

平成 29 年度自然災害研究協議会北海道地区フォーラム開催報告
北海道大学大学院・工学研究院 飯場 正紀

平成 29 年度自然災害研究協議会北海道地区フォーラムが、以下の内容で開催された。

フォーラムのテーマ：地盤の液状化による被害と被害軽減対策

日時：平成 30 年 2 月 19 日（月）14:00～16:00

会場：北海道大学工学部 A1-01 会議室（札幌市北区北 13 条西 8 丁目）

I. フォーラムのテーマ

地震時に地盤の液状化が発生すると、地盤の支持力が低下し、戸建住宅や低層建物には、不同沈下または傾斜などの被害が発生する。2011 年東北地方太平洋沖地震における関東地方の液状化被害や北海道における火山灰地盤の液状化に起因する被害などを取り上げ、過去の被害状況と被害軽減のための地盤や構造物の対策などをテーマとし、中井正一氏（千葉大学名誉教授）と八木一善氏（岩田地崎建設）に、講演をお願いした。

II. 講演内容の概要

以下に、講演内容の内容を示す。フォーラムで配布された資料は、資料 A 及び資料 B に示されている。

II-1 東北地方太平洋沖地震による千葉県での液状化被害とその対策（中井正一名誉教授）

東北地方太平洋沖地震により首都圏東部地域では広範囲にわたって液状化が発生し、膨大な量の噴砂や大規模な地盤沈下、有害な建物の傾斜等の被害を生じた。特に、戸建て住宅地では、構造的な被害はほとんど無いものの健康的被害を生じうる傾斜を生じた建物が続出し、大きな社会問題となった。このような液状化被害は特に千葉県に集中しているが、これは、液状化危険度の高い地域の面積が非常に大きいことに加え、震源域に近く地震動が比較的強かったことによる。発表者らは、地震直後に千葉市美浜区全域を対象とする液状化に伴う噴砂分布の調査を行い、被害マップを作成した。その結果、液状化被害には大きな偏りのあることが分かった。本研究では、被害の不均一性を明らかにするため、表層地盤モデルの構築・地震応答解析・埋立て造成履歴調査・常時微動観測・地盤調査などを行った。その結果、以下の知見を得ることができた。

- 1) 液状化に伴う噴砂被害の分布は、美浜区内の中央部や海側で大規模に発生している傾向があるものの、海側においても一部地域では噴砂が全く見られない地区があった。
- 2) ボーリングデータに基づいて構築された表層地盤モデルによれば、同じ埋立地であっても埋立て土層の土質は場所により大きく異なることが分かった。このことが、液状化被害の不均一性の主たる原因と考えられる。
- 3) また、狭い範囲で地盤構造が大きく変化するのは、埋立て造成時のサンドポンプ工法の排砂管とその噴出口の位置が大きく影響している可能性があることも分かった。

既存宅地を対象とする液状化対策工法として、①格子状地中壁工法、および、②地下水位低下工法が開発され、現在、被害地区を対象に対策工事が行われている。発表者らはこのうち、千葉市美浜区における対策工事②の実施検討に参画した。その検討状況についても紹介を行った。

Ⅱ－２ 北海道における地盤液状化と火山灰質地盤の被害の特徴（八木一善氏）

1993年から2003年の間に、北海道では4回の大地震（1993年釧路沖地震、1993年北海道南西沖地震、1994年北海道東方沖地震、2003年十勝沖地震）が発生し、液状化に起因する被害が多発した。従来は液状化しないと考えられていた火山灰質地盤（火山灰盛土や自然堆積の軽石）の液状化被害が多数認められ、火山由来の堆積物の分布が多い北海道における地震時被害の特徴のひとつとなっている。

火山灰質土の液状化は、火砕流堆積物（軽石混じり火山灰）による盛土で生じたものが大半を占める。カルデラ形成を伴うような巨大噴火による火砕流堆積物の分布は広範であり、その層厚は数十メートルに至ることがある。道東に広く分布するクッチャロ（屈斜路）軽石流堆積物、道央の札幌市から道南の登別町付近まで堆積する支笏火砕流堆積物による盛土が、上記の大地震によって液状化している。

自然堆積状態の火山灰質土の液状化事例は限られているが、1993年北海道南西沖地震の際に駒ヶ岳起源の岩屑なだれ堆積物が液状化し、森町赤井川地区で被害が多発した。また、1994年北海道東方沖地震の際に、摩周火山起源の粗粒な降下軽石が中標津町の市街地で液状化した。多数の軽石の噴砂現象が生じているが、この降下軽石はやや風化して軟質であり、粒子が破碎しやすいものである。

火砕流堆積物の液状化による大きな被害は、ため池、谷地形や沢部を埋めた箇所が生じやすく、地下水位を有する盛土内である。この軽石混じりの火山灰は、シルト・粘土分に相当する細粒分を含んでおり、この細粒分は非塑性か極めて低塑性である。このような細粒分の含有が液状化しやすい要因の一つとなっている。

Ⅲ. 会場からの質問と回答

・2011年の地震における液状化対策の効果

2011年の地震における千葉県の湾岸地区では、多くの戸建てに沈下や傾斜が見られたが、大規模な建物の地盤は液状化対策が行われており、対策を施した地盤では、液状化の影響は小さかった。

・将来に向けた既存宅地の液状化対策に対する住宅所有者の合意形成

千葉市では、それぞれの地域ごとに、将来の液状化に対する被害軽減のために、自治体単位で対策工法が議論されている。対策工法の施工が始まった地域もある。しかし、地盤条件により、対策工法の適否が異なるため、対策工法により、戸建て住宅所有者の負担金額にも差が見られる。また自治体によっては、対策工法の議論がまとまらず、物別れに終わった自治体もある。

・火山灰堆積物に対する液状化対策

火山灰質地盤は、埋戻し土に使用しない。特に谷埋め盛土のような場合には要注意である。また地下水が高い状態では、液状化が発生しやすいので、排水管等により、地下水を抜く必要がある。

4. フォーラム会場の様子

フォーラム参加者（参加人数23名）

大学関係者 16名

北海道庁の関連研究所 5名

民間の建設会社 2名



中井正一名誉教授



八木一善氏



会場の様子

◆◆◆ 特集 建築と地盤 ◆◆◆

東日本大震災における液状化被害とその対策

なか い しょう いち
中 井 正 一

ベターリビング アドバイザー・千葉大学 名誉教授

1. はじめに

2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震により東日本一帯に大きな被害がもたらされ、後に東日本大震災と命名された。この地震は大津波による被害や原子力発電所の事故によって特徴づけられるが、東日本一帯では液状化被害が甚大であったことも忘れてはならない。筆者は、千葉大学在職時代から一貫して東日本大震災における液状化被害の調査・分析・対策に関わってきた。地震後6年を経てこれを振り返ってみたい。

東北地方太平洋沖地震により東日本一帯の広い範囲で液状化が発生し、各地に大きな被害をもたらした(図1¹⁾参照)。震央から300km以上離れた東京湾岸でも、埋立地を始めとして首都圏東部地域では広範囲にわたって液状化が発生し、噴砂や地盤沈下、建物の傾斜等の被害を生じた²⁾。特に、戸建て住宅地においては、構造的な被害はほとんど無いものの、健康的被害を生じうる傾斜を生じた建物が続出し、大きな社会問題となった³⁾(写真1)。液状化そのものは大地震が起こるたびに観測されている事象であるが、被害面積が極めて広い範囲に及んだこと(一説には世界最大とも)、そして何よりも、密集市街地において甚大な被害がもたらされた点が、これまでの液状化被害と決定的に異なる点である。国は住宅地での液状化被害の大きさを受けて災害に係る住家の被害認定基準運用指針を改定し⁴⁾、被災各自治体では被害調査とその分析に追われた^{た例えば5)}。さらに国は道路や下水道等の公共施設と隣接宅地等との一体的な液状化対策を支援する市街地液状化対策事業^{た例えば6)}を創設するとともに、効果的な対策工法を公募し⁷⁾、現実的な2工法を取り上げ適用に際してのガイドラインを提示した⁸⁾。これらを受けて、現在、いくつかの自治体において既存宅地を対象とした液状化対策が実施されつつある^{た例えば9)}。

