

# 東日本大震災 津波災害に関する 講演集

第8回国際沿岸防災ワークショップ &  
沿岸技術研究センター創立記念特別講演会より

SHIP CURSOR  
5.76N 37 45.56N  
141.84E 141 04.81E  
0.3KT 0.8NM  
2° 104.4°

ORIGIN  
44.8NM  
207.3°

2011/03/11  
15:49

URM 10.0  
2.54N

財団法人沿岸技術研究センター



## 3.11 Great East Japan Earthquake

本講演集は、国土交通省、(独)港湾空港技術研究所、および(財)沿岸技術研究センターが主催して平成23年9月5日に横浜市開港記念館講堂において開催された「第8回国際沿岸防災ワークショップ～レベル2津波災害からの復旧・復興～」における、河田恵昭先生の基調講演及び「セッション1:東日本大震災における津波災害とその復旧・復興」で東日本大震災について講演された4名の方々の講演を掲載するとともに、平成23年9月20日にホテルルポール麹町で開催された(財)沿岸技術研究センター創立記念特別講演会での高橋重雄氏の特別講演を掲載したものです。



## 第8回国際沿岸防災ワークショップ ～レベル2津波災害からの復旧・復興～

Report No. **1** 基調講演

### 東日本大震災の 復興と減災

河田恵昭 関西大学社会安全学部長・教授

P.4

Report No. **2** 講演

### 2011年東北地方太平洋沖地震による津波 －南海トラフ地震の連動シナリオの再検討－

古村孝志 東京大学大学院情報学環総合防災情報研究センター教授

P.12

Report No. **3** 講演

### 東日本大震災での 津波の被害像

今村文彦 東北大学大学院工学研究科附属災害制御研究センター教授

P.16

Report No. **4** 講演

### 東日本大震災における 港湾被害

富田孝史 独立行政法人港湾空港技術研究所  
アジア・太平洋沿岸防災研究センター上席研究官

P.20

Report No. **5** 講演

### 「撓まず屈せず」 －東日本大震災からの復旧・復興

野田武則 岩手県釜石市長

P.24

## 沿岸技術研究センター創立記念特別講演会

Report No. **6** 特別講演

### 津波防災 －想定外への対応：性能設計

高橋重雄 独立行政法人港湾空港技術研究所理事長

P.28

# 東日本大震災の復興と減災

河田恵昭 関西大学社会安全学部長・教授

日時 平成 23 年 9 月 5 日 (月)

今日は特に東日本大震災の津波にフォーカスしたワークショップですので、「東日本大震災の復興と減災」と題しまして、この災害をどうとらえているかということを俯瞰的な立場から紹介したいと思います。

## 1. 東日本大震災の特徴

### 巨大自然災害

1. スーパー広域災害
2. 複合災害
3. 長期化災害

### 巨大難対応災害

4. 大規模津波災害
5. 社会脆弱災害
6. 対策不全災害

### 巨大社会災害

7. 市町村再編災害
8. 専門家不在災害
9. 物流災害

図1 東日本大震災の9つの特徴

この震災には、九つの特徴があると思います(図1)。最初の三つは、非常に大きな自然災害だったということ、次の三つは非常に対応が難しい災害だったということ、そして最後の三つは自然災害であると同時に実は大きな社会災害でもあるということです。これらの特徴を初めにお話します。

まず、巨大災害としての要件である「スーパー広域災害」に該当する、ということです。この言葉は、私が2003年の土木学会誌にこうい

う災害がわが国で起こると警鐘を鳴らしたときに定義したものです。今心配されている東海・東南海・南海地震が将来起きると21都府県で人的被害が出ます。今回は12道都県で死者が発生していて、241市町村で災害救助法が適用されています。これは16年前の阪神淡路大震災が25市町村なので、その10倍の市町村で被害が生じたということです。

2番目は「複合災害(compound disaster)」です。これも1995年に私が定義した言葉で、それが今回発生し、地震・津波・原子力災害というトリプルパンチを受けています。こういう災害は、実はわが国ではしばしば起こっています。例えば1948年に福井で震災があったのですが、その1カ月後に九頭竜川が氾濫して福井の市内が水没しました。このようないわゆる単独の災害ではなくて連続的に起こる災害、もっと正確に言うと最初の災害の復旧が終わっていない段階で次の災害が起こることを複合災害と呼んでおり、東日本大震災はその典型例です。

3番目は「長期化災害」です。ライフラインの長期機能不全が起こっています。ライフラインというと普通、電気・ガス・水道・電話を真っ先に考えますが、大規模災害になると特に道路・鉄道が

非常に大きく被害を受けるため、震災直後から復旧・復興に大きな影響を与えることが分かっています。

4番目は「大規模津波災害」で、規模的には明治三陸津波に匹敵する被害が出ています。ただし、明治三陸津波のときにはわが国の人口は4000万人で、今の3分の1しかいませんでした。そのなかで、岩手県の沿岸市町村人口の25% (4人に1人) が亡くなっていますが、今回は3%です。そういう意味では、今回の津波は非常に大きかったわけですが、人的な被害については死亡率が随分小さくなっています。これはやはり近代文明の一つの成果だと考えていいと思います。

5番目は「社会脆弱災害」です。特に在宅要介護者の被災が目立っています。いわゆる逃げなかった、あるいは逃げられなかった被災者がたくさんいたということです。ご承知のように、30~50分ぐらい避難の時間があり、かつ近地津波なので震度5強~6弱ぐらいの揺れが約1分続いていたわけです。昨年2月28日のチリ地震津波は遠地津波なので、前触れとなる地震の揺れがなかったのに対し、今回は揺れがあったにもかかわらずこれだけの被害が出ているということは、現在、内閣府を中心にアンケート調査を実施していますが、沿岸住民に津波の認識が薄かったと言わざるを得ません。大きな津波は1933年の昭和三陸津波で、今から80年前にさかのぼります。その間、チリ地震津波等がありましたが、近地津波の大きなものについてはかなり以前にしか起こっていないので、知識が行動に結び付かないという社会の脆弱な部分がやられました。

それから、釜石の湾口防波堤については、その効果があったといわれています。しかし、私たちが被災者に向かって「あの防波堤が4割ぐらい高さを低くしたのだ」と言っても仕方ありません。当地域で、1000人近い犠牲者が出ています。そういう意味で、従来の対策が不十分だったことは間違いありません。しかし、減災効果があったことは分かっています。

7番目は「市町村再編災害」です。ご承知のように、小泉内閣の時代に平成の大合併が推進されました。当時約3300あった市町村が1750に半減しています。そうすると、この広い地域にいる市町村職員が少なくという理由から、行政サービスが低下します。例えば、石巻市は2005年に六つの市町村を合併しました。その結果、人口は16万人ですが、面積は550km<sup>2</sup>あります。550km<sup>2</sup>というのは神戸市と全く同じ面積です。神戸市は今人口は154万人、市

職員の数が1万5000人いますが、石巻は人口が16万人で市職員は1500人しかいません。すなわち、土地面積に対する職員数が非常に少ないという状況下で起こった災害です。対応が遅れるのは当たり前で、避難所が点々とこの広い地域に散在しているという状況が続いています。

8番目は「専門家不在災害」です。被災縣市町村で専門家が極端に不足しています。昨日、一昨日、台風12号が日本列島を縦断し、約90人の方が亡くなっています。進行速度が毎時5~10kmと大変遅いので、台風の東半円では一般に、総雨量が非常に増えます。時間雨量ではなく総雨量が増えるということに注意しなければいけません。ところが、防災担当職員は2年ごとに代わって、それを担当している専門家ではありません。ここに非常に大きなギャップがあります。実は彼らが避難勧告・避難指示を出すのですが、単にその担当というだけで、専門的な知識がほとんど欠けています。このことが、犠牲者が絶えないということにつながっています。今回もそうです。特にわが国では原子力研究者が大変不足しています。現場経験を持っていないため、現場が分かりません。東京電力もそうです。今回は福島第一原子力発電所だけが事故を起こしましたが、調べてみるとほかの原子力発電所でも本当に危ない状況でした。そういう情報はほとんど開示されていないという問題があります。決して福島第一原発だけが事故を起こして危険な状態であったわけではなくて、第二や東海村を始めいろいろな原子力発電所が非常に危ない状態でした。それをきちんと評価する研究者が欠けているということも分かっています。

9番目は「物流災害」です。特にわが国では宅配便に代表されるように、非常に道路輸送に偏っています。これは、舟運あるいは鉄道よりも道路輸送の方がコスト・利便性の面で優位ということで、こうなってしまいました。また、物流は情報が輸送ネットワークと一体となっているから効果があるのですが、この情報が非常に効率重視のネットワークになっていて、情報ネットワークが

被害を受けたために、物だけではロジスティクスとしては機能しなくなり、このような大きな被害につながったということが分かっています。

## 2. 減災対策の重要性

さて、今回の復興構想会議では「減災」という哲学が採用されました。この震災で突然、減災という考え方が出てきたわけではありません。私どもの一連の研究の線上で必然的に出てきた概念です。想定外の外力に対しては、減災対策が防災対策に勝ることを紹介したいと思います。

図2の右にありますように、私は25年前、40歳を前に災害研究に大きく変更して以来、いろいろな専門用語を研究論文の中で作ってきています。「災害の進化」「田園災害」「都市化災害」「都市型災害」「都市災害」「災害文化」。災害文化というのはわが国で初めて作った言葉です。欧米では、「災害下位文化(disaster subculture)」と呼んでいます。サブカルチャーではないというのが私どもの主張です。災害文化は日本には歴然としてあります。

それから「減災」です。国連で1990~1999年まで「International Decade for Natural Disaster Reduction」と言ってきた言葉をわが国は「国際防災の10年」と訳しました。しかし、「Reduction」を「防災」と訳すには無理があるということで、私どもはその当時から日本語で「減災」という言葉を使い、「社会の防災力」、「ソフト防災」、「ハード防災」、「災害マネジメント」という言葉を研究論文の中で造語してきました。また、「巨大災害」や「複合災害」も1995年には私の論文に出しており、これは必ず大きなテーマになるということで英語でも「compound disaster」と名付けました。そして、「acceptable risk (受容リスク)」「tolerable risk (受忍リスク)」という言葉も定義しました。

「災害と貧困の悪循環」という言葉も創りました。途上国は、災害と貧困の悪循環が、都市と地方でカップルになってつながっています。わが国はその変形で、東京首都圏一極集中と地方の過疎と疲弊という悪循環が続いています。現在、わが国で人口が増えているのは首都圏だけです。あとは全部人口が減少しつつあります。途上国では貧困と災害の悪循環が起っていますが、わが国では違った形態の悪循環が定着しています。そして、「スーパー広域災害」、あるいは東京で地震が起こると、阪神大震災と同じ都市災害ではない「スーパー都市災害」になります。首都直下地震では112兆円という被害が想定されていますが、そのうちの約40兆円が首都機能の被害によるものです。災害前にはこのことがよく分からないというジレンマを私たちは今、抱えています。

そこで出てきたのが「減災戦略(disaster reduction strategy)」です。首都直下地震では10年かけて被害をおよそ半分にするという戦略が着々と進んでいます。また、コンピュータの用語でユビキタスという言葉がありますが、私どもは、いつでも、どこでも、誰でも日本にいる限り災害に遭遇するかもしれません。そこで、被害を受けたくないような「ユビキタス減災社会」にしなければいけません。また、2010年チリ地震津波のとき、わが国では168万人に

学術用語 「減災」の誕生	研究の進展に伴って新しい学術用語を創語
1985年頃	大災害は大都市で発生すると確信し、研究テーマを変える。
1986年	災害の進化、田園災害、都市化災害、都市型災害、都市災害、災害文化
1988年	減災、社会の防災力、ソフト防災、ハード防災、災害マネジメント
1989年	巨大災害
1995年	複合災害(compound disaster)、受容リスク、受忍リスク
1998年	災害と貧困の悪循環
2003年	スーパー広域災害(東海・東南海・南海地震)、スーパー都市災害(首都直下地震)、減災戦略
2005年	最悪の被災シナリオ
2008年	ユビキタス減災社会
2010年	生存避難

図2 「減災」に関する研究の歴史

避難勧告指示が出ました。しかし、逃げたのはたった3.8%でした。こんなことでは大変なことになるということで、去年の12月17日に岩波新書で『津波災害』という本を書きました。そのとおりのことが3カ月後に起こりました。その本では、きちんとした津波に関する知識を持って避難しなければいけないということで、「生存避難(survival evacuation)」を定義しました。こうした一連の流れの中で減災というものをきちんと位置付けてきました。

さて、減災には二つ目的があります。被害を出さない、被害をできるだけ少なくする「レジスタンス・ソサエティー」と、効果的な災害対応を行って被害の拡大を抑え、被災した社会を早く安定させるという「レジリエント・ソサエティー」の二つを目指しています。そのためには、ハード対策、ソフト対策だけではなくて、ハイテクとローテクの組み合わせが重要です。すなわち災害対応は人が中心であり、コンピュータがそれを支配するわけでは決してありません。従って、ハイテクとローテクの組み合わせや被害拡大要因を意識した対応が必須です。

そして、社会の減災力を高めるには、一つは抵抗力を高める、つまり起こらないようにすることです。高齢者が病気になるようにするためには、抵抗力を高めることが必要です。でも、病気になったときにすぐに回復することも必要です。つまり、起こることを前提にします。子どもはよく病気になるりますが、すぐに治ります。成人が38度の熱を出すと大変ですが、子どもは38度の熱でもけろっとしています。こういう社会にしなければいけません。ということで、両者を組み合わせた総合減災システムをベースにした社会づくりをしなければいけないということが東日本大震災が起こる前まで私どもが主張してきたことです。

減災戦略というのは、災害が起きることを前提に被害が起きないようにする、もしくは被害を最小限に抑えるということで、過去に起こった災害から学ぶことが基本になります。防災・減災戦略を継続的なものにするには、「災害の教訓をほかの地域やほかの世代の人に伝える」、「中小規模の災害の教訓を学ぶ」、「将来を予測して備える」というキーワードがとても重要になってきます。

では、減災の主役は誰なのでしょう。従来は土木や建築関係のエンジニアと考えられていました。しかし、16年前に阪神・淡路大震災が起きて、減災の主役は市民であることが分かりました。アメリカ合衆国でも2001年9月11日にワールド・トレード・センターで同時多発テロが起きました。あのグラウンド・ゼロの跡地は5年以上議論して今着々と復興が進んでいますが、そこでも主役は市民であることが分かりました。エンジニアや専門家の役割は、復旧・復興に向けた市民の活動を支え、支援することということが日米両国において明確になりました。

### 3. 東日本大震災後の政府の対応

さて、東日本大震災が起って、二つの重要な委員会が政府に設けられました。一つは、4月27日に新しく立ち上げられた専門調査会です。今回の地震の正式名称は「東北地方太平洋沖地震」ですが、この地震を教訓とした地震・津波対策に関する専門調査会

が立ち上がりました。この9月末までに12回開催して、地震・津波モデルの取り扱い、特に今回の教訓を踏まえて将来のモデルをどうするかということと、防災基本計画の中に津波防災をきちんと取り入れることを議論しています。また、防災のいろいろな仕組み、すなわち地域防災計画や災害対策基本法の改訂という作業も視野に入っています。この専門調査会の議論を受けて、今年11月ごろに東海・東南海・南海地震3連動の被害想定に関する専門調査会が立ち上がるはずですが、そして、来年の今ごろ、ほぼ1年かけて被害想定作業を終え、標準的な地震・津波モデルと被害想定が示されることになっています。

しかし、岩手・宮城・福島と違って、西日本は瀬戸内海があり、単純ではありません。地震の起こり方によっては瀬戸内海に大きな津波被害が出て、その入り口の和歌山や徳島あるいは高知、宮崎であまり被害がないということもあり得るし、あるいは逆に瀬戸内海に津波が入りにくくて手前のところで大きな被害になることもあり得るわけで、連動に際しても同時あるいは時間差というものがとても重要な意味合いを持ってきます。従って、標準タイプの地震の起こり方だけにとどまる問題ではないことが現状でも分かっています。東海・東南海・南海は非常に喫緊の問題です。これをどうするかということを実際に議論していく準備が始まっています。

一方では、この復興をどうするかということで、復興構想会議が首相の諮問機関として設置されました(写真1)。そして、1カ月かけて委員15名の状況認識の統一化を図りました。状況認識の統一化というのは、それぞれの委員の立場、経歴が違うことを配慮したものです。例えば、災害の研究者は私一人でした。従って、この東日本大震災を災害の研究者としてどうとらえているかということをはかの14名の委員に知っていただく必要があります。それに1カ月かけました。そして5月の連休には、委員全員で岩手・宮城・福島の被災地を訪れました。現場を見た後、復興構想7原則を確認し、この復興構想会議の提言をまとめる作業に入りました。同時に、東日本大震災復興基本法が政府から提案され、6月24日に成立しました。そして翌日、菅総理に第1次提案を手渡し、7月29日に政府は復興事業の基本方針を公表しました。復興事業



第1回復興構想会議  
4月14日

The 1st Council Meeting at Prime Minister  
Official Residence in April 14

写真1 復興構想会議風景

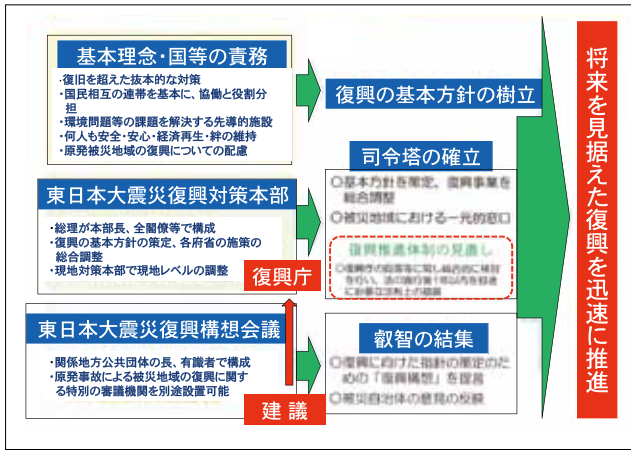


図3 東日本大震災の基本方針及び組織に関する法律(概要)

- 原則1：失われたおびたしい『いのち』への追悼と鎮魂こそ、私たち生き残った者にとって復興の起点である。この観点から、鎮魂の森やモニュメントを含め、大震災の記録を永遠に残し、広く学術関係者により科学的に分析し、その教訓を次世代に伝承し、国内外に発信する。
- 原則2：被災地の広域性・多様性を踏まえつつ、地域・コミュニティ主体の復興を基本とする。国は、復興の全体方針と制度設計によってそれを支える。
- 原則3：被災した東北の再生のため、潜在力を活かし、技術革新を伴う復旧・復興を目指す。この地に、来たべき時代をリードする経済社会の可能性を追求する。
- 原則4：地域社会の強い絆を守りつつ、災害に強い安全・安心のまち、自然エネルギー活用型地域の建設を進める。
- 原則5：被災地域の復興なくして日本経済の再生はない。日本経済の再生なくして被災地域の真の復興はない。この認識に立ち、大震災からの復興と日本再生の同時進行を目指す。
- 原則6：原発事故の早期収束を求めつつ、原発被災地への支援と復興にはより一層のきめ細やかな配慮をつくす。
- 原則7：今を生きる私たち全てがこの大災害を自らのことと受け止め、国民全体の連帯と分かち合いによって復興を推進するものとする。

図4 復興構想7原則

は復興構想会議の提言で取り上げられなければ採択されないため、大きなプレッシャーの下で10月の中旬に向けて第3次補正予算案、それから来年度からの概算要求の内容が今、議論されています。会議は12回行いました。首相官邸の3階の大会議室で行ったのですが、長いときには6時間の議論を経て、提言をまとめる作業をしました。

この東日本大震災の復興基本法の枠組みはこうです。基本理念や国等の責務としては、復旧を超えた抜本的な対策、国民相互の連帯を基本に協働と役割分担、環境問題等の課題を解決する先導的施設、何人も安全・安心・経済再生・絆の維持、原発被災地域の復興についての配慮といったことが示されています。その考えの下に復興対策本部が設けられ、いずれ復興庁に格上げされることになっています。そして、構想会議はこれから10年間にわたって、この対策本部・復興庁に対して建議する、あるいはフォローアップ委員会の役割を担い、この事業がうまく進捗しているかどうかのお目付け役をすることになっています。内閣が変わりましたが、この枠組みはそのまま維持することになっています。

さて、復興構想7原則がベースにないと、なかなか復興の提言ができません。原則1は「失われたおびたしい『いのち』への追悼と鎮魂こそ、私たち生き残った者にとって復興の起点である。この観点から、鎮魂の森やモニュメントを含め、大震災の記録を永遠に残し、広く学術関係者により科学的に分析し、その教訓を次世代に伝承し、国内外に発信する」となっています。

