

地震危険度解析システムの利用技術

Suitable Technique for Using the Earthquake Risk Analysis System through Examples

戸松 征夫*
Yukio Tomatsu

要 約

地震危険度解析システム〈ERISA-G〉を開発して4年になる。以来その利用実績は、筆者の関与した事例だけでも二十数件に達している。そこで、システムを“どんな目的にどう使うか”をまとめる。

システムを“どんな目的に”使うかについて§2.に述べる。利用例を目的別の9項目に分類し、それらの内容を分析した。その結果、「震度法のチェック」のための利用比率が高いことが分かった。この身近な問題への適用が、システム利用の裾野を広げる原動力になっている。

システムを“どう使うか”は解析条件をどう与えるかが重要であり、未解決の問題点が多い。危険度解析の解析条件が悪いと、不合理な結果を導くことがある。その対策法として一つの考えを§4.に提示する。ここでは地震危険度解析のための地震発生データとして、宇津カタログに少し手を加えて使用することの有効性を示した。

目 次

- §1. はじめに
- §2. システム利用の実例分類
- §3. システム利用の問題点
- §4. システムに適した地震データの条件
- §5. おわりに

§1. はじめに

本報文は、地震危険度解析システム〈ERISA-G〉¹⁾の利用技術について述べる。〈ERISA-G〉システムは、筆者が東京大学生産技術研究所に受託研究員として滞在した間に、片山恒雄教授の発案と指導のもとで開発されたものである。開発当時、公表されている地震危険度解析システムのうちで最も機能の高いものの1つであった²⁾。その後、筆者は二十数件の事例に関与する機会を得ることができた。〈ERISA-G〉の後にも類似のシステム³⁾が発表されているが、上記の利用件数は地震危険度解析システムの件数として多いと考えてもかまわないで

あろう。利用例の増加に伴って、システムの利用技術も向上している。本報文は、このシステムを“どんな目的にどう使うか”についてまとめている。

地震危険度解析システムを“どんな目的に”使うかに関して、機会あるごとに種々の利用法が試みられた。利用実績の中には、開発当初に想定されなかった目的に使われたものもある。そこで、利用例を目的別に分類して表にまとめ、それらの例を紹介する。分類内容は、まだ本格的な分類になってないという批判もあろうが、システムからのアウトプットの利用法が、目的によって違い単一でないことが分かるであろう。

次に、システムを“どう使うか”に関しては、解析条件をどうインプットするかが重要な点である。しかし、一般的に地震危険度の解析条件をどう与えれば良いか、はっきりしない点が多い。これらの問題の概要をまとめる。また問題点のうちの、地震発生データの利用に関して各種の検討を行ない、その対策法について一つの考えを提示する。そして、地震に関するデータベース研究の背景を理解すれば分かることであるが、その使用条件の中に誤り易いインプット量があるので、このために不合理な結果を導かないような配慮を促すことにする。

* 技術研究部 技術研究所 副所長

§ 2. システム利用の実例分類

システムの利用の実例を目的別に9項目に分類して⁴⁾、件数比率と共に Table 1 に示す。項目の中には、「動的応答解析の入力加速度振幅の設定」のように、開発の当初から想定されたものもあるが、そうでないものもある。特に、当初には想定されなかったものに「震度法のチェック」があり、その利用件数率が30%と高いのが特徴である。

本節では、Table 1 の各項目の概要を説明し、実例を紹介する。項目を実例に基づいて分類しているものの、利用件数が統計分析に耐えるほど多くないとか、分類が適当でないとか、ウエイトの置き方に偏りがあるとかの批判もあろうかと思う。今後修正していただければ幸いです。

Table 1 地震危険度解析の利用目的

項目	区分	利用目的	件数(件)	件数率(%)
1	設 計 施 工 計 画	動的応答解析の入力加速度振幅の設定	3	13
2		液状化判定のための条件設定	2	9
3		応答スペクトルによる地震波形の合成	1	4
4		震度法による耐震設計のチェック	7	30
5		既設構造物の耐震診断	3	13
6		建設中構造物の耐震性検討	2	9
7		建設工事に伴う環境振動の検討	1	4
8		大型構造物の建設計画地点の設定	1	4
9		地域地震防災	3	13
合 計			23	100

2-1 動的応答解析の入力加速度振幅の設定

構造物の動的応答解析にあたり入力地震波の最大加速度を定めるのが、本システムの代表的な利用法である。

動的応答解析のための入力地震波には注目地点と似た地盤で採取された観測波形を用いたり、EL-CENTRO波などの標準地震波形を用いることが多い。しかし、それらの入力地震波の最大振幅は波形からは規定されない。これを合理的に求める方法の一つが地震危険度解析であり、解析フローを Fig. 1 に示す。地震危険度解析により地震基盤面での加速度期待値を求め、その値により地震波形の最大値を規準化し、地盤と構造物の連成モデルに作用させて動的応答解析をする。あるいは、Fig. 1 の右側の流れのように地盤の応答解析を行なって地表面での加速度波形を求め、その波形を構造物モデルに入力する方法もある。

地震危険度解析により入力加速度振幅を設定して動的

応答解析を行なったものには、大型橋梁や火力発電所などの例がある。浄水場タンク的设计事例を文献(5)から引用して Fig.2 に示す。この例では危険度解析によりGL-25mの地震基盤面での加速度期待値を150galと計算した。地震基盤面にEL-CENTRO波を入力し、プログラム FLUSH を使って耐震解析を行った。

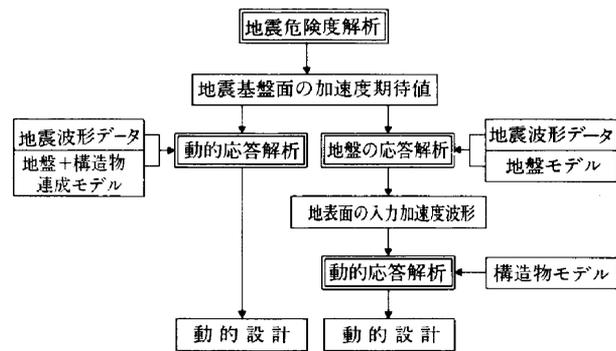


Fig.1 動的応答解析のフロー

2-2 液状化判定のための条件設定

液状化の判定に当り、注目地点の地盤の最大加速度分布を求める問題である。

液状化の判定には種々の手法が提案されているが、その中に地表層の最大加速度分布を入力する手法がある。最大加速度の解析手順は2-1と似ているが、地表面付近の分布を求めて液状化判定に使うのが特徴である。この解析フローを Fig. 3 に示す。他に、液状化判定のためのマグニチュードを統計分析により求めることもできる。このように詳しい液状化検討が必要となるケースは、構造物の重要度が高く地盤が液状化しそうな場合に見られるが、発電施設や化学プラントを埋立地に計画する場合がそれに相当する。

