

### 3-14 関東・東海地域における地殻応力測定結果による応力源と地殻表層部の“たわみ”の推定

#### Estimation of Stress and Flexure in the Uppermost Crust from In-Situ Stress Measurements in the Kanto-Tokai Area

京都大学 理学部

Faculty of Science, Kyoto University

水平応力の深度勾配の地域分布から応力源と地殻表層部の“たわみ”を推定する数値的手法が考案された。<sup>1, 2, 3)</sup> 現在日本で利用しうるデータは、国立防災科学技術センターが関東・東海地域において行った地殻応力測定の結果<sup>4)</sup> (第1図)のみであるため、これらにこの手法を適用し、手法の有効性を検討するとともに、応力深度勾配測定の重要性を考察した。<sup>2, 3, 5)</sup>

関東・東海地域の深度勾配<sup>4)</sup>は、場所により明らかに差がみられ(第2図, 第1表)、力が釣りあう(第3図および第4図)ためには、関東・東海地域の地下深部には、第5図に示すようなせん断力が作用していることが必要である。この力はフィリピン海プレートの上表面<sup>6)</sup>が20 kmよりも浅いところで大きく、その方向はフィリピン海プレートの進行方向におおむね一致する。したがって、弾性的かつ脆性的な上部20 kmにおいて、2つのプレートがたがいに作用しあっていることが示唆される。この力は、また、駿河トラフ付近で最も大きく、深さ20 kmにおいて力が働いていると仮定すると、その大きさは約120MPaと推定される。

このような応力や力の分布に対する弾性的な応答を、板曲げ理論<sup>7)</sup>において知られている「水平応力の深さ変化率が麗たわみ脚の曲率に比例する」という関係に基づいて求めると、第6図に示すようになる。起伏のパターンは、最近約58年間における浅発地震活動<sup>8)</sup>(第7図)と調和的である。伊豆地方は例外であるが、第8図のように考えれば説明が可能である。

1923年関東大地震の震源域における“たわみ”(第6図)は、この地震に伴う上下変動<sup>9)</sup>(第9図)と強い逆相関を示す。また、震源域のせん断力(第5図)は、駿河トラフよりも小さく、しかも、地震によって解放された応力と逆センスである。したがって、震源域のひずみエネルギーが、関東大地震のときに、まさに解放されたことが示唆される。

地殻応力の深度勾配、あるいは、もし可能ならば深度勾配の時間変化を知り、地下深部のせん断応力の大きさ、あるいは、その時間変化を知ることができれば、大地震の予知に寄与すると思われる。また、今回の手法によって推定される“たわみ”を、測量などによって得られる地殻上下変動と比較すれば、ひずみが蓄積しているのか、それとも解放されているのかを、原理的には判断することができる。

(小笠原 宏)

#### 参 考 文 献

- 1) 小笠原宏:「水平応力の深さ変化が moment と等価」という関係に基づいた地殻応力測定結果の考察, 地震学会講演予稿集, No.1, (1988), 120.

- 2) 小笠原宏：地殻応力測定の結果から地殻の“たわみ”と応力源を推定する一方法，地震学会講演予稿集，No.1，(1988)，121.
- 3) Ogasawara, H. : The flexure and its causative force in the uppermost crust estimated from in-situ stress measurements. (in preparation)
- 4) Tsukahara , H. and R. Ikeda : Hydraulic fracturing stress measurements and in-situ stress field in the Kanto-Tokai area, Japan , *Tectonophysics* . 135 (1987), 329 – 345.
- 5) 小笠原 宏：応力測定の結果から推定される地殻表層部のたわみ，日本測地学会第69回講演会要旨，(1988)，121 – 122.
- 6) 笠原敬二：プレートが三重会合する関東・東海地方の地殻活動様式、国立防災科学技術センター研究報告，35 (1985), 33 – 137.
- 7) 例えば，Timoshenko, S.P.and S. Woinowsky – Krieger : *Theory of Plates and Shells*, 2nd ed., McGraw – Hill, (1970).
- 8) 石川有三・松村一男・横山博文・松本英照：SEIS – PC の開発 – 概要 –，*情報地質*，10 (1985)，19 – 34.
- 9) Miyabe , N. : On the vertical earth movement in Kwanto District, *Bull. Earthq. Res. Inst.* , Univ. Tokyo , 9 (1931), 1 – 21.
- 10) Tanaka , Y. : State of crustal stress inferred from in situ stress measurement . *J. Phys. Earth* , 34 (1986) , Suppl., S 57 – S 70.
- 11) 田中 豊：日本における地殻応力測定－研究動向と問題点－，*地震予知研究シンポジウム*，(1987)，199 – 212.

