

茨城県北部地域における地震地盤災害
(本文52～55ページ参照)



口絵写真一25 大津漁港の被災状況



口絵写真一28 津波による裏込め地盤材料の消失



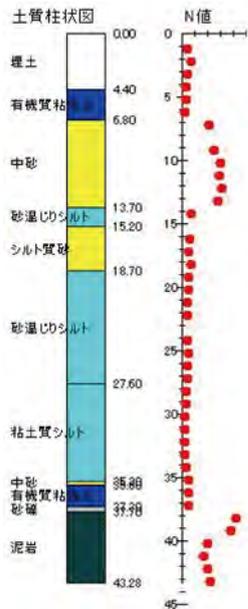
口絵写真一26 那珂湊漁港の被災状況



口絵写真一27 大洗港区における岸壁裏込め地盤の沈下



口絵写真一29 旧版地形図から判読した水戸駅周辺の旧水域



口絵写真—30 水戸市駅南の土質柱状図



口絵写真—33 空中写真(2011年3月29日)から確認した液状化の帯



口絵写真—31 護岸の変位(大洗町)



口絵写真—34 河川堤防の変状



口絵写真—32 護岸の変位



口絵写真—35 大甕海岸における崖の崩壊



口絵写真一36 山間部における斜面崩壊



口絵写真一38 道路盛土基礎地盤から噴き出した噴砂



口絵写真一37 道路盛土の沈下・変状



口絵写真一39 鉄道盛土崩壊
(スケールは目視とGoogle Earthによる距離測量により判読)



口絵写真一40 鉄道盛土の崩壊

茨城県北部地域における地震地盤災害

Earthquake Geo-disasters in Northern Part of Ibaraki, Japan

村上 哲 (むらかみ さとし)

茨城大学工学部 准教授

小峯 秀雄 (こみね ひでお)

茨城大学工学部 教授

安原 一哉 (やすはら かずや)

茨城大学 名誉教授

1. はじめに

2011年(平成23年)東北地方太平洋沖地震およびその後の余震による茨城県における地盤災害について調査を行った。調査日は、地震後2011年3月13日以降、十数回にわたって断続的に行った。2011年東北地方太平洋沖地震による調査地域の各地の震度を表一1に示す。本文で報告する被災事例は、茨城県北部地域の沿岸部であり、北茨城市、高萩市、日立市、東海村、ひたちなか市、水戸市、大洗町である。しかし、今回の被災地域全域をくまなく回れたわけではなく、本調査報告以外にも地盤災害は生じている。ここで報告したものは、筆者らが実際に調査した結果に基づいて報告するものである。

なお、調査目的は、主として、二次災害を防止する目的で実施し、危険と思われる箇所については、各自自治体に報告するというスタンスで実施した。

2. 太平洋沿岸における港湾・海岸構造物の被害

茨城県の海面の港は、地震と津波による被害を受けた。本調査で行った海面の港は、表一2に示した10の港湾である。ただし、復旧工事のため立ち入りできなかった部分もある。表一1には、東京大学地震研究所および港湾空港技術研究所による津波高さの記録も示している。津波高さは、本震震源に近い北部の港が比較的高くなっているが、多くの港で4m以上の津波が来襲し、港湾のみならず、その周辺や海岸地域も津波の被害を受けたことが容易に想像できる。また、多くの港で、引き波時に港の海底が見えたという証言があることから、港湾構造物としては、地震による慣性力、地震による地盤の液状化など土圧の変化、津波による押し波による波力、だけでなく、引き波時港に海水が無くなったときの構造物+地盤の浮力の消失、および、津波がもたらす流れによる掃流力など、多様な外力が作用したことが考えられる。

大洗町災害対策本部によると、大洗の津波第1波は11日午後3時15分。津波の高さは1m80cm。地震発生から約30分後、余震と思われる茨城県沖の地震(水戸市で震度4を観測)と同時刻である。最大の津波は第3波であり同日午後4時52分、津波の高さは4m20cmだった。このように、数回の津波来襲の中で、余震も起

表一1 2011年(平成23年)東北地方太平洋沖地震における茨城県内各地の震度(震度5強以上)

