

土木研究所資料

周期に変動ある事象の
生起確率に関する一考察

昭和 59 年 3 月

建設省土木研究所
ダム構造研究室

Copyright © 1984 by P.W.R.I.

All rights reserved. No part of this book may be reproduced by any means, nor transmitted, nor translated into a machine language without the written permission of the Director of P.W.R.I.

この報告書は、土木研究所長の承認を得て刊行したものである。したがって、本報告書の全部又は一部の転載、複写は土木研究所長の承認を得ずしてこれを行ってはいらない。

ま え が き

本小論は、周期的に生起するがその周期にバラツキのある事象について、その事象が今後のある一定期間内に生ずる可能性を評価する方法を考察したものである。

ある種の第四紀断層は過去に繰返し活動し、その活動にはかなりのバラツキがあるが周期性があると考えられている。しかしこれらのうちの多くは、最終活動時期のみがわかっていて繰返し活動する周期が不明であったり、また繰返し活動したことがわかっていてもその周期にかなりのバラツキがあり、その生起確率を評価することは難しい。本小論ではこのような第四紀断層の活動性を例に、その生起確率を求める方法を述べる。

昭和 59 年 3 月

フィルダム研究室 松 本 徳 久

ダム構造研究室 永 山 功

目 次

まえがき

1. 第四紀断層の活動性と木土構造物	1
2. 確率論に基づく第四紀断層の将来の活動性の評価方法	3
2.1 確率論の適用性	3
2.2 生起確率と確率密度関数	3
2.3 確率密度関数 $f(t)$ の性質	5
2.4 現在における第四紀断層の状態の位置付け	6
2.5 生起確率の推定と活動性の評価	8
3. ま と め	16

1. 第四紀断層の活動性と本土構造物

いわゆる“活動層”とは“地質学的に近い過去に活動し、将来も再び活動する可能性のある断層”をいう。ここで“地質学的に近い過去”とは第四紀全体（およそ200万年前から現在まで）を指すこともあれば、第四紀の後半のみを指すこともある。活断層の近傍に構造物が建設される場合、もしその活断層が将来活動する可能性があるならば、それによつて生ずる“ずれ”や“地震動”に対しての工学的な対応が必要となる。しかしこの際問題となるのは活断層を定義する地質学的な時間スケールと構造物の耐用年数といったような工学的意味での時間スケールの間に非常に大きなへだたりがあることである。構造物の耐用年数は一般に数10年から100年のオーダーであると考えられる。このような時間スケールで見た場合、工学的に活動するかいなかを検討すべき活断層はもし存在したとしてもおそらく極めて限られた数のものであり、大部分の活断層は工学的に問題にならない断層と考えられる。したがつて活断層の活動性を工学的な立場としてとらえる場合、“活”という言葉は誤ったイメージを与えやすい。このため工学の場で“活断層”をとらえる場合、“活断層”という言葉に代つて“第四紀断層”という名称を使うのが妥当であろう。したがつて、本小論では“第四紀断層”の名称を用いることとする。

さて、構造物の耐用年数を経た後もいまだその機能を維持している構造物も多い。しかし逆に第四紀断層に対する知見は例えば100年後にはどの位向上しているであろうか。第四紀断層についての研究が盛んになったのはここ10～20年である。100年後にはこの方面での知見も多いに高まり、またその調査法についても精度が増し、どの第四紀断層がどれほどの活動性をもつかについて現在よりも格段に正確な知識をもっているだろう。また第四紀断層の活動が十分予知できたとすれば、それなりの対策や補強を施すことも十分期待できるであろう。以上、構造物の設計上の耐用年数および第四紀断層に対する知見の向上の2点を考えると、土木構造物の設計において第四紀断層の活動性を考慮すべき期間としては通常100年、安全率として“2”を考慮しても200年と考えることができよう。

次に第四紀断層の活動性または繰返し活動性を考察しよう。将来における第四紀断層の活動性を知るには、過去においてその断層を活動させた地殻応力が現在どのような状態で働いているかを知らなければならない。これについては測地学的方法等によつて地殻の応力を求める手段も開発されつつあるが、いまだその方法は十分とはいえず、現在のところ最も確実と考えられる方法は過去における第四紀断層の活動の履歴からその将来における活動性を推定する方法である。しかしながら、我が国において過去に2回以上活動し、その活動の周期、変位量が調べられている第四紀断層の数は極めて少ない。また第四紀断層は一定期間毎に活動するという周期性を仮定する考え方もあるが、これについても工学に持ち込むまでに十分に検証された理論にはなっていないのが現状である。例えば過去において繰返し活動しその時期が分っている数少ない第四紀断層の一つである平山断層（神奈川県山北町）は約21000年前から現在の間に少なくとも5回の活動を行っている。この内訳は21000年前から10440年前の約10000年間に4回、併せて8mの変位量を示し、その後約2400年前に0.42mの変位を生じた以外は現在までその活動を停止している。この事例より、最近20000年間の平山断層の活動

性は前半の 10000 年と後半の 10000 年で大きく異なり、後半の 10000 年の活動性は極めて小さくなっていることがわかる。すなわち第四紀断層の活動性には繰返しが認められるものの、その周期性を考えた場合その周期にはかなりのバラツキがあるということがいえる。

このように第四紀断層の将来の活動性を推定するために我々のもっている知識は非常に乏しいといえる。しかしながら工学においてはその知識が万全でない場合にはその誤差を見込んだ安全側の評価を行うことによってこれを推定することが許される。そこで以下の章ではこのような見地に基づき第四紀断層の活動性について検討してみることにしよう。