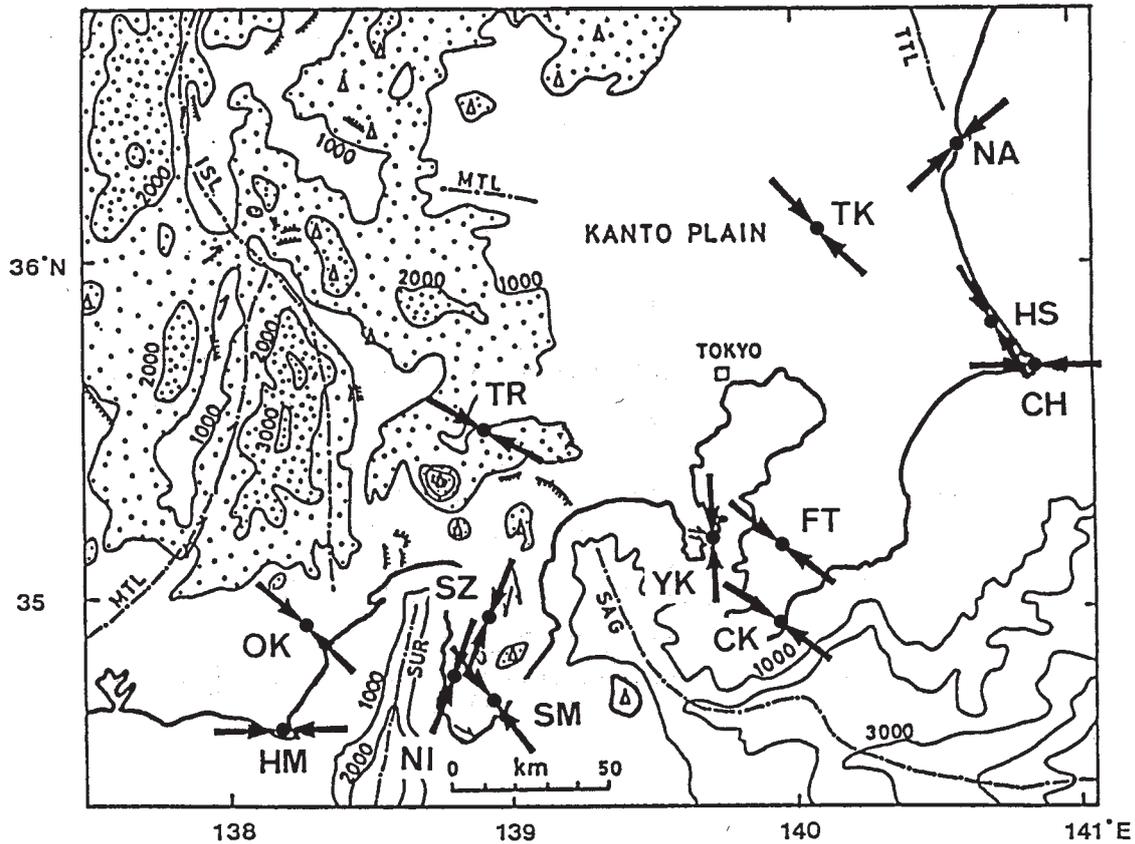
第1表 応力深度勾配<sup>4)</sup>の大小

Table 1 Differences of the stress-depth gradients.

Depth-gradients of the horizontal stresses			
Small	Medium	Large	
Nishiizu (NI)	Shimoda (SM)	Okabe	(OK)
Shuzenji (SZ)	Chikura (CK)	Tsuru	(TR)
Yokosuka (YK)	Hamaoka (HM)	Nakaminato (NA)	
	Futtsu (FT)	Hasaki	(HS)
	Choshi (CH)	Tsukuba	(TK)

