

2011年東北地方太平洋沖地震による多賀城市周辺の地盤変状

著者	山口 晶, 横? 裕貴, 奈良 聡大, 下井田 幸愛, 飛田 善雄
雑誌名	東北学院大学工学部研究報告
巻	46
号	1・2
ページ	23-32
発行年	2012-02
URL	http://id.nii.ac.jp/1204/00024662/

2011年東北地方太平洋沖地震による多賀城市周辺の地盤変状

Geotechnical deformation on Tagajyo city due to the 2011 Tohoku-Taiheiyouki Earthquake

山口 晶*、横瀬 裕貴**

Akira YAMAGUCHI, Hiroki YOKOSE,

奈良聡大**、下井田幸愛**、飛田 善雄***

Soudai NARA, Yukie SHIMOIDA and Yoshio TOBITA

Abstract

Serious earthquake damage occurred in the Tohoku district due to the 2011 Tohoku-chiho-Taiheiyouki earthquake. Damage in the Tagajyo city in which the Tohoku Gakuin University is located is investigated. Damaged sites and detailed are described in this report. According to the investigation, there were several geotechnical damage, which are Uplift of manhole, subsidence of load and surface asperity of load, but there were no serious.

Key words: Liquefaction, Tohoku -chiho-Taiheiyouki earthquake, Geotechnical damage

1. はじめに

平成23年3月11日14時45分頃、三陸沖を震源とするM9.0の地震が発生した。この地震は日本観測史上最大のものであり、死者・行方不明者が1万5000人以上という大きな被害をもたらした¹⁾。なお、犠牲者のほとんどが津波によるものである。

著者らの研究室(東北学院大学工学部環境建設工学科地盤工学研究室)では、4/15、4/17、5/11、5/30に本学工学部がある宮城県多賀城市周辺の地盤の地震被害を含む地盤変状の調査を行った。本報告は、多賀城市周辺の地盤変状の記録を目的とし、その調査結果を報告する。なお、津波による被害は対象外とした。

2. 調査報告

2.1 概要

本調査で見つかった多賀城市内の地盤変状地点は16地点であった。それらを被害状況から、液状化が原因と考えられるもの、液状

化以外が原因で盛土と橋梁接合部や河川埋設物の段差、これら二つ以外の地盤変状に分類した。表-1、表-2、表-3に調査地点を示す。また、図-1に宮城県多賀城市周辺部の地図と表-1~3中に示した地点の位置を示す。図中の番号は、表中の番号に一致している。なお、地図内の太線より南側(海側)は、津波に浸水した区域となっている²⁾。

なお、ここでは、マンホール周辺地盤の沈下と液状化によるマンホールの浮き上がり被害を区別して考えている。周辺の地盤が陥没したマンホールは見かけ上浮き上がった様に見える場合が多いが、マンホールが傾いていない、陥没していない地盤と高さの差がほとんどない等の状況が見られた場合には、周辺地盤の陥没と判断した。また、マンホールとともにマンホール周辺地盤も一緒に隆起したように見えているところも同様に周辺地盤の沈下と判断した。

2.2 調査地点詳細

表-1 液状化が原因と考えられる地点

No.	状況	調査日
①	マンホールの浮き上がり、歩道めくれ	4/15
②	歩道陥没	4/15
③	マンホールの浮き上がり	4/15
④	マンホール浮き上がり、歩道陥没	5/30
⑤	堤防の崩壊と決壊	3/13*1
⑥	マンホール周辺の陥没	4/18

*1 吉田望氏撮影の写真から検討

表-2 盛土と橋梁接合部や河川埋設物の段差

No.	状況	調査日
⑦	盛土と橋梁の接合部の段差	4/18
⑧	盛土と橋梁の接合部の段差と擁壁接合部のずれ	4/18
⑨	道路下河川埋設物による段差	4/18
⑩	盛土と橋梁の接合部の段差	4/18

表-3 液状化や段差以外の地盤変状

No.	状況	調査日
⑪	道路陥没	5/10
⑫	道路亀裂	4/15
⑬	マンホール周辺の陥没	4/15
⑭	歩道隣住宅擁壁の崩壊	4/18
⑮	道路亀裂	4/18
⑯	陥没、地割れ	4/18

*東北学院大学工学部環境建設工学科 准教授

**東北学院大学工学部環境建設工学科 H23年度4年

***東北学院大学工学部環境建設工学科 教授



図-1 宮城県多賀城市周辺部の地図と調査した被害概要と位置 (Google Map に加筆)



図-2 多賀城市桜木マンホール浮き上がり、歩道めくれ位置図 (Google Map に加筆)



