

(16) 確定論的手法による高密度な震度分布の予測方法について

神奈川大学 正 荏本孝久 東京電力(株) 正 志村 聡
東京都立大学 正 国井隆弘

1. はじめに

構造物へ入力する地震動の特性あるいは地域的な地震動の強さの差異(震度分布)を考える場合、その地域の地盤特性をよく理解しておくことは大切である。東京都区部においては、東京都土木技術研究所が「東京都総合地盤図Ⅰ」を作成し公表している。また東京都都市計画局が「地震に関する地域危険度調査報告書(1984)」の中で、500m x 500mに区分した約2400個のメッシュの地盤構造を22タイプに代表させた「地盤分布図」を既に作成している。これらの結果によれば、東京都区部の表層地盤の性状についての定性的な把握が可能となり、また、個々のメッシュが主に微地形から区分された、22タイプのどれに近似しているかを把握することは可能であるが、個々のメッシュの固有の地盤特性(地盤構造)を詳細に把握することはできない。

そこで本研究では、個々のメッシュの地盤構造を明らかにし、地盤振動特性を考慮した高密度な地盤特性分布図を作成し、表層地盤特性の定量的な把握を行った。さらにその結果から地震動の強さの分布を想定した東京23区の相対危険度の評価を行なうと共に上記の表層の地盤構造を用いて実際の地震時の震度分布をシミュレーションすることを試みた。特に本研究では、一つの試みとして主に震度分布に着目し、その高密度な評価方法として用いられているアンケートによる震度分布調査法を適用した実際の地震時の震度分布調査事例(1985.10.4 千葉・茨城県境地震 M=6.1)の結果を用いて、実地震の震度分布について、震源特性を考慮した断層震源モデルによるシミュレーションを行い両者の比較を試みた。

2. 地盤振動特性の解析方法

まず、東京都23区を500m x 500mのメッシュに分け、各メッシュで抽出したボーリング柱状図(東京都土木技術研究所編纂)から、土質、層厚、N値を讀取った。ボーリング柱状図の得られないメッシュは、そのメッシュに最も近いものを採用することにした。これらのデータより水平多層モデルを仮定して各層のS波速度を算出した。次に同研究所編纂の支持層分布図(N値50)より各メッシュの基盤震度を調べ、

