

2018年北海道胆振東部地震による北広島市大曲地区の宅地被害分析

橋本 隆雄¹

¹正会員 国土館大学教授 理工学部理工学科 (〒154-8515 東京都世田谷区世田谷 4-28-1)
E-mail: thashimo@kokushikan.ac.jp

2018年北海道胆振東部地震では、震度7を観測した厚真町で多数の斜面崩壊が発生した。一方、震央距離50kmを超える札幌市で震度5強を観測し、清田区里塚や美しが丘地区では、大規模な液状化による地盤変状が生じ建物の沈下・傾斜を生じた。清田区の東隣の北広島市大曲地区では、震度5弱を観測し、大曲川に面した28戸の宅地(1972年造成)が崩壊した。また、北広島市では台風21号により、地震前かなりの降雨があった。被災地の原因としては、地震のほか谷埋め盛り土内に地下水位が上昇した影響が大きいと考えられる。そこで本論文は、北広島市大曲地区の宅地被害分析を行い、今後の宅地の教訓を得ることを目的として行った。

Key Words: 北海道胆振東部地震, 地震, 宅地被害, 盛土被害, 液状化

1. はじめに

2018年9月6日早朝3時8分に発生した北海道胆振東部地震(Mj6.7, 震源深さ37km)では、震度7を観測した厚真町で土砂災害を原因とする36人を含めた42人の死者と762人の負傷者が発生した。これに対して、震央距離50kmを超える札幌市で震度5強を観測し、清田区里塚や美しが丘地区では、大規模な液状化による地盤変状が生じ建物の沈下・傾斜を生じた。

清田区の東隣の北広島市大曲地区では、震度5弱を観測し、写真1に示すように大曲川に面した28戸の宅地(1972年造成)が崩壊した。被災した宅地は、間知ブロック擁壁で支えられた道路の川側に腹付けされた盛土地盤である。道路側の埋め殺し擁壁と川に面した擁壁が宅地とともに滑ったために、腹付け部分である道路より川側の宅地に顕著な陥没帯を生じたと推測される。支笏火山山麓で標高は約81m、火山山麓を開析する大曲川の右岸(東側)に面した南北に細長い街区の一角である。

また、札幌市清田区と北広島市では台風21号により、地震前かなりの降雨(里塚では総雨量46.5mm)があった。いずれの被災地も谷沿いの集水地形であったことから、地下水位が上昇し地盤を緩めた可能性は高い。

そこで本論文は、北広島市大曲地区の宅地被害分析をして、今後の宅地の教訓を得ることを目的として行った。



写真1 北広島市大曲地区における盛土地盤の崩壊

2. 災害履歴

(1) 過去における地震被害

「北広島市地域防災計画(地震災害対策編)」によると、「本市における地震の発生状況は、地震については1884年の入植以降、大きな被害を受けた記録がなく、近年、北海道内で発生した1993年釧路沖地震及び1993年北海道南西部地震、1994年北海道東方沖地震、2003年十勝沖地震等においても大きな被害はおきていない。」と記載されており、大きな被害のあった地震は北海道胆振東部地震が初めてであった。ただし、北広島周辺では、

2003年9月26日に発生した十勝沖地震で、隣接する札幌市清田区の清田団地及び美しが丘において液状化被害が発生している。また、今回発生した北海道胆振東部地震においても、清田区では大規模な液状化被害が発生している。

(2) 地表加速度

北広島市に設置されている地表加速度計は、国立研究開発法人防災科学技術研究所の観測所（HKD182 広島）であり、位置を図-1に示す。北広島市の最大地表加速度は199.1galであった。表面加速度分布を図-2、加速度波形を図-3に示す。

(3) 気象状況

北海道胆振東部地震では、前日に台風21号が北海道の西側を通過し、その影響があり地下水位が高くなり被害が発生している可能性がある。しかし、これまで北海道南西沖地震、十勝沖地震では被害を受けていない。そこで、図-4のように各地震1か月間の降雨状況について恵庭島松観測所の降水量を整理した。十勝沖地震および北海道胆振東部地震では、地震発生1週間前と前日に降雨があったことが観測されている。また、1ヶ月間の積算降水量も北海道南西沖地震での68mm/月に対して、十勝沖地震ではほぼ倍の129mm/月であり、北海道胆振東部地震では4倍の271mm/月の降雨量があり、地下水位が高くなっていったと考えられる。これは、十勝沖地震発生前に台風14号、15号が連続して日本付近を通過しており、北海道胆振東部地震では、台風13号から21号が発生し、そのうち13号、19号、20号、21号の4台風が東北、北海道に近接して通過し、これに比べて北海道南西沖地震では、台風3号が南の海上にあることから降水量が少ないと考えられる。このように、十勝沖地震と北海道胆振東部地震では、台風と地震による複合災害が発生しているものと考えられる。



図-1 地表加速度計観測所位置図

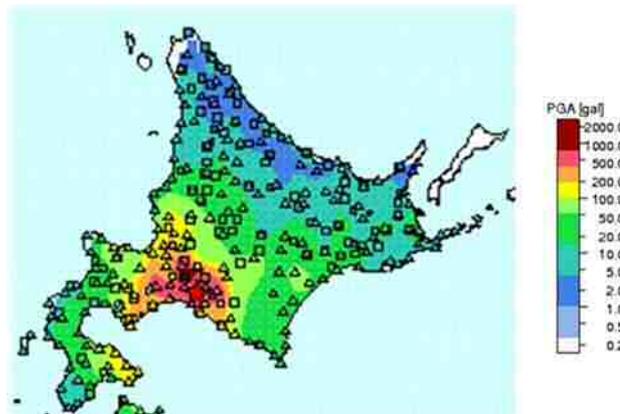


図-2 表面加速度分布図

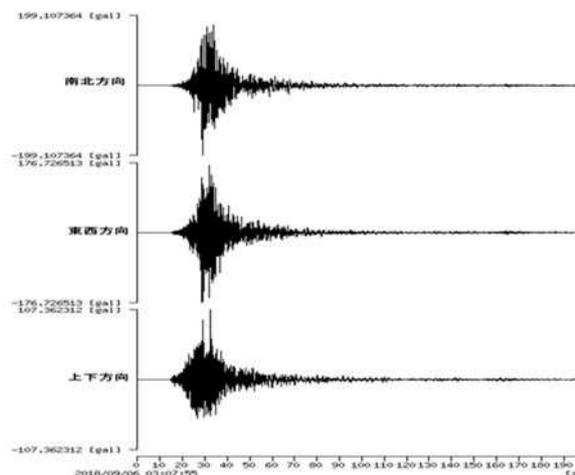


図-3 地表加速度波形

3. 被害地域の地形・地質、造成の経緯

(1) 被害地域の地形・地質

北広島市大曲並木地区造成団地の被災箇所は、図-5に示すように道央自動車道の北広島ICから北西へ約500mの月寒丘陵地に発達する洪積台地と、北広島市と札幌市の市境に位置する大曲川によって形成された氾濫原低地が分布し、「台地～低地」に向かって緩やかな勾配を示す傾斜地上に宅地造成された団地である。これらの造成形状は、「大規模盛土造成時の滑動崩落対策推進ガイドライン及び同解説（平成27年5月）」に示される「谷埋め型盛土」や「腹付け型盛土」の形状を呈している。

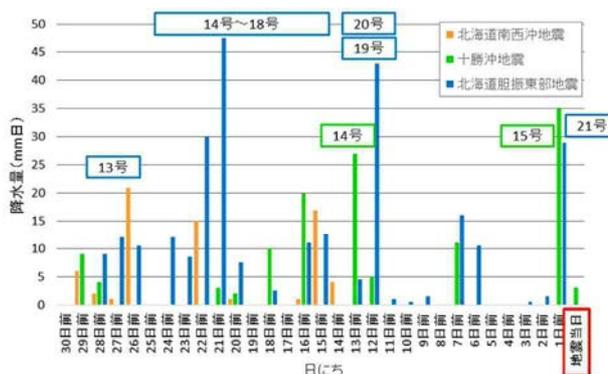


図-4 地震発生1ヶ月間の降水量

対象区域に分布する地形は、調査地域を全体に占めるは台地状の地形と段丘面がみとめられる丘陵地であり、標高 100m 前後の丘陵性台地面が広範囲に広がっており、この台地は一般的に月寒丘陵地とよばれている(陰影起伏図参照)。またこれらの台地面には樹状に発達した小河川等が一部谷地形を形成して流下しており、対象地は南西方向から北東方向へ流下する大曲川に面した台地面の末端部の傾斜地に位置している。なお、現況においては宅地造成が進み樹状に発達した谷地形等は、切盛りされ平坦面になっており、旧地形は確認できない状況にある。