写真-1 多賀城市桜木のマンホール浮き上がり



写真-2 多賀城市桜木の歩道めくれ

ここでは、前節で分類したものに従い、地盤変状を説明する。

(1) 液状化が原因と考えられる地点

①マンホールの浮き上がり、歩道めくれ

多賀城市桜木 1 丁目ガソリンスタンド付近でマンホール浮き上がり、歩道のめくれが見られた。位置を図-2 に、写真-1 および写真-2 に被害写真を示す。

写真-1 から、マンホール周辺の歩道のレンガが車道と接している部分で凹状にへこみ全体的にレンガの並びがゆがんだ状況になっている。また、マンホールと周辺地盤との差が 10cm 程度であり、マンホールに傾斜が見られた。これらの状況から、マンホールは液状化による浮き上がりの可能性が高い。ただし、ここは津波による浸水地区であり、噴砂等の痕跡はみつけられなかった。

図-3 に図-2 中に示したボーリング位置の柱状図 (N 値分布) を示す。地表面から地下 3m 程度まで N 値が非常に低い盛土地盤で

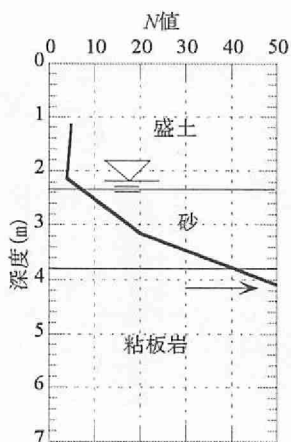


図-3 桜木付近の柱状図



写真-4 マンホール周辺の陥没

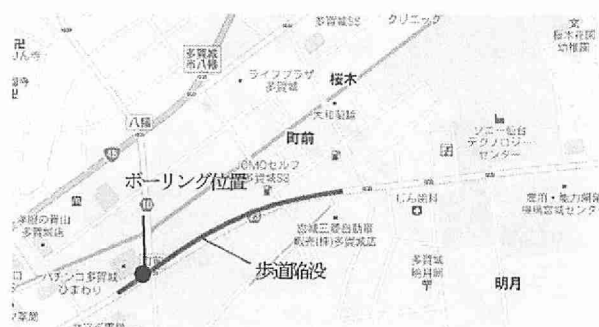
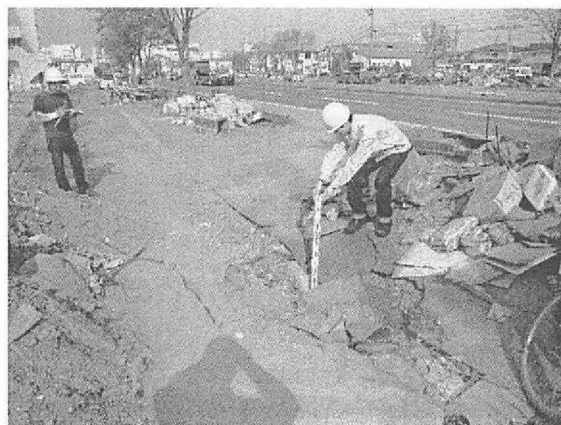
図-4 多賀城市町前歩道沈下周辺地図
(Google Map に加筆)

写真-5 歩道陥没

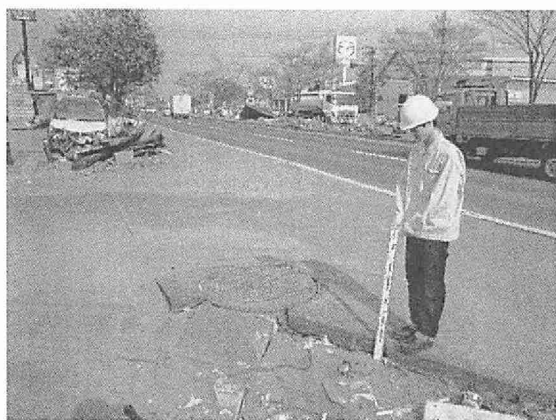


写真-3 マンホール周辺沈下

ある。また、地下水はGL-2.1mの位置である。地盤変状は周辺地盤全体ではなく、広さで数mの範囲内であるので、埋め戻し土を含めたGL-2~3m程度の地盤が液状化したと考えられる。また、GL-3.8mで粘板岩の硬い地盤になっていることから、マンホール下面に回り込むような砂がなかったため、浮き上がり量が抑えられたと考えられる。

写真-2では、歩道のレンガの一部が座屈したような状況で向かい合わせて盛り上がっている。盛り上がっている部分から左側の歩道では、建物の敷地と歩道の境界付近のレンガに数cm程度隙間が見られた。歩道部分が私有地との境界を境に道路側に全体的に変位したことが原因と思われる。写真-1のマンホールの位置から10m離れた位置である。これも液状化による可能性が高いが、大きな