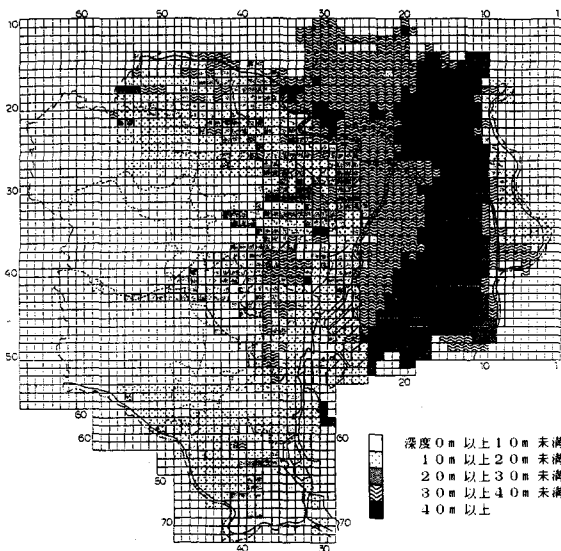


図-1. 表層地盤の基盤深度の分布

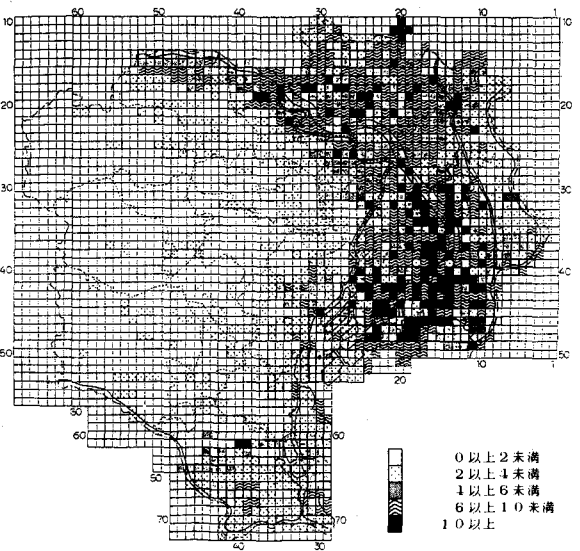


図-2. エネルギー密度倍率の分布

基盤震度とS波速度より重複反射理論を用いて各メッシュの応答倍率曲線を求めた。応答倍率曲線より各メッシュの最大応答倍率と卓越周波数を算定した。地盤振動特性は、必ずしも卓越周波数と最大応答倍率のみによる単一の特性では評価できないため、ここでは、地盤の卓越周波数と最大応答倍率の積を求め1つの指標とした。これは、地震時の地盤振動によるエネルギー密度の倍率（以下 Ren と略す）に相当するものと考えられ、地震の波動エネルギーの増幅度が大きい地盤では、地震動の強さ（震度）は相対的に高く、一般に構造物に対する危険度は高くなると評価される。以上の結果から地盤特性の分布を作成し東京都23区の相対的な危険度（以下、相対的危険度と記す）を推定する。

3. 解析結果

解析結果の分布図を図-1, 2に示す。基盤深度分布図によると基盤深度の特に深い地域は、荒川、新中川流域に分布する。基盤深度の浅い地域は、杉並区、中野区、世田谷区の武蔵野台地に分布する。次に図-2の分布図より東京都23区における相対的危険度を推定した（図-3, 4, 5）。卓越周波数が低周波数側に有り、最大応答倍率が大きいほど Ren は大きな値を示す。エネルギーの密度倍率は $Ren \geq 6$ 、 $4 \leq Ren < 6$ 、 $4 > Ren$ の3段階に分類し、それぞれ相対危険度の高い、中程度、低い地域とした。相対危険度の高い地域は、東京都東部の荒川流域、及び北区、大田区の一部の砂州、三角州、埋立地等の軟弱地盤の卓越する地域に分布する。相対危険度の低い地域は、東京都西部の台地地形に分布する。

4. 相対的危険度評価の結果

東京都東部は基盤深度が深く（基盤深度30m以上）、三角州、海岸平野、氾濫原、砂州、埋立地等の低地地形が広がり Ren も高い値を示し、相対危険度の高い地域とされた。

東京都西部の基盤深度が比較的浅く（基盤深度10m以下）、台地面、台地斜面、河谷底など台地地形が広がり、 Ren も低い値を示し、相対的危険度の低い地域と推定された。相対的危険度の高い地域と低い地域に挟まれた地域は、基盤深度が比較的浅いが（基盤深度10m～30m）主に沖積層で構成される地盤構造をもち、相対的危険度は中程度と推定された。

5. 震度分布の比較方法

1985年10月4日の千葉・茨城県境地震（ $M=6.1$ ）を対象として、東京都23区に於いて行なわれた地震に関するアンケート調査結果を用いて震度分布を算定し、サイスミック・マイクロゾーニング・マップ（500m x 500m）を作成した（図-6, 7）。この算定された震度の値を基準とし、別途にパラメータを設定した漸層震源モデルにより地震動のシミュレーションを行ない、得られた加速度・速度波形の最大値を震度に変換する事に震度分布によって、実際の上記地震の震度分布との比較を行った。この比較結果から、各々の地域による震度分布の差を明らかにし、震源特性・震源距離及び地盤特性の差異による地震動特性の考察を行った。

