



土木研究所資料第942号

地震防災計画システムと

耐震設計システムについて

昭和49年3月

建設省土木研究所
企画部システム課

まえがき

昭和47年から総合技術開発プロジェクト研究として「新耐震設計法の開発」がとりあげられ、そのワンパートをシステム課も分担するようになるとの話があつてのち、課内でその分担テーマのみならず、プロジェクト全体についても何回か討論を行ない、その結果は研究の糧とすべく今日まで記録し保存しておいた。

しかるに諸般の事情から、システム課分担予定のテーマが研究着手することなく見送られることになり、今回、3年間の研究準備段階の討議メモの散逸を防ぐために取り急ぎ印刷するものである。

従つて研究成果報告書と異なり、問題点の提起と若干のモデルの提案のみで、データの収集とそれによるモデルの検証、修正等についてはふれようもなく、また用語についても他のこの種の研究成果報告書との整合に意を用いてないことをおことわりしておきたい。

本冊子は2部から構成されており、第1部の「地震防災システムに関する研究」はプロジェクト研究発足当初からシステム課担当課題として設定されたもので、従つて検討参加者は下記の通りである。

永井 靖 郎	(建設省大臣官房政策企画官) (前 システム課長)
岩松 幸雄	(企画部システム課長)
藤田 益夫	(企画部システム課 建設専門官)
熊谷 恒一郎	(機械施工部施工研究室 研究員)
関 正和	(企画部システム課 研究員)
梶 太郎	(" ")

また、第Ⅱ部「耐震設計システムに関する研究」についてはプロジェクト研究全体について永井氏を中心に下記のグループで討論して昭和47年にとりまとめたものである。

永井 靖 郎	(建設省大臣官房政策企画官) (前 システム課長)
岩松 幸雄	(企画部システム課長)
熊谷 恒一郎	(機械施工部施工研究室 研究員)

先に述べたように資料の散逸を防ぐためにとりまとめたものであり、本冊子が今後この種の研究の一助になれば参加者の1人として幸甚これに過ぎるものはない。

昭和49年3月

土木研究所企画部システム課長
岩松 幸雄

I 部 地震防災計画システムの確立
に関する研究

目 次

は じ め に	1
I 地震防災計画の現状と問題点	2
II 地震防災計画システムの目的と概要	4
1) 地震防災計画のシステム化の目的	4
2) 地震防災計画システムの概要	5
III 地震防災計画システムの確立	8
1) 地震防災計画マトリックスの作成	8
2) 地震防災計画策定に必要な調査・検討	10
IV 地震防災計画プロセスの考察	13
V 地震防災計画シミュレーターの提案	14

はじめに

我が国は、地震の発生の確率が高く、又、その規模も大きい。更に、都市の過密、防災体制の不備によって大災害につながる社会環境、自然環境が存在している。このような状況において一度震災が生ずると社会生活への影響は極めて大きいと言わねばならない。たとえば、昔は自然水で生活し、交通手段も発達していなかったため、地震のために起る社会的機能低下の程度も小さかったといえるが、現在では交通がストップし、ガス、水道、電気が止まり各所で火災が発生し、大混乱に陥ることは必至である。

今までの地震防災手法といえば、一般に、個々の施設の耐震性を高めることを目的とした設計法にたよっているだけで、地震を一つの巨大施設としてとりあつかった、都市計画学の立場からの地震防災という考え方がまだ普及されていない。しかし、年々複雑化、広域化している地域社会においては、そういった大局的な見地での地震防災計画が適切かつ迅速におこなわれる必要がある。

本研究もそういった意味で、大地震の発生が予測される我国の、今後の地震防災計画に一助となることを期待している次第である。

I 地震防災計画の現状と問題点

南関東では、震度5以上の破壊地震には周期がみとめられ、その誤差を考えると、1978年にはそろそろ危険期に入ることになる。こういった状況において東京をはじめ各地で本格的に防災計画に取り組む姿がみられる。ここでは、それら地震防災計画の問題点を列挙してみる。

① 計画の実施によって当該地域の震害状況にどのような効果・影響を与えるか、又、計画を実施したことによって、平常時の地域の社会環境、自然環境がどのように変化するか等を把握する際、検討を加えるべき項目が体系的、網羅的にリストアップされていないため、防災計画に手落ちが生ずる。

② 地震防災計画を策定していく段階においておこなわれる調査・研究作業（例えば、火災がどのように拡大していくかに関する研究等）には定量的に把握できるものと勘に頼らざるを得ないものとに分類できようが、地震防災計画の目的からいって、どの手法を採用してどの程度の精度までつめる必要があるのかが明白でないため、必要以上の調査・研究をしたり、調査・研究が足りない場合等が生じ、防災計画の策定過程に支障をきたすことがある。

③ 計画策定中に、地域の社会環境・自然環境が著しく変化し、計画の手戻りが生ずる。

④ 地震防災計画と関連のある上位計画（地域計画等）・下位計画（防災拠点整備計画等）・同レベルの他の計画との間の整合性があいまいである。即ち、夫々の計画の間でやりとりすべき情報が何であるか、又、上部組織・下部組織・他の組織の仕事の分担をどこで仕切るかがはっきりしていないために、無駄のない終始一貫した防災計画を策定することが困難である。

⑤ 地震防災計画の手段を何にすればよいかは明白でない、言い換えれば地域の防災計画の手段が体系的、網羅的にリストアップされていないので、防災計画自体がかたよったものとなる恐れがある。

⑥ 一つの地震防災計画案が提出されても、それを正確に評価できるだけの態勢が確立されていない。要するに、その案がどの程度計画の意図を反映しているものであるかをチェックすることができないというのが実情である。

⑦ 現在の地震防災計画は、目標を重視して、過程を軽視する傾向にある。即ち、計画が完全に実施された後に出現する様々な事象に対してのみ検討を行っているだけで、計画の実施段階において、出現する様々な事象に対しての検討があまりなされていない。

⑧ 地震防災計画の手段は、そのもつ防災効果の経時的変化によって大きく2つに分けることができる。一つは、図-1の(a)に示してあるように計画を実施してもある一定期間はその防災効果は全く望めず、施設の完成等によってはじめて効果が出る。もう一つは、図-1の(b)に示してあるような計画実施によってすぐに効果の表われるものであるが、現在の防災計画は、(a)の型の防災手段にたよる傾向があり、地震の起る時期によっては計画が無駄になることも考えられる。

