

18. 長岡地震による地盤変動

地震研究所 岡田 惇

(昭和36年5月23日発表—昭和36年6月30日受理)

1. ま え が き

1961年(昭和36年)2月2日3時29分長岡市内信濃川左岸周辺に発生した地震は、いわゆる局所的な強震で、震央附近は震度5~6を示した。震央の位置はFig. 1およびFig. 2に示す通りで気象庁発表によれば $37^{\circ}27'N$, $138^{\circ}49'E$ 震源の深さは約10kmである。Magnitude (Gutenberg-Richter)は5.0, 震央附近半径2~4kmの地域の農村家屋は強震によつて甚大な被害を生じた¹⁾²⁾。不幸にも現地は日本有数の豪雪地域で、地震発生当時は近年にない大積雪と重なり、地盤の変動あるいは地表面における変化は全く

観測できなかつた。したがつて雪解けをまつて1961年5月中旬震央附近の一等水準路線について検測を行ない、地震前国土地理院(旧地理調査所)によつて数回改測された結果³⁾と比較し、昭和2年10月27日発生したほぼ同じ地域の同じ程度の関原地震前後における水準点の垂直変動についても比較した。その結果及び融雪後になつて観測された地表面のfractureなどについて報告する。

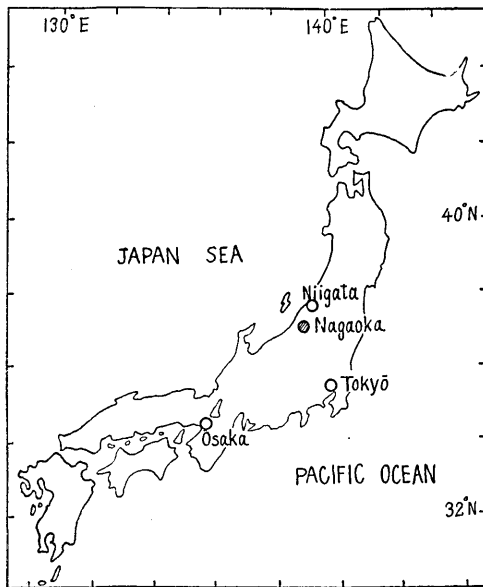


Fig. 1. Location map of Nagaoka Earthquake (1961. 2. 2).

2. 長岡地震の概要

本地震については地震直後に地震研究所河角広教授⁴⁾, 大沢胖助教授⁵⁾および柴野陸郎技官らによつて一般調査ならびに構造物の被害に関する詳細な報告がなされ、また地震計測は気象庁

- 1) 気象庁新潟気象台 長岡地震調査概報 1961年2月.
- 2) 新潟県 長岡地震の状況 昭和36年2月25日調査.
- 3) 国土地理院 新潟地方地盤調査一, 二等水準点成果表 1960年7月.
- 4) 地震研究所談話会 昭和36年2月28日.
- 5) 地震研究所談話会 昭和36年3月28日.

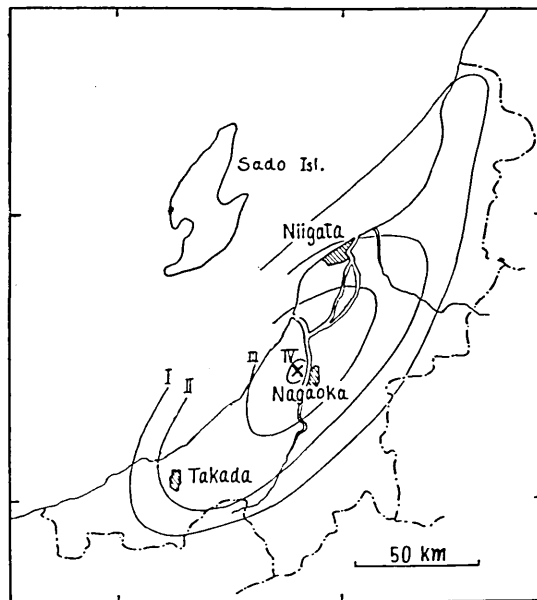


Fig. 2. Isoseismal map of Nagaoka Earthquake Feb. 2nd, 1961 (after Niigata Meteorological observatory).