詳しく報告したものに文献(6), (7)がある。この例では、Fig. 4 に示すようにGL-67mを地震基盤面とし、そこでの最大振幅が加速度期待値と等しい86galの地震波を5種類入力し、地盤の応答解析を行った。加速度分布の解析結果を、液状化判定や地盤改良の効果を予測する解析に用いた。この例では、注目地点が能代市にあったので、1985年日本海中部地震の観測データを比較検討に用いることによって、地震危険度解析における加速度期待値を評価する鍵とした。

2-3 応答スペクトルによる地震波形の合成

応答スペクトルを算出し、そのスペクトルをターゲットとして模擬地震波形を作成するのが目的である。

地震危険度解析システムにより応答スペクトルを求め、そのスペクトルを生じるような地震波を逆に合成す

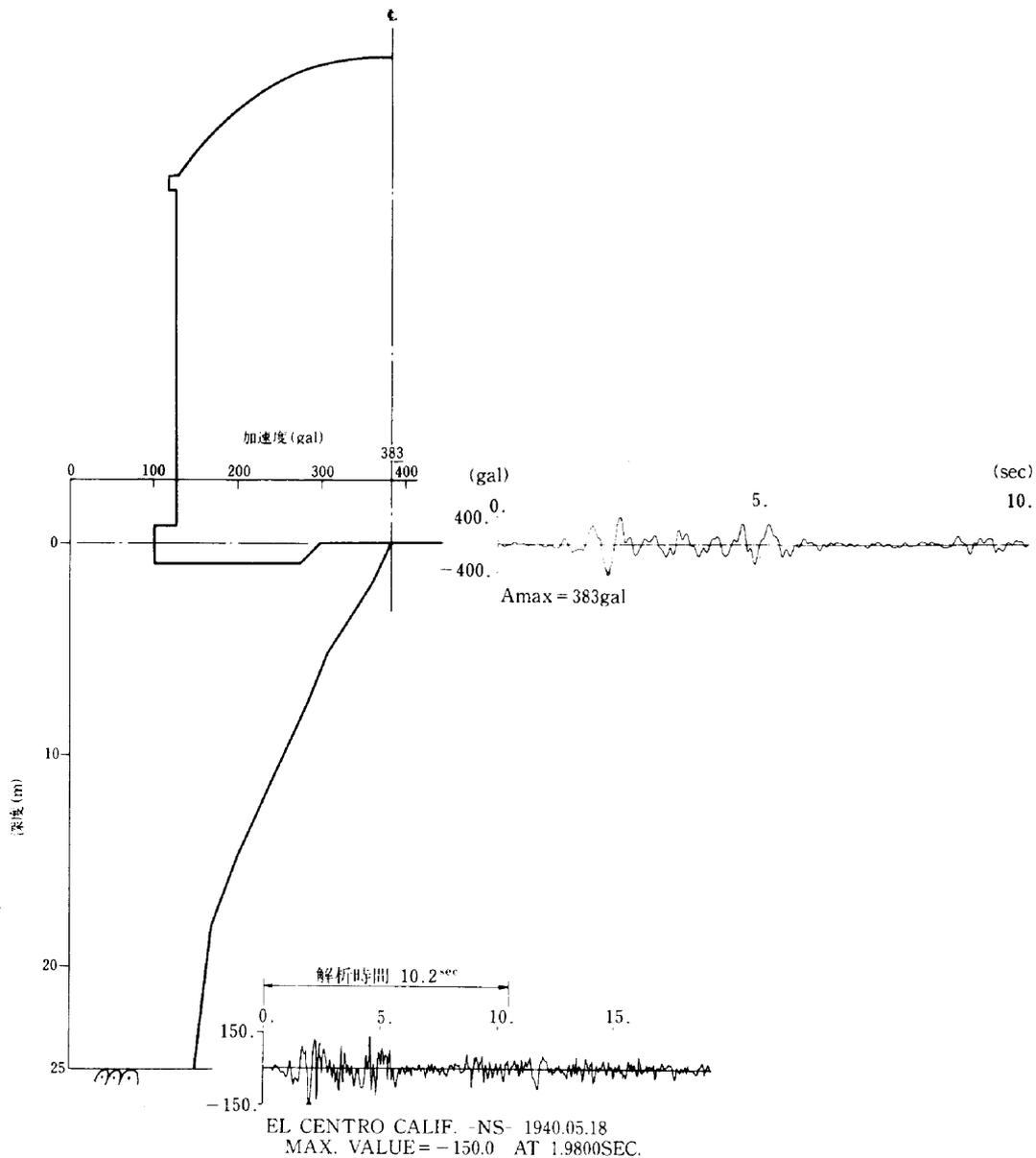


Fig.2 浄水場タンクの動的応答解析例

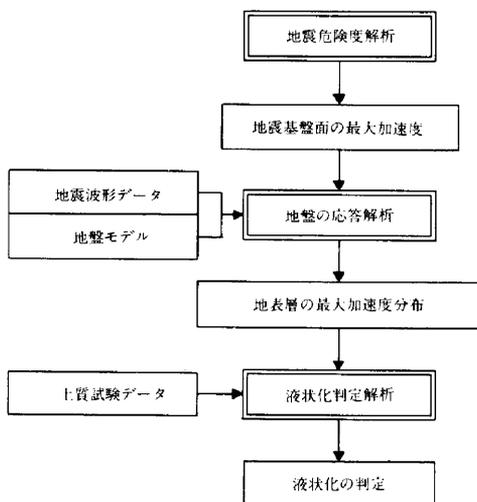


Fig.3 液状化判定解析のフロー

る。このようにして求めた地震波形はマグニチュードや震央距離のパラメータにより性質が規定されているため、所定の地震動特性を有する入力地震波として、動的応答解析に使うことができる。

