

71. 犬山で観測された岐阜県中部地震 — 1969年9月9日 — に伴う 地殻歪に関する二, 三の考察*

名古屋大学理学部犬山地殻変動観測所 {志 知 龍 一
飯 田 汲 事
名古屋大学理学部地球科学教室 山 内 常 生

(昭和45年9月22日発表—昭和45年9月22日受理)

1. はじめに

1969年9月9日、岐阜県中部に発生した $M=6.6$ の地震に伴って、犬山地殻変動観測所で顕著な strain step が観測された。その概要については、地震前後数10日の変化の様子を速報として報告¹⁾してある。

このような strain step に着目し、地震との関連についての研究が小沢²⁾などによってなされているが、dislocation theory を使い、発震機構と strain step を関連づける理論が、F. PRESS³⁾ によって発表されて以来、このような観点での研究報告⁴⁾⁵⁾がいくつか現われるようになった。

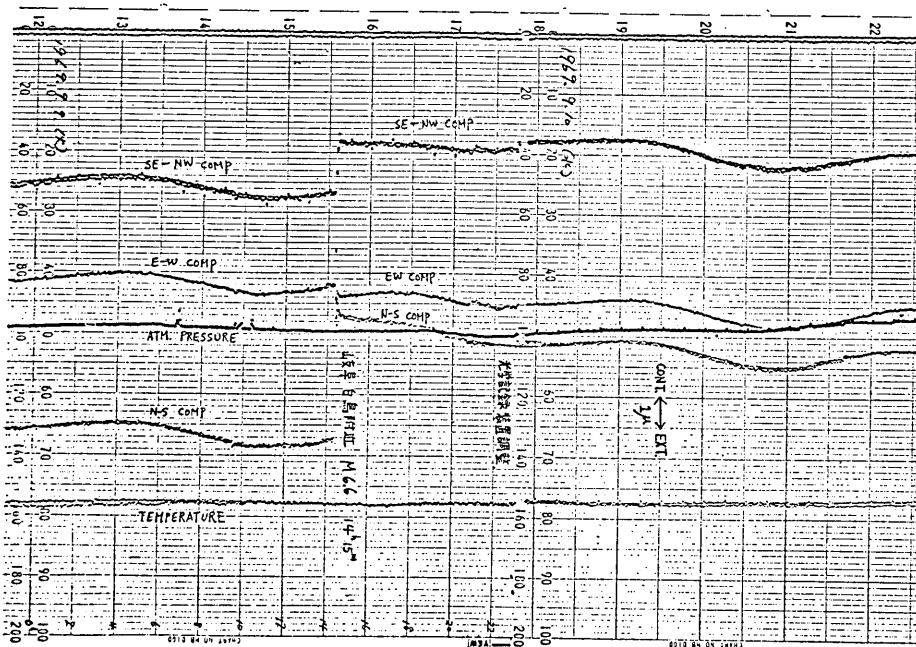
これらの研究は、一つの新しい分野として興味がありさらに深めていく必要があると思うが、そのためには strain step として観測される変化を発震機構本来のもののみならず、よいかどうかについて、基礎的な考察をさらに加えていかなければならないと考える。

先ず、観測システム自体の器械的な信頼性については、F. PRESS も言及しており、竹本等⁶⁾の検討もなされている。しかし、この検討が加えられた後でも、真に発震機構そのものの情報をそのまま伝えているかどうか、もっと立入った考察が必要である。何か副次的な原因で増巾されている(理論値から期待されるよりも大きな歪値となっていることがいくつかある)か、あるいは、むしろ副次的な原因の方が大勢をしめているのではないかとの疑いもある。この問題に関する一つの可能性として、地震動に伴う(地下水)間隙水圧の変化がきわめて重要な役割をはたしているのではないかということが明らかになったので若干の考察を試みる。

