

特別展望

巨大地震にも耐えた地盤と土構造物

茨城大学 ICAS 安原 一哉

1. はじめに

多くの人にとって2011年3月11日は生涯忘れられない日になるに違いない。ここでは個人的な体験を詳しくは触れないが、3月11日から100日以上過ぎた今日でも筆者の居住する茨城県日立市も勤務先の水戸市でもほとんど毎日余震(震度3、時に震度4)に悩まされている。毎日が“怖い”というのが率直な実感である。災害の少ない住みやすい茨城県のイメージは、あの日以来一変した。ところがである。マスコミは、東北三県の巨大地震、それに伴う津波災害と原発事故の激甚複合災害、南関東の住宅を中心にした広域液状化災害にはスポットを当てるが、茨城県の実情をあまり取り上げてくれない。しかし、茨城大学による震災調査報告書¹⁾を見るまでもなく、茨城県では有史以来ともいえる地震災害、東海原発もあわやという状況だった津波、激甚な液状化等々なんでもありの状況であったにもかかわらず、災害の実情は十分知られていない。その一部は文献¹⁾に譲るとして、ここでは、茨城県を中心にした周辺地域の地震災害の概要を紹介し、その中で震度6強あるいは6弱の強さの地震にもかかわらず、地盤改良や地盤補強を施したために災害から免れた、あるいはびくともしなかったという事例を紹介して、事前の防災対応や減災対応がいかに重要であるかを強調したい。あわせて、震災復興に対するジオセンセティックスの可能性についても考察する。

2. 茨城県と周辺における震災の概要

茨城県の地震活動は「茨城県沖」と「茨城県南西部、南部」に多く、この2箇所は地震の巣とよばれ、地震活動の活発な地域である。このため茨城県は全国でも有感地震の発生回数が多い県である。

水戸の1919年～1995年の地震記録を見ると、震度4を記録する地震は61回あり、概ね年1回弱の割合で発生している。震度5の地震は1930年、1931年に各1回、1938年に3回記録され、その後しばらく無かったが2000年の茨城県沖地震で震度5弱が記録された。

水戸市では、1900年以降の地震では人的被害や家屋の倒壊などの大きな被害は無かった。このため水戸は地震災害の心配が少ない土地と考えている市民も多いが、過去には家屋倒壊も認められており、必ずしも地震災害の心配がない土地とはいえない。また、活断層についても水戸を含めた茨城県北部は空白部であるが、実際には十分に調べられていないというのが実情のようである。

2011年3月11日に発生した東日本大震災では、水戸市で震度6弱(最大加速度825 gal)の揺れが観測された。この地震による水戸市内の災害状況は表-1のようであった。

表-1 東日本大震災による水戸市災害状況(2011年6月6日現在水戸市ホームページより)

〈家屋の損壊状況 6月4日現在〉	
区分	件数
全壊	172
大規模半壊	143
半壊	591
建物の一部損壊等	18,408

〈避難勧告、避難指示等 4月27日現在〉

種別	区分	発令日時	対 象
津波災害	避難勧告	3月11日 14:49	常澄地区津波浸水想定区域の住民
	避難指示	3月11日 15:14	
	解除	3月13日 17:58	
	避難勧告	4月11日 17:20	常澄地区津波浸水想定区域の住民
	避難勧告解除	4月11日 18:05	
土砂災害	避難指示	3月13日 17:50	宮町3丁目宮町駐車場の東・南の斜面 (土砂災害警戒区域の住民52世帯)
	避難勧告	3月16日 19:00	
	避難勧告解除	3月18日 19:00	酒門町及び元吉田町の斜面 (住民27世帯)
	避難勧告	3月15日 16:15	
	避難勧告解除	4月25日 14:00	

