

北海道胆振東部地震に伴い発生した地盤災害について～その 1 札幌市東区および北区 Ground deformation induced by the earthquake, Part I -around Higashi-ku and Kita-ku, Sapporo City

ABSTRACT

廣瀬 亘*・川上源太郎**・卜部厚志***

HIROSE Wataru*, KAWAKAMI Gentaro**

URABE Atsushi***

受付：2020 年 10 月 31 日

受理：2021 年 1 月 8 日

* 地域地質部 地質環境グループ

** 地域地質部 地質防災グループ

*** 新潟大学

Corresponding Author HIROSE Wataru

hirose-wataru@hro.or.jp

The 2018 Hokkaido Eastern Iburi Earthquake have occurred at the central Hokkaido, Northern Japan. Nevertheless being far from the epicenter (far from over 70km), strong ground deformation have occurred around Sapporo and its suburbs. At the city road higashi 15-chome tonden street, neaby area a seismic intensity of 6- on the Japan Meteorological Agency (JMA) scale was observed, subsidence of the ground with sand boiling occurred on the roadway and sidewalk, just above the embankment on the Subway Toho Line. Similar ground deformation occurred at city road nishi-4chome street, above on the Subway Nanboku Line. At the northern side of the site, weak ground deformation appeared neaby the buried old river channels of "Furukawa". Around the Barato river, scattered minor open cracks with sand boils occurred on the old river channels and sand dune slacks. At this area, distribution of artificial sediment, old river channels and dune slack, where the liquefactions easily occurred at strong motion of earthquakes,

Keywords: the 2018 Hokkaido Eastern Iburi Earthquake, ground deformation, sapporo city, sand boiling, ground disaster around urban area

I はじめに

北海道では、戦後の高度成長期以降、札幌はじめ都市部への人口集中や産業構造の変化に伴い、大規模な宅地・工業用地造成、農地の集約化・大規模化などが進められてきた。造成にあたっては、土地を効率的に利用するために河道の直線化や丘陵地での大規模盛土・切土工、低湿地の開発といった自然地形の改変が必然的に伴われた。こうして形成された人工地盤では、強震動により地盤の液状化等に起因する地盤変状がしばしば現れる。北海道でも 2003 年十勝沖地震をはじめ、1993 年の釧路沖地震および北海道南西沖地震など、マグニチュード 7.5～8 級の地震によりしばしば大きな被害が発生している。

2018 年北海道胆振東部地震（以下、「胆振東部地震」と呼ぶ）は、2018 年 9 月 6 日 3 時 7 分に発生した内陸地震である。地震の規模は Mj6.7、震源の深さは 37km であった¹⁾。北海道周辺のプレート境界や主要活断層で想定されている地震に比べ規模はやや小さく、震源の深さも島弧で発生する地

震の多く（深さ 10～15km 以浅）と比べやや深かったにも関わらず、震源に近い厚真町やむかわ町周辺だけでなく、北海道中部～西部の広い範囲で震度 5 弱以上の強い揺れを観測した。その結果、震源周辺の斜面で地すべりが多発したほか、石狩低地中～南部の広範囲で噴砂や亀裂、斜面崩壊など多様な地盤変状が発生した（図 1）。今後も繰り返されることが予想される地震に備えるために、発生した現象についてその形態や規模、発生箇所の地形・地質の特徴について把握し、地域社会の特性やコストなど様々な要素を考え合わせたうえで対策を検討する必要がある。

胆振東部地震についての報道や被害状況調査・その後の調査研究は、厚真町や札幌市清田区里塚地区に集中している状況である。このため、厚真町周辺の地すべり災害や里塚地区の地盤陥没については、現地調査に基づく各地域の事例記載が蓄積されつつある²⁾³⁾。一方でその他の地域については、地震発生当時の迅速調査報告がウェブサイト等にまとめられているものの、地盤変状の発生箇所や規模など、今後の対策を検討する上で不可欠な特性すら明確になっていない状況に

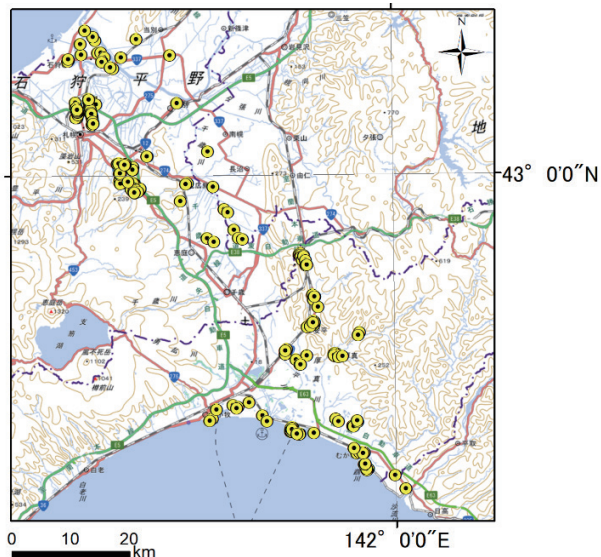


図1 胆振東部地震に伴う地盤変状分布. 黄丸が変状発生地点(背景図は国土地理院地図を使用)

Fig. 1 Distribution of surface rupture caused by Eastern Iburi Earthquake. Yellow circle indicate points of surface rupture. Topographic map was taken from "chiri-in Chizu" (Geographic Information Authority of Japan).

あり、このままでは災害事例に関する資料が散逸するおそれがある。

道総研地質研究所(現:エネルギー・環境・地質研究所)では、地震発生後断続的に各地の地盤変状について現地調査を実施し、その概要を報告してきた⁴⁾⁵⁾。地盤変状の位置や被害状況、発生場の地形・地質との関係など詳細については、今後数次に分けて報告することとする、本稿ではまず、札幌市東区および北区について報告する。

II 札幌市東区および北区における地形・地質

本地域は、震源からは約70km離れた、札幌市の北部～北東部に位置している。地形的には、南部は札幌市の中心部を占める最終氷期～後氷期に形成された豊平川扇状地⁶⁾、豊平川扇状地の扇端部から石狩川にかけて広がる氾濫平野および後背湿地、伏古川や豊平川など河川沿いに延びる自然堤防、石狩川下流～石狩湾沿岸に広く分布する砂丘で構成される。また、主要河川に沿って旧河道が多く認められる⁷⁾(図2)。

豊平川扇状地の扇端部にあたる、札幌競馬場～北海道大学～北15条東15丁目にかけては、北に凸の扇状地地形が認められる。扇端より北側では、扇状地礫層は氾濫平野・後背湿地の地下に埋没している。扇状地礫層上面までの深さは北15条付近から北側へ急速に深くなり、北20条付近で約16m、札幌自動車道～北42条付近で約20m、西茨戸付近で約35mとなる⁸⁾。礫層上面から地表までは、砂・シルト・粘土の互層で構成され、表層数mにはしばしば泥炭が挟在される。広域テフラや地質年代に関するデータが乏しく詳細

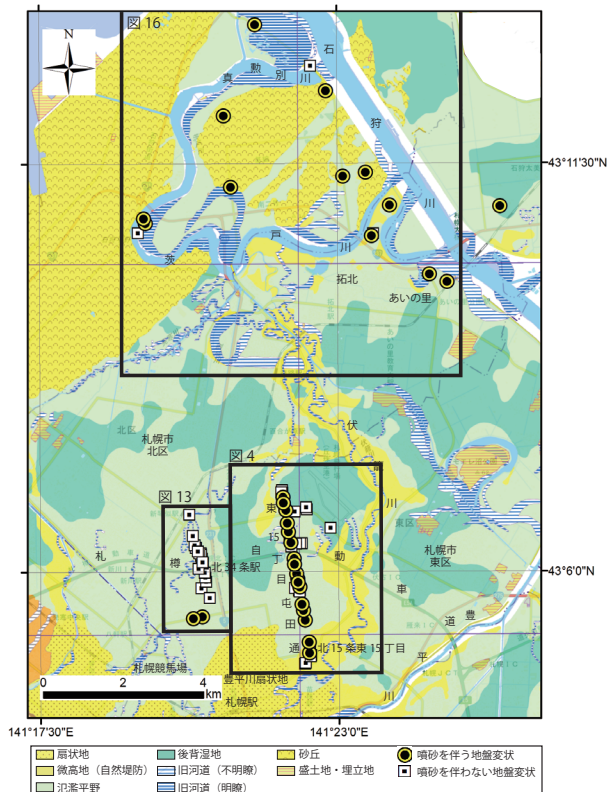


図2 札幌市東区および北区における地盤変状分布. 黄丸は変状発生地点. 背景図は国土地理院地理院地図および国土地理院治水地形分類図(更新版)を使用。

Fig. 2 Distribution of surface rupture around kita-ku and higashi-ku, Sapporo city. Yellow circle indicate points of surface rupture. Topographic map was taken from "chiri-in Chizu" and "Hydraulic topography classification map"(Geographic Information Authority of Japan).