震度	市町村名
6強	日立市 笠間市 筑西市 鉾田市
6弱	水戸市 常陸太田市 高萩市 北茨城市 ひたちなか市 茨城町 東海村 常陸大宮市 城里町 小美玉市 土浦市 石岡市 取手市 つくば市 茨城鹿嶋市 潮来市 坂東市 稲敷市 かすみがうら市 行方市 桜川市 つくばみらい市
5強	大洗町 大子町 茨城古河市 結城市 龍ヶ崎市 下妻市 牛久市 阿見町 八千代町 境町 守谷市 常総市

表一2 茨城県の港湾と津波痕跡高さ

名称	区分	津波高さ(m)
平潟漁港	第3種漁港	6.6~8.2m
大津漁港	第3種漁港	4.6m
川尻港	地方港湾	4.4m
会瀬漁港	第1種漁港	5.3m
河原子港	地方港湾	4.3m
久慈漁港	第3種漁港	4.3m
茨城港日立港区	重要港湾	4.2m
平磯漁港	第2種漁港	4.4m
那珂湊漁港	第3種漁港	3.8m
茨城硬大洗港区	重要港湾	4.5m

(データは東京大学地震研究所、港湾空港技術研究所による)

こっている状況での被災である。

各港湾の被害を見てみると、口絵写真一25、26に示すように大津漁港、那珂湊漁港では、岸壁が一部消失してしまうなど、甚大な被害を受けた。また、久慈漁港では、岸壁の消失はないものの、岸壁が海側に変位し、エプロンが大きく沈下した。これらの被害は、津波により生じた被害か、地震力、さらには、液状化による被害かについては、明らかになっていない。特に、津波の来襲により、液状化の痕跡がなくなっており、岸壁やエプロン付近に残っている砂が液状化による噴砂の跡なのか、津波堆積物なのかどうかは、判断することができなくなってしまっている。一方、一部の岸壁においては、崩壊には

至っていないものの、たとえば、久慈漁港沖合防波堤付近の岸壁では、亀裂とその両側に砂が堆積していることから、液状化が生じたものであるととらえることができ、多量な噴砂を生じた液状化であればその一部が津波で流されなかった可能性も高い。

その他の港湾すべてにおいて、岸壁の変位やエプロンの亀裂、沈下が確認された（口絵写真—27）。裏込め地盤の沈下も液状化によるものか、液状化には至らないものの繰返しせん断による沈下なのかは、現地調査では判断できなかったため、今後の詳細な検討が必要であると考えられる。

また、津波によるアスファルトの剥離、公園用地の道路ブロック、路盤材、路床材の流失が随所で見られた。この津波による地盤材料の流失は、港湾施設以外の海岸構造物でも見られる被害であり、大北川河口部を中心とした磯原地区（口絵写真—28）、高萩市の河口部、日立市小木津海岸、河原子海岸、水木海岸など、低地部において広く被害を受けた。

3. 液状化による被害

地震による地盤の液状化現象は、茨城県の広い範囲で生じており、茨城県北部地域においても被害が生じた。液状化が生じた地盤は、湖沼の干拓や埋め立てによる地盤、水路や堀を埋め立てた地盤、河川改修により旧河道部を埋め立てた地盤、および、河川氾濫原における旧河道部、砂丘部の地下水位が比較的高い地盤などで生じている。

水戸市駅南は、地震による建物周りの沈下による被害が顕著である。水戸市駅南地域は、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¹⁾。口絵写真—29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。

口絵写真—30は、水戸市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砂が主体のと考えられ、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14 m以深から支持層となる38 m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。現地調査により建物周りの沈下を測定したところ、最大で28 cmを記録し、水戸市中央1丁目と桜川1丁目、2丁目の一部で10 cm以上の大きな沈下を生じていた。すなわち、千波湖埋め立て地域においても、建物の抜け上がりの程度が場所によって異なることが分かる。建物の抜け上がりの要因としては、地震動による地下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。

現地調査において、噴砂跡は確認することができなかったが、建物周りに噴出したと思われる砂やタンクの抜け上がり、電柱の沈下や傾斜などが生じていたことから、埋め立てに用いた砂が液状化した可能性が高いと思われる。しかし、口絵写真—30に示したように埋立砂の層厚は薄く、地下水位以下は1~2 m程度である。すなわち、1978年宮城県沖地震による仙台市苦竹地区の沈下²⁾や1957年メキシコ地震による構造物の沈下³⁾同様、軟弱粘性土層の沈下も懸念されることから、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。

