

スペシャルセッション

津波について

京都大学防災研究所 教授 間瀬 肇

津波についてお話したいと思います。

講演の内容なのですが、最初に津波の発生から津波の情報のとりまとめの経緯、津波情報サイトの立ち上げと内容、現地調査からみたハード対策とソフト対策の重要性です。及び基本的になりますが、波動としての津波の特徴、そして当研究室がやってきました津波に関する研究をお話するとともに、最後に新聞、テレビ等で津波の情報が出ておりますが、報道で気になった内容についてお話したいと思います。

最初に、津波が発生しましてその情報を取りまとめているのですが、3月11日、逆断層型の海溝型地震が発生しました。この時ちょうど防災研の教授会をやっていたのですが、地震が起きたことを副所長から地震の連絡がありまして、ネットで潮位記録を見ましたら最初に引き波が、釜石ですが、大きく海面が低下しました。そのあとまた数十分後に、検潮器の記録を見ましたら急に大きくなって途切れていました。要するに津波GPSのデータが途切れてしまってデータが無いという状況でした。したがって、かなり大きな津波が起こったということが予想されました。通常は津波が起こりますと東北大学の研究者グループが、1日～2日後に津波のシミュレーションを行いまして、メーリングリストに、このような津波でしたという情報が流れてきます。ところが今回2日、3日経っても何も連絡がないので、東北大学の先生方自体、非常に危険な状態になったのかと想像していました。東北大学を修了されて、現在は関西に居る先生に状況を問合せましたら東北大学自体、工学部が停電やネットが遮断されていて何の情報発信もできないということが分かりました。それで通常は東北大学の方で調査団や段取りをまとめるのですが、防災研究所にて津波の情報サイトを立ち上げて、調査の段取りをすることになりました。情報収集及び現場に行くのですが、放っておきますとテレビで流れた惨状の大きいところだけに皆が行くことになります。となりますと、津波のデータが集まらない場所が相当数できますので、このグループはどこどこへ行くという段取りも含めまして情報サイトを立ち上げました。

その情報サイトの内容ですが、メインコンテンツには調査に行くときの注意事項が書いてあります。最初この津波が起こりましてすぐ行きたいグループがあったのですが、非常に深刻なことが起こっているということで3週間は現地に入れず、まずは東北大学の先生が前調査し、その結果を待って3週間後から各グループの行き先の調整をしました。そのコンテンツの中には、注意事項とか現地に行ったらこういうことを調査するというマニュアルもあります。現地で調査した結果は全部報告してもらって、その現地調査結果をとりまとめています。

コンテンツの中には、後でいくつか紹介しますがそれまで行われた津波計算結果が出ております。また、各地点の津波観測データもまとめてあります。他に国土地理院等が航空機を飛ばして浸水状況を航空写真で撮った結果及び被害状況推定及び過去の津波の情報等を載せてあります。また、関連リンクとしましては色々な情報が集まるように気象庁、津波関連リンク、地震関連、報道情報もまとめてあります。例えば、津波の伝搬計算ですが、いくつかの機関がすぐ対応してやります。このサイトにまとめているのはここに載っています、日本では建築研究所から国際工業株式会社が行った計算結果が載っています。この時、計算結果が違いますのは、最初の津波波源域、最初の地震が起こりまして海底面が変位することによってその変位分が周囲の海面に伝わります。その初期変位が違いますので、計算結果は少しずつ変わってきます。

国外機関ではNOAA、アメリカの大気気象局とヨーロッパユニオンの津波シミュレーションの結果が載っています。

これは防衛大学の鳴原先生の計算結果の一例ですが、最初に波源域、地震情報から設定しますが、それから津波計算を行います。牡鹿半島と仙台の平野のところで赤色のところが水位が高い所ですが、ある場所で津波が閉じ込められてしまうような現象が起きます。岩手県、牡鹿半島の北には赤色の範囲が大きく、津波が非常に大きいことがわかります。この結果が、WEB ページに載っています。

