

静岡県中西部における重力異常と地震災害の関係

三尾有年*・里村幹夫*

Relation between gravity anomalies and earthquake disaster in the central and western parts of Shizuoka Prefecture, central Japan

Aritoshi MIO* and Mikio STOMURA*

Gravity measurements have been carried out at 179 stations mainly in the area around the Kiku river and the Ota river, which is located in the central and western parts of Shizuoka Prefecture. Compiling the present gravity data with other ones, we made a new gravity anomaly map. It is well known that severe damage was suffered due to the 1944 Tonankai earthquake in this area.

The regional trend was subtracted from the Bouguer anomaly under the assumption that the trend has a surface of second degree. The residual gravity anomaly, formed by subtracting the mean trend, reflects shallow structures. There is good agreement between the area with a negative residual gravity anomaly and that where the Tonankai earthquake caused severe damage.

In order to examine the agreement in gravity and disaster distribution quantitatively, gravity decrements due to the soft ground and the Pleistocene layer around the Kiku river and the Ota river were calculated using the three-dimensional Talwani's method. The gravity effects of their layers can explain the low gravity anomaly along the lower course of the Ota river, but it cannot explain the low gravity anomaly along the upper course of the Ota river and in the area along the Kiku river. It suggests that the Pleistocene layers in the upper course of the Ota river and in the area of the Kiku river are thicker than previously realized.

Key words: Bouguer anomaly, earthquake disaster, Tonankai earthquake

I. はじめに

東海地域はフィリピン海プレートがユーラシアプレートの下にもぐり込むことにより、歪みが蓄えられている。また、1854年に起こった安政の東海地震から今までに静岡県全体に大きな被害をもたらした

地震は起こっておらず、石橋(1976)は、近い将来巨大地震、いわゆる東海大地震が来ると指摘した。

静岡県では、県庁の地震対策課によってボーリングなどの詳しい資料が集められ、地震が起こったときの被害予想が調べられている。地震の被害が大き

*静岡大学教養部地学教室

Institute of Geosciences, Faculty of Liberal Arts, Shizuoka University, Shizuoka 422, Japan

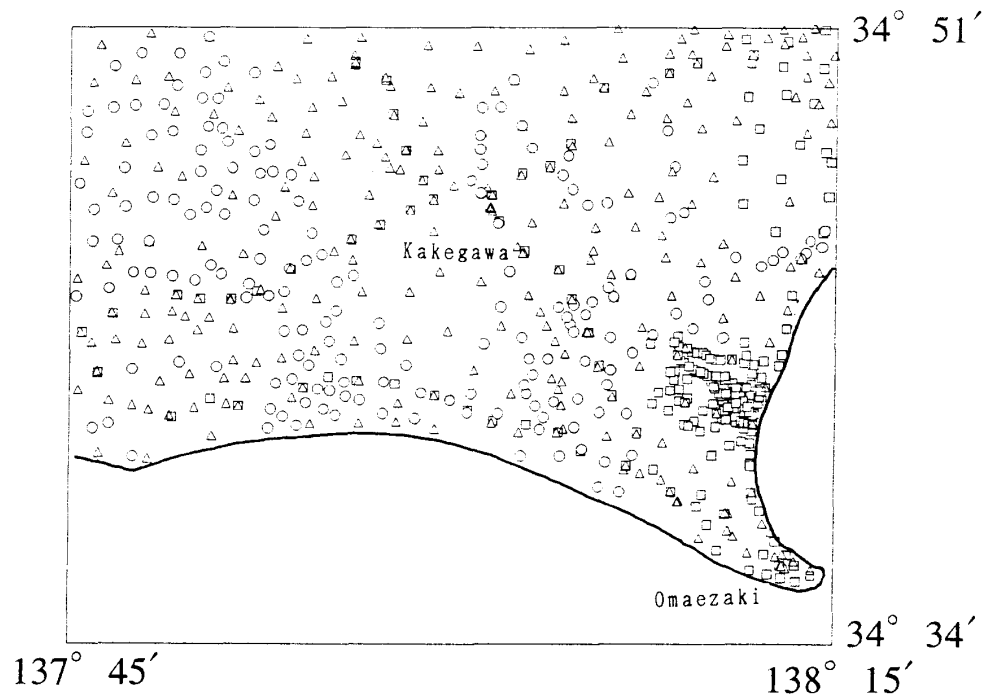


Fig. 1. Distribution of gravity stations. Symbols show the institutes performing gravity measurements.

circles: present investigation;
squares: Shizuoka University;
triangles: other institutes.

