

平成時代の地盤災害から学ぶ

東京理科大学 理工学部 土木工学科 教授 きくち 菊池 よしあき 喜昭

はじめに

日本列島は美しい自然に恵まれた島であり、その島で育った日本人の心の中には特有の美意識が育まれているように思います。その一方で、日本列島は災害列島で、地震や台風絶えず見舞われています。日本に住んでいると地震や台風は当たり前とっていますが、世界にはその両方共がほとんどないという国が多数あります。

日本列島に住む限り自然の猛威にさらされますが、土木技術者の自負としては、何とか、自然災害に立ち向かって、防災、減災に努め、人々の暮らしを支えたいと思っています。

本稿では平成時代の地震による地盤災害から土木の地盤技術者たちが何を学んできたのか紹介します。

平成年間の主だった地震を表1に示しま

表1 平成年間の主な地震

元号	西暦での日付	地震名
平5	1993. 1.15	釧路沖地震
平5	1993. 7.12	北海道南西沖地震
平6	1994.10. 4	北海道東方沖地震
平6	1994.12.28	三陸はるか沖地震
平7	1995. 1.17	兵庫県南部地震
平12	2000.10. 6	鳥取県西部地震
平15	2003. 9.26	十勝沖地震
平16	2004.10.23	新潟県中越地震
平19	2007. 7.16	新潟県中越沖地震
平20	2008. 6.14	岩手・宮城内陸地震
平23	2011. 3.11	東北地方太平洋沖地震
平28	2016. 4.16	熊本地震
平30	2018. 9. 6	北海道胆振東部地震

す。読者の多くの方には、兵庫県南部地震と東北地方太平洋沖地震、熊本地震と昨年の北海道胆振東部地震を覚えている方が多いと思いますが、それ以外にも多数の地震が起きています。兵庫県南部地震に伴う阪神淡路大震災の被害があまりにも大きかったため、その前数年間の多数の地震被害の印象が薄れているかもしれませんが、平成5年の北海道南西沖地震での奥尻島の津波による被害も甚大なものでした。

しかし、ここでは主として近年の地震災害では極めて規模の大きかった兵庫県南部地震による阪神淡路大震災と東北地方太平洋沖地震による東日本大震災を例に、それらの地震が我々に教えてくれたものについて考えてみたいと思います。

二つの大震災が教えてくれたもの

1. 阪神淡路大震災

1995年1月17日に起こった兵庫県南部地震は、現代都市を襲った最初の直下型地震として有名です。この地震は地震のエネルギーは比較的小さかったのですが、都市直下で大規模地震が発生したこともあり、震度7を記録した地域が広く分布しました。大きなビルがそのまま倒壊したり、ビルのある階だけが圧壊したり、高速道路の高架橋が根元から倒壊したりと非常に大きな被害が生じました。特に港湾では、神戸港の施設の98%が被災し、ポートアイランドでは大規模な液状化が発生するなど甚大な被害を蒙りました。

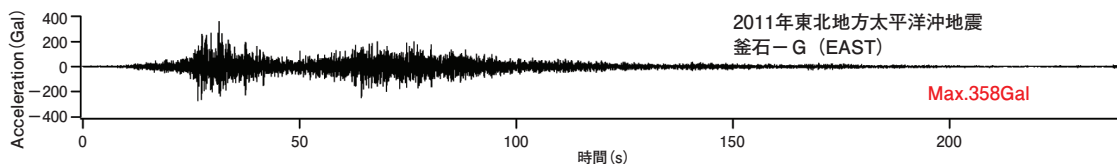


図1 釜石港で観測された地震動の時刻歴

この地震が起きるまでは、マスコミの言う最大級の地震は大正年間の関東大地震で、「関東大地震級の揺れでも耐えられる」といったフレーズがささやかれていました。また、地震は関東には多いが関西では少ないというようなことも言われていました。もちろん、実際にはそのようなことはなく、関西では昔から大地震に見舞われていました。

阪神淡路大震災では5,000人からの方が亡くなり、多くの土木・建築技術者はその規模の大きさに愕然としたものです。そして、地震動に対する見直しがなされ、地震のあった翌年の1996年1月10日に土木構造物の耐震基準等に関する「第二次提言」を出しています。その中でL2地震動（想定される最大規模の地震動）が明確に定義されました。また、重要構造物については、L2地震動を受けても損害が小さいか、損害が大きくても早急に復旧できるようにすることがうたわれ、各機関（道路、鉄道、港湾などの技術基準を管理する機関）の基準が土木学会の提言に沿った形で次々と見直されていきました。