2. 確率論に基づく第四紀断層の将来の活動性の評価方法

2.1 確率論の適用性

第四紀断層の活動性を確率論として取扱う場合、その前提となる第四紀断層の活動の場としての確率過程についての性質を知らねばならない。しかし既に述べたように第四紀断層の活動性について得られている我々の知識は極めて限られたものであり、確率論的考察を進めるには多くの“仮定条件”を用いざるを得ない。このことは一見確率論による取扱いを不可能とするように考えられがちであるが、工学的に見た場合、ある意味で確率論は有効に作用すると思われる。なぜなら、我々が必要とするのは第四紀断層が活動する確率の正確な値ではなく、非常に小さいであろうその確率値のオーダーだからである。すなわち、第四紀断層の活動性について、全て評価上安全となるような仮定（もちろん工学上妥当と思われる範囲での話ではあるが）を設けておけば、確率論によって第四紀断層の活動の可能性は高々ある値以下であるという推定ができるからである。このように全て安全側の仮定を設けることは一般には意味をなさないことがある。すなわち、その答はたとえば、“その生起確率は高々 100% 以下であろう”というような無意味な結果となるからである。しかし第四紀断層の活動性を論じる場合、その本来の生起確率が非常に小さいことが有利に作用している。以下に述べるようにその結果は工学的に意味ある答を示すのである。

2.2 生起確率と確率密度関数

第四紀断層の活動の周期（より厳密に言えばその周期のバラツキ）に比較して我々の活動の場は極めて短い。そこで土木構造物の寿命（耐用年数）と第四紀断層の活動性を比較した場合、近似的に第四紀断層が活動する可能性はその構造物の寿命の間ではほぼ一定と考えてよいであろう。そこでその活動の確率（これを生起確率と呼ぶ）を 1 年当り p とおく。この時構造物の寿命 τ 年の間にこの第四紀断層が活動する確率 $Pr(\tau; p)$ は次式で与えられる。

$$Pr(\tau; p) = 1 - (1 - p)^\tau \quad (1)$$

いまの種々の τ, p に対して Pr を求めたのが表 - 1 である。

表 - 1 第四紀断層の活動する確率 (%)

τ : 考慮すべき年数 (年) p : 生起確率 (1/年)

$\tau \backslash p$	1/1000	1/5000	1/10000	1/50000
100	9.5	2.0	1.0	0.2
200	18	3.9	2.0	0.4

したがってこの表に基いて構造物の寿命内に第四紀断層が活動する確率に対して適当な基準値を定めておけば、(1)式によりある特定の第四紀断層が設計上考慮すべき断層であるか否かを判定するための生起確率 p が規定されるわけである。そこで以下に第四紀断層が活動する生起確率 p を推定する方法を考えてみよう。

もし第四紀断層が50000年間活動してないとするとその第四紀断層の現在における生起確率は $1/(50000\text{年})$ 程度といえるであろうか。また初等的な確率論的推定方法を用いてその第四紀断層の生起確率を $1/(10000\text{年})$ 程度と推定できるであろうか。^{*脚注} 答は否である。なぜならこれは第四紀断層の活動性に対する周期性という前提条件を全く無視しているからである。すなわち、この第四紀断層の周期が正確に50000年であったとすれば、ちょうど現在においてこの第四紀断層が活動するはずであり、その生起確率は100%とならなければならないのである。それではT年間活動していない第四紀断層の現在または近い将来における生起確率はどのようにして推定したらよいであろうか。この場合必要となるのが確率密度関数の概念である。

確率密度関数 $f(t)$ とはある任意の時刻 t においてある事象（ここでは第四紀断層の活動）の生起する確率をいう。いま、第四紀断層が一度活動した後、次に活動するまでの時間 t の確率を確率密度関数 $f(t)$ で表わすものとしよう。すなわち、図-1において時刻 t_1 においてこの断層が活動する確率を $f(t_1)$ と定義することにする。

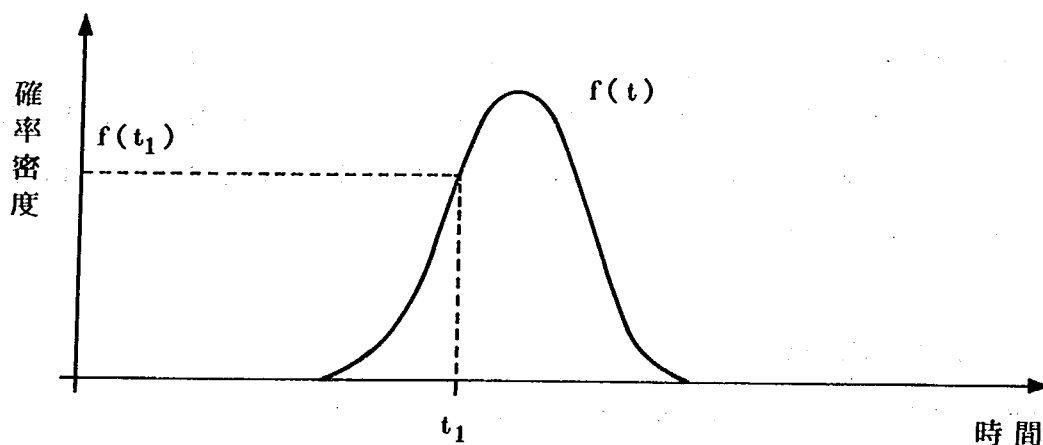


図 - 1 確 率 密 度 関 数

る。この場合確率密度関数の定義より次式が成立する。

$$\int_0^{\infty} f(t) dt = 1 \quad (2)$$

また第四紀断層の活動の周期 T_0 は次式で表わすことができる。

$$\int_0^{\infty} t f(t) dt = T_0 \quad (3)$$

確率密度関数 $f(t)$ を用いて第四紀断層の活動性を推定する前に、ここで若干の基本的事項について述べておこう。まず

$$R(t) = \int_t^{\infty} f(t) dt \quad (4)$$

* 注：生起確率 p が一定な独立試行過程では、

$$1 - \Pr(T \leq t; p) = (1 - p)^T \ll 1 \quad (a)$$

なる式から生起確率 p が推定される。例えば第四紀断層が $T = 50000$ 年間動いていないとすれば、

$$1 - \Pr(50000 \leq T; 0.0001) = 0.007 \ll 1 \quad (b)$$

より、“生起確率 $1/(10000\text{年})$ の第四紀断層が50000年もの間動かないという確率は0.7%であり、このようなことはまずあり得ない。したがって50000年間動かない第四紀断層の活動する生起確率は高々 $1/(10000\text{年})$ 以下である。”と推定ができる。

