

新潟県における液状化危険度の予測

本多典久*・上前慎治**

A Prediction of Liquefaction Potential in Niigata Prefecture

by

Norihisa HONDA and Shinji UEMAE

(Abstract)

The liquefaction potential of soils during earthquakes is predicted on the basis of boring data in Niigata Prefecture. The liquefaction potential has been closely related with the standard penetration resistance of soils and the effective pressure. As the data of standard penetration resistance is available for the prediction, actual data are used, while the unit weight of the soil is determined from the description of the soil types. Earthquake forces ranged from 0.05 (49gal) to 0.30 (294gal) at the earth surface.

The high potential regions of the liquefaction distribute over the nearby part of river at this earthquake force. The result of prediction agrees with the earthquake damage of the Niigata Earthquake ($M=7.3$, 1964). The greatest surface horizontal seismic coefficient of Niigata Prefecture is $k_s=0.16$ (157gal).

Key words : Liquefaction, Earthquake

キーワード : 液状化, 地震

I ま え が き

1964年に発生した新潟地震 ($M=7.3$) は、地盤の液状化によって新潟市内を中心に多くの被害をもたらした。また、近年においても、1989年に発生したロマプリータ地震 (サンフランシスコ, $M=7.1$), 1990年に発生したフィリピン地震 ($M=7.7$) によって液状化が発生し、多数の死傷者や物的被害が生じたことは、記憶に新しいところである。

このような被害を最小限にとどめるには、液状化の発生する場所の有無を知る必要がある。そこで、本研究では、N値・粒径・深度による簡易液状化判定式にもとづいて液状化解析を行った。この解析方法を用いた理由としては、既存のボーリングデータを使用できること、液状化の危険度をさまざまな地震動の大きさについて数値的に表すことができることなどからである。上前慎治他 (1989) は、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図を作成し、その結果が新潟地震時に発生した液状化地点と液状化危険度の分布がかなりの精度で一致することを明らかにした。本報は、上前他

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

** 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)

(1989) にひきつづき、新潟県内の地域のボーリングデータを用いて液状化危険度を判定したものである。この研究は、種々の規模の地震動に対して、新潟県全体の液状化危険度を予測する一歩として始めたものである。

II 液状化判定方法

液状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以上2.0mm以下のものを対象とした。判定式は、道路橋示方書・同解説 V耐震設計編（日本道路協会、1980）の簡易式によって求めた。

1. 液状化抵抗係数 F_L

これはN値、単位体積重量 γ_t (t/m^3)、平均粒径 D_{50} (mm) から次式により計算される。

$$F_L = R/L \quad \dots\dots\dots(1)$$

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

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

$$0.02\text{mm} \leq D_{50} \leq 0.05\text{mm} \\ R = 0.0882 \sqrt{N / (\sigma_{v'} + 0.7)} + 0.19 \quad \dots\dots\dots(4A)$$

$$0.05\text{mm} < D_{50} \leq 0.6\text{mm} \\ R = 0.0882 \sqrt{N / (\sigma_{v'} + 0.7)} + 0.225 \text{ LOG}_{10} (0.35/D_{50}) \quad \dots\dots(4B)$$

$$0.6\text{mm} < D_{50} \leq 2.0\text{mm} \\ R = 0.0882 \sqrt{N / (\sigma_{v'} + 0.7)} - 0.05 \quad \dots\dots\dots(4C)$$

ただし、 K_s : 地表面での水平震度、 σ_v : 全上載圧 (kgf/cm^2)

$\sigma_{v'}$: 有効上載圧 (kgf/cm^2)、 z : 地表からの深度 (m)

R : 液状化抵抗力

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（1981）を用いた。地下水位は、孔内水位を用い、未掲載ならば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。

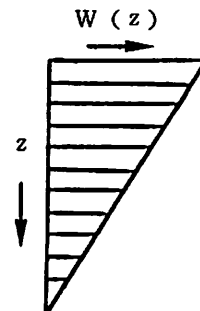
表-1 γ_t 、 D_{50} 推定平均値

Table 1 Values of unit weight and mean diameter for soil types

土質名	単位体積重量 γ_t	平均粒径 D_{50}
表土	1.7 t/m^3	0.02 mm
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	2.1	0.3
砂レキ	2.1	0.6

