

2018年北海道胆振東部地震による地盤災害事例

Case Report of Ground Disaster due to The 2018 Hokkaido Eastern Iburi earthquake

木幡 行宏¹・渡部 要一²

1, 室蘭工業大学大学院工学研究科

2, 北海道大学大学院工学研究院

Yukihiro Kohata¹, Yoichi Watabe²

1, Department of Civil Engineering, Muroran Institute of Technology

2, Faculty of Engineering, Hokkaido University

Abstract

Natural disasters caused by huge earthquake have occurred in various places, and has made a great impact on social activities and people's lives in recent years in Japan. Then the effect on transportation caused by disaster on earthquake is very high. The Hokkaido Eastern Iburi earthquake in 2018 caused geotechnical disasters, which are large slope failures in wide area, and unique liquefaction at Satozuka area in Sapporo city etc. In particular, serious geotechnical damages were induced in Atsuma town recorded 7 on the Japanese seismic intensity scale (a magnitude of 6.7). This report is summarized about ground disaster at Atsuma town and at Satozuka area etc. in Sapporo city due to the 2018 Hokkaido Eastern Iburi earthquake.

Key Words: The 2018 Hokkaido Eastern Iburi earthquake, Geotechnical disaster, Field investigation

キーワード：北海道胆振東部地震, 地盤灾害, 現地調査

1. はじめに

2018年9月6日3時7分に、北海道胆振地方中東部を震源とするマグニチュード6.7の直下型地震が発生し、北海道勇払郡厚真町では北海道の観測史上初となる最大震度7を記録した。この地震により、北海道厚真町において、広範囲にわたる大規模斜面崩壊が発生し、その崩壊面積は、我が国において発生した巨大地震による斜面崩壊面積の中で過去最大規模であった。また、札幌市や苫小牧港では地盤の液状化現象が見られ、とりわけ、札幌市清田区里塚地区で発生した液状化は、これまで見られた液状化現象とは異なり、地盤中に発生した液状化層が流動することにより、大規模な地盤沈下が生じるものであった。一方、わが国では初めてとなる事象として、電力会社が管轄するエリア全域で停電となるブラックアウトが発生し、北海道全域の経済活動が停止するばかりか、発災後の救助活動にも大きな影響を及ぼした。

本報は、2018年9月北海道胆振東部地震の地盤災害に関して、厚真町吉野地区、富里地区、幌内地区および札幌市清田区里塚地区のほか液状化発生箇所について現地調査を実施し、これらの調査から北海道胆振東部地震による地盤災害事例をまとめたものである。

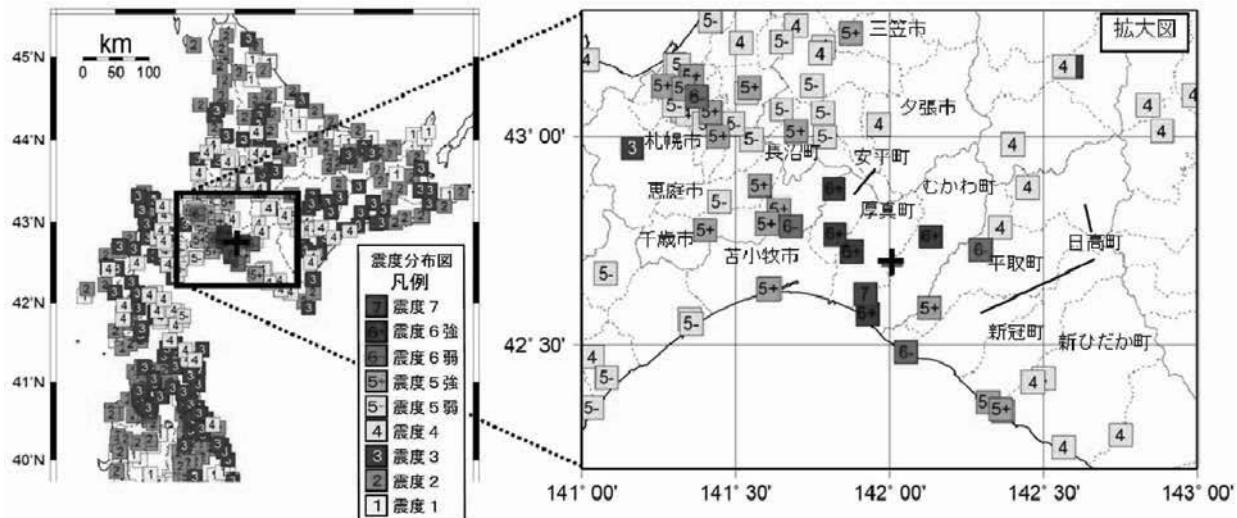


図 1 震度分布図¹⁾

2. 震度・震央の分布

北海道胆振地方中東部を震源とするマグニチュード 6.7 の直下型地震が発生し、北海道勇払郡厚真町では北海道の観測史上初となる最大震度 7 を記録し、平成 30 年北海道胆振東部地震と命名された。図 1 は震度分布図である¹⁾。安平町、むかわ町で震度 6 強、千歳市、日高町、平取町、札幌市東区で震度 6 弱であった。

震源を中心にはほぼ同心円状に

震度が小さくなっているが、震源からの距離が約 80 km 離れている札幌市東区の震度が大きい。震源の深さは 37 km、発震機構は東北東—西南西方向に圧力軸を持つ逆断層型である。また、2019 年 2 月 21 日 21 時 22 分にマグニチュード 5.8 となる余震が発生し、厚真町で最大震度 6 弱を記録した。図 2 に震央分布図を示す²⁾。当初、今回の地震は石狩低地東縁断層帯南部の断層が動いたことに起因するとの推論もあったが、図 2 より、本震、余震ともに石狩低地東縁断層帯に近い別の箇所での断層運動で発生したことが推察される。