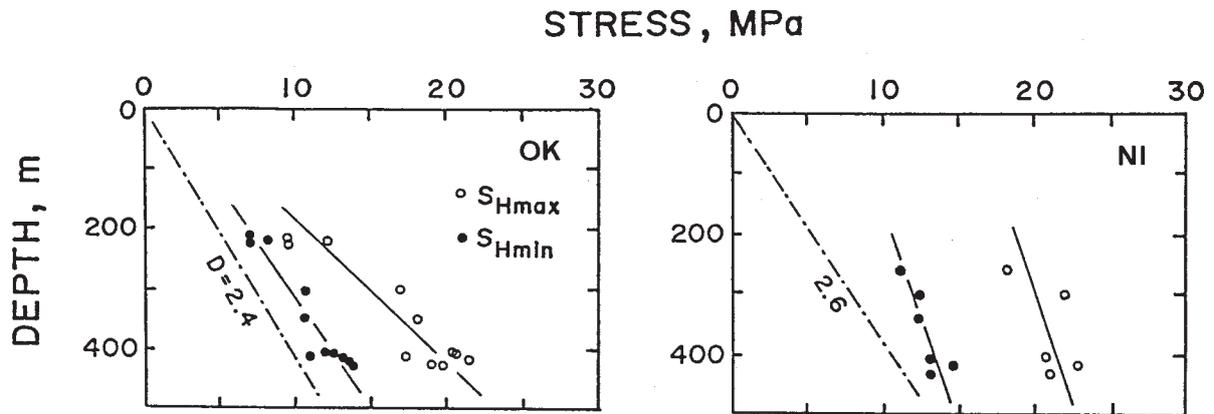
↔

The average in southwestern Japan 10,11)



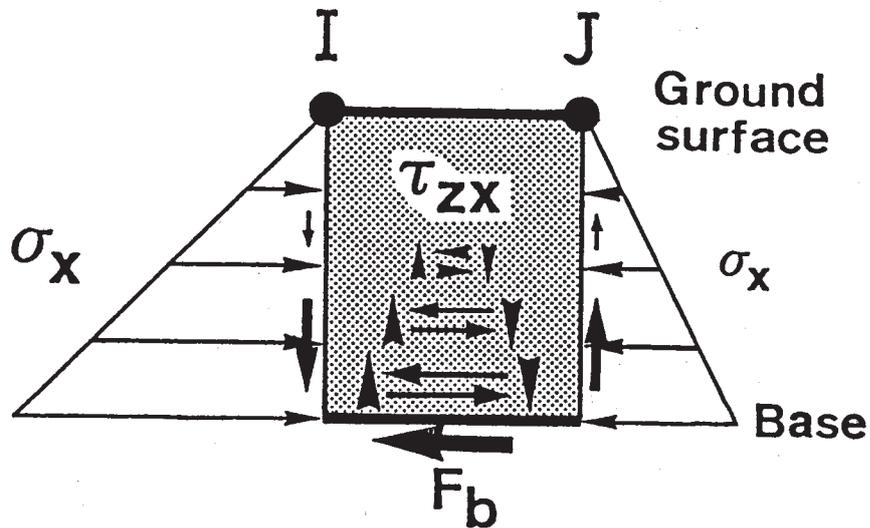
第1図 関東・東海地域の地形、応力測定点と水平面内最大主圧縮軸の方位<sup>4)</sup>。NI, SZ, YKでは深度勾配が小さいのに対し、OK, TR, TK, NA, HSでは大きい。

Fig. 1 Topography, measurement sites and axes of the horizontal maximum principal stresses in the Kanto-Tokai area<sup>4)</sup>. The stress-depth gradients at NI, SZ and YK are small, while those at OK, TR, TK, NA and HS are large.