図-1 重み関数 $W(z)$

Fig. 1 Weight function $W(z)$



2. 液状化指数 P_L

このようにして求めた液状化抵抗係数 F_L は、任意の深度について液状化の発生しやすさを表わすパラメータであるが、地盤全体の液状化の発生しやすさを表すパラメータとして P_L を定義した。

P_L は、 F_L が1より小さくなる領域を積分した値であり、液状化の発生がより浅い部分の地盤状況に依存すると考えるならば図-1に示す深さ方向に減少する関数 $W(z)$ を乗じたうえで積分する。結局、ある深さ z までの地盤の液状化の発生しやすさを表すパラメータ P_L は次式で表わされる。

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

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

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

関数 $W(z)$ 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20m程度までの液状化を考えることとして

$$W(z) = 10 - 0.5z \quad (z : \text{深度 m}) \quad \dots\dots\dots(7)$$

を用いた。

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。

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	非常に低い	さらに調査する必要はない
$0 < P_L \leq 5$	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	非常に高い	明確な調査をする必要がある。

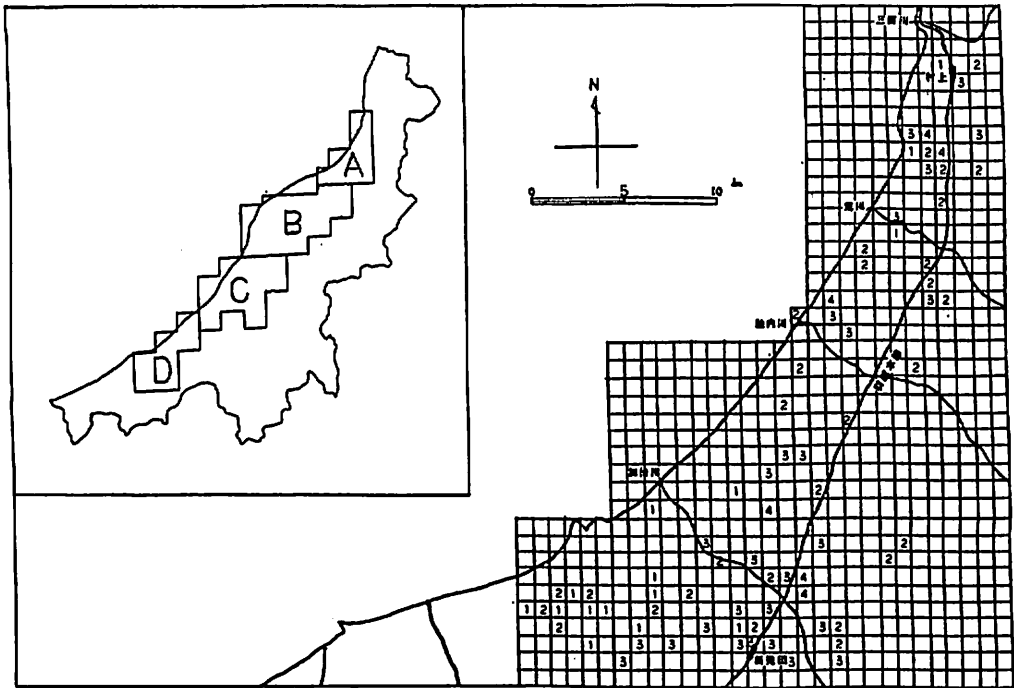


図-2-A 水平深度 $K_s=0.20$ (196gal) 地震時の液状化危険度

1 : 非常に低い 2 : 低い 3 : 高い 4 : 非常に高い

Fig. 2 - A Liquefaction Potential of Niigata due to an earthquake of the greatest surface horizontal seismic coefficient of $K_s=0.20$ (196gal)

