

2000年鳥取県西部地震によるアスファルト舗装道路の被害とその記録

Damage assessment to asphalt road pavement due to
the western Tottori earthquake of the year 2000藤村 尚 Hisashi FUJIMURA (鳥取大学工学部)
坂口雅範 Masanori SAKAGUTI (㈱NIPPO コーポレーション)

2000年10月6日13時30分に発生した鳥取県西部地震はマグニチュード7.3を記録し、地震規模は1995年の兵庫県南部地震以上であり、内陸部と沿岸部の2箇所でも最大震度6強を観測した。地震発生から被害状況の把握、災害復旧にかかわってきた経験から、地震災害の被害状況について統一的な整理の方法を作成してきた。ここでは、鳥取県西部地震被害に地震被害整理様式¹⁾を用いて、著しい液状化が見られた竹内埋立地で多く発生したアスファルト舗装道路被害を取り上げて、その特徴的な変形挙動について記述した。

キーワード：地震、液状化、データベース、アスファルト舗装、災害 (IGC : C 00, H06)

1. はじめに

2000年10月6日13時30分に発生した鳥取県西部地震は、米子市南隣の西伯町を震源とし、震源の深さ10km、地震の規模がマグニチュード7.3の地震で、1995年の兵庫県南部地震以上であり、内陸部の日野町と沿岸部の境港市の2箇所でも最大震度6強を観測した。この地震により負傷者127名、多数の住居被害を出したものの、死者および火災の発生はなく地震規模の割に被害の発生は少なかった。

道路施設の被害は約680箇所、県道以上の道路では46路線、265箇所での被害が報告されている。被害箇所は余震域に近い山間部に集中して発生した。被害路線は山間部の河川沿いを走っており、切土斜面や片切り片盛りの構造を持つ2車線道路が大部分である。

境港市の沿岸部にある竹内団地では全域にわたって液状化が発生し、アスファルト舗装のクラックや起伏など大きな道路変状が生じた。

2000年から2004年にかけて、多くの人的・物的被害をもたらした地震が各地で発生している。地震後、直ちに学会などを母体とする緊急調査団が編成され現地調査が実施され、道路被害、河川被害、橋梁被害、ダム被害、港湾被害などの公共施設別の被害概況が報じられている。さらに、地震後には、危険度判定法や被害軽減策に関する検討や研究が精力的に進められる。しかし、地震による道路被害の報告では、主に、切り土斜面や片切り片盛りの構造を持つ道路の破損や道路付帯構造物についての記述であり、アスファルト舗装道路そのものについて、その変形・破壊などを詳しく取り上げたものはほとんどないのが現状である。

本研究は、地震被害の状況を取りまとめる整理様式¹⁾を用いて、2000年鳥取県西部地震の諸被害を整理したう

ち、著しい液状化が発生した竹内団地の埋立地において、アスファルト舗装道路の破損と変形挙動についてまとめたものである。

2. 地震による竹内団地の被害

竹内団地は1978年に埋め立て造成が行なわれ、1986年に完成した四角形の埋立地である。今回の地震でも液状化が激しかった地点である。図-1は、いくつかの航空写真から判読した竹内団地内の噴砂の状況である。団地の内側にある道路(図-1の①)ではクラックが生じている。西側の承水路沿いや外周道路では凹凸、うねりの被害が見られる。建物の抜け上がりは、ほぼ全域に生じており、建物の周りは噴砂が見られる。埋立地の全域で、地盤が20~30cmほど沈下したと思われる。つぎに、竹内団地の外周部での被災について調べた。

竹内団地の東側(図-1の②)では、ケーソン式護岸が海側の前面に約400mm移動し、護岸背後の道路に亀裂が生じている。これらの原因は、主に液状化によるところが大きい。

竹内団地の西側(図-1の③)では、高松川・承水路で大量の噴砂が起き、川底が膨れ上がった。承水路周辺では激しい液状化が発生しており、道路側では矢板法線が最大で2m程度水路側に移動、緑地側も法線が川側に大きく移動している。

竹内団地の南側の公共マリーナ(図-1の④)ではヨットを繋留するPC杭基礎栈橋が岸寄りの一部を残して水没した。栈橋は杭式構造で、杭の折損により上部工が倒壊している。既設の岸壁が背後の液状化によって押し出され、沈下している。写真-1は東西路線に隣接する歩道(図-1の⑤)における噴砂の様子である。液状化の激しさと細粒分を多く含んだ砂であることが知れる。

