

液状化調査

研究分担者 鳥取大学工学部 清水正喜
研究協力者 山梨大学工学部 後藤 聡

1. 研究の進め方と現況

本研究は、現地調査、資料調査および室内試験を通して遂行した。

現地調査では、弓ヶ浜半島の沿岸部を中心として現地踏査し、液状化およびそれによる被害の実態を調べた。液状化によって生じた噴砂を採取し、室内試験に供した。

一方、資料調査として、文献調査および学会や行政機関からの資料収集を行った。文献調査により地域の地形・地質に関する情報を収集した。地盤工学会では鳥取県西部地震緊急調査団が結成され、筆者もそのメンバーとして参画し、既に調査結果が公表されている¹⁾。鳥取県土木部管理課および鳥取県企業局は、液状化による被害や液状化地域の地盤を詳細に調査しつつある。本報告においてこれらの調査結果を利用している。

現在、採取した試料に対して物理試験および力学試験を継続中である。本報告にはこれまでに得た結果のうち物理的性質に関するもののみを記す。

2. 噴砂の地域的分布

噴砂が見られた地域を図1に示す（図には噴砂が観察された地域を●で示しているが、噴砂の堆積域を正確に表わしたものではない）。図より明らかなように、噴砂は、富益団地を除いて、いずれも美保湾または中海沿岸部で見られている。また、日野川下流部を除き、すべて第二次世界大戦後に埋