水戸駅北側は旧千波湖の埋め立て地盤ではないものの、一部の地区で噴砂を伴う液状化が生じた。旧版地形図と確認したところ、一つは堀であり、それを埋め立てた地盤が液状化して家屋に被害を与えている。もう一つはため池と思われる沼地を埋め立てた地盤であった。同様な旧水域を埋め立てた地盤の液状化は、大洗町でも生じており、ひとつは旧涸沼川河道部の埋立地盤、もうひとつは漁港として利用するために一度掘削した堀を埋め立てた地盤である。これらの地域では、埋め立てた区域において噴砂が確認されるとともに、住宅の傾斜や破壊、埋設物の浮き上がり、地盤の沈下が生じ、また、傾斜した地盤では、口絵写真—31に示すように前面に位置する護岸の変位が生じている。

ひたちなか市海門町は、那珂川河口部左岸に位置し、津波が来襲した場所でもある。津波来襲地点では、津波堆積物なのか、液状化による噴砂なのか判断できない場合が多いが、海門町は津波による浸水被害を受けたにもかかわらず、噴砂孔と噴砂の跡が確認された。沿岸部の埋立地盤と思われるが、旧版地形図には既に存在する地盤であり、さらに古い地図などにより、土地の履歴を調べる必要があると思われる。また、液状化による地盤、構造物の変状が津波に対する避難において支障にならなかったかどうか今後検討しておく課題である。

日立市みなと町もまた津波による浸水被害を受けた地域であるが、一部、建物周りの沈下、道路の変状、河川護岸の変状（口絵写真—32）が生じた。被害を受けたエリアを旧版地形図と照らし合わせたところ、旧久慈川河道であることが分かった。噴砂跡は確認できなかったものの液状化による被害の可能性が高いと思われる。

この帯のような液状化エリアは、那珂川、久慈川沿岸でも、河川沿岸の氾濫原において、空中写真判読により確認することができる。那珂川沿岸堤内地における液状化による噴砂跡が確認された。また、那珂川河川堤防の一部において沈下を伴う変状が確認された旧版地形図と対比させても、この地域は旧河道部とは判断できないものの、現地調査と航空写真により液状化エリアを確認すると、口絵写真—33に示すように河川を横切るように液状化したエリアが帯状につながっている。また、口絵写

真一34で示した河川堤防の変状もこの帯の中に位置する。このような液状化の帯は那珂川沿岸部のみならず、久慈川沿岸、利根川沿岸などでも確認されており、広い氾濫原を有する河川においては、明治以前の河川の改修、あるいは、自然により変化し続けた河道の跡とも捉えることができる。氾濫原においては、その領域全体で、液状化が生じやすい地盤である可能性が高く、地盤調査結果などと対比させることによって、旧河道を把握することが、今後の地域地震防災において必要であると考えられる。

茨城県の太平洋沿岸域の砂丘地帯でも液状化の跡が確認された。ひたちなか市磯浜地区、北茨城市中郷地区などである。砂丘地帯は海岸線付近から徐々に地盤が高くなる傾向にあり、一般的に地下水位は低い、海岸線や水際に近い地域では地下水位が比較的高くなり、その結果、液状化したものと思われる。なお、噴砂は確認できなかったが、後述する東海村阿漕ヶ浦の砂丘地帯でも液状化による災害である可能性が高いと思われる。

また、建設に伴う埋戻しや、宅地造成地における盛土の液状化も見られた。

4. 地すべり、斜面および崖の崩壊による被害

東海村阿漕ヶ浦において、湖沼方向へ滑る地滑りが生じた。表層土質は砂であり、この地域は砂丘地域である。この地滑りにより湖畔にあった建物が倒壊。陸地の一部は湖沼内に消えている。滑り中央部におけるテニスコートも亀裂が多数生じ、その滑落上部の国道245号も被害を受けた。また、後背地に砂丘がある阿字ヶ浦海岸においても、緩やかな砂丘の傾斜の斜面の流動が生じ、流動の先端部では液状化による噴砂跡も確認された。茨城県の海岸線の一部には砂丘が存在することから、他の地域でも同様な流動被害が生じていることが考えられる。

