

(75) 地震断層のすべり変位量の空間分布の検討

Paul G. Somerville(Woodward-Clyde Consultants)

入倉孝次郎 (京都大学防災研究所)

澤田純男 (京都大学防災研究所)

○岩崎好規 ((財)大阪土質試験所)

田居 優 ((財)大阪土質試験所)

伏見 実 (関西電力(株))

1. はじめに:

強震動シミュレーションのこれまでの経験から、短周期地動が断層のすべりモデルに影響をうけることがわかっており、特に大きくすべる領域(以後アスペリティと呼ぶ)が高周波強震動の振幅を左右する。したがって断層面上のすべり量の空間的な分布が(不均一分布)震源での重要な意味をもつ。そこで本研究ではインバージョン解析から断層面でのすべり分布が求められている北西アメリカの11の震源(Mendoza and Harzell(1988), Heaton (1990), 及び日本の7震源(Takeo and Mikami (1990), Fukuyama and Irikura(1986)にもとづいて、すべり変位量の空間分布について明かにした。また、北西アメリカ、日本のアスペリティ特性及び、波数スペクトルの結果を用いて、その特性を空間波数領域でモデル化を行う。

2. 北西アメリカ及び日本の地殻内地震のすべりモデルについて:

解析に用いた地震を表-1(北西アメリカ)表-2(日本)に示した。

(1) すべり量の深度分布:

北西アメリカの地震のすべり量の深度分布を、横ずれ、斜ずれ、衡上断層それぞれについて示したものが、図-1である。4つの横ずれ断層地震の深度分布は0~12Kmの範囲で非常によく似ており、ほとんどのすべり量は5~12Kmの範囲で生じている。2つの斜ずれ断層では、すべりの最深点が前者より深い。4つの衡上断層と1つの正断層地震では各々異なるすべり分布をしているが、大きな逆断層の場合、深さ約5Km以深で深さとともにすべりが小さくなる傾向がある。

日本の場合を示したものが図-2である。6つの横ずれ地震と斜ずれ地震のすべり量分布は変動が大きく、比較的一様なすべり量分布をもつもの、深さと共に増加するもの、深さと共に減少するものに分けられる。日本海中部地震ではデップアングルが小さいために深さ方向に一様なすべり量分布をしている。

(2) 断層のアスペリティとそのスケールリング:

ここでは破壊領域全体で平均したすべり量より同じか大きいすべり量をもつ領域をアスペリティと呼び、破壊面積、アスペリティの平均すべり量、アスペリティの破壊面積の総和、全破壊面積に対するアスペリティの破壊面積の総和の比(Slip Area Ratio)、最大アスペリティの面積、アスペリティの平均すべり量と断層全体の平均すべり量に対する比(Slip Contrast Ratio)、およびすべり継続時間と地震モーメントとの関係を図-3(北西アメリカ)、図-4(日本)にまとめて示した。

北西アメリカでは、図から明かなように地震モーメントが増加するにつれて ω^{-2} 則でスケールリングされることがわかった。この ω^{-2} 則は地震モーメントが増えるにつれて、断層のすべり量Dと断層長さLと断層幅Wが比例して増え、ストレスドロップ(DのLやWにたいする比)は一定である。すべり時間 T_R もDすなわちLやWに比例して増加するので、すべり速度(Dと T_R の比)は一定である。日本の場合アスペリティのパラメータのスケールリング則を確立できるほどの広い地震モーメントの分布を持っていないが、 ω^{-2} 則がどの程度データに適合しているかを示すことはできる。つぎにアスペリティの特性について検討する。日本の地殻内地震の断層面積は北西アメリカの地震の0.53倍であり、平均すべり量