竹内団地の北側の控え式矢板護岸（図-1の⑥）では変形は軽微であった。液状化は背面約10m後方で所々起こっている程度であるが、一部液状化が激しいところがありその区域では5~8cm程度の沈下と4cm程度の水平移動がみられた。

3. 地震被害整理様式

鳥取県西部地震による被害は兵庫県南部地震と同様に、平地部の液状化発生や山地斜面や道路の崩壊などが各地で発生しており、その被害状況の把握には各担当者により独自の書式やまとめ方がなされている。また、このような災害の場合には多くの機関が調査に関わることになるが、その場合にも調査票の統一化がなされていないために取りまとめには多くの労を要することが多い。

竹内団地

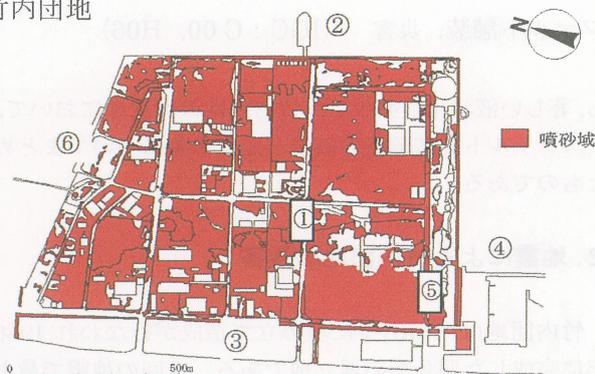


図-1 竹内団地内の噴砂の分布



写真-1 歩道上の細粒分を多く含んだ噴砂

3.1 整理様式の考え方

地震被害の記録表は、被害発生箇所ごとに箇所別記録表として作成し、発生箇所位置図および現地の写真記録と観察記録を原則として1枚の用紙(A4版)に収めることとする。発生箇所は経緯度で整理し、白地図上に表示させるシステムを構築する。箇所別記録表はデジタルデ

ータとして記録し、白地図上の表示点とリンクさせ、必要なデータの読み出しを行うことができることとする。データの保存はCDあるいはMOによる。

システム全体の概要は以下の通りである。

①地震災害の発生、②現地調査、③統一した災害整理様式への記入、④経緯度による整理と白地図上への表示、⑤整理様式のデジタルデータ化(CDまたはMO)、⑥白地図上での検索または地形分類、被害対象別の検索、⑦個別状況やキーワード別の被害状況の整理、⑧対策工データを整理様式に追加、⑨地震災害と対策工までのデータベースの構築。

3.2 整理様式

箇所別記録表への記入要領は以下の通りとする。

①整理番号²⁾: JASIC表示に準じて、1次コード(4桁)、2次コード(2桁)、3次コード(2桁)および通し番号(3桁)とする。

②地形分類: 地震災害に関連する特徴的な地形の分布を把握することをねらいとして、以下の8区分とする(○で囲む)。1: 山地, 2: 丘陵地(段丘も含む), 3: 平地, 4: 砂州・砂丘(自然地形), 5: 埋立地, 6: 干拓地, 7: 沖積平野(三角州平野など), 8: 谷底平野。

③被害対象: 地形分類との対応と土木、建築、農林、港湾の各施設を大別することをねらいとして以下の10区分とする(○で囲む)。1: 建物(沈下、傾斜、倒壊、抜け上がり), 2: 河川(河川護岸等の構造物変状、河床への噴砂), 3: 港湾(護岸、荷揚げ場変状), 4: 斜面(切土、自然斜面の崩壊、落石), 5: 盛土(道路、宅地の地表面沈下・亀裂、擁壁背面・橋梁取り付け部の沈下変状も含む), 6: 擁壁(宅地・道路の擁壁(コンクリート・ブロック積・石積自体の傾斜・倒壊の変状)), 7: 農地(農地のり面の崩壊、噴砂、亀裂、塩害), 8: 橋梁(橋梁自体の上下部工の変状、落橋、亀裂), 9: ライフライン(上下水道の管路変状、継ぎ手破損、マンホール変状), 10: その他(墓、鳥居の変状、倒壊)。

