

防災担当者の技術力向上のための 耐震設計の共通化と地震応答の統合的可視化

堀宗朗¹・井上純哉²・市村強³・中村光⁴・若井明彦⁵・海老澤健正⁶・山口直也⁷

¹ 東京大学地震研究所 (〒 113-0032 東京都文京区弥生)

² 東京大学大学院工学系研究科社会基盤工学専攻 (〒 113-8656 東京都文京区本郷 7-3-1)

³ 東北大学大学院工学系研究科土木工学科 (〒 980-8579 仙台市青葉区荒巻青葉 06)

⁴ 名古屋大学大学院工学研究科社会基盤工学専攻 (〒 464-8603 千種区不老町)

⁵ 群馬大学工学部建設工学科 (〒 376-8515 桐生市天神町 1-5-1)

⁶ 名古屋工業大学社会開発工学科 (〒 466-8555 名古屋市中区和区御器所町)

⁷ 独立行政法人防災科学技術研究所地震防災フロンティア研究センター (〒 210-0855 川崎市川崎区南渡田町 1-2)

地方自治体の防災担当者が地震被害を予測するための技術力を向上させることは地震防災促進に直接の効果がある。技術力向上の方策として本研究は種々の耐震設計の共通化と構造物地震応答の可視化を検討した。情報科学の手法を使ってフローチャートを再構成し、共通の枠組みの中で土木・建築構造物の代表的な耐震設計を理解できるようにした。応答の可視化を行うため、さまざまな解析手法を統合して実行するコンピュータシステムを検討した。解析手法とシステムの通訳プログラムを作成することで統合を実現し、さらに、通訳プログラムを自動作成する人工知能の検討も行った。

Key Words : seismic resistance design, dynamic analysis of structures, geographical information system, integrated simulation system, object-oriented

1. 序論

地域の地震防災計画を立案・実施する地方自治体の防災担当者は、地震防災を促進する上で大きな役割を果たしている^{1),2)}。しかし、技術的な観点からみると防災担当者の実態は必ずしも理想的ではない。防災担当者は行政官であり、地震や耐震に関して高度な理解を持つことは難しい。技術系であっても、構造物の設計・施工よりも、示方書等にしがって建設事業を認可することが主要な業務である。一方、地震動は地域の地質構造に依存し、地域に特有な特性を持つ建物が建築される場合がある。防災計画の立案の際にこの点を考慮することは重要な課題であり、技術的により高度な役割を果たすことが、将来、防災担当者に要求されると考えられる。

現在・将来の役割をみると、防災担当者の技術力の向上は重要である。技術力とは、防災計画の立案・実施を行うために、専門家によって予測された構造物の地震被害を適切に判断することである。確からしさやばらつきを相応に理解することや、多種多様の構造物に関する広い知識を持つことが必要となる。なお、建設系技術者の減少が見込まれる現在、地方自治体の防災担当者の技術力向上は、社会基盤施設の維持のためにも重要である。

地震被害は人命にも関わる問題であり、技術力には

確固たる裏付けが必要である。構造物の地震応答は物理現象であるため、地震応答メカニズムの理解が裏付けとなる。重要な知見は耐震設計に集約されていることを考えると、具体的には、耐震設計の理解である。なお、複雑な地震応答メカニズムを詳細に理解することは専門家でも容易ではないため、理解の程度には相応の限界がある。

元来、耐震設計は構造物を造るために記述されたものである。構造物の専門家ではない防災担当者が理解すること、さらに、多種多様の構造物の耐震設計を理解することは決して容易な課題ではない。この問題を解決するため、本論文では、耐震設計の共通化と地震応答の統合的可視化という方策を検討する。各種構造物の耐震設計に対し、できるだけ共通の枠組みを与えることが耐震設計を効率的に理解することにつながる。第一の方策である耐震設計の共通化はこれを目指す。耐震設計の理解には、想定された地震動に対し、耐震設計と同じ方法で計算された域内全構造物の地震応答を可視化することが効果的である。これが第二の方策、地震応答の統合的可視化である。

本論文は、耐震設計の共通化と地震応答の統合的可視化の実現可能性を見極めることを目的とする。具体的な課題は、1) 耐震設計の全般的な流れを見直し、土木・建築の代表的な耐震設計を取り上げて耐震設計の共通化の例を示すこと、2) 開発中の統合地震シミュレー

タ^{15),16)}(Integrated Earthquake Simulator, IES)の利用を前提とし、多種多様の構造物の地震応答過程を計算し統合的に可視化する方法を考案すること、の二点である。後述するが、IESは都市全体の地震動・構造物応答・対応行動をシミュレートするシステムである。

2. 耐震設計の共通化

多様な耐震設計の理解を妨げる原因として、構造特性や材料特性に応じて設計の手順や計算方法が異なる点が挙げられる。しかし、そもそも地震動に対する応答に構造物独自のメカニズムがあるため、手順や計算方法が異なることは耐震設計の本質でもある。この点とは別に、示方書やガイドラインの記述様式が異なる点も理解を妨げる原因である。記述様式は、専門家である設計者が構造物を設計するという目的に沿ったものであり、非専門家には読みづらい。そこで、必要とされるレベルに応じた相応の理解ができるよう記述様式を工夫することは、非専門家の耐震設計の理解に有効である。さらに、記述様式を統一することで、多様な耐震設計の理解が容易になることも期待できる。

上記の考察から、本論文では、以下の方針で記述様式を変える。

被害想定を行うという観点から耐震設計の中で共通する概念を抽出し、種々の構造物に適用可能な体系としてその概念を再構成し記述する。

以下、上記の耐震設計の再構成を耐震設計の「共通化」と称する。なお、再構成の目的は各種耐震設計の理解の支援である。設計論に関して研究レベルで共通化が議論されているが、これはより良い設計体系の構築を目的としており、本論文の共通化とは異なる。

耐震設計の共通化を実現する際、本論文はプログラミング言語の進化を参考とした。特定の計算を効率的に実行するため、アルゴリズムや計算方法が特化したコードが作成されている。このようなコードは専門家でも解読が容易ではない。この問題を一つの契機として、オブジェクト指向プログラミング言語^{3),4),5)}が開発された。オブジェクトとは、計算のデータや手順を抽象化したものであり、オブジェクトを使うことでコードの見通しが良くなる。さらに、異なるコードで同一のオブジェクトを流用することが可能であり、複数のコードの理解が容易になる。なお、情報科学の分野では、オブジェクトの概念はプログラミングの枠を超えて、事象や行為を抽象化したものとしてデータベース等に広く使われている。

適切なオブジェクトを使って記述すると、設計の流れの見通しが良くなり、さらに、同じオブジェクトを

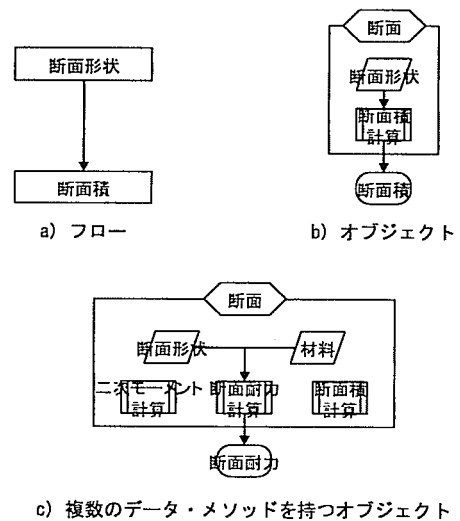


図-1 オブジェクトを使ったフローチャートの再構成の例

使うことで複数の耐震設計の理解が容易になることが期待できる。次章ではオブジェクトを使った記述によって耐震設計の共通化を試みる。具体的な対象をフローチャートとする。一般的な耐震設計のフローチャートをオブジェクトの流れや内容として記述し、その記述方法で実際の耐震設計のフローチャートを記述する。似通ったオブジェクトを抽出・整理し、共通のオブジェクトを構築してフローチャートを再構成する。これが共通化の作業の流れである。なお、ここでのオブジェクトは設計行為を抽象化したものである。オブジェクトは、行為の基となるデータと、行為そのものであるメソッドから作られる。断面形状から断面積を計算するというフローチャートを例に説明すると(図-1a)参照)、フローチャートは、断面形状というデータと断面積計算というメソッドから成るオブジェクト断面として再構成される(図-1b)参照)。メソッド断面積計算を選択すると、データ断面形状から所定のデータが抽出されて断面積が計算され値が出力される。オブジェクト断面に、材料のデータや断面二次モーメントや断面耐力の計算というメソッドを付け足すだけで、より高度なフローチャートが表現される(図-1c)参照)。

3. 共通化の例

(1) 一般的な耐震設計の再構成

耐震設計の流れや計算は構造物によってさまざまに異なるが、概要は同一であり計算の手法も共通している。この点を考慮して、最初に、一般的な耐震設計に対し、オブジェクトを使った再構成を行う。対象とするフ