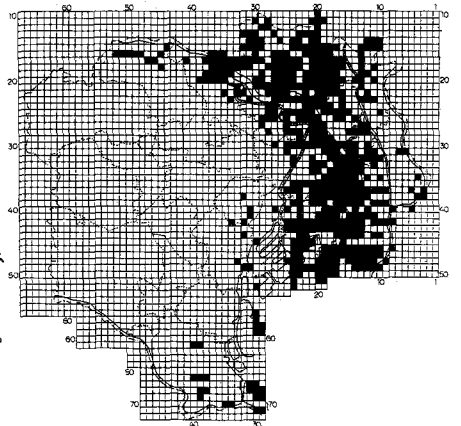


図-3. 相対的危険度の高い地域の分布



図-4. 相対的危険度の中程度の地域の分布

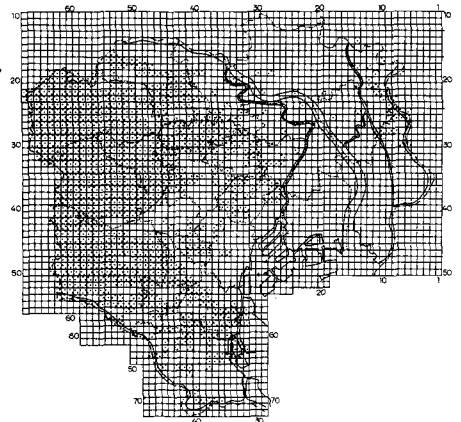


図-5. 相対的危険度の低い地域の分布

6. 断層震源モデルおよびパラメータの設定

断層震源モデルは比較のため2つのモデルを用いた。1つはHaskellモデルであり、このモデルは通常以下の式で算定されるスペクトルを用いて、地震動を算定する。

$$U_c(\omega) = R(\theta, \phi, r) \cdot \mu A D \cdot G(\omega) \cdot F(\omega, \tau_s) \cdot \omega \cdots (1)$$

ただし、 μ ：媒質の剛性率、 A ：断層面積、 D ：最終のずれ量、 $G(\omega)$ ：ずれの時間関数のスペクトル、 $F(\omega, \tau_s)$ ：断層の長さ、割れ目の伝達速度、観測点とのなす角度 θ により決まる関数である。

もう一つのモデルは、断層面の不均一性をモデルに取り入れた断層モデルとして、安芸等によって提案されたSpecific Barrierモデルである。基本的な円形の単一クラックから算定されるスペクトルは、震源から観測点までの距離を r とすれば、

$$G_s(\omega) = (F_s / (4\pi\beta r)) \cdot A(\omega) \cdots (2)$$

ただし、 β ：媒質のS波速度、 F_s ：ダブル・カップルモデルのRadiation Pattern、 $A(\omega)$ ：加速度波形のフーリエ変換である。上式を時間領域に変換し、各クラックからの寄与を時間領域で重ね合わせて全体の地震動を計算した。なお、実際の計算にあたっては、震源から基盤までの距離減衰 $Q(\omega)$ と基盤から地表面までの地盤構造による伝達関数 $H(\omega)$ を考慮することとした。なお、震源パラメータは表-1のように推定されているため、それらの値を用いて図-8のように断層震源モデルを設定した。

7. 震度の評価と比較

上記の断層震源モデルを用いたシミュレーション手法により算定される地震動の強さ(震度)は、最大加速度値(A_{max})および最大速度値(V_{max})で評価するものとし、1985年の千葉

表-1. 断層震源パラメータの設定

■ マグニチュード	: M=6.1
■ 断層型	: 右ずれのストライクスリップ
■ 断層長さ	: L=7.0km
■ 断層幅	: W=10.0km
■ 破壊方向	: 西北西から東南東
■ 傾斜方向	: N75°W
■ 傾斜角	: 45°

■ 媒質のS波速度	: $\beta=4.30\text{km/s}^*$
■ 媒質の密度	: $\rho=3.3^*$
■ 破壊伝播速度	: $V_r=3.1\text{km/s}^*$
■ 立ち上がり時間	: $\tau=0.45\text{sec}^*$
■ ずれ量	: $D=0.44\text{m}^*$
■ S波の減衰	: $Q_s=381.0^*$
■ 応力降下量	: $\Delta\sigma=53.6\text{bar}^*$

■ 円形クラック半径	: $\rho_0=0.99\text{km}^*$
■ 円形クラック数	: $n=21^*$
■ 局所応力降下量	: $\Delta\sigma=332.4\text{bar}^*$

