

地震災害の地盤液状化影響評価

飯田 汲事・谷口 仁士

Ground Liquefaction Assessment of Earthquake Damage

Kumizi IIDA and Hitoshi TANIGUCHI

The effect of ground liquefaction on earthquake damage to wooden houses is investigated. The relations between the damage ratio of wooden houses and the rank of ground earthquake risk are obtained as shown in Fig. 8. Here, the definition of damage ratio is the ratio in percentage of the number of totally destroyed houses plus half number of half destroyed houses to the total number of houses, and the rank of the ground earthquake risk is defined as the function of the amplification of ground-motion amplitude and the predominant period of the ground. The rank of ground earthquake risk is estimated in each one km² mesh area in Nagoya City. The damage ratio was obtained in the same mesh from each of three destructive earthquakes of 1891 Nobi, 1944 Tonankai and 1945 Mikawa occurred around Nagoya City. From the ground conditions in Nagoya the earthquake damage is considered that the greater the rank of ground earthquake risk, the larger becomes the damage ratio. The effect of ground liquefaction on earthquake damage to wooden houses becomes large for all of three destructive earthquakes above mentioned.

Ground liquefaction causes to increase the damage ratio of these earthquakes and the rank of damage ratio increases in one or two grades which correspond to 10 to 30 per cent increases of the damage ratio.

1. まえがき

地盤の液状化は地震災害を大きくしていることは、大地震時にしばしば経験するところである。この地盤液状化の影響が、地震災害にどの程度の影響を与えているかを、名古屋地盤について調べたので報告する。

名古屋地方においては、明治24年(1891)10月28日の濃尾地震、昭和19年(1944)12月7日の東南海地震、昭和20年(1945)1月13日の三河地震があり、名古屋市においても多大の被害を生じたので、これらの地震を対象として、その被害に対する地盤液状化の影響を調べることにした。名古屋市における地盤の地震危険度は、地盤の震動特性によって求められる。すなわち、地盤のS波増幅度および卓越周期の関数で表わされる。それは、家屋被害率は地盤のS波増幅度の大きいほど、また卓越周期の大きいほど大きくなっているからである。このような一般性を考慮して、地盤の地震危険度をS波増幅度と卓越周期の関数として定義し、この値の大きいほど地震危険度が大きいとした。この場合地盤のS波増幅度と卓越周期とを幾つかのランクに区分したので、地震危険度もランク分けにした。危険度ランクの大きいほど被害率が大きいことになる。ところが、地震危険度ランクが小

さな割合に、被害率が大きくなるところが見出されるが、その要因は、地盤の震動特性による被害とは異なる地盤の液状化によるものと判断し、その関係を追究した。

2. 名古屋地盤のS波増幅度と卓越周期

前述の濃尾地震¹⁾・東南海地震²⁾・三河地震³⁾の被害に対応する名古屋市地盤の震動特性⁴⁾⁵⁾⁶⁾⁷⁾はすでに多年にわたって報告してきたので、それらによることにした。すなわち、地震基盤は第三紀層とし、地震波減衰を表わすQ値は20とし、入波S波の振幅に対する地表面の振幅比Rの最大値を増幅度、その時の周期を卓越周期と定義した。また、名古屋市の地盤を一辺1kmのメッシュに分割し、各メッシュの地盤構造と地盤定数はボーリング孔におけるPS検層データから収集した。PS検層が行われないところは、筆者等の求めた経験式⁴⁾⁵⁾⁶⁾を用いて密度やS波速度を計算によって求め、すべてのメッシュ地盤についてS波増幅度、卓越周期を求めた。

名古屋市地盤では地震基盤が東から西に向って傾いているので、それが浅いところではS波速度は約300m/s、深いところで約700m/sである。地震基盤が地表に露出しているときのS波増幅度は2である。

