

六甲断層破碎帯における地殻変動の連続観測（第一報）

田中 豊・林 守孝・加藤正明・藤田和夫

CONTINUOUS OBSERVATION OF CRUSTAL DEFORMATIONS IN A FRACTURE ZONE OF ROKKO FAULT SYSTEM (FIRST REPORT)

By Yutaka TANAKA, Moritaka HAYASHI, Masaaki KATO and Kazuo HUZITA

Synopsis

The observations of ground tilts and strains at Rokko observation station were rewarded with remarkable results as expected: Principal axis of compressional strain at both sides of Ootsuki fault are near the E-W direction. It coincides with the pattern of stress field in the northwestern part of Kinki district including the Rokko area. On the earth tidal observations, peculiar phenomena were found in amplitude and phase of M_2 -waves. The terms of tidal strain by oceanic load are influenced by elasticity of individual rock on which extensometers are set, probably since the station is near coast and in fracture zones as a vertical layered structure.

1. 緒 言

序報¹⁾でのべたように、六甲観測坑における地殻変動の観測は1970年6月から開始されたが、坑内の側壁の崩落、天盤からの落石があって計器に故障が続出したため、今後観測を維持するには坑道の補強が必要となった。大阪新幹線工事局もこれを了承され、御影工事区における工事完了前に補強工事を行なうことになった。1971年7月予備観測としては満1年を経過したので、観測を一時中止し計器を取りはずした。その機会に、御影工事区最後の発破を利用して坑内の弾性波探査²⁾を実施したことは序報にものべた通りである。

観測結果は、一部序報に報告し、大略の傾向を示したが、第一報では、経年変化、地球潮汐に分けて解析結果を詳述する。結論を言えば、他の観測室とは条件の全く異った破碎帯内での観測は、十分な計画のもとに短期間に予想以上の成果をあげたと言えよう。とくに、地球潮汐では、今まで考えられなかった特殊な現象を観測し、それに幾分の解釈を与えることができた。これには弾性探査の結果が大いに役立って、新しい協同研究の道が開けた。しかし、観測期間も短かく、坑内の温度も安定化へと徐々に低下しつつあり、工事による擾乱もあったため、結果に対し確定的な結論を下すことは早急である。ただ、今後に対し十分な予想を立てることができるので、これを本観測で生かし、結果を確認するべく計画も一部変更し、計器の改良も行なう予定である。補強工事は1971年11月に完了し、本観測は1972年8月から再開する。

2. 歪と傾斜の経年変化

予備観測で設置した計器は Fig. 1 に示す通りである。感度その他必要事項は序報¹⁾を参照して頂きたい。序報に示した図は観測結果をそのまま図示したものである。これによると、設置直後の安定化にいたるまでの見かけの異常は、2カ月後の1970年9月には一応おさまっている。もちろん坑道の変形や計器台の完全安定化までは多くの日時を要し、あるいは破碎帯内では岩圧により、塑性流動的な変形もあるかも知れない。そこで、変形の速さを調べるため、1カ月当りの歪の変化量を求め図示した (Fig. 2)。これによると、伸び縮みの速度が増しているものも減少しているものもあるが、とくに計器の異常や坑道変形による異常と考え

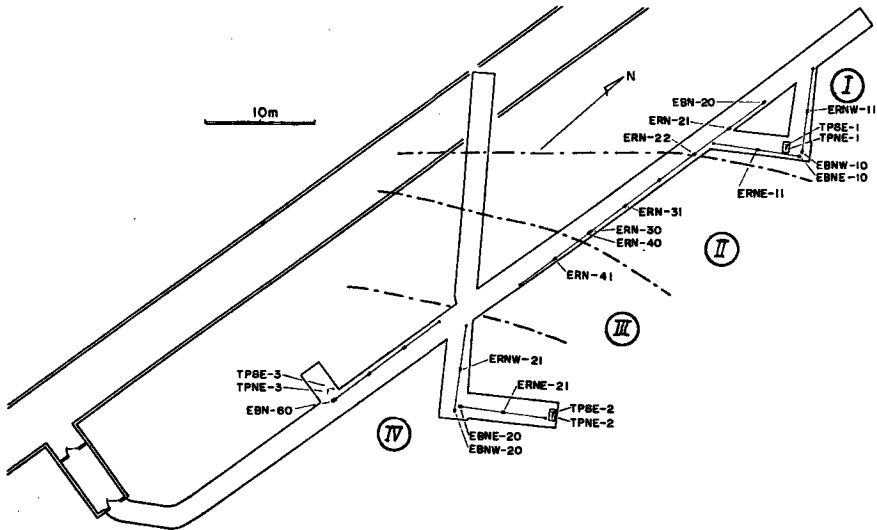


Fig. 1 Arrangement of instruments for preliminary observation.

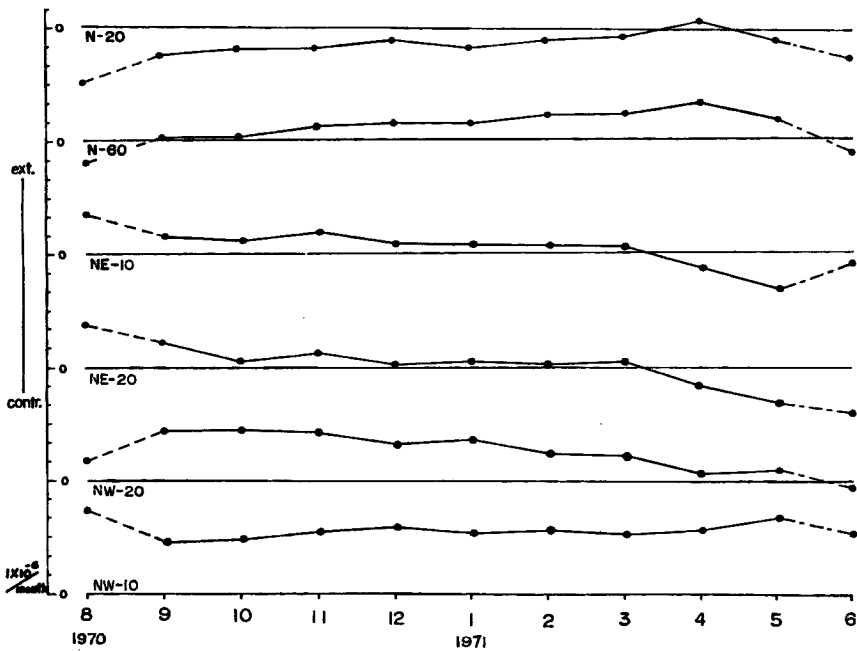


Fig. 2 Change of strain rate per month.