3. 北海道胆振東部地震の被災概要

平成 31 年 4 月 1 日現在で、人的被害は死者 43 名（震災関連死者数を含む）、重傷 48 名、軽傷 734 名であり、大規模な斜面崩壊が発生した厚真町は死者 36 名であり最も死者数が多かった³⁾。重傷者は、むかわ町が 24 名で最も多く、次に苫小牧市の 9 名であった。軽傷者数は、最も多いのが札幌市で 294 名、次いで、むかわ町の 250 名であった。また、住宅被害は全壊 469 棟、半壊 1,660 棟、一部破損 13,849 棟、非住家被害（倉庫等）として 2,490 棟が報告されている³⁾。全壊した住宅は、2016 年熊本地震の全

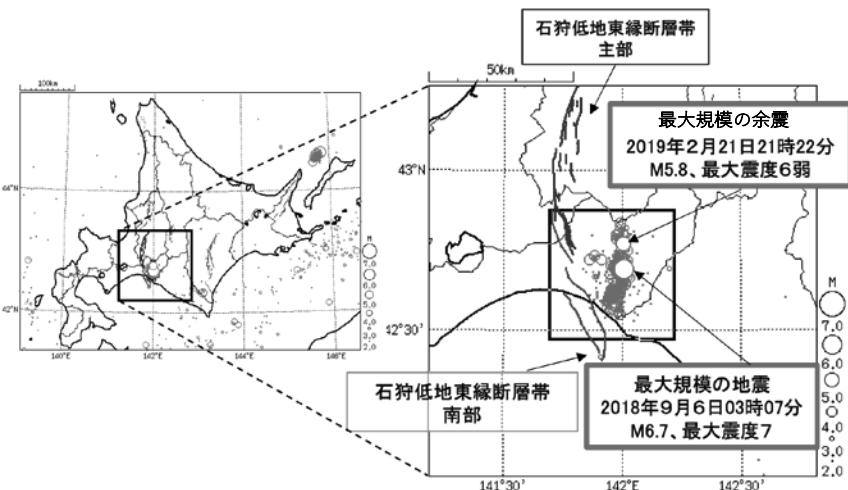


図 2 震央分布図²⁾

壊住宅 8,682 棟に比べると本地震による建物被害は少なかった。これは、北海道の住宅が冬期の雪荷重を考慮して瓦を使用していないこと、また、熊本県益城町に比べ世帯数が少なかったこと等が影響しているものと思われる。一方、北海道全域で電力供給が止まりブラックアウトとなり、最大停電戸数は約 295 万戸が報告されている⁴⁾。これは 1995 年に発生した兵庫県南部地震による最大停電戸数の約 260 万戸を超える規模で、電力会社管内全域での停電は国内初であった。すべてが復旧するまでに要した時間は約 45 時間で、医療、通信、金融、交通等の社会インフラに深刻な影響を及ぼした。水道の被害は、北海道内の 44 市町村において最大 68,249 戸の断水が発生した⁴⁾。意外なことに都市ガスの被害は報告されていない⁴⁾。

土砂災害については、土石流が 227 件、うち厚真町で 90 件が発生、がけ崩れは 133 件うち厚真町で 111 件の発生が報告され⁴⁾、厚真町での土砂災害発生件数が極めて多かった。河川被害は、270 箇所であったが、堤防のクラック発生など、軽微なものが多かった⁴⁾。道路被害は、発災後、14 区間で通行止めとなつたが、高速道路では、一部において路面の段差や亀裂等の損傷は発生したものの大規模な被害はなく⁴⁾、9 月 9 日 8:00 に全線で通行止め解除され、国道では目立った被害はなかった。JR 北海道においては、発災後 2 日間運転見合わせとなつたが、その後、順次運転が再開された。ただし、南千歳～沼ノ端間で軌道変位が多数発生し、約 1 週間程度、徐行運転が行われた⁴⁾。

以上のように、明治以降の北海道における地震としては、初めて最大震度 7 を記録した直下型地震であり、甚大な被害が発生し社会的影響が極めて大きかつたことが分かる。

4. 厚真町における斜面崩壊

図 3 に本震の震央、余震の震源分布および厚真町の斜面崩壊箇所を示す⁵⁾。余震の震源は震央を中心にはほぼ南北方向に分布し、斜面崩壊箇所は広範囲に震央より北側に密集して発生している。図 4 に過去の地震の規模と崩壊面積の関係を示す⁶⁾。今回の地震による斜面崩壊面積は 13.4 km²、土量は 3000 万 m³であり、これは、札幌ドーム約 440 個分に相当する規模である。また、過去の地震の規模に対する崩壊面積が最も多いことが分かるが、これは明治以降の主要な地震災害の中でも最も多いことが報告されている⁶⁾。厚真町の地質は、深度 18 m 付近まで表層から順に、樽前山、恵庭岳、支笏カルデラを噴出源とする火山灰で構成されており、樽前山起源の樽前降下輕石

