

新潟地震の液状化被害からみた新潟市の液状化危険度

上前 慎治*・故 大草 重康**・生田 理弘***

Liquefaction Potential of Niigata City and Liquefaction Damage Caused by the 1964 Niigata Earthquake

by

Shinji UEMAE, The late Shigeyasu OKUSA and Masahiro IKUTA

(Abstract)

On the data obtained from about 300 point boring in Niigata, the liquefaction potential of soils during earthquakes was predicted. The liquefaction potential has been closely related with the standard penetration resistance of the soils were and in-situ effective overburden pressure. The data of standard penetration resistance in the 300 points were available for the prediction, but the unit weights of the soils were determined from the description of the soil types of the 300 points. Earthquake forces ranged from 0.05 (49gal) to 0.30 (294gal) at the earth's surface.

The liquefaction potential become highest at Niigata Airport and Funaba-cho due to an earthquake of 0.10 (98gal). The potential approaches a very high rank in these areas, Shitayama, Nigorikawa, Fujimi-cho, Nuttari, Shimookawa, Yachiyo, Kawagishi-cho, Hakusanura and Amigahara due to an earthquake of 0.20 (196gal) and the areas of high liquefaction potential spread over the whole of Niigata at this earthquake force. The results of prediction clearly explain the earthquake damage which occurred in Niigata due to the 1964 Niigata Earthquake ($M=7.3$) which struck Niigata with the greatest surface horizontal seismic coefficient of $k_s=0.16$ (157gal).

key words : Liquefaction, Earthquake, Sandy soil

キーワード : 液状化, 地震, 砂質土

I ま え が き

新潟地震(1964年 $M=7.3$)のさい, 地下浅所における液状化によっておこった地表面の大規模な変位が解析されてきた(藤田, 1988; Hamada et al., 1986)。

本論は, 道路橋示方書, V耐震設計編(日本道路協会, 1980)などの簡易液状化判定式にもとづいて, このような地点の液状化解析を行った。その解析結果が事実とよく一致したため, この解析は液状化予測に非常に有効であると思われる。この結果を基準にして, 新潟市内のボーリング柱状図をもとに市内全域の地震時液状化予測を試みたものである。なお, 同様の予測が渡辺ほか(1982)によって静岡県, 大草(1980)によって静岡県清水市においてもなされている。

地震の大きさは新潟地震相当のものを最大にして, それ以下いくつかの大きさの震度についても判定

* 日本海工株式会社技術本部工務部(前新潟大学積雪地域災害研究センター研究生),

** 新潟大学積雪地域災害研究センター, *** 新潟大学大学院工学研究科修士課程

を行った。本研究は、種々の規模の地震動に対して、新潟平野全体の液化危険度を予測する第1段階にあたるものである。新潟地震における市街地の液化被害の大小は、藤田ほか(1988)が指摘した液化砂層の地下地質構造、また、石原(1988)が指摘した液化砂層の地震後の静的せん断応力と残留強度との関係などによる流動(フロー)破壊の可能性に大きく依存したと考えざるをえない。

II 液化判定方法

液化判定を行った飽和砂層は、地下水位面が現地盤から10m以内にある沖積層で、かつ20m程度以浅の土層である。また、土層中の平均粒径 D_{50} は0.02mm~2.0mmのものを対象とした。判定式は、道路橋示方書・同解析 V耐震設計編(日本道路協会, 1980)の簡易式によった。

1. 液化抵抗係数 F_L

これはN値、単位体積重量 γ_t (t/m³)、平均粒径 D_{50} (mm) から次式により計算される。

$$F_L = \frac{R}{L} \quad \dots\dots(1)$$

$$L (\text{地震時作用荷重}) = r_d \cdot K_s \cdot \frac{\sigma_v}{\sigma'_v} \quad \dots\dots(2)$$

$$r_d (\text{低減係数}) = 1 - 0.015 Z \quad \dots\dots(3)$$

$$0.02\text{mm} \leq D_{50} \leq 0.05\text{mm}$$

$$R = 0.0882 \sqrt{\frac{N}{\sigma'_v + 0.7}} + 0.19 \quad \dots\dots (4A)$$

$$0.05\text{mm} < D_{50} \leq 0.6\text{mm}$$

$$R = 0.0882 \sqrt{\frac{N}{\sigma'_v + 0.7}} + 0.225 \log_{10} \frac{0.35}{D_{50}} \quad \dots\dots (4B)$$

$$0.6\text{mm} < D_{50} \leq 2.0\text{mm}$$

$$R = 0.0882 \sqrt{\frac{N}{\sigma'_v + 0.7}} - 0.05 \quad \dots\dots (4C)$$

ただし、 K_s ; 地表面での水平震度、 σ_v ; 全上載圧 (kgf/cm²)、 σ'_v ; 有効上載圧 (kgf/cm²)、 Z ; 地表からの深度 (m)、 R ; 液化抵抗力