は第四紀断層が少なくとも t 年間活動しない確率を表わしており、これを残存確率と呼んでいる。

また時刻 t まで活動しなかつた第四紀断層が時刻 t において初めて活動する確率は、

$$h(t) = \frac{f(t)}{R(t)} \quad (5)$$

で表わされる。この $h(t)$ を故障率関数と呼んでいる。多くの場合 $h(t)$ は非減少関数となる。ところで我々が問題にしている生起確率は $f(t)$ でなく $h(t)$ で表わされる。

2.3 確率密度関数 $f(t)$ の性質

次に第四紀断層の活動を表わす確率密度関数 $f(t)$ の性質について考察してみよう。これには第四紀断層の活動のメカニズムについての考察が必要である。地殻にはある種の営力によつて応力 F が徐々に蓄積されていると考えられる(例えばプレートテクトニクス説)。これが地殻中の弱点である第四紀断層の抵抗力 R より優つた場合に破壊が生じ、断層が活動することになる。そしてこの活動によつて応力は解放され、再び元の安定状態が得られる。この過程は何度も繰返され断層活動の周期性が得られるわけである。この場合、断層活動の周期のバラツキは応力の蓄積される速度のバラツキまたは第四紀断層の抵抗力のバラツキによるものと考えられる。しかしここで応力の蓄積速度のバラツキと断層の抵抗力のバラツキの双方を考慮することは以後の議論の展開を複雑にし、また多くの仮定を取扱っている現状においては、これを結果に影響を及ぼさない範囲において簡略化することは十分許容されるであろう。そこでここでは簡単のため、応力の蓄積速度を一定と仮定しそのバラツキを第四紀断層の抵抗力のバラツキに転化することで近似しよう。

いま、第四紀断層の平均的強度(強度の期待値)を R_0 、そのバラツキ(分散)を σ_R^2 で表わし、図-2の

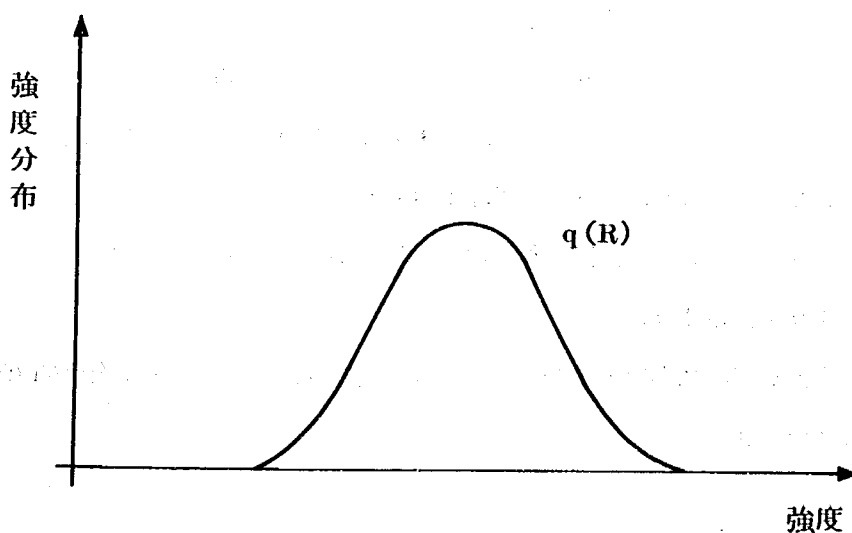


図 - 2 断層強度の分布

ようにその強度特性を $q(R)$ なる強度分布で表わそう。一方応力の蓄積速度を v で表わすとすれば地殻応力 F の大きさは

$$F = vt \quad (6)$$

で示される。したがって時刻 t から $t + dt$ の間にこの第四紀断層が活動する確率は

$$p = q(F) dF = q(vt) v dt \quad (7)$$

となる。これより第四紀断層の確率密度関数 $f(t)$ は

$$f(t) = vq(vt) \quad (8)$$

で表わされることになる。この時第四紀断層の活動周期 T_0 の分散 σ_T^2 は

$$\sigma_T^2 = \int_0^\infty (t - T_0)^2 vq(vt) dt \quad (9)$$

となるが、ここで

$$F = vt \quad R_0 = vT_0 \quad (10)$$

が成立するから(9)式は結局

$$\sigma_T^2 = \int_0^\infty \left(\frac{F - R_0}{v}\right)^2 vq(F) \frac{dF}{v} = \frac{\sigma_R^2}{v^2} = \frac{T_0^2}{R_0^2} \sigma_R^2 \quad (11)$$

となる。すなわち、第四紀断層の活動周期の分散 σ_T^2 はその周期 T_0 の2乗に比例することになる。またその標準偏差 σ_T は周期 T_0 に比例することになる。

このように任意の第四紀断層の活動性はその周期 T_0 と、標準偏差と周期の比(変動係数) k を用いて表わすことができる。そこで確率密度関数 $f(t)$ を

$$f(t) = P(t; T_0, k) \quad (12)$$

で表わすことにする。ここで未知の値は第四紀断層の周期 T_0 、変動係数 k 、関数形 P であるが、このうち関数 P の具体的な形としてここでは①正規分布と②Weibull分布の2つを想定してみよう。①の分布は統計学上最も重要な分布であり、摩耗破壊による寿命の分布として数多く経験されている分布である。また②の分布は材料強度のバラツキの分布として経験されている分布である。

2.4 現在における第四紀断層の状態の位置付け

いま T 年間活動していないことが分っている第四紀断層を考え、その周期 T_0 を推定する方法を考えてみよう。この場合 T 年間活動していないということは2つの意味をもっている。1つは T 年前に活動したということとを意味する場合であり、もう1つはその活動の時期は不明であるが少なくとも T 年間は活動していないという場合である。周期 T_0 を推定する場合、前者に仮定した方が明らかに評価上安全となる。そこでここではそのように考えることにしよう(仮定1)。

