

東北地方太平洋沖地震における水戸市周辺の地盤災害

Geotechnical damage features in Mito during the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake

安原 一哉 (やすはら かずや)
茨城大学 ICAS

村上 哲 (むらかみ さとし)
茨城大学工学部

増田 圭吾 (ますだ けいご)
(株) 不動テトラ

園部 武正 (そのべ たけまさ)
(財) 茨城県建設技術管理センター

齋藤 修 (さいとう おさむ)
福山コンサルタンツ(株)

1. はじめに

2011年3月11日東北太平洋沖地震における水戸市の災害は人的被害(死者2名など)や家屋の災害(全壊家屋110件など)¹⁾で東北地方のそれに比べると軽微であるが、茨城県の各自治体同様に、水戸市としてはかつてないほどの被害の大きさになっている。本報告では2日間にわたって行った調査の一部を地盤工学的な立場から考察した結果を報告する。

2. 調査の概要

調査は2011年5月6日と9日に行われた。6日は、沼川沿岸堤防と北関東・常磐自動車道を中心に、また、9日は、水戸駅南付近、那珂川堤防及び偕楽園を中心に調査を行った。以下はその結果の概要である。

3. 調査結果と考察

3.1 建物構造物の被害

水戸駅南の建物構造物は倒壊したものはほとんど見られないが、水戸市役所などにみられるように、建物全体が傾斜したり、玄関などの損傷(図1)によって建物の機能が失われているものが見られた。

水戸駅南地域は、下沼と呼ばれた旧千波湖の一部であり、大正10年より昭和7年の間に行われた千波湖改修事業によって干拓され、水田(湿田)として利用された



(a) 建物の傾斜



(b) 玄関の損傷

図1 水戸市役所周辺施設の損傷

後、那珂市北部の洪積層の砂を用いて埋め立てた地盤である²⁾。図2は2万5千分の1旧版地形図(大正4年)から判読した水戸駅周辺の水域を空中写真上にオーバーレイしたものである。

図3は、水戸駅南の土質柱状図とN値の分布を示している。この図より上部埋土は埋め立て時に用いた砂質土が主体的と考えられ、またN値が5以下と比較的低い値である。その下の有機質粘性土は湿田時代の土質だと思われる。それより下層の中砂は比較的締まっているが、深度14m以深から支持層となる38mまでは軟弱な土質で構成されている。この軟弱層の沈下により、今回の震災以前においても建物周りの沈下が生じていた地域でも



図2 旧版地形図から判読した水戸駅周辺の旧水域

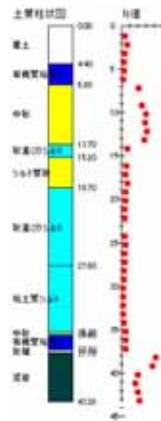


図3 水戸駅南における土質柱状図とN値の分布

ある。今回の地震によりさらに建物の抜け上りが顕著になった。

建物の抜け上がりの要因としては、地震動による地下水水位より上の土層の締め固め沈下、地下水水位以下の液状化による沈下、粘性土層の地震による沈下、そして、建設時において掘削した地盤の埋戻し材が締め固め沈下が考えられ、これらのいくつかが重なって、水戸駅南における建物周りの沈下が生じたと考えられる。ただし、図3に示したように埋立砂の層厚は薄く、地下水水位以下は1~2m程度である。すなわち、埋め立てた砂の液状化以外に1978年宮城県沖地震による仙台市苦竹地区の沈下³⁾や1957年メキシコ地震による建造物の沈下⁴⁾同様、軟弱粘性土層の沈下も考えられることから、今後の長期的な沈下現象も予想され、継続的な観測が必要であると思われる。