られるものは見当らず、むしろ、N成分NE成分とも断層の南側と北側とで、設置直後の8月をのぞき、全く同じ変化をしていて、1971年6月だけが異常であることがわかる。また、NW成分の伸縮速度の変化は一見異なるようであるが、北側と南側とで全く逆傾向であることがわかる。速度そのものは異なるが変化様式が同じであることから、変化速度の一部分は一定速度のdrift的なものと考えて、安定化した9月の変化速度

が0となるように一定速度を差引いて整理したものが Fig. 3 と Fig. 5 である。これは傾斜変化の場合にも従来から常に行ってきた方法である。Fig. 3 は傾斜変化を示したものである。断層の走向方向の NE 成分のうち断層の南側のもは計器台の固化が悪く設置替えの必要が認められる。傾向として、南側と北側では逆方向の傾きを示している。SE 成分は量的に南北両側でやや異なるが、全く同じ変化様式を示している。強いといえば、蝶番運動をしながら両盤とも南東下がりである。これは Fig. 5 の傾斜ベクトル図を見れば一層明瞭である。Fig. 4 は9月の変化速度を0とした伸縮変化である。この場合傾斜変化とは逆に、断層と平行な NE 方向と N-S 方向の伸縮は、量も変化様式もよく似ている。それに対し、断層と直角な方向では伸縮相反する。これを断層の影響であるとすれば傾斜と伸縮では断層存在の効果がかなり異なることになる。Fig. 4 の結果から、最大歪（伸）、最小歪（縮）、最大ずれ歪の一つと圧縮歪軸の方向の時間的変化を求め図示したのが Fig. 6 である。断層の南側では11月にやや大きな異常があるが、おそらく坑内の状況によるものであろう。現段階では一般の傾向をのべるにとどめて、細かい時間的変化は議論しないことにする。そこで、一般的傾向が一見してわかるように、歪主軸の方向と量の時間的変化を、断層の南側と北側について平面的に図示したのが Fig. 7 である。この表示方法は、犬山地殻変動観測所の報告³⁾の中ですすでに行なわれている。この図から明らかなことは、断層の両側で歪主軸の方向がほぼ一致していること、伸び歪の量は断層の両側で差がないのに、縮み量は南側が北側の倍以上に達すること、したがって、最大剪断歪も南側が北側の倍に近い値に達することである。いうまでもなく、最大剪断歪の方向も、右ずれの向きも、大月断層の走向や期待されるずれの向きと一致する。すなわち、この結果は序報の緒言で述べたように、発震機構や第四紀構造運動から予想されるこの地域の東西性主応力と全く一致する。断層の南側の1成分の傾斜計の調子が悪いのは先に述べた通りで議論の対象にならないが、北側については平均の圧縮軸の方向と平均の最大傾斜の方向とがよく一致する。このことにどの程度の意味が考えられるかは別として、少なくとも矛盾した結果ではない。

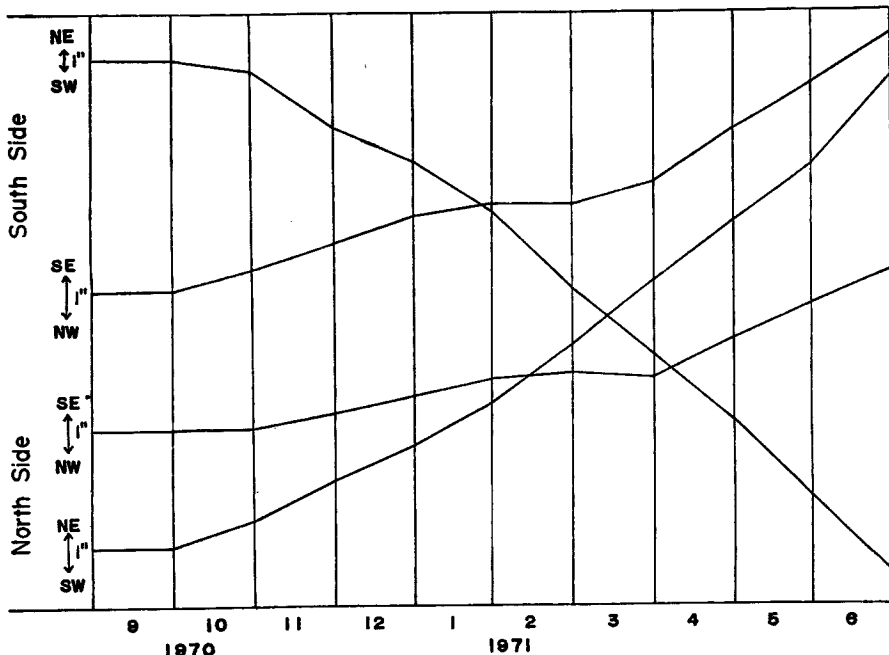


Fig. 3 Secular change of ground tilts fixed on the basis of the tilt rate in September.

