

# 地震時にみられた液状化—流動化現象とその時系列変化

## —2000年鳥取県西部地震での例—

風岡修・楠田隆・古野邦雄・楡井久<sup>1</sup>・山内靖喜<sup>2</sup>・矢野孝雄<sup>3</sup>・小玉芳敬<sup>3</sup>・赤石美和<sup>2</sup>・

香川淳・石渡康尊・下田順子<sup>3</sup>・皆藤由美<sup>1</sup>

(1:茨城大学広域水圏環境科学教育研究センター 2:島根大学理工学部地球環境資源教室

3:鳥取大学地域環境科学部地学教室)

### 1 はじめに

2000年鳥取県西部地震では埋立地を中心に地層の液状化—流動化が起こりこれに伴う被害が生じた。今回はこれら被災地に時間をおいて数回調査に訪れることにより、地層の液状化—流動化に伴う地盤沈下や地波、側方移動などの地表面の変形は地震後1ヶ月以上もの間比較的広範囲に進行することが明らかとなったので報告する。このことは、地震による液状化—流動化被害を受けた場所での復旧工事を行う際、無駄な投資を避けるために重要なことである。

### 2 2000年鳥取県西部地震での震動の分布

2000年10月6日の鳥取県西部地震は、マグニチュード7.3と規模は大きかったものの震源の深さが10kmと浅かった(気象庁,2000)こと、震源付近は花崗岩ないし中新統のグリーンタフ分布域であり沖積層などの新しい時代に堆積した軟弱層が厚く分布していなかったことなどのため、阪神—淡路大震災のような大きな被害とはならなかった。しかし、震源から約20km離れた中海周辺の埋立地を中心に液状化—流動化現象がみられた(応用地質(株),2000;基礎地盤コンサルタンツ(株),2000;島根大学鳥取県西部地震被害調査団,2001など)。防災科学技術研究所のK-netとKik-netの強震観測によるデータをもとに算定される最大速度の分布を図1に示す。これによると16cm/sec以上の強震域は北北西—南南東方向に延びている。中海周辺で液状化—流動化現象が見られた場所はこの強震動域の北端部に位置し、揺れの最大速度値は20～

30cm/secである。この値は、今後の簡易な液状化予測に役立つものである。

### 3 竹之内団地での液状化—流動化被害とその時系列変化

今回は、中海周辺の埋立地の中でも最も大規模な噴砂現象の見られた鳥取県境港市の竹内工業団地の埋立地(Fig.2)(アジア航測,2000)での被害状況を述べていく。ここでの地質状況を把握するため、スウェーデン式サウンディング試験を2001年1月7・8日に行った。今回行ったこのサウンディング試験の際、地層の硬さを見るだけでなく、(株)誠研舎製のサンプラーによって、所定深度で地層を採取し観察した。これら結果を図3に示す。これによれば、液状化—流動化現象は埋立地全域で発生しているわけではなく、ある条件がそろった部分で発生しているといえる。すなわち、噴砂の分布域は、埋立地でも砂層堆積域であり、噴砂のみられないクラックがみられる地域は泥層の堆積域であることが明らかとなった。また、埋立層は旧海岸線に近いSW-1,SW-3では厚さ8.5mあり、沖合いに向かい次第に厚くなっていくこと、埋立砂層は $N_{sw} \geq 50-150$ 程度、泥層は $W_{sw} = 75-100\text{kg}$ と極めて軟らかいことが明らかとなった。このように、液状化—流動化現象は千葉県東方沖地震での千葉市美浜区の埋立地内の中磯辺公園でみられたメカニズム(風岡ほか,2000)と同様に、この地域のようなサンドポンプによる埋立地では、その工法上砂層堆積域と泥層の堆積域とができること、砂層堆積域では液状化—流動化が起こり、泥層堆積域では液

状化一流動化しやすく軟らかいため地震動の増幅が大きく強い震動が発生し、地表面にクラックが生じたものと推定される。

また、噴砂の規模は、泥層と砂層の境界付近で大きく、ここから離れるに従いその規模は減少している。このことも、風岡ほか(2000)で明らかになったように、砂層と泥層の境界付近では、地震に応答する震動様式が砂層と泥層とでは異なることにより、それらの境界付近で歪が大きく最も被害が大きくなることがここでもいえる。