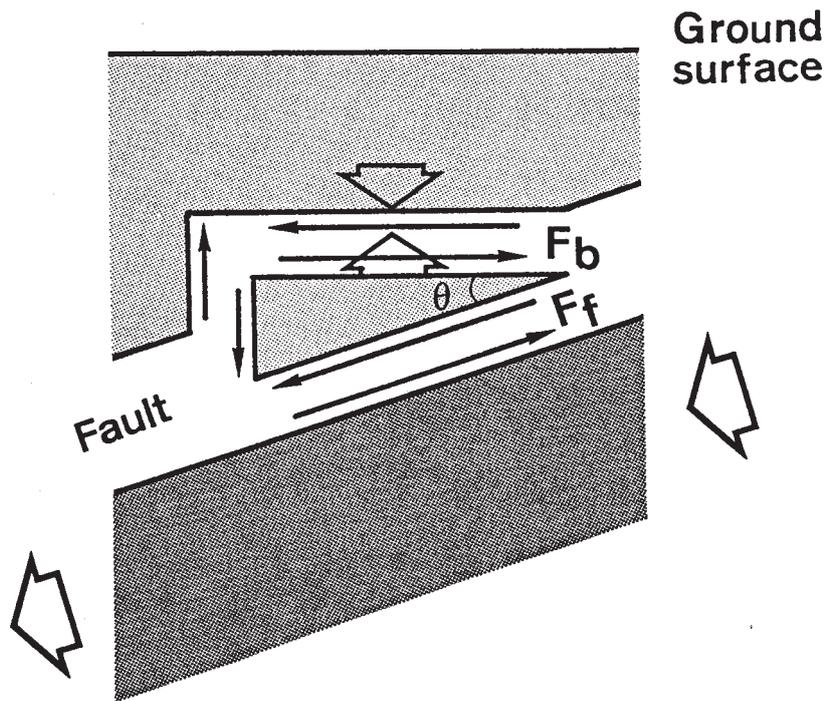
第2図 測定された水平応力 ( $S_{Hmax}$ ,  $S_{Hmin}$ : 最大および最小主圧縮応力) の例<sup>4)</sup>。岡部 (OK) と西伊豆 (NI)。応力深度勾配は明らかに異なる。鎖線は重力 (数字は密度) による鉛直応力。

Fig. 2 Examples of the measured horizontal stresses<sup>4)</sup> ( $S_{Hmax}$  and  $S_{Hmin}$ : the maximum and minimum principal compressive stresses, respectively). The depth-gradients are distinctly different each other. Chain lines are the vertical stress induced by gravity. Densities are shown by numerals.



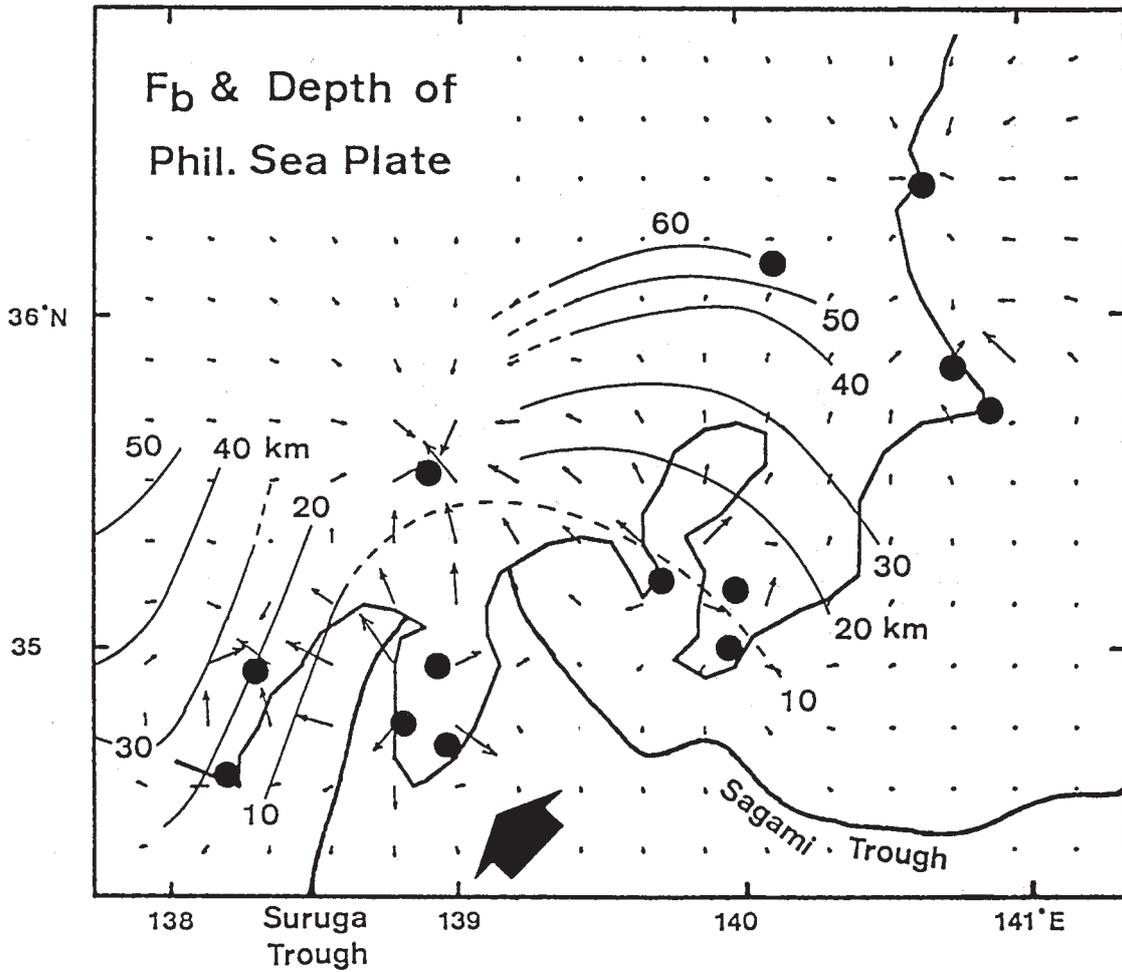
第3図 釣りあいの条件。2つの測定点IおよびJにおいて応力深度勾配が異なった場合、力が釣りあうためには、底面に外力  $F_b$  が作用していなければならない。せん断応力  $\tau_{zx}$  は深さに対して2次関数的に増加する。