先ほどのメインコンテンツにありましたように、現地調査に行く時にはいくつかの点に気を付けてくださいと。今回は、3週間以内は行方不明やご遺体の収容等、非常に深刻な状況でしたので、我々が勝手に現場に入りますと捜査の邪魔になったりしますので3週間は入らない。あとは救助活動の妨げにならないようにする。不謹慎な行動だにとられないように調査をするということが載っています。

津波調査は、日本全国ほとんど行っています。最初の3週間は北海道や鹿児島等、東北に関係ない場所の津波の遡上高を測ってきました。痕跡高というのは建物にゴミがあったり、砂の後がついたりするのですが、雨が降りますと、そういった痕跡高がなくなりますので津波がどこまで上がったかということを調べるためには、すぐに入る必要があります。但し、東北エリアの中には3週間後にしか入れないという状況でありました。

データの取りまとめにあたっては、各自バラバラの形式でデータをとりますと、後でまとめるのが難しいので次に示すシートに、どこで、いつ、何々を測ったということを記入します。テレビに出ます津波の大きさというのも色々な定義がありまして、海上で観測される津波の高さ、ある陸地でどれだけ家が浸かったかという浸水深（浸かった水深）、その高さは海面から標高どのくらいにあるか。痕跡高でも浸水深と浸水高と遡上高など、多くの定義があります。それらがわからなくなならないように先ほどのシートを使って記入します。各グループがこのシートに記入しますと、緯度経度がわかるようになっていまして、それをグーグルマップ上で点のポイントとして表示させます。そのような状況で、現在5,000点の浸水高調査、遡上高調査があります。

非常に細かくやっていますので、後は津波計算をやった時に最初の津波波源が正しいかどうかということも痕跡高と計算結果を比べることによって検証することができます。5,000点以上とっていますので、小さな湾でも4～5点の点がありますので、シミュレーションの検証には、非常に貴重なデータが集まったことになります。

次にお見せしていますのが実際の観測データで、下の八戸の方は、途中で切れてしまっています。場合によっては、第一波が押し寄せた時に津波が大きくなるという押し波から始まるケース。八戸では、最初にちょっと引いています。これは引き波から始まるケースというのが、気象庁の潮位観測情報あるいは、国土地理院の潮位観測情報、海上保安庁の検潮データから分かります。また、国土交通省の、本来、波高を測る装置なのですが、沖の方に置いてあるGPS波浪計というものがありますが、それによって津波高が測られています。

津波が高かったのは青森県から福島県にかけての海岸ですが、第一波は比較的予測が簡単です。岩手沖、釜石沖、気仙沼沖にGPSの波浪計が置いてあります。このデータが途中で切れていたのですが、波浪計自体はつぶれていませんでした。波浪計はアンカーと繋がれて、海の上に浮かんでいます。大体水深100～200mのところには浮かんでいます、その鎖が切れてなくなったという破壊はありません。送られてきたデータが地上局のところでたまってしまい、それが出していないという故障でした。襟裳岬では第一波が30分、三陸地方では10分から20分に第一波がきました。第一波が一番大きいわけではなくてそのあと最大波がやってきたりします。テレビでは第一波が来ますが、引き続き大きな波が来ます、第二は、第三波がくるかもしれません、その方が大きいかもしれませんと言っていますが、最大波というのは、非常に複雑な過程を経て生じます。半島の先端ですと、津波が集中して大きくなる。湾に入ると水深や幅によって特にリアス式海岸ですと、水深が浅くなって幅が狭くなるので非常に大きくなります。あるいは複雑な湾ですと、波が入ったり出たりし、非常に複雑な状況になりますので最大波がどのくらいになって、いつ来るかというのは非常に予測が難しいです。第一波は比較的簡単です。波源からそのまま陸地にやって来ますので、どこで波源域が大きかったかということで予測することができます。