④作成者: 会社名、記録作成者を記号等で記入する。

⑤変状方向: 地震被害と地質構造、地震力との関係を推定する資料とするために、崩壊、倒壊、傾斜の方向、噴砂孔

の配列方向などをNEからSW方向へなどと記入する。

⑥変状状況: これまでの地震被害での変状を整理すると次の12区分で表される。沈下、傾斜、損壊、崩壊、倒壊、噴砂、噴水、落石、回転、転倒、盛り上がり、その他、記録表下端の番号あるいは状況名で記入する。

⑦事前対策工・改良の有無: 地震被害への対策工の効果を評価するために、液状化対策や崩壊防止対策等が事前に行われていたかどうかを、現場調査後に既存資料を基に記入する。

具体的な内容はコメント欄に記入する

⑧変状区間: 崩壊・沈下の延長など一括りにできる変の区間長を記入する。

2000年鳥取県西部地震によるアスファルト舗装道路の被害とその記録

個所別記録表(鳥取県西部地震) 改訂版

整理番号	No. 01		地形分類	①山地 ②丘陵地 ③平地 ④砂州・砂丘 ⑤埋立地 ⑥干拓地 ⑦沖積平野 ⑧谷底平野	被害対象	①建物 ②河川 ③港湾 ④斜面 ⑤盛土 ⑥擁壁 ⑦農地 ⑧橋梁 ⑨ライフライン(上水道, 下水道) ⑩その他(墓, 鳥居等) 道路			
作成者	NS	変状方向	SWVW→NEE	変状状況	⑩盛上がり	事前対策工・改良の有無	変状区間	450m	
路線名等	県道(境港管理組合)		所在地	境港市竹内団地		北緯	35° 31' "	東経	133° 15' "
対策工	舗装打換					位置図(縮尺 1/25,000)			
現況写真・スケッチ・変状コメント									
 <p>写真-1 車道アスファルト舗装体の波状変形(隆起) クラック等の発生は認められず噴砂の影響により舗装体が押し上げられたような波状のうねりが発生している。歩道境界ブロックの変形は大きくは認められない。開掘調査の結果、加熱混合物層と上層路盤の間に噴砂したシルトが認められた。 たわみ性舗装とはいえ、10月初旬の気温で、短期にこのような変形が起きればクラックが発生するのが普通と考えられ、あまり例を見ない変形である。 第3種2級B交通 設計 CER12% 舗装構成 表層(密粒改質1型): 6cm + 基層(粗粒): 5cm + 上層路盤: 10cm + 下層路盤: 15cm(計36cm)</p>									
変状状況: ①沈下②傾斜③損壊④倒壊⑤崩壊⑥噴砂の噴水⑦落石⑧回転⑨転倒⑩盛上がり⑪その他									

現況写真・スケッチ・変状コメント



同じ路線東側の車道アスファルト舗装体の波状変形状況



写真-1の平成19年1月22日路面状態。
応急処置として、隆起した部分が削り取られ路盤状態で交通供用している。
被災後三ヵ月半経過しているものの未だに対策工は不十分な状態である。

図-2 箇所別記録表の記入例(車道アスファルト舗装体の波状変形)

⑨路線名等：道路・鉄道の路線名や国道，県道，町道の区分，団地名や地区名。

⑩所在地：正確な住所か字名まで。

⑪北緯：1/10 秒単位まで。

⑫東経：1/10 秒単位まで。

なお，2001年6月20日公布の測量法改正により，経緯度の基準は世界測地系（測地成果2000）に従うこととなった。

⑬現況写真・スケッチ・変状コメント：平面・横断状況，地質・地形状況，変状の規模，対策工への意見，（対策工施工後の写真記録を追加していく）

⑭位置図：1/25,000 地形図に5mmの○でプロットする。また，1/50,000 地形図を用いることでより有効になる。

⑮被害マップの作成：整理様式のデータ整理・確認のために，1/25,000 地形図上にカラーラベル（φ5mm，13色）を貼り付けたベースマップを作成する。カラー区分は③被害対象の10種類とする。1：赤，2：青，3：緑，4：黄，5：橙，6：空，7：茶，8：桃，9：黒，10：紫，予備色：白，金，銀。この作業は箇所別記録表がそろった後に行う。