変状がレンガのめくれあがりのみであるため、液状化としても限定的なものと考えられる。

なお、この地点は、3/11の地震の津波により最大1m、2日程度浸水しており、地盤に液状化等の痕跡等を見つけることはできなかった。

②歩道陥没

県道23号線(産業道路)の多賀城市町前のガソリンスタンドから仙台方面(南方面)に向かって約1kmにわたって、歩道が陥没している様子が見られた。図-4に位置図を、写真-3、写真-4、写真-5、写真-6にその様子の写真を示す。なお、この地域は津波が来ている地域であり、4/15の時点では、いたるところに瓦礫や自動車が散乱していたが、自動車の交通は復旧されていた。

写真-3では、マンホールの周辺地盤が沈下し、マンホールが突出していた。マンホールは周辺のアスファルトを巻き込んだ形で周辺地盤と段差が生じているものの、その差は15cm程度である。また、周辺は歩道が波うっており、地面が沈下したと判断した。

写真-4では、マンホールと歩道中心部が歩道縦断方向に10m程度に渡って、くの字に陥没していた。この歩道沿いにはマンホールが連続しており、管路沿いに陥没が発生したと思われる。

写真-5は、写真-4の管路沿いの歩道陥没箇所付近で、同じ様な形態の被害だが、この箇所は一部分が大きく陥没していた。陥没した深さは約50cm程度である。また、この写真の歩道縦断方向に向かって奥を見ると、道路が波うっていることが読取れる。

写真-6は、マンホール周辺が約30cm沈下している。津波の残骸が残っており、噴砂等は見られなかった。

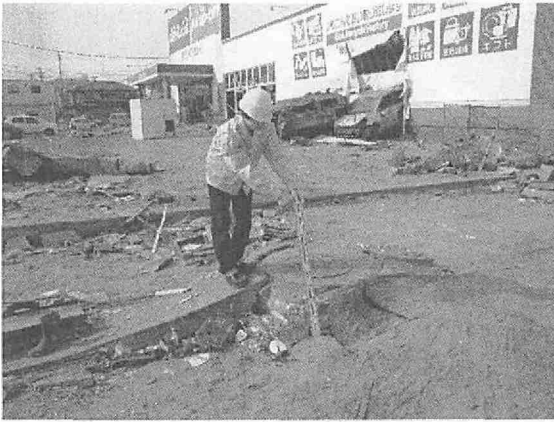


写真-6 マンホール周辺沈下

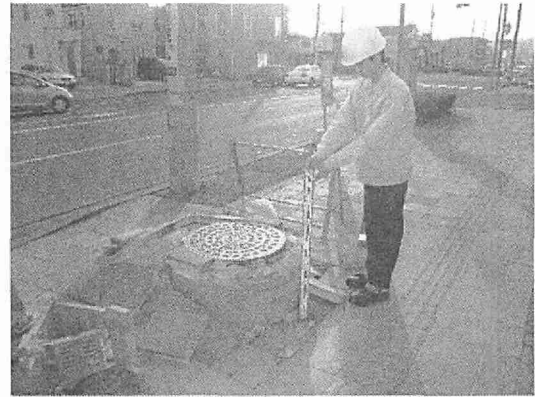


写真-7 岩切ファミリーマート前のマンホールの浮き上がり

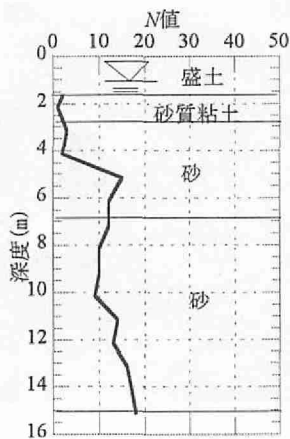


図-5 町前付近の柱状図



図-7 マンホールの浮き上がり、歩道の陥没位置図 (Google Map に加筆)



図-6 仙台市宮城野区岩切コープ付近のマンホール浮き上がり (Google Map に加筆)



写真-8 マンホール浮き上がり

図-4 中に示したボーリング地点の柱状図を図-5 に示す。この付近は、地下水位がGL-1.2m と浅い位置にあり、GL-5m 付近まで N 値が 10 以下の地盤が続いている。液状化しやすい地盤であることがわかる。ただし、管路にそって線状の陥没が見られることから、地下水位が高いことによる管路周辺の埋め戻し土を中心とした周辺自然地盤を含む液状化が発生したと考えられる。

③マンホールの浮き上がり

岩切コープ前から、仙台市宮城野区岩切洞ノロファミリーマート前の歩道約200mにあるマンホールで、浮き上がりが見られた。位置図を図-6 に示す。

写真-7は、岩切ファミリーマート前歩道のマンホール浮き上がり写真である。この歩道上では計6箇所のマンホールの浮き上がりを確認した。最もマンホールが浮き上がっていたものでは、50cm程度浮き上がっていた。ただし、マンホールの浮き上がりは、汚水

