

2000年鳥取県西部地震における 竹内団地の液状化現象に関するアンケート調査

吉田雅穂¹・宮島昌克²・北浦 勝³・武澤永純⁴

¹正会員 博(工) 福井工業高等専門学校助教授 環境都市工学科 (〒916-8507 福井県鯖江市下司町)

²正会員 工博 金沢大学教授 工学部土木建設工学科 (〒920-8667 石川県金沢市小立野2-40-20)

³フェロー 工博 金沢大学教授 大学院自然科学研究科 (〒920-8667 石川県金沢市小立野2-40-20)

⁴学生会員 金沢大学 大学院自然科学研究科 (〒920-8667 石川県金沢市小立野2-40-20)

これまで多くの被害地震において液状化現象が発生しているが、その目撃証言や記録映像を分析した事例は少ない。2000年鳥取県西部地震は平日の日中に発生したため、多くの人々が屋内外で活動しており、液状化を実際に目撃した人も多数存在していたと推測できる。本研究では、本地震で液状化の顕著であった境港市竹内団地を対象とし、地震当時に現地が存在していた人々の液状化の目撃証言を集めるためのアンケート調査を実施した。その結果、回答者の液状化に対する意識、液状化による噴砂の発生状況、液状化に伴う地盤変形の時間的推移、液状化地盤における震動特性を明らかにした。

Key Words : 2000 Tottoriken-Seibu earthquake, witness of liquefaction. questionnaire survey

1. はじめに

2000年10月6日13時30分、鳥取県西部を震源とするマグニチュード7.3の地震が発生し、鳥取県境港市と日野町で震度6強の揺れを観測した。著者らは地震直後に液状化被害に関する現地調査を実施し、境港市東方の美保湾に面した埋立地盤である竹内団地の液状化被害が顕著であったことを確認した。この竹内団地は、境港の整備に伴う発生土砂を利用し工業用地として造成する埋立事業により、昭和53年度から昭和60年度にかけて造られた町である¹⁾。

ところで、液状化発生の瞬間を捉えた写真や映像としては1964年新潟地震のものが有名であるが、その後多くの地震で液状化被害が発生しているのにも関わらずこの様な記録映像、さらに実際の目撃証言などの記録はほとんど見当たらない。兵庫県南部地震では臨海埋立地盤で大規模な液状化現象が発生したが、発震時が早朝であり現場も人気の少ない港湾地区であったことなどからその目撃証言は少なく、この様な証言を統計的に検討した研究も少ないと言える。鳥取県西部地震は平日の日中に発生したため、多くの人々が屋内外で活動しており、液状化現象を実際に目撃した人々も多数存在していたと推測できる。そこで本研究では、顕著な液状化被害の発生した竹内団地に着目し、地震当時に現地が存在していた人々に対するアンケート調査を実施し、回答者の液

状化に対する意識、液状化による噴砂の発生状況、液状化に伴う地盤変形の時間的推移、液状化地盤における震動特性などについて検討を行った。

2. 調査概要

「鳥取県西部地震における液状化現象に関するアンケート調査」と題する調査票を作成し、地震から約5ヶ月後の2001年3月13日に竹内団地内にある企業11社を訪問し、調査票計108枚を配付した。回答後の調査票は後日郵便による返送を依頼した結果、8社より計57枚の調査票を回収し、回収率は約53%であった。図-1の竹内団地の平面図内に示す丸付き数字の位置がアンケート回収地点である。調査内容は、地震当時にいた場所に関して11問、地震の揺れに関して7問、液状化現象に対する意識に関して5問、液状化現象の目撃証言に関して10問、現場の液状化被害に関して14問、地震前後の防災意識に関して5問、回答者の属性に関して3問の計55問である。質問の多くは多肢選択式であるが、具体的証言については記述式により回答を求めた。また、回答において覚えていないものや分からないもの、そして無記入のものは全て「その他」として分類した。調査票の回収数は57枚であったが、その中から地震当時に会社の敷地以外にいた人や乗物に乗っていた人等の調査票を除外し、計40枚の回答を本研究の有効調査票とした。

