

審査ガイドに従って、入倉・三宅式等のばらつきを最大限考慮し 基準地震動の見直しを行え



高浜原発、大飯原発及び玄海原発等では、基準地震動の評価において、入倉・三宅式という経験式が用いられている。この事実に関し、2015年4月14日の高浜原発仮処分決定では、次のように述べている。「本件原発においても地震の平均像を基礎としてそれに修正を加えることで基準地震動を導き出していることが認められる。万一の事故に備えなければならない原子力発電所の基準地震動を地震の平均像を基に策定することに合理性は見出し難いから、基準地震動はその実績のみならず理論面でも信頼性を失っていることになる」(決定、31頁)。ここで決定は2つの事実を指摘している。第1は、基準地震動は、地震の平均像を基礎としていること。第2は、それに修正を加えていることである。

問題はここでいう修正とは何かであるが、事実としては「基準地震動及び耐震設計方針に係る審査ガイド」(以下、審査ガイド)の3.3.3項で指摘されている断層モデルパラメータの不確かさ(不確定性)であると考えられる。それが「修正」として考慮されていることは決定も認めながら、その後に、平均像を基に基準地震動を策定したことを厳しく批判している。実は審査ガイドでは、上記3.3.3の不確定性とは別に、3.2.3項で経験式のばらつきを考慮せよとの規定があるが、これが地震動評価でまったく考慮されていないという事実がある。

下記では、①入倉・三宅式の平均像としての性格、考慮されている不確定性、及びそれとは別に式のばらつきを確認する。②入倉・三宅式のばらつきにおける武村式の位置と独自の意義を確認する。③武村式を採用した場合のばらつきに目を向け、安全側に地震モーメントを評価すれば入倉・三宅式の11.5倍になることを示す。最後に④最大加速度がどうなるかに触れる。

1. 入倉・三宅式と断層モデルパラメータの不確定性および式のばらつき

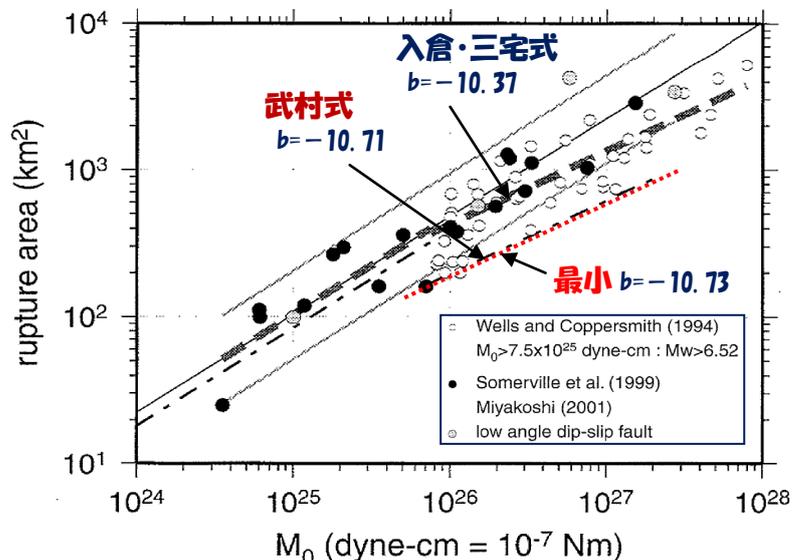
(1) 測定値の平均値としての入倉・三宅式

入倉・三宅式は、入倉・三宅論文(2001)の図7(次図)に示されており、縦軸に断層面積 S が、横軸には地震モーメント(地震規模) M_0 がとられている。入倉・三宅式は、図の3種類の点で、 M_0 が $7.5 \cdot 10^{25}$ dyne \cdot cm以上の点の集合から、回帰によって(すなわち、最小二乗法で)導かれたと説明されている。

[注釈1]入倉・三宅式は両対数目盛において、傾き1/2の直線
 $\log S = 1/2 \log M_0 + b$ 式(1)
 を仮定して最小二乗法で導かれている。その場合の切片 b は、各点ごとに $b = \log S - 1/2 \log M_0$ を求め、それらを単純平均した値と一致する。すなわち、入倉・三宅式は点集合の平均値である。その b の値は図の中に書き込んでいる。

