

計測震度の距離減衰式に関する検討

東電設計（株） 技術開発本部

正会員 安中 正

東京海上日動リスクコンサルティング（株） 開発グループ 大金義明、林 孝幸

東京海上日動火災保険株式会社 企業商品業務部

岩口健司、上園智大

1. まえがき

計測震度は簡便な地震動指標として各分野で用いられているが、計測震度の距離減衰式は最大地動や応答スペクトルの距離減衰式に比べ少なく、地震調査研究推進本部による確率論的地震ハザード解析では、最大速度に対する結果を計測震度に換算する方法が用いられている¹⁾。Shabestari and Yamazaki²⁾は気象庁 87 型強震計記録に基づいて計測震度の距離減衰式を検討しているが、その後、高密度強震観測網（K-NET、KiK-net、気象庁 95 型震度計観測網）が全国的に展開され、従来よりも大量のデータが得られるようになっていく。本研究では、計測震度の距離減衰式を用いた確率論的地震ハザード解析を実施することを目的として、高密度強震観測網の記録に基づき計測震度の距離減衰式を検討した。

2. データと回帰

検討に用いたデータは、安中・他³⁾で整理されているデータに、その後の主な地震（2005年3月20日福岡県西方沖地震、2005年8月16日宮城県沖地震など）のデータを追加したものである。整理されている記録は、K-NET、KiK-net、気象庁 95型震度計観測網による1996年6月から2003年12月までの気象庁マグニチュード（ M_J ）5.0以上、震源深さ200km以下の427地震に対する記録と2004年以降は同じ条件を満足する主な34地震に対する記録である。合計461地震の中で、マグニチュードが比較的大きな30個の地震（ M_J 6.5程度以上を目安）に対して地震断層面の形状が設定されている。計測震度は、観測記録の地表3成分の時刻歴から、気象庁による計測震度の算定方法⁴⁾に基づいて算定した。

最初の回帰には距離減衰勾配の震源深さ依存性を考慮した次の式を用いた。

$$I = C_m M + C_h H_c + S_c(EQTYPE) - (C_{d0} + C_{dh} \cdot H_c) \log D + C_o + G_c(SITE)$$

$$D = R + C_1 \exp(C_2 M)$$

ここで、 I は計測震度、 M は気象庁マグニチュード、 H_c は断層面中心の深さ、 R は断層面と対象地点の最短距離、 C_1 と C_2 は断層近傍での応答スペクトルの頭打ちを表現するための係数で $C_1 = 0.459$ 、 $C_2 = 0.597$ 、 C_m 、 C_h 、 C_{d0} 、 C_{dh} 、 C_o は各パラメータの影響を表す係数、 $S_c(EQTYPE)$ は「平均的な震源特性」からの地震タイプによる偏りを補正する係数、 $G_c(SITE)$ は「標準的な地点特性」からの対象地点における偏りを補正する係数である。

回帰は 2 段階回帰⁵⁾により行い、第 1 段階の回帰で震源特性、地点特性、距離減衰勾配を決定し、第 2 段階の回帰で平均的な震源特性とそれからの偏り（震源補正）を決定した。回帰には、式の適用範囲を考慮して、マグニチュード 5.0 以上、震源深さ 100km 以下、震央距離（最短距離の水平成分）200km 以下の 340 地震、1747 地点、29,927 組のデータを用いた。

上記の回帰結果の問題点を図-1 に示す。陸域地殻内の浅い地震のデータについて、残差と最短距離の関係を示したものであり、左が生データのデータ、右が残差の移動平均と平均土標準偏差である。距離が小さい範囲で残差が＋側に偏る傾向が明瞭に見られる。この偏りを補正するために、陸域地殻内の浅い地震に対して、下記の項を導入した。