⑯白地図の作成：デジタルマップ上での検索表示を行うために，経度の入力により座標上に自動プロットさせる。このとき記号または色分けする。

区分記号：②地形分類 ③被害対象。

箇所別記録表をデジタルデータとして読み込む。白地図上の地点をクリックすることにより箇所別記録表を呼び出す。

3.3 箇所別記録表の記入例

図-2は2000年鳥取県西部地震における箇所別記録表の記入例を示す。図-2は2枚で1組となり，竹内団地内のアスファルト舗装の破損状況を記録したものである。この様式は現地を観察した状況やスケッチなどを直接記入することを前提としており，室内では記録写真と1/25,000 地形図とを貼り合わせる作業を基本としている。図-2の様式は対策工施工後の記録表として利用することもできる。

なお，この様式では地震の規模などについて直接記録する項目を設定していないが，経緯度での地点表示としていことから，気象庁の記録などとリンクさせることにより被害と地震規模との関係を理解することができる。さらには，他の要因と関連付けるGISとしての構築も可能であり，白地図の代わりに数値地図とリンクすることもできる。

4. アスファルト舗装被害とその特徴

竹内団地内における液状化を伴った被災は，建築物等の構造物だけでなく，団地内におけるアスファルト舗装にもきな損傷を与えている。

浚渫土により埋め立てられた団地内の舗装構成は，幹

線道路と支線道路の設計交通量の違いにより，舗装の厚さに多少の差はあるものの，概ねアスファルト混合物（密粒AC）による表層および基層が厚さ5~12cmと上層路盤および下層路盤が各々10~15cmの合計厚さ25~37cmの一般的な構造となっている。軟弱な浚渫土は路床の評価として軟弱路床扱いとなることから，まさ土等による良質土で置換が行われており，設計CBRは12が適用されている。舗装構成を図-3に示す。なお，歩道については車道のような路床土の置換は行われておらず，舗装構成自体もアスファルト混合物による表層が3~4cm，路盤材が10cm程度の簡易的な舗装構成である。

図-4は，この団地内におけるアスファルト舗装の被害状況を次の4パターンに分類して示したものである。
A 様式：波状のうねりを伴った変形および破損。B 様式：縦横断の変形が比較的少ない平面的に発生した破損。C 様式：路体および路床部の側方流動が起因とする沈下を伴った破損。D 様式：歩道部等の簡易舗装箇所の噴砂による隆起および陥没による破損。

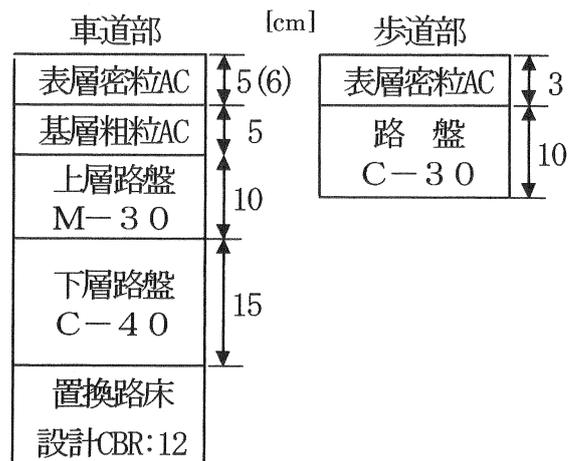


図-3 舗装構成図

道路被災の特徴は，波状変形および破損は，河川に平行する路線および海に近隣する外周路線に見られる。図-2中の左下の写真は，波状変形を示す。クラック等の発生はあまり認められず舗装体が押し上げられたような波状のうねりである。また，波状のうねりを伴った変形および破損とは，波状の舗装路面変形と噴砂による舗装破損の複合作用により大きな被害を伴った現象である。

写真-2は，波状に変形した舗装部分を開掘した下部構造断面を示している。写真によると，表層および基層アスファルト混合物（写真・2の①）の直下の路盤材および路床土が灰色の色調に映っており，シルト質砂（写真・2の②）の噴砂の混入が確認される。

図-5は竹内団地南側の東西方向の路線で被災後の舗装と土質柱状図を示す。No.1とNo.5のように表面が凸に変形した箇所は路線方向に約3~4m間隔にあり，アスファルト混合物と上層路盤の間に約10~15cm程度のシ