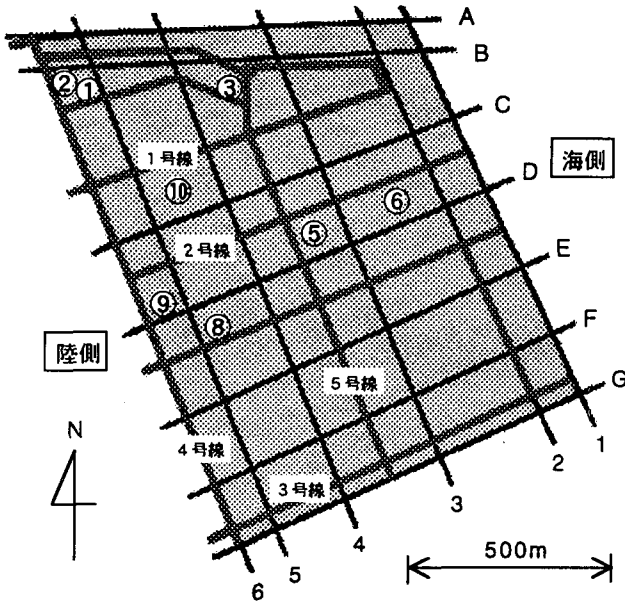


図-1 竹内団地の平面図

表-1 回答者の属性

| Q54 年齢は？ | | | Q55 性別は？ | | |
|----------|----|-----|-------------|----|-----|
| ・10才未満 | 0 | 0% | ・男 | 22 | 55% |
| ・20才代 | 1 | 2% | ・女 | 15 | 38% |
| ・30才代 | 6 | 15% | ・その他 | 3 | 7% |
| ・40才代 | 5 | 12% | Q53 自宅の被害は？ | | |
| ・50才代 | 13 | 33% | ・あり | 9 | 22% |
| ・60才代 | 11 | 28% | ・なし | 27 | 68% |
| ・70才代 | 1 | 2% | ・その他 | 4 | 10% |
| ・80才以上 | 0 | 0% | | | |
| ・その他 | 3 | 8% | | | |

3. 調査結果および考察

(1)回答者の属性

本アンケートの回答者は表-1に示すように男性の方が若干多く、50才から60才代の人が多いことが分かる。自宅に一部損壊等の被害を被られた人も2割ほどいた。

(2)液状化に対する意識

液状化現象は兵庫県南部地震の際にマスコミを通じて大きく報道され、我々研究者としては一般市民にその知識が広く浸透したと感じていたが、表-2のQ19やQ20の結果を見る限りその理解度はあまり高くないと言える。しかしQ21に示すように、本地震を経験した多くの人々が液状化に対する理解を深めたようであり、「液状化現象について教えて欲しい」との要望意見もあった。一方、液状化により人命が損なわれる危険性は非常に少ないと思われるが、Q22に示すように本地震を経験した多くの人々が液状化に対して恐怖心を抱いたようである。回答者の中には、「水や土砂の噴出によって自分が沈んでしまうように感じた」という人もいた。また、怖くないと感じている人からは、「汚い」や「乾燥後の砂ぼこりによる被害が深刻」という意見があり、これは当事者にし

表-2 液状化に対する意識

| | | |
|------------------------------------|----|-----|
| Q19 地震前に「液状化」という言葉を聞いたことがありますか？ | | |
| ・はい | 33 | 82% |
| ・いいえ | 7 | 18% |
| Q20 地震前から「液状化」がどのような現象のことが知ってましたか？ | | |
| ・はい | 26 | 65% |
| ・いいえ | 14 | 35% |
| Q21 地震後に「液状化」がどのような現象か理解できましたか？ | | |
| ・はい | 39 | 98% |
| ・いいえ | 1 | 2% |
| Q22 現在「液状化」を怖いと感じていますか？ | | |
| ・はい | 31 | 78% |
| ・いいえ | 9 | 22% |