Fig. 3 A condition of equilibrium. If stress-depth gradients are different at the two measurement sites I and J, an external force  $F_b$  is required to balance. Shear stress  $\tau_{zx}$  increases parabolically with depth.



第4図 “たわみ”の原因となる力  $F_b$  と低角逆断層上の摩擦力  $F_f$  との関係。  $F_f$  は、近似的に、  $F_b$  に等しい。原理的には、地表付近の応力勾配から深部の  $F_b$  と  $P$  を推定することができる。

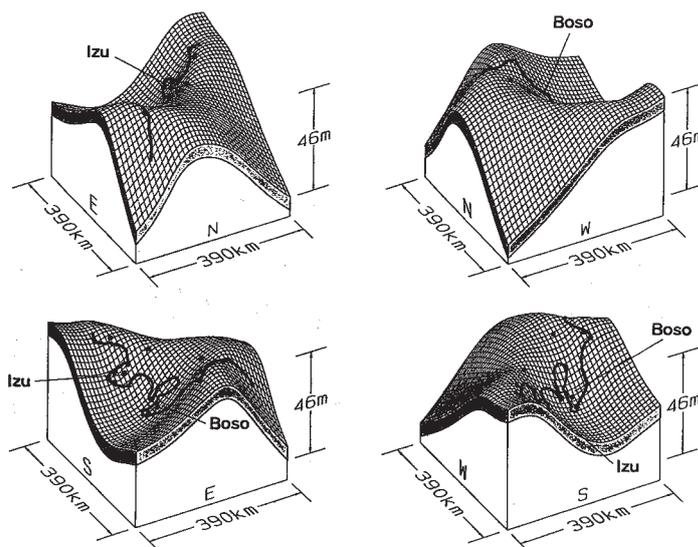
Fig. 4 Relation between the force  $F_b$  and a frictional force  $F_f$  on a reverse fault with a low dip.  $F_f$  is nearly identical to  $F_b$ .  $F_b$  and  $P$  at depths can, in principle, be estimated from stress-gradients near surface.



第5図 関東・東海地域の“たわみ”の原因となっている力  $F_b$  (細い矢印) とフィリピン海プレートの上面の深度<sup>6)</sup> (細線)。応力測定点<sup>4)</sup> (黒丸) から矢印が放射状に広がったり集まったりしているのは、今回の手法の欠点によるもので、みかけのものである。 $F_b$  は、フィリピン海プレートの上の深度が20 kmよりも浅いところで大きい。 $F_b$  の向きは、フィリピン海プレートの進行方向 (太い矢印) にほぼ等しい。

Fig. 5 The force  $F_b$  (thin arrows) and the depth of the Philippine Sea plate<sup>6)</sup> (thin lines) in the Kanto-Tokai area.  $F_b$  appears to be radiated from the measurement sites<sup>4)</sup> (solid circles) because of the defect of the present procedure.  $F_b$  is large in the region beneath which the Philippine Sea plate is shallower than 20 km. The directions of  $F_b$  are nearly equal to that of the Philippine Sea plate (thick arrow).