例えば、大崎による応答スペクトル³⁾を算出して、原子力発電施設の耐震解析を行うため模擬地震波形を合成したことがある。Fig. 5 に大崎スペクトルの計算例を示す。その例では、注目地点周辺で起こった地震群から最大の応答スペクトルを与える特定の地震に着目し、そのスペクトルを模擬地震作成ルーチンに引渡した。

2-4 震度法による耐震設計のチェック

震度法により耐震設計する場合に、補助的に地震環境を調査して情報を付加するために利用する。

正 誤 表

50頁のFig. 5 の図と52頁のFig. 6 の図が入れ替っておりますので、御訂正下さい。

Fig.5の図 \longleftrightarrow Fig.6の図

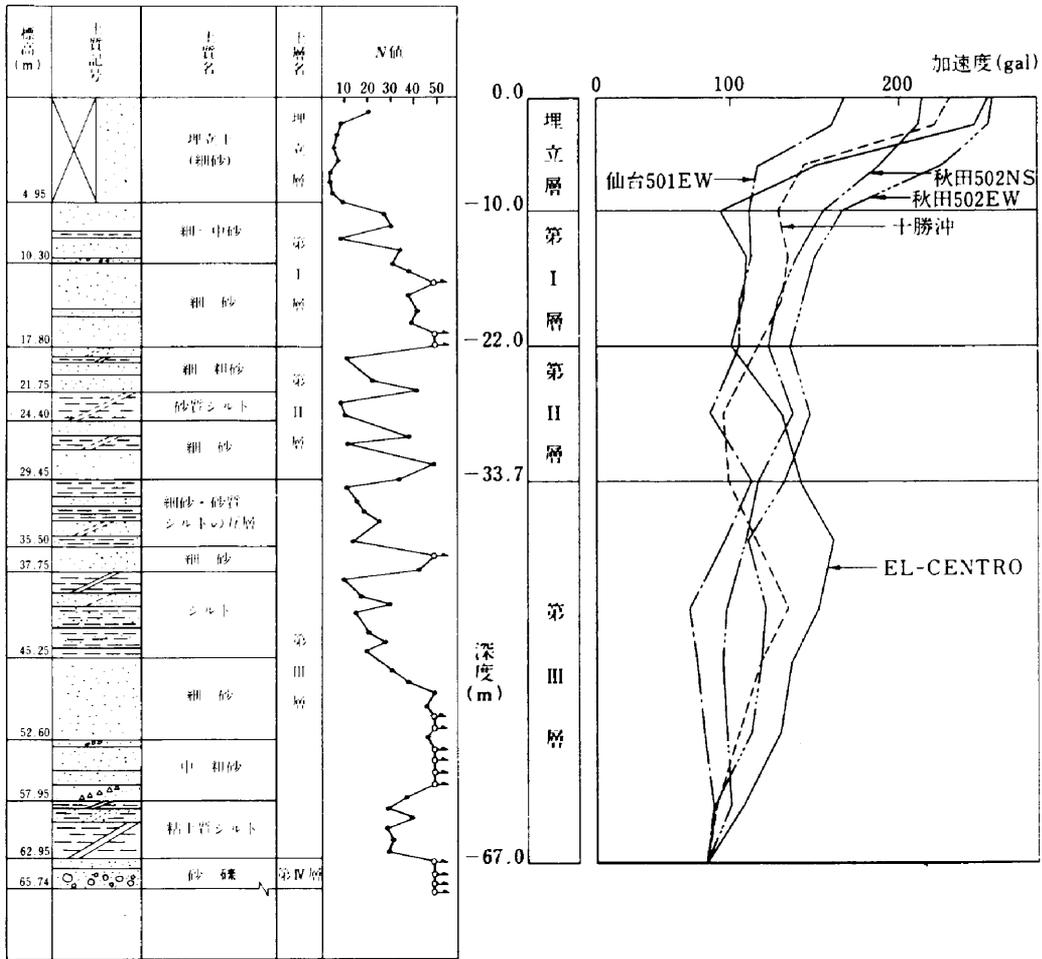


Fig.4 地盤の応答解析例

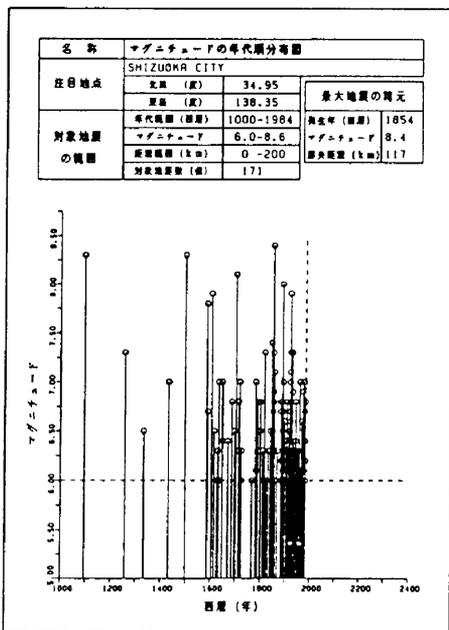


Fig.5 大崎スペクトルの例

耐震設計がなされる場合、そのほとんどは震度法あるいは修正震度法によっている。そして基準等により、地

震外力の大きさが場所、地盤条件、および構造物の重要度などに従って規定されている。しかし、構造物を作ったときに受けるであろう地震外力が個別に評価されているわけではない。設計に用いる地震外力が今までに起こった地震に対して安全かどうか、今後どの程度の地震にみまわれる確率があるか、これらの点が構造物を計画する者にとって興味ある情報となる。地震危険度解析システムを利用することにより、加速度に関する情報を得ることができる。もちろん、設計震度と加速度とは同一でないが、両者を対応させることができる。両者のギャップが相当程度大きく、かつギャップの原因が直下型地震等によるということが分かれば、設計震度を見直してランクアップすることも考えられる。

例えば、火力発電所の放水路やごみ焼却炉の設計に当たり過去の地震歴や加速度期待値を解析して、震度法による地震外力で十分であることを確認したことがある。その他、LSI工場や宅造擁壁などの設計に当たり、震央位置図などを出し付加情報として用いたことがある。

