

善光寺地震断層の重力調査

地震研究所 { 萩原 幸男
長 沢 工
大久保 修平

(昭和61年7月10日受理)

要 旨

1847年善光寺地震のとき発生した断層は垂直変位をもつので、断層をはさむ両側のブーゲー異常に差が生じている可能性がある。断層によるブーゲー異常の乱れの発見を目的として、長野市街地を中心に84点の重力測定を実施した。しかし結果として、期待されたコンターの乱れは発見されなかった。

この地震断層の西側に隣接して、顕著な低ブーゲー異常帯が存在することが判明した。これは断層破碎帯のような特異な構造に関連するものかもしれない。

1. はじめに

1847年5月8日(弘化4年3月24日)の夜9時ごろ、M7.4の大地震が発生し、現在の長野市を中心に多大の被害を与えた(宇佐美, 1975)。たまたま善光寺では7年に1度の宗教行事に当り、多くの参詣人が災害に巻き込まれた。被害に関する調査は佐山・河角(1973)に詳しい。大森(1913)の調査によれば、地震断層は現在の長野市街部の西側、県庁から信州大学教育学部を通る位置に出現した。この付近では断層の落差は2.4 mに達し、断層の東側が相対的に沈降した。

最近になって、上記の地震断層が潜在すると思われる位置に地割れが発見された。県庁の石段、合同庁舎の石垣などに亀裂が走り、それを辿ると信州大学教育学部キャンパスに続く。しかも地割れの東側に若干の沈下が認められた(地質調査所, 1986)。たまたま長野市地附山に大規模な地すべり(1985年7月26日)が発生した後でもあり、マスコミの活発な報道も加わって、善光寺地震の再来の危惧も抱かれはじめた。

この地震断層の活動は887年(仁和3年)信濃北部地震(M7.4)以来のものであり、このことから活動周期は約1000年と考えられる。もしこの考えが正しければ、今回の地割れを直ちに断層活動の再開に結びつけることはできない。しかし人口密集地のことでもあり、万が一を考えて、この機会にいろいろな角度から断層調査を実施するべきであろう。

善光寺地震断層は垂直変位をもつので、断層線に沿ってブーゲー異常のコンターが乱れている可能性がある。この地域はKONO *et al.* (1982, 1983)によるブーゲー異常図に含まれてはいるが、断層の影響がコンターの上に現われる程に詳しいマップではない。重力測定間隔を小さくして、密度の高い測定をすれば、断層を検出できるかもしれない。とにかくこの機会に断層付近の詳細な重力測定を実施することにした。

Table 1. Gravity values observed in the Zenkoji earthquake fault area, Nagano City, Central Japan.