は不明だが、礫層上部より上位がおおむね完新世の堆積物に相当するとみなされる。シルト～粘土はしばしば極めて軟質で、N値0～5程度であることが多い。地盤変状が現れたのは氾濫平野・旧河道であることが多いが、石狩川下流部では砂丘の分布域にも認められる。札幌市北区および東区には、ほぼ南北方向に直線的に延びる2列の地盤変状が認められる(図2の南側)。これらの地域の状況については、「V 札幌市東区の地盤変状」「VI 札幌市北区の地盤変状」の章で記述する。

札幌市において地盤変状をもたらした地震として、2003年北海道十勝沖地震が挙げられる。この地震では札幌市南東部(清田区)で噴砂等の変状をもたらしたが、札幌市東区および北区においては地盤変状は報告されていない。一方、札幌市北区の遺跡発掘調査によれば、複数の噴砂が報告されている⁹⁾¹⁰⁾¹¹⁾。降下テフラおよび年代測定により、これらの噴砂はそれぞれ1739年以降、10～13世紀頃、2世紀～7世紀頃、縄文晩期以前に形成されたと推定されている¹²⁾。地盤変状をもたらした地震については明らかではないものの、過去にも噴砂を伴う強震動がこの地域で起きていたと推定される。

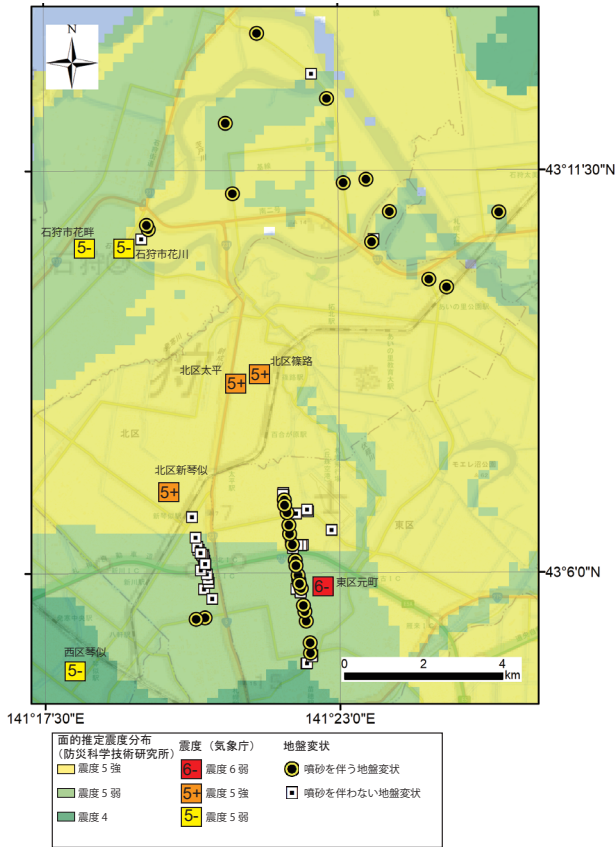


図3 札幌市東区および北区の震度分布¹⁾¹³⁾.
Fig. 3 Distribution of seismic intensity around kita-ku and higashi-ku, Sapporo city¹⁾¹³⁾.

III 地盤変状調査の経緯

地震発生をうけて現地調査を9月6日、9月9日、10月5日、10月21日、12月7日に行なった。調査の担当は、9月6日は廣瀬・川上・卜部、その他は廣瀬による。

9月6日の地震発生当日は、午前11時～11時30分にかけて、札幌市東区(東15丁目屯田通沿い)について調査を実施した。札幌市内各地の被害状況を迅速に確認する必要があったことから、報道・SNS等で被害箇所をある程度特定することのできた北20条～北46条の区間について、乗用車で移動しつつ現地確認・写真撮影等を実施した。なお、北26条～北35条間については東15丁目屯田通が通行不可となっていたため、この通りと交差する道路から現況を確認した。

続いて9月9日に東区および北区、10月5日・10月21日・12月7日に北区において、住民への聞き取りを含む現地調査を実施した。この時期には変状箇所の応急修復工事が開始されていたことから、修復工事前の状況を確認するため地震直後にTwitter上で行われたツイートのうち変状に関する写真が添付され、かつ位置の特定が可能な96件について参考とし、現地にて位置および変状の現況を確認した。地震

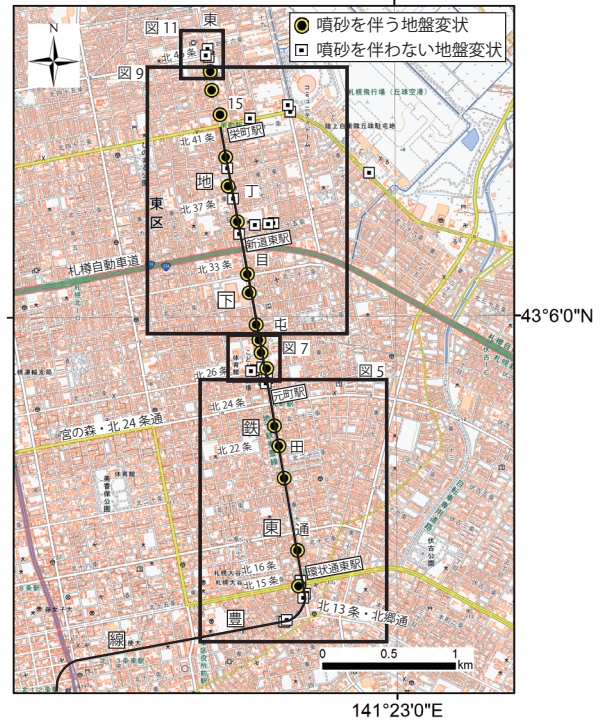


図4 札幌市東区の地盤変状分布(背景図は国土地理院地図を使用).
Fig. 4 Detailed distribution of surface rupture around higashi-ku, Sapporo city. Topographic map was taken from "chiri-in Chizu"(Geographic Information Authority of Japan).

発生後に SNS にアップされた地盤変状写真等を対象とした情報収集および現場確認手法については別途報告する。

なお、以下に記述するのは、現地にて地盤変状を直接観察、あるいは補修工事中の箇所を観察できた地点である。記載のない地域でも軽微な地盤変状が多数発生していた可能性を否定するものではない。

IV 札幌市東区および北区における地盤変状の概要

胆振東部地震では、気象庁の震度観測点において札幌市東区の元町で震度6弱、札幌市北区の太平・篠路・新琴似で震度5弱が観測されている¹⁾。札幌市および隣接する自治体(当別町・石狩市・江別市など)に位置する観測点では震度5弱～4程度の揺れが多かったことから、これらの地域は札幌市でも特に強い揺れにさらされていたことになる。面的推定震度分布¹³⁾(図3)によれば、東区元町付近は震度5弱～5強程度の揺れだったと推定されており、東区元町の震度観測点で観測された揺れは推定を大きく上回っている。

このような強い震動により、この地域では広い範囲で様々な地盤変状が発生した。多くは噴砂、地盤の不同沈下、開口亀裂、構造物の座屈変形などだが、小規模なものが多く発生箇所は散在している。ただし、札幌市東区の東15丁目屯田

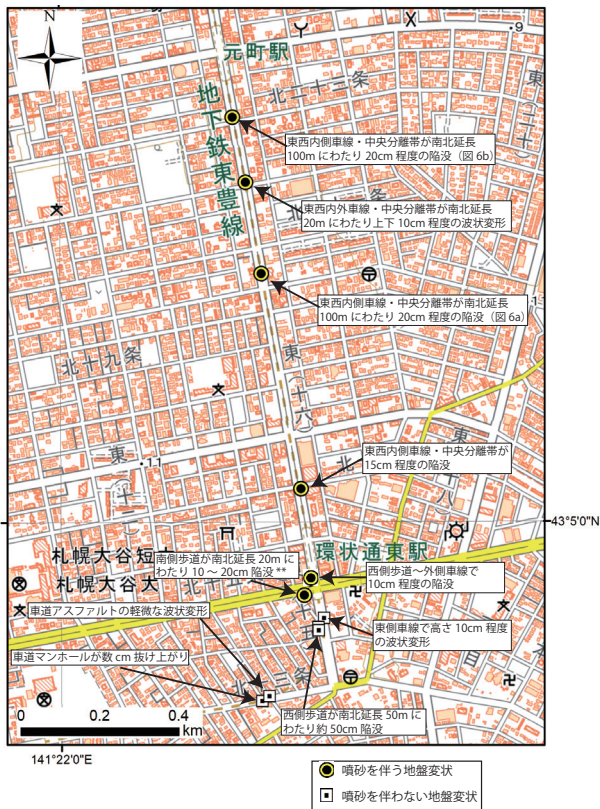


図5 東区北13条～北24条にかけての地盤変状分布（背景図は国土地理院地図を使用）。**は地盤工学会北海道支部による現地調査³⁾も参考として修復前の変状状況を把握。

Fig. 5 Detailed distribution of surface rupture between kita-13 jo and kita-24 jo, higashi-ku, Sapporo city. Topographic map was taken from "chiri-in Chizu"(Geographic Information Authority of Japan). Sites indicated ** are arranged with survey results by Hokkaido Branch, Japanese Geotechnical Society³⁾.

