

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*

AN ONLINE-GRAPHIC SYSTEM FOR EARTHQUAKE RISK ANALYSIS
<ERISA-G>—ITS DEVELOPMENT AND FUNCTIONS

戸松 征夫**・片山 恒雄***

By Yukio TOMATSU and Tsuneo KATAYAMA

An online-graphic computer program (ERISA-G) has been developed to facilitate engineering decision making concerning design earthquake loads. ERISA-G utilizes a simple Poisson model, together with historical data of past earthquake occurrences. The man-machine interactive system and its graphic display capability enable the engineer to understand not only the final results but also the process of earthquake risk analysis. The data files consist of mapping data (about 20 000 points), active fault data (about 2 000 segments) and two sets of earthquake data catalogues of different characteristics (each with about 1 900 and 18 900 earthquakes). Using a small number of input data and the choices made by the engineer at different stages of the program, ERISA-G produces some 40 different graphic displays in addition to a variety of line-printed output.

1. 研究の背景

通常の構造物の耐震設計では、基準や指針によって地震荷重が求められるようになっており、周辺地域の過去の地震活動や断層分布などをいちいち調査をしないのが一般である。震度法による設計では、設計震度が地域、地盤および構造物の重要度などから定められるし、修正震度法による場合には、さらに構造物の基本固有周期が考慮される³⁾。現行の基準や指針における地震荷重の求め方とその大きさについても、さらに合理化の努力が進められるべきことは当然であるが、設計水平震度にしておよそ0.2前後の地震荷重を対象に設計された日本の土木構造物が、多くの場合、期待される耐震性を備えていたことは、近年のいくつもの地震後の調査からも明らかである。

これに対し、たとえば大きなダム、長大な橋、沈埋トンネル、原子力発電施設などのように、その重要性がきわめて高い構造物の建設プロジェクトや、特定の都市化

地域を対象にした震災予測調査では、周辺地域の地震環境などを個別に詳しく調査する必要がある。すなわち、歴史地震を含めて、どれくらいの規模の地震が、いつ、どこで起こったか、確認されている活断層はどう分布しているか、注目地点（または地域）の地盤はどんな特性をもつか、などの検討結果に基づいて、適切な地震荷重なり地震動強度なりを決定しなければならない。

このような調査検討は、これまで、大規模な建設プロジェクトの計画段階では何らかの形で実施されてきている。しかしながら、従来のこの種の調査は、中間段階でできるだけ多方面からの検討を加えるという努力に欠けていたうらみがあり、適当地震カタログから抽出された地震発生データをもとに、きわめて単純な確率モデルを仮定し、単刀直入に地震荷重を設定することが多かった。近年、地震や活断層、地震動の性質に関する資料が整備され、研究成果が増えてくるにつれて、なるべく多くの資料を有効に使い、中間の検討段階の情報を多角的に眺めながら、適切な地震荷重を決めてゆくことが可能になってきた。すなわち、「ある地点に将来50年間に発生する地震動の最大加速度の期待値が100 cm/s²」という最終結果だけではなく、そこに至るプロセスの理解が、技術者にとって以前にもまして重要になりつつある。他方、情報量の増大は、情報の有効利用を難しくし

* 本論文の内容の一部は、文献1)および2)に発表されている。

** 正会員 理修 西松建設株式会社 土木設計部設計課
(〒105 港区虎ノ門1-20-10)

*** 正会員 Ph.D. 東京大学教授 生産技術研究所
(〒106 港区六本木7-22-1)

ている。したがって、多角的・総合的判断を行うためには、技術者が知りたい中間段階の情報を、短時間に、しかもわかりやすく提示しなければならない。構造物の動的解析結果が、時として多すぎるほどの図で表わされるのに比べると、地震荷重の決定は、数枚の手書きのグラフ程度をもとに行われることが少なくない。すでに工学の多くの分野で利用されていることではあるが、地震危険度の検討に、コンピュータとの対話型式によるオンライン・グラフィック解析を応用することの利点は多い。地図表示、図形表示された結果を短時間に得つつ検討を進めることによって、技術者が判断材料として使える情報量を飛躍的に増大させることができる。

本論文では、上に述べた実用上の必要性に対処することを目的に開発された、地震危険度解析のオンライン・グラフィック・システム ERISA-G (イライザ・ジー) の概要と機能を紹介する。ERISA-G は Earthquake Risk Analysis Graphics の頭文字から命名されたものであり、システム・ソフトは約 5000 行の FORTRAN プログラムから成り立っている。前述の目的を満たすため、技術者が選択できる判断要素をなるべく豊富に盛り込むとともに、結果は各種のグラフで表示されるようになっている。現時点で、約 40 枚の異なる図形出力機能が備えられており、地震や地震動に関しても、最新のデータや研究成果が利用できる。ERISA-G がシステムとして確実に機能することは、多数の試算結果から確認されているが、まだ改善の余地もある。本システムに関して、この分野に興味のある研究者や実務技術者の方々から、忌憚のないご意見がいただければ、著者らの望外の喜びである。

2. 地震危険度解析に必要なデータ

「注目地点に、どの程度の強さの地震動が、どれくらいの頻度で来襲するか」という地震危険度を求めるためには、解析の目的、手法、レベルにもよるが、いくつかの基礎情報が必要である。

まず、周辺地域の地震発生の様子を表わす何らかの情報が必要であり、①過去にその地域に発生した地震のデータ、②活断層の位置および信頼度、活動度に関するデータ、さらに③周辺地域の、より巨視的な地体構造に関するデータ、などが主なものである。①の情報は、いつ、どこに、どのくらいの規模の地震が起こったかという、地震発生カタログに代表される。②の活断層に関するデータは、断層の長さ、幅、活動度などをもとに、その断層に発生する可能性のある地震の特性を求める目的に使われることが多い。また、③の情報は、プレート境界などを参考にして、周辺地域を地震活動度の異なるいくつかの領域に区分するとき参考となる。