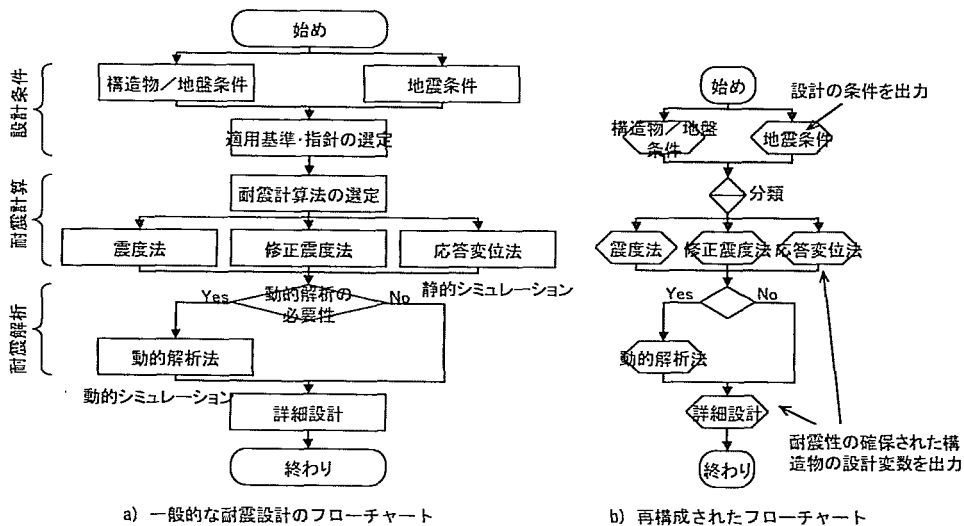


図-2 耐震設計の流れを示すフローチャート

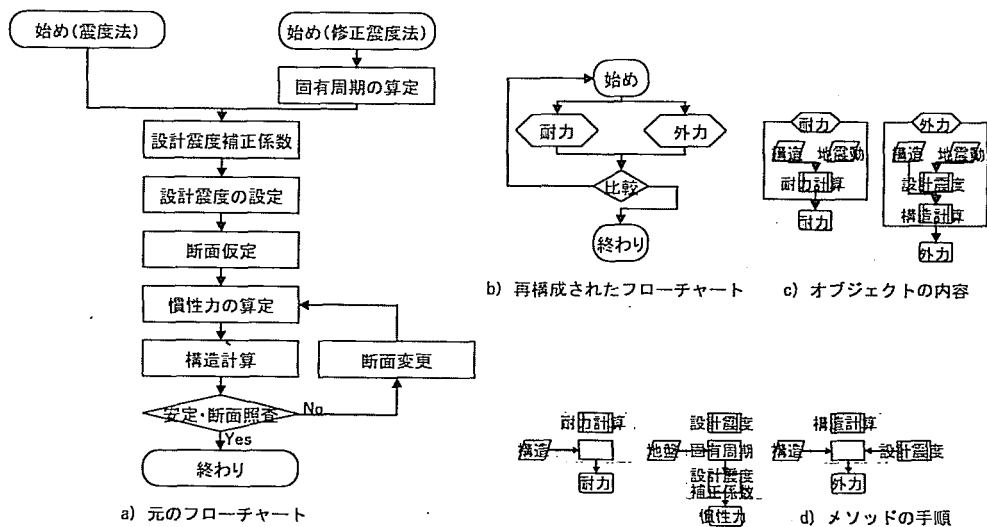


図-3 震度法のフローチャート

ローチャートを図-2 a) に示す。このチャートでは、設計条件を考慮し、耐震計算法を選定し、必要があれば耐震解析を行い、最後に詳細設計を行うことを示している⁶⁾。したがって、設計の条件を出力するオブジェクトと、耐震性が確保された設計変数を出力するオブジェクトを使うことが考えられる。このようなオブジェクトを使って再構成されたフローチャートを図-2 b) に示す。設計条件が2つ、耐震計算が3つ、耐震解析と詳細設計が1つのオブジェクトを使う。オブジェクトは分類とyes/noで結ばれている。

次に震度法と修正震度法の再構成を行う。フローチャートを図-3 a) に示す。具体的な設計行為が逐次的に並んだフローチャートの記述様式は使い易い。しかし、この記述は非専門家には細かすぎ、全体像や重要な点を理解するには障害となる。概要は構造物の耐力と地震動による外力の比較である。耐力と外力は構造や地震動のデータを使って計算され、やや細かい計算の手順がフローチャートに記載されている。オブジェクトを使って再構成されたフローチャートを図-3 b) に示す。これは、設計の概要はオブジェクト耐力とオブジェクト外力

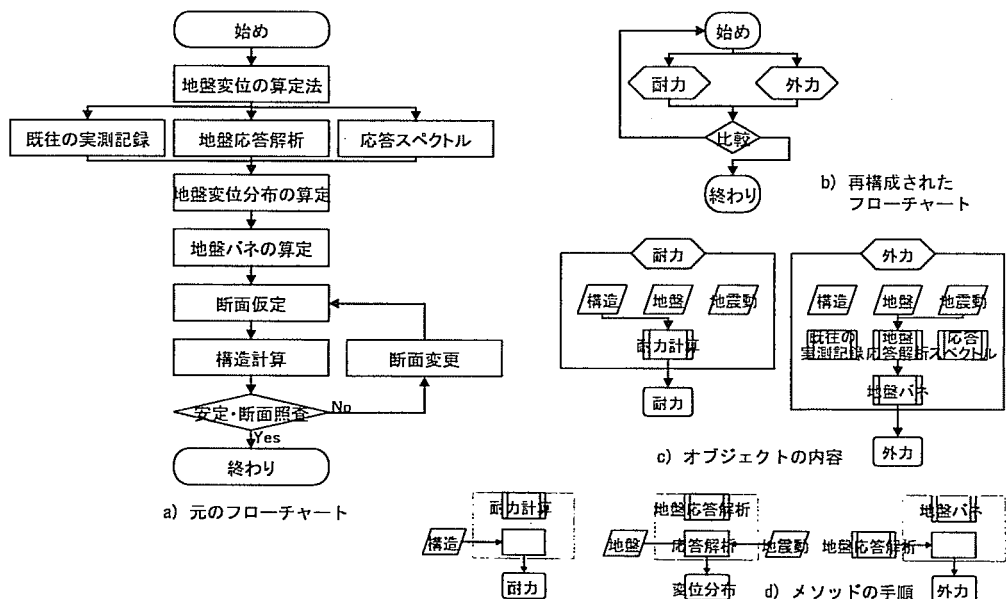


図-4 応答変位法のフローチャート

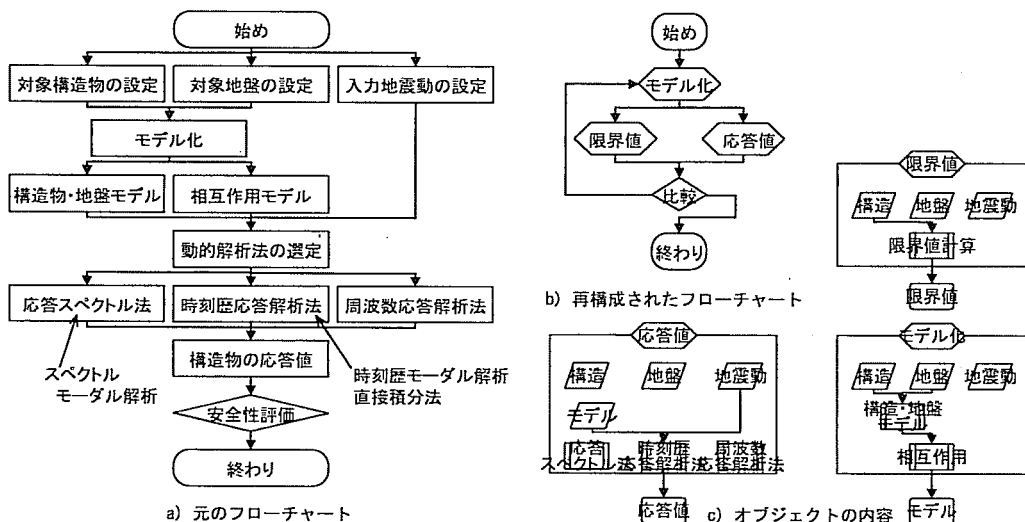
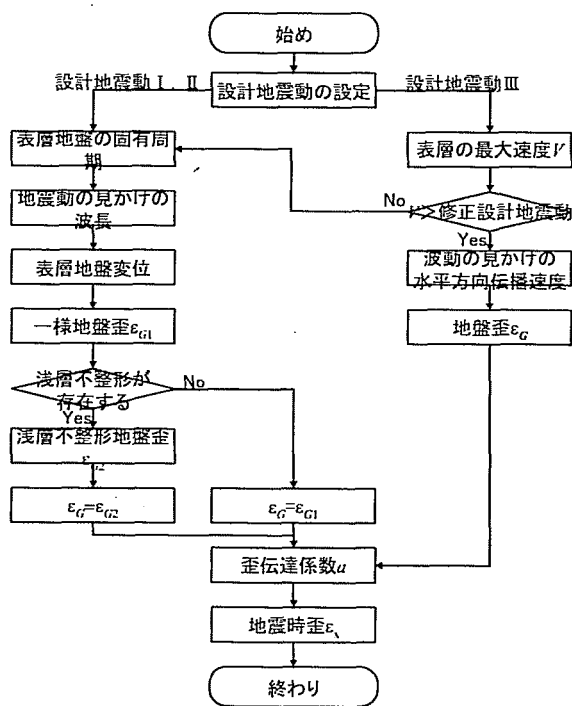


図-5 動的解析法のフローチャート

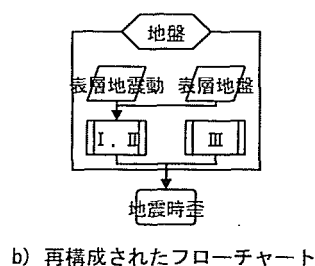
を使った比較をすることであり、安全性の条件が満たされるまで比較を繰り返すことを示している。図-3 c) はオブジェクトの内容であり、メソッド耐力計算とメソッド設計震度・構造計算を選択して耐力や外力を計算するという設計の手順を示している。具体的な設計計算が図-3 d) のメソッドの構成で表されており、元のフローチャートの計算がここに組み込まれる。以上、震度法と修正震度法のフローチャートが、概要、手順、設計計

算という3つのフェーズに分けられ、それぞれ、再構成されたフローチャート、オブジェクトの内容、メソッドの構成として表現された。

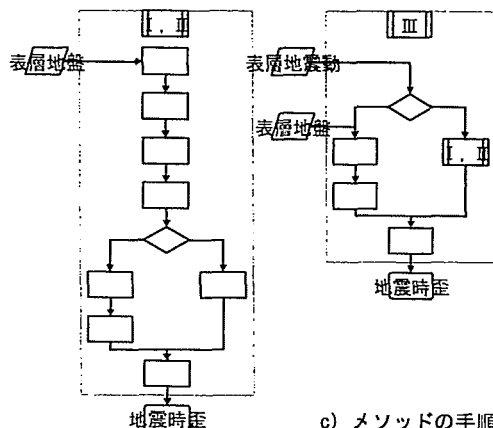
同様に応答変位法の再構成を示す。図-4 a) がフローチャートである。概要、手順、設計計算を図-4 b)~d) に示す。概要は耐力と外力の比較による安全性の確保であるため、図-4 b) は図-3 b) と同一となる。しかし、図-3 c) と図-4 c) や、図-3 d) と図-4 d) の比較からわ



a) 元のフローチャート



b) 再構成されたフローチャート



c) メソッドの手順

図-6 ガス導管の地震時歪を算定するフローチャート

かるように、メソッドやデータが違うためにオブジェクトの内容は若干異なり、メソッドの構成は全く異なる。すなわち、応答変位法は震度法と共通のオブジェクトを使うが、オブジェクトの内容は異なり、メソッドの構成が応答変位法の特徴となることが見て取れる。