新潟気象台の調査報告⁶⁾が発表されている。ここでは簡単にその概要を述べておく。

(1) 震央および震度分布

新潟気象台長岡地震調査報告によれば震央の位置は前に述べた通りで、震度分布は Fig. 2 に示した。Fig. 2 によれば限られたせまい範囲の有感半径を示し、かつ等震度曲線は北東より南西にのびる長細い楕円形をなしていることが分る。とくに注目されることは近接した南東部山岳地帯 (Tertiary crop out) では無感であるのにたいし、海岸沿いの平野および丘陵地帯 (Alluvium, Delluvium) に震度分布が拡がっていることである。震央付近では震度 5~6 を示し大きな被害を生じているにもかかわらず、震度分布がこのような拡がりを見せていることは、震源が非常に浅いこと、すなわち本州内陸に発生する大部分の浅発性の破壊的地震が示す共通の性質を持つものと思われる。Fig. 3 は被害の著しかった震央附近の震度分布と地形を示したものである。震央附近の地変は積雪のため観測されなかつたが積雪上の crack が古正寺町付近で幾条か認められたことが報告されている。

6) 気象庁新潟気象台 *loc. cit.* 1)

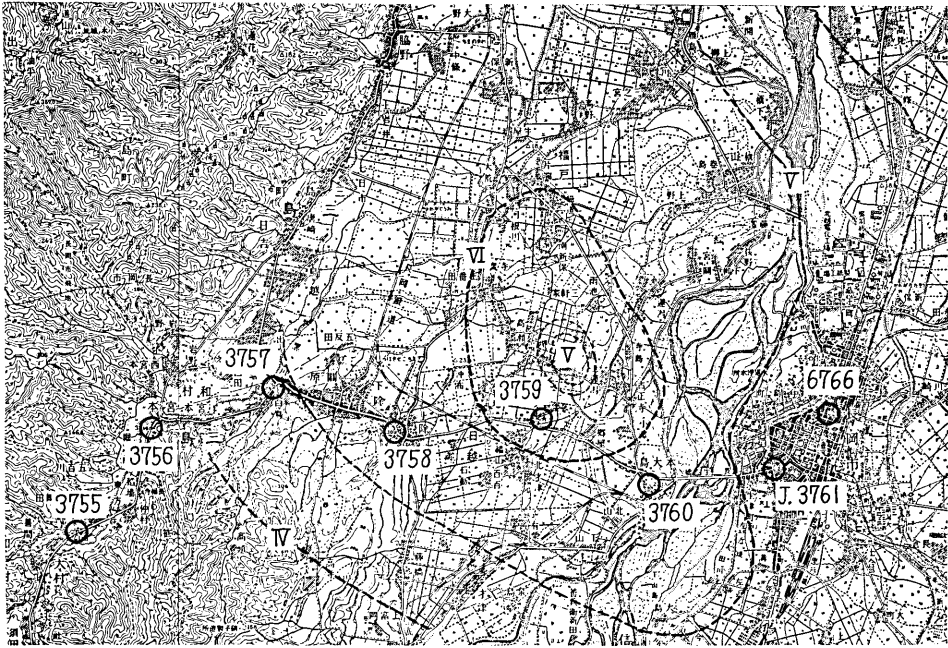


Fig. 3. Topographical map of the epicentral area showing isoseismal lines.

(2) 融雪後の地変の状況

本地方の融雪期は4月上旬でこの時季には田畑を覆った積雪は全く消えてしまう。Fig. 4には融雪後に発見した fracture の分布を示し、Figs. 8~11には当時の様子と5月中旬における田畑の耕作後の写真を示した。Fig. 11には白い噴砂がかすかに地表に残っているのが分る。国道8号線に沿う喜多町—三津郷屋町間には走向 $N60^{\circ}-70^{\circ}E$ 、古正寺町北西では走向 $N0^{\circ}-10^{\circ}W$ に幾条かの fracture が主なものである⁷⁾、Figs. 8~10を見ると丁度泥火山における fissure 状の噴出と類似し、福井地震の場合における噴砂と全く類似しているが福井地震と比べてはるかに規模は小さいようである。これらの fracture は2m近い積雪の下で地震と同時に発生したものと考えられる。5月中旬にはすでに耕されていたが一部に噴砂のあとが見られた (Fig. 11)。前節で述べた地震時における積雪上の crack の下には、fracture は認められなかつた。