第3次補正予算では、ナショナルプロジェクトとして、学術の対象としてこの震災をどうとらえるかという予算が計上されることになっています。いずれこの場におられるたくさんの方にも、その研究の枠組みが示されることになるとと思いますが、これまでのように大学主導ではなくて、いわゆる研究所・研究機関が中心になってこのプロジェクトを進めることになっています。そして、原則5は「被災地域の復興なくして日本経済の再生はない。日本経済の再生なくして被災地域の真の復興はない。この認識に立ち、大震災からの復興と日本再生の同時進行を目指す」となっています。これは、決してローカルな災害ではないということです。この災害から被災地を復興させるには、国全体が頑張らなければいけないという覚悟を示しています。最後の原則7は、「今を生きる私たち全てがこの大災害を自らのことと受け止め、国民全体の連帯と分かち合いによって復興を推進するものとする」となっています。この7原則の下で今、復興構想会議の提言が第3次補正あるいは概算要求に盛り込まれようとしています。

提言の内容は、「1.新しい地域のかたち」「2.くらしとしごとの再生」「3.原子力災害からの復興に向けて」「4.開かれた復興」の四つに分類されています。実際、この7月末に『復興への提言～悲惨のなかの希望～』という冊子が印刷されています。この提言書は各国語に訳されて世界に配布されることになっています。わが国の政府の取り組みを世界の多くの人たちに知っていただくという試みが始まっています。

#### 4. 減災に向けた先行投資の必要性

大手の新聞社は復興構想会議の提言の骨子を六つ挙げています。「増税」「減災」「特区」「再生エネルギー」「原子力発電」「国と地方」です。しかし、一つ重要なものが抜けています。それは減災のための先行投資です。わが国のメディアの情報リテラシーの低さがそこに出ています(図5)。23兆円の復興事業経費のうち1

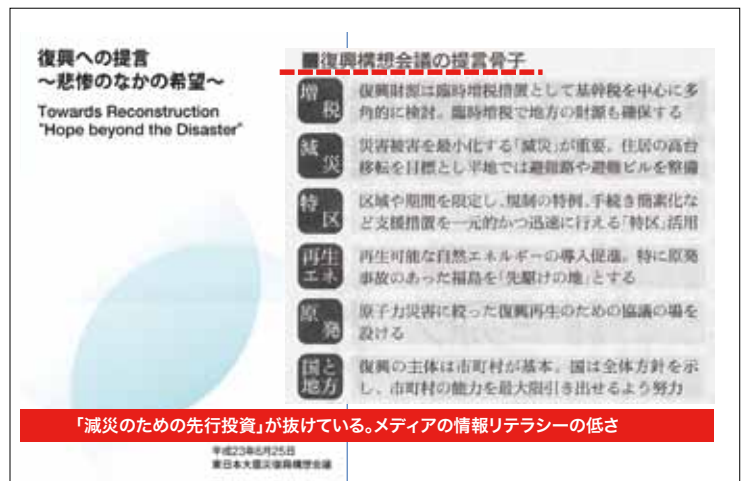


図5 マスコミが掲げた復興構想会議の提言骨子

- 復興期間:10年
- 総事業費:23兆円規模  
(当初5年:19兆円程度)

#### 内訳:

- 1.救助・復旧事業:10兆円
- 2.土地区画整理、高台などへの防災集団移転、被災市街地の整備:5.3兆円
- 3.中小企業の資金繰り支援: 兆円
- 4.全国的な防災・減災事業:1兆円

図6 復興事業骨子(7/21現在)

兆円は、日本全体の防災・減災事業に使えるように計画されています(図6)。私どもの専門調査会が防災基本計画を改訂し、地域防災計画を来年改訂するというのは、わが国で災害が起こる前に先行投資ができる枠組みを初めて提案するということなのです。今からちょうど50年前にできた災害対策基本法は、その2年前に5098人が亡くなった伊勢湾台風をきっかけにできた法律です。しかし、当時はわが国が高度経済成長にさしかかる入り口にいました。国も個人も大変貧しい時代でした。従って、起こった災害を2度と繰り返さないという法律です。これを言い換えると、被害が先行しない限り対策されないという法律なのです。これでは大きな災害が起こったときにあまりにも被害が大きくなります。そのため、先行投資を可能にしなければいけません。

今回の津波で岩手・宮城・福島沿岸のおよそ190kmにわたって海岸護岸あるいは防災施設が被害を受けました。しかし、被害を受けていない施設は、今の法律では補強できません。それをどうするかということがとても重要なのです。津波というのは、地震空白域で起こります。ということは、今回大きな津波が来たところには当然来ません。今回来なかったところにつぎの地震が起こると、大きな津波が来る確率の方が高いです。そう考えると、特に津波を考えた先行投資がどうしても必要になります。そういう意味で、この復興事業の中に全国的な、すなわち東日本大震災の被災地だけにターゲットを絞るのではなくて、東海・東南海・南海や首都直下地震に対しても、この事業が展開できるような枠組みが示されたということです。

## 5. 復興のまちづくりに向けて

提言の本論に入ります。ここで「減災」「逃げる」「つなぐ」という非常に大切なキーワードがあります。「つなぐ」というのは、人と人、地域と人をつなぐコミュニケーションの重要性、ネットワークの重要性をこれからの地域づくり、国づくりに使っていくということです。そして、高齢者や弱者にも配慮したコンパクトなまちづくり、暮らしやすさや景観、環境、公共交通、省エネルギー、防犯の各方面に配慮したまちづくり、そして逃げることを前提とした地域づくりが基本となりますが、復興にあたっては鉄道、幹線道路、公共・公益施設、商業施設の移設、復旧等々について連携しなければいけないと書いています。その上で、①平地に都市機能が存在し、ほとんどが被災した地域、②平地の被災地が被災し、高台の市街地は被災を免れた地域、③斜面が海岸に迫り、平

地の少ない市街地及び集落、④海岸平野部、⑤内陸部や液状化による被害が生じた地域、の五つのパターンでまちづくりの基本的な姿が示されています。釜石市長が示されたのもその中の具体的な一例です(本書レポートNo.5参照)。これからそれを擦り合わせなければいけません。

でも、急ぐことはありません。急ぎますと、中途半端な復興になります。従って、ここは性根を入れてやらなければいけません。明治三陸地震、昭和三陸地震の後、被災地で高地移転した集落が32あります。32集落のうち今回23集落がまたやられました。すなわち、高地移転の高さが不十分だったことが分かっています。こういった中途半端な高地移転というのは、かえって被害を大きくするということが分かっています。それを何とかしなければいけません。従って、最悪の被災シナリオを想定することが重要です。そうすることにより、最も効果的な対策を考えるようになり、また他人事といった意識もなくなります。要は、被害がどうなるかということが大事なのです。1000年確率や2000年確率が良いというものではなくて、必ず都市にはボトルネックになる浸水の深さがあります。これを防がなければいけません。これがどのような津波によって、あるいは高潮によってもたらされるかが重要なのであって、構造物を設計する基準をそのまま社会づくりに適用してはいけません。

そして、わが国の社会の悪弊として、抜本的に変えることを拒否する風潮があります。ただし、抜本的に変わった例が二つあります。一つは、江戸末期から明治維新です。このときは外圧、内圧、それ以外に1855年の安政江戸地震、翌年の東京湾の大暴風雨などの自然災害によって江戸幕府が非常に疲弊しました。これが明治維新につながりました。わが国の改元、すなわち明治から大正、大正から昭和という元号の変化は180例ありますが、歴史学者は政治的なことで時代が変わったと説明しがちです。しかし、その半数は疫病や災害や忌まわしいことが起こったので元号を変えたのです。例えば、私たちが知っている1854年の安政東海地震、安政南海地震が実際に起こったのは嘉永7年です。この嘉永という年号が不吉だということで、安政という名前に改元されました。もう一つは第二次世界大戦における敗戦です。いずれも外部要因が存在していました。

今、わが国の信号はLEDに替わりつつあります。この信号の長所は、球が切れないこと、それから非常に省エネになることです。イギリスは1年間ですべての交通信号機の電灯をLEDに替えました。わが国はまだ十数パーセントです。これはなぜかと言うと、球が切れないと信号を維持管理する会社の仕事なくなってしまうからです。わが国で最初にLEDが入ったのは当時国家公安委員長だった後藤田正晴さんの地元の徳島で、選挙事務所の前の信号灯をLEDに替えました。信号の維持管理会社は、警察官の退職後の再就職先になっています。全部計算すると約100万kW、さらに電車、鉄道の信号を入れると約200万kWの電力を消費しています。こういったものを全面的に替えるという動きがわが国では全然ありません。



## 抜本的改革のない江戸(東京)

### 1666年ロンドン大火

- 13,200戸焼失(シティの85%)
- 1667年再建法
- 木造建築の禁止,街路の最小幅員の制定,火災保険の誕生

### 1657年明暦の大火(振袖火事)

- 市街地の大半を焼失
- 死者は3万から10万人
- 定火消,ついで町火消制度を確立,まちの一部改造



抜本的な対応 現状の是認,対症療法  
首都機能移転問題の棚上げ

図7 ロンドンと日本の災害に対する対応の比較

この風潮は、1666年のロンドン大火と同じころ江戸で起こった明暦の大火を比較してもそうです(図7)。ロンドンではその後木造建築を禁止し、街路の最少幅員を制定して、火災保険が誕生しました。以来、イギリスでは大火は1件も起こっていません。当時は産業革命の前で、イギリスはうっそうたる森に覆われていました。決して石だけがあつたわけではありません。わが国はどうだったかという、そのときあつたのは大名火消しという消防組織です。それでは足りないというので、旗本を中心に定火消、そして町火消も作りました。つまり、対症療法を行ったのです。その結果、1976年の酒田の大火まで、500件を超える大火がわが国で起こりました。

第二次世界大戦末期、東京大空襲がありました。アメリカ軍は風の強い日に500万発の焼夷弾を落として、30万人死にました。日本の都市は紙と木でできている、爆弾は要らない、燃やせばいいということで町は壊滅しました。ですが、それ以降も抜本的な改革をわが国では行っていません。小手先で力関係を勘案しながら変化させることしかやってきていません。

現在、高所移転についても、いろいろな問題が指摘され、高所移転が不可能であるかのような論調がメディアを中心にあります。しかし、ここで決心してやらないと、またやられることを考えなければいけません。国交省でも今後の津波対策は、これまでの防波堤・防潮堤等の線による防御から、河川・道路・まちづくりも含めた面による多重防御への転換が必要です。例えば国道45号線、あるいは三陸鉄道の復旧に当たっては盛土構造にします。三陸鉄道のかつてのトンネルの位置は変えられないのですが、路線の位置はそれを考えて変えるということも視野に入っています。このように面で津波を受けるといことです。

既存の防潮堤や護岸は越流すると足元が掘れます。ハリケーン・カトリーナで被災したニューオーリンズの防潮堤もそうでした。越流した途端に洗掘が起こって堤体がその穴に落ちたのであって、決してコンクリートがばらばらに壊れたわけではありません。設計外力以上の津波が来て越流が起こったときに、もろくもつぶれてしまいます。ご承知のように、近地津波は5~6波やって来るので、第1波で壊れるとほとんど防災能力がなくなってしまう

す。そういう意味で、粘り強い構造物をこれから作っていく、あるいは維持管理することが重要になっています。

そして、住民間の合意形成とまちづくり会社等の活用、復興を支える人材支援、人材の確保が重要ということで、今国交省を中心に法律の改正をやっています。本年末には津波防災地域・まちづくり施策の法律が国交省から経産省あるいは農林水産省との協議の下で提案されることになっています。これまでの法律は非常に弾力性に乏しいものでした。例えば1993年に北海道南西沖地震がありました、奥尻の青苗は今、素晴らしいまちになっています。しかし、当時の人口4700人が今3000人に減りました。これではまちづくりは成功したとは言えません。美しいまちづくりではなく、活気のあるまちづくりをしなければいけません。そのためには、入れ物だけの議論では困ります。今回、岩手・宮城だけで250の漁港があります。そのうちの200港が第1種漁港、すなわち地元の漁師しか使いません。この200港をまた復旧するのかという問題があります。高齢化率が40%を超えて人口過疎になって、いずれ人が住まなくなることが推定されるところでどう復興するのかということも、地元の人たちとひざを合わせて議論し、その方向性を見出していかなければいけません。

## 6. 復興まちづくり計画の提案

私は震災から10日後に復興まちづくりの案を提案しました。被災者に必要なのは夢や希望です。子どもや孫のために頑張ろうという気持ちが大事です。みんなが災害に打ちひしがれている環境の下で夢や希望を見いだしていかなければいけません。そして、あらゆる復旧事業には鎮魂がなければいけません。2万人に近い犠牲者が出ており、その鎮魂がベースになければいけません。鎮魂とは、関係者が集まって犠牲者の分を含めて議論することです。逆説的ですが、極端に言えば、もめればもめるほど良いわけです。「鎮魂」に「祭」を付けて「鎮魂祭(たましずめのまつり)」と辞書に書かれています。祭祀というのは本来そのような意味であり、多くの人はにぎやかさ、華やかさ、物売りの祭りだけを想定していますが、それは誤解です。7月の京都の祇園祭りは、くしくも869年に東日本大震災の土地を襲った貞観地震を契機として作られた祭りです。荒ぶる天の意志を鎮めるために作った祭りなのです。このように、鎮魂をベースにまちづくりをやっていかなければなりません。

ですから、私はこの七つの原則を示しました(図8)。⑦に津波

- ①被災者は元の居住地に戻る。
- ②土地の所有権の売買は生じない。
- ③将来の津波災害の脅威から解放される。
- ④水産業、農業、観光業など地元産業の重視・奨励と環境産業などの育成と地域振興を目指す。
- ⑤エコタウンであり、資源・エネルギー的に持続可能な社会を目指す。
- ⑥新しいまちづくりの担い手は被災者であり、関連公共事業において雇用を創出する。
- ⑦津波残存物を原則、被災地内で分別処理し、活用する。

図8 復興まちづくり計画の基本コンセプト

残留物があるように、これを震災がれきと呼んではいけません。なぜかと言うと、そこに住んでいた人の大事なものがすべて流されたわけです。これは地震によって家がつぶれたのと同じではありません。家がつぶれた後のがれきの中からは、大事なものが壊れていても取り出すことができました。今回は全部なくなりました。そういう人生の思い出、家庭の思い出の入った大切なものがこの中に入っているということで、この津波残存物を原則被災地内で分別処理し活用するという案を環境省あるいは防災

担当大臣にお示しました。

そして、ポンチ絵を描きました。この絵にあるように、陸前高田のような非常に市街地が広いところでは、鉄筋コンクリートの柱で地盤の高さを上げる、そしてその下は淡水湖にして雨水をためる、あるいは付近を流れる川が氾濫したらそこへ水を入れる、そしてこの津波残存物の木質系はここで塩抜きをするというように使えないか考えています(図9)。ポンチ絵だけでは駄目ですので、90cm×90cmのジオラマを作りました(写真2)。



図9 鳥瞰図



写真2 パース



図10 鳥瞰図



写真3 パース



図11 鳥瞰図



写真4 パース

また、石巻のように集落が点々とあるところでは高地移転をしていただきます。そして真ん中の旧市街地だったところには津波残存物で丘を作り、いざとなったらそこに逃げ上がるというものを作りました。そこにもやはり淡水湖を作って水をストックするということを考えています(図10、写真3)。

そして、仙台の荒浜のような近郊農地では、海岸防風林だったところにこの鉄筋コンクリートでジャングルジムのようなものを作り、そこに津波残存物を入れて、バイパス道路にします。その背後は、近郊農地として新たに再生するというものを提案しました(図11、写真4)。

私もはこのとおりにやっていただきたいと言っているわけではありません。被災者を中心に、こういう案を基に、ああでもない、こうでもないという議論をしていただきたいのです。実はこれが鎮魂なのです。これに時間をかけずに急ぎますと、後悔することになってしまいます。そのことは大変心配されますが、とにかく現在、こういう青写真の下で検討が進んでいるということです。

写真5、6は、釜石市役所に今張られているポスターです。「夢は勝つ。必ず勝つ」「前よりいいまちにしてやる」というポスターを見ながら被災者たちは頑張っています。皆さま方のご支援もいただきたいと思います。



写真5 復興の狼煙(ポスター)



写真6 復興の狼煙(ポスター)

# 2011年東北地方太平洋沖地震による津波 —南海トラフ地震の連動シナリオの再検討—

古村孝志 東京大学大学院・  
情報学環総合防災情報研究センター教授

日時 平成 23 年 9 月 5 日 (月)

## はじめに

東日本大震災では、なぜ東北でマグニチュード9.0という大きな地震や、信じがたい大きな津波が起こったのでしょうか。それを調べるために、今、いろいろな研究が行われています。今日はそういう研究の中から少しずつ分かってきたことについて幾つかご紹介して、その次に心配されている東海・東南海・南海地震に関して、どういう備えが必要か、また、何を考え直さなければならないのかという話をしたいと思います。

## 1. 今回の地震による地殻変動

今回マグニチュード9.0の地震が起きた宮城県沖では、これまで数百年間ずっと、マグニチュード7.5～8.0の地震が繰り返し起きてきました。前に起きた地震は1978年で、今後30年以内には次の宮城県沖地震が起きるだろうと言われていました。実際に起きた地震は想定していた7.5～8.0ではなく9.0で、岩手から茨城までの非常に広い範囲を一気に破壊しました。それだけではなく、この日本海溝付近の浅いプレート境界、つまり、プレートが沈み始めて、地震があまり起きないと思われていたところまで大きくずれ動いたことが、今回の大きな災害、津波の原因になったわけです。

これまで、むしろ南海トラフで東海・東南海・南海地震という巨大地震が起こることがずっと心配されていました。ここでは、マグニ

チュード8.4～8.7の地震が100～150年周期で起きています。そうすると、今回の地震や、ここから新たに考えなければならない知見も、この次に起きる南海トラフの地震に当てはめていかなければいけないということです。

今回の大変大きな地震の揺れや津波は、日本各地に置かれたいろいろな地震計や津波計で記録されました。日本に置かれた1,800カ所の地震計が、地震の揺れが広がっていく様子を時間とともに記録していました。

それによると、宮城県沖から破壊が始まり、非常に強い揺れがまず1回ありました。地震から60秒後に2回目の大きい揺れが来て、160秒後、茨城に大きな揺れが現れて、その揺れが日本全体に広がり、5～7分たっても、まだずっと揺れが続いています。このことから、いかに大きな地震であったかが分かります。

図1はその最大加速度を表したものです。色の濃いところが重力加速度の1Gを超える場所で、この地震によって東北地方や関東にかけて、非常に広い範囲で重力加速度を超える強い揺れに見舞われたことが分かります。

図1中の波形図は震源に近い宮城ですが、この目盛が2Gですから、重力加速度の2倍です。その時間が何分も続いたということが観測記録から分かり、いかに大きな地震であったかということです。

強い加速度が出ただけではなくて、地震が収まった後に、大きな地殻変動と地殻の伸び縮みが一緒に現れました。国土地理院の

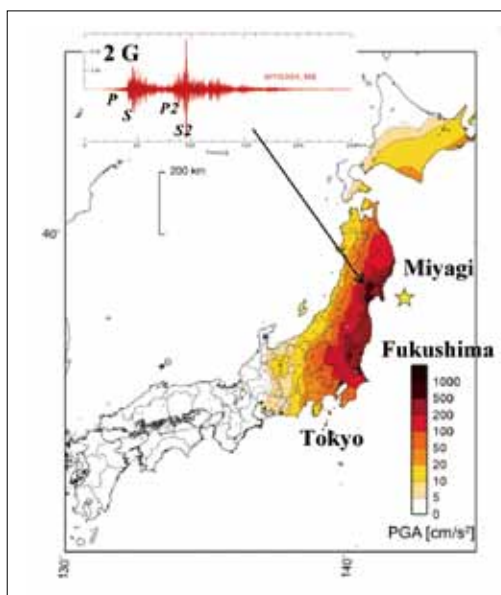


図1 最大地盤加速度

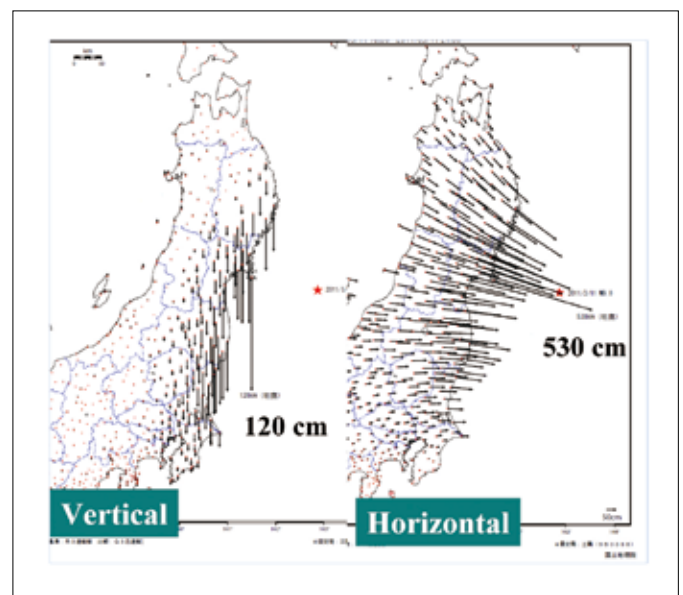


図2 地殻変動の観測データ

GPSを使った地殻変動の観測データを見ると、水平動で、牡鹿半島が最大530cm東にずれ、東北全体が伸びてしまっています。

それから、震源域からは少し遠くなりますが、例えば東京や横浜でも、50cmくらい動いています。東京大学地震研究所にある地震計の記録を見ると、これは東西成分ですが、まず西に50cm、東に60cm動いて、また元に戻って、その後10cmくらいの揺れが5~6分と続いています。最終的に0線がずれて、5cm東に動いてしまっています。つまり、今、横浜も東京も5cm以上東にずれ、地震前の場所にはありません。遠く離れたところですらそうなので、震源域の辺りでは、いかに大きな変動が起きたかということを物語っています。