最後に動的解析法の再構成を示す。フローチャートを図-5 a) に、再構成を図-5 b), c) に示す。設計計算の詳細が元のフローチャートにないため図-5にはメソッドの構成が省略されている。図-3 b) と図-4 b) は同一であるが、動的解析法の図-5 b) にはモデル化に対応したオブジェクトが含まれている。この点が動的解析法の複雑さを示している。また、動的解析法のオブジェクトには複数のメソッドがあり、構造・地盤・地震動に対する3つのデータが使われている。これは震度法のオブジェクトの簡単な内容とは異なっている。

図-3～図-5に示された元のフローチャートは、一見似通った形式で記述されているものの、内容や意味するものが異なっている。再構成されたフローチャートでは、内容に対応してオブジェクトやメソッドを使い分け、記述様式が統一されている。この結果、耐震計算と耐震解析に使われる計算法の共通点や特徴が明示される。また、再構成されたフローチャートが、概要、

手順、設計計算という3つのフェーズに区分されるため、非専門家である防災担当者がどのフェーズまで理解すべきかを明確に示すことが可能となる。複数の耐震設計を理解する際に、共通点や特徴、設計の重要点と細かい計算の区別等が容易となるため、オブジェクトを使った記述様式が複数の耐震設計の理解を支援することが期待できる。

設計計算法は、図-2では一つのオブジェクトとして表されているが、図-3～図-5ではオブジェクトの集合となっている。このようなオブジェクトの使い分けは混乱を招く可能性がある。しかし、設計を抽象化する際、あるオブジェクトを、別のオブジェクトのメソッドないしデータとして使い分けることは都合が良い場合がある。簡単なオブジェクトの集合として複雑なオブジェクトを表すと、内容は勿論、他の同様に複雑なオブジェクトとの共通点や相違点を抽出することが容易となるからである。勿論、本論文で示した使い分けは一例であり、さらなる検討が必要である。

(2) 実際の耐震設計の再構成

前章で検討されたオブジェクトを用いた再構成を実際の耐震設計のフローチャートに適用する。最初に、比

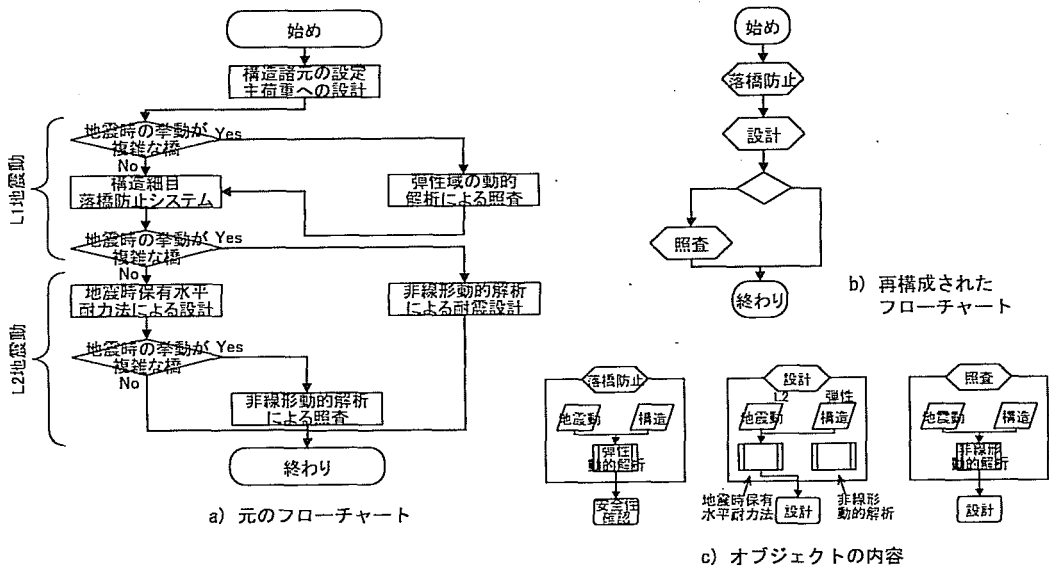


図-7 コンクリート橋脚の耐震設計フローチャート

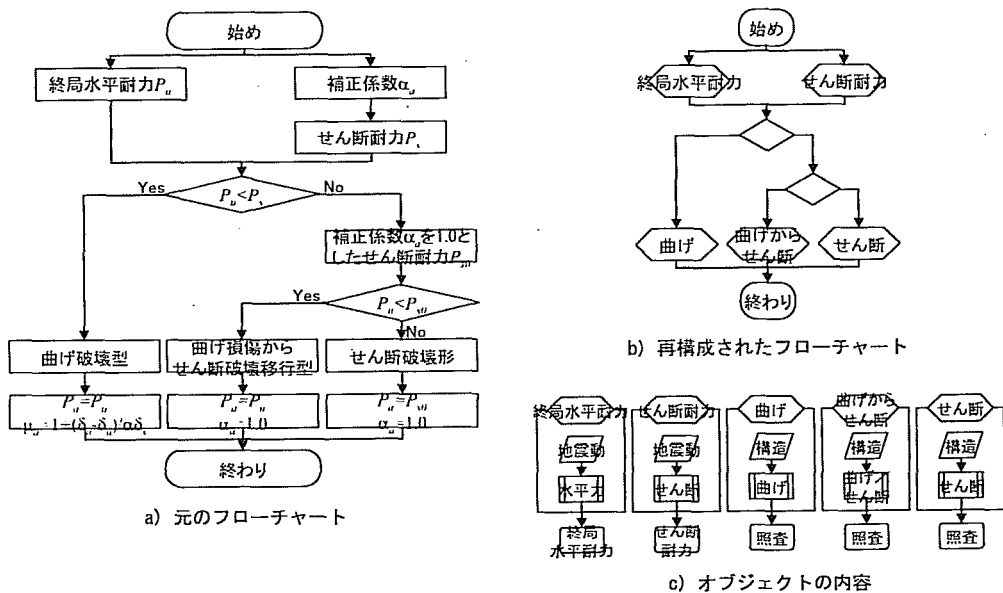


図-8 鋼製橋脚の耐震設計フローチャート

較的簡単な高压ガス導管の耐震設計⁷⁾を取り上げる。地震時の地盤歪を算定するフローチャートを図-6a)に示す。これは設計の手順である。したがって、再構成はオブジェクト地盤にメソッド設計地震動I、IIないしメソッド設計地震動IIIを選択し、データ表層地盤とデータ地震動を使って地震時歪を出力するというオブジェ

クトの内容となる(図-6b)参照)。各メソッドの構成を図-6c)に示すが、これが元のフローチャートの設計計算に対応する。前述のように、図-6a)のフローチャートは逐次的に設計行為が並んでいるため設計者には使いやすいが、非専門家には障害となるため、手順に対応するオブジェクトの内容(図-6b))と、設計計算に対