BM : gravity station

LAT : latitude

LONG: longitude

H : height

G : gravity

TC : terrain correction

DG : Bouguer anomaly

BM	LAT	LONG	H	G	TC	DG
	° /	° /	m	mgal	mgal	mgal
NG 1	36 39.48	138 11.87	379.7	979763.92	2.99	-33.50
NG 2	36 39.36	138 10.37	389.1	979754.06	6.03	-38.30
NG 3	36 39.38	138 10.47	401.6	979752.21	5.23	-38.52
NG 4	36 39.32	138 10.51	401.0	979752.42	5.10	-38.47
NG 5	36 39.25	138 10.60	398.9	979752.82	4.51	-38.97
NG 6	36 39.24	138 10.71	395.5	979753.64	4.00	-39.31
NG 7	36 39.20	138 10.90	391.8	979755.61	3.58	-38.44
NG 8	36 39.19	138 11.00	391.1	979756.63	3.39	-37.73
NG 9	36 39.20	138 11.09	390.2	979757.23	3.31	-37.40
NG 10	36 39.20	138 11.22	387.0	979758.80	3.20	-36.57
NG 11	36 39.18	138 11.38	384.2	979760.95	3.20	-34.94
NG 12	36 39.10	138 11.44	375.3	979763.69	2.88	-34.16
NG 13	36 39.10	138 11.53	373.4	979764.63	2.86	-33.62
NG 14	36 39.10	138 11.64	369.2	979765.96	2.80	-33.17
NG 15	36 39.11	138 11.80	365.2	979767.40	2.78	-32.55
NG 16	36 39.08	138 12.38	359.8	979770.61	2.46	-30.68
NG 17	36 39.15	138 12.19	362.2	979769.24	2.56	-31.58
NG 18	36 39.20	138 12.03	364.8	979768.09	2.64	-32.21
NG 19	36 39.24	138 11.88	368.1	979766.61	2.75	-32.99
NG 20	36 39.33	138 11.86	369.1	979765.77	2.88	-33.63
NG 21	36 38.38	138 11.38	361.9	979769.48	2.54	-30.31
NG 22	36 38.60	138 11.71	359.6	979770.38	2.54	-30.18
NG 23	36 38.55	138 11.82	359.5	979771.04	2.43	-29.57
NG 24	36 38.60	138 11.58	363.1	979769.16	2.54	-30.71
NG 25	36 38.56	138 11.40	364.1	979768.56	2.59	-31.00
NG 26	36 38.65	138 11.30	365.0	979767.68	2.72	-31.70
NG 27	36 38.63	138 11.12	367.0	979766.48	2.88	-32.32
NG 28	36 38.58	138 10.89	369.9	979764.86	3.31	-32.87
NG 29	36 38.26	138 10.80	370.6	979765.10	2.91	-32.43
NG 30	36 38.54	138 10.73	381.1	979761.02	3.66	-34.10
NG 31	36 38.40	138 10.54	411.0	979753.72	3.44	-35.53
NG 32	36 38.58	138 10.56	426.9	979750.16	3.44	-36.22
NG 33	36 38.61	138 10.30	469.0	979739.54	3.74	-38.31
NG 34	36 38.77	138 10.15	509.3	979728.89	4.83	-40.17
NG 35	36 38.78	138 10.97	371.2	979763.53	3.31	-34.23
NG 36	36 38.88	138 10.90	374.5	979761.88	3.58	-35.11
NG 37	36 38.97	138 10.74	375.4	979758.64	5.34	-36.54
NG 38	36 38.89	138 11.11	370.2	979764.44	3.07	-33.92
NG 39	36 38.89	138 11.25	368.0	979765.57	2.91	-33.38
NG 40	36 38.90	138 11.41	369.0	979766.09	2.78	-32.81
NG 41	36 38.80	138 11.53	364.7	979767.79	2.67	-31.92
NG 42	36 38.87	138 11.61	365.7	979767.74	2.64	-31.90
NG 43	36 38.88	138 11.75	364.7	979768.44	2.62	-31.44
NG 44	36 38.91	138 11.84	363.8	979768.80	2.70	-31.22
NG 45	36 38.90	138 11.96	362.5	979769.59	2.54	-30.83

(To be continued)

Table 1. (Continued)

BM	LAT	LONG	H	G	TC	DG
	° /	° /	m	mgal	mgal	mgal
NG 46	36 38.89	138 12.11	361.0	979770.36	2.46	-30.42
NG 47	36 39.48	138 11.67	415.5	979753.04	3.10	-37.23
NG 48	36 39.41	138 11.51	399.9	979756.14	2.96	-37.23
NG 49	36 39.41	138 11.35	405.4	979754.03	3.18	-38.05
NG 50	36 39.58	138 11.38	412.9	979752.36	3.31	-38.35
NG 51	36 39.60	138 11.60	407.1	979754.53	3.07	-37.59
NG 52	36 39.60	138 11.72	414.6	979753.09	3.18	-37.45
NG 53	36 39.52	138 11.23	416.2	979751.19	3.39	-38.71
NG 54	36 39.62	138 11.24	426.1	979748.80	3.58	-39.11
NG 55	36 39.57	138 11.10	433.9	979746.22	4.33	-39.33
NG 56	36 39.66	138 10.91	485.7	979735.15	4.43	-40.24
NG 57	36 39.49	138 10.85	469.9	979737.72	4.70	-40.26
NG 58	36 39.53	138 10.69	449.0	979742.10	6.01	-38.74
NG 59	36 39.43	138 10.60	411.0	979750.16	5.66	-38.36
NG 60	36 39.52	138 10.20	418.4	979746.47	8.20	-38.19
NG 61	36 39.51	138 9.95	424.7	979745.80	6.41	-39.39
NG 62	36 39.51	138 10.41	421.7	979747.69	7.13	-37.37
NG 63	36 39.34	138 10.77	401.4	979752.22	4.11	-39.61
NG 64	36 39.32	138 10.96	393.2	979755.51	3.76	-38.25
NG 65	36 39.34	138 11.23	401.0	979754.56	3.20	-38.26
NG 66	36 39.37	138 11.10	397.3	979755.13	3.50	-38.16
NG 67	36 39.03	138 11.10	375.2	979762.27	3.18	-35.20
NG 68	36 39.09	138 11.24	376.1	979762.44	3.07	-35.05
NG 69	36 38.99	138 11.35	369.2	979765.34	2.91	-33.52
NG 70	36 39.01	138 10.96	379.3	979760.11	3.66	-36.04
NG 71	36 39.12	138 10.93	389.5	979756.95	3.44	-37.57
NG 72	36 39.15	138 10.80	388.5	979755.89	3.79	-38.52
NG 73	36 39.10	138 10.76	387.2	979755.83	3.92	-38.63
NG 74	36 38.74	138 11.93	360.7	979770.39	2.43	-30.26
NG 75	36 38.70	138 11.81	361.5	979769.94	2.48	-30.44
NG 76	36 38.75	138 11.73	363.3	979769.06	2.54	-30.99
NG 77	36 38.77	138 11.63	363.8	979768.54	2.59	-31.39
NG 78	36 38.79	138 11.41	365.8	979766.80	2.72	-32.63
NG 79	36 38.80	138 11.27	367.5	979766.32	2.83	-32.68
NG 80	36 38.83	138 11.10	369.7	979764.92	3.04	-33.48
NG 81	36 38.74	138 11.12	368.9	979765.67	2.94	-32.86
NG 82	36 38.67	138 10.76	385.8	979759.59	3.84	-34.61
NG 83	36 38.71	138 10.86	383.5	979760.60	3.52	-34.43
NG 84	36 38.67	138 10.98	371.0	979764.74	3.15	-33.06