いところは、軟弱地盤に対応し、こういう地域は局部的に低重力になることが予想される。

地震の被害率と地盤の強弱とを比較した研究は今までも多く存在するが、重力異常と地震の被害率とを比較したものはほとんどなく、河野他(1981)が福井地震(1948)のときの被害率と重力異常との対応を調べ、その相関を論じている程度である。ボーリングに比べて重力測定は簡単に実施することができる。したがって、地震が起こったときに被害率が高くなる地域を重力で検出できれば地震対策の一つの方法として防災面への貢献ができる。

本研究では、東南海地震(1944)のときに被害率の高かった菊川流域と太田川流域を中心に179点の重力測定を実施し、既知の資料と併せて新たなブーグ異常図を作成した。そしてその図と東南海地震発生時の被害分布図と比較し、重力異常と被害率との間の相関関係の有無を考察した。またボーリングから得られている軟弱地盤の深さと重力から計算される低密度層の深さとの考察を行った。

日本のように多くのボーリングデータがあり地質構造が詳しく調べられている地域では地震被害予想は容易にできるが、諸外国では地質構造が調べられていなかったり、ボーリングデータを集めるのが困難な地域が多い。そのため巨大地震が起こったときの対策が十分できず、被害率が高くなることが予想される。本研究は、こうした条件の地域での重力データの有効性を示す意味も持っている。

II. 重力測定

測定に用いた重力計は、静岡大学教養部地学教室所有のLaCoste & Lomborg重力計G-719である。測定は最初と最後の測定を同じ基準点で行なうループ測定方式を用いた。基準点は静岡大学教養部C棟603号室(34° 57.80' N, 138° 26.00' E, 標高59.8m)である。その重力値は、静岡地方気象台地震計室一等重力点(日本重力基準網1975の重力値979.74144 Gal)との比較測定により得た979.72404 Galである。

また、重力計の定数については、製作会社から与えられた計器定数に静岡-熊本間の重力測定から求められたコレクションファクターの1.000658を乗じた。測定点は、2万5千分の1の地形図の水準点、三角点、独標点からおもに選んだが、測定したい地域に基準点がない場合や見つからない場合には、地形図のコンターから標高のわかる地点を選んだ。その緯度、経度は2万5千分の1の地形図から0.01分の位まで求めた。測定対象地域の地形はおおむね標高が低く、なだらかであるので、標高の決定誤差は最大で2~3mであると考えられる。それはブーゲ異常では、約1mGalに相当する。

今回測定を行なった重力測定点は179点である。測定範囲は東経 137° 45' ~138° 15'，北緯 34° 34' ~34° 51'である。また本地域はこれまでに静岡大学(里村・安間, 1986; SATOMURA, 1989), 名古屋大学(YAMAMOTO *et al.*, 1982; 志知他, 1993), 地質調査所(駒沢他, 1985), 国土地理院によって494点のデータが得られている。これらを併せて測定点の分布をFig.1に示す。

III. 密度の推定

ブーゲ異常図を作成するにあたって、適切なブーゲ補正と地形補正を施すために、地殻表層の密度を仮定しなければならない。

密度を決定する方法については、標高とブーゲ異常との間の相関を用いる $g-h$ 法がよく使われるが、今回の範囲は平野での測定をおもに行っており、標高の値が全般的に低い。そのため h が低い値でブーゲ異常値がばらついてしまい適当な値を得ることが出来ない。

そこで、FUKAO *et al.*(1981)の方法を用いて平均密度の最適値を見積った。メッシュサイズは5~10kmまでは1kmきざみで、10km~32kmまでは2kmきざみで計算をした。メッシュの形は正方形を用いた。

Fig.2に平均密度とメッシュサイズとの関係を示す。メッシュサイズが14~24kmの間での値が一定となったのでその密度の平均である2.50g/cm³を最適値とした。なお地形補正は山本(1984)の方法によ

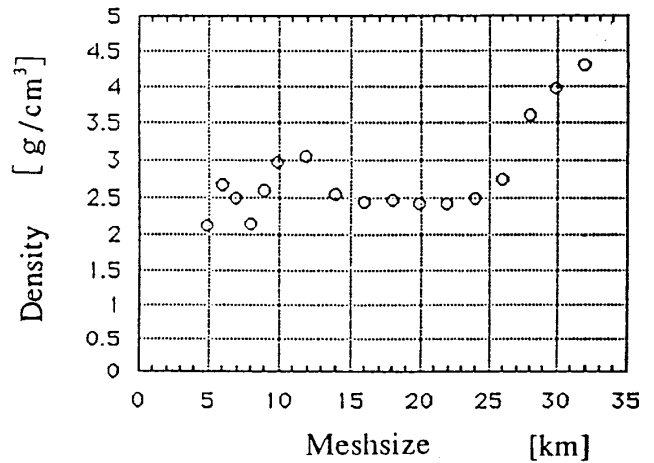


Fig. 2. The relation between the most suitable mean density and meshsize.

