

東海地震を想定した愛知県三河地域の地震時地盤の 応答解析と地震危険度 (II)

—応答解析結果と液状化危険度—

谷口仁士・宮永良一・飯田汲事

Seismic Ground Response in Mikawa Area for Future Tokai Earthquake (II)

—Seismic Ground Response and Degree of Soil Liquefaction—

Hitoshi TANIGUCHI, Ryoichi MIYANAGA and Kumiji IIDA

In this paper, the effect of ground conditions on the seismic surface motions and the degree of soil liquefaction are investigated in the western part of the Mikawa area in connection with future Tokai Earthquake.

The following results of this investigation are briefly pointed out:

- 1) The estimated seismic intensity by JMA scale in the western part of Mikawa area is from V to VI, and maximum earthquake ground acceleration at the ground surface is about 250 gals.
- 2) The high degree of soil liquefaction is estimated between ground surface and G.L.-10m layer.

1. はじめに

本題目の前論文¹⁾で断層モデルによる地震時における地盤の応答解析の考え方とその手法について述べた。

本論文では前論文で行った解析手法を西三河地域の若干の地点に応用して、その地盤の応答解析を行った結果の考察について述べたものである。解析結果の妥当性については、過去に東海地域で発生した地震による震害および震度分布との対応などから検討した。

2. 調査地点の地盤構造

この応答解析手法においては考察地点において地震基盤の設定が必要になる。そのため、まず考察地盤における地震基盤を第三紀層とした。それは対象地盤におけるボーリング調査結果や、地盤の軟弱度などを考慮して定めた。また、今回対象とした地盤においては3地点でボーリングが行われているのでそれらの地盤をA, B, C地盤とした。

2.1 A地点の地盤構造

図1にA地点の地盤柱状図、N値を示し、さらにN値より推定²⁾したS波速度も示した。

この地盤はG.L.-22m以浅は4層の軟弱な粘土、シルトおよび砂層で構成されており、G.L.-22mで振動イン

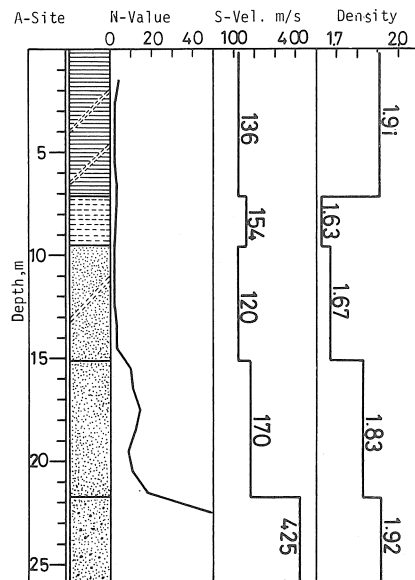


図1 A地点の地盤構造

ピーダンスの高い礫混り砂層に達している。また、N値もこの深度付近から急激に大きくなり50以上になっている。よって、この地点の第三紀層上面をG.L.-21.7mと推定し、それを地震基盤面とした。

2.2 B地点の地盤構造

図2にB地点の地盤柱状図, S波速度等を示した。ただし, S波速度, 密度はA地盤同様N値より推定した値である。

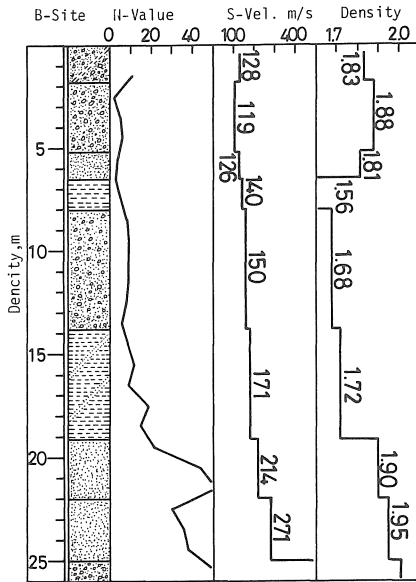


図2 B地点の地盤構造

この地盤はG.L.-22m付近の砂層を除くG.L.-25m以浅の層内でN値は小さく, シルト, 砂および礫混り細砂の8層より構成されている。N値および振動インピーダンス比がG.L.-25mを境にして急激に変化しているので, この深度を第三紀層上面と判断し, 地震基盤面とした。

2.3 C地点の地盤構造

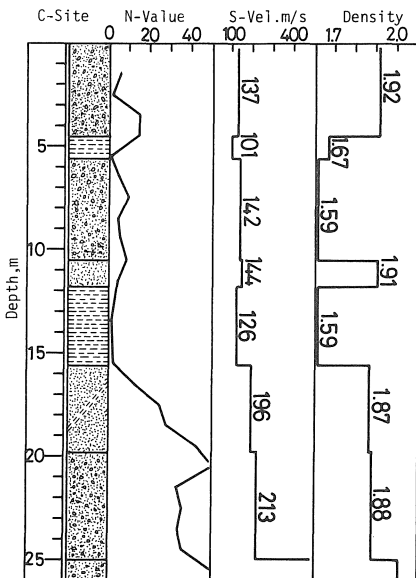


図3 C地点の地盤構造

図3にC地点の地盤柱状図, S波速度等を示した。この地点は前述のB地点の近くであるため, ほぼ同じような地盤構造を示している。従って, この地点もB地点と同様, G.L.-25mの深度を第三紀層上面とし, 地震基盤面と推定した。

3. 解析結果

3.1 地震基盤上面の加速度応答スペクトル

計算に際し, 電源位置より調査地点までの地震波伝播経路の動力学定数については安芸(1967)によって求められた数値を用いた。この値を表1に示した。これらの

表1 地震波伝播経路の動力学定数(安芸, 1967)

| 層 | 厚さ (km) | P波速度 (km/sec) | S波速度 (km/sec) | 密度 (g/cm ³) |
|-----|---------|---------------|---------------|-------------------------|
| 第1層 | 4.5 | 5.50 | 3.10 | 2.50 |
| 第2層 | 10.6 | 6.15 | 3.40 | 2.70 |
| 第3層 | 16.9 | 6.70 | 3.70 | 2.88 |