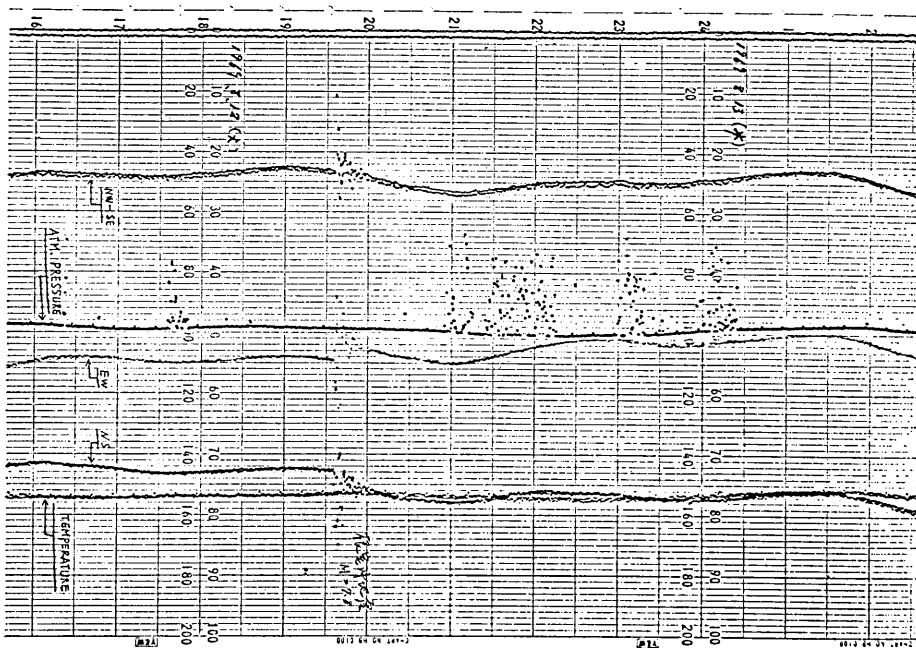
2. 地震に伴う strain step と坑内湧水量の変化

犬山地殻変動観測所の観測システムについてはすでに報告⁵⁾してあるので省略する。JMA 発表による岐阜県中部地震の震央は、当観測所から48km, $N8^{\circ}E$ の地点である。観測所における震度は4であった。この地震に際し顕著な strain step が観測された。Fig. 1(a) は

* 森本良平所員紹介



(a)



(b)

Fig. 1. Records of strain steps accompanied by earthquakes.
 (a) Earthquake of central part of Gifu prefecture.
 (b) Earthquake of off Nemuro, Hokkaido.

Table 1. Strain steps accompanied by earthquakes

Earthquakes	Central part of Gifu 1969.9.9. (M=6.6)		Off Nemuro 1969.8.12. (M=7.8)	
	Digital	Optical	Digital	Optical
N — S	-13.7	—	+ 1.2	+ 1.6
E — W	+ 1.5	+ 5.2	- 1.8	0
NW — SE	- 5.5	- 5.0	- 0.3	- 0.4

デジタル記録器による記録である。記録器は、6成分を2分周期で交互に切りかえ打点している。従ってこの記録から本震の主要動は大体8分以内におさまっており、strain stepは初動到着ないし、数分後以内のどこかで生じていることがわかる。各成分に現われた strain step の大きさは Table 1 の通りである。光学記録による値も示したが南—北成分は不幸にしてとれていない。東—西成分には差がみとめられるが、北西—南東成分は

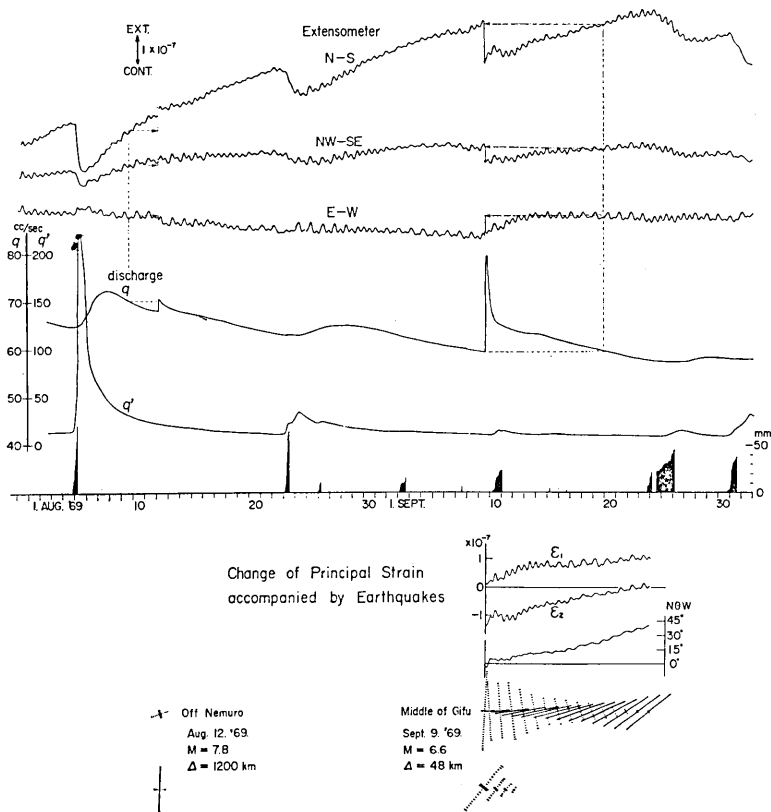


Fig. 2. Changes of strain and discharged water from the observational gallery before and after the earthquakes.

