

最大変位の距離減衰式に関する 坪井式と安中式の整合性について

澤田 勉¹・岩本 烈²

¹正会員 工博 徳島大学教授 工学部建設工学科 (〒770-8506 徳島県徳島市南常三島町 2-1)

²学生員 徳島大学大学院博士前期課程 工学研究科建設工学専攻 (同上)

地震動の最大変位に関する 2 つの距離減衰式を比較した。その 1 つは浅発地震のマグニチュードの決定に用いる坪井式であり、他は安中らにより提案された距離減衰式(以下では安中式と呼ぶ)である。坪井式の距離項を安中式のそれで置き換えることにより、両者がほぼ整合することを示した。

Key Words: attenuation law of peak displacement, Tsuboi's formula, Annaka's formula, fault distance, epicentral distance

1. はじめに

地震動の最大加速度、最大速度および最大変位は、地震動特性を規定する基本パラメータであり、構造物の耐震設計ではこれらを精度よく予測することが必要となる。従来より、これらパラメータを予測するために多数の距離減衰式が提案され、それらのうちのいくつかは実用に供されている¹⁾。一般に、最大加速度は地震動特性を表すもっとも基本的かつ重要なパラメータである。このため、最大加速度の距離減衰特性については多くの研究がなされている。これに対し、地震動の最大変位は、最大加速度に比べると工学的に注目される度合いが低く、これに関する距離減衰式はそれほど多くない。しかし、地震動の最大変位は地中構造物の耐震設計等に用いられるので、最大加速度と同様に重要なパラメータであることに変わりはない。

最近、安中らは断層近傍まで適用可能な最大地動（最大加速度、最大速度、最大変位）の距離減衰式を提案した^{2), 3)}。以下では、これを安中式と呼ぶことにする。ただし、この距離減衰式は工学的基盤での最大地動に関するものであり、震源と観測点間の距離は断層距離（観測点から断層面までの最短距離）で表されている。また、加速度記録を積分して速度および変位を求める際には、0.1Hz 以下の低振動数成分は除去されている。この距離減衰式を用いて震源近傍での最大地動を予測すると、最

大加速度はマグニチュードによらず数 100cm/s²、最大速度はマグニチュード 7 で 50cm/s 程度、マグニチュード 8 で 100cm/s に近い値となり、ほぼ妥当な予測値が得られる。これに対し、震源近傍での最大変位の予測値は、マグニチュードが 6, 7 および 8 のそれぞれについて、数 cm、約 10cm および約 30 数 cm となる。これらの値は、低振動数成分を除去したことを勘案したとしても、やや過小ではないかという疑問を生じさせる。また、この距離減衰式による遠方場での最大変位の予測値が妥当か否かを検討することも必要である。しかし、以上のような点に言及した研究は、筆者らの知る限りでは見当たらぬ。

ところで、我が国には浅発地震のマグニチュードを決定する際に用いる坪井式がある⁴⁾。この式は地表での変位記録をもとに作成されたものであり、断層と観測点間の距離は震央距離で表される。坪井式を最大変位について解くと一種の距離減衰式が得られる。この式はマグニチュード決定の根拠になるから、これより得られる比較的遠方場での最大変位は信頼性の高いものと考えられる。

前述の安中式は、以下の点で工学的に有用である。すなわち、この距離減衰式は断層近傍まで適用可能であること、また、S 波速度が 300m/s～600m/s 程度の工学的基盤での最大地動を対象としている点である。本研究の目的は、安中らによる距離減衰式を用いて予測した最大変位の妥当性を、坪井式との比較により検証することである。具

表-1 坪井式と安中式における各係数の対応

	坪井式	安中式
Mに関する係数	1.0	0.935
距離に関する係数	-1.73	-1.635
定数項	-3.17	0.00091H-2.992

体的には、前述の安中らによる最大変位に対する疑問を、坪井式との比較により検討した。ただし、両式では距離に対する定義が異なるので、若干の修正をした後比較した。その結果、坪井式と安中式による最大変位には、ほぼ整合性のあることがわかった。なお、福島らも断層近傍まで適用可能な最大地動（最大加速度および最大速度）の距離減衰式を提案しているが^{5),6)}、対象とする地盤が広範囲であることや、最大変位の距離減衰に言及していないこと等の理由により、本研究では採用しなかった。