## 2. 今回の津波発生メカニズム

こうして海に現れた地殻変動は、海水を持ち上げて、大きな津波をつくりました。この地震による大きな津波は、東北大学と東大地震研によって設置していた釜石沖の海底ケーブル津波計に、非常にきれいに記録が残されています。なぜ、この釜石沖に海底ケーブル津波計が設置してあったのでしょうか。将来ここで宮城県沖地震が起きることが予想されていたので、震源のすぐそばで記録をして、地震の研究に生かそうと置いてあったのです。

これは圧力センサーですから、津波計の上を伝わる津波、つまり海水の高さを検出して、図3のように記録として出力します。例えば、沖合80kmの観測点の記録(青線)と、沖合45kmの観測点の記録(赤線)を見ますと、地震が起きて、最初は揺れて、海面が2mくらい盛り上がり、それでも大変な津波なのですが、その後海面が下がるのかと思うと、もう1段階、今度は5mまで急激に津波が盛り上がっています。沖合40~50kmのところで既に5mですから、それが沿岸にやってくると、増幅して15~20mになり、大変な津波になったということです。それがケーブル記録計によって記録されていた。ただ、今回、これを警報に生かすという仕組みができていなかったことは、非常に残念だと思います。

さて、海底ケーブル津波計の記録を使って、一体プレート境界のどこが大きくずれ動いたのかを、地震が起きた直後に解析しました。そのプレート境界を12枚の断面に切って、それぞれが何メートルずつ動いたのか、また、それを使えば、釜石沖で海底ケーブル津波計が記録した異常な津波の盛り上がりを説明できるのかという解析を地震の後に行いました。

そうすると、深い部分で10~20mのすべりがありました。これはマグニチュード9.0の地震としては標準的かもしれませんが、海溝付近の沈み込み始めのところでは57mで、異常なプレートのすべりがこの津波の記録から分かったのです。このように海溝付近が大きく盛り上がり、ずれ動いたことによって、海底が大きく変動しました。そして、海面が急激に10m以上持ち上げられて、巨大な津波

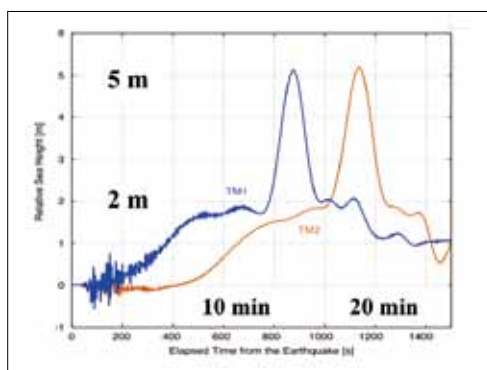


図3 海底ケーブル津波計の記録

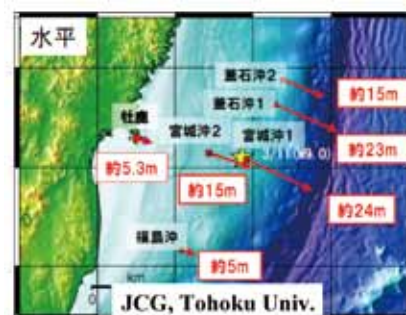


図4 GPSによる海底振動の観測

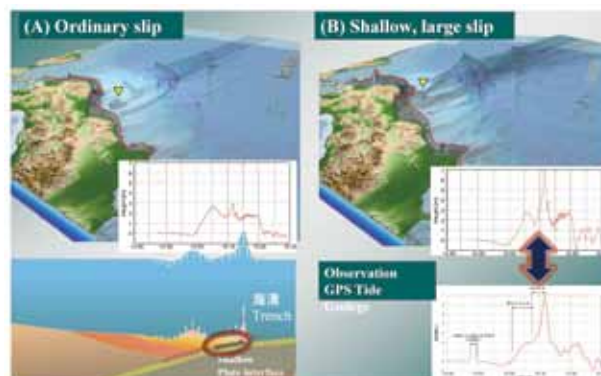


図5 浅部プレート境界の大滑りによる巨大津波

が生成され、それが沿岸に押し寄せたということが分かったわけです。ただ、このようなことを地震が起きた後で解析しても、何の役にも立ちません。もっと早くこういうケーブルデータを警報に生かすべきだったということ、この地震の後、非常に思い知らされました。

57mもすべったという結果が出ましたが、最初は全く信じられなかったというのが正直なところです。そもそも今までの地震学の常識では、海溝付近で大きくすべるということはありえなかったからです。しかも、そのすべりが、スマトラで起きた地震よりも2倍以上大きい五十数メートルにもなるということは、はっきりいって分かりませんでした。

その後アメリカの遠地実体波や世界中の地震計を使った解析からも、海溝付近が大きくすべったという結果が出ています。それから、日本の近地にたくさんある地震計を使った解析でも、海溝付近が大きくすべったという結果が出ています。津波もそうです。さらに、海上保安庁が海に置いていた海底変動の観測点を詳しく調べると、宮城沖では15m、海溝に近づいていくと24mとどんどん大きくなっています。こういう直接の実測データが入るようになってくると、海溝付近が大きくすべったと信じざるを得ないわけです。

深い部分だけでプレートをすべらせると、どうい津波になるのでしょうか。国交省のGPS波浪計の波形と比較しても、全然合いません。途中まではいいのですが、その後は合いません。それから、浅い部分も大きくすべるとを加えて計算するとぴったり合うということからも、海溝付近で大きくすべったことは確実ではないかと思えます。

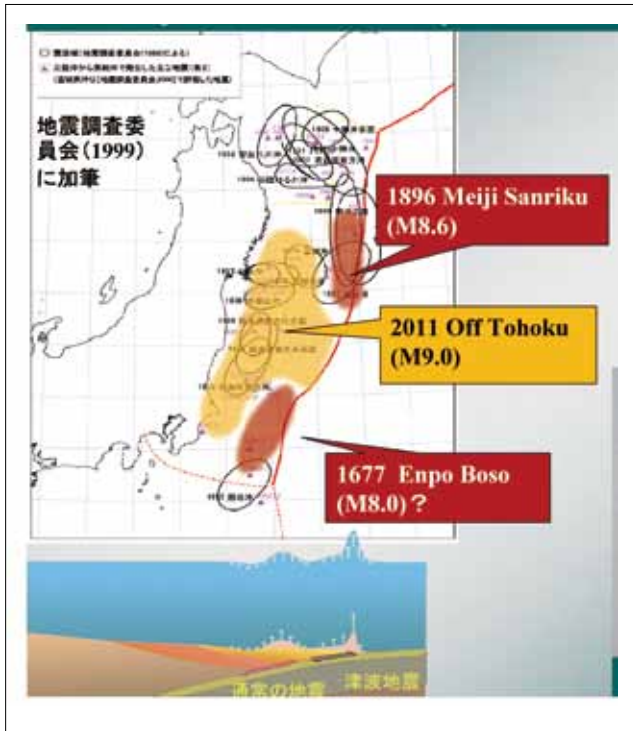


図6 通常の地震と津波地震の連動

ではいったいこの地震で何が起きたのでしょうか。宮城県沖では津波地震が起きないと言いながらも、過去には例えば、1896年に明治三陸地震という津波地震が起きています。その南では1677年に延宝房総沖地震という津波地震が起きています。ご存じのとおり、津波地震というのは、大きな揺れはないのに、大津波が突然やってくるという非常に厄介な地震です。その空白域であったところが、今回の大きな地震が起きたときに、連動して起きてしまいました。つまり、津波地震単独でも大変なものが、大きな地震と連動したことによって、普通以上に大きくすべってしまいました。これが今回の大きな津波の原因で、最悪の不幸を生み出したのではないかと思います。

そう考えると、普通的大海溝型地震が連動して大きくなるだけでなく、プラスアルファで津波地震が起きるところも連動し、いつも以上に大きな津波が出るという現象は、ほかでも起きるということを考えざるを得ないと思います。

### 3. 東海・東南海・南海地震もおける連動シナリオの再検討

今回は、大きな地震が起きた岩手沖から茨城県沖までの連動プラス、津波地震が起きる海溝付近の連動がありました。このことを西日本に目を向けてみると、東海・東南海・南海地震が3連動した宝永地震が最大ではないということです。今回のような海溝付近が大きくすべった地震でいうと、1605年の慶長の地震も津波地震でした。その二つが同時に起こるということも、これからは考えなければいけないのではないのでしょうか。つまり、怖いのは東海・東南海・南海の3連動ではなくて、津波地震と一緒に引き起こすような地震です。それが3月11日に起きてしまったので、これからは考えを変えていかなければならないのではないかと思います。

では、本当に南海トラフで、そんな3連動を上回るような地震が起きるのでしょうか。そして、そんな津波が過去にあったのでしょうか。よく分かっていないのですが、それを示すような証拠は、実は幾つか、既に見つかっているのです。例えば、図7は高知の蟹ヶ池にある津波堆積物の調査です。高知大学の岡村先生らが調査されている結果を借りてきたものですが、高知の蟹ヶ池というところは、津波は毎回来るわけではなくて、3回に1回来ます。つまり、宝永地震、康和地震、天武地震のときには、そこに津波がやってきて、5cmくらいの津波堆積層が残っています。でも、それよりもっと大きい50cmもの津波堆積層が紀元の前後ですから、今から2000年ほど前に起きたらしいということが、前から議論されていました。このことは3月11日の地震が起きるまで、こんな大きな津波が起きる原因というのは、とても説明がつかなかったし、私も分からなかったわけです。でも、ひょっとすると、これが東日本大震災と同じようなメカニズムでできた可能性はあると思います。

では、これからそういう地震が仮に起きたとしたらどうなのでしょう

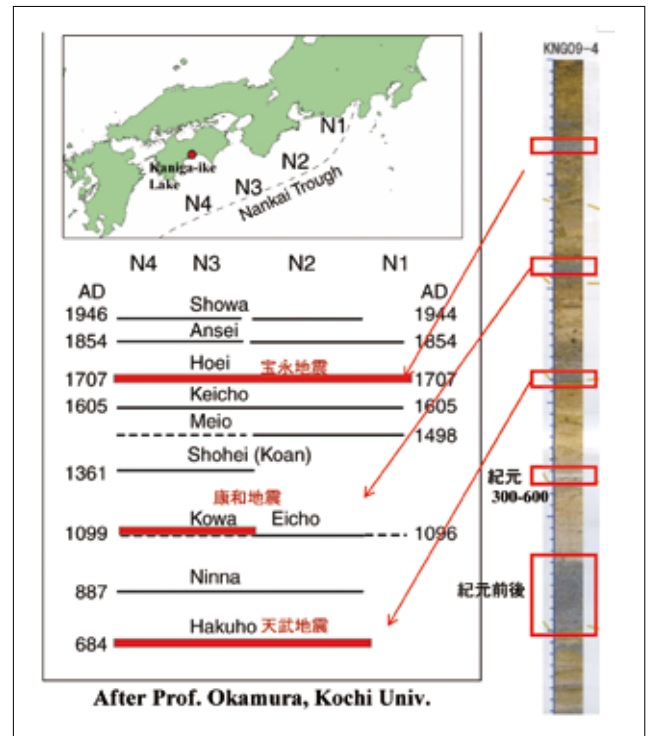


図7 津波堆積物調査結果

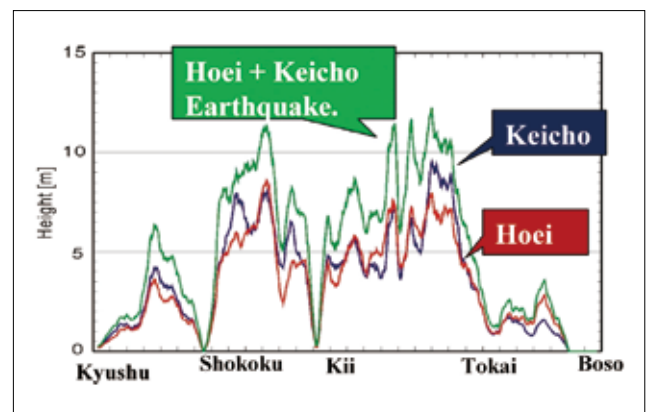


図8 津波高分布

ようか。あるいは、2000年前の津波がいったいどういうものであったのでしょうか。一つのシナリオとして、宝永地震の3連動と慶長地震が同時に起きたときの津波のシミュレーションを行ってみました。

その結果を図8に示しています。宝永地震のときの津波の高さが赤で、慶長地震のときの津波の高さが青です。同時に起きたときの津波の高さは緑です。その場合は、宝永地震の3連動よりも1.5~2倍ぐらい高くなります。今の想定では、これはあくまでも一部分で、ある一面しか見ていません。それよりも1.5~2倍大きい津波が起きるということを、これからは少なくとも検討しなければいけないのではないかと思います。

以上のように、今まで考えていた想定は必ずしも最大ではありませんでした。過去にもっと大きな津波をつくった地震が起きていたのかもしれない。そして、次に起きる地震はそれ以上のものになるのかもしれない。事前に想定するということの限界、難しさをあらためて思い知らされたわけです。

#### 4. 新たな津波シミュレーションモデルの開発に向けて

釜石沖に設置してあった海底ケーブル津波計が物語っているように、これからは海で直接観測することが重要です。これから地震が起きる東海・東南海・南海の震源域に海底ケーブル津波計を設置すれば、宮城沖で生まれた本物の津波の記録を基に、高速コンピューター、例えば、今、神戸にある京コンピューター (K Computer) などを使って、津波のシミュレーションを一気に始めることができます。そうすれば短い時間で、沿岸に津波が到達する前に、本当の観測データを使った津波の警報が出せるようになるのではないのでしょうか。今の津波警報の枠組みはもちろん、それに加えて新たな津波警報の仕組みがこれからできるのではないかと期待しています。

現に、海洋研究開発機構のDONETのグループによって、熊野灘沖の海底ケーブル津波計の設置が既に行われており、20点の設置が終了しています。そして、DONET2という、南海地震が起きると言われる西側にこういうケーブル計の設置をこれから広めていくという計画が進められています。

それから、こういう大きな揺れ、地殻変動、津波を作り出す巨大地震の災害を予測するためには、従来のように地震動は地震動、津波は津波、地殻変動は地殻変動と、それぞれの研究者がばらばらにやっていたは駄目です。それで、私たちは今、こういう地震、津波、そして地殻変動を同時に一つの方程式で計算するという新しいシミュレーションモデルを高速コンピューターを活用してつくっています。

従来、計算していた運動方程式に、移流項と一緒に計算して、津波の復元力である重力項を加えます。これは一つの二次元のモデルですが、地震が起きて、地面が揺れて、海底の隆起・沈降が起きて、海水を持ち上げて津波として伝わります。こういう地震に関する現象すべてを一気に解くことが、これからは可能になると思います。そのためには非常に大きな計算が必要になりますが、たくさんの

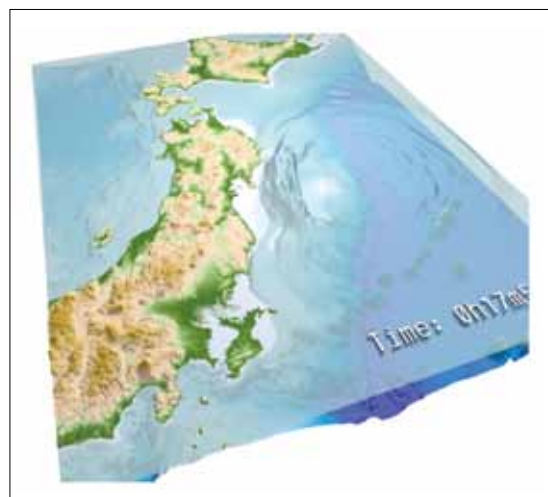


図9 地震動と津波のシミュレーション

CPUを使った並列計算によって実現可能だと思います。

図9は、横浜にある海洋開発研究機構の地球シミュレーターを使って、この3月11日の地震の再現を今、試みているものです。これは従来の地震動と津波のシミュレーションではなくて、地震動や海中音波が伝わって、地面が揺れて、その後、地殻変動が表れて、地面が隆起・沈降して、海水を持ち上げて津波として伝わるということを一気に解くことができます。ただ、今は地球シミュレーターを使っても1kmという非常に粗い解像度で、計算するのに2時間かかります。これでは全然、防災には間に合わないわけです。ただ、神戸にある世界一の京コンピューターを使うことによって250mの解像度で10分以内、さらにもっと早い計算機があれば、より短時間で津波の計算ができるようになると思います。

#### 5. まとめ

今回の地震は、日本にあるたくさんの地震計で記録されたデータから、断層面の何力所かが大きくすべったマルチプルショックでした。それによって非常に強い揺れがとても長い間続いたのですが、これが大きな災害をつくった原因です。場所によっては重力加速度の1Gを超えるような最大加速度が出て、それが太平洋沿岸全域に広がりました。それから、断層が20~50mと非常に大きくすべったことによって、長周期の地震動も生まれました。

それから津波です。非常に高く、そしてパルス状に壁のように立ち上がった津波が、海溝付近の大きなすべりによって生まれました。つまり、これは単純な海溝型地震が連動して急になっただけではありません。加えて、津波地震を起こすところも一緒に大きくなりました。その結果、巨大な津波が起きたのです。これが今回の地震の本質だと思います。

もちろん、こういう地震は予測しなければいけません。しかし、やはり予測には限界があります。ただ、今は海での地震動や津波の直接観測技術が確実に進んできています。それをうまく活用して、高速なコンピューターを使ってリアルタイムに予測し、観測とシミュレーションを生かした技術を、これからは防災に使っていかねばいけないと思います。

# 東日本大震災での 津波の被害像

今村文彦 東北大学大学院工学研究科  
附属災害制御研究センター・教授

日時 平成 23 年 9 月 5 日 (月)

## はじめに

今回のマグニチュード9.0という巨大地震による津波の状況や、特に沿岸部での影響、過去の三陸沿岸の歴史的な被害と対応について紹介したいと思います。最後に、仙台平野では、400年間さまざまな対策をしており、現在、復興の現場でも多重の防御と自然と調和した対応を議論しているので、参考にしていただければと思います。

## 1. 東日本大震災による津波の概要

まず震災の概要です。マグニチュード9.0の地震が宮城県沖で起きました。まさにわれわれが99%の確率で30年以内に地震が起こることを想定した場所のごく近くで発生しました。しかし、大きく違っていたのはマグニチュードの規模です。余震活動は現在も続いています。地震・津波によるさまざまな直接被害、間接被害によって、2万名以上の人的被害、また甚大な被害額が出たことをご存じのとおりだと思います。

この本震と余震の状況をあらためて見ていただきたいと思います。この宮城県沖地震は、過去37～40年程度で発生した地震です。さまざまな防災と地震の備えをやってきましたが、地震の規模が非常に大きく、図の北側、南側の合計500km以上の震源域または波源域で、地震・津波が発生したことになります。主なエネルギーまたは津波の発生が図の中央部分で、現在も、南または北において余震活動が続いています。また、地震エネルギーというのは

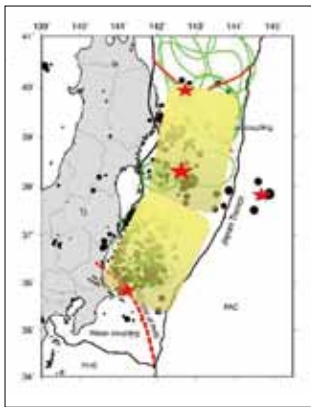


図1 本震と余震の状況  
(内田2011、東北大学)

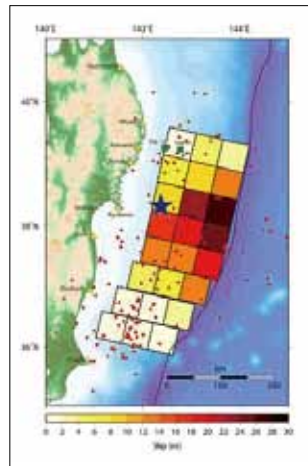


図2 発生したすべり度

本震1回では放出しません。余震という形で今も続いています。恐らく1年以上続くことを頭の中に入れなければなりません。ご存じのとおり、余震で津波注意報等が出ています。

