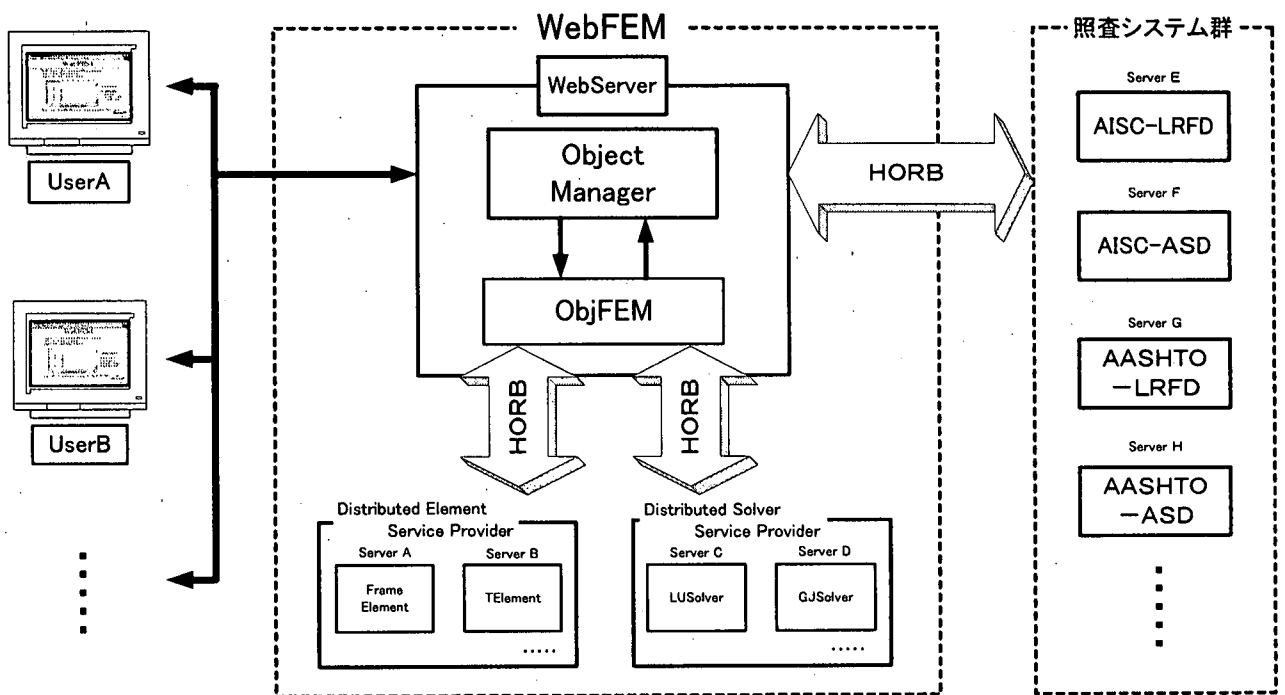


図-1 WebFEM と設計照査システム群を統合化したシステムモデル

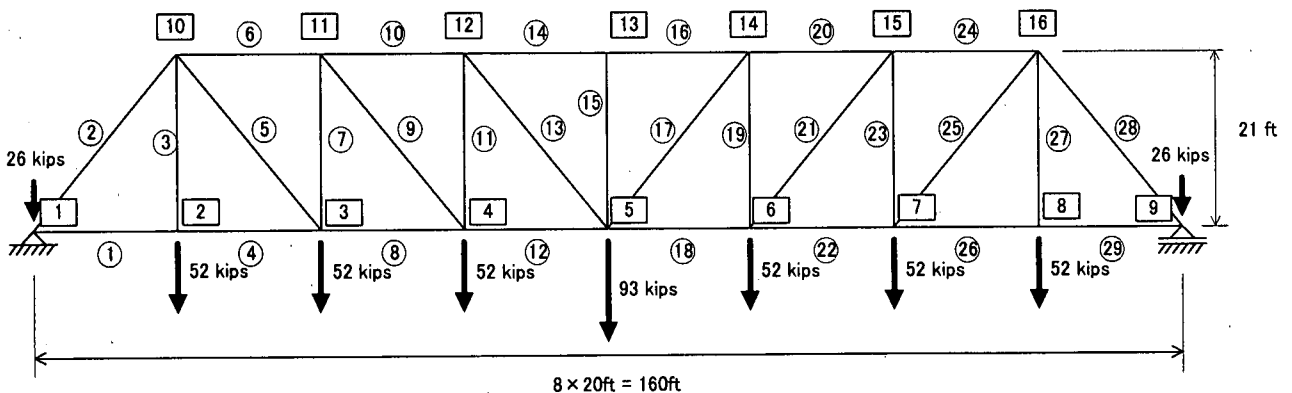


図-2 解析モデル

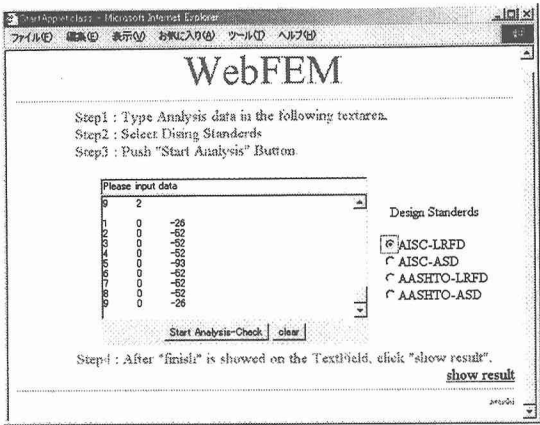


図-3 入力フォーム

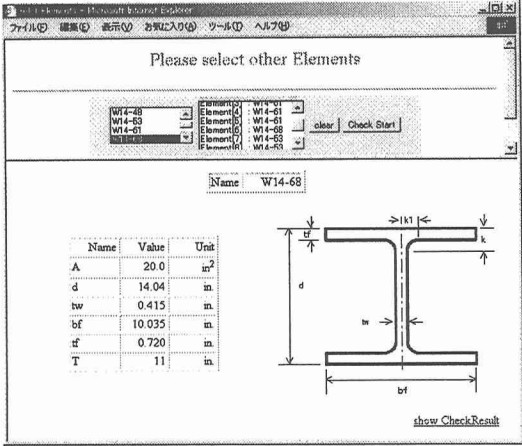


図-7 部材断面の再選択

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])

ElementNumber	Force	Stress
1	192.857143	12.362637
2	-279.642857	-19.832827
3	52.000000	3.697943
4	192.857143	12.362637
5	207.833333	9.533639
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	4.654205
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

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、社団法人日本鉄鋼連盟（旧鋼材倶楽部）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.