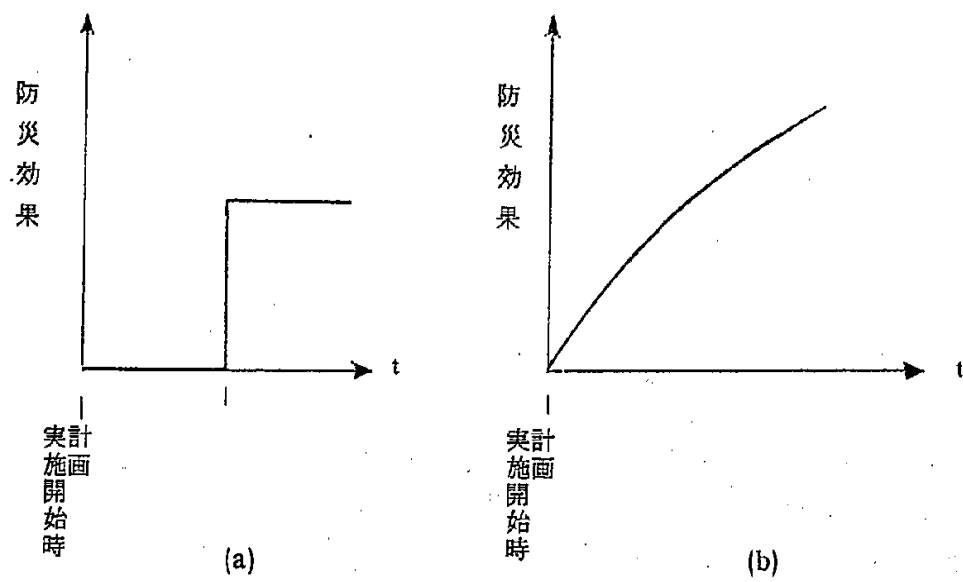


図-1 防災効果の経時的変化

Ⅱ 地震防災計画システムの目的と概要

1) 地震防災計画のシステム化の目的

“備えあれば、優いなし。”の故事が示すとおり、適切な防災体制があれば、大地震から、地域住民の生活を守ることができる。地震防災計画も適切な防災体制を策定するという意味で重要かつ必要であるが、現在の防災計画は前節にも述べたとおり、数多くの問題点があり、地震防災計画のシステム化の目的もこれらの解決にある。計画学が大成されていない今、これら問題点をいっさい解決して計画のシステム化を図ることは困難であろうが、社会規模が拡大し、社会機構が複雑化している現在、関東大震災級の地震が日本列島を襲った場合のことを想定すると、今すぐにも取りかからねばならぬ課題といえる。

本研究においては、地震防災計画をシステム化することによって次の3つの成果を得る予定である。

- ① 地震に対する最適かつ合理的な防災計画策定手法の基準化
- ② 地震防災計画案の評価手法の確立
- ③ 地震防災計画シミュレーターの提案

2) 地震防災計画システムの概要

地震防災計画を構成していると思われる様々な要因は次の4つに分類され、一つのシステムを形成している。1)

- ① 地震防災計画の意図
- ② 地震防災計画の手段
- ③ 変化状況
- ④ 地震防災計画の条件

地震防災計画の意図

人間には、「震害を最小限にしたい。」「地震を予知したい。」「地震の源となるひずみエネルギーを他の形で逸散させたい。」等の様々な欲求があるが、これが地震防災計画として論議・検討されるには、欲求をみたすための手段が必ず一つ以上漠然とした形でもよいから浮かび上がる必要がある。

計画を具体的に策定していくためには、欲求といった漠然とした形で記述しておくのは非常に不便であるので『計画対象地震』、『地域の快適性・発展性』、『住民の生命・資産の安全性』、『費用便益比』等の尺度を用いてそれら欲求を明確にせねばならず、このような明確化された尺度の集合が地震防災計画の意図である。

意図は一般に、複数の要因で構成されているが、地震防災計画の担当者の各要因に対する価値感が異

1) 建設省土木研究所企画部：“土木計画とそのシステム”，土木研究所資料

なっているため要因の中でどれを重視するかそのウェイトづけが非常にむずかしい。

地震防災計画を実施した場合、地域の被害状況、又、普断の地域の自然及び社会環境の変化等が、計画の意図にどの程度かなったものであるかをチェックする際に先に述べたウェイトづけ、数量化の問題が本研究において重要な課題となることは言うまでもない。

地震防災計画の手段

地震防災を行うための実際的手段となる要因の集合で、地震防災計画においては、『施設の耐震強化』『施設の不燃化』、『地震防災拠点の整備』、『オープンスペースの設置』等が考えられよう。地震防災計画の策定作業はすべてこの防災手段をどのように決定するかに費やされていると考えられる。

変 化 状 況

地震防災計画の策定過程において、考えている防災手段がはたして防災計画の目的に合ったものであるかは簡単には答えが出せない。又、逆に防災計画の目的を満足するような防災手段を一挙に決定することは出来ない。なぜなら、地震防災計画の意図と手段はその間に数多くの変化状況を通じてはじめて結びついてからである。

例えば、「風が吹けば、桶屋がもうかる」という原因と結果の間に「盲人の増加」、「三味線の需要」「猫の減少」、「ねずみの増加」といった中間段階を表わす要因があるのと同じである。

この数多くの変化状況（少ない場合もあるがそれは稀である。）を表わす要因を通じて、地震防災手段と計画意図とのチェックが可能になるわけであるから、変化状況を表わす要因を上げそこなうと、その防災手段に対する評価が正しく行えなかったり、計画意図が正確に防災手段に反映されなかったりして、計画の実施段階もしくは実施後に思わぬ被害が生じることになるのである。

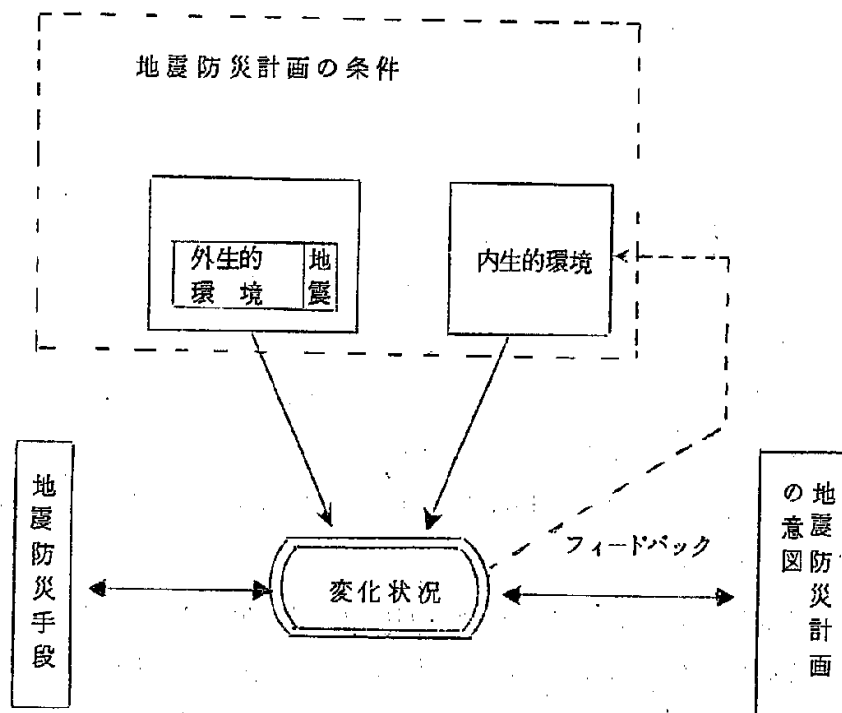
地震防災計画の環境

計画意図と防災手段の中間的な存在である変化状況を把握する上に、ぜひとも調査、検討を行っておく必要のあるものが地震防災計画の環境であり、更にこれらは、地震が発生したときの時刻、気象、気候、地形、地質、震度等の防災手段によって何ら影響を受けない外生的環境と、地震による施設の破壊状況、機能停止状況、火災状況、水害状況、又、計画実施による費用、地域の人口分布等の防災手段によって変化を受ける内生的環境とに分けることができる。

この環境に対する調査・検討が不十分であったり不足していると、変化状況を適確に把握することができず、計画が正しくおこなわれない場合があることは前に述べたところである。