次に、「ある規模の地震が、ある距離のところへ発生した場合に、注目地点にどんな地震動を生じさせるか」が予測できなければならない。地震動の性質として何に注目するかは、危険度解析の目的によって異なるが、地震工学の立場から重要性が高いと思われるものは、①地震動の最大振幅 (たとえば最大加速度)、②振動数特性、③継続時間、④応答スペクトル (たとえば加速度応答スペクトル) などである。応答スペクトルは、1 自由度系の最大応答を通して、固有周期と減衰の異なる構造物に与える、地震動の影響を総合的に表わす量として、耐震設計の実務で広く応用されている。

局所的な地震動特性は、注目地域 (地点) の地形、地盤構造、土質条件や地下水位などに強く影響される。最近では、地下の硬い基盤層上面における地震動特性を設定して、それより上の地表層の特性を解析的に考慮することにより、設計地震動を定めることがある。

あとに述べるように、ERISA-G では、現在のところ以下の情報が、何らかの形で技術者の判断材料として使える。①歴史地震を含む地震発生カタログ、②活断層の分布、③地震動の最大振幅に関する各種の経験式、④応答スペクトルの予測式、⑤注目地点の地盤の工学的な分類。このうち、地盤条件の分類は、③や④の経験式や予測式を介して、間接的に考慮されており、活断層データは、現時点では、最終の定量的な危険度評価には用いられていない。

3. 地震危険度解析の方法

わが国の地震危険度の解析としては、河角広 (1904~1972) による先駆的研究があり、その結果は「河角マップ」として長い間、土木建築構造物等の耐震設計の基本的ガイドラインを与えてきた⁴⁾。河角は、599 年から 1949 年までの 1350 年間にわが国とその周辺に発生した 342 個の地震を基礎資料とし、日本全国の陸地と近海の緯度・経度 0.5° ごとのメッシュ点 345 点のそれぞれにおいて、どれくらいの強さの地震動が何回来襲したかを計算した。このデータをもとに、将来 75、100、200 年を対象にして、日本全国に対する最大加速度の期待値の等値線図を描いたものが「河角マップ」である。河角の方法は、将来の地震発生傾向が過去 1000 年程度の地震発生データから予測可能であると、地震の発生をポアソン過程と仮定した危険度解析法であった。

これに対し、C. A. Cornell⁵⁾ が、さらに確率論的な色彩の強い地震危険度解析手法を提案して以来、この考え方に基本的に準拠した解析方法が多くの研究者により試みられてきた。Cornell の方法では、まず、注目地点周辺で、地震発生のある領域を点・線・面で理想化する。それぞれの領域内の地震発生頻度を指定し、

地震規模は、Gutenberg-Richter の法則に従うランダムな変数とし、さらに、それぞれの領域内における地震の発生位置もランダムであるとして、注目地点の地震危険度を評価する。この種の方法は、活断層を線震源として扱うことができる等の利点があり、アメリカ合衆国を中心に、研究的応用例は多い。

ところで、日本周辺地域の地震危険度解析を行う際に注意すべき点は以下のようにまとめられる。

- ① 過去の被害地震、特に M8 クラスの巨大地震の大部分は海底に震源をもつが、海底の活断層データは陸上部に比べて精度が低い。
 - ② 日本の海岸地域、特に大部分の都市化地域は、厚い沖積層におおわれており、陸上に発生した被害地震を活断層に関係付けることが難しい。
 - ③ そのかわり、歴史時代からの古い地震発生に関して、信頼性の高い記録がかなりよく整備されている。
- これらの事情を考慮し、ERISA-G では、過去の地震発生記録と簡単なポアソン過程モデルの組合せにより、前述の河角の手法を基本的に採用することとしている。

4. ERISA-G 開発の考え方と基本データ

(1) 開発の基本方針

すでに 2. および 3. で簡単に述べたが、ERISA-G 開発の基本方針を少し詳しく説明しておく。

① 開発目的は、耐震検討に必要な判断材料をなるべく豊富に、かつわかりやすく技術者に提供することである。したがって、解析の結果得られる、たとえば 1 つの最大加速度の期待値をそのまま設計条件とすることよりも、総合判断のための参考情報を多角的に引き出すための利用を目的とする。

② 過去の地震発生データのカatalog を基本情報とする。将来的には活断層データも組み合わせる予定でデータベースおよびプログラムは開発するが、現時点では、地震発生データと活断層データの両者を過不足なく反映する解析手法を確立することは難しい。ただし、活断層データも地図上に表示できる程度にはしておく。

③ データベースおよびプログラム群を大型計算機内に収納しておき、実際の解析は、コンピュータ端末から電話回線を介して対話形式で進められるものとする。したがって、解析開始時の入力データを極力少数に押さえ、解析の途中で技術者がいろいろな選択・判断ができる余地を広くもたせる。図-1 は、現在実際に運用している機器構成の概略を示したものである。

④ 解析結果を、なるべくわかりやすく地図、グラフ、表などで表す。たとえば、活断層や過去の地震震央の分布を地図上に表示し、地震動最大振幅の期待値と再現期間の関係などをグラフで表示できるようにする。図形