図2は藤井・佐竹モデルで、地震・津波の観測データによって地震によるすべり量を逆に解析したものです。震源の近くは30m以上という非常に大きなすべり量です。北側や南側では若干小さくなりますが、数メートル以上のすべり量があります。それに対して、余震はすべり量が少ないところで活発であるというのが一般的な傾向だと思います。

われわれ東北大学では、このモデルに加え、実際に津波がきた浸水状況、または遡上高さを入れました。特に大きな違いというのは、この本震のさらに北側、例えば、宮古または田老等で40m近い遡上域、また甚大な被害が出ました。どうもこの辺りにも津波を起こすようなソースがあるだろうということで、モデルを推定しています。しかし、地震や津波の記録は残っていませんので、今後検討しなければいけません。一つは、三陸沖の北側で揺れが伴わない津波地震、場合によっては揺れによる海底地すべりのようなソースの可能性もあるかと思っています。

この図3の波源モデルは、基本的には気象庁がとらえた記録を基に評価しています。上から順に、青森、被害の大きかった三陸エリア、仙台、相馬、下は銚子です。この図で見ていただきたいのは、地震・津波が非常に大きかったエリアでは、引き波第1波の後、押し波がありました。その途中でもう振り切れていることです。これは大きな津波が沿岸部に来襲し、このような駿潮所も含めて破壊してしまったということです。北側、南側で記録が取れていますが、ここで見ていただきたいのは、3月11日～13日の約2日間、海面変動が続いていることです。われわれは、1960年にチリ地震津波を経験しています。このときは、地震発生から1日かけて日本に来て、また戻っていきました。今回は、日本で発生したものが1日かけてチリにも到達し、ハワイや西海岸等にも伝わり、また戻ってきています。つまり、全太平洋に影響した非常に大規模な津波だと言えると思います。

釜石沖の水深1000m (TM2)、または1500m (TMI)に海底津波計があります。地震で発生した津波をダイレクトにとらえた貴重な資料になります。海底圧力計ですので、地震直後は揺れによって変動します。その後、14時50分、また15時にかけて、ゆっくりとした押し波が来ています。マグニチュード9.0であれば、本来



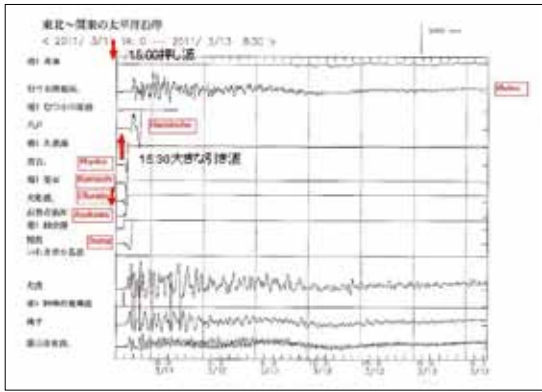


図3 太平洋沿岸の津波波形(気象庁)

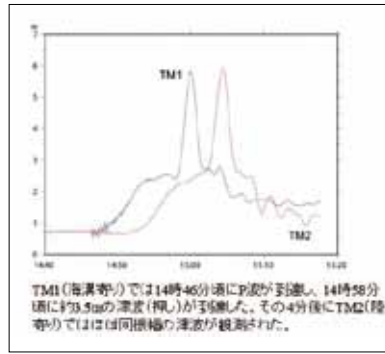


図4 釜石沖の海底津波計の観測データ(東京大学地震研究所)

湾は、水深100m以下の非常に浅いところですので、地震発生から1時間となります。地域によって、到達の時間や津波の挙動が大きく変わるということが分かります。

地震や津波が発生し、沿岸部に来襲します。最初はシンプルな津波であっても、沿岸部に到達すると増幅します。海岸地形によって反射や振動等が起こるわけです。福島も同様に10m以上を記録しました。1時間かけて仙台平野の

の押し波の周期は20~30分です。また、同じように引き波が発生し、1時間くらいの津波が予測されます。この押し波の状況は、マグニチュード9.0による津波を見事にとらえているわけですが、この第2の成分というか、非常にシャープで、しかも沖合でさえ3mを超える津波成分が加わっています。今回の津波がなぜ甚大で、あれだけ波力が大きいのかという質問の一つの回答、キーワードになると考えられています。

津波の一つの成分である長周期の津波です。これにより甚大な浸水域が生まれ、かつ短周期の3m以上の津波が沿岸部に襲い、2~3倍になり、構造物も含めた破壊を起こしていました。この状況は海底津波計だけではなく、沿岸部のGPS波浪計にもしっかりと記録されています。

われわれの海岸工学や津波の専門家は、沿岸部で津波の実際の遡上高さ、浸水高さを測定しました。特徴としては、三陸沿岸で非常に大きいことです。また、宮城、福島に行くにつれて軽減はしていますが、幅が非常にあって、一部は10mを超えていることが分かります。一方、北海道まで行きますと、一けたの津波の遡上高になるという特徴があります(図3)。

今、北側でも津波が発生したような波源があるかもしれないことを検討しています。場合によっては20m近いすべり量が必要だという結果も出ていますが、これに関しては、さらにさまざまなデータを入れて検討したいと思います。

次に津波の伝播についてです。南北500km近くで一気に津波が発生するわけですが、津波というのは水深によってスピードが変わります。まず、発生から20~30分で三陸沿岸に到達します。同時に福島県沖にも伝わります。一方、仙台

の中に入っていきます。非常に段波状の直線的な津波が来襲しているという再現・予測がされているわけです。

このような解析は、現在、気象庁も技術を導入しており、データベースとして予報業務に活用しています。図5のなかで黒で、気象庁が3分後に出した津波予報が黄色になります。福島で3m、宮城で6m、岩手で3mになります。残念ながら、皆さんご存じのとおり当初マグニチュードが非常に小さな評価でした。当時の津波データベースはマグニチュード9.0は対象ではなかったため、過小評価でした。しかしながら、GPS波浪計でリアルタイムの情報を入れることによって、気象庁は修正をしました。最終的には、各地で10mの津波の高さになります。精度的には、黒と黄色の対応を見ていただくとおり、十分な安全値を出していたのですが、残念ながら、第1報が重要で、この第1報で安心して避難が遅れたとか、第2報、第3報を受けることができなかった等々、実際の問題があります。われわれは、この情報をさらに迅速な、精度の高いものに更新し確実に伝達することを検討する必要があると思っています。

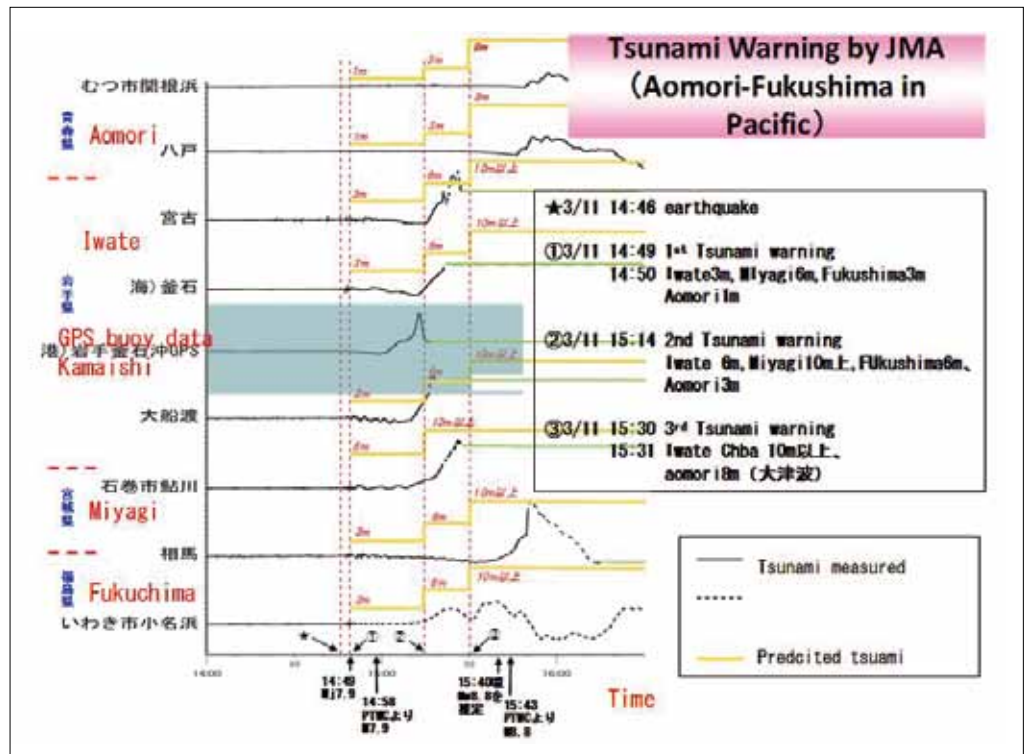


図5 気象庁が出した津波警報

## 2. 津波による被災状況

被害の状況は戦後最悪です。1995年の神戸の震災をはるかに上回る規模でした。特に津波の常襲地帯と言われている岩手県三陸よりも、宮城や福島で犠牲者が多かったのが、非常に特徴的です。

三陸沿岸は過去400年間の記録を見ただけでも、明治三陸、昭和三陸、宮城県沖(単独・連動)等、これだけの記録があるわけです。それに対して、施設などのハード的な対応や、ソフト的な対応を各地でやってきたのですが、残念ながら、宮城県の特に平野部、さらには福島県側で、このような過去の記録が少ないということで、防災のレベルは三陸側に比べて小さかったと言わざるを得ないと思います。

現在、三陸沿岸での被害状況を整理していますが、大きな構造物や防潮堤でさえ津波によって転倒し、破壊されているという状況が見られました。

今回の津波被害の特徴として、非常に浸水域が広いことが挙げられます。また津波の遡上高さが単に大きいというだけでなく、その波力が甚大であるため、特に間接被害においては、船または車が漂流物となって、いろいろな衝撃を与えています。また、火災が発生し、長期被害を拡大しているという状況も報告されています。そして、地震による海底変動もありますし、津波による浸食や、場合によっては堆積といった状況が見られます。

南三陸町は防潮堤、水門等で守られていましたが、津波によって防潮堤はすべて破壊され、現在見られません。さらにその背後

は大きな浸食を受けています。ここでは、1960年のチリ津波の経験があります。その記念公園や、防災施設を整備したのですが、それをはるかに上回る規模でした。

今回のさらなる被害として、空港、道路、鉄道などの交通関係があります。鉄道の車両自体が流されてしまったということも報告されていますが、幸い乗客は地震後の避難によって、津波による犠牲者はなかったということですが、今後の対応として非常に重要なポイントになっていくと思います。

被災状況について、さまざまな記録が残っていますので、その一部を見ていただきたいと思います。本来は、仙台エリアは直線海岸なので津波が大きくなるメカニズムはありませんが、1時間後に10mを超える津波の第1波が沿岸部に到達した様子です(写真1)。

ここで見ていただきたいのは、背後の海面が非常に穏やかなことです。もし、われわれがここに船にいたとしても、大きく流されたり、破壊されたりすることはないと思います。しかし、手前では水面が一気に高くなっています。陸上に上がると、位置エネルギーが運動エネルギーになり、力が生まれて大きな流速、破壊力が生じているということになります。数分後にも同じ状況が続いています(写真2)。

写真3は横から見た状況です。海岸線から津波が来襲している様子が見えるかと思いますが、同じように第1波が来襲しているのですが、若干、地盤が高いところは津波が遅れます。また、影響も小さいのです。このようなところは、「いぐね」と呼ばれる屋敷林があって、木を植えて屋敷を守っています。今回は、いぐねのある家の被害が小さかったと報告されています。

それらがなく地盤が低いところには、一気に津波が入り込んでいます。通常、津波を低減するためには、防潮堤で高いバリアをつくらなければいけません。一方で伊達政宗がつくった貞山堀は津波のエネルギー減衰にも、少なからず役に立つということが分かっています。この水路に入り込んだ津波が乱流現象を起こします。また、次の高台に移動するのに若干到達時間が遅れます。エネルギー減衰と到達の遅延ということが、ここで見られました。

この地域は防災林、防潮林、いぐね、貞山堀、などの多重の防御で沿岸部を守っていたわけです。効果はある程度はありましたが、



写真1 津波襲来時の仙台の様子(写真提供: 共同通信社)



写真2 津波襲来時の仙台の様子(写真提供: 共同通信社)



写真3 津波襲来時の仙台の様子(写真提供: 共同通信社)

今回の津波はその対応をはるかに上回るものでした。

その数分後には仙台空港も含めて浸水しています(写真4)。特に色を見ていただきたいと思います。この写真では茶色になっています。これは、砂や泥を巻き上げているのです。これが最終的に津波堆積物として沿岸部に残ります。我々は400年前、1100年前の津波堆積物を調査していますが、今回の東日本震災による津波の堆積物も残っていくものと思われます。

仙台平野の状況を見ていただきますと、砂浜、防災林、貞山堀、水田があります。そういうラインで高潮や津波に対して、背後地を守っていました。これらは、伊達政宗が1601年、仙台城を築城するあたりから整備していたと言われていています。1611年に慶長の地震・津波があったときに、今回と同様な被害が起きて、バリア(防護機能)をさらに拡張させていったのではないかと推定しています。

沿岸部は防災林で守っていたのですが、部分的には宅地化により防災林の幅が狭いところがあります。残念ながら、そういうところは一気に津波が来てしまいました。唯一残った建物は、鉄筋コンクリート4階の小学校のみです。沿岸部から約4~5km離れたところに浪分神社があります。建立は約400年前で、今回も、慶長、貞観のときにも、この神社まで来なかったことを確認しています。名前が浪分ですので、津波がここまで来たという意味合いを持たせた神社ではないかと思っています。

### 3. 防災林の必要性

現在、地域の復興計画が検討されていますが、長期的な対応が必要です。残念ながら、今回、防災林には限界がありました。例えば、漂流物を守ったり、低減したり、また、われわれが引き波で戻されるときに、最後の避難場所として、図6に示すように防災林は重要な役割を果たします。防災林は幅が短いと津波によって一気に破壊されてしまいます。ある程度、幅を十分にとらないといけないと思います。

われわれの使命として、今回のメカニズム、また被害の状況をさらに検討し、減災に向けて尽力していきたいと思っています。



写真4 津波襲来時の仙台空港の様子(写真提供：共同通信社)



写真5 仙台市沿岸部

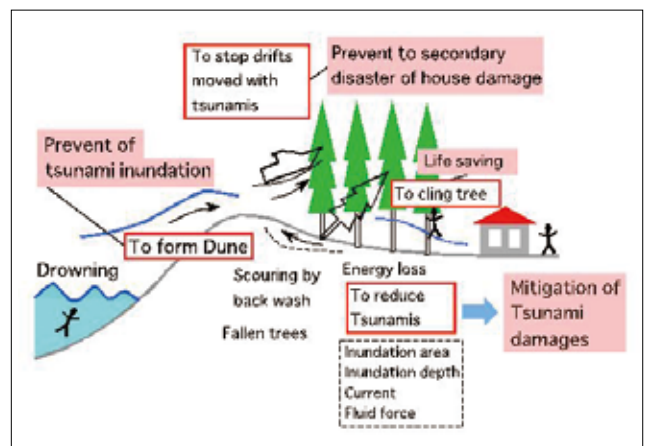


図6 防災林の果たす役割

# 東日本大震災における 港湾被害

講演

Report  
No. **4**

**富田孝史** 独立行政法人港湾空港技術研究所  
アジア太平洋沿岸防災研究センター・上席研究官

日時 平成 23 年 9 月 5 日 (月)

## はじめに

今回の震災における港湾災害についてお話したいと思えます。大きくまとめると、まず、今回は津波が非常に大きく、防護施設的设计外力を上回ってしまったために、施設そのものだけではなく、背後地にも大きな被害が発生しました。さらに、津波の高さが地域の防災計画における想定を大きく上回ってしまったために、残念ながら多くの人命が失われてしまいました。

## 1. 港湾構造物の被害と減災効果

港湾空港技術研究所ではこの災害に対して、津波や海岸工学の研究者だけではなく、地震や地盤工学に関わる研究者も一緒に調査して解析を続けています。その調査データによると、今回の震災で大きな被害のあった東北地方、特に港湾域においては、震度5強を超える大きな揺れが各所に生じていました。その地震動をスペクトル解析したものが図1のグラフです。横軸が周波数、縦軸がエネルギーを示しています。東北部の例として図1左の釜石では、施設に大きな影響を及ぼす周波数帯0.3~1.0Hzの間のエネルギーは、今回は比較的小さい結果となっています。一方、東南部の例として図1右の小名浜では、その周波数帯のエネルギーが大きくなっています。このため、南部で地震の被害が顕著に認められています。仙台でも岸壁が前に出てエプロンの表面が沈下するという「はらみ出し」が見られました。

図2は防衛大学の鳴原先生が整理したものです。横軸が津波の遡上高さになっています。赤が今回の震災、青、黄、緑は過去の

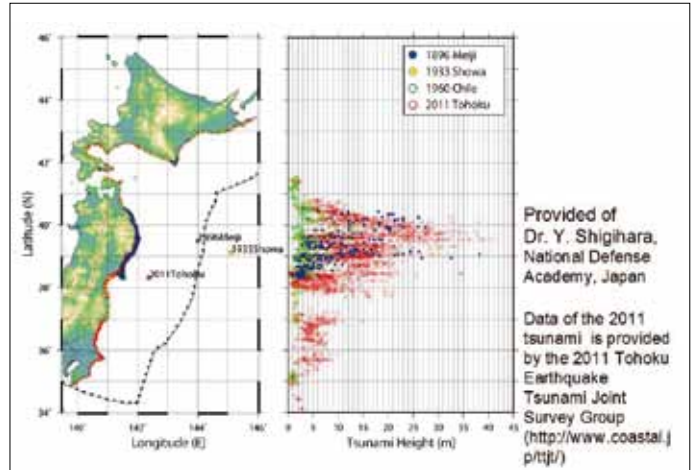


図2 津波の波源と遡上高さ

被害を示しています。過去と今回の被害を比べると、やはり今回の地震による津波の方が大きかったことが分かります。

今回の津波が、沿岸にある防護施設等に影響を及ぼした一例として、釜石の湾口防波堤についてお示したいと思います。ご存じのように、釜石では防波堤を湾口部分に設置して、さらに陸側のところに防潮壁を設置する二重の防護によって、街を明治三陸級の津波から守るという計画でした。ところが今回の津波で湾口防波堤が被災してしまいました。図3は被災後の深淺測量結果で、赤い四角マークが防波堤のケーソンを示しています。南防波堤については、先頭部分は残っていますが、浅い部分が港の内側に倒れ込んでしまっています。防波堤の開口部分にも潜堤を設けて津波の水量を抑えようとしたのですが、その潜堤のケーソンも港の内側に倒れ込んで、さらに北の防波堤が歯抜け状態になってしまいました。

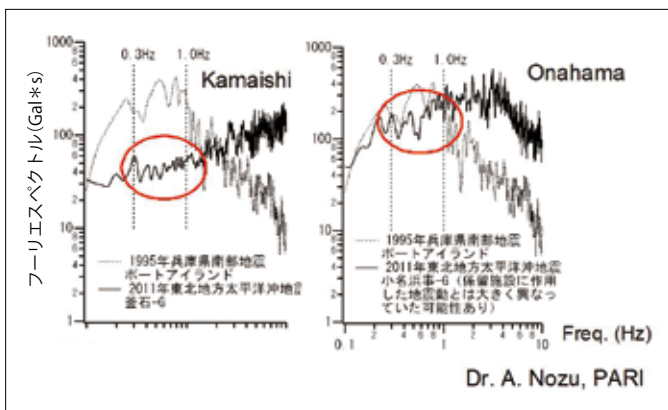


図1 フーリエスペクトルの特徴  
(兵庫県南部地震との比較)

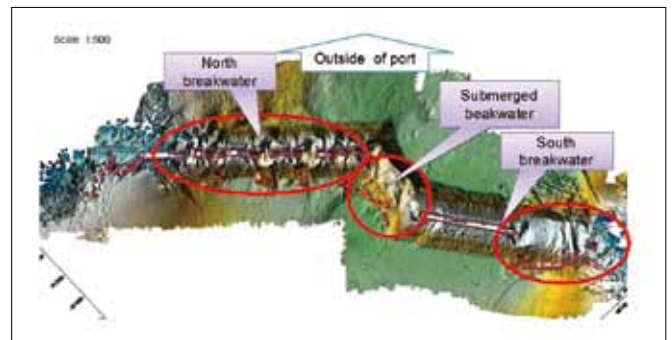


図3 深淺測量図

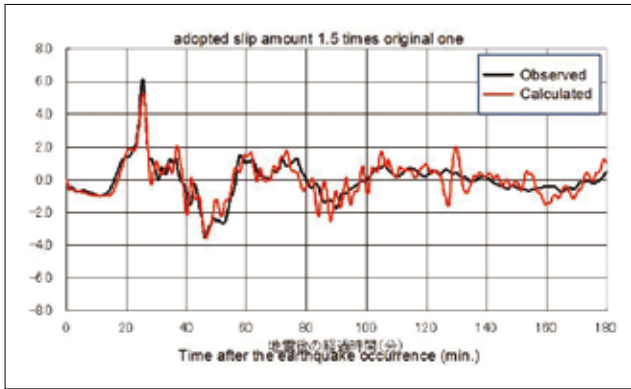


図4 GPS波浪計における観測値と計算値の比較

この防波堤がどの程度の効果があったのかを、数値計算によって検証してみました。この計算では、断層モデルを用いて波源域から計算して、さらに沖合で津波を観測するシステムであるGPS波浪計のデータに合うように、プレートのすべり量を若干修正しています。図4は時間を横軸にとって波形を示しています。GPS波浪計で得られた実際の波形と、津波の断層モデルから計算された津波の波形が、ほぼ一致しています。