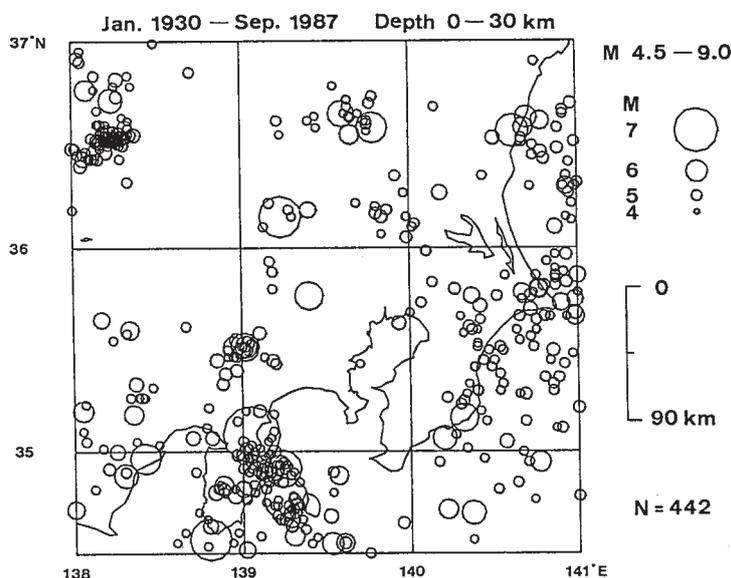
### Elastic Response to In-Situ Stress



第6図 推定された“たわみ”。4つの異なる方向からみた3次元的表示。黒丸は応力測定点<sup>4)</sup>。応力測定点がないところは平坦になる。ヤング率 50GPa, ポアソン比 0.25 を仮定 (密度 = 2.7 g/cm<sup>3</sup> のとき VP = 4.7 km/S に相当) すると, 最高地点と最低地点の高度差は 46 m である。

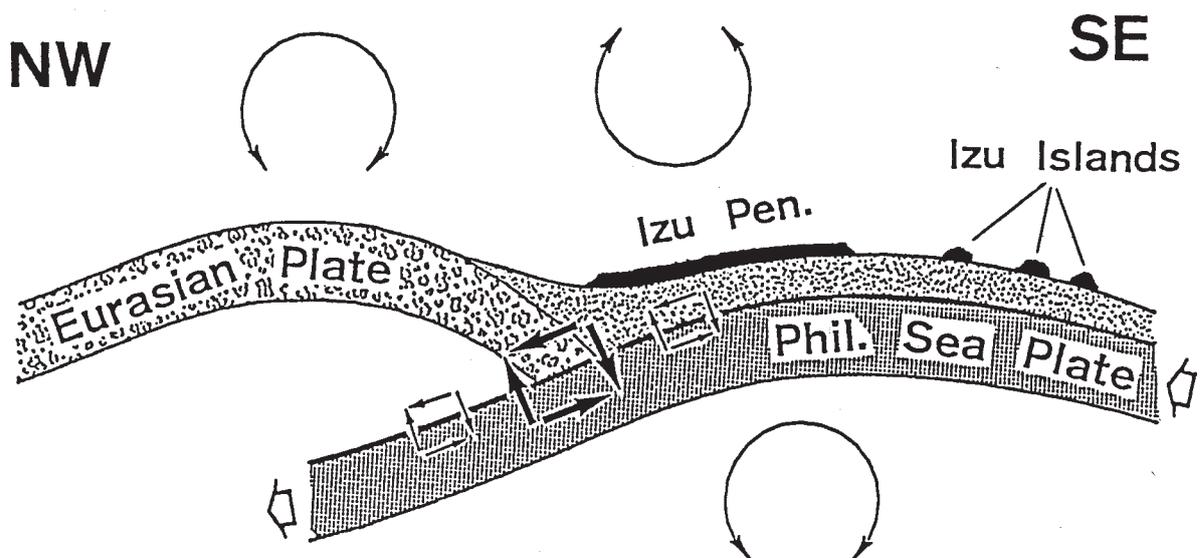
Fig. 6 The three-dimensional representation of the estimated flexure. Measurement sites<sup>4)</sup> are shown by solid circles. The place distant from the measurement sites becomes flat. If Young's modulus and Poisson's ratio are 50 GPa and 0.25, respectively, the deflection between the highest and the lowest places is 46 m.

