

過去の震害事例からみた構造物の被害と 地盤，地震動の強さとの関係について

殿内啓司・金子史夫

ANALYSIS OF DATA ON EARTHQUAKE DAMAGE TO DETERMINE RELATIONSHIPS BETWEEN SEISMIC INTENSITY, GROUND TYPE AND DAMAGE

Keiji TONOUCHI and Fumio KANEKO

Abstract

Information on past earthquake damage was classified according to seismic intensity and ground type in order to establish relationships between seismic intensity, ground type and damage. The information used, which had all been published previously, concerned 8 earthquakes, identified by the following regional names and dates of occurrence: Nobi Earthquake (1894), Great Kanto Earthquake (1923), Kita Tango Earthquake (1927), Tottori Earthquake (1943) Mikawa Earthquake (1944), Tonankai Earthquake (1945), Fukui Earthquake (1948), and Miyagi Ken Oki Earthquake (1978). The data encompasses 4 types of ground: rock ground, diluvial ground, alluvial ground exclusive of soft ground, and soft alluvial ground. Table 1 shows ground classifications according to "Specifications for Highway Bridges". JMA (Japan Meteorological Agency) scale of seismic intensity was adopted in the study. Damage to the following types of structures was investigated: (1) wooden houses; (2) soil embankments; (3) roads and railroads and (4) water and gas pipes. Below is a summary of the study's findings for each type of structure:

(1) Wooden Houses

Wooden houses are very common in Japan. Consequently, damage to them is a good index of seismic force. Figures 1 through 6 show the distribution of damage to wooden houses for each of the earthquakes, excepting Nobi Earthquake and Miyagi Ken Oki earthquake. Figures 7 through 11 show the regional classifications of the grounds studied. Damage ratio data had been compiled according to city ward or village. Table 2 shows this data for each city ward and village, broken down into 7 damage ratios. From this data, cumulative distribution curves were determined. These are shown in Figures 12 through 14. Table 3 and Figure 15 show the readout values from the curves.

The results show that for seismic intensities of V and VI (JMA scale), ratio of damage increases in the 4 ground types in the order 1 through 4. Average damage ratio for all ground types at seismic intensity V is 3.4% and 14.5% at seismic intensity VI, a marked difference.

(2) Embankments

Here, damage ratio, amount of subsidence of embankments and ratio of embankment remaining after subsidence are examined as indices of extent of damage.

(a) Damage Ratio

The object of study in this category are river embankments affected by the Nobi and two other earthquakes. Damage ratio was expressed as the ratio of damaged portions to total length. Table 4 gives the state of damage for each river. An example of damage is given in Figure 16. Figure 17 gives the ground classifications in Miyagi Prefecture, and Table 5 gives all damage ratios.

These results show a clear difference in damage according to ground type and seismic intensity. For example, at seismic intensity V, damage ratio was 0.4% for ground type 2, 0.9% for ground type 3 and 3.9% for ground type 4.

(b) Subsidence of Embankments and Ratio of Remaining

Amount of subsidence and ratio of embankment remaining after subsidence, taking into account the height of the embankment, are shown in Figure 18, as indices of damage to embankments. The data was taken from 621 examples of damage during 7 earthquakes to embankments for rivers, roads and railroads. Tables 6 and 7 and Figures 19 and 20 arrange the examples of damage according to ground type. The data was subjected to cumulative distribution analysis. These results are shown in Table 8. There is a clear difference according to difference in ground type. For example, at a cumulative distribution analysis coefficient of 90%, the amount of subsidence for a seismic intensity V earthquake is 0.28m for ground type 2, 1.19m for ground type 3 and 1.43m for ground type 4.

Tables 9 and 10 and Figures 21 and 22 indicate whether or not liquefaction occurred at each seismic intensity. Table 11 shows the data. It is clear that the intensity of the earthquake affects the amount of liquefaction. Taking as an example the amount of subsidence at a cumulative distribution analysis coefficient of 90%, the difference between subsidence at intensity V and intensity VI is 0.68m when there is no liquefaction and 0.84m when there is liquefaction. For the same coefficient, the difference between amount of subsidence with and without liquefaction is 0.71m at seismic intensity V and 0.87m at seismic intensity VI.

(3) Roads and Railroads

The object of study was Miyagi Ken Oki Earthquake. Damage ratio was arrived at by dividing the number of places where blockage of the road or railroad occurred, making passage impossible by the entire length of the road or railroad. This was only done for regions in which seismic intensity was V.

(a) Roads

Table 12 gives the state of damage within Miyagi Prefecture. Figure 23 gives an example of damage sustained. Damage ratio was determined for each ground type at seismic intensity V for national routes (Table 13). There are clear differences in damage ratio according to ground type. For types 1 and 2, 0.062 damaged places per km, for type 3, 0.088 damaged places per km and for type 4, 0.139 damaged places per km.

(b) Railroads

Figure 24 gives one example of damage. Table 14 gives the state of damage for each railroad, and Table 15, damage ratio for each ground type. The results show that damage ratio increases in the order from ground type 1 and 2 through 4. These values are: 0.41 damaged places per km, 0.66 damaged places per km and 1.13 damaged places per km.

Damage ratio is about 10 times that for roads, which may be considered to reflect the greater vulnerability to damage of railroads.

(4) Water and Gas Pipes

The areas studied were the Sendai City and part of Izumi City. The pipes covered in the study include a water main and low and medium pressure gas main pipes. Damage ratio was arrived at by dividing the number of places where damage occurred by the total length of the pipe. Force of the earthquake in the areas of study was seismic intensity V.

Figure 25 shows distribution of damage for the water pipes, and Figure 26 shows it for the gas pipes. Clearly, there are differences according to ground type. There is a notable concentration of damage in ground recently opened for development by leveling and filling operations. Thus, in this study, areas like this are taken as a fifth ground classification. As shown in Table 16, damage ratio ranges from 0.07 to 0.28 damaged places per km in the 4 original ground classifications showing the same tendency for both water and gas pipes. Embankments located on newly developed ground showed high damage ratios, with a ratio of 1.1 damaged places per km for water pipes and for gas pipes, 0.53 damaged places per km.

The above results show a relationship between various kinds of structures, ground type and seismic intensity. It is clear that damage ratio is affected by ground type and seismic intensity. At the same time, this study gave a quantitative analysis, determining damage ratio for different kinds of structures.

In addition, analysis in this study has employed past examples of earthquakes, and may be applied to forecasts of earthquake damage. It is especially useful as a simple method of evaluating the extent of earthquake damage.

1 まえがき

地震によってひき起こされる木造家屋や土木建造物の被害の状況が，地盤条件，地震力によって異なることはよく知られている。こうした建造物の被害と地盤条件，地震力の関連を明らかにするために，いままでにも震害資料をもとにして，河角（1951）による木造家屋被害と地盤条件の関係の検討をはじめとして各種の検討がなされている。しかしながら，これまでに行われた検討は，被害地震ごとに被害の実態の把握，建造物の耐震性の評価を行ったもの，あるいは同等な地震の再来時の被害予想といった観点からのものであった。

そこで，本報においてはいくつかの被害地震の資料をもとにして，被害地域の地盤条件を同じ基準を用いて再評価し，個々の地震にとらわれず，各種の建造物の被害と地盤条件の関係を地震力との対応において検討した。

2 震害および地盤に関する資料

検討の対象とした建造物は，住環境にかかわる木造家屋，土建造物としては基本的な盛土建造物，交通輸送にかかわる道路，鉄道，および生活環境にかかわる水道管，ガス管である。

震害事例は，公刊されている震害資料の中から，被害，地盤条件，地震力の明らかなものを抽出することとした。

(a) 木造家屋の震害資料

木造家屋は最も一般的な住宅建築物であり，ここでは地震動による倒壊を検討の対象とした。用いた資料は以下の6地震の7編である。

○関東大地震（1923）

木造建築物＝依ル震害分布調査報告（松沢武雄）
大正震災誌（内務省社会局）

○北丹後地震（1927）

昭和2年3月7日北丹後烈震報告（中央气象台）

○鳥取地震（1943）

昭和18年9月10日鳥取県震災調査報告（日本建築学会震災調査隊）

○東南海地震（1944）

昭和19年12月7日東南海地震の震害と震度分布（飯田汲事）

○三河地震（1945）

昭和20年1月13日三河地震の震害と震度分布（飯田汲事）

○福井地震（1948）

昭和23年6月28日福井地震調査研究速報（日本学術会議福井地震調査研究特別委員会）

(b) 盛土建造物の震害資料

盛土建造物は河川，道路，鉄道にみられる基本的な土建造物であり，ここでは盛土の被害率（盛土の延長に対する被害長の割合），および沈下量（残留率）を検討の対象とした。用いた資料は以下の7地震16編の河川，道路，鉄道に関するものである。

○濃尾地震（1891）

明治24年愛知県震災誌（江森盛孝）

岐阜三重両県土木工事震害及復旧工事報告書（佐伯敦宗）

明治24年10月28日大震報告（岐阜県岐阜測候所）

○関東大地震（1923）

土木工事震害調査報告（物部長穂）
大正12年関東大地震震害調査報告（土木学会）
大正12年鉄道震害調査書（鉄道省）

○福井地震（1948）

昭和23年6月28日北陸震災調査報告（建設省土木研究所）

○1952年十勝沖地震（1952）

十勝沖地震調査報告（十勝沖地震調査委員会）

○新潟地震（1964）

昭和39年新潟地震震害調査報告（土木学会）

新潟地震調査報告（建設省土木研究所）

新潟地震調査報告（鉄道技術研究所）

○1968年十勝沖地震（1968）

1968年十勝沖地震災害調査報告（建設省土木研究所）

十勝沖地震調査報告（鉄道技術研究所）

1968年十勝沖地震による青森県下の災害調査報告（応用地質調査事務所）

○宮城県沖地震（1978）

'78年宮城県沖地震調査報告書（土木学会東北支部）

1978年宮城県沖地震調査報告（鉄道技術研究所）

(c) 道路、鉄道の震害資料

道路、鉄道については、盛土、トンネル、橋りょうなどの個々の構造の被害という観点からではなく、路線としての機能という観点から、路線機能の停止に至るような被害について検討した。この目的に使用できた資料は宮城県沖地震についての2編のみである。

'78年宮城県沖地震調査報告書（土木学会東北支部）

1978年宮城県沖地震調査報告（鉄道技術研究所）

(d) 水道管、ガス管の震害資料

水道管、ガス管は生活環境に直接的な影響の大きい構造物であり、基幹となる配水本管、中庄および低圧のガス本管の被害を対象にした。用いた資料は宮城県沖地震についての5編である。

1978年6月宮城県沖地震による被害とその対策の記録（仙台市水道局）

宮城県沖地震とガス復旧の記録（仙台市ガス局）

1978年宮城県沖地震による都市供給施設の被害と

復旧——都市ガス施設——

同上——上水道施設(1)——

同上——上水道施設(2)——

（片山恒雄・磯山龍二・増井由春）

地盤条件については、地層構成と被害との関連が深いことから、地盤を詳しく区分することが望ましいが、ボーリング資料がすべて揃っているわけではない。したが

表-1 道路橋示方書による地盤種別

Table-1 Ground types according to "Specifications for Highway Bridges"

| 地盤種別 | 該当地盤 |
|------|-------------|
| 1 種 | 岩盤 |
| 2 種 | 洪積地盤 |
| 3 種 | 軟弱地盤を除く沖積地盤 |
| 4 種 | 沖積地盤のうち軟弱地盤 |