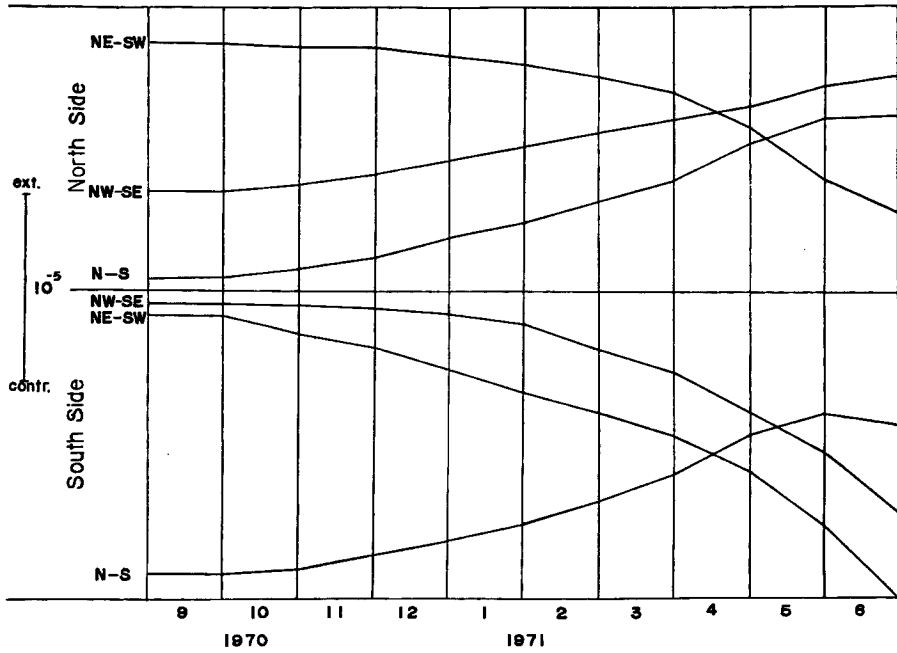


Fig. 4 Secular change of ground strains fixed on the basis of the strain rate in September.

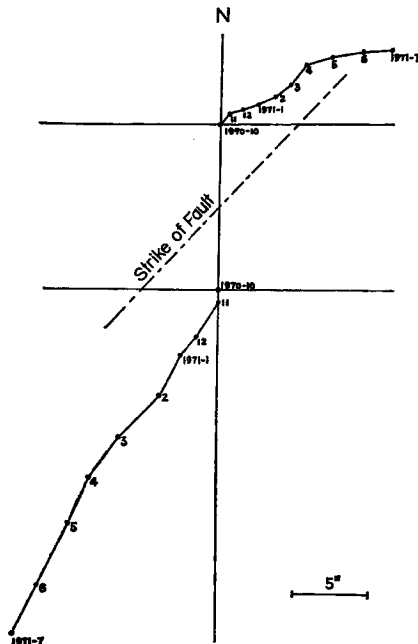


Fig. 5 Vector diagram of ground tilts at each side of the fault.

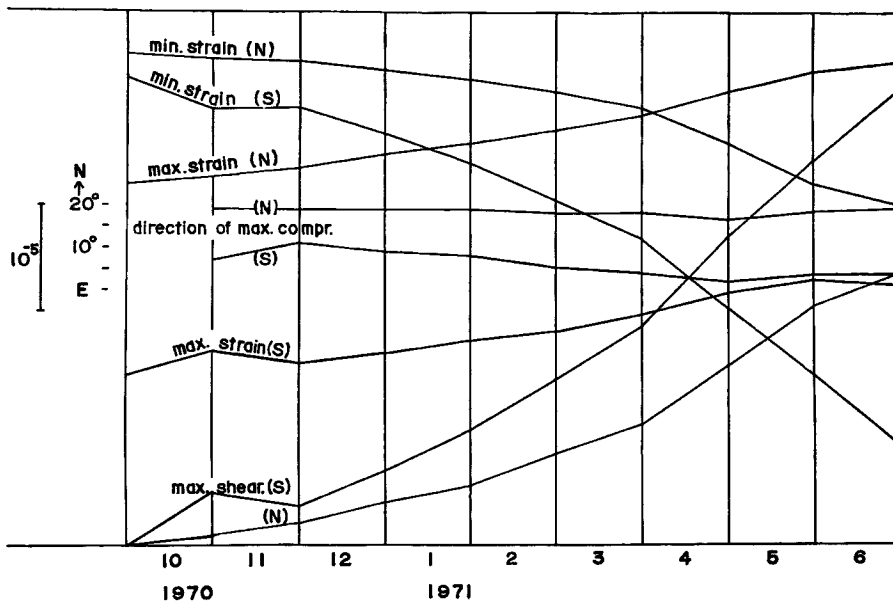


Fig. 6 Secular change of principal strains observed at the north and south sides of the fault.

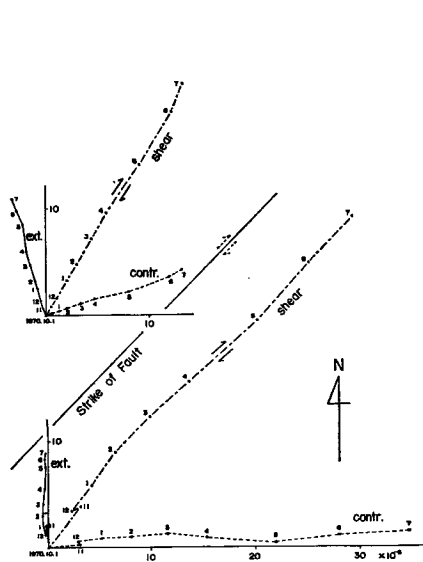


Fig. 7 Secular changes of the principal axis of strain at each side of the fault.

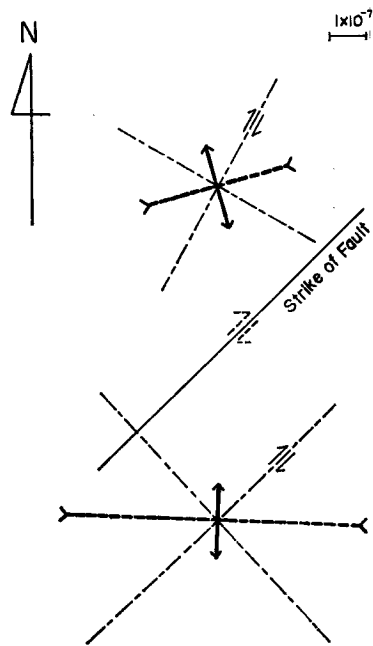


Fig. 8 Principal axis of acceleration of ground deformation at each side of the fault.