現地形の成り立ちは、洪積世(更新世:1 万年前以上)の地質時代に、大曲川沿いに発達した古い時代の河岸段丘地形に、支笏火山噴出物(主に火山灰)が堆積して丘陵性台地地形が形成されたものであり、この台地面が大曲川に向かって緩やかな傾斜地になっている斜面に宅地造成されたものである。

大曲団地は大曲川に面した台地面の末端部の傾斜地に位置しており、地表面より支笏火山噴出物であると考えられる火山灰層が厚く堆積しており、地質構造は、図-6 に示すようにこの層の下部には部分的に厚別砂礫層(低位段丘礫層)や粘性土層・砂質土層(段丘堆積物)が厚く堆積している。なお、火山灰層は下位に従い弱溶結状態を呈し、部分的に凝灰岩状を呈する箇所も見られる。

(2) 造成の経緯

当該地区は 1970 年(昭和 45 年)に都市計画決定当初より市街化区域に指定されており、市街地として形成されることになった。造成工事は 1972 年(昭和 47 年)に地区のほとんどを行ったものの、大曲川沿いの南西側は地元の地主が 1973 年(昭和 48 年)に開発した。北広島市では、その後 14 回に渡って市街化区域の編入がなされてきた。当該地区の土地利用は、第 1 種低層住居専用地域となっており、南側の一部が第 1 種特別工業地区となっている。

写真-2 は、造成履歴がわかる年代別の航空写真である。(a)1947(昭和 22)年は周辺に集落もほとんど見当たらず、農地の間に家が点在している状況であった。地区南側には旧街道が北西から南東に向かって通っているが、大曲川の谷部で大きく蛇行しながら谷底を横切っているのが分かる。(b)1961(昭和 36)年になると南側には国道 36 号が整備され、地区の南側と西側の国道に沿って開墾が進み、樹林地が減っているのが分かる。また、地区内でも開墾が進み大曲川を横切っていた旧道が分からなくなっている。また、西側には北へ道路が延びている。(c)1974(昭和 49)年には 1992(昭和 47)年から始まった当該地区の造成が終わり、現在のおおまがり並木地区造成団地に住宅が建ち始めている。南側の国道 36 号も幅

員が広くなり、周辺の宅地化が進み地区北側の一部を除いて農地が見られなくなった。道央自動車道の整備が進み北広島 IC より東側では供用開始している様子うかがえる。(d)1985(昭和 60)年になると地区内の宅地はほぼ家が建ち並び、道央自動車道も西側が開通している。地区周辺の宅地化もさらに進んでおり、宅地の需要が伸びていることがうかがえる。(e)2008(平成 20)年になると、地区内及び周辺の状況は震災前と同じ状況となっており、北広島 IC 西側の宅地にもほぼ家が立ち並んでいる。また、西側の札幌市内の北へ延びる厚別東通も現在の位置に付替えが完了している。震災後(2018(平成 30)年は、航空写真からも大曲川沿いの家屋が西側に移動しているのが確認できる。

4. 宅地被害の状況

(1) 全体の被害状況

宅地は、大曲川の河川に沿って写真-3 に示すように盛土の崩壊等の被害を生じた。そこで、宅地地盤の被害状況を把握するために、147 件の宅地被害調査を行った。

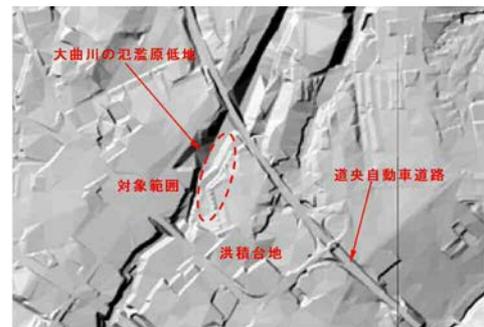


図-5 陰影起伏図²⁾

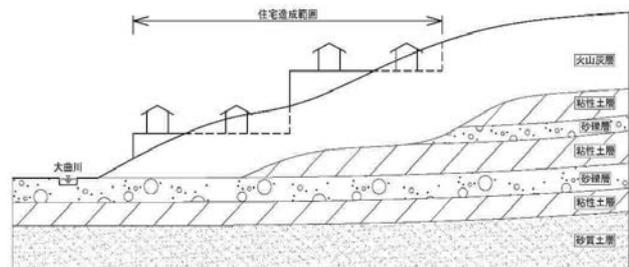


図-6 地質堆積状況の模式図³⁾



(a)宅地地盤のクラック (b)建物基礎部のクラック

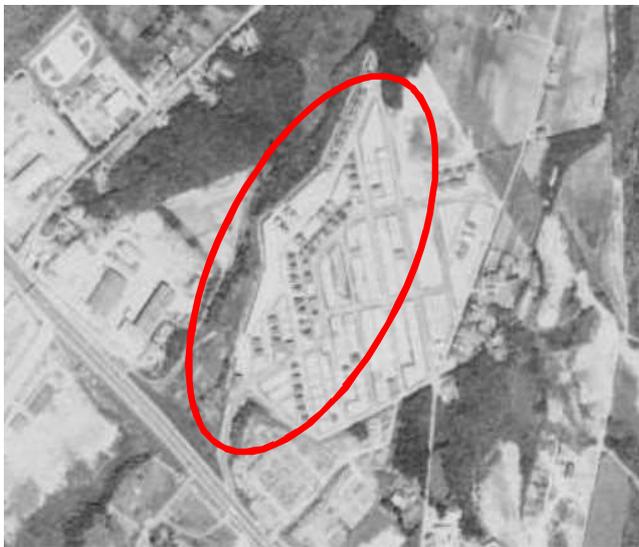
写真-3 宅地の被害状況



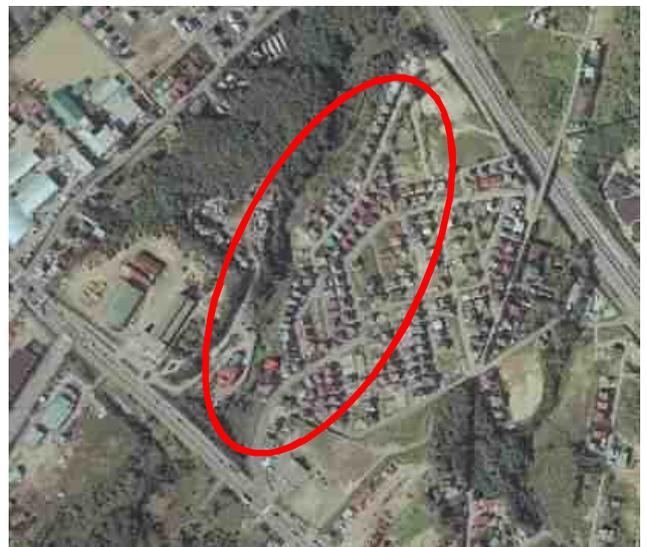
(a)1947(昭和22)年



(b)1961(昭和36)年



(c)1974(昭和49)年



(d)1985(昭和60)年



(e)2008(平成20)年



(f)2018(平成30)年：震災後

写真2 年代別の航空写真（造成履歴）④

は、公共用地及び宅地被災調査による地盤変状図である。北海道胆振東部地震により発生した地盤沈下及びクラック等は、南側街区の切土の箇所にも一部見られるものの、大半は盛土範囲に発生しており、特に大曲川沿いの第3期開発の街区に顕著に現れている。盛土厚さが比較的薄いと想定される盛土範囲の東側や切土の範囲では、変状はほとんど確認されていない。そこで、被害状況については、盛土の変状が顕著な宅地北側エリアと宅地中央エリアと宅地南側エリア、宅地擁壁エリアに区分して行う。