なお、簡易式を用いるための地盤データは、新潟県平野部の地盤図集(建設省北陸地方建設局北陸地方事務所, 1981)を用いた。地下水位は孔内水位を、これが未掲載の場合地表面に等しくとった。単位体積重量、平均粒径の未知なものについては、現場土質名から表-1に示すような推定平均値を用いた。

2. 液化指数 P_L

このようにして求めた液化係数 F_L から、任意の地盤の深さ方向全体について液化化のおこりやすさを表わすパラメータとして、深さ方向に F_L が1より小さくなる領域を積分した値を用いた。

表-1 γ_t , D_{50} 推定平均値

Table 1 Values of unit weight and mean diameter for the calculation of liquefaction potential for various soil types

| 土質名 | 単位体積重 | 平均粒径 |
|-------|------------------|----------|
| | γ_t | D_{50} |
| | t/m ³ | mm |
| 表土 | 1.7 | 0.02 |
| シルト | 1.7 | 0.02 |
| 砂質シルト | 1.7 | 0.04 |
| シルト質砂 | 1.9 | 0.1 |
| 細砂 | 1.9 | 0.2 |
| 中砂 | 1.9 | 0.25 |
| 粗砂 | 1.9 | 0.3 |
| 砂レキ | 2.1 | 0.6 |

このとき地盤の深い部分が液状化しても余り問題にならないと考えるならば、深さ方向に減少する関数 $\omega(Z)$ を掛けたうえで積分する。すなわち、ある深さZまでの地盤の液状化のおこりやすさを表わすパラメーター P_L は次式で表わされる。

$$P_L = \int_0^{20} F \cdot \omega(Z) dz \quad \dots\dots(5)$$

$$\text{ここに } F = 1 - F_L \quad (F_L < 1) \quad \dots\dots (6A)$$

$$F = 0 \quad (F_L \geq 1) \quad \dots\dots (6B)$$

表-2 地震時における土層の液状化危険度ランク

Table 2 Ranks of liquefaction potential of soils during earthquakes

| 液状化指数 P_L | ランク | 液状化危険度 | |
|-------------------|-----|--------|------------------------|
| $P_L = 0$ | 1 | かなり低い | さらに調査する必要がない |
| $0 < P_L \leq 5$ | 2 | 低い | 非常に重要な構造物はさらに調査する必要がある |
| $5 < P_L \leq 15$ | 3 | 高い | 重要な構造物はさらに調査する必要がある |
| $15 < P_L$ | 4 | かなり高い | 明確に調査する必要がある |