よく一致している。

岐阜県中部地震に先立つ1ヶ月前8月12日には根室沖地震があり、同様に strain step

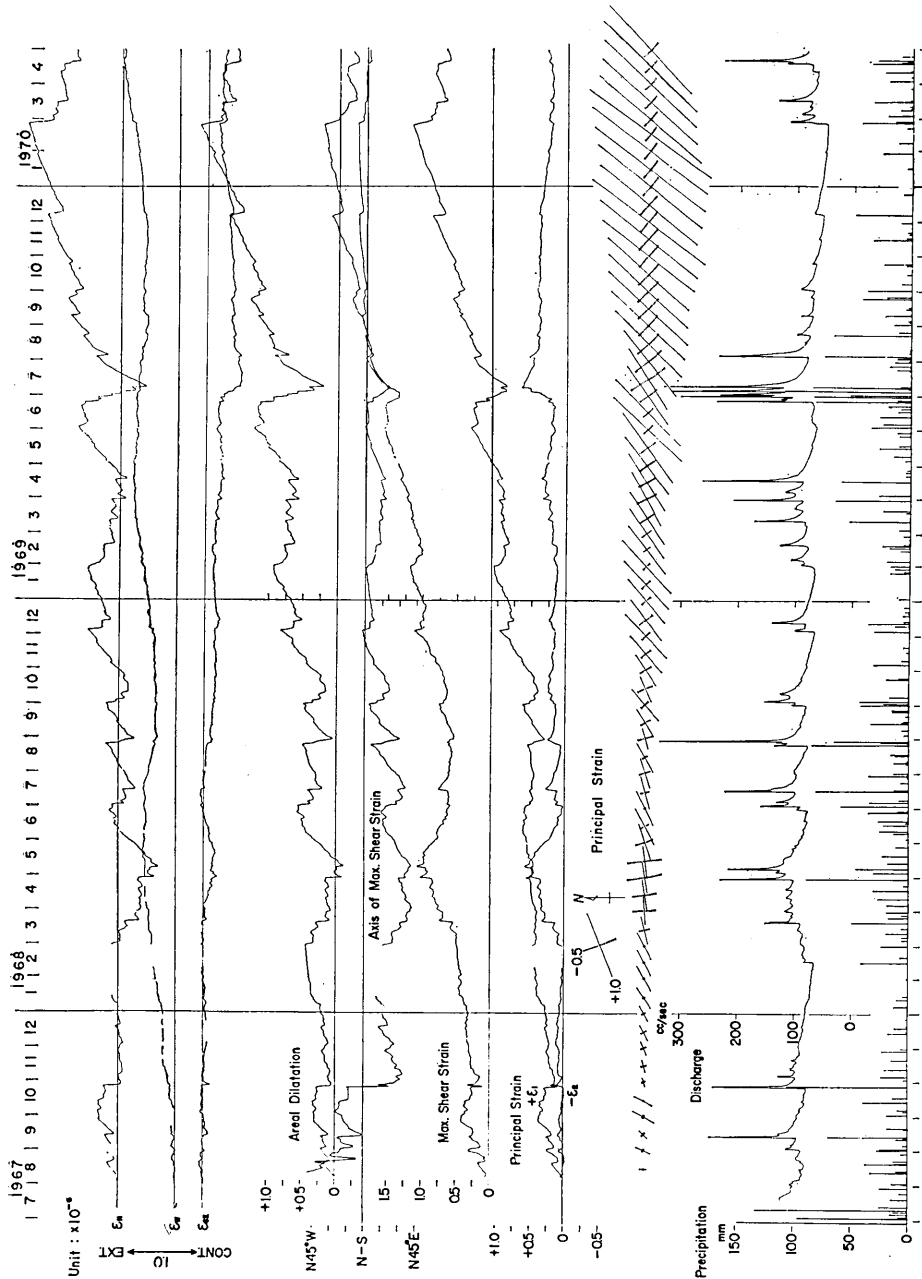


Fig. 3. Strain accumulation at Inuyama Crustal Movement Observatory. Precipitation and discharged water are also indicated.