(2) 宅地北側エリアの被害状況

宅地北側エリアは、図-7に示すように旧谷地形に盛土した箇所となっている。この地区の被災形態は盛土のり面が崩壊し、道路では切盛境界付近にクラックが発生している。また、崩壊したり面の南側は浅い腹付け盛土となっており法面方向に複数のクラックが発生している。これらの変状は、盛土の滑動によるクラック発生と同じであることから、盛土が動いていることが分かる。

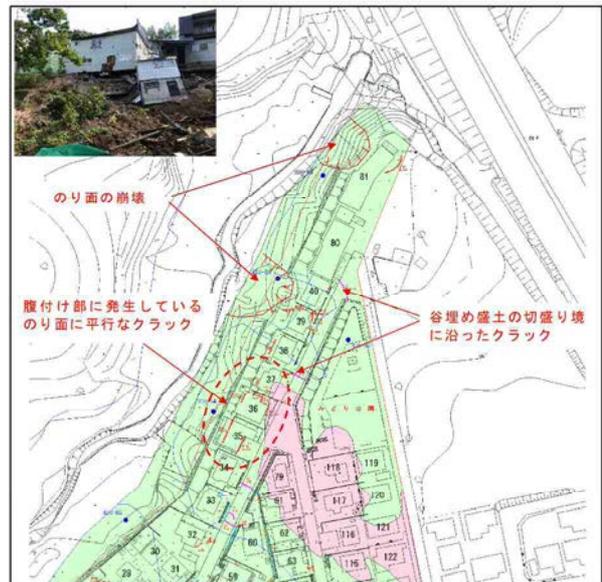


図-7 地北側エリアの現況測量による被災状況

(3) 宅地中央エリアの被害状況

宅地中央エリアは、図-8に示すように旧谷地形に盛土した箇所となっている。この地区の被災形態は道路で切盛境界付近にクラックが発生している。これらの変状は、盛土の滑動によるクラック発生と同じであることから、盛土が動いていることを示している。クラックが発生している箇所付近で部分的な沈下は観測されているが、あまり連続性は見られない。



図-8 宅地中央エリアの現況測量による被災状況

(4) 宅地南側エリアの被害状況

宅地南側エリアは、第3期開発許可事業で造成した区域である。この地区の東側には第1期開発許可事業で設置されたブロック積擁壁を存置したまま盛土がなされており、この擁壁に沿って盛土が落ち込み、大曲川沿いの擁壁を押し出している。宅地内には図-9に示すように複数のクラックが発生している。沈下についての連続性は見られないが、旧谷地形の縁あたりに点在している。



図-9 宅地南側エリアの現況測量による被災状況

(5) 宅地擁壁エリアの被害状況

宅地擁壁部エリアのブロック積擁壁は平積みされた擁壁である。擁壁調査の結果では、図-10に示すように目地ズレやブロックの間隙が生じているが、擁壁上部で水平方向の段ズレが多く発生している。また、一部地盤の不同沈下によりブロック積擁壁も不同沈下が発生している。擁壁の前面勾配は開発許可申請図書では1:0.3と1:0.5となっているが、このエリアのブロック積擁壁は壁高が3.0mを超える擁壁についても前面勾配はすべて1:0.3となっている。

5. 建物の傾斜及び擁壁の分析

(1) 建物被害と盛土地盤の関係

図-11 は、建物被害による罹災証明と切土・盛土の範囲の重ね図である。この図から建物被害のほとんどが盛土地盤に集中していることが分かる。特に、旧谷筋を盛土した箇所は「全壊」の判定を受けた宅地が多い。これに対し、盛土厚が薄いと考えられる箇所や切土の範囲では、比較的被災が少ない傾向にある。

(2) 建物の傾斜分析

図-12 は、建物の最大傾斜で 6 段階に分けて整理したものである。建物の最大傾斜は、建物の四隅の柱に対してそれぞれ直角方向と斜め方向の 3 方向について柱の傾斜を計測し、その中で最大となったものをその建物の最大傾斜とした。建物の最大傾斜と傾斜の方向では、盛土範囲内にある家屋のほとんどが 10/1,000 以上となり、切土範囲の家屋については 10/1,000 未満であった。特に、盛土部では「半壊」以上の判定を受けた家屋が多いことと整合して、その傾きが大きい傾向にある。家屋の平均傾斜の状況とその分布を図-13 に示す。盛土範囲だけでなく切土範囲にも 1/200～1/100 未満の家屋が分布しているが、傾斜が大きな 1/100 以上の家屋はほとんどが盛土範囲内に含まれている。

家屋の平均傾斜の状況とその分布を下図に示す。盛土範囲だけでなく切土範囲にも 1/200～1/100 未満の家屋が分布しているが、傾斜が大きな 1/100 以上の家屋はほとんどが盛土範囲内に含まれている。

(3) 建物の最大傾斜と盛土地盤の関係

建物傾斜は、地震動により建物自体が傾斜する場合と、基礎地盤の状況によって傾斜する場合があります。最大傾斜が地盤の影響を受けているものとして被害状況を分析する。

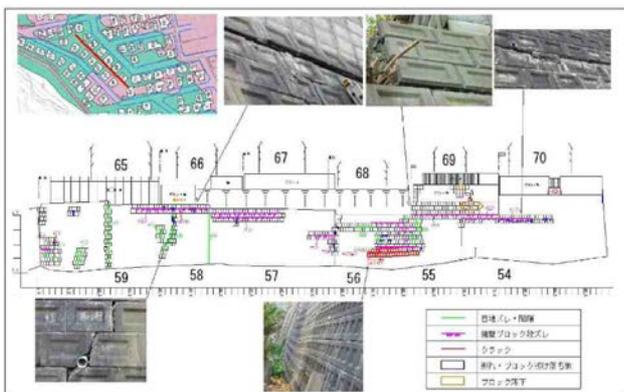


図-10 擁壁被災状況図⁵⁾

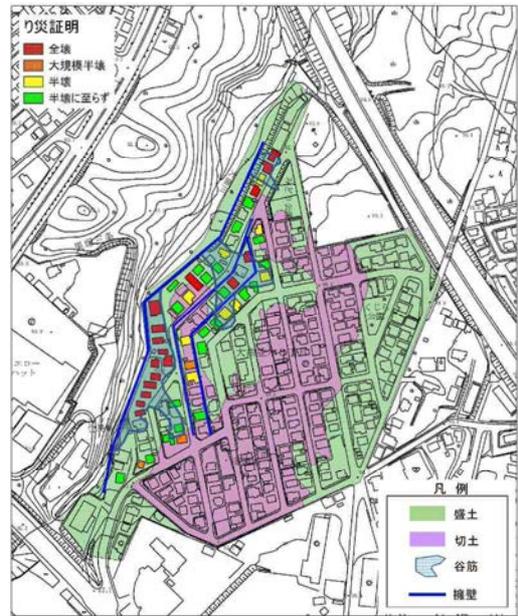


図-11 罹災証明結果と切土・盛土範囲の重ね図



図-12 建物の最大傾斜⁵⁾



図-13 建物の平均傾斜⁵⁾

a) 宅地北側エリア

宅地北側エリアは、図-14 に示すように斜面沿いの家屋はほとんどがすべり斜面方向もしくはクラックの方向に傾斜しており、地盤変状と家屋の傾斜は相関関係にあると言える。すべり斜面に近い家屋ほど傾斜も大きくなっている。

b) 宅地中央エリア

宅地北側エリアは、図-15 に示すように西側及び東側の切盛り境界の家屋は谷側に向かって傾斜しており、斜面沿いの家屋は斜面に向かって傾斜している。大きな沈下、クラックが見られないため、家屋の傾斜も大きなものはないが、切土部の家屋より盛土部の家屋の方が傾斜が大きくなる傾向にある。

c) 宅地南側エリア

宅地北側エリアは、図-16 に示すように西側の盛土部は存置擁壁部分で滑っているため、家屋は東側へ傾斜している。切盛り境界の家屋は谷側に向かって傾斜している。

(4) 擁壁の変状分析

盛土が厚く高い擁壁を設置した箇所、特にブロック積擁壁上部に増積擁壁を施工した箇所等は被災している傾向が強い。当該街区の擁壁の変状は、北端から南端まで全体的に発生しているが、特に盛土範囲もしくは切土・盛土の境界付近に位置する箇所では、変状が多く確認されている。さらに、壁高が高い箇所では図-17 及び写真-4 に示すようにブロックの段ズレなどが連続的に発生している。