Fig. 2 に月平均伸縮変化速度を示したが、設置直後の 8 月と異常のある最終月の 6 月を除いて 8 カ月の平均勾配から、月あたりの平均伸縮変化加速度を各成分について求めた。これから地盤変形の加速度の主軸方向を図示したのが Fig. 8 である。当然の結果として Fig. 6 と一致している。差は平均のとり方によるものであるが、加速度をとる場合、何らの仮定を用いなくてもよいのが利点である。結果として、Fig. 4 のように 9 月の伸縮変化速度を 0 とおいた仮定は、適切であって、差引いた一定速度分はおそらくはほとんどが破碎帯の中の坑道の流動的変形であろうと考えられるので、今後は加速度の変化に着目するのが良いと思われる。

さて、地震探査から求められた弾性常数を用いて、断層の北側と南側で応力が等しいと仮定して計算すると、この断層両盤における歪量の差は弾性常数の差だけでほぼ説明ができる。しかし、歪量の差は明らかに増大しつつあるとすれば、その差が剪断強度の限界を越えれば、やがては破断か、摩擦力に抗してすべりが起こることになる。ただし、現段階では現象の可能性を示すだけにとどめておきたい。なお、この観測期間中、六甲山地周辺には Magnitude 3 以上の地震は発生しなかった。近いものでは約 35 km 西の加古川河口付近に 1970 年 11 月 Magnitude 3.7 の地震と観測開始直後の 8 月に Magnitude 3.5 の地震が東方 30 km の淀川中流付近に発生しているだけである。今後は微小地震の活動にも注目したい。

3. 地球潮汐の異常

活断層付近の地球潮汐の異常については、故西村英一教授が別府の観測結果を報告された有名な論文⁴⁾があり、教科書にもしばしば引用されているところである。一方、同じ問題を地下水学の立場からあつかった興味深い論文を吉川恭三⁵⁾が発表している。破碎帯内で連続観測を開始するに当って、これらの論文の内容を想起し、何らかの異常を予想していたが、いくつかの問題が明らかになった。この結果は、断層運動とそれを測定する地盤との基本的な問題を考える上で、すでに大いに役立っている。

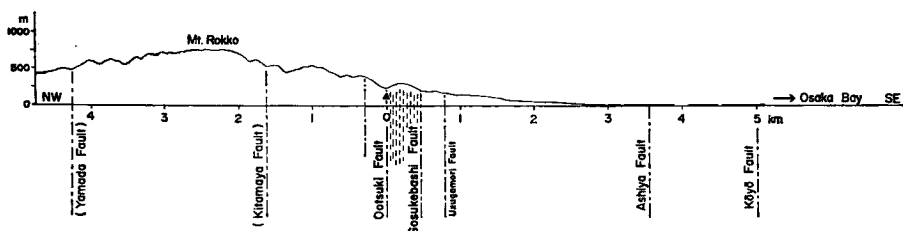


Fig. 9 Cross section of the eastern part of the Rokko region through the observation station.

観測坑は、海岸までの最短距離が 4 km 余りで、海拔 127 m であり、地形的影響を受けるような特異な場所ではないが、海岸までの間に五助橋、芦屋、甲陽などの顕著な断層があり、しかも、少なくとも大月断層から五助橋断層までの間は著しく破碎されていて、基盤が同じ花崗岩体であっても、あたかも鉛直層構造あるいはいわゆるひびわれ岩盤の様相をなしていると想像される (Fig. 9 参照)。このような場所に海洋潮汐による荷重変化があれば、応力の伝播および変形の機構はどのようなものになるか興味深いところである。解析資料として、断層の両側それぞれ 3 成分の伸縮計とそれぞれ 2 成分の水平振子型傾斜計の記録を用いた。また、異常が明らかになったので、感度の低いローラー式の伸縮計のうち、断層をまたいで設置した N-S 成分の記録をも追加使用した。記録の例は序報に掲載してあるが、ローラー式の伸縮計でもきれいな潮候曲線を描いている。ただ、坑内車の振動、高湿度、落石その他の擾乱のため、つねにより記録が得られていたわけではない。解析は主要四分潮 (M_2 , S_2 , K_1 , O_1) のみを含むものとして最小自乗法により、各分潮の振幅と位相を求めた。プログラムは土居光氏のものを使用させて頂いた。資料は、傾斜計と 3 成分の伸縮計については 1 カ月、ローラー式については全く同じ時期の 1 週間の資料を用いた。また、後にのべるように地下水

Table 1 Amplitude and phase of M_2 -waves at the Rokko station.

		Azimuth	North side		South side	
			Amplitude	Phase lag	Amplitude	Phase lag
Linear strain	obs.	NE-SW	1.84×10^{-8}	10.0°	2.11×10^{-8}	7.6°
		NW-SE	1.80	9.4	0.82	-12.0
		N-S	0.33	11.4	0.51	146.2
Strain	cal.	E-W	3.31	9.5	3.33	-3.1
		Areal strain	3.64	9.5	2.90	2.0
		Shearing strain	0.04	-144.8	1.37	-160.8
Tilt	obs.	NE-SW	0.0014''	-22.0	0.0014''	-139.5
		NW-SE	0.0069	-119.5	0.0072	-98.5

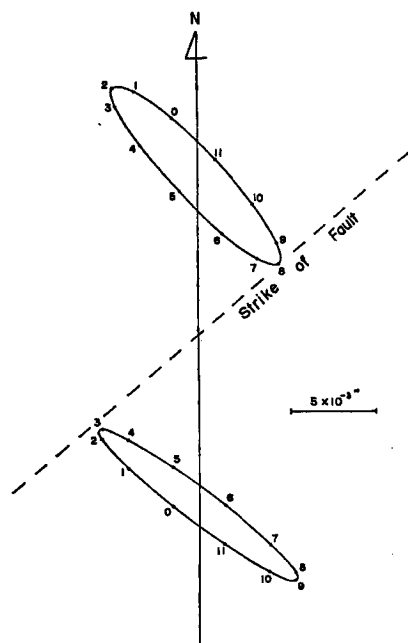


Fig. 10 Tilting diagram of M_2 waves at each side of the fault.