値は地震観測によって明らかにされた地殻の地震波の伝播速度である。

図4に地震断層が南端より線破壊して行く場合と, 北

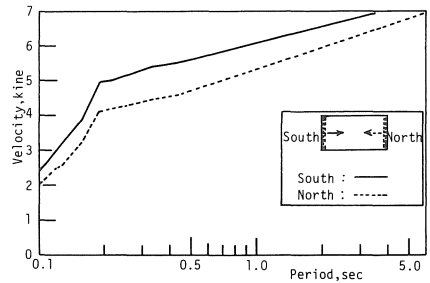


図4 基盤上面での入射波の最大速度応答スペクトル

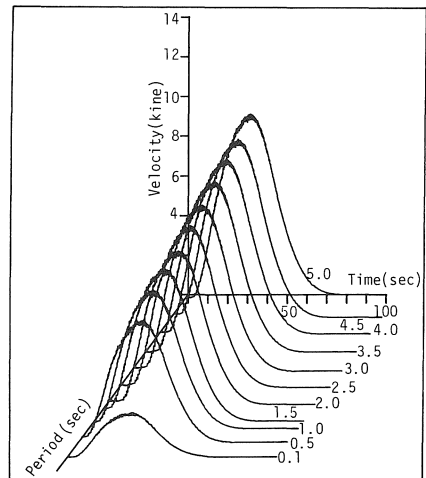


図5 周期別速度応答包絡線

端より線破壊して行く場合の基盤上面における最大速度応答スペクトル結果を示した。図中の実線は南端より破壊する場合であり、破線は比端より破壊する場合である。これら両者を比べると0.1~5秒の波動周期範囲において、南端より破壊する方が応答値は大きい。従って、この大きい方の値をとることとし、以後の計算は全て断層の破壊が南端より進行する場合の計算である。

図5に周期別速度応答包絡線を示した。図に示したように、基盤上面での入射波の速度応答包絡線の最大値は周期5.0秒の地震波で、その値は8.3kineである。また、最大値が基盤に到着する時刻は、0.1~5秒の広範囲の波動周期においても、断層の破壊開始後約30秒である。

図6に最大速度応答スペクトル値を数値微分すること

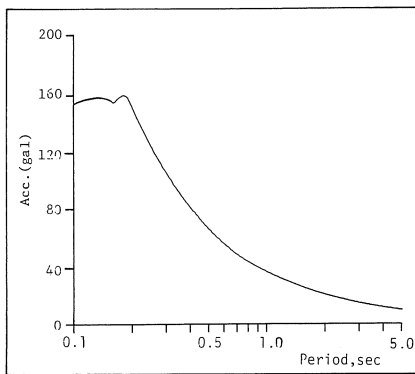


図6 基盤上面での最大加速度応答スペクトル

により得られた入射波の最大加速度応答スペクトルを示した。このスペクトルの中で最大となるのは、周期0.18秒でその値は160.4galである。

4. 表層地盤の応答解析

ここでは2節で求めた動力学定数をもつ表層地盤の地

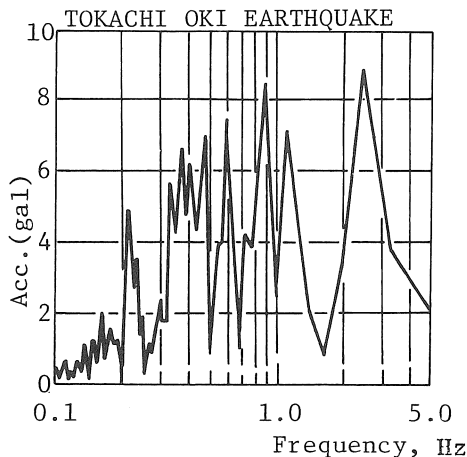


図7 基盤上面の入力地震波のフーリエスペクトル

震時応答解析をSHAKEプログラムを使用して行った。基盤からの入力地震波としては、地震波の中の最大加速度を160galに縮小した十勝沖地震波形の八戸で記録されたNS成分を用いた。また、図7にこの地震波のフーリエスペクトルを示した。

4.1 A地盤における応答解析結果

図8にA地盤において計算された各層上面での最大応

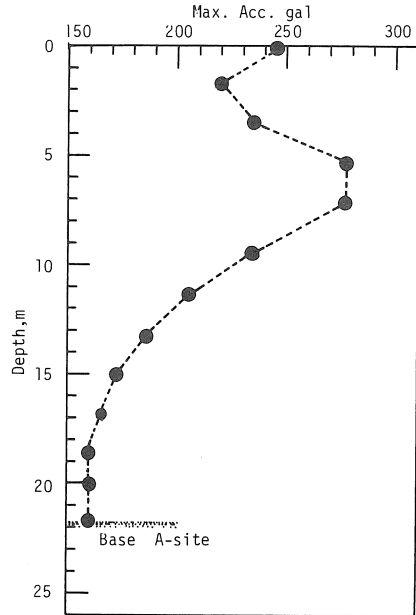


図8 A地盤の各層上面での最大応答加速度分布

答加速度分布を示した。図に示したように、応答値が最大となるのは地表面ではなく、G.L.-5m~-7m付近の粘土層内である。また、その値は約280galとなっている