筆者らは、地震直後に千葉市美浜区全域を対象とする液状化に伴う噴砂分布の調査を行い、被害マップを作成した。その結果、広範囲にわたって激しく噴砂が発生している地区がある一方で、噴

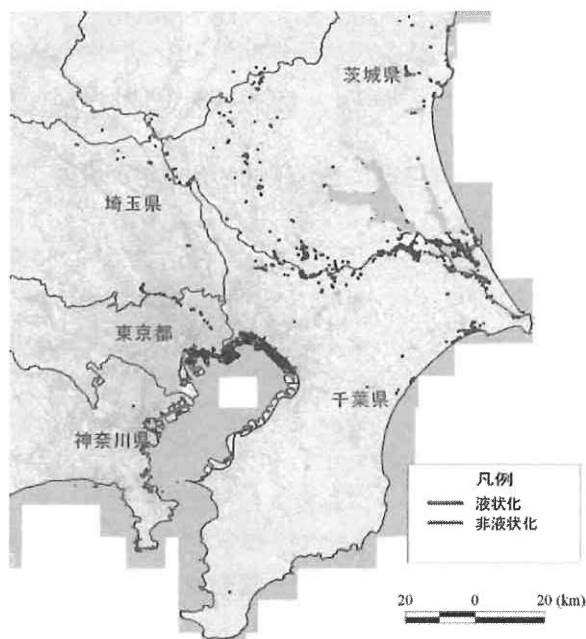


図1 東北地方太平洋沖地震による液状化被害地点¹⁾



写真1 液状化により傾いた建物

3.2 表層地盤構造モデルの作成

まず、美浜区全域にわたる表層地盤構造を把握するため、図3に示す約600本のボーリングデータを用い、各50mメッシュについて工学的基盤(耐震設計において入力地震動が規定される層；ここではN値50以上の層としている)までの土質・N値・S波速度構造の推定を行った。推定方法は、各メッシュ近傍のボーリングデータから距離の逆数による重み付き平均を用いた。構築された地盤モデルから作成した地層断面図の例を図4に示す。図から分かるように、当該地区における工学的基盤までの表層地盤は、地表から、埋立土層、完新統、更新統に分類される(脚注参照)。埋立土層の深さは海側ほど深く、GL-3m〜-12m程度の範囲である。また、完新統の基底深度はGL-5m〜-45m程度、工学的基盤深度はこれよりもやや深い位置に現れることが見てとれる。図から分かるとおり、埋立土層厚・完新統基底深度・工学的基盤深度のいずれも区内の地域ごとに大きく異なっているが、これは、この地域に存在する複数の溺れ谷に関連している。

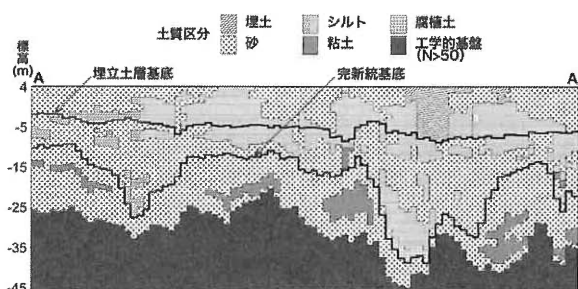


図4 図3のAA'線に沿った土層断面図

3.3 液状化指標と被害分布

次に、建築分野で用いられる液状化指標(液状化による地表変位 D_{cy})の分布を求めた¹⁶⁾。結果を図5に示す。この図は、まず、図3に示すボーリングデータから各地点における D_{cy} を求め、これを空間補間してメッシュ表現したものである。この時、地表最大加速度は、東北地方太平洋沖地震時に図2の真砂において観測された値 250cm/s^2 とし、細粒分含有率は土質区分からの推定値¹⁷⁾を用いた。図5を図2と比較すると、 D_{cy} の大小は大まかには液状化被害の大小関係と対応するものの、被害に見られる著しいコントラストとは多少趣が異なる。主に土木分野で用いられる液状化指標PLでもおおむね同様の結果が得られている。

3.4 最大地動加速度の推定と被害分布

3.2で構築した地盤モデルに基づき、等価線形解析により地表での地震動と各層のせん断ひずみを求めた¹⁰⁾。入力地震動は、真砂(図2)の計測震度計で観測された本震記録のEW成分を、等価線形解析により工学的基盤へ戻したものを美浜区全域で同一と仮定した。液状化地盤であっても、液状化直前までの応答を等価線形解析により概ね評価できるものと判断している。

図6に、解析から得られた各メッシュの地表での最大地表加速度(PGA)の分布を示す。図より、PGAは海側で値が大きくなる傾向にあることが分かる。短周期の地震動成分が表層地盤で増幅され、地表での加速度が大きくなったためと考えられる。図6の分布は、図2に示す噴砂分布と一定

脚注：完新統・更新統について少し補足しておく。完新統とは完新世(今から約1万年前までの地質年代)の間に形作られた新しい地盤を指す。また、更新統とは更新世(それ以前の約200万年前までの地質年代)の間に形作られた比較的古い地盤を指す。以前は、地質年代を表す用語として沖積世・洪積世ということだが、また、地盤としては沖積地盤や洪積地盤ということが用いられ、両者を対応づけて用いることが一般的であった(たとえば、沖積地盤は沖積世に形作られた地盤と言うように；ただし、これは日本での話)。しかしながら、学術用語としてのこれらのことは廃止された。現在は、地質年代として完新世・更新世、これらの地質年代の間に形作られた地盤は完新統(もしくは完新世の地盤)・更新統(もしくは更新世の地盤)と呼称される。ただ、沖積地盤と言う用語は若干事情が異なる。沖積地盤の本来の意味は「河川的作用によって堆積した地盤」であり、現在でもこの意味で用いることができる。日本付近では直近の氷河期の最盛期が約18,000年前とされており、これ以降に河川の堆積作用によって形作られた地盤がいわゆる沖積地盤と考えてよい。なお、洪積とは「洪水によって堆積した」という意味を持っているが、この洪水とは「ノアの洪水」を指しており、単なる神話に過ぎないとの考えからこれらの用語が変更されたとされている。