2. 重 力 測 定

1986年6月4日と5日にかけて、長野市街地を中心に84点の重力測定を実施した。善光寺に近い国土地理院水準点 3653 (Table 1 において NG 1) を基準点として、午前と午後それぞれの測定はすべてこの水準点から出発し、この水準点に戻るように行われた。当初この基準点の重力値を基準値として採用する予定であったが、この水準点は最近道路拡張工事のため改埋された様子であったので、国鉄長野駅南端にある水準点 3654 (Table 1 において NG 21) の国土地理院重力値 ($g=979,769.48$ mgal) を基準値とした。

その他の重力点の標高は長野市発行 1/2,500 地形図によった。この地形図では、例えば道路交差点の中央に標高がとられていても、実際には歩道上で重力測定を行ったし、また崖や溝など測定点近傍の地形の影響がありそうな位置を避けるため、適当に測定点を移す

こともあった。しかしつねに測定点の高さが地形図の標高点の高さと ± 50 cm (目測) とは違わないように配慮した。最終的に得るブーゲー異常図のコンター間隔を 1 mgal とすれば、標高に ± 50 cm 程度の誤差があっても問題にならない。

使用した重力計はラコステ G210 であり、その野外における測定誤差は通常 ± 0.02 mgal 以下と考えられる。測定中に異常なドリフトやテアがたとえ発生したとしても、コンター間隔 1 mgal のブーゲー異常図に影響がでるようなことはまずない。ラコステ重力計 G210 は近頃老朽化が目立ち、しばしテアを起こすようになった。実際のところ、測定第 1 日目に 0.1 mgal 近いテアが発生したが、とくに再測することなく誤差を平均化した。測定第 2 日目は 0.03 mgal 程度の閉合差であった。

Table 1 に重力測定点の番号 (長野という意味で記号 NG を用いる)、緯度、経度、高さ、重力測定値、地形補正值、ブーゲー異常値を与える。正規重力垂直勾配を 0.3086 mgal/m、ブーゲーおよび地形補正の密度を 2.67 g/cm^3 にとった。地形補正には国土地理院国土数値情報 KS-110 データを用い、20 万分 1 の地形図「富山、高山、高田、長野」の範囲の地形 (総読み取り点数 $320 \times 320 \times 4$ 点) について補正を行った。

3. ブーゲー異常図

Fig. 1 は平均密度 2.67 g/cm^3 のブーゲー異常図 (コンター間隔 1 mgal) である。この図を作成するに当っては、BRIGGS (1974) の方法を用いて、グリッドの各点における重力値を求めるようにした。実際には、その方法を多少修正したプログラムを用いている。緯度方向に $2''$ 、経度方向に $3''$ のグリッド間隔を用い、総計 61×81 個のグリッドによって測定範囲をカバーした。この場合、イテレーション回数 15,000 回ではほぼ最終的な値に収束するが、さらに収束を確実にするためここでは 20,000 回のイテレーションを行った。