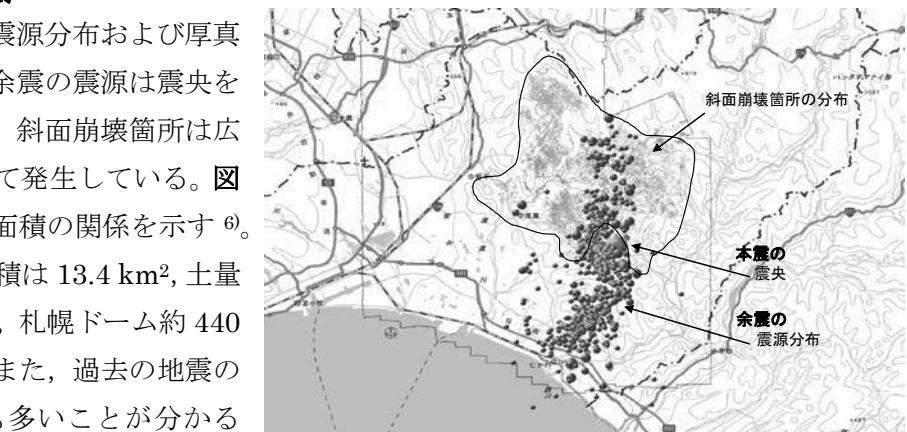


図 3 斜面崩壊箇所との震源分布⁵⁾

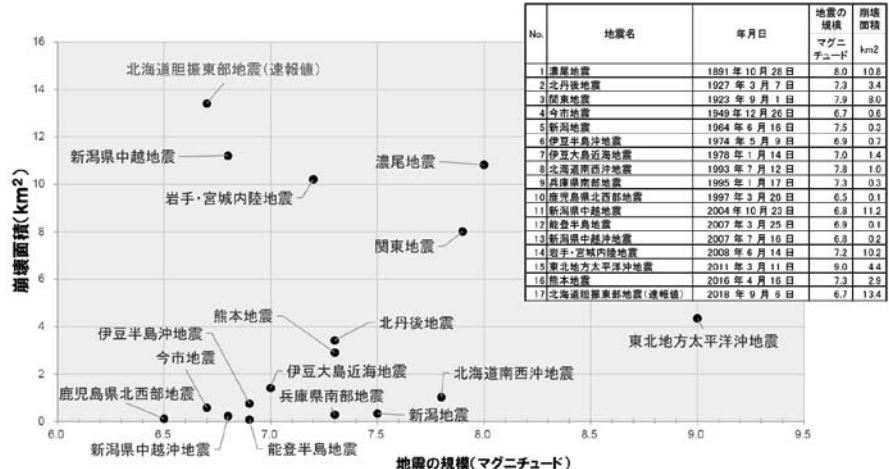


図 4 過去の地震の規模と崩壊面積⁶⁾

(Ta) 地層は、Ta-a から Ta-d まで 4 ユニットで構成されている。Ta-a は 1739 年、Ta-b は 1667 年、Ta-c

は約 2000 年前、Ta-d は約 9000 年前の樽前山噴火によるものと考えられている。これらは粒径と風化の程度が異なり、層厚は 1~4 m 程度のものが多く、N 値は 1~3 程度と報告されている（図 5）⁷⁾。写真 1 は厚真町吉野地区における大規模斜面崩壊の状況であり、写真 2 は厚真町富里地区浄水場後背の斜面崩壊状況である。現地踏査および UAV（ドローン）による上空からの俯瞰調査による現地調査を行った結果、厚真町吉野地区や富里地区の斜面崩壊は表層崩壊であることが分かった。また、吉野地区の崩壊箇所の斜面には筋状の擦過痕が見られることから、典型的な表層崩壊であり比較的速い速度で土塊が移動する斜面崩壊であったことが推察される。さらに、富里地区の斜面崩壊箇所では、表層崩壊と谷部での比較的深い位置からのすべり破壊が生じていたことも確認された。吉野地区、富里地区とともに、すべり面は樽前火山灰層の Ta-d ユニットであったと考えられる⁸⁾。一方、幌内地区の斜面崩壊は比較的深い位置からのすべり破壊が見られ、すべり面の降下軽石堆積物（火山灰）は、恵庭岳を噴出源とする En-a に近い性状を示したことから、恵庭軽石層まで、すべりの影響の可能性があると考えられる。写真 3 は、厚真川本川、幌内橋付近での斜面崩壊の状況である。写真中央の沢部から大量の土砂が流れ出し、