図-15 中央宅地エリアの家屋最大傾斜



図-16 南側宅地エリアの家屋最大傾斜

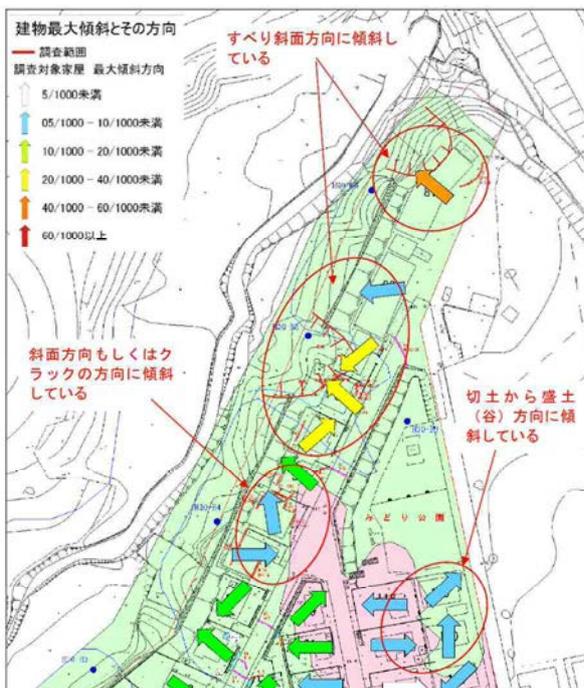


図-14 北側宅地エリアの家屋最大傾斜



図-17 擁壁被災範囲図⁵⁾

(5) 分析結果

図-18は、建物傾斜調査、擁壁被災調査、公共用地及び宅地被災調査（キレツ、沈下等）、証明判定の分布、切土・盛土の範囲等の重ね図である。この図から北海道胆振東部地震による家屋、宅地、公共用地等の被災は、そのほとんどが盛土範囲の中で発生していることが分かる。特に、大曲川沿いの第3期開発許可事業で造成された街区では、宅地が大きく崩壊するなど被災が発生している。

図-19は、宅地南側エリアの擁壁で、開発許可申請時の擁壁を赤線、地盤のクラック位置を連続するように結んだ線を青線で示したものである。クラック位置はクラックだけでなく既存擁壁が部分的に見えることから、実際の擁壁位置は青線の位置であると思われる。開発許可では、一部擁壁が配置されていない区間がある（黄色の三角で示す）。しかし、北側エリア、中央エリアの未設置区間においても現地では擁壁が確認されているが、南側エリアは土中に埋もれているため確認ができない。第3期開発許可申請図面に添付されている測量図によると、この区間にも図-20に示すように擁壁が設置されていることが確認できる。

第3期開発許可で大曲川沿いが宅地化され、大曲川に沿って設置された擁壁が今回の地震で大きく被災している。開発許可申請図書に示されている擁壁高は前面勾配を考慮した斜長となっている。この区間の擁壁の前面勾配はすべて1:0.3となっていることから擁壁高を算定すると、開発許可申請時の擁壁の見え高は全て5m以下となる。しかし、被災した多くの擁壁は増積擁壁となっており、増積擁壁高は5mを超える擁壁となっている。

6. 地盤調査結果

(1) ボーリング調査

現地踏査、旧地形と現地形の重ね合せ図面等より、今回の地震によって被害が発生した要因を検証するため、大曲並木地区造成団地全体の地質構成を把握する目的で「ボーリング調査」及び「高密度表面波探査」を実施している。各ボーリング調査位置図を図-21に示した。



写真4 練石積擁壁の変状



図-18 被災範囲図



図-19 南側宅地エリアの擁壁位置

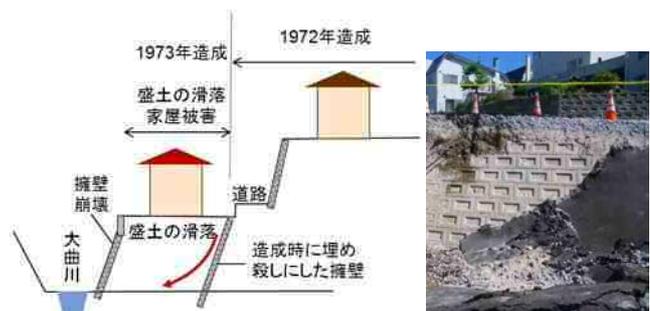


図-20 大曲並木3丁目の模式断面図

(2) 大曲並木地区造成団地の地質構成

大曲並木地区造成団地は台地面と大曲川沿いの低地面に位置し、大曲川沿いの札幌市側に沖積層と考えられる砂質土層[As]と粘性土層[Ac]が一部認められる。

しかし、全体的に台地面を覆う支笏火山噴出物と判断される火山灰層[Dv]を主体に下位には第四紀更新世(洪積世)時代の旧段丘面に堆積したと考えられる砂礫層[Dg]・粘性土層[Dc]・腐植土層[Dp]・砂質土層[Ds]が複数の層厚を呈して堆積している状況にある。また、旧谷地形部分には盛土に深に、沖積層である腐植土層[Ap]の分布も確認された。当該箇所における地層の構成状況と相対的強さは、表-1に示す通りである。地質断面図位置図は図-22に示した。これらの地質層序を基に当該箇所における地質断面図(横断面図)は図-23に示す通りである。

(3) 当該区間に分布する地下水位

ボーリング孔内で観測した地下水位は、丘陵地端部で実施した「B-3地点～B-6地点」並びに旧谷地形(湧れ谷)で実施した「B-7地点及びB-10地点」ではGL-1.0m以内の浅い深度で確認された。崩落箇所で実施した「B-1地点とB-2地点」や台地中央部で実施した「B-8地点～B-9地点」ではGL-3.0～5.0m以深とやや深い位置分布している。崩落箇所においては擁壁や建物が倒壊したため地下水も河川側に流出しているものと想定される。なお、大曲並木地区造成団地南側家屋崩壊区間背面の現道部においては、掘削工事の際に深度0.5m程度から地下水が湧き出している情報も得られている。よって、当該箇所の地下水位は比較的高いものと想定される。

(4) 高密度表面波探査結果

「台地切土区間」と「旧谷地形(湧れ谷)」となる盛土区間の分布範囲を把握するため、大曲河川側に近い市道上で高密度表面波探査を実施している。ボーリング調査では点での把握となるが表面波探査は測線延長上での把握が可能となるため有効性が高い探査手法である。その結果を図-24に示したが、旧地形から想定された切土地形及び谷地形と、ほぼ同様な結果が得られたことが確認できた。

(5) 地下水の状況

図-25は造成前の地形図と現況地形図を重ねた集水地形図で、大曲並木地区造成団地周辺の降雨が今回被害の大きい谷の末端部に集まる流域であることが分かる。大曲並木地区造成団地西側に発達する氾濫原低地には、図-26及び写真5に示すように湧水箇所が認められ、今回の調査ボーリングから判明した地質構造より、図-27に示すような火山灰層(Dv)下位に不透水層である洪積粘土層(Dc)が比較的連続性を持って分布することか

ら、降雨は地層深部まで浸透することができず、氾濫原低地に湧水しているものと考えられる。図-4は、北広島市周辺の地震前の日降雨量の合計で前日に大量の降雨があったことがわかる。このため、豪雨の際には湧水箇所から排水できない地下水が残留し、地下水位が上昇しやすい地質構造であることが考えられる。