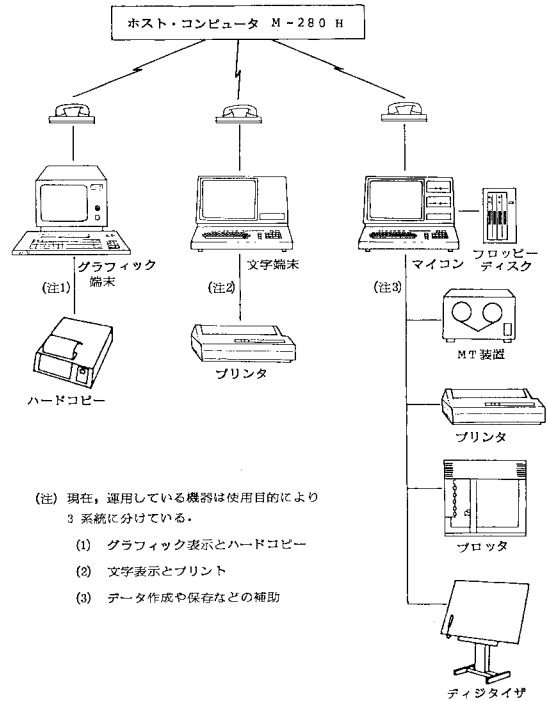


図-1 ERISA-G システムの機器構成

表示には、東京大学大型計算機センターの汎用プロットサブルーチン⁶⁾を使っている。過去の地震や、それらが注目地点に発生させたであろう地震動特性などのデジタル値を必要に応じて取り出せるようにする。この際、過去の地震のリストを発生年代順はもとより、マグニチュード順、注目地点からの距離順など、目的に応じて最も使いやすい形で出力させる。

(2) 基礎データ群

a) 地図データ

日本全国の海岸線および主要な湖や島を約 20 000 点のデータで数値化した。

b) 活断層データ

「日本の活断層」⁷⁾に表示されている活断層のうち、その確実度が I (確実) および II (ほぼ確実) と表示されているものを、33 万分の 1 の地図上から読み取り、約 2 000 本の折れ線で数値化した。なお、ここでいう「活断層」は約 200 万年前から現在までに動いた形跡のある断層として定義されている。

c) 地震データ

過去の地震発生データのには、2 種類の地震カatalog を用いる (表-1)。

1884 年以前の地震は、宇佐美龍夫の被害地震カatalog⁸⁾の中から、震央およびマグニチュードが一応明記されているものを対象とした。宇佐美は 1885 年以降についても整理しているが、1885 年～1980 年の期間に発生

表-1 ERISA-Gの地震データベース

カタログ名	宇佐美・宇津カタログ	気象庁カタログ	
年代	年代(西暦)	679年～1980年	1926年～1983年
	マグニチュード	6.0～8.6	4.5～8.2
経度	東経	123°～149° 宇佐美カタログはこれより狭い。	東経 122°～154°
	北緯	22°～47° 宇佐美カタログはこれより狭い。	北緯 22°～50°
説明	1885年以前を宇佐美カタログ ¹⁾ 、それ以降は宇津カタログ ²⁾ によりつなぎ合わせたもの。規模あるいは位置の不明な地震は落してある。	1926～1960年を地震月報別冊 ³⁾ 、それ以降は地震月報による。M 4.5以下の地震、および規模あるいは位置の不明な地震は落してある。	
地震数	約1,900	約18,900	

した主要地震の震央・マグニチュードは、最近、宇津により吟味し直されたものがある⁹⁾。これら2つの資料を、重複させずにつなぎ合わせたものを、以下では、宇佐美・宇津カタログとよぶ。このカタログに含まれる地震のマグニチュードは基本的に6.0以上と考えられ、地震の総数は約1900である。

地震発生データとしては、もちろん、気象庁によるものがある。最近、気象庁は、1926年から1960年までの地震について、新たに震央・マグニチュードを決め直した結果を発表している¹⁰⁾。また、1961年以降の地震資料は地震月報に整理されているものが、精度も信頼性も高い。ERISA-Gのデータとしては、以上の2つをつなぎ合わせた1983年までの気象庁カタログが使える。最小マグニチュードを4.5にしており、地震総数は約18900個である。

d) 地震動特性の予測式

ERISA-Gでは、主として地震動の最大振幅と応答スペクトルが解析対象である。これらの地震動特性を、地震のマグニチュードと震央距離から予測する式を、ここでは「距離減衰式」と総称する。強震記録が蓄積され、その解析が進むにつれ、多くの研究者が、異なる距離減衰式を提案している。

現時点で、ERISA-Gは、13種類の地震動最大振幅の経験的な回帰式と2種類の応答スペクトル予測式を常備している。最大振幅の距離減衰式の内訳は、最大加速度について6種類、最大速度について4種類、および最大変位について3種類であり、応答スペクトル予測式は、片山ら¹¹⁾および大崎ら¹²⁾によるものが組み込まれている。また、最大振幅予測式を

$$A = \alpha \times 10^{\beta M} \times (\Delta + \delta)^{-\gamma} \dots \dots \dots (1)$$

の形に仮定し、技術者が α 、 β 、 γ 、 δ を自分で指定してもよい。上式の A は最大振幅、 M はマグニチュード、 Δ は震央距離(km)である。

e) 地盤条件

地盤条件による地震動特性の違いは、距離減衰式において地盤種別を指定することにより配慮されるにすぎず、局所的な地形や地下構造の不整形性は勘案されない。

5. ERISA-Gの解析の流れと実行例

(1) システム機能の概略

図-2は、ERISA-Gによる解析の概略の流れを示したものである。この図は、概念の理解を助けるものであり、システム・プログラムの流れとは必ずしも厳密に対応していない。

まず、与えられた条件に従って、注目地点周辺に発生した地震を地震データベースから選択し、これらを必要に応じて活断層とともに地図上に表示する。また、選択された地震のマグニチュード、震央距離に関する統計処理を行う。続いて、これらの地震によって注目地点に生じたであろう地震動最大振幅や応答スペクトルを計算する。最大振幅については、再現期間と耐用年数を考慮した解析を行うこともできる。

解析結果は、今のところ39種類の図形出力と、各種のラインプリンタ出力で表示され、「どんな量に注目して解析したいか」「どの結果を表示させたいか」などは、技術者の判断で指定される。ラインプリンタ出力機能としては、選択された地震を、年代順、マグニチュード順、震央距離順などに従って並べかえたりリストの作成がある。また、注目地点を中心にした距離範囲、地震データの年代範囲とマグニチュード範囲をしばり込むことにより、地震データの信頼性も含めて、より総合的な判断を可能にする機能もある。