3. 地形および地質

長岡市周辺の地勢は信濃川本流が中央背陵山脈より発して北流しながら越後平野に入る附近で東西約6kmの巾を有する沖積層および洪積層でその厚さはそれぞれ80~100mといわれている。この下は新第三期の互層からなり第三期の基盤に達する。新第三期に

7) 新潟気象台、長岡気象通報所々長小黒技官調査による。

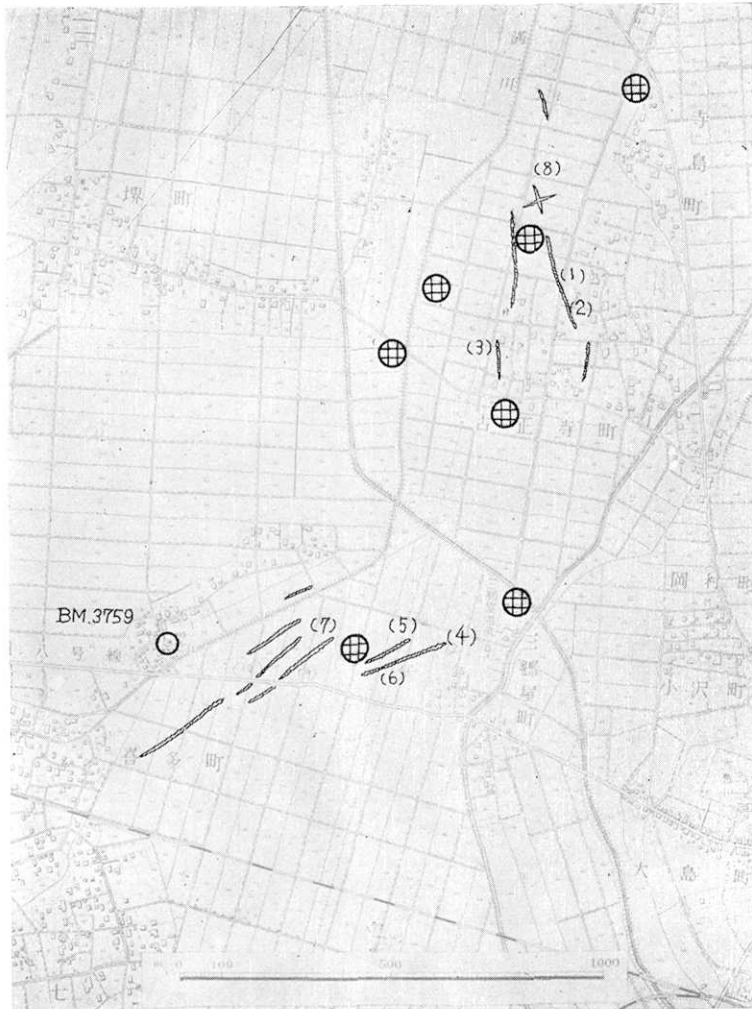
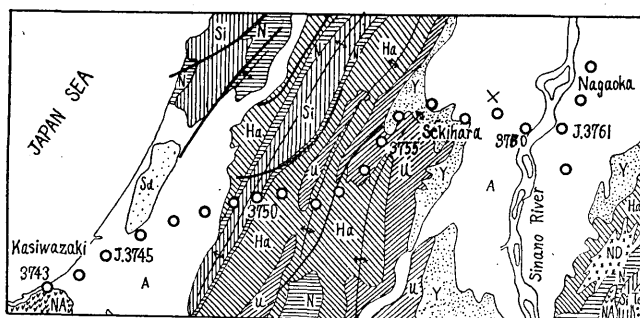


Fig. 4. Fracture zones. (after Nagaoka Weather Reporting Station)

は構造的なガスを含む推谷層、寺泊層が地表より約 1000 m 内外にあつて、この地域は近年構造的なガスの採取が盛んに行われ近代工業都市として発展しつつある。したがつて地質構造も良く調査されているものと思われる。Fig. 5 にはこの地域の地質構造を概観するために地質図の概要を示した。震央附近と推定される沖積層の下部には新第三期の魚沼層、灰爪層、西山層、推谷層、寺泊層が夫々互層し、推谷層より構造的なガスが採取されることからこの附近沖積層下にも背斜構造が認められる。昭和 2 年 10 月 27 日発生した関原地



A	Alluvial	} Quaternary
Sd	Sand hill	
Y	Yasirota formation	
U	Uonuma bed	} Pliocene
Ha	Haizume formation	
ND	Quartz andesite	
N	Nisiyama formation	} Miocene
Si	Siiya formation	
Te	Teradomari formation	

Fig. 5. Geological map (after Niigata Prefecture) and levelling route from Kasiwazaki City to Nagaoka City.

