

#### (4) 地震危険度解析結果に及ぼす各種要因の影響度の検討

東電設計 (株) 安中 正 東京電力 (株) 竹内 信次  
 東京電力 (株) 加藤 保治 東京電力 (株) 須田 嘉彦

**1. まえがき** 耐震設計用入力地震動の設定において、対象とする想定地震を設定し、その想定地震から予想される地震動特性を確定的に推定する方法が用いられている。しかし、想定地震の位置や規模などの不確実性や最大加速度等の推定式のばらつきを考慮すると、推定結果にはかなりの任意性があると考えられる。その点を考慮して、地震危険度解析では、不確実な要素を確率的に評価し、結果も確率的な形で表現している。不確実な要素をなくすことが現実的に不可能であることを考慮すると、確率的な評価結果に基づき入力地震動を設定する方がより合理的な方向と考えられる。ただし、地震危険度解析においても地震活動モデルの設定のように主観的な判断を必要とする点をどのように処理するかという問題などがある。本研究では、地震危険度解析結果に基づき入力地震動を設定する方法を実用化することを目的として、関東地方を対象に、地震活動モデル、推定式の震源深さの扱い、推定式のばらつき的大小とその打ち切り範囲、最小マグニチュード等の要因が地震危険度解析結果に及ぼす影響を検討した。

**2. 地震活動モデル** 過去の地震活動の特徴や活断層分布等を考慮して地震活動モデルを設定するためには何らかの判断が必要である。判断の違いが解析結果にどの程度影響するかを調べるために、3個のモデルを設定した。3個のモデルは、異なる考え方に基づいて設定されているが、地震活動度の設定に用いたデータは共通である。第1のモデルは、地震活動域の区分やマグニチュードと頻度の関係 (M-N関係) の設定において最近のサイスマテクトニクスに関する知見を積極的に取り入れたモデル (テクトニクスモデル) である<sup>1)</sup>。地震活動域は大地震のみが発生する活動域と Gutenberg-Richter の関係に基づいて中小地震も含めて地震が発生する活動域に分けられる。前者の活動域の分布を図-1に示す。各活動域は過去の大地震の断層モデル及び活断層に基づいて設定されている。後者の活動域は、太平洋プレート、フィリピン海プレート、大陸プレートに沿って設定されている<sup>1)</sup>。第2のモデルは、地震活動域の区分やM-N関係の設定を非常に機械的に行ったモデル (簡略モデル) である。地震活動域の区分を図-2に示す。緯度・経