震度法のチェックのための利用は、Table 1 の項目中で利用件数が最も多い、震度法は動的応答解析に比べ、いわば身近な設計法である。身近な設計法に地震危険度解析システムを適用できることが、利用の裾野を広げる原動力になっているとみられる。

2-5 既設構造物の耐震診断

既設構造物の地震環境を調べ耐震診断に役立てる。

一般の建築物では、耐震診断の基準があるので地震危険度解析を行う必要はない。地震危険度解析により知ることができるのは、構造物が建設以来どんな地震にみまわれてきたか、今後どれくらいの強さの地震動にみまわれるかである。構造物が設計基準に適合しないために、現行の基準による判断が役に立たず、地震危険度解析による情報が診断のポイントとなるようなケースもある。

例えば、明治時代に建てられたレンガ造りの燈台について検討した例では、今までに経験したと同程度の地震動が今後も確率的に予想される場所であることが分かった。また、建物の老朽化が進んでいることから、補強対策の必要があると判断された。その他、道路橋や河川盛土などの古くなったものの耐震性調査に役立てられている。

2-6 建設中構造物の耐震性検討

構造物が建設中に強震に見舞われる可能性を確率的に求めるのが目的である。

建設期間が短い場合には建設中に強震に見舞われる確率は低いが、ダムや橋梁などの10年近くの期間を要する工事ではその確率は高くなる。また、構造物の水平耐力が完成後に比べて著しく低いものや建設中の構造物の重要度が高いものでは、建設中の地震に十分な注意を払うべきことは当然といえよう。実際、1987年12月17日の千葉県東方沖の地震の時に千葉県内で300galを越える地震動が観測され、このとき首都圏では幾多の構造物が建設中であった。横浜港のベイブリッジでも斜張橋の主塔部が建設中であったが、幸い被害を生ずるほどの地震動ではなかった。通常の構造物では耐用年数を数十年というオーダーにして期待値を危険度解析するが、建設中構造物では1オーダー低い耐用年数を想定できるかどうかの問題になる。栗林ら⁹⁾の研究があるが、この種の研究はまだ始まったばかりである。

利用例として、大型橋脚の建設時の安全性やダムの骨材プラントの耐震性などについて検討したことが挙げられる。これらの例では耐用年数を通常の構造物と同程度にみても、非常識な設計震度になる場所ではなかったため、安全を見込み、通常の構造物の耐用年数を適用して耐震性を検討した。

2-7 建設工事に伴う環境振動の検討

地震危険度解析システムが建設工事に伴う環境振動の問題にも利用できるという例を紹介する。

山間の温泉地で、尾根近くに巨岩があって落ちそうな状態にある。その山腹に道路トンネルを通す工事を行なうことになり、掘削に発破を使用できるかどうかの問題である。岩が落ちると、付近の旅館に直接的・間接的な被害を生ずる恐れがある。そこで計画の段階に、この巨岩がどれくらいの地震動に耐えてきたかを地震危険度解析システムを用いて推定し、発生する発破振動との対比を行った。

この場合には、地震動と発破振動とで振動周期が違うことを考慮して、発破振動に対する巨岩の安定性の下限を知ることができると判断して解析結果を利用した。

2-8 大型構造物の建設計画地点の選定

建設地点選択の1つの要素として地震危険度を調べるという利用法がある。

ダム、発電所や石油備蓄施設などの大型構造物を計画する場合に、建設地点の選定過程で地震危険度解析システムを利用することがある。日本の陸上では地震外力の大きさに5倍近くの差があるため、候補地点の中から地震外力の小さな地点を選べば、耐震のための工事費用を抑えることが原則的に可能となる。

例えば、同じ九州でも福岡は宮崎より地震危険度が約1/3の大きさなので、耐震性の高い構造物なら福岡近辺の方が経済的に有利なことも予想される。ただし、利用例では加速度期待値の比較に終わった。

2-9 地域地震防災

震害予測や防災計画のために、地域の地震危険度を解析する利用法である。

広がりをもった調査地域を格子状に分割して地震危険度解析し、等高線などにより危険度図を作成する。調査地域が1つの都市程度に狭く限られて、震源域からほぼ等距離とみなし得るならば、地震基盤面での地震危険度はどこも変わらず、地表層の影響を受けて危険度に差が表れる。例として、代表地点の地震基盤面での加速度期待値を求め、地表層の地盤条件により地表層の増幅度を考慮してマイクロゾーニングを行なったものがある。求めた地表面の加速度に木造建物の被害率の関係を当てはめて、木造建物の倒壊率分布を想定した。

また、別の例では、調査地域の代表地点で加速度期待値を求め、上水道ネットワークシステムの地震時信頼性のシミュレーション解析に用いた¹⁰⁾。

正 誤 表

50頁のFig. 5 の図と52頁のFig. 6 の図が入れ替っておりますので、御訂正下さい。

Fig.5の図 \iff Fig.6の図

§ 3. システム利用の問題点

解析結果の利用について、前節に述べなかったが重要な問題点は、地震危険度解析の手法がまだ確立されていない点である。そのため、解析結果を設計震度、全国的な地震危険度分布、気象庁の震度分布、地震観測記録、あるいは常識的な値などに対応することが不可欠な検討作業である。解析結果が現行の設計法や設計震度などと相容れないことが往々にしてあり、システムが実用的でないとの判断に至ることもあるであろう。そうしないためには、解析条件を見直しして試行錯誤することが必要になる。

解析条件の問題点には、次が挙げられる。

- (1) 地震発生データ：危険度解析に地震発生データを使用する上で、データの質の良否およびその結果への影響の程度をどう評価するか。
- (2) 距離減衰式：地震動の距離減衰を示す経験式には種々のものがあるが、どの式を使うのが妥当か。妥当性を判断する基準をどこにおくか。また、それらの結果への影響の程度をどう評価するか。
- (3) 耐用年数と非超過確率：構造物の耐用年数と非超過確率を設定すれば、統計的に必要な最大加速度が決められる。しかし、それらの設計上の定義や求め方がはっきり定められていない。
- (4) 活断層：過去の地震活動が活断層の分布とどう関係するか。活断層に基づく地震危険度を広範囲に活用するためには解決すべき基本的な問題が残されている¹¹⁾。