次に、現在における第四紀断層の状態であるが、これには周期 T_0 と活動していない年数 T の関係として次の3つの場合を想定することができる。

- ① $T \gg T_0$
 - ② $T \approx T_0$
 - ③ $T \ll T_0$
- (13)

このうち①の状態では既に第四紀断層は活動しているはずでありおそらくこのような状態は存在しないであろう。また③の状態では現在での活動の可能性は皆無としてこれを考慮しなくてもよいであろう。したがって我々は②についてのみ考えればよいのであるが、一般には我々の有している情報によってある特定の第四紀断層

が②、③いずれの状態であるのかを判断することは極めて困難である。そこで第2の仮定として、第四紀断層は現在または近い将来に活動する可能性が最も大きいと考えることにしよう（仮定2）。

これらの2つの仮定では、少なくとも活動していないことが明らかな年数 T に比べて実際には遥かに大きな周期をもつ可能性のある第四紀断層を過去および将来に対して安全側に評価し、その周期 T_0 を T と同じオーダーとしているわけであり、これは実際には極めて安全すぎる仮定であることに注意しておく必要がある。

さて、 $T \approx T_0$ とおいた場合、次に具体的にどのように T_0 を推定するのが妥当であろうか。極めて厳しく第四紀断層の活動性を評価するには T_0 をできるだけ小さくするのがよい。なぜなら故障率関数 $h(t)$ は一般に非減少関数であり、それだけ現在における生起確率が大きく評価されるからである。ただしあまりに T_0 を小さくすれば現在の状態は先に示した①の状態となり、そのような状態は本来起こり得ないのである。すなわち、 T_0 を小さ目に推定すれば、第四紀断層の活動する（生起）確率は大きくなるが、反面現在がそのような状態である確率は非常に小さくなり、逆に T_0 を大き目に推定すれば現在がそのような状態である確率は増加してくるが、反面第四紀断層の活動する（生起）確率は小さく評価されるわけである。つまり、第四紀断層の活動性に対する安全率を重視すれば T_0 をなるべく小さく評価する方法を採用すべきであって、逆にその活動する確率の推定値をもつともらしくするには T_0 をあまり小さくしないような評価方法を採用すべきなのである。これを確率密度関数 $f(t)$ と故障関数 $h(t)$ を使つてもう一度分りやすく説明しよう。図-3は確率密度関数 $f(t)$ 、故障

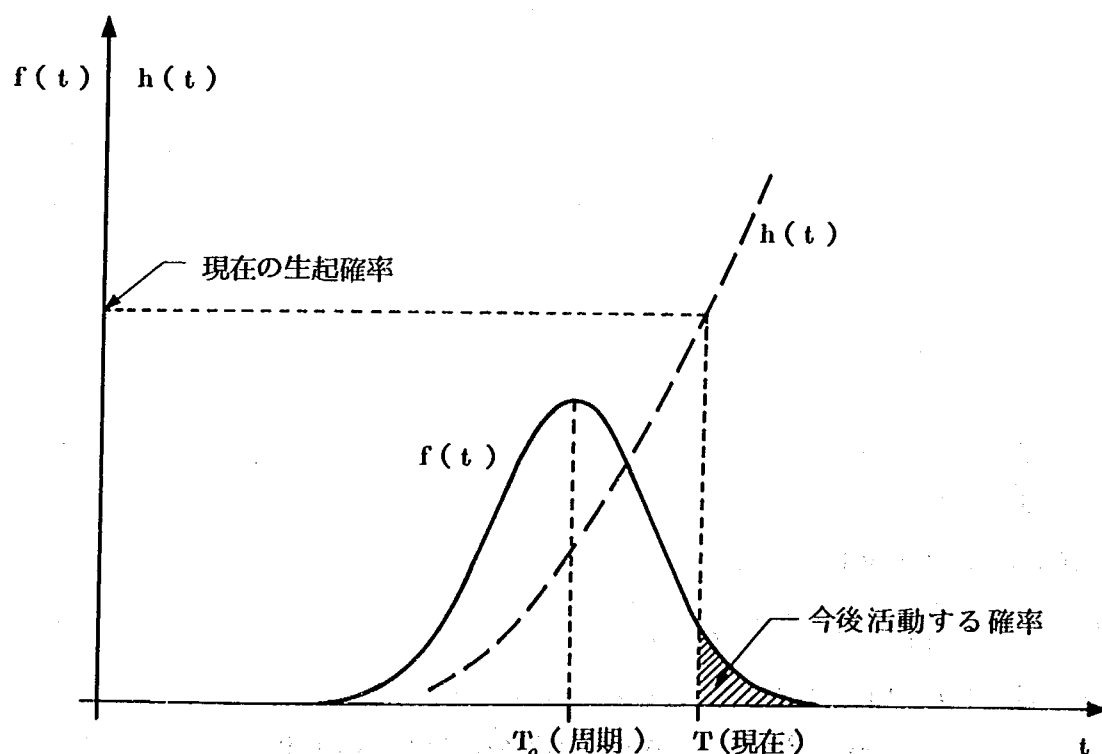


図-3 第四期断層の活動の確率密度関数 $f(t)$ と活動の生起確率 $h(t)$ の関係

率関数 $h(t)$ と現在の時刻 T の関係を示したものである。この場合、現在の時刻 T が横軸において右へ移動すればするほどその時の $h(t)$ は次第に大きくなりしたがって第四紀断層の活動する確率は大きくなる。しかし反面 T より右の部分の $f(t)$ の面積 $\int_T^\infty f(t)dt$ すなわち残存確率 $R(t)$ の大きさは次第に小さくなる。この残存確率 $R(t)$ は現在までにその第四紀活動が活動しないであった確率であり、したがって $R(t)$ が小さいとい

うことは、この第四紀断層は将来よりも過去において活動する確率が高かった、すなわち過去においておそらくこの第四紀断層は活動していたはずであるということを示している。つまり、残存確率 $R(t)$ は第四紀断層が現在までに活動していなかったということが起り得る確率であつて、これが小さいということはそのような状態が本来起り得にくいということを示しているわけである。したがつて、実用的な第四紀断層の活動性の推定は、残存確率 $R(t)$ がある程度大きな範囲で $h(t)$ が最も大きくなるようにその周期 T_0 を推定することにあるといえる。