実のところ、Fig. 1 のコンターを描くにあたって、NG 1, NG 62 および NG 82 の 3 点の重力測定値を除外している。つまり Briggs の方法の適用からはずした。NG 1 は水準点の移設改埋のため、地形図に記入された標高と大きく異なる。また NG 62 と NG 82 の 2 点はともに急崖に接していて、地形の影響が正しく補正できないためである。

Fig. 1 にみられるブーゲー異常の特徴を概観してみよう。図の範囲においては、NE-SW 方向にコンターが走り、SE から NW に向ってブーゲー異常値が減少する。松代付近を通る中央隆起帯に沿ってブーゲー異常の極大帯が存在し、図の地域はその西側のスロープ上に位置する。Fig. 1 の範囲ではブーゲー異常値が $-30 \sim -40$ mgal であるが、負の値は図の西側の地域でさらに深まり、糸魚川静岡構造線に至って -70 mgal を越える (KONO *et al.*, 1982, 1983)。

善光寺地震断層の位置を Fig. 1 に記号 F により記入しているが、残念ながらその周囲に期待されるブーゲー異常コンターの乱れは見出されない。重力測定により検出できない理由として考えられるものは、断層の落差が重力測定にかからない程小さい、あるいは断層の両側の地層の間に密度差がほとんどない等である。

しかし善光寺地震断層に隣接してほぼ平行に走る低ブーゲー異常帯 (Fig. 1 において鎖線 L の部分) が存在することに注目したい。ブーゲー密度をいくらか変えて計算しなお

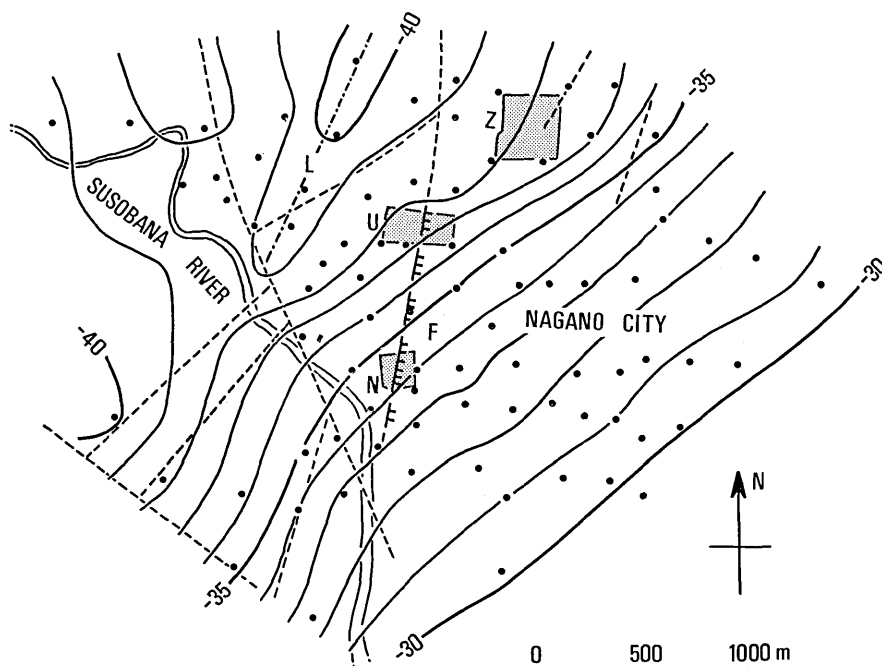


Fig. 1. Bouguer anomaly in mgal. Density 2.67 g/cm^3 is used for Bouguer and terrain corrections.

