

## □平成30年胆振東部地震による 火山灰谷埋め盛土の液状化被害

北海道大学大学院工学研究院 教授 渡 部 要 一

### 1. はじめに

平成30年9月6日午前3時7分に発生した「平成30年北海道胆振東部地震」は、胆振地方中東部にある逆断層において深さ約37kmを震源とするMw6.6の内陸直下型地震であった。震央に近い厚真町内では、北海道で初めてとなる震度7が観測された他、震央より西側の地域では、苫小牧市から札幌市にかけての広い範囲で震度5弱～6弱の強い揺れが観測された。沿岸の埋立地だけでなく、札幌市南部の火山灰谷埋め盛土や札幌市北部の地下鉄開削工事の埋め戻し土などで液状化被害が発生した。本稿では、胆振東部地震で発生した液状化被害のうち、液状化した土砂の流出により住宅地が大規模に陥没するといった、他にあまり例を見ない特異な被害が発生した札幌市清田区里塚一条1丁目の谷埋め盛土の被害とその発生原因について報告する。

### 2. 被災概況

札幌市郊外の住宅地で発生した液状化被害のうち、札幌市清田区里塚一条1丁目では、帯状に続く一帯が液状化により大規模に陥没したにもかかわらず、地表面に噴砂が現れない珍しい形態での被害が発生した。被災地を南西に向かって上空から撮影した写真を写真-1に示す。液状化により著

しい陥没が帯状に発生した範囲と、その下流部で地表面に土砂が大量に噴出した箇所、地震による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。土砂が噴出した箇所は、後述するように、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。水道管の損傷は地盤の液状化が原因であると考えられるが、当該箇所の土砂は流出しておらず、大規模な

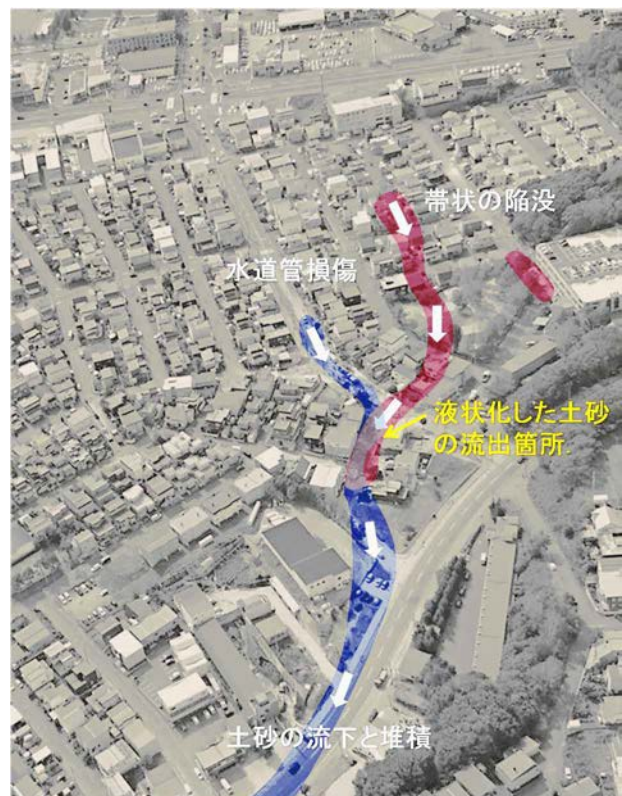


写真-1 被災地（里塚一条）の航空写真と被害範囲

陥没の原因とはなっていない。水道管から流出した大量の水は道路面を流下し、アスファルトが剥離した土砂噴出箇所付近の路面を侵食し、帯状の陥没域からの流出土砂とともに下流側の広い範囲に運んだと推察される。

帯状の陥没が著しい範囲、ならびに周辺で損傷した水道管からの流出水が流下した範囲を図-1の地図上に描いた。帯状の陥没範囲は、南西側から北東に向かって傾斜し、上流部と下流部では約10mの高低差があり、特に下流部で標高60mの等高線に標高55mの等高線が近づいて勾配が急になっている。図中の(a)～(e)で撮影した現地の被害状況を写真-2～6に示す。