(2) ERISA-Gの実行例

図-2に示した流れに従って、ERISA-Gがどのような解析を行い得るかを例題で示し、解析結果のグラフの一部を例示する。

解析は、注目地点の緯度・経度、使いたい地震データの開始年、扱う地震の最小マグニチュード、解析対象としたい地域の距離範囲を、対話型式で入力することから始まる。この実行例では、

注目地点 東京大学生産技術研究所 (TOKYO DAIGAKU-SEIKEN)

北緯 35.66°, 東経 139.70°

開始年 西暦 1000年

最小マグニチュード 6.0

距離範囲 150 km

とし、地震データベースは、前述の宇佐美・宇津カタログを使う。

図-3は、上述の条件で選び出された地震の震央を、活断層分布とともに示したものであり、図中の大円が、半径150 kmの範囲を示し、円中心の×印が注目地点で

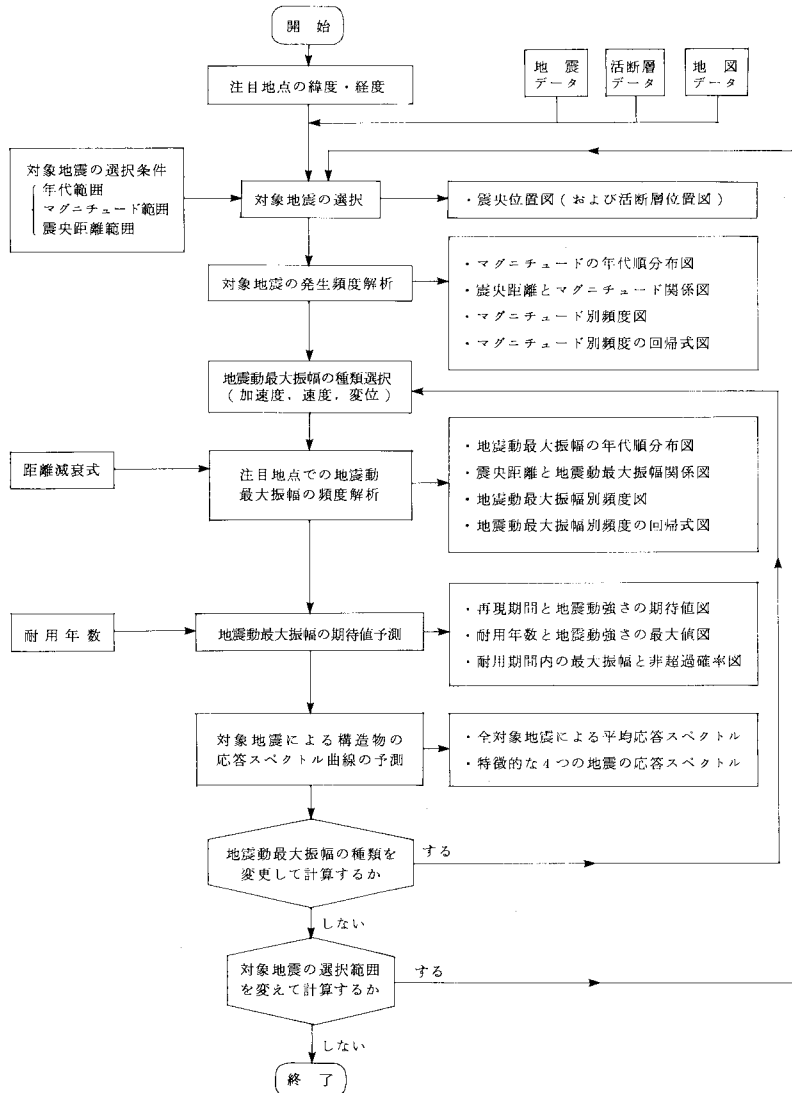


図-2 ERISA-G システムの概略フロー

ある^{注1)}。図-3は震央と活断層を同時に表示した例であり、震央または活断層のいずれか一方のみを表示することもできる。図中に示されているように、合計149個の地震が選り出されており、これ以降の解析は、この地震群を対象に行われる。すでに述べたが、現時点では、断層データの活用はここまでであり、今後この有効利用を検討する必要がある^{13)~17)}。

図-4は、前述の149個の地震を発生年代順に図示したものである。図中右上の枠内に示されているように、

最大マグニチュードの地震は1703年の元禄地震であり、マグニチュード8.2、注目地点からの震央距離は107kmである。図-4から判断して、古い地震の記録もれは明らかであるが、本論文における以下の検討では、このことを特に考慮していない。したがって、本論文では、最大加速度等の値そのものの定量的な議論は行わない。

149個の地震をマグニチュードと震央距離を2つの軸とした平面上にプロットして図-5に示した。震央距離にして50~100kmの地震が特に多いことがわかる。また図中右上の枠内には、最大マグニチュード地震、最小震央距離地震など、4つの代表的な地震が示してある。この場合、最小マグニチュードは、当然6.0であり、最大マグニチュード地震は前述の元禄地震である。また、

注1) 図-1に示したように、通常の検討では、電話回線を介してグラフィック・ディスプレイ上に得られた画面を、必要に応じてハードコピーするが、この論文中の図面は、静电プロッターによりプロットさせたものである。

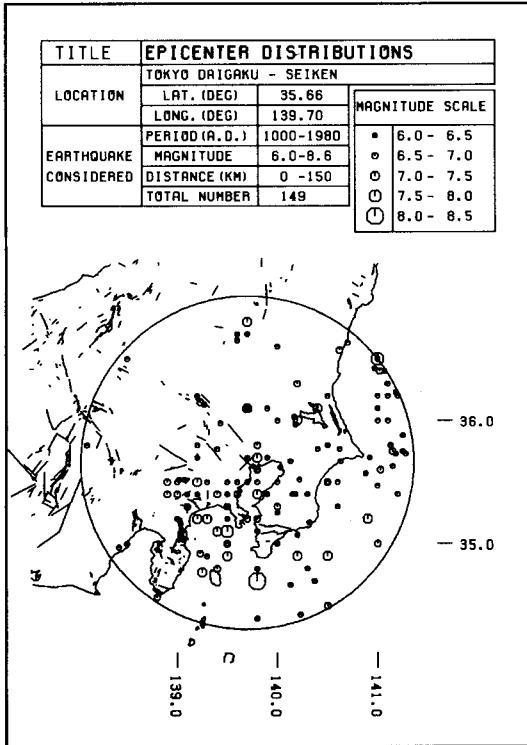


図-3 震央位置図 (および活断層位置図)