茨城県の北部海岸は崖海岸が断続的に存在する。美しい景勝地でもあるが、慢性的な海岸侵食に悩まされている地域でもある。この崖海岸では、地震によるほぼ全域にわたって生じた。茨城県北部に位置する平潟では、平潟港の両端に存在する海岸崖が崩壊し、平潟港の南東に位置する平潟海岸においても、崖基部の岩石層から崩壊する被害が生じている。

高萩市北部に位置する高戸小浜海岸では海岸崖の剥離崩落が生じ、海岸公園の一部が崩落した岩石が埋まる被害を受けた。同様な崩壊は、日立市北部に位置する伊勢浜海岸南部の崖海岸、小貝浜海岸においても見られた。これらの崖海岸において比較的高い崖部がほぼ全域にわたって剥離崩壊した。崩壊量は少ないが、崖上にある公園敷地面積の減少と危険区域が増大した。

河原子海岸より南では、後背地は多賀層群の泥岩などで構成される崖がほぼ鉛直に切り立ち、海岸部の低地は狭い。崖は上層部に火山灰質粘性土が堆積している。崖基部である岩の崩壊ではなく、上部層である土質の表層崩壊が生じていた。口絵写真一35に示すように、大甕海岸もまた同様な崩壊を生じ、国道245号線の通行止めおよび公園緑地の立ち入り禁止区域の設置などがなされて

いる。

また、内陸部においても、段丘部の崖の崩壊が生じている。澗沼を取り囲むように位置する段丘斜面で、表層崩壊が生じた。日立アルプスと呼ばれる阿武隈高地の南端である山地においても、落石や斜面の崩壊が生じた。常陸太田市の神社境内の一部の斜面が崩壊し、境内の広場が消失した。この地山は石灰岩であり多くの亀裂を含んでいる。また、口絵写真一36は、林道脇の吹付コンクリート斜面のすべり破壊を示している。3月29日撮影の航空写真より判読すると、その時点ではまだ上部は吹付コンクリート部が残っていたが、その後の余震により、崩壊がさらに拡大したと思われる。その他、3か所で表層崩壊している急傾斜の斜面を確認したが、住宅や林道、河道閉塞などの被害には至っていない。

茨城県の都市のいくつかは段丘地形に発達しているところが多く、都市の発達とともに、段丘の縁に住宅地や工業団地が造成され利用されている。東海村住宅団地、高萩市工業団地では、谷埋め盛土の崩壊が生じた。東海村住宅団地では、高さ約10 mの崖が幅約45 mにわたり崩壊した。崩壊形態は円弧滑りであり、崩壊後は法先から約30 mの位置に達している（長さはいずれも目視）。海岸段丘に造成された工業団地の谷埋め盛土の斜面もまた大規模に崩壊した。

水戸市においては神社、および、水戸協同病院の斜面が崩壊、あるいは、損傷を受けた。神社では、およそ10 mの南側斜面と西側の一部の斜面が崩壊している。斜面は石積みブロックの擁壁で保護されていたようである。崩壊形態は直線滑りであり、崩壊深さは比較的浅い。西側斜面も南側の一部が同様な崩壊形態であるが、上部は植生を有し、擁壁による保護は下部のみだったと思われる。病院斜面においては、擁壁の変位が生じたようであるが、現地調査を行った限りでは、ブルーシートにより保護されていたため、被害状況を確認することができなかった。また、神社と病院の間の谷地形における造成地が被害を受けた。谷部に位置する造成地でも神社側の造成地の被害が著しい。被害形態は2種類に分類され、一つは擁壁裏込めの沈下と、もう一つは盛土部の変位である。神社脇の擁壁で保護された斜面であり、およそ50年前に、この丘を切り盛りにより宅地として造成したとのことであった。地震による擁壁の損傷は認められなかったものの、この腹付け盛土において地震による沈下が生じたため、敷地内に盛土部と切土部の間に段差が生じ、家屋が被害を受けた。また、この擁壁の下方に位置する造成地では、盛土高さが低いようであるが、谷側に向かって流動し、道路や家屋が被害を受けている。擁壁を有する盛土部沈下による被害は、日立市内でも生じており、段丘地形に発達した茨城県の都市の性質から、同様な被災が数多く存在すると思われる。

