

過去の地震における液状化による人的被害

佐藤富男¹・若松加寿江²

¹技研製作所 (〒135-0063 東京都江東区有明1-3-28)

E-mail: tomio.sato@giken-smp.com

²東京大学生産技術研究所 (〒153-8505 東京都目黒区駒場4-6-1)

E-mail: wakamatu@iis.u-tokyo.ac.jp

これまで液状化が原因で死亡または負傷した事例はほとんどないと考えられてきた。このことを確認・検証するために、既往地震における液状化による人的被害について文献調査を行った。その結果、以下のことが判明した。液状化が直接的原因となった被害事例は、噴砂噴水を伴った地割れに落ちて死亡したと考えられる3例のみである。一方、間接的原因となった事例も、液状化による流動等が関与して道路や橋梁が損傷し、これにより死傷事故が発生したと考えられる被害4例、計10名と少ない。しかし、今後、液状化が原因で橋梁等の構造物の倒壊や、ガスや石油の漏洩による中毒や火災が起こり、これによって人的被害が発生することも十分考えられるので注意を要する。

Key Words : Liquefaction, case history, human damage, Hyogoken Nambu Earthquake, Niigata Earthquake, Nihonkai-cubu Earthquake, Kanto Earthquake

1. はじめに

これまで液状化が原因で死亡または負傷した事例はほとんどないと考えられてきており、このため「液状化は怖くない」災害と見なす風潮もでてきている¹⁾。そこで、このことを検証するために、1995年の兵庫県南部地震およびそれ以前の地震における液状化による人的被害について、文献調査により事例の洗い出しを行い、被害の実態を整理・考察した。

2. 兵庫県南部地震による人的被害

1995年兵庫県南部地震では、合計6436人(関連死915名を含む)の死亡と3名の行方不明者が確認されている²⁾。しかしながら、死因については、窒息、圧死、焼死・全身火傷など法医学的立場からの死因が明らかにされているのみであり³⁾、液状化との関連は不明である。そこで、本研究では主として建物、橋梁、ライフライン被害、および地震中の事故に関連する各種報告書や新聞記事等を対象として調査した。ただし、建物被害についてはこの地震による家屋倒壊発生地域が極めて広範に及んでいることから、事例調査地域を以下の3地区に限定して調べた。

液状化が発生した場所と発生していない場所での差異を見るために西宮市南部地区を、また液状化による建物被害が多く発生した地域の中から、古い戸建て住宅が建つ尼崎市築地と新しい戸建て住宅およ

び集合住宅が建つ芦屋市芦屋浜を選定した。

(1) 西宮市南部

図-1に、神戸市東南部から西宮市にかけての液状化による噴砂の分布⁴⁾を示す。国道43号線より海側では広範囲に液状化が発生しており、特に西宮浜、甲子園浜などの埋立地では、ほぼ全域で噴砂を生じている。一方、建物倒壊等による多数の死者が発生した震度7の地域では噴砂はほとんど生じていない。

図-2に、文献5)に報告されている死亡者名簿に基づき、西宮市の町別の死亡者数を集計した結果を示す。本資料に掲載された住所は現住所であり、死亡した場所とは限らない。しかし、地震が発生した時刻(午前5時46分)を考慮すると、現住所と死亡場所は概ね一致していると考えられる。また、図-2の地図データは、町丁目ごとに境界線が描かれているが、死亡者の住所は町名までしか記載されていないため、同一町内では各丁目において、同数の死亡者が発生したとみなして図示した。

10人以上の死者が発生した町は、国道43号線より内陸側の地域に分布しており、臨海地域や埋立地では少ない。埋立地での唯一の死亡事例は、西宮浜と甲子園浜に架かる西宮港大橋の落橋によるもので、地震時に車で走行中の2人が死亡している⁶⁾。落橋のメカニズムは、大きな地震力により支承と桁連結装置が破損した後、橋脚上に振動の位相差による大きな相対変位が発生し、これに液状化に伴う地盤流動の影響が橋の振動に複合的に加わったことによる