地震防災計画システムの構成

地震防災計画システムは以上4つの要因の集会から成り立っているが、その構成は次図のようになる。



図一 地震防災計画システム（概念図）

ここで注意すべきことは、地震防災手段と地震防災計画の環境（外生的、内生的環境）を入力として把握できた変化状況は、ただちに次の変化状況を知る上の内生的環境となりうるということであり、図のフィードバックがそれにあたる。

防災手段を決定する方法に次の3つが考えられる。

① 様々な内生的環境、外生的環境の中で、防災計画の意図に対応した期待される変化状況を求め、これをもとに防災手段を決定する。この方法では、期待される変化状況の水準によっては、防災手段を決定できない場合もありうることに注意を要する必要がある。

②、仮定された防災手段（地震防災計画案）が様々な内生的環境、外生的環境の中で、地震時及び平常時の地域にどんな変化状況を呈するかを把握し、それを防災計画の意図と対応させることによって防災手段を評価する。適切でないと判断された場合は、更に、他の防災計画案（代替案）を仮定し、同じ操作を繰り返すことによって防災手段を決定する。

③ ①と②の混合形態

地震防災計画と他の計画との整合性

地震防災計画は、地域計画、国土計画等の上位計画、都市環境整備計画、地域交通計画等の同レベルの計画や地震防災事業の施工計画、整備計画、管理計画等の下位計画と密接な関係をもっている。これらの計画を整合性をもって立案するには、各計画において決定された、計画手段又、その計画の実施によって出致する事象等の情報の入出力、フィードバック関係を適確に把握しておく必要がある。

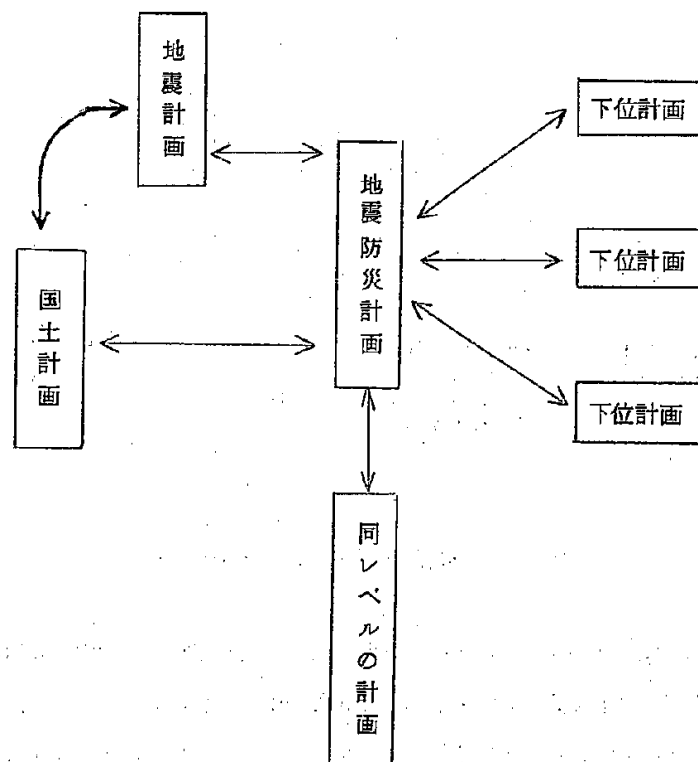


図-2 地震防災計画と他の計画との関係

Ⅲ 地震防災計画システムの確立

1) 地震防災計画マトリックスの作成

地震防災計画マトリックス

地震防災計画を構成していると思われるあらゆる要因は夫々防災手段、防災計画の意図、変化状況、計画の条件（内生的条件、外生的条件）の4つのブロックに分けられ、図-2のようなシステムを構成していることは、前に述べた。ここで更に地震防災計画システムをもっともかんたんな模式図（図-3）を用いて、地震防災計画マトリックスについて説明したいと思う。

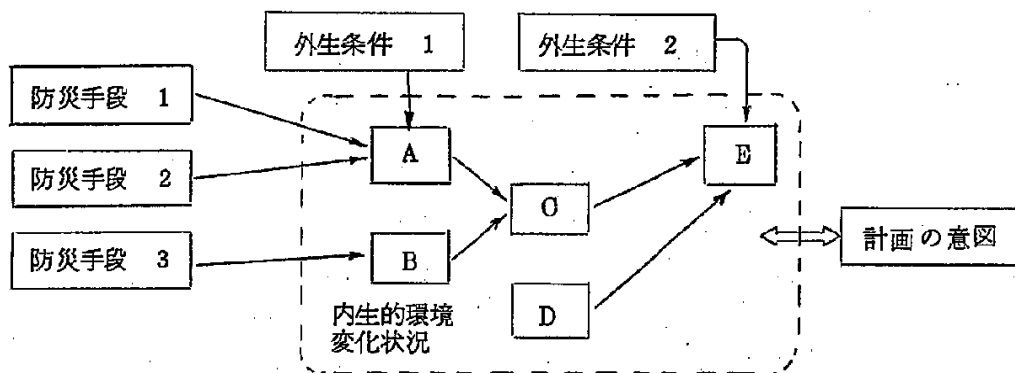


図-3 地震防災計画システムの模式図

図-3において、A、B、O、D、Eはすべて防災手段と計画の意図との間の変化状況を示しているが、これら変化状況は他の変化状況を把握する上に必要な内生的環境になっており、変化状況と内生的環境は同じ要因で構成されていると考えてさしつかえない。→印は因果関係を示す矢印で、Oを例にとれば、「OはA、Bによって影響を受け、D、Eに変化を与える。」ということになる。又⇔印は、適合検証を示す矢印で、→印とは本質的に異なっている。→⇔印を介して結ばれる計画システムの構成要因の間には夫々、因果関係を示すモデル又、適合検証を行うための評価モデルが存在していると考えられる。

図-3の模式図は、極めてかんたんな場合について示したものであり、実際の計画においては、はるかに多くの要因について検討せねばならず、図-3のような表現が必ずしも適切であるとは思えない。そこで考えられた一つの表現法にマトリックス表示があり、図-3の因果関係は図-4のマトリックスで表示できる。

計画の意図 ⇔

		防災手段 1	防災手段 2	防災手段 3	内 生 的 条 件					外 生 的 条 件 1	外 生 的 条 件 2
					A	B	C	D	E		
変 化 状 況	A	○	○						○	○	
	B			○	○						
	C				○	○					
	D						○				
	E						○	○			○

図-4 地震防災計画マトリックス例

図-4のマトリックスの○印のついているエレメントは、その行の要因が列の要因によって影響を受け変化することを示しており、別の言い方をすれば、列の要因を入力として行の要因について出力する因果関係モデルの存在を表わしている。

地震防災計画マトリックスの作成

防災手段、計画の外生的条件、地域の内生条件（変化状況）の各ブロックを構成する要因を次に列挙する。

防 災 手 段

- ① 施設の耐震強化
- ② 施設の不燃化
- ③ 地震防災拠点の整備
- ④ 施設の再配置
- ⑤ オープン・スペースの設置
- ⑥ 地震防災教育・訓練
- ⑦ 防災体制の整備
- ⑧ 防災助成金・転出奨励金

