

芸予地震におけるアンケート調査に基づく 液状化認知方法の開発

森 伸一郎¹・掛水 真一²

¹愛媛大学工学部環境建設工学科 助教授
(〒790-8577 愛媛県松山市文京町3)

E-mail: mori@dpc.ehime-u.ac.jp

²愛媛大学大学院理工学研究科環境建設工学専攻 (〒790-8577 愛媛県松山市文京町3)

E-mail: shinichikakemizu@hotmail.com

2001年芸予地震において液状化に着目したアンケート震度調査が実施された。調査には液状化に関する質問も含まれている。約4万人の有効回答者の内、約千人から液状化があるとの回答を得た。はじめに、調査票に基づき分布図が得られる。発生頻度が震央距離やアンケート震度との関係で統計的に議論される。震度の増加とともに液状化の程度が高くなるのが定量的に明らかにされる。信頼度を高めるため、液状化発生の複数回答の地区に着目して分析され、得られた液状化地図は、現地調査に基づく液状化分布図と傾向が同じで数が約3倍に及び、その有効性が示される。液状化の程度の定量的な指標が提案され、それが地区震度と正の相関があり、アンケート震度算定の有効な指標になる可能性を示した。

Key Words : *liquefaction, questionnaire survey, seismic intensity, 2001 Geiyo earthquake*

1. はじめに

本論文は、2001年芸予地震の際に行われたアンケート震度調査における、液状化に関する設問から得られる液状化地点の把握方法および液状化の程度と震度の関係を明らかにしたものである。

液状化した地盤の挙動は、振動台実験、地震観測、数値解析などの手段により研究がなされているが、まだ未知のことが多い。また、実際の地震被害において、液状化した地盤では、上部構造は振動による被害が少なく、基礎の不等沈下などにより被害が重度になったと考えられる場合がしばしばある。しかし、この解釈においても、地盤の振動が厳密に議論されたものは少ない。したがって、液状化した地盤の地震時挙動を明らかにすることは、今後の耐震設計や地震対策を考える上で、重要である。

一方、地盤の地震時の揺れを調査する方法として、アンケート震度調査は長い歴史を持ち、太田ら¹⁾により体系化され、現在では広く用いられている。簡単なアンケートの設問に答えることにより、定性的な設問ながら、経験的な算式で求められるアンケート震度の地区平均値は気象庁の体感震度に合うように作られており、計測震度に移行して後も算定方法に修正がなされ²⁾、これに比較的よく合うという経験が繰り返されている。アンケート震度は、精度は機械地震計より劣るものの、比較的容易に密度を上

げることができるという利点がある。この調査に液状化の設問を加えれば、液状化地盤の挙動についてある程度定量的な知見が得られることが期待できる。

そのような考え方を背景に、著者の一人は、2000年鳥取県西部地震でアンケート震度調査を行い、算定される震度と計測震度の関係からアンケート震度の精度を確認し³⁾、現地調査で液状化地点を把握する⁴⁾とともに、液状化地点を含む地区とその周辺地区の震度の違いを検討し、液状化した地盤では震度が約0.5大きいことを明らかにした⁵⁾。

2001年3月24日にマグニチュード(Mj)6.7の芸予地震が発生した。この地震において、多くの強震観測網で極めて多数の観測記録が得られた。しかし、それでもなお、特定の地域の局所的な揺れの違いを知ることは困難である。そこで、森ら⁶⁾は、より高密度な震度分布を知ることがを目的に中四国全域のアンケート震度調査を行った。

このアンケート調査でも、液状化に関する設問が設けられており、液状化に関する情報が中四国全域で集められる。一方、この地震において広島県と愛媛県を中心に液状化が発生したが、著者の一人は液状化の現地調査を行った⁷⁾ので、2つの調査法による結果を比較して議論できる。

ここでは、アンケート調査により得られる液状化地点を図化するとともに、液状化の程度と震度との関係を明らかにする。

2. 調査概要と調査方法

(1) アンケート震度

表-1に2001年芸予地震におけるアンケート調査の規模を示す。各県の県立高校に協力を得て原則として1校あたり125枚配布し、生徒の家族を対象とした愛媛県についてはより密度を高めるため、県立高校ではなく公立中学校を対象とした。合計で約3万9千枚を回収した。

アンケート調査は原則として太田ら¹⁾の方法によるものとした。太田らの方法によれば、アンケートの項目は35個ある。感不感の問が1問、場所・条件・属性に関するもの12問、揺れに関するもの21問、その他1問である。また、液状化の有無に関する設問を以下のように追加した。4つの選択肢に続く括弧内の表記は以下の記述の際の省略表記である。

問(31) あなたの家のまわりで、土と水が泥水となって噴きだす液状化現象はありましたか。

- 選択肢
- | | |
|------------|--------|
| 1. 全然なかった | (なし) |
| 2. わずかにあった | (わずかに) |
| 3. かなりあった | (かなり) |
| 4. 非常に多かった | (非常に) |

アンケート震度の算定は、既往の論文⁶⁾に述べられている通りである。最終的に求められる気象庁計測震度と等価な震度 I_M を等価アンケート震度という。

有効回答1枚(回答者一人)ごとに1つの等価アンケート震度が得られる。ところで、求めたいのはある地区の震度であり、前述のようにして求められた等価アンケート震度には個人差が反映されると考えられるので、着目している地域内に居た人による個人差を打ち消し合うのに十分な数の等価アンケート震度の平均を取るのが望ましい。そこで、地震時に同一地域内にいた回答者による等価アンケート震度の平均値を地域震度(regional seismic intensity, RSI)と定義する。原則として、地域震度は地域内