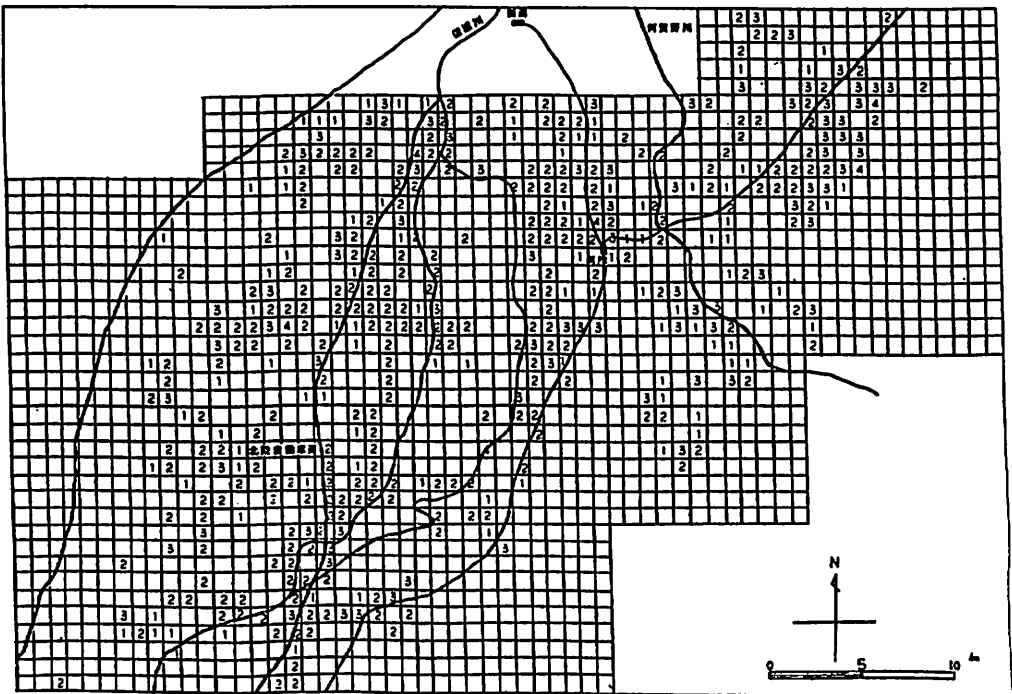


図-2-B 水平深度 $K_s=0.20$ (196gal) 地震時の液状化危険度

1 : 非常に低い 2 : 低い 3 : 高い 4 : 非常に高い

Fig. 2 - B Liquefaction Potential of Niigata due to an earthquake of the greatest surface horizontal seismic coefficient of $K_s=0.20$ (196gal)