が観測された。Fig. 1(b) はそのデジタル記録であり、Table 1 には、そこからえられた strain step の値があわせて示してある。この場合も東—西成分の若干の差以外、デジタル、光学各記録ともよく一致しているといえる。こうした点を考慮すると、観測システム自体から生ずる誤差の可能性については、一応の信頼をおいてもよいと思われる。データとしてはデジタル記録によるものを利用して以下の検討を加えてある。

これら二つの地震をはさむ前後2ヶ月間の伸縮変化は Fig. 2 のようになっているが、ステップ歪は、単純に永久歪として平行移動的に引き続き存続し続けるとはいいがたいように思われる。数日の間に指数関数的に回復ないし一定値に漸近していくような変化をしているといえる。

ところで、この期間に数 10 mm に及ぶ降雨が 4 回あり、これに伴って短周期の歪変化が現われている。このような変化は、犬山におけるごく一般的な特徴である。Fig. 3 は 1970 年 4 月末までの全観測期間の歪変化を総括的に図示したものであるが、特に南—北成分に現われる短周期変化は降雨との対応関係が密接である。坑内からは常時 60~80 cc/sec 程度の湧水があって、降雨によってこの湧水量が特徴的な変化をする。歪の短周期変化はむしろ、この湧水量の変化ときわめて強い相関関係にあることはすでに報告⁶⁾してあり、若干の考察も加えてある。従って、重複はさけるが、湧水量変化について若干言及すると、定常時の湧水量は観測坑最奥部にある、ほぼ東—西走向の北傾斜の破碎帯からしみ出す量がほとんどなっていて歪変化との対応が特に密接である。降雨時の急激な増加量は坑道入口附近の風化層から噴出してくるものであって、数日の間に急速に減少し、以後ゆっくり低減していく。従来はこの両者は分離しないまま測定をして来た。Fig. 3 の湧水変化はこのようにして画かれている。1969 年 8 月からは、これらの点を考慮して両者を分離して測定をするようにしている。Fig. 2 には前者を q 、後者を q' としてその変化の様子を図示してある。

岐阜県中部地震に際して、湧水量 q はきわめて興味深い変化をしている。すなわち地震発生後 25 分後の測定ですでにかなりの増加をしめしており、3 時間後には増加量が極大値になっている。その後 10 数時間は急速に減少し、以後定常時におけるのと同様な低減のしかたをして、10 日後に地震発生前の値に復している。一方 q' にはまったくそのような変化はなかった。

根室沖地震に際しても全く同様な現象が起きている。

地震による湧水量の急激な増加は、破碎帯内の間隙水圧の上昇によってもたらされたものと考えてよい。水圧変化が生じてのち、測定値に変化が現われるまで坑内の水路を通過する time lag を考えに入れば、水圧変化が起ったのは、strain step の発生と同時に刻であろうと考えられる。

3. 若干の考察

さてこのようにみえてくると、strain step に関しては、地殻歪と間隙水圧変化による弾性歪とどちらが主要な原因なのかという基本的な問題がもち上ってくる。

第一は、地殻歪が主要原因であって水圧変化はそのために生ずるものであるという立場

Table 2. Principal strains obtained from strain steps

Principal strain	ϵ_1	ϵ_2	Azimuth of ϵ_2
Central part of Gifu	+ 1.5 $\times 10^{-8}$	-13.7 $\times 10^{-8}$	N 2.3° E
Off Nemuro	+ 1.1	- 1.9	N 85.7° E
Central part of Gifu	+ 1.4	- 8.4	N 45.0° E
Off Nemuro	+ 8.0	- 2.0	N 84.1° W

である。この場合は、step 変化は全面的に発震機構そのものと結びつけてよいと考える立場である。第二は、地震に伴う震動によって水圧が変化し、局所的な応力場の変化をもたらす、その弾性歪として記録上に見かけ上の step 変化が現われるとする立場である。これはそのまま strain step を解折に使用することに対し、全面的に否定的な立場をとるものである。この二つを両極端として、第三はその中間の立場すなわち、地殻歪も現われる。その上に水圧変化に伴う弾性歪が重なるとするものである。これまでのいくつかの研究は、第一の立場に立ったものばかりである。これらのうちいずれの立場に立つのがよいかは、現在のところ必ずしも判然としないが、二、三の考察を加えてみたい。