用マンホールのみで、近くにある雨水マンホールについては、全く浮き上がった様子が見られなかった。

なお、当地区は、5年程度前に住宅地と商業地として開発された場所で、周辺に水田が広がり地盤がもともと弱いところである。ただし、今回のマンホールの浮き上がりは汚水用マンホールのみが浮き上がっていることから、その原因は自然地盤に由来するものではなく、汚水用マンホール設置時の埋め戻し土の締め固め不十分が原因と考えられる。

④マンホール浮き上がり、歩道陥没

仙台市宮城野区高柳セブンイレブン付近で、マンホールの浮き上がり、歩道の陥没が見られた。図-7に位置図を示す。

写真-8は、マンホール浮き上がりの写真である。この付近では計5箇所のマンホールの浮き上がりを確認した。写真のマンホール



写真-9 歩道沈下写真



写真-11 堤防決壊部分写真 (吉田望氏撮影)

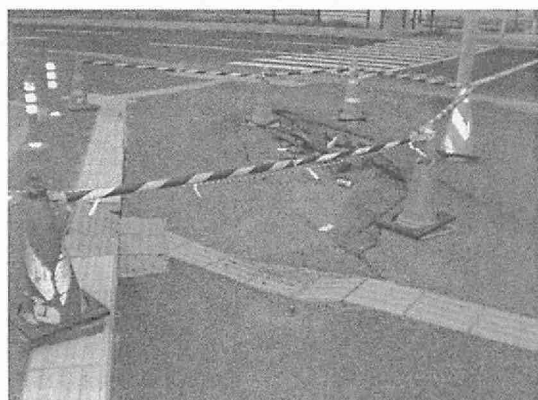


写真-10 歩道陥没写真



写真-12 堤防決壊部分写真 (吉田望氏撮影)



図-8 堤防の崩壊と決壊 (Google Map に加筆)

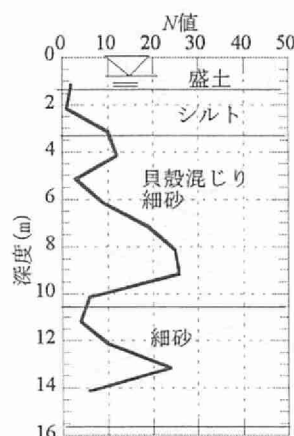


図-9 堤防崩壊地点付近の柱状図

は、約20cm浮き上がっていた。写真奥のマンホールに浮き上がりが見られないことから、地面の沈下ではなく、液状化による浮き上がりと考えられる。

写真-9および写真-10に歩道の陥没の写真を示す。写真-9の場所では、約10mに渡って、直線的に5cm程度沈下した。線状に被害が生じ、奥のマンホールが若干浮き上がっていることや、写真-10の状況から判断して液状化の可能性が高い。ただし、こも津波被害の範囲のため、液状化の痕跡等はみつけられなかった。

⑤堤防崩壊と決壊

図-8に砂押川堤防の決壊の位置図を示す。写真-11に地震から2日後の堤防の決壊部分の写真、写真-12にその対岸の写真を示す。写真にあるように、堤防に縦断亀裂が発生し、盛土地盤が崩壊している。この状況から液状化で崩壊した可能性が高いと判断した。

図-9に図-8中に示したボーリング地点の柱状図を示す。地下水位がGL-1.35mと浅く、GL-7m付近まで、N値が10以下の盛土、シルト、細砂が続いている。これらが液状化した可能性が高い。

⑥マンホール周辺の陥没

多賀城市立第二中学校付近泉塩釜線にマンホールの周辺地盤の沈下が見られた。図-10に位置図を示す。

写真-13に陥没写真を示す。この周辺では計3箇所のマンホールの突出を確認した。それぞれ約5cm道路から突き出している。周辺の道路が陥没して表面がひずんでいる様子が観察できる。図-11に図-10中に示したボーリング地点の柱状図を示す。地下水位がGL-1.95mと浅く、N値が10以下である中砂、粗砂、細砂が上から順に続いている。管路周辺地盤の陥没しかみられなかったために、埋め戻し土の液状化が原因と思われるが、自然地盤の地下水位



図-10 多賀城市立第二中学校付近マンホール周辺の沈下の位置図(Google Map に加筆)



写真-13 マンホール周辺の陥没

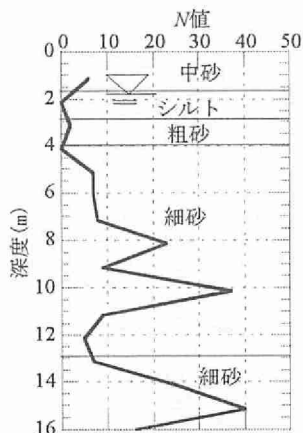


図-11 第二中学校地点付近の柱状図

の高さと弱い砂質土層が影響を与えた可能性もある。

(2) 盛土と橋梁接合部や河川埋設物の段差

⑦盛土と橋梁の接合部の段差

樋の口大橋の盛土と橋梁の接合部分の左右車線と歩道で段差が生じていた。図-12に位置を、写真-14に段差の写真を示す。

この橋は、三陸自動車道を跨る形で建設されており、盛土から橋梁にかけて大きく上方向に弧を描く橋梁となっている。地震により橋梁に接合されている傾斜した盛土部分の両側が沈下したことが原因であると考えられる。