り、測定点から80kmまでの範囲で地球の曲率を考慮にいたした計算を行っている。今回行った重力測定の測定結果をTable 1に示す。

IV. ブーゲ異常

北緯34° 34' ~ 34° 51'，東経137° 45' ~138° 15'の673点の範囲の重力測定データから密度2.50g/cm³のブーゲ異常値を求め、その値をもとに30×30の格子データに変換した。格子間隔は東西方向が1530m，南北方向が1040mである。この格子データにコンターリングを行ったものがFig.3である。

またローカルな影響を取りだすために広域的傾向をFig.3から差し引いた。ブーゲ異常の広域的傾向は2次曲面とみなし、最小二乗法を用いて求めた。その結果をFig.4に示す。ブーゲ異常からこの広域的傾向を差し引いた残差重力異常をFig.5に示す。これをみると、低重力異常域が菊川流域、太田川流域、大井川流域にみられる。逆に高重力異常域は、勝間田川から北西方向へ延びる地域、小笠山、そして天竜川沿いの地域に現われている。

V. 東南海地震の被害分布地域の地質

静岡県を襲った過去の被害地震は、1854年12月23

Table 1. Results of gravity measurements.

No	Latitude	Longitude	Height	Gravity	BA
1	34° 44.72'	138° 14.47'	5. SH	979751.422	41.290
2	34 45.15	138 14.57	3.4BM	979751.609	40.569
3	34 44.88	138 14.02	9. SH	979749.086	39.640
4	34 44.56	138 13.84	9. SH	979749.231	40.516
5	34 44.41	138 13.62	5.1BM	979749.562	39.980
6	34 44.58	138 12.91	8. SH	979748.391	39.097
7	34 44.36	138 12.55	14. SH	979747.727	40.097
8	34 44.19	138 12.09	37. SH	979743.799	42.268
9	34 44.44	138 11.06	119. SH	979726.690	40.933
10	34 45.64	138 09.03	171. SH	979713.058	34.643
11	34 45.50	138 08.50	178. SH	979711.616	34.259
12	34 46.87	138 08.65	187.5BM	979711.616	35.275
13	34 47.86	138 08.34	197. SH	979713.423	37.358
14	34 49.14	138 07.75	105.3BM	979733.916	38.100
15	34 45.89	138 05.98	26. SH	979743.606	36.138
16	34 45.84	138 05.21	36. SH	979739.716	34.203
17	34 46.26	138 04.62	34. SH	979740.597	34.348
18	34 46.64	138 04.21	46. SH	979737.808	33.462
19	34 47.16	138 04.43	46. SH	979740.490	35.321
20	34 47.38	138 02.98	52. SH	979737.659	33.405
21	34 47.99	138 02.56	49. SH	979739.156	33.636
22	34 49.22	138 02.25	46. SH	979741.089	33.808
23	34 48.49	138 01.74	40. CN	979741.832	33.750
24	34 48.46	138 01.02	34. SH	979742.508	33.212
25	34 47.72	138 00.94	32. SH	979741.364	32.583
26	34 07.34	138 00.95	28. SH	979740.537	31.467
27	34 46.93	138 01.02	30. SH	979738.706	30.584
28	34 46.50	138 00.61	23. SH	979737.603	28.653
29	34 46.16	138 00.99	27. SH	979735.740	28.028
30	34 45.34	138 01.65	52.7BM	979725.789	24.503
31	34 44.04	138 02.12	58.7BM	979718.541	20.361
32	34 43.09	138 01.79	58. SH	979715.867	18.667
33	34 42.26	138 02.64	33. SH	979719.221	18.173
34	34 41.69	138 02.90	28. SH	979719.287	18.215
35	34 41.26	138 03.06	22. SH	979719.977	18.074
36	34 40.73	138 02.80	16. SH	979718.700	16.334
37	34 40.41	138 03.17	15. SH	979718.972	16.872
38	34 40.10	138 03.50	8. SH	979720.535	17.454
39	34 40.52	138 03.91	9. SH	979723.549	20.070
40	34 40.60	138 04.87	6. SH	979727.743	23.549
41	34 40.23	138 05.73	16. SH	979727.313	25.736
42	34 39.83	138 04.73	8. SH	979724.102	21.391
43	34 39.24	138 05.05	7.6BM	979723.502	21.552
44	34 39.06	138 04.17	4. SH	979722.030	19.545
45	34 39.77	138 03.35	7. SH	979718.935	16.090
46	34 40.98	138 02.72	9. SH	979718.662	15.494
47	34 41.63	138 05.14	9. SH	979732.093	27.019
48	34 42.62	138 04.55	12. SH	979733.505	27.685
49	34 42.42	138 04.69	10. SH	979733.344	27.442
50	34 42.82	138 04.42	8. SH	979738.711	26.823