3.2 土建造物の被害

1)河川堤防の被災と復旧

茨城県によると、県内の被災のうち、復旧が最も急がれているのは、鹿行大橋と涸沼川堤防とのことだったので、涸沼川堤防を中心に調査を行った。

涸沼は、那珂川水系の湖沼であり涸沼川の一部を成している。涸沼流域は、昭和になって干拓が始まり、現在は水田として利用されている。涸沼堤防の地震被害は、主に戦後埋め立てられた干拓地で起きており、埋土地盤上に造られた堤防や護岸ブロックの被害が大きい。また、被害は図4に示すように、涸沼川の両側にわたっている。被災状況が最も顕著な涸沼左岸の下流側にあたる下石崎地区では、調査時期(2011年5月6日)には国の直轄区間において既に被災堤防の一部が応急復旧されており、堤防の盛換え、シート張り及び一部大型土嚢による安定対策がなされていた。大型土嚢は、ブロック積み擁壁の崩壊部分を養生したものである。なお、川表側はジオシンセティックスツッキコンクリートブロックで覆われ盛土の養生がなされていた(図5)。

一方、県管理区間については応急復旧されておらず、堤防天端が全体的に崩壊し、護岸ブロックは川側に押し出されるようにして滑っているため側方流動を起したのかもしれない(図6)。被災堤防の周辺では、明確な噴砂

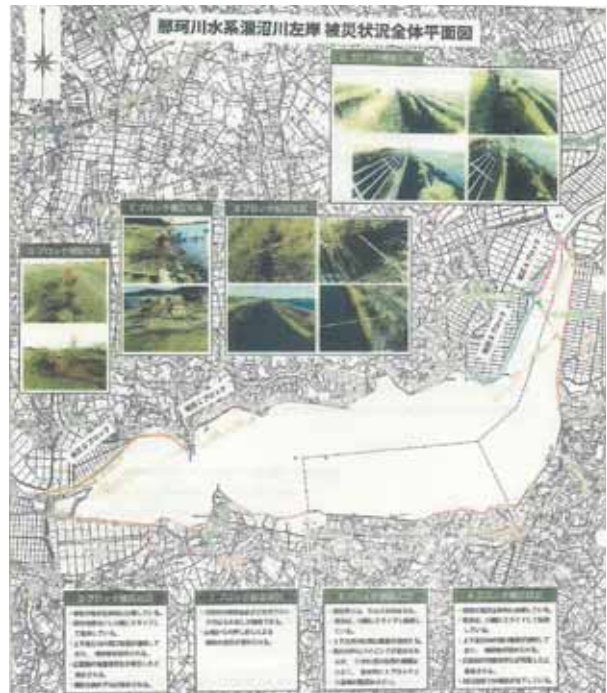


図4 涸沼川の被災概要(茨城県庁 2011.4.22)⁵⁾



図5 堤防の被災と応急復旧状況 (ブルーシート+土のうで応急復旧)



図6 堤防の被災状況(応急復旧措置なし、遠くに応急復旧箇所尾が見える)

跡を確認することはできなかったが、部分的に砂溜りが見受けられた。被災直後の調査資料（図4 茨城県河川課所有）によると、被災した堤防箇所では噴砂跡が確認されたようであるから、この砂溜りが噴砂跡であったように思われる。

上記のように、涸沼川堤防の被災は一部で墳砂らしい跡が見受けられるものの、基礎地盤が必ずしもすべて砂地盤ではなく、N値ゼロの厚いシルト層が堆積している箇所もあることから判断して、基礎地盤の繰り返し破壊なのか、盛土のみの崩壊なのかは現状では判断が難しく、被災原因の解明については詳細な調査が必要と考えられる。したがって、復旧にあたってはこれらの結果に基づいた判断によって対策を講じる必要がある。

2) 道路盛土の被災と復旧

高速自動車道の一つである常磐自動車道那珂インター近傍で地震直後に崩壊があったにもかかわらず数日で修復が行われたことが海外のメディアにて驚きを以って報道された⁶⁾。そこでその経緯とその後の状況を把握するために東日本高速道路関東支社に便宜を図って戴き、現地調査をさせて戴いた。



