

地震断層による被害

京都大学防災研究所 正負 小林芳正

1. はじめに

重要な構造物の計画などにおいて、活断層の危険度の評価が必要となることがある。活断層の判定は地質学、地形学、場合によっては地震学的手法によって行なうことができる。しかし、これらの断層がいつ動くかということは、地震予知の尚題として、現時点ではまだ解決されていない。従って、現在我々に可能なことは、これらの断層がいつ動いてもよいように計画することである。そのためには、地震断層が生じたとき、その周辺では何が起るかを知り、あらゆる可能性に備えておかなければならない。以上の観点から、本文では日本で知られている地震断層とそれらに伴って生じた諸現象を紹介する。

2. 地震断層の長さ、変位量その他

表1 濃尾地震以降の日本の地震断層

Date	Earthq.	M	Fault	L ^{km}	Strike	Dh ^{m*}	Dv ^{m*}
1891 X	28 Nobi 濃尾	7.9	Nukumi	20	N20-55W	3.0 L**	1.8 SW up**
			Neodani	35	N 0-40W	8.0 L	4.0 SW up
			Kurotsu	I	N17W	L	3.0 SW up
			Midori	I	N35W	4.0 L	6.0 NE up
			Daishogun	0.35	EW	-	5.0 S up
			Umehara	25	N70-80W	5.0 L	2.4 SW up
			Furuse	I			
	(total)	80			8.0	6.0)	
1894 X	22 Shonai 左内	6.8		10	N50E?	-	-
1896 VIII	3I Rikuu 陸羽	7.0	Senya	60	N20E	-	2.5 E up
			Kawafune	15	N20E	-	2.0 W up
1923 IX	I Kanto 関東	7.9	Sagami-B. (many branch or secondary faults)	85	N45W	6.0 R**	3.0 NE up
1925 V	23 Tajima 但馬	6.5	Tai-East	-	N45E	-	- E up
			Tai-West	1.6	N45E	-	1.0 E up
1927 III	7 Tango 丹後	7.5	Gomura	18	N30W	2.8 L	0.75SW up
			(Takahashi, Nimbari, Nagaoka, Mie, Sugitani) Yamada	7.5	N55E	0.8 R	0.7 NW up
1930 XI	26 Kita-Izu 北伊豆	7.0	Hakonemachi	2.5	N20E	0.3 L	0.5 E up
			Baragataira	0.5	N18W	0.5 L	0.2 W up?
			Panna	7	N 5W	3.5 L	1.8 W Sc**
			Ukihashi-C.	4	N15E	3.0 L	2.4 W Sc
			Ukihashi-W.	4	N20E	2.0 L	0.5 E Sc
			Tawarano	I	N65W	0.4 R	- N up
			Oono	2.5	N30E	1.5 L	1.5 W Sc
			Kadono	2	N45E	2.0 L	0.6 E Sc
			Himenoyu	3	N70W	1.2 R	0.9 N up
			Harabo	-	NS	- L	- W up
				(total)	30		
1943 IX	10 Tottori 鳥取	7.4	Shikano	8	NS	1.5 R	1.0 S Sc
			Yoshioka	4.5	NS	0.9 R	0.5 S up
1945 I	13 Mikawa 三河	7.1	Fukoazu	9	EW	2.0 L	2.0 S up
					NS	0.5 R	1.0 W up
			Yokosuka	16	EW	0.6 L	0.5 S up
				NS	-	1.2 W up	
1948 VI	28 Fukui 福井	7.3	sub-surface	25	N 7-20W	2.3 L	0.7 E up
1974 V	9 Izu-Pen. 伊豆半島沖	6.9	Irozaki	5.5	NW	0.45R	0.2 SW up

* Dh and Dv denote horizontal and vertical displacements.

