

2000 年鳥取県西部地震による弓ヶ浜半島・中海周辺の地盤災害

山内靖喜*・鳥根大学鳥取県西部地震災害調査団**

Ground disaster in Yumigahama Peninsula and the coastal area along Nakaumi Lake by the 2000 Tottoriken-seibu Earthquake

Seiki Yamauchi* and Earthquake Disaster Research Group of Shimane University**

Abstract

The Tottoriken-seibu Earthquake on Oct. 6 2000 caused liquefaction or fluidization of sand at many places in Yumigahama Peninsula and in a coastal area along Nakaumi Lake, and damaged ground, roads, buildings and banks. There are two types of reclaimed lands in this area: the first type which has been reclaimed more than one hundred years ago is made by drainage and filling, the second type made only by drainage. Boiling sand by liquefaction or fluidization occurred widely in the first type of land which are made after 1975, but very rare in reclaimed lands which had been made before 1975. Usually, boiling sand in reclaimed lands erupted from fissures, which run parallel with such a nearby construction as a large building or a bank.

In natural ground area, boiling sand erupted in such areas with shallow groundwater level as a delta of the Inashi River and low lands between sand bars in the Yumigahama Peninsula.

Many types of banks bounding reclaimed lands were damaged at different degrees by liquefaction or fluidization of sand and partly by land sliding; damage of the southeastern bank of the Yumigahama Reclaimed Land was highest in this area.

Key words: Tottoriken-seibu Earthquake, ground disaster, liquefaction, fluidization, boiling sand

はじめに

本文では、弓ヶ浜半島を含めた中海周辺での今回の地震による地盤災害の実態を報告する。この地域の被害調査は、地震発生翌日の10月7日から始め、11月末まで断続的に行った。しかし、必ずしも被害地全体を調査することはできなかったし、復旧工事が速やかに行われた地区では、被害状況を直接調べることができなかった。そのため、住民や関係者からの聞き取り調査を行ったり、調査団以外の方々の地震発生直後の調査や観察を参考にさせていただいた。また、被害写真の一部には、これらの方々が撮影されたものを使用させていただいた。

地形的特長

震央地域と異なり、本地域には弓ヶ浜半島、中海沿岸、お

よび大根島など第四系からなる低地が広く分布する(第1図)。本地域の東部を占める弓ヶ浜半島は、半島の長軸に平行に並ぶ内浜砂州、中浜砂州および外浜砂州の3列の砂州からなり、一部では砂丘がその上に重なる(式・藤原, 1967)。3列の砂州の時代は、内浜砂州は縄文時代早期、中浜砂州は奈良・平安時代、外浜砂州は江戸時代前期とされている(豊島, 1975)。中海沿岸においては、南方の中国山地から流入する河川沿いに米子平野、安来平野、松江平野が形成されている。このうち、とくに飯梨川の河口には典型的な三角州が形成されている。

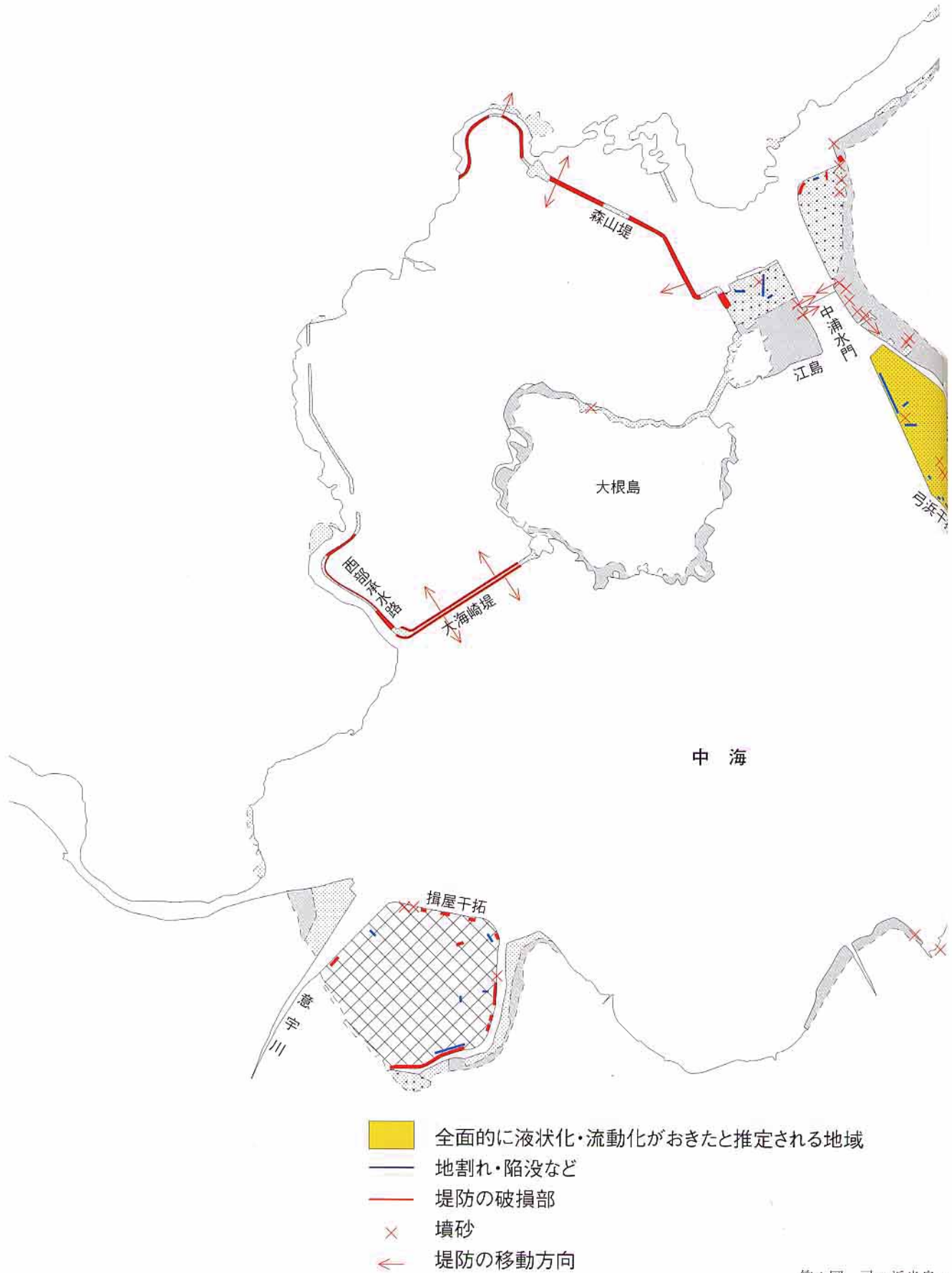
弓ヶ浜半島の美保湾沿岸では、境港周辺で埋め立てが行われてきた。境水道入口では境港拡幅のため昭和町がつくられ、さらに、その南側に竹内工業団地が造成された。これらの埋立地は主に浚渫土砂で埋立てられており、その厚さは5~10m以上ある。

