

地震動強度の空間的な相関について

正会員 〇林孝幸*
正会員 福島誠一郎**
正会員 矢代晴実*

地震動強度 空間的な相関 地震リスク評価
K-NET KiK-net

1.はじめに

昨今、企業経営や不動産金融ビジネスにおいても地震リスクが認知され、確率論的手法に基づく地震リスクの定量化は、その概念が社会的に一般化しつつある。複数の建物（以下、ポートフォリオ）の保有を考えた場合、地震環境が異なるような複数地点に配置することで、建物が同時に地震被害を受けるリスクは低減する。ポートフォリオを構成する建物の地震被害の同時発生に関わる要因としては、各建物の配置状況の他に、地震動強度の空間的な相関の程度が挙げられ、これまでに筆者らは、この空間的な相関がポートフォリオの地震リスクに与える影響について検討してきた¹⁾。既報では、地震動強度の空間的な相関を論じる指標として、観測した加速度記録の最大値と経験的な距離減衰式による推定値との残差を用いたが、最近の地震ハザード解析においては、地震調査研究推進本部の「全国を概感した地震動予測地図」を始めとして、速度を地震動強度の指標として採用したのも多い。そこで本報では、既報と同様の手法で、地震動強度として速度を用いた場合について報告する。

2.地震動強度の空間的な相関の評価

2.1 地震観測記録

観測データは、K-NET、KiK-netの記録を用い、1996年9月以降に関東地域で観測された7045記録（221地震）である（図1）。観測記録は、地震動の定義位置を工学的基盤（ $V_s=400\text{m/s}$ 程度）とするため、次元波動論を用いて地表の観測波形を基盤波形（2E）に変換した。これらは、既報と同様であり、詳細はそちらを参照されたい。本検討では、速度を用いるため、基盤の加速度波形に、0.1Hz以下のバンドカットフィルタをかけた上で、積分処理を行った。検討に用いる最大速度は、基盤速度波形のNSとEW方向の最大値の幾何平均とした。

2.2 二地点の地震動強度の相関の評価

本検討では、地震動強度の空間的な相関を論じる指標として、基盤の最大速度と経験的な距離減衰式による推定値との残差 ε を用いる。ところで、この推定残差には、地震の影響と地点の影響の双方が含まれている。そこで、両者を取り除いたものとして、推定残差を次式で算定する。

$$\varepsilon_{ij} = \log(o_{ij}/c_{ij}) - \alpha_i - \beta_j \quad (1)$$

ここで、 o は観測値、 c は経験的な距離減衰式による推定値、 α は地震補正係数、 β は地点補正係数である。添え字の i は地震を、 j は地点を表す。

地点 j と地点 k における空間的な相関係数 ρ_{jk} は、推定残差 ε を用いて、次式で算定される。

$$\rho_{jk} = \frac{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (\varepsilon_{ij} - \mu_j)(\varepsilon_{ik} - \mu_k)}{\sigma_j \sigma_k} \quad (2)$$

ここで、 n は地点 j と地点 k において共通の地震数である。 μ_j と σ_j は ε_{ij} の平均と標準偏差、 μ_k と σ_k は ε_{ik} の平均と標準偏差である。

なお、(1)式の α と β は、次式を最小化するような回帰係数として算定する。

$$\alpha_i + \beta_j = \log(o_{ij}/c_{ij}) \quad (3)$$

地震 i における地点 j の推定値 c_{ij} は、次式に示す経験的な距離減衰式²⁾により計算する。

$$\log v = 0.725M + 0.00318h - 1.918 \log(d) - 0.519 \quad (4)$$

$$d = R + 0.334 \exp(0.653M)$$

ここに、 v は最大速度（cm/s）、 Δ は断層最短距離（km）、 h は震源深さ（km）、 M はマグニチュードである。

得られた地震補正係数 α と地点補正係数 β の分布を図2に示す。また、 α の平均値と標準偏差は0.000と0.201、 β の平均値と標準偏差は0.000と0.204となった。 α は地震ごとに決定される値で、主に震源特性に起因するものである。また、その標準偏差は地震間のばらつきとして捉えられる。 β は主にサイト特性に起因して決定される値で、その標準偏差は、伝播経路のばらつきと合わせて地震内のばらつきとして捉えられる。

2.3 地震動強度の空間的な相関の評価

同じ地震の観測記録が存在する二つの観測地点の全組み合わせについて、観測地点間の離間距離と相関の関係を求めたものを図3に示す。既報の検討における加速度の場合と同様に、離間距離に対して相関の大きさは、逆減的であり、離間距離が大きくなるとばらつきが大きくなる傾向が見られる。

最も相関が高い地点としては、離間距離が15.2kmのK-NET草津(GNM004)とKiK-net孺恋(GNMH08)であり、相関係数は0.93（観測数22）となった。両地点はどちらも山岳地の観測点であり、地盤も良好である。しかし、観

測地震は、2004年新潟県中越地震の本震、余震が多く、震源と両観測点がほぼ直線状に並ぶ(図1)ことから、地震動の伝播経路も似通っており空間的な相関が高くなっていると考えられる。一方、離間距離が10.3km程度と近いにも関わらず負の相関となっている地点として、K-NET 矢板(TCG005)とKiK-net 大田原(TCGH10)があり、相関係数は-0.28(観測数48)である。KiK-net 大田原はGL-1.0mにおいて地盤のせん断波速度Vsが500m/s程度であり良好な地盤であるが、K-NET 矢板は表層が埋土・盛土になっており、このような地盤の振動特性が影響を及ぼしていると考えられる。また、離間距離が大きくなるにつれて、負の相関を持つ観測点ペアが増えており、これらの地盤状況も踏まえて詳細な検討が必要であると考える。