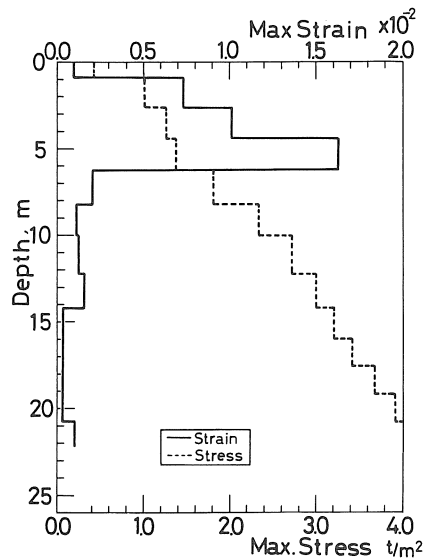


図9 各層中央で生ずる最大せん断ひずみと最大せん断応力分布

る。一方、地表面における応答値は約245gal となる。従って、この地点を震度で示すと震度6となるであろう。

次に各層中央での最大せん断ひずみと最大せん断応力分布を図9に示した。このひずみ分布に注目すると、G.L.-4.4m~-6.2mの層内で急激に大きくなり、その値は 1.6×10^{-2} となっている。この値は地盤破壊を生じさせるのに十分な値であろう。G.L.-6.2m以深の層については約 $2 \times 10^{-4} \sim 1 \times 10^{-3}$ となっている。

最大せん断応力分布については、深度方向へ様になり、地震基盤上面では約 3.95 t/m^2 となっている。また、図10にG.L.-4.5mとG.L.-6.2mの砂質粘土層

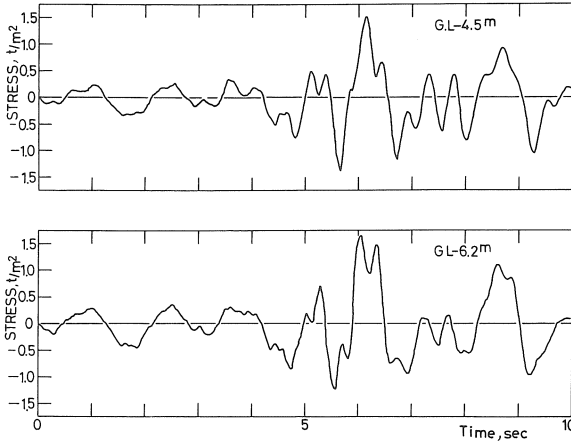


図10 G.L.-4.5mとG.L.-6.2mの地点のせん断応力時刻歴曲線

内のせん断応力時刻歴曲線をそれぞれ示した。時刻歴曲線の中で応力が最大となるのは、両者とも約6.1秒後であり、その応力曲線はよく似ている。

図11に地表面での加速度応答スペクトルを示した。加

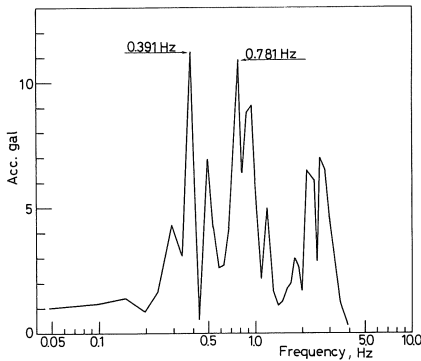


図11 地表面での加速度応答スペクトル

速度フーリエ振幅の大きくなる周波数は0.391Hzと0.781Hzである。一方、図7に示した入力波の固有周波数は2.5Hzと0.9Hz近傍にあると思われるので、0.391

Hzおよび0.781Hzはこの地盤の卓越周波数と考えてもよいであろう。

4.2 B地盤における応答解析結果

この地盤で計算された各層上面の最大応答加速分布を図12に示した。図に示したように、G.L.-8m以深の層

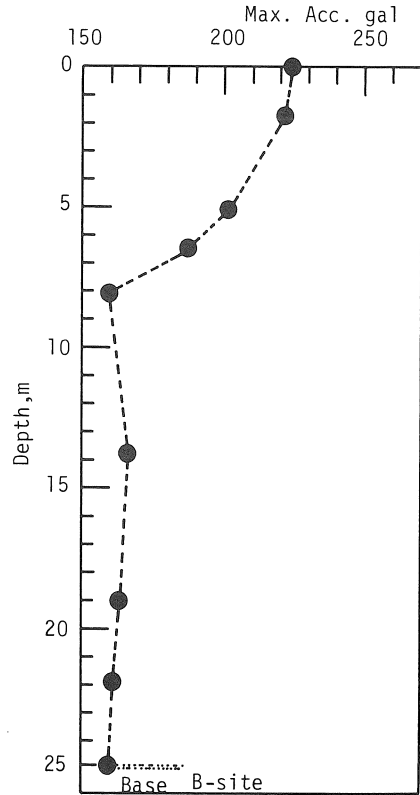


図12 B地盤の各層上面での最大応答加速度分布

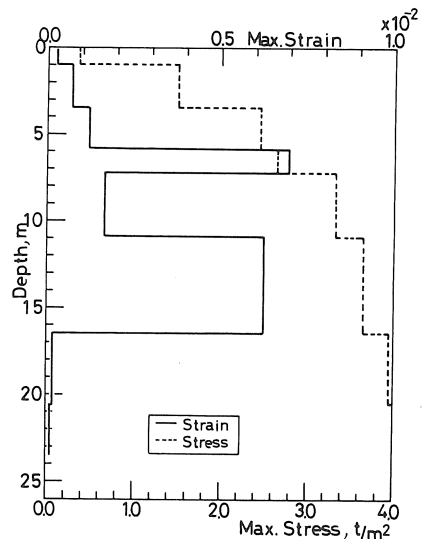


図13 各層中央で生ずる最大せん断ひずみと最大せん断応力分布

内ではほとんど増幅されず、応答値は165gal以下となっている。しかし、G.L.-8m以浅の砂およびシルト層内においては急激に増幅され、地表面で225galと最大となっている。この最大値を震度で表示すれば震度5となる。

次に、最大せん断ひずみと最大せん断応力分布を図13に示した。ひずみ分布において、最大となるのはG.L.-6m～7m付近の砂およびシルト層で 7.0×10^{-3} である。また、G.L.-11m～16.5mの礫混り粗砂内においても 6.0×10^{-2} と大きい。これらの値はA地盤同様地盤破壊が可能な値であろう。

せん断応力分布については、その分布形状はG.L.-7m地点を境に大きく変化している。G.L.-7m付近の最大せん断応力は約 2.6 t/m^2 である。図14に表層付近