⑧盛土と橋梁の接合部の段差と擁壁接合部のずれ

多賀城市高崎の跨線橋で、東北本線の国府多賀城駅から塩釜駅方面に向かって約500m程度進んだところにある片側1斜線の道路橋の盛土と橋梁の接合部に段差が見られた。図-13に位置図を示す。

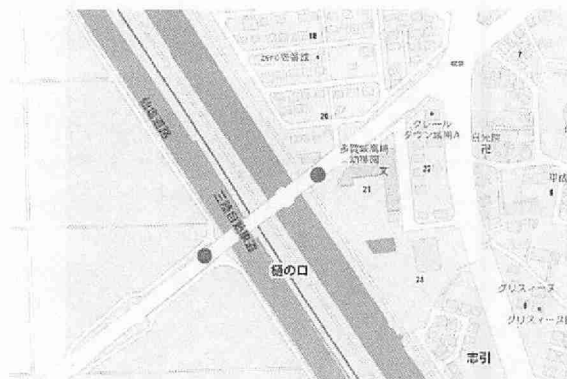


図-12 樋の口大橋段差位置図 (Google Map に加筆)

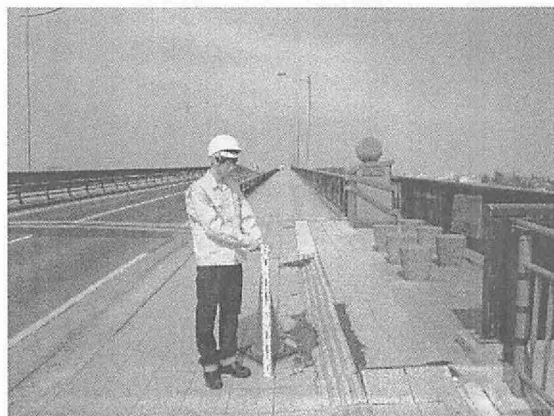


写真-14 盛土と橋梁の接合部の段差

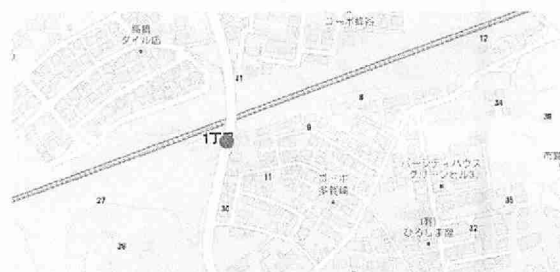


図-13 高崎跨線橋周辺地図 (Google Map に加筆)



写真-15 盛土と橋梁の接合部の段差

写真-15は、接合部の段差の写真である。橋の接合部に盛土と橋梁に20cm程度の段差が生じ、歩道の視覚障害者誘導ブロックの所が沈下した。また、付近の歩道に面した民家の敷地の擁壁に写真

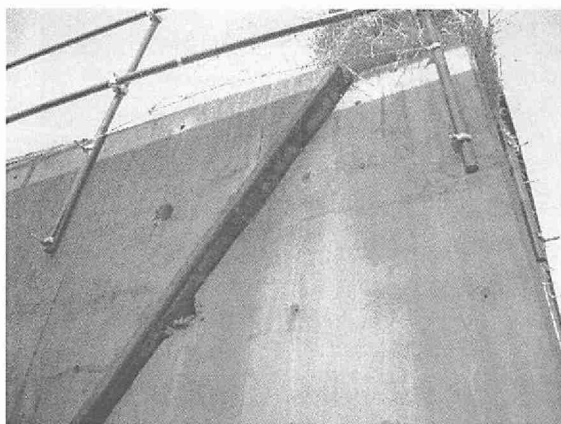


写真-16 擁壁接合部のずれ

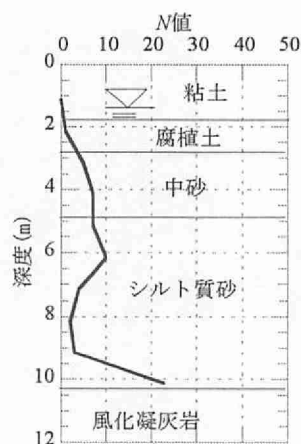


図-15 南宮付近の柱状図



図-14 道路下河川埋設物による段差 (Google Map に加筆)