第一の立場に立って、岐阜県中部地震の場合地震発生前を基準として、主歪を求めると Table 2 上段のようになる。その後の時間的変化を追っていくと、Fig. 2 右下に示したようになっていく。すなわち地震直後はほぼ南北方向の収縮のみであったのが、収縮主歪は次第に減少し、逆に伸張主歪が増大しながら反時計方向にその傾きを増していくという変化をしている。ところで2年前のちょうど同じ時期1967年9月13日に台風が通過した。その際の急激な降雨に伴って生じた歪変化から同様に主歪を求め、その時間的変化を Fig. 4 に示したが、両者が実に酷似している。このことは、通例の降雨の場合と全く同様で間隙水圧の変化によるものだけ、つまり第二の立場しかとりえないのではないかとの疑いをもたせる。ちなみに、湧水量が地震発生直前の値に復した10日後の歪の各成分の値をみると、南-北、北西-南東の2成分は完全に変化前の位置と一致している。くいちがいのあるのは東-西成分のみであって、これも3~4日後にはくいちがいはなくなってしまふ。そこで第二の立場に立ってこの場合の step 変化の主歪を求めると Table 2 下段の値となる。その後の時間的変化の様子は Fig. 2 右最下段のようになり、ひどくくいちがい、むしろ逆のセンスに近いとさえいえる。このように、主要原因をどちらにとるかによって全く逆の結果にもなりうるのである。とにかく、岐阜県中部地震に関しては、水圧変化(上昇)が大きな増巾作用をしたことはまちがいないであろう。根室沖地震の場合も同様に求めた値が Table 2 に示してあり、Fig. 2 左下に図で示した。この場合、水圧変化は見かけ上 step 変化に対し負の増巾作用を及ぼしたものと判断出来よう。

現在のところ、地下水圧変化もあわせて検討するには、資料としてこの二例しかない。従ってこれ以上立入った検討や考察は出来ないが、恐らく、第三の立場に立つのが妥当であろうと筆者らは考えている。この問題が明らかとなるためには、さらにいくつかの資料

が必要であるし、各観測所独自のくせもありなかなかやっかいであると思う。一概に地殻といっても、われわれが観測する地殻最表層は水びたしの状態である。従って地下水圧の変化が現われるのはむしろあたりまえというべきであろう。堆積層などで生ずる流砂、噴水現象も地下水圧変化によるものとみるべきであろう。十勝沖地震に際し、坑井の水位が変化したということが鉄道技術研究所から報告⁸⁾されており、その変化の様子が Fig. 5 で示されている。このようなことが、岩盤の中でも、当然起こることが期待される。通例、strain step の値はせいぜい 10^{-7} の桁である。岩石の弾性率を 10^{11} cgs の桁とすれば、地下水位の変化として 10cm 単位の変化があれば充分なのであって決して不都合なものではない。

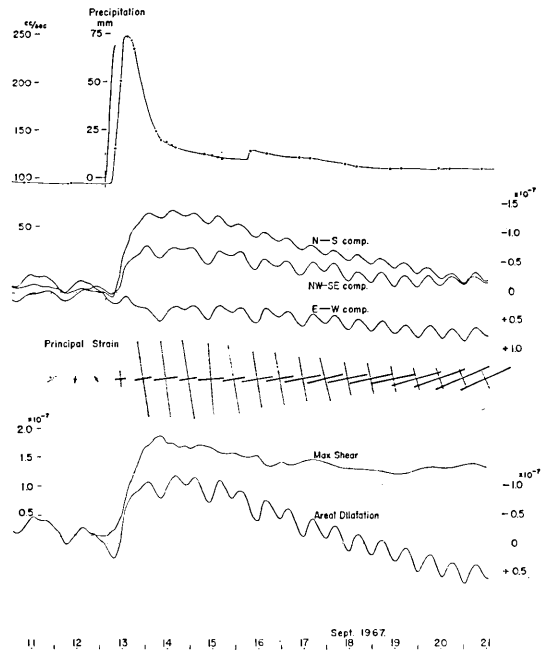


Fig. 4. Abnormal strain change associated with precipitation. A case of Sept. 13, 1967.