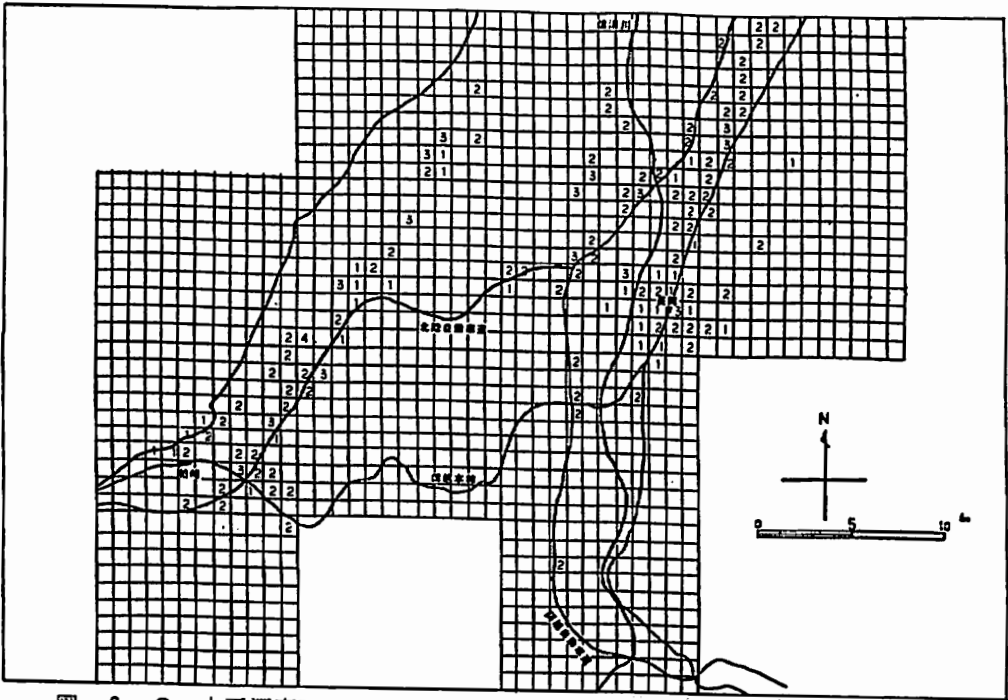


図-2-C 水平深度 $K_s=0.20$ (196gal) 地震時の液状化危険度
 1 : 非常に低い 2 : 低い 3 : 高い 4 : 非常に高い

Fig. 2 - C Liquefaction Potential of Niigata due to an earthquake of the greatest surface horizontal seismic coefficient of $K_s=0.20$ (196gal)

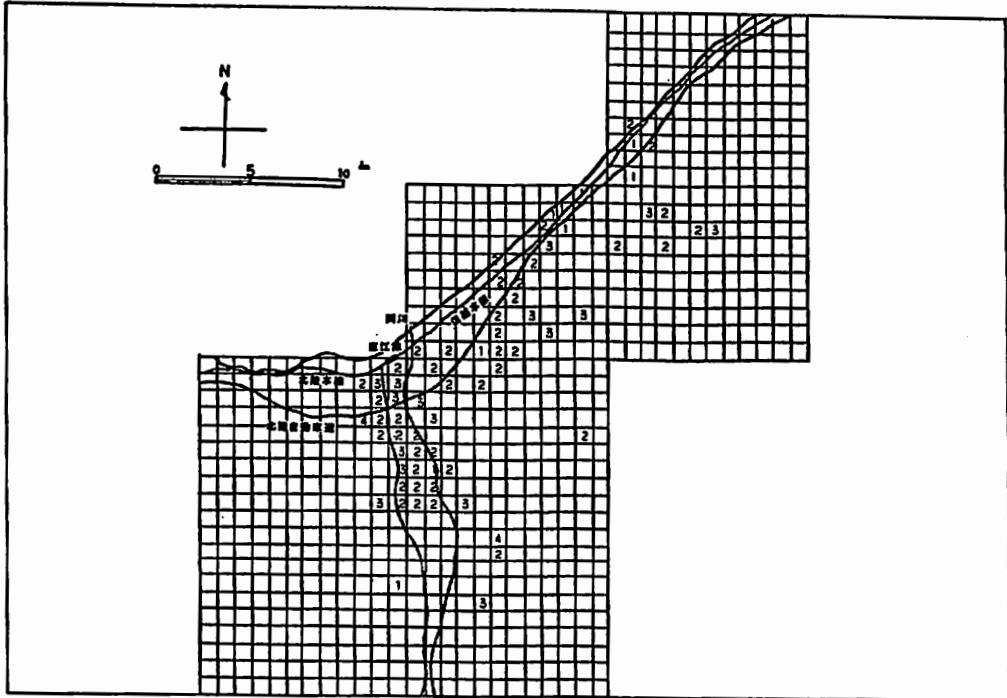


図-2-D 水平深度 $K_s=0.20$ (196gal) 地震時の液状化危険度
 1 : 非常に低い 2 : 低い 3 : 高い 4 : 非常に高い

Fig. 2 - D Liquefaction Potential of Niigata due to an earthquake of the greatest surface horizontal seismic coefficient of $K_s=0.20$ (196gal)