表-1 芸予地震におけるアンケート調査の規模

| 都道府県 | 学校 | | 有効回収 | | 市町村 | | |
|------|------|------|--------|--------|-----|-----|------|
| | 配布校数 | 回収校数 | 回収枚数 | 有効枚数 | 回収数 | 全数 | カバー率 |
| | A | B | D | E | | | |
| 岡山 | 69 | 56 | 4,686 | 4,103 | 72 | 78 | 92% |
| 山口 | 71 | 58 | 5,493 | 4,283 | 55 | 56 | 98% |
| 広島 | 86 | 64 | 6,590 | 5,885 | 76 | 86 | 88% |
| 島根 | 43 | 23 | 1,938 | 1,610 | 45 | 59 | 76% |
| 鳥取 | 27 | 18 | 1,627 | 1,334 | 35 | 39 | 90% |
| 愛媛 | 151 | 137 | 12,528 | 12,082 | 67 | 70 | 96% |
| 高知 | 41 | 24 | 2,273 | 1,998 | 42 | 53 | 79% |
| 香川 | 35 | 27 | 2,317 | 2,068 | 40 | 43 | 93% |
| 徳島 | 40 | 26 | 1,835 | 1,577 | 38 | 50 | 76% |
| 合計 | 563 | 433 | 39,287 | 34,940 | 470 | 534 | 88% |

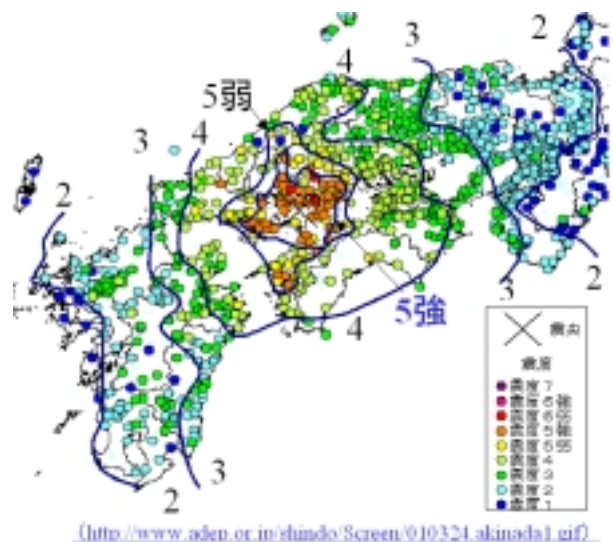


図-1 芸予地震の震度分布(文献11に加筆)

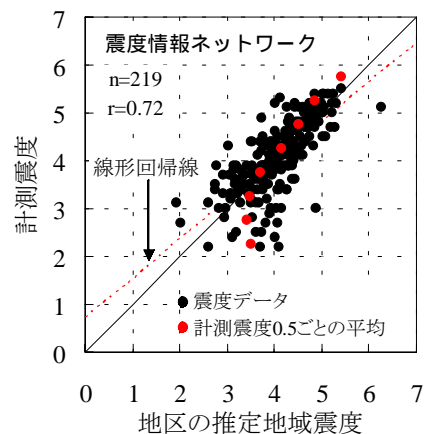


図-2 計測震度と地区震度の関係

の母数(サンプル数)が3以上のものについて求める。着目する地域として最も小さな単位を町丁目・大字として、それらを地区と定義する。地区に対する地域震度を地区震度(local seismic intensity, LSI)、市町村に対する地域震度を市町村震度(municipal seismic intensity, MSI)と言う。震度そのものの議論にはこれら地域震度が有効であるが、本論文では、数少ない個々の液状化を議論の対象とするため、あえて各回答に対して求められる等価アンケート震度を扱う必要がある。そこで、これを個別震度(individual seismic intensity, ISI)と定義する。

図-1に芸予地震の震度分布を示す。気象庁の計測震度を日本地図に色別にプロットしたもの⁸⁾に、著者がコンターラインを引いたものである。アンケート震度調査の対象とした中国・四国地方のほとんどは震度3以上であることがわかる。この図に示されたような計測震度の測定地点を含む地区の地区震度と計測震度を比較することにより、アンケート震度調査法の精度が検討された。

図-2に中四国9県の震度情報ネットワークシステムによる計測震度と地区震度の関係を示す。母数3以上のサンプルで、サンプル数nは219である。一部に

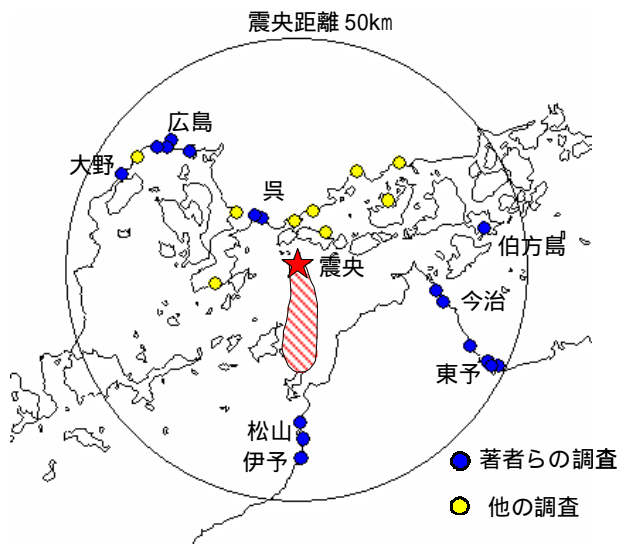


図-3 現地調査に基づく液状化地点⁷⁾

例外はあるが、推定された地区震度と計測震度は概ね1:1の関係にあることがわかる。したがって、震度3以上では求められた地区震度は概ね有効であることが確認できた。切片を持つ直線で回帰すると相関係数 r は0.72となり、回帰式で切片 b が0.71で傾き a が0.82となる。