2. 最大変位の距離減衰式について

以下では、2つの距離減衰式、すなわち坪井式と安中式について簡単に説明する。坪井式は、一倍強震計（固有周期は5~6s）の変位記録をもとに浅発地震のマグニチュードを決定するために導かれた式であり、次のように表される⁴⁾。

$$M = \log d_T + 1.73 \log \Delta - 0.83 \quad (1)$$

ここで、M=気象庁マグニチュード、 d_T =地表での最大変位振幅(μ)、 Δ =震央距離(km)である。上式を d_T について解き、単位をcmで表すと次式が得られる。

$$\log d_T = M - 1.73 \log \Delta - 3.17 \quad (2)$$

他方、安中式は次式で与えられる。

$$\begin{aligned} \log d_A &= 0.935M - 1.635 \log(R + 0.334 \cdot e^{0.653M}) \\ &\quad + 0.00091H - 2.992 \end{aligned} \quad (3)$$

ここで、 d_A =工学的基盤面での最大変位(cm)、R=断層距離(km)、断層面から観測点までの最短距離、H=震源深さ(km)である。上式右辺のHを固定(例えばH=10km)とすると、式(2)と式(3)は相似形となる。とくに、右辺の各係数、すなわち、Mに関する係数、距離に関する係数および定数項は表-1のようにはほぼ対比する。

両者の違いは次の4点である。

- (1) 坪井式は変位記録より導かれた式であるのにに対し、安中式は加速度記録の積分より求めた変位をもとに導かれた式である。

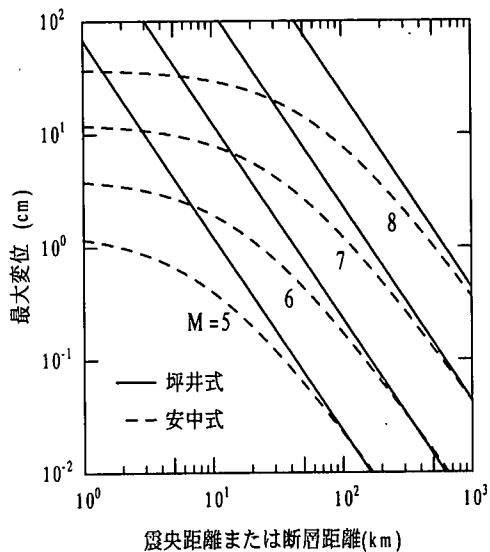


図-1 坪井式と安中式による最大変位の比較

- (2) 震源と観測点間の距離として、坪井式は震央距離を用いるのに対し、安中式は断層距離を用いる。
- (3) 坪井式は地表での最大変位を、安中式は工学的基盤面での最大変位を対象とする。ここで、工学的基盤面とは、S波速度が300m/s~600m/s程度の堅固な地盤である。
- (4) 坪井式は比較的遠方場での最大変位を対象とするのに対し、安中式は断層近傍から遠方場までの広い範囲の最大変位の予測を目的として導入された式である。

以上のように、両者はかなり性質の異なる式である。

図-1は、坪井式および安中式による地動最大変位の距離減衰特性を比較して示したものである。ただし、安中式における震源深さHは、浅発地震を対象として、次のようにした。

M=5のとき H=0km

M=6のとき H=5km

M=7のとき H=10km

M=8のとき H=20km

図の横軸は震央距離(坪井式)または断層距離(安中式)であり、縦軸は最大変位である。また、実線は坪井式を、破線は安中式による最大変位をマグニチュード5~8について示す。図より、距離の定義が異なるのにも関わらず、安中式による遠方場での最大変位は坪井式のそれに漸近することがわかる。遠方場では断層距離と震央距離の差が小さくなることを考慮すると、安中式による遠方場での最大変位の予測値は信頼性が高いといえる。