次にここでの液状化一流動化被害の時系列変化を述べる。地震直後の航空写真からは特に噴砂を切る地割れは観察されない。これは、執筆者の一人の小玉によって地震直後の現地調査によっても確認されている。11月3日の調査時には、この団地最南部の温泉井戸付近で北北西～北向きに延びるクラックが連続し、約20cm割れ目が開いていた(図4)。また、団地南部の北西方向に延びる水路沿いの道路では、地震後に地波により波打っていた部分の凹部を埋め平らに補修されていた。しかし、1月7日には、凹部を埋めていた部分は盛り上がり、かつての波頭部分が沈下し低くなっていた(図5・6)。これらのことから次のように液状化一流動化現象が進行していったものと考えられる。

1) 強い地震動により主に埋立層の砂層部分で間隙水圧が高まり液状化一流動化し、地波が発生し亀裂から噴砂が発生した。

2) 一度高まった地層中の地下水圧は地下水の流動によってその圧力は一般に減少していくが、砂層が細粒で流動速度が遅いこと、埋立層の両端はコンクリート護岸によって拘束されており地下水の流出するところが側方に無いこと。これらのため、間隙水圧は減少せず、3カ月以上もの長期間地層は極めて軟らかい状態を保った。

3) このため、やわらかい地層はより低い方へ全体がゆっくりと移動し、亀裂が広がったり、地波の凸部がへこみ、凹部が隆起した。

#### 4 まとめ

以上地震時の地層の液状化一流動化に伴う地表面の変形は地震後3カ月以上も続くことが明らかとなった。よって、復旧工事に際してはこのような点に注意が必要である。また、今後地震により液状化一流動化が生じた際には、埋立層を中心とした液状化一流動化がおきた地層内に地下水位観測井や地盤沈下観測井を設置し、地下水位や地盤沈下状況をモニターすることにより、沈下の終息を予測する必要がある。一方、県内の埋立地においても、人工地層を対象としたこれら観測井を設置し、地下水位や地盤沈下状況をモニターすることにより液状化一流動化の過程を明らかにする必要がある。

#### 引用文献

- (1) アジア航測(株), 2000, 2000年鳥取県西部地震直後の竹内工業団地の航空写真, 日本地質学会ニュース 2000年12号表紙写真.
- (2) 防災科学技術研究所自然災害研究データ室 2000, 平成12年強震データ(7月-12月), 防災科学技術研究所研究資料 219号.
- (3) 基礎地盤コンサルタンツ(株), 2000, 鳥取県西部地震速報, <http://www.kiso.co.jp/tec/sokuho/eq/tottori.htm>.
- (4) 気象庁, 2000, 地震火山月報(カタログ編)平成12年10月.
- (5) 応用地質(株), 2000, 鳥取県西部地震速報, <http://www.oyo.co.jp/service/taisyo/jisin/tottori.html>.
- (6) 島根大学鳥取県西部地震被害調査団, 2001, 鳥取県西部地震災害調査報告書, 島根大学総合理工学部地球資源環境学教室.
- (7) 風岡修・佐藤光男・楠田隆・香村一夫・風戸孝之・香川淳・森崎正昭・佐藤賢司・古野邦雄・酒井豊・加藤晶子・楡井久, 2001, 局

所的な表層地質の違いが液状化－流動化に与える影響　－東京湾岸埋立地の例－，第 10 回環境地質学シンポジウム論文集，33-38.

- (8) 風岡修・楠田隆・古野邦雄・楡井久・井内美郎・山内靖喜・矢野孝雄・小玉芳敬・奈良正和・赤石美和・井上卓彦・大平亮・三井拓也・岩本直哉・香川淳・石渡康尊・下田順子・皆藤由美，2001，地震時にみられた液状化－流動化現象とその時系列変化－2000 年鳥取県西部地震・2001 年芸予地震での例－，第 11 回環境地質学シンポジウム論文集，419-424.

