

北海道における地震による地盤災害とその後

Ground Disasters Caused by Past Earthquakes in Hokkaido and Their Consequences

西 本 聡 (にしもと さとし)

舩土木研究所寒地土木研究所 上席研究員

1. はじめに

近年、北海道では、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年十勝沖地震といった大規模な地震が発生し(図—1)、各方面に多大な被害をもたらした。本文では、このうち釧路沖地震、北海道東方沖地震、十勝沖地震について、地盤および土構造物の変形や破壊に起因する道路と河川堤防の被害を中心に、地盤災害の特徴について述べる。

2. 1993年釧路沖地震

1993年1月15日20時6分頃、釧路で震度6を記録するマグニチュード $M_j 7.5$ の地震が釧路沖の深さ101 km で発生した。本地震では、道路盛土や河川堤防等の土構造物の地震動および地盤の液状化による被害が多かったことが特徴である。

2.1 河川堤防の被害と復旧^{1),2)}

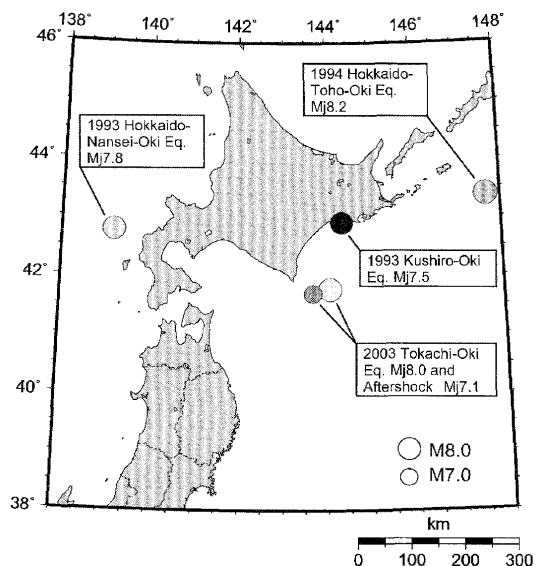
(1) 被害の概要

河川堤防の被害は、釧路川の下流部湿原および十勝川の中～下流部の泥炭地盤上に被害が集中した。釧路川では、堤外法面の崩壊や縦断亀裂が生じ、天端が数10 cm 程度沈下したものが4割以上を占めたが、堤防全体が原形をとどめないほど崩壊した事例も2割程度あった。十勝川では、天端や法面の縦横断亀裂が多かったが、2 m 程度の沈下が延長600 m にもわたって生じた箇所もあった。

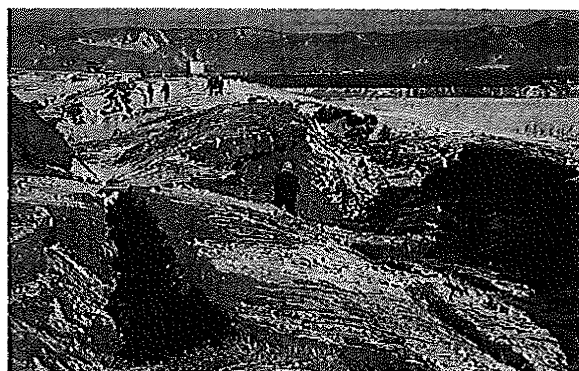
本地震では、泥炭地盤上の河川堤防において被害が多く生じた。特に、十勝川統内築堤は著しい変状であった(写真—1、図—2)。堤体が約2~3.5 m 沈下し、法線方向の大きな開口亀裂がみられた。また地震発生時、堤防の表面は凍結しており、崩土塊が大きなブロック状であった。

ここでの特徴は、天端付近に噴砂が確認されたことである。当研究所の調査²⁾および佐々木³⁾は、盛土底部の飽和領域が液状化したと推測している。つまり、泥炭は極めて大きな圧縮性があり、沈下量も大きい。加えて、地下水位が地表面付近にあることが多い。結果として、盛土底部は泥炭層の中にめり込み、地下水位以下に飽和した状態で存在しており、この部分が液状化したと考えられた。なお、被災後の地盤調査によって、地下水位以下に盛土材料が存在したことが確認されている。