### Shallow Earthquakes



第7図 最近約 58 年間に関東・東海地域に発生した 30 km よりも浅い  $M > 4.5$  の地震<sup>8)</sup>。東京湾を囲む地震活発帯が第6図のふくらんでいる地域にはほぼ一致するのに対し, 地震活動が低調な東京湾付近ではへこんでいる。

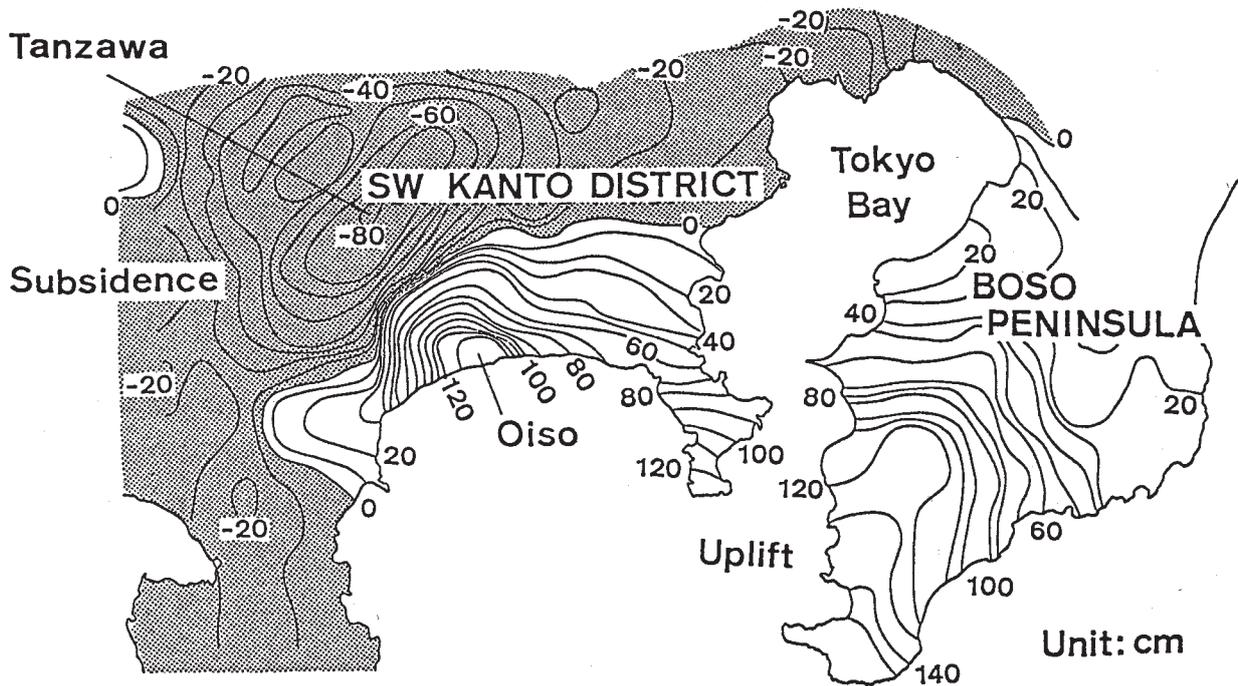
Fig. 7 Earthquakes ( $M > 4.5$ ) occurred in about 58 years in the Kanto-Tokai area<sup>8)</sup>. The seismicity is high in the convex region in Fig. 6 except the Izu Peninsula, while it is low in the concave region in Fig. 6.



第8図 伊豆付近の“たわみ”の解釈（矢印の大きさ:カップリングの強さ）。  
 伊豆付近では，地表付近の層がプレート本体から分離しており，  
 その層の底部の圧縮応力が地表付近に比べて小さいと考えられる。  
 このように考えれば，プレート本体が上に凸にたわんでいるにも  
 かかわらず，地表付近ではへこんでいることを説明できる。

Fig. 8 An implication of the flexure around the Izu Peninsula. The strength of the coupling is shown by sizes of arrows. If the upper layer is pared off, the compressive stress in the bottom part of the upper layer is less than the uppermost part. In result, the region near the Izu Peninsula flexes concave.

## Vertical Movement at the Kanto Earthquake



第9図 関東大地震（1923年：M = 7.9）時の上下変動<sup>9)</sup>。たわみ（第6図）と強い逆相関を示す。この地震によって解放されたせん断応力は、 $F_b$ （第5図）と逆センスである。

Fig. 9 Co-seismic vertical movement at the 1923 great Kanto earthquake (M = 7.9)<sup>9)</sup>. The movement has a strong negative-correlation to the flexure in Fig. 6. The shear stress released by the earthquake has an opposite sense to  $F_b$  in Fig. 5.