この地震における県内の地盤災害は有史以来といえるほど激甚で、例えば、水戸市駅南地域、千波湖周辺他や潮来市日出町での液状化現象と地盤の沈下による建物の傾斜、マンホールの抜け上がりや水道管の損傷、那珂川・涸沼川堤防の被災(写真-1)、水戸東照宮の盛土斜面の崩落、代表的文化施設である偕楽園の盛土斜面の損傷など多様な災害が生じている。また隣接するひたちなか市では常磐自動車道盛土の崩壊(写真-2)、JR常磐線盛土の崩壊なども発生した。しかしその後の迅速な対応は海外でも話題になるほど迅速であった。



a) 応急復旧された河川堤防



b) 応急復旧も行き届かない河川堤防

写真-1 堤防の被災と応急復旧状況



a) 震災直後



b) 修復後

写真-2 震災前後の常磐高速道路盛土（提供：NEXCO 東日本）



a) 津波襲来後（3月11日引き波時）



b) 津波襲来後（3月12日）

写真-3 津波襲来に伴う水路の崩壊の様子（橋本徹氏提供）

この地震で特徴的だったことの一つに津波に係る地盤災害がある。橋梁基礎の洗掘や堤防背面の侵食などは、東北地方のみならず、茨城県においても観測されている。写真-3は、久慈川における樋管につながる水路の護岸が津波によって崩壊した様子を示している。久慈川下流部には豊岡第1樋管（豊岡地区）と豊岡第2樋管（亀下地区）の2つの樋管があり、両地区とも樋管を通して流入した津波によって浸水被害と水路護岸の倒壊が発生した。3月11日（金）16時前後に来襲した津波（第2波か第3波）が最大の水位をもたらしたということであった。他機関の調査によって、周辺の日立港なぎさ公園での津波浸水域の高さは4.2 m¹⁾、日本原電東海第2原子力発電所構内で最大遡上高 5.4 m²⁾とされている。この事例における水路護岸の崩壊は以下のように考えられている。

- 1) 両地区とも、樋管からの逆流水によって農地が一旦冠水した後、津波の引き波によって、まず水路の水位が急速に低下した。
- 2) これにより農地の水位と水路の水位に大きな差が生じ、農地の水が一挙に水路に流入した。それはさながら、治水目的の遊水地に洪水発生時、河川本川から越流堤を通じて河川水が流入するかのようなようだったと推定される。
- 3) 上記2)は通常想定している水の動き(力の方向)とはまったく逆である。よって、水路護岸の頭

部には水位差によって想定外の水圧がかかり、上部から剥ぎ取られるような形で破壊され、水路内に倒れたと考えられる。また、水路の崩壊については、まず強い地震動によって護岸が移動し、移動量が地点によって異なったために護岸の一部に亀裂が入ったか一部が壊れた。その後、その部分から水が浸入し、併せて引き波の力で下部の土と構造物の裏込め土が吸い出され、護岸が前倒しになったという可能性もある。

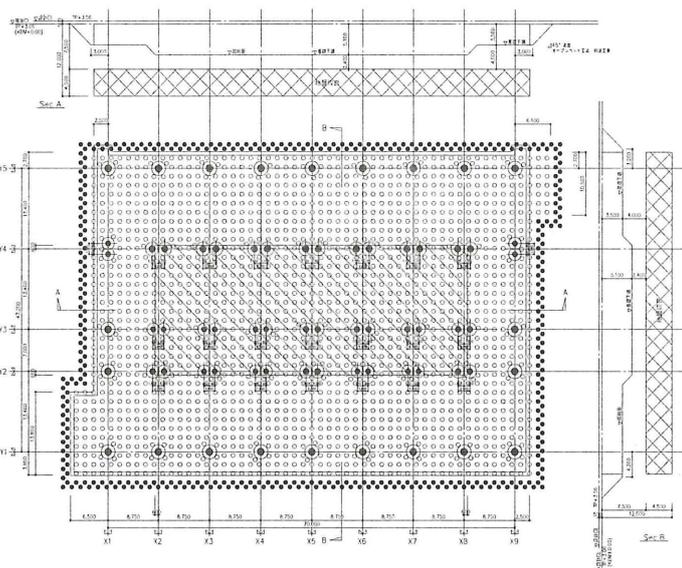
4) このような災害が2つの樋管で起こったが、いずれも久慈川の右岸側のみで起きた。原因を明らかにするためには、今後の詳細な調査が必要である。