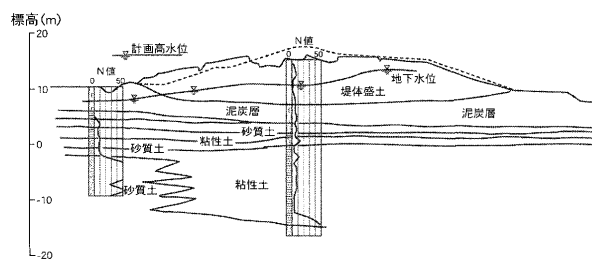
泥炭地盤上の盛土が被害を受けやすいことは、古くか



図—1 北海道周辺で発生した大規模地震の震央分布



写真—1 十勝川統内築堤の被災状況

図—2 十勝川統内築堤 (KP32.7) の被災断面(文献²⁾)を基に一部修正

ら指摘があったことではあるが、そのメカニズムとして盛土底部の液状化が認識されたのは、1993年釧路沖地震が契機と思われる。

(2) 復旧工法

被害が多く発生した釧路川および十勝川ともに緊急復旧工事が直ちに実施され、約2ヶ月で工事が完了し、堤防機能が回復された。

その後の本復旧工事は、亀裂などの被害の及んだ範囲を切り返し、盛土を転圧し直すことを基本とし、被害の程度に応じて実施された。切り返し断面は、緊急復旧時に亀裂に石灰水あるいはセメントとベントナイトを混合したグラウトを注入しておき、本復旧前に亀裂を試験開削することで決定された。

被害規模が大きく堤体全面を切り直す箇所では、詳細な地盤調査と解析が行われた。その結果、急速盛土を行うには所定の安全率を確保することができないことがわかり、SCP工法による基礎地盤改良が必要と判断された。一部では、パイルネット工法が採用された箇所もあった。SCP工法と併用して、堤防裏法尻に堤体内水位を低下させるためのドレーン工が実施された。

2.2 道路の被害^{4),5)}

(1) 被害の概要と特徴

道路の被害は盛土部に集中しており、象徴的な道路盛土の崩壊箇所は、地表面水や湧水の集まりやすい沢地形の盛土区間で発生した。

大規模な崩壊を生じた道路は、片切片盛、片盛または両盛によって断面が構成される箇所であり、地形的には切土と盛土の境界部あるいは沢部に位置している。これは、盛土側地盤の強度が地山部、切土部に比べて低いこと、沢地形上の盛土では地震動の局地的な増幅が生じる可能性が高いこと、さらに切土と盛土の境界部あるいは沢部の盛土では、地山や谷からの浸透水によって盛土内の含水比が高くなることが多いことによるものと考えられる。また、地震発生時が厳冬期であったことで、地表面の凍結が盛土の排水をさらに妨げていた可能性もある。いずれの崩壊も比較的に崩土が遠くまで運ばれていることから、崩土の含水比が高かった可能性が考えられ、常時の排水不良のため水位下となった盛土材が地震動により流動性を帯びたことが盛土の大規模崩壊の主要な原因の一つであると判断される。

(2) 復旧工法

盛土の大崩壊が生じた箇所では、本復旧として、地山部分を所要深さまで碎石で置き換え盛土内への地下水の浸透を防ぎ、その上の盛土はジオテキスタイルを用いて補強された。

路面の沈下、縦断亀裂が発生した箇所では、大規模崩壊箇所と同様な補強盛土工が行われており、被害の程度に応じて排水層、ふとんかご工の設置により、本復旧が行われた。路肩の崩壊が生じた箇所では、ふとんかご工を斜面上にかぶせるように設置して、法面の補強が行われた。

3. 1994年北海道東方沖地震

1994年10月4日22時22分頃、根室東方沖を震源とするマグニチュードM_j8.2の地震が発生した。日本近海では1952年の十勝沖地震以来の最大級の地震となった。

この地震は、釧路市、根室市を中心とする道東地方に大きな被害をもたらしたほか、震源に近い北方四島では、地震動および津波によって甚大な被害が生じた。

3.1 1993年釧路沖地震における道路盛土被害との比較^{6),7)}

道路盛土の被災地域である根釧台地は、火山灰が表層を覆うなだらかな丘陵地形をなしている。この地形を主に西から東に多数の中小の河川が沢を刻んで河岸段丘を形成し、下流部から河口にかけては低地・湿地が分布する。この湿地の多くは泥炭性のものである。被害は沢地形を横断する比較的高い盛土、あるいは軟弱地盤上の低盛土に多数見られた。

