

ジオスライサーによる噴砂の地層断面資料のパネル作成、
およびその地層断面の堆積学的特徴
— 鳥根県八束郡八束町大根島での例 —

中山勝博*・下川浩一**・原口 強***・石賀裕明*・横田修一郎*
竹原真希*・中嶋雅宏*・森 一*・石山悠介*

Panelling the cross section of jetted sand obtained by Geo-slicer, and its sedimentologic characteristics: an example from Daikon-jima Island, Shimane, Japan

Katsuhiko Nakayama*, Koichi Shimokawa**, Tsuyoshi Haraguchi**, Hiroaki Ishiga*, Shuichiro Yokota*,
Maki Takehara*, Masahiro Nakajima*, Hajime Mori*, and Yusuke Ishiyama*

Abstract

Cross section of liquefied layer with jetted sand were obtained by Geo-slicer. Tottoriken-Seibu earthquake at 6 October 2000 formed this focus. The cross section is panelled to preserve and exhibit the liquefied layer and jetted sand, which are useful not only for geologists but also many people. Three points are preliminary discussed based on the sedimentologic features and grain-size distributions of the cross section. 1) Some parts of the liquefied layer (sensu lato) preserved as plugs evidenced by the primary depositional structure. 2) Upper part of the liquefied layer indicates the finer grain size, which may have been elutriated from intra-layer. 3) Jetted sands are passively erupted along the earthquake forming fissures in the capped layer.

Key words: Tottoriken-Seibu earthquake, Geo-slicer, liquefied layer, jetted sand, panel

はじめに

2000年10月6日の鳥取県西部地震によって発生した地盤の液状化による噴砂と液状化層を、ジオスライサー(中田・島崎, 1997; 原口ほか, 1998)によって直接採取した。これは、地質調査所(当時)が委託し、復建調査設計(株)が受託して行われたものである。ジオスライサーを使っての実際の現地調査は、2001年1月26日から31日まで、鳥根県八束郡八束町大根島の亀尻地区で行われた。ジオスライサーによって抜き取ることでできた地層の内、地層断面が1m50cm幅で採取できた試料について、地質調査所保管用とは別に、鳥根大学用にも地層の剥ぎ取りを行った。この鳥根大学用のもは、学内および地震災害が実際に起きた該当地域である松江近辺の方が自由に観察できるよう公開用のパネルにした。

合わせて地層断面の堆積学的な記載と堆積物の粒度分析も行った。小論では、剥ぎ取った地層断面のパネル化の過程を示すとともに、その断面で観察できる地層の堆積学的記載と粒度分析結果を示し、液状化層と噴砂に関する簡単な予察も示す。なお、より詳細な資料をもとにした議論は別稿を予定している。

地形・地質概況と採取された地層断面

本調査地点は、鳥根県八束郡八束町亀尻の海岸道路と民家に挟まれた北西-南東方向に細長い空き地である(第1図)。ここでの地形・地層断面については、下川ほか(2001)にまとめられている。ここでは、それをもとに地形・地質概況と採取された地層断面について述べる。

大根島は、中海に位置する東西方向、南北方向ともに2~3km程度の島で、大部分が25万年前からの噴火活動による大根島玄武岩類から構成され、島内の所々では、その玄武岩類を不整合に覆う三瓶山などからのテフラ層が観察できる。調査地点は、1975年(頃)の造成地であり、基本的に玄武岩で構成される北に開いた小さな湾状地形を鳥取県弓ヶ浜付近で浚渫採取した碎屑物で埋め立てた土地で現在は空き地となっている地点である。海岸道路と玄武岩類が露出している民家の土地に囲まれた空地でもある。

* 鳥根大学総合理工学部地球資源環境学科
〒690-8504 松江市西川津町1060

Department of Geoscience, Shimane University

** 独立行政法人産業技術総合研究所活断層研究センター
〒305-8563 茨城県つくば市梅園1-1-1 中央第3

Active Fault Research Center, National Institute of Advanced Industrial Science and Technology