このうち、(1)の地震発生データに関する対策として参考になるであろう点を次節にまとめる。特に、地震発生データの使用条件には誤り易い入力量がある。データベースの背景を理解すれば分かることがあるので、不合理な結果を導くことがないように注意を促すことにする。しかし、(1)以外の3つはどれも耐震工学上の未解決の問題であるため、一般的な対策方法ははっきり分っていない。そこで、問題の決着を待つまでもなく、データの不足部分を地震観測結果や数値シミュレーション解析によって補足し、ケースバイケースの工学的判断によりシステムを利用する技術が要求される。

§ 4. システムに敵した地震データの条件

地震危険度解析を行なう上で不合理な結果を導かないために、地震発生データをどう選択するかについて記す。

4-1 地震発生データの利用上の問題点

地震発生データを利用する上で生じ易い問題点の事例を図に示す。Fig. 6は静岡市を中心として起こった地震の年代順の発生状況を示している。地震の選択条件は図中の上方に書かれているように、①西暦1000年以降に、②マグニチュード6.0以上で、③距離200km以内に起こった地震を選んである。ここで選択条件として、地震があったかどうかを調べるだけなら年代範囲が広いに越したことはない。しかし、統計分析のためには年代範囲をむやみに広げることが好ましくない。Fig. 6の横軸が1600年付近と1900年付近で地震の発生密度が異なり、実は、これらの年代を境としてデータの違っている。性質の異なる2つ以上の母集団を1つの母集団のように扱うのは統計学的に難点があり、不合理な結果を導く恐れがある。このようなことのないように統計分析をするには、地震発生データをどう処理すれば良いかが問題である。

地震発生データの選択に当たって、重要な点は次の3つである。

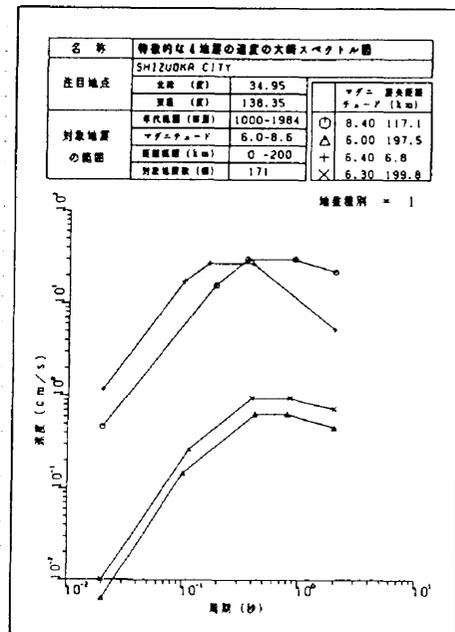


Fig.6 マグニチュードの年代順図

- ① 地震カタログ (地震発生データ) に何をを用いるか
- ② 対象地震の選択条件として年代範囲、マグニチュード範囲、および距離範囲などをどう選ぶか
- ③ 地震カタログの中に含まれる深発地震や余震の処理をどうするか

これらの点について、以下に検討する。

4-2 地震カタログの選択

日本付近の地震発生データをまとめた地震カタログに、気象庁の地震月報¹²⁾、宇津の表¹³⁾、宇佐美の表¹⁴⁾¹⁵⁾、宇佐美の被害地震総覧¹⁶⁾などがある。これらの資料を基

にして、Table 2 に示す気象庁、宇津、および宇佐美の3つのカタログを作成した²⁾。3つのカタログに含まれる地震のマグニチュードと数の分布を比較したのがFig. 7である。図中の棒グラフは頻度を、折れ線は累積頻度を示す。カタログによりマグニチュードの分布の型が大きく異なることが分かる。Fig. 8は、Fig. 7の縦軸を年間地震発生率に変えて、累積頻度をその1次回帰線と共に示してある。Fig. 8 b), c)には、気象庁カタログに関する回帰線を破線で示してある。a), b), c)の比較により次のことが分かる¹⁷⁾。

- a) 気象庁カタログは $M \geq 5.0$ の範囲で Gutenberg-Richter の式¹⁸⁾に従う規則的な分布 (Fig. 7 a) をしており、この範囲でもれのない記録であることが推定される。
- b) 宇津カタログは、a) 気象庁カタログに対して年間地震発生率がほぼ一致し、 $M \geq 6.0$ の範囲で a) の代用になる。
- c) 宇佐美カタログは、a), b) に比べ年間地震発生率が1オーダー以上小さく、たとえ $M \geq 7.5$ に限ってもリストアップされない地震が多い。

次に、地震危険度解析では、注目地点での加速度を解析の対象にすることが多いので、カタログの違いにより加速度の頻度分布がどう変わるかを比較する。加速度頻度分布とその回帰係数 m (石本・飯田の係数) を日本の代表的な5都市 (Fig. 9で後述) で計算したところ、次の傾向を得た¹⁷⁾。

- a) 気象庁カタログは、大部分が中・小地震からなるため、回帰係数 m が相対的に大きく評価されること

が多い。また、 $M \geq 7$ 程度の大地震の数の割合が少ないため、数少ない大地震の影響を強く受け、地震危険度解析に適したデータとはみなされない。

- b) 宇津カタログは、 $M \geq 6.0$ の地震の数が多く、回帰係数 m も比較的安定しており、統計分析に耐えるデータである。ただし、一部の地震数の少ない地域では、回帰係数 m の計算が難しくなるので、 $5.0 \leq M < 6.0$ の地震を気象庁カタログより補充して使うことが考えられる。

- c) 宇佐美カタログは、地震記録のもれが多く統計分析に向くデータとはみなし得ない。しかし、被害地震が発生したという情報は重要であり、既往地震の最大加速度を算出するなどの目的に生かすことが考えられる¹⁹⁾。

すなわち、宇津カタログは期間が約100年間と長く、データの質も比較的そろっているので、地震危険度解析に適している。これに、宇佐美カタログの1884年以前の部分を取り入れてつなぎ合わせたファイルは、地震危険度の統計分析以外に、既往地震の最大加速度を解析するなどのケースにも対応できるので実用性が高い。以下の地震危険度解析には、このようにして作った宇佐美・宇津カタログを主に使うことにする。