震⁸⁾の震央はやや今回の震央に比べて西に偏し、地質図で見られる関原町附近にある背斜軸附近と考えられる。浅発性の地震がこのような地質構造の下で 10 km 以内の浅い所に発生していることは、興味あることで始めにも述べたように、過去の大町地震、関原地震、今市地震、二つ井地震、白石地震なども同型の内陸性の小型破壊地震であると考えられる。

4. 水準点の垂直変動

(1) 震央附近の変動

地震発生から約3ヵ月後の昭和36年5月14日より21日までの間、Fig. 3に示すような一等水準路線に沿って検測を行った。すなわち長岡市 (BM. No. 6766) — 宮本町 (BM. No. 3755) まで約 14 km の route について水準点の変動を調べた。使用器械は Zeiss Opton Precise Automatic Level⁹⁾ および plane parallel with micrometer と invar staff を用いた。検測の結果は Table 1 および 2 に示してある。この route は過去5回改測が行われていて、関原地震前後における短い期間にも再測があつて良く調べられた所である。前の測定結果と今回の測定を、BM. No. 3749 (中通) を不動として比較し、そ

8) C. Tsuboi, "Investigation on the Deformation of the Earth Crust Found by Precise Geodetic Means" *Japanese Journal of Astronomy and Geophysics*, 10 (1932), 109.

9) 岡田 惇 「紀伊半島南端部附近の地殻変動について」地震研究所彙報 38 (1960), 115.

の結果をそれぞれの期間に分けて変動量を示したのが Fig. 6 である。今回の測定はこの route のうち約半分であるがきわめて顕著なようすを示している。Fig. 6 の変動図から気のついたことを述べると

(a) 1927.7—1894

関原地震以前の変動図で特に目立つことは数軒あるいはそれ以上の振巾で明瞭な上昇あるいは沈降が見られる。これについては(2)で述べる。長岡市内信濃川流域沖積層の最も厚くなる付近で沈降が大きいように見える。

(b) 1927.11—1927.7¹⁰⁾

1927 (昭和2年) 10月27日関原地震が発生し直に検測が行われた結果で震央附近の二つの水準点が隆起を示している。変動量は約2cmで BM. 3757, BM. 3758号附近が極大となり両側はほとんど変化がない。この地震の Magnitude は 5.2 である。

(c) 1930—1927.7

1930年度における広範囲にわたる検測の結果と1927.7とを比べたものである。すなわち関原地震の隆起がそのまま残つていてほとんど変化が見られない。

(d) 1955—1930

この長期間の変動図であるが、故障点が多く1955年度に新しく復旧したため旧の測定値との詳しい比較ができない。ただ BM. 3755より東寄りに関原町附近まで上昇している。

(e) 1958—1955

国土地理院による新潟地方地盤沈下調査の一部として行われたもので約3年間の変動は BM. 3755を頂点に全く対称的に傾動している。これは興味ある現象で特に8~9mmの沈降が B.M. 3759において認められる。

(f) 1961.5—1958

今回の長岡地震による変動の結果で(e)に示した BM. 3759の沈降部が相対的に約5cmの上昇をした。BM. 3759は震央地域に最も近い所に位置し Fig. 4に示したような fracture zoneにも近接していることから、震央附近にほぼ同程度あるいはそれ以上の隆起が行なわれたと推定される。上昇地域の範囲は限られていて震央より2~3kmより遠くには及ばないようである。

以上の観点からそれぞれの期間を総合して考えると BM. 3755より西方の小さい起伏は地震活動とは直接関係しているようには見えない。なぜならば BM. 3749~BM. 3755間の相対変動量は微少で関原および長岡地震に関係する地域の変動ははるかに大きくて判別することができる。

(2) 柏崎—長岡間における垂直変動

Fig. 7は1894年の測量に refer した 1927.7, 1930, 1955, 1958年の結果を BM. 3742

10) C. Tsuboi, *loc. cit.* 8)