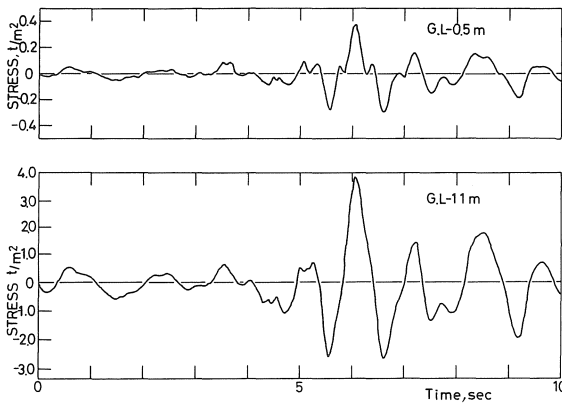


図14 地表付近とG.L.-11m地点のせん断応力時刻歴曲線

とG.L.-11m付近の砂層内のせん断応力時刻歴曲線をそれぞれ示した。時刻歴曲線の中で最大となるのは、両者とも6.0秒後である。また、応力は短時間に急激に大きくなっている。この傾向はA地盤と同じである。

図15に地表面での加速度応答スペクトルを示した。こ

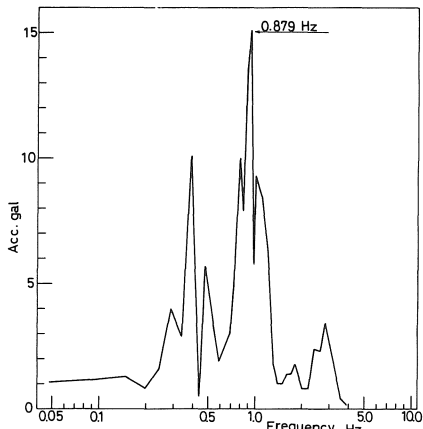


図15 地表面での加速度応答スペクトル

の地盤はA地盤と少し異なり、0.879Hzにピークを持つ。しかし、入力地震波の固有周期が0.9Hzであることから、応答値0.879Hzが直ちに、この地盤の卓越周波数と断定することはできない。この地盤の卓越周波数を求めるためにはさらに詳しい検討が必要である。

4.3 C地盤における応答解析結果

図16に最大応答加速度分布を示した。この地盤で応答

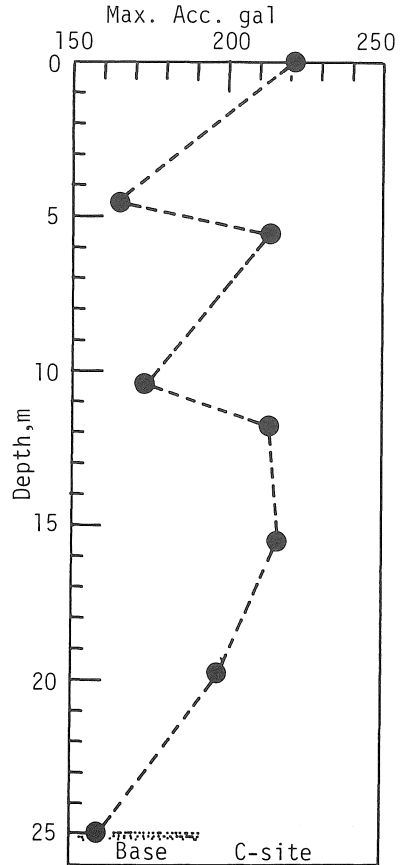


図16 C地盤の各層上面での最大応答加速度分布

値が最も大きくなる地層はG.L.-4.6m以浅の砂層内であり、その増幅値は約1.4倍となっている。また、地表面での最大応答加速度はB地点とほぼ同じ値の221galとなっている。この地点を震度で示すと震度5となる。

次に、最大せん断ひずみと最大せん断応力分布を図17に示した。ひずみ分布に注目すると、G.L.-2m～5mの砂およびシルト層内で急激に大きくなり、その値は約 3.2×10^{-2} となる。この値は前述したA、B地盤同様、地盤破壊可能な値である。

せん断応力分布についてはG.L.-18m付近の深度で大きく変化している。G.L.-14m～18mの砂層内の最大せん断応力は 2.4 t/m^2 である。図18に地表付近の砂層

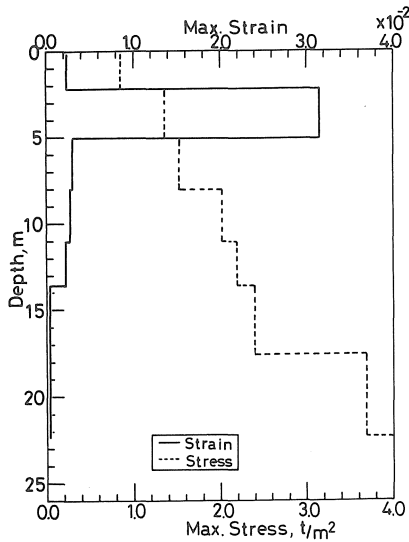


図17 各層中央で生ずる最大せん断ひずみと最大せん断応力分布

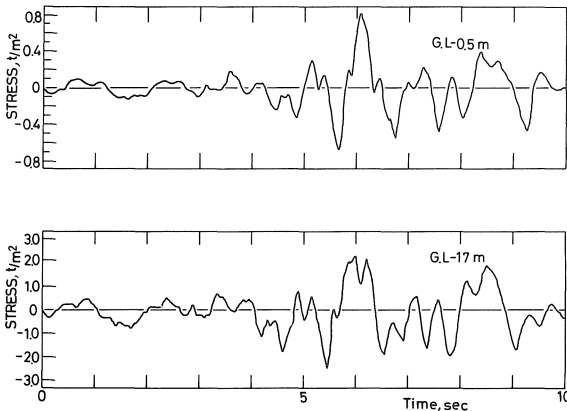


図18 地表付近とG.L.-17m地点のせん断応力時刻歴曲線

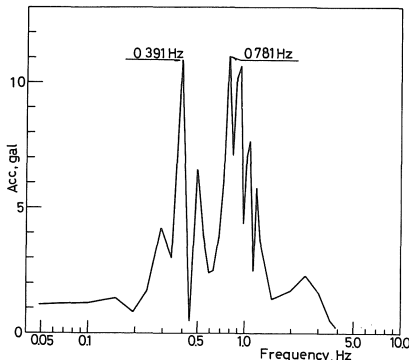


図19 地表面での加速度スペクトル

とG.L.-17m付近の砂層内のせん断応力時刻歴曲線をそれぞれ示した。時刻歴曲線の中で最大となるのは、地表付近では6.0秒後、G.L.-17m付近では5.4秒後と、約0.6秒の差が出ている。