表-3 噴砂の目撃証言

| | | |
|--------------------------------|----|-----|
| Q26 噴砂や噴水が出た瞬間を見た時期はいつですか？ | | |
| ・地震発生直後 | 7 | 18% |
| ・地震中 | 0 | 0% |
| ・揺れが収まってから()分後 | 21 | 52% |
| ・その他 | 12 | 30% |
| Q27 噴砂や噴水の勢いはどうでしたか？ | | |
| ・池の噴水のように非常に激しく出るように | 11 | 28% |
| ・蛇口から水道水が普通に出るくらい | 16 | 40% |
| ・地面からわき水がチョロチョロと出る程度 | 9 | 22% |
| ・その他 | 4 | 10% |
| Q28 噴砂や噴水の高さは最高でどの程度まで上がりましたか？ | | |
| ・10cm以下 | 3 | 8% |
| ・10~30cm | 17 | 43% |
| ・30~50cm | 10 | 25% |
| ・50~100cm | 1 | 2% |
| ・100cm以上 | 0 | 0% |
| ・その他 | 9 | 22% |
| Q29 噴砂や噴水の色は何色でしたか？ | | |
| ・黒色 | 0 | 0% |
| ・薄い灰色 | 9 | 22% |
| ・濃い灰色 | 21 | 53% |
| ・薄い茶色 | 3 | 8% |
| ・濃い茶色 | 1 | 2% |
| ・その他 | 6 | 15% |
| Q30 噴砂や噴水の粘り気はどうでしたか？ | | |
| ・非常にさらさら | 12 | 30% |
| ・少し粘り気 | 12 | 30% |
| ・かなり粘り気 | 11 | 28% |
| ・その他 | 5 | 12% |

か分からない地震後の二次災害と言える。

(3)噴砂の目撃証言

有効回答者の全員が地震発生当時に建物内にいたため、液状化を目撃したのは地震後と言える。その時期は表-3のQ26にあるように地震直後かある程度時間が経過してからの2通りであり、後者の方がその割合は多い。揺れが収まってからの経過時間が記載されている18件の回答のうち、5分以内が9件、10~20分が5件、30分が3件、60分が1件となっている。したがって、噴砂や噴水の発生時期としては地震直後と地震後10分以上経過してから発生する2タイプに分類することができる。これは、液状化の程度や表層地盤、また舗装の有無や路面の亀裂等の状況の影響を強く受けると考えられるため、今後さらに検討していきたい。

噴砂の発生状況を見た人にその様子について記述式による回答を求めたところ、「最初は水が噴き出しその後から砂が噴出した」との回答が3件あった。いずれも異なる地点での回答であり、時間の経過とともに噴出状況に変化があることは非常に興味深い。

表-4 液状化による被害

| | | |
|-----------------------------------|----|-----|
| Q34 液状化が原因と考えられる建物や地盤の被害はありましたか？ | | |
| ・はい | 34 | 85% |
| ・いいえ | 1 | 2% |
| ・その他 | 5 | 13% |
| Q35 地面と建物の間に上下方向の段差が生じる被害はありましたか？ | | |
| ・はい | 37 | 92% |
| ・いいえ | 0 | 0% |
| ・その他 | 3 | 8% |
| Q36 その時の上下方向の段差の大きさは最大でどの程度でしたか？ | | |
| ・5cm以下 | 1 | 2% |
| ・10cm | 2 | 5% |
| ・20cm | 10 | 25% |
| ・30cm | 12 | 30% |
| ・30~50cm | 11 | 28% |
| ・50~100cm | 0 | 0% |
| ・その他 | 4 | 10% |
| Q37 その段差はいつ発生しましたか？ | | |
| ・地震発生直後 | 12 | 30% |
| ・地震中 | 5 | 12% |
| ・揺れが収まってから()分後 | 11 | 28% |
| ・その他 | 12 | 30% |
| Q38 その段差の大きさは時間や日数の経過とともに変化しましたか？ | | |
| ・変化しなかった | 3 | 8% |
| ・徐々に大きくなった | 31 | 78% |
| ・徐々に小さくなった | 1 | 2% |
| ・その他 | 5 | 12% |

また、Q27～Q30の結果より、竹内団地で発生した噴砂や噴水の特徴として、濃い灰色の泥水が、蛇口から水道水が普通に出るくらいの勢いで地上10～30cmの高さに噴出していたことが推測できる。粘り気については、噴砂や噴水を見た時期や当該地盤の土質の違いが影響したためか、3通りの回答に均等に分かれた。噴砂や噴水が終了した時期についても回答を求めたが、正確な時間まで記載してあったのは少数であった。そのうち、早いもので10分後、長いもので10時間以上という回答もあったが、1～2時間後という回答が最も多かった。噴砂や噴水の音を言葉で表現してもらった質問に対しては、「サァ」「ゴボゴボ」「チョロチョロ」「ドボドボ」という回答を得た。その他の意見として、「地震直後に屋外へ出た際にアスファルトの割れ目の開閉を見た」という回答もあり、地震動終了後も液状化に起因する何らかの地盤挙動が発生していたことを示唆している。