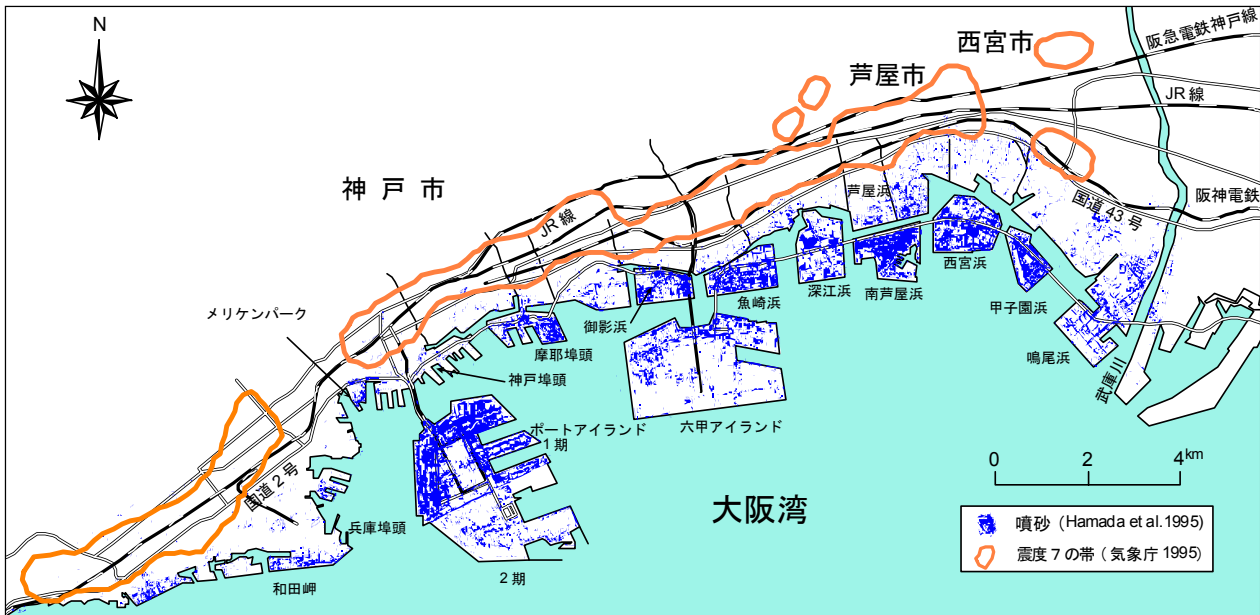


図-1 兵庫県南部地震による阪神地域の噴砂の分布⁴⁾と震度7の帯

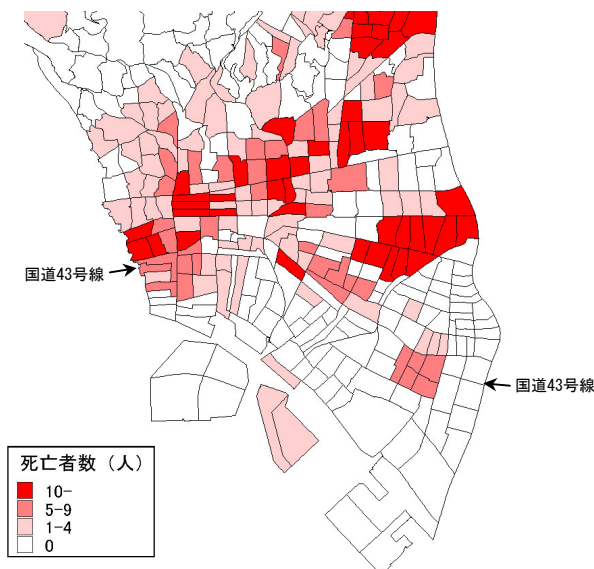


図-2 兵庫県南部地震による西宮市南部の死者の分布

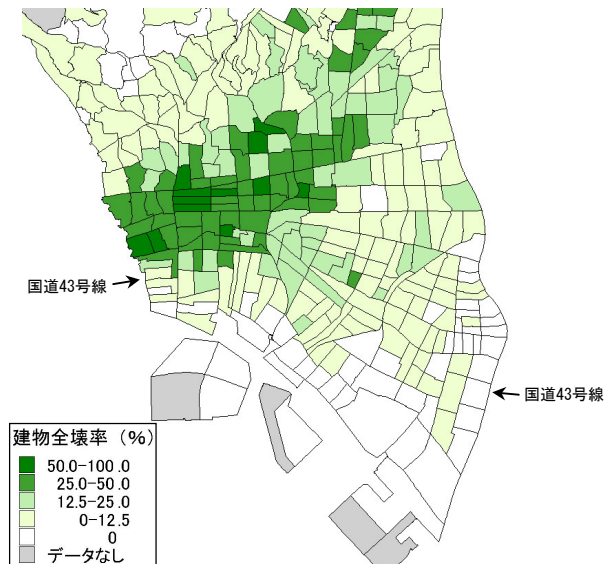


図-3 兵庫県南部地震による西宮市南部の建物全壊率の分布⁸⁾

と推定されている⁷⁾ことから、液状化が関与した死亡例と判断される。

図-2を図-1の液状化の分布と対比すると、液状化が確認された地域では、死者はほとんどいない。例外的に、西宮市南西部の芦屋市寄りの地域に5人以上の死亡者が発生している町がいくつかある。

図-3に建築研究所による建物の全壊率分布⁸⁾を示す。建物の被害程度を表す指標は、全壊率、半壊率、被害率などいくつかあるが、本研究では死亡率と最も高い相関が得られている全壊率⁹⁾と比較することにした。全壊率は、液状化の発生が報告されていない震度7の地域で高くなっているが、液状化が生じた地域でも、市の南西部の芦屋市寄りの町で高くなっている。この地域は、前述の5人以上の死亡者が発生している地域に該当している。このことから、死亡の原因は建物の全壊による可能性が極めて高い。この地域においては、「液状化が原因と断定される