他方、中海沿岸においては、弓ヶ浜半島西岸と安来平野を除くと、山地が湖岸まで迫っており、一般に狭い谷底低地が散在する。安来平野の中心部を流れる飯梨川は典型的な三角州をもつが、この三角州は450年間に約2.5km前進したとされている(建設省出雲工事事務所, 1998)。三角州のこのように早い成長速度は、明治時代まで飯梨川上流で砂鉄採掘のかん流しが多く、多くの地点で行われ、極めて多量の砂が急激に飯梨川に流されたためである。また、飯梨川は、有史以降たびたび河道を変えている。

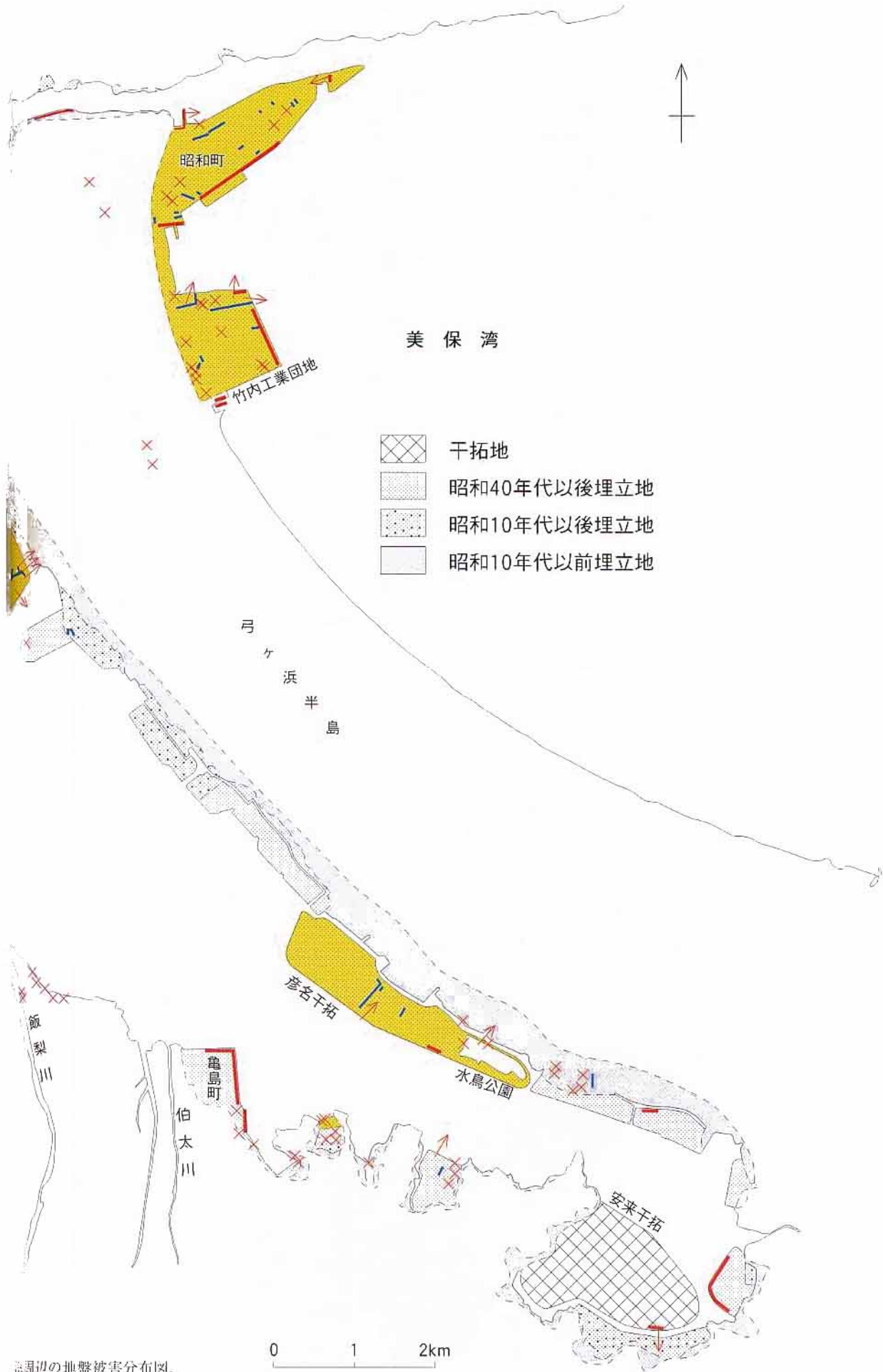
* 鳥根大学総合理工学部地球資源環境学科
〒690-8504 松江市西川津町 1060
Department of Geoscience, Shimane University

** 弓ヶ浜半島・中海周辺の調査参加者
鳥根大学: 石賀裕明・亀井健史・三瓶良和・増本 清・大平寛人・志比利秀・中村 学・明石美和・井上卓彦・大本和樹・北島涼子・久保真大・杉山光正・竹内幸恵・筒井夏実・永吉雄大・坂東陽介・堀切保則・松尾和俊・三好弘展