図19に地表面での加速度応答スペクトルを示した。フーリエ振幅が最大となる周波数は0.391Hzと0.781Hzである。この値はA地盤と同じ値である。また、計算に用いた入力波の固有周波数とずれているので、上記の値はこの地盤の卓越周波数と考えてもよいであろう。

4.4 経験式による調査地点の震度および加速度

表2および表3に、地震規模、電源距離、地盤の卓越周期をパラメーターとした経験式とその計算結果を示した。計算に用いた値は地震規模 $M=8.0$ 、震源距離 $R=100\text{km}$ 、地盤の卓越周期 $T_a=1.0$ 秒である。

震度を求める経験式については、どの式においても $I=5\sim 6$ となる。ここで Esteva 他による経験式において、計算された震度 $I_{M,M}$ は $M \cdot M$ 震度階の表示であるので、その値を $J \cdot M \cdot A$ 震度階に変換した。

経験式による計算結果と応答解析による計算結果を比較すると、震度については、経験式で $5\sim 6$ 、今回の応答計算で $5\sim 6$ であるので両者の計算結果に大差は無いようである。

しかし、加速度の計算結果については、経験式においては、 $A=86\text{gal}\sim 775\text{gal}$ の範囲となり、経験式の違いによる差は極めて大きい。これらの中で応答解析結果と比較的より対応を示す経験式は河角(1937)、金井(1966)による提案式である。それぞれの値は、河角(ただし $I=6$)は $A=253\text{gal}$ 、金井(ただし $T_c=1.0$)は $A=217\text{gal}$ である。

従って、経験式を用いて地表の加速度を推定する場合、上述したように、経験式の違いによる差が極めて大きいことに留意しなければならない。

4.5 応答解析結果における震度値の検討

ここでは過去に起きた地震による震害および震度分布を調べ、先に求めた応答計算結果と比較、検討した。

震害例調査の対象とした地震福例調査の対象とした地震は、以下に示すように、東海道・南海道に震源を有する地震と濃尾地震である。

- (1) 明応地震 (1498年)³⁾
- (2) 宝永地震 (1707年)⁴⁾
- (3) 安政地震 (1854年)⁴⁾
- (4) 濃尾地震 (1891年)⁵⁾
- (5) 東南海地震 (1944年)⁶⁾
- (6) 三河地震 (1945年)⁷⁾

以上6つの地震について、震度分布、液状化発生の有無を調べ計算結果と比較した。

表2 震度に関する経験式と計算結果

R=100km, M=8.0

| 提 案 者 | 経 験 式 | 計 算 結 果 |
|-------------------------------|--|--|
| 河 角 (1943) | $e^I = (100/R)^2 \cdot \exp \{Mk - 0.00183(R-100)\}$ $M = 4.85 + 0.5Mk$ | I=6.3 |
| 河 角 | $I = 2 \cdot M - 9.7 - 0.00183(R - R_0) - 4.605 \log R/R_0$ ($R > R_0 = 100\text{km}$) | I=6.3 |
| | $I = 2 \cdot M - 9.7 + 2 \cdot \log R/R_0 - 0.167(R - R_0)$ ($R \leq R_0 = 100\text{km}$) | I=6.3 |
| 河 角 (1956) | $I = 2 \cdot M - 4.60 \log R - 0.00166R - 0.32$ | I=6.3 |
| Esteva (1968) | $I_{M-M} = 1.45 \cdot M - 5.7 \log_{10} R + 7.9$ | $I_{M-M} = 8.1$ $I_{J-M-A} = 5.0$ |
| Esteva and Rosenblueth (1964) | $I_{M-M} = 8.16 + 1.45 \cdot M - 2.46 \ln R$ | $I_{M-M} = 8.4$ $I_{J-M-A} = 5.8$ |
| 飯 田 (1972) | $\log R_V = 0.34 \cdot M - 0.66$ (R_V : 震度5となる半径) $\log R_{VI} = 0.65 \cdot M - 3.40$ (R_{VI} : 震度6となる半径) $\log R_{VII} = 0.52 \cdot M - 2.16$ (R_{VII} : 震度6となる半径) | $R_V = 114\text{km}$ $R_{VI} = 63\text{km}$ $R_{VII} = 100\text{km}$ よってI=6 |