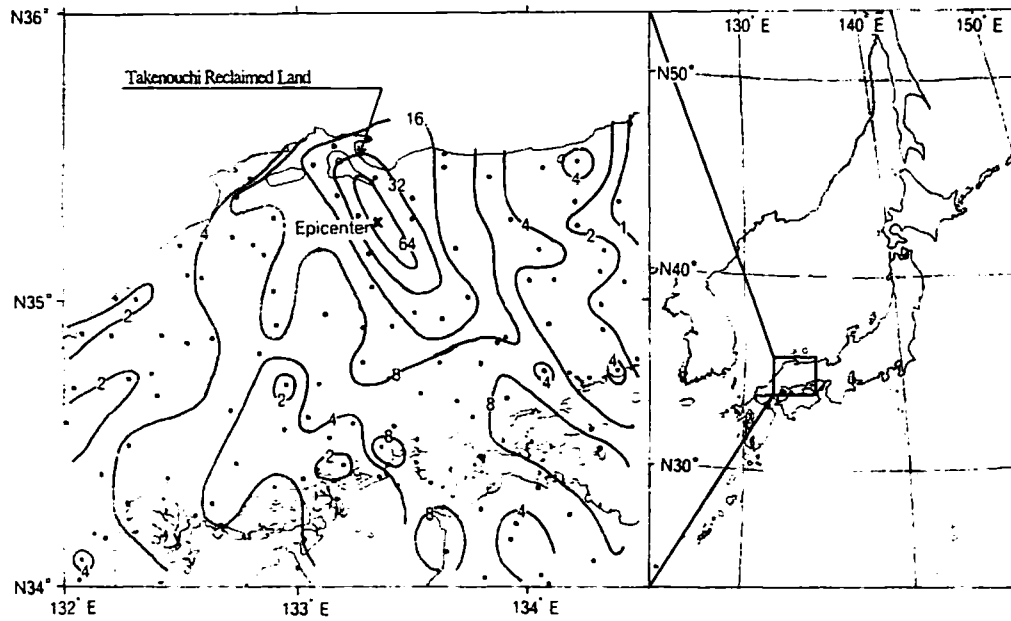
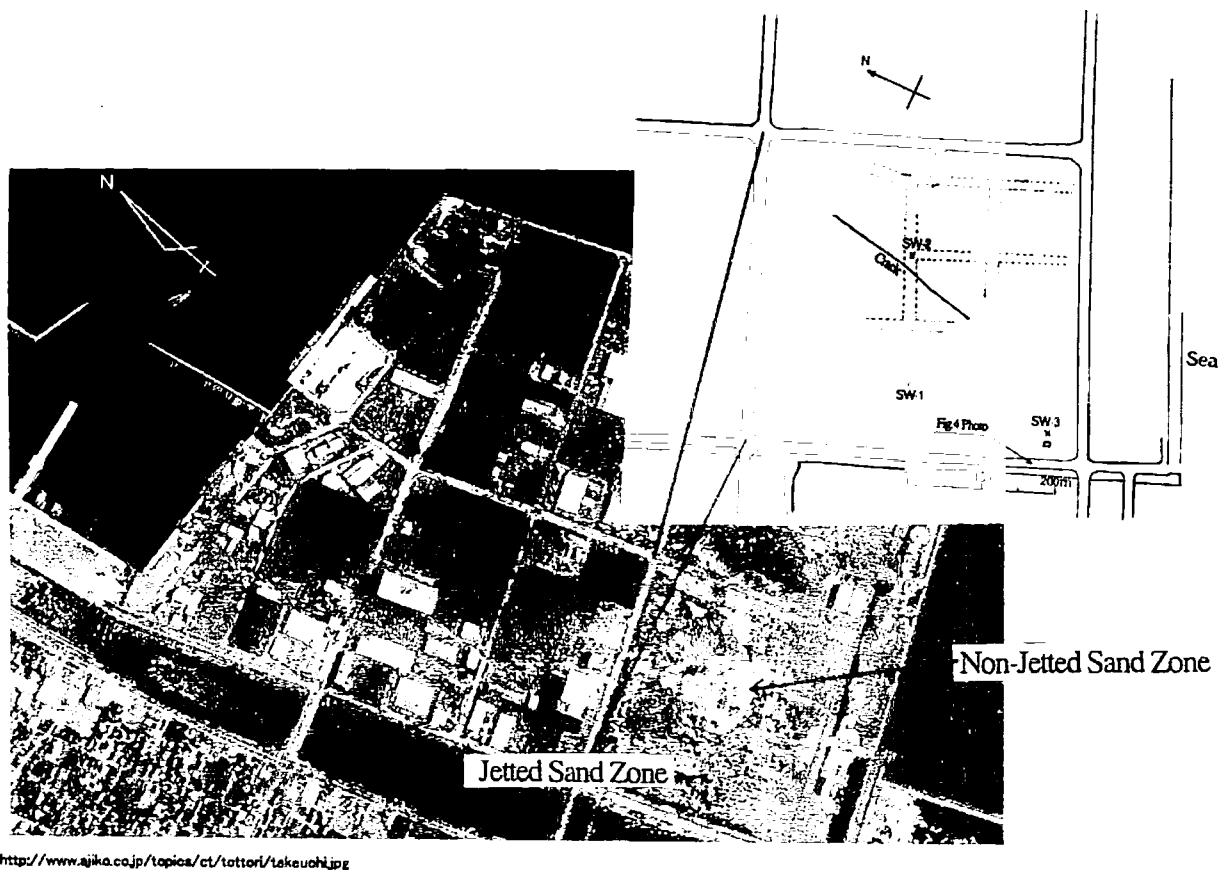


図1 2000年鳥取県西部地震時における地震動の東西方向の最大速度値(cm/ces)の分布. 観測点の速度値は, 防災科学技術研究所の各観測点のK-netおよびKik-netの加速度データをフーリエ積分して求めた.