(4)液状化による被害

竹内団地の現地調査において、液状化が原因と思われる建物と地盤との間に発生した鉛直および水平方向の相対変位を多数確認している。表-4のQ34～Q36の結果はその状況を示すものであり、鉛直方向の相対変位については20～50cmの比較的大きな変位が発生したことが分かる。変位の発生は、噴砂の場合と同様に地震直後とある程度時間の経過があった後であり、後者の具体的回答としては30分後というのが多かった。また、Q38によればその変位が地震後の時間経過とともに徐々に大きくなっていったことが示されており、その変化は早いもので数分後、遅いもので数日後に確認されている。中には余震により大きくなったという事例もあった。アンケートでは水平方向の地盤変位についても回答を求めているが、傾向としては鉛直方向と同様であり、変位量については鉛直変位よりも小さい20cm以下の割合が多く、変位方向については東西方向が最も多かった。前に示した地震時の動的な地盤挙動とともに、ここに示した地震後の静的な地盤変位についても今後検討を要すると思われる。

(5)記録写真とアンケート調査結果との対応

写真-1～4は図-1の地点③にある鳥取県水産試験場敷地内における液状化の記録写真である。撮影時刻はデジタルカメラ内蔵時計の数値であり、ほぼ正確と考えられる。地震発生10分後の正門前の写真では、路面のわずかな沈下と亀裂が確認できるだけであるが、地震発生25分後の同地点には路面亀裂から発生した液状化による噴砂が確認できる。これは、表-3で示したある程度時間が経過してから発生する噴砂のケースと言える。また、写真-3には高さ10cm

程度に噴出する濃い灰色の泥水が写っており、表-3の噴砂の目撃証言とほぼ合致している。また、写真-4は地震発生から1週間後の同地点の路面変位の状況であるが、地震直後の写真-1と比べて、写真手前側の路面の沈下量が増加している様子が分かる。敷地内の地盤沈下が日を追って増加していったという職員の人の証言もあり、表-4で示した地震後の地盤変形の進行を示すものと言える。

(6)液状化現象に与える地盤の影響

竹内団地内の地点ごとの液状化の違いを検討するため、図-1に示すアンケート地点のうち、地点⑧と⑨を西側（陸側）、地点⑤と⑥を東側（海側）として分類しアンケート結果を再集計した。両者の有効回答数は共に20枚づつであり、約10年前に建てられたRC造またはS造の1階で地震を体感した人がほとんどであった。竹内団地の地質断面図²⁾より、図-1の測線Dの地表面下10m程度までの土質を比較すると、東側の測線3付近は全層が軟弱な貝殻混じりの砂質シルトの埋土層であるが、西側の測線5付近はシルト層の下に砂層が堆積する埋土層であり、さらにその下には沖積砂丘砂層が存在していることが明らかとなっている。文献³⁾によれば竹内団地の東側よりも西側で大規模な噴砂、クラック、路面の凹凸が確認されているが、これは、この西側の地盤表層にある砂層の影響と考えられる。噴砂を見た時期に関するアンケート調査結果では、西側の方が地震直後に見た人の割合が多く、砂層が地表面に近い西側の方が噴砂が発生しやすかったためと思われる。

図-2は地震の揺れの体感状況についてまとめたものである。興味深い結果は、西側ではほぼ東西方向の

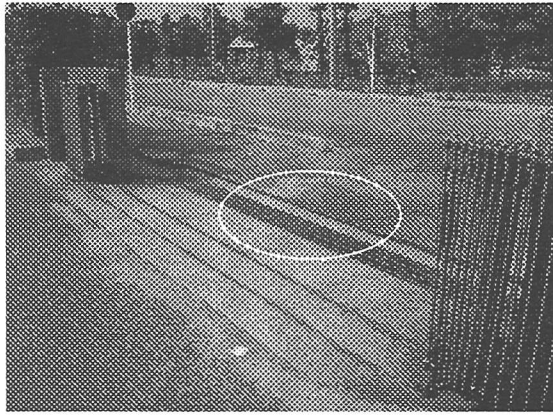


写真-1 路面の沈下と亀裂 (地震発生10分後)