金沢大学: 田崎和江、静岡大学: 釘宮康郎



第1図 弓ヶ浜半島・



美保湾周辺の地盤被害分布図。

中海沿岸では古くから多くの地区で埋立てが行われてきたが、昭和40年頃を境にして、それ以降に造成された埋立地はそれ以前のものに比べて規模が大きい。また干拓も行われた。農地造成を目的とした弓浜干拓、彦名干拓、安来干拓および揖屋干拓はとくに規模が大きい。弓浜干拓と彦名干拓は埋立てが行われたが、安来干拓と揖屋干拓では埋立てが行われてない。この他に、安来市の中海町、亀島町、新十神町、南十神町、恵乃島町ほか、米子市錦海町、旗ヶ崎ほか^{しんじゅみ}が、宅地、工業用地、商業用地として埋立てによって造成された。さらに、中海北部には干拓を中止した本庄工区を取り囲む森山堤と大海崎堤がある。

地盤被害の全体的な特徴

境港で震度6強を記録しているが、今回の地震による本地域の被害状況をみると、これまでの地震被害と比べると、震度の大きさと被害の程度に大きな違いがある。とくに、地震動による建築物の壊滅的な破壊はごくまれで、全壊した建物はきわめて古いものに限定されている。

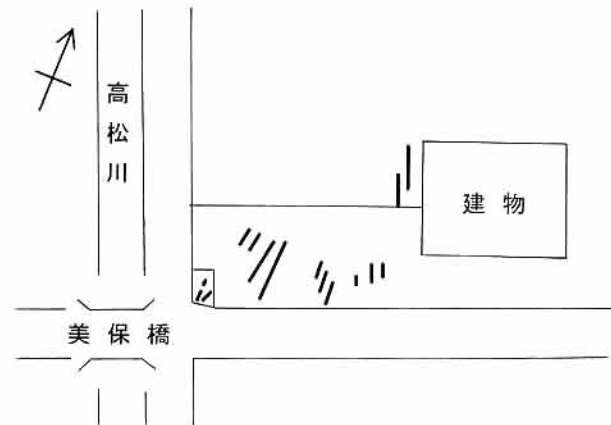
液状化・流動化は基本的には埋立地に発生しており、自然地盤で液状化・流動化が発生した主な地域は、飯梨川三角州とその周辺の低地と弓ヶ浜半島を構成する砂州間や砂丘の背後などの低地で、地下水位が極めて浅い場所である。地盤被害を確認した地点は第1図に示したが、それらは昭和40年以降の埋立地に集中しており、それ以外の場所で大きな被害がでたのは江島北部の昭和30年代に造成された埋立地、境港外江町や渡町の埋立地などごく限られた地域である。地盤被害は主に液状化・流動化によるものであるが、一部では地すべりも起きていと推定される。

さらに、埋立地と干拓地はさまざまな形式の堤防や岸壁によって囲まれているが、それらの被害の程度に著しい差が見られる。最も大きな被害を受けているのは弓浜干拓の南東部の堤防であり、最も被害が小さいのは安来干拓北部の堤防である。

地盤被害の具体的状況

1) 埋立地

昭和40年以降の埋立地においては、埋立地のほぼ全域において液状化・流動化が起きていると判断される。液状化・流動化を起こしたのは、多くの埋立地では埋立てに用いた細粒砂からシルト質極細粒砂ないし砂質シルトからなる浚渫砂である。しかし、弓浜干拓（実際は埋立地）では埋立て用土砂の下位の自然堆積物である砂が液状化したと判断される。また、安倍彦名団地では埋立てに使った径数mmのマサも噴出してた。後述の水鳥公園を除いては、埋立地内で液状化によって建築物自身が壊滅的な被害を受けたものは認められなかったが、内部に大きな空間をもつ工場などにおいては、液状化・流動化によって建物の床が不同沈下したための被害が大きい。また、埋立地に住宅団地をつくらせた安倍彦名団地でも、広範囲で埋立て用の砂が液状化・流動化し、多くの家



第2図 竹内工業団地における噴砂を伴う地割れの分布。

屋が不同沈下によって傾動し、深刻な被害を受けた。

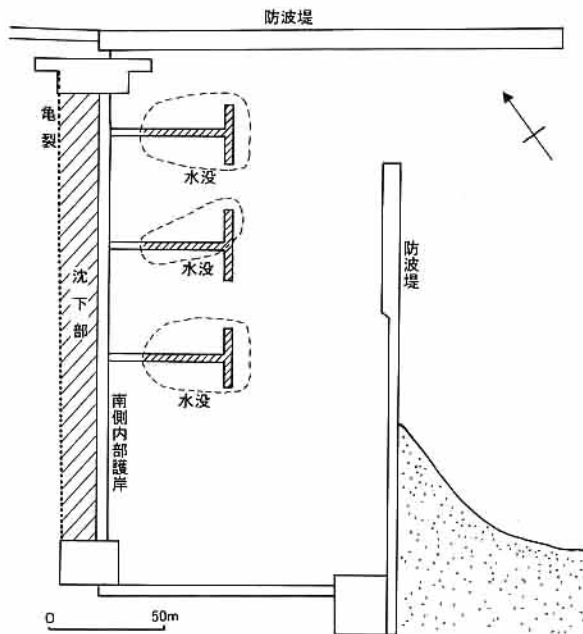
竹内工業団地：本団地は、1978～1986年にかけて、水深0～10m程度の水域を浚渫砂で埋立てて造成された、標高2m程度の埋立地である。団地内は道路によって一定面積の分譲地に区切られており、一般に、分譲地は道路面より0.5～1.0m程度高く盛土してある。地震発生時、分譲地の60～70%程度はまだ空き地であった。

本団地内では、ほぼ全域で噴砂跡が確認され、多量の砂が地面を覆っていた（巻頭写真1）。地震翌日（10月7日）の調査では、噴砂丘の噴出し口から依然として水が湧き出しているものも観察された。液状化・流動化によりいたるところで路面は波打っており、マンホールの浮き上がりなども確認された。地盤沈下は20cm以上に達したところもあり、建物の基礎が剥き出しになっているところもあった。