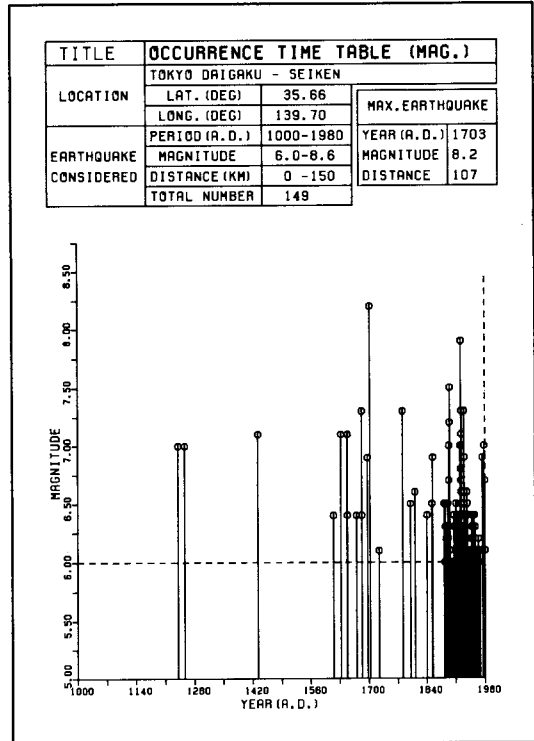


図-4 マグニチュードの年代順図

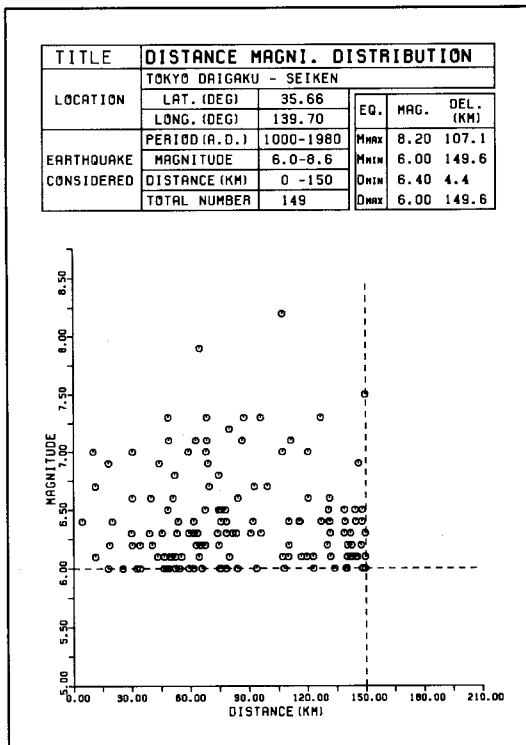


図-5 震央距離とマグニチュード関係図

最小震央距離の地震は、1615年に発生したM6.4の地震であり、注目地点からの震央距離は4.4 kmと計算されている。

マグニチュードの頻度分布の解析結果が図-6および図-7である。図-6は、149個の地震のマグニチュード分布を普通目盛上に表示したものであり、折れ線グラフは、累積頻度を示している。この図から、対象とした期間内に、M6.5以上の地震が40数個発生していることがわかる。図-7は、縦軸に1年当たりの発生回数を対数目盛で示したものである。この形に表示すると、図中の式のような直線性が成り立つことが、経験的に知られている。図中のAおよびBは、最小二乗法で決定した回帰式の係数値である。回帰式を求めるに際しては最右端および最左端のデータを無視する等の工夫をしている。

過去の149個の地震のそれぞれが、注目地点に地震動を生じさせたはずである。マグニチュード、震央距離、地盤条件の関数として、最大加速度を推定する経験式の数は多く、ERISA-Gは、その代表的なものを内蔵している。この解析例では、建設省土木研究所の経験式¹⁸⁾を用い、地盤条件として3種(沖積地盤)¹²⁾を指定した。

