



土木技術

浅岡 顕 水谷法美 首藤伸夫 辻本哲郎

防災アカデミーアーカイブ vol.4

2011年3月
名古屋大学災害対策室

災害から国土を守る土木技術

防災アカデミーアーカイブ vol.4

名古屋大学災害対策室

はじめに

東海・東南海・南海地震等、巨大災害への備えがいっそう必要になっています。こうした状況の中で、名古屋大学災害対策室は、2003年1月より防災講演会を開催して参りました。当初は学内向けの「地震防災連続セミナー」としてスタートしましたが、2004年度からはテーマを地震以外にも広げ、「名古屋大学防災アカデミー」と改称するとともに広く市民の皆様にも公開することにしました。2010年度末までの開催回数は67回（地震防災連続セミナーから通算では77回）を数えます。

防災アカデミーでは、地震・火山噴火・津波・台風といった様々な災害について、最新のトピックスに焦点を当て、第一線で活躍されている行政・マスコミ・市民団体等の専門家にご講演いただいています。こうしたお話は、災害研究や防災活動に対する熱い思いが込められたもので、毎回会場には熱気があふれます。「その熱気をもう一度思い出したい」「過去の講演内容を知りたい」という声が、災害対策室に多数寄せられるようになりました。こうした要望を受け、災害対策室では2008年度より、講演録を再編集して、「防災アカデミーアーカイブ」を刊行することにしました。本書は、その第4集として、自然災害に対する土木工学的アプローチに焦点を当てた一冊としました。

本書に講演録を取録させていただいた浅岡顕・名古屋大学名誉教授、水谷法美・名古屋大学教授、首藤伸夫・東北大学名誉教授、辻本哲郎・名古屋大学教授は、地盤工学・海岸工学・河川工学等をご専門とされ、災害発生メカニズムを探究されています。ご講演においてはその一端をご紹介いただくとともに、自然災害をいかに軽減するかについて、示唆に富む貴重な提言をされています。

本書が自然災害軽減に向けた土木工学のアプローチを知るきっかけになれば幸いです。講演者には、講演録を再編集するにあたり、原稿掲載を許可していただくとともに、改めて原稿にも筆を入れていただきました。改めて篤く御礼申し上げます。

2011年3月
名古屋大学災害対策室長
鈴木 康弘

目 次

はじめに

1. 「液状化の謎に迫る—地盤工学のアプローチ—」
浅岡 顕（名古屋大学工学研究科地盤力学研究室 教授） 3
2. 「沿岸災害と海岸工学」
水谷 法美（名古屋大学大学院工学研究科社会基盤工学専攻 教授） 38
3. 「TSUNAMI 文化を世界へ！」
首藤 伸夫（日本大学 教授、東北大学 名誉教授） 73
4. 「東海豪雨から 10 年—何が課題だったのか 何が克服されたのか そしてなお、何が課題か？—」
辻本 哲郎（名古屋大学大学院工学研究科 教授） 139

※ 講演者の所属は講演当時のものです。

液状化の謎に迫る—地盤工学のアプローチ—



講師 浅岡 顕

(名古屋大学工学研究科地盤力学研究室教授)

(司会) 多くの方にお集まりいただきまして、ありがとうございます。今日は名古屋大学の工学研究科地盤力学研究室の浅岡顕先生に「液状化の謎に迫る—地盤工学のアプローチ—」というタイトルでお話を頂きます。

最初に地盤工学はどのようなことをしているのかということから説き起こしていただいて、地震との関係などについてもお話ししていただくという大変欲張りなお願いをしました。これだけの内容を1時間半ぐらいで話していただくというのは本当に無理があるなと思いながら、お願いしております。早速そのお話をお聞きしたいと思います。それでは浅岡先生、どうぞよろしくお願いいたします。

はじめに

土木工学というのは4分野ほどあります。最初は、日本で一番大事な河川工学です。海岸も入りますが、われわれはそれを単に水とっています。2番目は構造で、橋にしる何にしるたくさんの土木構造物がありますので、その構造分野です。3番目は地盤工学で、どんな構造物でも結局は地面の上に造りますので、その地盤が構造物を造っても大丈夫かどうかということを探ります。私の専門はそれです。4番目は今までの三つの力学系とは違い、土木計画と申しまして、道路を造る必要があるのかなのか、港を整備すればどういう効果があるのかなのか、そういうことを研究する分野です。

今日は「液状化の謎に迫る」ということで、三つほどお話しさせていただきます。最初に、砂と粘土はどう違うか。2番目が、地震中・地震後の地盤の挙動にはどういう特徴があるのか。3番目は、特に理学部の方では地震学あるいは地球科学という大変な重要な学問がありますが、それに比べて地盤工学はどのような地位にあるのかということについてお話しします。