本団地内の噴砂の大半は地割れから噴出したり、噴砂丘が列状配列を示したりしていた。このことは、地盤中の割れ目に沿って液状化した堆積物が上昇してきたことを示しており、これらの割れ目あるいは地割れには一定の規則性が認められる。すなわち、道路では、道路に平行に走る側溝沿いに割れ目が生じ、そこから噴出した例が最も多く（巻頭写真2）、その規模も大きい。しかし、橋の周辺では、一般に橋脚部と道路あるいは護岸との境界部で噴砂がみられた。

他方、建造物がまだ作られていない、広い空き地が残っている団地東（海）側中央部では、海岸線に直交するアスファルト舗装の道路において、道路の側溝からの噴砂だけでなく、道路と直交する、すなわち海岸線に平行に延びる数本の伸張性割れ目が等間隔に発達し、それらからも噴砂が生じていた。

盛土分だけ高くなっている分譲地内では、大きな建造物の有無によって地割れの発達状況が異なる。建造物が存在する場合には、噴砂をもたらしたこれらの地割れは、基本的に近くの強固な建造物に規制されている。多くの場合、建造物の土台に沿って、土台のすぐ近くに発生した地割れから噴砂している。他方、団地西部で広い空き地と建造物が隣り合っているところでは、地割れは長方形をなす分譲地の角から中心部に向かって延びるが、建造物の近くでは建造物に平行する地割れがみられる（第2図）。



第3図 境港公共マリーナにおける被害状況。

団地の西縁をなす幅 10 m 程度の高松川（人工水路）では、厚さ 50 cm で碎石を敷いた川底は長さ 200 m 以上にわたって大きく隆起していた（巻頭写真 3）。その隆起量は最大 0.5 m 程度である。同時に、水路兩岸のブロック製の擁壁が張り出しているが、埋め立て前の汀線側（西側）の擁壁の張り出しが著しい。これは、東に向かって傾斜していた海岸を埋立てた浚渫砂が液状化し、自重によって旧斜面に沿ってすべったためと考えられる。聞き取りによれば、地震の 5 日後には隆起した川底の積み石と砂は川幅の半分だけが取り除かれた。しかし、2 週間後には排除した部分が再度隆起していたことが地震発生 2 週間後に観察されている。

この用水路に架かる美保橋付近では特異な現象が認められた。水路西岸では、橋台の境に地割れが生じていた。これは、水路西岸の擁壁が用水路側へと張り出したが、基礎がしっかりしている橋台はそれに抵抗したため、相対的なずれを生じさせたものと考えられる。他方、東岸では、橋台脇の路面が左右から押しつぶされ盛り上がっていた。すなわち、この付近では地表付近に東西性の水平圧縮力が作用し、表層部を盛り上げたものと考えられる。

境港公共マリーナ：竹内団地南に隣接するマリーナにおいても、地震に伴い被害が発生した。地震発生前にマリーナにあった 3 本のヨット係留用栈橋の大部分が海底に没した（第 3 図）。地震前には、栈橋表面から水面まで約 0.7 m、水深約 4.5 m あったが、地震後には栈橋に繋留されていたヨットは栈橋と共に水没した。ヨットはほぼ垂直に水没したが、そのマストは水面に達していなかった。すなわち、栈橋は水没したが、栈橋周辺の水深は 3 m 程度であった。他方、栈橋南側の水深は地震前には 9 m であったが、地震後には 4 m と浅くなっている。これは栈橋部分の海底が南側の深い方向に向かって円弧地すべりを起こしたと考えられる。ケーソンで形

成された南側内部護岸も海側へと移動し、ケーソンと埋立て部との間全体に亀裂ができていた。

昭和町：境港の東部を占める昭和町は、昭和 30 年代に埋立てによって作られ、その後も順次拡大し、現在も東に向かって埋立てが進行している。この埋立地を取り巻く岸壁や栈橋のうちで、3 号岸壁（かにかご栈橋）が最も大きな被害を受けた（巻頭写真 6）。この岸壁の構造が被害を大きくしたこともあるだろうが、岸壁が宍道断層の真上に位置しているため（第 4 図）、地震動が断層破碎帯で増幅したことも被害を大きくした要因の一つと考えられる。

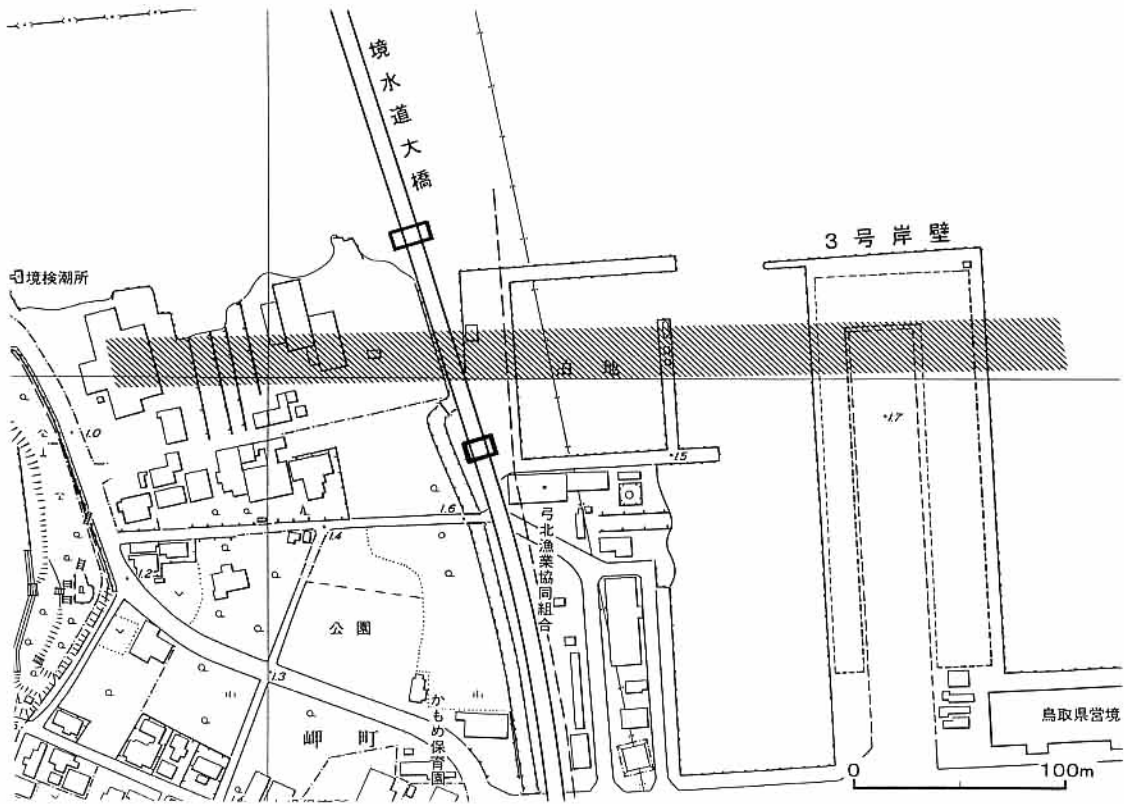
弓浜干拓：1968 年に着工し、1989 年に完成した弓浜干拓は、農地造成を目的に浚渫砂によって埋立てられた標高 0.5 m 程度の土地で、四方を高さ 2 m 程度の堤防で囲まれている。西側堤防脇のポンプ場以外に大きな構造物がない本埋立地内においても、いたる場所で噴砂跡が確認され、最大の噴砂丘の直径は 6 m にも達していた。本地区の南西部で噴砂丘を掘削した結果、埋立てに用いた砂（厚さ 80 cm 程度）の下位にある自然堆積物である砂が噴砂したことが確認された。また、本地区内の道路は上下に大きく波打っており、最大 25 cm 程度の高低差が発生していた。

