

国鉄・鉄道技術研究所 正員 中村 豊
国鉄・鉄道技術研究所 正員 富田健司

1. はじめに 地震動の最大値は、地震動を特徴づける量として重要であり、構造物の設計や地震被害を検討する際の基本的な値として用いられている。地震動の最大値を推定する式は、多くの研究者により発表されているが、式中に含まれる減衰性状の物理的な意味が明確でないものが多いように見受けられる。

そこで、最大加速度の推定式のあるべき関数形について検討し、地表面における実測最大加速度を用いて未定係数を定めて、既往推定式と比較したので報告する。

2. 最大値推定式の関数形 最大加速度を、地震の規模Mや震央距離Δなどの地震諸元をもとに推定する。

従来、最大加速度Aの推定式は、(1)式のように、log Aを目的変数とし、地震規模Mおよびlog Δ(またはこれに準ずるlog(Δ+30)など、Δは震央距離)を説明変数とする重回帰分析によって求められることが多い。

$$\log A = \alpha M + \beta \log \Delta + \gamma \quad (1)$$

しかし、この関数形では、波動が拡散することによる振幅減少の形式で、粘性減衰などこれとは機構の異なる振幅減少の影響を表現することになるため、Δがかなり大きくなってもAはさほど減衰せず比較的大きな値のままで、観測結果と掛け離れることが多い。

そこで、2種類の減衰機構を考慮して、加速度振幅を次式であらわす。

$$A = A_0 \exp(-\alpha \Delta) / (\Delta^{2n}) \quad (2)$$

ここで、αは距離減衰係数を、exp(-αΔ)は地殻の内部減衰による振幅の減少をあらわす。1/(Δ²ⁿ)は波動の拡散に伴って振幅が減少する幾何減衰をあらわす。

距離減衰係数αは、見掛けの周期T、波動の伝播速度vおよび地殻のQ値を用いて次のようにあらわされる。

$$\alpha = \pi / (v Q T) \quad (3)$$

図1は、青函トンネルの竜飛方斜坑底における地震動加

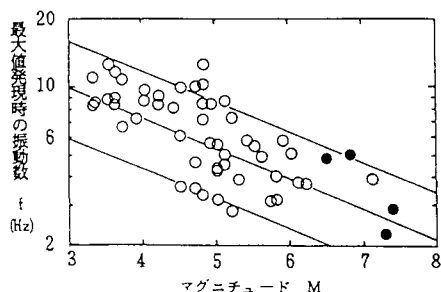


図1 青函トンネルで観測した地震のマグニチュードと振動数の関係

速度の二つの水平成分のうち、大きい最大加速度を示す成分の最大値発生時の見掛けの振動数f(=1/T)とMの関係を示したものである。これによるとばらつきはあるものの次式を仮定することができる。

$$\log T = aM + b \quad (4)$$

$$\therefore \alpha = (\pi / (v Q)) * 10^{aM+b} \quad (5)$$

A₀は地震のエネルギーと関係し、Gutenberg-Richterによれば地震のエネルギーの対数はMの1次式で表現できるので、log A₀もMの1次式であらわせると仮定する。

(2)式の両辺の対数を取り、右辺をMとΔであらわすと次のようになる。

$$\log A = C_m M + C_c - C_m \Delta \log \Delta \quad (6)$$

$$\text{ただし、} C_m = (\pi \log e / (v Q)) * 10^{aM+b}, C_c = n$$

(1)式は(6)式において、C_m=0と置いたものである。

ここで、(1)式のような関数形をとらない基盤加速度の推定式である阿本・田村・加藤(1979)の式(次式、以下OTK式という)と(8)式の関連について考察する。

$$\log(A/1000) = (-0.043M^2 + 0.89M - 4.93) (\Delta + 50) / 100$$

$$\therefore \log A = [(-0.043M^2 + 0.89M - 4.93) / 2 + 3] - \{(-0.043M^2 + 0.89M - 4.93) / 100\} * \Delta \quad (7)$$

(7)式にはlog Δの項がなく、OTK式は幾何減衰の効果を無視したものであることがわかる。

(7)式の[]内は(6)式のC_mM+C_cに対応するものでこれをMに対して図示したものが図2である。これによると、M=4~8では[]内の値をほぼ直線で近似することができ、C_m=0.187, C_c=1.221と求められる。

図3は{}内の値をMに対して図示したものである。この曲線はM=4~9の範囲をC_m*10^{aM}*(-aM)で近似することができ、C_m=0.0754, a=0.141と求められる。

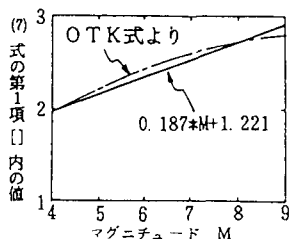


図2 (7)式の第1項[]内の値

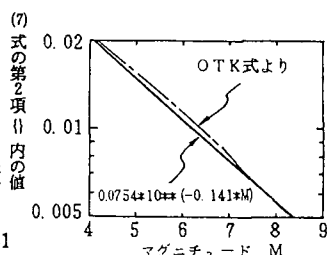


図3 (7)式の第2項{}内の値

青函トンネルでの観測によれば、(4)式の a 、 b は、 $a=0.134$ 、 $b=-1.39$ となる。OTK式を(6)式で近似して得られる a の値はこれとほぼ一致している。

C_{md} 中の v は、主要動を対象としているから、 4km/s 程度と考えられる。また、 b として青函トンネルで得られた値を仮定すると、OTK式を(6)式で近似して得られた $C_{md}=0.0754$ から、 $Q=111$ が得られる。この値は地殻の表面波の Q 値として妥当なものであると考えられる。