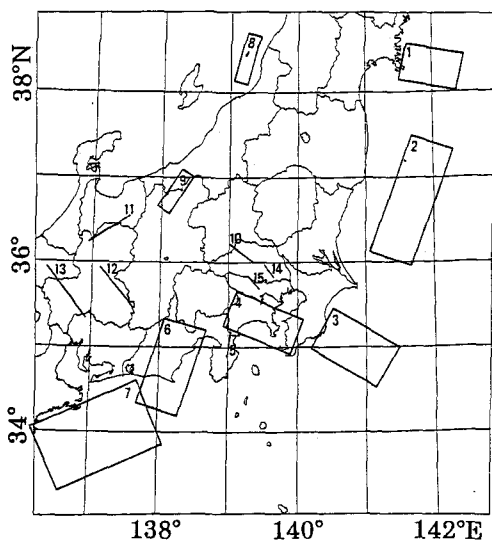


図-1 テクトニクスモデルの大地震活動域の分布

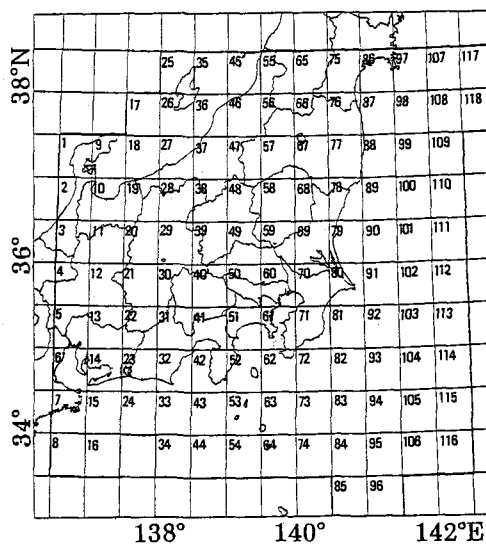


図-2 簡略モデルの活動域の区分

度を30分を単位に機械的に区分している。活動域はすべて水平とし、活動域の深さは $M \geq 4.0$ の地震の震源深さの平均値を用い、Gutenberg-Richterの関数のa値とb値は1885年～1988年の震源深さが100km以下の地震データを用いて決定した。第3のモデルは、過去の地震活動がそのまま繰り返すと仮定したモデル（地震カタログモデル）であり、過去約100年間（1885年～1988年）の $M \geq 5.5$ の地震カタログを用いた。地震の分布を図-3に示す。1925年以前の地震は震源深さが明記されていないが、宇津によりVSと判断されている場合は震源深さを10km、Sの場合は震源深さを40kmとした。

3. 最大加速度推定式 検討に用いた推定式は基本的に下記の式である<sup>2)</sup>。

$$\log A = 0.614M + 0.00501H - 2.023 \log D + 1.377 \quad (1)$$

$$D = (\Delta^2 + 0.45H^2)^{1/2} + 0.220 \exp(0.699M)$$

ここで、 $\Delta$ は震央距離(km)、Hは震源深さ(km)、Mはマグニチュードである。推定式の残差( $\log O - \log C$ 、Oは観測値でCは計算値)は、対数正規分布で近似され、標準偏差( $\sigma$ )は0.20である。この式は震源深さの影響を考慮している式であるが、比較のために震源深さを陽に考慮していない下記の式<sup>3)</sup>も用いた。

$$\log A = 0.216M - 1.218 \log(\Delta + 30) + 2.994 \quad (2)$$

4. 推定式のばらつきの打ち切り範囲及びばらつきの大きさの影響 地震活動モデルとしてテクトニクスモデル、推定式として式(1)を用いた。地震危険度の計算方法はAnnaka and Nozawa<sup>1)</sup>と同じであり、推定式のばらつきを打ち切りのある対数正規分布で表現している。 $\sigma$ を0.2とし、ばらつきの打ち切り範囲を変えた場合の東京でのハザード曲線の変化を図-4に示す。図中の各線の数字は、数字 $\times \sigma$ までのばらつきを考慮していることを示しており、ばらつきを考慮した範囲内で全体の確率が1になるように確率密度の大きさを調整している。 $\pm 3.0\sigma$ まで考慮すると、超過確率が $10^{-4}$ 以上の範囲では $\pm 10\sigma$ の範囲まで考慮した場合とほとんど変わらない。データからみると $\pm 3.0\sigma$ の範囲では対数正規分布がほぼ成立しており<sup>4)</sup>、超過確率が $10^{-4}$ 以上の範囲を問題にする限り、 $\sigma$ が0.2程度であれば、 $\pm 3.0\sigma$ の範囲以外の部分で対数正規分布が成立している

かいけないかはあまり問題にならないと考えられる。打ち切り範囲を $\pm 3.0\sigma$ に固定し、 $\sigma$ を0.0から0.4まで変えた場合の東京でのハザード曲線の変化を図-5に示す。よく知られているように $\sigma$ が大きいくほど超過確率が大きくなり、 $\sigma$ の大きさは解析結果に