(a) 地震発生直後（3月11日16：30頃）



(b) 応急復旧後（3月17日17：00頃）

図7 高速道路盛土の崩壊と復旧

図7は該当地区の地震直後の道路盛土の崩壊状況とその後の応急復旧状況を示している。

崩壊箇所は上り車線の92.5キロポスト付近の盛土区間で発生しており、3/11の本震により走行車線が幅約

40m、延長約130mに渡って崩落した。路面の陥没は延長110mに渡り、段差は走行車線部で1.5m、路肩部で2～2.5mに及んだ。



(c) 応急復旧後（土嚢による法面補強 5月9日16:00頃）

図7 高速道路盛土の崩壊と応急復旧状況

崩壊した盛土は、被災していない近隣の盛土と同様に関東ロームが用いられているが、被災箇所の盛土材は非常に含水比が高い状態であった。これは、何らかの原因（地形的要因や路面からの排水が滞留する等）により盛土内に地下水が浸透し、含水比の高い軟弱な状態になっていた可能性が考えられる。なお、基礎地盤については、液状化や変状等の顕著な異常は認められなかった。

応急復旧は、盛土内の崩壊部や脆弱部を全て除去し、排水性の良い礫材で盛土し、シート養生を行った。また、法尻部は大型土嚢で押さえた(図7(c)参照)。本震発生後に直ぐに調査・検討を行い、昼夜兼行の作業により3/13からわずか3日間で応急復旧を完了させ開通させたとのことであった。

3) 道路切土斜面⁶⁾

北関東自動車道平須地区は、平成16年9月から10月の集中豪雨や台風によってパイピングが起り、法面が変状や崩壊した履歴を持つ(図8参照)⁶⁷⁾が、その後かご枠工等の補強対策が行われたため、今回のような大きな地震力を受けても斜面の安定が十分に保たれていたものと考えられる。当該工法が降雨のみでなく地震にも強い



(a)パイピングによって崩壊した切土斜面



(b)修復された切り土斜面

図8 降雨後と修復後の切土斜面の様子

補強土として実証されたことになる。

3.3 文化施設の被害

今回の地震によって茨城県の貴重な文化施設もダメージを受けた。たとえば、鹿島神宮の鳥居の損傷、岡倉天心由来の六角堂の崩壊などはその典型的な事例である。とりわけ後者は茨城大学所有の貴重な資産であったため、大学関係者に与えた衝撃は決して小さくない。

ここでは水戸周辺の2つの施設の被災状況を紹介する。

1)水戸東照宮

そのうち、水戸東照宮は江戸幕府によって建立された全国で500社(明治維新以後現存するのは130社)を超える東照宮のうちの一つである。この東照宮は盛土の上に建立されたようで、図9に示すように、西側盛土部分が大きく損傷してこのままではこの建物を使用するのは危険な状況であると判断される。



図9 水戸東照宮建立盛土斜面の崩落の状況

加えて、東照宮より西側約100mにわたっては地盤とともに家屋や建物の擁壁などの構造物にも損傷が著しいことから、地震動に対して脆弱な地形・地質であると推定される。

2)偕楽園

我が国の三大庭園の一つである偕楽園は梅の名所としてつとに有名であるが、この庭園の象徴でもある好文亭が立ち入り禁止になるような損傷を受けたが、好文亭と斜面端部の被災部分を除いて震災後庭内は一般開放されている。庭内の斜面も図10のようにわずかに、亀裂が入った程度で大きく崩壊するに至っていない。ただ、この偕楽園は貴重な観光資源でもあるため、通常の斜面復旧工法に工夫を施して景観を維持できるような方法をとる必要がある。県ではこのことを考慮した補強土工法を検討中のようなのである。



図10 偕楽園盛土斜面の損傷状況

一方、偕楽園南側斜面崖下の低地部は、もとの湿地を埋め立てた部分であり、地盤全面にわたって液状化後の広域的な地盤沈下とみられる現象のために、図11に見られるような構造物との間に段差が随所で生じており、担当者が苦慮しているものと想像される。



図11 偕楽園における地震後の地盤沈下

4. 調査と復旧・復興

震災後約2ヶ月後の調査ということもあって発災当初ほどの極度の緊張感もなく、行政の方々も丁寧に対応いただいたため、効率的な調査を実施することが出来た。とはいえ、まだ復旧も仮復旧の段階であり、本格的な復旧と復興にはいまだ道遠し、という状況である。