は1.86倍大きく、対応する日本の地殻内地震の静的応力降下量は平均で北西アメリカの地震の2.6倍大きい。日本のSlip Constant Ratioの平均は1.57であり、アスペリテイの破壊面積の合計は断層全体の面積の42%を平均で示している。北西アメリカではそれぞれ1.875と26%である。このことは日本の地殻内地震はすべり量のコントラストが小さいアスペリテイで、より広い領域が覆われていることを示す。アスペリテイの絶対面積は日本の地震と北西アメリカの地震で大きな差はない。すなわち日本の地殻内地震は北西アメリカの地震とほぼ同じ大きさのアスペリテイを持っているが、すべり量の小さい領域は少ない、つまり破壊領域全体の面積は小さい。すべり継続時間は平均して、3.6倍日本の地殻内地震のほうが北西アメリカの地震より大きい。しかし、すべりモデルを求めたインヴァージョン解析に固有周期6秒の気象庁1倍強震計の変位記録を用いていることに注意が必要である。

3. 波数スペクトルを用いたすべりの空間内不均一性の解析：

2次元フーリエを変換（波数スペクトル）を用いて断層面でのすべりの不均一性を定量的に検討する。図-5, 6は、波数スペクトルの一例である。K_xは走向方向の波数、K_yは深さ方向の波数を示し、この図は振幅スペクトルだけのコンターを示している。図中のコンターの傾斜は波長の減少あるいは波数の増加とともにすべりの大きさが減少する比率を示している。すなわち急な傾きはすべりの比較的なめらかな分布を示し、緩い傾きは比較的不均一なすべりの分布を示している。北西アメリカでは一般的に、横ずれと斜ずれ断層では深さ方向より走行ほうこうの波数でスペクトルが急に小さくなり、深さ方向より走行方向のほうがすべりの変化が緩やかであることが分かった。反面縦ずれ断層では走行方向と深さ方向でスペクトルは同じように現象しているのが分かった。1983年日本海中部地震をのぞくと、日本の地殻内地震は縦ずれ方向より横ずれほうこうのほうが波数が大きくなるにつれてより速く減衰しており、横ずれ方向より縦ずれ方向の方が細かい変動が大きいことを示している。日本海中部地震の最初の破壊領域では、縦ずれ方向と横ずれ方向とほぼ同じ減衰の仕方をしている。北西アメリカの11個、日本の7個の地震について波数スペクトルを求め平均化の操作を示すものを図-7（北西アメリカ）、図-8（日本）に示した。この図から明かなように日本と北西アメリカの平均空間波数スペクトルには大きな違いはないとかがえられる。これはアスペリテイの大きさが日本と北西アメリカでほぼ等しいという事実からきている。

4. すべりモデルを作成する手法の開発：

波数スペクトルに適切な位相スペクトルを仮定することで、将来発生する地震のすべりモデルを作成することができる。図-9に推定したすべりモデルの例を示した。マグニチュード6.5横ずれ断層で、上図が日本の地震のパラメータの中間値、下図が北西アメリカの地震のパラメータの中間値の値を用いている。

5. まとめ

(1) 日本と北西アメリカの地殻内地震では、明らかな違いがあることがわかった。同じ地震モーメントの地震に対して、アスペリテイで占められている面積はほぼ等しいか、日本の地震の破壊面積は小さく、平均すべり量は大きい。

(2) 地震モーメントに対する各パラメータの関係では、日本の地震の場合、検討範囲が十分ではないか、 ω^{-2} 則と矛盾しない。北西アメリカの地震のすべりモデルは ω^{-2} 則でスケージングできる。

(3) 日本の横ずれ地震となめずれ地震では断層深さ方向より断層長さ方向の波数スペクトルの方が早く減衰する。これは断層深さ方向より断層長さ方向の方がよりスムーズなすべり量の変動であることを示している。これは北西アメリカの横ずれ地震となめずれ地震でも同様である。日本と北西アメリカの横ずれ地震となめずれ地震の平均波数スペクトルに大きなちがいはない。

表-2本研究に用いた地震断層のすべりモデル (日本) 表-1本研究に用いた地震断層のすべりモデル (北西アメリカ)