4-3 対象地震の選択範囲

地震カタログが同じであっても、地震の年代範囲、マグニチュード範囲、震央距離範囲などの選択条件に影響されて危険度の解析結果が変わってくる。そこで、宇佐美、宇津カタログを用い、もれらの範囲の取り方による影響を比較する²⁰⁾。

Table 2 地震カタログの特徴

カタログ名		宇佐美カタログ	宇津カタログ	気象庁カタログ
資料		416年から1983年までの理科年表 ¹⁴⁾ による被害地震を資料とする。この資料は、1975年までは宇佐美の「新編日本被害地震総覧 ¹⁶⁾ 」とほぼ対応している。	1885年から1980年までは宇津の資料 ¹³⁾ による。1981年以降は地震月報からマグニチュード6.0以上の地震を補充する。ただし、経度、緯度、あるいはマグニチュードの不明な地震は除いてある。	1926年から1960年を地震月報別冊第6号 ¹²⁾ 、それ以降を地震月報によりつなぎ合わせる。ただし、経度、緯度、あるいはマグニチュードの不明な地震およびマグニチュード4.5以下の地震は除いてある。
データ範囲	年代	416年～1983年	1885年～1984年	1926年～1983年
	マグニチュード	5.9～8.6	6.0～8.4	4.5～8.3
	経度(度)	はっきりしない*	123～149	128～150
	緯度(度)	はっきりしない*	22～47	30～48
地震数		431個	1802個	11344個
特徴		<ul style="list-style-type: none"> ・年代範囲が長い ・地震データの欠落が多い ・大きな地震の割合が多い ・深発地震や前震・余震はほとんど含まれない 	<ul style="list-style-type: none"> ・年代範囲が100年ある ・地震データの質がそろっている ・深発地震や前震・余震が含まれている 	<ul style="list-style-type: none"> ・年代範囲が短い ・地震データ数が多い ・小さな地震や余震が大部分で、大きな地震の割合が少ない