2.5 生起確率の推定と活動性の評価

前節で述べたように、第四紀断層の生起確率の推定は残存確率 $R(t)$ すなわち将来この断層が活動する確率をある値 α 以上にした場合に現在での生起確率 $h(t)$ が最大となるような周期 T_0 とその時の生起確率 $h(t)$ を求めることにある。この場合安全側の評価を行うためには α を小さく仮定し $h(t)$ を大き目に評価するのが一般である。

一般の確率論における推定の問題では α として 5 % を採用するのが通常であるが、これはその事象が現在において生起する確率が十分あるということを前提においたものであつて、ここに述べるように第四紀断層の活動性の周期が全く現在と一致していない場合も十分考えられる場合には、 α として 5 % を用いるのはあまりに厳しい判断となるであろう。そこでここでは α として 50 %、すなわち

$$\int_0^{\infty} f(t) dt = 0.5 \quad (14)$$

と仮定しよう。これは、正規分布を仮定した場合、現在がちょうどその活動周期にあたることを意味している。

正規分布を仮定した場合、この第四紀断層の現在における活動の生起確率 p と今後 100 年または 200 年における活動の確率 Pr は次式で与えられる。

$$p = \frac{f(T)}{\int_T^{\infty} f(t) dt} \quad (15)$$

$$Pr = \frac{\int_{T+\tau}^{\infty} f(t) dt}{\int_T^{\infty} f(t) dt}$$

ここに τ は 100 年または 200 年を意味し、また

$$f(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} kT} \exp\left(-\frac{(t-T)^2}{2k^2 T^2}\right) \quad (16)$$

である。これを種々の T 、 k に対して求めたのが表-2 と表-3 である。

表-2 種々の第四紀断層の活動の生起確率

$T \backslash k$	0.1	0.3	0.5
10000	1/1250	1/3760	1/6270
30000	1/3760	1/11300	1/18800
100000	1/12500	1/37600	1/62700
300000	1/37600	1/113000	1/188000
1000000	1/125000	1/376000	1/627000

T : 断層の活動していない年数

k : 周期の変動係数

(標準偏差/周期)

$\int_0^T f(t) dt = 0.5$ (正規分布)

表-3 今後N年間に第四紀断層の活動する確率(%)

T:断層の活動していない年数

k:周期の変動係数(標準偏差/周期)

$$\int_0^T f(t) dt = 0.5 \quad (\text{正規分布})$$

T \ k	0.1	0.3	0.5
10000	8.0	2.7	1.6
30000	2.7	0.9	0.5
100000	0.8	0.3	0.2
300000	0.3	0.09	0.05
1000000	0.08	0.03	0.02

(N = 100年)

T \ k	0.1	0.3	0.5
10000	1.6	5.3	3.2
30000	5.3	1.8	1.1
100000	1.6	0.5	0.3
300000	0.5	0.2	0.1
1000000	0.2	0.05	0.03

(N = 200年)

次にWeibull分布を仮定した場合の生起確率pと今後100年または200年における活動の確率Prを求める。
この場合確率密度関数f(t)は次式で与えられる。

$$f(t) = \lambda m t^{m-1} \exp(-\lambda t^m) \quad (17)$$

ただしλ, mは次式により求まる値である。

$$\int_0^T f(t) dt = 0.5$$

$$k = \frac{\sigma}{T_0} = \frac{\sqrt{\Gamma(1+\frac{1}{m}) - \{\Gamma(1+\frac{2}{m})\}^2}}{\Gamma(1+\frac{1}{m})} \quad (18)$$

これを種々のT, kに対して求めたのが表-4, 表-5であるが, その値は表-2, 表-3の値と有意な差が

表-4 種々の第四紀断層の活動の生起確率

T:断層の活動していない年数

k:周期の変動係数(標準偏差/周期)

$$\int_0^T f(t) dt = 0.5 \quad (\text{Weibull 分布})$$

T \ k	0.1	0.3	0.5
10000	1/1200	1/3850	1/6870
30000	1/3610	1/11500	1/20600
100000	1/12000	1/38500	1/68700
300000	1/36100	1/115000	1/206000
1000000	1/120000	1/385000	1/687000

表-5 今後N年間に第四紀断層の活動する確率(%)

T:断層の活動していない年数

k:周期の変動係数(標準偏差/周期)

$$\int_0^T f(t) dt = 0.5 \quad (\text{Weibull分布})$$

T \ k	0.1	0.3	0.5
10000	8.4	2.6	1.5
30000	2.8	0.9	0.5
100000	0.8	0.3	0.2
300000	0.3	0.09	0.05
1000000	0.08	0.03	0.01

(N = 100年)

T \ k	0.1	0.3	0.5
10000	17	5.2	2.9
30000	5.6	1.7	1.0
100000	1.7	0.5	0.3
300000	0.6	0.2	0.1
1000000	0.2	0.05	0.03

(N = 200年)