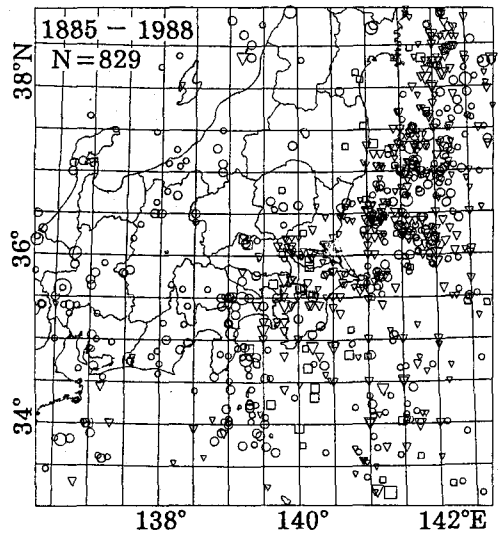


図-3 地震カタログモデルの地震分布  
震源深さ(○:0-30km,▽:31-60km,□:61-100km)

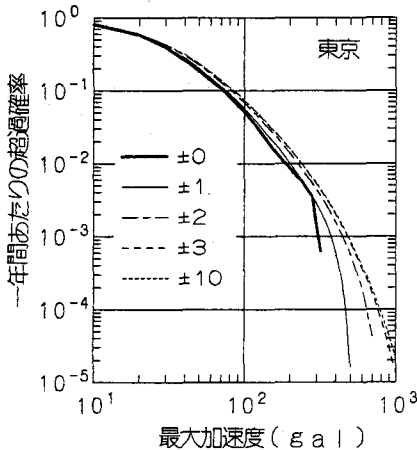


図-4 ばらつきの打ち切り範囲によるハザード曲線の変化

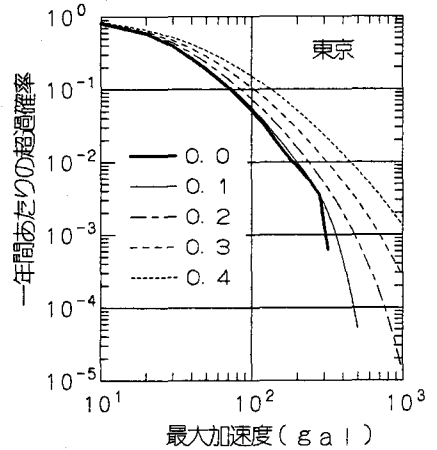


図-5 ばらつきの大きさによるハザード曲線の変化

かなり大きく影響する。

**5. 最小マグニチュードの影響** 従来の検討<sup>1)</sup>では大地震が発生する活動域以外の地震活動域の最小マグニチュードを基本的に5.5に設定した。これは、首都圏周辺では、震源がやや深い地震が多いため、 $M < 5.5$ で被害を及ぼす地震がほとんどみられないことに基づいている。しかし、最大加速度推定式のばらつきを考慮していることと Gutenberg-Richter の関係に示されているように、 $M$ が小さくなると地震が増加することが重なりあって計算上ではある程度の影響がでる可能性がある。図-6に最小マグニチュードを5.5から4.0まで変えた場合の東京におけるハザード曲線の変化を示す。地震活動モデルはテクトニクスモデル、最大加速度推定式は式(1)、推定式のばらつきは打ち切りのある対数正規分布の形で $\pm 3.0\sigma$ の範囲まで考慮し、 $\sigma$ を0.2とした。最大加速度レベルが小さい範囲では最小マグニチュードによる違いはかなりあるが、最大加速度が100gal程度以上の範囲では違いはかなり小さくなる。通常の入力地震動の設定で問題にする超過確率の範囲は0.02~0.001（再現期間で50年から1000年）程度であり、この範囲では最小マグニチュードの影響はあまり大きくない。 $M < 5.5$ の地震の場合、震源が非常に浅く（10km程度以下）、震央に非常に近い範囲を除くとほとんど被害を生じていないこと、被害が生じている場合でもほとんどが軽微なものであること、上記のように首都圏周辺ではその範囲まで考慮しても計算結果はあまり変わらないことなどから判断して、 $M \geq 5.5$ の地震を考慮すればよいと考えられる。