*: 計算を行うための設定した推定値

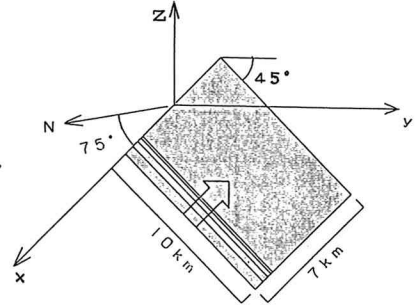


図-8. 断層震源モデルの設定

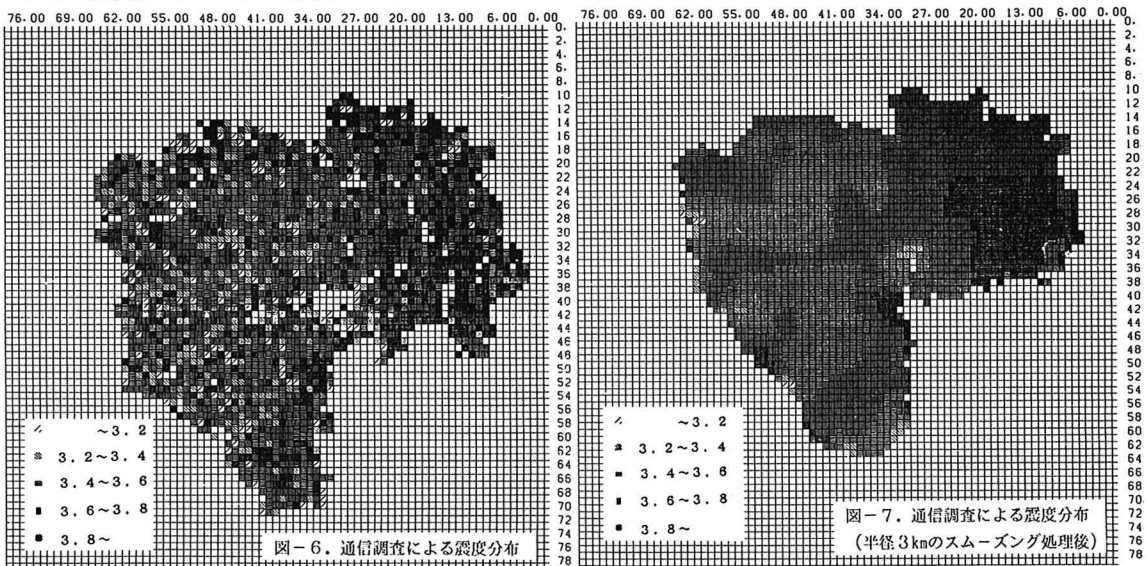


図-6. 通信調査による震度分布

図-7. 通信調査による震度分布
(半径3kmのスムージング処理後)

・茨城県境地震における震度の分布と比較するために、上記の A_{max} , V_{max} の値を震度に変換する。変換を行うに当たっては、次式で与えられている河角(1943)および松村(1966)の式によった。

$$I = 2.0 (\log_{10} A_{max} + 0.35) \dots\dots\dots (3)$$

$$I = 2.0 (\log_{10} V_{max} + 1.40) \dots\dots\dots (4)$$

算定された震度分布の図を図-9, 10に示す。

8. まとめ

Haskell モデルによるシミュレーション結果(図-9)では、震度分布は全体的に23区の西部で震度が低く、特に北西部はその傾向が顕著である。東部は震度が高く、特に東南部の東京湾の湾岸は高い震度を示している。この結果による震度分布は傾向としては実際の震度分布(省略)と比較的良好に調和する。一方、Specific Barrier モデルを用いたシミュレーション結果(図-10)では、全体的に南西部で震度が低く、北東部で震度が高くなっている。これは、震源距離による影響を強く反映したものであろうと考えられる。また、実際の地震時に評価された震度とシミュレーション手法により評価された計算による震度を比較した結果を図-11, 12に示す。両モデルによる結果とも、同様に比較的良好な対応関係を示しているが、バラツキは Specific Barrier モデルによる結果の方が少ない結果となっている。以上の結果より実際の地震時の震度分布をある程度シミュレートすることができ、今後表層の地盤構造による危険度評価方法との関係について、より定量的な検討を行いたいと考えている。