(2) 現地調査による液状化地点の把握

図-3に現地調査に基づく液状化地点を示す。震央距離50 km以内の愛媛県と広島県の沿岸地域に分布しており、2県26地点(地区)がプロットされている。この分布は、すでに森ら⁷⁾が述べているように、震度5強の領域とほぼ一致していることから、震度5強の揺れのあった液状化しやすい地盤で液状化したと理解することができる。

しかしながら、これまでの液状化調査は、一般に液状化しやすいと考えられる地形や地盤が対象にされる。なかでも迅速な現地調査の容易なところや見渡しの良いところが対象になるために、そのような条件を満たさないところは調査から漏れる。また、多くの場合、構造物の被害との関連で液状化が調査されるので、調査対象となる構造物が無い場合には調査対象から外れる。一般からの液状化の情報は、被害と大きく結びついていない限り、それが技術者・研究者に伝えられる手段はない。また、マスコミの報道は地震直後に限定され情報源も少ないので、報道された箇所は、これまでの経験では、ほぼ確実に調査されていると考えられる。

したがって、様々な地元情報を元に時間をかけて繰り返し調査しなければ、液状化の全貌は把握できない。すなわち、この図のような液状化地図は、液状化の発生に関する主要な地域をおおよそカバーしたものであって、全ての液状化発生地点を示しているわけではない。

しかしながら、液状化現象は経験的に反復して起こると考えられるので、一度でも起きたところをできるだけ把握することは、今後の地域防災では実際に意味のあることである。

3. アンケート調査による液状化分布

(1) アンケート調査による液状化地点の調査

表-2に液状化に関する設問に対する回答状況を示す。町丁目・大字までの住所記入があった回答を対象としている。「わずかに」、「かなり」、「非常に」の3つのいずれかの回答をしたものを「液状化あり」（あるいは、「あり」と表記する）との回答とみなす。9県で約35,000人の内、964人(2.8%)から「液状化あり」との回答を得た。広島が406人(県内回答者の7%)、愛媛が354人(県内回答者の3%)であり、その合計は「液状化あり」の回答者の約8割を示す。それ以外には山口が83人と続く。この3県は震度5強が観測されている地域である。他の県でも各県20前後の回答がある。以下、本章では断りのない限り個別震度を単に震度という。

図-4に全域を対象とした「液状化あり」の回答者の分布図を示す。この分布図には三つの特徴がある。第一に「液状化あり」の回答者は調査全範囲にわたること、第二に震央距離50 kmあるいは、広島、愛媛の瀬戸内海側の海岸線沿いでは震央距離70 kmまでに集中していることである。「かなり」と「非常に」の回答者の分布はその傾向が強い。第三に、震央距離50 km以遠では、「わずかに」の回答者が多くを占めるが、どの県においても、愛媛と鳥取を除く6県では、震央距離約100 kmを越えるところで、「かなり」や「非常に」という回答も見られた。これまでの液状化の常識からすれば、にわかには呑みにするわけにはいかない。そこで、このような特異な回答と常識的に予想できそうな回答とがあることを意識しながら考察した上で、議論を進める。

(2) アンケート液状化地点の回答数の距離減衰

図-5(a)に「液状化あり」の回答者の震央距離別頻度分布を示す。震央距離10 km未満には、わずかな小さい島しかないために0となっている。「わずかに」と「かなり」の回答者数は震央距離が増えるに連れ増加するが、震央距離50 kmを境に急激に減少している。震央距離の2乗に比例して面積は増えるので、仮に人口密度が均質と仮定すると震央距離の2乗で人口が増えるはずである。しかしながら、50 kmまではむしろ震央距離の1より小さい累乗のよう

表-2 液状化に関する問に対する回答の状況

| 県名 | 有効枚数A | 液状化の程度に関する問31の回答数 | | | | | 合計 | B/A |
|-----|--------|-------------------|-----|-----|----|-------------------|--------|-------|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 液状あり (2+3+4)=B | | |
| 岡山県 | 4,103 | 3,050 | 26 | 3 | 2 | 31 | 3,081 | 0.76% |
| 山口県 | 4,283 | 2,533 | 66 | 9 | 8 | 83 | 2,616 | 1.94% |
| 広島県 | 5,885 | 3,220 | 286 | 79 | 41 | 406 | 3,626 | 6.90% |
| 島根県 | 1,610 | 947 | 9 | 3 | 1 | 13 | 960 | 0.81% |
| 鳥取県 | 1,334 | 685 | 16 | 5 | 0 | 21 | 706 | 1.57% |
| 愛媛県 | 12,082 | 8,839 | 298 | 42 | 14 | 354 | 9,193 | 2.93% |
| 高知県 | 1,998 | 1,227 | 16 | 3 | 2 | 21 | 1,248 | 1.05% |
| 香川県 | 2,068 | 1,136 | 14 | 1 | 1 | 16 | 1,152 | 0.77% |
| 徳島県 | 1,577 | 750 | 15 | 0 | 4 | 19 | 769 | 1.20% |
| 合計 | 34,940 | 22,387 | 746 | 145 | 73 | 964 | 24,315 | 2.76% |