噴砂現象を伴った北東－南西から北北東－南南西方向に約 400 m 続く地割れ群が認められた。北東－南西方向の地割れは、ほぼ平行に 3 本確認された。そのうちで最長のものは、長さ 150 m 程度、幅 20 cm で、地割れ内部の陥没は 50 cm に達していた。さらにこの地割れ群が幅 3 m 程度のアスファルト舗装の農道を横切っているところでは、農道は長さ 13 m、幅 3 m の範囲にわたり、深さ 16 cm 程度陥没していた。この地割れ群は途中で北北東－南南西方向に屈曲し（巻頭写真 15）、さらに延びる。北北東－南南西方向の地割れ群は、コンクリート製用水路にぶつかって途切れるが、さらにその先に再び現れ、多い場所で 4 本の平行な地割れからなり、アスファルト舗装の道路を横切るなどして、北北東－南南西方向に 220 m 程度延びている（第 5 図）。この地割れ群全体をみると、地割れ群は弓浜干拓の南側と東側の堤防に平行している。

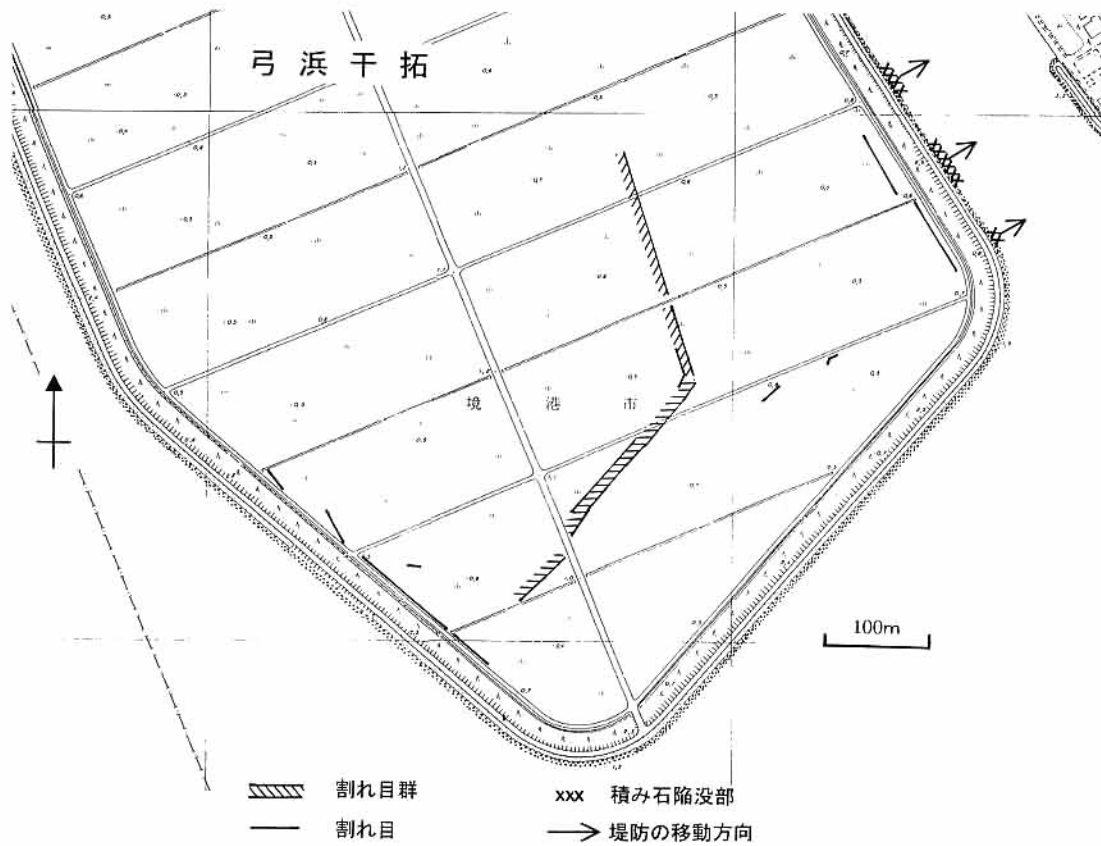
本地区を囲んでいる堤防のうち、南北方向に延びている堤防が著しく破損している（第 5 図）。本地区東側の堤防においては、少なくとも 3 箇所堤防外側の護岸積み石の一部が沖合いに向かってすべり、それによって堤防の一部が陥没したり（巻頭写真 23）、傾いたり、最大 1 m 程度張り出したりしていた。西側の堤防においては、堤防に平行な地割れが堤頂部のほぼ全体にわたってのびていた。このほかに、堤防内側斜面で地すべりがおきているのが数箇所認められた。