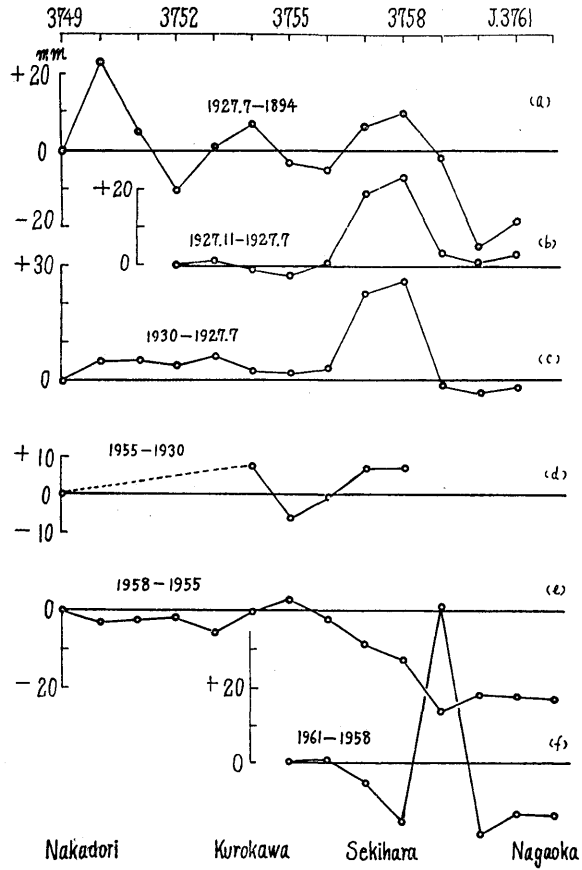


Fig. 6. Change of heights of bench marks in the neighbourhood of Sekihara and Nagaoka earthquake.

Table 1. Results of the Levelling Survey

BM. No.	Loc.	1955*	1958*	1961
		m	m	**
3755	Miyamoto	41,9811	41,9297	41,9297
3756		33,6551	33,5989	33,5996
3757	Sekihara	29,0299	28,9672	28,9607
3758		37,3920	37,3253	37,3102
3759	Kita	22,3154	22,2347	22,2744
3760		23,0264	22,9502	22,9316
J 3761	Nagaoka	21,4049	21,3281	21,3152
6766		—	20,5048	20,4912

* GSI の成果より ** 1958 の結果を不動と仮定

Table 2. Change Heights of Bench Marks along the route from Nakadôri (BM. No. 3749) to Nagaoka (DM. No. U. 3761).

BM. No.	Loc.	1927.7-1894	1930-1927.7	1955-1930	1958-1955	1961-1958	Remark
		mm	mm	mm	mm	mm	
3749	Nakadôri	0.0	0.0	0.0	0.0		Assum.
3750		+23.4	+4.3	—*	—3.6		
3751		+4.9	+5.3	—*	—3.4		
3752		—10.1	+4.0	—*	—2.7		
3753		+0.7	+6.0	—*	—6.4		
3754		+6.5	+3.0	+7.5	—0.4		
3755	Miyamoto	—3.8	+2.1	—5.9	+2.2	0.0**	
3756		—5.4	+3.2	—0.3	—2.6	+0.7	
3757	Sekihara	+6.2	+22.9	+6.6	—9.1	—6.5	
3758		+9.4	+25.8	+6.6	—13.1	—15.1	
3759	Kita	—2.8	—1.2	—*	—27.1	+39.7	
3760		—25.6	—3.1	—*	—22.6	—18.7	
J. 3761	Nagaoka	—19.5	—1.5	—*	—23.2	—12.9	
6766						—13.6	

* 1955 移転改埋. ** BM. No. 3755=Fix.

(柏崎西方鯨波附近)を不動とした変動区である。ただし1930年の観測は柏崎市 BM. J. 3745 に refer した。この変動区から定性的にはほぼ一致した傾向がみられる。すなわちある一定の波長で peak が現われていることが注目される。このことはすでに山崎、大塚両博士¹¹⁾によつて指摘された褶曲構造の活動性を意味している。また geology の詳しい知識からも anticline がほぼこの peak に対応する事実が Fig. 5 によつても証明される。また一方地形学的に考察すれば、これらの変動曲線の peak の附近には日本海々岸に平行に走る mountain ridge にも対応し、長岡地震の震央附近にも、南方来迎寺附近で沖積層に没する ridge の延長を考察することができる。

活動褶曲については秋田県米代川流域、山形県小国川流域、新潟県小千谷市周辺で更に細かく Bench Mark を設置して研究を進めているので変動の様子はもつと短い波長で分ることと思う^{12) 13)}。

5. 結果の考察

昭和8年9月21日能登地震による変動、大町地震(1918.11.11)¹⁴⁾、関原地震(1927.