No	Latitude	Longitude	Height	Gravity	BA
51	34° 43.08'	138° 04.09'	11. SH	979732.242	25.632
52	34 43.15	138 04.69	16. SH	979735.264	29.485
53	34 42.88	138 05.16	15. SH	979736.235	30.701
54	34 43.22	138 05.42	17. SH	979737.552	31.904
55	34 43.60	138 06.05	20. SH	979739.154	33.575
56	34 43.36	138 06.25	19. SH	979738.213	32.938
57	34 43.96	138 06.91	24. SH	979739.261	34.192
58	34 45.08	137 54.31	12. SH	979728.743	19.491
59	34 45.94	137 53.79	14. SH	979731.494	21.460
60	34 46.64	137 53.50	23. SH	979732.936	23.734
61	34 46.73	137 52.78	21. SH	979733.308	23.804
62	34 47.46	137 52.67	20. SH	979736.058	25.390
63	34 47.27	137 52.06	36. SH	979731.571	24.640
64	34 46.68	137 52.29	20. SH	979733.134	23.656
65	34 45.96	137 52.06	81. SH	979717.648	20.820
66	34 45.16	137 52.43	63. SH	979719.233	19.965
67	34 44.38	137 52.30	47.7TP	979721.632	20.376
68	34 43.70	137 51.88	7. SH	979728.369	20.109
69	34 43.38	137 52.65	12. SH	979726.790	19.927
70	34 43.49	137 53.26	31. SH	979723.253	19.991
71	34 42.43	137 53.27	2. SH	979724.008	16.438
72	34 42.47	137 53.98	4. SH	979723.677	16.463
73	34 41.78	137 53.83	6. SH	979720.116	14.256
74	34 41.14	137 53.58	5. SH	979718.676	13.512
75	34 41.02	137 52.93	2. SH	979719.282	13.706
76	34 40.31	137 52.75	1. SH	979717.986	13.192
77	34 39.80	137 52.66	2. SH	979716.905	12.974
78	34 39.88	137 53.76	6. SH	979716.456	13.221
79	34 40.12	137 53.22	6. SH	979717.003	13.447
80	34 40.49	137 54.11	8. SH	979717.213	13.554
81	34 40.32	137 54.82	4. SH	979718.875	14.661
82	34 40.16	137 55.28	3. SH	979719.419	15.235
83	34 40.57	137 56.23	3. SH	979721.471	16.733
84	34 40.67	137 55.68	2. SH	979721.212	16.081
85	34 40.83	137 55.06	2. SH	979720.421	15.104
86	34 41.06	137 55.62	3. SH	979722.100	16.678
87	34 40.87	137 54.58	2. SH	979719.919	14.546
88	34 41.52	137 54.22	2. SH	979720.647	14.327
89	34 41.68	137 55.49	3. SH	979724.003	17.687
90	34 42.16	137 55.05	5. SH	979724.908	18.350
91	34 42.69	137 54.91	6. SH	979726.907	19.813
92	34 42.98	137 55.31	5.2BM	979728.647	20.943
93	34 43.76	137 55.33	10. SH	979728.195	20.370
94	34 43.93	137 55.97	9. SH	979728.928	20.737
95	34 44.50	137 54.72	9.0BM	979728.438	19.390
96	34 44.35	137 54.11	8.2BM	979728.891	19.876
97	34 44.12	137 53.45	9.0BM	979729.056	20.566
98	34 43.33	137 51.80	4.3BM	979727.466	19.098
99	34 43.97	137 50.80	29. SH	979724.796	20.464
100	34 44.21	137 50.40	18. SH	979727.905	21.063

Table 1. (continued)