って、やや大まかな区分ではあるが、ここでは表-1に示すように、道路橋示方書（1980）に述べられている区分に従って、被害地域の地盤を4つの種別に分類した。地盤種別の判定に際して、地形図、地質図をもとに推定した地域も一部ある。

地震力については、統一的な指標として、気象庁によって決定発表された震度（気象庁震度階）を用いた。

3 構造物の被害と地震動の関係

3-1 木造家屋

木造家屋は、日本では普遍的に分布し、強度特性に大きな差がないことから、その被害度合が地震力の程度を示す指標としてよく用いられる。

物部(1926)による全壊率と合震度の関係、河角(1951)および表・宮村(1951)による被害率と沖積層厚の関係、望月・宮野・松田(1978)による地形区分ごとの全壊率と震源距離の関係、栗林・羽立・干場(1978)による地盤種別ごとの被害率と震央距離の関係、飯田(1978)による地盤の周期特性と被害率の関係の検討などがある。また、殿内・兼森・高島(1981)は全壊率と応答計算による地表加速度との関係を求め、殿内・金子・今井(1982)は関東大地震での地盤区分ごとの被害率の距離減衰について検討している。

以上のように、木造家屋の被害については多くの調査研究が発表されているが、いずれも個々の地震について検討したものであり、いくつかの地震をまとめて検討している例はほとんどみられない。ここでは、前述の関東大地震、北丹後地震、鳥取地震、東南海地震、三河地震、福井地震の6つの地震におけるデータをまとめて、地盤種別、震度と被害率の関係を求めた。対象とした6地震のうち、三河地震は震度V、その他の地震は震度VとVIの範囲のデータを含んでいる。また被害率は被害資料の

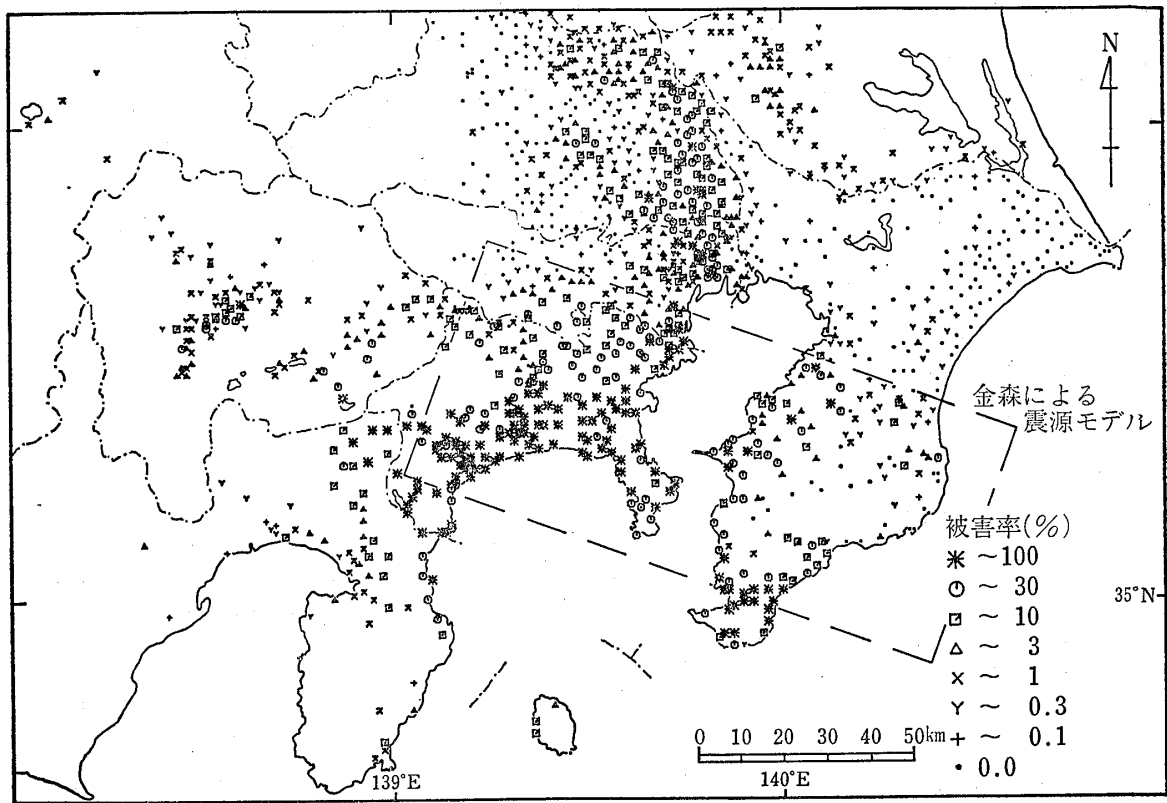


図-1 関東大地震による木造家屋被害率分布図

Fig. 1 Damage ratios for wooden houses as result of Great Kanto Earthquake

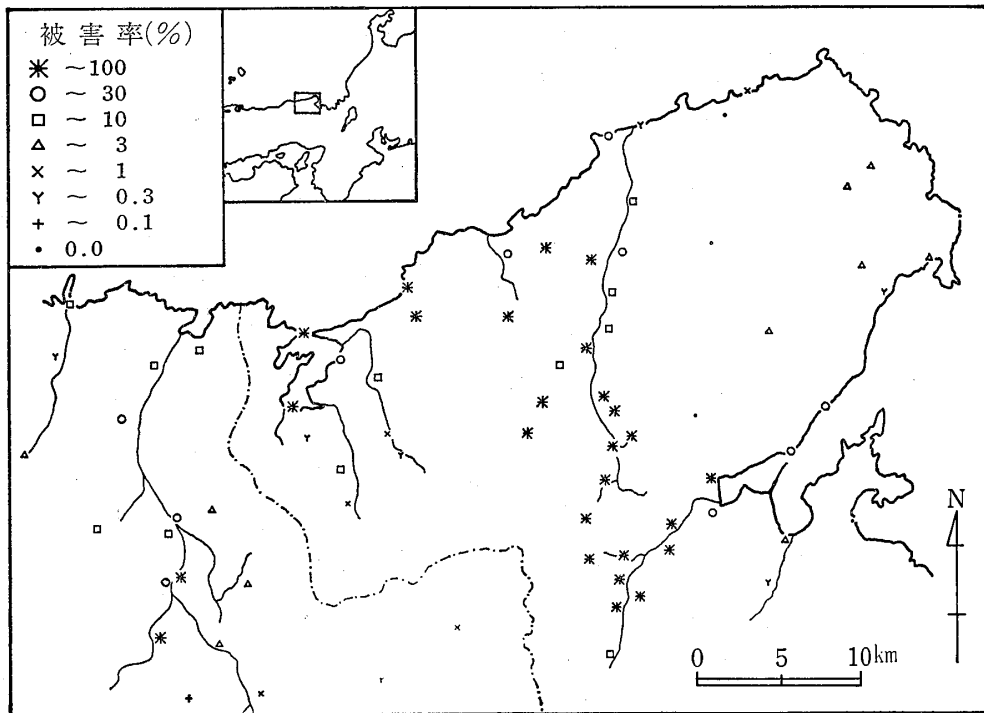


図-2 北丹後地震による木造家屋被害率分布図

Fig. 2 Damage ratios for wooden houses as result of Kita Tango Earthquake

集計単位に従って市区町村単位で評価し、6地震の総計で1589の市区町村について被害率を算定した。ここで、被害率は半壊戸数の1/2と全壊戸数の和を全戸数で割

った値とし、その区分は、0~0.1%、0.1~0.3%、0.3~1%、1~3%、3~10%、10~30%、30~100%の7区分とした。また、津波による流失、火災による焼失の戸

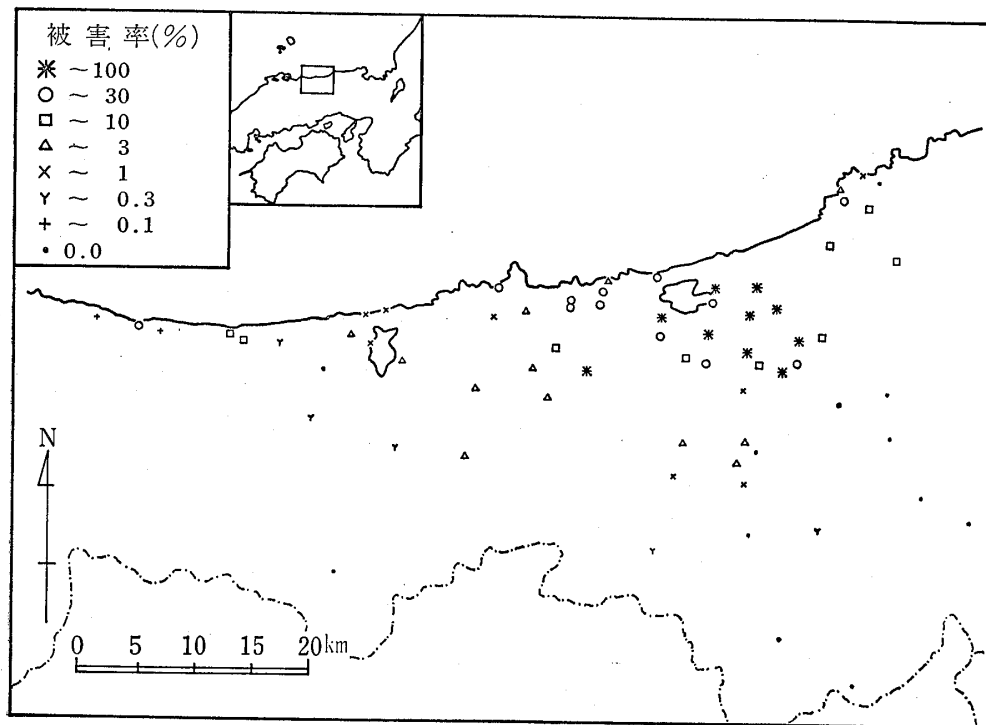


図-3 鳥取地震による木造家屋被害率分布図
Fig. 3 Damage ratios for wooden houses as result of Tottori Earthquake

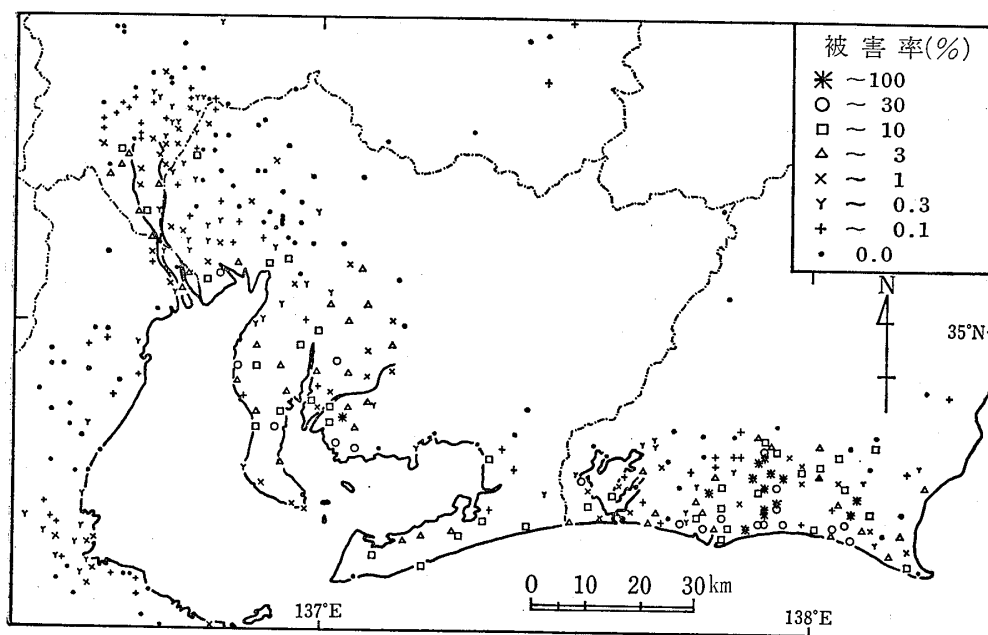


図-4 東南海地震による木造家屋被害率分布図
Fig. 4 Damage ratios for wooden houses as result of Tonankai Earthquake