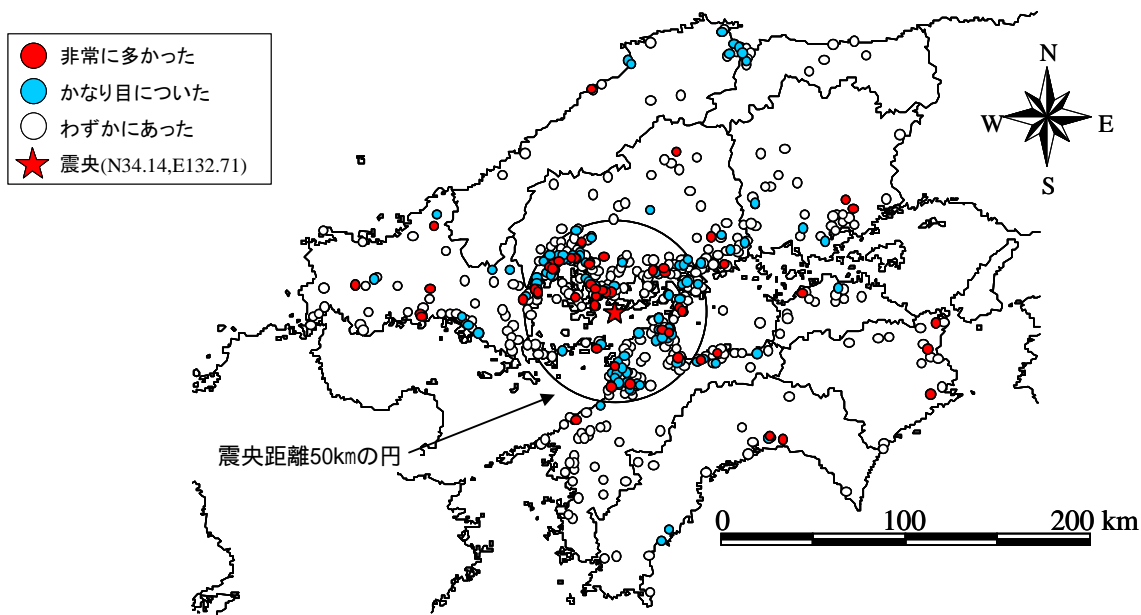


図-4 「液状化あり」の回答者の全域を対象とした分布図

な変化をしているので、人口密度当たりの回答者の数は震央距離が小さいほど大きいことになる。逆に、震央距離50 km以上では、人口密度当たりの回答者数は激減していることを意味する。このことは、図-3で示した現地調査で得られた液状化地点の分布の範囲が約50kmであるという事実と整合する。

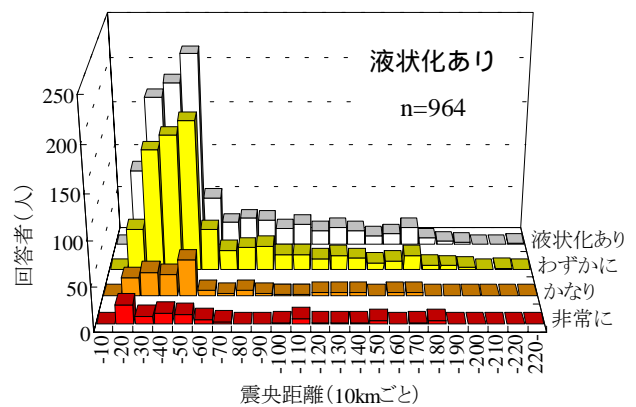
震央距離が10-50 kmの間で注目すると、「わずかに」の回答者の重心は約35 km、「かなり」では約30 km、「非常に」では約26 kmである。おおよその傾向として震央距離が近いほど液状化の程度が高くなるのがわかる。

一方で震央距離50 km以上では、70 kmまでは距離とともに急激に減少し、70 km以上は緩やかに減衰してゆくものの、「液状化あり」と回答する人はかなりいることがわかる。

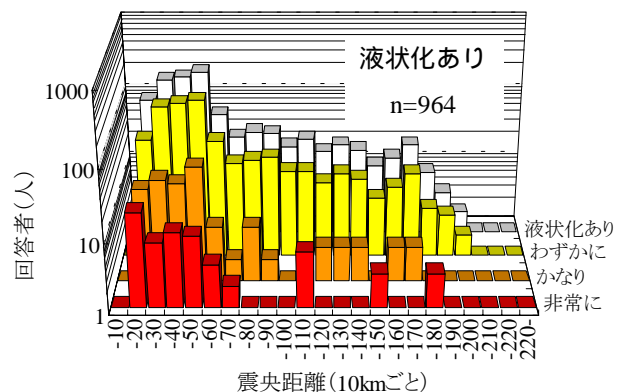
そこで、同じグラフであるが、回答者の軸を対数軸として表現したものを図-5(b)に示す。震央距離50 km以上では、「わずかに」、「かなり」、「非常に」のいずれも70 kmまで急激に減衰している。

70 km以上では「わずかに」の回答者数が距離とともに緩やかに減少している。60-70 kmで22人いたものが160-170 kmで16人である。その後急激に減衰するように見えるが、これは調査対象ではない近畿や九州に及ぶための見かけ上の変化である。一方、「かなり」と「非常に」には、そのような減衰は見られず、70 km以上で散発的に現れているのが特徴である。このような状況は、過去の液状化に関する知見では説明が難しい。これは別途検討の必要がある。また、70 km以上のデータは各回答で19-26 %を占める。

したがって、以上を総括すると、震度5強と5弱の境界におよそ等しい50 kmまでは距離が増すと「液状化あり」が増加し、50~70 kmでは急激に減少している、と言える。