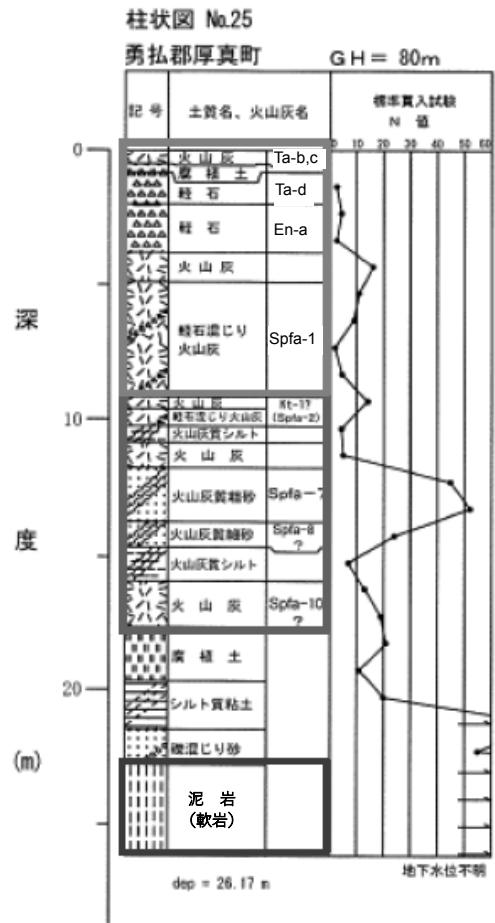


図 5 厚真町のボーリング柱状図の一例



写真 1 厚真町吉野地区の斜面崩壊



写真 2 厚真町富里浄水場の斜面崩壊



写真 3 土石流による厚真川の河道閉塞

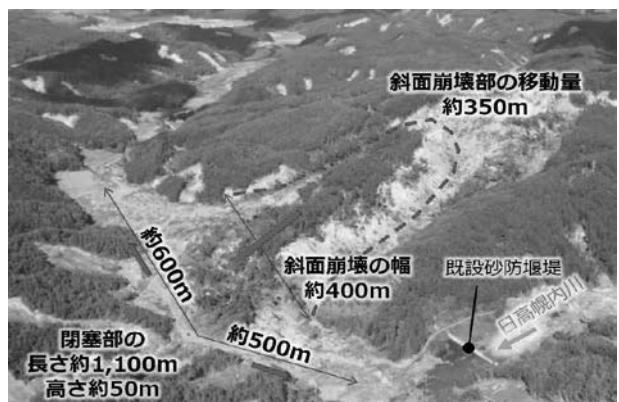


図 6 日高幌内川上流部大規模地すべり⁹⁾

河道閉塞が生じた状況であった。

一般に、土石流は豪雨により土砂や岩石が流水とともに高速で流下する現象であるが、今回の地震による土石流には水分があまり含まれていなかったようである。この土石流は、沢上部（深部）にあるいくつかの斜面が崩壊し、一体となって発生したものと考えられる。日高幌内川上流部の右岸において、図5に示すように、長さ約1000m、幅約500mにわたる尾根部が地震により約500m滑動し河川閉塞が生じた⁹⁾。これは大規模かつ崩壊面が深い地すべりであると考えられる。

（注：ここまで、図番号の最後は図6、写真番号の最後は写真3、文献番号の最後は9）です。）

5. 札幌市における液状化災害

被災地を南西に向かって撮影した写真を図5に、また、現地の詳細な地図を図8に示す。液状化した土砂の流出により著しい陥没が帶状に発生した範囲と地表面への土砂噴出箇所、水道管損傷箇所と大量の水が流れた範囲や流下した土砂が堆積した範囲を写真に重ね合わせて示している。帯状の陥没範囲は、上流側から五角形（ホームベース型）の里塚中央ぼぶら公園までは緩やかな勾配であり、さらに下流に向かって急に勾配が増す縦断面になっている。特に下端部で標高60mと標高55mの等高線が近く勾配が急である。土砂が噴出した箇所は、地表面勾配が増加し、地下水位が地表面直下まで相対的に浅くなっていた箇所に該当する。水道管損傷箇所の土砂は流动するまでには至っていない。流出した大量の水道水は道路面を流下し、土砂噴出箇所付近で流出土砂の流れと合流し、帶状の陥没域からの流出土砂を下流側の広い範囲に運んだと推察される。なお、里塚中央ぼぶら公園の北西側に独立した陥没域があるが、ここは局所的な陥没であり、地表面の状況を見る限り下流側に向かって流出した痕跡は確認されなかった。暗渠河川の上に位置するこの陥没については、地下水より深く位置する暗渠河川に細粒分が吸い出されるなどして、地震発生前から空洞ができていた可能性も示唆されるが、復旧工事の中で周辺を掘削しても、特に空洞の痕跡は認められなかった。



図7 被災地を南西向きに撮影した航空写真、朝日新聞社のチャーター機より著者が撮影

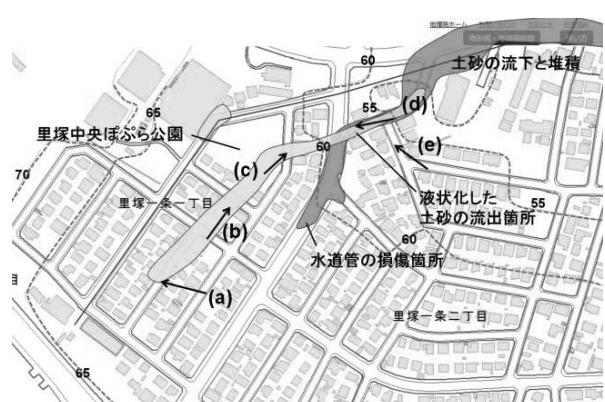


図8 被災地の地図と写真撮影箇所（国土地理院の電子地図に加筆）

図中の(a)～(e)で撮影した現地の被害状況を**写真4～8**に示す。

写真4は、帯状の陥没範囲の最も上部に当たる地点aにおける被害状況で、右側の住宅が1m近く陥没し、陥没域の境界部上に位置する車庫の傾きが著しい。車庫内の舗装に数10cmの段差が生じているが、近隣の住民の話によると、地震直後の段差はここまでひどくはなかったという。また、この付近で陥没した住宅に住んでいた別の住民の話によると、地震の揺れが収まって外に出ると、目の前の道路が隆起したように思えたという。その後、明るくなつてから改めて外に出ると、さらに隆起がひどくなっていたと話していた。これらのことは、地震直後にある程度は陥没していたこと、その後少し時間をかけて著しい陥没になったことをうかがわせる。また、陥没した住宅の住民の方が、実際とは逆に目の前の道路が隆起したと勘違いしたと証言していることから、加速度を感じない程にゆっくりと陥没したと考えられる。



写真4 被災地の状況（地点a）



写真5 被災地の状況（地点b）

写真5は、地点bで撮影した帯状の陥没域を挟んで建つ2軒の住宅の被害状況である。写真中央付近で2m近く陥没していた。左側の住宅は、約40年前に宅地造成された当初からの直接基礎による住宅で、地盤の陥没とともに著しく傾いたのに対し、右側の住宅は、建替えの際に杭基礎を施工したこと、地盤が大変形したにもかかわらず建物の傾斜が著しく軽減されていた。

写真6は、里塚中央ぽぷら公園の脇にある道路の陥没と住宅の被害状況である。里塚中央ぽぷら公園からこの写真の辺りにかけての沈下量が最も大きく、約3mに達していた。右側の建物は、この地区における被害の中で最も傾斜が大きかった住宅である。道路上には水が溜まっているが、この水はその後も長期間にわたり溜まっていたことから、地下水位とほぼ一致すると考えられ、当該地域の地下水位が浅い（高い）ことが示唆された。溜まっている水は細粒分を含み濁っているものの、濁った地下水が湧いている程度で、液状化による噴砂は確認できなかった。