- 11) 大塚弥之助 地質構造とその研究 昭和27年。
- 12) 「活動褶曲に関する研究の概要」地震研究所 1956年1月。
- 13) 宮村撰三・岡田 惇 「米代川にそつ一部水準路線の測量(第3報)」—1955年10月19日二ツ井地震にともなう水準変動—地震研究所彙報 34 (1956)。
- 14) 大森辰吉 「大正7年信州大町地方激震調査報告(第二回)」「松本糸魚川ならびに糸魚川輪島間地盤垂直変動」震災予防調査会報告第98号。

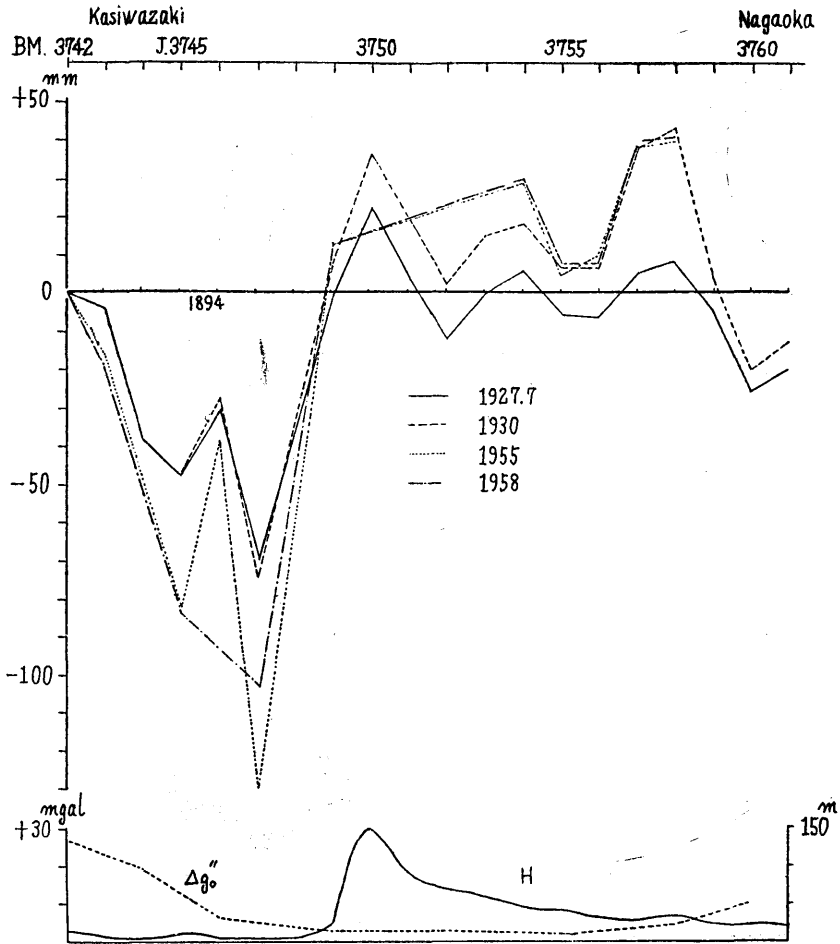


Fig. 7. Vertical displacement of Bench Marks along the route from Kasiwazaki City to Nagaoka City.

10.27)¹⁵⁾、今市地震 (1949.12.26)¹⁶⁾ いずれも同様の隆起変動を生じた局部的な、いわゆる内陸型の小型破壊地震と考えられ、これらの地震は発生した場所の地理的分布には規則性はないが発生の機構には共通したものが、本調査の垂直変動の調査結果を加へて更に強く感じられる。

長岡地震による水準点の垂直変位から

1) 1927 年関原地震前後の水準点の垂直変動の peak より約 2~3 km 東にずれて今

15) C. TSUBOI, *loc. cit.* 8)

16) 地理調査所「一等水準点検測成果集録」第1巻 昭和30年.