⑥ 施設の分類

石油系施設、ガス系施設、火薬系施設、工場特殊物質保有施設、公衆集合施設、多数集合施設、住宅施設、病院・養老院・精神者施設、交通施設、防災施設

外生的環境

- ① 地震震度
- ② 発生時刻（昼夜）
- ③ 気象（風向・風速）・気候
- ④ 地形・地象（地質・土質）

* 他の計画による自然及び社会環境の変化

内生的環境（変化状況）

- ① 施設の破壊状況
- ② 施設の機能停止状況
- ③ 避難状況
- ④ 火災状況
- ⑤ 水害状況
- ⑥ 消火可能区域
- ⑦ 救助可能区域
- ⑧ 平常時の地域の環境
- ⑨ 費用（計画実施による）
- ⑩ 地域の人口分布
- ⑪ 危険物流生状況
- ⑫ 交通事故
- ⑬ 死傷者
- ⑭ 資産損失

以上の様々な要因から図-5のような地震防災計画マトリクスが作成されるが、このマトリクスはまだ完全なものではなく今後更に検討を行う必要がある。

2) 地震防災計画策定に必要な調査・検討

関数モデルの調査・研究

地震防災計画マトリクスの各行を横に眺めていけば、夫々の変化状況がどのような要因に支配されているかわかるわけである。即ち、変化状況は計画マトリクスにおいて、横に羅列されている環境要因の関数となっているわけで、実際に、地域防災計画を策定していく上には、この関数形を求める調査・研

究を推進していく必要がある。

当該地域の環境調査

地震防災計画の当該地域の社会環境 自然環境の調査をして変化状況を知る際のインプット・データとして用いねばならない。

地震防災計画マトリックスを基にして、地震防災計画を策定するには次のような当該地域の調査を行うことが必要であろう。

施設に関する調査

- ① 種類・機能
- ② 位置・所在
- ③ 規模（高さ、面積）、時間別帯在者数（流動・常住・昼間）
- ④ 設計対象震度
- ⑤ 設計耐火温度
- ⑥ 出火可能性
- ⑦ 出水可能性（施設が破壊したことによって河川等の水が流出する恐れがあるかどうかのチェック）
- ⑧ 危険物の有無……石油系、ガス系、火薬系
- ⑨ 隣施設との距離（施設間距離）
- ⑩ 施設の資産額

特に消防施設、交通施設に関しては上記に加えて次の調査を行う必要がある。

消 防 施 設

- ① 消防設備・能力
- ② 救助設備・能力

交 通 施 設

- ① 時間別交通量
- ② 危険車りょう交通頻度

施設外の空間の調査

公園以外の広いスペースが防災空間としての機能があるかどうかを検討する上で次の調査を行う必要がある。

- ① 面 積
- ② 位 置

自然環境に関する調査

- ① 地 形
- ② 地質・土質

③ 気 象

④ 地 域 面 積

⑤ 発生する地震の性質・特徴

社会環境に関する調査

① 地域人口（常住人口，昼間人口，流動人口）

② 地域人口分布

③ 産 業 構 造

④ 地域生産額

防災計画以外の他の計画に関する情報収捨

[illegible]

図-5 地震防災計画マトリクス

Ⅳ 地震防災計画プロセスの考察

ここでは、地震防災計画の策定において必要な作業、例えば地域の環境調査作業、防災計画案の評価作業等を合理的に行い、且つ省力化に寄与する防災計画プロセスについて考察する。

計画プロセスは図-6のフローチャートに示したように2つの型とその混合型の3つに大別出来る。しかし、計画はその目標が重要なのではなく過程が重要である。即ち、計画が達成された時点における地域住民の生活よりも計画が実施段階に入ってからその完成に至るまでの時々刻々と移り変わる地域住民の生活を問題とすべきであることを考えれば、仮定された地震防災計画案の実施によって変化する様々な状況を経時的にシミュレートする①のプロセスが適切であるように思われる。

ここでは、特に次のサブプロセスについて考察を加えるつもりである。

- (a) 地域の環境調査プロセス
- (b) 地域防災計画案の作成プロセス
- (c) 計画案の評価プロセス

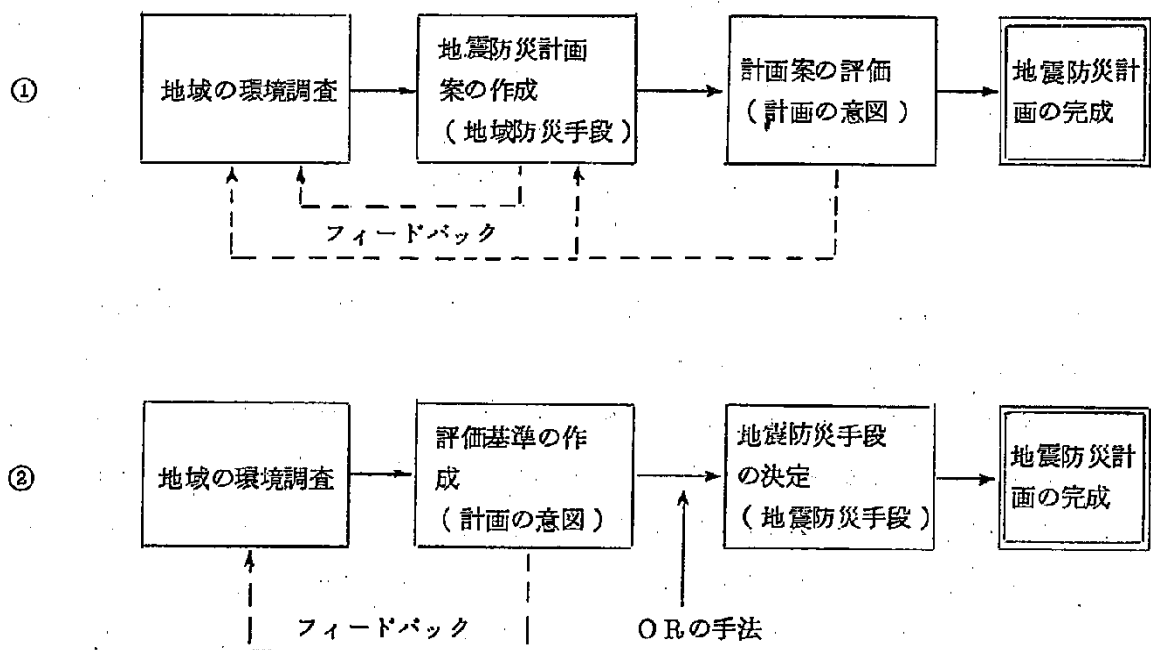


図-6 地震防災計画プロセスのフレームワーク

V 地震防災計画シミュレーターの提案

地震防災計画の策定プロセスにおいて省力化、合理化にもっとも大きな力を発揮するのは電子計算機の導入であろう。計画策定段階で最も重要であり且つ適確さを要求される地震防災計画案の評価プロセスにおいて、図-7に示したような電子計算機、視聴覚機器から成る地域防災計画シミュレーターを用い省力化、合理化を図る。