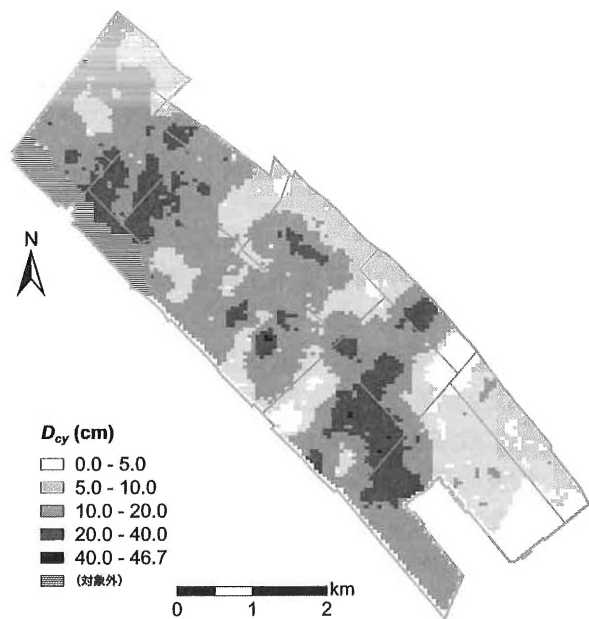


図5 液状化判定指標（液状化による地表変位） D_{cy}

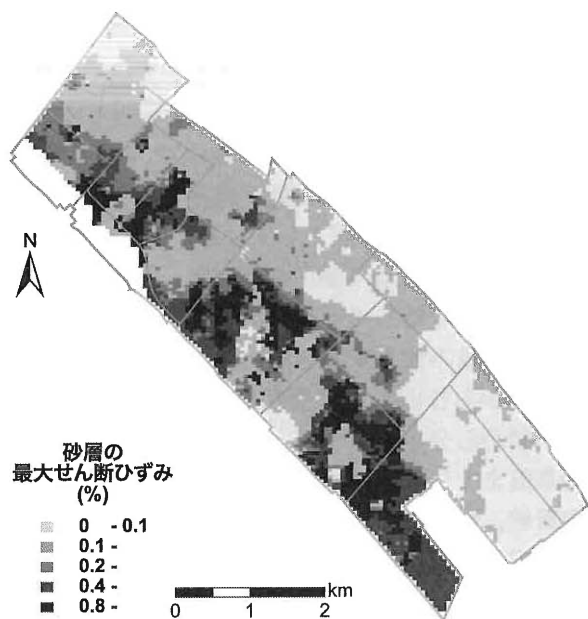


図7 砂層の最大せん断ひずみ

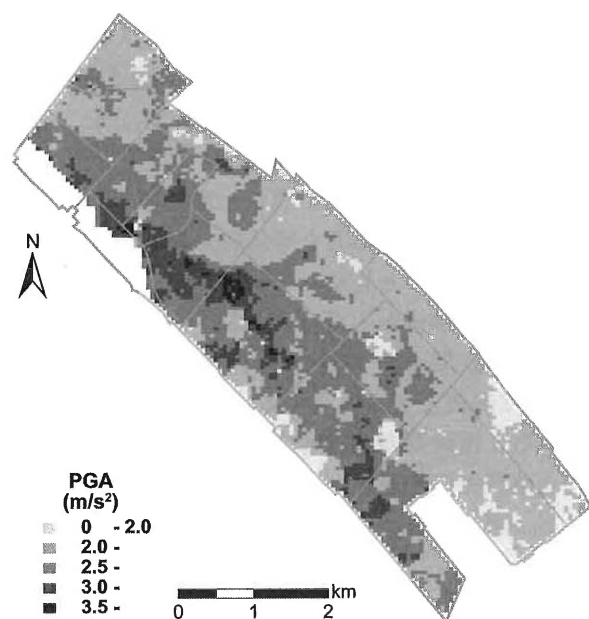


図6 地表最大加速度（PGA）

程度の対応は見られるものの、噴砂のなかった地区でもPGAが大きくなっており、特に海側における噴砂被害の偏りを説明できていない。

3.5 砂層の最大せん断ひずみと被害分布

液状化は緩い飽和砂が地震時に引き起こす現象であることから、噴砂被害を分析するに当たっては、この土質の差を考慮するのが自然である。ここでは、上記地震応答解析結果のうち、地表面下20mまでのゆるい砂層に着目し、地震時のせん断ひず

みの最大値を求めた。結果を図7に示す。おおむね図6に示すPGA分布に近いものの、海側においてもせん断ひずみが大きくならない地区が見られ、噴砂分布とよく対応している。すなわち、液状化被害は、表層地盤の地震動増幅特性に加えて、各地点の地層構造（土質区分）が大きく影響していると言える。

4. 埋立造成履歴と地盤の不均一性¹⁴⁾

4.1 埋立造成履歴

美浜区の埋立造成は、千葉県内東京湾岸の他地域と同様、浚渫によりなされたものである。すなわち、東京湾海底の土をポンプにより海水と一緒に吸い込み、排砂管を通して圧送し、堤防により締め切られた海面に排出する方法である（写真2）。この工法では水中で土砂が堆積する結果、排砂管近傍では粗粒土（砂）が、排砂管から距離の離れた地点では細粒土（シルトや粘土）が多く堆積すると考えられる。

図8は、美浜区中央付近の埋立造成時（1972年）の航空写真であり、これから判読した排砂管の位置を黒線で示した。図の中央やや下部には、北東から南西へと向かう現在の草野水路に相当する排水路が見られる。排砂管から排出された海底土混じりの海水は、この排水路の両脇に設けられた余水吐（よすいばけ；水中の泥土を沈殿させるための池）に集められ、細粒土を沈殿させた上で東京



写真2 浚渫による埋立の様子
(写真提供：磯辺街づくり研究会)



図8 埋立状況、排砂管の配置と被害分布

湾へと戻されていることが航空写真の濃淡から読み取ることができる。

4.2 地盤の不均一性

まず、図8に示すB1～B3地点における土質柱状図を図9に示す。図から分かるとおり、排砂管に近いB1地点ではゆるい砂層が厚く堆積しており、排砂管から遠いB2およびB3地点ではシルト層が卓越している。このことから、4.1で述べた仮説を検証することができる。特に、埋立造成時に余水吐であったと思われるB3地点では、地表に至るまで砂層はほとんど見られないことが分かる。図8には、図2に示した噴砂分布を重ね描い

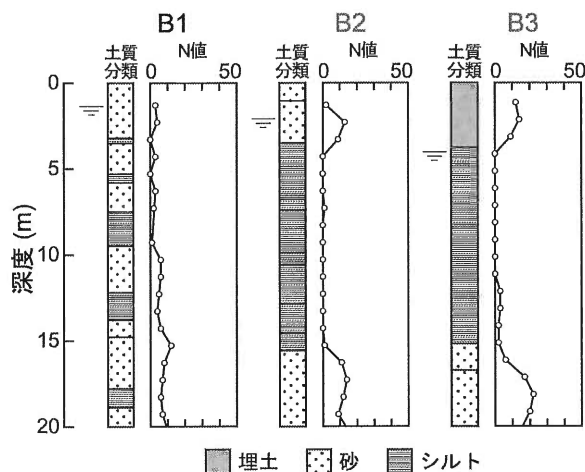


図9 B1～B3地点における土質柱状図

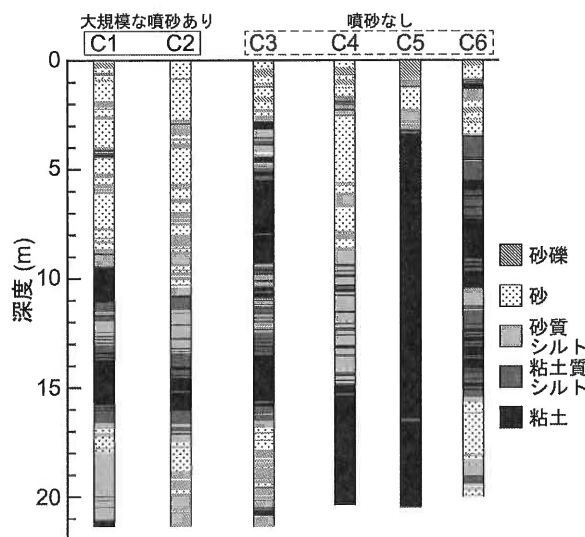


図10 CPTによる推定土質柱状図

ており、噴砂分布は排砂管の配置と極めて調和的であると言える。

さらに狭い範囲での地盤構造の不均一性を検討するため、図8に示すB2地点付近の6地点(図中のC1～C6)において細かな間隔で三成分コーン貫入試験(CPT; サウンディングの一種)を行った。試験から得られた推定土質柱状図を図10に示す。このうち、C1およびC2は東北地方太平洋沖地震時に激しい噴砂が見られた地点、C3～C6は全く噴砂が見られなかった地点であり、地点間の距離は40～50m程度である。これらより、以下の考察が可能である。

- ・浚渫により造成された埋立地盤では、距離 40～50m 程度で土層構成が大きく変化する可能性がある。
- ・排砂管付近には粗粒土（砂）が堆積しやすく、水中での堆積であることからゆるい状態にとどまると推測され、地震時に液状化する可能性が高い。
- ・一方で、排砂管から離れた場所には細粒分の多いシルトや粘土が堆積しやすく、地震時の液状化危険度は低いと考えられる。

4.3 埋立地盤における液状化リスクの評価

液状化は、「ゆるい飽和砂」に強い地震動が作用した時に起こる。つまり、次の 4 つの条件が同時に満たされた場合に起こる現象である。

- (1) 砂地盤であること
- (2) ゆるい状態で堆積していること
- (3) 飽和していること（地下水位以下であること）
- (4) 強い地震動が作用すること

旧水面を埋め立ててできた地盤は上記(1)～(3)を満足することが多い。このような条件の場所に強い地震動が作用すると液状化が発生し、大きな被害を出すこととなる。これが、2011 年東北地方太平洋沖地震時に首都圏東部地域で起こったことである。ただし、4.2 で述べたとおり、埋立地盤はたとえごく近傍であっても、場所による土層構成が大きく変化することが多く、このことが造成地盤での液状化被害分布に著しい不均一性をもたらす結果となった。