以上に示した豊岡地区の事例を見ると、樋門・樋管を通した津波の侵入は特殊なことではなく、今後も同様な被害が生じる可能性がある。しっかりした対応が必要である。

3. 震災に及ぼす地盤改良効果

関東地方一円埋め立て地や新興住宅街などで甚大な液状化や盛土崩壊などの甚大な地盤災害が生じた。このような地域を調べてみると、液状化対策として事前の準備を怠っていたという事例が多い。液状化など地盤耐震のための何らかの手立てを講じていたところでは被害は少ないことが少しずつ分かってきた。図-1は、建物基礎にコンポーザー工法を適用した建物構造物とその周辺地盤(未改良)の地震後の様子を示している。

図から明らかなように、周辺の未改良部では液状化現象がみられたが、締め固め砂杭により地盤改良されていた建物範囲は液状化被害を受けていないことがわかる。このような事例はほかでも見られたと聞かす、あきらかに事前に対策を施していれば建物構造物は大きな地震の影響も受けることはないことを実証している。



a) 建物の平面図



b) 地盤改良区間と未改良区間

図-1 コンポーザー工法を施した建物基礎(改良率 as=17.1%,改良長 L=12.0m、不動テトラ(株)による)

4. 震災に及ぼす地盤補強効果

(1) 切土補強土工が施工された高速自動車道

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(写真-4)が、その後かご柵工等の補強対策(図-2)が行われたため、今回のような大きな地震力(対象地域では震度6弱)を受けても斜面の安定が十分に保たれていた(写真-5)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補強土として実証されたことになる。



a)パイピング(平成16年10月)によって崩壊した切土斜面

b)かご柵補強土で修復された切り土斜面

写真-4 降雨後(平成16年10月)と修復後の切土斜面の様子

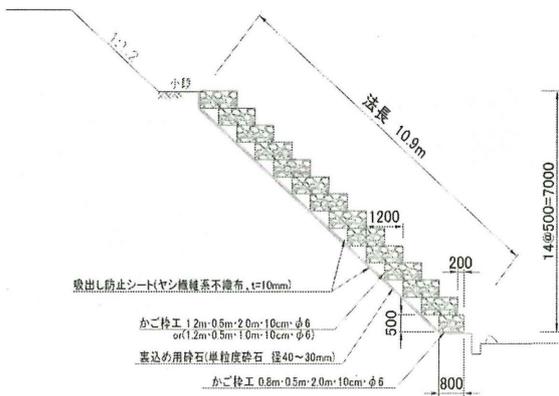


図-2 かご柵補強土工の施工

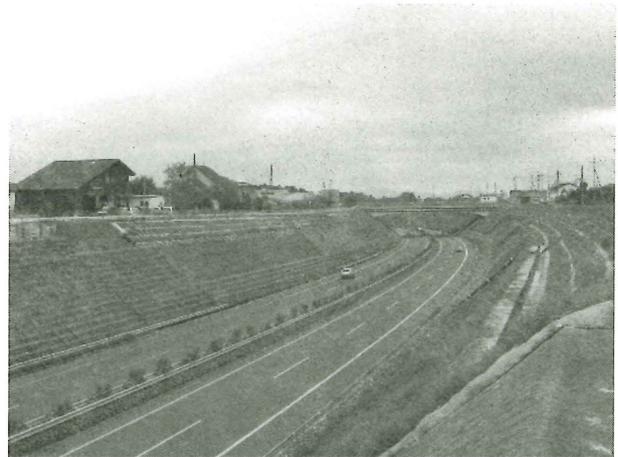


写真-5 3.11 震災後のかご柵補強土工切土断面

5. 震災から得られた教訓：復興への提言

(1) “逆工場” (inverse manufacturing) の思想の導入

製造業の分野では今や当たり前になっている“逆工場”の考え方を導入すべきであることを提案したことがある。その趣旨は、橋や道路のようなインフラ施設や構造物の設計は、それぞれの寿命が来た時、あるいは、十分役割を果たしきった後どうするかを考えて設計をする必要がある、そうすることによって、リサイクル問題も廃棄物問題もより効率的になってくる、というところにあった。このことは、当時は余り受け入れられなかったが、震災で決定的なダメージを受けたインフラを見るにつけ、このことを考え直すべきではないかという思いがまた湧いてきた。生き物と同様に、人工物も寿命がある。それはどのような時なのかをそれぞれのインフラに思いを込めて作っていかなければならないのではないかと？そういう思いを新たにすべきである。“逆工場”の思想の導入が地盤工学においても必要であることを再度提案したい。