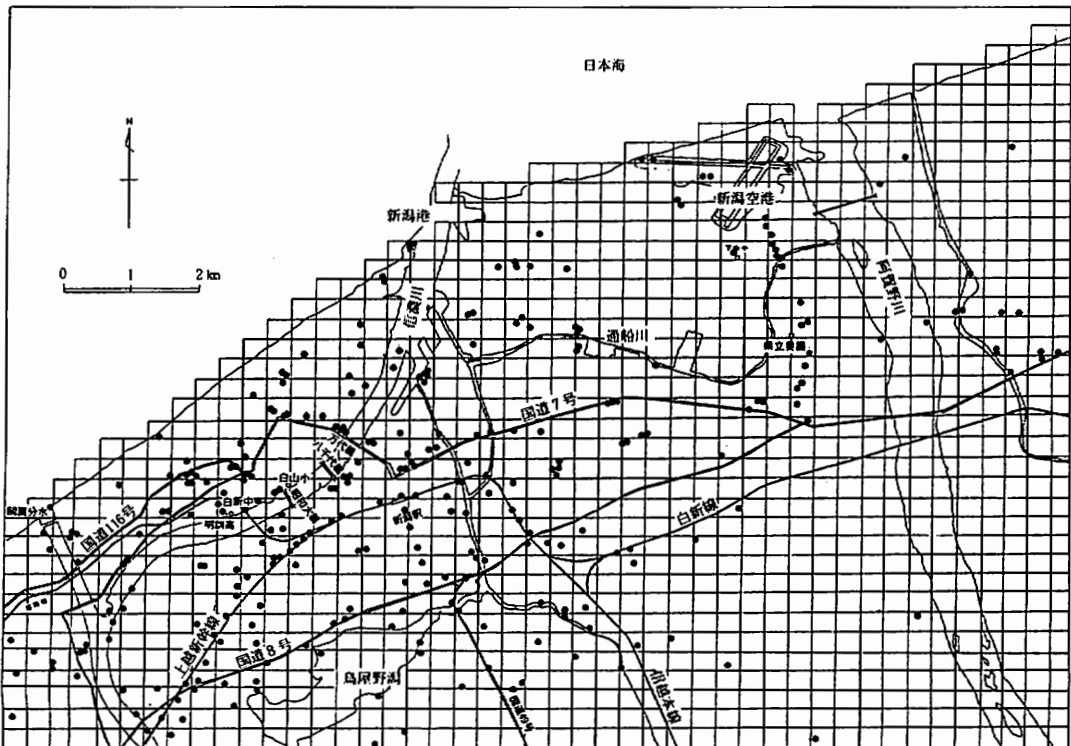


図-1 ボーリング位置

Fig. 1 Boring sites available for the calculation of liquefaction potential in Niigata

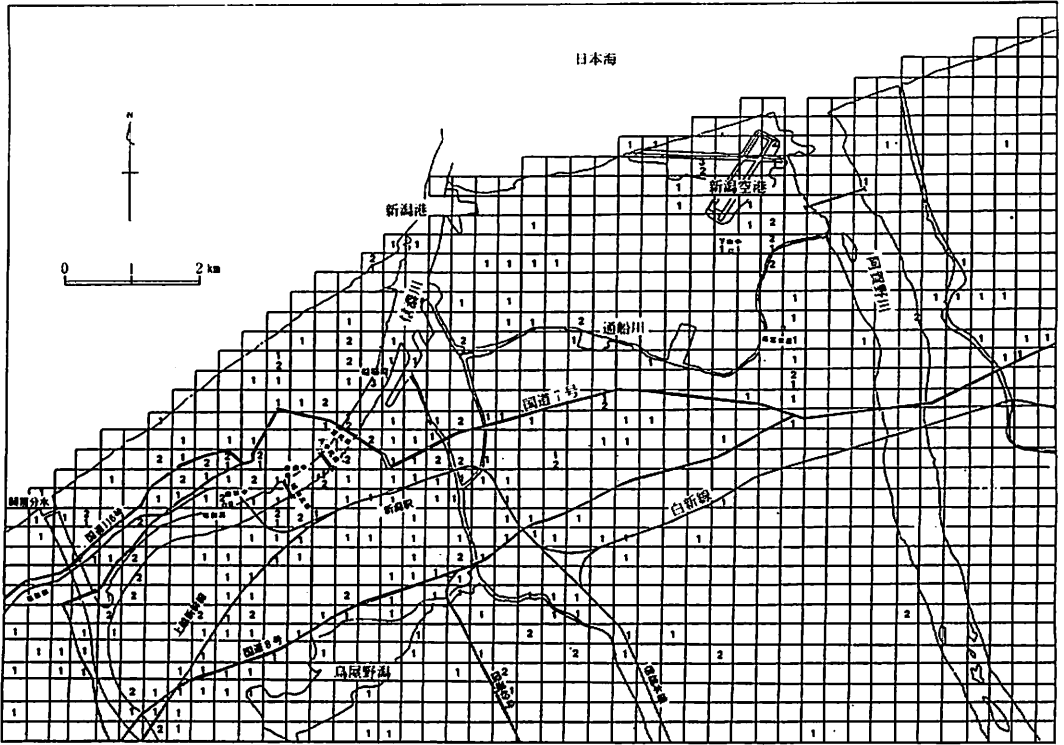


図-2 水平深度 $K_s=0.10$ (98gal) 地震時の液状化危険度
 1 : かなり低い 2 : 低い 3 : 高い 4 : かなり高い

Fig. 2 Liquefaction potential of Niigata due to an earthquake of the greatest surface horizontal seismic coefficient of $K_s=0.10$ (98gal)