一方で、3.3 や 3.5 に示したように、従来からの液状化指標は、比較的広い範囲を対象とした地域の液状化リスクを評価するには一定程度の有効性を有していることも事実である。これらのことから、液状化リスクを評価するにあたり、巨視的および微視的の両方の見方があることになる。巨視的に見て、ある地域には液状化リスクがあるのか無いのか、また、そのリスクが高いのか低いのかは、一定程度の数の地盤調査結果があれば評価が可能である。しかしながら、その地域内にある特定のサイトの液状化リスクが実際のところどの程度なのかは、そのサイトの詳細な地盤調査結果が必要であるということである。しかも、そのサイトがある程度大きい場合には、かなりの数の地盤調査が必要となろう。

ここまでの議論は、主として旧水面の埋立地盤についてのものであった。しかしながら、同様の議論は、大河川の氾濫によって形作られた自然地盤であっても成り立つと考えられる。

4.4 地震の揺れと液状化リスク

前節後半での議論をもう少し補足しておく。軟弱地盤における地震被害リスクの代表的な指標として揺れの強さと液状化危険度を挙げることができる。両者に正の相関があることは疑いようが無いが、等価ではないことは、図 6（揺れの強さ）および図 7（液状化危険度）が微妙に異なることから明らかである。これは、揺れの強さは主として表層の軟らかい地盤とその下部に存在する硬い基盤の剛性の差（波動インピーダンス比と言う）に影響されるのに対し、液状化危険度は 4.3 に示す 4 つの条件で決まることの違いによるものである。すなわち、地表面の揺れは、表層地盤と基盤の剛性に際立った差がある場合に大きく（表層地盤による増幅効果が大きく）なり、それほど剛性差が大きい場合は揺れもあまり大きくはならない（増幅の程度は小さい）。これに対して、液状化のリスクは上記 4 条件がいずれも満足された場合にのみ高まるため、場所ごとの土質構造が大きく関わってくる。逆に、土質構造が異なっても、全体として地盤剛性に差が無ければ揺れの程度も変わらないことになる。図 6 の方が図 7 に比べて場所ごとの変化が相対的に小さいのはこのことによる。

5. 液状化対策

5.1 液状化対策の考え方

4.3 に示す 4 つの条件(1)～(4)を液状化の 4 条件と言う。液状化被害を防ぐにはこの条件のうちの少なくとも 1 つを外せばよいことになる。このうち、(1)～(3)の 3 つの条件はいずれも敷地地盤についての条件である。このような条件が満たされる地盤は、一般に、埋立地（造成地）、旧河道、砂丘間低地、三角州、後背湿地などの微地形に見られることが多い。

さて、具体的に(1)～(4)の条件を外すにはどうすればいいであろうか。

まず、(1)の条件を外すには砂を「砂ではない材料」にしてしまえばよい。すなわち地盤改良であ

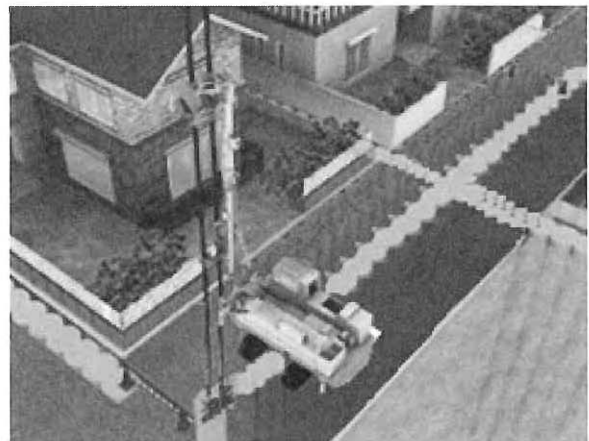
る。液状化しにくい礫（れき：砂利のこと）で置換したり、石灰やセメントで固めるなどの方法がとられる。次に、(2)の条件を外すには、砂層の密度を増大させ、ゆるい状態の砂を締まった状態にすればよい。いろいろな種類の振動締め固め方法が用いられている。(3)の条件を外すには、飽和状態（地下水位以下の状態）から不飽和状態にすればよい。地下水位低下やマイクロバブル注入による地盤の不飽和化がこれに該当する。なお、地下水位を低下させることにより有効応力（土粒子のかみ合いの力）が増大し、液状化抵抗が増すという効果も得られる。最後に、(4)の条件を外す、すなわち、地震動そのものを弱めることは困難であるが、液状化のメカニズムを考えるとその方法が見えてくる。液状化は、砂地盤が繰返しせん断応力を受けることにより過剰間隙水圧（静水圧よりも水圧が上昇すること）が発生し、同時に有効応力が減少することにより引き起こされる。この繰返しせん断応力の大きさを、地盤中に格子状の壁体を打設することにより抑制することができる。

なお、液状化対策としては、液状化を抑止する以外に、液状化が起こったとしてもその影響を最小限にとどめるという考えもある。たとえば、建物の基礎を直接基礎から杭基礎に変更する、ドレーン材（排水を促進する材料）の打設により過剰間隙水圧の消散を促進する、などの方法がこれに当たる。

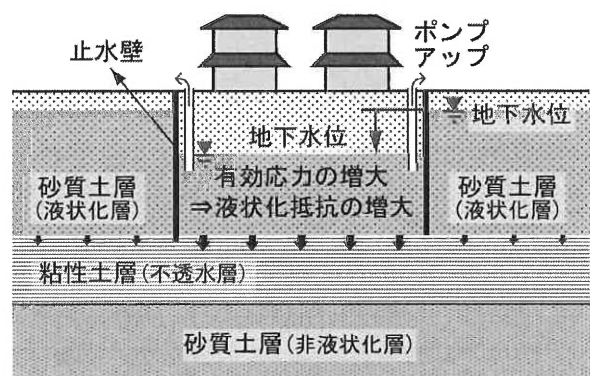
5.2 既存宅地を対象とする液状化対策

前節に述べた液状化対策は、建物を建てる前の敷地地盤に対して施工することを前提としている。これに対し、東北地方太平洋沖地震時に大きな問題となったのは、既存宅地が大々的に液状化被害を受けたことであった。液状化被害の特徴として、建物の構造的被害は比較的軽微であるが建物が全体として沈下・傾斜してしまう点が挙げられる。沈下・傾斜を修復すれば建物そのものを使い続けることができる場合も多い。しかしながら、道路やライフラインを含め、そのままでは将来の地震で同じような被害を被る可能性が高い。

東北地方太平洋沖地震時による広範囲かつ大規模な液状化被害を受けて、国は道路・下水道等の公共施設と隣接宅地等との一体的な液状化対策を支援する市街地液状化対策事業を創設した⁶⁾。そ



(a) 格子状地中壁工法¹⁸⁾



(b) 地下水位低下工法

図 11 既存宅地の液状化対策法

のためのガイドンスには、既存宅地を対象とする液状化対策として地下水位低下工法と格子状地中壁工法の2つが挙げられている¹⁸⁾（図11参照）。

東北地方太平洋沖地震時による既存宅地の液状化被害が集中した首都圏（千葉県・茨城県・埼玉県）の多くの自治体で被害分析や今後の対策が検討された。このうち、千葉県浦安市では将来の液状化被害に備えた対策として格子状地中壁工法が採用され、また、千葉市では地下水位低下工法が採用された。いずれの市においても、一部地区ではすでに工事が始まっている（写真3参照）。

6. まとめ

東北地方太平洋沖地震による千葉市美浜区での液状化被害の分布には著しい偏りが見られた。本報告では、被害の不均一性を明らかにするため、詳細な分析を行った。得られた知見は以下のよう

- (1) 液状化に伴う噴砂被害は、美浜区内の主として中央部から海側にかけて大規模に発生したが、同じ海側でも一部地域では噴砂が全く見られない地区もあった。
- (2) ボーリングデータに基づいて構築された表層地盤モデルによる分析によれば、同じ埋立地であっても埋立土層の土質は場所によって大きく異なり、このことが被害分布の不均一性の原因となったことが分かった。このような地盤の不均一性は、埋立造成方法と密接に関係している可能性がある。
- (3) 従来から用いられている液状化危険度指標に加え、地震時に想定される表層地盤中の砂層のせん断ひずみは液状化被害を予測・判定する指標として有効である。ただし、表層地盤の空間的不均一性を考慮し、十分な数の地盤情報が必要である。
- (4) 液状化は「ゆるい飽和砂に強い地震動が作用する」と言う 4 条件が満たされた場合に起こる。逆に、このうちの 1 つ以上の条件を緩和することが液状化対策となる。現在、東北地方太平洋沖地震によって被害を受けた既存宅地に対する液状化対策が進行中である。