注2) 地盤種別は文献3)の分類による。

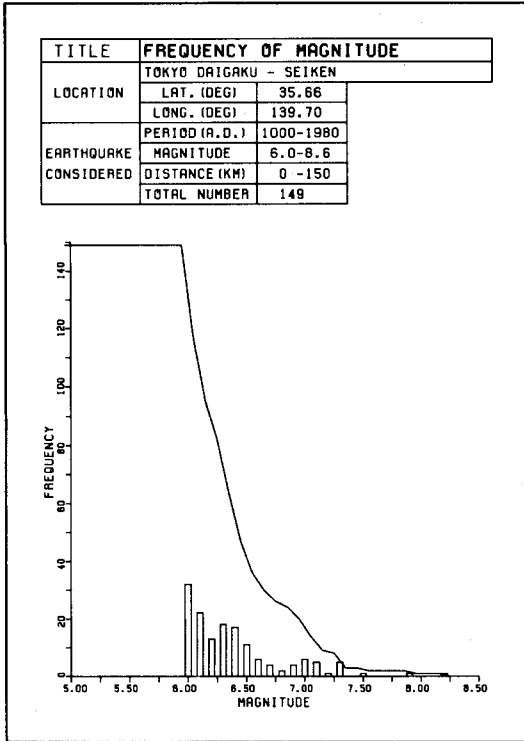


図-6 マグニチュード別頻度図

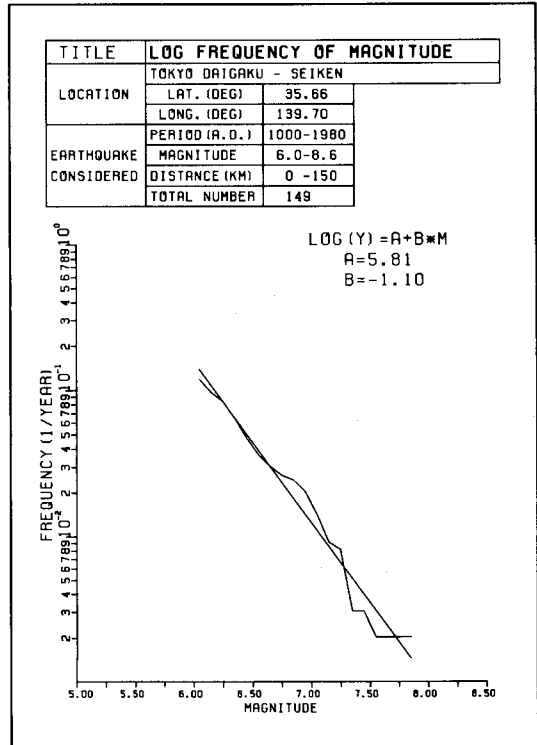


図-7 マグニチュード別頻度の回帰式図

図-8 は、どんなマグニチュード・震央距離の組合せの地震が、注目地点にどれくらいの最大加速度を生じさせたかを示したものである。解析対象地震の最小マグニチュードを 6.0 に指定してあるため、グラフの下側は距離減衰式に M 6.0 を代入した曲線にすりついている。これらの最大加速度の発生を年代順に並べて図-9 に示す。図-9 から、1894 年に発生した M 7.0、 $\Delta = 10$ km の地震が注目地点に過去最大の最大加速度を生じさせたであろうことがわかる。

先に、マグニチュードに対して実施した手順と同じようにして（前述の図-6 および図-7 参照）、今度は両対数グラフ上に最大加速度の累積頻度分布を描き、最小二乗法で回帰直線を引いた結果が図-10 である。この図の縦軸に示された 1 年当たり発生回数 ν の逆数は、ある値以上の最大加速度が注目地点に襲する事象の再現期間 T を表わす。