なお、堤防内側には、堤防に平行な水路が作られているが、この水路の擁壁は多くの地点で張り出していた。とくに、堤防の破損が著しい部分では、水路擁壁の破損も著しい。さらに、東側の堤防脇の水路と道路周辺では、堤防に平行な地割れが認められ、その一部では幅 1 m、深さ 50 cm 程度の陥没がみられた。

彦名干拓：干拓地の大半を埋立てて、畑地として利用している彦名干拓においても、噴砂がいたる場所で確認された。ま



第4図 境港3号岸壁付近での矢道断層の推定位置。斜線部が矢道断層の位置を示す。この地形図は1996年に作成されたもので、3号岸壁西側の岸壁は現状と異なる。



第5図 弓ヶ浜干拓における連続性の良い地割れの分布。斜線部は地割れ群を示す。

た、干拓地内の畑にはアスファルト舗装の道路に沿って300~400 mにわたる地割れが発生しており、陥没が発生している場所も認められた。陥没の大きなものは、幅1 m、長さ4 m、深さ1 mにも達していた。

彦名干拓の南部を占める水鳥公園においても、全域で噴砂現象がみられ、液状化・流動化によって5~数10 cm程度の地盤沈下が生じ、建物や貯水槽が浮き上がっていた。とくに、水鳥公園観察館の基礎は剥き出しとなり、大きな亀裂が生じている部分もみられた(巻頭写真12)。水鳥公園傍の彦名東橋においても、道路が沈下し、地盤沈下の影響を受けなかった橋台とのあいだに20 cm程度の段差が生じていた。これに伴い、橋と地盤の間に取り付けられていたパイプが切断されていた。また、水路の土手は水路側に張り出していた。それに伴い、水路脇を走る道路では深さ25 cm程度の陥没、長さ10 m、幅30 cm程度の地割れが多数認められた。

渡町：中海に面している境港市渡町においては、その西部は昭和10年代以前の埋立地であり、現在主に畑として利用されている。これらの畑において、直径20~200 cm程度の噴砂が無数に認められた。また、側溝が長さ50 m以上にわたって、2~3 cm程度ずれており、そのずれの大きさが13 cm程度になっている場所も確認された。また、付近の港では、長さ50 mにわたって岸壁が崩れ、幅40 cm、深さ30 cmの亀裂が生じていた。

中浦水門付近：江島と弓ヶ浜半島側の渡町との間に作られた中浦水道は、両側の昭和10年以前の埋立地を再度開削して拡幅され、中浦水門が設けられた。中浦水門付近では、水門の北側の両岸、南側の西岸の3箇所の護岸が地すべり状に崩壊しており、崩壊部はそれぞれ、長さ20~40 m程度にわたって確認され、深さは40~150 cm程度に達する。また、草地においては噴砂現象も確認された。とくに水門の西側の道路との接合部では、道路が大きく陥没している。その陥没箇所は長さ6 m、幅6 m程度の範囲を占め、深さは70 cm程度に達していた(巻頭写真4)。

江島工業団地：江島工業団地は、昭和30年代前半に江島北側の水深2 m程度の水域を埋立てて造成された標高3 m程度の土地である。本団地においても液状化・流動化による被害が認められた。黒沢建設敷地内において、南北方向の地割れ5、6本、それと直交する東西方向の地割れ2、3本が確認された。南北方向の地割れの場合には、長いものでは40 mに達するものが存在した。また、地割れ及びその周囲には噴砂跡が多数認められ、大きなものでは直径5 m程度に達していた。

その他に、付近の道路にはアスファルト舗装とコンクリートの境目に噴砂が確認され、側溝をまたぐ橋と道路の境目には段差10 cm程度の地割れが生じていた。付近の運動場には、南北方向に地割れが走っていた。また、その運動場の観客席の隅には割れ目陥没が認められ、その範囲は長さ5 m、幅40 cmにわたっており、その深さは30 cm程度であった。

安来市新十神団地：本団地は十神山の東側にあり、東西両側を岩石海岸に挟まれた、幅300 m、奥行き300 m程度の油坪湾を1968年に埋立てて造成された。本団地では、以前から

その中央部付近、すなわち埋立て以前の湾の中央部よりわずかに入口によった地点を中心に地盤沈下が起きており、団地内の道路は1 m以上の高低差をもっていた。団地内で最も低い部分では、満潮時には側溝の上限近くまで下水が上がるので、地下水位は1 m以浅と推定される。

本団地においては、噴砂は主に道路の側溝に沿っておきており、それと同時に道路に陥没、地割れ、あるいは凹凸が生じた。団地北縁をなす堤防に沿った道路では、道路の中央を道路と平行に走る地割れが生じており、その南側は南(内陸)方向に向かって傾斜していた。また、この道路には深さ50 cm以上に達する陥没が認められた。近くの道路沿いの家屋は、不同沈下によって傾いたとのことである。本団地内の別の地点では、地震発生2日後になっても沈下が続いたと判断される家屋もあった。また、数ヶ所で電柱や杭の根元からの噴砂も認められ、2 m近く沈下した電柱もある(巻頭写真9)。

本地区での噴砂は、直径約3 cm以下の円礫を多く含んでいた(巻頭写真11)。埋立て以前の油坪湾の東西両岸は岩石海岸であったことから、これらの礫は埋立て以前の湖岸~湖底の堆積物と判断される。このことから、本団地では埋立ての土砂だけでなく、その下位の自然の堆積物も液状化したものと判断される。

なお、団地北側の堤防には2箇所亀裂が生じていた。
その他の埋立地：境水道西部西側入り口にある境港市外江町は比較的古い埋立地であるが、この埋立地の外縁をなすコンクリート製堤防は数ヶ所に割れ目ができていた。また、堤防沿いの道路には地割れが生じ、噴砂も見られた。また、アスファルト舗装された空き地では、舗装の継ぎ目が開き、そこから噴砂が生じ、陥没していた。