写真 3 千葉市美浜区の地下水位低下工法における外周鋼矢板（図 11(b)の止水壁）の施工状況（千葉市提供）

8. 参考文献

- 1) 国土交通省関東地方整備局・地盤工学会：東北地方太平洋沖地震による関東地方の地盤液状化現象の実体解明報告書、2011
(http://www.ktr.mlit.go.jp/ktr_content/content/000043569.pdf)
- 2) 地盤工学会編：東日本大震災合同調査報告・共通編 3・地盤災害、2014.
- 3) 日本建築学会編：東日本大震災合同調査報告・建築編 5・建築基礎構造／津波の特性と被害、2015.
- 4) 内閣府：「災害に係る住家の被害認定基準運用指針」の一部改定について、2013.5
(http://www.bousai.go.jp/taisaku/pdf/shishin_kaitei02.pdf)
- 5) たとえば、浦安市液状化対策技術検討調査委員会
(<http://www.city.urayasu.lg.jp/shisei/johokoukai/shingikai/shichoukoushotsu/1002796/index.html>)
- 6) たとえば <http://www.mlit.go.jp/common/000184097.pdf>,
<https://www.mlit.go.jp/common/001045502.pdf>,
<http://www.mlit.go.jp/common/000184097.pdf> など
- 7) http://www.mlit.go.jp/report/press/kanbo08_hh_000169.html
- 8) http://www.mlit.go.jp/toshi/toshi_tobou_fr_000005.html
- 9) たとえば
<http://www.city.urayasu.lg.jp/faq/1009717/1011044/index.html>,
<https://www.city.chiba.jp/toshi/toshi/shigaichi/ekijoukatasaku.html> など
- 10) 関口徹・中井正一：千葉市美浜区の液状化被害に与えた表層地盤構造の影響、日本地震工学会論文集、Vol. 12、No. 5、pp. 21-35、2012.
- 11) 中井正一・関口徹：東北地方太平洋沖地震による千葉市美浜区における液状化被害分析、物理探査、第 66 巻、第 1 号、pp. 37-43、2013.
- 12) <http://www.mlit.go.jp/common/000189240.pdf>
- 13) 深津卓・関口徹・中井正一・眞野英之：遠心振動実験に基づく街区内地下水位低下による液状化抑止効果の検討(その 1)地盤モデル／(その 2)構造物モデル、日本建築学会大会学術講演会、構造 I、pp. 611-614、2013.8
- 14) 中井正一：埋立地盤における液状化の予測・判定、地盤工学会誌、Vol.64、No.8、pp.10-13
- 15) 千葉市臨海開発部：稲毛海浜ニュータウンのあゆみ、1984.
- 16) 中井正一・堀内佑樹・関口徹：千葉市美浜区における地下水位低下工法の適用可能性に関する検討、第 49 回地盤工学研究発表会、pp. 1579-1580、2014.
- 17) 山中浩明ほか：地震・津波ハザードの評価、朝倉書店、pp. 14-30、2010.
- 18) 国土交通省 都市局 都市安全課：市街地液状化対策推進ガイドンス【本編】 pp156-157、2016.2

北海道における地盤液状化と
火山灰質地盤の被害の特徴

岩田地崎建設 技術部

八 木 一 善

内 容

- 1993年～2003年の間に、北海道では4回の大地震発生、液状化に起因する被害多数。
- この4地震で、従来は液状化しないと考えられていた、火山灰質地盤(火山灰盛土、軽石)の液状化被害が多数認められ、そのメカニズムの研究を行った。
- 火山由来の堆積物の分布が広い北海道、その地震被害の一つの特徴ともいえるので、それらの被害を中心に述べる。

北海道の4大地震による液状化被害
～1993年から2003年までの被災調査～

1993年 釧路沖地震

日 時：1993年1月15日 20時06分

震 央：北緯42° 51′ 東経144° 23′

震源の深さ：107km

マグニチュード：7.8

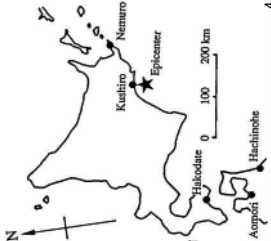
死者：2名 負傷者966名

住宅の全壊・半壊：233棟

一部の破損：2427棟

全被害総額：約263億円

釧路：震度6(烈震)



4

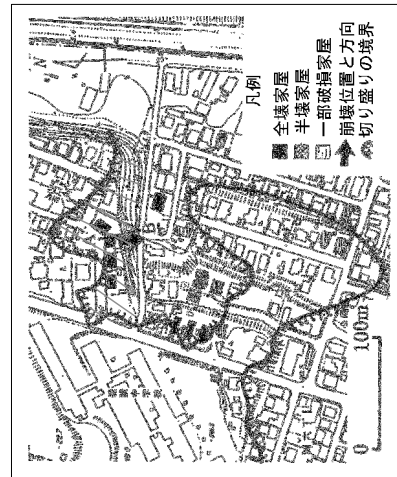


1993年釧路沖地震 釧路市緑ヶ丘6丁目 盛土の崩壊

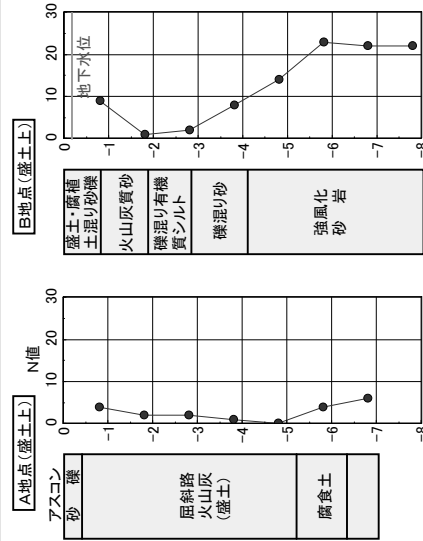
旧枝沢箇所を火山灰で盛土。幅90m、高さ11mの崩壊と液状化の関連については不明であるが、周辺地域で噴砂、マンホールの浮き上がりが多発した。



(地盤工学会 1993年釧路沖地震 災害調査報告書より)



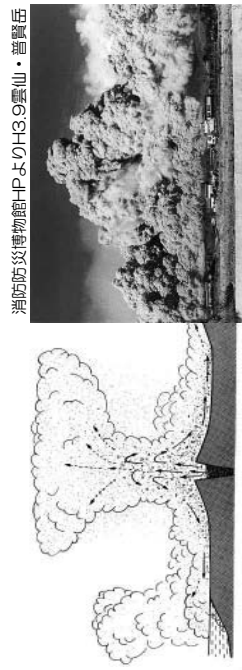
釧路市緑ヶ岡の家屋被害と切り盛りの境界(地盤工学会)



釧路市緑ヶ丘 崩壊地付近の柱状図(地盤工学会)

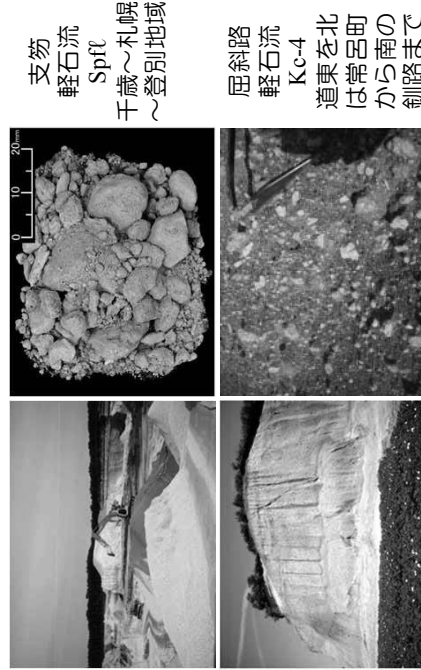
火山灰(火砕流堆積物)とはなんだ？

- 火砕流は「噴煙柱が重力によって崩れることや火口からビールの泡のように溢れ出すこと」によって生じ、軽石、火山灰、スコリアなどが火山ガスとともに高熱・高速で流れる現象
- カルデラ形成を伴うような巨大噴火による火砕流堆積物は、厚さが数十mに達し、周辺に火山灰台地を形成した。