通, 北区北34条～北37条西4丁目, 茨戸川周辺にはまとまった分布が認められ, 深さ数十cm以上, 幅数m以上におよぶ比較的大規模な変状を伴うこともあった。一方で, 地形的に極めて起伏に乏しい地域であることから, 地すべり・斜面の変状については認められなかった。

以下, 東区および北区の各地域について地盤変状の位置や規模等について述べる。なお, 東区東15丁目屯田通の一部地域および北区北35～37条については調査時にはすでに復旧工事が進んでいたこと, Googleのストリートビュー等でも地震発生直後の記録がないことから, 工事前の状況についての調査結果³⁾¹⁴⁾も参考とした。

V 札幌市東区の地盤変状

軽微な地盤変状が各地で認められるが, 特に東15丁目屯田通付近では, 一部に噴砂を伴う路面陥没, 構造物の傾斜や埋設物の抜け上がりが多数発生した(図4)。

東15丁目屯田通では, 北13条から北47条にかけて, 南北約4.6kmのほぼ全区間にわたって変状が発生している



図6 東区北13条～北24条にかけての地盤変状状況
Fig. 6 Destruction situation of surface rupture between kita-13 jo and kita-24 jo, higashi-ku, Sapporo city.

が, 北25条～北28条, 北44条～北47条の区間で, 数・規模ともに顕著であった。以下, 変状の大きかった箇所を中心に, 地盤変状の状況について述べる。

V.1 北13条～北24条

この区間では, 変状は東15丁目屯田通に沿って南北に分布しているが, 北14条～北13条(南端部)では北13条・北郷通に沿ってやや西にずれた場所に現れている(図5)。地下鉄東豊線のルートは環状通東駅～栄町駅間では東15丁目屯田通に沿って南北, 環状通東駅と東区役所駅間では東西に延びており, 変状発生箇所は東豊線のルートに一致する。

この区間における地盤変状は比較的軽微だが, 北側ほど変状の規模が大きくなる傾向がある。変状域南端付近の北13条東13丁目では, 車道・歩道のアスファルトに軽微な波状変形やマンホールの抜け上がりが現れた。垂直変位量は数cm程度である。北14条東15丁目では, 東15丁目屯田通に隣接する歩道に南北方向に延べ50mにわたり陥没が生じていた。歩道中央部から車道にむけて陥没量が大きくなり, 車道・歩道の境界で陥没量は最大50cm程度に達していた。ただし, 車道側では軽微な波状変形が現れている程度であり, 変状は顕著ではなかった。北16条東15丁目では, 中央分離帯～西側車線に噴砂を伴う陥没が生じていた。陥没量は中央分離帯に向かって大きくなり, 最大15cm前後であった。北20条東15丁目でも中央分離帯および内側車線でマンホール抜け上がりと噴砂を伴う陥没が生じている。ここでは, 周辺の歩道(変状はほとんど認められない)から中央分離帯に

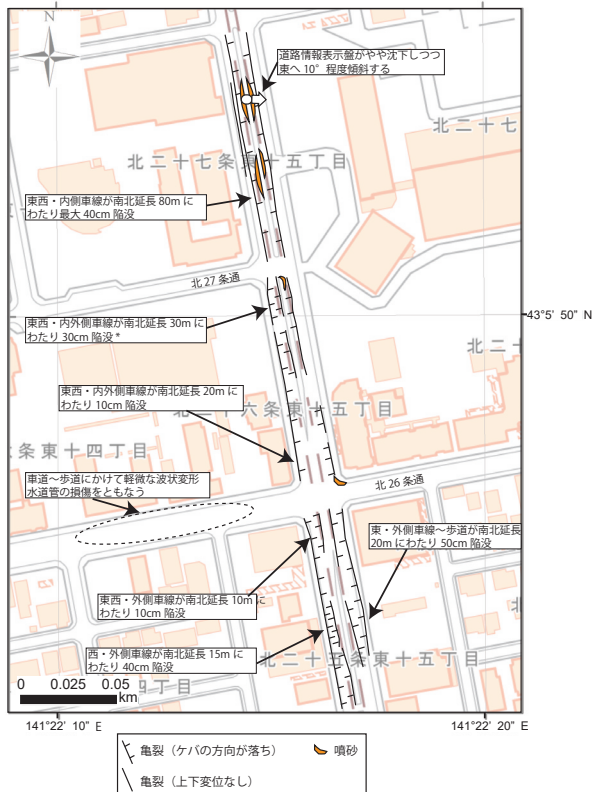


図7 東区北25条～北28条にかけての地盤変状分布（背景図は国土地理院地図を使用）

Fig. 7 Destruction situation of surface rupture between kita-25 jo and kita-28 jo, higashi-ku, Sapporo city. Topographic map was taken from "chiri-in Chizu"(Geographic Information Authority of Japan).

近いほど陥没量が大きくなり、変状は南北約100m、陥没量は最大20cmと推定される。この陥没には、茶灰色で砂質な噴砂を伴う（図6a）。北22条東15丁目、北23条東15丁目（図6b）でも、同様に中央分離帯および東西内側車線に噴砂を伴う垂直20cm程度の陥没が生じていた。ここでの噴砂は、札幌市清田区で見られた粗粒な火山灰質のものとは異なり、やや下水様の臭気を伴う黄白色細粒な泥水状であった。この区間では、地盤変状があまり連続的に現れないこと、車道と歩道で変状の状況が一致しないことが特徴であった。

V.2 北25条～北28条

東15丁目屯田通のうち、最も地盤変状が顕著だった地域の一つである（図7；図8a）。この区間でも変状は東15丁目屯田通に沿って南北に分布しているが、北26条通との交差点を境に、北側と南側で変状の様相が異なっている（図7）。北26条通沿いではやや西側でも数カ所で軽微な変状が認められる。

北26条通との交差点より南側では、車道に南北方向の陥没が生じている。陥没量は20～50cmに達するが、片側2車線のうち外側車線～歩道の車線側の幅1mにかけて陥没量が大きく、隣接する歩道や内側車線での陥没は顕著ではない。北26条通との交差点から北27条にかけては、車道と



図8 東区北25条～北28条にかけての地盤変状状況

Fig. 8 Destruction situation of surface rupture between kita-25 jo and kita-28 jo, higashi-ku, Sapporo city.

歩道の境界から内側全体が10～30cm程度陥没している（図8b）。一方、北27条通より北側では、中央分離帯を含む内側車線で、南北延長80mにわたって顕著な陥没を伴う波状変形が発生した。陥没量は20～40cm前後で、中央分離帯付近での陥没が顕著であり、道路情報標示盤が大きく傾動していた（図8a）。ここでも陥没部には黄白色細粒な泥水状の噴砂が堆積していた。他の区間に比べ噴砂が比較的目立つこと、変状の規模が大きいかにも関わらず歩道部分での変状が少ないことが特徴である。

V.3 北30条～北44条

全域で開口亀裂や車道路面の波状変形が生じている（図9）。この地域での変状は比較的軽微（北30条付近：図10a）だが、やや顕著な変状が北33条（図10b）、北37条～39条（図10c・図10d）にかけて認められる。北33条では西側の内側車線で30cm程度の陥没が発生していた。陥没箇所のアスファルト舗装直下には局所的な空洞が生じている。北37条では西側の内側車線～中央分離帯にかけて、南北方向に延長70mにわたり高さ10cmの波状変形および陥没が生じていた（図10c）。北39条でも中央分離帯付近が南北延長40mにわたり20cm程度陥没している（図10d）。北41条以北では歩道～外側車線に変状が目立っていた。南北方向に延長100～200mにわたり、微量の噴砂を伴いつつ10～20cm（車道側が深い）陥没している事例が多い。その他、北35条東17～18丁目、北41条東17～19丁目では軽微なマンホール抜けあがり、路面の波状変形が発生



図9 東区北 29 条～北 44 条にかけての地盤変状分布 (背景図は国土地理院地図を使用)

Fig. 9 Destruction situation of surface rupture between kita-29 jo and kita-44 jo, higashi-ku, Sapporo city. Topographic map was taken from "chiri-in Chizu"(Geographic Information Authority of Japan).

