

# L2地震動を考慮した微地形による 液状化判定法の検討

若松加寿江

正会員 博(工) 東京大学生産技術研究所 研究員 (〒106 東京都港区六本木 7-22-1)

本研究は、L2地震動を考慮した微地形による液状化判定法作成のための基礎的知見を提供したものであり、震度5,6程度の一般的な地震動で液状化が発生する微地形区分と、L2地震動に相当する震度7の場合に限り液状化する可能性がある微地形区分、および震度7でも液状化しない微地形区分が示された。

**Key Words:** *liquefaction, geomorphology, level-2 ground motion, case study, seismic zonation*

## 1. はじめに

兵庫県南部地震以後、構造物の耐震設計上考慮すべき地震動をレベル1,2の2段階とする方向で、各種耐震設計基準類の改訂が進められている。これに伴い、液状化判定に関しても2段階の地震動を設定する必要性が議論され、昨年改訂された道路橋示方書ではタイプI,IIの地震動が設定されている。

液状化の発生を簡易的に予測する方法として、道路橋示方書等のFL法のほかに、微地形により概略的に液状化の可能性を判定する方法がある。しかしながら、従来提案されている判定基準の想定外力は気象庁震度階級の震度5程度であり、兵庫県南部地震クラスのレベル2地震動に相当する外力を受けた場合の適用性については明確ではない。そこで、本研究では、過去にレベル2地震動を受けたと推定される地域を対象として、液状化の発生と微地形の関係について検討し、レベル2地震動による液状化発生の可能性を明らかにすると共に、既存の判定基準を兵庫県南部地震における震度7の地震動を受けた地域に適用し、基準の適合性について検討した。

## 2. 検討対象とした地震

レベル2地震動については明確な定義があるわけではなく、例えば防災基本計画(平成7年7月)では「発生確率は低い直下型地震または海溝型巨大地震に起因する更に高いレベルの地震動」としている。上記は1995年兵庫県南部地震における震度7の地域を念頭に置いたものであることから、本研究では震度7を生じた地域においてレベル2地震動が発生したとみなすことにした。ただし、兵庫県南部地震以前には気象庁によって正式に震度7と判定された地震はないため、液状化が広範囲に発生した地震を対象

として、木造家屋の全壊率分布より震度7の地域を推定した。その結果、1891年濃尾地震、1923年関東地震、1944年東南海地震および1947年福井地震で表-1に示す地域で震度7の地震動が発生したと推定された。そこで、表-1に示す濃尾平野、関東平野、天竜川平野、福井平野、阪神地域の5地域を対象として液状化発生地点の微地形区分を調べ、震度分布図と対比することにした。しかしながら検討を進めていくうちに、前述の検討対象地域の大部分が震度6以上の地域に属し、震度5と6の違いによる液状化発生の有無の判別が困難であることが判明した。そこで上記の5地域に液状化をもたらした地震で、かつ震度5の地域が広く分布している1931年西埼玉地震や1987年千葉県東方沖地震も併せて検討の対象とすることにした。

神戸市～西宮市にかけての地域については、兵庫県南部地震以外に液状化が発生した記録がある地震がないため、調査対象域を大阪府などこの地震における液状化発生地域の全域を調査した。

表-1 検討対象とした地震と震度7の地域

地震名	震度7(全壊率30%以上)の地域
1891年濃尾(M8.0)	濃尾平野, 岐阜県・福井県山岳部
1923年関東(M7.9)	関東平野
1931年西埼玉(M6.9)	なし
1944年東南海(M7.9)	静岡県天竜川流域
1947年福井(M7.1)	福井平野
1987年千葉県東方沖(M6.7)	なし
1995年兵庫県南部(M7.2)	神戸市・芦屋市・西宮市・宝塚市, 淡路島

### 3. 微地形と液状化発生の関係

表-1 に示した地域について各地震の震度分布図<sup>1)~3)</sup>と既存の地形分類図や土地条件図を用いて、震度ごとに液状化が発生した微地形と発生しなかった(液状化発生の記録がない)微地形を調べた。その結果を表-2 に示す。検討に用いた液状化履歴地点<sup>4)</sup>は、兵庫県南部地震をの除き大部分が文献調査によっている。このため表中の「液状化しなかった微地形区分」とは、発生しなかったことが確認されているも

のではなく、液状化(噴砂・噴水)の記録がないことを意味している。

表-2を見ると、地域や地震が異なっても液状化を発生させる震度の下限値は同一の微地形区分では概ね同じであることがわかる。表-2 に基づき液状化を発生させる震度階の下限値をまとめると表-3 のようになる。表中、標高の高い砂丘の頂部では震度7の地震動でも液状化が確認されなかった結果については、福井平野における事例のみによるものであり、他地域における検討がさらに必要と思われる。

