

I-600

地震センサーの異常値の検知と補正

(株) 富士総合研究所解析技術第1部 正 赤坂 望

鳥取大学工学部 正 野田 茂

東京ガス(株) 防災・供給センター 狩野浩之

1. まえがき

ガス導管の被害は、地震の規模や震源、地盤特性と管種などに左右される。これらの情報をうまく使えば、どの地域がどの程度の被害を受けるかを推定できる。このためには地震動の観測体制を強化する必要がある。東京ガス(株)では、地震動をモニタリングするために、供給エリア全体に356台の地震センサー(331ヵ所のSIセンサー、20ヵ所の液化化センサーと5ヵ所の地中・基盤地震計)を設置している。SIセンサーから得られる観測値(最大加速度とSI値)に異常値が含まれると、これらの数値を用いて行う被害推定計算には支障を生じる可能性がある。そこで、本研究では、被害推定を行う前に観測値の異常を検知し、その異常値を補正することを試みる。

2. 異常値の検出

観測データの異常性を検知した上で補正するためには観測データの傾向を知る必要がある。そこで、図1には1994年5月27日の地震に対する最大加速度の距離減衰を示した。図よりわかるように、震央距離に対して、観測データは対数正規分布としてモデル化できる。そこで、分布の平均値(距離減衰式)としては、 $\log A = a + b \log(X + ce^{dM})$ を考え、最小2乗解を求めた。ただし、 A は最大加速度、 X は震央距離、 M はマグニチュード、 $a \sim d$ は回帰パラメーターである。

異常値の判定は基本的に次の3つによる。すなわち、1) 観測値と距離減衰式による推定値の差が許容範囲内にあるかどうか、2) 周辺観測データの平均値と観測値の差が許容範囲内か否か、3) 観測値が収集されないか、観測範囲外の値を示すときである。

正常な観測値は、距離減衰式からの偏差が正規確率上で5%~95%内にある。一方、2)で指摘したように、正常値は、周辺観測点の観測データの平均値を求め、注目地点の観測データと比較することによっても判定される。なお、異常値判定に使用する観測値は、本来、1) 観測点毎の地盤特性(揺れ易さと地盤分類)や2) 比較観測点の特定化(例えば、震央距離、注目観測点との相関距離や観測点配置)などを考慮しなければならない。

図1は上記1)の方法によって求めた異常値の判定結果である。図中、○は観測値を、太線は距離減衰曲線を、細線は正規確率上の5%と95%の限界曲線である。5%以下と95%超過の観測値は、■で示されており、異常値と判定される。一方、図2は、同地震に対して、横軸に注目地点の最大加速度を、縦軸にその周辺10観測点の観測データの平均値をプロットしたものである。図中、■には図1で異常と判定された観測点のデータを表す。

3. 異常値の補正

異常値の補正手順は次の通りである。すなわち、1) 観測値が零あるいは記録されない場合、異常値として判定する、2) この異常観測データを除いて、距離減衰式の平均値と分散を求める、3) 2)で述べたような方法により、正規確率5%以下と95%超過の観測データを異常値とする、4) 3)で求めた異常観測点を除いて、距離減衰式の平均値と分散の再計算を行う、5) 非正規確率場における逐次型同定手法¹⁾により、異常観測点の周辺データを用いて異常値を補正する。

条件付非正規確率場の補間アルゴリズムは、非正規確率場において、観測データ(ノイズを含む)が与えられた条件下で、未観測点での物理量を推定するための同定アルゴリズムである。対数正規確率場に対して、この逐次型同定法と理論解が比較されており、このアルゴリズムの有効性が調べられている¹⁾。

逐次型同定アルゴリズムでは状態量の線形モデルと非線形な観測モデルを仮定する。 k 番目のデータセットに対し、正規確率場の状態量(総数 L)を $X_k = (x_{k1}, \dots, x_{kL})^T$ 、非正規確率場の観測量(総数 N)を $Y_k = (y_{k1}, \dots, y_{kN})^T$ とする。すると、状態方程式は $X_k = f(X_{k-1}, k-1) + w_{k-1}$ で、観測方程式は $Y_k = h(X_k, k) + v_k$ で表せる。ここで、 $f(X_{k-1}, k-1)$ は状態量の更新過程を意味する関数である。 $h(X_k, k)$ は状態量と観測量を結びつける任意の非線形関数である。 w_{k-1} と v_k はシステムノイズと観測ノイズであり、ホワイトノイズで表せる。

本研究では、条件付非正規確率場の補間問題を取り扱うために、まず、これを正規確率場に変換する。変換された正規確率場の無条件平均値と無条件共分散を初期値 ($\hat{X}_{0|0}$ と $P_{0|0}$) として与える。すると、条件付正規確率場の補間問題は、文献 1) で述べたアルゴリズムによって処理することができる。