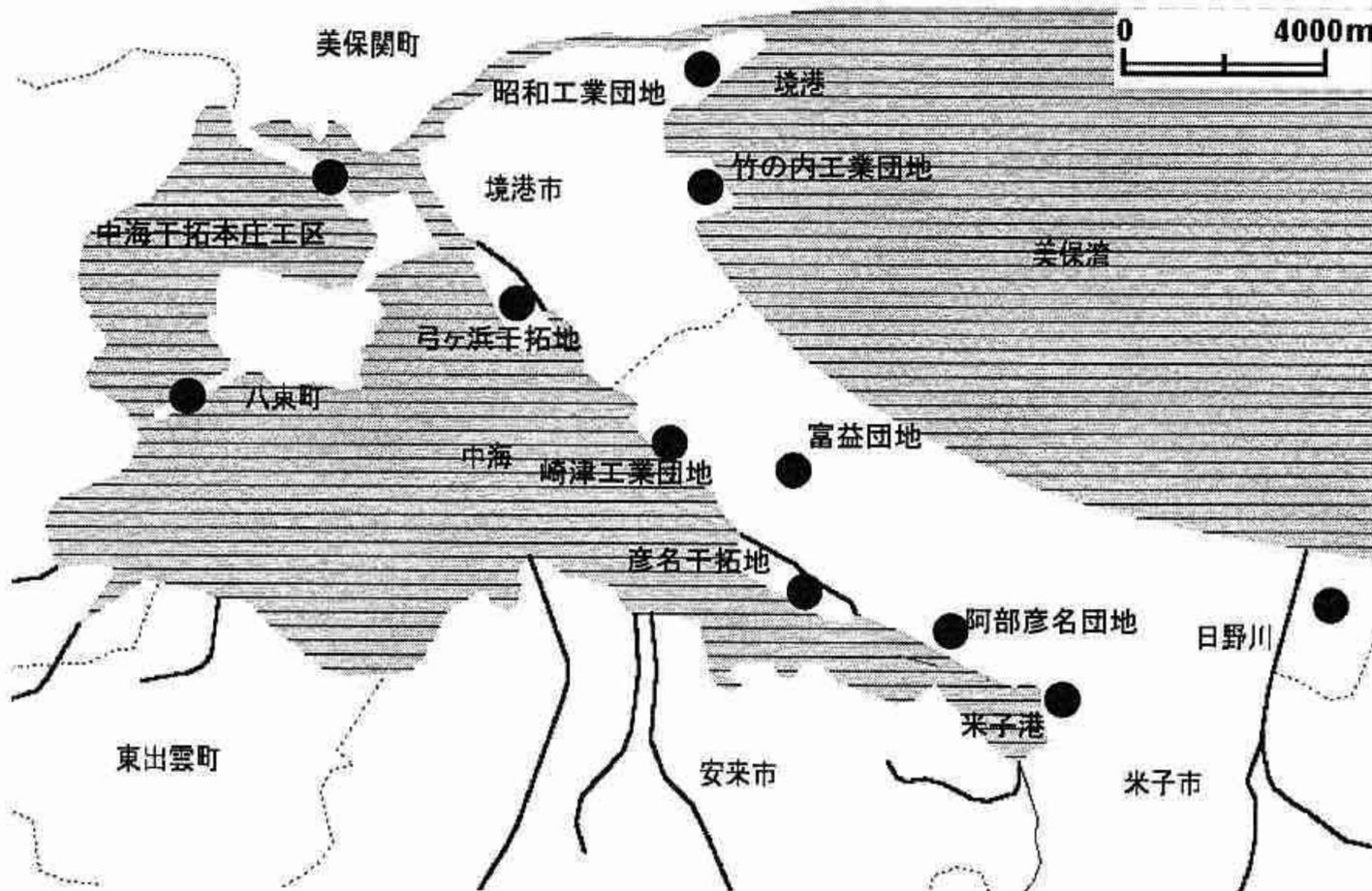


図 1：噴砂が観察された地域。●は代表的地点を表わすもので分布を示すものではない。（地盤工学会緊急調査団報告¹⁾の結果も加味した）

め立てや干拓によって造成された地区である。埋め立て地（または干拓地）の造成の履歴を表 1 に示す。

なお、噴砂試料は、竹内工業団地、弓ヶ浜干拓地、彦名干拓地、崎津工業団地において採取した。

表 1：造成地の造成経緯（開始時期の古いもの順。鳥取県土木部管理課および企業局の資料による）

埋立地名	造成時期	埋立て時期・経緯
崎津工業団地	昭和20年～昭和40年	干拓
昭和工業団地	昭和38年度～昭和46年度	埋立
富益団地	昭和48年頃	盛土開始
弓ヶ浜干拓地	昭和48年 昭和51年～昭和49年	外周堤防の埋立整備開始 干拓地内の埋立工事開始
彦名干拓地	昭和48年頃 昭和62年頃	外周堤防の埋立整備開始 干拓終了
米子港	昭和51年頃～昭和59年頃	埋立開始～終了
竹内工業団地	昭和54年1月 昭和59年2月 昭和61年	埋立工事開始 浚渫終了 埋立事業竣工
安部・彦名団地	昭和60年5月～昭和61年7月 昭和61年4月～平成元年6月	盛土 造成

弓ヶ浜半島の地形形成史

弓ヶ浜半島は日野川流域からの運搬土砂が堆積して形成された砂州である。縄文から弥生時代にかけて美保湾側へ海岸線が前進した形跡がある²⁾ことからわかるように砂州の発達には地質学的な意味で比較的最近まで活発であった。有史時代になって、特に奈良時代以降、農地拡充のために盛んに干拓が行われた²⁾。戦後、高度経済成長の過程において上記造成地が新たに造成され、現在に至っている。

なお、有史以来の人工造成とともに、日野川の源である中国山地では、戦前まで、鉄穴（かんな）流し技法によって花崗岩から砂鉄が採集されていた。砂鉄採集後の廃砂は日野川を流下し、河口部に堆積した。砂州の発達を促した要因として見逃せない。因みに、日野川に限っても廃砂量は $2.0 \sim 2.7 \times 10^8 \text{m}^3$ にも及ぶと推定されている³⁾。