港湾を例にとると、耐震強化岸壁という、L2地震が起きても被害が生じず、通常通りに利用できる岸壁（船が接岸して荷役を行う施設）の整備の促進がうたわれました。港湾は以前より、災害時の緊急物資移入のために、発災時でも利用できる岸壁の整備を進めることにしていましたが、阪神淡路大震災を契機に大型の岸壁を耐震強化岸壁として整備していくことを決め、できる限り早く整備していく方針としていました。

また、設計に用いる地震動そのものについても大きく見直されるようになりました。そ

れまでは耐震設計といえども震度法といって、地震動を静的荷重に置き換えて構造物に作用させて安全性を照査するのが普通でしたが、2007年に改訂された港湾基準では、地震動の時刻歴を基本として、地震動に対する構造物の応答特性を考慮して安全性の照査をするようになりました。これには、コンピュータの発達と、そのような解析を可能とするプログラムの開発が必要でした。さらに、震度法の時代は、関東、東北などの地域ごとに設計に用いる震度が決められていましたが、この時から、場所ごとの地震の発生頻度を考慮したり、L2地震動の場合には危険な地震動を場所ごとに特定したりすることで、港ごとに考えるべき地震動を決定するようになりました。

2. 東日本大震災

2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震は、我が国ではこれまでにあまり例を見ないほどの大規模な地震でした。いくつもの特徴がありますが、一度に破壊し動いた断層が大きく、被害が広範囲に及び、また、揺れの時間が長いものでした。地震に伴って大規模な津波が生じ2万人近い犠牲者を出しました。その多くが、津波による溺死というのも津波の恐ろしさを物語っています。福島原子力発電所が被災したこともこの地震による災害を大きなものとしています。

図1はこの地震の際に釜石港で観測された地震動です。この時刻歴を見ると地震の揺れは約3分間続いています。兵庫県南部地震では、主要動は数秒であったことに比べると全く異なる地震動であることが分かります。

多くの技術者にとってもこのように揺れる

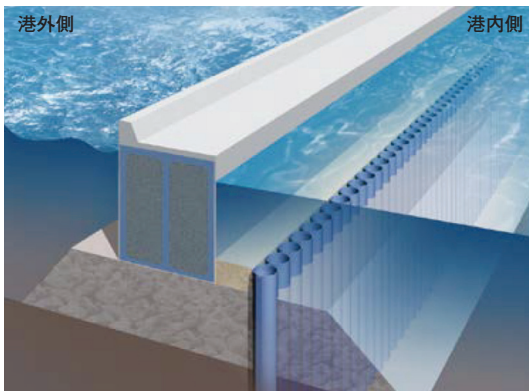


図2 鋼管杭式補強防波堤の概念図 日本製鉄(株) 提供

時間が長いことは驚きでしたが、地震動の専門家にとっては、これは想定されたものでした。実際、2010年に完成した関東地方内の滑走路の耐震設計に用いられた地震波は2分以上の主要動を持つものでした。

この地震で最も注目を浴びたのは、津波でした。三陸地方では過去に何度も地震による津波の被害を受けているほか、北海道南西沖地震では奥尻島が津波によって大損害を受けているなど、津波による被害はこれまでもありましたが、近代の津波の中では最大級の被害を各地で起こしたという点がこれまでと大きく異なる点でした。また、午後に起きた地震で、その後に津波が来襲したという条件もあって、一般市民の皆さんが多くの津波映像を残したというのも大きなことでした。恥ずかしながら、筆者もYoutubeによって初めて津波の恐ろしさを実感しました。筆者はあの地震のときまで、本当の意味では津波がどういうものかを知りませんでした。

釜石港では約30年の歳月をかけて津波対策として湾口防波堤を建設し、2009年には完成していました。この防波堤は、湾口部の開口部の95%を防波堤の基礎と防波堤そのものでふさいだものでした。この防波堤は当時の港湾技術者の粋を集めて作ったものといって過言ではなく、筆者も含めてほとんどの港湾技術者が何らかの形で建設に関与したものです。それがあの津波で壊されてしまい、街を

完全には守ることができなかったことは慙愧^{ざんき}に耐えません。

国際的にみても2004年暮れのスマトラ島沖地震による大規模津波などがあり、筆者の所属していた研究所でも津波に関する新たな研究が盛んに行われるようになっていました。筆者も津波対策に関わるプロジェクトには参画していましたが、もともと地盤工学を専門とする私たちはどこか津波の恐ろしさを実感できていませんでした。