図5が釜石の湾内における津波の最大浸水高分布です。図5(a)は防波堤が壊れずに残っていた場合の計算結果です。いくつかのポイントで、実際に現地でウォーターマークを測定してきたものと比較すると、津波高さが概ね合っていました。一方、防波堤がない場合になりますと図5(b)のとおり、14mを超えるようなひどい浸水になってしまいます。さらに、今回は津波防波堤が被災しましたので、そこに津波が来たらどうなるかという計算もしました。図5(c)のとおり、被災した防波堤に津波の第1波が来ると、実際に現地で計測した値よりも若干浸水高が上がるという結果となりました。

この三つの計算結果から、今回釜石においては、大きな第1波の津波に対して湾口防波堤はある程度、津波を低くする効果があったと考えられます。

さらに防波堤の効果として、津波の浸水を遅らせるということが以前から言われていましたが、それについても計算で見ました。図6(a)は防波堤がある場合の計算結果で、地震が発生してから何分後に浸水が始まるかという図です。例えばこの図で河川がはじまっているように見える部分では、大体38分で浸水が始まるのですが、図6 (b)の防波堤がない場合の計算結果では、33分程度ということで、少なくとも計算の中では5~6分程度、津波の浸水を遅らせる効果が見えたということになります。そういったものが実際、住民の避難にどれくらい役に立ったかということについては、今後、ヒアリング等を行って調べていく必要があると思っています。

ここまでは防波堤のお話をしましたが、陸側においても、防潮ラインが洗掘や津波の力そのものによって倒れ込んでしまっています。写真1、写真2が押し波によって、陸側に倒れ込んでいます。一方、引き波でも同じようなことが起こっていて、写真3、写真4のように、洗掘などによって海側に倒れ込んでいくという

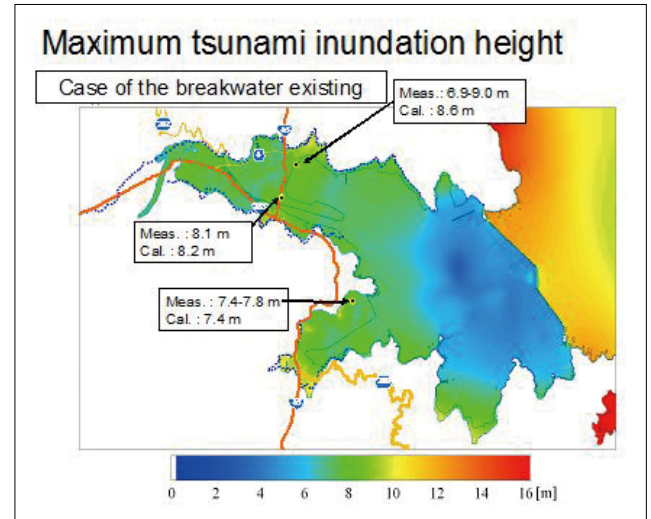


図5(a) 津波の計算結果(浸水高 防波堤有)

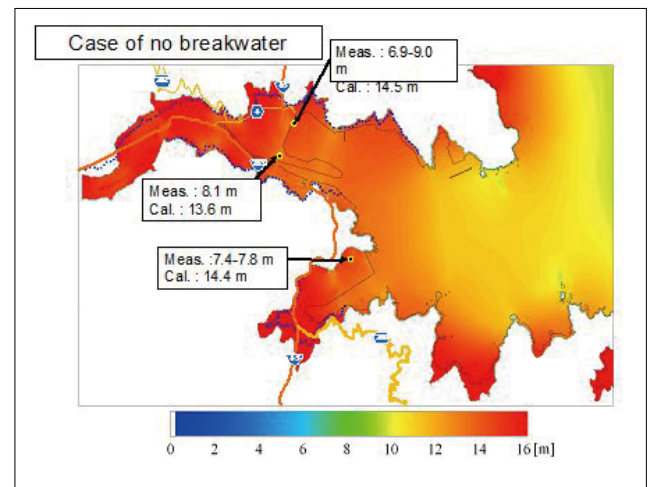


図5(b) 津波の計算結果(浸水高 防波堤なし)

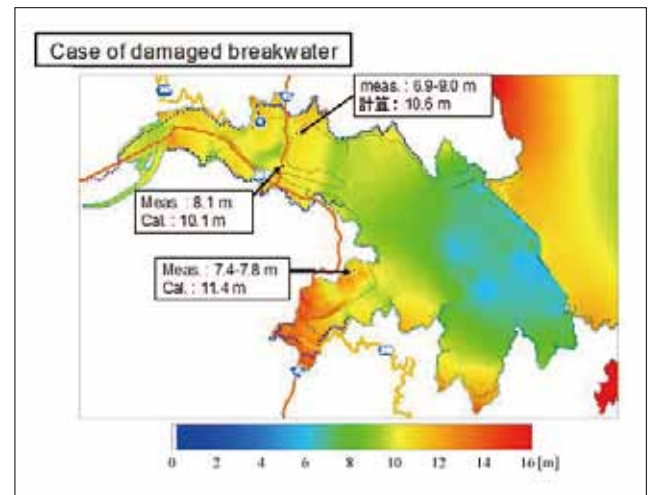


図5(c) 津波の計算結果(浸水高 防波堤被災後)

被害も発生しています。

## 2. 被災のメカニズム

図7が幾つかの被災のメカニズムを絵で表したものです。まず構造物の前後で高い水位差が発生します。すると、それによる水平力が発生します。また、水位差に伴って速い流れが生じて、構造物の背後の基礎を洗掘し、安定性が失われます。あるいは波力そのものが構造物にかかって構造物が損傷したこともあります。また、防波堤の開口部では流れが速くなるのでそれにより洗掘され、そこに先端のケーソンが倒れ込むという被害も発生しています。

写真5は津波来襲後の津波漂流物の写真です。浸水により水が来るだけでなく、浸水の深さに応じて大きなものさえも陸面上がってきます。船が上がってきたり、トレーラーさえも流されます。さらにはコンテナが散らばっています。写真では陸上に散らばっていますが、海の中に流されて、いろいろなところに沈むということも起こっています。また、オイルタンクが流されて、そこから油が流出し、漁船の中にも油が貯まっているので、そこから油が流出して、それに何かの拍子で火がついて火災になってしまうという事例も見られました。

津波だけではなく、地震との複合災害も見られています。写真6は相馬港の例ですが、埠頭部分が大きく沈下しています。これがどのように起こったのかを、現在検証しているところですが、

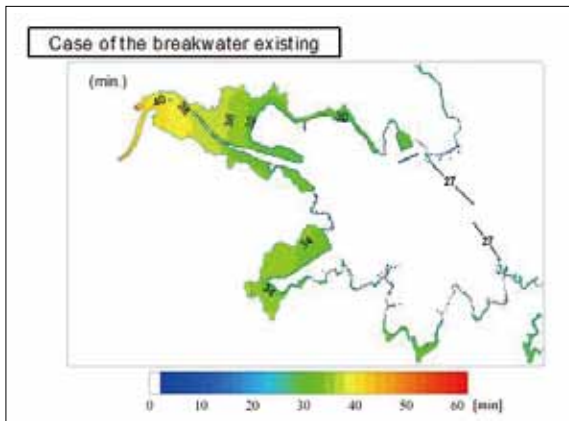


図6(a) 津波の計算結果(浸水時間 防波堤有)

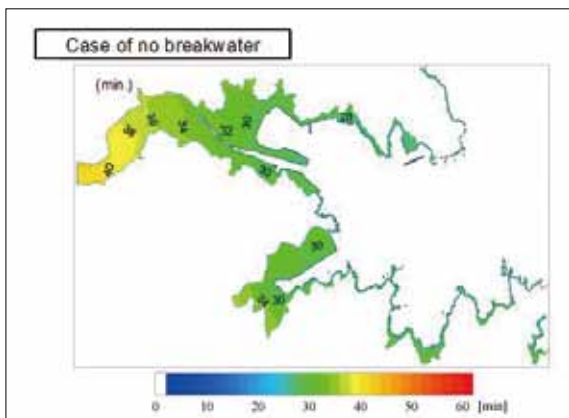


図6(b) 津波の計算結果(浸水時間 防波堤なし)



写真1 防潮ライン被災状況  
八戸港八太郎地区



写真2 防潮ライン被災状況  
大船渡港屋前地区



写真3 防潮ライン被災状況  
釜石港須賀地区



写真4 防潮ライン被災状況  
大船渡港屋前地区

液状化などによって表面が沈下して、そこに津波の押し波が来て砂を抜き取って、さらに引き波のときに砂を引き取ってしまったことによって、沈下が拡大していったのではないかと考えています。そういった地震と津波の複合災害も、今後検討していく必要があると思います。

地震が発生して東北地方のすべての港の機能がストップしました。津波警報が解除されたのが2日後の3月13日です。その直後から国土交通省港湾局では港の復旧活動に入り、2週間ですべての港に船が入れるようにしたそうです。

## 3. 今後の津波防災施設設計の考え方

今村先生を委員長とする委員会などでも議論されていますが、今回の大きな災害を受けて、これ以上、人が津波によって亡くなることは避けたいということで、沿岸防災施設について二つの設計レベルを考えています。特に、ワースト津波シナリオを考慮することが重要です。考え得る最大級の津波(レベル2)を想定し、これに対して少なくとも人命は守っていこうという考え方で、津波減災レベルと名前が付けられています。そういったことを今後は考えていく必要があります。一方でより現実的に起こる可能性の高い津波としてレベル1津波への対応も必要です。これは、構造

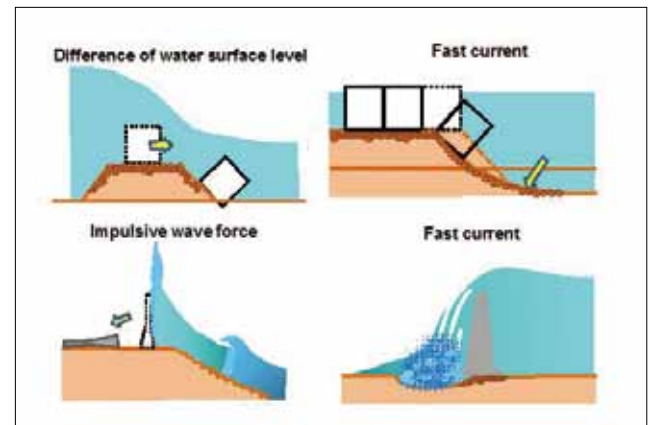


図7 津波防災施設の被災パターン



写真5 津波来襲後の津波漂流物



写真6 埠頭部分が大きく陥没した相馬港

物を利用しながら人命だけではなく、財産、つまりまちを守っていくという考え方です。基準としては、大体数十年から百数十年の範囲で起こる津波を対象にすることが提言されています。

図8は国土交通省から出されている津波に強い港のイメージ図です。最悪規模の津波が来襲したら、防波堤などを越流するのはやむを得ないところで、もしかしたら防潮堤を超えるかもしれません。それに対して、いかに被害を小さくしていくのか、人が逃げるために避難所をいかに配置していくのかということを十分考えておく必要があります。まちによっては、道路や緑地なども利用しながら、浸水域を減らしていくこともイメージとして出されています。

写真7は港湾の中における津波シェルターの良い例だと思います。1993年北海道南西沖地震で奥尻島が大きな被害を受けました。青苗地区では10mの津波が来て多くの方が亡くなっています。そこで防潮ラインが新たに設定されましたが、その外側にある港においても、港で働く人がすぐに逃げて、さらに危なければ今度は高台の道を通って、背後のさらに高いところに逃げていくといったルートをもった施設が、奥尻島では実際につくられています。そういう事例を参考にしながら、今後の避難、防潮ラインの外側、港の中にいる人の安全性についても考えておく必要があります。

また、沖合の津波観測について、港湾局では、東北地方に8基のGPS波浪計を設置しています。そのうちの1基は修理のため被災当時は動いていなかったのですが、ほかの7基は津波を観測していました。実際に、地震が発生した後水位が上がっていく様子

をGPS波浪計が捉えています。それをいかに津波情報として住民の避難に繋げていくかを、今後考えていく必要があると思っています。

#### 4. まとめ

津波に強いコミュニティをつくるためには、考え得るいろいろな対策を有機的に組み合わせることが大事です。よく言われているように、土地利用計画を作るとともに、教育、特に避難訓練などを併せた教育をしていくことです。また、津波防護施設などの適切な配置や、その限界などをきちんと知っておく必要があります。さらに、警戒システム、特に沖合での津波観測も含めた津波情報を考えていく必要がありますし、人命が助かるという意味では避難システムも重要です。これは前々から言われていたことですが、再度強調したいと思います。

津波に強い港について考えますと、震災後の地域の復旧には港の機能が非常に重要ですので、港の機能が被災後にも使える、あるいは早期に復旧することを事前に考えておくために、BCPが重要だと思っています。

特に津波減災対策に関しましては、少なくともレベル1や、それよりも小さいものに対しては、浸水などを起こさないような構造にすべきです。ただし、それを越える津波が実際には起こりますので、起こってもできるだけ被害を小さくするとともに、被害を受けたとしても、できるだけ修理が早急に進むような形が必要です。特に日本では高潮高波が頻繁に来るので、それに備えるためにはこういったことが重要だと思っています。

また、レベル2の津波に対しては、防潮施設などを越える場合もあることを理解してもらいべきです。そして、逃げるのが重要です。ただし、レベル2だから逃げるというのではなくて、津波が来たら逃げるということも併せて分かってもらうことが必要だと思っています。

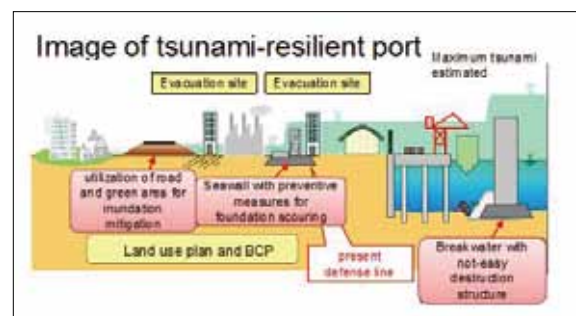


図8 津波に強い港のイメージ図



写真7 津波シェルター(奥尻島 青苗地区)

# 『撓まず屈せず』 東日本大震災からの復旧・復興

野田 武則 釜石市長

日時 平成 23 年 9 月 5 日 (月)

## はじめに

今回の震災で、私たちの釜石市は大変大きな被害を被りました。全国から、そして世界からたくさんのご支援とご指導を頂きました。この場を借りて厚く御礼を申し上げたいと思います。誠にありがとうございました。

## 1. 釜石市の概要と被災状況

まず初めに、釜石市の概要と3月11日の大震災の被災状況について説明します。図1に示すように、釜石市は岩手県沿岸に位置しており、人口は現在約4万人です。昭和の最盛期には9万2千人の人口を数えました。市街地の面積は11km<sup>2</sup>で、市全体面積443km<sup>2</sup>のわずか2.4%にすぎず、90%以上が山林です。市街地は海沿いと河川沿いの一部の低地に限定されています。

古くからものづくりが盛んで、新日本製鐵株式会社やSMC株式会社等の大手の企業が進出しています。また、世界三大漁場の一つ、三陸沖に面するため、水産業が盛んなのは当然ですが、私たちが「鉄と魚とラグビーのまち」を自負する所以をご紹介します。

釜石市は今から150年以上前の江戸時代末期、わが国で最初の洋式高炉による出鉄に成功した近代製鉄発祥の町であり、その後、約50年間で日本が産業の近代化に成功するために、大変大きく貢献した産業の先駆けの町です。また、製鉄と港の関わりから、わ

が国で最初に海図が作られたのも釜石港で、2番目が横浜港です。鉱山と港を結ぶ鉄道の敷設が完成したのも、1番目の新橋・横浜、2番目の大阪・神戸に続く3番目です。これらが、我が町の自慢です。

図1の左下が橋野に現存する洋式高炉の遺跡で、橋野高炉跡と呼ばれています。九州・山口の近代産業遺産群とともに、現在、世界遺産登録を目指しています。また、この鉄づくりの歴史と併せて、新日本製鐵釜石製鉄所には輝かしいラグビーの歴史もあります。松尾雄治氏等で有名な「北の鉄人」と称された新日鐵釜石ラグビー一部が前人未達の日本選手権7連覇を達成したことから、市民には大変熱心なラグビーファンが多く、新日鐵から引き継がれたクラブチームの釜石シーウェイブスが市民の心の拠り所になっています。

一方で負の歴史もあり、地形や産業の影響で、過去に度々、明治三陸や昭和三陸などの津波被害、あるいは艦砲射撃の被災という受難の歴史もありましたが、そうした災害にもめげず、その都度遅しく復活し、発展してきました。

震災前の釜石の航空写真を写真1、2に示します。写真1が釜石



図1 釜石市の位置、地勢及び概要



写真1 海に面する釜石市東部 中心市街地(震災前)



写真2 ギネス登録の釜石湾湾口防波堤(震災前)



の市街地で、公共埠頭が見えます。写真2が世界で一番深いところにてきた湾口防波堤です。中心市街地が海に面しており、海から恵みももらい、海とともに共存してきました。港湾および中心市街地を外洋の波から守るための湾口防波堤は、世界最大水深に建設されたことでギネスブックに登録されています。リアス式海岸のため、市街地の背後に急峻な山々が迫っていることが写真でよく分かります。ほとんどが山です。

この釜石を3月11日に大津波が襲いました。地震も震度6弱と大きかったのですが、それ以上に津波の被害が悲惨な結果をもたらしました。死者数は8月29日現在で883人。また、未だ行方が分からない方々も209人います。死亡者のうち、65歳以上の高齢者が60%以上を占め、沿岸部における高齢化の進行が大きな弱点になっていた可能性があります。被災家屋は4,376戸におよび、実に市内全住居16,182戸の25%以上となります(図2)。場所によってはほぼ全滅の地区もあり、過去最悪の被害となりました。

被災状況は地区毎に異なっています。例えば、釜石東部地区は市街地のパターンということになります。鵜住居地区は低平地、土地の低いところのパターンです。唐丹地区は漁村です。大体この三つにパターンが分かれるかと思えます。いずれにしても、被害は大変大きかったわけですが、なかでも東部地区と鵜住居地区が一番大きな被害を被りました。

今回の津波の浸水範囲は、過去のどの津波に比べても広がっています。しかし、各湾の津波の浸水高、遡上高は地形によって異なっており、代表的な地点で比較すると、図3のような傾向になります。海沿いに大槌湾、両石湾、釜石湾、唐丹湾とありますが、釜石湾の浸水域がほかよりも小さいのは、ギネス登録された湾口防波堤の効果が大きいようです。この湾口防波堤の減災効果は、国土交通省が公表したシミュレーション結果でも明らかにされており、浸水高で4割軽減し、流速・遡上高で5割低減し、到達時間を6分遅らせた試算されています。技術的な説明は、専門の研究者に委ねたいと思いますが、この低減効果が大きかったことは被災自治体としては大変ありがたいことで、今後のまちづくりを考える上で、絶対に不可欠なものであると思っています。

しかし、湾口防波堤や防潮堤が一定の効果を発揮したものの、想定を大きく上回る津波により、大変大きな被害を受けたことも



図3 各湾の津波の浸水高さとし遡上高さ

事実です。防波堤や防潮堤を過信したとの反省も聞かれます。ハード施設は不可欠であります。過度の期待は絶対に禁物であり、危ないときはまず高台に逃げるのが原則だということが、今回の大震災の最大の教訓だと思っています。

## 2. 発生直後の避難行動と復旧状況

発生直後の避難行動及び、復旧状況についてご紹介します。震災直後には、最大で9,883人が市内64カ所に分かれて、避難所生活を余儀なくされましたが、避難所は8月10日ですべて閉鎖し、現在は避難者ゼロとなっています。全員仮設住宅等に入居できたため、少し落ち着きを取り戻しつつありますが、まだ夢のようだと茫然としている方もおられ、心のケアが重要になっています。今後の復興に向けて、新たなステージに現在入ったものと考えています。

いずれにしても、全世界からたくさんのご支援をいただきました。日本国内からは、震災直後から支援物資のみならず、全国の自治体から応援職員の派遣等で直接的な支援もいただきました。ほかにも自衛隊、警察、消防、海上保安部等の皆さんによる遺体捜索や生活支援、医療・保健のケア支援チーム、技術・事務支援チームの皆さんにもご協力をいただきました。深く感謝したいと思います。