表3 加速度に関する経験式と計算結果

R=100km, M=8.0

| 提 案 者 | 経 験 式 | 計 算 結 果 (gal) |
|------------------------------|---|--|
| 石 本 (1932) | $\alpha_{\max} = 0.125 \times 10^{0.602I}$ | I=6.0のとき $\alpha_{\max} = 512$ I=6.3のとき $\alpha_{\max} = 775$ |
| 河 角 (1937) | $\alpha_{\max} = 0.253 \times 10^{0.5I}$ | I=6.0のとき $\alpha_{\max} = 253$ I=6.3のとき $\alpha_{\max} = 357$ |
| 河 角 | $\log_{10} A = (Mk/2) - 0.6, M = 4.85 + 0.5Mk$ | A=355 |
| 金 井 (1966) | $A_m = (5/\sqrt{T_G}) \cdot 10^{V_0}$ $V_0 = 0.61 \cdot M - (1.66 + 3.60/R) \log_{10} R$ $+ (0.167 - 1.83/R)$ | $A_m = 217$ ($T_G = 1.0$) |
| *岡 本 (1969) | $\log_{10} \frac{\alpha_m}{640} = \frac{R+40}{100} (-7.604 + 1.7244 \cdot M - 0.1036M^2)$ | $\alpha_m = 237$ |
| Milne and Davenport (1969) | $a/g = 0.0069e^{1.64 \cdot M} / (1.1e^{1.1M} + R^2)$ | a=195 |
| Davenport (1972) | $a/g = 0.279e^{0.8 \cdot M} / R^{1.64}$ | a=86 |
| 岡 本, 田 村 | $\log_{10} \frac{a}{1000} = \frac{(R+50)}{100} \times (-4.93 + 0.89 \cdot M - 0.043 \cdot M^2)$ | a=144 |
| Esteva and Villaverde (1973) | $a/g = 5.7e^{0.8M} / (R+40)^2$ | a=172 |
| McGuire (1974) | $y = 472.3 \times 10^{0.278 \cdot M} / (R+25)^{1.301}$ | y=148 |
| 渡 辺 (1977) | $A_{\max} = 10^{0.472 \cdot M - (1.97 - 1.8/R) \log R + (2.2 - 11.1/R)}$ | $A_{\max} = 91$ |
| Ohashi and Iwasaki (1977) | $\alpha_{\max} = 32.1 \times 10^{0.254 \cdot M} \times R^{-0.757}$ | $\alpha_{\max} = 106$ |
| *岩 崎 (1978) | $\alpha_{BR} = \frac{9}{10} \times 108 \times 10^{0.202 \cdot M} \times (R+30)^{-0.813}$ | $\alpha_{BR} = 77$ |

*印は岩盤, 基盤上の加速度を示す式

ただし、本論文中では仮想地震と震源をほぼ同じ場所に有する安政地震(1854)についてのみ示し、その他の地震については参考文献を参照されたい。

1854年12月23日(嘉永7年11月4日)、東経137.9度、北緯34.0度の地点を震央とするM=8.4の地震が発生した。この地震によって愛知県全土は甚大な被害を被った。調査地点付近では地盤が沈下したり、倒壊家屋が多かった。また方々で地割れから泥砂水を噴出し、液状化現象がみられた。図20に安政地震の震度分布を示した。図に

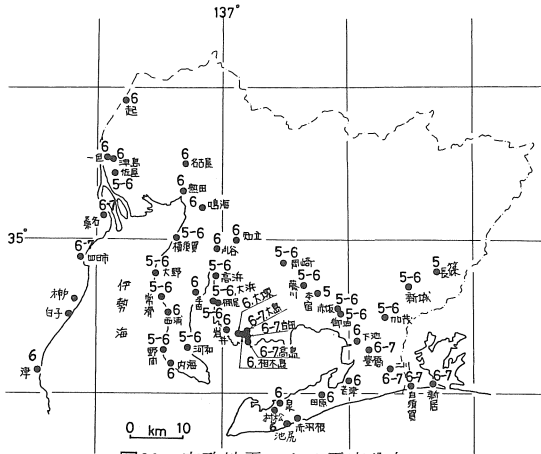


図20 安政地震による震度分布

示したように西三河の調査地点付近では震度5~6となっている。また、3m~4mの津波が三河湾に襲った。

表4に調査を行った6つの地震についての結果と応答

表4 震害例調査結果と解析結果

| 地震 | 発生年月日 | M | 震央より調査地点までの距離 | 調査地点の震度 | 調査地点付近の被害状況 | |
|-------|---------------|-----|---------------|---------|-------------|-------|
| | | | | | 液状化 | 津波 |
| 明応地震 | 1498 9.20 | 8.6 | 約130km | 5 | ? | 約4m |
| 宝永地震 | 1707 10.28 | 8.4 | 約100km | 6 | 無 | 約4m以下 |
| 安政地震 | 1854 12.23 | 8.4 | 約100km | 5~6 | 有 | 3~4m |
| 東南海地震 | 1944 12.7 | 8.0 | 約140km | 6 | 半田で有 | 0.7m |
| 三河地震 | 1945 1.13 | 7.1 | 約35km | 6 | 無 | 無 |
| 濃尾地震 | 1891 10.28 | 8.4 | 約80km | 6 | 無 | 無 |
| 東海地震 | ? ? | 8.0 | 約100km | 5~6 | 有 | — |

表5 A地盤における液状化危険度

| 推定法 | | Seed | | 岩崎・龍岡 | | | | 残留間隙水圧比 | |
|-------|---------|---------------------|------------------------|--------|--------------------------|----------------|------------------|---------|---------------------|
| 深度(m) | *N値(米国) | Zd/σ _v ' | Fe = τd/τ ₁ | N値(日本) | 平均粒径D ₅₀ (mm) | P _L | P _L * | Dr(%) | Ur/σ _v ' |
| 3.5 | 4 | 0.395 | 0.147 | 2 | 0.40 | 5.70 | 3.65 | 60 | 1.0> |
| 4.5 | 4 | 0.337 | 0.172 | 2 | 〃 | 5.40 | 3.49 | | |
| 5.5 | 4 | 0.276 | 0.181 | 2 | 〃 | 4.68 | 3.23 | | |
| 6.5 | 5 | 0.306 | 0.190 | 3 | 〃 | 4.14 | 3.07 | | |
| 7.5 | 5 | 0.270 | 0.215 | 3 | 0.022 | 2.05 | 2.16 | 60 | 0.86 |
| 8.5 | 5 | 0.322 | 0.180 | 3 | 〃 | | | | |
| 9.5 | 4 | 0.294 | 0.143 | 2 | 0.03 | | | | |
| 10.5 | 4 | 0.311 | 0.135 | 2 | 0.15 | 1.47 | 1.73 | 60 | 0.72 |
| 11.5 | 4 | 0.289 | 0.145 | 2 | 〃 | 1.58 | 2.11 | | |
| 12.5 | 4 | 0.299 | 0.140 | 2 | 〃 | 1.02 | 1.57 | | |
| 13.5 | 5 | 0.280 | 0.179 | 3 | 〃 | 0.24 | 0.45 | | |
| 14.5 | 5 | 0.281 | 0.178 | 3 | 0.075 | — | — | 70 | 0.22 |
| 15.5 | 18 | 0.264 | 0.617 | 10 | 0.15 | — | — | | |
| 16.5 | 20 | 0.262 | 0.672 | 11 | 〃 | — | — | | |
| 17.5 | 25 | 0.246 | 0.837 | 14 | 〃 | — | — | | |
| 18.5 | 22 | 0.250 | 0.740 | 12 | 〃 | — | — | 70 | 0.16 |
| 19.5 | 16 | 0.237 | 0.506 | 9 | 0.55 | — | — | | |