No	Latitude	Longitude	Height (m)	Gravity (mGal)	BA (mGal)
101	34 43.80	137 49.78	10. SH	979730.903	22.975
102	34 43.91	137 48.89	17. SH	979733.323	26.628
103	34 45.57	137 49.58	21. SH	979734.551	26.473
104	34 45.76	137 50.22	15.0BM	979734.258	24.812
105	34 45.58	137 50.93	72. SH	979720.254	22.168
106	34 46.22	137 50.61	83. SH	979720.389	23.678
107	34 46.83	137 51.22	93. SH	979718.935	23.291
108	34 47.55	137 51.03	108. SH	979718.406	24.439
109	34 49.40	137 52.04	35.4BM	979739.320	29.147
110	34 49.71	137 50.86	21. SH	979745.228	31.622
111	34 50.38	137 50.27	34. SH	979749.137	37.106
112	34 50.79	137 49.88	39.3BM	979749.405	37.927
113	34 51.47	137 49.07	43. SH	979752.407	40.805
114	34 49.92	137 49.11	31. SH	979750.972	38.887
115	34 49.06	137 49.04	28. SH	979748.775	37.178
116	34 48.72	137 50.03	32. SH	979742.044	33.779
117	34 49.42	137 50.14	33. SH	979744.827	31.769
118	34 48.71	137 50.65	26. SH	979742.019	30.565
119	34 47.91	137 50.80	24. SH	979738.387	27.833
120	34 47.96	137 50.26	24. SH	979741.045	30.232
121	34 47.31	137 49.98	27. SH	979739.257	30.052
122	34 46.73	137 49.98	25. SH	979737.308	28.425
123	34 41.59	137 49.16	5. SH	979728.043	22.245
124	34 41.47	137 50.63	4. SH	979722.607	16.780
125	34 40.20	137 57.13	4. SH	979719.696	15.643
126	34 41.06	137 57.16	3. SH	979722.653	17.199
127	34 41.96	137 57.04	11. SH	979724.552	19.485
128	34 42.65	137 56.98	10. CN	979727.233	21.179
129	34 44.01	137 47.35	9. SH	979740.352	31.975
130	34 44.90	137 46.74	10. SH	979744.327	34.877
131	34 45.79	137 47.06	14. SH	979746.193	36.310
132	34 46.83	137 47.00	17. SH	979749.223	38.535
133	34 47.72	137 48.04	22. SH	979749.133	38.177
134	34 47.83	137 48.86	24. SH	979745.135	34.425
135	34 45.97	137 48.93	22. SH	979738.177	29.660
136	34 46.03	137 48.12	17. SH	979742.611	33.010
137	34 44.85	137 47.96	11. SH	979741.539	32.394
138	34 43.99	137 48.04	10. SH	979738.294	30.138
139	34 43.58	137 46.44	8. SH	979740.827	32.811
140	34 43.36	137 45.15	8. SH	979741.764	34.057
141	34 41.40	137 47.32	8. SH	979732.364	27.415
142	34 39.04	137 47.36	5. SH	979728.306	26.068
143	34 39.80	137 45.82	2. SH	979733.236	29.337
144	34 39.93	137 46.44	3. SH	979731.823	27.916
145	34 44.85	137 45.78	10. SH	979745.434	36.073
146	34 45.70	137 45.84	10.5BM	979748.473	38.065
147	34 46.41	137 45.27	13. SH	979750.275	39.361
148	34 47.80	137 45.53	47. SH	979747.003	40.907
149	34 48.36	137 45.57	50. SH	979747.766	41.486
150	34 48.46	137 46.57	22. SH	979754.253	42.328

BA: Bouguer anomaly

BM: bench mark

SH: spot height

CN: contour

TP: triangulation point

No	Latitude	Longitude	Height (m)	Gravity (mGal)	BA (mGal)
151	34 48.52	137 47.41	27. SH	979752.687	41.856
152	34 48.55	137 48.52	25. SH	979749.801	38.334
153	34 49.92	137 47.63	43. SH	979753.408	43.712
154	34 49.58	137 46.61	45.6BM	979752.194	43.439
155	34 38.10	138 06.53	5.5TP	979728.977	28.230
156	34 38.23	138 05.72	3.5SH	979726.364	25.416
157	34 38.90	138 05.96	21.1SH	979724.309	25.824
158	34 39.08	138 07.03	20.3SH	979729.008	29.921
159	34 40.20	138 06.80	27.0SH	979727.572	28.536
160	34 40.98	138 06.01	10. SH	979732.192	28.258
161	34 41.69	138 03.66	30. CN	979724.244	23.455
162	34 42.09	138 01.14	92. SH	979707.067	19.458
163	34 40.73	138 00.63	33. SH	979716.461	17.983
164	34 40.56	137 59.79	7. SH	979721.189	17.551
165	34 40.76	137 58.64	4. SH	979722.175	17.450
166	34 41.52	137 58.04	9. SH	979723.554	18.761
167	34 40.07	137 58.40	5. SH	979719.206	15.548
168	34 40.23	138 00.48	13.2BM	979719.451	17.271
169	34 40.20	138 01.68	27. SH	979716.578	17.293
170	34 39.06	138 02.61	4. SH	979719.237	16.800
171	34 41.39	138 06.13	10. SH	979733.934	29.438
172	34 42.26	138 06.14	12. SH	979736.286	31.132
173	34 41.85	138 07.00	17. SH	979736.001	32.344
174	34 42.34	138 07.83	33. SH	979736.805	36.294
175	34 42.92	138 08.75	151. SH	979713.682	36.301
176	34 42.51	138 09.41	143. SH	979717.277	38.385
177	34 42.26	138 10.60	36. SH	979741.704	41.334
178	34 43.29	138 10.03	35. SH	979742.945	42.048
179	34 43.78	138 09.87	45. SH	979740.778	39.966