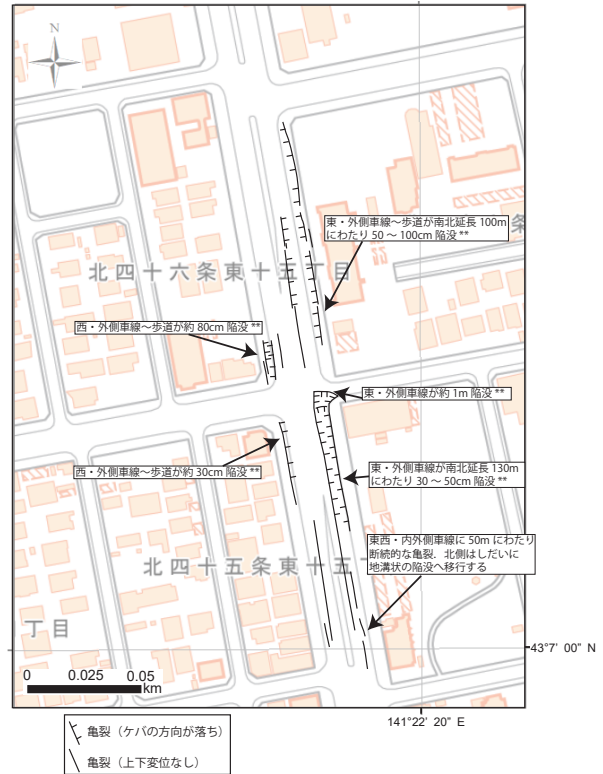


図 11 東区北 45 条～北 47 条にかけての地盤変状分布 (背景図は国土地理院地図を使用). ** は地盤工学会北海道支部による現地調査³⁾も参考として修復前の変状状況を把握.

Fig. 11 Detailed distribution of surface rupture between kita-45 jo and kita-47 jo, higashi-ku, Sapporo city. Topographic map was taken from "chiri-in Chizu"(Geographic Information Authority of Japan). Sites indicated ** are arranged with survey results by Hokkaido Branch, Japanese Geotechnical Society³⁾.



図 10 東区北 29 条～北 44 条にかけての地盤変状状況

Fig. 10 Destruction situation of surface rupture between kita-29 jo and kita-44 jo, higashi-ku, Sapporo city.





図12 東区北45条～北47条にかけての地盤変状状況
Fig. 12 Destruction situation of surface rupture between kita-45 jo and kita-47 jo, higashi-ku, Sapporo city.

していた。この区間では、北37条～39条では車線内側および中央分離帯に、41条～43条にかけては歩道～外側車線に変状が現れる傾向があり、区間による変状発生位置の違いが比較的明瞭である。

V.4 北44条～北47条

ここは東15丁目屯田通において、北25条～北28条とならんで地盤変状が顕著だった区域である(図11)。変状は北41～北43条区間と同様に外側車線～歩道に集中して発生しているが、陥没の規模が明らかに大きい。北45条東16丁目では南北延長100m、交差点を挟んで北46条東15丁目では南北延長10m、さらにその北側、北46条～北47条西16丁目でも南北延長50mにおよぶ陥没が生じている。いずれも外側車線～歩道の車道側幅1m前後に及ぶ陥没である。深さは最大60～80cmに達し、アスファルトの下位に伏在する構造体が露出していたり、電柱が傾動・沈下している(図12)。陥没箇所ではアスファルト直下にしばしば深さ数十cm程度の空洞が生じていた。

V.5 その他の地域

札幌市東区伏古において、豊平川の旧河道に沿って最大5cm程度の地盤沈下が発生し、建物の亀裂を伴う抜け上がりが生じていたことが、干渉SAR解析および現地調査の結果として示されている¹⁵⁾。

VI 札幌市北区の地盤変状

VI.1 北24条～麻生

宮の森・北24条通から麻生地区にかけては、広い範囲に地盤変状が出現した(図13)。特に北35条～麻生にかけては比較的規模の大きな地盤変状が出現している。その他の変状箇所は舗装路面の波状変形や構造物の抜け上がりであり、地盤の沈下量は概ね数cm以下と軽微な場合が多い。

北35条西3丁目から北38条西4丁目にかけて、市道西4丁目線に沿って地盤変状が現れた(図14)。ただし、現地調査時(10月5日・10月21日)には修復工事が着手されており、変状の詳細を確認できなかつ

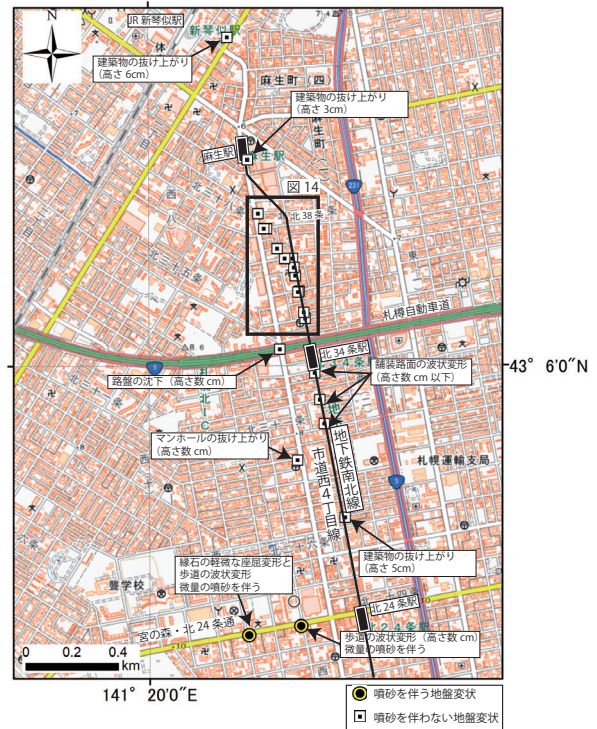


図13 札幌市北区(北24条～麻生)にかけての地盤変状分布(背景図は国土地理院地図を使用)

Fig. 13 Destruction situation of surface rupture between kita-24 jo and Asabu, kita-ku, Sapporo city. Topographic map was taken from "chiri-in Chizu"(Geographic Information Authority of Japan).

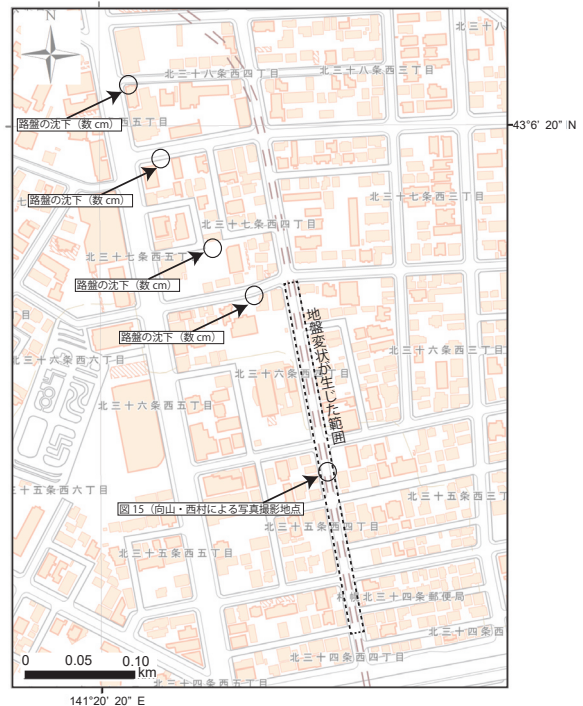


図14 札幌市北区北35条～北38条にかけての地盤変状分布(背景図は国土地理院地図を使用)

Fig. 14 Destruction situation of surface rupture between kita-35 jo and kita-38 jo, kita-ku, Sapporo city. Topographic map was taken from "chiri-in Chizu"(Geographic Information Authority of Japan).