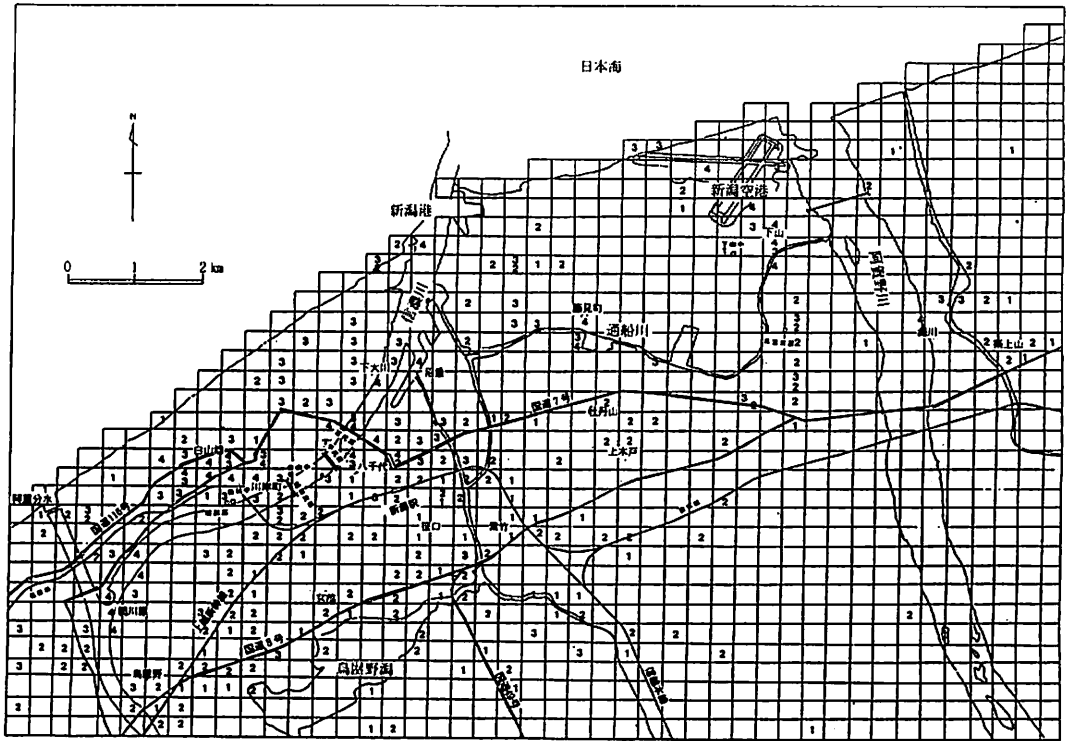


図-3 水平深度 $K_s=0.20$ (196gal) 地震時の液状化危険度
 1 : かなり低い 2 : 低い 3 : 高い 4 : かなり高い

Fig. 3 Liquefaction potential of Niigata due to an earthquake of the greatest surface horizontal seismic coefficient of $K_s=0.20$ (196gal)