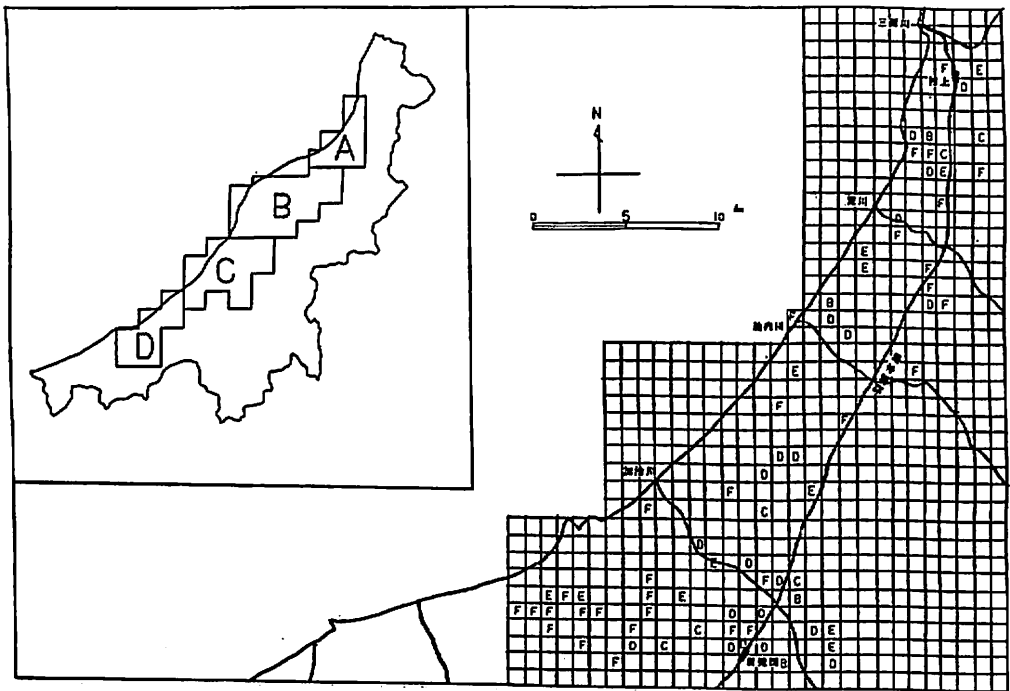


図-3-A P_L が5以上 (液状化危険度3ランク以上) になる最低水平震度 K_s

Fig. 3-A 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

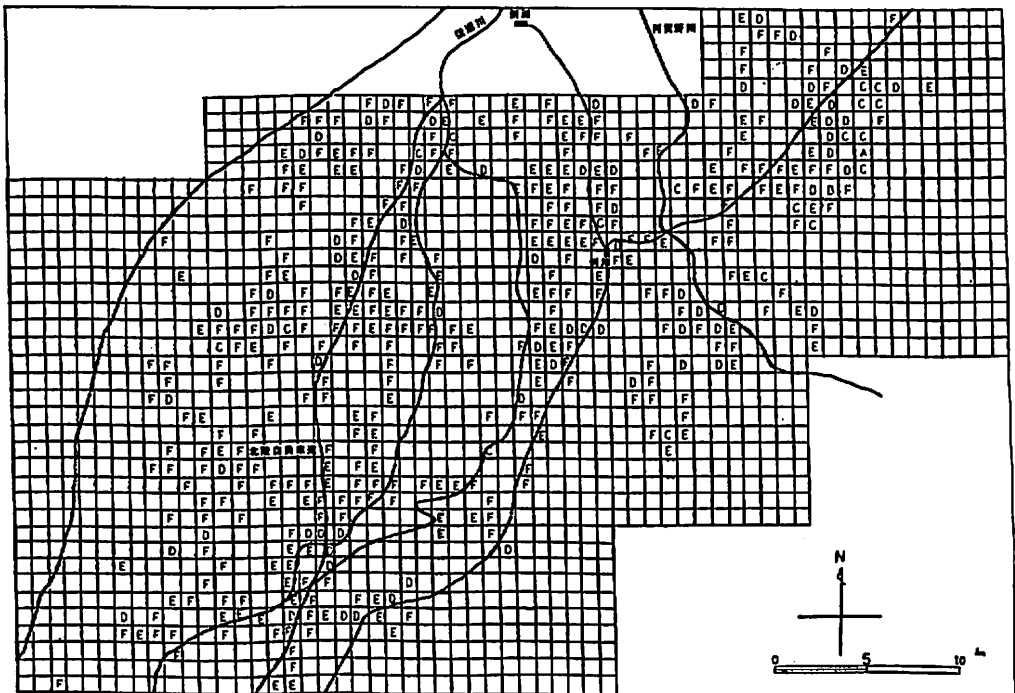


図-3-B P_L が5以上 (液状化危険度3ランク以上) になる最低水平震度 K_s

Fig. 3-B 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