大規模な構造物被害は殆ど確認されていない」と報告されている¹⁰⁾ことから、建物全壊も液状化以外の原因によるものと推定される。

(2) 尼崎市築地地区

築地地区は尼崎市南部に位置する江戸時代の埋立地で、築地北浜、築地本町、築地中通、築地南浜、築地丸島町が立地している。兵庫県南部地震の際には、ほぼ全域に噴砂と沈下が見られ液状化による建物被害が発生した。文献¹¹⁾によれば、この地区の建物は木造が全住家の約9割を占め、1800年代に建てられた古い木造家屋も存在する。液状化によって大半の家屋が、沈下・傾斜などの被害を蒙っているが全壊は少ない。建築研究所⁸⁾による町丁目単位の建物の全壊率は0または12.5%以下と低く、前述の文献⁵⁾による築地地区での死亡者はいない。

(3) 芦屋市芦屋浜地区

芦屋浜地区は1969～1975年にかけて造成された埋立地であり、潮見町、緑町、若葉町、高浜町、浜風町、新浜町が立地している。兵庫県南部地震の際には、図-1に示すように広い範囲で液状化が発生し、地表面は大量の噴砂で覆われた。

本地区では、基礎地盤の液状化により極めて多くの戸建て住宅が不同沈下した。芦屋市家屋被害判定検討委員会¹²⁾の調査によれば、全998棟の戸建て住宅と集合住宅のうち、6割以上が1/100以上傾斜した。しかし、構造的被害は少なく建築研究所⁸⁾によれば、全壊と認定された建物はなく、また前述の文献⁵⁾による芦屋浜での死亡者はいない。