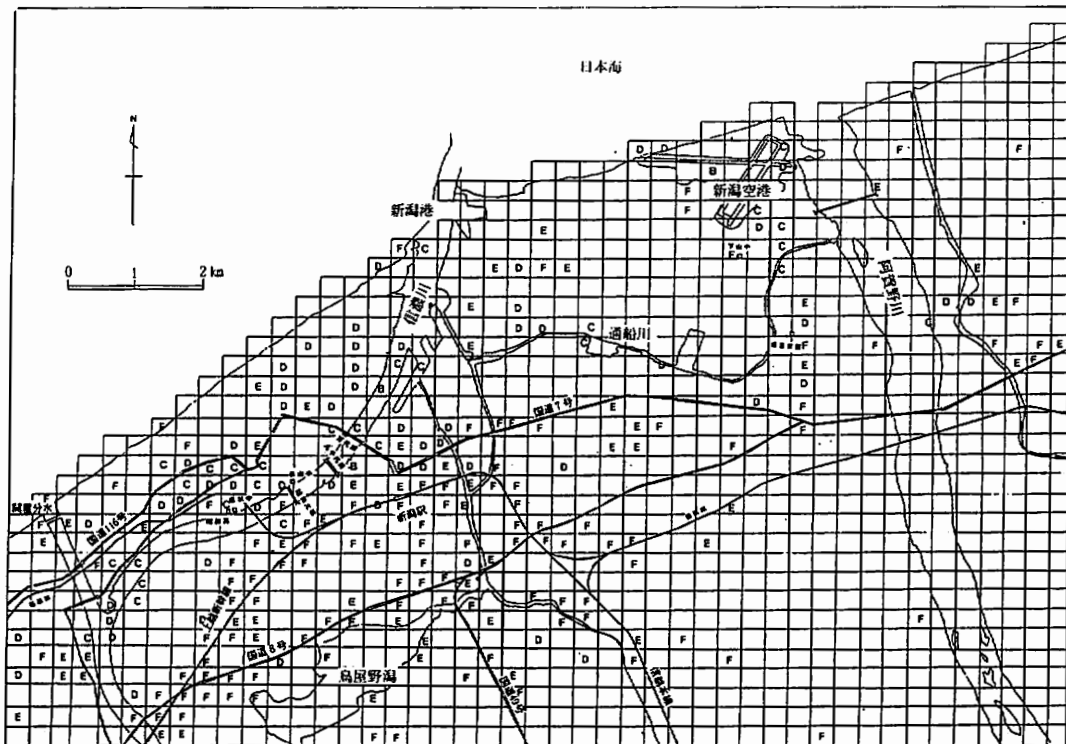


図-4 R_L が5以上 (液状化危険度3ランク以上) になる最低水平震度 K_s
 Fig. 4 Minimum surface horizontal seismic coefficient at which the liquefaction potential becomes "liquefiable" (rank 3)
 A : 0-0.05 B : 0.05-0.10 C : 0.10-0.15 D : 0.15-0.20
 E : 0.20-0.25 F : 0.25-0.30

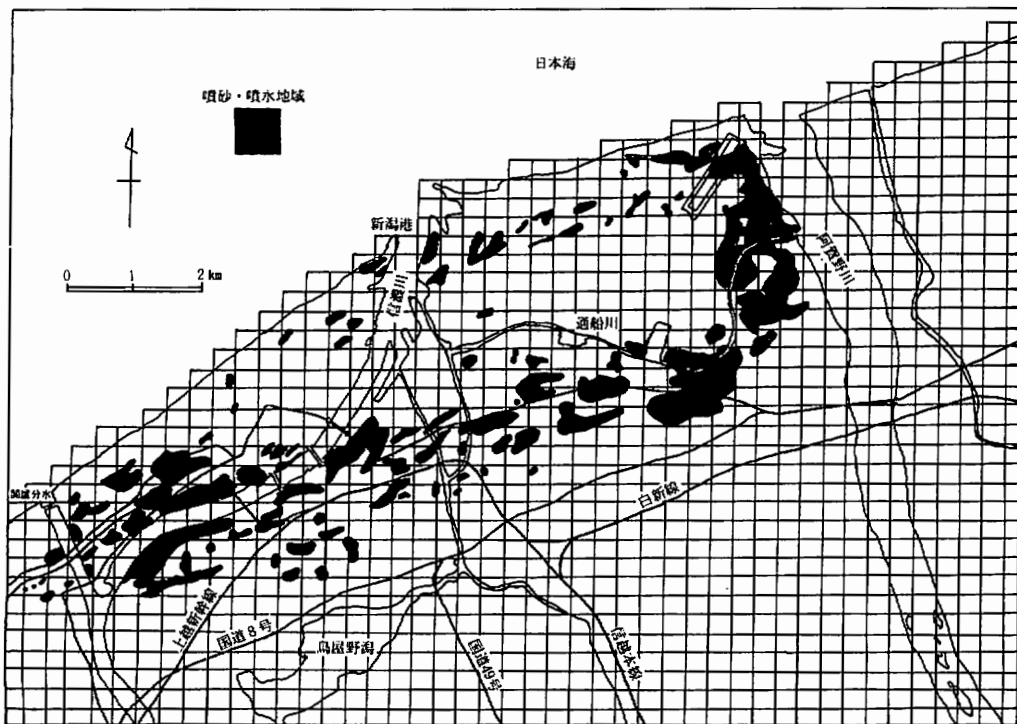


図-5 新潟地震 (1964) の噴砂・噴水地域 (栗林ほか, 1974)
 Fig. 5 Sand boiling areas by the 1964 Niigata earthquake (Kuribayashi et al., 1974)