写真-2は、帯状の陥没範囲の最も上流部に当たる地点 a における被害状況で、右側の住宅が1m近く陥没し、陥没帯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、地震直後から段差はあったもののここまでひどくはなく、車庫から車を出すことができたという。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て様子を見たら、目の前の道路が隆起したように思えたという。その後、明るくなってから外に出ると、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、地震直後にも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と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度にゆっくりと陥没したことが示唆される。



写真-2 被災地の状況（地点 a）

写真-3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住宅で、直接基礎であることから、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で、地盤の大変形にもかかわらず建物の傾斜が最小限に抑えられていた。



図-1 被災地の地図と写真撮影箇所





写真-3 被災地の状況（地点 b）

写真-4は、里塚中央ぼ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。里塚中央ぼ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、被災した建物の中で最も傾斜が大きかったものの一つである。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比較的浅いところにあることが示唆される。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、液状化による噴砂とは言えない状況であった。



写真-4 被災地の状況（地点 c）

このように、写真-2～4に示したように、里塚一条1丁目の被害の特徴は帯状に続く大規模な陥没であり、地表面への噴砂痕がないことから、一見すると液状化に起因した被害ではなく、地中にできた空洞に起因した陥没のように見えてしまう。しかし、さらに下流側の地点 d 付近の被災状況を示した写真-5を見ると、液状化した土砂が地中か

ら大量に噴出し、特に写真の左手前側地表面に大量の土砂が堆積していた。これは、地中で液状化した土砂が上流部から連続する地層で発生したために、下流部では被圧状態となり、下流部の地面（アスファルト舗装）を押し破って一気に土砂流出し、その土砂が周辺に堆積したと推察される。その状況は液状化層の底が抜けたような状況であり、地中から作用する泥水圧が高まって地面を押し上げたことは、写真-6に示すように、周辺の住宅前の路面が著しく盛り上がっていたことからもうかがい知ることができる。地表面のみならず、コンクリートの塀も写真の手前側が押し上げられていた。液状化・流動化した土砂がアスファルトの路面を剥離させて流出し続けたところに、周辺で損傷した水道管からの大量の水が合流してきたことで、写真-5に見られるようにガリ侵食が進み、被害が拡大したと考えられる。



写真-5 被災地の状況（地点 d）



写真-6 被災地の状況（地点 e）

### 3. 被災原因

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-2）。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。当該地区は支笏火砕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。古い地形図を見ると、尾根と谷では最大で約25mもの高低差があり、札幌郊外で宅地開発が進んだ1970年代後半に切土・盛土によって宅地が造成された。谷埋め盛土の厚さは最大で10m近くあり、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地中に埋設された。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）からの流入量が多いとは言えず、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。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。



図-2 被災地の旧地形図との重ね合わせ

被害が発生した盛土地区も被害が発生しなかった切土地区も、地盤を構成する土質は軽石からなる火砕流堆積物の砂質土で、細粒分（粒径0.075mm以下の粒子）が30～40%も含まれている。火山灰のような粘性を持たない細粒分を多く含む土は、適度に水分を含んだ状態で盛土を施工する場合、十分に締め固めれば液状化しにくい強固な地盤を

造成できるが、締固めが不十分であると水分を含んだ細粒分が「だま」を作って密にならず、緩詰め状態の盛土が造成されてしまう。緩詰め状態の盛土であっても排水が十分に機能して地下水位が上昇しなければ、それなりの強度を有し液状化もしない。しかし、造成から時間が経過して排水機能の低下などにより地下水位が上昇してくると、緩詰め状態の盛土はきわめて液状化しやすいものになってしまう。