3. 液状化による被害

地盤の液状化によって、港湾施設、埋め立て工業団地、干拓農地、干拓地堤防および住宅に被害が生じた。

港湾施設

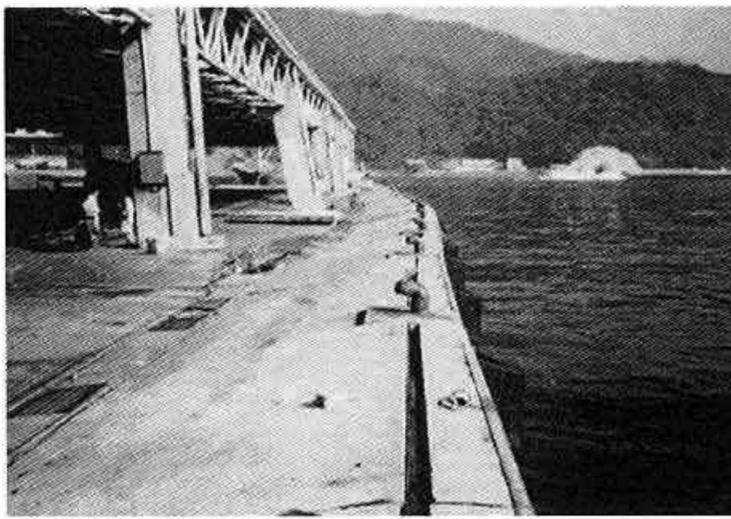
港湾施設の被害は、境港市昭和地区の外港および漁港である。外港のうち、外港昭和南地区では、同じ岸壁の延長上にあつて耐震設計された部分とそうでない部分で被害に大きな差が見られた。液状化に備えた設計が有効であったことは特筆できる。漁港の新港3号（通称「かにかご岸壁」）は水揚げ漁港としての機能を著しく損なうほどの被害を受けた。次節でその液状化による被害の機構について考察する（写真1(a)-(d)）。

埋め立て工業団地

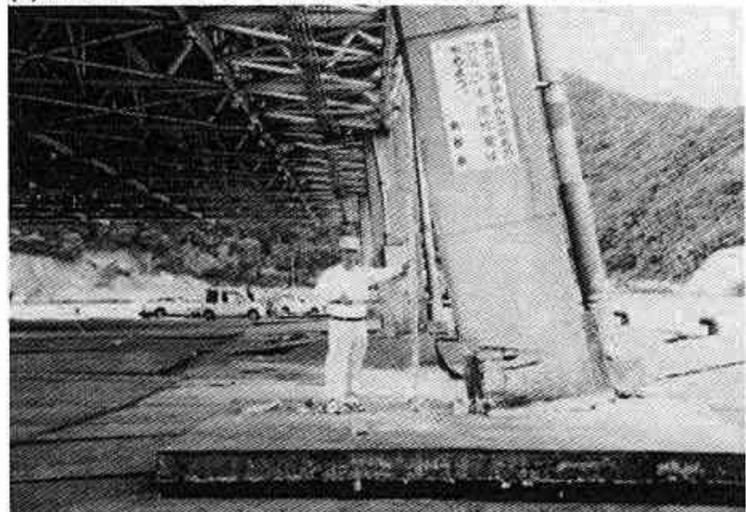
埋め立て工業団地でもっとも被害が大きかったのは竹内工業団地である。地域一帯で噴砂が堆積し、地盤の液状化が広範囲で起こったと想像される（写真2(a)）。地域内道路、承水路、企業建物に被害