なお、式(1)は次式と同等である。

$$M_0 = 10^{-2b} S^2 \quad \text{式(2)}$$



入倉・三宅(2001)図7に点線等を加筆

(2) 断層モデルの不確定性(uncertainty)による修正

断層モデルでは、入倉・三宅式による結果が次表の「レシピ平均」であるのに対し、第1列に書かれているような5種類の不確定性が考慮され修正されている。各不確定性につき、断層の破壊が始まる点として9通りの場合（最下行では5通り）が考慮されている。これらが、高浜原発仮処分決定がいうところの「修正」であり、審査ガイドの3.3.3項に相当する。ただし、5種類の不確定性は独立に扱われ、それらの重なりは考慮されていない。しかし、例えば、短周期レベルが1.5倍になると、傾斜角が75度になると同時に起こることは十分あり得る。

FO-A～FO-B断層と熊川断層との3連動を考慮した場合の地震動評価ケース

	短周期の地震動レベル	断層傾斜角	すべり角	破壊伝播速度 Vr	アスペリティ配置	破壊開始点
基本ケース	レシピ平均	90°	0°	$Vr=0.72\beta$	①	9箇所
短周期の地震動レベルの不確かさを考慮	レシピ平均×1.5倍	90°	0°	$Vr=0.72\beta$	①	9箇所
断層傾斜角の不確かさを考慮	レシピ平均	75°	0°	$Vr=0.72\beta$	①	9箇所
すべり角の不確かさを考慮	レシピ平均	90°	30°	$Vr=0.72\beta$	①	9箇所
破壊伝播速度Vrの不確かさを考慮	レシピ平均	90°	0°	$Vr=0.87\beta$	①	9箇所
アスペリティ配置の不確かさを考慮	レシピ平均	90°	0°	$Vr=0.72\beta$	②	5箇所
	レシピ平均	90°	0°	$Vr=0.72\beta$	③	5箇所

「高浜原発・大飯原発 地震動評価について
(コメント回答)」2014. 5. 16. 関電 資料 3-2, p. 5

■ : 不確かさを独立して考慮するパラメータ

■ : 不確かさを重畳して考慮するパラメータ

(3) 入倉・三宅式のばらつき(variability)

前記の図で見たように、入倉・三宅式は平均値であり、式にばらつき（データのばらつき）がある。この問題については、審査ガイドの3.2.3項で次のように指示されている。

基準地震動及び耐震設計方針に係る審査ガイド（下線は引用者）

3. 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動 3.2 検討用地震の選定

3.2.3 震源特性パラメータの設定

（2）震源モデルの長さ又は面積、あるいは1回の活動による変位量と地震規模を関連づける経験式を用いて地震規模を設定する場合には、経験式の適用範囲が十分に検討されていることを確認する。その際、経験式は平均値としての地震規模を与えるものであることから、経験式が有するばらつきも考慮されている必要がある。

すなわち、入倉・三宅式のような経験式は平均値であると認められ、その「ばらつきも考慮されている必要がある」と明確に指示されている。これは前記3.3.3の不確定性とは別であり、これまでの基準地震動評価では、このような考慮はなされていない。

そこで安全側に、測定値中で最も大きな地震モーメントを与える点（最も下の点）を通る傾き1/2の直線を求めると、図内の点線で示したように $b=-10.73$ となる。さらに大きな地震が起こることもあり得ることを考えると、ばらつきの考慮としては最低限この値をとるべきであろう。そうすると同じ断層面積Sに対し、地震モーメントは入倉・三宅式($b=-10.37$)の5.25倍になる（上記式(2)により計算）。

2. 武村式とその独自の意義

我々はこれまで武村式を採用すべきであると主張してきた。まず、入倉・三宅式のばらつきにおける武村式の位置を確認しておこう。前図から分かるように、武村式($b=-10.71$)はばらつきにおける最外縁に非常に近い位置にあり、ばらつきの標準偏差($\sigma=0.193$)に対し、 1.76σ の位置（全確率の92%）を占めていて、地震モーメントは入倉・三宅式の約4.7倍になる。

この武村式には採用すべき独自の根拠・意義がある。それは第1に、入倉・三宅式が世界各地

の地震の平均値であるのに対し、武村式は日本だけの10の大地震の平均値であること。第2に、基準津波の評価では、土木学会の指示に従って武村式が採用されていること。第3に、今年5月の地震学会で、島崎前規制委員会委員が、武村式等を引き合いに出して、入倉・三宅式は過小評価であると明確に指摘したことである。