ないといえる。そこで以下では正規分布に対して議論を進めることにしよう。図-4は⑨式に基づき第四紀断

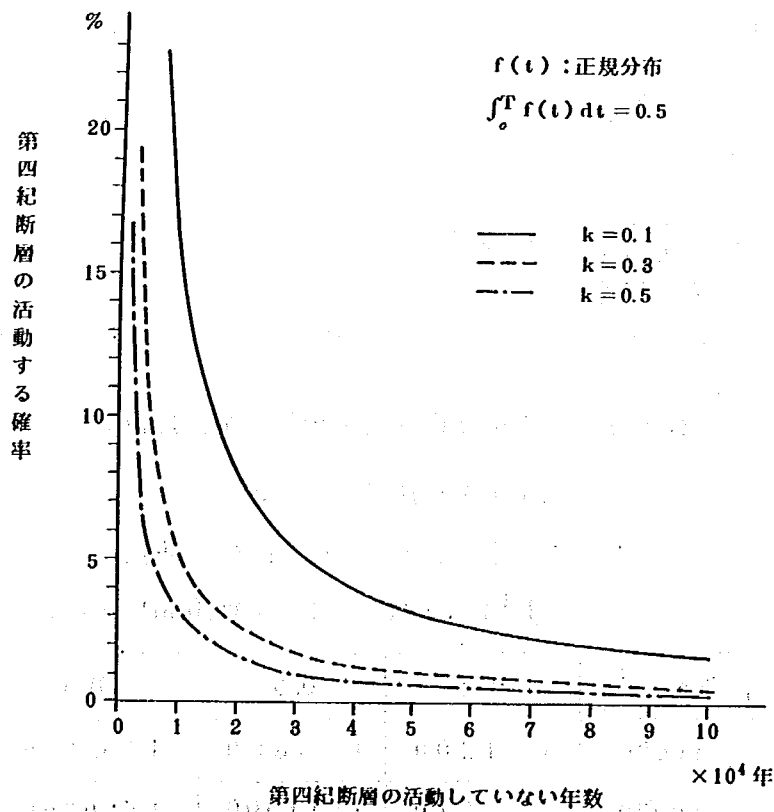


図-4 今後200年間に第四紀断層の活動する確率

層が活動していない年数Tとその第四紀断層が今後200年間の間に活動する確率Prの関係について変動係数kをパラメータとして示したものである。図より同一の確率値Prに対して、変動係数kが大きくなほど活動していない年数Tは短かくてもよいこと、また逆に変動係数kが小さくなると活動していない年数Tとして大きな値が要求されることがわかる。

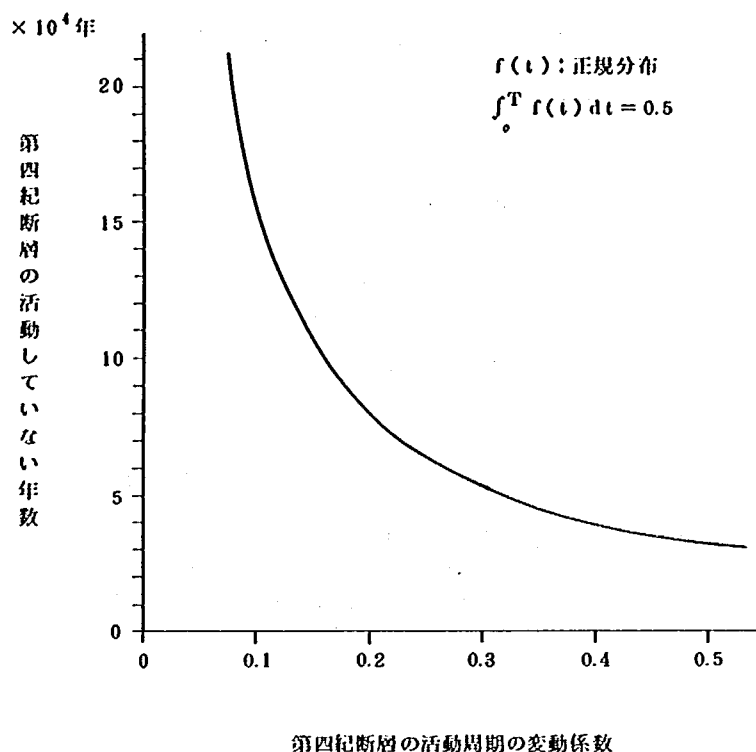


図-5 今後 200 年間に第四紀断層が活動する確率を 1% 以下に抑えるために必要な条件

図-5 は、今後 200 年にある特定の第四紀断層が活動する確率を 1% に抑えた時、この条件を満足するために必要な第四紀断層の活動していない年数 T と変動係数 k の関係を図-4 より求めたものである。この図より上記の条件を満足するために必要な第四紀断層の特性が決定されることになる。すなわち、今後 200 年の間に第四紀断層が活動する確率を 1% に抑える場合、例えば変動係数 k を 0.5 と仮定すれば少なくとも約 30000 年間第四紀断層が活動していないという保証が必要となる。以上の議論は残存確率を

$$\int_t^{\infty} f(t) dt = 0.5 \quad (19)$$

と仮定している。このような仮定は第四紀断層の活動性を評価する場合には十分妥当であることを前に述べたが、一般の確率論に基づく推定法において用いられる残存確率を用いた場合、すなわち

$$\int_t^{\infty} f(t) dt = 0.05 \quad (20)$$

とした場合の第四紀断層の活動性についても一応の確認を行っておくことは必要であろう。これを前と同様に正規分布、Weibull 分布に対して求めた結果が表-6 から表-9 である。

表-6 種々の第四紀断層の活動の生起確率

T : 断層の活動していない年数

k : 周期の変動係数 (標準偏差 / 周期)

$$\int_0^T f(t) dt = 0.95 \text{ (正規分布)}$$

T \ k	0.1	0.3	0.5
10000	1 / 415	1 / 971	1 / 1330
30000	1 / 1250	1 / 2910	1 / 3980
100000	1 / 4150	1 / 9710	1 / 13300
300000	1 / 12500	1 / 29100	1 / 39800
1000000	1 / 41500	1 / 97100	1 / 133000

表-7 今後N年間に第四紀断層の活動する確率 (%)

T : 断層の活動していない年数

k : 周期の変動係数 (標準偏差 / 周期)

$$\int_0^T f(t) dt = 0.95 \text{ (正規分布)}$$

T \ k	0.1	0.3	0.5
10000	22	9.9	7.3
30000	7.8	3.4	2.5
100000	2.4	1.0	0.8
300000	0.8	0.3	0.3
1000000	0.2	0.1	0.08

(N = 100年)

T \ k	0.1	0.3	0.5
10000	40	19	14
30000	15	6.7	4.9
100000	4.7	2.0	1.5
300000	1.6	0.7	0.5
1000000	0.5	0.2	0.2

(N = 200年)