Earthquake	Mechanism	Moment $\times 10^{23}$ dyne-cm	Length km	Width km	Slip Duration sec	Rupture Velocity km/sec	Reference
05/26/83 M=7.7 Nihon Kai Chubu	RV	455	90	30	4.0	*	Fukuyama and Inokura, 1986.
05/26/83 M=7.45 Nihon Kai Chubu (first segment)	RV	170	30	30	4.0	*	Fukuyama and Inokura, 1986.
05/09/74 M=6.6 Izu-Hanto-Old	SS	7.6	25	9	3.0	*	Takeo and Mikami, 1990
06/29/80 M=6.5 Izu-Hanto-Toho-Old	SS	7.0	20	12	3.0	*	Takeo and Mikami, 1990
09/09/69 M=6.5 Gifu Ken Chubu	SS	5.4	20	11.2	3.0	*	Takeo and Mikami, 1990
08/19/61 M=6.4 Kitamino	OB	5.0	16	12	3.0	*	Takeo and Mikami, 1990
09/14/84 M=6.4 Nagano Ken Seibu	SS	4.0	12	9	1.5	*	Takeo and Mikami, 1990
04/21/75 M=6.3 Oita Ken Chubu	OB	3.4	10	10	3.0	*	Takeo and Mikami, 1990

Earthquake	Mechanism	Moment $\times 10^{23}$ dyne-cm	Length km	Width km	Slip Duration sec	Rupture Velocity km/sec	Reference
19/9/85 M=8.1 Michoacan	RV	1500	150	120	5	2.6	Mendoza & Hartzell, 1989
16/9/78 M=7.4 Tabas	RV	130	95	45	2.1	2.5	Hartzell & Mendoza, 1991
10/17/89 M=7.0 Loma Prieta	OB	30	36	18	1.5	2.5	Wald et al., 1990
28/10/83 M=7.3 Borah Peak	NM	23	40	20	0.6	2.9	Mendoza & Hartzell, 1988
12/23/85 M=6.8 Nahanni	RV	16	33	16	0.7	2.7	Wald, 1991
9/2/71 M=6.5 San Fernando*	RV	7	12	14	0.8	2.8	Heaton, 1982
15/10/79 M=6.5 Imperial Valley	SS	5	30	10	1.0	2.6	Hartzell & Heaton, 1983
11/24/87 M=6.6 Supersition Hills*	SS	3.5	20	9	0.5	2.4	Wald et al., 1990
24/4/84 M=6.2 Morgan Hill	SS	2.1	20	8	0.3	2.8	Hartzell & Heaton, 1986
8/7/86 M=6.0 North Palm Springs	OB	1.8	18	10	0.4	3.0	Hartzell, 1989
10/1/87 M=6.0 Whittier Narrows	RV	1.0	10	10	0.3	2.5	Hartzell & Iida, 1990
6/8/79 M=5.9 Coyote Lake	SS	0.55	6	6	0.5	2.8	Liu & Heimberger, 1983

- 1981 Kitamino
- ▲ 1989 Gifuken
- 1974 Izu
- ★ 1975 Oitaken
- 1980 Izu
- 1984 Nagano