図 15 札幌市北区北 35 条～北 38 条にかけての地盤変状状況(国際航業 西村智博 撮影)

Fig. 15 Destruction situation of surface rupture between kita-35 jo and kita-38 jo, kita-ku, Sapporo city (Photo by Tomohiro Nishimura, Kokusai Kogyo Co., LTD).

た。この区間について修復前に行われた現地調査¹⁴⁾によれば、北 35 条～北 36 条までは、車線の両側に深さ 10～30cm 程度の波状変形として現れたようである(図 15)。隣接する歩道も波状変形しつつ車道側に傾斜し、マンホールや排水口は周囲の陥没に伴い 10～30cm 程度抜けあがっている。ただし、歩道に隣接した宅地では、変状は認められなかったか極軽微である。住民への聞き取り調査によれば、地震直後には陥没した路面に水が溜まっていたとのことである。噴砂の痕跡は認められなかった。

北 37 条より北側では、市道西 4 丁目線に目立った変形は現れていない。一方、やや西側の宅地では、高さ数 cm 程度のマンホール抜けあがりや車道・歩道の波状変形が断続的に表れた。調査時には応急補修が完了していたが、住民聞き取りによれば数 cm 程度の沈下が発生していたようである。地下鉄麻生駅から JR 新琴似駅にかけての区間でも構造物の抜け上がりが数十か所認められたが、この地域は地震前から構造物の抜けあがりが目立っていた地域であり、ほとんどについては胆振東部地震に伴うものかどうかは確認できなかった。図 13 に記載した地点は、ペンキでマーキングないし三角コーンで囲まれた明らかに新しい応急補修が行われていたところで、今回の地震に伴う変状と判断される。

VI.2 茨戸川周辺

茨戸川周辺で、自然地盤や堤防上の亀裂、噴砂として変状が現れた(図 16)。多くは軽微なものであり、堤防や道路など重要施設についてはすみやかに補修がなされていた。ただし、茨戸川と真勲別川に囲まれた地域では、噴砂を伴う比較的規模の大きな変状が認められた。これらは氾濫平野や旧河道、砂丘の堤間低地の自然地盤ないしはその上に構築された人工地盤上に出現している。なお、この地域における地盤変状の分布図(図 18、

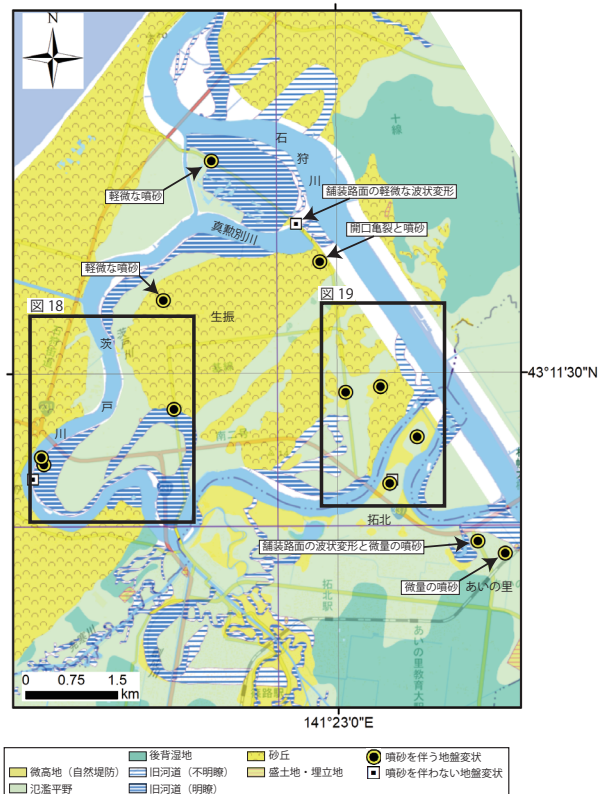


図 16 札幌市北区(茨戸川～あいの里)にかけての地盤変状分布。黄丸は変状発生地点。背景図は国土地理院地理院地図および治水地形分類図(更新版)を使用。

Fig. 16 Distribution of surface rupture around Barato river and Ainosato, kita-ku, Sapporo city. Yellow circle indicate points of surface rupture. Topographic map was taken from "chiri-in Chizu" and "Hydraulic topography classification map"(Geographic Information Authority of Japan).

19) については地形との対応をわかりやすくするため、背景には地理院地図(陰影起伏図)を利用し、地形分類図(米軍空中写真・国土地理院空中写真および旧版地形図(大正 7 年発行 5 万分の 1 地形図「石狩」に基づき判読)も合わせて示した。

茨戸川蛇行部の南西端付近では、旧河道上に位置する農地に幅数 cm の開口亀裂群が出現した(図 18)。亀裂の走向は N10～N15° E であり、断続的に延長 150m 程度現れ、顕著な噴砂を伴っていた(図 17a)。同様の亀裂は真勲別川南岸にも表れている(図 17b)。ここでも旧河道に位置する自然地盤と宅地盛土の境界に沿って幅数 cm、延長 50m 程度の開口亀裂が出現し、やはり噴砂を伴っている。茨戸川の堤防では、堤防の縦断方向に開口亀裂が形成されていた(図 17c)。応急補修が着手されていたため全容は不明だが、開口幅数 cm 程度の軽微な亀裂だったようである。平成 15 年十勝沖地震の際に十勝川下流で発生したような堤体の大規模な崩壊¹⁶⁾は認められなかった。拓北地区では、茨戸川の蛇行部に形成された蛇行洲で軽微な噴砂を伴う陥没が現れた(図 17d)。ここも応急修復がなされていたが、噴砂痕からは



図 17 札幌市北区（茨戸川～あいの里）にかけての地盤変状状況
 Fig. 17 Distraction situation of surface rupture around Barato river and Ainosato, kita-ku, Sapporo city.

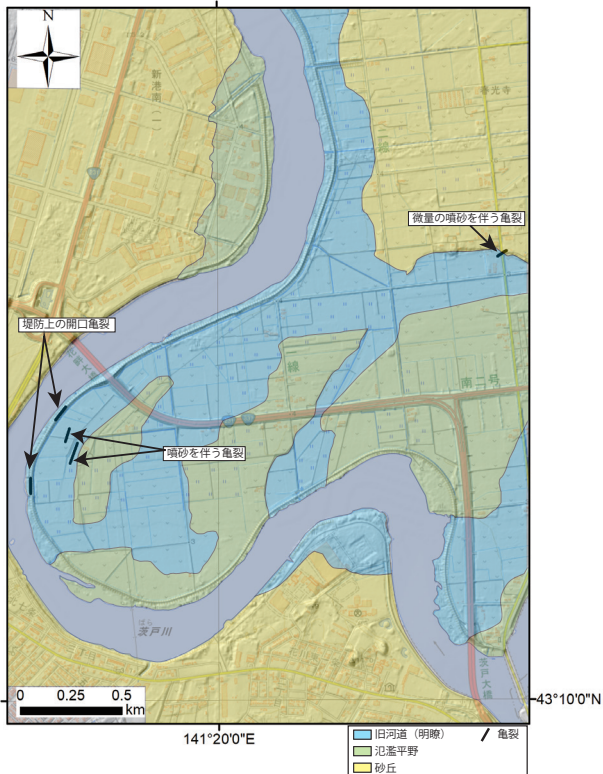


図 18 札幌市北区（茨戸川西方）の地盤変状分布と地形分類図（背景図は国土地理院地図を使用）

Fig. 18 Distraction situation of surface rupture and landform classification map around western area of Barato river, kita-ku, Sapporo city. Topographic map was taken from "chiri-in Chizu"(Geographic Information Authority of Japan).