写真7は、液状化した土砂が流出した地点d付近の被災状況である。写真の左右両側の地表面には大量の土砂が堆積しているが、これは液状化した土砂が盛土上部から続く被圧状態となり、地盤表面を押し破って流出した土砂が周辺に堆積したものであると推察される。写真中央部は、損傷した水道管からの大量の水によるガリ侵食の結果であると考えられる。



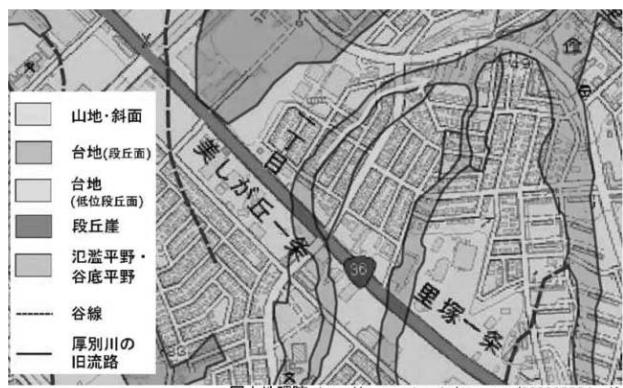
写真6 被災地の状況（地点c）



写真7 被災地の状況（地点d）



写真8 被災地の状況（地点e）



国土地理院 <http://www.gsi.go.jp/common/000205584.pdf>

写真8は、液状化した土砂が噴出した付近に見られた液状化の痕跡で、住宅前の道路舗装がコンクリート製の塀とともに大きく持ち上げられており、土砂の大規模流出の直前まで高い揚圧がかかったことをうかがい知ることができる。

被災地の最新の地図と旧地形図とを重ね合わせた地図が国土地理院から公開されている（図9）¹⁰⁾。被災地は谷埋め盛土に沿って発生したことが読み取れる。当該地区は支笏火碎流堆積物からなる台地のほぼ末端に位置し、幾筋もの谷地形が形成されていた。里塚地区は札幌郊外で宅地開発が進んだ1970年代後半に造成された。谷埋め盛土の厚さは最大約10mであり、谷地形に沿って流れていた三里川はボックスカルバートによる暗渠河川として埋設された。ボックスカルバート内には地震による損傷は見られず、健全な状態であった。ただし、地下水水面下約5mの高い水圧下にあるにもかかわらず、接続する排水管（塩ビ製の有孔管）からの流入量は多いとは言えず、目詰まりなどにより地域全体の排水機能が低下している可能性が示唆された。また、排水管を通じて細粒分が抜け出した痕跡が確認される箇所もあった。なお、地震後に確認したこの状況が地震前から続くものなのかは明らかではない。

盛土材料は、広域にわたってほぼ同様の粒径分布であり、0.075mm未満の細粒分は約40%であった。細粒分は非塑性である。プロクターの標準エネルギーで突き固める標準締固め試験によれば、最適含水比 w_{opt} は42.6%，最大乾燥密度 ρ_{dmax} は 1.094g/cm^3 が得られた。最大乾燥密度が小さいことからわかるように、細粒分が締固めを阻害していると考えられる。最小・最大密度試験（JIS A 1224）より、最大間隙比 e_{max} と最小間隙比 e_{min} として2.192と1.275が得られた。なお、細粒分が多く、最小・最大密度試験の適用範囲外となるため、これらは参考値としての位置付けとなる。土粒子密度 ρ_s は 2.391g/cm^3 であった。

2018年11月に里塚中央ぼぶら公園において、土木研究所寒地土木研究所が、固定ピストン式シンウォールサンプラーを使って乱れの少ない試料の採取を実施した。提供いただいたデータによると、地下水位よりも上部（不飽和帯）で乾燥密度 0.859g/cm^3 、地下水位よりも下部（飽和帯）で乾燥密度 0.967g/cm^3 であった。これらの値はそれぞれ、間隙比で1.703と1.407、相対密度で40.7%と63.3%、締固め度で78.5%と88.7%に相当する。地下水位以下の土は、液状化後の排水により著しく圧縮したと考えられるため、地下水位より上部の土の方が地震前の現地の土の状態を代表していると考えられる。

北海道地方の火山灰質砂の液状化抵抗特性については、多くの既往の研究成果が報告されている。このうち文献¹¹⁾は、原位置と同程度にまで密な状態に再構成した火山灰質砂の液状化抵抗は、比較的密な豊浦砂（ $D_r=80\%$ ）の液状化抵抗よりも高いことを指摘した。ただし、対象とされている火山灰質砂の細粒分含有率は0.2～1.6%と小さく、本報告で対象としている里塚地区の盛土材料（火山灰質砂）の細粒分含有率（40%前後）に比べて非常に低い値であった。一方、文献¹²⁾は、細粒分含有率を人工的に調整した火山灰質砂試料に対して、多様な締固め条件、特に乾燥側、湿潤側、高密度側の締固め条件（すなわち、標準締固め曲線よりも上側に位置する点）に着目し、液状化抵抗を調べた。その結果、細粒分含有率が増加した場合でも、十分に締め固められていれば、より高い液状化抵抗を有していることが示されている。このことは、一見すると、多くの既往の研究（例えば文献¹³⁾において、非塑性細粒分が増えると液状化強度が下がると報告されていることに反するように思われる。しかしながら、実際の挙動を細部まで見ると、液状化特性は締固め状態（締固め度と締め固め時飽和度など）に依存し、その挙動はきわめて複雑であることを示唆している。