関数 $\omega(Z)$ は、地盤条件、地震波入力特性、構造物の重要性などによって変わるべきものであるが、今回は深さ20 m程度までの液状化を考えることとして

$$\omega(Z) = 10 - 0.5Z, Z(\text{m}) \quad \dots\dots(7)$$

を用いた。式(5)の具体的な積分は地質柱状図の深さ方向にその面積を計算して行った。 P_L の値から液状化の危険度は表-2のように分類されている。

Ⅲ 結果および検討

新潟市内を図-1に示すように約300 m四方のメッシュに切り、上述のボーリングデータから、約300本の位置をプロットし、その点の液状化危険度 P_L を式(5)によって計算した。

図-1から明らかなように、ボーリングが数多く行われている信濃川沿いの地区などでは、同一のメッシュ内に多くのボーリング地点がプロットされる。このような場合には、同一のメッシュ内でそれぞれの点ごとに P_L の値を計算し、その後ボーリング柱状図に詳しい記載のあるほうの P_L の値で、メッシュの値を代表させた。同一メッシュ内でボーリング柱状図の記載が同一程度の詳しさと複数本あり、 P_L の値が表-2の危険度の二つのランクに分かれるような場合には、二つのランクをメッシュ内に併記し、それ以外の場合には平均値をとった。

地震時の外力として、地表面の水平震度(K_s): 0.05 (49gal) ~ 0.30 (294gal) までの間を0.05間隔ごとに区切って、それぞれの水平震度ごとに P_L の値を計算した。計算した P_L の値を表-2に示した液状化危険度の四つのランクに分け、メッシュの液状化危険度とした。図-2は $K_s=0.10$ (98gal)、図-3は $K_s=0.20$ (196gal) の場合の液状化危険度を示している。さらに、図-4は P_L が5以上(液状化危険度が3ランク以上)になる最小水平震度を0.05ごとにランク分けして示したものである。

以上の図から明らかなように、液状化危険度ランク3が、 $K_s=0.10$ (98gal) で新潟空港、船場町でみられ、この付近の地盤が、液状化に対して弱いことを示している。 $K_s=0.20$ (196gal) になると上記の地域と下山、濁川、藤見町、沼垂、下大川、八千代、川岸町、白山浦、網川原で危険度ランク4が現れるほか、ランク3の地域が広がる。その反面、築上山、牡丹山、上木戸、笹口、女池、鳥屋野にランク1や2の地域が残っているのが注目される。

以上の結果を図-5の新潟地震の噴砂・噴水地域と比較する。新潟地震による新潟市の地表の水平震度 K_s は、0.16 (157gal) と記録された。図-5の地域と今回の液状化危険度の傾向が類似していることは、今回用いた計算手法が液状化予測にあたって有効であることを示すものと思われる。

謝 辞

本研究を実施するにあたって新潟大学積雪地域災害研究センター鈴木幸治技官からご援助をいただいたことに厚くお礼申し上げます。

文 献

土質工学会：土質地震工学，231p.

藤田至則（1988）：1964年新潟地震による市街地における液状化災害の復元，都市における地震危険度に関する研究（第1年度）. 昭和62年度文部省科学研究費重点領域研究（I），62601010（代表石原研而），55-62.

Hamada, M., Yasuda, S., Isoya, R., Emoto, K. (1986) : Study on liquefaction induced permanent ground displacements. Association for the Development of Earthquake Prediction, 1-87.

石原研而（1988）：飽和砂質土からなる緩傾斜面の地震後安定性評価. 新潟大学積雪地域災害研究センター創立10周年記念講演会論文集，21-25.

建設省北陸地方建設局北陸技術事務所（1981）：新潟平野部の地盤図集（新潟平野編）.

栗林栄一・龍岡文夫・吉田精一（1974）：明治以降の本邦の地盤液状化履歴. 土木研究所彙報，30,181.

日本道路協会（1980）：道路橋示方書，同解説，V耐震設計編. 16-20.

大草重康（1982）：清水市地盤の地震時液状化の危険度. 東海大学紀要海洋学部，15, 155-168.

渡辺定弘・岩崎敏夫・龍岡文夫・安田 進・佐藤弘行（1980）：簡易式を用いた静岡県の液状化予測. 第15回土質工学研究発表会論文集，1345-1348.