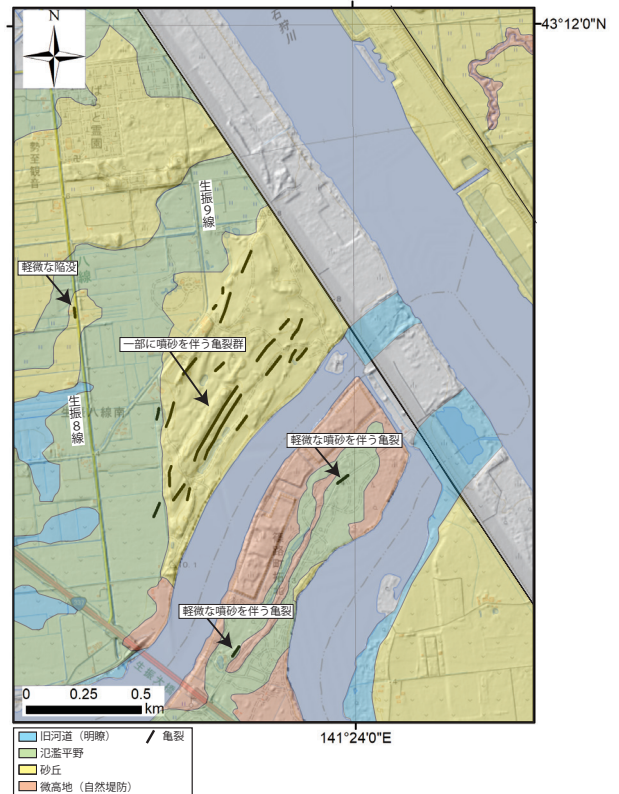


図 19 札幌市北区（茨戸川東方）の地盤変状分布と地形分類図（背景図は国土地理院地図を使用）

Fig. 19 Destruction situation of surface rupture and landform classification map around eastern area of Barato river, kita-ku, Sapporo city. Topographic map was taken from "chiri-in Chizu"(Geographic Information Authority of Japan).

北北東—南南西方向に延長 10～20m 程度の亀裂が断続的に現れたようである。この付近の噴砂はほぼ例外なく、極めて淘汰のよい、円摩された石英・長石および岩片からなる中砂～粗砂で構成されている。

生振 8 線～9 線の茨戸川西岸に沿って、紅葉山砂丘の一部である比高数 m 程度の砂丘列の自然地盤に亀裂が現れた(図 19)。現地での立ち入り調査が出来なかったため、周辺からの遠望および GoogleEarth 等の空中写真により大局的な分布を把握した。亀裂は大局的には北東—南西～北北東—南南西の走向を持ち、東西 2 列の亀裂群とその周辺に散在する亀裂から構成されている。2 列の亀裂群では、亀裂群を構成する延長数 m～数十 m の個別の亀裂の走向と亀裂群の全体的な走向は概ね一致し、それぞれ全体として延長約 1km の亀裂群をなしている。亀裂群の少なくとも一部からは、噴砂とみられる茶褐色の流出物が認められる。一部は開口変位を伴っているが詳細は不明である。

VI.3 あいの里とその他の地域

あいの里地区において、小規模な変状が現れた。あいの里地区の 2 箇所はいずれも観察時には仮修復が完了していたが、窪地・亀裂には淘汰のよい中砂～粗砂が堆積しており、周辺の路盤には数 cm 程度の沈下を伴う波状変形が見られたことから、噴砂を伴う軽微な地盤沈下が生じたと推定される。この他、石狩川周辺の各地で路面の波状変形が認められたが、胆振東部地震により形成されたものかどうか確認できないため、図には示していない。

VII 考察

以上に述べた地盤変状のうち、比較的規模の大きな北区北 35 条～麻生および茨戸川周辺のものについて若干の考察を行う。

札幌市東区の地盤変状箇所周辺の表層地質図⁸⁾および地盤ボーリングデータ¹⁷⁾に基づく地質断面図を図 20 に示す。また、表層地質図には米軍空中写真の判読に基づく旧河道地形分布、地質断面図には東豊線栄町駅～東区役所駅間の路線位置³⁾¹⁸⁾もあわせて示す。東 15 丁目屯田通周辺は、泥炭や粘土、シルトなど後背湿地堆積物が広がっている。また、旧河道地形も多く認められる。地質断面図からは、この区間の地盤表層部の地質は地表から深さ 2～10m 付近は N 値 0～4 程度の砂～粘土からなる極めて軟弱な地盤(図中では薄紫色で図示)、その下位に N 値 7～37 程度のやや締まった砂～粘土(図中では水色で図示)、さらに下位は砂礫層(図中では薄茶色で図示)で構成されていることがわかる。極めて軟弱な地盤は北 12 条付近では厚さ 2m 前後だが、北側ほど層厚を増し、北 47 条付近では厚さ 15m 前後に達する。地下水位は地盤ボーリング調査時には 0.5～2m 付近にある。地下鉄東豊線はこの区間では開削工法により建設されてお

り、地表から深さ 10～15m 付近に存在している。地盤ボーリング D では東豊線付近の深さまで盛土(砂)となっており、地盤変状箇所の地質断面にも砂質土が認められたことから、開削工事後の埋め戻しには砂質土が使われていた可能性がある。

表層地質図および旧河道との関係について見ると、地盤変状が著しかった北 25 条～北 28 条は泥炭、北 44 条～北 47 条は粘土の分布域となっている。表層地質の違いにより地盤変状の発生頻度が大きく異なっているわけではない。また、地盤変状が顕著だった北 25 条～28 条、北 44～47 条で特に旧河道地形が集中しているわけではない。地質断面についても、北 25 条～北 28 条、北 44 条～北 47 条付近にのみ極めて軟弱な地盤が発達していたり、地下水位が高い傾向にあるわけではない。

地盤変状の発生が表層地質や地下水位に規制されているのであれば、同様の著しい地盤変状は東 15 丁目屯田通のみならず、同様の地質状況にある北区～東区の広範囲で発生すると思われる。しかし実際には、著しい地盤変状の発生箇所は地下鉄東豊線の開削工事箇所である東 15 丁目屯田通の車道付近に偏在し、その周辺では軽微な変状が認められる程度である。地形および地質からは、東 15 丁目屯田通に沿う地下鉄開削工事部の埋め戻し土が胆振東部地震に伴う強振動により局所的に液状化したと考えるのが妥当であろう。変状発生箇所を細かく見ると、例えば北 25 条～北 28 条区間では、北 27 条を挟んで南側では外側車線～歩道、北側では内側車線に変状が現れる(図 7)など、場所によって連続的に変状が現れる場所が異なる傾向が認められる。こうした現象については地下鉄工事後の埋め戻しの時期や工法の違い、埋め戻し後の掘削工事、周辺地域での地下水利用状況などによる地盤状況の違いが影響した可能性が考えられ、地盤工学的な検証が必要となる。

一方、石狩低地各地で地盤液状化が発生した 2003 年十勝沖地震では、東 15 丁目屯田通付近では地盤変状は報告されていない。胆振東部地震で顕著な地盤変状が現れた要因については、胆振東部地震による震度 6 弱という強い揺れ、札幌市北区～東区では地下水利用環境の変化から地下水位が長期的に上昇傾向にあること¹⁹⁾、2018 年の 6～8 月にかけてはしばしば強い降雨があったことが可能性として挙げられる。

北区北 35 条～麻生においては、地盤変状が最も顕著なのは北 35 条～北 36 条区間である。ここでは地下鉄南北線の開削工法による工事が行われた区間(市道西 4 丁目線)と変状箇所がほぼ一致し、市道西 4 丁目線から離れると地盤変状は認められなくなる(図 21)。近隣のボーリングデータ¹⁷⁾に基づけば、表層から深度 10m 前後までは、砂ないしシルト・粘土で構成され、N 値は 5～10 前後で深度 2～3m 付