ボランティアの皆さんも連日全国から、あるいは諸外国からもたくさん駆けつけてくださいました。8月18日までの累計で23,644人に上るそうです。実数を正確に把握するのは困難なため、実際に訪れた人数はもっと多いのではないかと考えています。皆さんに心から感謝を申し上げます。一方で、遠野市等、内陸部の拠点から、毎日車で移動してくるため、道路が大渋滞し、皮肉にも道路ネットワークの悪さが明らかになりました。三陸縦貫道と釜石秋田道の早期整備が復興道路として位置付けられたことは、大変ありがたいと思っています。

仮設住宅は、市内67カ所に3,164戸が整備されました。民間から土地の提供があったため、速やかな整備ができたと思っています。仮設入居後の孤独対策、及びコミュニケーション確保のための「ケア型仮設」(図4)も導入し、先進事例として、全国的な注目を集めています。向かい合せの建物、ウッドデッキ、あるいは屋根





図4 「ケア型」の仮設住宅

を付けることにより、住んでいる方々がお互いの息吹、気付きを感じられるという仕組みになっています。また、著名建築家による「みんなの家」など、談話室の支援のお話も数件あり、大変ありがたいことだと思っています。

仮設住宅の数は充足できてきました。今後は、仮設の店舗、仮設の事務所、あるいは仮設の工場等で、新たな商店街や職場の形成をしながら、買い物をするための交通・生活の利便の向上を図っていきたくと思っています。また、サポートセンターの整備や見守りネットワークの充実で、心のケア、自殺、孤独死の防止にも力を入れていかなければなりません。

次に災害廃棄物、いわゆるがれきの処理の状況ですが、がれきは早期処理、域内処理が理想的であり、リサイクル技術の駆使による経費節減が課題になっています。しかし、がれき量が釜石市だけでも78万tにおよび、すべての域内処理は難しい状況です。現在、撤去から最終処分までのがれき処理システムを確立するため、環境省のモデル事業を施行中で、休止中の清掃工場を再開し、仮設の熔融炉として再稼働することを進めています。放射線に関する安全性が確保された後は、コンテナ等を活用した海上輸送による広域処理も模索していかなければならないと思っています。

### 3. 防災対策の反省と教訓

従来の防災対策の反省と教訓についてお話しさせていただきます。これらはまだ十分な検証が終わっていないことを予めお断りしておきます。



写真3 がれきの処理状況

1年前のチリ地震津波等、過去の大津波警報発令による「慣れ」「後遺症」の側面があったのかも分かりません。一旦避難した人が、再び戻ったりするなど、徹底して高台に逃げるといった切迫感ある避難行動の原則がややおろそかだったのではないかと悔やまれます。家族の安否の確認に時間を要したり、高齢化の進行に伴う避難困難者の増加等もあったかもしれません。この避難行動形骸化の背景は、今後十分に検証していかなければならないと思っています。

大規模停電の備えが不十分であったことも悔やまれます。大規模停電と防災通信施設の被災により、結果的に気象庁発表の大津波警報の3mが6mへ、6mが10m以上の段階的引き上げが周知されず、消防団の広報活動や水門閉鎖等の初動動作に課題を残してしまいました。さらに、外部との通信が途絶し、医療機関等あらゆる初動に混乱をきたしたことも残念でなりません。バックアップ用の自主電源確保の重要性を今回ほど痛感させられたことはありません。スマートグリッドといった停電に強い自主送電網に思いを強くしているのも、このような事情があるからです。

また、沿岸部の低地には、緊急的に逃げ込める避難ビルが少ないため、遠距離避難者は車に頼らざるを得ない場合があります。しかし、道路は必ず渋滞が発生しますので、徒歩での移動が可能な避難路の整備、高台避難所の増設等について、もっと十分に対策を練っておくべきだったと反省しています。

こうした中で、釜石市教育委員会が継続的に取り組んだ「学校防災教育」が、今回大きな注目を集めました。「釜石の奇跡」として世界的に話題になったため、ご記憶の方も多いと思います。市内の小学校、中学校には約3000人の子どもたちがいますが、学校にいて亡くなった生徒・児童はゼロです。三陸地方には、津波が来たら「てんでんばらばら」に逃げろという意味の「津波てんでんこ」という昔からの伝承があり、自分の命は自分で守るという意識が徹底されています。災害の状況に応じて「最善を尽くす」「想定を信じない」「避難の率先者たれ」という三つの原則が、今回、こうした子どもたちの避難に極めて有効に働いたものと思っています。

防災教育の一例ですが、授業の中に組み込まれていることが特徴です。例えば、小学校3・4年生のカリキュラムの中に、津波の速さを学ぶとともに、津波と人が逃げる時間を時系列で学習する



写真4 「釜石の奇跡」と話題の鶴住居小学校の防災授業

「動くハザードマップ」等も活用されています。カリキュラムの内容は、ご指導を受けている群馬大学大学院教授 片田先生のホームページからダウンロードできます。特に「動くハザードマップ」は大変優れた防災ツールだと自負していますので、ぜひ片田先生または釜石市のホームページをご覧くださいければと思います。

以上のことから、今回の大震災を教訓として、再び津波により絶対に生命が奪われることのないように、防災機能の強化を決意しました。ハード施設に頼りすぎず、「逃げる」ことを優先させ、ソフトと組み合わせた復興計画とする所存です。復興計画策定のため、被災した21地域の集落毎にきめ細やかな検討を行い、住民地区懇談会あるいは地域会議、ワークショップ等で意見を吸い上げ、また、アドバイザー会議、プロジェクト会議、まちづくり委員会等の有識者の会を通じて、住民意識を反映させることにしています。

#### 4. 今後のまちづくりの方向性

今後のまちづくりの方向性について、5月以降、住民懇談会を2巡回しました。そして7月11日に復興まちづくりプランの骨子を発表しました。

受難の歴史をのりこえてきた先人に学び、「撓まず屈せず」のスローガンの下、三つの理念、四つの基本方針、七つの基本目標を定めました。この骨子は「復興ビジョン」「新たな光づくりへの挑戦」「震災をのりこえる地域づくりの推進」の3本柱で構成され、詳細は釜石市のホームページでご覧いただけます。国や県の復興計画と整合させつつ、釜石らしさを打ち出す努力を行っています。例えば、雇用確保のため、生業(なりわい)の再建とともに、新たな産業振興として、スマートグリッド、LNG、クリーンエネルギーの活用等を積極的に展開していく所存です。計画期間を最長で10年間に設定しました。早く市民の希望となるよう、復興計画の成案化を目指していきたいと思っています。

ここで、まちづくりのイメージを紹介します。減災重視のまちづくりのため、多重防御、基盤強化、避難体制、防災教育の強化に力を入れます。しかし、写真1,2をご覧くださいのように、釜石市のような地形では、今後のまちづくりが大変難しい課題です。その理由は、土地利用計画の策定が容易ではないからです。3月11日の津波は史上最悪の被害をもたらしました。千年に1度の発生確率と言われます。この浸水区域を回避して、例えば、高台等に新たな居住を求めようとしても、釜石では全く適地が見つからない地域もあります。まさに東部地区はその典型と言えます。そこで、図5に表すようなイメージで、現実的な選択肢も視野に入れて、土地利用を検討しています。これは中央防災会議が提唱する、生命も財産も失わない防災(レベル1)、津波で財産は失っても、生命は失わない減災(レベル2)の考え方も合致するものです。集落ごとの被災パターンに対応したきめ細やかな復興プランも現在検討していますが、さらに具体的に補強し、練り上げる必要がありますので、まだ公表できる段階ではありません。

今後は、国の第3次補正予算を踏まえながら、速やかに

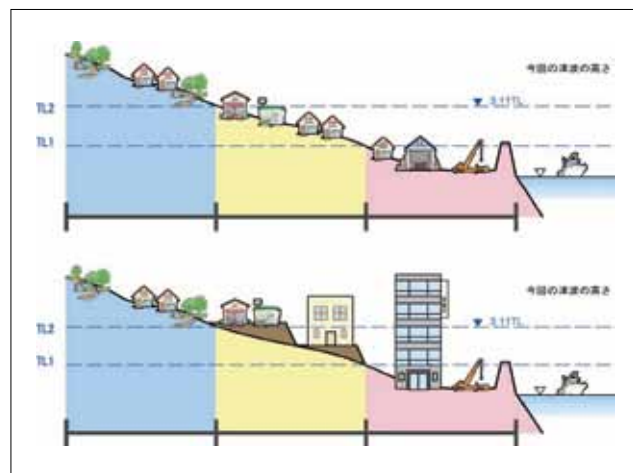


図5 これからのまちづくりのイメージ

「復興計画」を「実施計画」に練り上げていく必要があります。このため、地区別住民懇談会や地域会議で、さらに住民の意見を集約しながら、復興計画に反映していきたいと思っています。

#### 5. 終わりに

復興に関連して、一つの夢を紹介したいと思います。2019年ラグビーのワールドカップが日本で開催されます。このワールドカップ開催のスタジアムをぜひ被災地である釜石につくってほしいという提案をさせて頂きました。図6は、世界的に著名な建築家の伊東豊雄先生がデザインした絵です。こうした形で盛り土をしながら二線堤をつくって、その中をスタジアムにするということです。これは、線路、道路を嵩上げて、まちを守るという考え方と同じです。ぜひ、この夢を実現できますよう、皆様のご支援とご協力をお願い申し上げます。

「三陸の大地に光り輝き希望と笑顔があふれるまち釜石」を再び取り戻すことが、私たちの目標です。まだまだ道のりは遠く、復興は始まったばかりですが、先人が幾度かの災害や困難にもめげず、その都度復活を果たしてきた歴史に学び、私どももこのたびの大震災を乗り越えていこうと決意を新たにしております。

会場の皆さまと、このように情報を共有できるのも何かのご縁ですので、今後とも、釜石市に対するご支援、ご援助をどうぞよろしくお願い申し上げます。



図6 復興イメージ

# 津波防災 - 想定外への対応： 性能設計

高橋重雄 独立行政法人港湾空港技術研究所 理事長

日時 平成 23 年 9 月 20 日 (火)

## はじめに

本日はまず、東日本大震災の概要、最大級の津波被害がどのようであったかという観点でお話したいと思います。その後、今議論されている最大級への対応について、「性能設計」というキーワードでお話したいと思います。

## 1. 東日本大震災の概要 - 最大級の津波被害 -

### 1.1GPSで観測された津波と痕跡高

最初に、「GPSで観測された津波と痕跡高」についてお話しします。図1は日本周辺の海を表すマップですが、ご承知のとおり日本周辺には海溝、深い海があります。日本海溝、南海トラフが、プレートといわれる地球の皮がぶつかり合うところです。そこで地震が発生し、津波が発生しているわけです。

今回は3月11日14時46分に仙台の東130kmのところでM9.0の巨大な地震が起きました。その結果、南北400km、東西200kmにわたって海底が隆起したり沈降したりしました。そして津波が起こったわけです。津波が発生してから大体30~40分で三陸の沿岸に達しています。同時に関東の方にも来ています。仙台湾には水深が浅いので、津波がなかなか来ません。大体1時間後くらいにきています。津波は太平洋側にも広がり、ハワイやアメリカにも影響を及ぼしています。シミュレーションからも、津波が1回だけではなく何回も海岸にトラップされてやってくるのが分かっています。

図2は、GPS波浪計の津波観測値と津波の痕跡高の観測結果を示したものです。浸水高と遡上高が痕跡高なのですが、私達の測定では大体浸水高でいうと3~18mくらい、遡上高でいえば7m~30mぐらいの範囲で、いずれにしても10mを越すような巨大な津波が来ていたことが分かるかと思います。

ご承知のように、国土交通省は全国で12機のGPS波浪計を沖合20km、水深200mのところに設置しています。GPS波浪計が津波を計測したわけですが、例えば釜石沖では3時12分に6.7mの津波をとらえました。これは本当にとてつもない津波です。沿岸に近づく確実に2倍、3倍になります。13m以上の津波が来襲することになり、気象庁では津波警報を10mの大津波警報に変更しています。

このGPS波浪計のデータから、津波が直に海岸に入射したと考

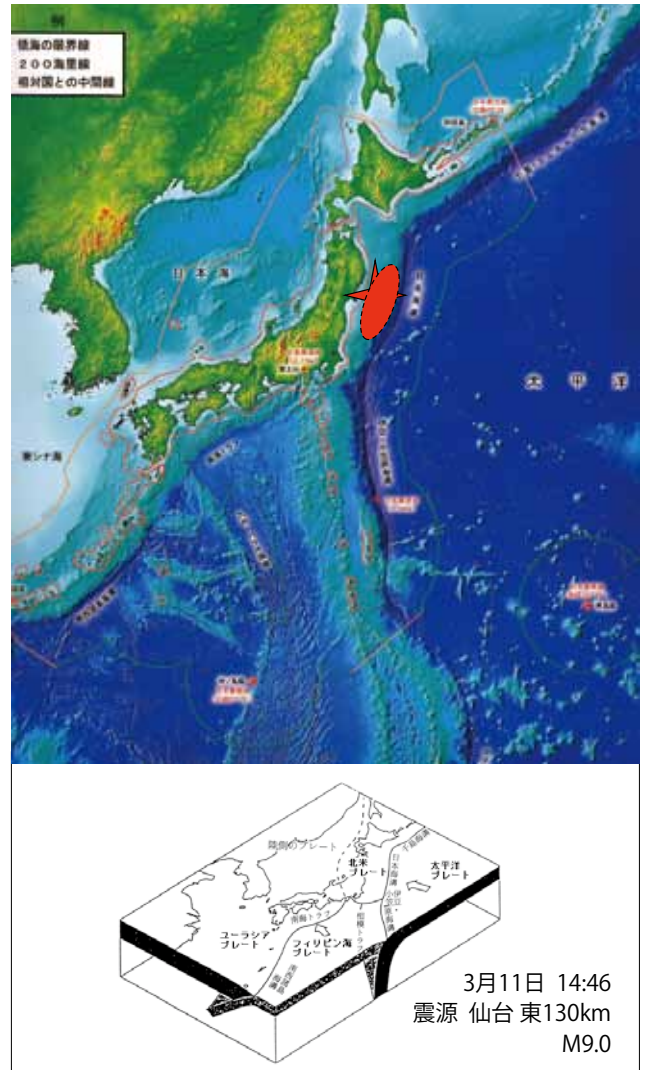


図1 日本周辺の海と海溝

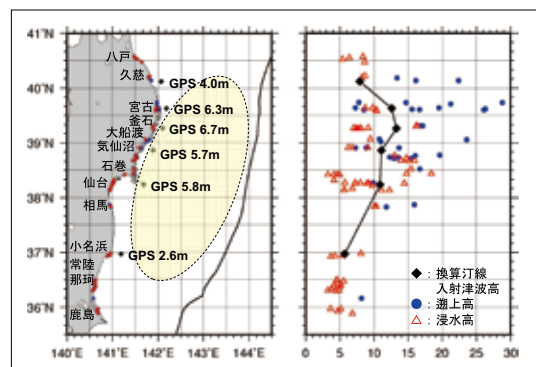


図2 GPS津波観測値と入射津波高さ

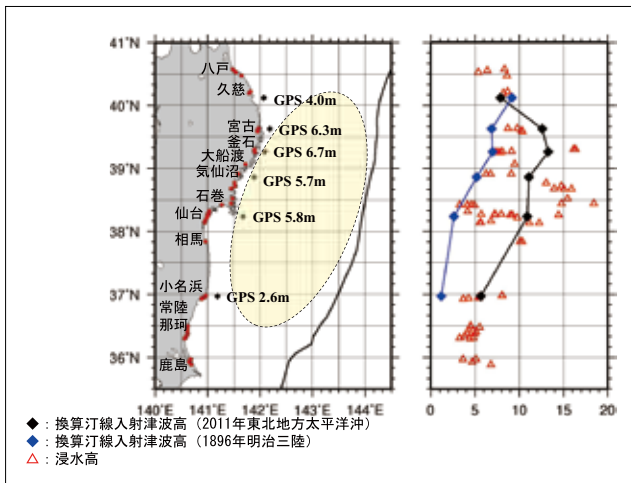


図3 明治三陸津波(1896年)との比較

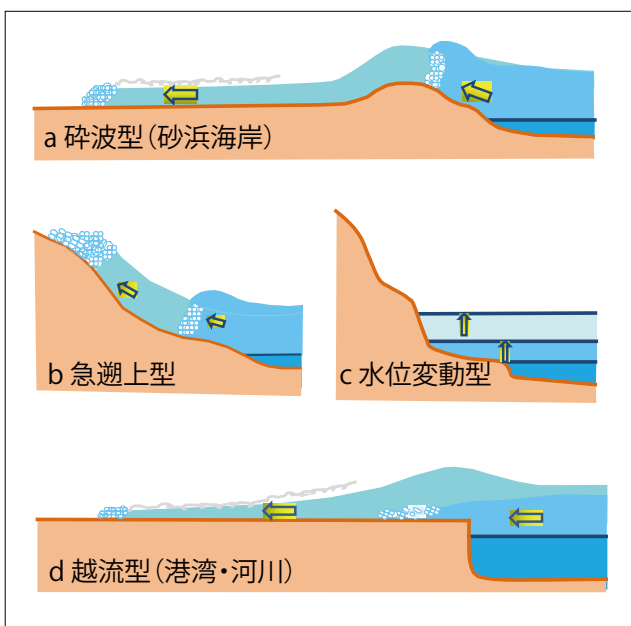


図4 海岸断面と津波の遡上の特性

え、水深が浅くなって大きくなる効果だけを単純に考えて推定したのが、図2の推定入射波高の実線です。釜石沖では13mを越えますし、仙台沖でも10mクラスになります。つまり、三陸沿岸では入射波で10m以上の津波がきているということです。この値は大体、浸水高の平均的な値と一致しています。

図3は、1896年の明治三陸津波との比較です。明治三陸津波のモデルから実際に数値計算をして、GPSの値と同じような計算手法で推定入射波高を出したものです。これで見ると、今回は明治三陸津波の2倍あるいは3倍ぐらいになっています。実は、明治三陸津波はこの地区の基本的な想定津波です。ただ、できるだけ安全側ということで震源を動かしたりして、明治三陸津波より危険な、大きな津波を想定していたと思います。それでも5割増しとか2倍で、特に南の方が解離差が大きくなっています。南の方は、明治三陸津波ではあまり大きな津波ではなく、どちらかというところ津波の方が大きかったところです。

今回は鹿島や常陸那珂にも5mクラスが来ています。普通のM7.7ぐらいの津波だと、大きなところでもこの程度です。それに

比べると、いかに大きいか分かっていただけるのではないかと思います。

## 1.2 津波被害の概要

今回は多くの津波の映像が撮られており、それによって津波災害の実態を理解することができます。仙台湾の名取川河口付近で撮られたビデオでは、津波の陸上への遡上の様子がよく分かります。名取川のこの地区はもともと非常に低い湿地帯が田園となつたところで、2mくらいの高さしかないところ。そういうところに10mクラスの津波が入ってくると、抵抗するものが少ないのでどんどん入ってきて、1km、2kmと内陸に侵入します。津波の先端は非常に怖く、破壊力が大きくて、いろいろな建物を壊していきます。

釜石でもビデオがいくつか撮られていました。釜石港には湾口防波堤があるので浸水高は8mクラスなのですが、それでも非常に大きな被害が出ています。木造の建物は2~3mの津波で大きな被害が出るのですが、8mになると壊滅的になってしまいます。津波は港から溢れてきます。そして、河川からも溢れてきます。釜石港事務所では1階まで津波が来ているのですが、もし湾口防波堤がなくて13mが来ていたら、屋上の上まで来ています。

図4は、海岸の断面と津波の遡上の関係を示したもので、津波の陸上への遡上を説明する図面です。今回の釜石はdタイプです。つまり、港は水深が深いので、波があまり砕けません。お風呂の水がふわっと上がるように越流します。これが、私達が越流型と呼んでいるタイプの遡上です。一方、名取海岸では、沖で砕けながら勢いがついてきて、砂丘あるいは海岸堤防を駆け上って内陸に進入してくる碎波型で、砂浜海岸の特徴的な型です。そのほかに、太平洋側に面した斜面の急な海岸では、津波が砕けながら遡上して、高い遡上高となる場合もあります。逆に勾配がもっと急になると波が砕けず、お風呂の中で水面が上下するだけというような形になります。海岸地形によって様々なパターンが見られ、浸水高や遡上高が大きく変化します。

10mクラスの津波は本当に甚大な被害を及ぼします。津波堤防を越える、内陸深くまで進入する、河川を遡上する、町全体を破壊するなど、私達が今までいろいろなところで見えてきたあらゆる津波災害をすべて見ることができます。