**6. 地震活動モデルの違いの影響** 最大加速度推定式は式(1)、推定式のばらつきは打ち切りのある対数正規分布の形で $\pm 3.0\sigma$ の範囲まで考慮し、 $\sigma$ を0.2とした。図-7にハザード曲線の比較を、図-8に再現期間が75年の最大加速度コンターの比較を示す。ハザード曲線でみると、超過確率が $10^{-2}$ 程度以上の範囲では3本の直線の違いは小さい。コンター図の比較では、特定の場所で地震を発生させている地震カタログモデルの場合にコンターの変化がやや細くなる傾向がみられるが、大局的なパターンは3つのモデルではほぼ一致している。最大加速度の全体的レベルにも大きな違いはみられない。このことは推定式が同じで、基本になる地震データが同一であれば、地震発生モデルの設定が多少違っていてもほぼ同様の結果が得られることを示している。テクトニクスモデルの結果は大局的には他の2つのモデルの結果と一致しており、地震カタログモデルを平滑化し、地震学的な知見を踏まえて微調整したものと考えることができる。

**7. 推定式の震源深さの扱いの違いの影響** 地震活動モデルはテクトニクスモデルを用い、最大加速度推定式を式(2)として、推定式の震源深さの違いが再現期間別最大加速度分布に及ぼす影響を検討した。図-9に式(2)を用いた場合の再現期間75年の最大加速度のコンターを示す。図-8に比べ図-9の方が高加速度領域が千葉県北部から茨城県南部まで広がっている。これは千葉県北部から茨城県南部でやや深い地震活動が活発なためであり、震源深さを考慮しない式(2)ではその付近が高加速度領域になる。式(1)の場合には震源が深いことを考慮しているためそれほど大きくならない。全体的なパターンの違いだけでなく、最大加速度のレベルにも差がある。関東地方のようにやや深い地震活動