十分に締め固められていて相対密度が高い状態にあった場合、そもそも液状化しにくはずであるし、例え液状化したとしても、文献¹⁴⁾などを参考に判断されるように、ダイレーションの発生により流動化せず、液状化した土砂が大規模に地中から下流側に流出することも説明することはできない。実際、里塚地区における原位置の相対密度として推測された値に近い相対密度約40%の里塚地区の火山灰質砂の盛土に対して非排水繰返し三軸試験（液状化試験）を実施したところ、飽和条件下での非排水繰返し載荷に対して極めて低い液状化抵抗しか示さず¹⁵⁾、地下水位が上昇すると液状化・流動化しやすい盛土であったことが示唆される。

不十分な締固めと、地下水位の上昇が、里塚一条地区での地盤の変状を説明する上でカギになっていると考えられる。一連の現地調査や土質試験結果を踏まえて、宅地造成から今回の地震による被災までの経過として推測されるシナリオを図10(a)～(d)にまとめるとともに、土砂流出と陥没のメカニズムの説明を図11に示した。

- (i) 支笏火災流堆積物からなる台地の末端に位置する今回の被災地域は、元々幾筋もの谷筋が刻まれていて、1970年代後半に切土・盛土により宅地として造成された（図10(a), (b)）。
- (ii) 排水機能の低下により（もしくは前日の台風21号の影響で一時的に）地下水位が上昇していたところで地震が発生し、谷埋め盛土が液状化した（図10(c)）。
- (iii) 傾斜地であることから、液状化した土砂が地中を下流側に流れ出し、下流側の地表面勾配が急になり土被りが薄くなるところで地表面に噴出した（図10(d)）。この流動化は、細粒分が多い盛土材料であるために透水係数が低く、過剰間隙水圧の消散に時間要する状態であったことも原因となっている可能性がある。盛土材料の透水係数は 10^{-7}m/sec のオーダーであり、典型的な粒径が整った砂（例えば豊浦砂）の透水係数よりも2オーダー以上低い。
- (iv) 上流側では、地中の土砂が流出してなくなってしまったために、体積の喪失分だけ地盤表面に陥没が発生した（図10(d)）。土砂が噴出した下部では、水道水の流下によるガリ侵食が加わり、地盤に著しい変状が発生した（写真7参照）。液状化しても、その土砂が下流側に向かって流出しなかった場所では、液状化後の圧密排水によりある程度の沈下が発生した。

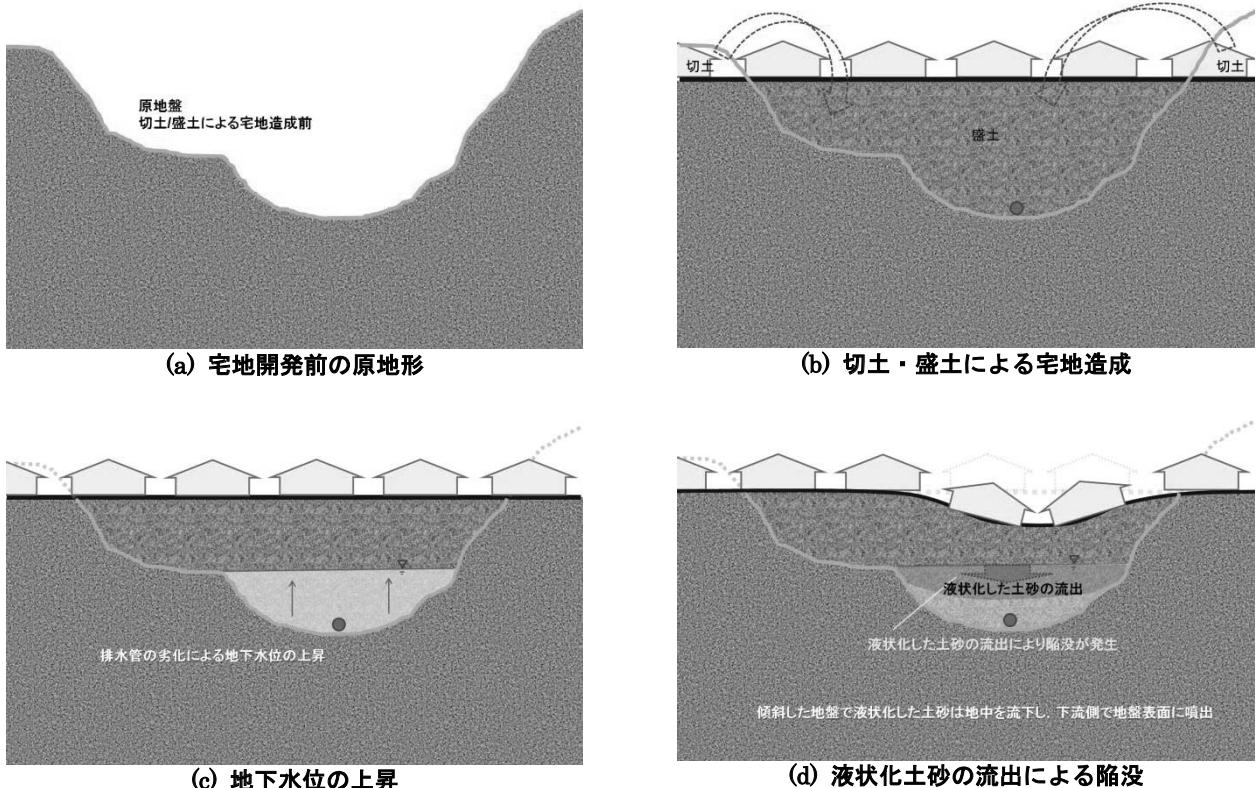
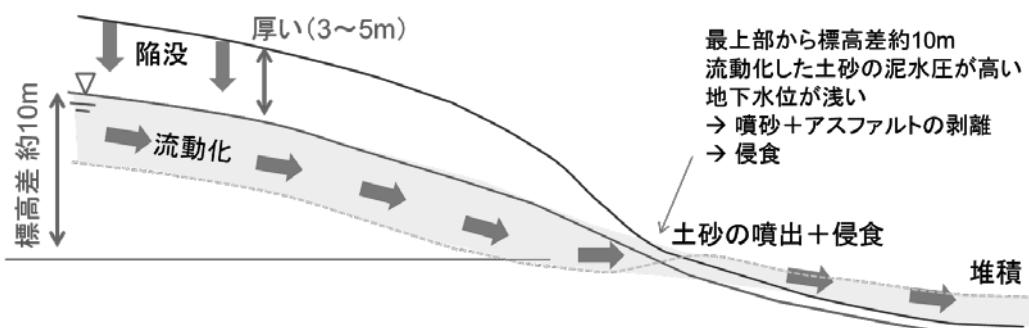