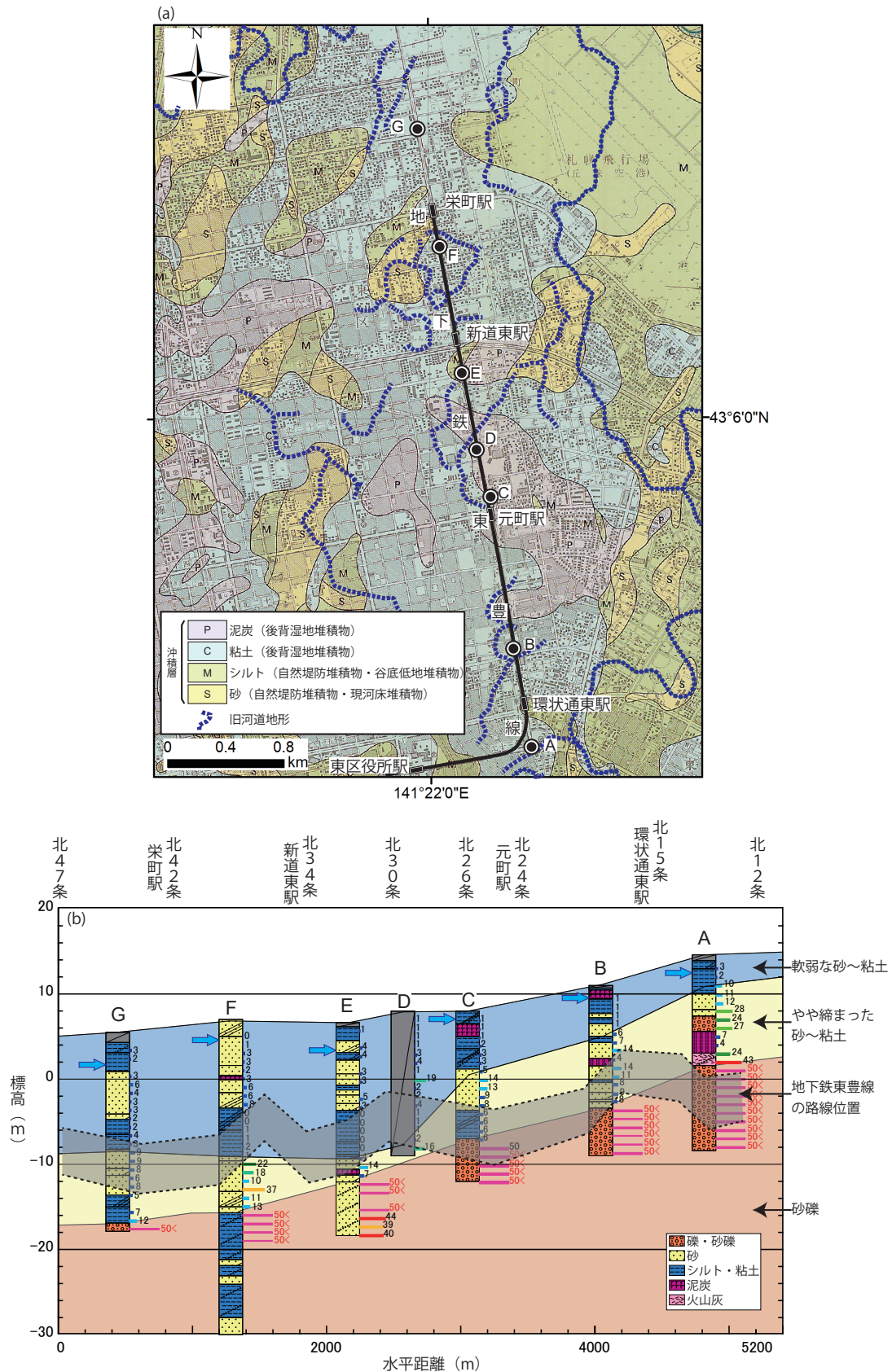


図 20 札幌市東区の表層地質図⁸⁾および地盤柱状図データ¹⁷⁾に基づく地盤断面図。灰色部は地下鉄東豊線の路線位置³⁾¹⁸⁾、背景図は国土地理院地図を使用。

Fig. 20 Surface geological map⁸⁾ and geological cross section around higashi-ku, Sapporo city. Bore hole data are from Hokkaido Branch, Japanese Geotechnical Society¹⁷⁾, topographic map was taken from "chiri-in Chizu"(Geographic Information Authority of Japan). Gray area indicate the Subway Toho Line³⁾¹⁸⁾.

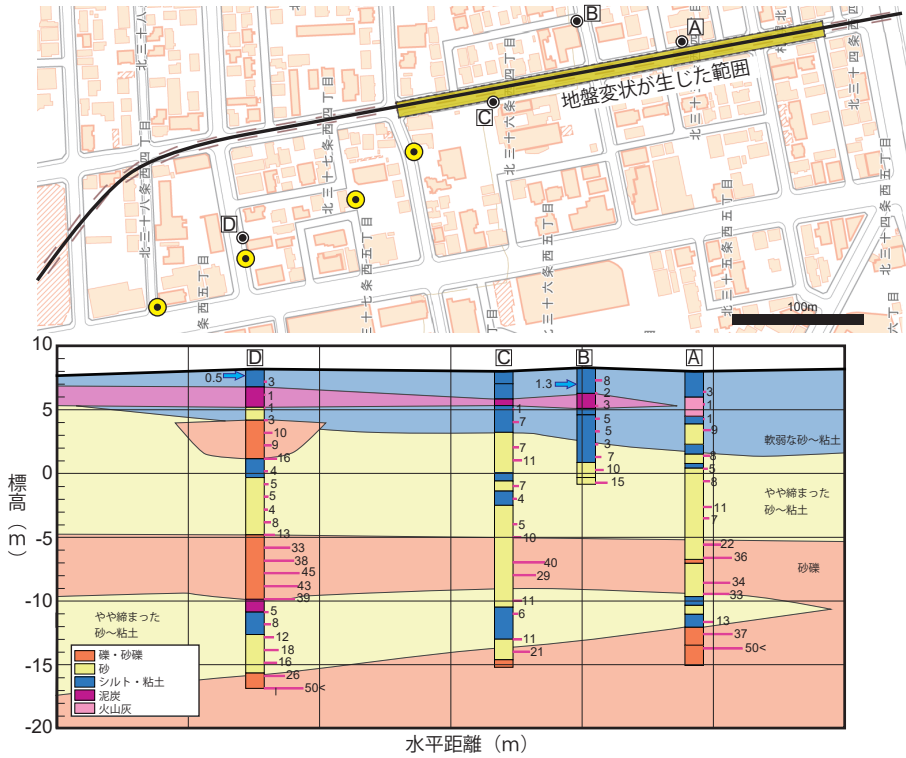


図 21 地盤柱状図データ¹⁷⁾に基づき作成した札幌市北区北 35 条～北 36 条の地盤断面図。背景図は国土地理院地図を使用。黄丸は変状発生地点。

Fig. 21 Geological cross section between kita-35 jo and kita-36 jo, kita-ku, Sapporo city. Bore hole data are from Hokkaido Branch, Japanese Geotechnical Society¹⁷⁾, topographic map was taken from "chiri-in Chizu"(Geographic Information Authority of Japan). Yellow circle indicate points of surface rupture.

近には N 値 1 前後の極めて軟弱な堆積物が分布している (図 20)。また、ボーリング掘削時のデータであることに注意が必要だが、地下水は 1 ～ 1.5m 付近にあることがわかる。地下鉄開削工事時の工法や掘削深度についての詳細は不明だが、地下鉄 34 条駅～麻生駅の区間については現在の地下鉄駅の設置状況から掘削深度は約 10 ～ 20 m 程度と推定される。埋め戻し土の厚さは数 m 程度であろう。東区東 15 丁目屯田通とは異なり噴砂が生じていた記録に乏しいものの、住民証言によれば地震直後に陥没箇所水が溜まっていたとのことであり、地震の震動により埋め戻し土が液状化し陥没につながった可能性が考えられよう。

北 37 条～麻生の区間においては、南北線の埋設箇所については、北 35 条～ 36 条のような顕著な陥没など地盤変状は認められてない一方で、地下鉄南北線の埋設箇所からやや西にずれた箇所に変状が生じている。この箇所は、旧版地形図「札幌」(大正 7 年発行)によれば、「古川」と呼ばれる河川が記載されている (図 22)。古川に相当する河川は現在認められず、暗渠化ないしは地形改変により消滅していると考えられるが、古川の流路に相当するボーリングデータ¹⁷⁾ (図 20 の D) によれば地下 5m までは砂質シルト・泥炭混じり粘土～砂で構成され、周辺に比べ泥炭層がよく発達し地下水位は 0.5m と極めて高い。特に北 37 条～北 38 条にかけては地盤変状と古川の旧河道はよく一致しており、埋没旧河道の堆積物の液状化ないし排水に伴う体積減少が軽微な地盤沈下を発生させたと考えられる。

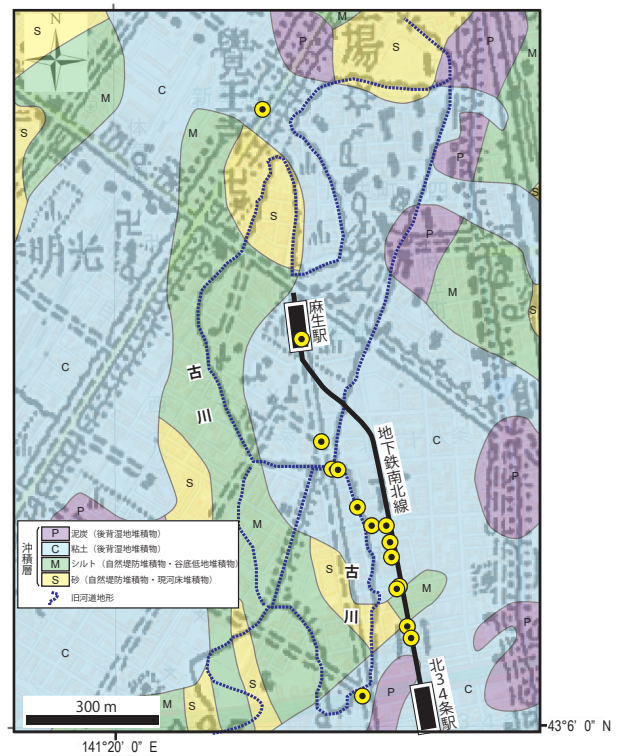


図 22 札幌市北区北 37 条～麻生にかけての地盤変状分布と表層地質図⁸⁾。背景図は国土地理院旧版地形図 (5 万分の 1 地形図「札幌」(大正 7 年発行)を使用)。黄丸は変状発生地点。

Fig. 22 Distruction situation of surface rupture and surface geological map⁸⁾ between kita-35 jo and kita-36 jo, kita-ku, Sapporo city. Topographic map was taken from old version topographic map made at 1918 by Japanese Imperial Land Survey (currently "Geographic Information Authority of Japan"). Yellow circle indicate points of surface rupture.