*** 復建調査設計株式会社

〒101-0054 東京都千代田区神田錦町3-4

Fukken Consultant Co. Ltd



第1図 位置図。国上地理院地形図 1/25000「掛屋」[境港]もとに作成した。

本地点には、鳥取県西部地震が発生した後、列状に分布する大小約19の噴砂丘が形成された。噴砂丘は、海岸道路と平行の北西-南東方向に細長く連続するものが多く、最大の噴砂丘群は、長軸の長さ35m、幅約2mである。また、空地のほぼ中央部に地形的な窪みが認められ、噴砂に伴って地盤の不同沈下が発生したとみられる。精密測量の結果、沈下量は窪みの中心部で最大20cmと見積もられる。

本地点の地質は、玄武岩を基盤とし(地表面より深度2.92m以深)、木片ペニール片を含むヘドロ状の有機質泥層(深度2.85~2.92m)、埋め立て砂層(上面の深度は0.80~1.30mで著しく凹凸を示す)、そして、マサ土を主体として埋め立てた層で構成される(第3図参照)。調査地点では、他のコア(スライス)の資料も考えあわせると、全体として深度2.9~3.5mで玄武岩の基盤に到達すると言える。埋め立て砂層は、

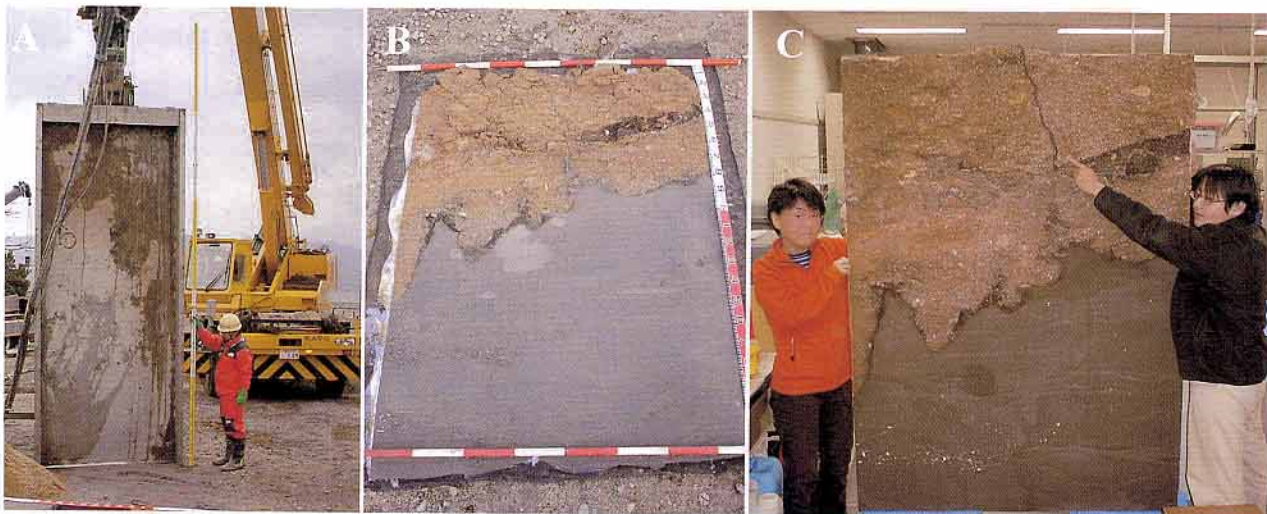
本地点の造成に際して弓ヶ浜周辺で浚渫採取され船で運ばれた後、サンドポンプを使って埋め立てられたものである(住民談)。

パネル作業

作業工程

パネルにした地層断面は、調査地においてジオスライサー(第2図A)によって採取された9本の地層断面資料の中でも、最も良好に液状化層とそれに連続する砂脈(噴砂火道)が観察できるもの(資料番号D-2)から剥ぎ取ったものである。作業手順は次のように進めた。