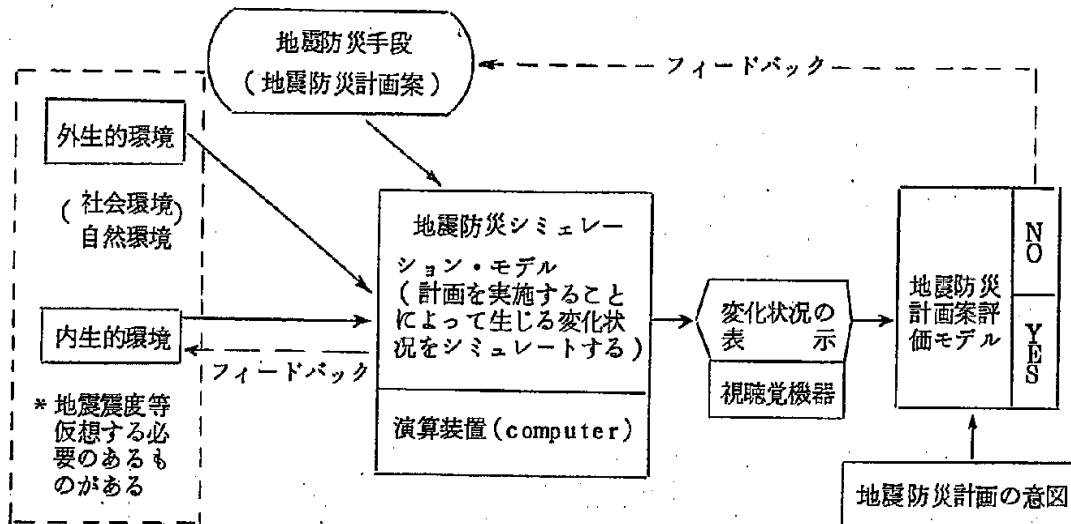


図-7 地震防災計画シミュレーター

地震防災計画シミュレーターを活用するには、次のようなモデルのプログラミングを行う必要がある。

① 地震防災シミュレーション・モデル

計画を実施することによって、地域の平常時の生活環境、自然環境がどのように変化し、又、実施された防災手段が、地震時にどのような効果を示し、死傷者数、損失資産額を低減せしめることができるか、あるいは計画を実施するにはどれだけの公共投資額が必要となるのか等、計画の実施によって生ずる様々な変化状況をシミュレートする時系列モデルを地震防災計画マトリックスと計画策定に必要な関数モデルの調査研究を基礎に作成する。尚、このモデルの入力は地震防災計画案（例えば、施設の設計対象震度をいくつに定めるか等）と防災計画の外生的環境（地震時の気象、地象等）、内生的環境であり、出力は計画実施によって表われる様々な変化状況である。

② 地震防災計画案評価モデル

①の地震防災シミュレーション・モデルによって出力された様々な変化状況を入力とし、それらと計画意図とのチェックを行う評価モデルを作成する。このモデルにおいては、計画意図を正確に反映した評価基準を決定することが重要なポイントになるが、計画者の価値感の多様さによ

る計画意図の数量化のむつかしさ等様々な問題を含んでいる。このモデルの出力は種々の地域防災計画案に対する点数評価であり、計画者はその点数の高い計画案を採用することになる。

1

Ⅱ 部 耐震設計システムに関する研究

2

目 次

はじめに	17
〔Ⅰ〕構成要素の特質と把握法	18
(1) 耐震設計にかかわる住民生活への影響(D)	18
(2) 施設機能低下の状況(O)	18
(3) 施設の破壊の状態(B)	18
(4) 耐震設計の実態(A)	18
(5) 耐震設計の実態(A)と施設破壊の状態(B)との対応($B = F_{BA}(A)$)	19
(6) 耐震設計の実態(A)と住民生活に及ぼす影響(D)のうちその実施に要する部分 (dⅡ)との対応	20
(7) 施設の破壊状態(B)と施設の機能低下状態(O)との対応($O = F_{OB}(B)$)	21
(8) 機能低下の状態(O)と住民生活に与える影響(D)との対応($D = F_{DO}(O)$)	21
〔Ⅱ〕システム構成の方法	23
(1) 施設破壊特性設定(物理現象モデル)	23
(2) 環境特性の設定(地域実態調査)	23
(3) 効果・被害特定の設定(主として計量経済分析モデル)	23
〔Ⅲ〕実行システム構成	25
(1) 耐震設計法—耐震破壊特性および耐震設計法—所要事業費額	25
(2) 環境条件モデル設定(地域実態調査)	25
(3) 施設破壊状態—住民生活上の影響(計量経済分析モデル)	26

はじめに

施設の耐震設計のあり方が論議されるのは、その如何によって我々の生活に差異を生ずるからであってその過程は次のようである。

耐震設計の実態→施設破壊の状態→施設機能の停止状況→住民生活への影響、したがって、耐震設計の論議は、窮極的には住民生活への影響に準拠して行なわれるべきものであり、耐震設計のための条件基準等があるとすれば、そのもとはこの影響についての記述でなければならない。

耐震設計に関する論議を一つのシステムとして捉えたとすればそれは耐震設計によって住民生活が影響される事態を記述するものでなければならず、住民生活上の要求(価値観)を前置きすれば、耐震設計に関して要求が満たされる状況を記述すべきものとなる。

いま

耐震設計の実態を $A(a_1 \ a_2 \ a_3 \ \dots \ a_i)$; 状態Aを記述する要素(記述元)

施設破壊の状態を $B(b_1 \ b_2 \ b_3 \ \dots \ b_i)$; " B "

施設機能停止の状況を $C(c_1 \ c_2 \ c_3 \ \dots \ c_i)$; " C "

住民社会への影響を $D(d_1 \ d_2 \ d_3 \ \dots \ d_i)$; " D "

とすれば、耐震設計の論議が成立するためには

$$D = FDC(C), \quad C = FCB(B), \quad B = FBA(A)$$

という $A-(B)-(C)-D$ の射影が成立することを認める必要があり、この射影の有効な実施完成によって耐震設計システムが構成されるものとなる。

〔I〕 構成要素の特質と把握法

(1) 耐震設計にかかわる住民生活への影響 (D)

Dの記述元dは少くとも次の3種のものが必要であると考えられる。

$$\begin{array}{lll} d_1 = d_{1I} + d_{1II} & d_1 : & \text{貨幣価値の増減} \\ d_2 = d_{2I} + d_{2II} & d_2 : & \text{人間活動上の得失} \\ d_3 = d_{3I} + d_{3II} & d_3 : & \text{人命, 人身に関する損益} \end{array} \quad \left. \begin{array}{l} I : \text{効果としての増減} \\ II : \text{手段実施のための増減} \end{array} \right\}$$

これらはすべて期待値の大きさを把握する量となろう。これらの概念は互いに独立的なものであるが実際には d_1 を主軸として論議を進め、必要に応じて d_2 、 d_3 を検討に加える取り扱いをすることになろう。

(2) 施設機能低下の状況 (C)

設置されている施設が正常な機能を発揮して住民の生活、生産活動が行なわれるとすれば、Cは機能の特質と低下の程度によってあらわされ、その尺度は生活、生産活動の阻害の度合いに準拠して設定されるものとなろう。

Cの記述元として具体的に下記のものがとりあげられよう。

$$\begin{array}{ll} C_1 : & \text{施設の種類, 役割} \\ C_2 : & \text{施設の所在, 場所} \\ C_3 : & \text{機能低下の程度} \end{array} \quad \left. \begin{array}{l} \\ \\ \end{array} \right\} \text{正常な機能}$$

この場合、複数の施設を同時に扱うとすれば、 $C_1, C_2, (C_1, C_2)$ について、これらを巨視的に処理するために統計的把握が必要となろう。

(3) 施設の破壊の状態 (B)