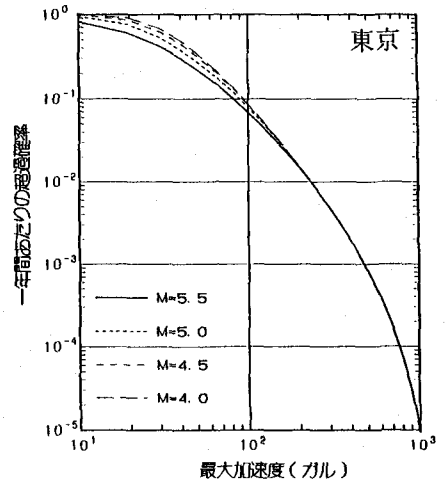


図-6 最小Mによるハザード曲線の変化

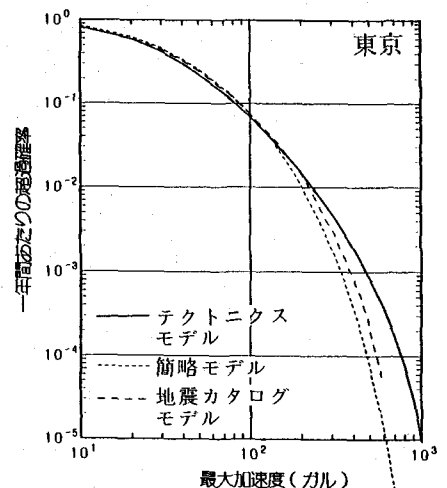


図-7 地震活動モデルによるハザード曲線の変化

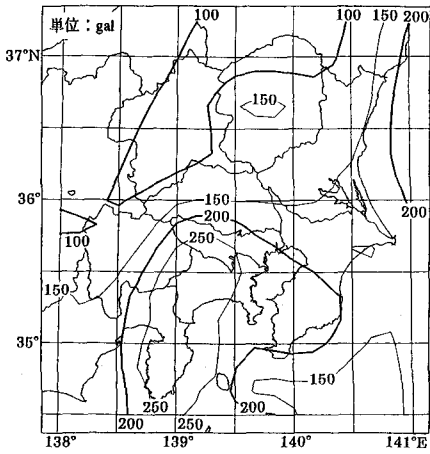


図-8(1) テクトニクスモデルの75年期待値

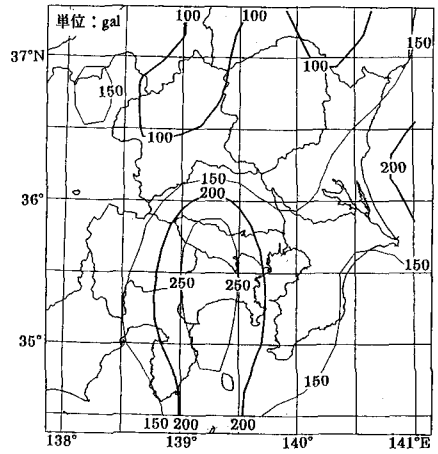


図-8(2) 簡略モデルの75年期待値

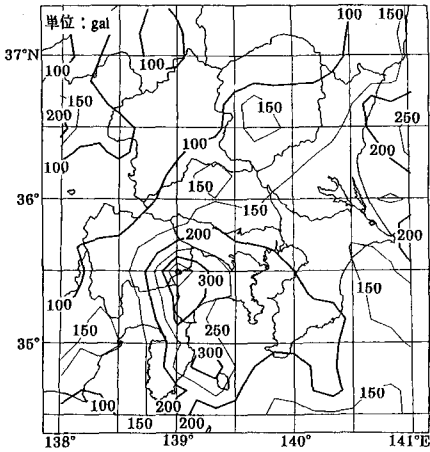


図-8(3) 地震カタログモデルの75年期待値

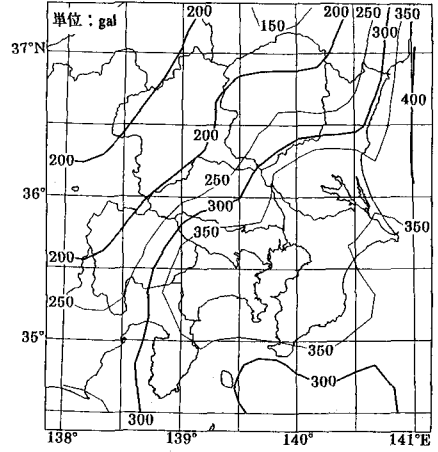


図-9 式(2)を用いた場合の75年期待値

が活発な地域では、震源深さをどのように考慮するかがかなり重要な問題になっている。

8. あとがき 関東地方を対象として、地震危険度解析結果に影響を及ぼす各種要因の影響度を検討した。その結果、(1) 同一の地震データを基礎にすれば地震活動モデルの多少の違いは解析結果にあまり影響しないこと、(2) 首都圏周辺を対象にした場合、地震活動モデルでマグニチュード5.5以上の地震を考慮すれば問題ないこと、(3) 最大加速度推定式のばらつきは、観測データからみて対数正規分布がほぼ成立すると考えられる $\pm 3\sigma$ の範囲まで考慮すれば、それ以外の範囲を対数正規分布と仮定してもそれ以外を打ち切っても解析結果にほとんど影響しないこと、(4) 解析結果に大きく影響するのは最大加速度推定式とそのばらつきの大きさであることが明らかになった。地震活動度の決定に同一のデータを用いれば、主観的な判断を必要とする地震活動のモデル化の影響があまり大きくないことは地震危険度解析を実用化する上で有利な点である。ただし、推定式の選定には充分注意する必要がある。

参考文献 1) Annaka and Nozawa (1988) 9WCEE, II, 107-112. 2) 安中・他(1990)土木学会第45回年次学術講演会, I, 1072-1073. 3) Kawashima et al. (1984) 8WCEE, 2, 257-264. 4) 安中・他(1991)土木学会第46回年次学術講演会, I, 投稿中.