** L and R denote left and right-lateral slips. SW up, etc. show the sides upthrown, Sc the scissoring or hinge action.

濃尾地震以降、日本でよく知られている断層を伴った地震は表1のようである。

地震のマグニチュードと地震断層の長さについては、カリフォルニアとネバダの資料から Tocher は $\log_{10} L(\text{km}) = 1.02M - 5.77$

を与えた。飯田付全世界のデータに基づき次式を得ている。

$$\log_{10} L(\text{km}) = 1.32M - 7.99$$

表1の断層はほとんど飯田のデータにも含まれているが、日本の断層だけをプロットしてみると図1のようである。但し、値は筆者が再調査した結果、飯田のものとは多少変えた所もある。図1のプロットを最小自乗法で近似する式は

$$\log_{10} L = 0.74M - 4.14$$

である。形式的に Tocher, 飯田の式と較べてみるとMの係数が小さい。つまり、日本の断層はMの割に短い。しかし、この程度のデータ数で最小自乗法がよいかどうか疑問がある。実際プロットをみると、実線は必ずしも一番よい近似とも思われない。図からわかるのは、M=7のL=60 km (陸羽) など一部のものを除けば、Tocher, 飯田の式共、Mに対しほとんど常に大きすぎるLを与えるようである。これはカリフォルニア、アラスカ、トルコ、モンゴール等のデータの影響でどうなっているのである。

断層の最大変位(ずり量)の至驗式もいくつかあり、飯田は全世界のデータについて $\log_{10} D = 0.55M - 3.71$, Bonillaはアメリカ合衆国とメキシコのデータから $\log_{10} D = 0.57M - 3.91$ を与えている。地震工学においては水平変位と鉛直変位とは別の意義をもつかもしれないと考え、それらを分けてプロットしてみたのが 図2. 3 である。これらに対する最小自乗法の式は次のとおり $\log_{10} D_h = 0.78M - 5.36$, $\log_{10} D_v = 0.44M - 3.07$

これらの式は図の範囲では、飯田, Bonilla の式と余り変らない。むしろ興味は、今回の資料はほとんどの場合について $D_h > D_v$ であることで、 $D_h < D_v$ は但馬地震, 陸羽地震のみであった。一般に鉛直変位 D_v の方が観察しやすいものであるにもかかわらず、 D_h の方が大きいという結果が得られたことは注目される。

3. 断層に沿う危険域の中

横ずれ断層に関して、一村のほぼ直交する共軛断層ができ易く、それらのずりセンスの間には一定の関係があることはよく知られている。例えば、丹後地震ではN30°Wの郷村断層は左ずれであるのに対し、S55°Wの山田断層は右ずれであった。同様の例は三河地震, 北伊豆地震でもみられる。

横ずれのずりセンスが地域的に規則的であるのに対し、断層両側地盤の隆起沈降の関係は余り単純でない。ある1本の断層の片側がもっぱら隆起又は沈降という場合もあるが、全長のうち一端では隆起、他端では沈降という場合(いわゆる蝶番断層)が多い。前者の例には陸羽, 但馬地震など、後者の例には北伊豆地震における丹那, 沼橋中央, 沼橋西方, 大野, 加殿断層, 鳥取地震における鹿野断層などがある。又、濃尾地震の主断層系がほとんど全長にわたり南西側隆起だったのに対し、ほぼその北西延長上にある福井地震の地下断層では北東側隆起となっているのは、両着で全体として蝶番断層状となっている点に興味深い。蝶番断層の横ずれセンスと隆起沈降の関係は末端隆起現象で説明できる場合が多い(図4)。