津波は、陸に近づいたときには、主として流れの問題になります。構造物の周りに津波の流れが生じたときに、地盤がどう洗掘されるのかということが大きな課題となります。この問題については、これまでは水工学的なアプローチが主で、地盤工学的観点で研究したという事例は少なかったようです。東日本大震災によって、この種の問題を地盤工学的観点からも推し進め、メカニズムを深く理解することが必要であるということが強く認識されるようになりました。つまり、2011年以降、水工学の技術者と地盤工学の技術者が協調しながら津波の研究を進めていくことが重要であると認識されるようになりました²⁾。

東京理科大でもこのような観点から、防波堤と防潮堤に関する研究がなされています。防波堤については、図2に示すような鋼管杭式補強防波堤を提案し実用化に向けた研究をしています。この防波堤は、防波堤の港内側に杭を打設することで、防波堤の上部にある大型のケーソンの抵抗性を高めるとともに、ケーソンの背後の地盤の洗掘を抑えることができるため、防波堤の補強につながるという工法です。本学では、模型土槽を用いてケーソンに大きな水平荷重が作用した時の抵抗特性を検討する実験を主として行ってきています。同じ構造について国立研究開発法人港湾空港技術研究所では、水槽の中で防波堤を越流する津波を再現して、水理学的な観点から補強された防波堤の挙動が検討されました。

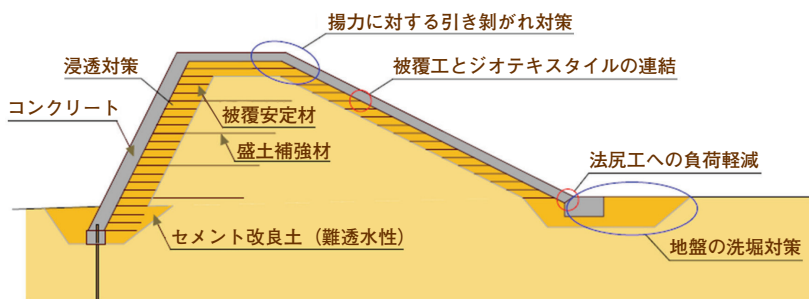


図3 補強土工法を用いた防潮堤のイメージ³⁾

地盤工学的な载荷実験と水理実験はこの研究の両輪で、その二つの成果が合わさって初めて実用的な成果が出ると考えられます。

もう一つの例は防潮堤の津波対策です。これは本学土木工学科の中で二瓶泰雄教授と共同で研究してきたものです。この研究では、同じ実験結果を互いの得意な視点、すなわち地盤工学と水理学の見方をすり合わせていくうちにどんどんと物の見え方が変わっていくということを感じました。

東日本大震災では、津波が防潮堤を越え、その結果、防潮堤が大きく壊され、広く内陸まで津波が押し寄せたことが問題でした。津波が防潮堤を越流しなければ、防潮堤は簡単には壊れませんが、ひとたび越流すると防潮堤を覆っているコンクリートパネルが津波に剥がされることによって内部がむき出しとなり、土砂が水に洗われるために比較的簡単に生じて破壊してしまいます。

本学で主として検討していたのは、防潮堤ののり面を形成する際に補強土工法を適用しようというものです。図3に示すように補強材とコンクリートパネルをつなぐことでコンクリートパネルが引き剥がれにくくなるように補強できるほか、勾配の急なのり面を作ることもできる、補強土式防潮堤が考えられ、その効果について検討してきました。なお、斜面の勾配を急にすることのメリットは、防潮堤の高さを高くするときに余計に土地を買収しなくてよくなり、自然の砂浜を保存できるということがあります。

これまでの検討の結果、この補強による防潮堤の耐津波特性は良好であり、実務に適用できる可能性が高いと考えられます。

おわりに

平成の30年の間にいくつもの大きな地震がありました。そのほかにも、豪雨による土砂崩れや河川堤防の決壊がありました。さまざまな災害を経験して、それに対する対策の考え方や方法が大きく変わってきています。

その最たるものは予防保全の考え方ではないかと思います。従来は、被害があったら対策するという考え方が地盤災害では多かったわけですが、発災後の被害の甚大さを考えると事前に予防的に対策をとっておき、減災できるようにすることが社会全体に対する効果が大きいと考えられるようになりました。実際には対策すべき構造物や斜面は多数あるため、どうしても順番を決めて対策をしていくこととなりますが、それでも地道な努力を積み重ねることで災害に強い社会を築くことができるのではないかと思います。

参考文献

- 1) 土木学会：<http://www.jsce.or.jp/committee/earth/propo2.html>
- 2) 地盤工学会編：講座 沿岸土木構造物の津波に対する対策、地盤工学会誌第63巻第10号～64巻第3号、2015～2016。
- 3) ジオテキスタイルによる粘り強い強化防潮堤開発委員会：ジオテキスタイルによる粘り強い強化防潮堤開発委員会設計・施工マニュアル（案）、p.16、2014。