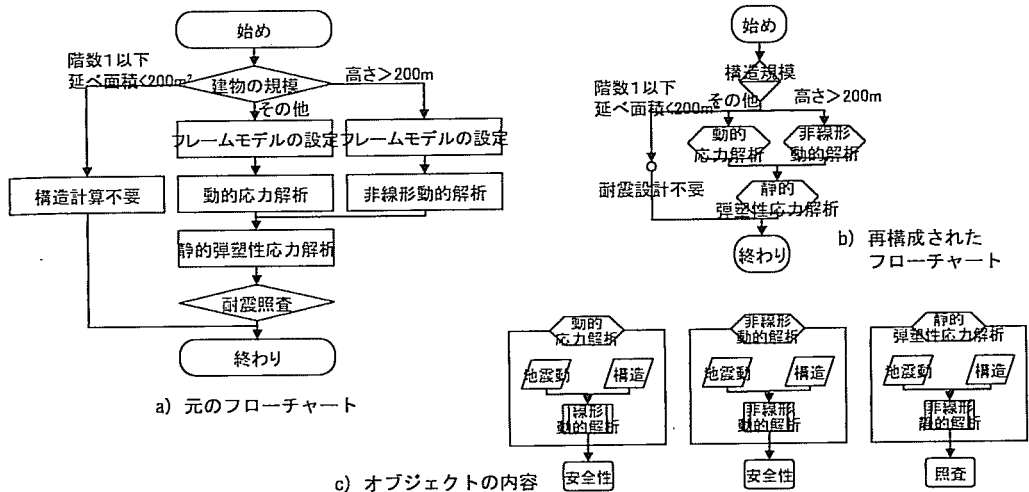


図-9 建築構造物の耐震設計フローチャート

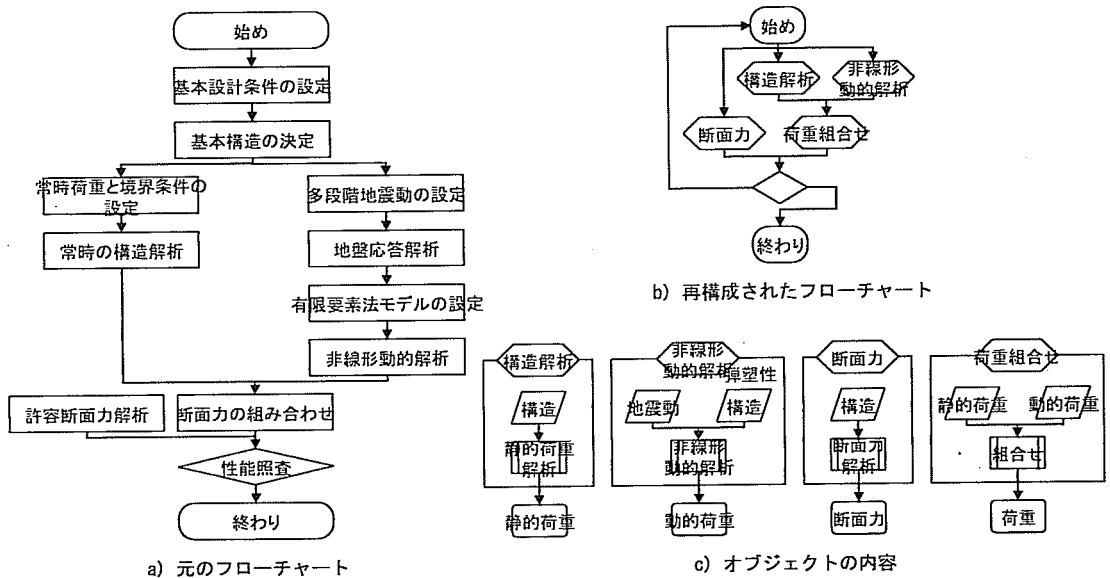


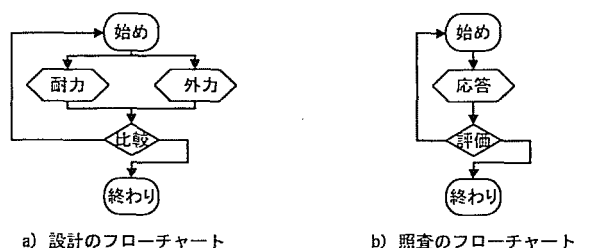
図-10 建築構造物の耐震照査フローチャート

応するメソッドの構成 (図-6c)) に分離して再構成されている。

(3) 継承を使った耐震設計の共通化

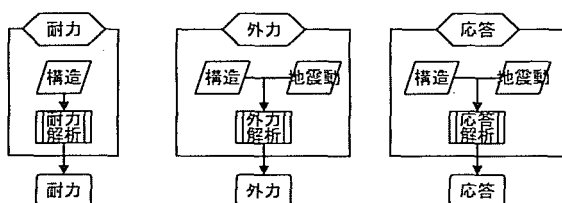
次にコンクリート橋脚の耐震設計フローチャート⁸⁾を 図-7a) に示す。これは概要と手順を示すものである。落橋防止・設計・照査というオブジェクトを使った図-7b) のフローチャート、オブジェクトの内容を示す図-7c) として再構成される。一般的な耐震設計とは異なり、橋梁に特有の落橋防止のオブジェクトが含まれている。一

方、オブジェクトには、弾性動的解析・地震時保有水平耐力法や非線形動的解析・非線形動的解析のメソッドが含まれているが、これは他の構造物にも使われる設計計算法である。同様に、鋼橋橋脚の耐震設計のフローチャート^{9),10)}を 図-8a) に示す。鋼製橋脚の破壊型 (曲げ破壊からせん断破壊) に応じて耐震設計が異なった手順をとることを示している。再構成されたフローチャートもこの点を明示している (図-8b) 参照)。コンクリート橋脚のフローチャートと比べると、オブジェクトの数は多くその流れも複雑である。しかし、コンクリー



a) 設計のフローチャート

b) 照査のフローチャート



c) オブジェクト耐力

d) オブジェクト外力

e) オブジェクト応答

図-11 共通化された耐震設計のフローチャートの骨子

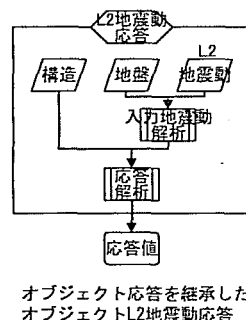


図-12 オブジェクトの継承

ト橋脚のメソッドと異なり、鋼製橋脚のメソッドに用いられるデータは一種類であり、オブジェクトの内容は簡単である(図-8c)参照)。

最後に建築構造物の耐震設計のフローチャート¹¹⁾とその再構成を図-9に示す。図-9a)では、建物の規模に応じて設計計算が場合分けされており、それに応じた設計手順が記述されている。図-9b)では設計の概要として前者のみを示し、図-9c)は設計の手順として後者を示す。同様に、建築構造物の耐震照査のフローチャートとその再構成を図-10に示す¹¹⁾。図-10b)には図-9b)と同じオブジェクトが使われているが、流れが複雑になっており、耐震照査が詳細な検討を必要とする点が明示されている。一方、図-10c)に示されたオブジェクトの内容は、複数のデータを組み合わせる一つのメソッドで計算するというものであり、図-9c)と同一である。

再構成されたフローチャートやそのオブジェクトの内容に対し共通点を抽出し、耐震設計のフローチャートの共通化を試みる。共通化されたフローチャートの骨子を図-11に示す。図-2に示されたように、共通化された耐震設計のフローチャートは設計と照査に大別され(図-11a)とb)参照)、フローチャートに使われるオブジェクトは耐力・外力・応答に区分される(図-11c)~e)参照)。各耐震設計の再構成されたフローチャート(図-6~図-10)は、概ねこのフローチャートやオブジェクトの内容に似通っているものの、元のフローチャートの記述を引きずるところがあり、共通化されたフローチャートとは完全に一致していない。

共通点を抽出して作られたため、図-11c)~e)のオブ

ジェクトの内容は最も簡単なものとなっている。共通点とは別に特化した点を加えることで、各耐震設計に固有のオブジェクトを作ることにする。これは継承と呼ばれる。例えば、L2地震動の解析を行うコンクリート橋脚の場合、オブジェクト応答にデータ地盤やメソッド入力地震動解析を加えることでオブジェクトL2地震動応答が作られるが、これが継承である(図-12参照)。継承を使うことで、継承された部分と付加された部分、または共通点と特化した点を明確に示すことが容易となり、防災担当者の理解を支援すると思われる。

図-13に、ガス導管(GP)・コンクリート橋脚(CB)・鋼製橋脚(SB)・建築構造物(AB)の耐力と外力のオブジェクトの内容を示す。例えば、ガス導管の場合にはオブジェクトGP耐力とオブジェクトGP外力のように表記している。図-11c)とd)のオブジェクト耐力とオブジェクト外力を継承しているため、各構造物のオブジェクトには共通するデータやメソッドが含まれているが、それ以外に構造物に特化したデータやメソッドも含まれている。なお、図-11のフローチャートは設計の概要を示すだけであり、新規なものではないことは再度強調する¹³⁾。しかし、図-13に示されるように、継承されたオブジェクトの内容を明示して、多数の構造物に共通する点と個々の構造物に特化した点を示す記述様式は、設計者ではない防災担当者が耐震設計を相応のレベルで理解するためには有効であると思われる。

再構成されたフローチャートと、共通化されたフローチャートは若干異なっている。例えば建築構造物の耐震設計を例にすると、図-9b)は共通化された図-11a)

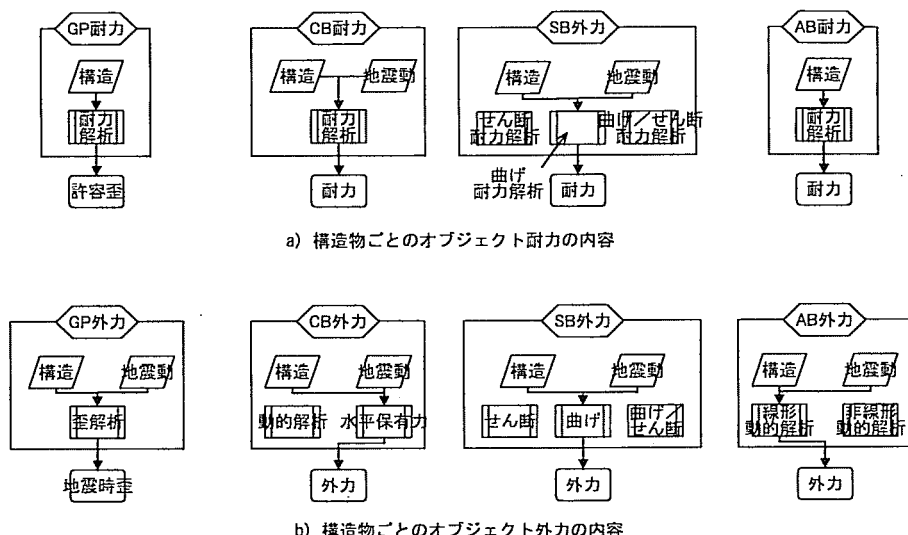


図-13 共通化された耐震設計と耐震照査

と異なっている。動的応力解析という設計計算は、再構成されたフローチャートではオブジェクト動的応力解析であったが、共通化によってフローチャートが同じ形になったため、継承されたオブジェクト AB 外力ではメソッド動的応力解析となっている。同様に、構造物に応じて分類されていた他のオブジェクトも、オブジェクト AB 外力で選択されるメソッドに置き換わっている。このように、元のフローチャートの同じ要素でも、メソッドないしオブジェクトとして設定することが可能である。共通化の観点からは、図-9の再構成されたフローチャートとオブジェクトの内容よりも、図-13のフローチャートとオブジェクトの内容がわかりやすい記述となっていると思われる。しかし、過度の共通化は誤った理解を引き起こすことも懸念される。建築構造物の場合、構造規模によって分類されたオブジェクトとして記述された図が、構造物のオブジェクトの中で選択されるメソッドとして記述される図に替わっており、これは混乱を招くかもしれない。記述様式の変更による耐震設計の共通化はさらなる検討が必要である。

4. 地震応答の統合的可視化

想定された地震に対し、耐震設計で使われる数値解析手法を使って構造物の地震応答や起こりうる被害を可視化すると、耐震設計に基づく被害想定が直感的にわかるようになる。これは防災担当者の耐震設計の理解を助け被害想定技術力の向上につながる。しかし可視化の対象は域内の全構造物である。個々の構造物のみならず被害を受けた都市の全景を可視化する必要

がある。既存構造物の情報は完全ではなく計算用モデルの構築に限界がある点を留保しても、このような可視化は決して容易ではない。最大の課題は地震応答の数値解析手法を一つのシステムに組み込むことである。

本論文では、IES^{15),16)}とメディエータを利用して統合的可視化を試みる。次章で簡単に説明するが、IESは統合的可視化を実行するシステムであり、メディエータはIESに数値解析手法を組み込む機能を持つ。なお、耐震設計の数値解析手法は、設計変数を決定する設計計算と照査用の耐震解析に大別されるが、可視化にはこの分類は無用である。本論文ではシミュレーションプログラム (Simulation Program, SP) と称して両者を同じように扱う。