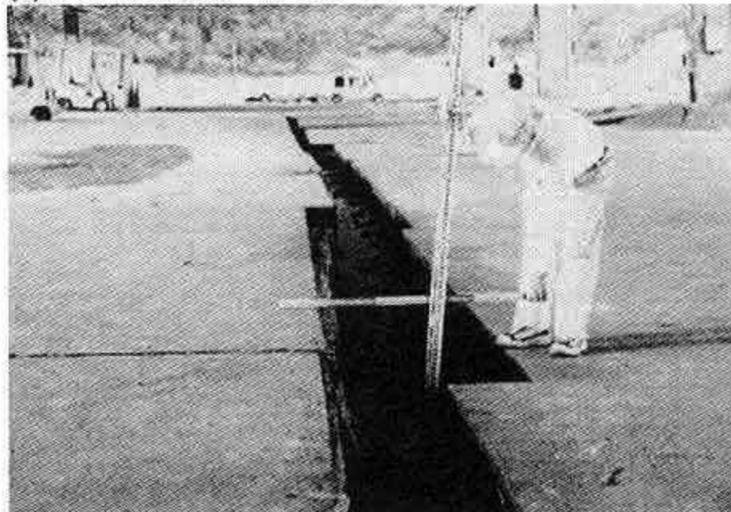
(a)液状化によって床板は約1m沈下した.



(b) 岸壁は海側へ移動した.



(c) 上屋基礎は海側へ移動した.



(d) 床板は約60cm海側へ相対移動した

写真1：かにかご岸壁の損壊（いずれも南から北に向かって撮影）



(a)噴砂



(b)承水路の噴砂と護岸の変状

写真2：竹内工業団地の液状化による噴砂と被害

が出た（写真2(b)）。この団地は境港の浚渫土砂によって埋め立てられた。浚渫土は細粒分が卓越するシルトである。従来、液状化した例を見ないほどの細粒土であり、現在、その物理的性質と力学的性質を明らかにすべく、試験を行っている。現時点までに得られた知見を後述する。

住宅地

住宅地の被害は、安部彦名団地と富益団地で顕著であった。いずれも戦後に造成された地盤に立てられた比較的新興の住宅地である。いたるところで噴砂が生じ、家屋が傾斜した。阪神淡路大震災の

ような住宅の倒壊はなかったが、生活ができない程度の傾斜が生じた家屋が多い。なお、阿部彦名団地内の下水管を埋設した舗装道路が下水管理設線に沿って道中央縦方向で隆起と亀裂が生じた。軽い地中埋設物が液状化によって浮き上がった典型的な例である。さらに、団地内方々で電柱が沈下するとともに電柱周面から砂が噴き出していた。これは、重い地中埋設物が周辺地盤の液状化によって沈下した典型的な例である。なお、電柱の沈下は液状化したその他の地域でも多く見られた。

阿部彦名団地では、一部地域で、造成に当たり、パーチカルドレーンと盛土によって軟弱地盤が改良された。ドレーンと盛土のどちらの改良効果か判断できていないが、改良区域での液状化による被害が小さかった。

富益団地は液状化が起こった中で唯一沿岸から離れた内陸部にある。内陸部であるのになぜ液状化したのか、研究者の間で議論されたが、先に述べたように、人工の埋め立て地であることが判明した。砂丘地の砂を採取した後の窪地を軟弱土で埋めたことが判明している。

4. かにかご岸壁の損壊の機構

この岸壁は控え板式鋼矢板構造である(図2)。前面の岸壁矢板は深さ12.8m、控え矢板は深さ8mで、両者は上端部をタイロッドによって緊結されている。地表面下1mから約16mはN値が5以下の砂・シルトの互層である(深度約8m付近にN値が10を超える部分がある)。従って、前面および控え矢板は全体が軟弱な砂またはシルト層内にある。この軟弱な層が液状化したと思われる。

液状化が起こると前面矢板に陸側から作用する主働土圧が増加し、控え矢板に海側から作用する受働土圧が減少する。その結果、前面矢板と控え矢板が一体となって海側へ移動する。実際、岸壁は海側へ大きく変位し、上屋の柱の基礎部分も海側に移動した(写真1)。なお、上屋の柱の基礎の構造について情報を得ていない。