数が、倒壊戸数に含まれている市区町村は除外した。

関東大地震、北丹後地震、鳥取地震、東南海地震、三河地震、福井地震の被害率の分布をそれぞれ図-1~図

一6に、また、それらの地震による被害地域（関東地方、北丹後地方、鳥取地方、東海地方、福井市周辺）の地盤種別の分布を図-7~図-11に示してある。これらの資料に基づいて、各被害率区分に対する市区町村数を震度

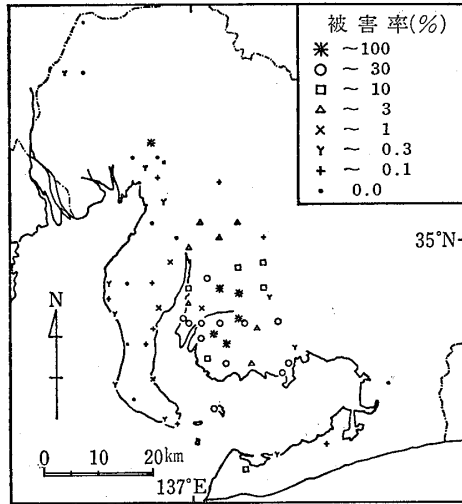


図-5 三河地震による木造家屋被害率分布図
Fig. 5 Damage ratios for wooden houses as result of Mikawa Earthquake

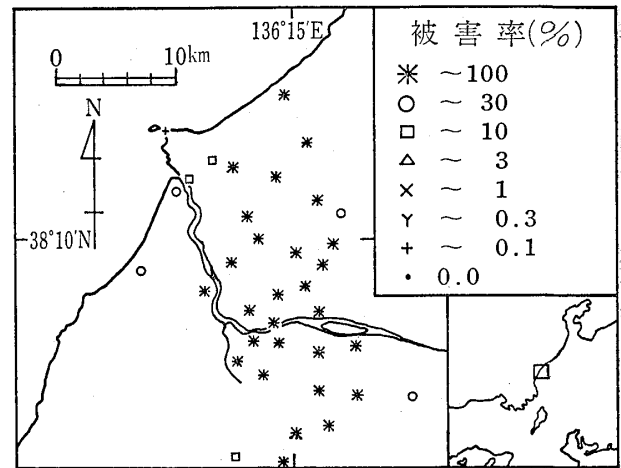


図-6 福井地震による木造家屋被害率分布図
Fig. 6 Damage ratios for wooden houses as result of Fukui Earthquake

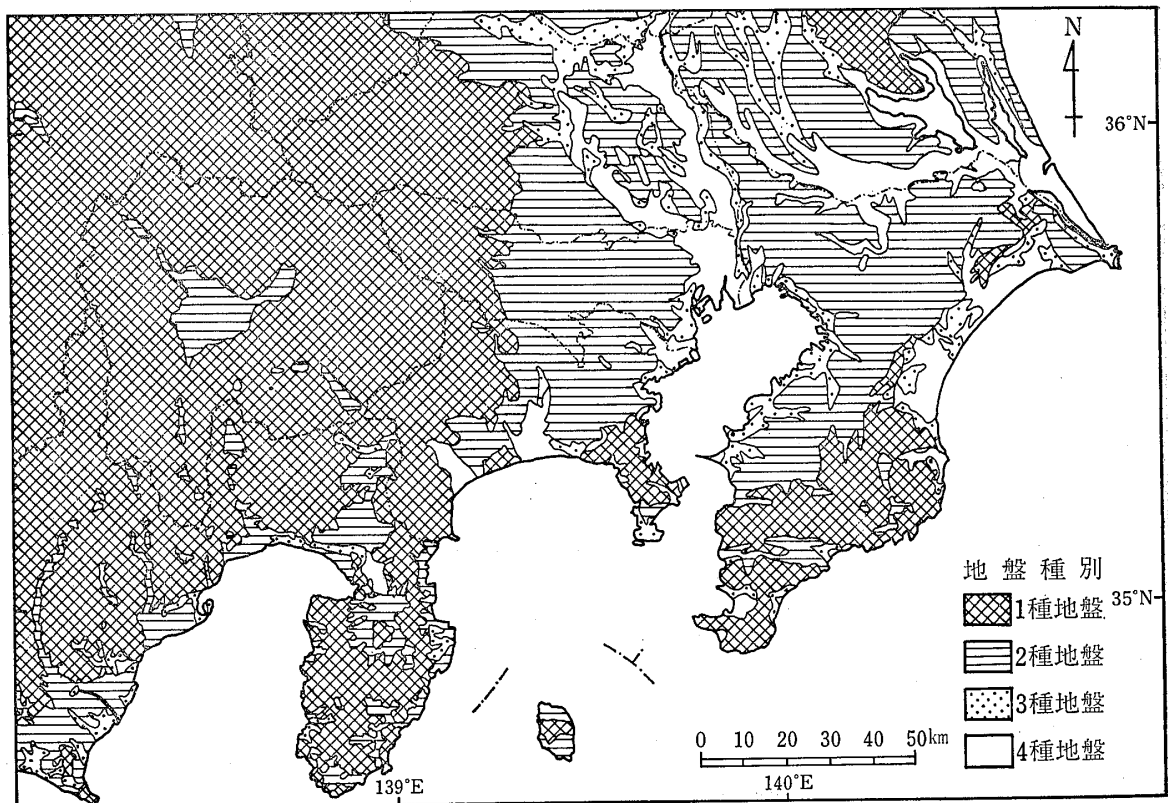


図-7 関東地方の地盤分類図（関東大地震）
Fig. 7 Classification of ground types of Kanto Area (Great Kanto Earthquake)

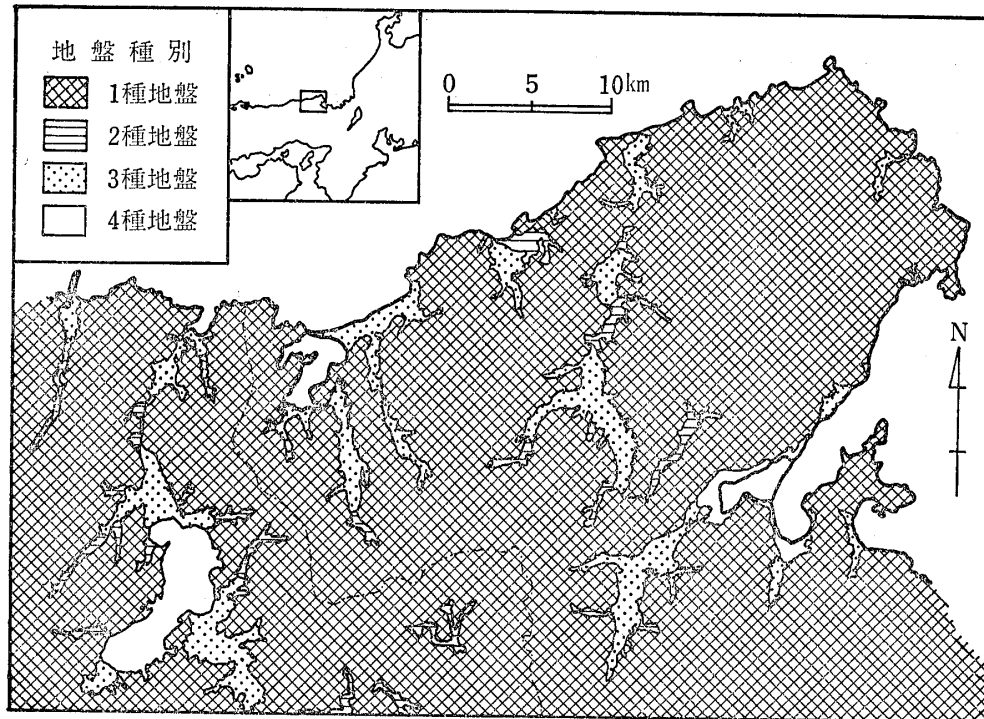


図-8 北丹後地方の地盤分類図 (北丹後地震)

Fig. 8 Classification of ground types of Kita Tango Area (Kita Tango Earthquake)

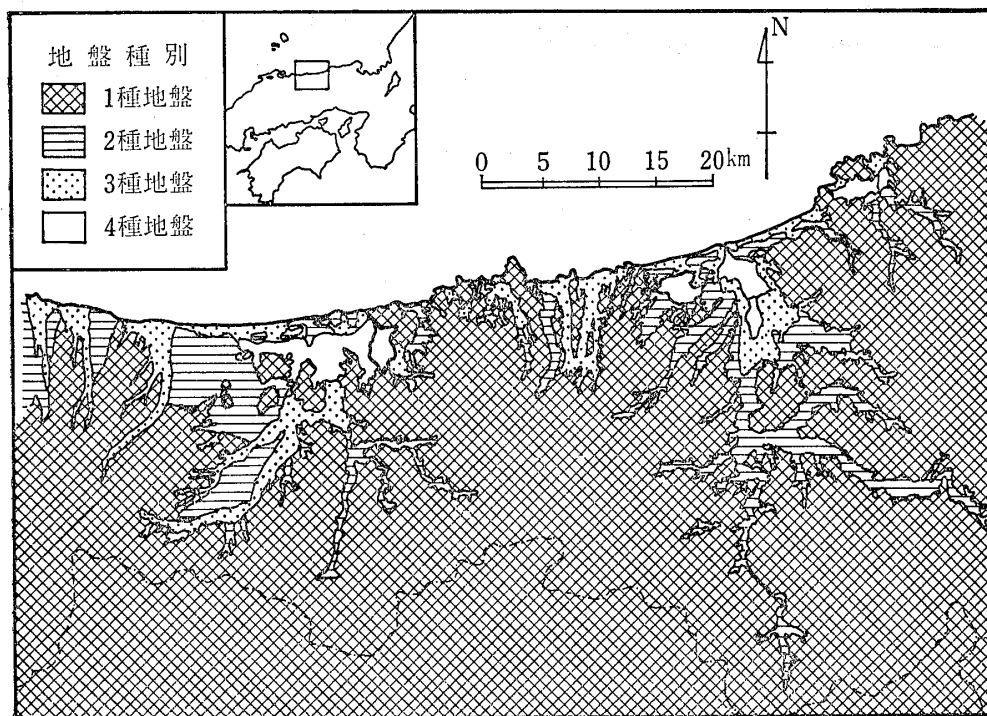


図-9 鳥取地方の地盤分類図 (鳥取地震)

Fig. 9 Classification of ground types of Tottori Area (Tottori Earthquake)