地震タイプ C（陸域地殻内地震）³⁾ に対して導入した補正項は次の通りである。

$$I_c = 0.0 \quad (R \geq R_{cut\ max})$$

$$I_c = C_{dadd} (\log R_{cut\ max} - \log R) \quad (R_{cut\ max} \geq R \geq R_{cut\ min})$$

$$I_c = C_{dadd} (\log R_{cut\ max} - \log R_{cut\ min}) \quad (R_{cut\ min} \geq R)$$

図-1 の残差分布の傾向から、 $R_{cut\ max} = 40\text{km}$ 、 $R_{cut\ min} = 10\text{km}$ とし、 C_{dadd} は回帰により決定した。

最終的に得られた計測震度の距離減衰式の定数、回帰係数、誤差を表-1 に示す。定数項（ C_o ）は、震源補正の全地震に対する平均と地点補正の全地点に対する平均がゼロとなるように設定されている。 σ_r は地震内（intra-event）のばらつき、 σ_e は地震間（inter-event）のばらつき、 σ_{total} は両者を合わせたばらつきである。回帰式による地震別の距離減衰の比較例を図-2 に示す。青はデータ（地点補正考慮）、緑は震源補正を考慮しない場合の回帰式による計算値、赤は震

キーワード：計測震度、距離減衰、地点特性、震源特性

連絡先：〒110-0015 東京都台東区東上野 3-3-3 TEL:03-4464-5562 FAX:03-4464-5595

源補正を考慮した場合の回帰式による計算値である。

3. あとがき

高密度強震観測網（K-NET、KiK-net、気象庁 95 型震度計観測網）の記録に基づき、計測震度の距離減衰式を作成した。陸域地殻内の浅い地震については、最短距離 40km 以下の距離減衰の勾配がそれより遠い範囲の勾配よりも大きくなる傾向があり、それを考慮するための補正項を導入し、距離減衰式の推定精度を改善した。なお、距離減衰式と同時に決定した地点特性・震源特性およびそれらも考慮した確率論的地震ハザード解析については別の機会に報告したい。

参考文献 1) 地震調査研究推進本部地震調査委員会：「全国を概観した地震動予測地図」報告書、2005. 2) Shabestari and Yamazaki : Attenuation of JMA Intensity Based on JMA-87-Type Accelerometer Records、第 2 回都市直下地震災害総合シンポジウム論文集、153-156、1997. 3) 安中正・森田大・相京泰仁・原田光男：地震タイプを考慮した加速度応答スペクトル推定式、第 28 回地震工学研究発表会論文集、c00101r、1-13、2005. 4) 気象庁監修：震度を知る、ぎょうせい、1996. 5) Joyner, W. B. and D. M. Boore: Methods for regression analysis of strong-motion data, Bull. Seis. Soc. Am., 83, 469-487, 1993.