に潮汐変化があらわれているようなので、これも同じ方法で1カ月の資料を用い解析した。結果は Table 1, Fig. 13 にまとめてある。東西方向には伸縮計を設置していないので、E-W については面積歪れ歪とと同じく、設置された3成分の解析結果から計算したものである。今回の議論は M_2 分潮に限ることとし、他の分潮については記載を省略した。

i) 地球潮汐による傾斜変化

まず、傾斜変化についてみると、断層に平行に設置された NE 成分は一見完全に一致しているかに見える。しかし、この方位の振幅はもともと非常に小さく、南側は drift の大きな不調の傾斜計で、とくに、位相差については信頼できない。きわめて小さいことだけは明らかである。断層に直角な NW 成分はかなり大き

な振巾で良い値が得られている。位相差については、記録紙の送り速度も小さいのでますますの値であるが、実際に多少の差があることも以下の議論から考えられる。しかし概括すれば、断層の両盤において傾斜の潮汐変化はあまり変らない結果が出た。これを Vector 図で示せば Fig. 10 のようになり、観測値の Vector 楕円軸の方向、最大振巾量、位相は上賀茂の結果⁴⁾ともよく似ている。また、生野の観測結果⁶⁾ともかなり類似している。これらと比較すれば、北盤の傾斜計の観測結果は、振巾の小さい NE 成分でも、あるていど信頼できるのではないかと考えられる。注目すべき点は、海洋潮汐の影響が予想よりもかなり小さいということ、今一つは Vector 楕円の長軸の方位が断層線に対し直角である点で、断層の存在の影響を受けているのではないかとということである。また南側の傾斜計を信頼するとすれば、永年変化の場合と同じく断層に平行な方向ではほぼ逆の動き（位相差約 120° ）を示していることである。

ii) 地球潮汐による歪変化

一方地球潮汐歪の観測値は断層に平行な NE 成分は断層の両側でますますの一致を見ているが、NW 成分では南側の振巾が北側の半分である。さらに N-S 成分では南側の振巾が大きく、位相差は 135° に達する。これは記録の上からも予想されたことであって、しばらくは解決のつけようのない難問であった。観測値から計算され諸歪量も当然のことながらかなり異常な値を示している⁷⁾。

これを M_2 分潮の毎太陰時ごとの歪主軸の変化として図示すれば Fig. 11 のようになり、E-W 方向の歪変化の様子は北側と南側であまり変らないのに N-S 方向では伸縮逆になることが明瞭にわかる。なお海洋潮汐の負荷による項を観測点から 100 km 以内について Boussinesq の式を用いて雑に計算し、 λ, μ にいろいろな値を入れてみると断層の北側については $\lambda = \mu = 0.5 \times 10^{11}$ ていどであれば、観測値から海洋潮汐項を差引いた残りが理論的に予想される地球潮汐の直接項とよく合ってくる。しかし南側については λ, μ にどのような値を入れても満足な結果が得られない。つまり南側がきわめて異常であることが推定できる。

Fig. 12 は断層の南と北側で観測された M_2 分潮の方位による振巾の違いを示したもので、下には両者の

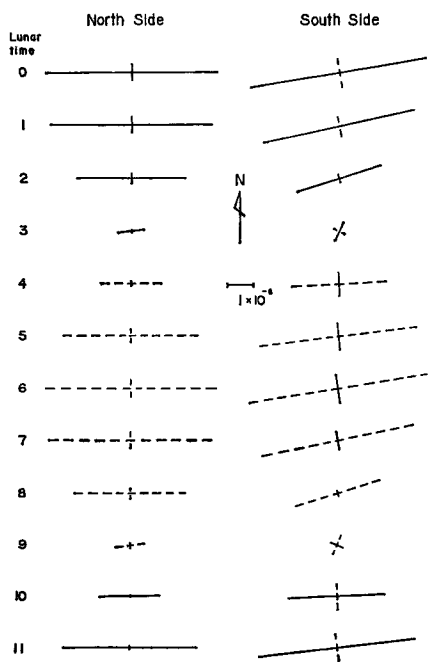


Fig. 11 Variation of principal strains for M_2 .

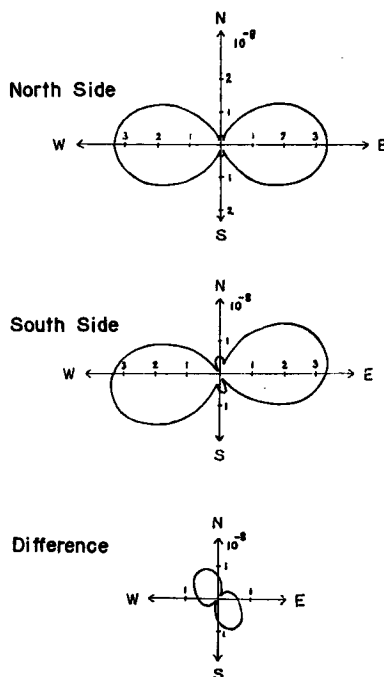


Fig. 12 Azimuthal differences of amplitude of M_2 .

差、つまり北側と南側の各方位における振巾の差を生じさせるある未知の潮汐の振巾の方位分布である。この結果を見れば、両盤の潮汐の差を起させる未知の潮汐の振巾は、断層に直角な方向にもっとも大きく、断層の走向の方向では観測誤差程度に小さく、やはり何か断層に関係した異常なものが加わったと考えざるを得ない。N-S 方向では一見位相が逆転するほどの差があるように思われるが、実際には **Table 1** にもある通り NW 方向に異常がもっとも大きいのである。先にも述べたように潮汐歪についてのこの異常は北側よりも南側の方により大きい原因があると推定される。

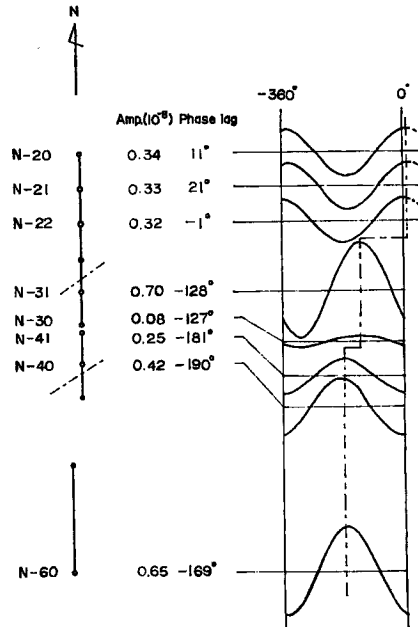


Fig. 13 Differences in amplitude and phase of tidal strains for M_2 observed in the N-S direction.