(a) 普通軸表記



(b) 対数軸表記

図-5 「液状化あり」の回答者の震央距離別頻度分布

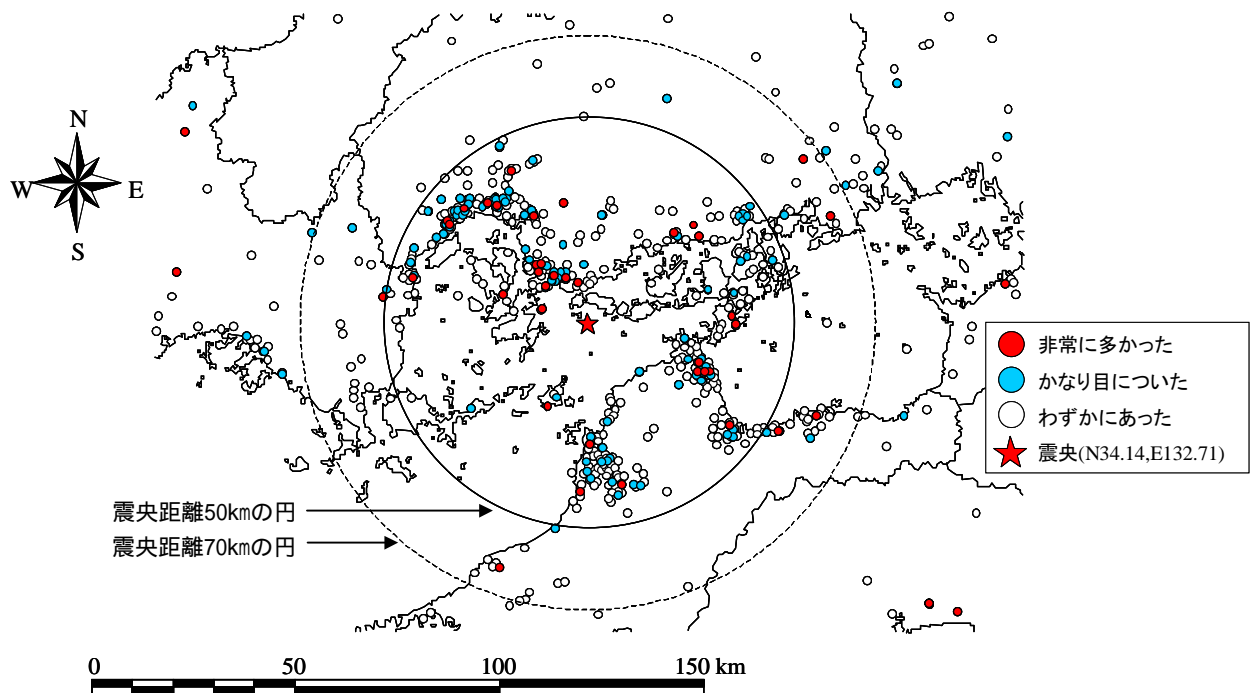


図-6 「液状化あり」の回答者の分布で震央距離 50km 程度の拡大図

図-6に「液状化あり」の回答者の分布で震央距離 50 km程度の部分を拡大したものを示す。図中の円は震央を中心にした半径50 kmの円である。半径50 km以内の瀬戸内海沿岸に沿うように集中して分布している。松山市の位置する松山平野（道後平野）や今治市・東予市の位置する道前平野などの平野に集中して分布している。一方、広島県は呉市、広島市廿日市市に集中している。これらの市町村では「非常に」の回答も多い。両県の瀬戸内海沿岸では、西側では、急激に少なくなるのに対して東側では震央距離70 km程度まで「液状化あり」の地点があるのわかる。地震動の分布に方位性があることを示唆している可能性がある。

(3) 個別震度と液状化の有無・程度の関係

図-7に「液状化あり」と回答した人の個別震度別頻度分布を示す。3段階の液状化の程度のうち、「わずかに」が最も多いので、液状化全体の分布はこれに左右される。「液状化あり」の回答では震度が7.0以上から5.0までは震度が小さくなるほどに放物線状に増えている。これは震央距離の増加とともに増えていった現象と関連がある。すなわち、およその等震度線は震度が小さくなるとともに広がるので、ある震度以上の経験者は距離の2乗で増えると考えられるからである。震度5強に相当する震度5.0～5.5の範囲が最も回答が多く、そのピークを境に減少に転ずるのは、液状化の発生する閾値が、その当たりであることを反映していると考えられる。

一方、「かなり」の回答でも定性的には同様の傾向を示すが、最も回答が多いのは震度6弱に相当する震度5.5～6.0の範囲であり、ピークが高い方にずれている。ところが「非常に」の回答では、震度4.5

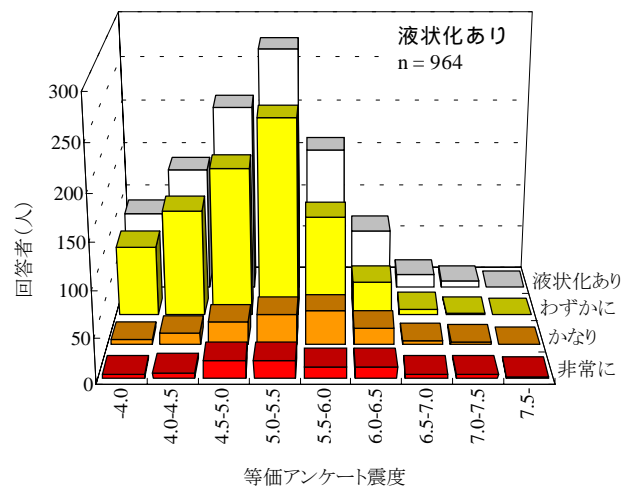


図-7 「液状化あり」と回答した人の個別震度別頻度分布

～5.0と5.0～5.5すなわち震度5弱と5強に回答が最も多く、他の2つの「液状化あり」の選択肢と傾向を異にする。この震度が得られた回答者の多くは、先に示した震央距離が大きい（100 km程度以上）回答者でもあり、徳島、山口、岡山、高知の19歳以下または20才台の男性に多い。仮に特異なデータであるとして棄却してヒストグラムを得ると、最も多い震度は5.5～6.0と6.0～6.5となる。