5. 道路・鉄道盛土の被害

高さ6 m程度の県道173号道路盛土がおよそ200 mにわたり沈下や変形をおこした（口絵写真一37）。口絵写

真一38に示すように斜面法先では大量な噴砂が確認されることから基礎地盤の液状化による盛土の崩壊であると考えられる。

ひたちなか市では、後背地にため池を有する鉄道盛土（高さ約20 m）が幅約60 mにわたり崩壊し、崩壊長さ約60 mにも及んだ。崩壊土は、あぜ道を横切り田畑まで達している。口絵写真一39は平面図を、口絵写真一40は被災状況である。ため池の存在より、盛土内の含水状態は他の盛土よりも高い状態にあったと思われる。また、含水状態が高いことから崩壊後はやや泥流化し、土塊移動量も大きくなったと思われる。破壊の直接的な要因は地震力であるが、その要因としてはため池の存在による盛土が高い含水状態であったことが挙げられる。また、盛土が崩壊には至っていないものの沈下が生じ、周辺の用水路の損傷が生じ、路線軌道も湾曲している箇所もあると散見された。段丘崖に取り囲まれた低地に位置することから軟弱層を有する地盤である可能性があり、基礎地盤と盛土の双方の要因による沈下が生じた可能性が高い。

県道284号において、道路盛土の変状が生じた。盛土法面の滑りによる崩壊で、基礎地盤の変位や付近地表面の隆起は確認できなかった。当該地形は段丘間の谷地形の部分であり、基礎地盤は軟弱地盤であることも多く、地震動増幅による盛土崩壊とも考えられることから、基礎地盤と盛土の相互作用について詳細な検討が必要であると思われる。谷部における道路の被害は、それ以外でも多く存在する。東海村の低地では、道路盛土を貫通するボックスカルバートの両脇で盛土の沈下と道路の陥没が生じた。ボックスカルバートは3基配置されており、いずれの結合部でも10 cm程度の隙間が生じた。3基のボックスカルバートの隙間から土砂が流出する可能性があり、降雨による雨水の浸透および隙間の充填が必要であった。

6. ま と め

本文は、2011年（平成23年）東北地方太平洋沖地震およびその後の余震による茨城県における地盤災害について調査を行った結果をまとめたものである。

本文に記述した調査結果をまとめると、以下のとおりである。

(1) 茨城県の太平洋沿岸では、地震と津波による複合

的な被害を受けた。また、一部の地域では地震による地盤の液状化が生じた痕跡らしきものはあるものの、津波来襲によりその痕跡を断定できることは難しかった。また、港湾の多くで岸壁の変位や沈下が確認されるとともに、那珂湊港、久慈漁港、大津漁港では、岸壁が崩壊する被害を受けた。津波外力を詳細に検討し、岸壁の崩壊メカニズムを解明することは、今後の設計において必要なものとなってくると考える。津波によるアスファルトの剥離、路盤材、路床材の流出も、津波外力を増す要因となることから、津波に強い地盤材料の創出は今後の課題と思われる。

(2) 茨城県北部地域においても地盤の液状化による被害が生じている。特に、湖沼や堀を埋め立てた地盤で液状化が生じた。また、氾濫原における旧河道部と思われる帯状の液状化跡や砂丘地帯における液状化など自然地盤においても生じている。今回生じた液状化地点の記録をまとめ後世に残しておくことも重要である。

(3) 砂丘部における地すべり、海岸崖、段丘崖の崩壊など自然斜面における被害が起こるとともに、一部の造成地で盛土の崩壊や変状が生じた。とりわけ、海岸崖の崩落は、茨城県北部崖海岸の全域で生じており、今後の対策や後背地利用において検討すべき事項であると思われる。また、今回の地震における山間部では幸い河道閉塞を生じさせるような崩壊は起きなかったものの、今後の余震によりそのような崩壊の可能性も否定できないため、引き続き監視が必要であると思われる。

(4) 道路盛土、鉄道盛土の大規模な崩壊が生じた地点では、軟弱地盤上の盛土や、地下水位が高くなる土地条件、基礎地盤の液状化など、複合的な要因により生じたケースが多い。復旧・復興において、これらの点を点検し、災害に強いライフラインの構築が必要であると考えられる。

参 考 文 献

- 1) 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.
- 2) 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.
- 3) Zeevart, L.: Foundation engineering for difficult subsoil conditions, 2nd ed., p. 523, 1983.

(原稿受理 2011.5.23)