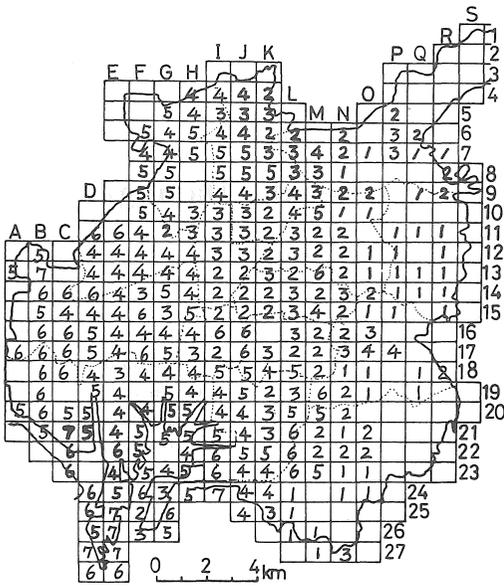


図1 名古屋市地盤におけるS波増幅度ランクのメッシュ別分布（ランクは表1による）

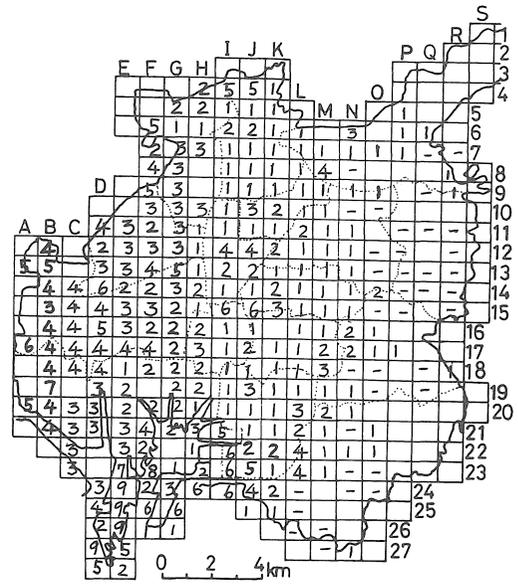


図2 名古屋市地盤における地盤卓越周期ランクのメッシュ別分布（ランクは表1による）

表1 S波増幅度および卓越周期のランク

ランク	S波増幅度	卓越周期 (sec)	ランク	S波増幅度	卓越周期 (sec)
1	2	~0.2	6	6 ~ 7	0.6~0.7
2	2 ~ 3	0.2~0.3	7	7 ~ 8	0.7~0.8
3	3 ~ 4	0.3~0.4	8	8 ~ 9	0.8~0.9
4	4 ~ 5	0.4~0.5	9	9 ~ 10	0.9~1.0
5	5 ~ 6	0.5~0.6	10	10 以上	1.0 ~

こうして、求められた名古屋市地盤のS波増幅度は図1に、また卓越周期は図2に示した。メッシュ中値が示してないのはボーリングデータのない所であり、また図2に示した棒印のメッシュは地震基盤が地表に露出しているため応答曲線がフラットのため卓越周期が求まらなかったところである。図1、図2には表1に示したようなランク分類の値を示した。

図1のS波増幅度は名古屋市の北西部から西部、南西部にかけての地域で5~7（ランク5~6）と大きくなっており、特に臨海域において大きな値を示していることがわかる。図2の卓越周期をみると東部地域では0.1~0.3secと比較的短い、北西部から西部、南西部にかけての地域で0.3~1.0secと長くなっている。このような周期分布は大局的にはS波増幅度の分布状態と類似なパターンを示しているといえよう。既往地震の震害は、北西部、西部、南西部に多いので、そのパターンは図1、

図2のパターンと同様であり、その数値の大きなところが危険地ということになる。

3. 名古屋市地盤の地震危険度

名古屋市地盤の地震危険度のランク区分は表1に示す通りとし、1から10に分類した。その区分は図3の通りである。図1に示したS波増幅度の各メッシュにおける値と、そのメッシュにおける卓越周期の値とを対応させて図3から地震危険度ランクを読みとり、それを図に示したのが、図4である。この図4に示す地震危険度は地震動によって地盤が示す震動特性のみから定まる数値で、その値の大きなところはS波増幅度が大きく、卓越周期も大きいところで、震害の大きいことが予想されるのである。