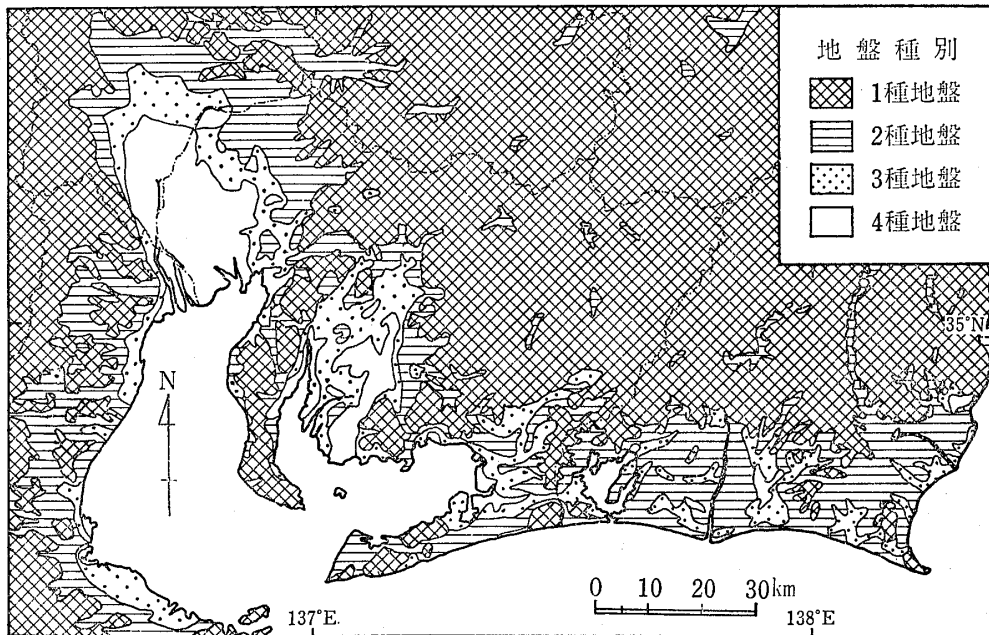


図-10 東海地方の地盤分類図（東南海地震，三河地震）

Fig. 10 Classification of ground types of Tokai Area (Tonankai and Mikawa Earthquakes)

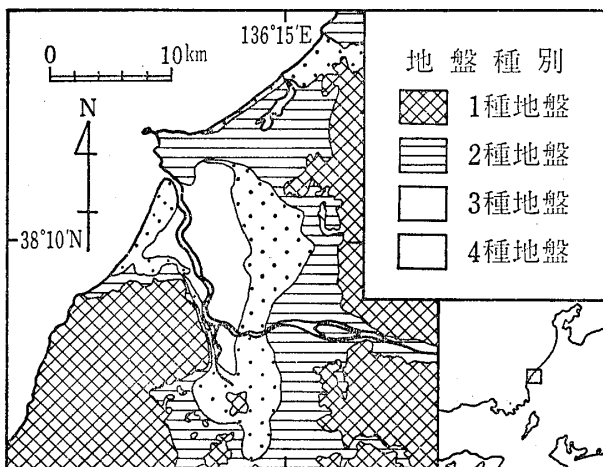


図-11 福井地方の地盤分類図（福井地震）

Fig. 11 Classification of ground types of Fukui Area (Fukui Earthquake)

および地盤種別ごとに示すと，表-2のようになる。この表によって明らかのように，被害率は同一震度，同一地盤種別でも広い範囲にわたって分布している。このようなデータを統計的に処理する方法として累積度数分析を採用した。この方法は，集団の中で値の小さい方から順に並べ，集団内の値の分布状況と個々の値の位置付けをするものである。例えば，結果として得られる累積度数90%の値とは，全体で100個あれば，小さい方から90個

目の値，すなわち大きい方から10個を除いた最大値ということになる。なお，度数をある区間ごとに集計しており，各区間を代表する値としては，その区間の最大値をとることとした。

上記の方法によって求めた累積度数曲線を図-12～図-14に示す。図-12は震度Vの場合の地盤種別ごとの曲線であり，図-13は震度VIの場合の曲線である。また，図-14は，地盤種別に関係なく，震度Vと震度VIの場合の曲線を比較したものである。これらの図から累積度数50%，90%の値をとり，またデータ全体の算術平均値を求めて，表-3および図-15に示す。当然のことながら，震度Vと震度VIでは明らかな差が見られ，地震力の増加により被害率は増大している。また，地盤種別については震度Vの算術平均値で見ると，1種で0.9%，2種で2.6%，3種で2.8%，4種で8.4%と次第に大きくなる。この傾向は震度VIの場合も同様であるが，その変化の程度は震度Vほどではない。

3-2 盛土構造物

日本道路協会（1979）は，道路盛土の震害事例をもとに，盛土高，法勾配，地盤状況と被害の関係を分析しているが，被害についてはその程度を無被害を含めて大きく4段階に分けて評価しており，定性的な検討と見ることができる。また，鉄道技術研究所（1968）は，鉄道盛

表-2 木造家屋被害率の頻度分布 (市区町村数)
 Table 2 Frequency distribution of damage ratios of wooden houses: Number of cities, wards, towns and villages

| 震 度 | 被害率(%) | | | | | | | | |
|-----|--------|------|------|-----|-----|-----|-----|------|-----|
| | 地盤種別 | ~0.1 | ~0.3 | ~1 | ~3 | ~10 | ~30 | ~100 | 計 |
| V | 1種地盤 | 9 | 27 | 15 | 9 | 1 | 2 | 0 | 63 |
| | 2種地盤 | 29 | 75 | 62 | 38 | 23 | 21 | 7 | 255 |
| | 3種地盤 | 14 | 42 | 60 | 37 | 31 | 8 | 15 | 207 |
| | 4種地盤 | 6 | 9 | 18 | 25 | 14 | 16 | 10 | 98 |
| | 全 体 | 58 | 153 | 155 | 109 | 69 | 47 | 32 | 623 |
| VI | 1種地盤 | 14 | 15 | 20 | 24 | 19 | 25 | 15 | 132 |
| | 2種地盤 | 19 | 54 | 61 | 70 | 65 | 65 | 68 | 402 |
| | 3種地盤 | 2 | 19 | 28 | 31 | 45 | 40 | 51 | 216 |
| | 4種地盤 | 0 | 7 | 9 | 43 | 50 | 51 | 56 | 216 |
| | 全 体 | 35 | 95 | 118 | 168 | 179 | 181 | 190 | 966 |

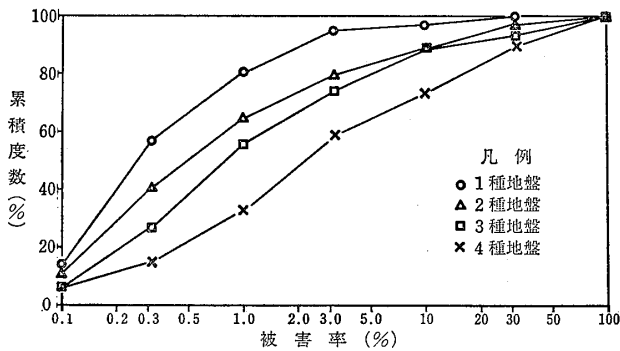


図-12 木造家屋被害率累積度数曲線 (震度V)

Fig. 12 Cumulative distribution curves of damage ratios for wooden houses (JMA seismic intensity scale V)

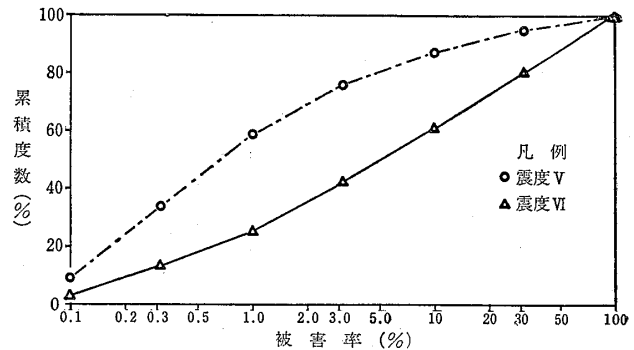


図-14 木造家屋被害率累積度数曲線 (震度別)

Fig. 14 Cumulative distribution curves of damage ratios for wooden houses (JMA seismic intensity scale V and VI)

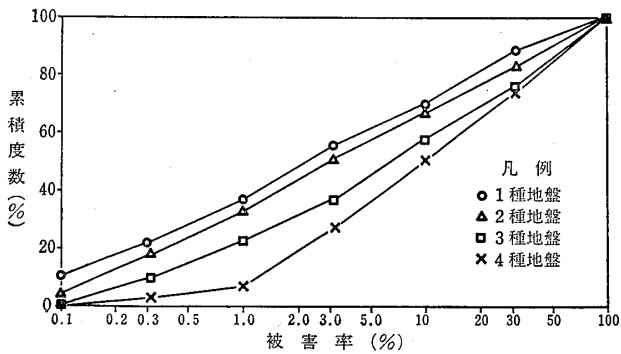


図-13 木造家屋被害率累積度数曲線 (震度VI)

Fig. 13 Cumulative distribution curves of damage ratios for wooden houses (JMA seismic intensity scale VI)

土の被害と地盤の関係を、野澤・岡田・福島・川名(1983)は、橋台裏盛土での沈下量と加速度の関係を検討している。

ここでは、河川堤防の震害事例を用いて被害率について、また河川堤防、道路および鉄道の盛土の震害事例を用いて沈下量および残留率について、地盤種別、震度との関係を量的に検討した。

1) 被害率

地震による盛土構造物の被害率は、被害盛土の延長の無被害盛土を含めた総延長に対する割合とした。なお、ここで被害延長としたのは、本復旧の対象となった区間である。

対象とした盛土構造物は、検討に用いるデータの揃っ

表-3 木造家屋被害率の累積度数50%，90%値と算術平均値

Table 3 Damage ratios of wooden houses at cumulative distribution values of 50%, 90%, and arithmetical mean values

| 震 度 | 地 盤 種 別 | 累 積 度 数 | | 平均値 (%) |
|-----|---------|----------|----------|---------|
| | | 50%値 (%) | 90%値 (%) | |
| V | 1 種 地 盤 | 0.26 | 2.1 | 0.9 |
| | 2 種 地 盤 | 0.48 | 11 | 2.6 |
| | 3 種 地 盤 | 0.79 | 14 | 2.8 |
| | 4 種 地 盤 | 2.1 | 32 | 8.4 |
| | 全 体 | 0.66 | 15 | 3.4 |
| VI | 1 種 地 盤 | 2.3 | 36 | 10.3 |
| | 2 種 地 盤 | 2.9 | 51 | 10.4 |
| | 3 種 地 盤 | 6.4 | 62 | 17.2 |
| | 4 種 地 盤 | 9.6 | 64 | 19.7 |
| | 全 体 | 4.9 | 54 | 14.5 |

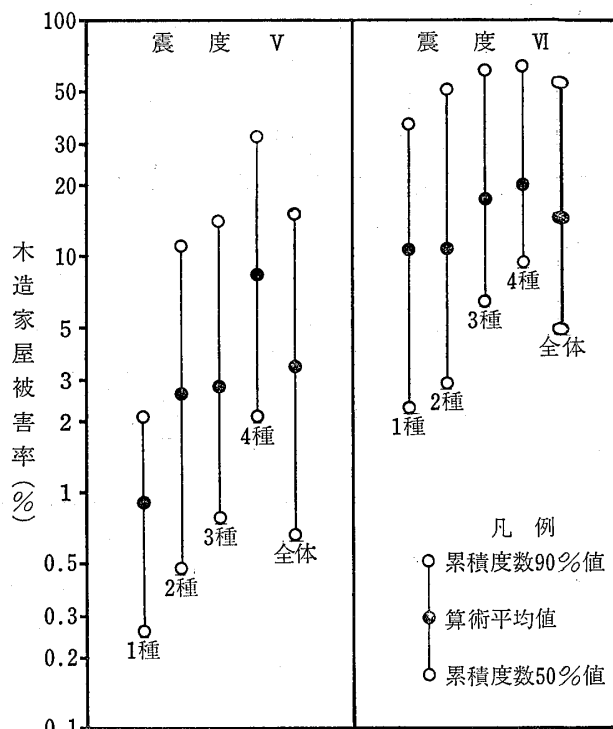


図-15 震度および地盤種別による木造家屋被害率
Fig. 15 Damage ratio of wooden houses according to seismic intensity and ground types