消防防災博物館HPよりH3.9雲仙・普賢岳

北海道の大規模火砕流(火山灰台地)



支笏
軽石流
Spfl
千歳～札幌
～登別地域

屈斜路
軽石流
Kc-4
道東を北
は常呂町
から南の
釧路まで

火砕流堆積物と降下テフラの分布

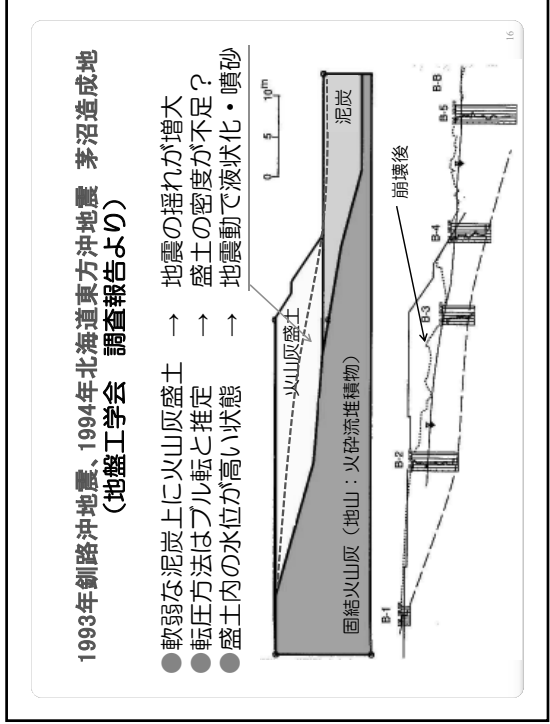
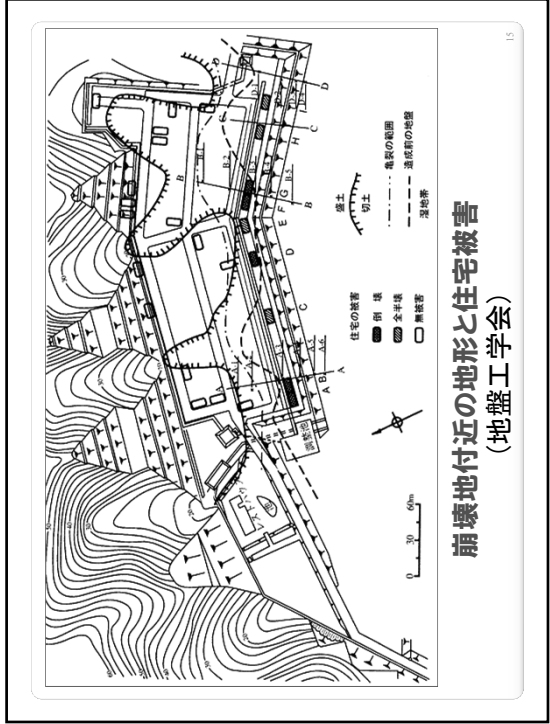
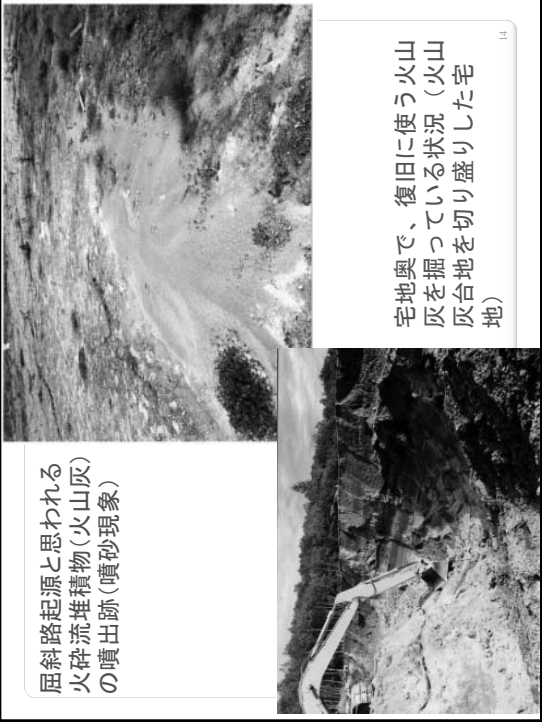


北海道の南半分は、大地震の影響を受けやすいが、その多くは火山性の土で覆われている

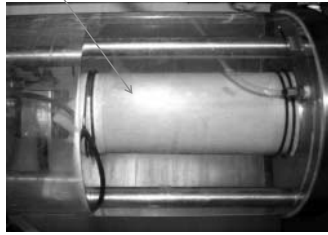
1993年釧路沖地震 標茶町茅沼 宅地の崩壊



写真提供:基礎地盤コンサルタンツ 斎藤和夫氏



液状化試験(繰返し非排水三軸試験)



脱気水をいれて飽和させる
 ゴム内に火山灰
 人工的な地震動を与えると
 土の中の水圧が上昇し、
 土の強さが失われ
 まるでスライムのように
 動くようになる

水圧上昇⇒火山灰と水の噴出(噴砂現象)
 中空のマンホールなどの浮き上がり

17

1993年 北海道南西沖地震

日 時： 1993年7月12日22時17分
 震 央： 北緯42° 47' 東経139° 12'
 震源の深さ： 34km
 マグニチュード：7.8
 死者・不明者：230名
 負傷者：323名
 家屋全壊・半壊：1007棟
 一部破損・浸水：5842棟
 全被害総額：1323億円



18

1993年北海道南西沖地震 長万部町大浜 国道5号線海側



国道5号

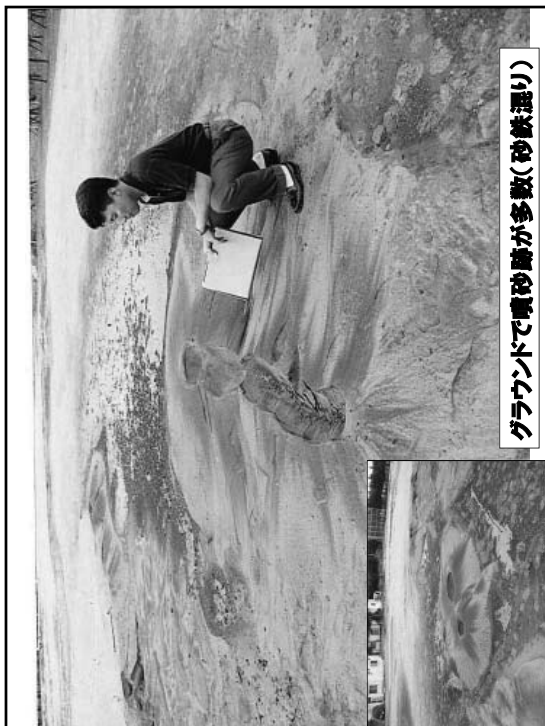
海側へ大規模
 な側方流動



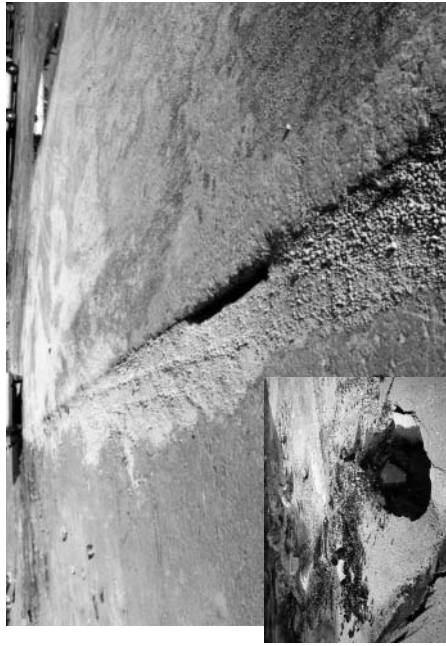
中空構造のマンホールが水圧上昇で浮力増、浮上り。
 過剰間隙水圧が消散した後、周辺地盤が沈下。