さてそれでは、位相が逆転に近いほどずれている N-S 成分では、北から南へ移るにつれてどのようなずれ方をするのか調べるため、設置したすべての伸縮計について解析を行った。その結果が **Fig. 13** である。これを見ると断層の北側では位相差も振巾も非常によく揃っているが、断層にかかったとたん急激に位相のずれを生ずる。さらに地下水の滲出地帯に入って再び 60° 近く位相がずれ、一番南では少し元にもどる傾向が見られる。一方序報にも述べたように孤崎他の実施した地震探査の結果によれば、弾性波速度の分布から観測坑内の地盤は、**Fig. 1** の I, II, III, IV で表示されるような4つの区域に分けられるが、その境界が潮汐の位相、振巾の急変する場所にあたるのである。潮汐変化におけるこのような振巾や位相の異常は、それがわずかな距離の間での相対的な異常であるだけに観測している岩盤の特性を考えざるを得ない。とくに位相が徐々にずれているのではなく、同じ区域内ではほぼ一定で境界を越えると相対的な異常が生ずることから、基盤が同じ花崗岩体ではあるが、破碎の度合い、または含水量の違いのある層が断層の走向方向にそって、あたかも鉛直成層構造状に並んでいることに原因すると考えてよいのではなからうか。

iii) 地球潮汐歪の異常と岩盤の特性

ところで計器を設置してある岩盤の弾性定数が違えばどうして位相が変わるのかという問題が残る。

これに対して次のような説明が可能なのではなからうか。まず、地球潮汐の直接項は全地球的変形であっ

て、地表近くの弾性的特性には余り影響されないが、海洋潮汐負荷による二次項は、浅い部分の弾性が効いてくるので、設置場所の地盤の特性によって海洋潮汐項の振巾が変わってくる。これは荷重による等応力線がかなり深部まで地表面に対して直角であり、もし鉛直成層構造の走向が荷重の中心に向う方向と直角であれば、設置場所の弾性定数の違いが振巾に大きな影響を与えるであろうと推定されるからである。

一方、海洋潮汐による傾斜変化の場合、鉛直方向の応力は、ある深さまでは深くなるほど応力変化の範囲が広がり、荷重中心から離れるほど地下深部の弾性がきいてくることになる。六甲においても、地球潮汐による傾斜変化は北盤と南盤でほとんど差異がなく、伸縮の方に異常が大きいのは傾斜変化の場合は浅部よりやや深部の弾性の効果が大きいからと考えられる。

iv) 海洋潮汐項の振巾不等と観測値の位相差

さて、歪の海洋潮汐項だけがその場所の弾性定数によって振巾が変わり 1 次項の振巾が変わらなければ観測される潮汐の振巾と位相はどうなるか。Fig. 14 の δ_0 は周期を同じくする 2 つの振動の位相差で δ は合成された振動の位相である。2 つの振動の振巾比を K とすると位相差が 90° ある 2 つの振動を合成するとき振巾比が 2 であれば合成振動の位相は約 60° ずれることになる。神戸港の M_2 分潮の位相は 213° であるが理論計算された海洋潮汐負荷による 2 次項の位相は約 175° となるから、観測される潮汐の位相差は K の値によって 0° から 180° まで変わり得ることになる。これを実際の観測結果に適用してみることにする。

Fig. 15 の (a) は単振動の分解図である。第一次項の理論値と観測値および海洋潮汐項の位相がわかれば、一次項に対する二次項の振巾比が求められる。(a) の場合観測値の位相差が一次項に対して小さければ二次項の振巾は小さいことになる。(b) は六甲の観測値を入れたもので NE 成分の一次項の位相は 30° であり、海洋潮汐項の位相は -10° 位であるから断層の北側の NE 成分の位相と振巾 $+10^\circ$ と 1.84×10^{-8} を I で示せば、図のように K の値は 1.3, 南側 IV の場合は 1.6 となり K の値の変化で I と IV の差は矛盾なく説明できる。次に問題の N-S 成分の場合 (c), 位相を重視するか振巾を重視するかで幾分値が変わってくるが平均をとれば北側 I は 0.7, 南側 IV は 1.3 となる。ところが Fig. 13 に掲げた中間測定点などの位相は誤差をどのように見込んだとしても理論的に 175° の位相をもつ海洋潮汐項と直接項の合成にはなり得ない。

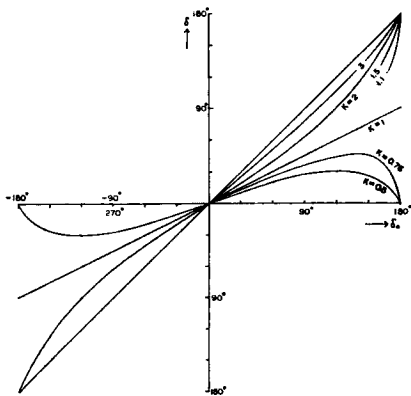


Fig. 14 Relation between δ and δ_0 for various values of K .

- K : amplitude ratio of two terms having the same period.
- δ_0 : phase difference between two terms.
- δ : phase lag of the composed term of direct and indirect tides.

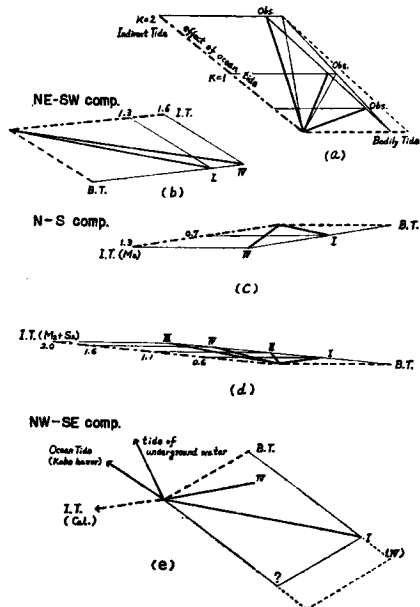


Fig. 15 Resolution of the observed tidal oscillation.