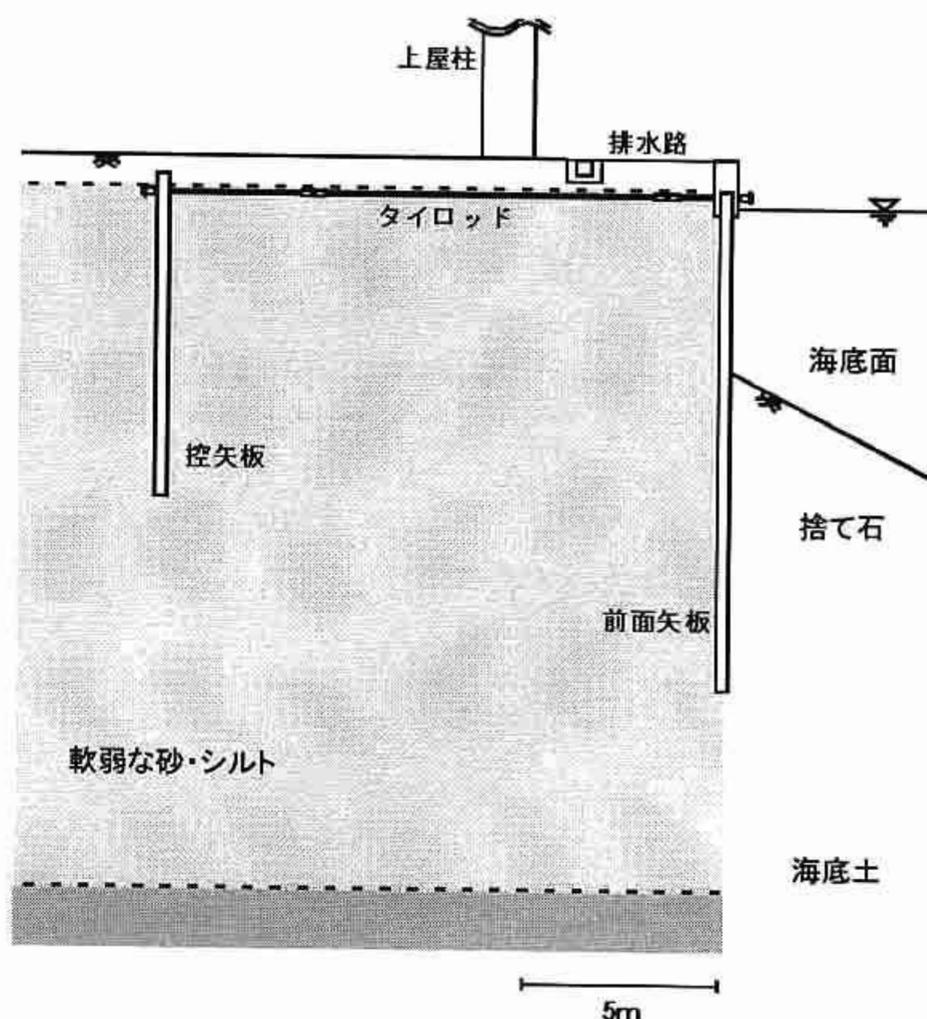


図2：かにかご岸壁東西断面図。海底の土質は不明。(鳥取県水産部水産振興局漁港課資料に基づいて作成)