正規確率場における最適推定値 $\hat{X}_{k|k}$ と推定誤差共分散 $P_{k|k}$ を用いて非正規確率場に変換すると、最適推定値 $\hat{Y}_{k|k}$ と推定誤差共分散 $\hat{P}_{k|k}$ が得られる。ここで重要なことは、不偏性を満たすように逆変換を行うことである。

上記アルゴリズムによって求めた補間例を次に示す。対象としたデータは図 1 に示した異常判定地点 No.10102 である。図 3(a) には、1994 年 5 月 27 日の地震の震央 (×)、補間の対象とした No.10102 地点 (●) とその周辺地点 (○) を示す。図 3(b) は、観測データ (○) を用いて補正した最大加速度 (□) と補間前の異常データ (□) である。この結果からわかるように、異常と判定されたデータは適切に補正されている。

ところで、最大加速度の距離減衰式には各観測点の地盤特性 (揺れ易さや地形分類) を反映することが望ましい。そこで、既往の地震の観測記録を用いて、4 つの地盤種別 (台地、沖積低地 A ($T_g < 0.4$)、沖積低地 B ($0.4 \leq T_g < 0.6$) と低積低地 C ($0.6 \leq T_g$)) における最大加速度の観測値と距離減衰式による平均値の比 (揺れ易さ係数) の頻度分布を求めた。図 4 はその揺れ易さ係数の一例 (台地と沖積低地 C) であるが、地盤毎に揺れ易さが異なることがわかる。

4. あとがき

地震センサー設置点における地盤分類と揺れ易さ係数の関係を定量化することは重要である。それは、距離減衰式から得られる平均的な加速度にこの揺れ易さ係数を掛けると、地盤条件を反映したより詳細な地震動予測を行うことができるからである。常に揺れ易い観測点では、かなり大きな加速度を記録しても、それを異常値と判定する可能性が少なくなるであろう。このような処理と上述したアルゴリズムを併用することにより、地震データが得られる度に各観測点の揺れ易さ係数を更新していった距離減衰式に反映させると、異常値の検知と補正の精度向上がさらに期待できるに違いない。

参考文献

- 1) Noda, S. and Hoshiya, M.: Updating of lognormal stochastic field, Submitted to the Journal of Engineering Mechanics, A.S.C.E., for review and possible publication on December 1994.

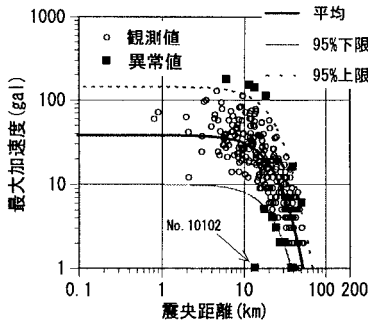
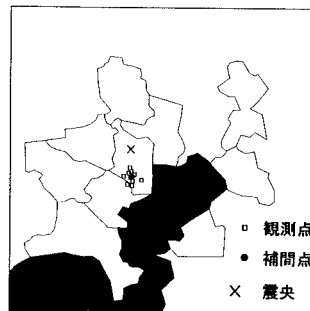
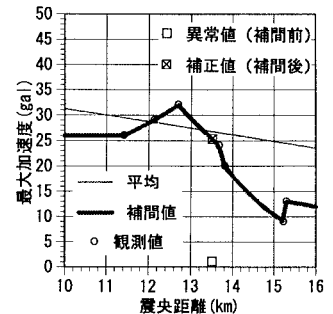


図1 距離減衰式から判定された異常値



(a) 補間に必要な観測点 No. 10102



(b) 補間前後の最大加速度と周辺観測点のデータ

図3 異常値の補正

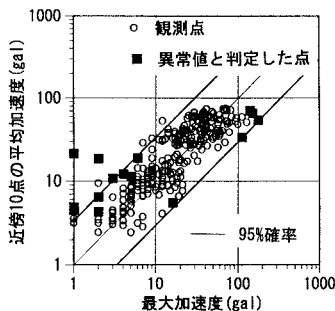
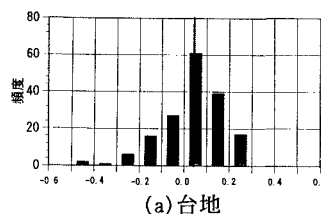
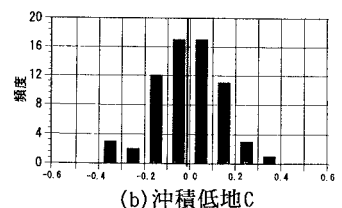


図2 周辺観測点のデータと対応させたときの異常判定結果



(a) 台地



(b) 沖積低地 C

図4 地盤種別毎の揺れ易さ (横軸は常用対数値)