地震後の様々な調査結果に基づいて推測された土砂流出と陥没のメカニズムは、図-3を用いて、以下の①～④により説明できる。

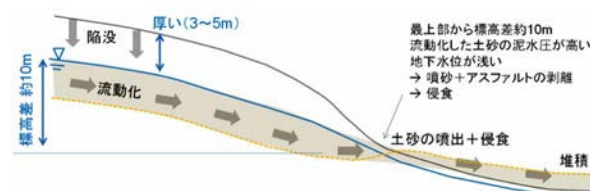


図-3 推測される液状化による土砂流出と陥没のメカニズム

- ① 支笏火災流堆積物からなる台地の末端に位置する当該地域は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。当時は盛土造成に関する技術基準はまだ制定されておらず、今日の技術から考えると、十分な施工管理がなされておらず、緩詰め状態で造成されていた可能性が高い。しかし、造成当初は地下水位が低く、比較的安定した宅地として機能していたと見られる。
- ② 造成から40年が経過し、排水機能の低下に加えて地震前日の台風による影響もあり、地下水位が上昇していたところに強い地震が発生したために、谷埋め盛土が広範囲にわたって液状化した。盛土の上流側の宅地では、地下水位は上昇してもなお地表面からは3～4mと深く、液状化した土砂が噴砂となって地表面に表れることはなかった。
- ③ 傾斜地で高低差が約10mあり、液状化した層が上流側から下流側まで連続していたことから、

下流側では泥水圧が高まり、勾配が増加する箇所（図-1の標高55mの等高線が盛土側に向かって入り込んでいる箇所）、すなわち、地下水位が相対的に浅くなる箇所の路面を押し破って噴出した。

- ④ 下流部での土砂の流出により、上流部では土砂が抜け出た分だけ宅地が陥没した。土砂が噴出した下流部では、近傍での水道管損傷による流出水で侵食が進行し、地盤に著しい変状を来した。

#### 4. まとめ

土地造成時には地下水位はきわめて深く、簡単な排水管を埋設しながら気中での盛土施工が行われるが、水分を含む細粒分が集合体（だま）を作り、これが間隙の多い高位な骨格構造を作ったために、緩詰め状態の地盤ができてしまったようである。造成から約40年が経過する中で、10年ほど前から増改築のために数カ所で地盤調査がなされていた。その結果によると、スウェーデン式サウンディング試験による換算N値が地下水位以深で0～2しかない軟弱層の存在が明らかになっており、写真-3の右側の住宅のように杭基礎を採用した住宅も多い。地下水位より上部では強度があるのに、地下水位より下部では強度がない状況は、地下水位の上昇と密接に関係していると考えられる。宅地造成時には想定されていなかった地盤状態変化であるが、このような地盤情報が地域住民

の間で共有されることはまずない。土地という個人財産の価値を左右しかねない情報になるので、地盤情報の扱いは慎重になるべきであるが、地盤に対する対策は、個人ではどうにもならないことも多く、地域で情報を共有して早めの対策を取ること視野に入れて考えるべきである。

里塚一条1丁目の支笏火砕流堆積物と同様の地盤材料で谷埋め盛土された地区は、札幌市清田区を中心としていくつか存在しており、今回の地震だけでなく、2003年の十勝沖地震などでも液状化被害が発生している。これらの地区では、液状化による噴砂や住宅のめり込み沈下が見られたが、里塚一条1丁目のような大規模な陥没は発生していない。その後の調査により、この違いは、盛土造成地の下流側末端部分の勾配に起因していることがわかってきた。里塚一条1丁目では、上述のように下流側末端部分の勾配が急になるために相対的に地下水位が浅い下流部から液状化した土砂が流出したのに対して、美しが丘や清田団地などでは盛土の下流側末端部の勾配が急ではないために、下流部からの土砂流出により上流部が陥没するような被害にはならなかったと考えられる。地盤材料、造成年代、地下水の条件などを考えれば、下流部からの土砂流出を伴ったかどうかの違いはあるものの、広い範囲で液状化が発生した点では同じである。なお、液状化が発生した地域の多くは、札幌市の防災マップで液状化しやすい地域として色づけされていた。