行政における復旧にはいくつかのレベルがあって、県などの地方自治体では、仮復旧と本復旧があって、仮復旧は本復旧を念頭に入れたものに対して本復旧は将来にわたってこれ以上手を加えることのない対策工を指している。一方、高速自動車道においては、やや細かく、緊急復旧、応急復旧、本復旧に分けて考えているとのことであった。今回の調査にあたっては、復旧・復興に貢献するためには何が出来るのか、を念頭に置いたつもりであるが、その機会は十分には与えられなかった。貢献はこれからであろう。

5. まとめ

2日間にわたる調査結果に基づいて若干の調整を行って報告した。全体的な地盤災害の特徴は、県内の他の地域と同様に、

- 1) 液状化に関わる被害が顕著であること
- 2) 人工地盤に関わる被害が顕著であること
- 3) このことと併せて盛土など人工的な土構造物も被災が著しいこと
- 4) これらを総合して、今回の地震は建物よりは地盤や土構造物に激しい影響を与えているようであることなどが挙げられる。

次に、復旧や復興に生かされるべき教訓を含めて調査結果を要約すると以下のとおりである。

- 1) 水戸駅南地域における千波湖周辺の埋立地盤は、元来、地盤沈下を生じていた地域であるが、今回の地震によりさらに沈下が生じた。沈下の要因は、埋立地盤材料である砂の液状化、および、その下層の軟弱な粘性土層の沈下による可能性がある。軟弱地盤の沈下は地震後も長期的に生じる恐れがあるため、継続的なモニタリングにより確認する必要がある。
- 2) 涸沼流域における堤防被害は、主に干拓地で起きており、埋立地盤の液状化により堤防が崩壊した部分もあると考えられる。しかし、堤防の基礎地盤が必ずしもすべて砂地盤ではなく、N値ゼロの厚いシルト層が堆積している箇所もあると考えれば、堤防の被災パターンの違いと埋土の物性や堆積厚さ等の地盤情報とを関連付けて調査する必要がある。復旧にあたってはこれらの結果に基づいた判断によって対策を講じることが望まれる。
- 3) 今回の地震では茨城県の貴重な文化施設もダメージを受けたが、このような資産を地盤災害から守り保全していくためには、地盤工学的な立場から積極的に係わっていく必要がある。文化施設の復旧にあたっては、貴重な観光資源でもあることに配慮し、景観を維持しながら地盤を補強する等の方策を提言していく必要がある。
- 4) 学術的な立場から復旧に貢献しようとするとき、行政の復旧に関する考え方、
 - i) 復旧には応急復旧と本復旧があること
 - ii) 復旧は原状に戻すことが原則であること

を十分に考慮しておく必要がある。

謝辞：涸沼川簿調査にあたっては茨城県河川課各位に資料提供などのご協力を頂いた。東関東自動車道&常磐自動車道調査（5月6日）においては東日本高速道路株式会社 関東支社水戸管理事務所 石崎副所長、改良担当石田課長および佐々木課長に、偕楽園調査にあたっては茨城県偕楽園公園センター秋山センター長（5月9日）にそれぞれご案内いただいた。水戸市被災の概要については、茨城県水戸土木事務所宇野所長にお話を伺ったうえ、水戸市における河川と道路の被害状況に関する資料（CD）を戴いた。また、茨城大学大学院理工学研究科博士前期課程2年、安島史征君と千葉宣朗君には、水戸駅南と偕楽園の調査に協力戴いた。ともに付記して深甚の謝意を表する次第です。

参 考 文 献

- 1) 水戸市ホームページ：URL, 2011.5.
- 2) 経済企画庁：土地分類基本調査、地形・表層地質・土じょう水戸 5万分の1、1968.
- 3) 鈴木：動的応力履歴を受けた飽和粘性土地盤の沈下挙動、応用地質、第25巻、第3号、pp.21-31、1984.
- 4) Zeevaet, L.: Foundation engineering for difficult subsoil conditions, 2nd ed., Van Nostrand Co LTD, p.523, 1983.
- 5) 東日本高速道路ホームページ：東北地方太平洋沖地震による高速道路の被害状況について、URL, 2011.3.24.
- 6) 中山：北関東自動車道 切土のり面対策の取り組みについて、NEXCO技術情報、第11号、pp.11-18、2010.

(原稿受理 2011.5.xx)