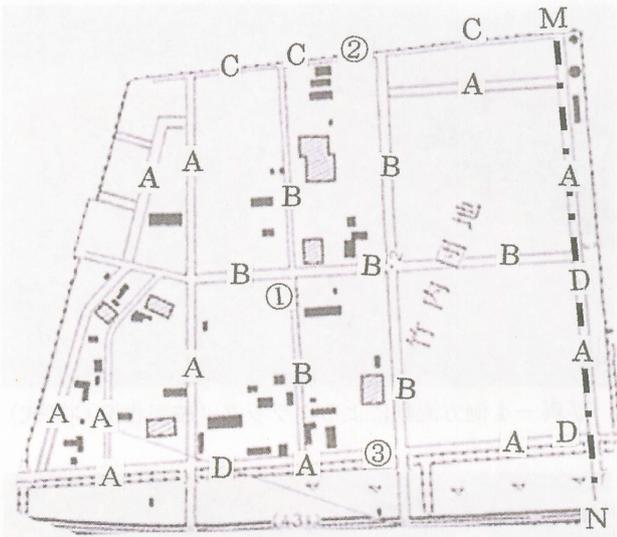


図-4 竹内団地の道路と被害

ルト質砂の噴砂の存在がみられる。

写真-3 は、縦横断の変形が比較的少ない平面的に発生した舗装体の破損の様子を示している。このクラック破損は、竹内団地内の外周路線を除いた内部にある交通量の少ない支線道路（図-4の①）に見られる。波状のうねりもなく、噴砂による被害も少ない。アスファルト混合物層のクラックは、縦断方向と横断方向および縦横断方向の両方に発生している箇所が認められる。所々に

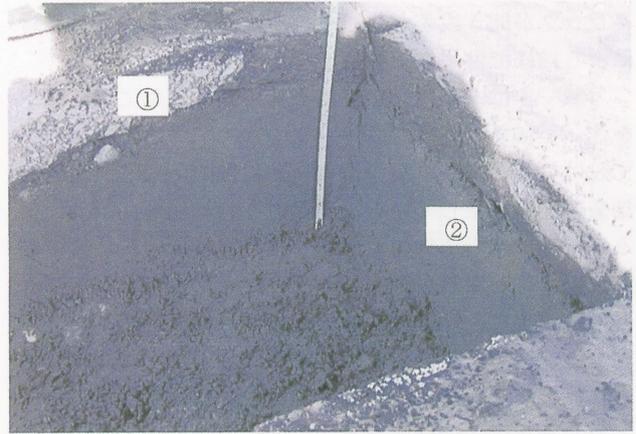


写真-2 開削した凸部の下部構造



写真-3 平面的破損とクラック（被害状況 B 様式）

No.1				No.2				No.3				No.4				No.5				
標尺	土質記号	土質名 (色調)	R/B/C	標尺	土質記号	土質名 (色調)	R/B/C	標尺	土質記号	土質名 (色調)	R/B/C	標尺	土質記号	土質名 (色調)	R/B/C	標尺	土質記号	土質名 (色調)	R/B/C	
2		アスファルト混合物		2		アスファルト混合物		2		アスファルト混合物		2		アスファルト混合物		2		アスファルト混合物		
4				4				4				4				4				
6				6				6				6				6				
8				8				8				8				8				
10				10				10				10				10				
12				12				12				12				12				
14				14				14				14				14				
16		シルト質砂 (灰) 10cm		16				16				16				16				
18				18				18				18				18				
20				20				20				20				20				
22				22				22				22				22				
24				24				24				24				24				
26				26				26				26				26				
28				28				28				28				28				
30				30				30				30				30				
32				32				32				32				32				
34				34				34				34				34				
36				36				36				36				36				
38				38				38				38				38				
40				40				40				40				40				
42				42				42				42				42				
44				44				44				44				44				
46				46				46				46				46				
48				48				48				48				48				
50				50				50				50				50				
		まさ土 (褐灰) 5cm	95.3			まさ土 (褐灰) 10cm	56.0				まさ土 (褐灰) 5cm	82.0			まさ土 (褐灰) 5cm	32.4			まさ土 (褐灰) 5cm	76.0

