

埋立地の液状化の歴史

Liquefaction History of Reclaimed Land in Japan

若 松 加寿江 (わかまつ かずえ)

早稲田大学理工学研究所 特別研究員

1. はじめに

ウォーターフロントという言葉が日本で盛んに使われだしてから5年余りになるだろうか。埋立地は従来、港湾・空港・工場用地など限られた用途のみに利用されてきたが、最近ではリゾート施設やコンベンションセンターなど新しい時代の要請に答えた施設が続々と建設されつつあり、ウォーターフロントという新しい呼び名のもとに急速に脚光を浴びるようになった。その一方で、1987年千葉県東方沖地震や1989年ロマプリエタ地震では、液状化が埋立地に集中して発生し、液状化をはじめとする地震時の安全性に対する様々な問題が投げかけられた。

わが国で埋立地が急増したのは、昭和30年代後半、いわゆる高度成長期以降のことである。ところが、その後の地震で埋立地が大地震に見舞われた例は少なく、埋立地において地震時にどのような被害が発生するかは明確とはいえない。筆者は上記の2地震をきっかけに、既往の地震による埋立地での液状化事例を収集し、被害の様相や埋立条件等を調べている。本稿では、わが国の埋立地における液状化事例の歴史の変遷を紹介したいと思う。

2. 調査方法

筆者は十数年来、文献調査や聞き取りを通じて、全国の液状化に関する地震の記録を収集してきた¹⁾が、その中から、埋立地で液状化が発生したと思われるケースを選び出した。液状化が発生したことの確認は、地中からの噴砂・噴泥・噴水、噴砂丘の形成および地中に埋設された構造物の浮上などの記録や証言によった。

埋立地の抽出は、文献、既存の地形分類図、土地条件図、古い地形図、航空写真などに基づいた。こ

の場合、埋立地は海・河川・湖沼など、元々水面であった地域を埋め立てた大規模な造成地に限定しており、小さな池沼の埋立地、干拓地（排水によって陸地化した土地）や水田上の盛土造成地は除外した。

3. 埋立地における液状化発生事例

調査の結果、表—1に示した地震によって、埋立地で噴砂・噴水等を生じたことが確認された。年代的にみると、古くは安政2年の江戸地震や明治27年の東京湾北部地震（東京地震とも呼ばれている）をはじめとして、1987年千葉県東方沖地震まで、22回の地震に及んでいる。また、被害との関連を見ると、表—1に示すように大部分の地震で、液状化によると思われる構造物被害を生じている。

図—1は、表—1の地震で液状化が発生した埋立地の分布を示している。この図では、各液状化発生地点は、簡略化のため都市町村ごとにまとめてプロットしているが、実際は埋立時期の異なる200ブロック以上の埋立地にのぼっている。図を見ると、過去に液状化が発生したと推定される埋立地は、北海道から沖縄県まで全国に及んでいることが分かる。

以下に、表—1の主な地震での液状化発生状況の概要を年代順に紹介する。

3.1 1855年安政江戸地震

東京を襲った直下型地震として有名なこの地震では、品川沖の御台場で液状化が生じたと推定される。御台場は嘉永6年(1853)、外国の侵略に備えて築かれた砲台で、れっきとした埋立地である。文献²⁾によれば、「御殿山並に 泉岳寺門前の山を崩し、其土を以て品川沖に砲台を築く」とあり、淀橋台地の土で埋め立てられたと思われる。造成2年後の江戸地震で合計7基の台場のうち第二台場、第六台場で被害が報告されている³⁾。第六台場では「地も少々は