表-2 気象庁震度階級の震度5~7地域における液状化発生地点の微地形区分

地域名	地震名	微地形区分			
		震度5で液状化が発生した微地形区分	震度6で液状化が発生した微地形区分	震度7で液状化が発生した微地形区分	震度7でも液状化しなかった微地形区分
濃尾平野	1891年濃尾	—	干拓地・自然堤防・旧河道・後背湿地・デルタ型谷底平野・緩扇状地 <sup>*1</sup> ・砂州	扇状地・扇状地型谷底平野・低位段丘・段丘上の凹地	山地・丘陵・海浜
	1944年東南海	埋立地・旧河道・自然堤防	干拓地	—	—
関東平野	1923年関東	—	埋立地・干拓地・自然堤防・旧河道・ポイントバー・堤間低地・標高の低い砂丘・デルタ・後背湿地・デルタ型谷底平野・砂州・緩扇状地	扇状地・砂礫州・低位段丘・麓斜面 <sup>*2</sup> ・台地上の凹地	山地・丘陵・海浜
	1931年西埼玉	自然堤防・旧河道・谷底平野	緩扇状地	—	—
	1987年千葉県東方沖	埋立地・旧河道・干拓地・デルタ型谷底平野(造成地)後背湿地(造成地)	—	—	—
天竜川平野	1944年東南海	—	旧河道・自然堤防・後背湿地・緩扇状地・標高の低い砂丘・砂丘間低地・堤間低地・デルタ型谷底平野	台地	山地・丘陵・海浜
	1891年濃尾	旧河道・自然堤防・後背湿地	緩扇状地	—	—
福井平野	1948年福井	埋立地・旧河道・デルタ型谷底平野	旧河道・砂丘末端部・後背湿地	自然堤防・ポイントバー・緩扇状地・砂丘間低地・デルタ・扇状地	段丘・山地・丘陵・標高の高い砂丘の頂部・海浜
	1891年濃尾	自然堤防・ポイントバー・旧河道・後背湿地・砂丘末端部・砂丘間低地	—	—	—
阪神	1995年兵庫県南部	埋立地・旧河道・自然堤防	デルタ・後背湿地・緩扇状地・デルタ型谷底平野(造成地)	砂州・扇状地・段丘(造成地)	山地・丘陵・海浜

<sup>\*1</sup>緩扇状地：扇状地のうち、地表面縦断勾配が3度以下のもの。扇状地より細粒な砂礫で構成される。

<sup>\*2</sup>麓斜面：山麓や台地縁辺部などに形成される崩落・クリープ・雨洗などによる2次堆積物でできた緩傾斜地

表-3 液状化を発生させる震度の下限值

気象庁震度階級	微地形区分
震度5で液状化発生	自然堤防・ポイントバー・旧河道・砂丘末端部・砂丘間低地・堤間低地・埋立地デルタ・干拓地・後背湿地・デルタ型谷底平野
震度6で液状化発生 (震度5では非液状化)	緩扇状地・砂州
震度7で液状化発生 (震度6では非液状化)	扇状地型谷底平野・扇状地・砂礫州・低位段丘・台地上の凹地
震度7でも非液状化	山地・丘陵・海浜・標高の高い砂丘の頂部

#### 4. 既往の判定基準との対応

表-4はこれまでに提案されている微地形による液状化被害発生判定基準の一例であり、これは小規模建築物を対象とした「液状化マップ作成マニュアル」<sup>5)</sup>や発展途上国等を対象とした「Manual for Zonation on Seismic Geotechnical Hazards」<sup>6)</sup>に用いられている。この判定基準は液状化発生の有無の可能性を示すものではなく、地盤表層の液状化被害の可能性すなわち液状化に伴う変状が浅い基礎で支持されている構造物に現れるような被害の可能性を示すものである。

表-4 微地形分類による地盤表層の液状化被害の可能性<sup>7)</sup>

地盤表層の液状化可能性の程度	微地形区分・細区分
大	自然堤防縁辺部・比高の小さい自然堤防・ポイントバー・新しい旧河道・旧池沼・砂泥質の河原・砂丘末端緩斜面・人工海浜・砂丘間低地・堤間低地・埋立地・湧水地点・盛土地*
中	デルタ型谷底平野・緩扇状地・自然堤防・後背湿地・古い旧河道・湿地・デルタ・砂州・干拓地
小	扇状地型谷底平野・扇状地・沖積錐・砂礫質の河原・砂礫州・砂丘・海浜

\*ここでいう盛土地とは、砂丘と低地の境界付近の盛土地、崖・急斜面に隣接した盛土地、谷底平野上の盛土地、低湿地上の盛土地、干拓地上の盛土地を指す。それ以外の盛土地は原地形に準ずる。