その結果、2万人以上の死者・行方不明者となっています。浸水域が大体535平方kmといわれていますので、南北に500kmと考えると1kmの幅で浸水していることになります。その地区には60万人が住んでおられたので、そのうち2万人というのは3~4%です。石巻市では5000人ぐらいの方が死者・行方不明者となっています。陸前高田市では2000人であり、これは人口に対して10%にも及ぶ大きな数値です。



写真1 陸前高田



写真2 陸前高田の航空写真

写真1はその陸前高田市の写真です。避難所がある学校の高台から撮りました。海岸まで大体2kmの間に町がありました。ほとんどが木造の建物であり、壊滅的な被害を受けています。

写真2は陸前高田の航空写真です。もともとこの土地は非常に低い湿地帯で、田園となって、最近市街地化したところですが、10mを大きく越える津波によって、街全体が破壊されています。この海岸にあった高田の松原は地盤沈下と洗掘によって見えなくなっています。気仙川からも津波が進入して、4km先、この地図で上の方に竹駒という地区があるのですが、そこでも大きな被害が出ていました。

写真3も陸前高田で撮った写真です。ここには15mクラスの津波が来襲しアパートの4階まで浸水していました。ただし、4階まで浸水してもこの建物は残ったのです。鉄筋コンクリートの建物は結構強いことが逆に証明されています。

次に港湾の被害状況です。写真4は釜石港です。この船が津波によって漂流していろいろなところに衝突し、最終的にこの岸壁の上に乗っています。

写真5は気仙沼の写真です。今回の津波では大体2万隻の漁船が被害を受けたと言われています。その中には、陸上の建物を破壊したものも多くあります。

写真6は仙台新港です。仙台新港にはコンテナが4000個近くあったそうです。それが漂流して、1000個は海の中に行ってしまう



写真3 陸前高田(被災したアパート)



写真4 釜石港



写真5 気仙沼

たと聞いております。

写真7は相馬港の写真ですが、沖防波堤がこのように津波によって滑動しています。防波堤の滑動も幾つかの港で見られています。ただ、全部が動いているわけではありません。この港でも残っている防波堤は結構あるのです。

写真8は綾里の護岸ですが、パラペットが破壊されています。津波が砕けながらぶつかってパラペットを壊したもので、この後ろの方にパラペットの残骸があります。

写真9は岩手県普代村の航空写真です。少し分かりにくいと思いますが、普代村の普代地区には普代川があり、そこには津波水

門があります。中央に見えるのが太田名部地区の漁港です。漁港の防波堤が二重、三重にあって、その後ろに高さ15mくらいの防潮堤があり、その背後に村があります。普代川には20mくらいの津波が来て、水門を越して浸水が起こったのですが、水門は壊れませんでした。また、防波堤のおかげだと思うのですが、漁港中の津波は比較的小さく、10m以下になっています。その結果、津波が背後の防潮堤を越えることはありませんでした。二つの地区の集落は守られています。

写真10が水門の写真です。後ろが洗掘されているのがわかります。

もう一つ見ていただきたいのが石巻市です(写真11)。石巻市



写真6 仙台新港



写真7 相馬港沖防波堤



写真8 綾里護岸(白浜)



写真9 普代の航空写真(普代地区 太田名部地区)



写真10 普代水門 15m(前面16-20m、後面10m程度)

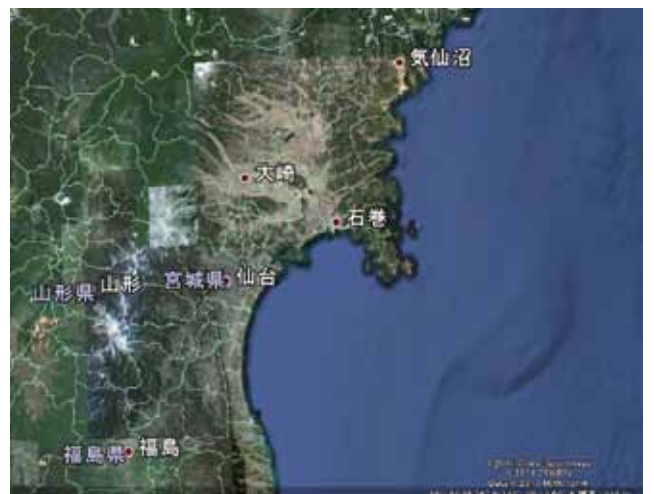


写真11 石巻航空写真



写真12 釜石湾口防波堤の被災状況



写真14 釜石湾口防波堤北堤(被災後)



写真13 釜石湾口防波堤北堤(被災前)



写真15 釜石湾口防波堤 津波作用時の越流状況  
(東北地方整備局釜石港湾事務所撮影)

北堤

南堤

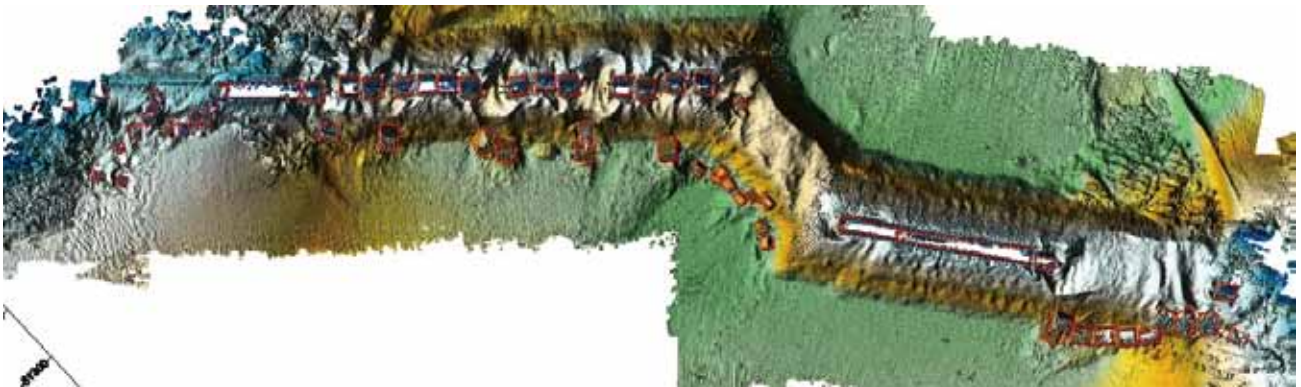


図5 音波による測深図

は合併によって広くなりましたが、旧市街が仙台湾に面したところにあります。旧市街は牡鹿半島があることによって基本的にかなり守られていて、ほかのところは10mクラスですが、ここは5mクラスでした。従って、最初は被害が小さいのではないかと考えていたのですが、実はここが一番死者が多かったのです。5mクラスでも、地盤が1~2mとかなり低く、大きな被害になっています。

### 1.3 津波防波堤の被害

写真12は津波防波堤の被災の例で、釜石湾口防波堤です。写真の下側に港があります。この防波堤は明治三陸津波を想定して造られていて、港奥で浸水高を8mから4mにするという目標で造られました。4mであれば完全に浸水をシャットアウトすることはできないのですが、かなり浸水域が小さくなり、浸水深も小さくなります。

写真13が直前に撮った北堤の写真で、写真14が被災直後の写

真です。このようにケーソンが滑動・沈下している状況です。南堤の方は半分ぐらい残って半分が滑動していました。

図5は音波による測深図です。南堤の半分のケーソンは残っています。あとのケーソンは滑動していますが、海底にきれいに並んでいます。北堤側は洗掘の影響が非常によく見られます。

写真15は釜石港湾事務所が撮った津波作用時のビデオの一部ですが、きれいに越流しているのが分かります。ビデオから、第一波のピークあたりまでは防波堤が津波に耐えていたことが分かります。図6に示すように、津波の伝播計によると、防波堤なしでは港奥で大体13.7mくらいになるのですが、防波堤ありでは8mくらいになって、防潮堤の高さである4mぐらいの潮位になるのも5~6分遅らせることができたと考えられます。その8mぐらいが実際に私達が現地ですべて計測した津波の高さです。

大船渡の湾口防波堤(写真16)は、1960年のチリ地震津波の後、



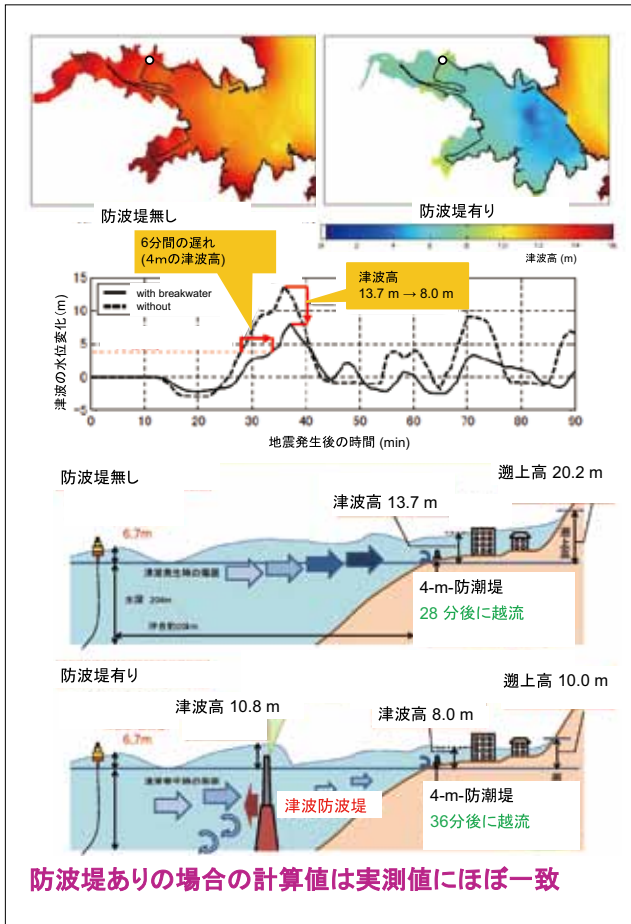


図6 湾口防波堤の津波低減効果



写真16 大船渡湾口防波堤

急速施工で造られて67年に完成しています。これは4mの津波を2mにするために造られたと聞いています。

これもビデオが撮られており、時系列を追ってどうなったかが分かります(写真17)。3時13分ぐらいから越流が激しくなりましたが、3時16分にはまだ残っていました。ここにはいわゆる防波堤灯台があるのですが、それがなくなったのが16~19分の間です。安定性の計算から考えると、比較的早い時期にケーソンが滑動していると思われます。ただし、これは概算値で今はもっと詳細な計算をしています、マウンドの影響等で12mぐらいの津波を10mぐらいにしているのではないかと考えられます。



写真17 大船渡湾口防波堤 津波作用時の越流状況

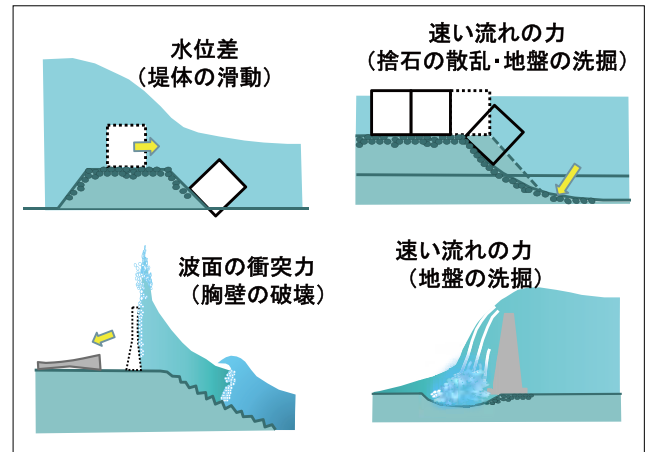


図7 津波防災施設の被災のパターン

図7はよく皆さんに説明している津波防災施設の被災のパターンです。水位差によって堤体が滑動します。前面が大きくなる割には、後ろもそこそこ高くなりますから、津波の力は見た目ほど大きくならないことが特徴かと思えます。また、水位差によって速い流れが起きて洗掘が起こったり、砕けた波がパラペットなどに衝突して壊れたり、あるいは越流して背後を洗掘して倒すなど、いろいろなパターンが見られました。

#### 1.4 東日本大震災の教訓と今後の対策

このような非常に大きな災害がどうして起こったのか、あるいはそれから学ぶべき点は何か、今後の津波対策として何をしたらいいのか等について、中央防災会議、国交省、気象庁や消防庁、あるいは学会など、いろいろなレベルで検討されています。

それらの論議から、私としては次の四つが主要な論点ではないかと思えます。一番目は、やはり想定外の津波であった、非常に大きい最大級の津波が来た、それを十分予想していなかったということです。2番目は、警報が十分正確ではなかったことです。そして、3番目は緊急の避難が十分できていなかったこと、それから4番目は津波に強い街ではなかったということです。

最初の想定外の津波については後でまとめてお話ししたいと思いますので、2番目から4番目について簡単にお話しします。

地震後3分で津波警報が発令されることになっています。しかし最初の警報は、岩手県で3mの大津波というものでした。3mで

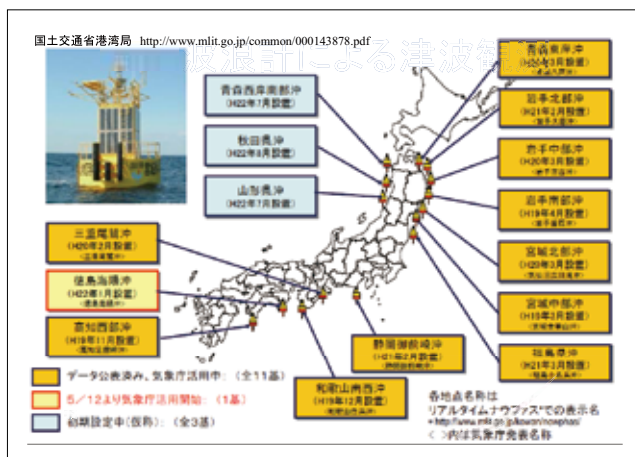


図8 GPS波浪計観測地点一覧

は大きな被害はないと考えて動かなかった人も多かったと聞いています。当然のことですが、より正確で分かりやすい津波警報が必要です。その一つの手段として、GPS波浪計などがもっと活用されるべきだと思います。それだけではなく、津波を見に行き行って亡くなった方がいます。消防署や警察の方も津波を見に行っていますので、そういうことをしなくても済むように、沿岸に波浪計やビデオ監視カメラなどを置く必要があると思います。また、今回はそれらが地震動や浸水、停電などでほとんど動かなくなったのですが、そういうことがないようにする必要があります。国土交通省では現在、初期設定中のもも含めて15機のGPS波浪計をセットしていますが、これをもう少し増やそうということになっています。それから、今は20km沖ですが、できれば50kmぐらいのところにおいて、もう少し早めに津波を観測するために技術的な課題を検討しています。

緊急避難の問題としては、避難所が遠いということがあります。先ほどの陸前高田では海岸から高台まで約2kmあるので、多くの人が1km以上移動しなければいけません。車で移動する人が結構いて渋滞し、途中で津波に巻き込まれています。私どもは道路で津波に遭遇することが一番危険だと言っていますが、そういう方が非常に多かったのではないかと思います。だから、身近な緊急避難所が必要だと思っています。

また、津波の場合は鉛直避難が必要です。現実には水平の避難で、遠くの避難所に行くことが多いのです。実は避難所は地震の避難所がほとんどなのです。地震の避難所は、地震が起こってから生活する場所ですから、避難生活所であって、緊急避難所ではありません。そのところがあまり明確に分かれていなくて、どうしても遠くにあることが多いのです。せっかく校舎の高いところにいたのだけれど、避難しなければいけないということで下の体育館の方に移動するということが実際に起こっています。避難生活所と緊急避難所を分けていかなければいけないと思います。緊急避難所としては避難タワーや中高層のアパート、オフィスビルを使う必要があると思います。

津波に強い沿岸都市づくりとしては、高台に移ることが重要だと思います。ただし、それだけしか解決策がないかというと、そうではないと思います。高台避難は明治三陸津波当時の考え方

です。新しい時代には高層のビルなど、いろいろな新しい技術で、沿岸でも津波に強い都市づくりができるのではないかと考えています。

## 2. 最大級の高潮・高波・津波への対応 - 性能設計 -

ここでは、沿岸防災施設の性能設計体系の導入についてお話ししたいと思います。

これは高山先生らのご指導で港空研でずっとやってきている成果ですが、2003年の土木学会の各研修会や、インド洋大津波後の港湾技術交流会、ハリケーン・カトリーナの後は港湾談話室、あるいは国交省や沿岸センターの方々と一緒にやっている国際沿岸防災ワークショップなどでもお話ししている内容です。

### 2.1 最大級の高潮・津波災害

1999年には18号台風が襲来しました。そのとき山口宇部空港が高潮と高波によって浸水しました。写真18は滑走路です。写真19は駐車場です。ここにあるのはポートではなく車です。このような被害が起きて、1週間程度、空港が閉鎖されています。

2004年には多くの台風被害がありました。覚えておられる方も多いと思いますが、その当時話題になったのが「台風の巨大化」で、これが今も使われているキーワードです。

2004年12月26日にはインド洋大津波がありました。M9.1で、10mクラスの津波がインド洋の各地を襲いました。そのとき、「M9.1クラスは日本では起きないのではないか」と思った人は多いのです。ただし、よく考えてみると、M9.0の地震はいろいろなところで起こっています。だから、日本でも起こりうると思えるべきだったと思います。



写真18 台風18号による高潮・高波災害(山口宇部空港滑走路)



写真19 台風18号による高潮・高波災害(山口宇部空港駐車場)



写真20 ロビンソン・クルーソー島

2005年8月29日にはハリケーン・カトリーナが来襲して、6mクラスの大潮と高波によってメキシコ湾岸に大きな被害が出ています。

平成22年2月にチリ地震津波がありました。写真20はロビンソン・クルーソー島ですが、10mクラスの津波によって跡形もなくなっています。今回見た現象と同じです。

設計を超える高潮や津波はあるのであって、最大級の高潮や津波を考えなければいけないのです。そして、そのとき具体的に何が起こるのかを予測することが重要だと思っています。

最大級の高潮や津波に対してハードとソフトによる対策をとるためにハリケーン・カトリーナの後に、アメリカの人たちはワーストケースシナリオを考えて準備をすべきであるといういろいろな会議で言っておられました。ただ、そのワーストケースシナリオを考えたハード・ソフト対策を具体的に実行するには、新しい設計体系としての性能設計が必要です。私達は沿岸防災施設について性能設計を導入する必要があると言ってきました。

## 2.2 防災施設の性能の設計

性能設計 (Performance Design, Performance-based Design) とは、要求される必要な性能とこれに対する照査方法を明確に体系化した設計体系で、1960年代にヨーロッパから発信されて、1994年のノースリッジ地震を契機に具体的になってきています。性能設計とは何が起きるのかを具体的に示すとともに、それがどの程度の確率で、何年に一度起きるかを示す設計体系だと思っています。

特に重要なのは、「設計以上のものは来襲しない、だから施設は壊れません」ではなく、「設計を上回る台風も来る可能性がある、施設は破壊されることもあるのだ、だから破壊されたときに具体的に何が起きるかまで考えて、ハードとソフトによる対策をとる」ことが、性能設計として重要ではないかと思っています。

性能設計では、複数のレベルの外力に対して具体的な性能を示すことが求められているのですが、そこでは性能マトリックスの導入が非常に重要になってきます。

図9はその概念図で、縦軸は外力のレベルで横軸は要求性能です。レベルⅠ、レベルⅡ、レベルⅢとここでは三つ掲げていますが、

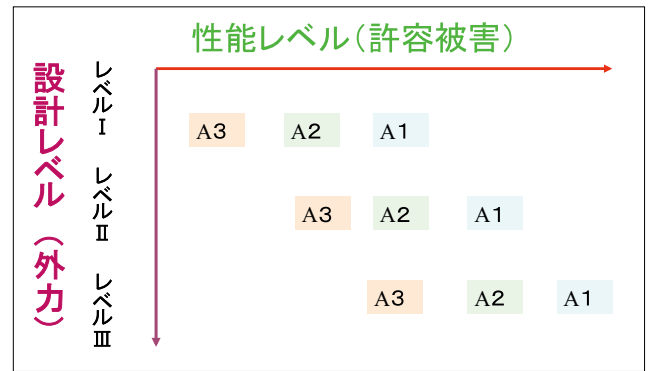


図9 性能マトリックス

レベル	重要度	背後地の条件
A 1	通常の施設	比較的家屋の少ないところ、避難の比較的容易な地域
A 2	重要な施設	家屋の密集したところ、あるいは高度な商業・工業用地、あるいは避難の比較的困難な地域
A 3	非常に重要な施設	原子力施設等のように高い安全性を必要とする施設

表1 性能設計における重要度

レベル	再現期間	対応する潮位偏差と天文潮
I	30 ～100年	比較的発生頻度の高いクラスの台風による潮位偏差と台風期の平均満潮位
II	100 ～1000年	既往最大級の台風による潮位偏差と期望平均満潮位
III	1000 ～10000年	考えられる極限の台風による潮位偏差と期望平均満潮位