したがって、液状化の程度に関する回答に見られる最頻値は、「わずかに」で5強「かなり」で6弱「非常に」で6弱または6強であると言える。

以上の考察では、震度の大きさごとに考察したが、その場合、対象となる等震度面積や等震度経験者数の系統的な違いによる影響が含まれている。この影響を排除するために、「液状化あり」の回答者全体

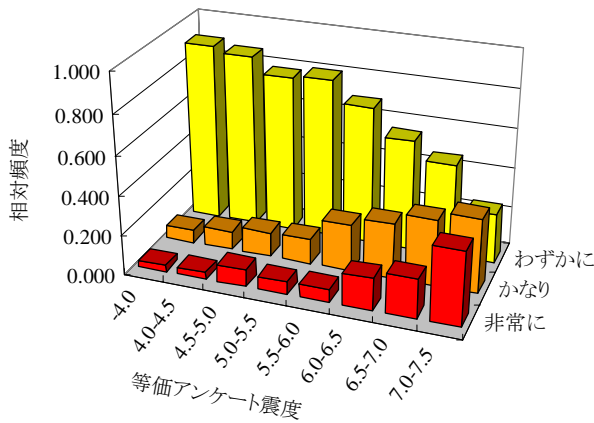


図-8 震度別の各液状化の相対頻度

に占める各々の程度の異なる回答の割合，すなわち相対頻度を検討する．図-8に震度別の各液状化程度の相対頻度を示す．このようにすると，先に述べた震央距離が大きく個別震度が大きくないのに液状化の程度が「かなり」や「非常に」と回答した特異回答者の影響は薄められる．

液状化ありの回答者のうち，震度5強までは「わずかに」が圧倒的に多く程度の違いによる相対頻度は大きく変わらないが，「かなり」の回答は震度6強から大きくなるに連れその割合が明らかに増加している．また，「非常に」の回答は，6強以上でその割合が急増する．すなわち，震度5強までは「わずかに」が大多数を占めるが，震度6弱以上で「かなり」が，6強以上で「非常に」の回答が増え，震度6強以上では，両者の和は「わずかに」を上回ることがわかった．震度が大きくなると液状化の程度が大きくなることが明らかになった．

4. 液状化の程度と震度の関係

(1) アンケート液状化地点の信頼度向上

これまで述べてきたように，震央距離の大きい地点においても，「液状化あり」との回答があった．これに限らず，回答には潜在的に様々な不適切な回答が含まれている可能性がある．これに対しては，(1)実際に液状化があった，(2)液状化現象の認識能力不足による誤認，(3)地震経験地点と異なる居住地との取り違え，(4)異なる地震との混同，(5)意識的な虚偽，の5ケースが考えられる．

例えば，鳥取県の米子市付近に見られる「かなり」の回答者は，明らかに鳥取県西部地震との混同(4)である．これは一部は回答票の自由記述欄の記述からわかるし，また同時期に別途前年の鳥取県西部地震のアンケート震度調査がされていたことが一つの理由としてあげられる．また，先に述べた震央距離が大きく個別震度ISIが大きくないのに液状化の程度が「かなり」や「非常に」と回答した特異回答者には，(5)と判断されるものもあるが断定は困難である．

5ケースの内，原則として，(1)の実際にあったこ

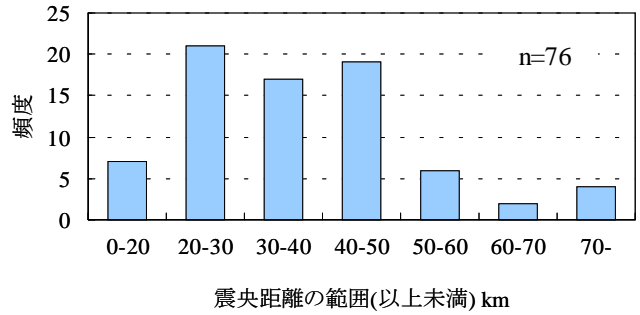


図-9 液状化複数回答地区の震央距離別頻度分布

とを前提に捉えたいが，経験的に技術者ですら認識能力は高いとは言えず，結果の解釈には何らかの配慮が必要になる．これには次の2つの方法が考えられる．

一つは，液状化の程度に関する回答で，「わずかに」，「かなり」，「非常に」という選択肢は，液状化現象の程度として用意されたものであるが，回答者の確信度の反映であると捉えることである．「かなり」と「非常に」は，相対的に信頼度が高いと考える．ただし，虚偽などの可能性のある報告に対しては，無効である．

他の一つは，同一地区における複数の証言で信頼度を高める方法である．アンケート自体の密度が噴砂現象などの液状化現象の発生密度に比較して低いことから，この方法は，著しく潜在的な液状化情報を失うことになるが，反面，複数の証言者が居るほどの液状化と言うことで，客観的な液状化の程度の現れと考えることもできる．虚偽などの可能性のある報告には有効なスクリーニング（不適切なデータの遮断）であると考えられる．

以下では，後者の方法で信頼度の高められた液状化の状況を分析する．

「液状化あり」の回答が複数得られた地区とそこにおける液状化程度の回答とアンケート震度LSIを分析の対象とする．7県から82地区が抽出された．愛媛の39地区と広島29地区と山口の6地区が全体の約9割を占める．他に高知で2地区，鳥取で4地区，島根で1地区，岡山で1地区がある．鳥取の4地区は震央距離が160km以上であり，震度LSIは4未満であり，鳥取県西部地震との混同である可能性が高い．震度LSIが4未満では図-2によると，1点を除き計測震度は4.5未満である．LSIが4未満の地区は鳥取，島根，岡山の全点である．これらは，地区震度の面から信頼性が相対的に低いと判断した．以降の議論ではこれら，3県6地区を除き4県76地区を対象にする．この数は現地調査による液状化地点の約3倍である．図-9に液状化複数回答地区の震央距離別頻度分布を示す．全体の約9割が50 km以内である．図-10に「液状化あり」の回答が複数得られた地区の分布を示す．全体の分布の傾向は，図-3の現地調査による液状化地点分布の傾向を含むほか，それ以外の多くの点分布しているのがわかる．それらは主に海岸部のほか平野，盆地に位置している．