表-3と表-4を比較すると、表-3で液状化が発生させる震度の下限値が震度5,6,7の微地形区分は、表-4に示す液状化被害の可能性の程度がそれぞれ「大」、「中」、「小」に概ね対応することがわかる。両者がくい違う点を挙げると以下のようなものである。

- 1) 表-4で「可能性中」とされている微地形のうちデルタ型谷底平野、後背湿地、デルタ、干拓地では表-3の震度5で発生している。
- 2) 表-4で「可能性小」とされている微地形区分のうち、

海浜と砂丘(表-3では標高の高い砂丘の頂部)については、震度7でも液状化の発生が確認された地点はない。

- 3) 表-3で検討対象外(液状化被害の可能性なし)となっている山地・丘陵・台地・段丘のうち、台地・段丘については、極めて少数ながら液状化が発生したことが報告されている。

上記1)~3)の食い違いの原因については、表-3が液状化の発生の有無を調査した結果であるのに対して、表-4は構造物への液状化の影響について判定したものであることに起因しているケースが多い。例えば、後背湿地やデルタ型谷底平野のように表層部が軟弱な粘性土で構成され、砂質土が堆積していてもその厚さが薄くその上の粘性土が厚い場合には、軽微な噴砂を生ずることはあっても、地盤表層への影響は小さいと考えられる。

#### 5. 既存の判定基準に基づくケーススタディ

本研究による調査結果(表-3)と既存の判定基準(表-4)との間にある程度の整合性が認められたことから、表-4を兵庫県南部地震による神戸市から西宮市に至る地域に適用し、予測結果と実際の液状化発生域を比較した。

表-4に基づき、国土地理院発行の土地条件図に示される微地形区分ごとに液状化被害発生の可能性を判定した。この際、表-4に掲げられている微地形区分と土地条件図の微地形区分が1対1で対応しない場合は航空写真や土地条件図以外の地形分類図を参考にして微地形の細分化や簡略化を行った。予測結果を図-1に示す。

図-2は、兵庫県南部地震で震度6~7と判定された神戸市から西宮市にかけての液状化発生地点の分布である。図に示された噴砂流出域の確認は、主として、地震直後に撮影された航空写真の判読によっている。

図-2と図-1を比較すると、噴砂が集中した埋立地では液状化被害の「可能性大」となり、埋立地北側の旧海岸線に隣接した地域では「可能性中」、また、さらにその北側で噴砂が極めてまばらであった地域では「可能性小」となっており、予測結果と実際の噴砂の分布は比較的良く対応している。

次に、表-4の想定外力が気象庁震度階級の震度5程度であり、兵庫県南部地震での図-1の地域の震度は、これより1~2ランク上の震度6ないし7であったことから、表-4に示される液状化被害の可能性を1ランク引き上げ、可能性「小」は「中」に、「中」は「大」にして(可能性「大」はそのまま)、これを前述の土地条件図に適用してみた。その結果を図-3に示すが、図-2の実際の噴砂の分布とよく対応しているとは言い難い結果となっている。

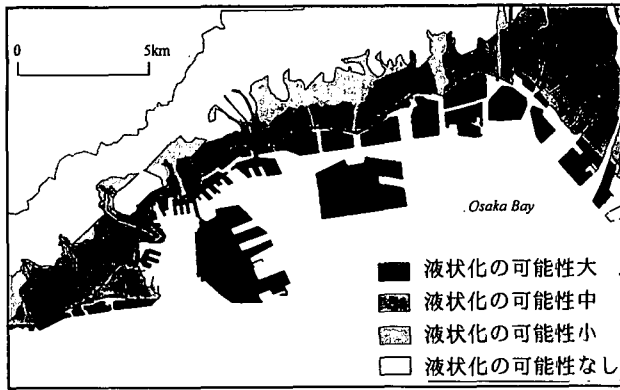


図-1 液状化予測図(表-4をそのまま適用)

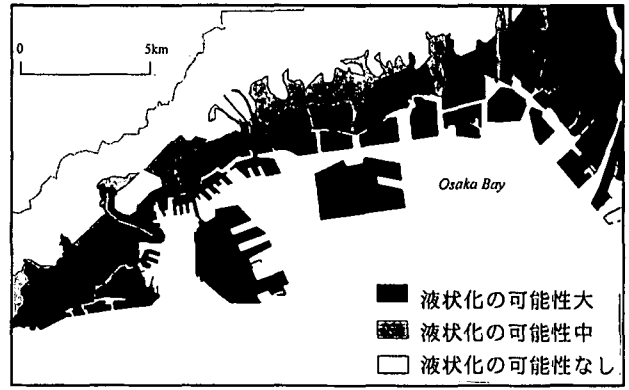


図-3 液状化予測図(表-4の可能性を1ランク上げた場合)