1. 現地にて、地層断面の観察と粒度分析用試料を得た後、地層断面を寒紗で覆いイソシアネート系の合成樹脂で固めた。今回は、地層にかなりの水分を含んでおり、冬季での作業でもあったので Hycel OH-1 A (東邦化学工業) を用いた。硬化時間は、温度と薬液濃度によって異なるが、カタログ値で10分内である。当日は冬季かつ曇天で、作業工程上2時間ほど放置したが、2時間後には十分に地層を固定していた(第2図B)。
2. 大学に持ち帰り、水道水を用いて、可能な限り固定されていない粒子を洗い流した。
3. 水洗後の資料は日陰干しし、その間に資料貼付用のボードを作成した。地層断面が軽量な場合は発泡スチロール系ボードであらかじめ接着面が準備されているものが軽量で便利であるが、今回の地層断面は、特にマサ土層にいくつもの礫があり重かったので、幅130cm高さ180cmの角材で補強したベニア板ボードを準備した。
4. 地層断面資料が十分に乾燥したところで、ボードへの貼付を行った。エポキシ系合成樹脂を使用した。Hycel OH-1 A の面(地層資料の裏面)は凹凸が激しく、所々に釘止めも施した。
5. 地層断面資料の表面に固定材を塗布した。今回はイソシ



第2図 地層断面のパネル化作業。A: ジオスライサーによる地層抜き取り作業, B: 剥ぎ取った直後, C: パネルに固定し仕上がった様子。

アネート系の合成樹脂サンコール SK 50 (ミクニペイント) を用いた。完成した状況を第 2 図 C に示す。

保存・展示としてのパネル

今回のパネルは鳥根大学総合理工学部 3 号館の玄関に展示することにした。正式な展示は小論の執筆時より後になるが、現時点(堆積実験室およびその廊下に置いてある状況)においても、いくつかの質問を受けているし、また、実物を前にして説明をすると説明内容に納得していただける点も多い。鳥根大学は今回の地震の影響を直接受けた地域にあり、それゆえに学内・学外の関心は高い。正式な展示にはなっていないが、パネルに関する多くの質問は、地質学分野以外の方から既に受けている状況である。総合理工学部 3 号館には、他にも総合理工学部に関連した幾つかの展示があるが、今回のパネルほど注目を集めるものはない。地盤(地層)に残された記録を保存し、その意味をより多くの人に啓蒙していく上で大変に有効であると判断できる。なお、そのことは、下川と原口が、2001 年 1 月 28 日に鳥取県米子で行われた日本地震学会の一般公開セミナーで抜き取った地層を速報的に公開した折に、各メディアから大きく取り上げられた点からしても明らかである。

地層断面の堆積学的特徴と粒度

岩相

抜き取れた地層断面を第 3 図に示す。そこでの各層の特徴を下位より順に次のようにまとめられる。

- ①玄武岩(基盤岩):多くの部分は硬く固化しているが、一部、風化により土壌化して暗褐色泥となっている部分もある。
- ②有機質泥層:本地点の浚渫開始以前に堆積・形成された地層であろう。暗灰色から黒色を呈し、有機質に富み、木片やビニールの小片等を含み全体としてヘドロ状である。層厚は 10~20 cm である。上部に有機分の少ないオリーブ色を呈する部分もある。
- ③埋め立て砂層:深度約 1~3 m に分布する。中粒砂を主体とし、細粒砂・粗粒砂を含む。所々にアサリ等の貝殻片、海浜礫とみられる $\phi 5\sim 10$ mm 程度の円盤状の礫を含む粗粒砂を挟むが、それらの側方への連続は悪い。本層中下部では、貝殻片混じり粗粒砂、有機質中粒砂が厚さ 1~2 mm の葉層(葉理)を形成している。中下部において葉理の顕著な変形構造が認められるのは深度 2 m 付近のみであり(第 3 図「D 2 k」付近)、それ以外は基本的に堆積時の堆積構造を示しているとみられる。本層の上部数 10 cm では、無層理塊状の砂層や葉理が上方に盛り上がるような変形構造が顕著に認められ、それらが上位層に貫入する砂脈に連続する。
- ④マサ土層:現地表を構成する埋立土は、花崗岩の風化土(マサ土)を主体としている。花崗岩や玄武岩の角礫を不均質に含む。下位の埋め立て砂層との境界は、明瞭であるものの形状は不規則で、側方方向 130 cm 間において境界の深度が 80~130 cm と変化する。
- ⑤噴砂:埋立土により構成される地表面上に 3~5 cm の厚さ