(1) IES とメディエータ

IES は都市全体の地震動・構造物被害・対応行動を一体として計算するシステムであり、各々、地震シミュレーション・構造応答シミュレーション・対応行動シミュレーションを行う。地震シミュレーションは震源過程・伝播過程・地盤増幅過程を計算する。構造応答シミュレーションはSPの集合であり、土木構造物は勿論、各種建物・構造物の地震応答を計算する。対応行動は避難・救助活動から復旧・復興過程を計算する。IESでは、適当な震源を想定した地震シミュレーションにより都市内各地点の地震動時系列を計算し、構造応答シミュレーションにおいて域内全構造物の応答を求め、対応行動シミュレーションから避難行動等を推定する。IESは対象都市の地理情報システム (Geographical Information System, GIS) に連成される。都市の地下構造や構造物

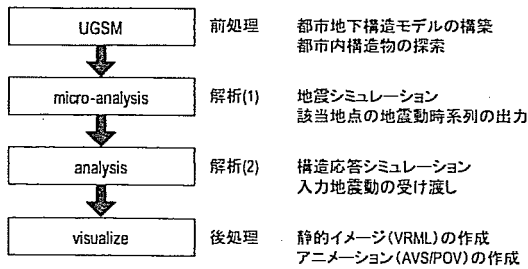


図-14 カーネルの基本的な機能と構造

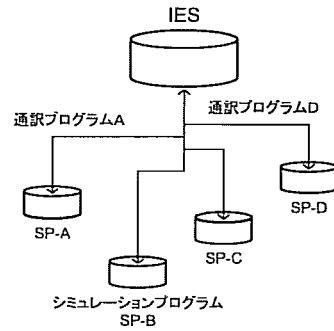


図-15 連邦型データベースとみなした IES

に関するデータを GIS から取り込み、計算結果を GIS に返すのである。IES は地盤や構造部材のライブラリも整備する。

IES はカーネルによって管理される (図-14 参照)。カーネルの主な機能は、現時点では地震シミュレーションと構造応答シミュレーションの実行である。前処理としてモデル生成も行う。例えば、地下構造モデルには GIS のボーリングデータより 3 次元地盤構造モデルを自動生成する UGSM(Under Ground Structure Maker)¹⁵⁾ が使われる。また、GIS とライブラリを使って都市内の全構造物のモデルを作成する。GIS とライブラリの質と量に応じて精緻な構造モデルから単純な構造モデルが作成される。多自由度系の極めて単純なモデルしか作れない場合もあるが、構造物のデジタルデータが利用できることを前提とすれば、構造モデルの自動生成は決して難しくはない¹⁵⁾。さらに後処理である計算結果の可視化もカーネルが担当し、全ての SP の計算結果を統合的可視化に使うことができる。

通常、IES のようなシステムに SP を組み込む際にはプラグイン形式が取られる。プラグイン形式では、カーネルが扱えるよう、SP の入出力の変更が必要である。入力、GIS 内の独自のフォーマットで記述された構造物データやライブラリの材料データと、地震シミュレーションの結果である地震動時系列データであり、書式の変更は容易ではない。入力データの構造が大まかには似通っている場合でも、細部の違いは無視できず修正には手間がかかる。入力よりは簡単とはいえ、SP の出力の書式の変更にも手間がかかる。したがってプラグイン形式は適当ではない。

SP の IES への組み込み方法を検討する際、古典的な数値解析プログラムよりも遥かに多様な形式を持つデータベースの統合化技術^{3), 17), 18), 19)}が参考となる。データベースの統合には、データ構造のフォーマットを一意に指定する狭い意味での標準化から、データベースを

緩い形で統制する連邦型データベース¹⁷⁾がある。緩い形とは、個々のデータベースは変えずに、データベース間のデータのやり取りをする際に通訳を行うエージェント^{4), 20), 21)}を使う形式である (図-15 参照)。通訳エージェントを使った連邦型データベースの構築が本論文で検討する SP の組み込み方法となる。

連邦型データベースではデータベース同士が連携するが、IES では SP 同士の連携はない、常にカーネルが SP を管理する。したがって、必要とされるのはカーネルが SP を管理する仕組み³⁾であり、特に入出力データのやり取りを受け持つことが重要である。本研究では、連邦型データベースの例にならって、この仕組みをメディアータと名づけた。メディアータは、

カーネルと SP の間を取り持ち、特に入出力データを
通訳しカーネルによる SP 群の実行を実現する

という機能を持つ。

プラグイン形式では開発担当者の負担が大きい、メディアータ形式ではメディアータを作成するシステム管理者の負担が大きくなる点は無視できない。実際、SP の入出力の変更とメディアータの作成は同等の手間であろう。この点を解決する一つの方法は、メディアータの作成を自動化することである。次章で、メディアータ形式による SP の統合化を実現するため、メディアータの自動作成を説明する。

(2) メディアータの自動作成

第 2 章や第 3 章で示したように、個々の構造物の耐震設計には特化した部分と共通した部分があるが、個々の SP にも特化した部分と共通する部分がある。簡単のため、有限要素法 (Finite Element Method, FEM) に基づく SP に絞って考えると、SP には共通のプログラム構造がある。この構造に対応させたプログラム構造をメディアータに持たせることで、メディアータの作成が容易になり、さらに自動作成も期待できる。本章で

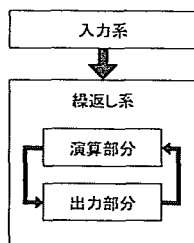


図-16 FEMの基本的な構造

はSPとメディエータの基本構造を検討し、メディエータの自動作成の方法を考察する。

入出力の観点からみたFEMに基づくSPの基本構造は、図-16に示すように、入力系と繰返し系に二分され、さらに繰返し系が演算部分と出力部分に分けられる。入力系では、形状と材料に関するデータと境界条件・外力条件のデータが入力される。繰返し系の出力部分では節点毎の変位ベクトルの他、必要に応じて要素毎の歪や応力が出力される。このようなSPのためメディエータの基本機能を表-1に整理する。最初の4つの基本機能(「構造物の指定」、「地震動取得地点の指定」、「構造データの入手」、「地震動データの入手」)はSPの入力系に対応する。そして基本機能の「結果の取得」がSPの繰返し系出力部分に対応する。基本機能の「構造応答計算の実行」はカーネルの実行命令の仲介、「可視化」が可視化用ファイルの作成である。

表-1の各基本機能は特定のデータに処理を行う形式となっている。処理をメソッドと考えれば、メディエータを一つのオブジェクトとみなすことができる。本論文ではc++を使ってコードを書くため、メディエータはc++のオブジェクトであるクラスとして作成される。オブジェクトであるc++のクラスではメソッドとデータが記述されるが、メディエータのクラスは7つの基本機能に対応した7つのメソッドを持ち、構造と地震動のデータを持つことになる。このクラスの構造は共通であり、メソッドの内容のみがSPに応じて特化することになる。

メディエータの作成を容易にするために継承を利用すべきである。対象とするFEMに基づくSPをAとしてこれを説明する(図-17a)参照)。継承の元はクラスstructureである。これは、IES内での構造物のIDと位置情報をデータとした簡単なクラスである。クラスstructureを継承し、FEMに基づくSPのメディエータのクラスを作るために、節点、要素、材料等のクラスを含んだクラスFEMを作る。節点、要素、材料のクラスは各々、変位の値を含む節点、節点の連結を含む要素、部材の材料等に関するデータを扱い、メディエータが

表-1 メディエータの基本機能

基本機能	内容
構造物の指定	GISのデータを入力して、該当都市内にある対象構造物を選定する
地震動取得地点の指定	地震動シミュレーションに、構造物の入力地震動を取る地点のデータを出力する
構造データの入手	GISやライブラリよりデータを入力して、SPの入力構造データファイルを作成する
地震動データの入手	地震動シミュレーションより該当地点の地震動を入手し、SPの入力地震動データファイルを作成する
構造応答計算の実行	データファイルを使ってSPを実行する
結果の取得	SPの計算結果データを取得し、結果ファイルを作成する
可視化	計算結果データを使って、VMRL形式等の可視化用ファイルを作成する

表-2 メディエータメイカの2つのフェーズ

基本機能	内容
SPの解説	SPのソースコードに対し、入力系と繰返し系出力部分を解説する
メディエータの作成	SPの解説結果を使って、7つのメソッドを記述し、メディエータのクラスを作成する

仲介するのはこのクラスのデータである。クラスFEMを継承し、AのメディエータであるクラスAが作成される。クラスAの7つのメソッドは、構造物の指定にfind structure、地震動取得地点の指定にselect point、構造データの入手にtake data、構造応答計算の実行にanalyze response、地震動データの入手にput、可視化にmake VRML、そして結果の取得にtakeである(図-17b)参照)。これらメソッドがAに独自のものとなる。一方、可視化のためのクラスVRMLを作る。これを継承してAのために特化した可視化のクラスVRML_Aを作る。

メディエータの自動作成は一見不可能な課題である。しかし、SPとメディエータの基本構造の検討により、継承を利用すると自動作成の可能性があることが伺える。以下、本論文では、

SPのソースコードを入力とし、メディエータを出力する人工知能プログラム

をメディエータメイカと称し、自動作成の方法を考察する。メディエータの雛形となるクラス(クラスstructure、クラスFEM等)をあらかじめ作成し、これに個々のSPに対応したメソッドを記述することが方法の概要である。メソッドを記述する具体的な方法として、メディエータメイカに表-2に示す2つのフェーズを設ける。第一のフェーズ「SPの解説」では、図-16に示されたSP