$$T = 1/\nu \dots \dots \dots (2)$$

さらに、構造物の耐用年数を t 年とし、 t 年間に再現期間 T 年の地震動が生じない確率（非超過確率）を Q で表わせば、

$$Q = \exp(-\nu t) \dots \dots \dots (3)$$

の関係がある。この例では（図-10 参照）、最大加速度振幅を $a(\text{cm/s}^2)$ とすれば、

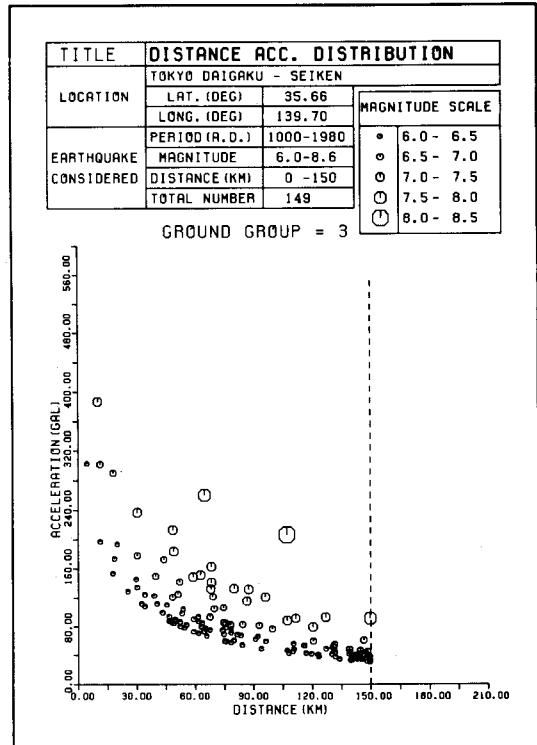


図-8 震央距離と加速度関係図

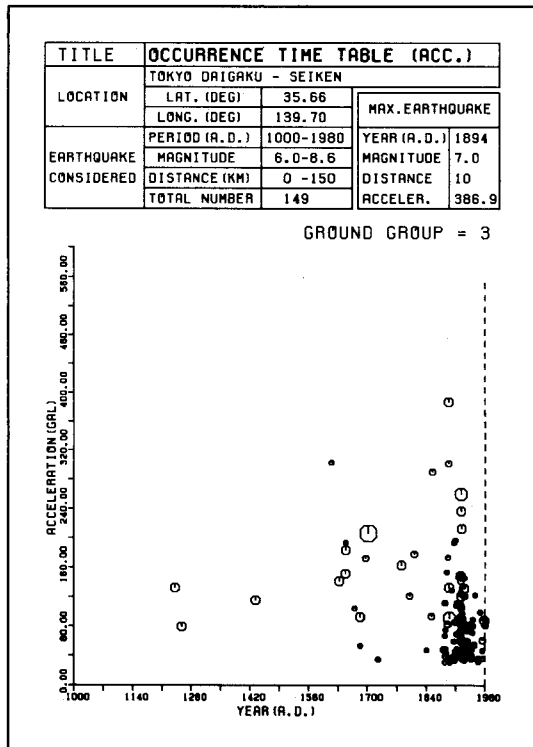


図-9 加速度の年代順図

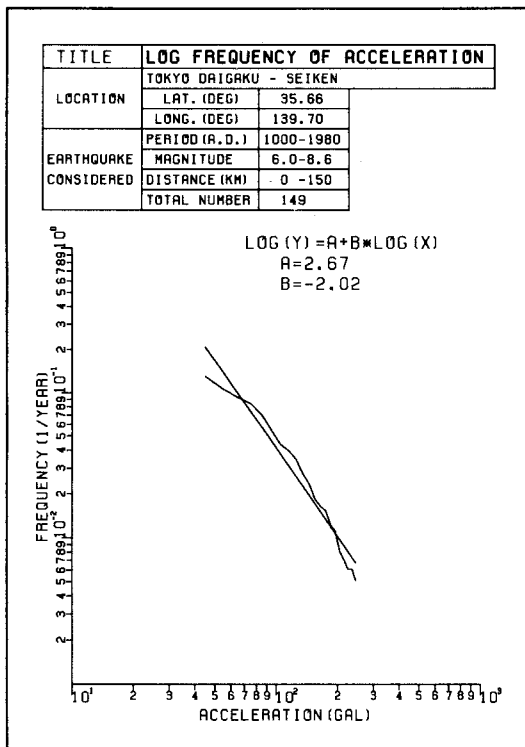


図-10 加速度別頻度の回帰式図

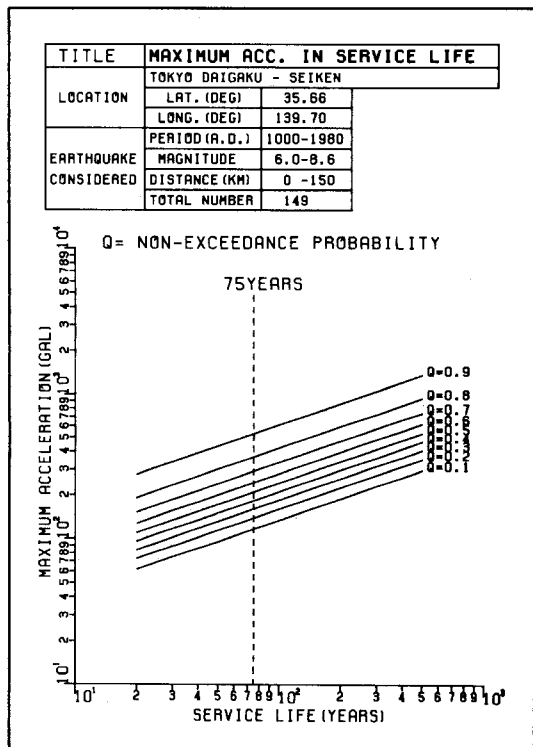


図-11 耐用年数と加速度の最大値図

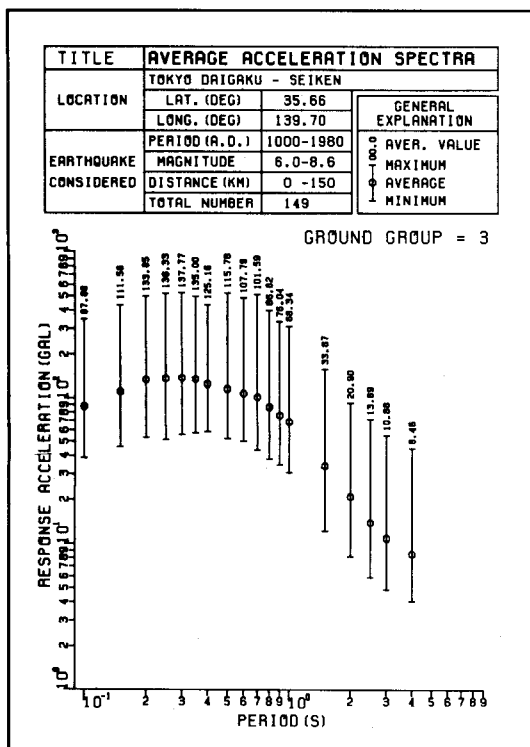


図-12 全対象地震による加速度応答スペクトル

$$\log v = 2.67 - 2.02 \times \log a \dots\dots\dots (4)$$

なる関係があり、(3)と(4)の両式から、構造物の耐用年数 t および非超過確率 Q を与えれば、 a が定まる。たとえば、 $t=75$ 年、 $Q=0.8$ とするとき、式(3)から v の値は 0.00297 となり、さらに式(4)から、この v の値に対応する最大加速度振幅が $a=374 \text{ cm/s}^2$ と求まる。すなわち、構造物の耐用年数が 75 年のとき、最大加速度振幅が 374 cm/s^2 を超えるような地震動が来襲する確率は 20% である。図-10 の発生率をもとに図-11 が得られる。当然のことながら、耐用年数を長く設定し、かつ非超過確率を大きく(超過確率を小さく)保とうとするほど、高い最大加速度が予測される。

図-12 は、加速度応答スペクトルに関する解析結果である。149 個の対象地震のそれぞれに対し、片山ら¹⁾ の予測式を用いて減衰定数 5% に対する加速度応答スペクトル振幅を計算し、それらの分布幅と平均値を図示したものである。地盤種別は 3 種(沖積地盤)を仮定している。

ここに例示した 10 枚の図形出力(図-3~図-12)は、現時点で ERISA-G を用いて得られる解析結果の一部であり、地震動の速度振幅および変位振幅等について同種の検討が可能である(表-2 参照)。例として示した図は、図番号順に、表-2 の 1, 3, 2, 4, 5, 6, 9, 15, 21 および 30 に対応する。また、表-2 の中で使われている「4 地震」は、最大マグニチュード地震、最小震央距離地震などの代表的な 4 つの地震(図-5 の右上の枠内を参照)を意味している。