(2) 剛から柔へ～力を受け止めるのではなくかわすことはできないのか？～

世界一のコンクリート防波堤であった田老町のコンクリート防波堤は剛な構造物によって高潮や津波による波力を跳ね返す、という考えであった。ここには、外力を跳ね返す、という思想では自然の力には逆らうことはできないことを見せつけられた。そこで、後述するように、波浪を受ける護岸構造物の改善事例を紹介したい。

(3) 復旧の思想を乗り越える：

復旧と復興とは意味が異なることが広く認識されてきている。復旧とは元の状態に戻すことであり、復興とはいったん衰えた物事を再び盛んにすることを意味する。

このような視点から、例えば茨城県の現状を眺めると、個人、コミュニティ、行政、事業者等の努力と県外からの応援等によって2か月半という短い期間の中で急速に復旧を果たしつつあると言える。しかし、液状化によって被害を受けた住居や農地、津波被害によって深刻なダメージを受けた港湾や水産業、原発事故による風評被害を受けている農林水産業・観光業など、復旧までにさらに時間を要する分野も数多く存在している。そのため、復旧は茨城県にとって未だに急ぐべき課題である。今回のような震災に従前の災害の考え方をそのまま適応することでことは片付くとは思えない。

一方、復興は、災害の前の状態を超えて、よりよい地域社会をめざすものである。つまり、被害地域や企業、施設などでは、「原状に戻す」という考え方に拘泥せず、「災害に対してより安全にすること」、さらに「復興の取り組みによってよりよい地域社会の将来をめざす」ことが必要である。そのためには、復興のビジョンや基本的考え方がなければならない。この未曾有の大災害は、我が国の社会・経済のあり方や我々の価値観、生活のあり方まで深く考えることを迫っており、復興に向けた基本的考え方自体も災害の経験の中からもみ取ってくるべきであろう。

具体的な復旧・復興策を考えるにあたっては、(a)短期的対応(復旧、二次災害防止)に関する事項(b)長期的対応(復興、再生、次の大地震に備える)に関する事項に分けて考える必要がある。全体的にはやっとならぬ復旧が終わりつつある状況であり、本復旧はこれからと思われる。したがって、復興はまだずいぶん時間のかかる先のことになろう。しかし、今の中に、このことに関する考え方をしっかり構築して、悔いのない、新しい街づくり、地域づくり、国家づくりのプラン

を提示し、再生の足掛かりにしたいものである。このことに対して地盤工学はどのように貢献できるかをしっかり整理をして、会員全員が分担をする、というような意気込みで取り組むべきと考える。

(4) 具体的な復旧復興策

とはいいいながら、復興と考えるとどこから手を付けたらいいのかわからないというのが正直なところであろう。筆者が最近かかわった地盤沈下(厳密には、地殻変動による地盤沈降)を受けた沿岸域の事例を通じて復旧・復興を考える一助としてみたい。

写真-7は3.11地震後地盤沈降を受けている宮城県石巻市の様子を示している。地震後の沈降は80cm近くに及んでいる。付近の住民は、特に満潮時には海水の侵入を受け、生活に不自由をかこっている。

当面の対策として、現在応急復旧として用いている土のうとジオシンセティックスを併用した柔な土止め構造物とする方法を提案したい。図-4はそのイメージを示したものである。このようにしておけば、その後コンクリート護岸が必要とされたときには、薄い壁体で済むことになる。