軟弱地盤上の低盛土では、法肩が水平方向に移動するとともに沈下し、路面にはクラック上の陥没が生じ、盛土全体が押しつぶされたような形状となった。このような被災は、火山灰質砂の基盤上に泥炭層が形成されている区間で多く発生した。泥炭層の圧密沈下により地下水以下に没した盛土材の液状化が盛土変状に関わっていると考えられる。

釧路沖地震の大規模な被害の特徴は、すべり破壊による崩土の到達距離が崩壊高さに比べて大きく、崩土の含水比が大きいことであった。これらの特徴は、盛土内に地下水が浸透し排水が不十分であったことが影響したと考えられている。北海道東方沖地震における盛土崩壊は、崩土の移動がそれほど大きくなく、ほとんど法尻からわずかの距離に留まっていた。

釧路沖地震による盛土崩壊の復旧には一部、ジオテキスタイルが使われ盛土の強度増加が図られた。北海道東方沖地震では震央がより東にあるため、こうした復旧箇所が同一震度にさらされ復旧効果が検証されたとは一概にいけない。それでも釧路沖地震の際に大きく崩壊した国道272号標茶町阿歴内の復旧箇所は、北海道東方沖地震の被害頻発区間にも近く、近傍にも変状箇所があったが問題は発生しなかった。このことは、ジオテキスタイルによる盛土の耐震補強効果がある程度実証したのと考えられる。

4. 2003年十勝沖地震

2003年9月26日4時50分頃、十勝沖を震源とするマグニチュードM_j8.0の地震が発生した。同日6時8分頃には本地震では、M_j7.1の最大余震が発生した。本地震では、北海道の広い範囲で種々の地盤災害が認められた。

4.1 火山灰地盤の液状化⁸⁾

2003年十勝沖地震では、道央、十勝、道東地域の沿岸部や内陸部で地盤の液状化に起因する被害や影響が多発した。これら海岸砂地盤や河川堆積物地盤の液状化被害に加え、震央から遠く離れた札幌市清田区、道東の北見市広郷や端野町（現北見市）協和などで埋立・盛土された火山灰地盤での液状化が発生したことは本地震における特徴の一つといえる。火山灰地盤の液状化被害が発生した札幌市清田区は震央距離約255 km、北見市および端野町は震央距離約230 kmに位置する。



写真—2 端野町協和の農地陥没

札幌市清田区の2地区においては、家屋の沈下や傾斜、道路の沈下や亀裂が発生した。被災した家屋の周辺では、盛土に用いられた支笏軽石流堆積物の噴出が認められた。2地区のうち清田団地は、1968年十勝沖地震においても地盤沈下、噴泥、道路や家屋の沈下や傾斜等の発生が報告されている。他の1地区は、1968年以降に造成された宅地である。札幌市清田区における火山灰地盤の液状化発生箇所は、沢地形の谷部や旧河道を埋め立てた範囲に限定されている。したがって、震央から極めて遠い札幌市清田区で火山灰地盤の液状化被害が発生したことは、この地形的な要因が関係しているものと考えられる。

端野町協和では火山灰造成農地6箇所で液状化とそれに伴う地盤の変動・破壊が発生した(写真—2)。被害の状況は、農地の陥没や沈下であり、大規模な火山灰噴出・流下を伴う農地陥没が発生した箇所もある。6箇所の液状化域はいずれも、現在、畑作地として利用されている傾斜の非常に緩い斜面であるが、もともとは起伏の小さな丘陵を刻む狭く浅い埋積谷あるいはそれに流れ込む小沢に沿う低湿地である。その後、埋積谷は水田として開発され、さらに丘陵は切土、埋積谷や低湿地は埋め立て盛土され、畑作地へ転換されたようである。端野町協和での液状化域はいずれも旧地形の丘陵斜面に囲まれた埋積谷の範囲に限られており、谷部の埋立・盛土後も地表水が集水しやすい地形条件にあったことがうかがえる。