表-1 埋立地における液状化発生事例

地震名 (発生年)	M	埋立地に液状化が発生した地域	被害を受けた構造物
安政江戸 (1855)	6.9	品川御台場	?
東京湾北部 (1894)	7.0	東京	建物
関東 (1923)	7.9	東京, 川崎, 横浜, 千葉, 木更津	建物, 道路, 護岸
北丹後 (1927)	7.3	京都府宮津	建物
能登半島 (1933)	6.0	石川県七尾	建物
静岡 (1935)	6.4	清水港	岸壁, 建物
河内・大和 (1936)	6.4	大阪府堺	?
男鹿半島 (1939)	6.8	秋田県船川港	?
東南海 (1944)	7.9	大阪港, 名古屋	建物, 道路
南海 (1946)	8.0	和歌山港, 徳島港, 大阪港, 大分県臼杵, 広島	建物, 護岸
石垣島 (1947)	7.4	沖縄県西表島	建物
大聖寺沖 (1952)	6.5	石川県手取川河口	家屋
日向灘 (1961)	7.0	宮崎県南郷町	漁業施設
男鹿半島沖 (1964)	6.9	八郎潟, 秋田港	堤防, 建物, レール
新潟 (1964)	7.5	信濃川下流部, 最上川河口部, 雄物川下流部, 八郎潟	建物, 道路, 護岸, 港湾施設, 堤防, 埋設管
日向灘 (1968)	7.5	熊本県八代, 高知県土佐清水	家屋
十勝沖 (1968)	7.9	函館, 室蘭港, 青森港, 八戸, 八郎潟, 青森県下北駅	建物, 港湾施設, タンク, レール, 駅舎
根室半島沖 (1973)	7.4	北海道花咲港, 霧多布港, 釧路港	港湾施設
宮城県沖 (1978)	7.4	石巻市, 矢本町, セキ浜町, 亘理町, 多賀城市, 名取市	港湾施設, 建物, 護岸, 道路, グラウンド
浦河沖 (1982)	7.1	浦川港, 苫小牧東港, 室蘭港	港湾施設
日本海中部 (1983)	7.7	秋田港, 船川港, 八郎潟, 能代港, 青森港	建物, 堤防, 港湾施設, 護岸, レール
千葉県東方沖 (1987)	6.7	東京, 浦安, 千葉, 市原, 袖ヶ浦, 利根川下流部沿岸	道路, 護岸, 建物付属施設, 家屋



図-1 埋立地における液状化履歴地点の分布

震ひ割夫より水を吹候」(むし倉後記)と記載されており、地割れから噴水があったと推定される。ちなみに、7基の台場のうち現存しているのは第三台場と第六台場だけである。

3.2 1894年東京湾北部地震

この地震では東京の下町を中心に液状化が見られた。そのうち埋立地での事例は江東区の木場町と州崎弁天町2例だけである⁴⁾。木場町は元禄10年(1697)に入海州渚を塵捨場として埋めたと記録されている。ただし、木場はその名が示すとおり貯木場が多数あり、後年貯木場を埋立てた所で液状化が生じたとも考えられる。州崎弁天町は明治19年(1886)、地震の8年前に竣工したばかりの埋立地である。

なお、現在の東京江東区と中央区の大部分は約350年前には入り江であったことが知られている。この入り江に相当する地域では、この地震や次に述べる関東地震で噴砂・噴水の記録が多い。しかし、大部分が新田開発を目的に陸地化された干拓地であるため、本稿の冒頭でおことわりしたように埋立地の液状化事例には含めなかった。

3.3 1923年関東地震

関東地震では、東京中央区・江東区・港区・大田区・品川台場、川崎市、横浜市、千葉市、木更津市など、東京湾沿岸の埋立地で液状化が発生している^{5)~12)}。同一時期に造成された埋立地を1ブロックと見なすと、35ブロックで液状化を生じたことになる。品川台場を除けば大部分が造成後35年未満の比較的若い埋立地である。

中央区月島地区は明治24年(1891)に竣工した埋立地であるが、広い範囲で噴砂・噴水があり、護岸に平行な地割れができ、護岸のはらみ出しや崩壊を生じたことが報告されている^{5),7)}。

江東区でも各所で液状化が発生している。東京湾北部地震で噴砂があった州崎弁天町では、この地震でも噴砂を生じている⁸⁾。

品川台場では、第二、第三、第四台場で噴砂・噴水があり、堤防や建物に顕著な被害が報告されている⁹⁾。安政江戸地震で液状化が発生した第六台場では、噴砂の記録はないが、地割れや沈下があり、れんが造倉庫の基礎が全部土中に沈み込んだことなどが記載されている⁹⁾ことから、この地震でも液状化が発生したと想像される。

川崎市南渡田町の日本鋼管の敷地では、工場内の数10箇所より噴砂があり、最大の噴砂孔は長径270cmに及び、建物に甚大な被害を生じたと報告されている¹⁰⁾。ここは大正初期に海辺の湿地に2m以上土砂を盛って造成された地域である。