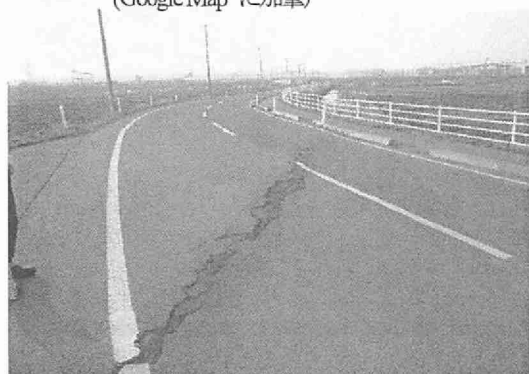


写真-17 多賀城市南宮河川埋設物による段差

図-16に示すような最大20cmのずれが発生していた。

⑨道路下河川埋設物による段差

多賀城市南宮原谷橋近くに道路下のある河川埋設物と同じ形で道路が盛り上がっているところが見られた。図-14 に位置図を示す。

写真-17 は、多賀城市南宮の河川埋設物周辺の地面の沈下により発生した段差の写真である。写真奥に見られる農業用水路に沿って直線状に道路に段差を生じさせている。周辺は水田であり、地盤が弱いので、道路を含む周辺地盤が沈下し、道路直下の水路のボックス部分のみ沈下しなかったため、その部分だけが突出し、道路を横断するようにひび割れが生じている。他の地点もこれと同様の被



図-16 JR 陸前山王駅跨線橋の段差位置図 (Google Map に加筆)

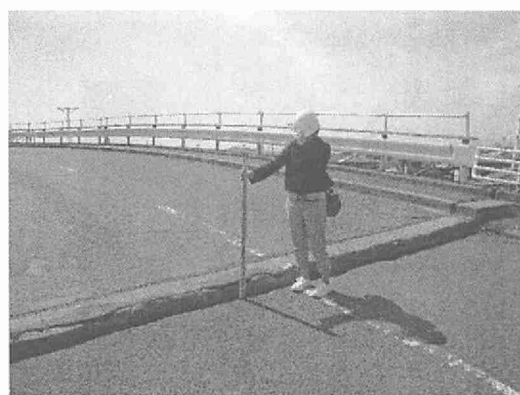


写真-18 接合部の段差

害であった。

図-15 に図-14 中に示したボーリング位置の柱状図を示す。なお、液状化地点と約 1km 弱程度離れているが、付近は水田が広がっている概ね様な地形であり、地下水位や地盤状況に大きな差はないと考えている。図のように地下水位が GL-1.7m と高く、また地表面近くが粘土層と腐植土層になっている。周辺に噴砂が見られなかったことから液状化ではないと考え、地表面から GL-3.0 m 付近までの粘土層と腐植土層のゆすりこみ沈下か地下水位の圧密と考えられる。

⑩盛土と橋梁の接合部の段差

多賀城市山王 JR 陸前山王駅に片側 1 斜線の道路橋の盛土と橋梁の接合部に段差が見られた。この橋は、陸前山王駅を跨る形でかかるカーブした跨線橋であり、長さが約 200m 程度である。図-16 に位置図を示す。

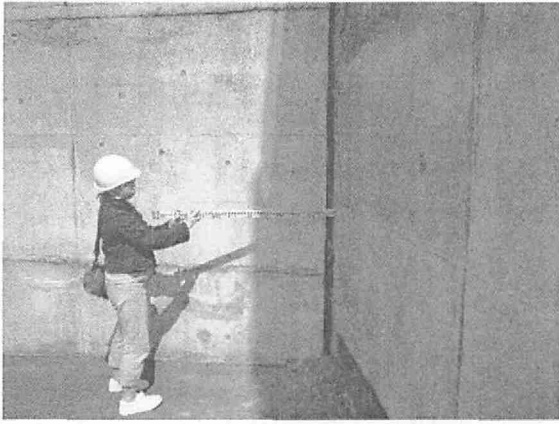


写真-19 跨線橋下擁壁のずれ

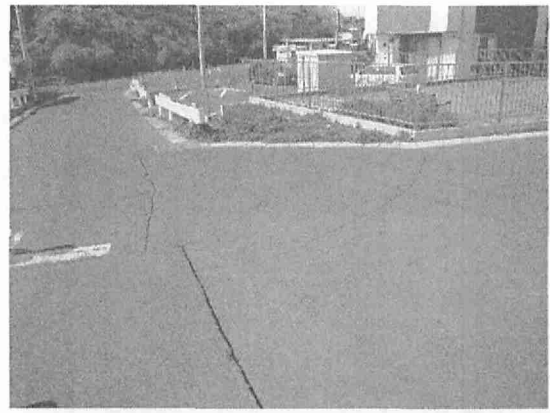


写真-21 道路の亀裂

図-17 塩釜市南錦町道路陥没、道路亀裂位置図
(Google Mapに加筆)図-18 多賀城市高崎マンホール浮き上がり地点
周辺地図 (Google Mapに加筆)