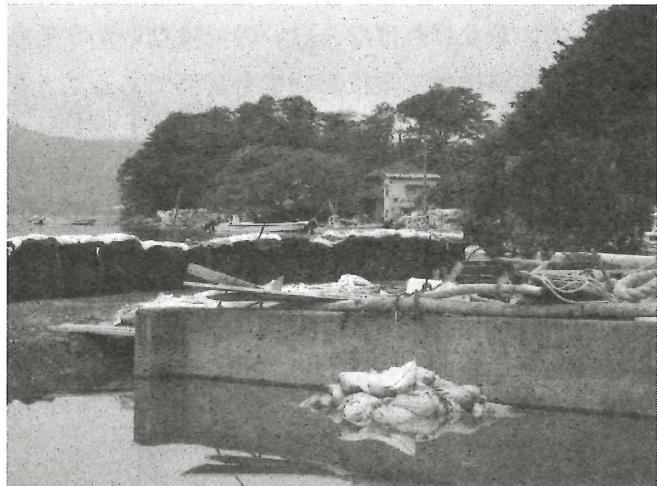
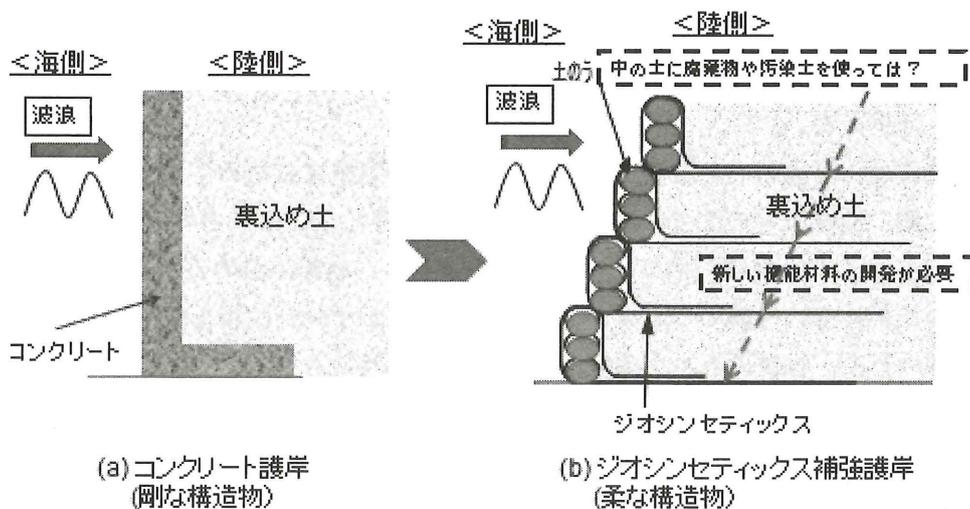


写真-7 3.11地震後地盤沈降を受けている宮城県石巻市

適応策の例： ハードな護岸からソフトな護岸へ



“力を跳ね返す”考えから“力をかわす”、あるいは、“力を吸収する”考えへ

図-4 剛なコンクリートと護岸から柔で強靱な補強土護岸へ

6. 終わりに

3.11 東北太平洋沖地震があまりに大きな地震であったために、壊れた、事故が起きた、多数の死傷者が出た、という事実が強調されるため、防災・減災対策を施したインフラストラクチュアは安全だった、無事だった、という紹介例が少ないのは技術者として残念なことである。もちろん、巨大地震を予測できなかった、したがって、それに伴う激甚な災害を防げなかった、という事実に対しては、研究者の一人として深く反省し、懺悔しなければならない。しかし、技術の進歩によってかつては防げなかった災害を防げた、あるいは、災害を減らすことができた、という事実も証拠として残しておかなければならない。それも、技術者・研究者の義務である。本文では東日本太平洋沖地震における事例を示した。

参考文献

- 1) 茨城大学東日本大震災調査団：東日本大震災調査報告書（平成 23 年 5 月），2011.
- 2) 都司ら：茨城・千葉での海岸津波高さ，東京大学地震研究所，2011.
http://outreach.eri.u-tokyo.ac.jp/eqvolc/201103_tohoku/tsunami/#tsunamiheight
- 3) 日本原子力発電株式会社：東海第二発電所における東北地方太平洋沖地震時に取得した地震観測記録の分析および津波の調査結果に係わる報告ならびに今後の対応について，
<http://www.japc.co.jp/news/bn/h23/230407.pdf>, 2011.
- 4) 三村他：4. 東海村豊岡地区における津波被害と対応：実態と課題, 33－38, 東日本大震災調査報告書(平成 23 年 5 月), 2011.