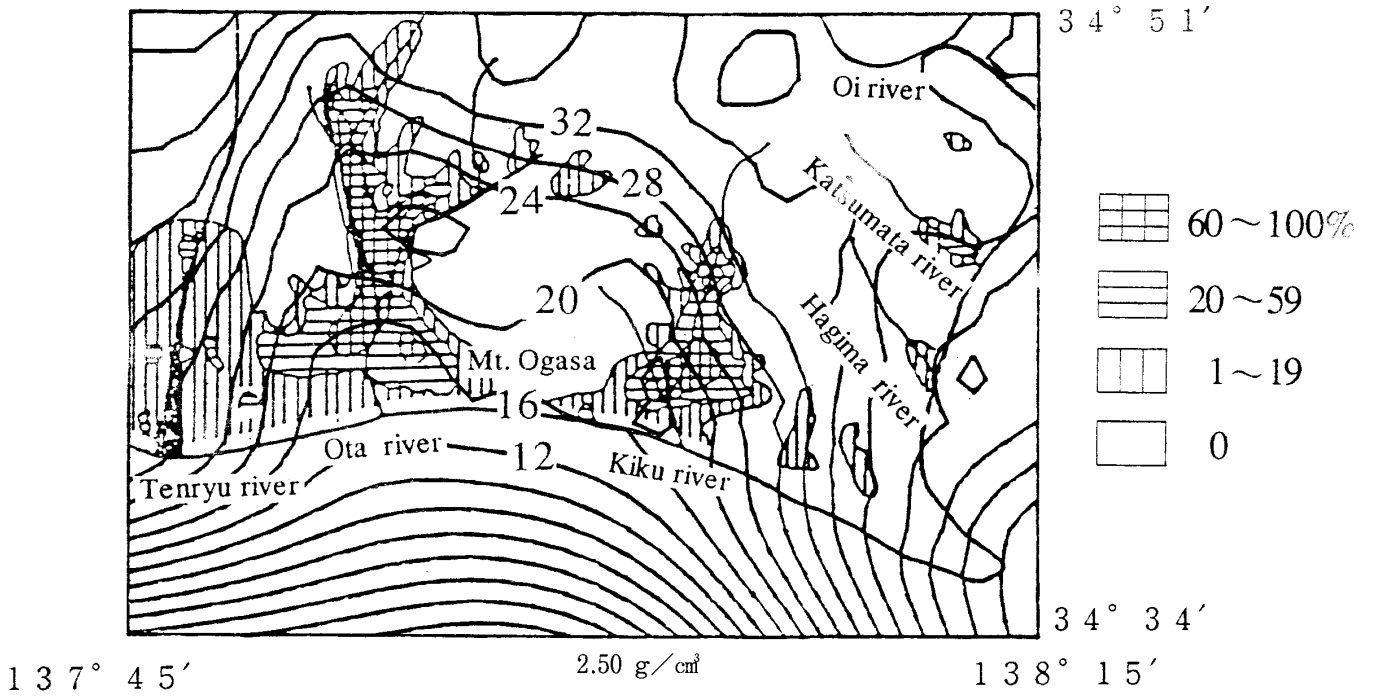


Fig. 3. Bouguer gravity anomaly (density: 2.50 g/cm³, contour interval: 2 mGal). Disaster distribution by the 1944 Tonankai earthquake is also shown in this figure.