4.2 河川堤防の被害^{9),10)}

(1) 被害の概要と特徴

2003年十勝沖地震により、国が管理している河川では、十勝川、釧路川、標津川、網走川、石狩川の5水系14河川で被害が発生した。被害の大部分は、震源に近い十勝川水系下流部に集中しており、被害の形態は、堤防天端の縦断方向の亀裂、沈下、法面のすべりなどである。

被害の原因として、大きく以下の2点に要約できる。

- ① 砂質土地盤において、基礎地盤が液状化したことによるもの
- ② 泥炭地盤において、その圧密沈下に伴い地下水以

下に没した堤体土の液状化に起因するもの

特に、②については、1993年釧路沖地震の際にも、その現象が指摘されていたが、2003年十勝沖地震において、改めて注目された。この現象は、通常の沖積粘土と比較して圧縮性が極めて高い泥炭特有の性質に起因したものであり、泥炭地盤が地震動を増幅させたことや、もともとせん断力が小さいことなどが複雑に作用して大きな変状に至っているものと思われる。被災箇所の噴砂の有無、基礎地盤や堤体の土質状況等および安定解析の結果から、被災原因の大部分は②であると考えられる。泥炭地盤上に築造されている河川堤防は相当の延長になると推測されることから、北海道における河川堤防の耐震性向上について、今後の検討が必要である。

(2) 1993年釧路沖地震との比較

被害の程度は単純に比較できないが、2003年十勝沖地震による十勝川水系の被害状況は、1993年釧路沖地震での十勝川統内築堤のような大規模な崩壊はなかったものの、被災域・被災延長で釧路沖地震を上回った。釧路沖地震で被害があった大部分の箇所でも再度被害が発生した。また、釧路沖地震で被害がなかった箇所でも被害が発生し、1993年当時は標準堤断面で、その後に5割勾配の丘陵堤となった十勝川本川でも被害延長が長くなっている。この理由として、釧路沖地震と比べて今回の地震は、①震源が浅く地震動が大きい、②地震動の継続時間が長いことが挙げられる。また、釧路沖地震の発生は、1月の厳寒期であり、地表面が凍結していたため、法面の変状が抑制された可能性も考えられるが、詳細に関しては今後の研究を待たなければならない。

(3) 1993年釧路沖地震で被災した十勝川右岸統内築堤の状況

十勝川統内築堤は、1993年釧路沖地震により堤体盛土が1500mにわたり崩壊し、災害復旧工事を実施した箇所である³⁾。統内築堤の被災区間の中でもとりわけ変状が著しく、堤防としての機能を維持できない状態となった600mの区間は全面切り返しを必要とし、基盤処理工法としてSCP工法が実施された。あわせて堤体内の地下水位を低下させるためにドレーン工も実施された。

当該箇所は、2003年十勝沖地震の震源に近く、相当に大きな地震動(大津水位観測所における最大加速度: NS方向439gal, EW方向528gal)を受けたと思われる。部分切り返しが行われた箇所では、十勝沖地震により堤防天端に幅10~20cm、深さ約70cmの亀裂が縦断方向に延長120mにわたり発生したが、SCP工法およびドレーン工が実施された600mの区間については、軽微な被害に収まっていた(写真—3)。このことは、SCP工法やドレーン工の改良効果を改めて示すとともに、堤防の耐震対策の重要性を示している。

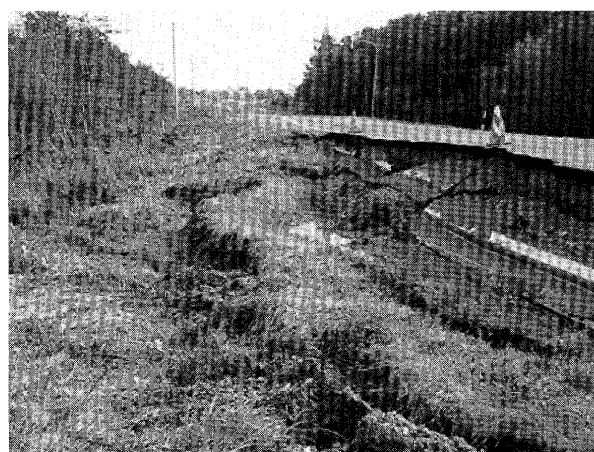
4.3 道路の被害^{11),12)}

(1) 被害の概要と特徴

道路の被害発生箇所の分布をみると、被害のほとんどは湿地上や沢地形の盛土区間に発生している。また、橋梁背面や横断排水管前後の埋め戻し部分の多くは沈下し



写真一3 2003年十勝沖地震の十勝川統内築堤の被害。SCP 施工区間外には堤防天端に幅10~20 cmの亀裂が発生し、ブルーシートがかけられている。一方、SCPを施工した区間（写真手前側）にはほとんど変状がみられない。