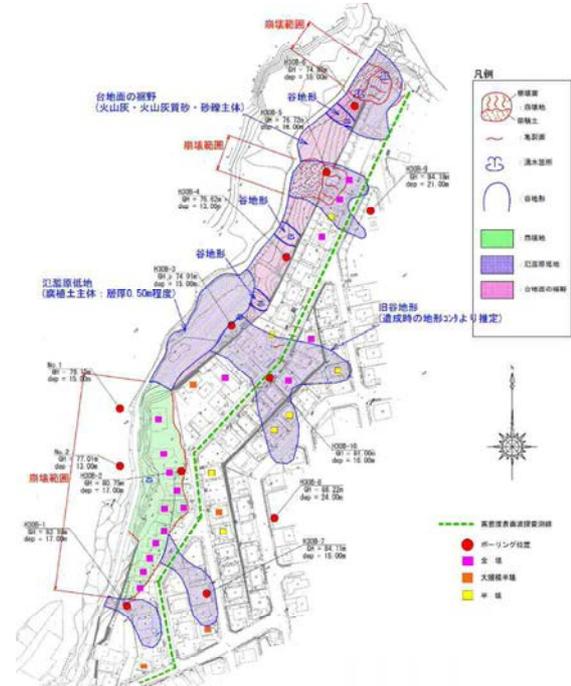


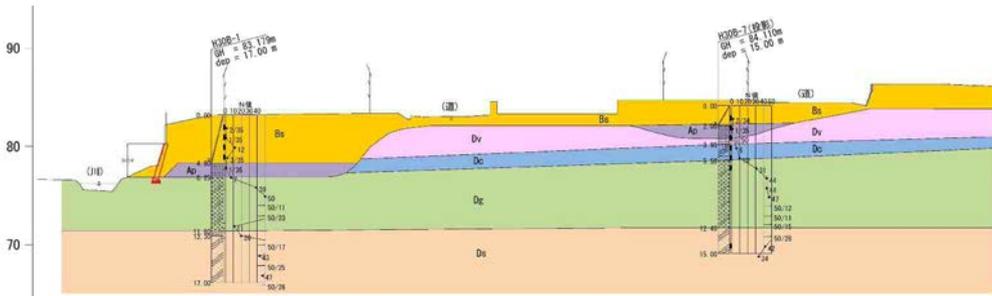
図-21 ボーリング調査位置図

表-1 大曲並木地区造成団地における地層構成と相対的強さ⁶⁾

地質時代	地層名	地質記号	層 粗	層 厚 (m)	代表N値 (N63)	相対的強さ
完新世 (沖積世)	盛土	ts	火山灰	1.00～5.50	3	非常に弱い
	崩積土	dt	火山灰	3.55	2	非常に弱い
	沖積層	Ap	腐植土	0.80～1.90	1	非常に軟らかい
更新世 (洪積世)	支笏火山噴出物	Dv	火山灰	5.10～8.05	22	中位
	厚砂礫層	Dg	シルト盛り砂礫	1.35～6.90	21～46	中位～硬さ
	腐植土層	Dp	腐植土	1.15～1.65	15	非常に弱い
	段丘堆積物	Dc	火山灰質シルト 砂質シルト	1.20～6.50	15	弱い
	砂質土層	Da	火山灰質砂 礫混り火山灰質砂	1.00～8.30	14	弱さ



図-22 地質断面図位置図

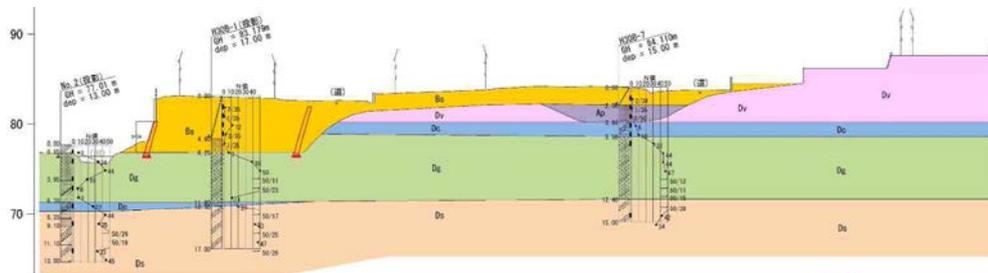


地質凡例

地質時代	地層名	地層記号	層相	
第四紀 更新世 (沖積世)	盛土	Bs	火山灰	
	崩積土	At	火山灰	
	沖積層	腐植土層	Ap	腐植土
		砂質土層	As	火山灰質砂
	更新世 (洪積世)	支那火山噴出物	Dv	火山灰
厚別砂礫層		Dg	シルト混り砂礫	
腐植土層		Dp	腐植土	
粘性土層		Dc	火山灰質シルト砂質シルト	
	砂質土層	Ds	火山灰質砂 礫混り火山灰質砂	



断面1

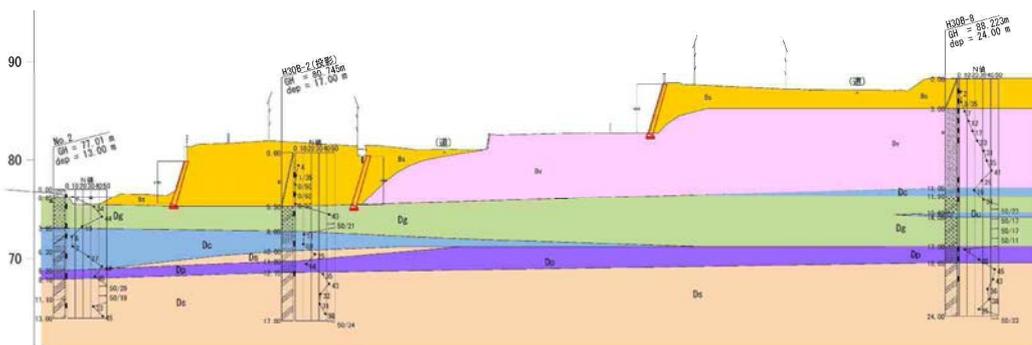


地質凡例

地質時代	地層名	地層記号	層相	
第四紀 更新世 (沖積世)	盛土	Bs	火山灰	
	崩積土	At	火山灰	
	沖積層	腐植土層	Ap	腐植土
		砂質土層	As	火山灰質砂
	更新世 (洪積世)	支那火山噴出物	Dv	火山灰
厚別砂礫層		Dg	シルト混り砂礫	
腐植土層		Dp	腐植土	
粘性土層		Dc	火山灰質シルト砂質シルト	
	砂質土層	Ds	火山灰質砂 礫混り火山灰質砂	



(b)断面2

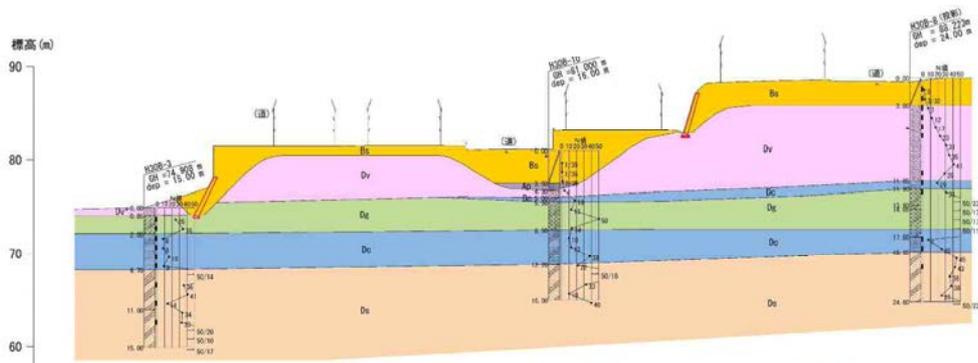


地質凡例

地質時代	地層名	地層記号	層相	
第四紀 更新世 (沖積世)	盛土	Bs	火山灰	
	崩積土	At	火山灰	
	沖積層	腐植土層	Ap	腐植土
		砂質土層	As	火山灰質砂
	更新世 (洪積世)	支那火山噴出物	Dv	火山灰
厚別砂礫層		Dg	シルト混り砂礫	
腐植土層		Dp	腐植土	
粘性土層		Dc	火山灰質シルト砂質シルト	
	砂質土層	Ds	火山灰質砂 礫混り火山灰質砂	