このようにOTK式は、距離減衰についてはほぼ的確に捉えているが、幾何減衰を無視している。物理的な意味を明確にするには、(6)式のような関数形を探るべきである。

3. 最大加速度推定式(6)の係数算定 主要動の最大値は表面波によって生じていると考えられるから、 $C_d(=n)=0.5$ と置くことができる。(6)式の残る未定係数を強震観測データに基づいて求めるのであるが、様々な地震によるいろんな観測点のデータを一緒にして回帰分析しても、よい結果は得られない。そこでここでは、まず個々の地震毎に(6)式に回帰させ、得られた係数を使って最終的に(6)式の係数を導くこととする。

個々の地震毎に考えれば、(6)式は次の形になる。

$$\log A = C_m M + C_c - C_{md} \cdot 10^{**} (-aM) \cdot \Delta - 0.5 \log \Delta$$

$$= a_m - a_{md} \cdot \Delta - 0.5 \log \Delta$$

$$\therefore \log A + 0.5 \log \Delta = a_m - a_{md} \cdot \Delta$$

多くの地震について a_m と a_{md} を求めれば、これらと M の関係から(6)式の未定係数を定めることができる。ここでは、 $\Delta=0$ での異常性の緩和と震源深さの影響を考慮する目的で、 $\log \Delta$ を $\log(\Delta+H)$ に置き替えた。

SMAC-B2型強震計による地表最大加速度をデータとして、個々の地震毎に求められた a_m と a_{md} を M に対してプロットしたものがそれぞれ図4と図5である。図中の実線のように a_m-M 関係、 $a_{md}-M$ 関係を定めると、結局、最大値の推定式として次式が得られる。

$$\log A = 0.168M - 0.5 \log(\Delta+H)$$

$$- 0.0551 \cdot 10^{**} (-0.156M) \cdot \Delta$$

$$+ 1.86 \quad (8)$$

$a=0.156$ は青函トンネルの a と比較す

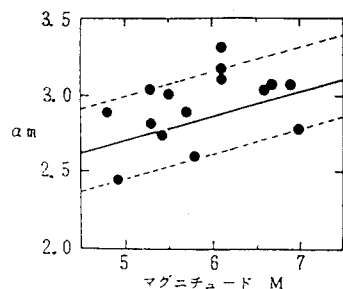
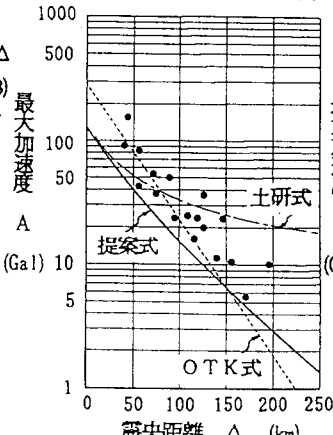
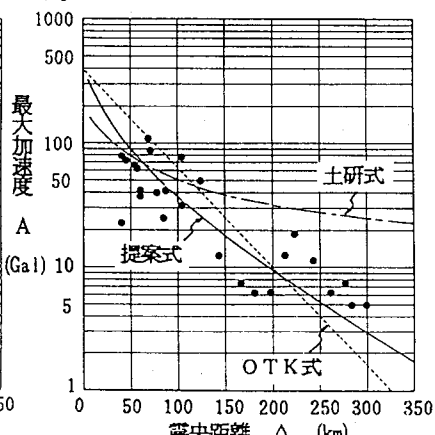


図4 a_m と M の関係



(a) S. 46. 01. 01. M=6. 1. H=40km



(b) S. 53. 01. 14. M=7. 0. H=0km

図6 各種最大加速度推定式と実測値との比較

るとやや大きめであるが大差はない。 $C_{md}=0.0551$ から、 $v=4\text{km}$ 、 $b=-1.39$ を仮定すると、 $Q=152$ となり、妥当な Q 値が得られる。

図6は、(6)式、OTK式および(1)

式の代表例である建設省総合プロジェクト新耐震設計法の開発の一環として開発された予測式のうち第1種地盤に対するものと実測データを比較した例である。これらの例によると、OTK式と提案式は実測データの傾向をよく捉えており、やや提案式のほうが適合性が高いように思われる。また、(1)式の関数形による予測式は実測データの傾向とはかなり異なっている。

4. まとめ (8)式は地表面最大加速度をデータとして地震毎に係数を定めたものであるため、いろんな地点の影響は平均化され、結果的に基盤における最大加速度の減衰傾向を現わしているものと考えられる。特定地点の最大地震動の推定には、震源の地域特性や観測地点の表層増幅特性などの影響を考慮して、 $C_m M + C_c$ の係数などを改訂する必要がある。今後、このような点について検討するとともに、振動数成分毎の振幅の推定も(6)式の関数形に従って行ない、最大地震動と振動数特性の推定が的確に行なえるようにしたいと考えている。

謝辞 本研究は国鉄の耐震研究プロジェクト”鉄道地震対策の研究委員会(委員長 岡本舜三東京大学名誉教授)”の中で行なわれているものである。委員を始め関係の方々に謝意を表します。

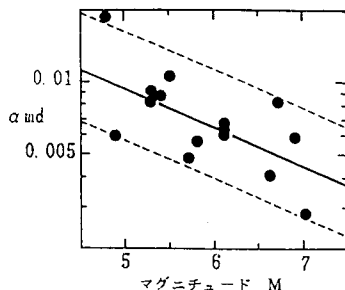


図5 a_{md} と M の関係