施設機能の低下と関連する施設破壊の状態BはCと同様な観点から次のようになろう。

$$\begin{array}{ll} b_1 : & \text{施設の種類} \\ b_2 : & \text{施設の所在, 場所} \\ b_3 : & \text{施設の破壊の程度} \end{array}$$

複数施設の同時取扱いをすれば、 $b_1, b_2, (b_1, b_2)$ について統計的な把握が必要となろう。

(4) 耐震設計の実態 (A)

耐震設計の実態Aは次の4元であらわす必要があるだろう。

$$\begin{array}{ll} a_1 : & \text{施設の種類} \\ a_2 : & \text{施設の所在, 場所} \end{array}$$

a_3 : 施設の耐震設計法

a_4 : 設計法で対象とした基準地震の様相を示す指標 $\div K$ etc

ここで、論議の実態において $a_1 = b_1 = c_1$, $a_2 = b_2 = c_2$ となることに注意する必要がある。(a_4 を仮に対象震度と呼ぶ)

(5) 耐震設計の実態 (A) と施設破壊の状態 (B) との対応 ($B = F_B A (A)$)

($b_1 \ b_2 \ b_3$) = $F_B a (a_1 \ a_2 \ a_3 \ a_4)$ において $b_1 = a_1, b_2 = a_2$ となることから

$b_3 = F_B a_3 a_4 (a_3 \ a_4)$ ($b_1 \ b_2$) = ($a_1 \ a_2$) = const

この対応は具体的 (種類 場所の定った) 施設毎に、その設計法 a_3 , 対象震度 a_4 に対する破壊程度 b_3 を求めるもので、 b_3 は生起地震の形態によって変化するものとなることが予想され、しかも

① 現実には多様な実態で生起する地震の形態を特定の指標 e であらわす取り扱いをすること、

② 特定の ($a_3 \ a_4$) による施設でも、品質、施工、維持等の状態によって多様な実態をもつこと、等による不確実性が加わることから、その表示は期待値等による確率的対応関係を示すものとなる。

いま、生起する地震形態を指標 e であらわし、破壊の状態を無破壊 0 から完全破壊 1 に至る度合い g' とその生起の期待値 (生起確率) h' とであらわすとすれば、($a_1 \ a_2 \ a_3 \ a_4$) $\rightarrow$ ($g' \ h'$) の対応は e を変数として図-1 のよ

うな関係として求められよう。

この図は種類 a_1 と場所 a_2 の定まった施設に個有のものであり、 $g = \text{const}$ 曲線群図型はその設計法と対象震度の組合形態 ($a_3 \ a_4$) によって位置、性状が変化するものと解することができ。したがって、特定の設計法と対象震度の組合せをとることは、結果的に、この曲線群について特定の位置、性状のものを選択、指定することを意味するといえよう。

ここで、通常の土木施設では無破壊の状態ではじめて機能を果たすものが多いと考えられることから、有害破壊の生じない

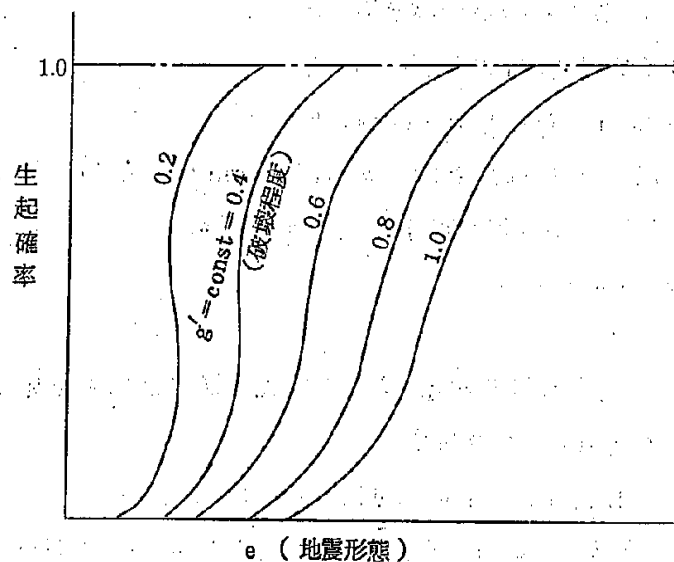


図-1 ($a_1 a_2 \ a_3 \ a_4$) - ($g' \ h'$) 対応模式図

$$(a_1 \ a_2 \ a_3 \ a_4) = \text{const}$$

状態を $g = 0$, 有害破壊の生じた状態を $g = 1$, とする 2 元的な認識法をとるとすれば, 有害破壊の生起確率 $h = f(e)$ の値をもって破壊の程度 b_3 の値とする取り扱いが認められよう。

図-2 において, 一般的に設計法

a_3 が同一で対象震度 a_4 が異なる場合の曲線は主として位置の異なった同種の性格の曲線となり, a_4 が同一で a_3 が異なったものは位置の変化よりも曲線の性格の変化が大きいものとなる。

a_3 a_4 ともに異なるものは, 位置性格とも異なったものとなり, この曲線の特徴は用いられた設計法と対象震度の特質を反映するといえよう。

一方, 発生地震形態指標 e について, 特定の場所 a_2 ごとに, その生起に関する時系列, 確率的法則性があり, 設定された環境条件から, その予想生起頻度 i が与えられるとすれば, $i = fi(e)$, $a_2 = \text{const}$ と上記 $h = fh(e)$ とから $(a_3 a_4) = \text{const}$ ごとに h の生起頻度が算定でき有害破壊発生期待頻度 $j = \int i \cdot h dh$, $(a_1 a_2) = \text{const}$ (a_3, a_4) = const を求めることができる。

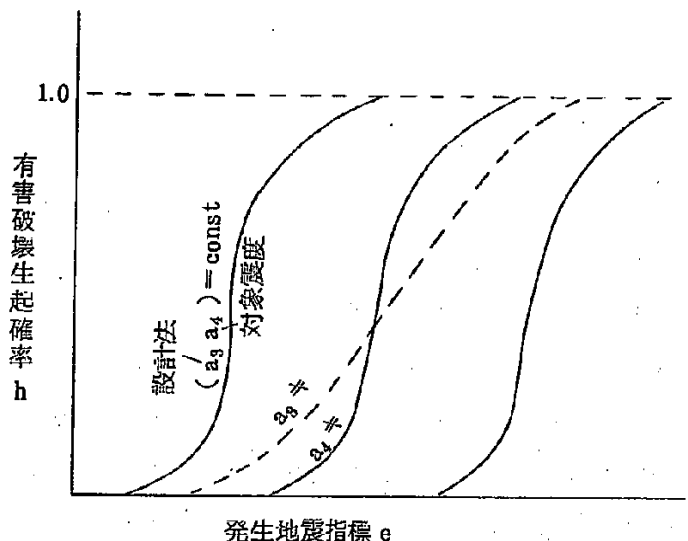


図-2 特定施設における設計法対象震度と破壊の程度との対応

$(a_1 a_2) = \text{const}$ 破壊程度 b_3 = 有害破壊生起確率 h

(6) 耐震設計の実態 (A) と住民生活に及ぼす影響 (D) のうちその実施に要する部分 (d_{1II}) との対応

$(d_{1II}, d_{2II}, d_{3II}) Fd_{IIa} (a_1 a_2 a_3 a_4)$

耐震設計 (による施設設置) に要する住民生活上の影響は現実には所要費用 d_{1II} を軸として検討を進め, 必要に応じて活動 d_{2II} , 人身 d_{3II} を考察に加える。これらは環境条件が設定されればその技術資材, 労働等の市況, 工事場所期間, 施工体制, 安全対策等の状況から積算設定が可能である。