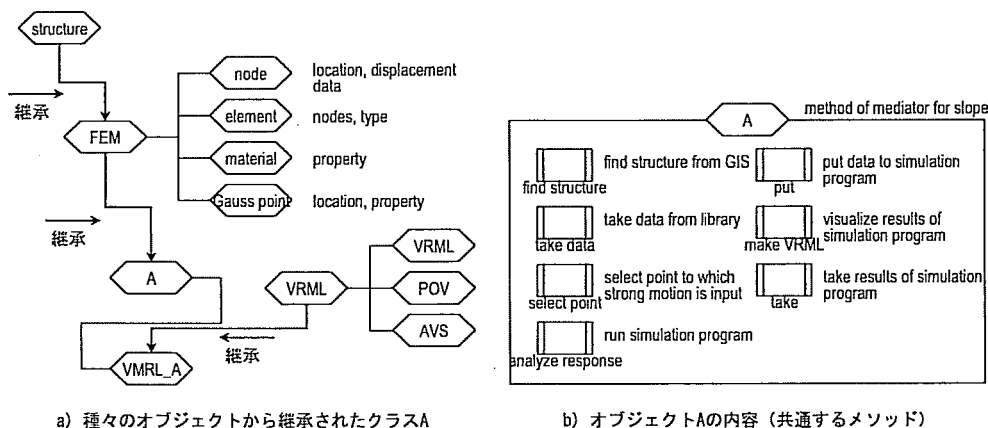


図-17 構造物 A の SP に特有のメディエータのクラス A とそのメソッド

の基本構造に合わせて、メディエータが翻訳する SP 内の入出力変数を調べる。この変数を使って、第二フェーズ「メディエータの作成」は、表-1 の基本機能に対応したメソッドを記述し、メディエータのクラスを出力する。なお、このような人工知能の開発は多大の困難が伴うことを強調する。後述するように、開発中のメディエータメカは不完全であり、メディエータの作成には人力が必要である。しかし、メディエータメカを使うことで人力は削減されている。

5. 統合的可視化の例

地震応答の統合的可視化に使われる IES のプロトタイプ概要を図-18 に示す。主要要素はカーネル (kernel)、データ (data)、メディエータ (mediator) 群、SP (simulation program) 群、可視化プログラム (visualization) である。開発された IES のプロトタイプには、ガス導管、コンクリート橋脚、鋼製橋脚、盛土という 4 つの構造物の SP と対応するメディエータが組み込まれている。SP は専門家の手によって耐震設計やその研究のために開発されており、固有のメディエータを介して IES のカーネルに統合されている。ガス導管では静的解析、そして橋脚と盛土は FEM を使った動的非線形解析を行う。IES の開発のポイントはメディエータを自動作成するメディエータメカである。

開発中のメディエータメカは、前章の表-2 で説明された 2 つのフェーズを図-19 のように実行する。第一のフェーズ「SP の解説」では、SP のソースコードに対しダイジェストコードを作成する。ダイジェストコードは、I/O とループ・コンディションが明示された簡単なコードであり、演算部分は除かれている。作成に際しては、1) サブルーチンの分析と 2) 共通メモリ

表-3 FEM に共通する基本的な変数の特徴

変数	特徴
節点数	入力系の最初に出現する。入力系のループと、繰返し系の出力部分のループを制御する
要素数	入力系の最初に出現する。入力系のループと、繰返し系の演算部分のループを制御する
時間ステップ数	入力系に出現する。繰返し系のループを制御する

の分析が重要である。サブルーチンの分析では、ソースコード内の全サブルーチンを見つけ、各々の I/O を検索し実行の順番、I/O の対象となる変数のデータ型やフォーマットが調べられる。サブルーチン内で I/O が再帰文や条件文の対象になっている場合、その構造から、実際の入出力の回数や条件が決定される。最後にサブルーチンの相互関係が分析され、呼び出し文の再帰や条件とサブルーチンの変数から、メインも含むサブルーチンの呼び出し関係や変数の受け渡しが分析される。共通メモリの分析では、ソースコード全体に共通するファイルのチャンネルや共通データが分され、I/O とオープン・クローズの関係、コモン文と変数の関係が調べられる。ダイジェストコードの例を図-20 に示す。コンクリート橋脚と盛土の動的解析ソースコードから自動作成された入力と出力のダイジェストコードである。文頭の read と write は入力と出力でありチャンネルと変数 (鍵括弧内は変数型) を合わせて表示する。文頭の ini と fin がループの開始と終了であり、制御変数と繰返し回数の変数を表示する

第二のフェーズ「メディエータの作成」では、ダイジェストコードを分析し、メディエータのクラスの c++ コードを作成する。ダイジェストコードは I/O 文とそれを含む再起文と条件文からなるため、具体的な作業

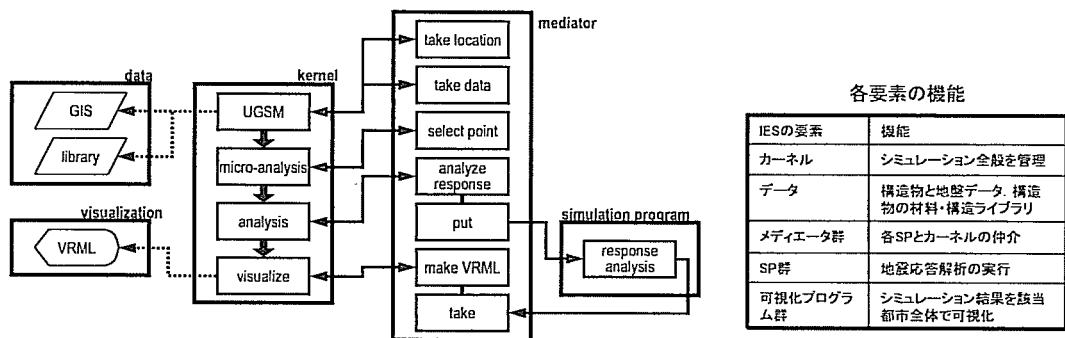


図-18 開発された IES のプロトタイプの基本的構造

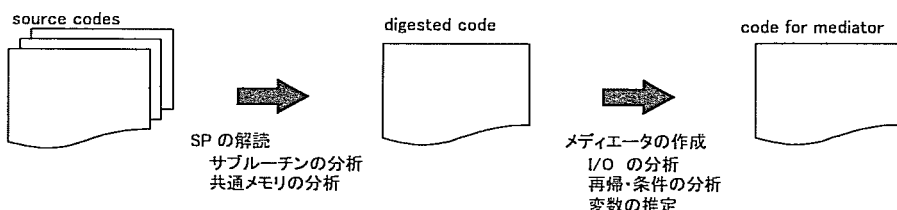


図-19 メディエータメイカの作業内容

は、1) チャンネルと変数を調べるための I/O の分析、2) I/O の実行条件を知るための再帰・条件の分析が必要である。この分析結果を基に、3) I/O の対象となる変数の推定を行う。推定された変数を使って、継承元のクラスのメソッドを適宜変更し、メディエータメイカはメディエータを作成する。変数の推定は、データの入力に関するメソッド take data と put と、計算結果の出力に関するメソッド take の作成に重要である。

図-19 の「メディエータの作成」は「SP の解説」に比べ格段に難しい。特に、変数の推定が困難である。推定される対象は、具体的には、入出力される変数のデータ型式や個数と、変数の意味である。開発中のメディエータメイカでは、I/O のフォーマット文や I/O の実行に関わる再帰文や条件文を解析することで変数のデータ形式や個数を推定することができるが、変数の意味の推定は完全ではない。変数が何を表すかという推定ができなければ、GIS やライブラリから該当するデータを取得することはできないし、可視化に供する出力データを選ぶこともできないため、意味の推定は重要である。任意のソースコードでの意味の推定は言語解析に通じる高度な分析解析が必要とされ、至難の技であろう。しかし、FEM を基とした SP に対しては、プログラム構造が共通することを利用して、ある程度、変数の意味の推測が可能である。開発中のメディエータメイカは、この点を利用して、FEM の基本的な変数で

ある、節点数・要素数・時間ステップ数の推定を行っている詳細を下記に述べる。

節点数、要素数、時間ステップ数は比較的早く入力され、また、入出力に関するループを制御する。その特徴を表-3 に示す。表から明らかなように、ソースコードのループの構造とそれを制御する変数から 3 つの変数の推定が可能である。具体的には、ダイジェストコードの入力系と繰返し系の出力部分に現れる変数に対し、入力系の入力変数とループの制御を行う変数、繰返し系の制御を行う変数、繰返し系の出力部分でのループの制御を行う変数を抽出すれば、それが表-3 の特徴を持つ節点数、要素数、時間ステップ数の変数となる。例として、図-20 に示されたコンクリート橋脚と盛土のダイジェストコードを分析し、変数の推定を行ったメディエータメイカの結果を図-21 に示す。水平軸は I/O に出現した変数、鉛直軸は出現頻度であり、各変数に対し、ループに入らない入力 (read/LL=0)、ループに入らない出力 (write/LL=0)、そしてループ内で実行される出力 (write/LL=1) での出現頻度を示している。LL は loop level の略であり、LL=0 はループの外、LL=1 はループの中である。コンクリート橋脚の SP の解析結果を図-21 a) に示す。INODE、IMEM、IJK が節点数・要素数・時間ステップ数として推定されている。この変数は他の変数に比べ入力・出力とも出現頻度が高いが、ループの有無に関連して頻度が変化していることが重

```

read: 10 IMEM[I] INODE[I] MX[I] KFCS[I] KSCS[I] KINDS[I]
lnl: 1: 1- INODE
read: 10 NO[I] (DDDO(6*I-1),L=5,0,-1)[d]
fin: 1: 1- INODE
lnl: 1: 1- INODE
read: 10 NO[I] (NC(6*I-1),L=5,0,-1)[I] (NB(6*I-1),L=5,0,-1)[I]
fin: 1: 1- INODE
lnl: 1: 1- IMEM
read: 10 MEM[I] NMEM(I,1)[I] NMEM(I,2)[I] ISHAP(I)[I] ...
fin: 1: 1- IMEM
read: 10 ECO1[d] FT1[d] FC1[d] GFC1[d]
read: 10 ECO2[d] FT2[d] FC2[d] GFC2[d]
read: 10 ARUFA[d] BETAC[d] C[d]
lnl: 1: 1- KFCS
read: 9 NOT[I] NFIB(I)[I]
lnl: 1: 1- NFIB(I)
read: 9 YYC[d] ZZC[d] ARE[d] YY1[d] YY2[d] ZZ1[d] ...
fin: 1: 1- NFIB(I)