で噴砂が堆積する。液状化により噴出した砂は、中粒砂を主体とし貝殻の薄片を含み、全体として淘汰は良い。

粒度

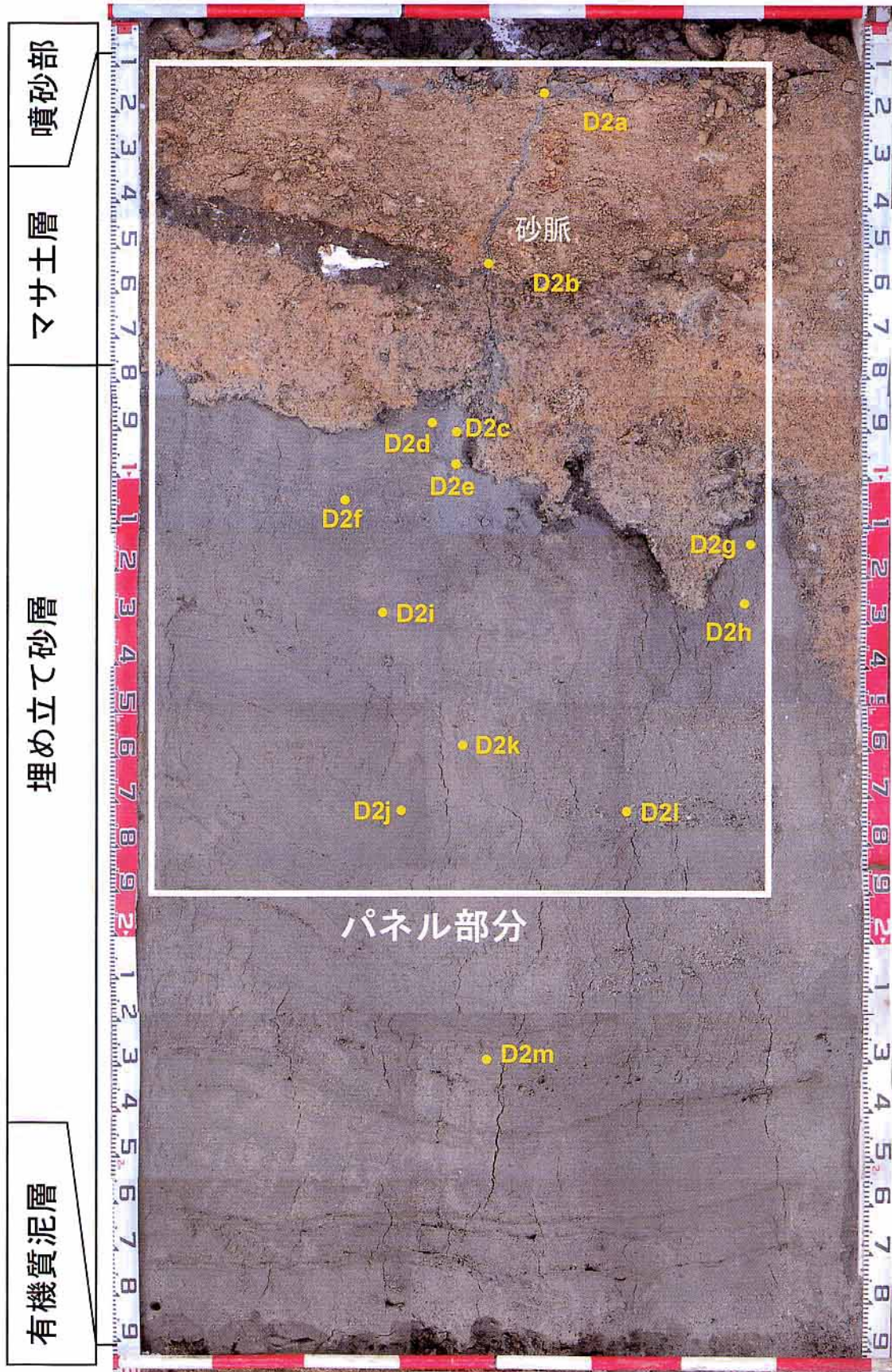
地質断面によって、液状化し噴砂のもととなった砂は、埋め立て砂層(の少なくともその一部)であることが判明した。そこで、変形せずに堆積時の堆積構造を示しているとみられる部分や砂脈も含めて第 3 図に示すよう D 2 a~D 2 m までの 13 試料を採取し、粒度分析を行った。試料には、貝殻片や砂鉄粒子など石英粒などに比較して密度の大きく異なる粒子も含まれている。そこで、レーザー回折式粒度分布測定装置(島津製作所 SALD 3000 S)を用いて各試料毎に 3 回の測定を行った。本装置の使用法とその特徴については、中山・草野(1998)にまとめられている。また、測定にあたっては、試料測定前後で JIS-11 (JIS に規定される試験用ダスト)、石松子(日本粉体工業境界の基準粉体)、それにガラスビーズ(UB-2022 L、SEM でも粒径確認をしている粉体)の 3 参照試料の 3 回ずつ測定しているが、それらは常に基準データ内の値を示した。各試料の測定結果を第 4 図と第 1 表に示す。