(c)断面3

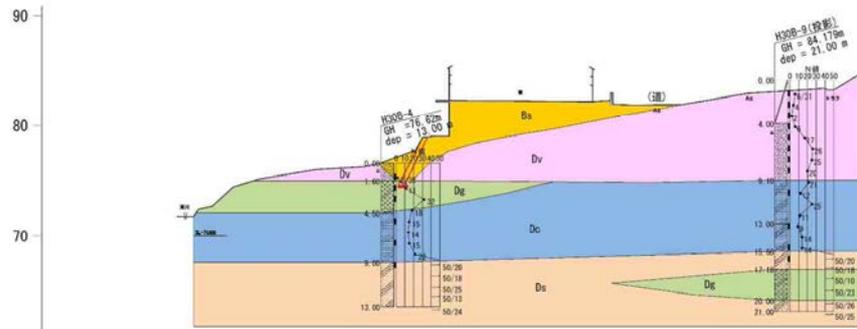


地質凡例

地質時代	地層名	記号	層 種
第四紀	沖積層	Bs	火山灰
	沖積層	Dv	火山灰
	沖積層	As	火山灰質砂
	沖積層	Dg	シルト混り砂礫
	沖積層	Dc	火山灰質シルト
更新世 (洪積世)	砂質土層	Ds	礫混り火山灰質砂
	砂質土層	Ds	礫混り火山灰質砂
	砂質土層	Ds	礫混り火山灰質砂
	砂質土層	Ds	礫混り火山灰質砂



(d)断面 4

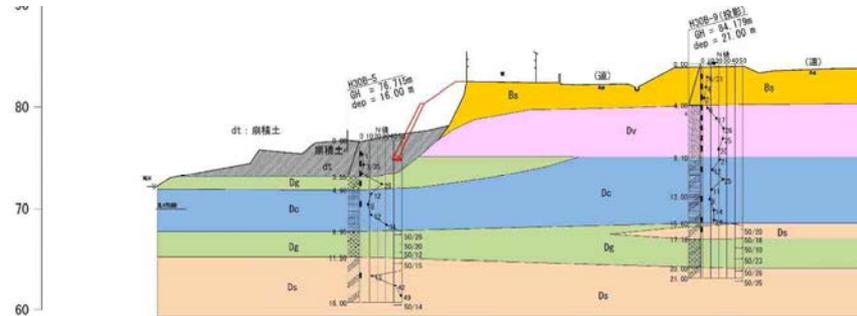


地質凡例

地質時代	地層名	記号	層 種
第四紀	沖積層	Bs	火山灰
	沖積層	Dv	火山灰
	沖積層	As	火山灰質砂
	沖積層	Dg	シルト混り砂礫
	沖積層	Dc	火山灰質シルト
更新世 (洪積世)	砂質土層	Ds	礫混り火山灰質砂
	砂質土層	Ds	礫混り火山灰質砂
	砂質土層	Ds	礫混り火山灰質砂
	砂質土層	Ds	礫混り火山灰質砂



(e)断面 5

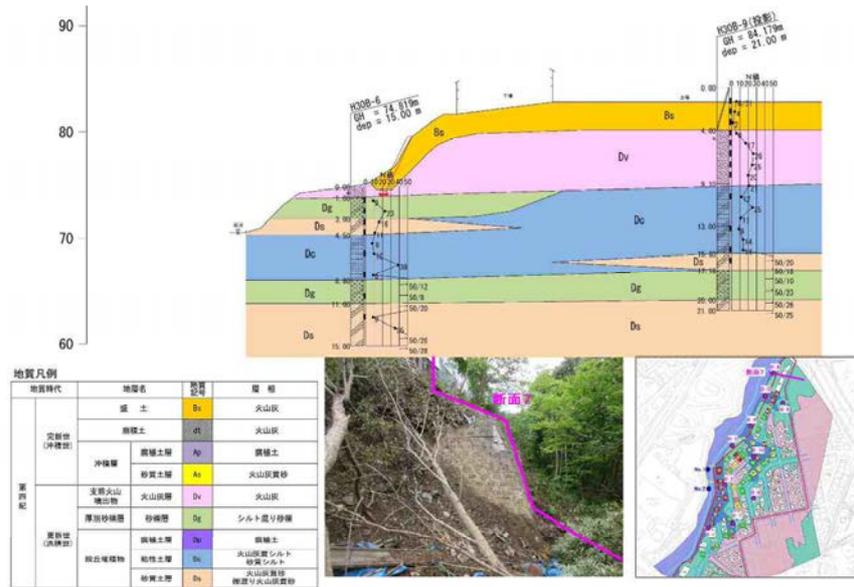


地質凡例

地質時代	地層名	記号	層 種
第四紀	沖積層	Bs	火山灰
	沖積層	Dv	火山灰
	沖積層	As	火山灰質砂
	沖積層	Dg	シルト混り砂礫
	沖積層	Dc	火山灰質シルト
更新世 (洪積世)	砂質土層	Ds	礫混り火山灰質砂
	砂質土層	Ds	礫混り火山灰質砂
	砂質土層	Ds	礫混り火山灰質砂
	砂質土層	Ds	礫混り火山灰質砂



(f)断面 6



(g)断面7

図-23 地質断面図⑤

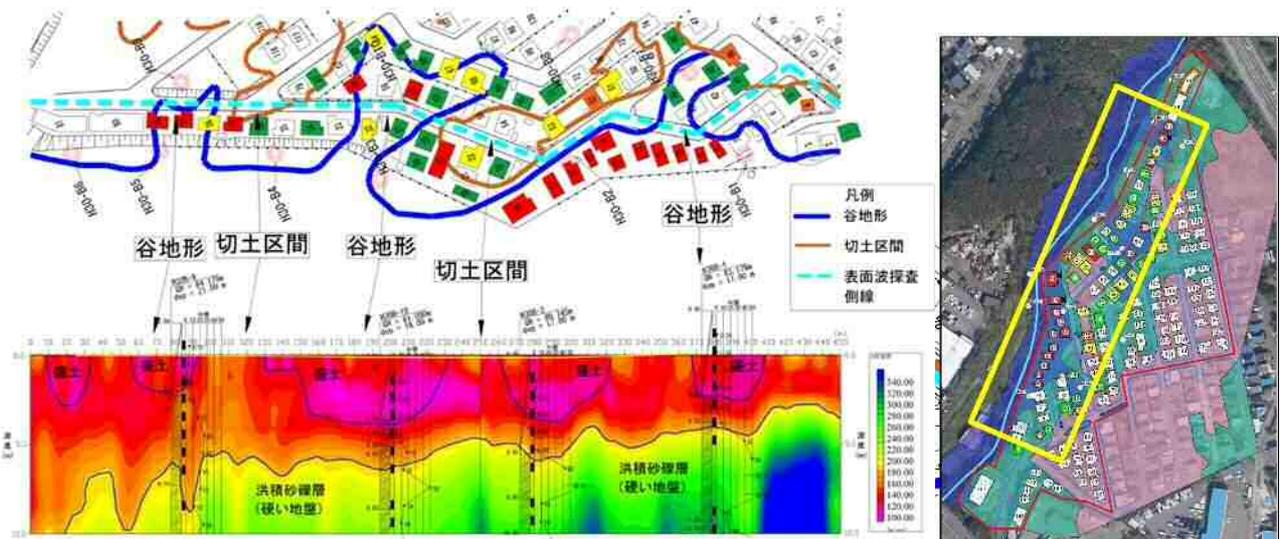


図-24 高密度表面波探査⑤



図-26 湧水箇所位置図⑤



写真-4 湧水状況⑤

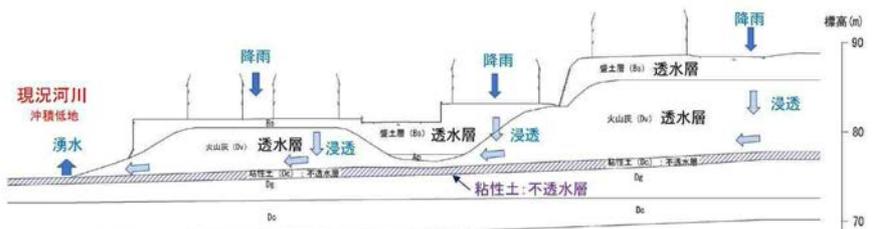


図-27 地下水位が上昇しやすい地質構造⑤

7. 地盤調査結果に基づく安定解析

(1) 液状化解析

液状化を表す噴砂が明確でないため、液状化解析を行った。PL 値の方法は、浅い部分の液状化が特に構造物に大きな影響を与えることを考慮して、**図-28** に示すように深さに対する重みを考慮して、 $(1-FL)$ の値を 20m の深さまで積分することにより液状化指数 PL 値を定義したものである。PL 値は、下式により算定し、**表-2** により評価した。地表変位量 (Dcy 値) は、「建築基礎構造設計指針」に準拠して算出し、各層の“せん断ひずみ”から“変位量”を算出して積分し、**表-3** からその液状化の程度を評価した。