```

a) コンクリート橋脚のソースコードの入力ダイジェストコード

```

lnl: 1: 1- NTIME
write: 12 'NCOUN>'[x] MAXNR[I]
...
write: 6 'DYNAMIC/'[x] IT[I] 'NCOUN='[x] NCOUN[I]
write: 12 NNCO[I]
lnl: 1: 1- ND
write: 12 NND(I)[I] TDN(3*NNDIO-2)[d] TDN(3*NNDIO-1)[d] ...
write: 15 NND(I)[I] TDN(3*NNDIO-2)[d] TDN(3*NNDIO-1)[d] ...
fin: 1: 1- ND
lnl: 1: 1- NEP
lnl: 1: 1- 8
write: 12 MEP(L1)[I] LI[I] SIX(L,I)[d] SIY(L,I)[d] ...
fin: 1: 1- 8
lnl: 1: 1- NEP
fin: 1: 1- NTIME

```

b) 盛土のソースコードの出力ダイジェストコード

図-20 ダイジェストコードの例

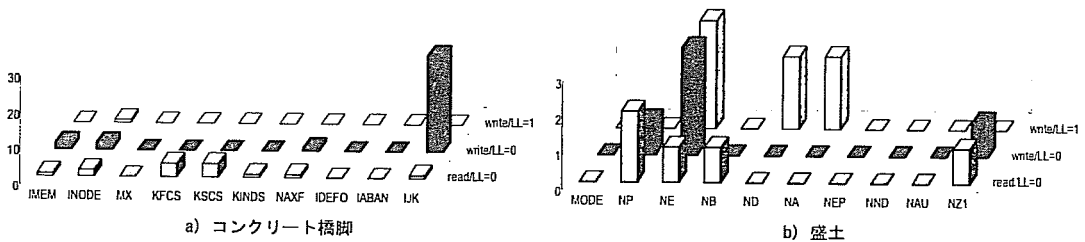


図-21 メディエータメイカが解析したソースコードの変数とその出現回数

要である。例えば、IJKは write/LL=0での出現頻度が他の変数よりも圧倒的に多く、INODEは read/LL=0、IMEMは write/LL=0の出現頻度が多い。表-3に示された出現パターンを使って、変数の意味が推定された。同様に、盛土のSPの解析結果を図-21 b)に示す。NPとNEが節点数と要素数であることが同定されている。

開発中のメディエータメイカでは節点数・要素数・時間ステップ数の推定以降、手作業でメディエータを作成する。自動作成は不完全である。しかし、この変数が推定された場合、クラスの継承とダイジェストコードを利用することもあり、作成の労力は格段に削減されている。なお、ソースコードの入力ファイルが利用できれば、入力系の比較から入力される変数の推定が容易となる可能性がある。現時点でメディエータメイカに入力ファイルを解析する機能は含まれていないが、検討は必要である。

以上の準備を元に、図-22に示す IES 内の仮想都市 (virtual city, VC) を構築した。この VC は東西・南北方向に 300[m] である。仮想的な GIS を設け地盤構造と構造物が置かれている。GIS のボーリングデータより UGSMI を使って 40[m] の深さで 3 層の地層境界が判定

されている。構造物は、4 本のガス導管、5 脚のコンクリート橋脚、7 脚の鋼製橋脚、そして 4 つの盛土がある。GIS の構造物データから、各構造物の位置と形状が取得され、図-23 に示す解析モデルが自動生成されている。材料特性は IES 内のライブラリから取得されている。地盤の P 波速度 (V_p) と S 波速度 (V_s)、材料パラメータ等の構造物データを表-4 に示す。図-22 と図-23 は IES の統合的可視化の例であり、構造物単体と VC 全体像の VRML ファイルとして自動作成される。このファイルは静的画像であるが、視点や視野を動かすことが可能である。モデル構築と VRML ファイルの作成もメディエータを介して行われる。

構築された VC の地震応答の統合的可視化の例を図-24 に示す。基盤に、東西方向の振幅 10[cm]、周期 1.00[sec] の半波正弦波が入力された場合のシミュレーションである。図は 0.2[sec] 毎の構造物の変位応答のスナップショットである。変位は 10 倍に拡大されている。予想されることであるが、同一の構造物でも、地盤の違いにより地震応答に差が生じていることが見て取れる。特に盛土に地震応答の差が多くみられた。右上に位置した盛土は $t = 0.2[\text{sec}]$ 付近で数値計算が不安定になり

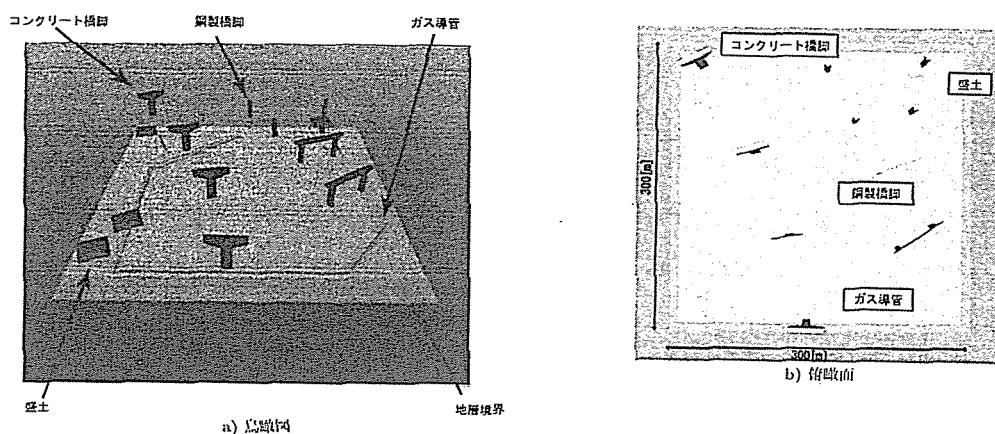


図-22 VC の例

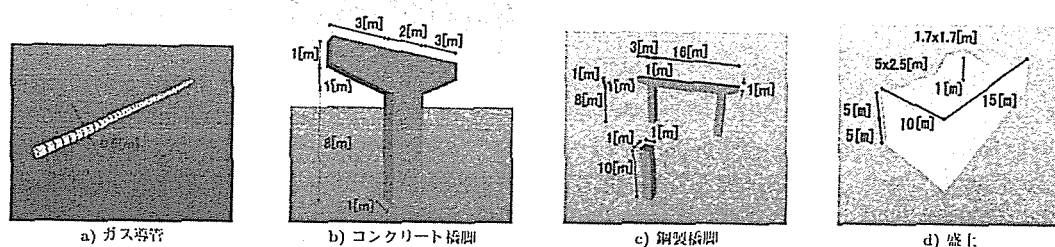


図-23 GIS よりメディエータを使って自動的に作成され VC 内に埋め込まれた構造物モデル。

非常に大きな変位が計算されている。一方、似通った地点でも、固有振動数の違いによる構造物の揺れの違いも生じている。中ほどにあるコンクリート橋脚と鋼製橋脚では鋼製橋脚の揺れが大きくなっている。コンクリート橋脚の最大変位は鋼製橋脚の最大変位の 20% 程度である。組み込まれた SP による構造物の応答解析は全て非線形であり、損傷の発生過程や最終的な損傷の度合いも出力することができる。残留変位に対応させるため、変位のノルムが図-24 に示されている。基盤の入力地震度の振幅 10[cm] を基準とした相対変位である。構築された VC の中では、他の構造物に比べて、盛土の残留変位が大きい結果となっている。構造物毎、また、同種であっても地盤条件の違いによって、地震応答が異なることが可視化される点を強調する。対象とする構造物の耐震設計に基づく SP の地震応答解析は技術的に高いレベルにあるものであり、解析結果は相応の信頼がある。したがって、図-24 に示すような統合的可視化が耐震設計の理解やそれに基づく被害想定の高度的に寄与することは十分期待できる。特に、定性的のみならず定量的に構造物の揺れや損傷の度合い

が示されることは効果的であると考えられる。

本論文の目的は、耐震設計に用いられる数値解析手法を使った統合的可視化の実現可能性を示すことであり、その手法として IES とメディエータの利用が検討されている。したがって、IES のシミュレーションの妥当性を議論することは本来の目的ではなく、図-24 の結果は、あくまでも IES が実際に実行可能であることを示す例にすぎない。しかし、IES のシステム全体の有効性を吟味する際には、シミュレーションの妥当性は必須である。信頼性に欠けるシミュレーションでは防災担当者の理解は得られない。その点、SP を組み込んだ IES の地震応答解析の結果は、耐震設計に実用されているため、妥当性には問題がない。むしろ入力となる地震動の確からしさが問題となるであろう。この点は、地震のシナリオをさまざまに変えた IES のシミュレーションを行い、予想される入力地震動に幅があることが明示されれば解決可能であると考えられる。地震のシナリオに応じて個々の構造物や都市全域で被害が異なるため、IES を使った統合的可視化によって、非専門家でも直感的にわかりやすい幅をもった被害予