<http://www.ajika.co.jp/topics/ct/tottori/takeuchi.jpg>

図2 竹之内団地における噴砂の分布(アジア航測㈱,2000)とスウェーデン式サウンディング試験地点.

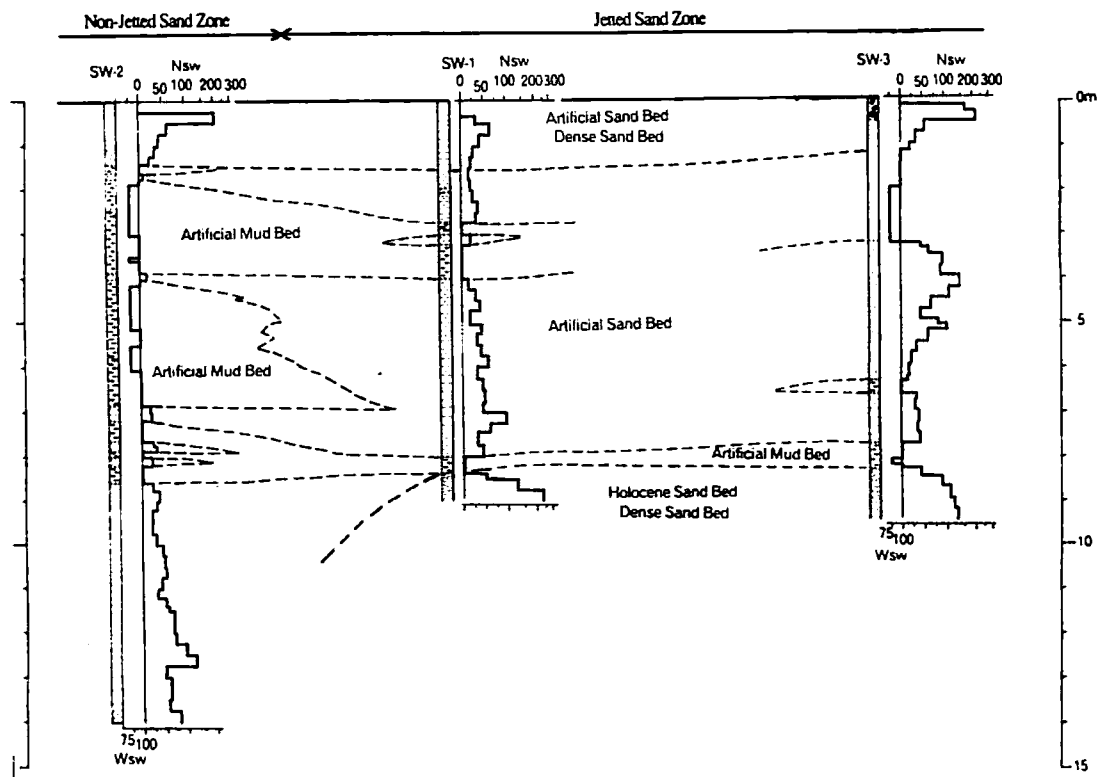


図3 竹之内団地におけるスウェーデン式サウンディング試験結果に基づく地質断面図



図4 竹之内団地で見られた噴砂を切る亀裂



図5 竹之内団地西端の道路の補修とその後の変形（2001年1月撮影）

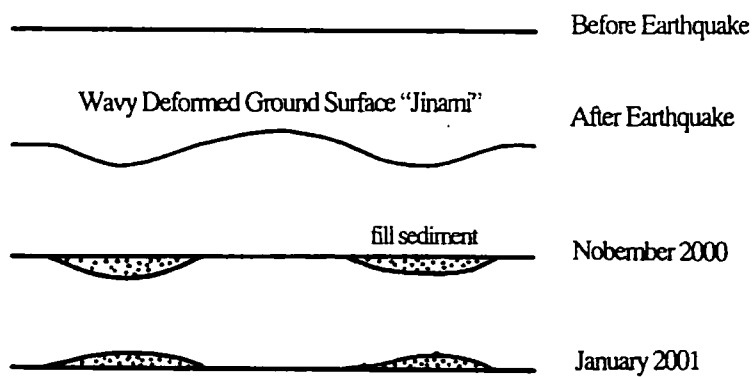


図6 地震発生前および地震直後から図5の写真撮影時までの間の道路の変形過程の概念図