試料は、液状化の可能性という点で、沿岸開発技術センター(1997)から判断すると、「特に液状化の可能性がある」粒径範囲であったことがわかる。一方、試料の内、D 2 a と D 2 b は砂脈そのもの試料、D 2 c~D 2 e と D 2 g は埋め立て砂層の上部で無層理塊状あるいは著しい変形葉理を示す部分、D 2 k は初期堆積構造が比較的良好に保存されている埋め立て砂層の中下部にあって、最も変形している部分、その他の D 2 f、D 2 h~D 2 j、D 2 l と D 2 m は初期堆積構造が保存されていると判断した部分である。平均粒径に注目すると、砂脈のそれが 0.207~0.278 [mm]、塊状無層理あるいは著しい変形葉理を示すもの(D 2 k を含む)で 0.203~0.256 [mm]、初期堆積構造を残しているもので 0.246~0.284 [mm] と言える。すなわち、砂脈それ自体は粒径変化が大きい、著しく変形しているか塊状無層理の部分は、幾分細粒であるのに対し、初期構造を残している部分では幾分粗粒であるといえる。

解釈

以上の観察と粒度分析結果をもとに液状化層と噴砂に観する予察的な指摘と議論ができる。

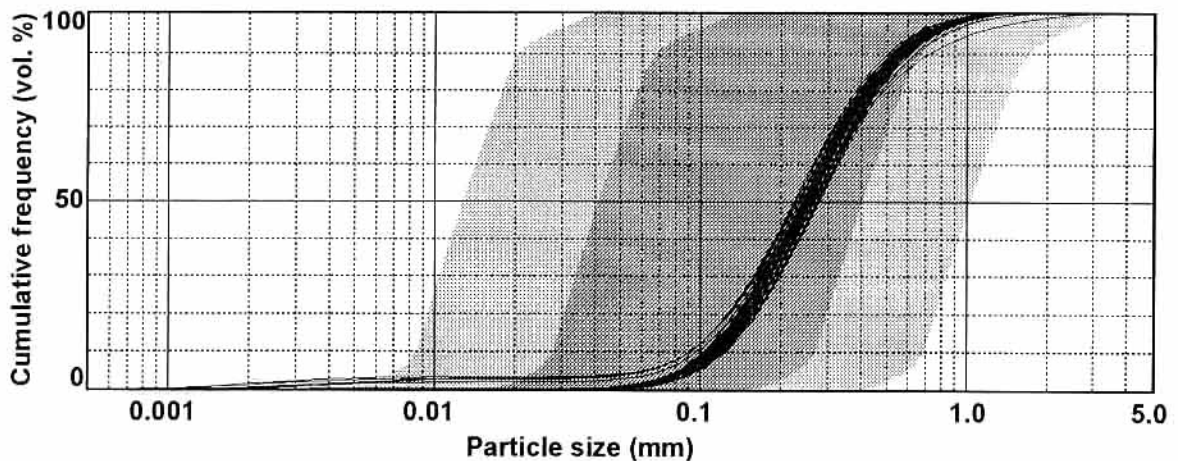
第 1 に噴砂した物質は、埋め立て砂層から供給されていることが明瞭に示された。第 2 に地層の変形構造の様子から判断して液状化した地層は埋め立て砂層と言える。調査地は埋め立て砂層が形成された 1975 年以來 2000 年の鳥取県西部地震まで大きな地震動を被ることはなかった地域であり、地層の変形構造は鳥取県西部地震によるものと判断できる。粒度分析では、いずれの試料においても沿岸開発技術センター(1997)に示された判断基準によって「特に液状化の可能性あり」となっている。第 3 に噴砂過程であるが、噴砂の構成物にマサ土層の碎屑物がほとんど認められないこと、噴砂丘列が周辺地形に平行する北西-南東方向に細長く連続することから考えて、地震動によって「埋め立て砂層」が液状化し、マサ土層は下層からの支持力を失い、周辺地形に規制された方