3. 坪井式と安中式の整合性について

安中式による最大変位に対する疑問を検討するために、浅発地震を対象として坪井式(式(2))と安中式(式(3))を比較する。両式でもっとも異なる点は距離の取り方であり、坪井式では震央距離を安中式では断層距離を用いている。ここで、式(3)右辺第2項に現れる距離項について考える。

$$D = R + 0.334 \cdot e^{0.653M} \quad (4)$$

上式の右辺第2項は、最大地動が震源域で頭打ちになる現象を表すために導入された項である。これは、断層面の広がりに対応する量で、断層面と観測点の相対的な位置関係を考慮したときの平均的な震源域の大きさ(震源域を球としたときの半径)を表す量と考えることもできる。このことより、式(4)のDを震源距離とみなすことにする。さらに、浅発地震では、震央距離と震源距離はほぼ等しくなるから、坪井式(式(2))の距離項を安中式のそれと同形とすると、式(2)は次のようになる。

$$\log d_T = M - 1.73 \log(R + 0.334 \cdot e^{0.653M}) - 3.17 \quad (5)$$

以下では、上式を修正坪井式と呼ぶことにする。図-2は、式(5)より求めた最大変位の距離減衰特性を安中式と比較したもので、図の横軸は断層距離(R)である。ただし、安中式における震源深さ H は、前述と同じ値を用いる。図より、修正坪井式による最大変位は安中式によるそれとほぼ整合することがわかる。全体的な傾向としては、断層距離の小さい領域で修正坪井式の方が若干大きな予測値を与えるが、両式の違い(前述)を考慮すると、安中式と修正坪井式による最大変位の予測値はかなりよい対応を示すといえる。

4. おわりに

安中らが提案した最大変位の距離減衰式を、坪井式との比較により検討した。本研究より得られた結果を要約すると、以下のようになる。

(1) 安中式による遠方場での最大変位は、坪井式のそれに漸近する。

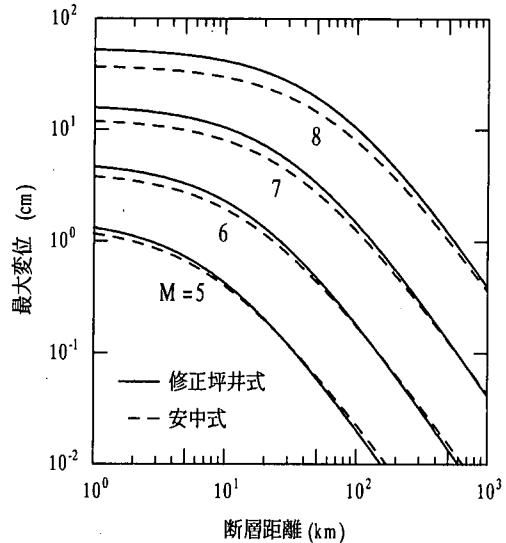


図-2 修正坪井式と安中式による最大変位の比較

(2) 坪井式の距離項(震央距離)を安中式と同形にすることにより、両者の震源域における最大変位は整合するものとなる。

参考文献

- 1) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説 V耐震設計編、丸善株式会社、pp.133-139、1991。
- 2) Annaka, T. and Nozawa, Y. : A probabilistic model for seismic hazard estimation in the Kanto district, Proc. of 9th World Conf. on Earthquake Eng., Vol. II, pp. 107-112, 1988.
- 3) 安中正、山崎文雄、片平冬樹：気象庁 87型強震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。
- 4) 宇津徳治、他：地震の辞典、p.53、朝倉書店、1988。
- 5) Fukushima, Y. and Tanaka, T. : A new attenuation relation for peak horizontal acceleration of strong earthquake ground motion in Japan, Bull. Seism. Soc. Amer., Vol. 80, pp. 757-783, 1990.
- 6) 福島美光：地震波の発生・伝播の理論を背景とした入力地震動の経験的予測、清水建設研究報告、ORI-93-07、1994。

(1998.7.29 受付)

COMPARISON OF TSUBOI'S ATTENUATION EQUATION WITH ANNAKA'S ONE FOR PEAK DISPLACEMENT OF EARTHQUAKE GROUND MOTIONS

Tsutomu SAWADA and Retsu IWAMOTO

We investigate two attenuation equations for predicting the peak displacement of earthquake ground motions, which were presented by Tsuboi and Annaka et al. Tsuboi's formula is used for determining Japanese meteorological magnitude, while Annaka's one was presented for predicting the peak ground motions in wide regions including source area. It has been shown that both formulae are coordinated by using the same distance term in each formula.