表-8 種々の第四紀断層の活動の生起確率

T : 断層の活動していない年数

k : 周期の変動係数 (標準偏差/周期)

$$\int_0^T f(t) dt = 0.95 \quad (\text{Weibull 分布})$$

T \ k	0.1	0.3	0.5
10000	1/278	1/890	1/1600
30000	1/835	1/2670	1/4790
100000	1/2780	1/8900	1/16000
300000	1/8350	1/26700	1/47900
1000000	1/27800	1/89000	1/160000

表-9 今後N年間に第四紀断層の活動する確率(%)

T : 断層の活動していない年数

k : 周期の変動係数 (標準偏差/周期)

$$\int_0^T f(t) dt = 0.95 \quad (\text{Weibull 分布})$$

T \ k	0.1	0.3	0.5
10000	32	11	6.1
30000	11	3.7	2.1
100000	3.6	1.1	0.6
300000	1.2	0.4	0.2
1000000	0.04	0.1	0.06

(N=100年)

T \ k	0.1	0.3	0.5
10000	5.5	2.1	1.2
30000	2.2	0.73	0.41
100000	0.70	0.22	0.13
300000	0.24	0.08	0.04
1000000	0.07	0.02	0.01

(N=200年)

この場合、確率値は表-2から表-5の値の4倍程度におさまっている。すなわち、残存確率0.5の場合において第四紀断層の活動する確率を1%程度の小さな値に抑えておけば、残存確率0.05のような極端な場合と想定しても、この第四紀断層が活動する確率は十分小さな値に抑えられているといえる。

また、逆に第四紀断層の活動周期にあたる時期が将来にずれている場合、すなわち

$$\int_0^{\infty} f(t) dt = 0.95 \quad \text{-----} \quad (20)$$

を仮定すれば、表-10から表-13に示すようにそのような第四紀断層が活動する可能性は皆無に近いといえる。以上のことから残存確率を0.5とするのは工学的に十分妥当であるといえる。

表-10 種々の第四紀断層の活動の生起確率

T : 断層の活動していない年数

k : 周期の変動係数 (標準偏差/周期)

$$\int_0^T f(t) dt = 0.05 \quad (\text{正規分布})$$

T \ k	0.1	0.3	0.5
10000	1/ 11700	1/ 58100	1/ 279000
30000	1/ 35100	1/ 174000	1/ 838000
100000	1/ 117000	1/ 581000	1/ 2790000
300000	1/ 351000	1/1740000	1/ 8380000
1000000	1/1170000	1/5810000	1/27900000

表-11 今後N年間に第四紀断層の活動する確率 (%)

T : 断層の活動していない年数

k : 周期の変動係数 (標準偏差/周期)

$$\int_0^T f(t) dt = 0.05 \quad (\text{正規分布})$$

T \ k	0.1	0.3	0.5
10000	0.9	0.2	0.04
30000	0.3	0.06	0.01
100000	0.09	0.02	0.004
300000	0.03	0.006	0.001
1000000	0.009	0.002	0.0004

(N = 100年)

T \ k	0.1	0.3	0.5
10000	2.0	0.4	0.07
30000	0.6	0.1	0.02
100000	0.2	0.04	0.007
300000	0.06	0.01	0.002
1000000	0.02	0.004	0.0007

(N = 200年)

表 - 12 種々の第四紀断層の活動の生起確率

T : 断層の活動していない年数

k : 周期の変動係数 (標準偏差 / 周期)

$$\int_0^T f(t) dt = 0.05 \quad (\text{Weibull 分布})$$

T \ k	0.1	0.3	0.5
10000	1 / 16200	1 / 52000	1 / 92800
30000	1 / 48700	1 / 156000	1 / 279000
100000	1 / 162000	1 / 520000	1 / 928000
300000	1 / 487000	1 / 1560000	1 / 2790000
1000000	1 / 1620000	1 / 5200000	1 / 9280000

表 - 13 今後 N 年間に第四紀断層の活動する確率 (%)

T : 断層の活動していない年数

k : 周期の変動係数 (標準偏差 / 周期)

$$\int_0^T f(t) dt = 0.05 \quad (\text{Weibull 分布})$$

T \ k	0.1	0.3	0.5
10000	0.7	0.2	0.1
30000	0.2	0.06	0.04
100000	0.06	0.02	0.01
300000	0.02	0.006	0.004
1000000	0.006	0.002	0.001

(N = 100年)

T \ k	0.1	0.3	0.5
10000	1.4	0.4	0.2
30000	0.4	0.1	0.07
100000	0.1	0.04	0.02
300000	0.04	0.01	0.007
1000000	0.01	0.004	0.002

(N = 200年)

3. ま と め

以上第四紀断層の活動性を確率論から評価するにあたり、このような評価方法の妥当性およびその適用限界を考察し、またそれに基づいて確率計算を試みた結果を述べてきたが、これらをまとめると次のようになる。

- ① 今後も活動する可能性があるとしてされている第四紀断層の活動性は、その活動の場が地質学的時間スケールのものであり、我々が取扱う工学的な時間スケールの場合と大きく異なっている。この点は、第四紀断層の活動性を取扱う場合に注意しておかなければならない。
- ② 第四紀断層の活動性については、かなりのバラツキがあるものの大局的にみればある種の周期をもって活動していると考えることができる。
- ③ 第四紀断層の活動性に関して現在我々が有している知見は極めて限られたものであり、上記②の事実に基づいてその活動性を推定する場合には、その活動の場について多くの仮定が必要となる。
- ④ しかし、ある程度の誤差を見込んで第四紀断層の将来における活動性を評価することは工学的には許容されるのであろう。またこの時評価上安全側の仮定を設けることによって将来の活動性の可能性についてその上限値を推定することは可能である。
- ⑤ 確率過程を仮定するにあたり、評価上安全側の仮定として次の事項を設定する。
 - (1) 少なくとも T 年間活動していない第四紀断層を T 年間前に活動しその後活動していない断層とみなす。
 - (2) この断層の将来の活動性は確率的にみて現在において最も高いと仮定する。
- ⑥ 第四紀断層の活動性を第四紀における地殻の営力による応力の蓄積と第四紀断層の抵抗力とによって説明するとすれば、第四紀断層の活動周期のバラツキはその活動周期 T に比例すると考えられる。
- ⑦ この周期のバラツキを示す確率密度分布は必ずしも明確ではないが、材料強度のバラツキを表わすいくつかの確率分布を仮定すると、その差は前提となる仮定条件のあいまい差を考慮すれば有意な差を示さず、したがってここでは確率分布として正規分布を仮定する。
- ⑧ この結果、任意の周期 T とその変動係数 k に対して今後 200 年の間に第四紀断層が活動する確率は 図-A のようになる。
- ⑨ また今後 200 年間に於ける第四紀断層の活動の可能性を 1% 以下に抑えるためには、周期 T とその変動係数 k の間に 図-B のような関係が成立する。
- ⑩ 第四紀断層の周期の変動係数 k はかなり大きいことが予想されるが、その周期の変動係数は 0.5 程度はあると考えられ、そこでいまこれを 0.5 と仮定すると、今後 200 年間に於ける第四紀断層の活動性を 1% 以下に抑えるためには 図-B よりおよそ 80000 年間その断層が活動していないことを確認する必要がある。他の変動係数の値に対しても同様な推定を行いうる。