集めました航空写真や、航空データはここに示したようなものであります。上は航空写真ですが、国土地理院が被災後、すぐに飛行機を飛ばしましてどの位の範囲が津波で浸水したを調べました。こういうデータがありますと、どこまで災害対応するかの非常に貴重なデータになります。あるいは衛星からもこのようなデータを観測することができまして、下の図面にあるように色が変わっていきまして、この画像からどの位の範囲が浸水したかがわかります。

調査に行く場合は、前もってどこまで波が遡上したのかデータを持って調査に行きます。これは先ほどの航空写真から国土地理院がまとめました浸水範囲です。赤色で示したところが浸水範囲でこのようなデータがWEBに載っています。最近では大阪市立大学の先生が、東北地方全域の浸水マップを作りました。そこのホームページにいきますと東北地方全域の浸水マップが出ています。

実際に我々も現地に行ったのですが、現地から見たハードとソフトの重要性について考察しました。ASCE と申しますのはアメリカ土木学会のことで、彼らは日本に何チームかを派遣してきています。例えば港の施設の被害を調べるグループ、建物の被害を調べるグループ等のチームが来ました。日本側の対応もメーリングリストを通して調整しました。震災後、一ヶ月後あたりからこのようなチームが来ています。今、この写真に5人写っていますが、真ん中の背の高い人はたまたま当研究室に、招聘外国人教授としてやって来ています、オレゴンステートユニバーシティの教授で、津波センターの所長をなさっていました。サバティカルをとって来るために所長からステップダウンして一年間いらっしゃったのですが、彼が米国の相手と交渉してくれました。当研究室の准教授と助教の先生も一緒に行きました。私はこの時は行きませんでした、3週間くらい前に行ってまいりました。ここで先ほど申しましたハードがあるかないかによってどのくらい被害が違うかという状況をお示しします。

これはよくテレビで出てきます陸前高田、大船渡、越喜来というところですよ。この場所はそれほど離れていません。湾もリアス式海岸で真ん中の大船渡だけ湾口防波堤があります。防波堤自身はつぶれているのですが、とにかく湾口防波堤がありました。陸前高田は写真を撮りますとこのような状況になっていまして、鉄筋コンクリートのビル以外はほとんど流出しております。ここで残った建物についた痕跡から、どのくらいの津波が来たかを調べました。陸前高田では15メートル。越喜来15メートル。大船渡は8メートル。なぜ、大船渡は少ないかというと、これは湾口に防波堤があったのが理由です。

釜石をみますと、これもかなりの浸水高が抑えられていたということです。もうひとつ、松島のこともよく出てきますが、松島があったので仙台地区は非常に被害が少なかったというのがありますけれども、これは自然の防波堤、防潮堤になっています。塩竈地区、ここは港があるのですが、浸水高が4～5m。仙台地区でも5.7mという状況でした。

北に上がりまして釜石港と、両石、大槌町も、これもほとんど近い場所にあります。タクシーで釜石から大槌町までは20分くらいで行けます。釜石には非常に大きな湾口防波堤があります。これが釜石の状況ですが、湾口に大きな防波堤がありまして、これは去年、水深6.3mのところにてきた世界で一番深い防波堤であるということでギネスブックに登録されてお祝いをした所です。津波がそれを乗り越えてくる津波の映像は放映されたかと思いますが、その場所です。

釜石の市内はこのようで、建物はかなり残っています。一階はめちゃくちゃになっていますが、二階以上は残っています。これは、釜石より少し北の両石。漁港ですが、ここは奥の方の村落は何もなくなっています。ここの上に家があったのですがこの家だけは残っていました。あと大槌町。これもよくテレビで出ますがこれも、ほとんど建物がなくなっていました。

水深高を調べますと、釜石が8メートル。両石が1.8m、大槌町で1.0から1.2メートルの痕跡高でした。これも、釜石自体、建物は壊れているのですが、壊滅的ではなかったのがわかりますが、これも防波堤があったからです。他の場所についても防波堤が残っているか、いないかを