表-4 は、ボーリング調査の結果から液状化解析の結果である。液状化の安定は、液状化による被害はほとんどない結果となった。しかし、擁壁を含めて崩壊した B-2 および B-10 では、PL 値および地表変位量 (Dcy) から液状化による可能性あることが分かった。現地では、道路部で噴砂現象が見られたが、宅地部で噴砂現象が見られない。ボーリング調査の結果からは、元の地盤相当の大曲川の対岸である B-1 の表層から 2m の沖積砂質土層の N 値が 1 と 2 であり、崩壊した B-2 地点表層から 5m で 4, 1, 0, 0, 0 と他の地点と比較して極端に低下していることから液状化が発生したと考えられる。

ボーリング B-2 の盛土部は、それ以外の盛土部とて以下の違いがある。

- ①盛土は 5m 以上で厚い
- ②盛土の N 値は N=0~4 で小さい (他箇所 N 値は N=2~4)
- ③集水地形の末端部で地下水位が高い傾向がある

この条件により B-2 は「液状化による被害発生の可能性はある」と判定された。

$$P_L = \int_0^{20} (1 - F_L) W(z) dz$$

ここで、 F_L : 液状化に対する安全率

$W(z)$: 深さ方向の重み関数 (図 3.2.2-7 参照)

判定深度 20m $W(z) = 100 - 0.5 \cdot z$

z : 地表面からの深さ(m)

F : $1 - FL$

(2) 谷埋め盛土の安定解析結果

図-29 は、断面 8 及び断面 9 における谷埋め盛土の断面位置図で、その断面図が**図-30** がある。**表-5** は、この 2 つの断面を地震時で検証した安全率一覧で、どちらも地震時計画安全率は確保していることが分かった。ただし、斜面末端は計画安全率が確保できないので別途対策が必要である。

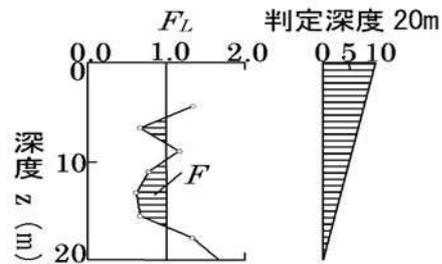


図-28 判定深度と重み係数の関係

表-2 PL 値と液状化による影響の関係⁸⁾

$P_L=0$	液状化による被害発生の可能性はない
$0 < P_L \leq 5$	液状化による被害発生の可能性は低い
$5 < P_L \leq 15$	液状化による被害発生可能性がある
$15 < P_L$	液状化による被害発生可能性が高い

表-3 地表変位量 (Dcy) と液状化の程度⁹⁾

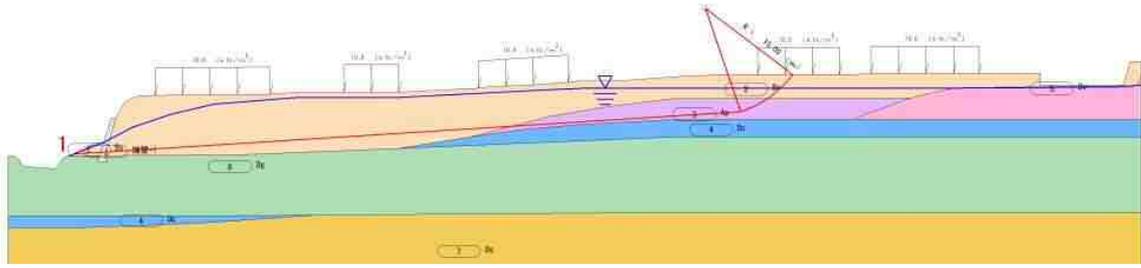
Dcy(cm)	液状化の程度
0	なし
~05	軽微
05 ~ 10	小
10 ~ 20	中
20 ~ 40	大
40 ~	甚大

表-4 液状化解析結果

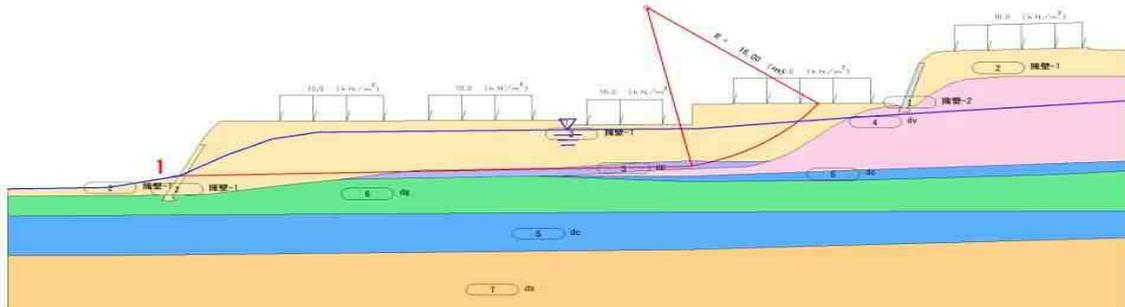
地点名	ボーリング時の地下水位		降雨時の地下水位 (GL-0.5m)	
	PL値	地表変位 (Dcy)	PL値	地表変位 (Dcy)
B-1	2.19	2.85	4.53	4.12
B-2	7.34	10.02	10.17	11.27
B-3	0	0	0	0
B-4	0	0	0	0
B-5	1.28	1.95	4.49	4.37
B-6	0	0	0	0
B-7	0	0	0.18	0.41
B-8	0	0	1.73	1.55
B-9	0	0	0	0
B-10	3.25	3.57	4.60	4.12
No.1	0	0	0.53	0.59
No.2	0	0	0	0



図-29 谷埋め盛土の断面位置図⁷⁾



(a)断面8



(b)断面9

図30 谷埋め盛土の断面

表5 地震時安全率一覧

検討断面	検討条件		計画安全率 $F_s=1.00$	
	すべり面	水位	今回地震時の安全率	今後想定される地震時の安全率
断面9	複合すべり	水位上昇時	1.122>OK	1.039>OK
断面8	複合すべり	水位上昇時	1.470>OK	1.359>OK

(3) Bエリアにおける安定解析結果

16宅地は、写真-3に示すようにφ200mmのRC杭で支持されているために、建物の傾斜が無かった。しかし、地盤は両側の17宅地および15宅地の石積擁壁の崩壊に伴う土砂流出による沈下のみで水平移動も無く、石積擁壁の南側変状無し（両側は崩壊の影響を受けている。そこで、地質断面3の地盤モデル（17番宅地、16番宅地）を用いて、安定解析を実施した。解析条件としては以下の4ケースで実施した。