大抵の場合、1回の地震で複数の断層が動く。濃尾, 陸羽, 関東, 但馬, 丹後, 北伊豆, 鳥取, 三河, 福井地震がそうであった。たった一つの断層しか動かなかったのは、庄内, 伊豆半島沖地震のみである(後者においても主断層以外にごく小さいものは報告されている)。複数にもいろいろあって、共軛断層の両メンバーが動いたのは丹後, 北伊豆, 三河地震、その他の地震ではほぼ平行な複数の断層が動き、それらが全体として主断層系を形成したものである。従って、主断層系内でも、何々の断層片の個で延長方向にも、横方向にも跳びが起りうることになる。松田はこれを“乗りかえ現象”と称している。横方向の跳びはある想定断層に沿う危険域の中を意味するから実際面で重要である。実際を挙げると、濃尾では1.5~3 km、但馬では0.4 km、北伊豆では1~2 km、鳥取では2 km、福井では1.5 km 離れた断層が発生している。次に、主断層で切られる共軛断層のうち、どれが動くかはよくわからない。ただ、主断層(又は系)の末端附近で動いている例が多い(丹後, 北伊豆)。

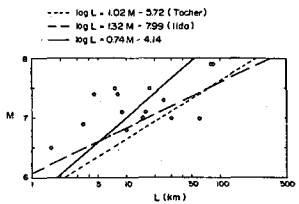


図1 マグニチュードと断層の長さ

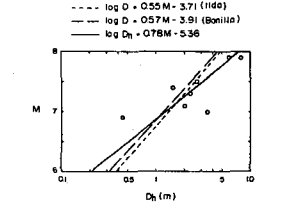


図2 マグニチュードと断層の水平最大変位(ずり量)

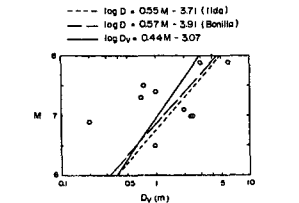


図3 マグニチュードと断層の鉛直最大変位(ずり量)

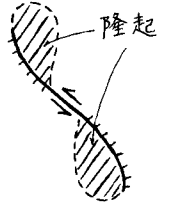


図4 末端隆起現象 (但馬にも見づく)

4. 断層による地盤被害の現象論

地盤(面)の喰い違い—地盤の水平および鉛直方向の喰い違いは、断層に跨る構造物には最も有害である。福井地震では、断層両側地盤の水平相対変位のために、これと斜交する送電線に引張り力がかかり、鉄塔の脚が曲げられた。北伊豆地震では当時丁度掘削中だった東海道線丹那トンネル西工区の導坑切羽が丹那断層により切られ失われるというめずらしい被害が生じた。変位は坑道位置で水平に2.7mとされ、この値は地表での変位(Max 3.5m)とほぼ等しい。断層が河川を切る所ではしばしば滞水の被害が生じる。このような例は濃尾、三河、福井地震で報告されている。

地溝(graben)、隆起帯(mole track)、雁行亀裂(echelon cracks)、地面の波打ち—但馬地震の田結断層は才三紀凝灰岩を切ったが生じたが、中30mの階段状地溝を生じた。地溝中にはほぼ平行な20~30cm開口した亀裂が多数発生した。鳥取地震の鹿野断層も夙化花崗岩の丘を切る地帯で中1mの地溝状陥没帯を生じた。

土壌地帯では雁行亀裂がよくできる。この型のもは丹後、鳥取、三河、伊豆半島沖地震でみられた。これは主に軟弱な堆積層に生じ、時に軟岩にも生じる。丹後地震ではなすの郷村断層沿いに図5のような一連の雁行亀裂ができた。ズリセンスと亀裂の方位関係から、これらは剪断に伴う引張り破壊であることがわかる。

隆起帯は衝上断層が地表と交わる所によくみられ、mole track(もぐらの跡)、土竜の跡などと記述される。これは濃尾、但馬、丹後、三河地震で報告されている。一般に土や軟岩地帯に生じ易く、硬岩地帯では、そりした剪断面になるようである。最も顕著だったのは三河地震で、40~60m中の地帯がもり上り、断層両側地盤に2mの高さの差を生じた。地面の波打ちは丹後の郷村断層沿いの地帯で報告されているが上の隆起帯の初期段階のものと思われる。