回の長岡地震前後の変動があらわれているから震源が東に移動していることが推定できる。

- 2) 長岡地震前の 1958—1955 年の約 3 年間の変動では、今回の隆起の頂点、すなわち喜多町 BM. No. 3759 附近が約 8~9 mm 相対的に沈降していることが注目される。

以上のことがらは震源の物理的性状と、地質構造の上で最も関係深いことと思われる。同様に地殻を構成する、換言すれば震源を含めて、これをとりまく物質の物理的性質について何らかの暗示を与えている。

6. 謝 辞

本調査に当つては萩原尊礼教授の御指導をいただき、また高橋竜太郎所長、河角広教授からはいろいろ有益な御教示を得た。現地の調査に関しては長岡市長を始め同市土木課諸氏の御協力を得た。ここにそれぞれの方に謝意を表する次第である。

18. *Land Deformation accompanying with Nagaoka Earthquake, Feb. 2nd, 1961.*

By Atusi OKADA,
Earthquake Research Institute.

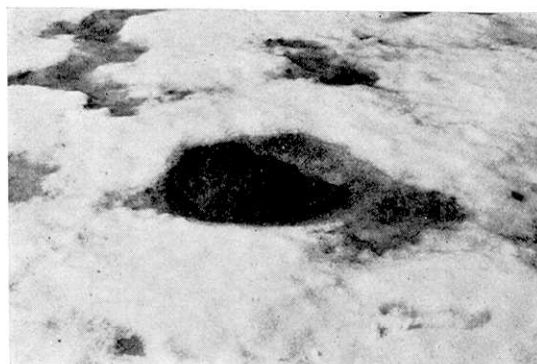
(1) A local, but severe earthquake occurred near Nagaoka City, Niigata Prefecture, on February 2nd, 1961. Its epicentral area was in the western part of Nagaoka City, being not very far from the area stricken by the Sekihara Earthquake of 1927. Figs. 2 and 3 show the epicenter and isoseismal lines of the earthquake (after JMA, Niigata Meteorological Observatory). According to the JMA, the epicenter was located at $37^{\circ} 27' N$ and $138^{\circ} 49' E$, and the depth of the origin about 10 km. The magnitude of the earthquake was 5.0. (Gutenberg—Richter)

Damage was sustained in a small area within about 2—4 km radius in the vicinity of the epicenter. As the stricken district was deeply covered with snow, any topographical change such as earthquake fault and fracture in the ground could not be found there at that time. In order to determine the crustal movement, if any, of the epicentral area, the writer carried out in May, 1961, a 1st order precise levelling resurvey along the route in the area. (Fig. 3)

This report presents the results of the levelling resurvey and shows the vertical change of the ground in the past sixty years by comparing the results with old data given by the GSI. It refers to the active folds mentioned before as being revealed in the level change along the route from Nagaoka to Kasiwazaki.

(2) According to Prof. H. Kawasumi and others, who inspected the stricken area immediately after the earthquake, the earthquake shocks were felt in an area only about 50 km in radius, in Niigata Prefecture and mainly in the Quaternary terrane near the

(1)



(2)

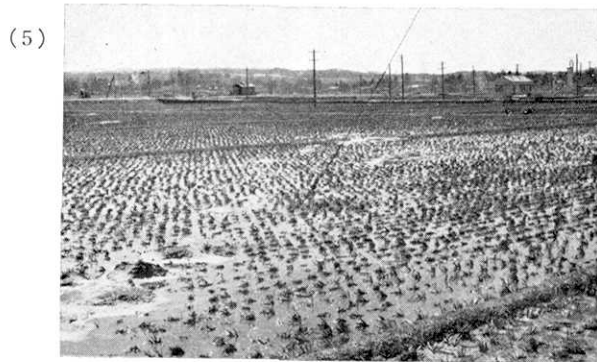
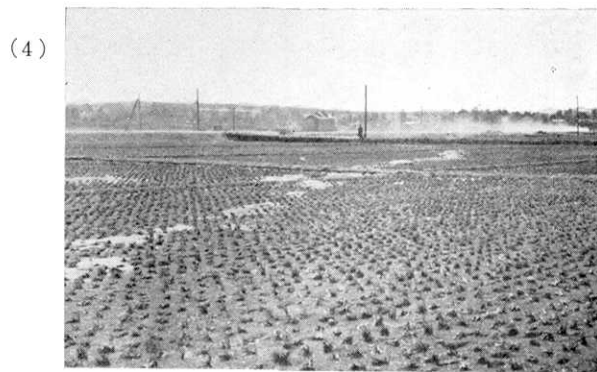


(3)



(震研彙報 第三十九号 図版 岡田)

Fig. 8. Fractures, location showed in Fig. 4
(Photo by Mr. Koguro).