したがって

$d_{1II} = f(a_1 a_2 a_3 a_4)$ について, a_2 を固定して $(a_1 a_3)$ ごとに a_4 をパラメータとする d_{1II} が求められ,

$$d_{2II} = \beta_2 \cdot d_{1II}$$

$$d_{3II} = \beta_3 \cdot d_{1II} \quad \text{とする } \beta_1 \beta_2 \text{ について検討することが可能であろう。}$$

(7) 施設の破壊状態 (B) と施設の機能低下状態 (C) との対応 ($C = F_{CB} (B)$)

B と C との対応は厳密には不確定な確率的対応であろうが、一応それらの期待値相互間に一義的対応を認め、破壊の程度の記述尺度を機能低下の度合いに準拠して設定するとすれば、B の状態記述をそのまま C の状態記述とすることができる。

(8) 機能低下の状態 (C) と住民生活に与える影響 (D) との対応 ($D = F_{DC} (C)$)

$$d_{1I} = f (C_1 C_2 C_3) \quad \text{経済価値}$$

$$d_{2I} = f (C_1 C_2 C_3) \quad \text{人間活動}$$

$$d_{3I} = f (C_1 C_2 C_3) \quad \text{人命人身}$$

となるが d_{1I} を主軸として他は必要に応じて検討に加えるものとすれば、設定された地域モデルについて、種類と場所との定まった施設ごとに、その施設の機能の低下の状態 C_3 に応じた影響を算定することができる。

$$d_{1I} = f (C_3) \quad (C_1 C_2) = \text{const} \quad (\text{特定地域モデル})$$

$$d_{2I} = \alpha_2 \cdot d_{1I} \quad \quad \quad " \quad \quad "$$

$$d_{3I} = \alpha_3 \cdot d_{1I} \quad \quad \quad " \quad \quad "$$

〔Ⅱ〕 システム構成の方法

以上のような要因把握を前提とすると、そのシステムは次のような3種のブロック構成で考えられよう。この構成法 および以後の取り扱い は具体的作業上の制約から、限定された特定の手法で組み立てられるが、その優劣は一般的論理性よりもむしろその結論の合目的妥当性によるべきものであり、当初の段階では具体的取り扱いに関して複数の手法を同時に検討しておくのが望ましいといえよう。

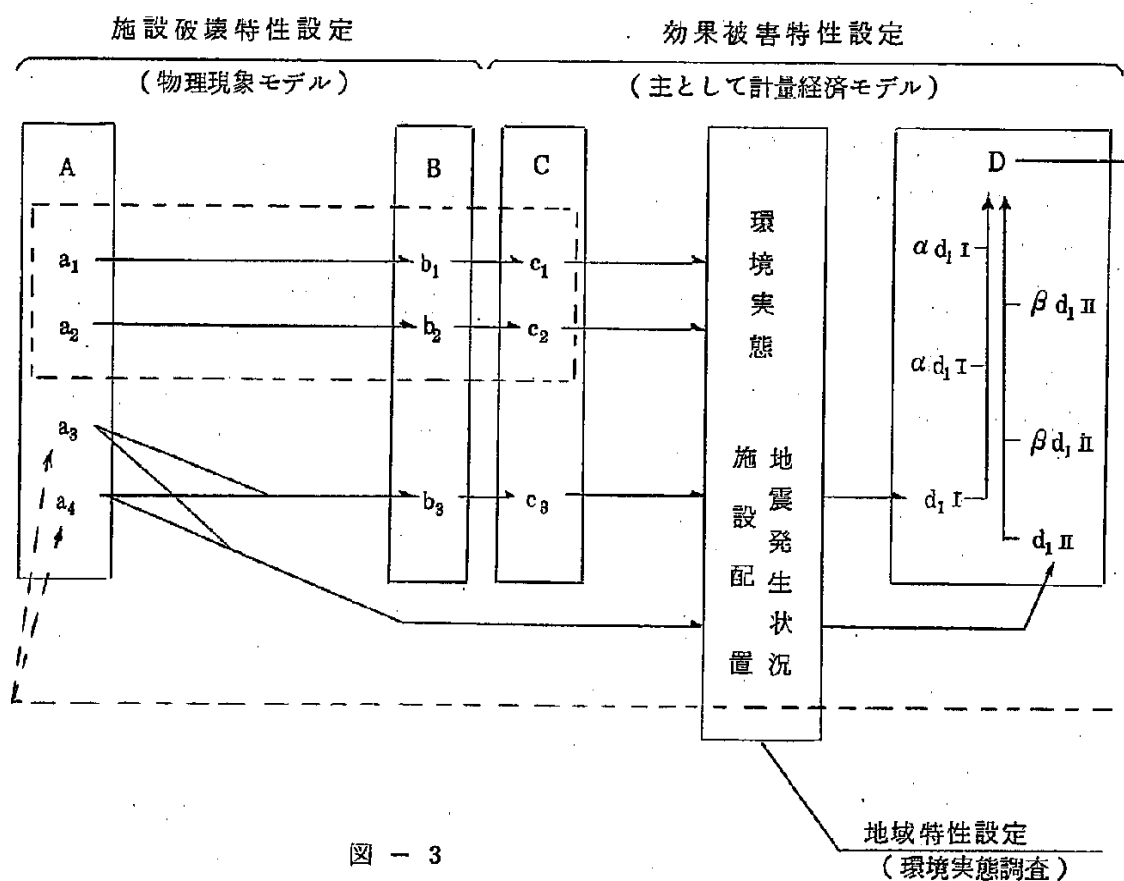


図 - 3

(1) 施設破壊特性設定 (物理現象モデル)

施設の種類を分類して、各施設毎に平均的(代表的)立地想定のもとに、 $(a_3, a_4) \rightarrow b_3$ の対応を算定して、立地条件について必要があれば補正を試みる。

たとえば、橋梁について、橋種ごとに、平地部に設置されるとして(設計法 a_3 対象震度 a_4) とその破壊特性 b_3 (発生地震と破壊確率との対応曲線)を求め、それが特異な立地の場合、係数等による補正法を考慮する。 $(a_3, a_4) \cdots b_3$ 対応で、実用される設計法 a_3 は限られているので、これらの設計法毎に対象震度 a_4 をパラメータとする比較的形態の整った特性曲線図がえられる筈である。

作業としては、典型的設計結果による施設の破壊実験等の反復集積が必要となり、典型的設計の論議実験外力(作業地震形態)の与え方に検討を要するものとなろう。すなわち、多数の実施されるであろう設計について、その耐震性能を代表すべき設計結果の選定と、想定される発生地震について、施設の耐震性能に関して代表性をもっと考えられる地震形態を選定して、実験外力として作用させる方法について問題が残るのであって、そのための予備的研究も必要となろう。

この特性設定作業の成果としては、施設種類、その設計法ごとの対象震度をパラメータとする発生地震指標 e とその破壊確率 h の対応曲線と立地補正係数表とであって、 e のとり方に研究すべき問題があるろう。

(同一種類の施設について、同一設計法、同一対象震度を用いてなお、その耐震破壊特性が具体的寸法形状等に左右されて著しく変動する場合には、設計法自体に問題があり改善の余地のあることを示すものといえる。)