表2 設計外力のレベル:例えば高潮位

それに応じて要求性能、この場合だと許容被害を決めていくわけです。このA1、A2、A3というのは重要度です。重要度に応じて、それぞれの外力レベルに応じて要求性能を決めていくのが、性能マトリックスを使った性能設計です。

表1は当時使っていた表なのですが、重要度としてA1、A2、A3を設定し、例えば、比較的家屋の少ないところや避難の比較的容易な地域はA1としています。例えば発電施設のように高い安全性を必要とする施設などは、A3という重要度を考えなければいけません。当時考えていた三つの設計レベルは、30～100年ぐらい、100年～1000年ぐらい、1000年～1万年ぐらいの津波や高潮を考えていました。ただ、今はもっとシンプルに、レベルⅠ、レベルⅡとして100年程度、あるいは1000年程度を考えようということになってきています。

性能設計はもう始まっていて、神戸震災の後、耐震設計に取り入れられているのは皆さんで承知のとおりです。二つの設計レベル、変形量による要求性能が具体的に設定されています。

海岸の分野でも、例えば混成堤直立部の期待滑動量、あるいは消波ブロックの被害率などに使われ始めています。これを防災施設の性能設計に使おうというわけですが、ご承知のように、実は性能設計の基準への導入はすでに始まっています。2004年6月の「海岸保全施設の技術上の基準」の中には「性能設計」という言葉が入っています。「港湾の施設の技術上の基準」にも入っています。性能設計の導入は図られて、仕様設計から性能設計へ移行しており、あるいは信頼性設計、確率論設計の導入が始まっています。ただ、私達が本当に残念だと思っているのは、複数の設計レベルを使うことは未採用であったことです。

### 2.3性能設計と説明責任

少し角度を変えてもう少し説明します。土木施設、特に防災施設では市民への説明が重要です。特に避難しなければいけないということになると、市民に分かってもらってないと、防災施設をつくっても全然意味がありません。だから、性能設計と説明責任は非常に重要な関係にあると何度も言ってきました。

それを一番感じたのは1999年の18号台風のときでした。現地を調査していて、ある漁師のおじさんに会いました。おじさんに「どこまで高潮が来たのですか」と聞いたら、「この辺までだ」と言い護岸の天端付近を示しました。堤防の上から見ていたのです。この人は「こんな高い階段を毎日行かなければいけなかったから、本当に不便で、こんな施設はなくてもいいのではないかと考えていた。でも、今回は助かった。」と書いていました。

その時は、私はこの人に防災施設の重要性を分かっていただけで良かった、助かって良かったと思ったのですが、帰ってきてよく考えてみると、違うかなと。この人はたまたま幸運だけだったのです。もう少し高潮が大きかったら越流して死んでいたかもしれないのです。やはり危険性をきちんと知らせていく必要があるのではないかと思います。ですから、事前に危険性(予測される災害)を把握して、それを伝えておくことが防災施設として本当に重要です。これは当然のことで、今まででもやっていると思うのですが、十分ではなかったと思います。設計体系を変えないと十分にはできないのではないかと考えたのです。

現在の設計技術は説明責任を果たしているか、その果たすという要請に応えられる体系になっているかという視点で見る必要があります。土木学会では「社会の合意形成のためにその必要性を具体的に説明するなど積極的な対話に努める」と倫理規定に書いています。アカウンタビリティが盛んに言われるようになって、

「対話に努める」と書いてあります。ただ、何を説明するのか、具体的に説明するものがあるのか、何回かやることも重要かもしれないけれど、もっと具体的な説明が必要ではないかと思います。今私達が説明できるのは、「設計波に対して安全率は1.2です」「設計波に対して越波流量は\*0.02m<sup>3</sup>/sec/m\*になります」ということで、そうとしか言えないのです。もっと具体的な性能を示す必要がある、だから性能マトリックスによる性能設計が必要ではないかと思っています。

また、分かってもらうためには災害のシナリオの作成が重要だと思っています。施設の被害や浸水、人的・経済的被害を具体的に示すような災害のシナリオを作らなければいけません。そして、それをビジュアルなイメージとして伝える必要があって、被害シミュレーションの動画、ハザードマップというもので皆さんに伝えていく必要があるのではないかと思っています。私も性能設計を宣伝するときには、市民に分かる設計、市民に向かった設計であると言っています。

さらに、性能設計体系では、ハザードマップだけではなく、警報や避難勧告、避難指示などが一体として扱われなければいけないと思っています。

図10はそのまとめですが、性能設計体系を大きな枠で考えると、被害の予測はその一部で、ハザードマップはその成果の一つですから、この部分で説明責任を果たしていく必要があると思っています。性能設計体系を沿岸防災施設の技術基準に導入することが大切であると思います。

### 2.4性能設計と粘り強さ

次に性能設計と粘り強さについてお話をします。ハリケーン・カトリーナの調査に沿岸センターの人たちと一緒に行きました。そのときにニューオーリンズやガルフポートなどのメキシコ湾岸の街々を歩いて、二つのタイプの災害があることに気付きました。ニューオーリンズはハードによる防災で、あとの都市はほとんど何の防災施設もない、ただ避難を主にしたソフト防災でした。それを見て、ワーストケースを考える際には、粘り強さを考えなければいけないと思ったのです。

ハリケーン・カトリーナは、上陸時は918hPの室戸台風や、伊勢湾台風よりも大きいハリケーンで、ミシシッピ川のデルタと言

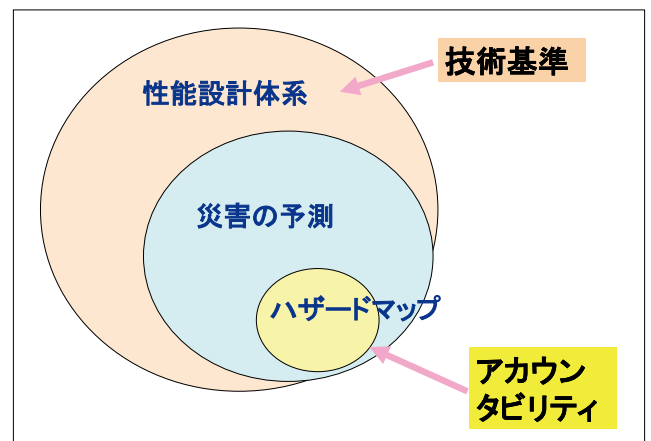


図10 性能設計体系とアカウンタビリティ

われる浅いところを中心に、非常に大きな高潮災害となりました。

図11は最大高潮偏差の分布ですが、この湾岸では6mを越すような高潮に高波も加わっています。ハリケーンのコースの左側がニューオーリンズで右側がガルフポートです。ニューオーリンズはポンチャートレイン湖からの高潮で被害を受けました。

図12の左はポンチャートレイン湖の堤防、右はニューオーリンズの運河の堤防で、盛り土に矢板を打ち込んでコンクリート板をつけたカミノリ堤といわれる形でした。覚えておられる方も多いと思いますが、これが図13のように壊れて倒れた瞬間、水が全部一気に流れてこの辺に壊滅的な被害が起きました。もともとこの地区は堤防で守られていますから、なかなか避難する人がいませんでした。一気に壊れると、甚大な被害になるのです。

メキシコ湾岸もガルフポートなど多くの街で大きな被害がでています。200~300mくらいにわたって建物が破壊されましたが死者がほとんどいませんでした。それは、防災施設がなかったからです。ちょっとした高潮でも被害があり、避難は古くから行われていました。

図14はニューオーリンズとガルフポートの二つのタイプの災害から作成した図です。横軸は外力レベルで、縦軸が被害です。ニューオーリンズタイプはハード対策をしているので、想定レベルを超すぐらいまではそれほど被害が大きくなりません、しかし堤

防が決壊した途端、どんと被害が進んでいくという形になります。一方、ガルフポートなどメキシコ湾岸では何もハード施設がないですから、小さいハリケーンでも被害が出ます。

もちろんハード施設があれば、想定レベル(レベルI)付近は大きく被害を低減しています。ニューオーリンズなどで問題になっているのは想定レベルを越えたところです。想定を大きく超えたワーストケースをレベルIIとしていますが、レベルIIのあたりは、被害が急に拡大しないようにすべきです。これが粘り強さです。構造物が粘り強ければ、レベルII付近の被害を小さくすることができるのではないか、だから粘り強さは本当に大切ではないかと思えます。

「粘り強さと避難」のハード・ソフト対策をとれば、全体として被害の軽減、減災が図れるのではないかと思います。防災施設のレベルIのあたりでの貢献は本当に大だと思のですが、これからはレベルIIの対応も大いに求められると思えます。

## 2.5性能設計の導入

性能設計の導入についてお話しします。今回の経験から、今後の津波対策としては最悪のシナリオを考慮した対策をしようということで、性能設計という言葉自体はなかなか出てこないのですが、そういう形になりつつあります。レベルI津波とレベルII津波を考える必要があります。レベルI津波は近代で最大(100年

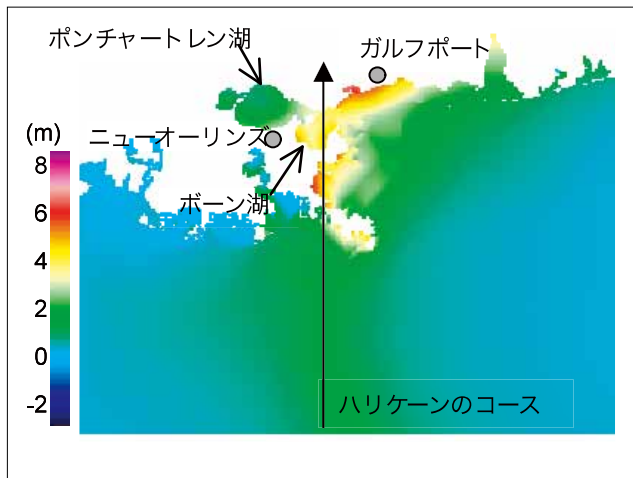


図11 最大高潮偏差の分布

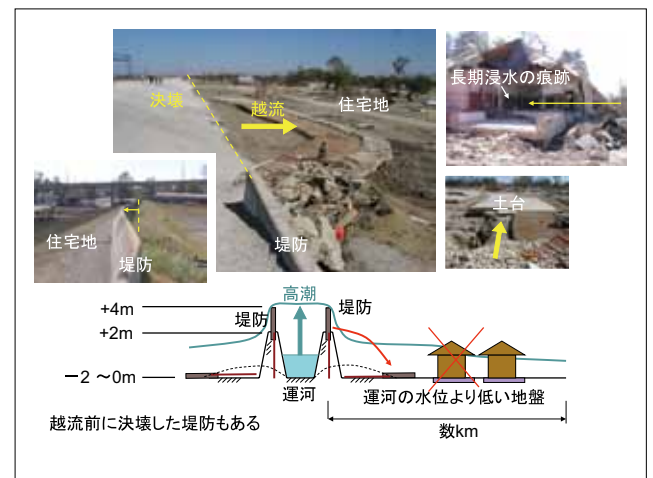


図13 堤防の外観と断面

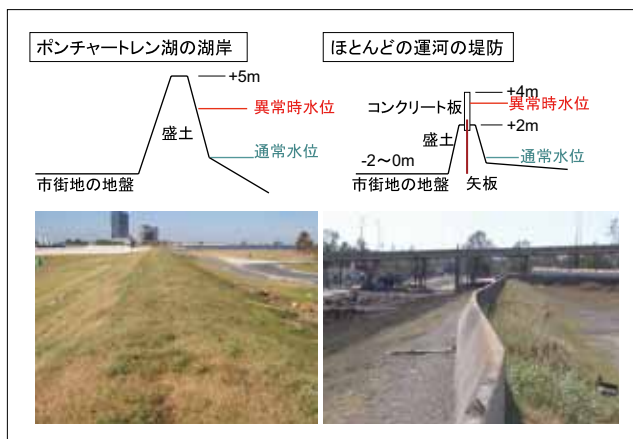


図12 ニューオーリンズにおける堤防の特徴

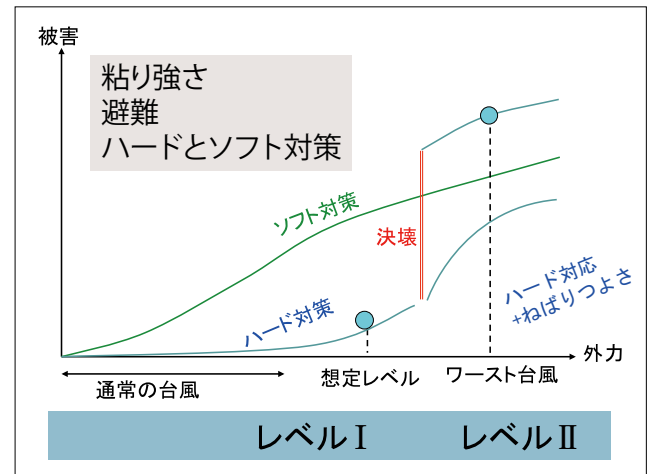


図14 外力レベルと災害の程度

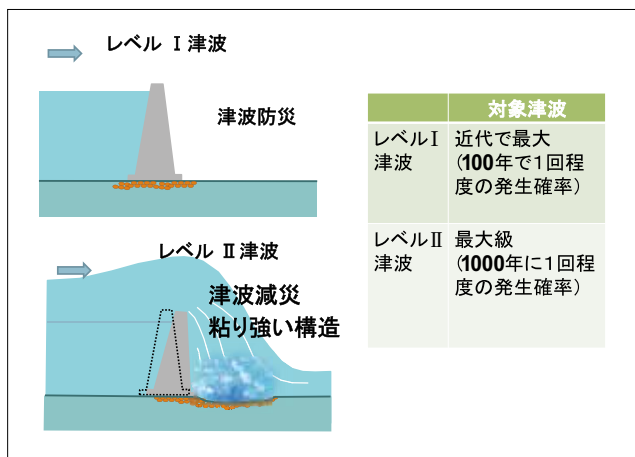


図15 レベルI津波とレベルII津波に対する津波防災施設

に1回)、レベルIIは最大級(1000年に1回程度)です。要求性能としてはレベルIについては防災で、人命、財産、経済活動を守る、レベルIIは減災で、大きな二次災害を起こさずに早期復旧を図るようにしようと考えています。

そのとき防災施設は、レベルIに対しては高さも十分あって、原則としてきちんと津波を防ぐ必要があります。レベルIIでは、津波は越流していきます。洗掘されてもなかなか壊れないようにすれば、粘り強い構造として機能は発揮すると期待されます。

今、そのレベルI、レベルII津波をどう決めるかが問題になっています。レベルI津波は、これまでの想定津波がまず考えられます。レベルII津波は、決めがたいというのが正直なところです。これまでの津波の2倍とか5割増しとか考えられますが、地震学の人たちがしっかりと見直してくれるまで待たなければいけません。ただ、三陸地方は今回の津波がレベルII津波になるだろうと思います。

防災施設の復旧・復興では、できれば今回の津波に対応できるように改良しないといけないのですが、今のところ原型復旧が考えられています。できれば後で粘り強い構造に補強ができるような構造としてほしいと思っています。

粘り強い構造にすることはなかなか難しいのですが、今回の津波でも、残っているものもあります。それがなぜ残ったかを考えれば、粘り強い構造がおのずから見えてくると考えています。

私達は非常に反省しています。なぜレベルIIを考えられなかったのか。少し前に考えていれば、だいぶ違ったのではないかと考えています。それは当然、私どもの認識が甘かった、努力が不足していたわけですが、あえて言わせていただくと、いろいろな抵抗がありました。

今の設計体系は既往最大を想定して設計します。既往最大は一

番説得力があります。財務当局も説得できるし、住民に対しても説得できる。だから既往最大以上を考えることはありえないという人たちが結構多かったのです。

もう一つあったのは時期尚早論です。そんな粘り強い構造や、レベルIIに対応することなど技術的にできるはずがない。理想論を言ってもらっても困るというのが大勢です。ただ、そうは言っても、仕様設計から性能設計へ変わるとか、信頼性設計の導入という方向には進んでいます。ただし、複数の外力レベルを導入するところまでは至っていません。

今、東日本大震災の後、追い風が吹いていて、導入の方向ではあるのですが、最初の1~2カ月に比べると、だんだん熱が冷めてきて、難しくなりつつあります。いろいろな地元の方や技術者と話すと、「やはり既往最大が一番いいのではないか。それで説得できるし、1000年に1回なんて説明しきれないよ」と言われます。

時期尚早という議論もあります。特に時期尚早と言われているのは粘り強さです。「粘り強さは難しいよ。どうやって定量的に表すのだ。そんなことできるはずがないじゃないか」「そんなことを言われても、もし粘り強くなかったら、後で責任をとらなければいけないのではないか」とも言われています。私達が言いたいのは、技術開発は土木技術者の基本的な社会的責任であり、責任を果たす覚悟が必要だということです。伊勢湾台風時代の技術者は本当に偉かったと思います。堤体の三面張りなど、既に粘り強さを考えていました。その当時から粘り強さについてはそんなに進んでいないのです。

それから、危険な沿岸域から撤退すればいいのではないかと議論もあります。とにかく避難すればいい、防災技術などあまり頼りにならない、とにかく避難すればいいという議論もあります。私達は、謙虚に反省しなければいけません。やはりできることとできないことを明確に言わなければいけないと思っています。また、フェイルセーフの考え方をとらなければいけないと思っています。ただし、1896年の明治三陸津波の時代とは違って、リスクをしっかりと管理する技術があると思っています。

他にもいろいろな議論があります。減災であっても財政的に無理だろうという意見がある一方で、住民からはレベルIIに対しても防災にしてほしい、減災では困るという二つの意見があります。私達は重要度によって決める。住民がコストと効果を考えて決める必要があると答えています。重要度や住民の意思によって変えることができるのが性能設計であると言っています。

さらに、レベルIIを上回るものもあるのではないかと、最悪のシナリオを考えていたのだけれど、それを越すことが十分あるでは

ないかという議論もあります。これももっともな意見ですが、やはりレベルIIを設定しない限り、何事も進みません。避難が重要だということを意識しつつ、レベルIIの設定を行わざるを得ないのではないかとっています。

なお、沿岸防災施設全体への性能設計の導入も考えなければなりません。地震について性能設計が導入されていますが、津波や高潮・高波に対しても導入する必要があります。大きな高潮災害の発生を非常に危惧しています。高潮については、図16のような検討もずいぶん前ですが、実施しています。

## おわりに

私達は今回、研究所を挙げて調査しました。現地の方も含めて多くの人々がすごいエネルギーを使っています。もし被害の発生前にこのエネルギーを使っていれば、どれだけ効果があったことでしょうか。被害の発生前にどんな被害が出るか検討していくことが本当に重要だと思います。ハザードだけではなく、いわゆる脆弱性をきちんと理解して、その地区のリスクをきちんと管理するようにしておけば、もう少しいい結果になったのではないかと

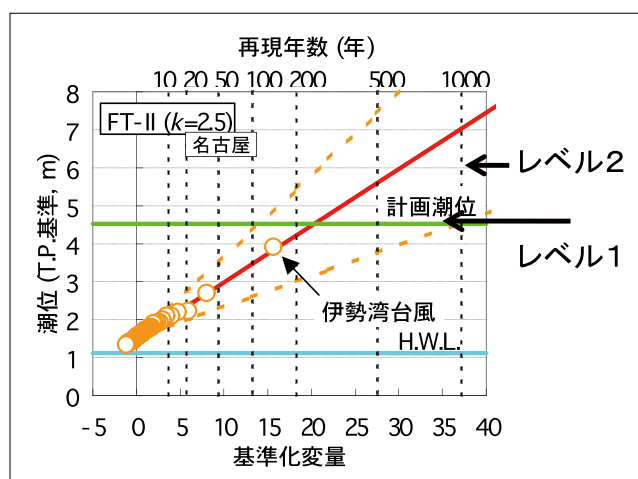


図16 潮位の出現確率分布の例

思っています。

私達はその基本ツールとして性能設計を推進したいとずっと思っています。ただし、それを推進するために必要なツールがまだまだ十分ではありません。数値計算も必要です。大規模波動地盤総合水路などを造ったのも、水理模型実験で性能評価ができるようにするためです。現物大であれば相似則の問題がないので、性能設計に不可欠な被害の程度が定量的に分かります。

私達だけではなく、企業の方も含めて、粘り強い構造の提案を技術者の人たちにしてほしいと思っています。そうした技術を推進するためにも性能設計体系の基準を整備する必要があります。私達の憲法である基準が変わらないと、なかなか変わらないと思っています。

図17はいつも使っている図です。海との共生は非常に重要です。今回、私達は本当に海の厳しさを知りましたが、海は豊かなところでもあります。やはり豊かな海との共存を図る必要があります、そのために私達の技術や知恵が活かされなければいけないと思っています。

以上です。どうもありがとうございました。



図17 海との共生

発行 財団法人 沿岸技術研究センター  
〒102-0092 東京都千代田区隼町3-16 住友半蔵門ビル6F  
TEL. 03-3234-5861 FAX. 03-3234-5877  
URL <http://www.cdit.or.jp/>  
2012年2月15日発行