横浜では、横浜港沿岸の埋立地で液状化によると考えられる地盤変状や構造物被害が多数発生している¹¹⁾。その最たる例は高島貨物駅構内(現高島1丁目)で、地盤の地割れ・沈下が著しく、噴き出した泥水のため一面泥海と化した。地盤の沈下は、その量を計る基準となるものがないほど広範囲で著しかったという。帷子川鉄橋付近からみると最大沈下量は240cmに及ぶとみられ、線路は上下左右に屈曲し、石炭を積んだ車両などは枕木と共に半ばまで泥中に埋まったと報告されている¹¹⁾。高島町一帯の埋立には、神奈川台の山砂が用いられたとの記録があり、竣工は明治45、46年頃である。

3.4 1944年東南海地震

東南海地震では、名古屋港に面した埋立地や干拓地で広範囲にかなり激しい液状化が発生したようである。その様子は文献¹³⁾に詳しく記載されている。これによると、図-2に示す地域で噴砂・噴泥・湧水を生じ、これらの地変によって多数の家屋が甚大な被害を受けた。中には家屋が1~1.5m沈下した例もあった。これらの被害を生じた地域は、明治40

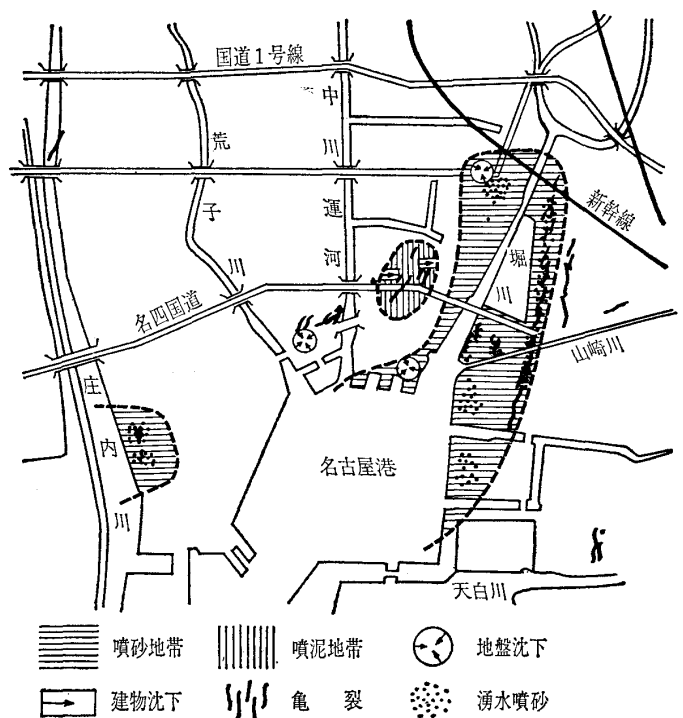


図-2 東南海地震における名古屋市南部地域地変

年から昭和3年にかけて造成された1号～8号埋立地や1800年代前半の干拓地である。

3.5 1946年南海地震

南海地震では、和歌山港、徳島港、大阪港、広島市宇品、大分県臼杵など、局所的ではあるが広範囲で泥水の噴出が報告されている^{14)~16)}。ただし、この地震と前述の東南海地震は戦時中に発生したため被害記録が十分残されておらず、上記の地点についても被害等の詳細は不明である。

3.6 1964年男鹿半島沖地震

この地震は次に述べる新潟地震の40日前に発生した。地震の前年に完成したばかりの八郎潟干拓地の堤防は液状化による大きな被害を受けた¹⁷⁾。八郎潟干拓堤防はその後、1964年新潟地震、1964年男鹿沖地震、1968年十勝沖地震、1983年日本海中部地震で被害を受けており、その状況は文献¹⁷⁾にまとめられている。

3.7 1964年新潟地震

新潟地震は液状化研究の端緒となったことであまりにも有名である。新潟市信濃川沿岸地域で大規模な液状化が発生し、建物、橋梁、護岸、埋設管、港湾施設など、ありとあらゆる構造物に大きな被害を与えた^{18)~21)}。液状化が顕著であった地域は信濃川が過去約300年間に蛇行したゾーンであることがその後の調査で明らかとなった。そのうち現在の信濃川の沿岸部は明治末期から昭和30年頃にかけて信濃川の浚渫砂で埋立てられた地域である。鉄筋コンクリート造4階建てのアパートが転倒した川岸町は昭和6年頃に造成されている。