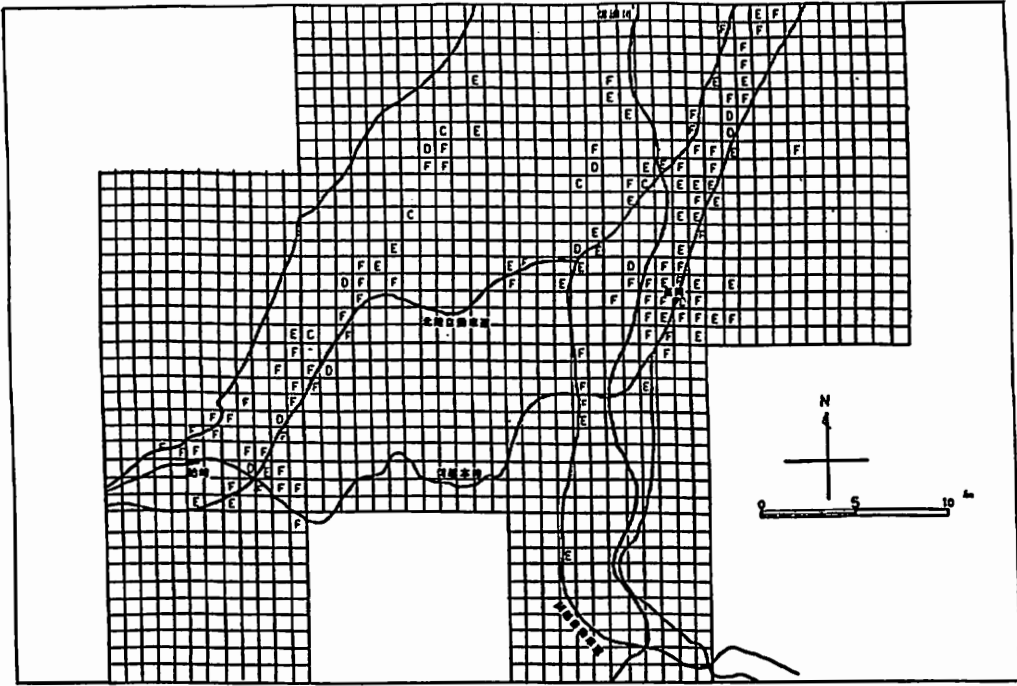


図-3-C P_L が 5 以上 (液状化危険度 3 ランク以上) になる最低水平震度 K_s
 Fig. 3-C Minimum surface horizontal seismic coefficient at which the liquefaction potential becomes "liquefiable" (rank 3)
 A : 0-0.05 B : 0.05-0.10 C : 0.10-0.15 D : 0.15-0.20
 E : 0.20-0.25 F : 0.25-0.30