図 10 里塚一条において推測された地盤造成から変状に至るまでのシナリオ



6. 地盤災害の復旧状況

写真 9 は、厚真川の仮復旧状況であり写真 3 の橋上から上流側（写真上方）を撮影した。仮復旧では河道確保が優先されたため、胆振・日高地区の重機の大半が集められ崩壊土砂の除去が急ピッチで進められた。本復旧については、地震発生から約 1 年経過し徐々に工事が進んでいる。特に、大規模な地滑りにより著しい河道閉塞が発生した日高幌内川の上流部では、国直轄事業として復旧対策が実施されている。図 12 は、2019 年 5 月末の復旧状況である。図 6 とほぼ同じ位置で上流側から下流側を俯瞰している。復旧は、掘削工、水路工（約 830 m）、砂防堰堤（2 基）を構築することにより、河道確保が行われている。また、厚真町吉野地区や富里地区の斜面崩壊箇所は、北海道により順次斜面安定対策工事が実施される計画である。



写真5 厚真川の仮復旧状況



図12 日高幌内川上流部の復旧状況^{⑥)}

一方、札幌市清田区で発生した液状化で最も被害が著しかった里塚一条地区では、同様の被害が発生しないように対策工事が行われている。液状化対策では、液状化そのものを発生させないことが最も重要である。これに加え、当該地区は傾斜地であることから、想定以上の地震により、万一液状化が発生しても土砂流出を阻止することが、有効な対策となる。札幌市が第4回地元説明会で示した工事の概要^{⑯)}を図-13に示す。まず、液状化を防止するために、地盤改良により地盤を固化させることに加え、地下水位を低下させることも対策工として示されている。基本となる対策工事は、市道の直下に対する深層混合処理工法による地盤改良である。深層混合処理は連続する改良体により地下水の流れが阻害されるため、地域の最上流側の市道と最下流側の里塚中央ぼぶら公園では地盤を碎石に置き換えて排水層とし、これを河川暗渠と直結させることによって、地域への地下水流入を防ぐ対策となっている。なお、深層混合処理改良が実施される地域内の市道については、改良深度よりも上部まで地下水位が上昇しないように、排水用の暗渠管が設置される。次に万一液状化が発生したときの土砂流出防止対策であるが、住宅の下の地盤が液状化してしまうと、市道直下に作られる深層混合処理の改良体だけでは側方流動を阻止できない可能性があることから、住宅の下の地盤についても地下水位以下となる可能性がある地表面から約3m以深については、市が実施する対策工事の一環として固化を実施し、地域の地盤を一体的に固化する対策工事が計画されている。市道から斜めボーリングで注入固化できるように、薬液注入工法が採用される見込みである。なお、住宅の傾斜修正は市の工事の対象とはなっていない。

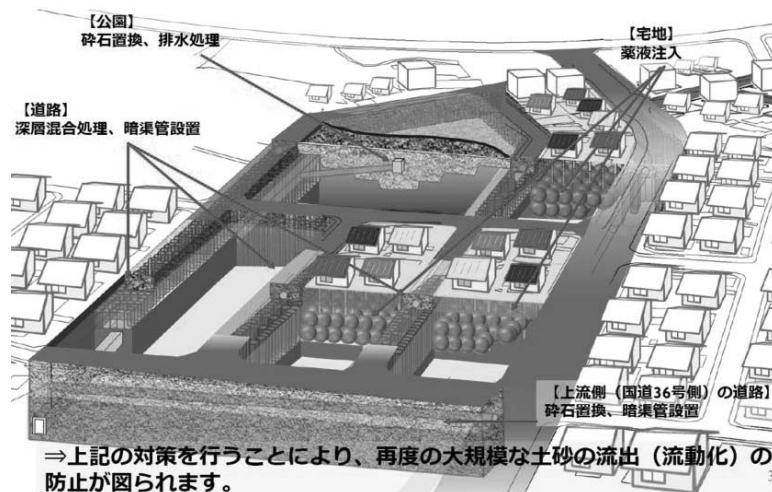


図-13 対策工事の概要 (札幌市による第4回地元説明会資料^{⑯)}より)

7. おわりに

2018年9月北海道胆振東部地震の地盤災害について、厚真町吉野地区、富里地区、幌内地区および札幌市清田区里塚地区について現地調査等を実施し、これらの調査から北海道胆振東部地震による地盤災害の発生要因について検討した結果、以下の知見が得られた。また、その後の復旧状況と北海道における地震災害に対する今後の課題をまとめると以下のようである。