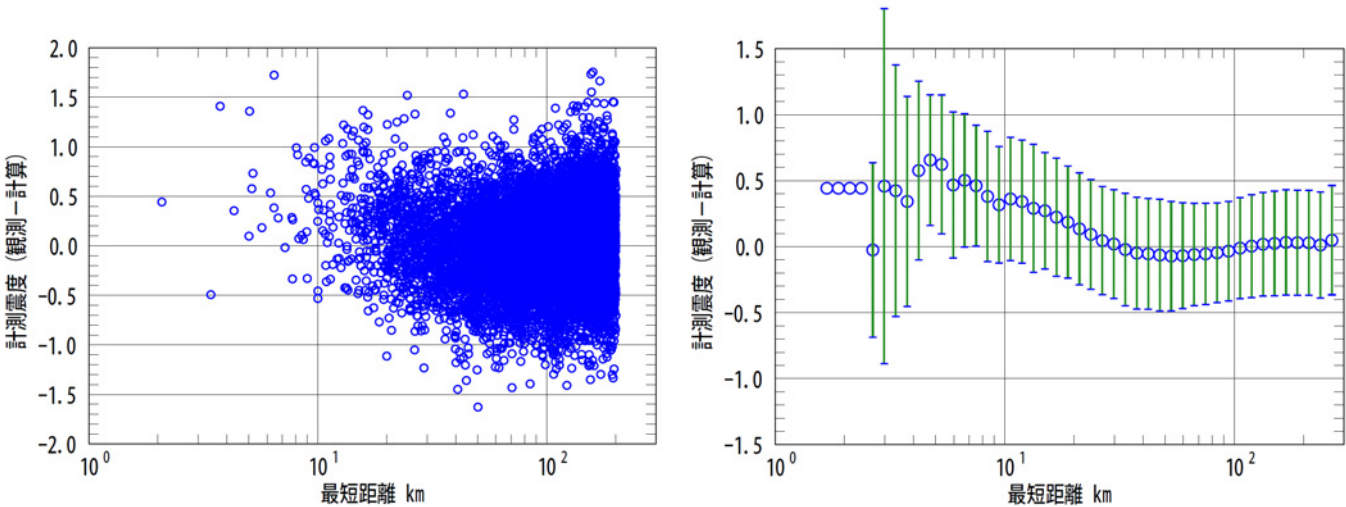


図-1 補正項を考慮しない場合の陸域地殻内の浅い地震に対するデータの残差と最短距離の関係

表-1 最短距離式の回帰係数、定数、誤差の一覧

Cm	Ch	Cd0	Cdh	Co	C1	C2
1.302	0.0869	2.756	0.0321	-0.272	0.459	0.597
Cdadd	Rcutmin	Rcutmax	σ r	σ e	σ total	
1.555	10.0	40.0	0.391	0.336	0.516	

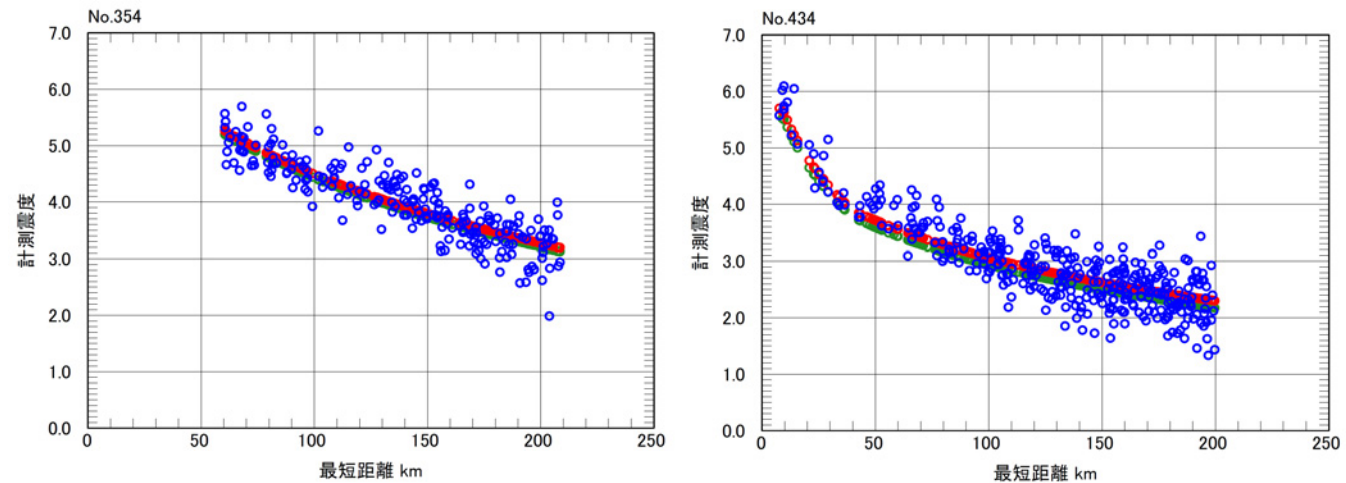


図-2 回帰式による距離減衰とデータの比較例（左：2003 年 5 月宮城県沖地震、右：2004 年 10 月中越地震）