図4の地震危険度図において、棒線印のメッシュは卓越周期が決まらなかったもので、したがって、地震危険

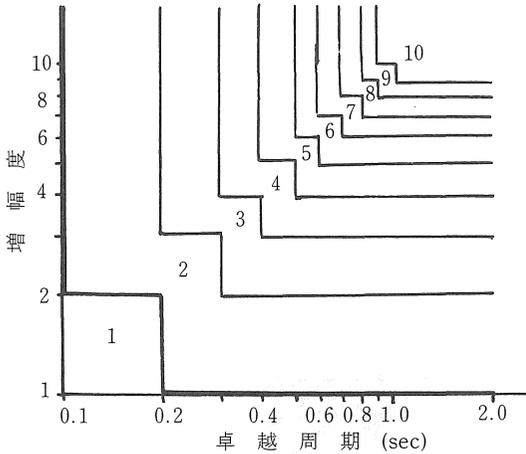


図3 地盤の地震危険度1～10を与える地盤のS波増幅度と卓越周期との関係

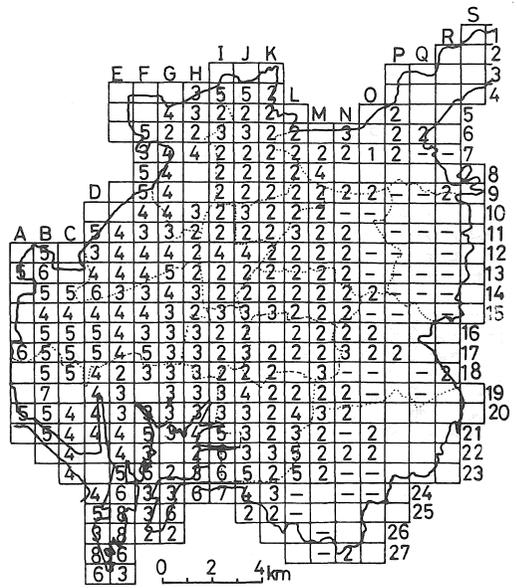


図4 名古屋市地盤の地震危険度ランクのメッシュ別分布

度も決まらないメッシュである。しかし、このメッシュは危険度の意味から考えて、ランク1と考えてもよい。表1に示すように、S波増幅度が大きいほど、また卓越周期が長いほど、ランクが大きくなるように定義してあるから、図1および図2に示された分布パターンが一層強調されたパターンとなって図4に示されたとも考えられる。

図4の地震危険度図をみると、名古屋市の北西部で3～5、西部で4～6、南西部で5～8となっている。都心部および東部では大部分が2であり3のところもある。河床部や丘陵谷部にあたるところは、局所的に4くらいのところもみられ、危険度のやや大きいメッシュも点在している。

濃尾地震、東南海地震、三河地震における住家被害率分布に対する地盤の地震危険度分布との関係を調べてみよう。ここに、住家被害率は、住家全壊家屋数に住家半壊数の半分を加え、その数を住家全戸数で割った百分率である。また、濃尾・東南海・三河の各大地震における地盤の液状化地点は、それぞれの地震災害の項で報告¹⁾²⁾³⁾されているので、それらを用いた。

4. 濃尾地震・東南海地震・三河地震の被害率分布

1891年の濃尾地震・1944年の東南海地震・1945年の三河地震の住家被害率のメッシュ別分布を図5、図6、図7にそれぞれ示した。濃尾地震の住家被害率は図5からわかるように、南部の臨海域におけるよりは市の北西部から西部にかけて大きくなっている。濃尾地震の震源は岐阜県根尾村にあり、濃尾地震にも断層や液状化現象による被害が著しかったので、その影響が大きいものと考

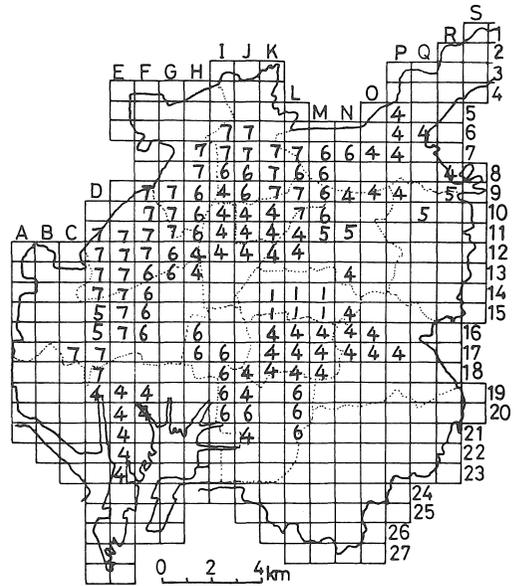


図5 名古屋市地盤における濃尾地震の住家被害率ランクのメッシュ別分布

えられる。断層の影響が著しかったと思われるところは、図5のメッシュ番号E～Gの9～13、H～Iの16～19などであり、H～Lの5～8では地変が著しかった。地盤の液状化現象が現われたのは、C～Dの16～18、D～Eの11～12、Fの8～9、Hの10～11、Jの9などである。