その原因として次のようなことを考えた。Fig. 13 に示した値は1週間の資料によるもので M_2 分潮と S_2 分潮の分離が十分ではない可能性があるため、解析結果が S_2 をも含んだものとするならばその分を考慮しなければならない。幸いこの期間は満月の前後にあたっていて、 S_2 と M_2 の合成された直接項の位相は 0° に近いはずであるが、一方比較する海洋潮汐項も S_2 と M_2 の合成潮でなければならないのでこれを求めるのに田辺、下津、神戸の各検潮所の M_2, S_2 の振巾と位相を合成すると、いずれの場合も M_2 潮の位相より $7, 8^\circ$ おくれることになる。そこで、先の海洋潮汐項も 175° から 185° として観測結果を M_2+S_2 の直接項と M_2+S_2 の二次項とに分解するとかなり良い結果が得られて、位相のずれがうまく説明できる (d)。結局もつとも説明困難として残るのは NW-SE 成分である。

さて、このようにして出て来た K の値というものは先にのべたことが事実であるとすれば、地盤の弾性的特性を示すものであるはずである。そこで先の I, II, III, IV のそれぞれの区域について地震探査結果から求めた σ (Poisson 比) との関係調べたのが Fig. 16 である。解析例が少ないわりに点が多いのは、位相

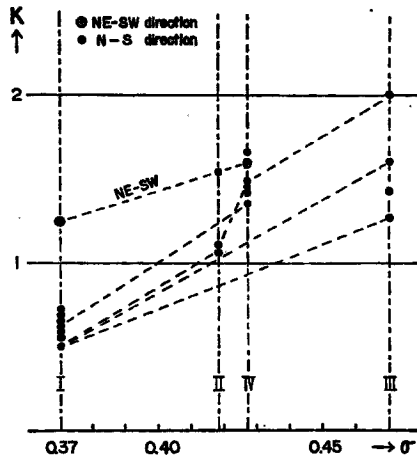


Fig. 16 Relation between σ and K .
Region I, II, III, IV are shown in Fig. 1.

σ : Poisson's ratio estimated by seismic prospecting.

K : amplitude ratio of indirect term to direct one of earth tide.

を合せた場合と振巾を合せた場合とで K の値が異なればその両者を用いたためである。点線で結んだ点は 2カ所の値を同時にむりなく説明できた例である。 σ の決定にもかなりの誤差があると考えられるが、 K の値はどのような方法で求めても、ほぼ直線的な関係があり、少なくとも K の I と IV に対する違いはきわめて明瞭で、 K の値、換言すれば海洋潮汐項の振巾は観測場所の弾性定数に応じて変わると推定してもよさそうである。つまりその振巾は同じ方位であっても変わり得ること、したがってこれと直接項との合成である観測値の位相は大きい場合には逆転することもありうるということを示している。

Fig. 16 には NE-SW 方向の場合も示した。 K の値は荷重の中心に対し、測定方位がかわれば全体的に上下するし異方性があれば直線の勾配も荷重中心の方向と測定方位の関係によって変わる。この図から NE-SW 方向と N-S 方向の勾配の差は議論できないが勾配の差が確認されれば、鉛直層構造に対し荷重がかかったときの異方性を考えることができる。

ところで K は Boussinesq の式の $1/(\lambda+\mu)$ に比例するはずである。つまり理論的には σ/λ に比例する。もし λ が σ のこの範囲内でほぼ一定と考えれば、 K と σ は直線関係となるし、 λ が大きくなるなら σ の増加にしたがって勾配はゆるくなる。Fig. 16 も多少その傾向があるように見うけられるが、議論できるほどそ

それぞれの値は正確ではない。

Fig. 15 にもどって NW-SE 成分について考える。計算された海洋潮汐負荷項の位相は 172° 位であるが、直接項は -30° であって、観測値を説明することができない。この方向は断層と直角方向で異常が特に大きいことは、先にもみた通りである。今、北盤の方が多少とも正常に近いとして一次項の理論値を差引くと残ったものは、神戸港における海洋潮汐の潮位と逆の位相となる。神戸港の潮位つまりもっとも近い海洋の潮位が上がったときに縮んでいる、逆にいえば潮位が下がったときに伸びていることになる。もし平行な断層群のため SE 方向の海水荷重による影響がきわめて小さいとすると、異方性を考えて SW 方向の荷重がとれたときに NW 方向は縮みから伸びに回復するということが考えられる。すなわち NW 方向の伸縮は SW 方向の荷重だけによると考えれば、Fig. 15 の結果を定性的に説明できる。その場合南側の IV の振巾が小さいのはどういうわけであろうか。

v) 地下水の影響

Fig. 17 の下は序報でのべたように bore hole から流れ出して来る地下水の量を測定したものである。この bore hole の先端はほとんど大月断層まで達しているが、図のように潮汐変化らしいものを記録している。上の曲線は北盤の NW-成分の伸縮計の記録を約3時間時間軸をずらして画いたものである。両者の形は似ているが21日0時頃の日潮不等の低高潮の部分は、地下水の滲出の方では消えている。地下水の変化が圧縮によるしほり出しの効果とすれば歪変化の振巾が小さい場合には消えて当然かも知れない。

地下水の測定は誤差も大きく擾乱の要素も多いが、このようになりに明瞭な半日周潮の振動をしていることが多く、気圧の半日周期の変化とは必ずしも対応しない。

そこで地下水の1カ月分の資料を解析し、 M_2 分潮を求めたところ位相 -116° を得た。NW 成分の位相は 9° であるから伸縮逆にとり約2時間ずらせると、NW の位相と合うことになる。Fig. 15 (e) において I と IV の差の潮汐は、大体地下水の潮汐と逆位相になり、NW 方向に縮みのとき地下水は増していることになる。この地下水の滞水層は水平な被圧地下水層でなく海洋潮汐の圧力変化を受けているとは考えられないので、もしこれが潮汐変化だとすると、圧縮時のしほり出しによるものと考えられる。しかししほり出しの