5. 噴砂の土質工学的性質

4地域5地点から噴砂試料を採取した。これまでに得た結果のうち、土粒子の密度、最大・最小間隙比、粒度について記す。力学試験の結果は別途報告の予定である。

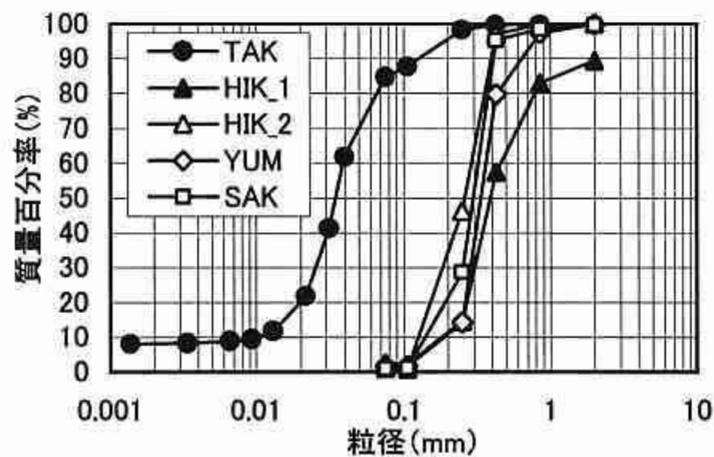


図3：粒度分布曲線（試料名は表2参照）

図3に粒度試験の結果を示す。竹ノ内工業団地の噴砂（TAK）以外は、どの試料も平均粒径が0.3mm程度の粒径の揃った砂である。TAKのみ、平均粒径が0.03mm程度のシルトである。

表2と図4に土粒子の密度と最大・最小間隙比を示す。

土粒子の密度は特に特徴的なことはないようである。

最小間隙比は試料によって異なっていないが、最大間隙比は、竹内工業団地の噴砂（TAK）の値が他試料より際立って大きい。最大間隙比は試料を水中で自重により堆積させたときの詰まり具合を表わすと考えられるので、竹内工業団地の造成が浚渫土で行われたことを考慮すると、盛土によって造成された直後の地盤は極めて間隙比の大きい状態であったと想像できる。最大間隙比が大きいことは粒度が細かいことと矛盾しない。一方、非塑性的であるとはいえ、粒度がシルトであり非常に細かいのに最小間隙比は他の砂と同程度である。

このような物理的性質が液状化の発生と対策に関わる力学的な性質にどのような影響を与えるのか詳細に調査することが重要であると考え、現在、静的および動的な圧縮・せん断試験を実施している。

6. 今後の課題

- (1) 竹内工業団地の噴砂の性質を更に解明すること。とくに、静的および動的な圧縮試験を行うことにより、間隙比を減少させるのに有効な手法を特定する。
- (2) 噴砂の液状化抵抗を繰り返し三軸圧縮試験により実施し、今回の液状化がこれまでの地盤工学の成果によって予測し得たものであったのか、検証する。

謝辞：本研究を遂行するに当たり、鳥取県土木部管理課，同県企業局，同県農林水産部水産振興局漁港課の調査資料を利用した。資料収集に当たり同県境港管理組合に便宜を図っていただいた。記して謝意を表す。

参考文献：

- 1) 地盤工学会：平成12年鳥取県西部地震災害緊急調査団報告，2000
- 2) 境港市編：「境港：昔と今」，1984
- 3) 鳥取県教育研修センター編：「日野とその周辺」，鳥取県野外学習指導テキスト第5集

表2：土粒子密度と最大・最小間隙比

採取地	試料名	ρ_s (g/cm ³)	e_{max}	e_{min}
竹内工業団地	TAK	2.665	1.448	0.773
崎津工業団地	SAK	2.675	1.248	0.773
弓ヶ浜干拓地	YUM	2.650	1.147	0.816
彦名干拓地	HIK-1	2.719	1.096	0.742
(同上)	HIK-2	2.709	1.200	0.810

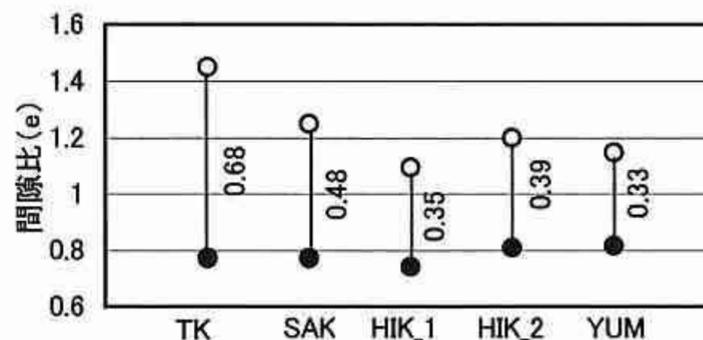


図4：最大間隙比と最小間隙比の比較