この地震では、新潟市のほか山形県酒田市の最上川河口の埋立地でも液状化による被害が発生している^{22),23)}。入船町の市立第3中学校では、地下水の噴出によって泥海と化した校庭を避難途中の女生徒が、いたましくも大きな地割れに落ちて亡くなった。

このほか、秋田港本港・内港地区や秋田市新屋元町の雄物川の旧河道埋立地でも局所的に液状化による被害が発生した^{24),25)}。ここでは、後述する日本海中部地震でさらに大きな被害が発生している。

3.8 1968年十勝沖地震

この地震では、北海道函館港・室蘭港、青森港・青森駅などの海岸埋立地で液状化が多くみられ、港湾施設や一般家屋にかなりの被害を与えている^{26)~28)}。

これらの地域の大部分は造成後数年から20年未満の若い埋立地であったが、青森駅国鉄第2岸壁は大正13年(1924)に竣工した比較的古い埋立地である。

このほか、震央から300km以上離れた秋田県八郎潟正面堤防でも、液状化による被害が報告されている¹⁷⁾。

3.9 1973年根室半島沖地震

北海道東部の太平洋に面する花咲港、霧多布港、釧路西港において、岸壁や物揚場での噴砂と施設の被害が発生している²⁹⁾。大部分が造成後10年未満の浚渫による埋立地である。

3.10 1978年宮城県沖地震

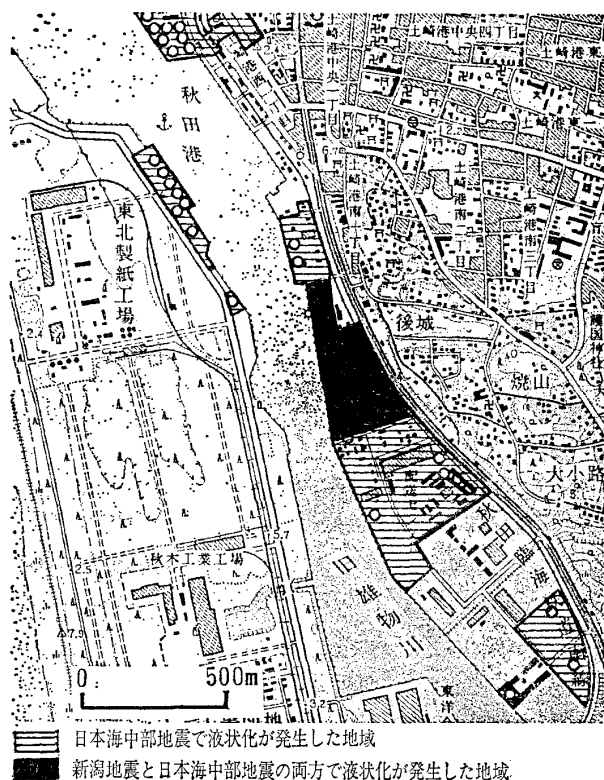
この地震では、宮城県下の石巻工業港、石巻漁港、矢本町大曲浜、名取市閑上漁港、亶理町荒浜などの海岸埋立地で液状化が発生した^{30)~33)}。亶理町荒浜では、液状化による激しい地盤変状が広範囲に発生したにもかかわらず、基礎工事をしっかり行っている建造物は被害を免れたことが報告されている³⁰⁾。

3.11 1982年浦河沖地震

この地震では浦河において震度Ⅵという局地的に強い地震動が観測されたが、浦河港では建設されたばかりの中央突堤に噴砂を生じただけで³⁴⁾、大規模な液状化は発生していない。これに対して、室蘭では震度Ⅲであったにもかかわらず、室蘭港の西3号埠頭および入江地区の一般埋立地で小規模な噴砂が観察された³⁵⁾。このほか、苫小牧東港でも地震当時造成中の埋立地に広範囲に噴砂を生じている³⁶⁾。なお、室蘭港西3号埠頭は前述の1968年十勝沖地震でも液状化が生じており²⁷⁾、地盤の応答特性も含めて液状化が発生しやすい条件にあるのかも知れない。