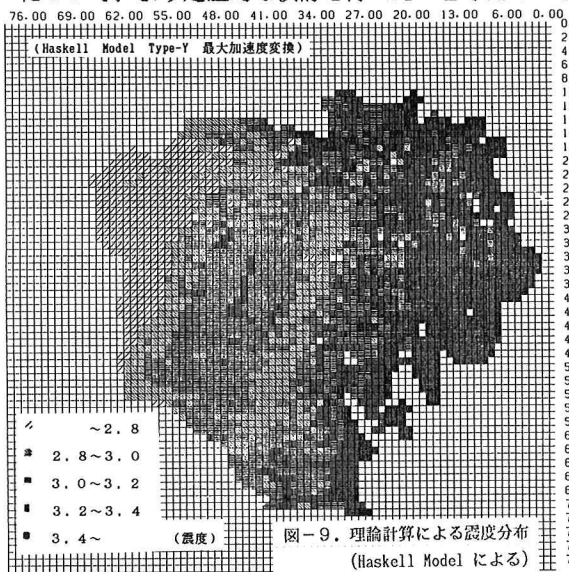


図-9. 理論計算による震度分布 (Haskell Model による)

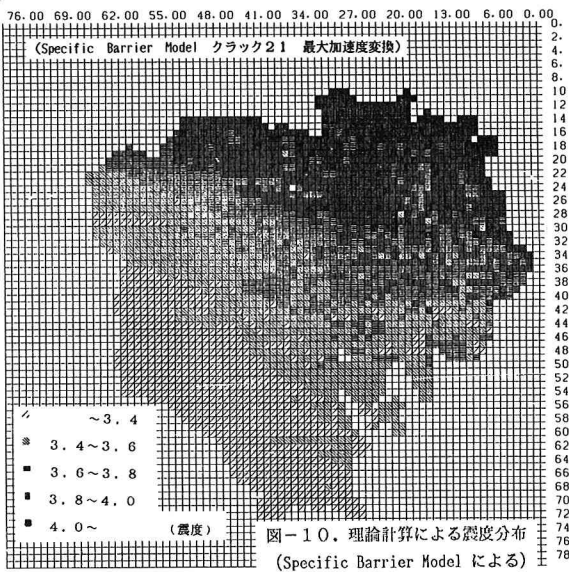


図-10. 理論計算による震度分布 (Specific Barrier Model による)

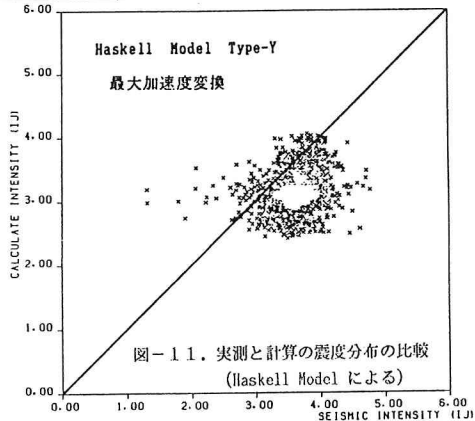


図-11. 実測と計算の震度分布の比較 (Haskell Model による)

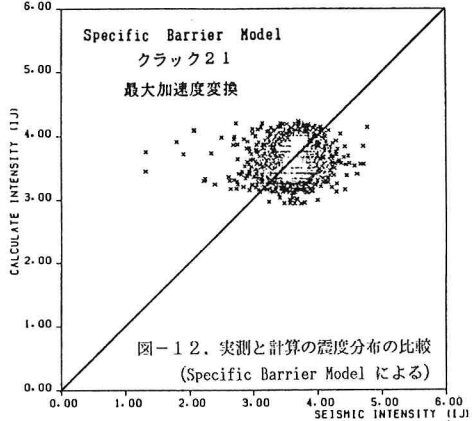


図-12. 実測と計算の震度分布の比較 (Specific Barrier Model による)