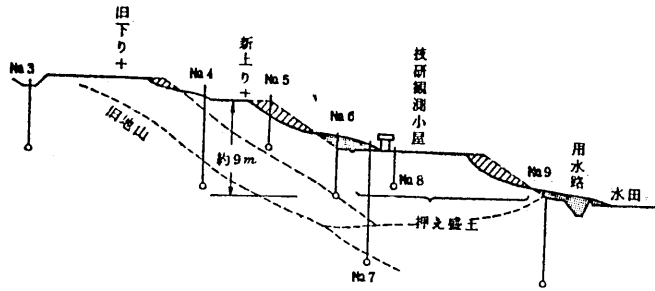
4. 結 論

以上、地震の際に strain step と同時に地下水（間隙水）圧の変化も観測されたことに関連し、観測された strain step がそのまま発震機構自体を反映したものかどうかという基本的な問題に関し、若干の考察を試みた。

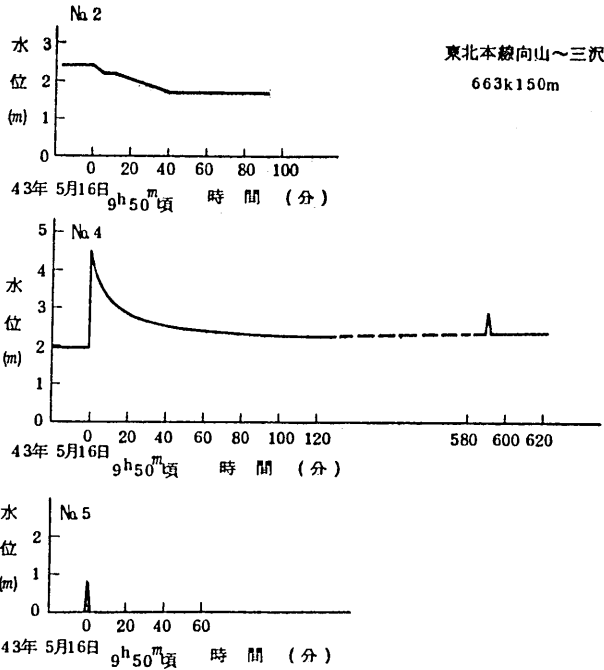
まだきわめて少ない例でしかないので地下水の役割の可能性を指摘するにとどめるが、今後さらにこのような検討を加えていくべきであると考え。

参 考 文 献

- 1) 飯田汲事・青木治三・志知龍一・大井田徹, 1970, 岐阜県中部地震について, 地震予知連絡会会報 2, 62-67.
- 2) 小沢泉夫, 1969, 京都市近傍の地震前後の地殻のひずみの観測, 地震 第2輯 19, 217-225.
- 3) PRESS, F., 1965, Displacements, Strain, and Tilts at Teleseismic Distances, *J. Geophys. Res.*, 70, 2395-2412.
- 4) 竹本修三, 1969, 京都岩倉における地殻変動連続観測 (II), 京大防災研究所年報 29 A, 109-117.
- 5) 竹本修三・高田理夫, 1969, 地震に伴う Strain Step について, 測地学会誌 15, 68-74.
- 6) 飯田汲事・志知龍一・松浦宏, 1969, 犬山における地殻変動連続観測, 測地学会誌 14, 144-155.
- 7) 志知龍一・松浦宏・飯田汲事, 犬山における地殻変動連続観測 (II), 測地学会誌 (投稿中).
- 8) 日本国有鉄道, 十勝沖地震調査報告, 1968, 鉄道技術研究所報告 650, 24-26.



向山～三沢 663 k 150 m
腹付け新盛土の法面崩壊



地震による間ゲキ水圧の変動
(技研土質研究室, 上沢技師による)

Fig. 5. Changes of underground water pressure accompanied by aftershocks of the off Tokachi earthquake; after Railway Technical Research Report No. 650 of the Railway Technical Research Institute, Japan National Railways.

71. *Some Considerations on the Strain-Step associated with the Earthquake of the Central Part of Gifu Prefecture, September 9, 1969.*

By Ryuichi SHICHI and Kumizi IIDA,
Inuyama Crustal Movement Observatory, Nagoya University
and
Tsuneo YAMAUCHI,
Department of Earth Sciences, Nagoya University.

A remarkable strain step was recorded by the strainmeter at the Inuyama Crustal Movement Observatory which is located at a distance of about 48 km from the epicenter of the Gifu earthquake of September 9, 1969, with the magnitude of 6.6. At the same time a rapid increase of discharged water in the observational gallery was also observed. These phenomena were also observed at the time of the off Nemuro (Hokkaido) earthquake of August 12, 1969, with the magnitude of 7.8. In the case of the off Nemuro earthquake the epicentral distance was about 1200 km.

These strain steps and the abnormal increase of discharged water at the time of earthquakes were taken into consideration for the analysis of the crustal deformation accompanied by earthquakes and principal strains obtained from the calculations are listed in Tables 1 and 2, respectively.