$\Sigma P_L = 26.3 \quad \Sigma P_L^* = 21.5$

表6 B地盤における液状化危険度

| 推定法 | | Seed | | 岩崎・龍岡 | | | | 残留間隙水圧比 | |
|-----------|-----------------|-----------------|------------------------|------------|--------------|----------------|------------------|---------|-----------------|
| 深度 (m) | * N値 (米国) | Zd/ σ_v' | Fe = $\tau d / \tau l$ | N値 (日本) | 平均粒径 (mm) | P _L | P _L * | Dr(%) | Ur/ σ_v' |
| 4.5 | 11 | 0.636 | 0.256 | 6 | 0.55 | 3.45 | 2.16 | 60 | 1.0> |
| 5.5 | 7 | 0.521 | 0.192 | 4 | 0.15 | 3.92 | 2.71 | 60 | 1.0> |
| 6.5 | 5 | 0.479 | 0.121 | 3 | 〃 | 3.75 | 2.78 | 70 | 1.0> |
| 7.5 | 13 | 0.548 | 0.297 | 7 | 0.0032 | | | | |
| 8.5 | 14 | 0.497 | 0.328 | 8 | 0.55 | 3.85 | 3.35 | | |
| 9.5 | 16 | 0.452 | 0.409 | 9 | 〃 | 3.27 | 3.11 | | |
| 10.5 | 16 | 0.414 | 0.425 | 9 | 〃 | 2.83 | 2.98 | 60 | 1.0> |
| 11.5 | 16 | 0.417 | 0.391 | 9 | 0.55 | 2.60 | 3.06 | | |
| 12.5 | 14 | 0.387 | 0.375 | 8 | 〃 | 2.34 | 3.12 | | |
| 13.5 | 11 | 0.361 | 0.305 | 6 | 〃 | 2.19 | 3.37 | | |
| 14.5 | 18 | 0.344 | 0.512 | 10 | 0.0009 | | | 80 | 0.34 |
| 15.5 | 22 | 0.322 | 0.612 | 12 | 1.00 | 1.98 | 4.41 | 80 | 0.25 |
| 16.5 | 16 | 0.331 | 0.438 | 9 | 0.014 | — | — | | |
| 17.5 | 34 | 0.313 | 0.936 | 19 | 〃 | — | — | | |
| 18.5 | 27 | 0.296 | 0.757 | 15 | 〃 | — | — | 80 | 0.18 |
| 19.5 | 38 | 0.279 | 1.104 | 21 | 0.10 | — | — | | |

$$\Sigma P_L = 30.2 \quad \Sigma P_L^* = 31.2$$

表7 C地盤における液状化危険度

| 推定法 | | Seed | | 岩崎・龍岡 | | | | 残留間隙水圧比 | |
|-----------|-----------------|-----------------|------------------------|------------|------------------------------|----------------|------------------|---------|-----------------|
| 深度 (m) | * N値 (米国) | Zd/ σ_v' | Fe = $\tau d / \tau l$ | N値 (日本) | 平均粒径 D ₅₀ (mm) | P _L | P _L * | Dr(%) | Ur/ σ_v' |
| 3.5 | 27 | 0.428 | 1.126 | 15 | 0.55 | 2.74 | 1.66 | | |
| 4.5 | 27 | 0.2336 | 1.205 | 15 | 〃 | 1.45 | 0.94 | 50 | 1.0> |
| 5.5 | 2 | 0.327 | 0.116 | 1 | 0.003 | — | — | 70 | 0.75 |
| 6.5 | 9 | 0.291 | 0.378 | 5 | 0.55 | 3.73 | 2.77 | 50 | 1.0> |
| 7.5 | 18 | 0.262 | 0.813 | 10 | 〃 | 1.60 | 1.28 | | |
| 8.5 | 9 | 0.324 | 0.340 | 5 | 〃 | 3.55 | 3.09 | 50 | 1.0> |
| 9.5 | 11 | 0.285 | 0.463 | 6 | 〃 | 2.97 | 2.83 | 60 | 0.64 |
| 10.5 | 16 | 0.263 | 0.669 | 9 | 〃 | 1.79 | 1.89 | | |
| 11.5 | 9 | 0.255 | 0.373 | 5 | 0.22 | 0.95 | 1.12 | 60 | 0.26 |
| 12.5 | 5 | 0.235 | 0.213 | 3 | 0.02 | — | — | | |
| 13.5 | 4 | 0.221 | 0.190 | 2 | 〃 | — | — | 70 | 0.12 |
| 14.5 | 5 | 0.227 | 0.220 | 3 | 〃 | — | — | | |
| 15.5 | 5 | 0.213 | 0.235 | 3 | 0.22 | 0.76 | 1.39 | | |
| 16.5 | 23 | 0.197 | 1.000 | 13 | 0.60 | 0.25 | 0.55 | | |
| 17.5 | 45 | 0.184 | 2.391 | 25 | 0.01 | — | — | 80 | 0.08 |
| 18.5 | 50 | 0.267 | 1.805 | 28 | 〃 | — | — | | |
| 19.5 | 77 | 0.251 | — | 43 | 〃 | — | — | | |

$$\Sigma P_L = 19.8 \quad \Sigma P_L^* = 17.5$$

解析結果をまとめた。

震害例調査果より、調査地点の震度は5～6程度と思われる。一方、応答解析結果によれば、最大応答加速度は221gal～280galとなり、この値を震度で表現すれば震度5～6となり、震害例調査結果とほぼ一致している。