第3図 抜き取れた地層断面。パネルにした部分を白枠で示した。地層区分と粒度分析試料採取点を示す。採取点の番号は第4図と第1表に対応する。

第1表. 粒度分析結果. レーザー回折式粒度分布測定装置で求まるものは, 体積累積であるが, 表中の各パラメータは, Folk and Ward (1957) に従って求めた.

Sample number	Diameter (mm)			Sorting	Skewnsss	Kurtosis	
	mean	median	mode				
D2a	01	0.207	0.207	0.224	-1.150	-0.134	0.999
	02	0.229	0.230	0.224	-0.444	0.329	0.986
	03	0.221	0.221	0.224	-1.010	-0.132	1.000
D2b	01	0.241	0.242	0.224	-0.461	0.253	1.000
	02	0.278	0.278	0.282	-0.783	-0.147	1.013
	03	0.245	0.245	0.224	-0.470	0.228	1.024
D2c	01	0.241	0.240	0.224	-0.521	-0.015	1.009
	02	0.241	0.239	0.224	-0.595	-0.018	1.001
	03	0.243	0.242	0.224	-0.534	0.035	1.013
D2d	01	0.237	0.238	0.224	-0.455	0.043	0.989
	02	0.235	0.236	0.224	-0.455	-0.016	0.986
	03	0.208	0.208	0.224	-1.100	-0.122	1.002
D2e	01	0.247	0.247	0.224	-0.480	0.249	1.038
	02	0.242	0.242	0.224	-0.468	0.009	1.007
	03	0.251	0.251	0.282	-0.454	-0.014	1.017
D2f	01	0.276	0.275	0.282	-0.451	-0.037	0.982
	02	0.277	0.277	0.282	-0.460	0.002	0.976
	03	0.284	0.284	0.282	-0.508	-0.027	0.955
D2g	01	0.252	0.252	0.282	-0.436	0.111	0.993
	02	0.255	0.255	0.282	-0.451	-0.012	1.011
	03	0.256	0.255	0.282	-0.437	0.018	0.994
D2h	01	0.259	0.259	0.282	-0.472	-0.020	1.019
	02	0.265	0.265	0.282	-0.502	-0.026	0.998
	03	0.252	0.252	0.282	-0.440	0.069	0.998
D2i	01	0.247	0.247	0.224	-0.486	-0.017	1.039
	02	0.246	0.246	0.224	-0.457	0.014	1.018
	03	0.250	0.250	0.224	-0.470	-0.019	1.032
D2j	01	0.266	0.265	0.282	-0.440	-0.001	0.997
	02	0.269	0.268	0.282	-0.418	0.024	1.002
	03	0.262	0.261	0.282	-0.424	0.024	1.006
D2k	01	0.205	0.205	0.224	-1.094	-0.104	1.002
	02	0.210	0.210	0.224	-1.238	-0.034	0.998
	03	0.203	0.203	0.224	-1.293	-0.005	1.000
D2l	01	0.270	0.268	0.282	-0.442	0.359	0.992
	02	0.278	0.278	0.282	-0.449	-0.012	0.982
	03	0.271	0.270	0.282	-0.464	0.020	0.979
D2m	01	0.259	0.259	0.282	-0.481	0.018	1.021
	02	0.257	0.257	0.282	-0.449	0.035	1.008
	03	0.259	0.259	0.282	-0.459	0.001	1.013



第4図 粒度分析結果. 試料採取点は第3図に示した. 沿岸開発技術センター(1997)による埋立地の液状化可能性域も重ねて示した. 薄い灰色部分が「液状化の可能性あり」と示される部分, 濃い灰色部分が「特に液状化の可能性あり」と示される部分である.