5. 断層からの距離と家屋全壊率

家屋全壊率のコンターは震央をとりまく同心円状とはならず、むしろ断層をとりまく楕円状となる。2,3の地震について、主断層からの距離と全壊率との関係を図7に示す。全壊率はある巨離から急減するが、氣象庁震度階別の下限に大体相当する全壊率30%は、郷村断層では45km、山田断層では35km(以上丹後地震)、北伊豆地震の主断層系では東側が5.5km、西側が10.5km、福井地震では東側が7.5km、西側が10kmで生じている。同一断層の両側で被害程度が違うのは、上の2例共、東側に山岳地帯、西側に沖積平野があったためだろう。従って、 $M=7.0\sim 7.5$ の地震では、家屋全壊率30%以上は断層線から、山岳地帯なら5.5~7.5km、沖積平野なら10数km位までで生じると推定される。上の議論とは別に、断層の隆起側で被害がより莫大らしい事実がある(濃尾、丹後、三河地震など)。

文 献

Tocher, D. (1958) BSSA 48, Tida, K. (1959, 1965) J. Earth Sc. Nagoya Univ. 7, 13, Donilla, M.G. (1967) US Geol. Surv. TID 24124, [濃尾] 那須(1931) BERI 29, 村松(1961, 63) 震害大報告 2, 3, 村松他(1964) 震害大報告 4, 松田(1974) 震研通報 13, [庄内] 岸上(1958) BERI 36, [陸羽] 今村(1913) 震予報 77, 大塚(1938) 地震 10, [関東] 今村, 岸上(1928) BERI 5, 金糸(1971) BERI 49, 安藤(1971) BERI 49, 杉村(1974) 関東地方の地震と地殻変動, [但馬] 山崎(1925) 地理学評論 1, 石川他(1925) 地球 4, [丹後] 今村(1927) 建築雑誌 41, 永田(1927) 建築雑誌 41, 谷口(1927) BERI 3, 山崎, 多田(1928) BERI 4, 多田(1930) 地理学評論 6, 坪井(1930) 地理学評論 6, [北伊豆] 岩塚(1931) 地球 15, 田辺他(1931) 建築雑誌 45, 今村(1931) BERI 9, 高橋(1931) 同, 那須(1931) 同, 久野(1936) BERI 14, 松田(1972) 伊豆半島, [鳥取] 岸上(1943) 地震 15, 菅村(1944) BERI 22, 萩原(1944) 同, 津屋(1944) 同, 建築雑誌 58(1944), 岸上(1945) BERI 23, [三河] 津屋(1946) BERI 24, 表(1946) 同, 井上(1940) 地震 14, 石野他(1951) 地震 15, [福井] 岸上他, 震研報告, [伊豆半島] 土也(1975) 自然災害特別研究(D) 102023, [その他] 宇佐美(1975) ……総覧

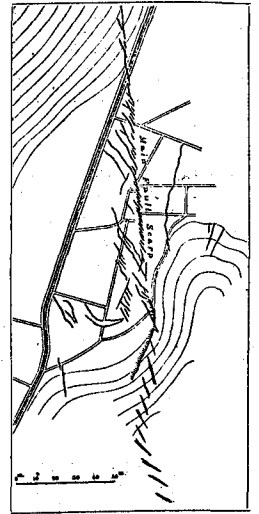


図5 郷村断層に沿う雁行亀裂(山崎, 多田)



図6 隆起帯(mole track)