- F: Zenkoji earthquake fault
- L: Low Bouguer anomaly zone
- Z: Zenkoji Buddhist Temple
- U: Shinshu University
- N: Nagano Prefectural Office

しても、この低異常帯はブーゲー異常図から消滅しないところをみると、これは地形の影響ではなくて、断層破碎帯のような特異な構造(周囲に比較して相対密度が小さい地帯)に関連するものと思われる。

Fig. 1 には、善光寺地震断層 F のほかに、赤羽(私信, 1986)による推定断層を点線により併記している。これによれば、長野市西方の山地には多数の断層が存在する。Fig. 1 の北に位置する地附山付近も同様な状態である(赤羽ほか, 1986)。前記した低ブーゲー異常帯はどの推定断層とも一致していないが、いくつかの断層によって囲まれた狭い地域に位置している。

赤羽(私信, 1986)によれば、この低異常帯は榎花凝灰岩層に一致している。そして低異常を示す理由として考えられるものは、この地帯に榎花凝灰岩起源の角礫が厚く堆積しているか、あるいは盆地形成時の断層運動によって榎花凝灰岩層が破碎されているかである。この低異常帯が地質的に何を意味するかを確かめるためには、今回の測定範囲の北方にあたる地附山付近を重力調査する必要がある。

4. お わ り に

善光寺地震断層をブーゲー異常の乱れとして把握することを目的として、長野市街地を中心に 84 点の重力測定を実施した。しかし結果として得られたブーゲー異常図 Fig. 1 には、期待されたコンターの乱れは発見されなかった。ブーゲー異常の上に断層が現われなかった理由として考えられるものは、断層の落差が重力測定にかからない程小さい、あるいは断層の両側の地層の間に密度差がほとんどない等である。

しかし、この地震断層の西側に隣接して、顕著なブーゲー異常帯が存在することが判明した。これは断層破碎帯のような特異な構造を反映するものと考えられる。地附山地すべり地帯を含めたより広域な重力調査によって、今後この低異常帯の全貌をつかむことが必要であろう。

今回の重力測定に先立って、長野市役所から 1/2,500 地形図一式の提供を受けた。また本所信越微小地震観測所施設長佃為成助教授を通して、信州大学教育学部赤羽貞幸助教授から詳細な断層図を頂いた。さらに今回の調査により把握された低ブーゲー異常帯についても貴重な意見を賜った。ここに記してこれらの方がたに感謝の意を表する。

参 考 文 献

- 赤羽貞幸・山田哲雄・小坂共栄, 1986, 2・1 地すべり地周辺の地質, 1985 年長野市地附山地すべりの災害調査研究, 科研費自然災害, 突発災害研究成果 No. B-60-5, 代表者川上浩, 14-25.
- BRIGGS, I. C., 1974, Machine contouring using minimum curvature, *Geophysics*, 39, 39-48.
- 地質調査所, 1986, 長野市の地割れについて, 第 74 回地震予知連絡会資料.
- KONO, Y., HIBI, T., KUBO, M., MICHIGAMI, O., SHIBUYA, K., SUNAMI, M., SUZUKI, K. and FURUSE, N., 1982, Gravity anomaly over the northern part of the Central Japan (1), *Sci. Rep. Kanazawa Univ.*, 27, 71-83.
- KONO, Y., HIBI, T., KUBO, M., MICHIGAMI, O., SHIBUYA, K., SUNAMI, M., SUZUKI, K. and FURUSE, N., 1983, Gravity anomaly over the northern part of the Central Japan (2), *Sci. Rep. Kanazawa Univ.*, 27, 117-146.
- 大森房吉, 1913, 本邦大地震概説, 震災予防調査会報告, 68乙, 93-109.
- 佐山 守・河角 広, 1973, 古記録による歴史的大地震の調査(第一報)(弘化四年三月二十四日善光寺地震), 地震研究所研究速報, 10, No. 2, 1-50.
- 宇佐美龍夫, 1975, 資料日本被害地震総覧, 東京大学出版会, pp. 327.

*Gravity Survey across the Zenkoji Earthquake Fault,
Nagano City, Central Japan*

Yukio HAGIWARA, Ko NAGASAWA and Shuhei OKUBO

Earthquake Research Institute

The purpose of the present gravity study is to determine the configuration of the buried Zenkoji fault, which appeared at the time of the 1847 Zenkoji earthquake of magnitude 7.4. Eighty-four gravity observations were made in and around the Zenkoji fault area for an average of about 20 stations per square kilometer. Photogrammetric spot elevations listed on the Nagano City topographic map were used for the gravity observations.

The complete Bouguer anomaly map obtained from the present gravity survey is shown in this paper. The survey area is characterized by negative gravity values decreasing northwestward across the map. A narrow elongate gravity low extends almost parallel to the Zenkoji earthquake fault. This gravity low may define a fracture zone perhaps produced by past faulting activities. However, there is no gravimetric indication of the vertical displacement of the buried Zenkoji fault.