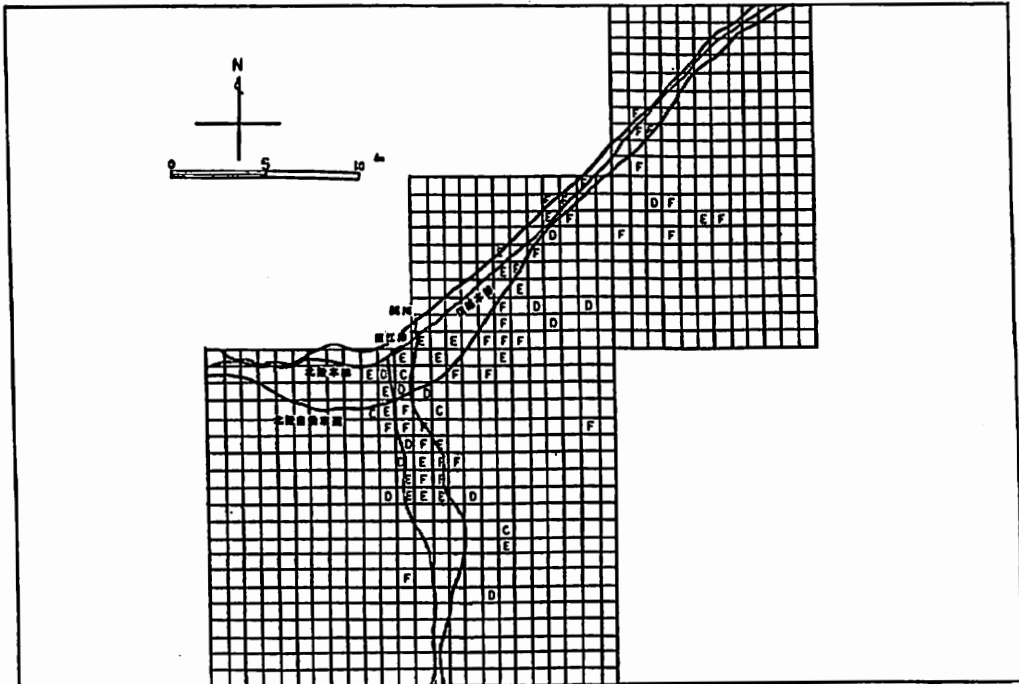


図-3-D P_L が 5 以上 (液状化危険度 3 ランク以上) になる最低水平震度 K_s
 Fig. 3-D Minimum surface horizontal seismic coefficient at which the liquefaction potential becomes "liquefiable" (rank 3)
 A : 0-0.05 B : 0.05-0.10 C : 0.10-0.15 D : 0.15-0.20
 E : 0.20-0.25 F : 0.25-0.30

Ⅲ 結果および検討

新潟県内を約1km四方のメッシュに切り、ボーリングデータの液状化危険度 P_L を式(5)によって計算した。

地震時の外力として、地表面の水平震度を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に示す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-A~Dは、新潟地震クラスに相当する $K_s=0.20$ (196gal) の場合の液状化危険度を示している。また、図-3-A~D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。

$K_s=0.20$ (196gal) を作用させた場合には、液状化危険度が3ランク以上になる液状化危険度の高い地域が存在する。これらの地域を新潟地震で被害の発生した地域 (新潟地震と地盤災害, 1989) と対比してみると次の地域で

村上市南方の岩船町では、旧岩船潟の跡地で被害が発生した。(図2-A)

加治川沿岸地域では、堤防を中心に両岸で被害が発生した。(図2-A)

阿賀野川沿岸では、旧河道地域を中心に被害が発生した。(図2-B)

信濃川沿岸では、旧河道地域あるいは現河川堤外地で被害が発生した。(図2-B)

信濃川沿岸では、長岡市が被害の南限であった。(図2-C)

等の被害報告と一致する傾向を示しており、この液状化判定法の妥当性を裏付けているといえる。

液状化危険度の高い地域の現れ方は、河川の周辺や湖沼の埋立地など地形的な影響を受けているのではないかと考えられる。

最後に、今回のような広域的な液状化予測図は、局地的な液状化の可能性は的確には反映されにくいことを考慮して使用されるべきであろう。

文 献

土質工学会：土質地震工学。231。

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., Isoyama, R. and 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の評価。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)，(柏崎・高田平野編)

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。土木研究所要彙集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の液状化危険度。東海大学紀要海洋学部第15号，155-168。

茅原一也 (1989)：新潟地震と地盤災害。

上前慎治・大草重康・生田理弘 (1989)：新潟地震の液状化災害からみた新潟市の液状化危険度。新潟大学積雪地域災害研究センター研究年報，9-15。

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。