調べましたが津波の威力を弱めるためにはやっぱりハードが必要であることがわかりました。ただし、つぶれてしまうとそのまま海水が来るのですが、つぶれなければ、津波のピークをピークカットすることができます。すなわち、粘り強いハードが必要であるとわかりました。それは先ほどの陸前高田、大船渡、三陸町、あるいは釜石、両石、大槌町を比較しますと浸水高のレベルが半分になってかつ、被害レベルが違いますので復興のスピードがかなり違うということになります。

一方、ソフト対策ですが、津波の浸水想定域にある学校の移転が必要です。通常は時間がなければ、水平方向に逃げるより鉛方向に直に逃げる方が良いのですが、今回は鉛直に逃げた場合も亡くなっているので、もっと津波高さの想定をしっかりと、想定津波と最悪津波の様に2つに分けて鉛直避難の有効性を考えなければならないという教訓を得ました。コンクリートのビルは残っていますのでこれを何階建て以上にするということが必要ですが、陸上に設置されている構造物に働く津波力というのはまだ建築基準法でも曖昧ですので、ここら辺は実験、数値計算等で調べる必要があります。

津波というのは波のひとつです。波というのはいろんな種類の波がありますが、ここに示したように、周期によって分類することができます。非常に短い波はさざ波で、周期が非常に大きくなると潮汐波になります。津波というのは周期の長い波で、周期が長いということは波長が非常に長くなります。数十キロに及びます。そうしますと水深に比べて波長が短いので、いわゆる長波に分類されます。巨大な力で建物等をなぎ倒していきます。波の一般的な特徴上から下まで書いてありますが、特に赤色で示しましたことが、津波にも関係することです。

「浅水変形」といいますのは、非常に水深が浅くなると波が大きくなるという現象です。「屈折」は岬の先端に津波が集中する光の屈折と同じです。津波が広がったりせばまったりするところがありますけれども、そういう現象があります。「回折」というのは、光の回折のように、物がある裏側に光が回り込むことです。津波で言いますと、防波堤で津波を閉じたとしてもその裏側に回り込むことです。「反射」はいろんな壁、崖、陸上から入射した波がそこで反射することで、その反射波が再び入射してくる波とぶつかって大きな波になります。「砕波」というのは、波が突っ立ってきますと波頭が前のめりになって波が碎ける現象です。減衰は陸上を遡上しているうちに瓦礫を含んで流体が流れますので、その分、津波自身はエネルギーが減少しますが、砕波時に衝撃力を与えます。また、エネルギーの減少には各種の要因があります。

高潮も高波も津波も沿岸域に被害を与えるのですが、今回の津波は洗掘が目立ちました。防波堤を乗り越えて背後に落ち込んで流れる際に、裏側の地盤を削り取って防波堤を倒してしまう。波力そのものも大きかったので、防波堤、防潮堤をひっくり返してしまう。松林等の地盤を根こそぎ洗い流してしまうことが生じました。漂流物はテレビでよく出ていますが大型船、小型船を浮かべてそのまま内陸に運んで、構造物に破壊を与えるという津波の被害も目立ちました。

今回いくつかの写真をまとめましたが、我々、普通は津波といいますと、非常に長い波と言

ましたので長い周期の波、あるいは1波だけの孤立波を用いた実験をします。ところが今回、これを見てもらいますとわかりますけれども、河川の堤防が氾濫した洪水の様相を示しています。たまたし、破堤しても河川水位が減少しない洪水流のようです。水位が減らないので、いつまでも海水が流入するというような状況になっています。したがって津波をモデル化する時、すなわち実験するとき、孤立波や周期波を使うかということによってよいか疑問になります。つまりダムブレイク流、洪水流を模擬した研究として扱う必要があることがわかりました。