- ① 定常時水位（地下水位が低い状態）：常時
- ② 豪雨時水位（地下水位が高い状態）：常時
- ③ 定常時水位の地震時
- ④ 複合災害（豪雨時の地震時）

宅地造成等規制法の練石積擁壁は、上載荷重 5KN/m^2 で支線計算による断面が決まっている。土荷重に置き換えると約 0.3m である。被災現地の練石積擁壁は、上部に 1m 以上のL型擁壁があり建物も隣接しているために、既存不適格擁壁である。そこで、地盤調査では、深さ $5\sim 7\text{m}$ の盛土の火山灰質砂の下に腐植土と透水性の悪い粘性土が分布しているので、この地盤での安定計算を行った。計算したのは、住宅を想定した荷重が直接地盤に加わる場合と、杭で地盤補強して建物荷重が加わらない場合である。すなわち、16番宅地は図-21(c)(d)



写真3 宅地の安定解析の比較箇所

に示すように杭基礎のため、盛土上部の上載荷重を見込んでいない。17番宅地は図-21(c)(d)に示すように直接基礎のため、盛土上部の家屋上載荷重を考慮している。安定解析の結果は表-5に示すように、16番宅地が地震と豪雨が複合しても安全率 $F_s > 1.0$ となり崩壊しない結果となったが、17番宅地は地震時で豪雨と複合しなくても安全率 $F_s < 1.0$ となり崩壊する結果となった。このことから、家屋などの上載荷重を支え切れなくて、宅地が滑動崩落したと考えられる。

また、図-21に示すように崩落背面に残置された旧擁壁面を境に滑動していることから、土と土ではなく土とコンクリートの摩擦係数が小さいことが崩壊の原因とも

考えられる。尾上は「間地石と土は摩擦力が異なるので、間地石に接する盛土が滑りやすくなる。地中に埋設物があると、盛土の締固めも困難である。」¹⁰⁾と述べている。

10) 日経ホームビルダー，特集1 災害が変える地盤対策，2019.1.

(Received July 1, 2009)
(Accepted November 1, 2009)

表-6 安定解析結果一覧表⁷⁾

検討水位	16番宅地		17番宅地	
	常時	地震時	常時	地震時
定常時	①1.502	③1.088	①1.320	① 0.906
豪雨時	②1.436	④1.038	②1.293	② 0.891

8. まとめ

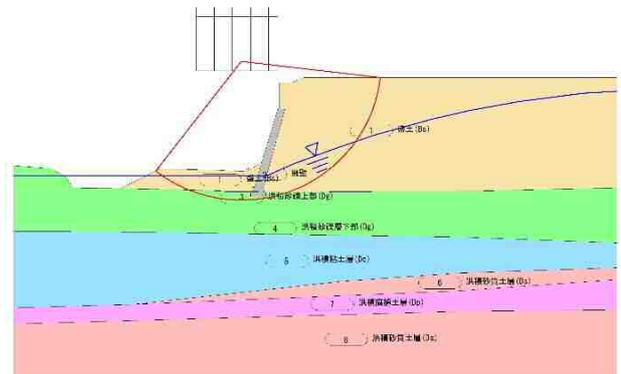
被害状況の分析を行った結果、以下のことが考えられる。

- ①今回被災した住宅地及び公共施設等は、盛土造成したエリアに大半が集中しており、特に沢部の谷埋め盛土を造成した箇所では被害が顕著であった。
- ②B エリアでは、崩落背面に残置された旧擁壁面の摩擦係数が少なく、液状化の発生等により家屋などの上載荷重を支え切れないで、宅地が滑動崩落した。
- ③地震発生直前に到来した台風 21 号の影響により盛土部の地下水位が非常に高い状態に地震が重なった複合的要因により大きな被害となった。

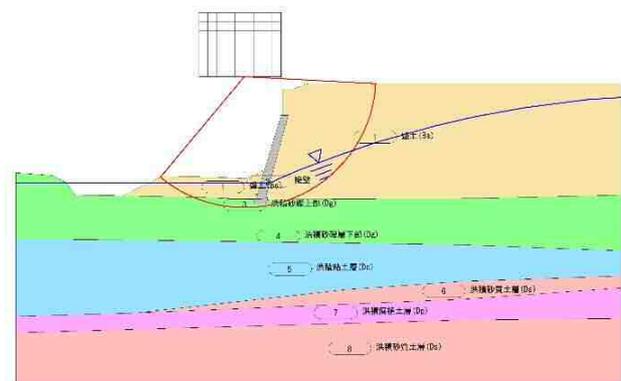
謝辞：本論文を作成するにあたり、北広島市及び榊千代田コンサルタントの皆様のご協力をいただきました。この紙面をお借りしまして、厚く感謝申し上げます。

参考文献

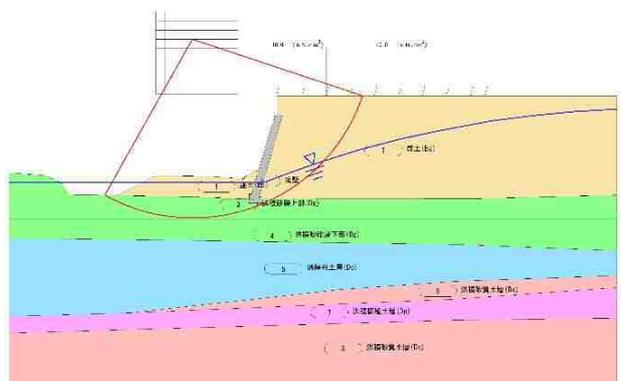
- 1) 気象庁：平成 30 年北海道胆振東部地震の関連情報 https://www.jma.go.jp/jma/menu/20180906_iburi_jishin_menu.html
- 2) 地理院地図電子国土 Web, <http://geolib.gsi.go.jp/node/2555>
- 3) 北海道地下資源調査所：5 万分の 1 地質図幅説明書「石山」(札幌-第 30 号), 昭和 31 年 3 月
- 4) 北広島市災害対策本部・国土館大学橋本隆雄：第 2 回北海道胆振東部地震に係る大曲並木地区住民説明会資料，平成 30 年 9 月 24 日
- 5) 北広島市災害対策本部・国土館大学橋本隆雄：第 2 回北海道胆振東部地震に係る大曲並木地区住民説明会資料，平成 30 年 11 月 11 日
- 6) 株式会社シーウェイエンジニアリング：平成 30 年度北広島市被災宅地土質調査委託，平成 30 年 12 月
- 7) 北広島市災害対策本部・国土館大学橋本隆雄：第 3 回北海道胆振東部地震に係る大曲並木地区住民説明会資料，平成 30 年 12 月 12 日
- 8) 国土庁防災局震災対策課：液状化地域ゾーニングマニュアル平成 10 年度版⁸⁾，1999.1
- 9) 日本建築学会：建築基礎構造設計指針，2001.10



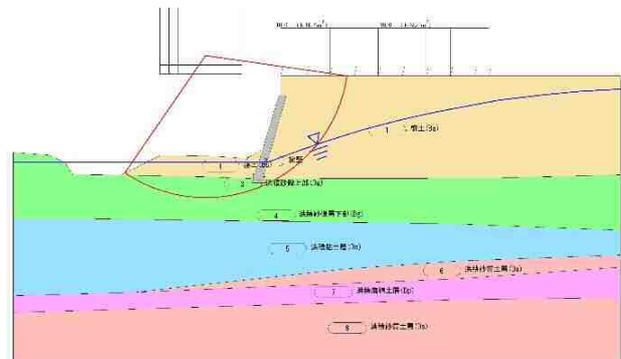
(a)16宅地の安定解析結果 (豪雨時+地震時)



(b)16宅地の安定解析結果 (豪雨時)



(c)17宅地の安定解析結果 (豪雨時+地震時)



(d)17宅地の安定解析結果 (豪雨時)

図-31 宅地の安定解析の比較箇所 2)

ANALYSIS OF DAMAGE TO RESIDENTIAL LAND IN THE OMAGARI AREA OF
KITAHIROSHIMA CITY BY THE 2018 HOKKAIDO IBURI EASTERN
EARTHQUAKE

Taka HASHIMOTO

In the Omagari area of Kitahiroshima City, many residential land facing the Omagagawa River collapsed by the 2018 Hokkaido Iburi Eastern Earthquake. In this paper, a residential land damage analysis was conducted, and it was clarified that the groundwater level was raised by a typhoon before the earthquake.