(4) その他の地域における人的被害

神戸市東灘区御影浜町のMCターミナルでは、LPGタンクに接続された配管系の継手部から液化ガスが漏出する被害が発生し、事業所周辺の住民に対して避難勧告が出され、約70,000人が避難した。被害原因は、タンク周辺地盤が液状化により著しく変状したため配管系統の相対移動が起り、タンクから緊急遮断弁に至る配管継手部に過大な応力が発生し、機密性が失われたためと推定されている¹³⁾。この事故では幸い死傷者は出なかった。

洲本市物部では、損傷したガス導管(低圧)から漏洩したガスによる一酸化炭素中毒で4名が死亡し5名が中毒にかかったと報告されている¹⁴⁾が、導管の損傷原因については公表されておらず、液状化が関与していたかは不明である。

3. 古い地震による液状化による人的被害

(1) 1923年関東地震

震源に近い神奈川県茅ヶ崎市中島の道路では、「地下水を噴きだした地割れに落ちて少女が溺死した」という地震体験者の証言が得られている¹⁵⁾。

(2) 1948年福井地震

福井市和田出作町の一水田では、地震当時芋掘りをしていた37歳の女性が地割れに落ち胸の辺まで埋まって死亡したとの報告¹⁶⁾がある。発掘に従事した人によれば、腹部が圧迫されたことによる圧死と推測されている。中央気象台¹⁶⁾によれば、付近には幅25～30cm、長さ100m位の亀裂が2本が残っており、その1本の最終端に落ち込んだと推測されている。同様の報告は、文献¹⁷⁾にも記載されている。

上記の地点は、現在の福井市勝見3丁目足羽川右岸沿いの地区である。2文献による被害状況は若干異なるが、同一人物に関する記録と思われる。死亡原因は文献中の記述のみから判断すると地割れの開閉による圧死と推定される。出作地区の上流側に架かる上板垣橋は、左岸寄り6経間の橋脚が左岸側へ1～10度傾斜し、橋台は13経間中8経間が落下した記録¹⁸⁾があること、河川沿岸に地割れが形成されたこ

とから、死亡原因となった地割れは液状化に伴う流動によるという推論も成り立つ。しかし、この地震に関する諸記録には当該地点周辺での液状化の痕跡は確認されておらず¹⁹⁾、現時点では上記を液状化による被害とは断定できない。

(3) 1964年新潟地震

新潟市小針2605番地では、「広川チヨ子さん(25歳)が地下水を噴出した地割れに陥って死亡した。地震後、砂の間から片腕だけが空中に出ていたので、掘り出してみると、地割れに落ちた広川さんが這い上がろうとして片腕を上げたまま砂に埋まって死んだことがわかった」²⁰⁾との記録がある。

阿賀野川河口近くに架かる松浜橋では、タクシー2台と歩行者が松浜橋の中央で地震に遭い、橋台と伴に川に転落し運転手らが怪我をした²¹⁾。松浜橋は長さ900m余りの橋梁で、落橋の様子とタクシーの被災を裏付ける写真が、地震直後に撮影された航空写真集²²⁾に収録されている。

地震の際、上記の松浜橋左岸側の堤防付近では、広範にわたって多数の噴砂が観察されており²³⁾(右岸側については未調査)、右岸・左岸とも、顕著な堤体の亀裂・沈下が報告されている²⁴⁾。また新潟地震時、松浜橋下流100mのところ架設中の新しい松浜橋は、支間全長で580mmの短縮があり、この変化は主として右岸橋台の河心方向への押し出しと推察された。また基礎の井筒は最大下流方向へ235mm移動しているのが観察され、P9橋脚は60mm沈下した。このP9橋脚のすぐ脇で実施したボーリング調査結果によれば、N値10以下のゆるい砂層が地表より12m堆積しており、河床地盤が液状化したことによる被害と推定されている²⁴⁾。以上のことから、人的被害の原因となった松浜橋の落橋は、液状化が関与している可能性が極めて大きいと考えられる。