中海沿岸の古い埋立地の水田を、さらに埋立てて住宅団地にした阿部彦名団地では、数多くの地点で噴砂が認められた。多くの家屋が不同沈下によって傾き、深刻な被害を受けている。団地中央の道路は上下に大きく波打っており(巻頭写真7)、最大50 cm程度の高低差が認められた。また、埋立て用に浚渫砂だけでなく、マサも使ったようであるが、径5 mm以上のマサも噴砂中に認められた。さらに、液状化で陥没した道路を砂で埋めて修理したが、数日後に余震で再度陥没したとのことである。団地南縁にある水路では、水路底が持ち上がり、護岸部で噴砂が生じ、水路沿いの道路が地すべりを起こしていた(巻頭写真8)。

産業廃棄物で埋立てたところを約13年前に住宅団地にした米子市錦海町では、堤防沿いの道路に沿って噴砂と地割れが認められた。しかし、団地内部では噴砂はほとんどみられなかった。

安来市亀島町は1982年に伯太川河口の東側を埋立てて造成された。その北側と東側には厚さ60 cm程度のコンクリート製の堤防がある。これらの堤防は4ヶ所で破断しており(巻頭写真21)、堤防に沿う道路には堤防に平行な地割れが、途切れ途切れにほぼ堤防全体に沿って認められた。

2) 干拓地

安来干拓：標高1.4 m程度の堤防で仕切られた最低標高-

2.7 mの本干拓地内では、噴砂がわずかの地点で認められただけである。干拓地内にある島田小学校では水道管が破裂し、排水管のジョイントがはずれたが、これらは地盤沈下によるものと判断される。干拓地を取り巻く堤防の内、中海に面した北側の堤防にはほとんど被害が認められなかったが、島田川に面する東側の堤防では2ヶ所で地すべり性の陥没が認められた。

揖屋干拓：最低標高-2.3 mの揖屋干拓においては、干拓地を取り巻くすべて堤防の堤頂あるいはその脇で何らかの地割れが認められた。とくに、干拓地東側と南東側の承水路沿いの堤防においては、堤頂部には堤防に平行な地割れが認められた。とくに、南東側の堤防において、地割れは途切れ途切れに500 mほど延びており、ところによっては複数の地割れが堤防に平行に走り、それらの間は陥没していた(巻頭写真24)。しかし、中海に面した北側の堤防と意宇川沿いの北西側の堤防では、堤頂部の地割れは認められなかった。

いずれの堤防においても、そのすぐ内側の水路に沿っては、噴砂が多く認められ、一部では水路底が50 cm程度隆起していた(巻頭写真13)。また、干拓内の更地では一面に噴砂が認められたが、畑地においては明瞭な噴砂は認められなかった。排水ポンプ場周辺では地盤沈下が認められた。

なお、1985年8月に揖屋干拓の南方約11 kmを震央とするM5.9の地震が起きたときにも、干拓地内の一部で噴砂が生じている(山根, 1992)。

3) 堤防

干拓地や埋立地を取り巻く堤防以外に、今では干拓中止になった本庄工区を取り巻く森山堤と大海崎堤が中海北部の水域を区切っており、両者とも道路として使用されている。

森山堤：森山堤の西側(本庄工区側)斜面にはアスファルト舗装道路が作られており、その西側には裸地と積み石の護岸がある。堤防道路の美保関側入り口から南東方向に延びる全長1500 m程度の直線部において、道路あるいは堤防の破損がいたるところで認められた。とくに、美保関側入り口にあるポンプ場すぐ南東側の部分が最も激しく壊されていた。ここでは、長さ20~30 mの範囲にわたり、道路およびその西側の護岸積み石と裸地部が一体となって陥没していた。裸地部の大半が水没し、道路全体が最大60 cm陥没していた(巻頭写真22)。これは、この部分の盛土全体が西側に向かって円弧地すべりを起こしたものと判断される。さらに、道路東側の側溝に沿っては陥没によって最大幅120 cmに達する溝が生じており、堤防東側斜面も東に向かって張り出していた。

上記の部分以外にこの直線部では、道路東側の側溝に沿って、陥没によって幅25 cm、深さ60 cm程度の溝が形成されており、この溝は途切れながら500 m程度続いていた。また、堤防道路西側の裸地において、堤防盛土のすべり崩壊に伴う地割れが湖岸線に沿って確認された。地割れは、長さ10 m以上で幅5 cm程度であり、地割れの西側が20 cm程度落ち込んでいた。この地割れに沿って、一部では深さ80 cm程度の陥没が認められ、噴砂現象が生じていた。確認された噴出物は砂質泥であった。

さらに、堤防道路が南南東方向に曲がり、750 m程度続く直線部においては、被害箇所が広範囲にわたっており、道路と道路の東側にある側溝との間に長さ100 m以上、幅20 cm程度、深さ40 cm程度の陥没による溝が確認された。

江島近くで、堤防道路は東北東方向に折れ250 m程度続き江島に達する。この部分の南側にある裸地にも、長さ40~50 m程度の湖岸線に沿う地割れが何本も存在した。

大海崎堤：松江市と大根島を結ぶ主要な道路として使用されている本堤防は、地震発生直後から道路と堤防北側護岸の復旧作業が行われたため、調査時には被災の程度が激しい部分が修復されていて、被害の細かな様子が調べられなかった。そのため、地震発生当日の観察結果と調査時に修復されていた堤防南側を中心に報告する。

北東-南西方向に直線状に約2 km延びている本堤防では、堤防北側(本庄工区側)の斜面上にアスファルト舗装の道路が作られており、その北側には幅5 m程度の裸地があり、水際には護岸の積み石がある。

本堤防の堤頂部の破損は少なかったが、堤防南側の裾部(アスファルト舗装)と北側のアスファルト舗装道路と裸地において、堤防に平行な地割れ、それらに伴う陥没と噴砂が全体的に認められた。とくに、堤防北東端(大根島側)から200~350 m、500~1300 m、1500~1700 mの地点では、堤防南側の裾部に幅20~50 cm、深さ30 cm程度、長さ5~10 m程度の地割れによる陥没が、護岸に沿って断続的に連なっていた(巻頭写真18)。このうち最大のものは、幅1 m、深さ70 cm、長さ90 mに及んでいる。さらに、堤防南側の護岸積み石は、とくに大根島から500~1300 mの区間で目立って陥没しており、堤防裾部と50~100 cmの段差を生じている。八束町-大海崎町境付近では、護岸積み石が南側に大きく張り出し、最大幅4 m、深さ1 mの陥没が認められた。