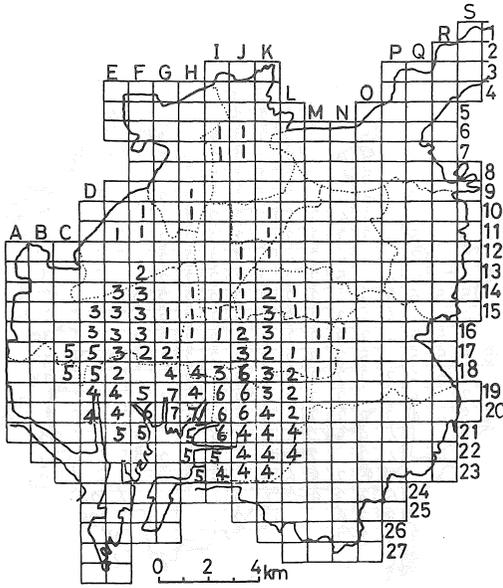


図6 名古屋市地盤における東南海地震の住家被害率ランクのメッシュ別分布

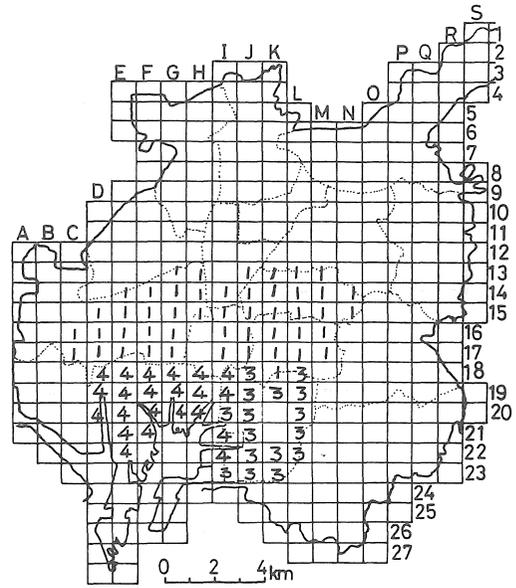


図7 名古屋市地盤における三河地震の住家被害率ランクのメッシュ別分布

これらの地帯では住家被害率は70%以上に達しているところが多い。

東南海地震では震源は遠州灘の海域であるため、断層の生成などの影響は名古屋市地盤にはないが、地盤の液化現象が現われた。そのメッシュはC～Dの17～18、G～Hの19～20、Iの19～20、Hの21、Iの21～22、Jの18～20、Fの20などである。図6でわかるように、伊勢湾北部臨海域の名古屋市南部での被害が大きく30%以上に達している。

三河地震は図7からわかるように、東南海地震の場合と同様に、名古屋南部の臨海地域で被害がでた。震源地の三河の西尾市に被害が大きかったが、名古屋市の港・南区に被害があった。被害率の最大は港区における1.22%であったが、その地区では地盤の液化現象が著しかった。これが住家被害に大きな影響を与えたのである。液化現象の現われたメッシュをあげると、E～Fの21～22、G～Hの19～20、I、Jの18～19に分布している。

以上のようにして、図5～7において住家被害率をランク別として示したが、これらと地震危険度との関係から液化化の影響評価を行うことにする。

5. 地盤の地震危険度と地震被害率との関係

地盤の地震危険度ランクに対して地震被害率を、名古屋市の同一メッシュから求めて図示したのが図8である。図8の上段は濃尾地震、中段は東南海地震、下段は三河地震の場合であり、縦軸には住家被害率を、横軸に

は地盤の地震危険度のランク（図4に示した数値）を示した。前述の三つの被害地震のそれぞれの地震危険度に対する被害率の頻度は図中の円の大ききで示した。図8の最上段に頻度が示してある。

図8で示した地盤の地震危険度と住家被害率との関係は、被害地震いずれの場合においても、地震危険度が大きくなるに従って地震被害率も大きくなっている。その関係を破線の曲線で示したが、これは地盤液化化のある被害率を除いた曲線であって、地盤の震動性状に基づく地震動災害だけを示しているといえる。この破線曲線よりも大きな被害率は、地盤の液化化の影響や断層などの地変による影響を示しているのである。濃尾地震の場合に、地盤の地震危険度が2という小さなランクにもかかわらず、70%以上の大きな被害率が対応しているのは、断層の影響による被害を示すものである。そのほか地震危険度が小さいのに大きな被害率を示すのは、地盤の液化化の影響によるもので、この地盤の液化化が住家被害率を大きくしていることが認められよう。濃尾地震の場合、被害率が地震危険度の小さなランクに対しても大きくなっているのは、地盤の液化化および断層の出現など地盤破壊が行われた所のメッシュであることが知られる。