19

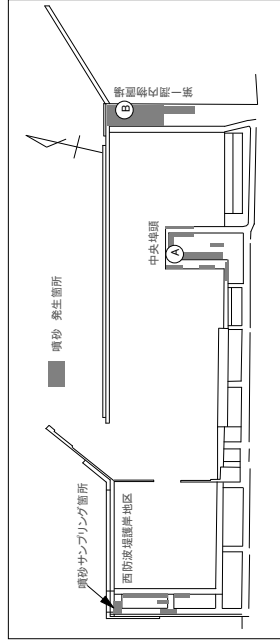
長万部市街で沈下、マンホールの浮上多数



埋立てに用いた駒ヶ岳火砕物の噴出跡



25



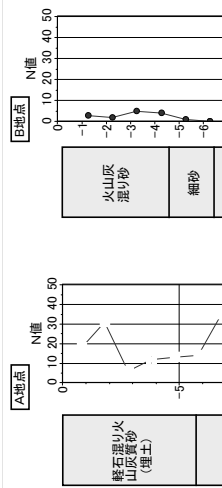
森港 噴砂箇所 (1993年北海道南西沖地震)

26



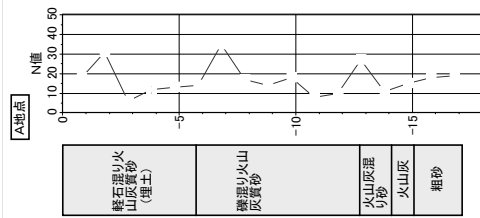
駒ヶ岳の火山灰質土の噴出跡(岩屑なだれ堆積物Kd-u)
(1993年北海道南西沖地震 森町 赤井川小学校)

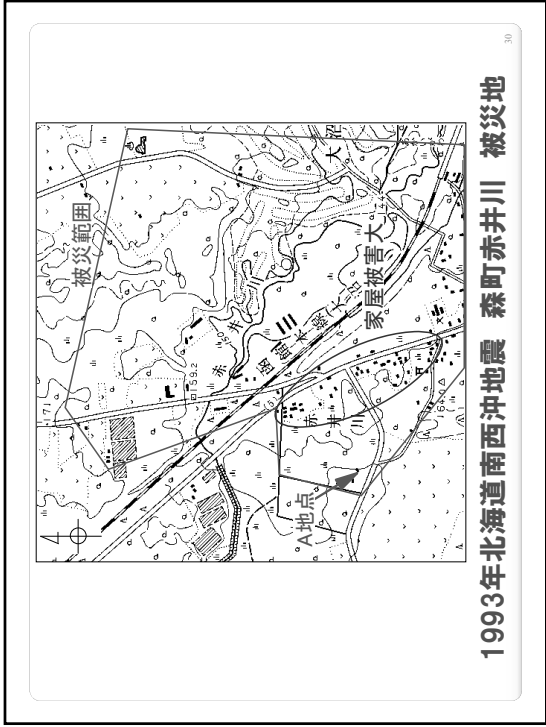
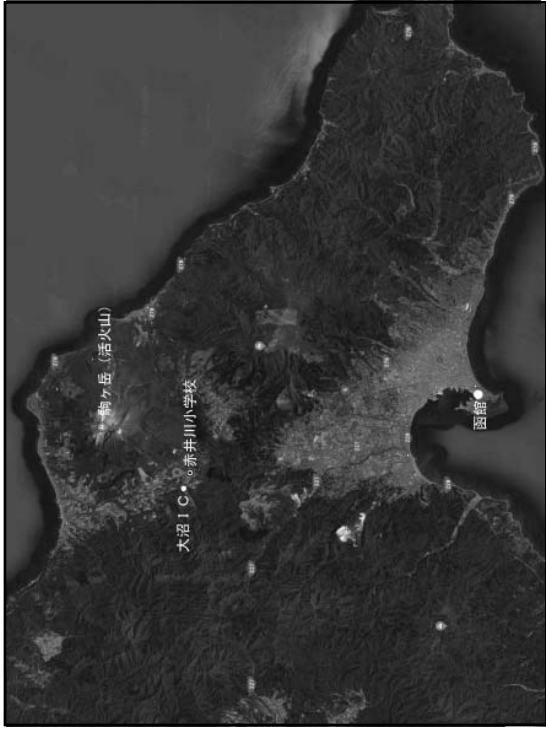
28



A地点, B地点の柱状図
(森町 森港)

27

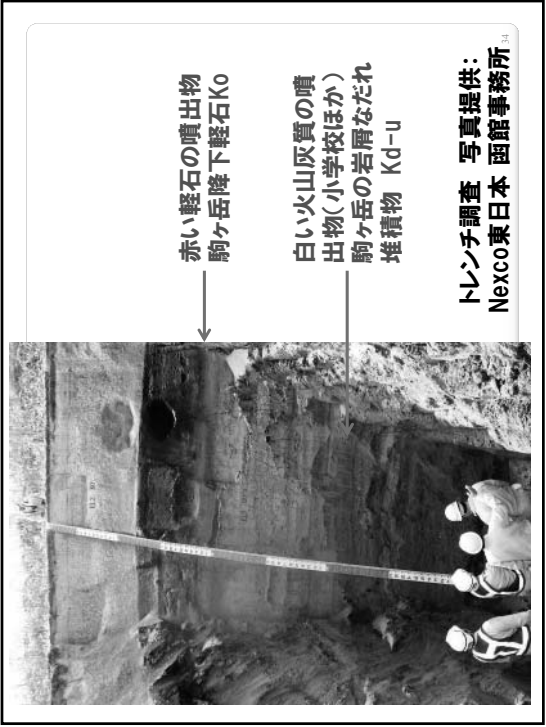






赤井川周辺の駒ヶ岳火山噴出物
(2008年撮影 大沼IC予定地付近)

33



赤い軽石の噴出物
駒ヶ岳降下軽石K0

白い火山灰質の噴
出物(小学校ほか)
駒ヶ岳の岩屑なだれ
堆積物 Kd-u

トレンチ調査 写真提供:
Nexco東日本 函館事務所

34

1994年 北海道東方沖地震

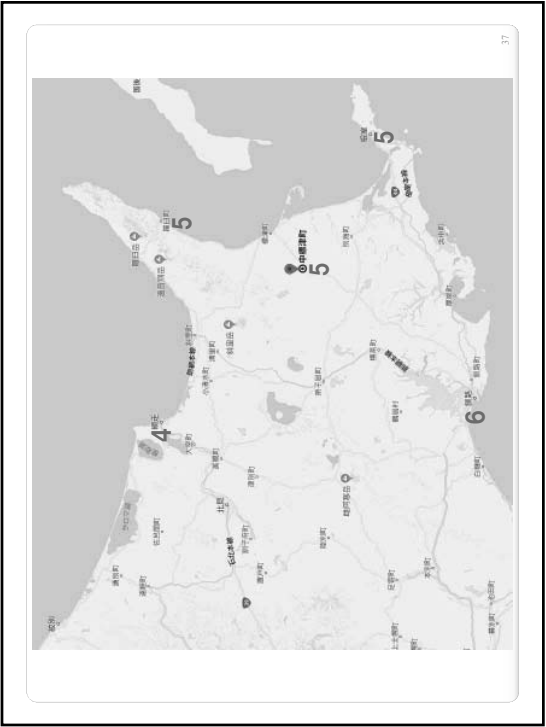
日 時 : 1994年10月4日22時23分
震 央 : 北緯43° 22' 東経147° 40'
震源の深さ : 30km
マグニチュード:8.1
死者・不明者:11名(択捉島)
負傷者:437名
家屋全壊・半壊:7279棟
一部破損・浸水:5842棟
全被害総額:約476億円(11/25報告値)

35



斜面崩壊と亀裂・家屋の傾斜
1994年北海道東方沖地震
標茶町茅沼

36



37



摩周降下軽石による斜面の崩壊
(1994年北海道東方沖地震 中標津町 震度5)

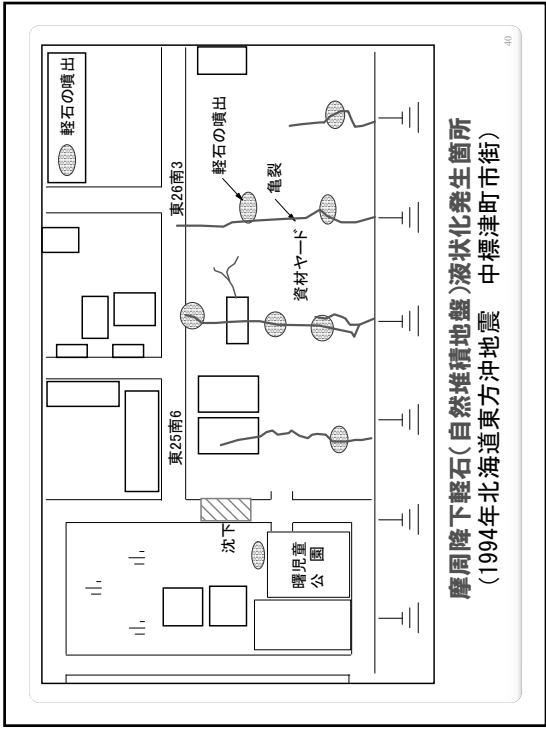
38



摩周降下軽石Ma-1の噴出
(中標津町)