*経度・緯度に関係なく、日本の被害地震が収録されている。

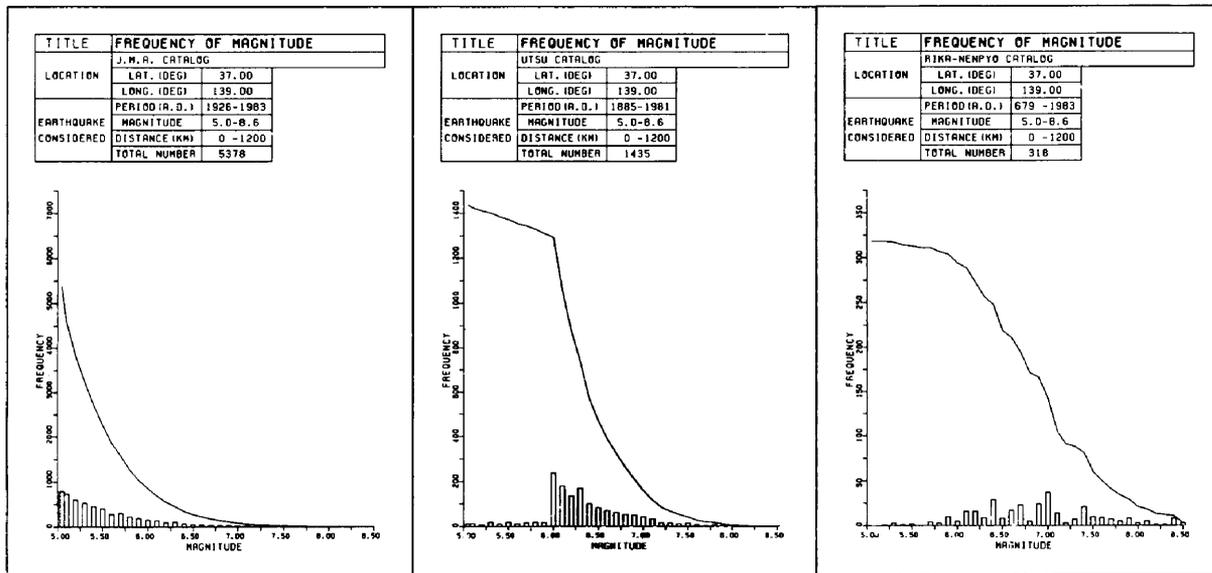


Fig.7 地震カタログ別のマグニチュード頻度分布

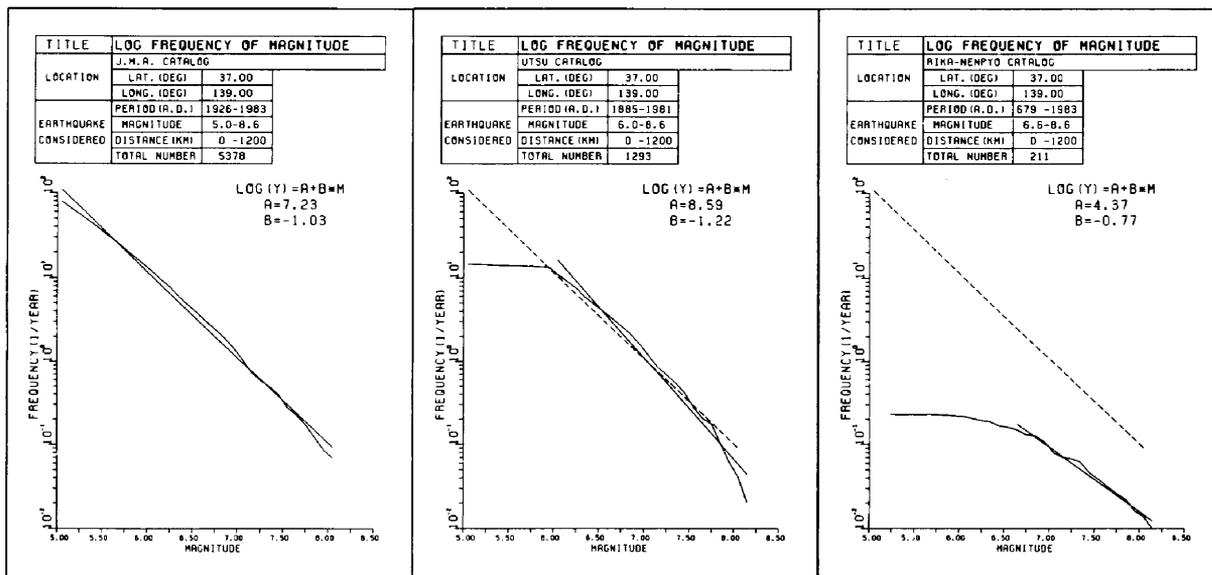


Fig.8 地震カタログ別の年間地震発生率

(1) 年代範囲

年代範囲を広くとれば良いとは限らないことを4-1で述べた。Fig. 6に見られたようにある時期を境にしてデータの性質が変わる。そのもっとも顕著な時期は西暦1885年であり、この年以降のデータは機械計測に基づいているが、それ以前は古文書の資料に基づいている。古文書の資料でも、地域や時代によりデータの保存状態に差があり、その例が1600年あたりに見られる。また、機械計測の時期でも、気象庁の観測体制の整った1926年の以前と以降でデータの質に差が現われることがある。

統計分析に耐えるデータの範囲は機械計測による1885年以降のデータである。それより遡って使用すると、Fig. 8 c)に見たように平均の年間地震発生率が確実に低下し、その結果地震動の期待値も低くなる傾向にある。

(2) マグニチュード範囲

マグニチュードの小さい地震まで含めて危険度解析するのが良いとは限らない。宇佐美・宇津カタログを使えば、統計分析に耐えるマグニチュード範囲は6.0以上であり(Fig. 8 b), 通常地震危険度解析ではこの範囲のデータで十分に解析できる。

もし、マグニチュード範囲を下方へ広げて使用する場合には、気象庁カタログを取り込むことになる。しかし、既に述べたように統計上でマグニチュード範囲を広げることが適切な処置とは限らない。例えば、気象庁カタログを使って $M \geq 5.0$ にすると、平均的にデータの約80%が $5.0 \leq M < 6.0$ の中小地震が占め (Fig. 7 a), それらの被害を生じない中小地震に重みのかかった統計分析になってしまうはずである。逆に、特定の地域や目的の場合を除いて、 $M < 6.0$ のデータを使う効果は期待するほど表われない。

(3) 震央距離範囲

震央距離範囲は広くとるに越したことはない。しかし、これに上限を付けて、加速度期待値への影響の少ない地震群をあらかじめ除いておくことと処理が容易になる。このため、震央距離範囲を100km, 150km, 200km, 300km, 500kmの5ケースとし、距離減衰式に「道路橋示方書」²¹⁾の式(地盤条件;岩盤)を使って $M \geq 6.0$ のデータで比較計算する。

加速度期待値を札幌、仙台、東京、大阪、福岡の5地点で計算して、その結果を Fig. 9 に示す。Fig. 9 によると、300km 以上で期待値はほぼ一定値になる。震央距離の遠い地震を考慮すると地震数は増えるものの、これらを考慮することの意味はほとんどない。逆に、震央距離範囲が狭すぎると考慮すべき地震まで落としてしまい加速度期待値が下がる。このために、狭くできる限度は150kmである。ただし、これらの距離限界は目安であって、マグニチュード範囲や使用する距離減衰式などの定め方によって変化することに注意しなければならない。

4-4 地震カタログの処理

地震カタログを使って地震動強さを計算する場合に、カタログの中の特異なデータなどどう処理するかの問題がある。すなわち、深発地震に距離減衰式をどう当てはめるか、大地震に伴う前震や余震をどう扱うかの点である。

深発地震の加速度を距離減衰式により計算すると大きな加速度になる場合があるが、実際には、これらが被害地震となることは少なく、最近の100年間に2例があるのみである²⁰⁾。日本の代表地点 (Fig. 9 参照) を選んで深発地震の影響を比較したところ、危険度解析に使う地震発生データから、深発地震を落とした方が妥当な加速度が計算されることが分った²⁰⁾。

大地震に伴う前震や余震を本震と同じように1つの地震として扱えば、地震危険度が過大に評価される恐れがある。危険度解析の結果、前震・余震の扱いにより加速度期待値が変化するとしても、その変化量は深発地震の影響よりも少ない²⁰⁾。一方、ある地震が、本震か余震か

を判断するには地震ごとの検討が必要であり、場合によっては一義的に決まらない。影響が少なく一義的に決まらないものを落とすよりも、前震・余震を含んだまま用いることは適切な処置と考える。

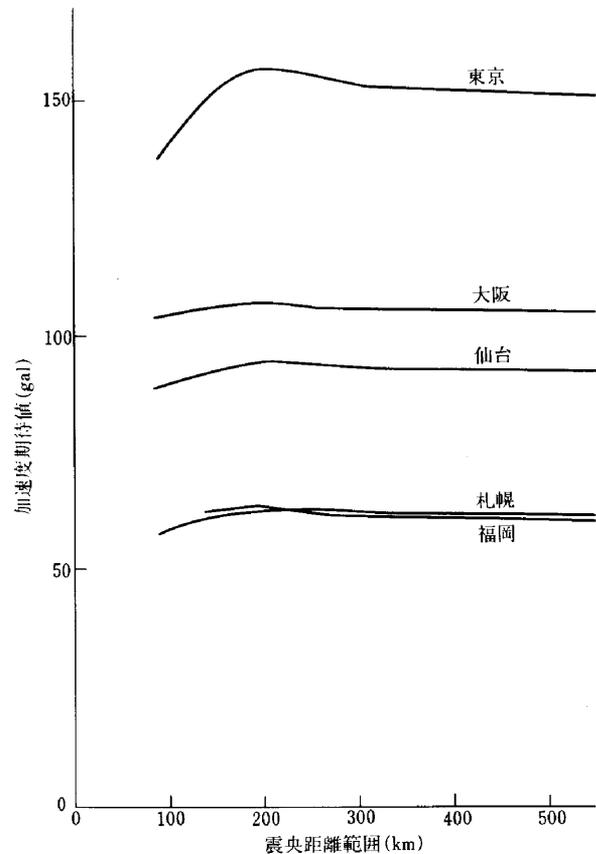


Fig.9 震央距離の違いによる加速度期待値の変化

4-5 データ処理法についての判断

本節に述べた条件設定と同じデータ処理を行なって、日本全国で地震危険度の分布を計算したものがあ²⁰⁾。詳しい説明は省略するが、計算結果の分布図は服部²²⁾による分布図と似ている。従って、ここに述べた地震発生データの処理方法が従来からの地震危険度研究の流れから逸脱していないことが判断される。