道路側の被害状況も堤防南側の損壊と対応しており、堤防北東端から500~1700 mの区間で堤防北側の護岸積み石が北方に移動している。この護岸の移動に伴って、積み石と道路の間の裸地では、アスファルト舗装部との境に地割れ・陥没が生じており、200 m以上続いた。護岸の移動量が1 m近い部分では、陥没部は幅1 m以上、深さ60 cmである(巻頭写真25)。道路の南縁部に沿って全体的に地割れと噴砂が生じており、部分的には10~20 cmの段差を生じ、直線であった道路のセンターラインも細かく蛇行している。

さらに、堤防南西端の大海崎橋と堤防道路との接合部では道路側が20 cm以上陥没しており、橋台に沿って噴砂を伴う地割れが多数確認された。

大海崎橋から北西に伸びる承水路堤では、橋から400 mの地点より先の堤防東側(本庄工区側)の裾部で、2~5列の地割れが途切れることなく1500 m以上続いており(巻頭写真19)、顕著な部分では地割れ内部の陥没は幅30~50 cm、深さ50~70 cmに達していた。

4) 自然地盤地域

ほとんど人間が手を加えていない砂地盤の地域においては、特定の地域を除いて著しい地盤被害は認められなかった。

噴砂や地盤沈下が認められた自然地盤の地域は、主に弓ヶ浜半島では砂州間あるいは砂丘間の湿地であった場所と飯梨川河口周辺である。前者の例として、境港市幸神町の幸神社東側の畑地での噴砂(巻頭写真 17)や三軒家町でのマンホールの浮き上がりがある。しかし、幸神町の例では、砂丘と砂洲の間の低地に薄く盛り土をした畑で、地下水位は数 10 cm と極めて浅い。埋立地に比べると、ここの噴砂の規模は極めて小さく、発生頻度も低い。

他方、飯梨川河口周辺は比較的多くの地点で噴砂が認められ(巻頭写真 16)、堤防も数ヶ所で損壊が生じていた。堤防の損壊は河口周辺の東西両岸で認められたが、河口西岸の堤防の損壊の程度が最もひどく、堤防自身が最大約 1 m 陥没していた(巻頭写真 20)。ここでは堤防直下に多くの噴砂がみられることから、砂地盤の液状化・流動化が原因と推定される。また、噴砂丘の規模も直径数 m のものが認められた。さらに、河口から約 1300 m 上流の住吉地区においても噴砂が生じ、不同沈下によって傾動した家屋もあり、飯梨川西方約 700 m の論田地区においても噴砂が生じている。

1771 年の洪水によって、飯梨川は河道を大きく変えて、現河口の東側に流れ込むようになり(建設省出雲工事事務所、1998)、さらに、1840 年頃に川違が行われ、現在の河口の上流約 2.5 km 地点から下流の河道が現在の位置に付け替えられた。すなわち、現在の河口から 1 km 以上上流までの表層堆積物は過去 200 年間に堆積したものである。

地すべりも起きた

前述のように、森山堤のポンプ場近くでの堤防道路脇の裸地は、沈下と側方移動を示しており、後者の沈下が著しい部分は水平断面で馬蹄形状の輪郭を示している。似たような損壊が弓浜干拓東側堤防や大海崎堤でも認められた。堤防の構造を考えると、これらの破壊は堤防斜面上で発生しているので、このような現象は、液状化・流動化した砂の側方移動によるのではなく、斜面上での地すべりによるものと判断される。

また、境港公共マリナーでは、栈橋が水没したが、栈橋南側の水域の水深は地震前には 9 m であったが、地震後では 4 m になっている。海底表層の砂が液状化を起こすことは考

えにくいので、これは栈橋部分の海底が南側の深いほうに向かって地すべりを起こしたと考えられる。

おわりに

以上の被害状況をみてくると、最初に述べたように、液状化・流動化は昭和 40 年代以降に造成された埋立地ではほぼ全面的に液状化・流動化が起きていると判断されるが、それ以前の埋立地では広域に起きていない。これは古い埋立地は水深の浅い水域を埋立てたことによるものと思われる。

2 ヶ月間以上にわたって同じ被害地を繰り返し観察すると、地割れが成長しているのが複数の地点で認められた。とくに、竹内工業団地南西部の空き地においては地割れの成長は 3 ヶ月以上続いた(巻頭写真 10)。さらに、竹内工業団地の高松川の水路底全体が隆起した部分は、川幅の半分近くを地震直後に取り除かれた。しかし、その後も取り除いた部分の川底が再度浮き上がっている。また、安倍彦名団地では、家屋の壁の割れ目が地震発生数日後に現れ、その後も成長し、十神団地では土台の沈下が数日間続いた。

これらのことは、液状化した堆積物が安定化するには 1 ヶ月以上もかかる場合もあることを示している。とくに、地下水位が浅いところではより時間がかかるものと考えられる。

謝辞：被災地の多くの住民の方々が貴重な情報をお教えくださり、佐々木洋子氏、田辺 徹氏、佐藤 勉氏、桑原保夫氏は、独自に行った調査結果や撮影した写真をご提供くださった。茨城大学楡井 久教授、千葉県地盤環境研究所風岡修博士ほか、鳥取大学矢野孝雄教授・小玉芳敬助教授などの調査団に同行させて頂き、貴重なご意見を得ることができました。これらの方々に厚くお礼申し上げます。

文 献

- 建設省出雲工事事務所、1998、簸伊川誌。
式 正英・藤原健蔵、1967、中海臨海地帯の微地形、中海臨海地帯の地盤、8-21。
豊島吉則、1975、山陰の海岸砂丘、第四紀研究、14、221-230。
山根通正、1992、1991 年 8 月 28 日、鳥取県東部の地震における震央近傍の揺れについて。鳥取県地学会会誌、No.7、28-30。