表-4 対象河川別の被害状況

Table 4 Extent of earthquake damage along rivers studied

| 地震名 | 河 川 名 (水 系 名) | 2 種 地 盤 | | 3 種 地 盤 | | 4 種 地 盤 | | 小 計 | |
|----------------------------|------------------|---------------|--------------|---------------|--------------|---------------|--------------|---------------|--------------|
| | | 総 延 長 (km) | 被害延長 (km) | 総 延 長 (km) | 被害延長 (km) | 総 延 長 (km) | 被害延長 (km) | 総 延 長 (km) | 被害延長 (km) |
| 濃 尾 地 震 | 木 曾 川 | 8.6 | 8.6 | 19.4 | 19.4 | 67.6 | 67.6 | 95.6 | 95.6 |
| | 長 良 川 | 15.2 | 4.5 | — | — | 55.2 | 2.5 | 70.4 | 7.0 |
| | 揖 斐 川 | 19.2 | 0.0 | — | — | 59.6 | 1.0 | 78.8 | 1.0 |
| | 杭 瀬 川 | — | — | 20.0 | 0.8 | 4.0 | 0.3 | 24.0 | 1.1 |
| | 大 樽 川 | — | — | — | — | 15.2 | 0.1 | 15.2 | 0.1 |
| | 境 川 | 16.2 | 0.0 | 20.8 | 6.4 | — | — | 37.0 | 6.4 |
| 福 井 地 震 | 九 頭 竜 川 | 12.0 | 12.0 | 6.0 | 6.0 | 29.4 | 28.8 | 57.4 | 46.8 |
| | 大 聖 寺 川 | — | — | 2.2 | 2.0 | — | — | 2.2 | 2.0 |
| | 竹 田 川 | 8.0 | 3.0 | 1.8 | 1.4 | 6.2 | 5.7 | 16.0 | 10.1 |
| | 兵 庫 川 | — | — | 3.6 | 3.6 | 14.0 | 14.0 | 17.6 | 17.6 |
| 官 城 県 沖 地 震 | 阿武隈川水系 | 39.0 | 0.15 | 1.0 | 0.0 | 88.0 | 1.22 | 128.0 | 1.37 |
| | 名取川水系 | 26.0 | 0.0 | 12.0 | 0.0 | 35.0 | 3.54 | 73.0 | 3.54 |
| | 鳴瀬川水系 | — | — | 57.0 | 0.57 | 112.0 | 7.27 | 169.0 | 7.84 |
| | 北上川水系 | 27.0 | 0.05 | 130.0 | 8.42 | 101.0 | 0.64 | 258.0 | 9.11 |

ているものとしたため、濃尾地震における木曾川、長良川、揖斐川の木曾三川を含む6河川、福井地震における九頭竜川、大聖寺川などの4河川、宮城県沖地震での阿武隈川、名取川、北上川などの4水系で、合計17河川の

河川堤防のみとなった。これらの盛土構造物の被害延長と総延長を地盤種別ごとに示すと表-4のようになる。なお、被害の一例を図-16に示してある。また、宮城県の地盤分類図は図-17に示す通りである。

| | | | | | | | |
|----------|------|----------|----------|--------|---------|---------|---------|
| キロ標 (km) | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 |
| 左岸被害 | | キ沈 レ下 | キ沈 レ下 | 陥 没 | | キレ ツ | |
| 右岸被害 | | | キレ ツ | 陥 没 | キレ ツ | 陥 没 | キレ ツ |
| 地盤種別 | 4種地盤 | | | | | | |
| 震度 | 震度 V | | | | | | |

図-16 盛土構造物の被害例 (吉田川：宮城県沖地震)

Fig. 16 Example of earthquake damage to an embankment (Yoshida River: Miyagi Ken Oki Earthquake)

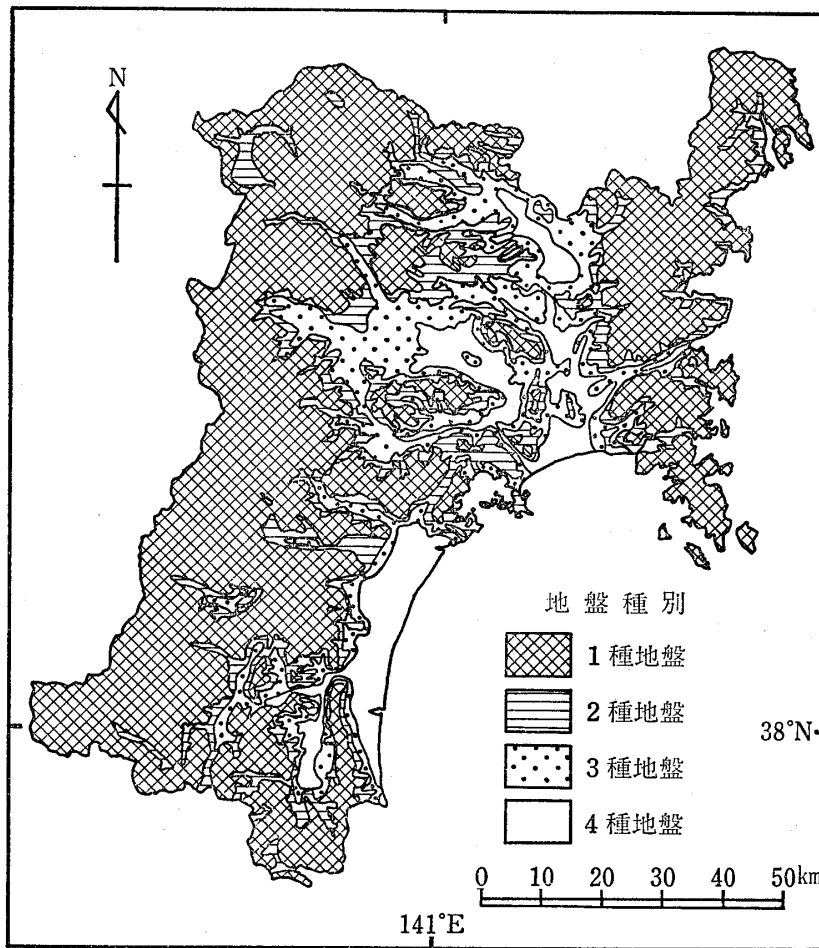


図-17 宮城県の地盤分類図 (宮城県沖地震)

Fig. 17 Ground types in Miyagi Prefecture (Miyagi Ken Oki Earthquake)

表-5 盛土構造物の被害率
Table 5 Earthquake damage ratios to embankments

| 震度 | 地盤種別 | 2種地盤 | 3種地盤 | 4種地盤 | 合計 |
|----|----------|-------|-------|--------|--------|
| V | 総延長(km) | 36.0 | 166.0 | 325.0 | 527.0 |
| | 被害延長(km) | 0.15 | 1.43 | 12.60 | 14.18 |
| | 被害率(%) | 0.4 | 0.9 | 3.9 | 2.7 |
| VI | 総延長(km) | 115.6 | 107.8 | 262.2 | 485.6 |
| | 被害延長(km) | 28.15 | 47.16 | 120.07 | 195.38 |
| | 被害率(%) | 24.4 | 43.7 | 45.8 | 40.2 |

上記河川の堤防の被害について，宮城県沖地震では詳細な資料があるが，約90年前の濃尾地震では，例えば木曾川下流域では「全面的に陥没，崩壊」といった記述のみであるので，木曾川については対象とした下流域の全延長とみなすこととした。また，福井地震では，地震の3ヶ月後の測量結果において沈下している区間を被害区間とした。さらに，震度については，濃尾，福井両地震では震度VIの地域である。宮城県沖地震では震度IVからVIまでの地域が分布するが，対象とした盛土の延長で見ると震度Vが84%を占めている。そして震度IVの地域では被害は発生していない。なお，全地域において，1種地盤における盛土はなかった。

以上の結果を震度および地盤種別ごとにまとめて，被害率を示すと表-5のようになる。この表から明らかのように，震度についてみると，震度IVで0%，震度Vで2.7%，震度VIで40.2%となっていて，震度の増加によって被害率は急激に大きくなる。地盤種別については，2種地盤から4種地盤の順に被害率が大きくなる傾向がみられ，震度Vの2種で0.4%，3種で0.9%，4種で3.9%の被害率となる。

2) 沈下量，残留率

盛土構造物の被害については，被害率とともに被害の形態が考えられる。被害の形態としては，沈下，陥没，亀裂，法肩のすべりなど様々であるが，ここでは，盛土天端の沈下量と残留率とをとりあげ，地盤種別，震度との関係を検討した。ここで沈下量は，図-18に示すように，地震前後の天端高の差であり，残留率は，盛土高から沈下量を差し引いた残留高を盛土高で割ったものである。

対象とした盛土構造物は，前に述べた濃尾地震，関東大地震，福井地震，1952年十勝沖地震，新潟地震，1968年十勝沖地震，宮城県沖地震の7地震において被害を受

けた河川堤防，道路および鉄道の盛土であり，震害資料から地震前後の断面形状，震度および地盤の状況の判明している621例を抽出した。1種地盤における被害例は極端に数が少ないので除外した。また，用いたデータは何らかの被害のあった事例であり，沈下量が0mすなわち残留率が100%のデータは，沈下はなかったが亀裂，法肩のすべりなどの被害があったものである。

抽出した震害事例のうち，震度VIのデータのなかに，地盤種別の区分が困難なものもあるため，地盤種別と沈下量，残留率との関係については，震度Vの場合のみを調べた。沈下量では0.1mごとに，残留率では5%ごとに区分し，地盤種別ごとに整理して，その結果をそれぞれ表-6，表-7に示してある。これらの表に基づいて得られた沈下量および残留率の累積度数曲線を示すと，それぞれ図-19および図-20のようになる。これらの図から求められる累積度数50%および90%の沈下量，残留率の値を表-8に示す。これによれば，地盤種別による傾向は，例えば累積度数90%での値をとると，沈下量は2種で0.28m，3種で1.19m，4種で1.43mとなり，地盤種別の相違による影響が明確である。残留率についても同様な傾向である。また沈下量では，2種と3種の差が3種と4種の差よりも大きくなることは，2種が洪積地盤，3種と4種が沖積地盤であるといった地盤の状況の差に対応しているものと見ることもできる。

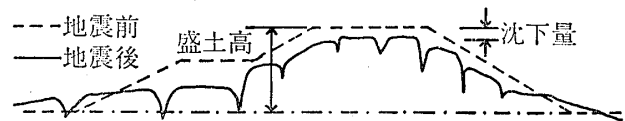


図-18 盛土の沈下量の算定方法

Fig. 18 Estimating amount of subsidence of an embankment caused by earthquake

表一6 地盤種別ごとの盛土の地震時沈下量

Table 6 Amounts of embankment subsidence caused by earthquakes, according to ground type