写真一4 湿地上の低盛土の崩壊

た。盛土法尻の基盤周辺に噴砂跡が確認された箇所もあった。特に、十勝川周辺の軟弱地盤上の盛土(写真一4)、低湿地上の盛土から切土へ移行する区間、沢地の地山への腹付け高盛土、旧河道を埋めた砂地盤上の低盛土、横断方向に湿地帯に向かって傾斜している基盤上の低盛土に被害は集中しており、基盤の地質と道路の構造によるものと理解される。これらの箇所の明らかな共通点は、地下水が集まりやすく盛土あるいは地山部の一部が湿潤状態にあり、強度低下をきたしていた可能性である。

(2) 1993年釧路沖地震および1994年北海道東方沖地震との比較

2003年十勝沖地震による道路盛土被害は、1993年釧路沖地震や1994年北海道東方沖地震の被害と同様、地形的には低湿地帯の盛土、切土盛土の地形変化点、丘陵

地の沢地形部に造られた片盛土、橋梁取付部等で発生している。地質的には泥炭層を含む軟弱地盤上に造られた盛土部で被害頻度、規模が大きい。一方、釧路沖地震との相違点として、沢地形部の高盛土における大規模な盛土崩壊が確認されていない。むしろ軟弱地盤上の盛土高3 m程度の低盛土の被害が多く、被害形態としては東方沖地震に近いといえるかもしれない。その理由として、周辺の地質や盛土材料の違い、地山から盛土への地下水浸入の有無、震源からの距離や地震動そのものの特性の違いなどが想定される。

5. おわりに

この20年間に北海道周辺で発生した大規模地震の被害について盛土を中心に既往資料を参照し紹介した。

地盤工学会北海道支部では、北海道で重大な地盤災害が発生した場合の現地調査、調査結果の報告および提言等を行う体制を構築するため、2009年に「地盤災害緊急対応委員会」を設置したところである。今後とも支部会員のみならずと協力して地盤防災技術等に取り組み、社会的責務を果たしていく必要がある。

参 考 文 献

- 1) 土質工学会：1993年釧路沖地震・能登半島沖地震災害調査報告書，pp. 187~214, 1994.
- 2) 北海道開発局開発土木研究所：1993年釧路沖地震被害調査報告，開発土木研究所報告，第100号，pp. 13~32, 1993.
- 3) 佐々木康：堤防の地震災害と災害軽減工学，JICE REPORT, Vol. 9, 89 p., 2006.
- 4) 土質工学会：1993年釧路沖地震・能登半島沖地震災害調査報告書，pp. 117~136, 1994.
- 5) 北海道開発局開発土木研究所：1993年釧路沖地震被害調査報告，開発土木研究所報告，第100号，pp. 33~40, 1993.
- 6) 地盤工学会北海道東方沖地震災害調査委員会：1994年北海道東方沖地震災害調査報告書，pp. 92~111, 1998.
- 7) 北海道開発局開発土木研究所：1994年北海道東方沖地震被害調査報告，開発土木研究所報告，第108号，pp. 17~24, 1995.
- 8) 地盤工学会：2003年十勝沖地震地盤災害調査報告書，pp. 29~48, 2004.
- 9) 地盤工学会：2003年十勝沖地震地盤災害調査報告書，pp. 60~72, 2004.
- 10) 西本 聡：河川関係施設の被害，寒地土木研究所月報，平成15年（2003年）十勝沖地震被害調査報告，特集号，pp. 7~14, 2003.
- 11) 地盤工学会：2003年十勝沖地震地盤災害調査報告書，pp. 49~53, 2004.
- 12) 西本 聡：道路関係施設の被害，寒地土木研究所月報，平成15年（2003年）十勝沖地震被害調査報告，特集号，pp. 27~36, 2003.

(原稿受理 2010.7.9)