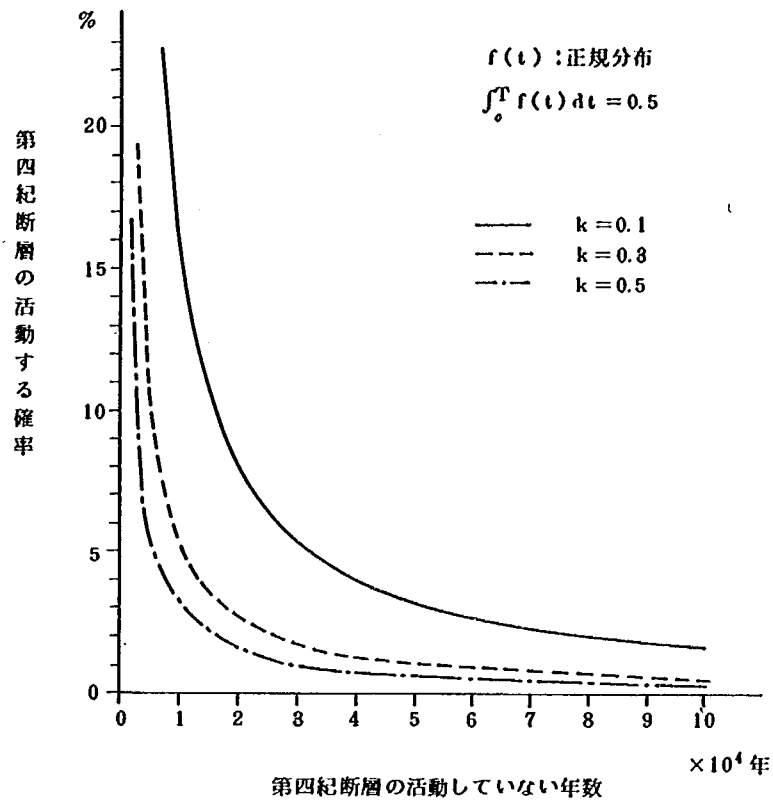


図-A 今後 200 年間に第四紀断層の活動する確率

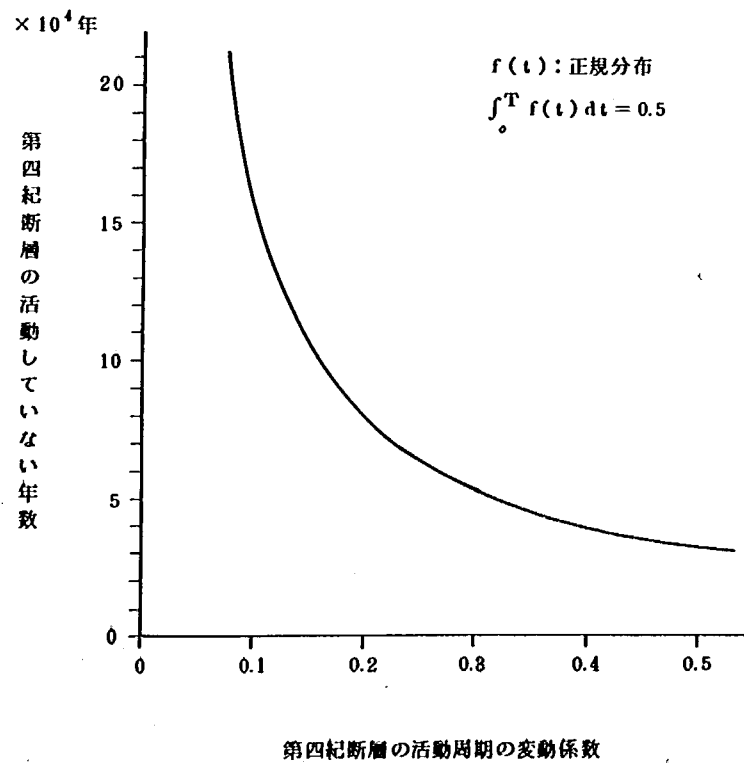


図-B 今後 200 年間に第四紀断層が活動する確率
 を 1% 以下に抑えるために必要な条件

周期に変動ある事象の
生起確率に関する一考察

ISSN 0386-5878
土研資料 第2068号
昭和 59 年 3 月

フィルダム研究室 松本 徳久
ダム構造研究室 永山 功

キーワード：第四紀断層・生起確率・周期性

要 旨

本論は第四紀断層の活動性について確率論的取扱
いを行った結果をとりまとめたものである。



郵便はがき

いは郵便
つて切手
て下さを

3 0 5 - □ □

茨城県筑波郡豊里町大字旭一番地
建設省土木研究所
ダム部ダム構造研究室 御中

No. _____

No. _____

配布先氏名

配布先住所



土木研究所資料第2068号 部

上記のとおり受領しました。

所 属 (住所)

氏 名 印