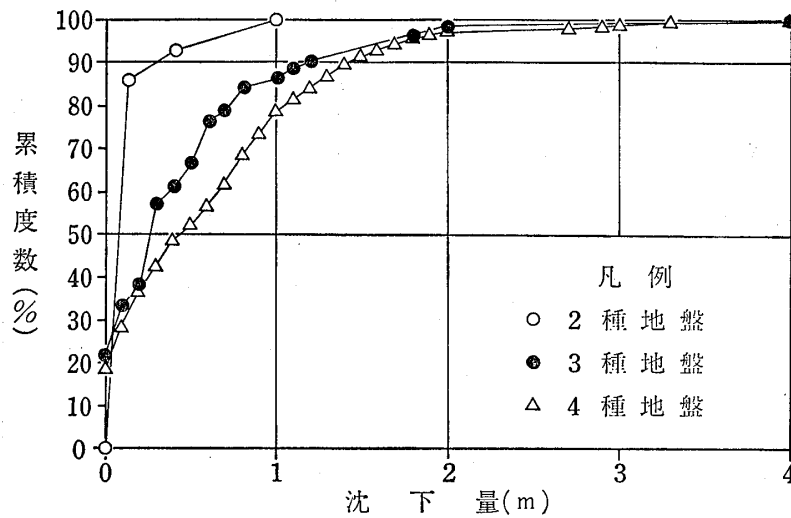
| 沈下量 (m) | 震 度 V | | |
|------------|---------|----|-----|
| | 地 盤 種 別 | | |
| | 2種 | 3種 | 4種 |
| 0 | | 11 | 61 |
| 0.1 | 12 | 6 | 32 |
| 0.2 | | 2 | 26 |
| 0.3 | | 10 | 19 |
| 0.4 | 1 | 2 | 20 |
| 0.5 | | 3 | 11 |
| 0.6 | | 5 | 15 |
| 0.7 | | 1 | 16 |
| 0.8 | | 3 | 23 |
| 0.9 | | | 15 |
| 1.0 | 1 | 1 | 18 |
| 1.1 | | 1 | 9 |
| 1.2 | | 1 | 8 |
| 1.3 | | | 9 |
| 1.4 | | | 9 |
| 1.5 | | | 6 |
| 1.6 | | | 5 |
| 1.7 | | 2 | 4 |
| 1.8 | | 1 | 4 |
| 1.9 | | | 3 |
| 2.0 | | 1 | 4 |
| 2.1 | | | |
| 2.2 | | | |
| 2.3 | | | |
| 2.4 | | | |
| 2.5 | | | |
| 2.6 | | | |
| 2.7 | | | 1 |
| 2.8 | | | |
| 2.9 | | | 1 |
| 3.0 | | | 3 |
| 3.3 | | | 1 |
| 3.6 | | | |
| 3.7 | | | |
| 3.9 | | | |
| 4.0 | | 1 | 1 |
| 4.5 | | | |
| 5.0 | | | 1 |
| 合 計 | 14 | 51 | 325 |

表一7 地盤種別ごとの盛土の地震時残留率

Table 7 Ratio of embankment remaining after subsidence, according to ground type

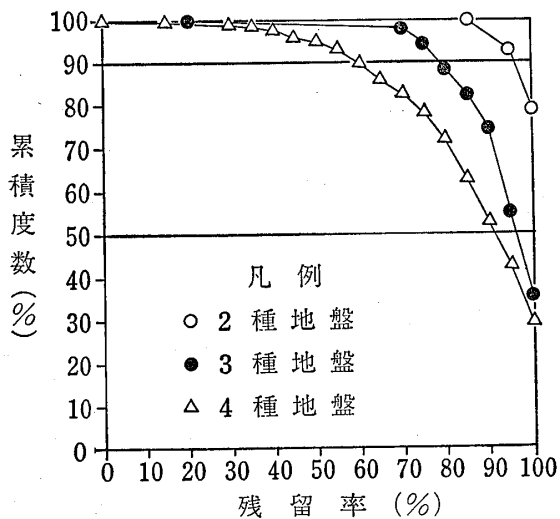
| 残 留 率 (%) | 震 度 V | | |
|--------------------|---------|----|-----|
| | 地 盤 種 別 | | |
| | 2種 | 3種 | 4種 |
| 0 | | | 1 |
| 1~5 | | | |
| 6~10 | | | |
| 11~15 | | | 2 |
| 16~20 | | 1 | |
| 21~25 | | | |
| 26~30 | | | 3 |
| 31~35 | | | 3 |
| 36~40 | | | 5 |
| 41~45 | | | 3 |
| 46~50 | | | 6 |
| 51~55 | | | 10 |
| 56~60 | | | 13 |
| 61~65 | | | 11 |
| 66~70 | | 2 | 14 |
| 71~75 | | 3 | 20 |
| 76~80 | | 3 | 31 |
| 81~85 | 1 | 4 | 32 |
| 86~90 | | 10 | 33 |
| 91~95 | 2 | 10 | 43 |
| 96~100 | 11 | 18 | 95 |
| 合 計 | 14 | 51 | 325 |

つぎに、液状化の有無についてデータを整理すると、表一9および表一10のようになる。液状化の有無については、資料の記載において液状化の発生が確実と考えられる事例を液状化有としている。震度Ⅵの場合には、各地盤種別に液状化有の例があるが、震度Ⅴの場合には、4種地盤のみにみられる。これらの結果に基づいて、震度別、液状化の有無別に、沈下量および残留率の累積度数曲線を求めると、それぞれ図一21および図一22のようになる。両図より、沈下量および残留率の累積度数50%および90%における値を求めると、表一11に示すようになる。この表によると震度による沈下量の差は明らかである。たとえば、累積度数90%の沈下量の値を見ると、震度Ⅴと震度Ⅵの差は、液状化無の場合で0.68m、液状化有の場合で0.84mである。液状化の有無による差



図一19 地盤種別ごとの盛土の沈下量累積度数曲線

Fig. 19 Cumulative distribution curves for embankment subsidence, according to ground type



図一20 地盤種別ごとの盛土の残留率累積度数曲線

Fig. 20 Cumulative distribution curves for ratio of embankment remaining after subsidence, according to ground type

表一8 地盤種別ごとの累積度数50%, 90%における盛土の沈下量, 残留率

Table 8 Subsidence and damage ratios of wooden houses at cumulative distribution values of 50% and 90%, according to ground type

| | | 震 度 V | | |
|---------|----------|---------|------|------|
| | | 地 盤 種 別 | | |
| | | 2種 | 3種 | 4種 |
| 沈下量 (m) | 累積度数50%値 | 0.06 | 0.27 | 0.44 |
| | 累積度数90%値 | 0.28 | 1.19 | 1.43 |
| 残留率 (%) | 累積度数50%値 | (100) | 96 | 91 |
| | 累積度数90%値 | 96 | 79 | 60 |

については震度Vで0.71m, 震度VIで0.87mである。液状化によって被害がより激しいものになることも明らかである。たとえば, 震度Vで液状化があった場合には, 震度VIの液状化無に相当する結果となっている。

また, 残留率についても沈下量の場合とほぼ同様な傾向を示している。

3-3 道路, 鉄道

日本道路協会(1979)は, 道路における盛土, 法面斜面, 橋りょうおよびトンネルの個々の構造物の構造や地盤条件について, 被害ランクとの関係を震害事例をもと

にして検討している。

3-2においては, 道路, 鉄道に関する盛土構造物を河川堤防と一緒にして検討したが, ここでは, 盛土, 橋りょうなど個別の構造によらず, 道路および鉄道について, 交通輸送施設の路線としての機能を対象とし, その被害と地盤種別, 震度の関係を検討した。検討に当たっては, 最も詳細な被害資料のある宮城県沖地震に限った。

1) 道路

宮城県内の国道, 県道の被害状況を表一12に示す。また, 被害の1例を図一23に示す。被害形態, 被災構造物は様々であるが, 被害箇所としては通行不能となる程度のものを抽出した。被害率は路線延長に対する被害箇所数で表わすものとした。

表一9 震度および液状化の有無による盛土の地震時沈下量
Table 9 Amounts of embankment subsidence caused by earthquakes, according to seismic intensity and presence or absence of liquefaction

| 沈下量 (m) | 震度 V | | 震度 VI | |
|------------|------|----|-------|----|
| | 液状化 | | 液状化 | |
| | 無 | 有 | 無 | 有 |
| 0 | 63 | 9 | 14 | |
| 0.1 | 48 | 2 | 11 | |
| 0.2 | 22 | 6 | 2 | |
| 0.3 | 26 | 3 | 7 | 1 |
| 0.4 | 20 | 3 | 9 | |
| 0.5 | 14 | | 18 | |
| 0.6 | 18 | 2 | 4 | 3 |
| 0.7 | 15 | 2 | 10 | 1 |
| 0.8 | 26 | | 13 | 6 |
| 0.9 | 8 | 7 | 5 | |
| 1.0 | 20 | | 9 | 3 |
| 1.1 | 8 | 2 | 11 | 1 |
| 1.2 | 7 | 2 | 3 | 4 |
| 1.3 | 8 | 1 | 6 | |
| 1.4 | 6 | 3 | 6 | 4 |
| 1.5 | 5 | 1 | 4 | 4 |
| 1.6 | 4 | 1 | 4 | 9 |
| 1.7 | 4 | 2 | 1 | 1 |
| 1.8 | 2 | 3 | 5 | 4 |
| 1.9 | 1 | 2 | 2 | 1 |
| 2.0 | 3 | 2 | 3 | 2 |
| 2.1 | | | 1 | 1 |
| 2.2 | | | 2 | 3 |
| 2.3 | | | | 3 |
| 2.4 | | | | 4 |
| 2.5 | | | 2 | 2 |
| 2.6 | | | 2 | 3 |
| 2.7 | | 1 | 1 | 2 |
| 2.8 | | | 1 | 1 |
| 2.9 | | 1 | | 1 |
| 3.0 | 2 | 1 | 1 | 1 |
| 3.3 | 1 | | 1 | |
| 3.6 | | | 1 | |
| 3.7 | | | 1 | 1 |
| 3.9 | | | 1 | |
| 4.0 | 1 | 1 | | |
| 4.5 | | | | 3 |
| 5.0 | | 1 | | 1 |
| 合計 | 332 | 58 | 161 | 70 |

表一10 震度および液状化の有無による盛土の地震時残留率
Table 10 Ratio of embankments remaining after subsidence, according to seismic intensity and presence or absence of liquefaction

| 残留率 (%) | 震度 V | | 震度 VI | |
|------------|------|----|-------|----|
| | 液状化 | | 液状化 | |
| | 無 | 有 | 無 | 有 |
| 0 | | 1 | | 5 |
| 1~5 | | | | |
| 6~10 | | | 1 | 2 |
| 11~15 | 1 | 1 | | |
| 16~20 | 1 | | | 1 |
| 21~25 | | | 1 | |
| 26~30 | 2 | 1 | | |
| 31~35 | 1 | 2 | 1 | |
| 36~40 | 4 | 1 | 1 | 3 |
| 41~45 | 3 | | | 5 |
| 46~50 | 4 | 2 | 7 | 2 |
| 51~55 | 5 | 5 | 1 | 3 |
| 56~60 | 10 | 3 | 8 | 13 |
| 61~65 | 8 | 3 | 7 | 7 |
| 66~70 | 14 | 2 | 11 | 5 |
| 71~75 | 19 | 4 | 12 | 7 |
| 76~80 | 25 | 9 | 18 | 8 |
| 81~85 | 35 | 2 | 19 | 5 |
| 86~90 | 39 | 4 | 29 | 3 |
| 91~95 | 48 | 7 | 18 | 1 |
| 96~100 | 113 | 11 | 27 | |
| 合計 | 332 | 58 | 161 | 70 |