山形県酒田市立第三中学校では、校庭を横切って避難中の女子生徒が液状化した地盤にできた地割れに落ちて死亡した²⁵⁾。敷地は最上川河口部の埋立地で、激しい液状化が発生した。文献²⁶⁾には、「…生きた心地もなく、ひょいと先を見ると女の子が地割れに落ちて肩のあたりまで地中に入り手をあげて何か叫んだように思いますが、一瞬の出来事ですすぐ地割れは閉まり女の子の姿は地中にかくれて見えなくなりました。割れ目から水を吹きだしたのはその後です」(死亡した女子生徒の最期を見た人の話：酒田三中新聞より)と記録されている。

(4) 1983年日本海中部地震

秋田県能代市河戸川の県道7号線では、路面がバックリングして盛り上がり、走行中の乗用車がそこでバウンドして歩道に突っ込み、通行人をはねて死亡させた²⁷⁾。道路の被害について、「河戸川地区は在来のコンクリート舗装の上にその後4cmのアスファルト舗装でオーバーレイしている。地震発生と同時に、コンクリート舗装版の目地や歩道の割れ目から砂が噴き上げた様子を多数の通行人が目撃してお

り、路床部は砂の液状化によって変状を起こしていると推測された」と記録されている²⁸⁾。また河戸川地区は液状化により地表面で1~2mの水平変位が観測されており²⁹⁾、路面のバックリングの原因は液状化による流動と推定される。ただし、この死亡事例は地震による被害統計には計上されていない³⁰⁾。

(5) 1993年釧路沖地震

釧路市では、都市ガスの漏洩により48名が一酸化炭素中毒にかかり、うち1名が死亡している³¹⁾。筆者らの聞き込み調査によれば、死亡事故が発生した釧路市大楽毛の集合住宅には、基礎周囲に大きな地割れができたとのことである。この地割れがガス導管の損傷原因と思われるが、噴砂は確認されていない。一方、2名の中毒患者を出した釧路市美原は、広い範囲で液状化が確認された地区であり、ガス管の損傷も液状化が原因と推定される。

4. まとめ

液状化が原因となって人的被害が発生した事例をまとめると表-1のようになる。液状化が直接的原因の死亡事例は、これまでに知られている3例のみであった。液状化により土木構造物等が損傷し、これにより死亡・負傷した例は4例確認された。

兵庫県南部地震の際に液状化が発生した地域では建物の全壊率が低く、死亡者も極めて少なかった。液状化による地盤の免震効果が人的被害の低減に寄与したと考えられる。しかし、落橋やガスの漏洩など構造物の損傷により2次災害を引き起こすポテンシャルは、大都市圏の拡大・過密化に伴い今後益々高まるものと考えられる。このことから、液状化は「怖くない災害」とみなすのは戒めるべきである。

表-1 液状化による人的被害事例

地震	被害発生場所	被害原因
1923年関東地震	茅ヶ崎市中島	地割れに落ちて1名死亡
1964年新潟地震	新潟市小針	地割れに落ちて1名死亡
	新潟市松浜	松浜橋の落橋により川に転落して5名負傷
	酒田市入船町第三中学校	地割れに落ちて1名死亡
1983年日本海中部地震	能代市河戸川	変形した路面にハンドルを取られた車両に轢かれて1名死亡
1993年釧路沖地震	釧路市美原	ガス導管の損傷により2名が一酸化炭素中毒
1995年兵庫県南部地震	西宮市甲子園浜	西宮港大橋の落橋により車で走行中の2名が死亡

謝辞：本研究は、土木学会 レベル2地震動による液状化研究小委員会のワーキングの一環として実施した。貴重なご助言を賜った國生委員長および委員各位に深謝の意を表します。