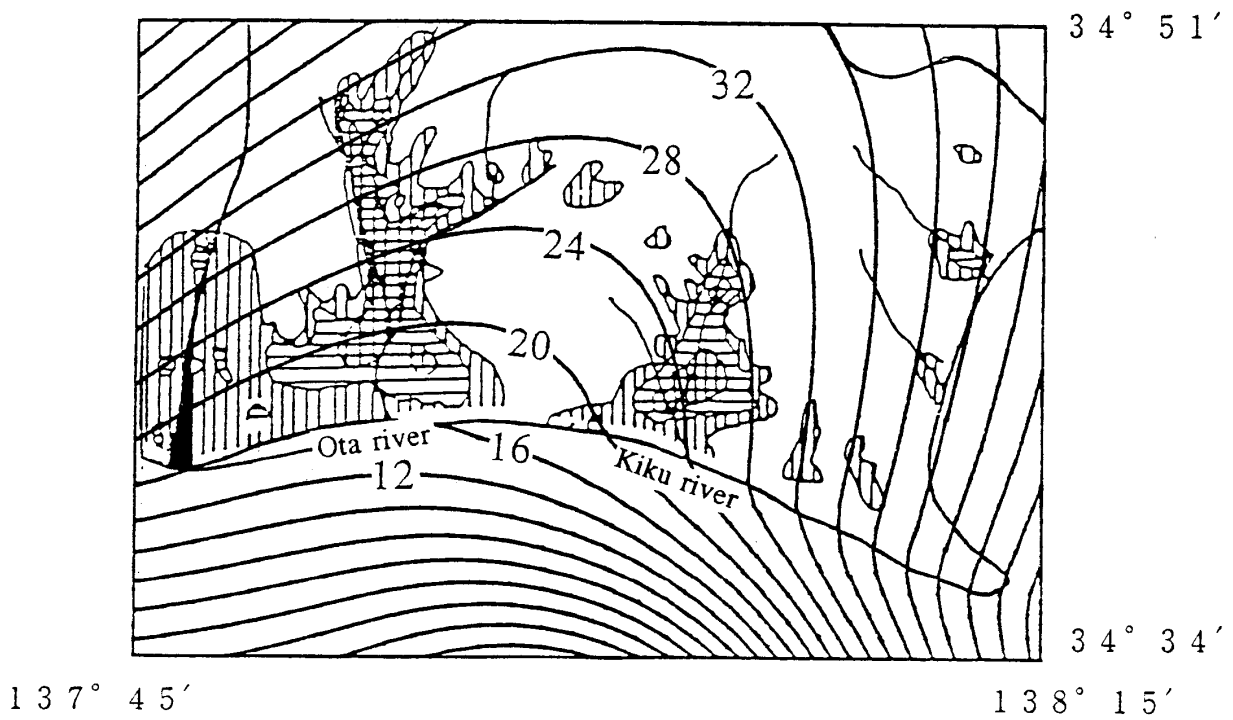


Fig. 4. Regional trend of the Bouguer anomaly (contour interval: 2 mGal).

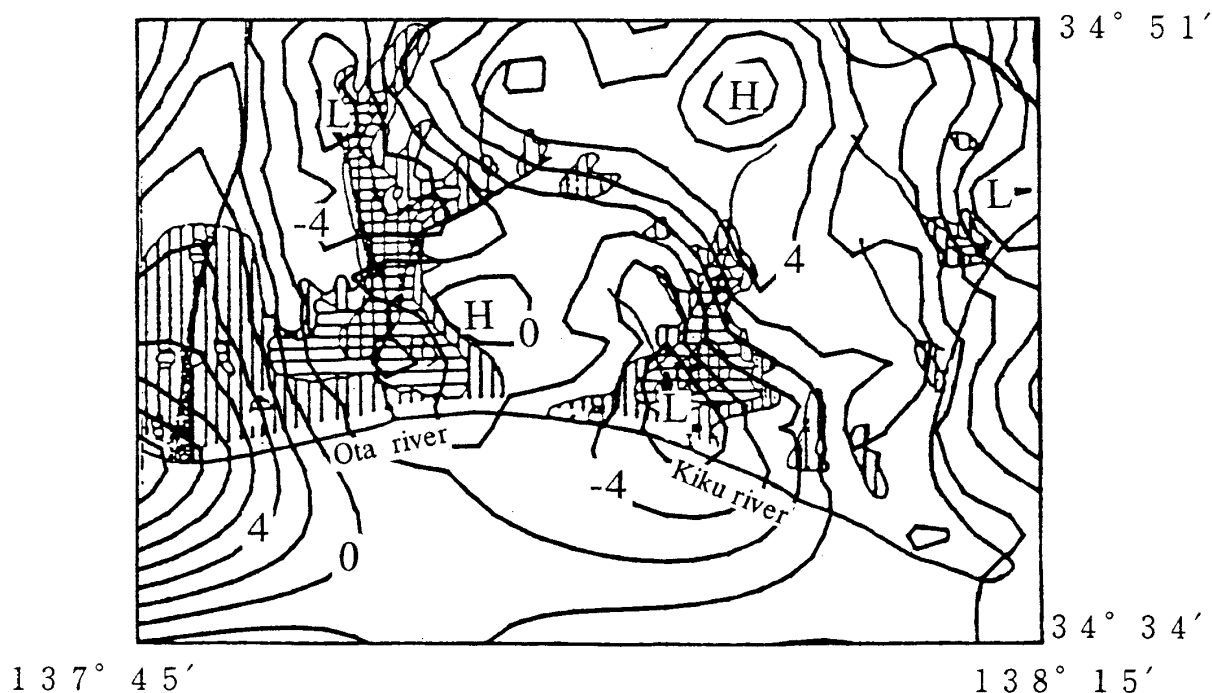


Fig. 5. Residual gravity anomaly, subtracting the regional trend from the Bouguer anomaly (contour interval: 2 mGal).

日に起こった安政の東海地震が有名である。しかしこの頃はまだ江戸時代であり、被害状況を表した記録はあるが、その当時の複雑な身分社会のため正確な記録が取られていない。

東南海地震は、1944年12月7日熊野灘沖を震源としてマグニチュード7.9の大ききで東海地方を襲い、静岡県では遠州地域の菊川や太田川地域に大きな被害をもたらした。

大庭(1957)による東南海地震の被害分布図をFig. 3~Fig.5に重ねて示した。Fig.3をみると、太田川や菊川などの河川のまわりでの被害が目立つ。特に60%以上の被害地域は、太田川上流や菊川下流域となっている。また勝間田川や萩間川流域では被害率は小さく、その範囲は狭い。一方、天竜川流域では小被害率で広い範囲で被害があり、大井川流域では被害は軽微であった。地質構造は、大井川、天竜川流域が砂礫質、太田川、菊川、萩間川、勝間田川流域が泥質または砂泥互層であり、いわゆる軟弱地盤の地域である。