東南海地震の場合は、地震危険度が小さなランクにもかかわらず被害率の大きな所はすべて地盤の液化化が行われたメッシュが対応しているのである。

三河地震の場合には、東南海地震の場合と同様に、名

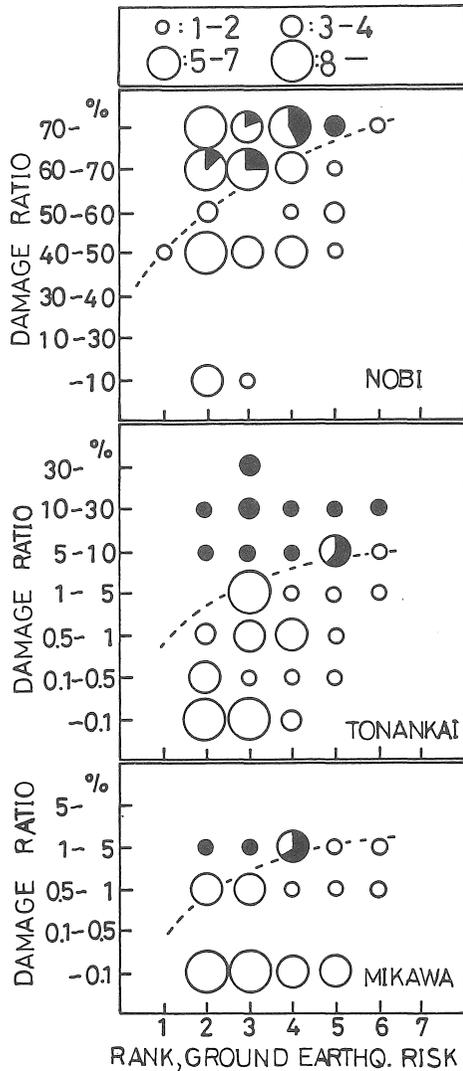


図8 濃尾地震・東南海地震・三河地震における名古屋市地盤の地震危険度ランクと住家被害率との関係
黒印は地盤液状化を示す

名古屋市港区および南区における地盤液状化の影響が、被害率を大きくしているのである。

以上三つの大地震の場合において、すべて地盤の液状化が地震被害率を大きくしているといえる。この地盤液状化の影響は濃尾地震においては被害率を1ランク高め、東南海地震では被害率を1(時には2)ランク高めている。また三河地震においては被害率を1ランク高めている。被害率のランクは三つの地震それぞれちがうの

で、その数値を示すと次のようになる。

濃尾地震では液状化の影響は住家被害率が10%増(例えば50~60%が60~70%になる)である。

東南海地震では液状化の影響は2倍以上(例えば1~5%が5~10%になるなど)被害率が大きくなる。最大の影響は30%となっている。

三河地震では東南海地震と同様に2倍以上(例えば0.5~1%が1~5%になる)被害率が大きくなっている。

このように、地震災害の地盤液状化の影響はだいたい10~30%増加となっているといえよう。

6. おわりに

地震災害の地盤液状化影響評価に、1891年の濃尾地震、1944年の東南海地震、1945年の三河地震の三つの既往地震の名古屋市における住家被害率を対象に調査研究した。このために名古屋市地盤の震動特性としてS波増幅度および卓越周期を関数とする地盤地震危険度を定義して用いた。この地盤地震危険度と地震による住家被害率との対応から、地盤液状化のない震動特性のみによる地震動災害を定めて、液状化のある場合の地震被害率と対比した。

こうして地盤液状化の影響評価を求めると、地震住家被害率は10~30%程度大きくなることがわかった。

参考文献

- 1) 飯田汲事：明治24年(1891)10月28日濃尾地震の震害と震度分布，愛知県防災会議地震部会，1-304，1979。
- 2) 飯田汲事：昭和19年12月7日東南海地震の震害と震度分布，愛知県防災会議地震部会，1-120，1977。
- 3) 飯田汲事：昭和20年1月13日三河地震の震害と震度分布，愛知県防災会議地震部会，1-96，1978。
- 4) 飯田汲事・正木和明・坪井利弘：S波重複反射理論による名古屋地盤の地震応答計算，愛知工業大学研究報告，No.13B，181-190，1978。
- 5) 飯田汲事・正木和明・楓 重彦：名古屋地盤の振動特性に関する研究，愛知工業大学研究報告，No.13B，191-200，1978。
- 6) 飯田汲事・正木和明・谷口仁士・坪井利弘・宮永良一：名古屋地盤の地震波増幅度および地震危険度，名古屋市防災会議地震部会，1-143，1979。
- 7) 正木和明・坪井利弘・谷口仁士・飯田汲事：名古屋地盤のS波増幅度特性，愛知工業大学研究報告，No.14B，227-233，1979。

(受理 昭和62年1月25日)