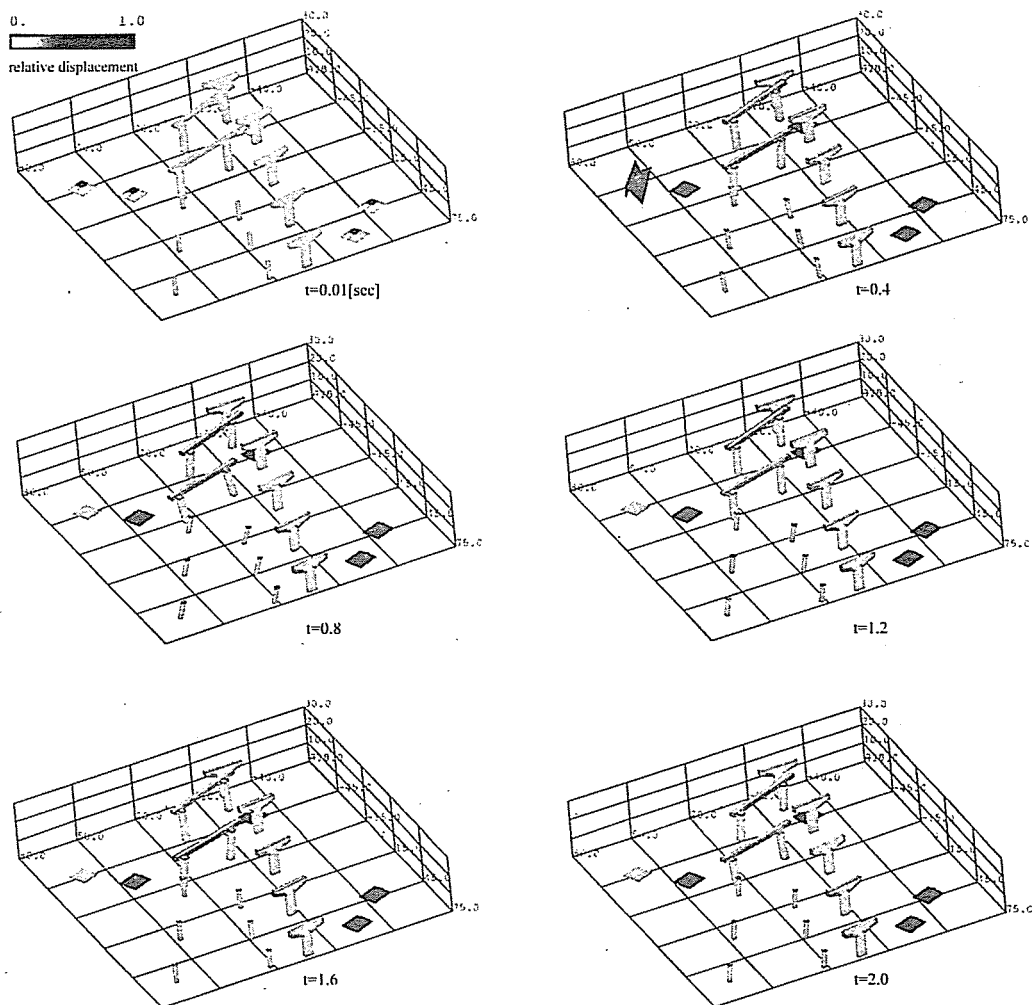


図-24 VCの統合的可視化の例

測が可能となる。これは防災担当者には有益である。一方、地震応答の予測・再現に要求される精度が構造物によって異なることは注意が必要である。耐震設計に用いられる計算精度や要求精度が異なることは防災担当者が理解すべきであろう。適切な形でこの違いを IES とそれを利用した統合的可視化に組み込む必要がある。

6. 結論

耐震設計の共通化を図るため、情報科学に基づくオブジェクトを使った記述様式を考案した。オブジェクトを使って耐震設計のフローチャートを再構成することで、多種多様の耐震設計の理解を支援することが可能である。特に、元のフローチャートが、設計の概要、手順、設計行為という三つのレベルに区分され、かつ、

それぞれがオブジェクトを使ったフローチャート、オブジェクトの内容、メソッドの手順として記述されることは、個々の防災担当者に要求されたレベルで耐震設計を理解することに有効であると思われる。耐震設計の共通化は防災担当者に限らず今後の重要な課題となる可能性があり、さらなる検討は必要である。

域内の全構造物に対し、地震応答の統合的可視化を実現するため、IES とメディエータの利用を検討した。SP の統合にメディエータを用いることで IES のプロトタイプが開発されたが、このプロトタイプは、VC の自動作成と地震応答解析、そして全構造物の地震応答の可視化を可能とする。なお、IES 自体開発途上であり、メディエータメカは計算科学でも類のない人工知能であるため、研究の先行きには不透明な点があることは否定できない。しかし、防災担当者が地震被害を予見

表-4 VC の地盤・構造物データ

a) 地層のP波とS波速度

	V_p [m/s]	V_s [m/s]
第1層	229	135
第2層	340	200
第3層	425	250

b) 構造物のパラメータ

構造物	内容
コンクリート橋脚	鉄筋: 初期勾配17400MPa・m ² , 二次勾配3500MPa・m ² , 降伏強度3500MPa コンクリート: 圧縮強度時歪-0.002, 引張強度20MPa, 圧縮強度-298MPa, 圧縮破壊エネルギー48.94MPa, モデルパラメータ $\alpha=0.01$, $\beta=0.02$, 引張硬化係数 $C=20.00$ 一定(圧縮)軸力: 2000t ファイバー要素 ニューマークベータ法: $\alpha=0.49$, $\beta=0.9$
鋼製橋脚	鋼: ヤング率200GPa, 降伏強度289.6MPa, ポアソン比0.3 上載過重: 7000t ファイバー要素
盛土	盛土材: ヤング率10MPa, ポアソン比0.4, 粘着力10kPa, 内部摩擦角15度, ダイレクタンシー角15度, 単位堆積重量16kN/m ³ 三層構造 二十節点六面体要素 レイリー減衰: $\alpha=0.171359$, $\beta=0.001736$

するためには、統合的可視化に代わる代替がなく、IESの開発を推進することが必要である。構造物ごとに地震応答解析手法が整備されている現状をみると、堅牢性の高いメディアータメイカの開発が極めて重要な課題である。

防災担当者の技術力向上のために上記の二つの方策を検討したが、耐震設計の共通化や計算機内の仮想現実を利用するのみでは限界がある。構造物被害の実際を見ることが重要である。具体策として、現在建設が進められているE-Defenseで行われる実大構造物の破壊模擬実験や、実験の結果に生じた構造物・部材の被害を間近で見学することが挙げられる。地方自治体の防災担当者が技術力を向上させるトレーニングとして有効であると考えられる。

謝辞: 本研究を実施するにあたって、土木学会地震工学委員会統合地震シミュレータ研究開発小委員会の委員より、さまざまな助言と有意義な議論をいただいた。ここに記して感謝の意を表する。

参考文献

- 1) 自治体危機管理研究会: 自治体職員のための危機管理読本, 都政新報社, 2002.

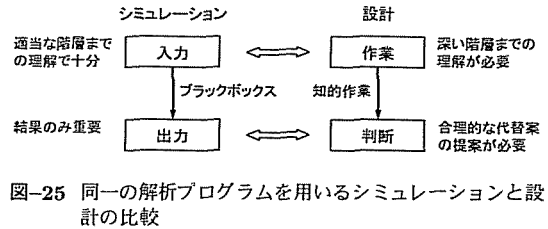


図-25 同一の解析プログラムを用いるシミュレーションと設計の比較

- 2) 林春男: いのちを守る地震防災学, 岩波書店, 2003.
- 3) 西尾章治郎, 太田友一, 横田一正, 西田豊明, 佐藤哲司: 情報の共有と統合, 岩波書店, 1999.
- 4) 長尾確: エージェントテクノロジー最前線, 共立出版, 2000.
- 5) Muller, R.J. (荻部英司訳): オブジェクト指向設計法によるデータベース設計技法—UMLによるデータ・モデリング, 三元社, 2002.
- 6) 耐震設計法/限界状態設計法, 鹿島建設土木設計本部編, 鹿島出版会, 1993.
- 7) 高圧ガス導管液化耐震設計指針, 社団法人日本ガス協会, 2001.
- 8) コンクリート標準示方書 [耐震性能照査編], 土木学会, 2002.
- 9) 道路橋示方書・同解説, V 耐震設計編, 日本道路協会, 1998.
- 10) 橋の動的耐震設計, 土木学会, 2003.
- 11) 建築物の性能設計と検証法—耐震設計を中心として, 日建設計東京オフィス構造設計室 (編), オーム社, 2003.
- 12) 実務の先輩たちが書いた土木構造物の耐震設計入門, 土木学会, 2001.
- 13) 土木構造物の耐震設計ガイドライン—耐震基準作成のための手引き—, 土木学会地震工学委員会耐震基準小委員会, 土木学会, 2001.
- 14) 耐震設計と構造力学, 日本機械学会編, 日本工業出版, 1985.
- 15) Yang, F., Ichimura, T. and Hori, M.: Earthquake simulation in virtual metropolis using strong Motion simulator and Geographic Information System, *Journal of Applied Mechanics, JSCE*, Vol. 5, pp.527-534, 2002.
- 16) Ichimura, T. and Hori, M.: Macro-micro analysis for prediction of strong motion distribution in metropolis, *J. Struct. Mech. Earthquake Eng., JSCE*, No. 654/I-52, pp.51-61, 2000.
- 17) Hammer, J., Gracia-Monlina, H., Ireland, K., Papakonstantinou, Y., Uhlman, J. D. and Widom, J.: Information translation, mediation, and mosaic-based browsing in the TSIMMIS system, in *Exhibits Program of the Proceedings of the ACM SIGMOD International conference on Management of Data*, 483, San Jose, California, June, 1995.
- 18) Uhlman, J. D.: Information Integration Using Logical Views, in *Proc. ICD'97*, Springer LNCS 1186, pp.19-40, 1997.
- 19) 河野浩之, 山田誠二, 北村泰彦, 高橋克巳: インターネットの知的情報技術 情報検索とエージェント, 東京電機大学出版局, 2002.
- 20) Gruber, T. R.: A translation approach to portable ontology specification, *Knowledge Acquisition*, Vol. 5, No. 2, pp.199-220, 1993.
- 21) Hirose, M., Tanikawa, T. and Endo, T.: Building a virtual world from the real world, *Mixed Reality* -

Merging Real and Virtual Worlds (ed. by Ohta, Y and Tamura, H.), Springer-Verlag, pp.183-197, 1999.

- 22) 矢川元基, 関東康裕: オブジェクト指向計算力学入門, 培風館, 1999.

(2004. 9. 6 受付)

STANDARDIZATION OF SEISMIC RESISTANCE DESIGN PROCEDURES AND UNIFIED VISUALIZATION OF STRUCTURE RESPONSE FOR IMPROVEMENT OF ENGINEERING ABILITY

Muneo HORI, Junya INOUE, Tsuyoshi ICHIMURA, Hikaru NAKAMURA, Akihiko WAKAI,
Takemasa EBISAWA and Naoya YAMAGUCHI

It will be an important task for local government officers to improve their engineering ability of foreseeing possible earthquake damages. To this end, this paper studies the standardization of seismic resistance design and the unified visualization of structure responses in whole city. Taking advantage of informatics, we reconstruct flowchart of various design codes such that the seismic resistance design can be presented in a common framework. The usage of integrated simulation system is studied for the visualization. The integration is achieved by an artificial intelligence that automatically makes an interpreter program which links the system to various simulation programs of structures.