表一12において、高速道路は構造が一般国道、県道と異なっており、被害は通行不能にまで至らない軽微な被害に限られているけれども、およそ1kmに1箇所被害があったことになる。一方、一般県道のうちの牡鹿半島にあるコバルトラインは、延長33.4kmに122箇所もの被害がみられ、被害率は3.65箇所と大きな値となるが、そのほとんどが山地の盛土での被害である。これらを除く一般国道および県道の被害率はともに0.08箇所/km前後となる。

つぎに、被害位置、被害状況の明らかな指定区間の国道について、震度Vの地域に限って地盤種別ごとに被害率を求めると表一13のようになる。地盤1種と2種が混在していて区分がむつかしい区間があり、また、これらの地盤の性状は近似しているので合せて示した。被害

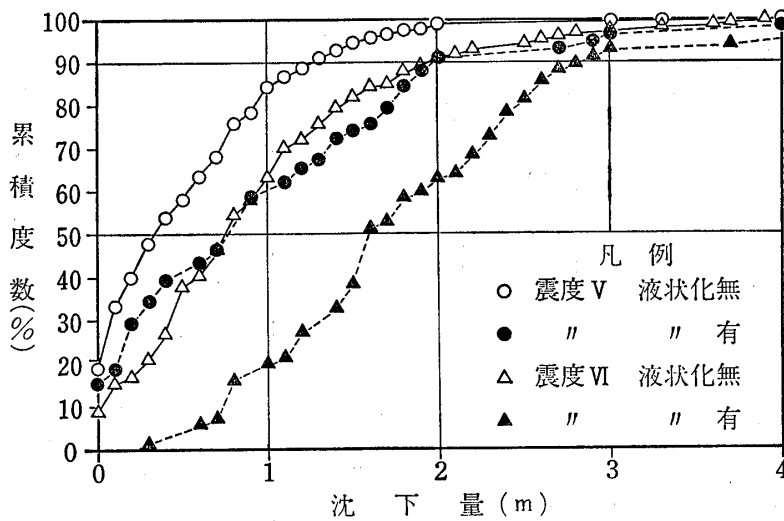


図-21 震度および液状化の有無による盛土の沈下量累積度数曲線
 Fig. 21 Cumulative distribution curves for embankment subsidence, according to seismic intensity and presence or absence of liquefaction

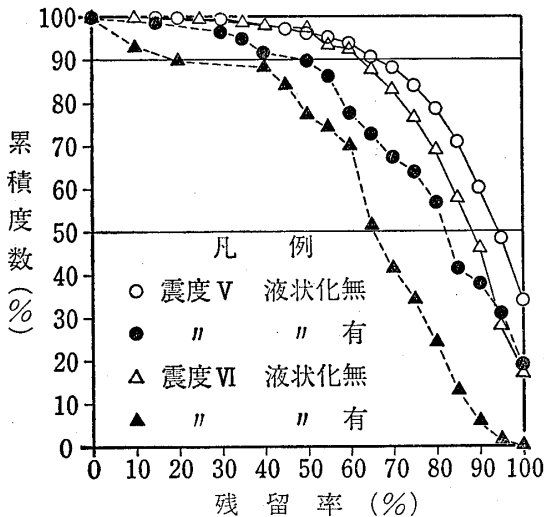


図-22 震度および液状化の有無による盛土の残留率累積度数曲線
 Fig. 22 Cumulative distribution curves for ratio of embankment remaining after subsidence, according to seismic intensity and presence or absence of liquefaction

表-11 震度および液状化の有無による累積度数50%, 90%における盛土の沈下量, 残留率

Table 11 Subsidence and damage ratios of embankments at cumulative distribution values of 50% and 90%, according to ground type

| | | 震度 V | | 震度 VI | |
|---------|----------|------|------|-------|------|
| | | 液状化 | | 液状化 | |
| | | 無 | 有 | 無 | 有 |
| 沈下量 (m) | 累積度数50%値 | 0.34 | 0.76 | 0.74 | 1.59 |
| | 累積度数90%値 | 1.25 | 1.96 | 1.93 | 2.80 |
| 残留率 (%) | 累積度数50%値 | 94 | 82 | 88 | 67 |
| | 累積度数90%値 | 66 | 49 | 63 | 20 |

率は、地盤1・2種、3種、4種の順に大きくなり、それらの値は、それぞれ0.062, 0.088, 0.139箇所/kmとなっている。

2) 鉄道

鉄道についても道路の場合と同様に、路線を対象として構造種別によらず、路線延長に対する被害箇所数をもって被害率とした。被害箇所は通行不能となる程度の被害を抽出した。対象路線は仙台鉄道管理局管内の国鉄区間のうち、宮城沖地震での震度Vの地域に限った。

被害の一例として、東北貨物線の一部を図-24に示す。

各路線の被害状況は表-14に示す通りである。また、地盤種別ごとの被害率は表-15に示すようになり、地盤1・2種、3種、4種の順に被害率が大きくなり、それらの値はそれぞれ0.41, 0.66, 1.13箇所/kmとなっている。これらの値を道路の被害率と比べると、一桁近く高い被害率となっており、鉄道の路盤の安全に対する許容度の厳しさを示しているものといえる。

3-4 水道管, ガス管

ライフライン施設のなかでも、上水道、都市ガス施設はとくに生活に密着しているものである。都市機能が発達した現代では、これらの地下埋設物が地震発生の際に1箇所でも被害があると供給停止となり、生活に対して

表-12 宮城県沖地震による宮城県内の国道、県道の被害状況
 Table 12 Damage to national and prefectural roads in Miyagi Prefecture caused by Miyagi Ken Oki Earthquake

| 区 分 | 路線数 | 実延数(km) | 被 害 | |
|-----------|-------|----------------------|------------|----------------|
| | | | 被害箇所 | 被害率(箇所/km) |
| 高速自動車道 | 1 | 109.7 | (101* | 0.921) |
| 指定区間内一般国道 | 6 | 452.7 | 37 | 0.082 |
| 指定区間外一般国道 | (1) 7 | 324.8 | 29 | 0.088 |
| 一般国道計 | 13 | 781.1 | 66 | 0.084 |
| 主要県道 | 43 | 893.7 | 74 | 0.083 |
| 一般県道** | 189 | 1428.0 *** (33.4) | 110 122 | 0.077 3.65) |
| 県道**計 | 232 | 2321.7 | 184 | 0.079 |
| 国県道**計 | 245 | 3102.8 | 250 | 0.081 |
| 県管理合**計 | 239 | 2650.1 | 213 | 0.080 |

* 軽微な被害のみである。
 ** コバルトラインの被害を除く。
 *** コバルトラインの被害。

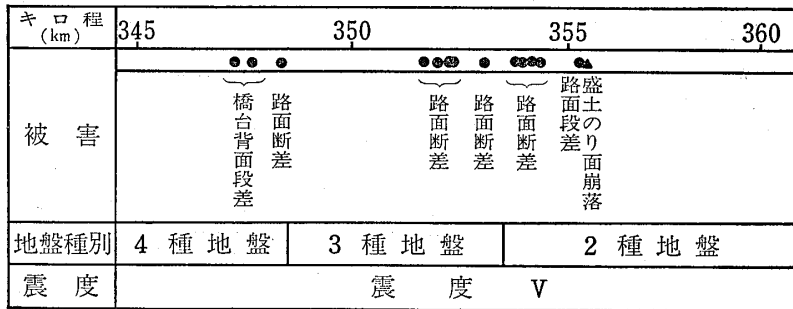


図-23 道路の被害例 (国道4号線：宮城県沖地震)
 Fig. 23 Example of earthquake damage to a road (Route 4: Miyagi Ken Oki Earthquake)

表-13 道路の被害率 (宮城県内一般国道指定区間)
 Table 13 Damage ratios to roads (National roads in Miyagi Prefecture)

| 震度 | 地盤種別 | 1・2種地盤 | 3種地盤 | 4種地盤 | 全 体 |
|----|------------|--------|-------|-------|-------|
| V | 総延長 (km) | 103.3 | 129.7 | 168.3 | 401.3 |
| | 被害箇所 | 42 | 86 | 190 | 318 |
| | 被害率(箇所/km) | 0.41 | 0.66 | 1.13 | 0.79 |

| | | | | | | | |
|----------|------|----------------------|--------------|------|------|-----|------|
| キロ程 (km) | 348 | 349 | 350 | 351 | 352 | 353 | 354 |
| 上り線被害 | | 路盤沈下 橋脚破損 橋台沈下 | 路盤沈下 橋台沈下 | 路盤沈下 | 橋台沈下 | | 橋台傾斜 |
| 下り線被害 | | 路盤沈下 橋脚破損 橋台沈下 | 路盤沈下 橋台沈下 | 路盤沈下 | | | 橋台傾斜 |
| 地盤種別 | 4種地盤 | | | | | | |
| 震度 | 震度 V | | | | | | |

図-24 鉄道の被害例 (東北貨物線：宮城県沖地震)
 Fig. 24 Example of earthquake damage to a railroad (Tohoku freight line: Miyagi Ken Oki Earthquake)

表-14 鉄道路線別の被害状況 (宮城県沖地震)
 Table 14 Damage to railroads (Miyagi Ken Oki Earthquake)

| 被害 路線名 | 2種地盤 | | 3種地盤 | | 4種地盤 | | 計 | |
|-----------|----------|------|----------|------|----------|------|----------|------|
| | 路線長 (km) | 被害箇所 | 路線長 (km) | 被害箇所 | 路線長 (km) | 被害箇所 | 路線長 (km) | 被害箇所 |
| 常磐線 | | | | | 2.8 | 0 | 2.8 | 0 |
| 奥羽線 | | | 3.8 | 0 | | | 3.8 | 0 |
| 利府線 | | | 4.2 | 2 | | | 4.2 | 2 |
| 丸森線 | | | 2.9 | 2 | 14.5 | 10 | 17.4 | 12 |
| 仙山線 | 26.2 | 10 | 2.5 | 1 | | | 28.7 | 11 |
| 塩釜線 | | | 3.7 | 1 | 4.7 | 5 | 8.4 | 6 |
| 陸羽東線 | 30.4 | 2 | 19.9 | 2 | 15.9 | 26 | 66.2 | 30 |
| 東北貨物線 | | | | | 6.5 | 24 | 6.5 | 24 |
| 石巻線 | | | 6.8 | 6 | 24.1 | 31 | 30.9 | 37 |
| 仙石線 | 9.7 | 11 | 17.7 | 25 | 23.1 | 27 | 50.5 | 63 |
| 仙石貨物線 | | | | | 2.9 | 2 | 2.9 | 2 |
| 気仙沼線 | | | 0.5 | 0 | 12.5 | 10 | 13.0 | 10 |
| 東北本線 | 37.0 | 19 | 67.7 | 47 | 61.3 | 55 | 166.0 | 121 |

表-15 鉄道の被害率 (仙台鉄道管理局管内)
 Table 15 Damage ratios to railroads administered by the Sendai Branch of Japan National Railways

| 震度 | 地盤種別 | 1・2種地盤 | 3種地盤 | 4種地盤 | 全体 |
|----|------------|--------|-------|-------|-------|
| V | 総延長 (km) | 145.1 | 148.1 | 86.5 | 379.7 |
| | 被害箇所 | 9 | 13 | 12 | 34 |
| | 被害率(箇所/km) | 0.062 | 0.088 | 0.139 | 0.090 |

の直接の影響が重要視されており、耐震性能および被害予測の検討対象として注目されてきている。

久保・片山(1978)は、1971年サンフェルナンド地震の被害例から、管路の被害率と加速度の関係を求め、地盤条件、管種などを考慮した被害率予測の方法を提案している。この方法は、実際の震害例を用いているけれども、管路延長を人口密度から推定し、また、地盤条件の