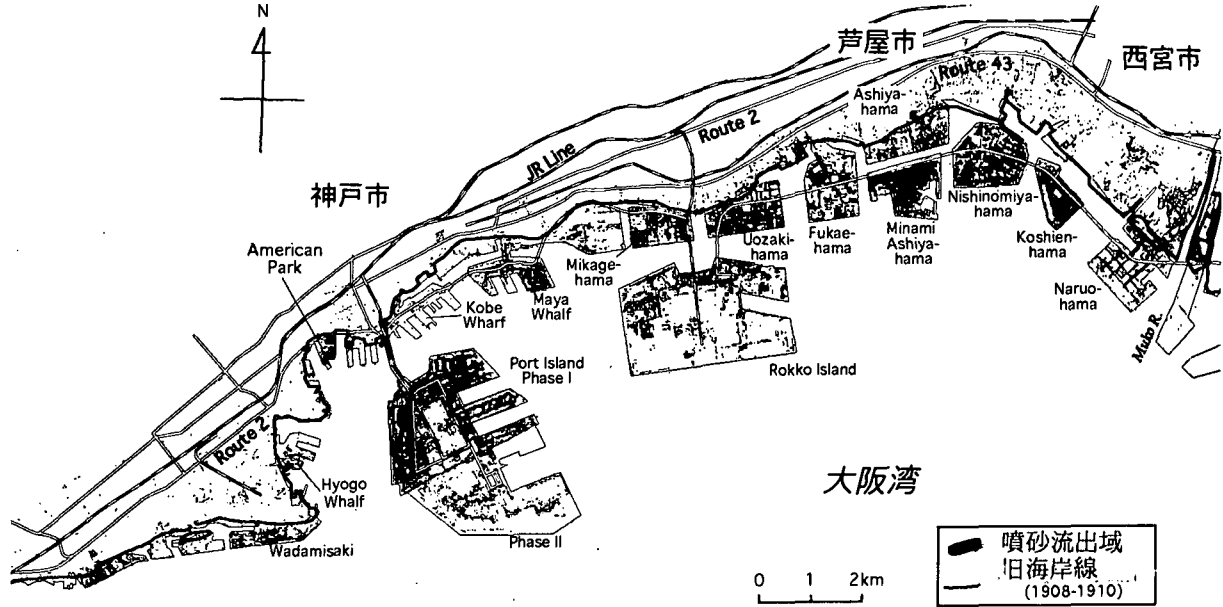


図-2 兵庫県南部地震による液状化発生域<sup>8)</sup>

## 6. まとめ

本研究では、過去に関東平野など全国5地域における液状化履歴に基づき、L2地震動を考慮した微地形による液状化判定法の作成のための基礎的検討を行った。その結果以下の結論を得た。

- 1) 震度5ないし6の一般的な地震動では、自然堤防・ポイントバー・旧河道・砂丘末端部・砂丘間低地・堤間低地・埋立地・デルタ・干拓地・後背湿地・デルタ型谷底平野・緩扇状地・砂州で液状化が発生し、それ以外の微地形区分では液状化が観察されなかった。これに対して、レベル2地震動に相当する震度7の地域では上記の微地形区分に加えて、扇状地型谷底平野・扇状地・砂礫州・低位段丘・台地上の凹地でも液状化が発生するケースも認められた。
- 2) 震度5程度の地震動を想定した微地形による液状化判定基準を兵庫県南部地震で震度7と判定された地域に適用した結果、予測結果は実際の液状化発生の分布と調和的であり、レベル2地震動

に対しても従来の判定基準を大きく変更する必要はないものと思われる。

## 参考文献

- 1) 宇佐美龍夫：新編日本被害地震総覧、東京大学出版会、1996。
- 2) 愛知県防災会議地震部会：明治24年(1891年)10月28日濃尾地震の震害と震度分布、1979。
- 3) 愛知県防災会議地震部会：昭和19年(1944年)12月7日東南海地震の震害と震度分布、1977。
- 4) 若松加寿江：日本の地盤液状化履歴図、東海大学出版会、1991。
- 5) 国土庁防災局：液状化マップ作成マニュアル、1992。
- 6) TC4, the International Society for Soil Mechanics and Foundation Engineering: *Manual for Zonation on Seismic Geotechnical Hazards*, Geotechnical Society of Japan, 1993。
- 7) 若松加寿江：詳細な微地形分類による地盤表層の液状化被害可能性の評価、日本建築学会大会梗概集、1992。
- 8) Hamada, M., Isoyama, R. and Wakamatsu, K.: *The 1995 Hyogoken-nanbu (Kobe) earthquake, liquefaction, ground displacement, and soil condition in Hanshin area*. 地震予知総合研究振興会、1995。