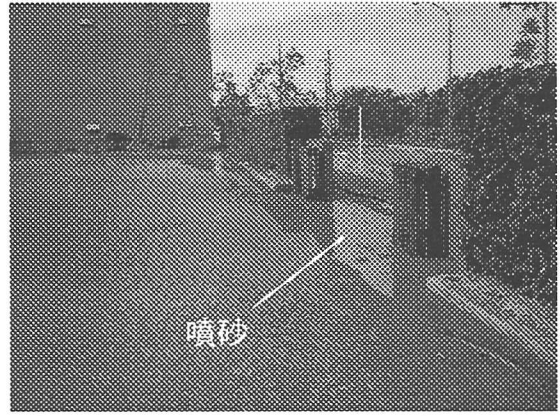


写真-2 路面亀裂からの噴砂 (地震発生25分後)



写真-3 波立つ噴砂 (地震発生26分後)

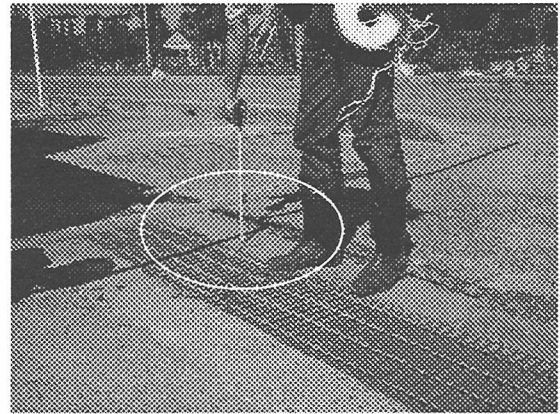


写真-4 路面沈下の増加 (地震発生1週間後)

みの揺れを感じているのに対し、東側ではそれがばらついており、また、ゆったりとした横揺れを感じている回答が多い点である。この体感震動の違いも下部地盤の影響と考えられるため、今後さらに検討していきたい。

4. おわりに

鳥取県西部地震の際の竹内団地における液状化現象の目撃者に対するアンケート調査を実施し、噴砂の発生状況や液状化被害の時間的推移を明らかにすることができた。今後は、この時間的推移が構造物被害に与える影響について検討していきたいと考えている。

謝辞：鳥取県企業局西部事務所より竹内団地の地盤資料をご提供頂きました。また、鳥取県水産試験場より地震直後のデジタル写真をご提供頂きました。ここに記して謝意を表します。最後に、アンケートの趣旨をご理解頂き貴重なご意見を賜りました竹内団地の回答者の方々に心より感謝申し上げます、一日も早い復興を心より祈念申し上げます。

| 西側 (陸側) | | 東側 (海側) |
|--------------------------------|-------|---------|
| Q13 揺れの時間はどのくらいに感じましたか？ | | |
| | 10秒 | |
| | 20秒 | |
| | 30秒 | |
| | 40秒 | |
| | 50秒 | |
| | 60秒 | |
| | 60秒以上 | |
| Q14 上下方向と横方向の揺れではどちらが強く感じましたか？ | | |
| | 上下 | |
| | 横 | |
| | 同じ | |
| Q15 揺れはどの方向に大きく揺れましたか？ | | |
| | 東 | |
| | 西 | |
| | 南 | |
| | 北 | |
| Q16.1 上下方向の揺れの速さはどの様に感じましたか？ | | |
| | 小刻み | |
| | ゆったり | |
| Q16.2 横方向の揺れの速さはどの様に感じましたか？ | | |
| | 小刻み | |
| | ゆったり | |

図-2 地震動の体感状況

参考文献

- 1)鳥取県企業局：境港外港竹内地区埋立事業の概要，1983.
- 2)鳥取県企業局：境港外港竹内地区埋立事業の内 埋立地の地盤沈下等解析業務 附図 地質断面図，1985.
- 3)建設省土木研究所：平成12年(2000年)鳥取県西部地震緊急調査報告書，土木研究所資料，第3769号，p.40，2000.