VI. 東南海地震の被害地域と重力異常との比較

東南海地震の被害分布図と広域的な影響を取り除いた残差ブーゲ異常図(Fig.5)を比較してみる。太田川上流域や菊川下流域での高被害率と重力異常図の負の部分とがよく対応している。萩間川や勝間田川流域では、被害範囲が小規模なためか、あまりよく対応しているとはいえない。また、この範囲では最大の河川である天竜川流域では、被害が生じているにもかかわらず、高重力異常域となっている。これは、天竜川に沿って赤石裂線が通っており、重力が天竜川をはさんで西へ向かって急激に大きくなっているため、この急激な重力の変化の影響がフィルターで取り切れなかったためである。

VII. 低密度層についての考察

軟弱地盤とブーゲ異常の関係調べるために三次元タルワニの方法(TALWANI *et al.*, 1960)を用いて菊川・太田川流域の軟弱地盤の引力効果を計算した。軟弱地盤の形状は、Fig.6とFig.7に示す静岡

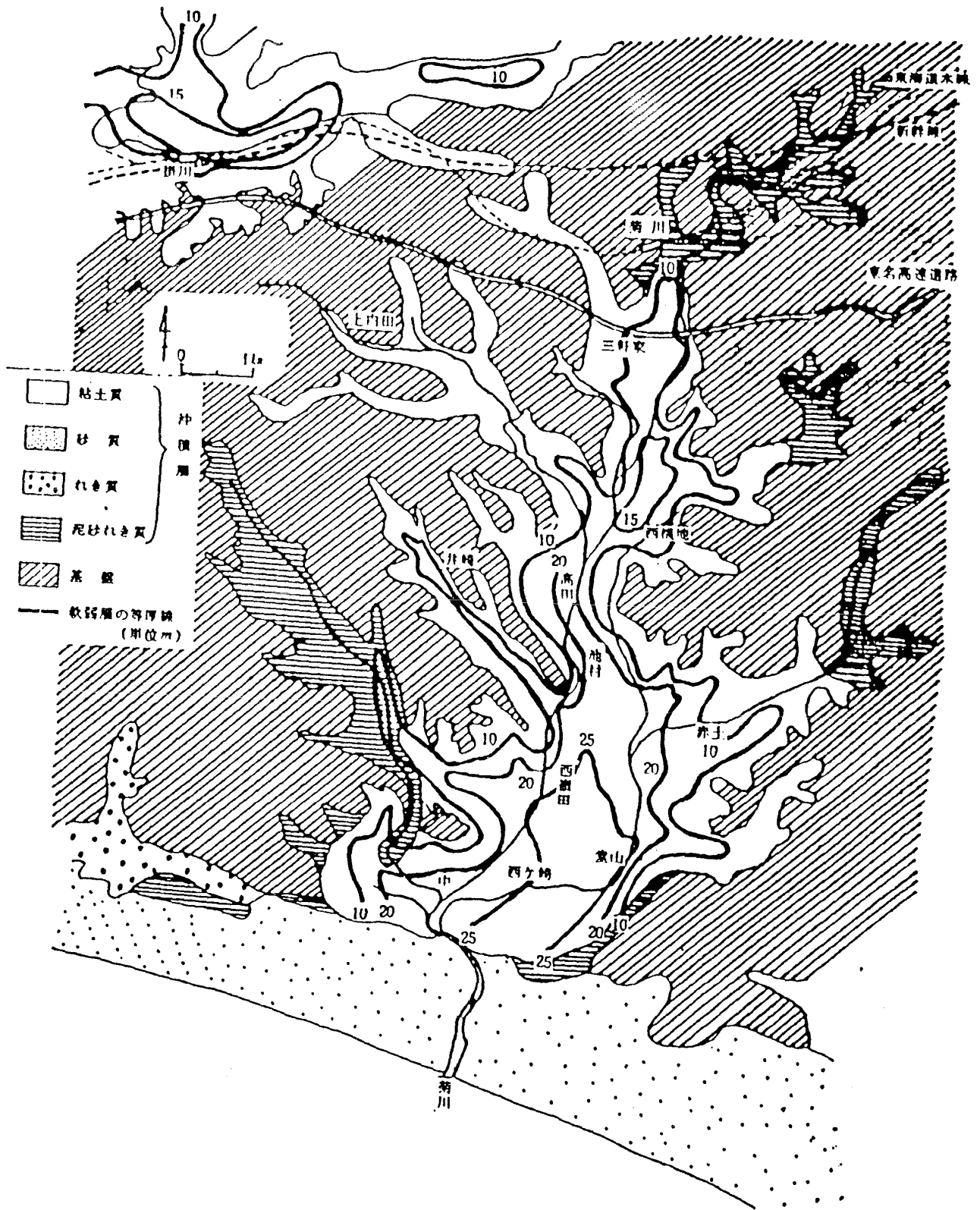


Fig. 6. Iso-thickness of the soft ground layer in the area along the Kiku river (after Earthquake Preparedness Division, Shizuoka Prefectural Government, 1982).