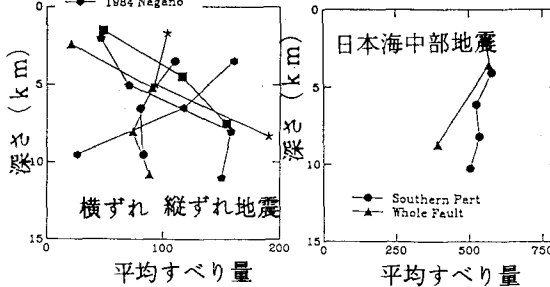


図-2日本の地震のすべり量の深度分布

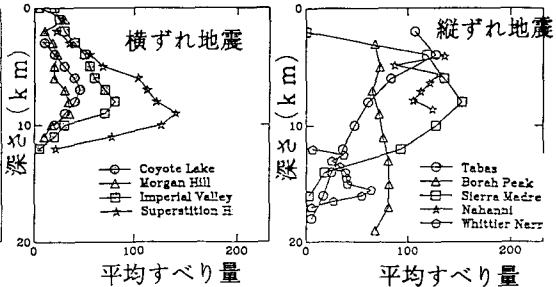


図-3北西アメリカの地震のすべり量の深度分布

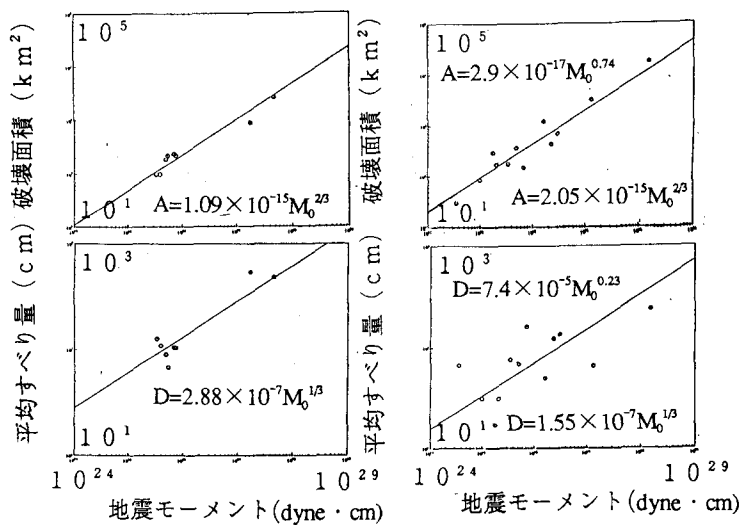


図-4スケーリング則 (日本)

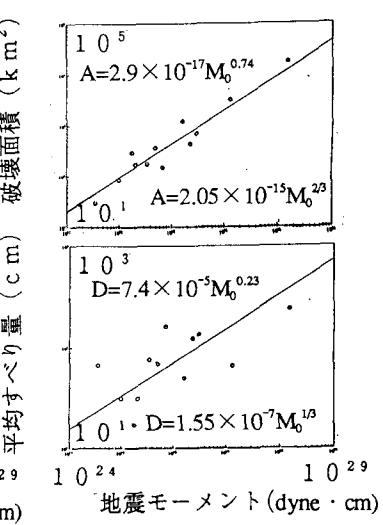


図-5スケーリング則 (北西アメリカ)