3.12 1983年日本海中部地震

秋田港、船川港、能代港、青森港、青森駅などで港湾・鉄道施設に液状化に起因する大きな被害を生じた³⁷⁾。秋田港では、図-3に示すように、1964年新潟地震に際し噴砂が報告されている²⁴⁾地区で再度液状化が発生している。青森駅でも、1968年十勝沖地震の際に液状化が発生した国鉄第2、第3岸壁で再び顕著な液状化による被害が発生している。これに対して、1939年男鹿地震で噴砂があった船川港の昭和初期の埋立地は、日本海中部地震では液状化は報告されていない。



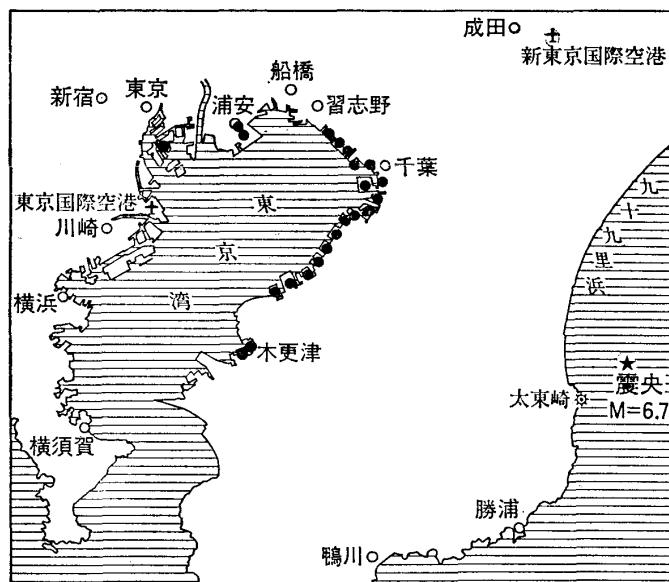
図—3 秋田港における液状化履歴地点
(文献37) に加筆)

また、住宅地では秋田市新屋元町で液状化による家屋等の大きな被害が発生している。ここは、昭和7年(1932)頃、雄物川の旧河道を雄物川放水路を開削した際の土砂で埋め立てた地域で、1964年の新潟地震でも噴砂が見られ、家屋等に不同沈下が起きている^{18), 25)}。なお、上述の再液状化地点における被害は、いずれも前回の地震よりも日本海中部地震による方が大きい。

八郎潟干拓地を取り巻く堤防(総延長 51.4 km)もほぼ全周にわたって液状化が見られ、天端の沈下量は最大約 1.8 m に達した。西部承水路堤防における被災区間は1964年男鹿半島沖地震および1964年新潟地震による被災区間と重複しており、正面堤防では1946年男鹿半島沖地震および1968年十勝沖地震による被災区間と重複している¹⁷⁾。

3.13 1987年千葉県東方沖地震

この地震では東京湾沿岸の埋立地で噴砂・噴水が多数見られた(図—4)^{38), 39)}。幸い、液状化による構造物の大きな被害は報告されていないが、千葉市から木更津市にかけての地域では軒並に液状化が発生した。ただし、1923年関東地震で噴砂噴水が報告



図—4 千葉県東方沖地震による東京湾岸埋立地での液状化発生地点³⁹⁾

されている⁶⁾ 千葉市出州・寒川地区や木更津市の埋立地では、この地震で液状化は認められなかった。

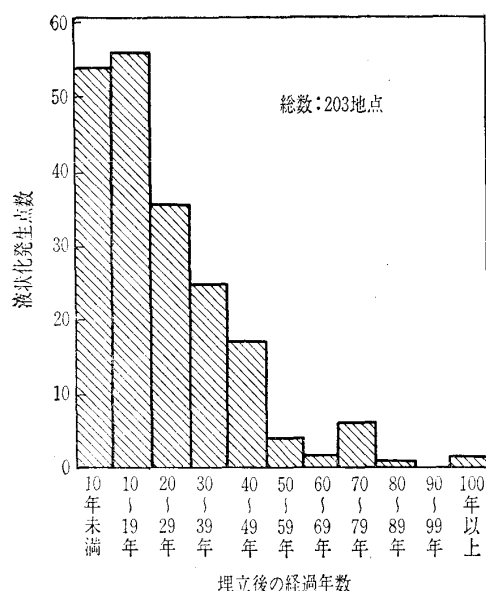
4. 液状化発生と埋立後の経過年数との関係

埋立地での液状化事例を集めていくうちに、異なる地震で繰り返し液状化が発生したと思われる地点が見つかった。これらの地点を表—2に示すが、青森駅を除いて埋立後あまり年月が経過していないうちに液状化が発生していることが分かる。