図3に示した離間距離と相関係数の関係を、以下の近似モデル¹⁾を用いて回帰した。

$$\rho = \exp(-\gamma \cdot z^\delta) \quad (5)$$

ここで、 z は離間距離(km)、 ρ は相関係数、 γ と δ は関数の形状を規定する定数である。回帰には遺伝的アルゴリズムを用い、負側の相関値も含めて回帰した。回帰の結果、 $\gamma=0.029$ 、 $\delta=1.123$ が得られた。図3には、これらの定数を用いた回帰曲線と文献1)による加速度を指標としたときの回帰曲線も示した。速度と加速度の曲線を比較すると、両者は離間距離50km程度までは、若干の相違があるものの、極めて似ていることがわかる。両者とも、離間距離10km程度では、相関係数が0.6~0.7程度であるが、50kmでは0.1程度になる。また、離間距離100kmでは両者ともほぼ無相関の関係になっている。これらの空間的な相関を考慮することでより現実的な地震リスク評価が可能であると考えられる。

3.まとめ

速度を地震動指標として採用した場合の空間的な相関を求め、加速度の空間的な相関との比較検討を実施した。離間距離が小さい範囲では若干の差異は見られるが、それ以外では両者はほぼ一致することを示した。

謝辞

本検討の実施に際し、防災科学技術研究所のK-NETとKiK-netの強震記録を使用させていただきました。また、東電設計(株)安中正氏には、貴重なご意見を頂きました。ここに記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 林孝幸, 福島誠一郎, 矢代晴実: 地震動強度の空間的な相関がポートフォリオの地震リスクに与える影響, 日本建築学会計画系論文集, 第600号, pp.203-210, 2006年
- 2) 安中正, 山崎文雄, 片平冬樹: 気象庁87型強震計記録を用いた最大地動及び応答スペクトル推定式の提案, 第24回地震工学研究発表会講演論文集, pp.161-164, 1997.7

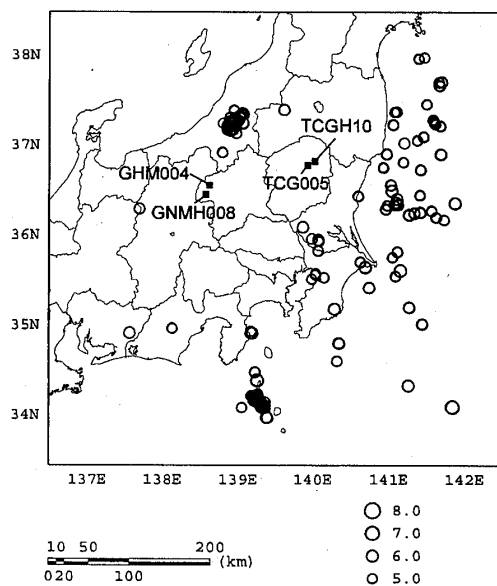


図1 震源分布

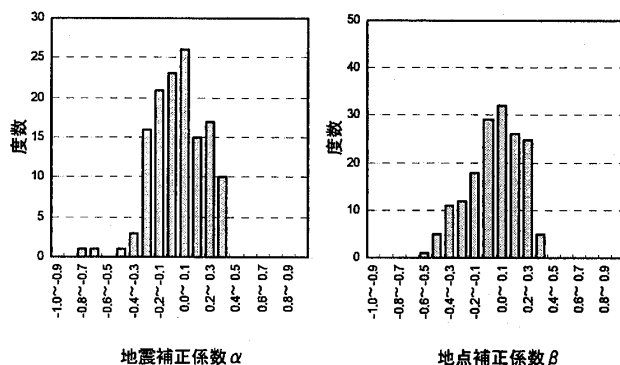


図2 地震補正係数と地点補正係数の分布

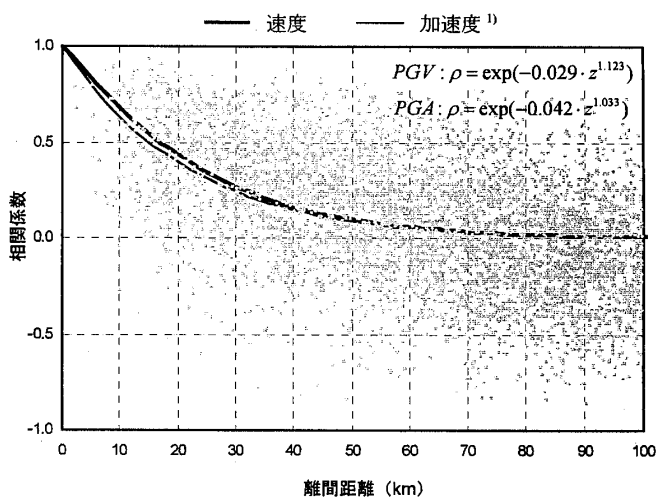


図3 離間距離と相関の関係

*東京海上日動リスクコンサルティング(株)

** 東電設計(株)

* Tokio Marine & Nichido Risk Consulting Co., Ltd

** Tokyo Electric Power Services Co., Ltd