(震研彙報 第三十九号 図版 岡田)

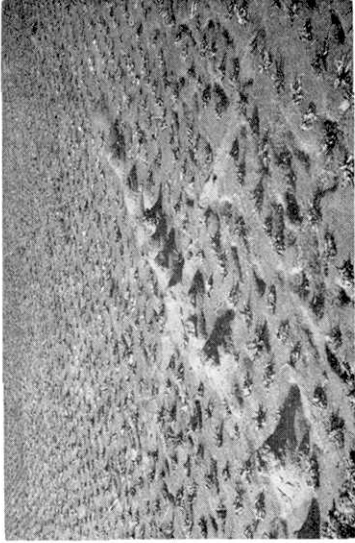
Fig. 9. Fractures, location showed in Fig. 4
(Photo by Mr. Koguro).

[A. Okada]



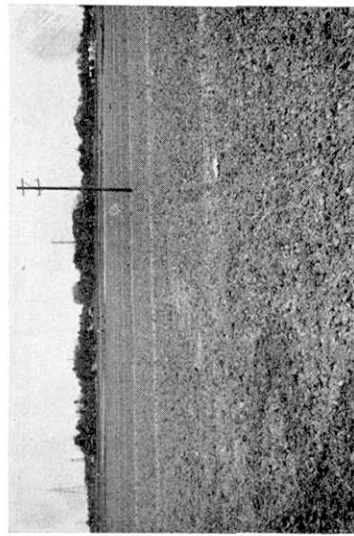
(7)

[Bull. Earthq. Res. Inst., Vol. 39. Pl. 16]



(8)

Fig. 10. Fractures, location showed in Fig. 4 (Photo by Mr. Koguro)



(9)



(10)

Fig. 11. View of fractured area on May 18th.

shore of the Japan Sea, and they were not felt in the eastern mountainous area bounded by the Tertiary zone. Thus the isoseismal lines described ellipsoidal form with the major axis in a NE-SW direction. In spite of the relative narrowness of the affected area, the earthquake near its epicenter was 5-6 in intensity, the sudden attenuation of the isoseismal distribution being perhaps due to the shallow depth of the earthquake origin as is usual in most cases of the inland destructive earthquakes of Japan. Intensity distribution in the epicentral area is shown in Fig. 3. About two months after the earthquake, when the ground of the stricken area had been completely exposed to view after the thaw, we found many fractures in the ground as in Fig. 4 and Figs. 8-11. On Highway No. 8, between Kita-town and Mitugoya-town, the general strike of the fractures was $N 60^{\circ}-70^{\circ} E$, in Kosyôji-town it was about $N 0^{\circ}-10^{\circ} W$. Some of these fractures were attended by small cones and spouts formed of sand and mud, just like mud volcanoes. These cones and spouts showed that they had been formed by spouting of mud and sand with the water from underground water layers about 5-20 meters beneath, at the time of the earthquake.

(3) The route along which the writer carried out the levelling resurvey in May 14th-21th, is about 14 km distance from Nagaoka to Miyamoto (BM. No. 3755-6766). The levelling of this route was carried out at six previous times by GSI that is in 1894, 1927.7, 1927.11, 1930, 1955, and 1958. Fig. 6 shows the vertical displacement of the bench marks during successive time intervals the BM. No. 3749 being assumed to be fixed. Of the remarkable features shown in the diagrams, the following may be mentioned.

- 1) The vertical change in height of the bench marks along the route from No. 3749 to No. 6766 during the period 1958-1955, shows a general subsidence to the east. The BM. No. 3759 shows a little extra depression (8-9 mm) than other bench marks.
- 2) In the period in which the present earthquake occurred, the general subsidence was still going on, but remarkable uplift took place at the BM. No. 3759, possibly in conversion with the earthquake.
- 3) The BM. No. 3759 is closest in distance to the presumed epicenter, and the upheaved area is considered to be about 2-3 km in radius.

Vertical displacement of the bench marks from Kasiwazaki to Nagaoka is shown in Fig. 7. The curves in the figure are drawn using the survey in 1894 as a comparative base and the BM. No. 3742 as fixed. It is remarkable that the displacement took place in the same way and with an undulation of almost constant wave length in the successive periods.