これに対して、1923年関東地震における千葉市や木更津市の液状化発生地点や、1939年男鹿地震における船川港の液状化発生地点のように、埋立後50年

表—2 埋立地における再液状化発生地点

再液状化地点	埋立年	発生年	地震名
東京都江東区洲崎弁天町	1888	1894 1923	東京湾北部地震 関東地震
青森駅第2岸壁 青森駅第3岸壁	1924 1944	1968 1983	十勝沖地震 日本海中部地震
室蘭港西3号埠頭	1964	1968 1982	十勝沖地震 浦河沖地震
秋田港石油油槽所	1961	1964 1983	新潟地震 日本海中部地震
八郎潟西部 承水路堤防	1963	1964 1964 1983	男鹿半島沖地震 新潟地震 日本海中部地震
八郎潟正面堤防	1963	1964 1968 1983	男鹿半島沖地震 十勝沖地震 日本海中部地震



図一五 埋立後の経過年数と液状化発生数との関係⁴⁰⁾

前後経過したその後の地震では、再び液状化が起こらなかった例も見受けられた。

そこで、既往の地震で液状化が発生したと確認された地点について、その地盤の埋立竣工年から液状化を発生させた地震までの年数(埋立後の経過年数)を調べた。その結果を図一五に示す。液化状を生じた埋立地は全部で約200ブロックあるが、そのうち85%が液状化が発生した時点で竣工後40年未満の埋立地であり、さらに55%が竣工後20年未満の埋立地であることが分かった。ここでは埋立地の母集団についての検討を行っていないので明確なことは言えないが、埋立後40年未満の地盤は液状化に対して注意を払った方が良さそうである。

5. あとがき

最初、軽い気持ちで埋立地での液状化事例を集め始めたが、県や市単位で埋立造成関係の資料が編集刊行されている地域は皆無に近く、古い埋立地の調査は難航を極めた。結局、埋立地の抽出や埋立時期の推定は、古い地形図の重ね合わせや、角川日本地名大辞典の町村沿革などに負うところが多かった。また、当初の予定では、埋立材料や工法についても詳しく調べる予定であったが、これも困難な作業であった。分かった範囲では、液状化を発生した埋立地は、数例を除いていずれも付近の海域や河川の浚渫による埋立地盤であった。

また事例が集まってみると、予想外に古い地震が多く、埋立地での液状化被害が決して今日的災害ではないことを痛感させられた。本稿を、埋立地盤における地震防災のための一資料として活用していただければ幸いである。

参考文献

- 1) 若松加寿江：日本液状化履歴図，第8回日本地震工学シンポジウム講演集，pp. 915～920，1990.
- 2) 塚本 靖：埋立地と震害，建築雑誌，Vol. 38，No. 1，pp. 518～525，1924.
- 3) 東京都総務局行政部編：安政地震災害誌，p. 1032，1973.
- 4) 警視庁：東京付近地震，震災予防調査会報告，第3号，pp. 142～169，1895.
- 5) 地質調査所：関東地震調査報告，第1，地質調査所特別報告第1号，p. 204，1925.
- 6) 地質調査所：関東地震調査報告，第2，地質調査所特別報告第2号，p. 185，1925.
- 7) 土木学会：大正12年関東大地震震害調査報告，第1巻，p. 187，1927.
- 8) 震災予防調査会：震災予防調査会報告，第100号(丙)上，1926.
- 9) 渡辺久吉：品川台場の震災，地学雑誌，Vol. 35，No. 417，pp. 531～534，1923.
- 10) 石井清彦：日本鋼管株式会社川崎工場内に噴出せる砂，地学雑誌，Vol. 35，No. 417，p. 544，1923.
- 11) 横浜市：横浜市震災誌，横浜市地震災害対策資料編，第1部，p. 107，1969.
- 12) 草野 郁：関東地震による東京低地の液状化履歴，土木学会論文集，第406号，III-11，pp. 213～222，1989.
- 13) 横尾義貫・桑原 徹・堀内孝英：名古屋付近の地震と震害に関する研究(その3. 東海地震の被害状況について)，日本建築学会東海支部研究報告，第4号，pp. 57～61，1965.
- 14) 中央气象台：昭和21年12月南海道大地震調査概報，p. 84，1947.
- 15) 地震研究所：東京帝国大学地震研究所研究速報，第5号，p. 195，1947.
- 16) 建設院第一技術研究所：昭和21年12月21日南海地震調査報告，建設院第一技術研究所概報，第16号，1948.
- 17) 浅田秋江・久保 陽：日本海中部地震における八郎潟中央干拓堤防の被害，土と基礎，Vol. 31，No. 12，1983.
- 18) 日本建築学会：新潟地震災害調査報告，p. 550，1964.
- 19) 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，p. 903，1966.
- 20) 新潟大学理学部地質鉱物学教室：新潟地震地盤災害図(縮尺1/3,000)，1964.
- 21) 建設省国土地理院：新潟地震一被災状況と土地条件一(縮尺1/10,000)，1965.
- 22) 酒田市総務課：新潟地震における酒田災害の記録，p. 76，1966.
- 23) 気象庁：昭和39年6月16日新潟地震調査報告，気象