参考文献

- 1) たとえば、伯野 元彦：液状化は怖くない、地震ジャーナル、34, p.40, 地震予知総合研究振興会, 2002.
- 2) 内閣府 編：平成15年版防災白書, p.5, 国立印刷局, 2003.
- 3) 西村明儒：法医学から見た死亡原因, 地震時支障問題に関する学際シンポジウム報告書, 人的被害研究会1997.
- 4) Hamada, M. Isoyama, R. and Wakamatsu, K.: The 1995 Hyogoken-nanbu (Kobe) Earthquake, Liquefaction Ground Displacement and Soil Condition in Hanshin Area, 地震予知総合研究振興会, 1995.
- 5) 毎日新聞社：阪神大震災全記録, 毎日ムック, 1995.
- 6) 毎日新聞社：毎日新聞東京本紙夕刊1面, 1995.1.26.
- 7) 阪神・淡路大震災調査報告編集委員会：阪神・淡路大震災調査報告, 土木地盤1, 土木学会, 1998.
- 8) 建設省建築研究所：平成7年兵庫県南部地震被害調査最終報告書, 1996.
- 9) 糸井川栄一：建物被害状況からみた人的被害のマクロ分析地震時の人的被害に関する総合研究, 東濃地震科学研究所報告, No.2, 地震予知総合研究振興会, pp.1-11, 1999.
- 10) 阪神・淡路大震災調査報告編集委員会：阪神・淡路大震災調査報告, 共通編-2, 土木学会・日本建築学会, 1998.
- 11) 小檜山雅之, 堀江 啓, 牧 紀男, 林 春男, 田中 聡：災害対応としての建物被害認定過程に関する研究, 日本建築学会構造系論文集, 第531号, pp.189-196, 2000.
- 12) 芦屋市家屋被害判定検討委員会：芦屋市家屋被害判定検討委員会報告書, 1995.
- 13) 阪神・淡路大震災調査報告編集委員会：阪神・淡路大震災調査報告, 建築3, 日本建築学会, 1997.
- 14) 阪神・淡路大震災調査報告編集委員会：阪神・淡路大震災調査報告, 土木地盤9, 土木学会, 1997.
- 15) 古藤田喜久雄, 若松加寿江, 渡辺一夫：関東大地震による相模川下流地域の液状化発生地点と地形・地盤条件との関係, 第21回土質工学研究発表会講演集, pp.824-828, 1986.
- 16) 中央气象台：福井地震調査概報, 検震時報第14巻別冊, 1948.
- 17) 日本学術会議福井地震調査研究特別委員会：昭和23年福井地震調査研究速報, 1949.
- 18) 北陸震災調査特別委員会：昭和23年福井地震震害調査報告 I 土木部門, 1950.
- 19) 若松加寿江：日本の地盤液状化履歴図, 東海大学出版会, 1991.
- 20) 新潟市：新潟地震誌, 1966.
- 21) 新潟日报社：新潟地震の記録, 1964.
- 22) 地盤工学会：液状化災害発生直後の新潟市街地航空写真集, 1999.
- 23) 国土地理院：新潟地震—被災状況と土地条件—, 1965.
- 24) 土木学会新潟震災調査委員会：昭和39年新潟地震震害調査報告, 土木学会, 1966.
- 25) 酒田市総務課：新潟地震における酒田災害の記録, 1966.
- 26) 富沢 襄, 富沢 尹：新潟地震における酒田の記録, 未刊行本, 酒田市光丘図書館所蔵, 1964.
- 27) 北羽新報社：日本海中部地震 M7.7真昼の恐怖—直撃地, 能代・山本の記録—, 1983.
- 28) 土木学会日本海中部地震震害調査委員会：1983年日本海中部地震震害調査報告書, 1986.
- 29) 濱田 政則, 安田 進, 磯山 龍二, 恵本 克利：液状化による地盤の永久変位の測定と考察, 土木学会論文集, 第376号/III-6, pp.211-220, 1986.
- 30) 能代市：昭和58(1983年)5月26日日本海中部地震 能代市の災害記録—この教訓を後世に…—, 能代市, 1984.
- 31) 日本ガス協会：釧路沖地震, 北海道南西沖地震と都市ガス, 1994.
- 32) 1993年地震災害調査委員会：1993年釧路沖地震・能登半島沖地震災害調査報告書, 土質工学会, 1994.

(2003. 10. 10受付)