5. 液状化危険度の推定

5.1 A地盤の液状化危険度

表5にSeed, 岩崎・龍岡, 残留間隙水圧比による液状化危険度の計算結果を示した。表中で*印を付したN値は米国式N値に換算した値である。Seedによる判定結果では、安全率Feは深度15.5m以深で0.6以上であるが、それ以浅では0.2以下と極めて小さい。従って、液状化危険度は深度15.5m以浅で高いと判定される。岩崎・龍岡による判定結果では、深度19.5mまでを対象とした液状化指数 P_L および P_L^* はそれぞれ $P_L=26.3$, $P_L^*=21.5$ と大きく、この地盤の液状化の可能性は極めて高い。その中でも特に、深度6.5m以浅で $P_L>4.0$ と大きい。しかし、深度15.5m以深では $P_L, P_L^*=0.0$ となり液状化の可能性は低いと思われる。よって、この地盤の液状化危険度はSeedの判定結果と同様深度15.5m以浅で高く、それ以深では低いと言えよう。残留間隙水圧比による結果においても上述した二つの判定結果と同様な結果が得られた。すなわち、深度13.6m以浅で残留間隙水圧比 $U_r/\sigma'_v>0.7$ となり、ほぼ完全に液状化することを示している。

以上の結果より、どの判定法においても、液状化危険度は深度13.6m以浅で高いと判定される。その中でも、深度7m以浅は特に高いと言えよう。

5.2 B地盤の液状化危険度

表6に液状化危険度の判定結果を示した。Seedによる判定結果では、安全率Feは深度16.5m以浅で0.5以下と小さく、特に、深度7.5m以浅の砂層において0.3以下と小さい。従って、深度16.5m以浅は液状化の可能性があり、その中でも深度7.5m以浅は可能性が高いと言えよう。岩崎・龍岡による判定結果では P_L および P_L^* はそれぞれ $P_L=30.2$, $P_L^*=31.2$ と大きく危険度は高いと判定される。残留間隙水圧比による判定においても上述した判定結果と同様に深度14m付近まで U_r/σ'_v が1.0以上となり、完全に液状化すると判定される。

以上の結果より、この地盤の液状化危険度を考察すれば、深度14m以浅はどの判定法においても危険度が大きく、特に深度6m～8m付近の砂層およびシルト層で液状化の可能性が高いと言えよう。

5.3 C地盤の液状化危険度

表7に液状化危険度の判定結果を示した。Seedによる判

定結果によれば、深度5.5m～6.5mの砂層と11.5m～15.5mの砂層およびシルト層において $Fe<0.4$ となり、液状化の可能性が高いと判定される。岩崎・龍岡の方法によれば、深度10m以浅の砂層において液状化の可能性が高いと判定される。残留間隙水圧比による判定結果は、岩崎・龍岡による判定結果とほぼ同じ結果を示す。すなわち、深度9m以浅において $U_r/\sigma'_v>1.0$ となり完全に液状化すると判定される。

以上の結果より、深度9m以浅で液状化危険度は高く、そほ中でも深度5.5m～6.5mの砂層で極めて高いと考えられる。

ここで残留間隙水圧比の算出に用いた波型は図10, 14, 18を参考に、3地点とも衝撃波型とした。

6. まとめ

東海地震を想定した西三河地域の若干の地点において地震時応答解析を行い、その結果に基づいて液状化危険度を求めた。応答解析結果は断層パラメーターを考慮しなければならぬので複雑化するが、過去に発生した地震による震度分布と比較し、解析結果を検討した結果、次のことが明らかとなった。

- (1) 応答解析結果によれば西三河地域の沿岸部では震度5～6となり、また、応答加速度では250gal前後の値が予想される。
- (2) 経験式による計算結果においては、震度の推定は応答解析結果と大差はないが、加速度の推定結果は経験式の違いによる差が極めて大きい。この地点の応答解析結果と比較的よい対応を示す経験式は河角(1937)、金井(1966)によって提案された式であった。
- (3) 地盤の液状化危険度を求めた結果、A, B, C地盤とも深度10m以浅の層内で危険度が高く、液状化の可能性があると判定された。
- (4) 液状化危険度の推定法の違いによる判定結果の相違は明確には表われなかった。
- (5) Seedによる推定結果はN値に、残留間隙水圧比による推定結果は相対密度に大きく影響されるので、これらの推定法を用いる場合、十分な検討が必要と思われる。

本研究で行われた応答解析に要する計算時間は、IBM370/138を夜間専有で使用して約5時間必要であった。このように、計算時間が非常に長くなってしまうので、プログラムを工夫し計算時間の短縮を考える必要がある。

終りにのぞみ、名古屋大学工学部多賀直恒助教授、富樫豊助手にはプログラム作成に関し有益な御助言を頂き

感謝の意を表わす次第である。数値計算は本学電子計算センター IBM370/138および名古屋大学大型計算センター FACOM M-200を利用して行われた。計算センター教職員の方々に対し合せて感謝する次第である。

参考文献

- 1) 谷口仁士, 宮永良一, 飯田汲事: 東海地震を想定した愛知三河地域時地盤の応答解析と地震危険度, (I)一応答解析の考え方とその手法一, 前掲の論文.
- 2) 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, Vol.13B, 191~200, 1978.
- 3) 飯田汲事: 天正地震 (1586)・明応地震 (1498) の地震と津波災害について, 自然災害資料解析 7, 170~182, 1980.
- 4) 飯田汲事: 明応地震・天正地震・宝永地震・安政地震の震害と震度分布, 愛知県防災会議地震部会, 52~91, 1979.
- 5) 飯田汲事: 明治24年 (1891年) 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.
- 6) 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, 1~100, 1977.
- 7) 飯田汲事: 昭和2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, 1~78, 1978.

(受理: 昭和56年1月16日)