報文—210 2

- 庁技術報告, 第43号, p. 230, 1965.
- 24) 加納 博・杳沢 新: 新潟地震による秋田市における震害とその地質的考察, 秋田大学鉱山学部地下資源開発研究報告, 第31号, pp. 46~56, 1965.
 - 25) 狐崎長琅: 秋田市の地震被害—特に居住域の地盤破壊について—, 昭和58年日本海中部地震の記録, 被災要因と実例, 秋田県, pp. 258~281, 1984.
 - 26) 1968年十勝沖地震調査委員会: 1968年十勝沖地震調査報告, p. 773, 1969.
 - 27) 運輸省港湾局・港湾技術研究所・第2港湾建設局・北海道開発局港湾部: 1968年十勝沖地震港湾被害報告, p. 209, 1968.
 - 28) 鉄道技術研究所: 十勝沖地震調査報告, 鉄道技術研究報告, No. 650 (施設編・第280号), p. 137, 1968.
 - 29) 運輸省港湾局・港湾技術研究所・北海道開発局港湾部: 1973年根室半島沖地震港湾被害報告, p. 90, 1973.
 - 30) 陶野郁雄・安田 進: 宮城県沖地震による液状化現象, 基礎工, Vol. 6, No. 11, pp. 113~119, 1978.
 - 31) 建設省土木研究所: 1978年宮城県沖地震災害調査報告, 土木研究所報告, 第159号, p. 434, 1983.
 - 32) 土木学会東北支部: 宮城県沖地震調査報告書, p. 540, 1980.
 - 33) 佐武正雄: 宮城県沖地震の被害の総合的研究, 昭和53年度文部省科学研究費自然災害特別研究(1), 302041, p. 265, 1979.
 - 34) 石原研爾・安田 進・佐田頼光・森本 巖: 浦河沖地震による構造物の被害と地盤の関係, 土と基礎, Vol. 31, No. 6, pp. 51~56, 1983.
 - 35) 上田 寛・稲富隆昌: 1982年浦河沖地震による港湾施設の被害, 第6回日本地震工学シンポジウム講演集, pp. 1969~1976, 1982.
 - 36) 斉藤和夫: 浦河沖地震における浚渫埋立地の液状化特性, 第21回土質工学研究発表会発表講演集, pp. 843~844, 1986.
 - 37) 土木学会: 1983年日本海中部地震震害調査報告書, p. 933, 1986.
 - 38) 古藤田喜久雄・若松加寿江: 千葉県東方沖地震による液状化現象とその被害, 土と基礎, Vol. 36, No. 12, pp. 19~24, 1988.
 - 39) 若松加寿江: 東京テレポータウンは大丈夫か—地震と埋立地—, 地理, Vol. 35, No. 6, pp. 29~33, 1990.
 - 40) 若松加寿江・浜田正則・安田 進・吉田 望: 埋立地における液状化履歴(その1) 液状化発生と埋立後の経過年数との関係, 第25回土質工学研究発表会講演集, PP. 869~870, 1990.

(原稿受理 1990.10.22)