(2) 環境特性の設定 (地域実態調査)

耐震設計システムを一般的で汎用性の高いものとして組み立てようとするれば、環境の実態、特性等を限られた数の適切な指標であらわす必要があるが、現段階では指標の選定の方法等が確立されておらず多分に試行修正を伴う作業によることになるろう。環境特性は耐震設計システムに組込まれて設計にかかわる住民への影響を規定できるものでなければならないことから次の2種に大別される事項に関する記述を含む必要がある。

どのような施設の設置、破壊がどのような影響を住民に与えるかに関する環境設定は、概略

- 地域の 位置 面積 地形 気象
- 施設の 場所 規模構造 性能 建造 復旧に関する事項
- 地域の 人口 生活様式 産業構成 生産力 およびそれらのための施設配置 資産額等と、その連関係から導かれるものによって構成されよう。

具体的には、これらの要素事項の組合せ形態設定は莫大な数となることから、何らかのモデル地域の想定による手法がとられることになり、解析検証の便宜から実在地域に対する実態調査を用いた設定が行われよう。耐震設計システムの構成のために限定された実在地域モデルによる設定を行なうとして

その主軸項目を経済価値増減に置くとする場合、この地域特性に関連する事項は

- ① 施設の設置に要する事業費 破壊にかかわる直接損害額あるいは再建に要する損害額。
- ② 施設の機能停止にかかわる直接的損失額（堤防破壊による流失、道路破壊による通過交通被害）
- ③ 施設の機能停止にかかわる波及的損失額（生産停止、住居使用不能、代替手段費用）
- ④ 施設の機能停止に起因する直接的被害、避難、救援、復旧のための損失額

等となり、そのためにモデル地域の実態について調査、設定すべき事項は次のようになろう。

- 耐震設計の対象となる土木施設の種別、配置、規模、構造、機能およびその評価額、建設費
- 地種別面積 人口構成 気像条件 地形地質
- 住居施設 生産施設 公共施設等の配置および資産額
- 生活様式 生産形態 公共機能の実態および生産額 資材 労働市況の推移
- 上記施設の持続 および生活 生産の維持
に関する土木施設への依存性 } (高次処理)
- 想定される避難 救援 復旧のための活動形態

(3) 効果 被害特定の設定（主として計量経済分析モデル）

このモデルは特定の破壊特性をもつ各種の施設が設定された環境状態のもとで、どのような効果被害の実態をもたらすかを求めるものであり、その具体的設定手法は上記までの破壊特性環境状態の取り扱いによる制約を受け、下記のような構成によるものとなろう。（ ）内は環境モデル

- ① 耐震設計による施設設置のための所要額 d_{1II} および影響効果 α_{2II} α_{3II}

耐震設計の実態 — （施設規模 構造 個所 延長 立地条件）（資材労働市場）（事業統計等）→

- ② 施設破壊による直接的損害 および復旧に関する費用。

施設破壊時性 → （地震生起頻度）（施設規模 構造延長）

施設破壊 機能停止の状態 （資材労働市場） →

- ③ 施設機能の停止にかかわる直接的損失。

施設機能の停止の状態 → （対象施設の性能およびそれに対する依存性）（関連資産額）→

- ④ 施設機能停止にかかわる波及的損失。

施設機能停止の状態 — （想定復旧状況期間）（施設配置 資産額）（生活様式生産形態）（生産額 資材労働市況）（土木施設機能への依存度）→

- ⑤ 直接的、波及的損失に対する避難、救援、復旧のための損失 ②③④ → （想定される避難、救援、復旧等の活動形態）（ ） →

O 環境特性設定 D

(C_1 C_2 C_3) → （発生地震生起頻度）（環境地域特性）→ (① + ② + ③ + ④ + ⑤ ……)

〔Ⅱ〕 実行システム構成（案）

(1) 耐震設計法—耐震破壊特性および耐震設計法—所要事業費額

（成 果） 施設種類別 設計法ごとに設計震度をパラメータとする発生地震指標と有害破壊生起確率との対応関係、および立地、地盤等によってそれを補正すべき係数、等

施設種類別 設計法ごとに設計震度とその施設の設置に要する事業費（現状市況）との対応関係、および形状諸元等の細部、立地条件等によってそれを補正すべき係数、等

（手 法） 理論解析。（材の耐震破壊強度、材品質管理、製作品質管理、維持補修管理、等の不確定性を考慮した構造力学モデル）

実験解析。

積算モデル設定による算定。

（解析対象） 施設単位；機能単位、（橋梁、トンネル、盛土、築堤、水門、ダム処理場）

解析メッシュ；

（研究事項、定義項目）

破壊状態；有害破壊の生起、不生起の二元的認識

有害破壊の定義—研究会審議

対象震度指標設定—最適記述元選定

発生地震形態指標設定—最適記述元選定

不確定要因分；

(2) 環境条件モデル設定（地域実態調査）

（成 果） 対象地点ごとに発生地震形態指標とその予想起生頻度との対応の設定：（地域についての設定および地点について補正すべき係数等の設定）

特定の施設破壊状態から、その住民への影響を規定するのに必要な地域の特質に関する記述の設定。

（手 法） 選定したモデル地域におけるサンプリング調査による統計処理設定。

（調査設定対象） 既往地震形態発生状況

モデル地域の面積、地形、地質、気象、水象、設計対象土木施設配置、種別人口、各種施設配置、生活様式、産業構成、生産額、資材労働市況、公共サービス等の形態。

（分析設定事項） 各種施設の資産額、施設性能機能、施設間連繫関係、住民生活活動の施設機能への依存度、避難、救援、復旧体制想定

（調査設定単位） 対象施設；単一機能単位

地域特性；同種様態単位

(研究事項、定義項目) サンプル調査、統計処理手法、調査設定単位、モデル地域選定、モデル地域選定、モデル地域の拡大、全国計画への適用手法

(悉皆調査による手法の検討)

(構想概要) 人口数万人程度の特異性の少ない小都市をモデル地域として選び第一段階では20単位程度の対象施設をとりあげ、それらの単独および同時破壊の状態を想定して、その予想損害額を算定し、これに推計処理(実験計画検定手法)を加えて、対象施設のあらゆる組合せ破壊形態についてその損失額が推定できるようにする。

(施設破壊形態から損失額の推定は次の損失特性モデルによる。)

(3) 施設破壊状態—住民生活上の影響

(成果) 損害額(被害防止額)算定モデル。地域特質の構成単位についてのそれらの活動機能を支える要因分析の成果を用いた、施設破壊状態を変数とし地域特性等を定数とする損害額算定関数。

投資経済評価モデル。各種施設の設計法と対象震度をパラメータとする所要事業費と総被害防止期待額との対応(地域特性に個有)分析の成果から、定事業費—最大被害防止額、および定被害防止額—最低事業費となる設計法、対象震度を検討した耐震設計に関する投資経済評価関数。

総合的評価モデル 投資経済評価に加えて各施設機能間の比重を考慮し、あるいは経済評価以外の人間活動上の障害、人命人身損失の防止等の評価を加えて耐震設計のあり方とその妥当性を検討して、各施設の種類、機能上の役割、具体的所在、立地条件に応じて最適な設計法と対象震度が求められる対応関数。

(手法) 計量経済分析手法、OR手法

(研究項目、定義事項)

(調査分析単位)

(構想概要、実行精度)