5. おわりに

地震危険度解析システム〈ERISA-G〉は種々の目的に利用されている。利用例を目的別の9項目に分類して分析した。目的や注目地点の地震環境の違いにより、解析結果の利用法や判断が異なって当然といえよう。また、システム開発の当初には想定しなかった利用目的であるが、「震度法のチェック」のための利用件数が多く、これがシステム利用の裾野を広げる原動力になっている。

地震危険度解析の利用技術のうち、地震発生データをどう使うべきかについて日本全国のデータを基にして検討した。その結果、地震発生データを危険度の統計分析に使用するためには、次の点に注意すると良いことが分かった。

(1) 地震発生データとして、宇津カタログを基本に用いるのが適切と判断される。気象庁カタログを併用する効果は一般に期待するほど表われないが、地震数の少ない地域では有効なケースもある。また、宇佐美カタログは統計分析には向かないものの、補助的なデータとして併用すると、古い地震を含めた既往最大値を求めるような解析に有効となる。

(2) 地震発生データの使用条件として、年代範囲を西暦1885年以降、マグニチュード範囲を6.0以上とするのが適切であろう。また、震央距離範囲は、使用する距離減衰式にもよるが、大略150km以上にするのがよく、300km以上は考慮しても効果が少ない。

地震危険度解析の手法は確立されていないため、不合理な解析結果を導かないための利用技術も明確でない。未解決の問題点を列挙したが、その解決は必ずしも容易でない。そこで、問題の決着を待つまでもなく、データの不足部分を地震観測結果や数値シミュレーション解析で補足し、ケースバイケースの工学的判断によりシステムを利用する技術が必要になる。解析結果を設計震度や全国的な地震危険度分布図などと対応することも不可欠な検討作業である。そして、地震危険度解析の利用技術をさらに高めるためには、第3節に挙げた距離減衰式、耐用年数と非超過確率、および活断層の研究を進めることと共に、構造物の耐震化のための合理的な方法論をもつことが重要である²³⁾。

謝辞 本研究は東京大学生産技術研究所片山恒雄教授のご指導により行ったものです。ここに謹んで感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 戸松征夫・片山恒雄：地震危険度解析のグラフィック・システム ERISA-G の開発とその機能，土木学会論文集，No. 362/I，pp.397～406，1985。
- 2) 戸松征夫・片山恒雄：地震危険度解析のグラフィックシステム〈ERISA-G〉—システム開発の概要と解析プログラム—，東京大学生産技術研究所報告，Vol. 32，No. 1，1986。
- 3) 砂坂善雄・草野直幹・平山東助：「対話型地震危険度解析システム」の開発と適用例，土木学会年次学術

- 講演会，第41回，第I部，pp. 987～988，1986。
- 4) 戸松征夫：注目地点に関する地震危険度解析の応用事例—その分類と動向の分析—，土木学会年次学術講演会，第42回，第I部，pp. 878～879，1987。
- 5) 斎藤正忠・小宮喜一・山本省吾：既設配水塔の耐震診断，西松建設技報，Vol. 10，pp. 57～63，1987。
- 6) 戸松征夫・斎藤正忠：地震危険度解析グラフィックシステム〈ERISA-G〉の適用例，西松建設技報，Vol. 9，pp. 35～41，1986。
- 7) 斎藤正忠・平野孝行：石炭火力発電所本館基礎の検討例(その1)，西松建設技報，Vol. 9，pp. 42～47，1986。
- 8) 大崎順彦：設計用入力地震動，コンクリート工学，Vol. 19，pp. 11～16，1981。
- 9) 栗林栄一・由井洋三・広瀬進：短期間を対象とする確率地震荷重の推定法，地震工学研究発表会，第19回，pp. 385～388，1987。
- 10) 片山恒雄・大森俊太郎：川崎市上水道システムの地震時信頼性，川崎市の震災予防に関する調査報告書，川崎市防災会議地震専門部会，pp. 61～84，1985。
- 11) 戸松征夫・片山恒雄：陸上活断層に基づく地震危険度図の特徴，地震工学研究発表会，第17回，pp. 21～24，1983。
- 12) 気象庁：改訂日本付近の主要地震の表(1926年～1960年)，地震月報，別冊第6号，1982。
- 13) 宇津徳治：日本付近のM6.0以上の地震および被害地震の表：1885年～1980年，地震研究所彙報，Vol. 57，pp. 401～463，1982。/宇津徳治：日本付近のM6.0以上の地震および被害地震の表：1885年～1980年(訂正と追加)，地震研究所彙報，Vol. 60，pp. 639～642，1985。
- 14) 東京天文台編：理科年表(昭和62年版)，丸善，1987。
- 15) 宇佐美龍夫：工学的地震動策定のための日本被害地震一覧表(西暦416～1884)，地震学会春期大会予稿集，No. 1，pp. 156，1986。
- 16) 宇佐美龍夫：新編日本被害地震総覧，東大出版会，1987。
- 17) 戸松征夫・片山恒雄：地震危険度解析における地震カタログ利用上の注意点，地震学会春期大会予稿集，No. 1，pp. 104，1985。
- 18) 宇津徳治：地震学第2版，共立出版，1984。
- 19) 戸松征夫・片山恒雄：歴史地震データによる加速度期待値の地域特性，地震工学研究発表会，第19回，pp. 377～380，1987。
- 20) 戸松征夫・片山恒雄：地震発生データの相違が地震

危険度分布図に及ぼす影響, 地震工学研究発表会, 第18回, pp. 481~484, 1985.

- 21) 日本道路協会: 道路橋示方書・同解説 V 耐震設計編, 日本道路協会, 1980.
- 22) 服部定育: 日本付近の地震危険度に関する考察, 建築研究報告, No. 81, 1977.
- 23) 片山恒雄: 地震工学・地震防災の研究と実務, 土木学会論文集, No. 344/I, pp. 1~12, 1984.