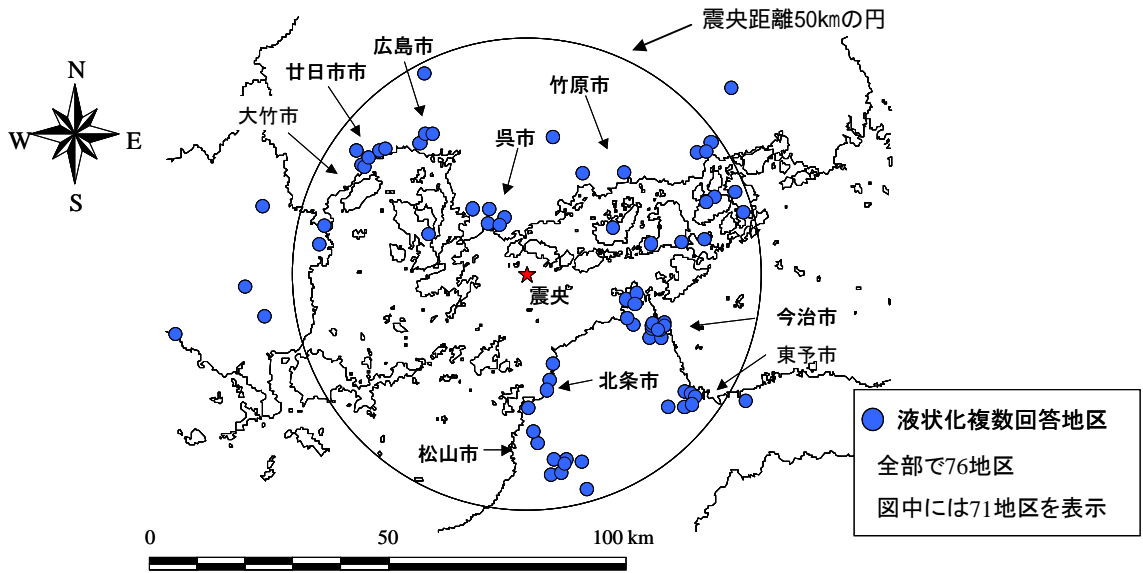


図-10 「液状化あり」の回答が複数得られた地区の分布

以上のことから、現地調査による液状化地点の分布傾向の把握は、アンケート調査による液状化発生の複数回答で信頼度が高く行える可能性を示唆していると言える。また、液状化の発生や確認が見込める地点の重点的な調査である研究者による現地調査と地元の人間による個別の周辺での観察に基づく報告とは全く異なった視点である。したがって、アンケート調査による液状化地点の把握は現地調査と補完的な役割を果たすと考えられる。

また、地区震度LSIは個別震度ISIとは異なり図-2に示したように信頼度の高い指標である。図-11に液状化複数回答地区の地区震度別頻度分布を示す。図-7の分布傾向と同様である。約8割が震度5強または5弱である。残り約2割が6弱と4である。平均値5.0、標準偏差0.37である。最大値6.0は広島県三原市古浜町で、最小値4.1は高知県南国市篠原である。そこで、地区震度と液状化の程度の間を議論する。

(2) 液状化の程度と地区震度

アンケートでは液状化の程度について3段階の選択肢を採用している。この指標は程度を定性的に表したものであって定量的に表したのではない。しかしながら、何らかの定量化ができれば、液状化の程度に関する指標を等価アンケート震度の際に考慮することができ、アンケート震度調査の高度化に有用である。そこで、ここでは、「わずかに」を1点、「かなり」を2点、「非常に」を3点とし、「液状化あり」の回答を対象に平均点を算定し、液状化の程度の定量化を試みる。各個人の回答は個別の情報を含んでいるという意味で重要ではあるが、人によるさまざまなばらつき（液状化現象の理解度、認識と表現の個体差）などがあると考えられる。したがって、等価アンケート震度を地区内で平均化して得られる地区震度を主に定量的な議論の対象にしてきたように、液状化の程度も地区内の複数回答の平均で議論する。この地区の平均点を液状化程度の指標

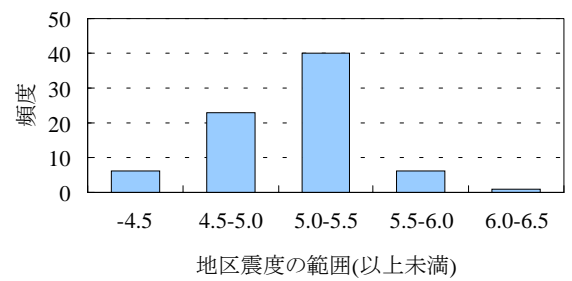


図-11 液状化複数回答地区の地区震度別頻度分布

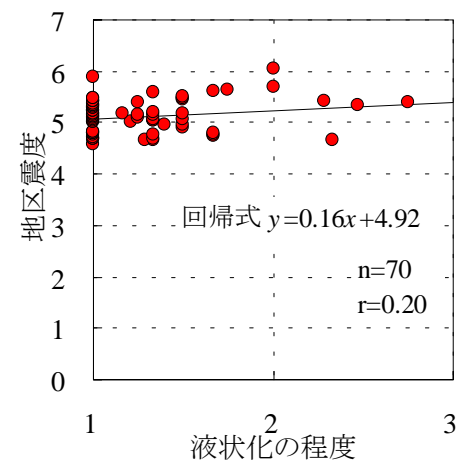


図-12 液状化程度の指標と地区震度の関係

(Index of severity of liquefaction, ISL) と定義する。以後の検討では、信頼度をより高めるため地区震度が4.5未満のもの6地区は棄却する。