茨戸川周辺では、旧河道付近で発生した典型的な地盤液状化に加え、生振7線～9線で地割れを伴う顕著な地盤変状が現れている。この箇所は、紅葉山砂丘の南東部に相当し、陰影起伏図でも石狩湾の海岸線に並行な北東-南西方向の筋状の高まり（砂丘列）が顕著に認められる。亀裂群の位置と地形を比較すると、亀裂群は砂丘列の高まりの間に挟まれた低地にそって分布していることがわかる。砂丘間低地や堤間低地は旧河道や埋立地と同様に液状化リスクが高い微地形であるとみなされ²⁰⁾、1987年千葉県東方沖地震では、九十九里平野において液状化が報告されている²¹⁾。生振7線～9線での地盤変状についても砂丘間低地堆積物の液状化により発生した可能性がある。

VIII まとめ

- ・胆振東部地震に伴い、札幌市北区～東区で地盤変状が発生した。変状は特定の地域に集中して発生する傾向があった。
- ・後背湿地である東区東15丁目屯田通では、地下鉄東豊線の開削工事が行われた車道～歩道に集中して地盤変状が発生した。内側車線、外側車線～歩道など地盤変状発生箇所は場所により異なっている。
- ・北区北35条～麻生では、地下鉄南北線の開削工事が行われた車道～歩道に集中して地盤変状が発生した。ただし地下鉄工事箇所からやや離れた旧河道地形に沿っても変状が発生している。
- ・茨戸川周辺では旧河道および砂丘の堤間湿地など自然地形に対応して地盤変状が出現した。

謝辞

調査・研究の実施にあたっては、文部科学省科学研究費助成金「平成30年北海道胆振東部地震とその災害に関する総合調査(代表:北海道大学)」を使用した。現地調査に際しては、札幌市役所および被災箇所での復旧工事にあたっていた各企業の方々にご協力いただいた。また、現地住民の方々には、地震直後の大変な状況において聞き取り調査にご協力いただいた。北34条駅周辺の地震被害状況については、国際航業株式会社の向山栄氏と西村智博氏から情報をいただき、現地写真の使用もご快諾いただいた。地域地質部の皆様には様々なご助言を頂いた。以上の方々には深く感謝申し上げます。

引用文献

- 1) 気象庁 (2019) 震度データベース <https://www.data.jma.go.jp/svd/eqdb/data/shindo/index.php> (2020年10月31日アクセス)。
- 2) 地震による地すべり災害」刊行委員会編 (2020) 地震による地すべり災害-2018年北海道胆振東部地震-, 北海道大学出版会, 55-61。
- 3) 平成30年北海道胆振東部地震による地盤災害調査団 (2019) 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。公益社団法人地盤工学会, 167 p。
- 4) 廣瀬 亘・加瀬善洋・川上源太郎・小安浩理・高橋 良・卜部厚志 (2018) 平成30年北海道胆振東部地震に伴う地表変動および強震動による被害 (速報)。北海道地質研究所報告, 90, 15-32。
- 5) 廣瀬 亘 (2020) 北広島市・札幌東区・石狩川周辺における地盤変動。地震による地すべり災害, 北海道大学出版会, 267-274。
- 6) 大丸裕武 (1989) 完新世における豊平川扇状地とその下流氾濫原の形成過程。地理学評論, 62A, 589-603。
- 7) 国土地理院 (2020) 1:25,000 治水地形分類図 (更新版)。 https://www.gsi.go.jp/bousaichiri/fc_list_b.html, (2020年10月31日アクセス)。
- 8) 北海道土質コンサルタント (1994) 札幌表層地盤図 (2m深図) および同説明書。北海道土質コンサルタント株式会社, 26 p。
- 9) 伏島 祐一郎, 平川一臣 (1996) 北海道大学構内で観察された液状化跡 - 先史地震と液状化構造形成過程の解説。活断層研究, 14, 9-18。
- 10) 羽坂俊一・磯部一洋・下川浩一・七山 太 (1997) 札幌付近で発見された多くの液状化跡と表層地質の関連性。地質ニュース, 520, 16-29。
- 11) 平川一臣・上屋真一・中村有吾・伏島祐一郎 (2000) 石狩低地の液化跡に関する資料。活断層研究, 19, 55-58。
- 12) 佐藤 明・萩野克彦・鈴木一成・佐藤浩一・札幌市危機管理対策室 (2008) 石狩低地帯の縄文～擦文時代の遺跡に見られる地震痕跡について。全地連「技術e-フォーラム2008」高知, 27。
- 13) 防災科学技術研究所 (2018) 推定面的推定震度分布 (2/21更新)。平成30年北海道胆振東部地震 クライシスレスポンスサイト。 <http://crs.bosai.go.jp/DynamicCRS/index.html?appid=5a555e4a581c4e2885b59a658535fd3e> (2020年10月31日アクセス)。
- 14) 向山栄・西村智博 (2018) 平成30年北海道胆振東部地震 札幌市域の被害速報。 http://www.ajg.or.jp/disaster/files/201809_HokkaidoEq001.pdf, (2020年10月31日アクセス)。

- 15) 横田彰宏・重野聖之・西村智博・本田謙一・向山 栄 (2019) 干涉 SAR と古地理でみる札幌市の地震被害 - 2018 年北海道胆振東部地震 -. 2019 年度日本地理学会春季学術大会, P005.
- 16) 廣瀬 亘・田近 淳・岡 孝雄・高見雅三・大津 直・石丸 聡・田村 慎・高清水康博 (2004) 平成 15 年 (2003 年) 十勝沖地震による地質災害 (速報). 北海道立地質研究所報告, 75, 71-84.
- 17) 地盤工学会北海道支部 (2003) 北海道地盤情報データベース (Ver.2003), 地盤工学会北海道支部「北海道地盤情報のデータベース化委員会」, 1CD.
- 18) 札幌市交通局計画部編 (1989) 札幌市高速鉄道 東豊線建設史: (栄町～豊水すすきの間), 札幌市交通局計画部, 533p.
- 19) 深見浩司 (2016) 北海道石狩湾岸地域における地下水位変動の特徴と地下環境モニタリングが果たした役割, 北海道地質研究所報告, 88, 37-47.
- 20) 国土庁防災局震災対策課 (1999) 液状化地域ゾーニングマニュアル.
- 21) 風岡 修・佐藤光男・大沢裕之・吉田 剛・古野邦雄・楠田 隆・香川 淳・酒井 豊・原 雄・香村一夫・佐藤賢司・楡井 久 (2010) 完新統海岸砂丘の砂丘間低地における液状化 - 流動化現象の機構説明と今後の強震動・被害予測上の問題点. 第 20 回環境地質学シンポジウム論文集, 291-296.

要 旨

胆振東部地震では、震源から 70km 以上離れているにも関わらず札幌周辺で顕著な地盤変状が発生した。近傍の気象庁地震観測点で震度 6 弱を記録した市道東 15 丁目屯田通りでは、札幌市営地下鉄東豊線の直上に位置する車道と歩道において、噴砂を伴う地盤沈下が発生した。同様の地盤変状は地下鉄南北線上の市道西 4 丁目線でも発生した。この変状箇所のさらに北方では、古川の旧河道付近で弱い地盤変状が発生した。茨戸川周辺では、噴砂を伴う軽微な開口亀裂が旧河道や砂丘の堤間低地で発生した。この場所では、盛土や旧河道、堤間低地の分布が地盤液状化と密接に関連している。