表-2 ERISA-G の解析図一覧

No	解析図名称	No	解析図名称
1	震央位置図(および活断層位置図)	21	耐用年数と加速度の最大値図
2	震央距離とマグニチュード関係図	22	耐用年数と速度の最大値図
3	マグニチュードの年代順分布図	23	耐用年数と変位の最大値図
4	マグニチュード別頻度図	24	耐用期間内の最大加速度と非超過確率図
5	マグニチュード別頻度の回帰式図	25	耐用期間内の最大速度と非超過確率図
6	震央距離と加速度関係図	26	耐用期間内の最大変位と非超過確率図
7	震央距離と速度関係図	27	特徴的な 4 地震の加速度応答スペクトル
8	震央距離と変位関係図	28	特徴的な 4 地震の速度応答スペクトル
9	加速度の年代順分布図	29	特徴的な 4 地震の変位応答スペクトル
10	速度の年代順分布図	30	全対象地震による加速度応答スペクトル
11	変位の年代順分布図	31	全対象地震による速度応答スペクトル
12	加速度別頻度図	32	全対象地震による変位応答スペクトル
13	速度別頻度図	33	特徴的な 4 地震の加速度の大略スペクトル
14	変位別頻度図	34	特徴的な 4 地震の速度の大略スペクトル
15	加速度別頻度の回帰式図	35	特徴的な 4 地震の変位の大略スペクトル
16	速度別頻度の回帰式図	36	全対象地震による加速度の大略スペクトル
17	変位別頻度の回帰式図	37	全対象地震による速度の大略スペクトル
18	再現期間と加速度の期待値図	38	全対象地震による変位の大略スペクトル
19	再現期間と速度の期待値図	39	地震放出エネルギーの累積図
20	再現期間と変位の期待値図		

6. あとがき

本論文では、過去の地震発生データを基本情報とした、地震危険度解析のオンライン・グラフィック・システム(ERISA-G)の概要を紹介した。4.(1)で述べたように、このシステムは一定の処理ルーチンで機械的に 1 つの答えを得ることを目的に開発されたものではない。地震危険度に関する豊富な情報を短時間にわかりやすく表示することにより、技術者が解析のプロセスに直接関与しつつ、総合的な判断に至る手助けをしようとするものである。

システムとしての ERISA-G は基本的に完成しており、かなりの数のケーススタディーも重ねてきている。しかし、さらに検討すべき点もいくつか残されている。図表中の英文タイトル等にまだこなれの悪いものがあることを別にしても、以下の諸点が今後の課題として列挙できる。

- ① データベース、特に地震データベースの使い方の改善。古い地震と新しい地震のデータをどのようにつなぐか、どのように使い分けるかの検討。
- ② 活断層データの有効利用。
- ③ 適用限界の検討。過去の地震発生データが少数の地域では、解析結果の信頼性がきわめて低くなる。このような場合に、どう判断し、処理するかの検討。
- ④ 技術者が途中で判断・選択できる機能の充実と拡大。
- ⑤ グラフィック表示方法をさらにわかりやすくするための工夫。

謝 辞：ERISA-G は、戸松征夫が 1982 年 4 月から 2 か年間にわたって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、片山恒雄の発案と助言のもとに開発されたものである。開発に際してご協力いただいた、東京大学生産技術研究所助手 佐藤暢彦および大保直人の両氏に深甚なる謝意を表する。

参考文献

- 1) 戸松征夫・片山恒雄：地震危険度解析グラフィック・システム(ERISA-G)の開発, 土木学会第 39 回年次学術講演会概要, 第 I 部, pp. 859~860, 1984.
- 2) 戸松征夫・片山恒雄：地震危険度解析グラフィック・システム(ERISA-G)の機能, 第 9 回電算機利用に関するシンポジウム講演概要, 土木学会, pp. 21~24, 1984.
- 3) 建設省：総プロ「新耐震設計法の開発」研究報告新耐震設計法(案), 土木研究所資料, No. 1185, 1977.
- 4) Kawasumi, H.: Measures of Earthquake Danger and Expectancy of Maximum Intensity Throughout Japan as Inferred from the Seismic Activity in Historical Times, Bull. Earthq. Research Inst., Vol. 29, pp. 469~482,

- 1951.
- 5) Cornell, C.A. : Engineering Seismic Risk Analysis, BSSA, Vol. 58, No. 5, pp. 1583~1606, 1968.
 - 6) 日立製作所：HITAC汎用図形出力ルーチン集GPSL/GPSL-S機能編, 1981.
 - 7) 活断層研究会編：日本の活断層一分布図と資料一, 東大出版会, 1980.
 - 8) 宇佐美龍夫：資料日本被害地震総覧, 東大出版会, 1975.
 - 9) 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.
 - 10) 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.
 - 11) 片山恒雄・岩崎敏男・佐伯光昭：地震動加速度応答スペクトルの統計解析, 土木学会論文報告集, No. 275, pp. 29~40, 1978.
 - 12) 大崎順彦：設計用入力地震動, コンクリート工学, Vol. 19, No. 7, pp. 11~16, 1981.
 - 13) 安田 実・片山恒雄・久保慶三郎：陸上活断層の分布に基づく地震危険度の評価, 土木学会第35回年次学術講演会概要, 第I部, pp. 413~414, 1981.
 - 14) Wesnousky, S.G., Scholz, C.H. and Shimazaki, K. : Deformation of an Island Arc : Rates of Moment Release and Crustal Shortening in Intraplate Japan Determined from Seismicity and Quaternary Fault Data, Journal of Geophysical Research, Vol. 87, No. B 8, pp. 6829~6852, 1982.
 - 15) Tomatsu, Y., Yasuda, M. and Katayama, T. : Seismic Hazard Mapping Based on Active Fault Distribution in Japan, Proc. of Review Meeting of U.S.—Japan Cooperative Research on Generalized Seismic Risk Analysis and Development of a Model Seismic Format, Paper No. 6, pp. 1~26, 1983.
 - 16) 戸松征夫・安田 実・片山恒雄：陸上活断層に基づく地震危険度図の特徴, 第17回地震工学研究発表会講演概要, 土木学会耐震工学委員会, pp. 21~24, 1983.
 - 17) 奥村俊彦・亀田弘行：活断層データと歴史地震データを組み合わせた地震危険度解析, 土木学会第39回年次学術講演会概要, 第I部, pp. 857~858, 1984.
 - 18) 川島一彦・相沢 興・高橋和之：強震記録の重回帰分析による地震動の最大加速度, 最大速度および変位の推定式, 土木技術資料, Vol. 26, pp. 80~85, 1984.

(1984.11.15・受付)