我々の研究室は、特に津波の研究をしていたわけではないのですが、津波も折に触れて研究することがあります。これまでした、あるいはしている研究には、津波防護構造物の研究があります。和歌山県に津波避難タワーがありますが、その津波力のモデル化をしました。実験をして津波の作用力の定式をしました。

フラップゲートといいますのは、ふだん海底面に下がっていて津波が来ると立ち上がって、防波堤と防波堤の間を閉める構造物です。

リアルタイム津波予測は、すぐ津波が来るところには適用できませんが、南海東南海で地震が起こった時に大阪湾、関空、尼崎、大阪湾内でどのくらいの津波が来るかを精度よく出す方法として研究しています。また、英国のニューキャッスル大学の先生が、イギリスの気象庁の津波の予測モデルを作っているのですが、その先生が当研究室に来るので、共同研究をしようと思っています。

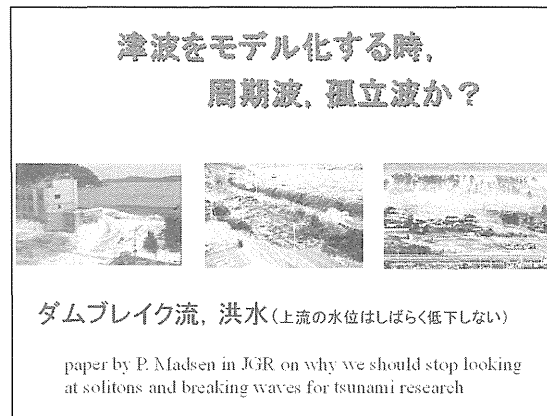
最後になりましたが、いろいろな新聞を見ていると気になることがいくつかありました。例えば今回の津波は特殊な津波射流であると。特殊津波射流、それが非常に大きな被害を与えたという話がありますが、射流というのはほとんど起こりません。ですので、今回の何が特殊かと言いますと、非常に大きかったということが特殊でありまして、射流が生じたので被害が大きくなったというのは非常に気になる内容といえますか、間違った内容だと思います。

「共振によって津波が減衰しなかった。」大船渡の湾口で10mの津波が、湾の奥まで7mで伝わった。昔の明治三陸は8mが3mになった。正確な数値は忘れましたが。今回、津波の減衰が小さかったのは、共振が原因であると書いていますが、共振と津波の減衰は関係ありません。これも間違った内容だと思います。

「津波が海に戻らなかった」、これは一旦津波が来て、普通なら上がったものがそのまま下がる。ところが今回は上がったものが海岸線に沿って流れた。そのために非常に大きな家々の破壊を生じさせたというのも、特別なことではありません。地形が低くなっただけか、あるいは、津波が斜めに入射すればそのようになります。これはさも特別なことではありません。

防潮堤の前にブロック群が置いてあるところがありました。海岸に行くとブロックで海岸を守っていますが「ブロックとブロックの間の防潮堤だけが崩れていた。」との説明に、「ブロック群が津波をあいているところに集中させ増幅させた」というのがありましたが、これは解釈が逆でして、ブロックがある箇所の防潮堤が壊れていなかった、ブロックがなかった場所は壊れてい

以上、今回の東北太平洋沖津波を教訓として、東南海、南海に向けて津波の研究をする予定で
あります。



- 洗堀：海岸堤防・防潮堤の法先が洗掘されて、構造物が崩れ落ちる。
- 越流：海岸堤防・防潮堤の天端高より潮位が上回り、海水が流入して背後の地盤が崩れることにより、構造物が崩壊する。
- 越波：波浪が海岸堤防・防潮堤に打ち上がり、海水が背後に打ちこみ、地盤の崩壊に伴い構造物の崩壊が起こる。
- 波力：波浪の力により構造物が破壊される。
- 侵食：海岸堤防・防潮堤の前浜が波浪により侵食され、構造物が崩壊する。
- 漂流物：船舶等の漂流物によって堤防・防潮堤が破壊される。