向性の断裂を生じ、その断裂間隙に埋め立て砂層の砂が受動的に噴き出したと考えられる。

ところで、第2の「液状化した地層は埋め立て砂層」という表現について、次の2点について補足説明をする必要がある。1つは「埋め立て砂層」の中で著しく堆積構造が変形しているのは砂層上部であり、砂層の中下部は一部(試料D2k採取層準など)を除いて堆積時の堆積構造を残していることであり、今1つは変形構造を示す(あるいは、その近傍で塊状無層理の)部分は、他よりも若干細粒を示す点である。このことは、間隙水の上方への移動によって細粒粒子が層間内 elutriation され、より上部に細粒物質が濃集した可能性と、間隙水の移動が物性の類似した単層(小論の場合は埋め立て砂層)内において全体に粒子移動を伴う液状化を起こしているのではないことを示している。逆に言えば、「液状化を間隙水の移動」として広義に捉えれば「ここで、液状化した地層は埋め立て砂層全体」と言えるし、「間隙水の移動とともに碎屑粒子が移動すること。」として捉えれば「埋め立て砂層の上部」のみから液状化したとも言える。

なお、以上の予察は1つの可能性を示した段階のものであり、十分な論証に至っているわけではない。共著者内においても「可能性の指摘」という点では合意をみているが、他の可能性について考えている著者もいる。いずれにしても資料の追加と更なる検討が必要である。

ま と め

ジオスライサーを使って地表への噴砂を伴う液状化層の地層断面を得た。対象は2000年10月6日に起きた鳥取県西部地震で形成されたものである。地層断面は、明瞭な地質学的な証拠として保存・展示するためパネル化した。合わせて、地層断面の特徴と堆積物の粒度分析を行った。

このパネルは、地震による地盤への影響を保存・展示する

方法としては、極めて有効である。関係研究者のみでなく、多くの人の興味を得ることができる。

地表下1~3mにある液状化層の堆積構造の特徴と粒度分析結果から、3点の予察をした。①液状化層の一部はプラグ状になり初期堆積構造を保存していること、②液状化層の上部構成粒子は若干の細粒化傾向を示す。これは層内 elutriation により細粒分が液状化層の上部に偏った結果の可能性がある。そして、この上部が噴砂の供給源となった、③噴砂自体は、被覆層(マサ土層)の断裂に沿って受動的に放出された。今後、この予察の是非について、さらに検討が必要である。

謝辞 鳥根大学地球資源環境学科の山内靖喜教授には、調査地の選定のご教示、それに地層断面についての有意義なご指摘をいただいた。同大学同学科の亀井健史助教授には、地層断面について有意義な指摘と議論をいただいた。また、ジオスライスの実施にあたり関係地内の方々にもご協力をいただいた。以上の方々に深く感謝します。

文 献

- 沿岸開発技術研究センター, 1997, 埋立地の液状化対策ハンドブック(改訂版), 沿岸開発技術研究センター。
- Folk, R. L. and Ward, W., 1957, Brazos river bar; a study in the significance of grain size parameters. *Jour. Sed. Petrol.*, 27, 3-26.
- 原口 強・島崎邦彦・小島圭二・中田 高, 1998, 地層抜き取り装置による軟弱地盤における定方位連続地層採取方法, 地盤工学会誌, 46, 24-26.
- 中田 高・島崎邦彦, 1997, 活断層研究のための地層抜き取り装置(Geo-slicer), 地学雑誌, 106, 59-69.
- 中山勝博・草野高志, 1998, レーザー回折式粒度分布測定装置の使用法と分析結果の特徴, 鳥根大学地球資源環境学科研究報告, No.17, 49-56.
- 下川浩一・横田修一郎・石賀裕明・原口 強・高田圭太, 2001, 鳥取県西部地震による液状化層のジオスライサー調査, 地球惑星科学関連学会 2001年合同大会(要旨)。