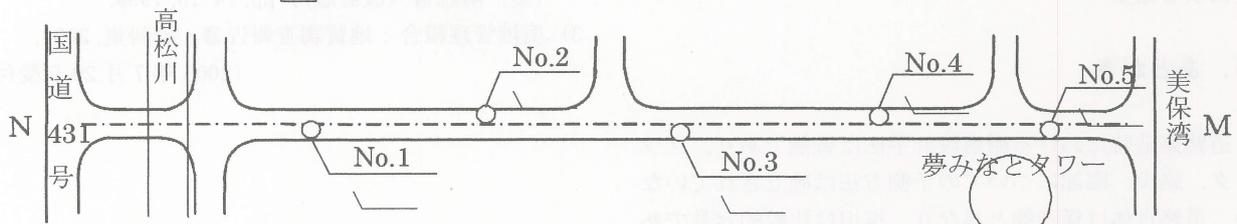


図-5 被災後の舗装と土質柱状図 (文献³⁾から引用・一部修正加筆した)

クラックが開き段差が生じているが軽微なもので目地材による補修で供用は十分可能である。

写真-4 は、路体および路床部の側方流動による沈下を伴った破損を示す(図-4の②)。岸壁構造物に沿って設けられた舗装厚が10~15cm程度の比較的簡易的な舗装区間で発生している。波状のうねり変形、噴砂による破損や排水構造物の変形等も認められない。地盤の側方流動による変形が舗装面に開いたクラックとして現れている。また、岸壁構造物に沿って設けられたインターロッキング歩道舗装箇所においては、ブロックが押し潰されたような状態で破損しているのが認められる。

写真-5 は、噴砂による歩道の破損を示す(図-4の③)。歩道舗装においては、置換等による路床支持力の改善も実施されておらず、舗装構造としても舗装厚が10cm程度の簡易舗装であることから、地震による応力が集中し噴砂による陥没およびマンホールの浮き上がり等の被害が多く認められる。

5. まとめ

本報告では箇所、地震被害の状況を取りまとめる整理様式を用いて埋立地で多発したアスファルト舗装の被災をまとめて、特徴的な変形について記述した。これらの成果を要約すると次のようになる。

- 1) ここで用いた箇所別記録表は、これまで行っていた調査資料を1枚程度の用紙にまとめることにより、調査内容の統一化と整理・判断の円滑化が図れた。
- 2) アスファルト舗装道路の変形・破損様式は次のようにまとめられる。

①最も顕著に現れた舗装路面の波状のうねりを伴った変形と破損。

シルト質砂の液状化による噴砂が舗装体の表層・基層部におけるアスファルト混合物層で遮断され、舗装体下部の路盤および路床土は噴砂で飽和状態になっていたと推定される。これらの層はアスファルト混合物層と一体となって動き、大きく変位してアスファルト混合物層が波状のうねりまたは破壊するアスファルト舗装道路の特徴的な破壊様式である。

②縦横断の変形が比較的少ない平面的に発生したクラック破損

③路体および路床部の側方流動が起因とする沈下を伴った破損

④歩道部等の簡易舗装箇所の噴砂による隆起および陥没による破損

6. あとがき

道路築造時における耐震設計手法は皆無であり、クラック、陥没、隆起についての予測方法は確立されていない。道路自体は構造物と異なり、復旧は比較的容易である。しかし、生活道路等に災害が発生し通行が不可能に



写真-4 側方流動によるクラック (被害状況 C 様式)



写真-5 噴砂による歩道の破損 (被害状況 D 様式)

なれば、大きな社会問題になることや、火災発生時における消火活動およびけが人の救助等緊急を要す場合の大切な交通手段を担う役割を持っていることを考えると、アスファルト舗装を対象とする低コスト、被害軽減工法を考案することが早急に望まれる。

謝辞：地震整理様式の作成および被災調査に当たり、ウエスコ(株)伊藤 徹氏など鳥取地盤研究会委員のメンバーには多大の協力を賜った。また、境港管理組合およびサンイン技術コンサルタント(株)の寺田憲彦氏には資料の提供を頂いた。ここに心から感謝を表する次第である。

参考文献：

- 1) 伊藤 徹, 藤村 尚: 地震災害整理様式の一提案について, (社)地盤工学会中国支部論文報告集, Vol. 19, No. 1, pp. 113-116, 2001.
- 2) (財)日本建設情報総合センター: 地質調査整理要領(案)解説書(改訂版), pp. 14-15, 1999.
- 3) 境港管理組合: 地質調査報告書・資料集, 2001.

(2005年7月29日受付)