- 1) 吉野地区の斜面崩壊については、樽前火山灰層 (Ta-d) の表層崩壊であると考えられる。
- 2) 幌内地区の斜面崩壊については、大規模かつ崩壊面が深い斜面崩壊であると考えられる。
- 3) 幌内地区の降下軽石堆積物 (火山灰) は、恵庭岳を噴出源とする En-a に近い性状を示した。このことから、恵庭軽石層まで、すべりの影響の可能性があると考えられる。
- 4) 復旧工事が進捗しない要因として、崩壊斜面の所有者 (管理者) が、国、北海道、個人等、多岐にわたるため、調整に多大な時間を要したことや農地の所有者が故人となり、農業後継者が不在で復旧対応に苦慮したことなどが挙げられる。これらの要因は今後の復旧対策の課題である。
- 5) 清田区の盛土材料は、支笏カルデラからの火砕流堆積物で、細粒分含有率が約 40% と高いことが特徴である。札幌市清田区里塚地区で発生した大規模な液状化被害は、地表面に噴砂痕がなく、一見すると大規模な陥没に見える特異な被害形態であった。このような被害形態が発生したのは、盛土地区末端の勾配が大きいことが原因と考えられる。盛土の下流側末端から液状化土砂が大量に噴出したことによって、上流側では土砂が地中を流下して失われ、地表面が著しく陥没した。

謝辞

本報をまとめるにあたって、土木学会北海道支部・地盤工学会 2018年9月北海道胆振東部地震災害緊急合同調査団の関係各位、札幌市より、資料をご提供頂いた。ここに記して、謝意を表します。

参考文献

- 1) 北海道開発局 : 【全体版】平成 30 年北海道胆振東部地震に係る復旧・復興等の状況 (第 4 版),
<https://www.hkd.mlit.go.jp/ky/saigai/splaat000001e1uy-att/splaat000001fkqu.pdf>, 2019.
- 2) 気象庁 : 平成 31 年 2 月 21 日 21 時 22 分頃の胆振地方中東部の地震について ~「平成 30 年北海道胆振東部地震」について (第 11 報), <https://www.jma.go.jp/jma/press/1902/21a/kaisetsu201902212320.pdf>, 2019.
- 3) 総務省消防庁 : 平成 30 年北海道胆振東部地震による被害及び消防機関等の対応状況 (第 35 報) (消防庁応急対策室 : 令和元年 8 月 20 日 13:00),
<https://www.fdma.go.jp/disaster/info/items/190820hokkaidoujisinn35.pdf>, 2019.
- 4) 内閣府 : 平成 30 年北海道胆振東部地震に係る被害状況等について (平成 31 年 1 月 28 日 15:00 現在),
http://www.bousai.go.jp/updates/h30jishin_hokkaido/pdf/310128_jishin_hokkaido.pdf, 2019.
- 5) 国土地理院 : 平成 30 年北海道胆振東部地震に関する情報、斜面崩壊・堆積分布図、国土地理院地図,
<http://www.gsi.go.jp/BOUSAII/H30-hokkaidoiburi-east-earthquake-index.html#10>, 2019.
- 6) 國土交通省 : 平成 30 年北海道胆振東部地震の崩壊面積は明治以降の地震災害で最大 (平成 30 年 10 月 5 日), http://www.mlit.go.jp/river/sabo/h30_iburitobu/181005_sediment_volume.pdf, 2018.
- 7) 北海道の火山灰質土の性質と利用に関する研究委員会: 実務家のための火山灰質土～特徴と設計・施工、被災事例～、地盤工学会北海道支部、p.14、柱状図 No.25、2010.
- 8) 産業技術総合研究所地質調査総合センター : 平成 30 年北海道胆振東部地震の関連情報、現地調査報告その 2「厚真町における表層崩壊」, <https://www.gsj.jp/hazards/earthquake/hokkaido2018/hokkaido2018-07.html>,

2019.

- 9) 国土交通省北海道開発局室蘭開発建設部：北海道胆振東部地震 復旧・復興、厚真川水系砂防事業所の工事、大規模河道閉塞対策, <https://www.hkd.mlit.go.jp/mr/kouhou/c5b1ee000000f4qa-att/c5b1ee000000f4sp.pdf>, 2019.
- 10) 国土地理院：札幌市地域の地形復元図（地形分類図）
<http://www.gsi.go.jp/BOUSAI/H30-hokkaidoiburi-east-earthquake-index.html>
- 11) Miura, S., Yagi, K. and Asonuma, T.: Deformation-strength evaluation of crushable volcanic soils by laboratory and in-situ testing. *Soils and Foundations*, 43(4), 47–57, 2003
https://doi.org/10.3208/sandf.43.4_47
- 12) Matsumura, S., Tatsuoka, F.: Effect of compaction conditions and fines content on cyclic undrained strength of saturated soils, *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 112, 152–161, 2018
<https://doi.org/10.1016/j.soildyn.2018.04.029>
- 13) Cubrinovski, M., Rees, S. and Bowman, E.: Effects of Non-plastic Fines on Liquefaction Resistance of Sandy Soils. In: Garevski, M., Ansai, A. (eds) *Earthquake Engineering in Europe. Geotechnical, Geological, and Earthquake Engineering*, Vol. 17, Springer, Dordrecht, 2010
- 14) Cubrinovski, M. and Ishihara, K.: Flow potential of sandy soils with different grain compositions. *Soils and Foundations*, 40(4), 103–119, 2000
https://doi.org/10.3208/sandf.40.4_103
- 15) 地盤工学会：平成 30 年北海道胆振東部地震による地盤災害調査団最終報告書, 第 4 章 札幌市・北広島市の地盤被害, pp.20–101, 2019.
- 16) 札幌市：第 4 回清田区里塚地区の市街地復旧に向けた地元説明会, 配付資料, 2000
https://www.city.sapporo.jp/kensetsu/stn/documents/dai4kaisetsumeikaisiryo_1.pdf