写真-20 道路陥没

写真-18にこの橋の接合部に約20cmの段差が生じた部分の写真を示す。この橋は、1995年兵庫県南部地震以前に造られたもので、兵庫県南部地震後に落橋防止装置が設置された。近隣の住民によると、3/11以降、余震の度に橋からきしむような騒音が聞こえるようになった、ということである。

写真-19に跨線橋の盛土部分の擁壁に発生した隙間を示す。写真のように約10cm程度擁壁の継ぎ目に隙間が生じている。



写真-22 マンホール浮き上がり

(3) 液状化や段差以外の地盤変状

①道路陥没

塩釜市南錦町ヨークベニマル付近で道路の陥没が発生した。位置図を図-17に示す。

写真-20に道路の陥没を示す。約25mに渡って、汚水のマンホールからマンホールに沿って道路が沈下した。汚水管を埋める際、埋め戻す土の締め固めが不十分だったために陥没したと考えられる。液状化の可能性もあるが、マンホールに浮き上がりがみられないことや噴砂の痕跡が見当たらないことから液状化ではないと判断した。

②道路亀裂

これは、①と同じ場所で位置を図-17に示した。写真-21



図-19 歩道横壁の崩壊 (Google Map に加筆)

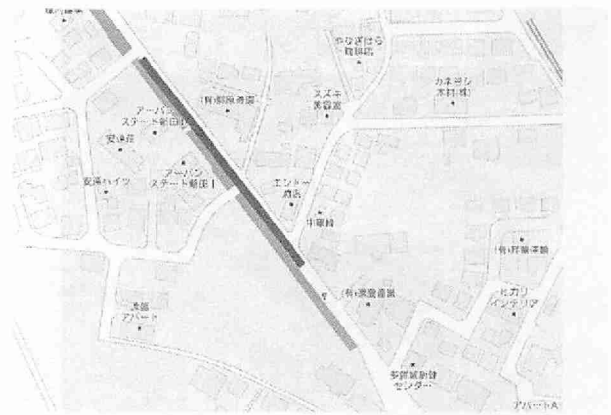


図-20 多賀城市新田周辺道路亀裂の位置図 (Google Map に加筆)

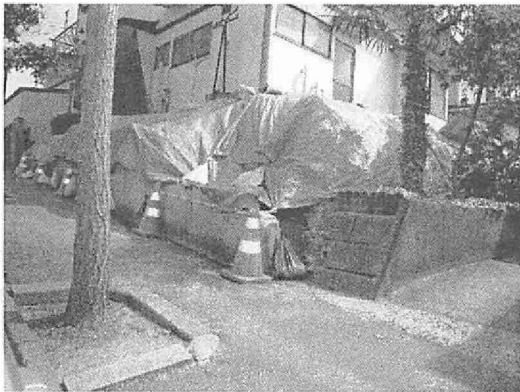


写真-23 歩道脇住宅擁壁の崩壊



写真-24 多賀城市新田の道路亀裂部分

に塩釜市南錦町道路亀裂の写真を示す。この写真は手前から奥に向かって下りの傾斜となっている。この道路亀裂箇所付近に野田の玉川が流れており、比較的軟弱な地盤であると思われる。この箇所の道路亀裂は他の場所とは異なり、弧を描くように亀裂が入っており、谷埋め盛土となって、地盤が弱かった可能性がある。ただし、亀裂の幅は数 cm 程度で、大きな変状とはなっていない。

⑬マンホール周辺の陥没

多賀城市高崎 3 丁目セブンイレブン周辺のマンホール周辺地盤の陥没が発生した。図-18 にその位置を、写真-22 に被害状況写真を示す。

この地点では周辺地盤より、約 10cm マンホールが高くなっていた。ただし、目視で陥没していないところと比較したところ、マンホールの高さは同程度であったことから、マンホール周辺の陥没と判断した。なお、著者の一人の目撃によると、3/11 の地震の際に陥没が発生し補修したところ、4/7 の余震で更に陥没が発生したとのことであった。

⑭歩道脇住宅擁壁の崩壊

図-19 に歩道横の擁壁が崩壊した地点の位置図を示す。写真-23 に写真を示す。歩道横の擁壁が崩壊し、民家に被害が発生している。

⑮道路亀裂

多賀城市新田の水路脇の亀裂が見られた。図-20 に被害箇所の位置図を、写真-24 に亀裂の写真を示す。

道路の中央部に、水路に沿って約 100m にわたって幅 5cm、高さ 10cm 程度のずれが生じていた。上下方向のずれは、水路側が低くなっている。写真では、この道路の右側方向に道路に沿って川が流れており、道路の川側半分が川側に変位し、舗装工事の境界となる