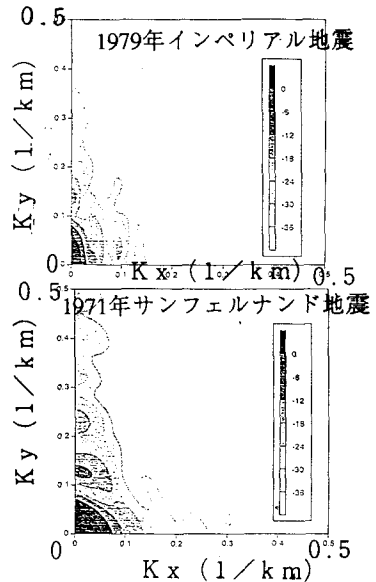


図-6波数スペクトル

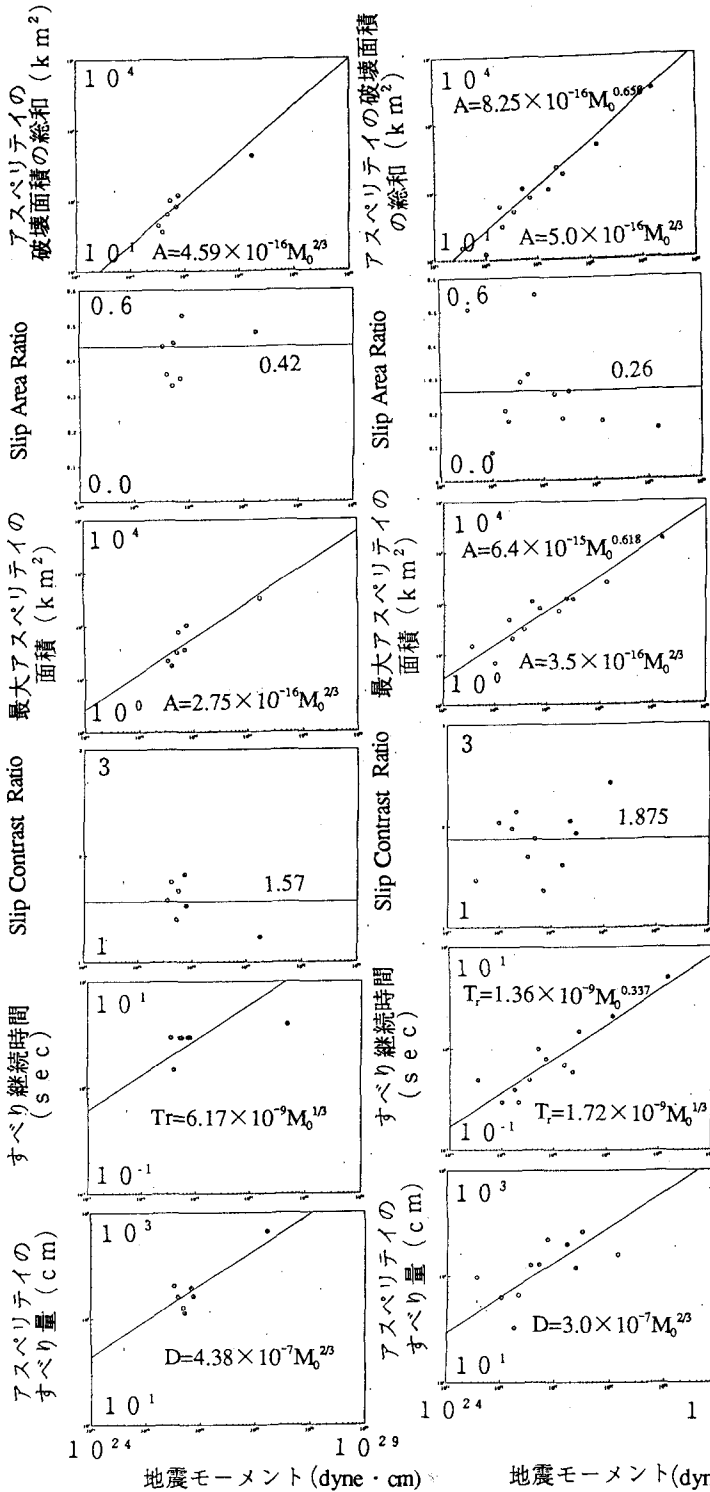


図4 スケーリング則 (日本) 図3 スケーリング則 (北西アメリカ)

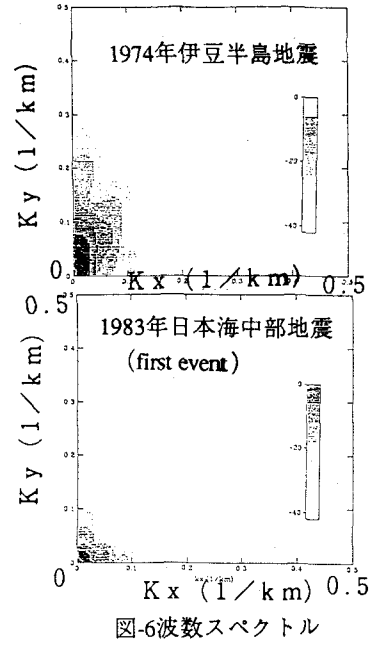


図6 波数スペクトル

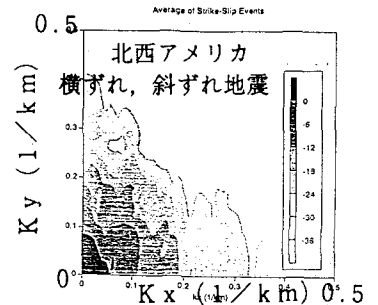


図7 平均波数スペクトル

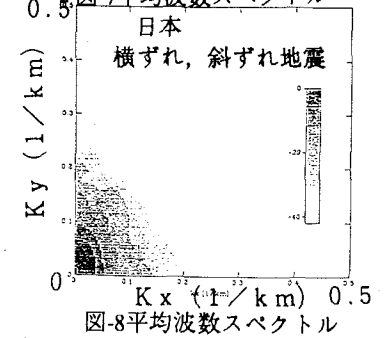


図8 平均波数スペクトル

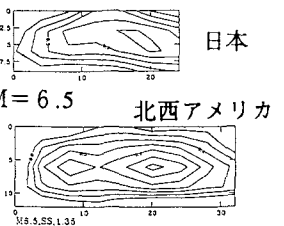


図9 推定したすべりモデル