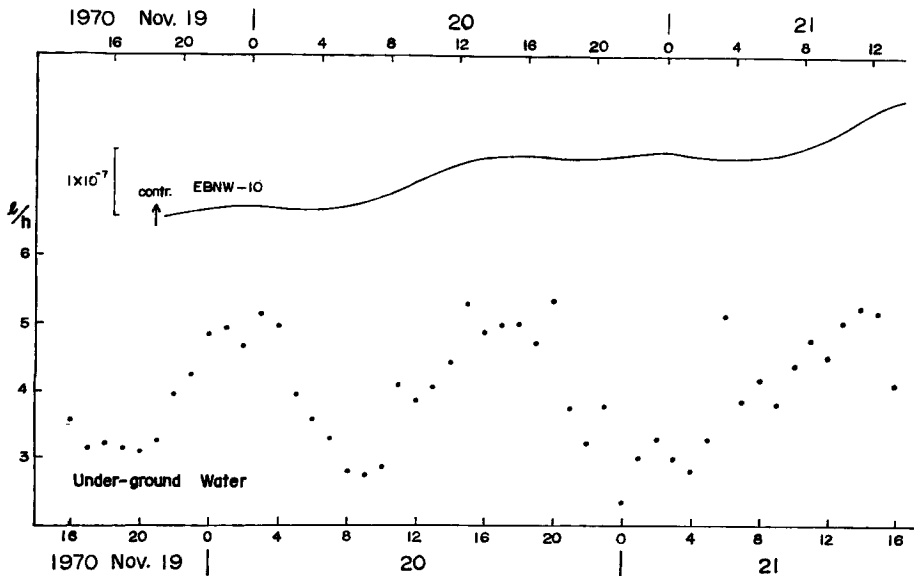


Fig. 17 Comparison between seepage of underground water and ground strain in the normal direction to the fault.

時にはおそらく地下水の圧力が高まっているであろうから、水圧によって圧縮に抗する可能性がある。とくにこの付近の節理は断層に平行な方向に多いと考えられ、また粘土層もこの方向にはさまれていて断層の延長方向と上下に広く滯水されていると考えれば、断層と直角方向の伸縮が地下水圧の影響を受けることは、考えられることである。例えば北盤は全く地下水がないが、相当な割れ目がある。南盤では同じ程度の割れ目に水が入っているとすれば、間隙水のため圧縮率が小さくなっている（ $1/1.2 \sim 1/2$ ）と考えられる。計算によれば北盤と南盤の NW 方向の潮汐歪の差を説明するには、間隙率が 10~30% 位で南側だけが地下水で満されていれば良いことになる。今後地下水測定の精度を上げてこの点を検討するつもりである。

以上のように、雑な議論であるが、潮汐歪の異常をほぼ説明することができた。この議論が正しいか否かは別として、このように大きな異常の生ずる可能性は十分考えうることである。海洋潮汐項と直接項の振幅がほぼ同じくらいであること、両者の位相差が 180° 前後であること、海岸線にほぼ平行な断層群と破砕帯のために鉛直層状構造に荷重をかけたような状況であること、などの特殊性が原因であると考えられる。海洋潮汐負荷による主応力線が、破砕帯付近で著しく曲げられるとすれば、可能なことである。

4. 結 語

以上は結果の一部にすぎない。例えば記録をみると低気圧の北方通過と南方通過の場合とで、傾斜や歪の反応の仕方が異なるようである。これから気団の荷重による地殻の変形を議論できる可能性がある。また断層を境とした地塊的な動きを検出することができるかも知れない。

一年間の予備観測では問題点をひろい上げることしかできないが、本観測の開始によって、予備観測で注目された事実を解明できるであろう。大いに期待するところである。

なお今回は雑把な議論ではあるが、地球潮汐の振幅や位相の異常について説明を与えうる可能性を示した。議論がここまで発展したのは、地震探査による弾性波速度の分布について定量的な基礎を与えられたからであって、今後研究面でこのような協同作業はとくに大切なことであると痛感している。実施して頂いた、狐崎長琅、後藤典俊、竹内文朗氏等に感謝の意を表したい。なおこの観測に御協力賜った京大防災研究所の小泉・津島・細枝官、同じく理学部地球物理学教室の藤森助手、鉤・東両技官および足立氏はじめ大学院生・学生の諸兄に深く感謝の意を表する次第である。また六甲の地球潮汐について多くの議論を共にして頂いた中川一郎助教授・田中寅夫助教授、並びに地殻物理学講座御一同に対し御礼申し上げる。資料整理・論文作成に当っては、伊藤信一・横山宏太郎氏に御協力頂いた。なお数値計算は京都大学大型計算機センター FACOM 230-60（課題番号 5001 GD 714）によった。

参 考 文 献

- 1) 田中 豊・林 守孝・加藤正明・小泉 誠・藤田和夫：六甲断層破砕帯における地殻変動の連続観測（序報），京都大学防災研究所年報，第 15 号 B，昭 47. 4，pp. 15-28.
- 2) 狐崎長琅・後藤典俊・竹内文郎：六甲地殻変動観測坑における，地震探査による弾性波速度分布の測定，同，pp. 7-13.
- 3) 志知龍一・松浦 宏・飯田汲事：犬山における地殻変動の連続観測（II），測地学会誌，第 16 卷，1970，pp. 177-189.
- 4) 西村英一：地殻潮汐について，其一地球外殻の剛性，其二活断層付近の土地の特異なる運動，地球物理，5，昭. 14，pp. 10-50.
- 5) 吉川恭三：地下水圧の週期的変化に伴う地面の傾動：陸水学雑誌，17，昭. 30，pp. 91-99.
- 6) 田中 豊・小泉 誠・加藤正明：地震活動に関係した地殻変動（5B），京都大学防災研究所年報，第 14 号 A，昭 46. 4，pp. 71-84.
- 7) Ozawa, I.: Study on elastic strain of the ground in Earth tides, Dis. Prev. Res. Inst., Kyoto Univ., Bulletin, No. 15, 1957, pp. 2-36.