図-21 多賀城市役所前公園周辺地図(Google Map に加筆)

道路中央部分にひび割れが生じたと考えられる。ただし、自動車等の交通には大きな支障とはなっていなかった。また、川側の擁壁に目立った変位は見つからなかった。

⑯陥没、地割れ

多賀城駅と多賀城市役所を結ぶ道路をはさんで、市役所向の川側にあたる公園で地面の陥没と地割れが見られた。図-21 に位置図を、写真-25 に陥没の写真を、写真-26 に亀裂の写真を示す。

写真-25に見られるように、この公園で直径約 8m の範囲内に計 4 箇所の陥没が集中して発生していることを確認した。一番深いところで約 50cm の深さがあった。もともとあった空洞に陥没したように見えた。また、陥没を上から観察したところ、管路等も見られなかった。土の噴出や盛り上がりも見られず、陥没を形成した土の移動先も見つからなかったため、何らかの理由でもともと形成されて



写真-25 多賀城市役所前公園の陥没



写真-26 多賀城市役所前公園地割れ

いた空洞に陥没したと思われる。また、公園内のこの区域以外にはこのような陥没はみられなかった。

写真-26には同公園で確認された地割れを示す。公園内で、計3本の地割れを確認した。地割れの長さはすべてほぼ等しく約2mであった。なお、この公園は、周辺数10mにわたってほぼ傾斜のない水平地盤であり、傾斜により地盤の変位が生じたとも考えにくい。周辺地盤からは噴砂等の痕跡と見られるものは分からなかった。

なお、この公園は、以前は米軍の宿舎で、その後東北学院大学工学部の敷地となり、現在公園として利用されている。土地の使用状況と陥没発生範囲が限定されていることから考えて、なんらかの施設や設備が地下に埋設されており、その破損によって陥没した可能性がある。

3. まとめ

今回の調査では、大きく分けて5種類の地震による被害状況を確認した。マンホール浮き上がり、マンホール周辺地盤の沈下、管路による道路の陥没、水路のボックス直上道路の段差、橋梁と盛土の接合部の段差である。

いくつかの場所で汚水用マンホールの浮き上がりが生じているが、個数は数個で限定的であり、近くの雨水用マンホールが浮き上がっていなかったりするなど、限定的である。これは、埋め戻し土とその周辺の限られた範囲の液状化によるものと考えられる。

マンホール周辺地盤の沈下とは、周辺地盤の沈下によりマンホールのみ突出したものである。これも周辺地盤の埋設管路等建設時の

埋め戻し土の影響、あるいは、地震動による揺すり込み沈下のためと思われる。

水路のボックス直上道路の段差は、地震動による揺すり込み沈下が原因と考えられるが、場所によっては粘土地盤の地震による圧密沈下の可能性もある³⁾。揺すり込み沈下は、地震直後に発生するが、圧密沈下は地震後しばらくしてから顕在化する。また、段差によって自動車等の通行により振動が発生して締め固まり、更に段差が大きくなる可能性もある。土質によっては、長期的な視点で被害を観察していく必要があると思われる。道路の段差は、地震直後の避難や援助物資の運搬等にも関係することから、段差の発生は極力抑えた方が望ましい。

また、管路に沿った道路の陥没も発生している。これは、管路埋設の埋め戻し時に締め固めを十分行うことで発生を抑えられると思われる。

橋梁と盛土接合部の段差被害については、盛土の揺すり込み沈下や側方への変形と沈下、橋梁と橋脚や盛土が地震動によって異なるゆれ方をして接触しそれぞれが変形したためと思われる。ただし、落橋は観測されていないことから、致命的な事故には至らなかったと思われる。ただし、橋梁は地震直後の避難や支援物資の運搬に直接影響しており、その重要性は言うまでもない。橋梁と盛土の段差についても、車両が通行できるような段差内に抑えることが必要である。

謝辞

本報告における多賀城市の地盤データは、多賀城市建设部都市計画課から提供いただいた。ここに感意を表します。また、本報告をまとめるにあたり、アドバイスと写真の提供をいただいた東北学院大学吉田望教授に感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 警察庁緊急災害警備本部 広報資料 平成23年12月19日、
<http://www.npa.go.jp/archive/keibi/biki/index.htm>, 2011.
- 2) 多賀城市ホームページ、津波により浸水が確認できた道路、
http://www.city.tagajo.miyagi.jp/saigai/sa-hisaizyouhou_sinsui.pdf, 2011.
- 3) A. Yamaguchi, Y. Tobita and N. Yoshida, Volumetric change of soft clay after an earthquake proc. 4th Japan-Taiwan Joint Workshop on Geotechnical Hazards from Large Earthquakes and Heavy Rainfalls, pp.369-374, 2010.