風化して軟質、つぶれやすい。
N値(中標津空港位置)は2～
3程度で強度が低い

39



摩周降下軽石(自然堆積地盤)液状化発生箇所
(1994年北海道東方沖地震 中標津町市街)

40

2003年 十勝沖地震

【本震】 2003年9月26日 4時50分

マグニチュード8.0

【余震】2003年9月26日 6時08分

マグニチュード7.1

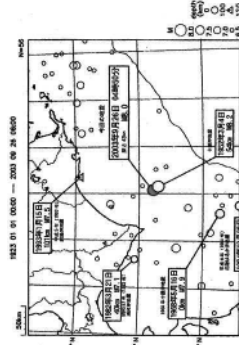
死者・不明者:2名

負傷者:847名

家屋全壊・半壊:449棟

一部破損・浸水:1561棟

全被害総額:約274億円¹⁾



過去に発生した地震の震源位置（気象庁）

41

屈斜路軽石流堆積物による埋立地の大規模流動 2003年十勝沖地震 端野町協和



42

屈斜路軽石流堆積物による埋立地の大規模流動 2003年十勝沖地震 端野町協和



航空写真提供
北見工大 伊藤陽司氏

農地の大規模な流動崩壊・ため池の埋土
(2003年十勝沖地震 端野町協和 震度4)

44



屈斜路軽石流堆積物Kc-4の噴出跡
(2003年十勝沖地震 端野町協和)

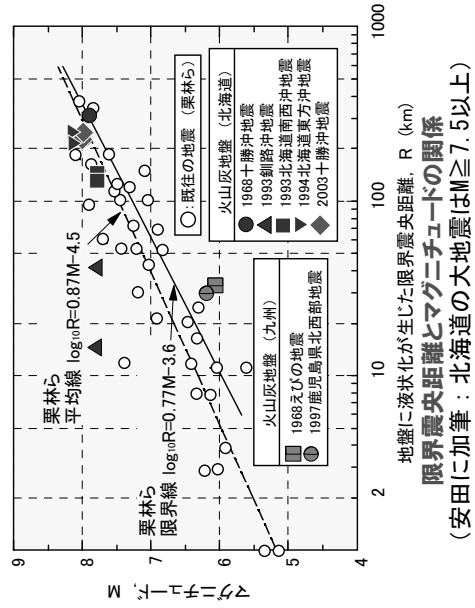
45

2003年十勝沖地震 札幌市清田区の被害



46

2003年十勝沖地震 札幌市清田区の被害



48

地震直後 道路の沈下と支笏軽石流堆積物の噴出
(2003年十勝沖地震 札幌市清田区美しが丘)



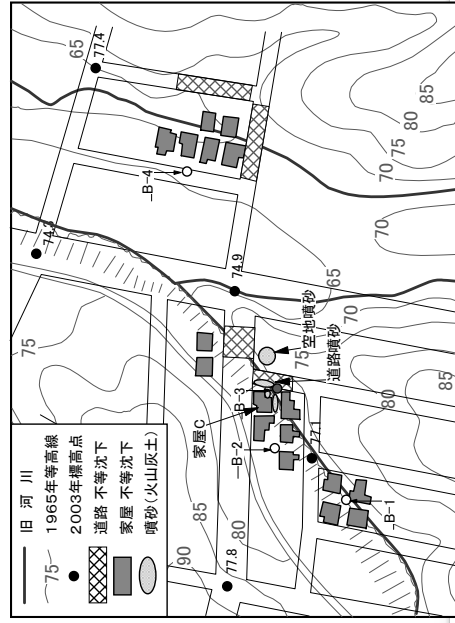
写真提供：札幌市水道局

支笏軽石流堆積物の噴出跡



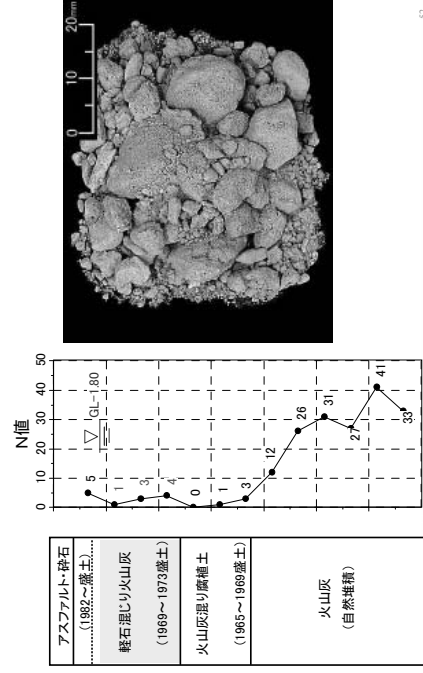
50

美しが丘 旧地形と被災箇所



51

柱状図 (被災後) と噴出した支笏軽石流堆積物



52

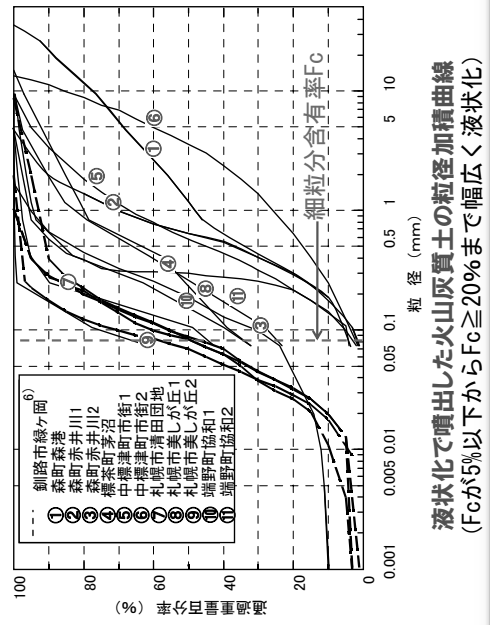
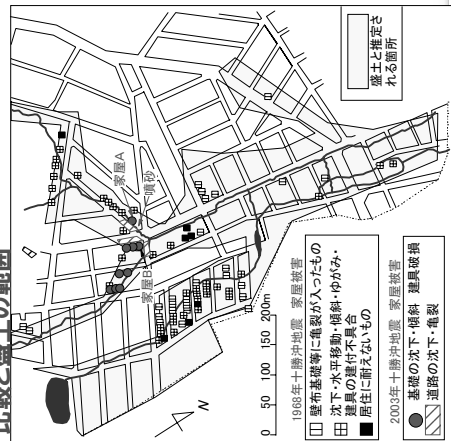
清田団地 道路・家屋の損壊と火山灰の噴出



支笏軽石流堆積物の噴出(盛土)



1968年と2003年の十勝沖地震による被害の比較と盛土の範囲



～2003年まで北海道各地の市が学んだこと～

- 火山灰質土は、埋め戻しに極力使わない。
- 管路埋め戻しの際に、火山灰に石灰を添加（5%）。
- 谷埋め盛土は要注意（法的規制の動き）。
- 通常の切盛土は、ドレーン（排水管）の設置を行うなど、盛土内に水がたまらないよう十分な対策を。



新規工事の際の注意事項、既存の盛土対策ではない

57

まとめ

- 1993年以降、北海道と東北等で大地震が頻発。
- 港湾・河川堤防を除く北海道の液状化被害は、火山灰による盛土、沢地形を埋めた箇所が多発していた。
- 盛土内に地下水があるところで液状化被害大。
- 火山灰（火砕流堆積物）の盛土の液状化強度は、豊浦砂と同等か、豊浦砂よりも低いと判明。
- 日本は火山国であり火山灰質土が広く分布。
- 北海道も火山灰質土が占める面積が大。

58