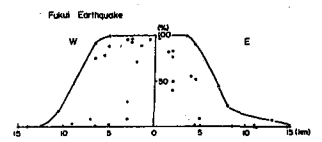
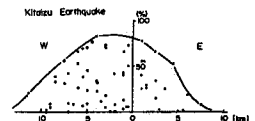
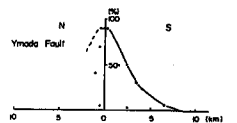
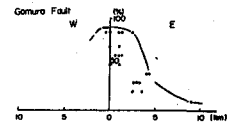
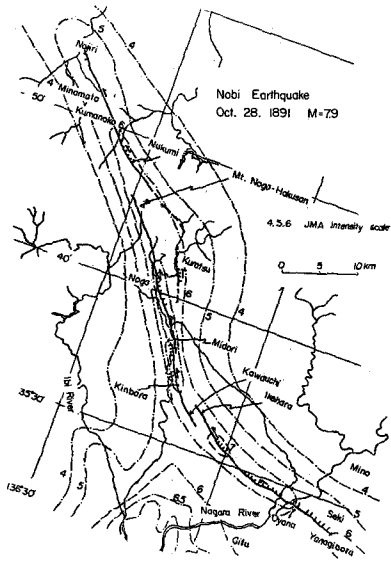


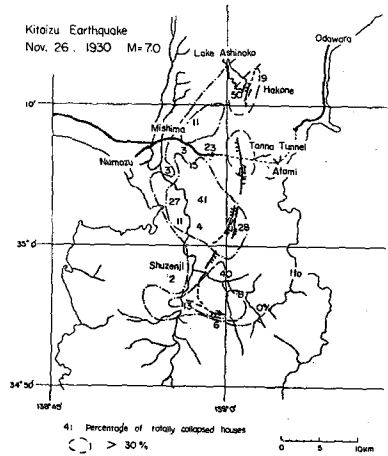
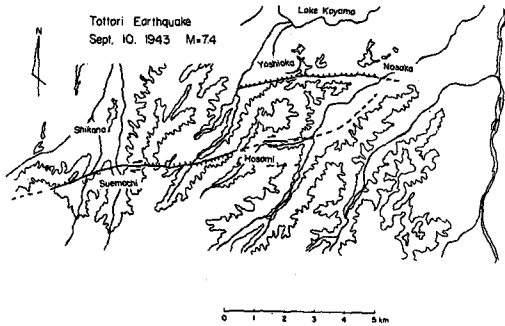
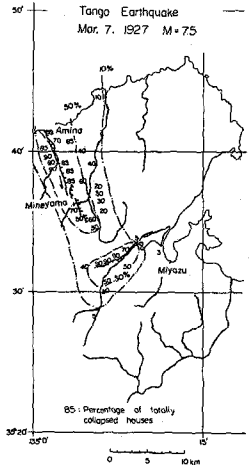
図7 断層からの巨離と家屋全壊率



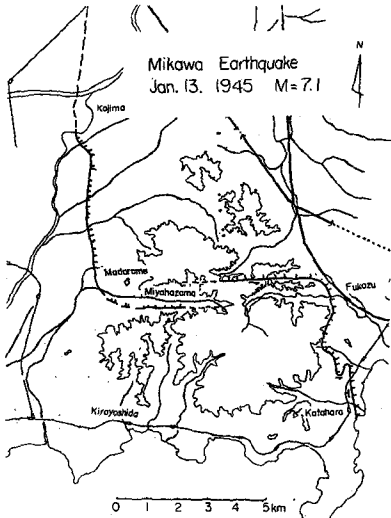
濃尾地震 (主に松田による)
主断層系の乗りかえ現象(継ぎ)に注意。図中のコンター、数字は震度階(村松にもとづく)。

丹後地震 (主に山崎野田による)
共軛断層が現われた。北側; 御村断層, 南側; 山田断層。数字は全壊率。

北伊豆地震 (主に松田による)
南端が共軛断層に移行している。数字は全壊率。一部の蝶番断層に注意。



鳥取地震 (主に津路)
北側; 吉岡断層
南側; 鹿野断層
蝶番に注意。



三河地震 (津路)
共軛断層が現われた。

福井地震 (明和)
測量により堆積層下に推定された。数字は全壊率。