それゆえ、武村式を採用して基準地震動を評価することには十分な根拠があり、安全側に立つのであれば、当然入倉・三宅式ではなく、武村式を採用すべきなのである。

[注釈2] S-M₀ 関係としての武村式

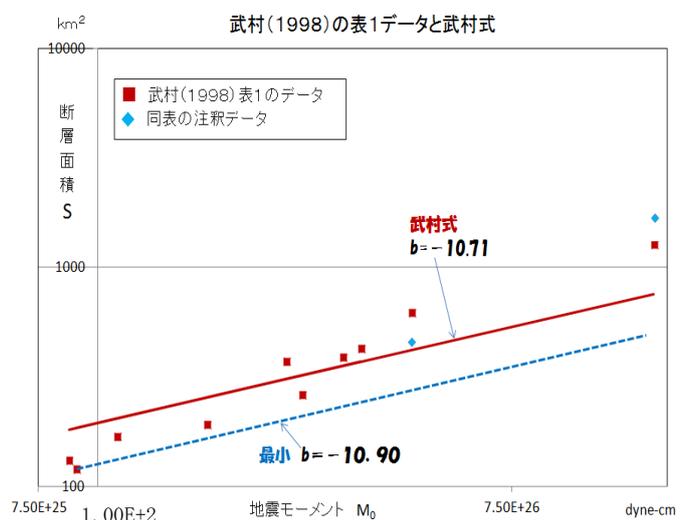
武村論文では武村式は、まずは断層長さLとM₀の関係として、その論文の表1のデータから最小二乗法によって導かれている。次に断層面積 S=WL において、断層幅 W=13km と固定して、L=S/13 を最初の L-M₀ 関係式に代入して S-M₀ 関係式を導いている。

ところが他方、武村論文の表1にはLとWのデータがあるので、それから地震ごとにS=WLを求めることができる。こうしてSとM₀のデータ集合に直接最小二乗法を適用すると、その結果の式は、上記の手続きでLを媒介にして導いた式と一致する (b=-10.71)。この一致は偶然のようにも見えるが、大地震では断層幅が飽和し、W=13km ととってもよいことを示している。

3. 武村式のばらつき

武村式を採用すれば、再び審査ガイド 3.2.3 に従って、そのばらつきを考慮しなければならないことになる。武村式の基になった10個の点のうち、最も下の点を通る傾き 1/2 の線を選ぶと、b=-10.90 となる (右図)。

断層面積 S を固定し、前記の式(2)を用いて計算すると、この場合の地震モーメントは入倉・三宅式(b=-10.37)の結果の 11.5 倍になる。



4. 最大加速度

このように地震モーメントが大きい値になった場合、地震加速度はどうなるのだろうか。地震モーメントと加速度の関係は一意的に決まっているわけではないが、高浜、大飯及び玄海原発では、最大加速度を与える短周期レベルに壇他の式が用いられており、短周期レベルは地震モーメントの1/3乗に比例している。ただし、この結果は導かれたものではなく、頭から仮定したものだが、ここでは敢えてこれを認めることにしよう。

いま、断層面積 S を固定して考えると、上記の最後の結果より、地震モーメントは入倉・三宅式の場合の 11.5 倍になる。これより最大加速度は $11.5^{1/3} = 2.26$ 倍となる。震源を特定した断層モデルでの最大加速度は、2014年5月9日の評価で高浜原発 396 ガル (Ss-3)、大飯原発 856 ガル (Ss-4)、玄海原発では 2014年8月6日の評価で 524 ガル (Ss-3) である。このような断層モデルの範囲に限ると、これらが 2.26 倍されるのでそれぞれ、895 ガル、1934 ガル、1184 ガルとなる (現行最大は、高浜 700 ガル (Ss-1)、大飯 856 ガル (Ss-4)、玄海 620 (Ss-4 : 留萌))。最低限このような最大加速度になることを考慮すべきだということになる。さらに、1.(2)で述べた不確定性の重なりを考慮すれば、加速度はより大きい値になる。

このような評価に従って、基準地震動の見直しが行われるべきである。