図-12に液状化程度の指標と地区震度の関係を示す。図中にも示したが、線形回帰で得られる回帰式は次の通りである。

$$LSI = 0.16 \times ISL + 4.92 \quad (1)$$

液状化の程度は、程度1の「わずかに」に見られる液状化は震度4.5から6に広くばらつくものの、平

均的には震度5である。また、程度2の「かなり」目に付くと答える程度以上に相当する震度は4.7から6.0である。程度3の「非常に」多く見られる液状化はデータは少ないものの、回帰式を適用すると、地区震度5.4が得られる。これは気象庁震度に適用すれば震度5強である。

以上の考察から、次の2つのことが言える。液状化が見られれば、その地点の揺れは平均的には震度5.0であり、「非常に多く見られる」ところは平均的に震度5強である。また、地区震度の増分は低いものの正の相関があり、液状化程度の指標は震度算定に有効な指標となる可能性があると考えられる。

5. 結論

- 1) アンケート調査により964人から得た「液状化あり」の回答の地点分布図を得た。現地調査による液状化地点の分布範囲よりも遠いところでも多く分布する。
- 2) 震央距離50kmまでは距離が増えると「液状化あり」の地点が増加するが、50～70kmでは急激に減衰する。人口密度当たりの「液状化あり」の回答率は距離に応じて減衰するはずであるが、50kmを境に急激に減衰することを意味する。震央距離50km以内の地区は概ね計測震度5強の地域と一致することから、液状化地区の多くは震度5強の地域である。
- 3) 震度5強以下の地区震度では「わずかに」の回答が大多数を占めるが、震度6弱以上では「かなり」「非常に」の回答が増え、震度6強以上では、それらの和は「わずかに」を上回る。震度が大きくなると液状化の程度が高くなる。
- 4) アンケート調査による液状化発生地の複数回答地区は、4県76地区となり現地調査による液状化地点2県26地区と比べて、数は約5倍に相当し、この調査の有効性が確認できた。
- 5) 新たに提案された液状化程度の指標は地区震度と低いものの正の相関があり、両者の回帰式は震度算定の有効な指標となる可能性がある。

謝辞

本研究で用いたアンケート震度調査は、共同調査研究グループ（代表 愛媛大学 森 伸一郎、山口大学 村上 ひとみ先生、松江高専 河原 荘一郎先生、高松高専 向谷 光彦先生、呉高専 重松 尚久先生、荒谷建設コンサルタンツ 山下 祐一部長、及び各大学・高専の学生、社員の皆様）によるものである。震度情報ネットワークのデータは9県の消防防災担当組織より戴いた。また、基となるアンケート震度調査データベースの構築や震度算定作業では元・愛媛大学大学院生の俵 司君（現、ケイ・エム調査設計）によるところが大きい。記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 太田 裕，後藤 典俊，大橋 ひとみ：アンケートによる地震時の震度の推定，北海道工学部研究報告，第92号，pp.117-128, 1979.
- 2) 小山 真紀，太田 裕：アンケート震度の気象庁震度への略算変換式，自然災害科学，17-3，pp.245-247, 1998 pp.307-323, 1998.
- 3) 森 伸一郎，圓井 洋介，盛川 仁：2000年鳥取県西部地震における境港および米子のアンケート震度，第36回地盤工学研究発表会講演集，pp.2127-2128,2001.6.
- 4) 森 伸一郎，門脇 慶典：2000年鳥取県西部地震における液状化調査と噴砂の粒度特性，第36回地盤工学研究発表会講演集，pp. 2153-2154, 2001.6.
- 5) 森 伸一郎：2000年鳥取県西部地震における液状化地盤でのアンケート震度，土木学会第57回年次学術講演会講演概要集CD-ROM，第I部門，2002.9.
- 6) 森 伸一郎，掛水 真一，俵 司，村上 ひとみ，河原 荘一郎，向谷 光彦，重松 尚久，山下 祐一：2001年芸予地震におけるアンケート調査による推定震度の精度とばらつき，第11回日本地震工学シンポジウム論文集，pp. 5-10, 2002.11.
- 7) 森 伸一郎，門脇 慶典：2001年芸予地震における液状化調査，第37回地盤工学研究発表会講演集，pp.1957-1958, 2002.7.
- 8) 地震予知総合研究振興会：ホームページ，<http://www.adepr.or.jp/shindo/Screen/010324.akinada1.gif>

(2003. 7. 14 受付)

Development of a technique for recognizing liquefied sites based on a questionnaire survey on the 2001 Geiyo earthquake

Shinichiro MORI and Shinichi KAKEMIZU

A questionnaire survey on seismic intensity and liquefaction was carried out on the 2001 Geiyo earthquake, and approximately 40 thousand answers including 964 reports on liquefaction observation. First, a map of reported liquefied-sites is shown and frequency of the reports are statistically analysed with regard to epicentral distances and degree of severity of liquefaction. It is clarified that the higher seismic intensity is, the degree of severity of liquefaction is high. Second, local areas with plural reports on liquefaction are focused. The map of the areas shows good agreement with liquefaction map based on site investigation. Finally, an index of severity of liquefaction is proposed to estimate seismic intensity.