評価方法においても、地盤区分が必ずしも明確でないきらいがある。

ここでは、地盤条件による被害率の差の評価を明確にするため、詳細なデータの揃っている宮城県沖地震を例にとり、被災時に生活環境に大きい影響を与える管路の被害を抽出した。すなわち、水道管では口径100mm以上の配水管、ガス管では口径31mm以上の中圧管および

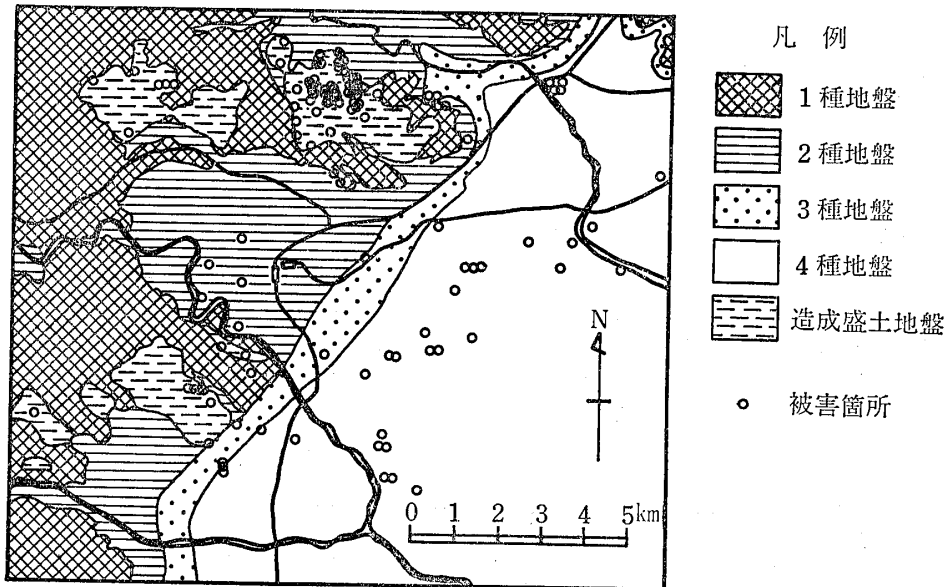


図-25 水道管の被害分布図(仙台市, 泉市の一部: 宮城県沖地震)

Fig. 25 Damage to water pipes (Sendai City and part of Izumi City: Miyagi Ken Oki Earthquake)

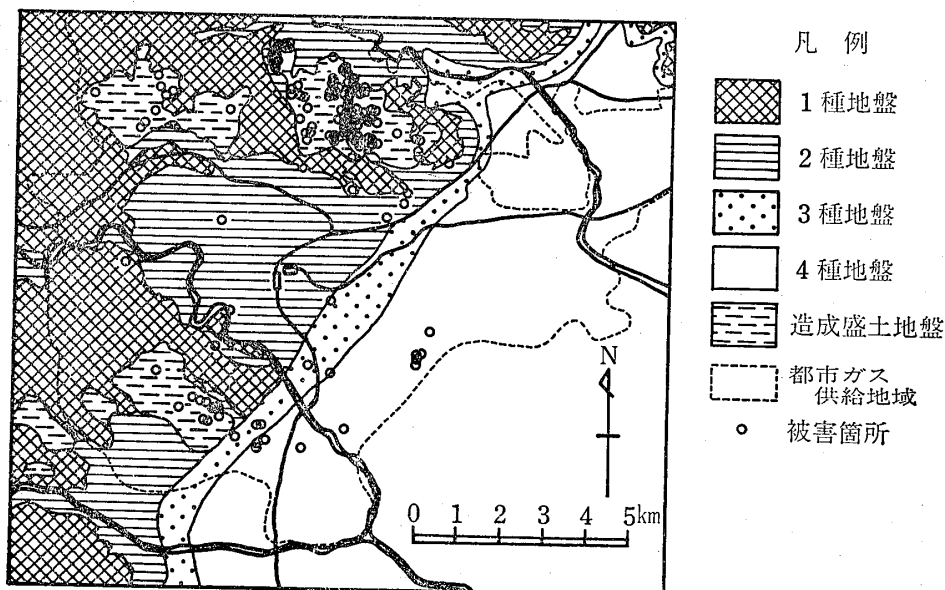


図-26 ガス管の被害分布図(仙台市, 泉市の一部: 宮城県沖地震)

Fig. 26 Damage to gas pipes (Sendai City and part of Izumi City: Miyagi Ken Oki Earthquake)

表-16 水道管、ガス管の被害率（仙台市、泉市の一部）
Table 16 Damage ratios to water and gas pipes (Sendai City and part of Izumi City)

| | 地盤種別 | 1種地盤 | 2種地盤 | 3種地盤 | 4種地盤 | 造成盛土地盤 | 合計 |
|----|------------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|
| 水道 | 総延長(km) | 15.35 | 82.96 | 53.08 | 103.27 | 82.22 | 336.88 |
| | 被害箇所 | 1 | 12 | 9 | 29 | 91 | 142 |
| | 被害率(箇所/km) | 0.07 | 0.14 | 0.17 | 0.28 | 1.11 | 0.42 |
| ガス | 総延長(km) | 14.84 | 37.59 | 39.73 | 46.29 | 248.86 | 387.31 |
| | 被害箇所 | 1 | 5 | 6 | 10 | 131 | 153 |
| | 被害率(箇所/km) | 0.07 | 0.13 | 0.15 | 0.22 | 0.53 | 0.40 |

び低圧本管を対象とした。また、対象区域は、仙台市および泉市の一部で震度Vの地域である。

図-25および図-26は、それぞれ水道管およびガス管の被害分布を示したものである。被害の形態としては、折損、抜け出しなどが見られ、すべてを被害箇所として算入した。また両図には前述の4種の地盤分類のほかに、きわだって被害の多かった谷部に盛土した造成地盤を加えて、5種の分類として示してある。被害率としては、1km間隔のメッシュを設け、被害箇所を含んでいる1km×1kmの区域ごとに地盤種別を決め、各地盤種別に関して対象管路の総延長に対する被害箇所数の比を用いて算定している。したがって、無被害の区域の管路延長は算入していない。また、被害はあるが管路延長の不明な区域は除外した。結果は表-16に示す通りである。水道管、ガス管ともに1種地盤から4種地盤さらに造成地盤の順に被害率が大きくなる傾向が明らかで、水道管では0.07から1.11箇所/km、ガス管では0.07から0.53箇所/kmと大きくなっている。

4 あとがき

最近では、県域や市域といった広域での面的な地震動評価を行うサイスミックマイクロゾーニングが実施されるようになった。その内容は、地震動予測および地震時の被害想定資料とするものが主たるものである。地震動予測についてはその手法が確立されつつあるが、被害想定に関しては手法が未だ確立されておらず、試行錯誤の状態である。

本報では、震害資料をもとに、地震力、地盤条件を一定の基準で区分し、各種の構造種別ごとの被害との関係をやや定量的に検討した。この結果、木造家屋では震度、地盤種別ごとの被害率、同じく盛土構造物では被害率、

沈下量および残留率が明らかとなり、道路、鉄道、水道管およびガス管については震度Vにおける地盤種別ごとの被害率が求められた。ここに得られた結果は、個々の建造物ではなく、広域での被害想定を念頭においた広がりをもったエリアでの評価であり、面的、相対的評価方法および被害と他条件との巨視的な関係を求めたことになる。

参考文献

- 飯田汲事(1977): 昭和19年12月7日東南海地震の震害と震度分布 愛知県防災会議
- 飯田汲事(1978): 昭和20年1月13日三河地震の震害と震度分布 愛知県防災会議
- 江森盛孝(1894): 明治24年愛知県震災誌 震災予防調査会報告 第2号
- 応用地質調査事務所(1968): 1968年十勝沖地震による青森県下の災害調査報告
- 表俊一郎・宮村撰三(1951): 横浜市並びに名古屋市の震害分布と地盤の関係 建築雑誌 No.773
- 片山恒雄・磯山龍二・増井由春(1979): 1978年宮城県沖地震による都市供給施設の被害と復旧——都市ガス施設、上水道施設(1), (2)—— 生産研究 31巻 2号, 4号, 6号
- 河角 広(1951): 東京の震度分布と地盤について 建築雑誌 No.773
- 岐阜県岐阜測候所(1895): 明治24年10月28日大震報告
- 久保慶三郎・片山恒雄(1978): 地下埋設管の被害 東京区部における地震被害の想定に関する報告書 東京都防災会議
- 栗林栄一・羽立隆幸・干場良信(1978): 北丹後、鳥取、福井地震にみられた木造住家被害率と地盤種別の

関係 土木研究所資料 第1430号

- 建設省土木研究所 (1949) : 昭和23年 6月28日北陸震災
調査報告 建設省土木研究所報告 第78号
- 建設省土木研究所 (1965) : 新潟地震調査報告 土木研
究所報告 第125号
- 建設省土木研究所 (1970) : 1968年十勝沖地震災害調査
報告 土木研究所報告 第141号
- 佐伯敦宗 (1895) : 岐阜三重両県土木工事震害及復旧工
事報告書 震災予防調査会報告 第3号
- 仙台市ガス局 (1978) : 宮城県沖地震とガス復旧の記録
- 仙台市水道局 (1978) : 1978年 6月宮城県沖地震による
被害とその対策の記録
- 中央气象台 (1927) : 昭和2年 3月7日北丹後烈震報告
- 鉄道技術研究所 (1964) : 新潟地震調査報告 鉄道技術
研究所報告 No.448
- 鉄道技術研究所 (1968) : 十勝沖地震調査報告 鉄道技
術研究所報告 No.650
- 鉄道技術研究所 (1979) : 1978年宮城県沖地震調査報告
鉄道技術研究所報告 No.1111
- 鉄道省 (1927) : 大正12年鉄道震害調査書
- 十勝沖地震調査委員会 (1954) : 十勝沖地震調査報告
- 殿内啓司・兼森 孝・高島和美 (1981) : 地盤の地震時
挙動の予測に関する一考察 (78宮城県沖地震を例
として) 第16回土質工学研究発表会
- 殿内啓司・金子史夫・今井常雄 (1982) : 1923年関東大
地震における地盤による建物被害の差異について

応用地質調査事務所年報 No. 4

- 土木学会 (1926~1927) : 大正12年関東大地震震害調査
報告 第一巻
- 土木学会 (1966) : 昭和39年新潟地震震害調査報告
- 土木学会東北支部 (1980) : '78宮城県沖地震調査報告書
内務省社会局 (1927) : 大正震災誌
- 日本学術会議福井地震調査研究特別委員会 (1949) : 昭
和23年 6月28日福井地震調査研究速報
- 日本道路協会 (1979) : 道路の震災対策に関する調査報
告 (II)
- 日本道路協会 (1980) : 道路橋示方書・同解説 V 耐
震設計篇
- 野澤太三・岡田勝也・福島弘文・川名英二 (1983) : 橋
台裏盛土の地震時挙動と耐震補強工 土と基礎
Vol. 31 No. 5
- 松沢武雄 (1925) : 木造建築物ニ依ル震害分布調査報告
震災予防調査会報告 第百号 甲
- 望月利男・宮野道雄・松田磐余 (1978) : 1923年関東大
地震における木造家屋の被害の検討——震央距
離、地形と全壊率の関係—— 日本建築学会論文
報告集 第270号
- 物部長穂 (1926) : 土木工事震害調査報告 震災予防調
査会報告 第百号 丁