1. 砂と粘土はどう違うか

最初は、砂と粘土はどう違うのかということです。砂と粘土がどう違うのかというのは子どもでも分かるぐらい自明なことですが、力学の言葉でどう違うのかというのはそう簡単には言えないわけで、そういうことがはっきり分かってきたのはここ数年です。

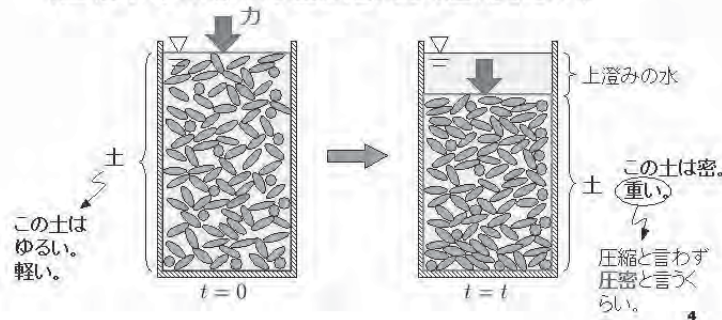
そういう区別がどうして大事かと申しますと、実は砂でもない、粘土でもない、その間、砂に近い土から粘土に近い土までグラデーションが豊かで、砂と粘土で別々に考えていたので地盤のことは分からないということで、一つのアイデアの下で砂と粘土はどのように区別されるかということが必要になってまいります。その話をしたいと思います。その前に、土と金属はどう違うのかという話が必要になってきますので、それからやりたいと思います。

土と金属の違い 土は圧縮・膨張する

土と金属は違う点がたくさんありますが、今

1.1 土と金属はどう違うか？ その1 (答) 土は圧縮(も膨張も)する。

土の圧縮は、土骨格の圧縮、つまり間隙の減少
(土粒子そのものは金属と同じく圧縮しない)



図表 1

日必要なことは二つです。土は力をかけて圧縮させることができるし、力を抜いて水を吸わせて膨張させることもできます。金属は温めて膨張させることはできますが、力をかけて圧縮させようとする、土木や建築で出てくるぐらいの大きさの力では圧縮しませんし、膨張もしません。ところが、土は容易に圧縮します。

しかし、注意しなければならないのは、土の圧縮は土骨格の圧縮、骨格構造を粒子が作っているわけですが、骨格構造の間隙が減って圧縮するわけで、土粒子そのものは金属と同じで、土木・建築で出てくるぐらいの力では圧縮しません。

これをモデル化するのに(図表1)、土粒子ばかりを集めて、その占める体積を1としたときに、間隙は全部水で埋まっていますが、その間隙の部分があります。土粒子実質部分の体積を1としたときの間隙の体積を e と書いて、 e は間隙比と呼ばれています(図表2)。

土の圧縮は間隙の圧縮ですから、間隙が少なくなることで、力をかけると変化します。上の方の水は、土から絞り出された上澄みの水で、土ではありません。土粒子実質部分は全然圧縮

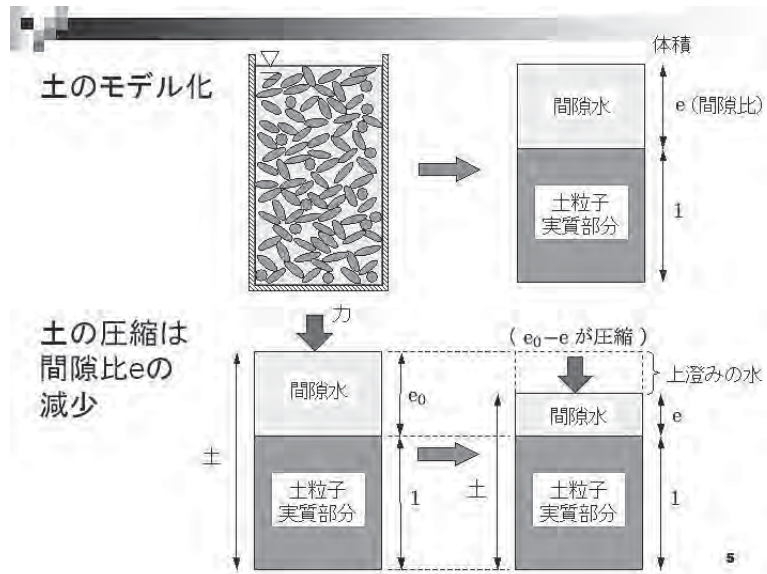
しないけれども、骨格構造が圧縮している。つまり、間隙が小さくなって圧縮する。これを圧縮させようとする力と間隙比の関係で書くわけです。

その前に、もしこの土が粘土であるとする、粘土の場合は間隙がものすごく小さいので、間隙から水がしみ出すのにとっても時間がかかります。それで、関西空港は今でも沈下しているわけです。

間隙が小さくなって圧縮して行って、土の部分についていえば単位体積重量が重くなっていく。そういうことを表すために、圧縮とはいわずに土質力学では圧密という言葉を使ったりします。圧縮には違いありません。

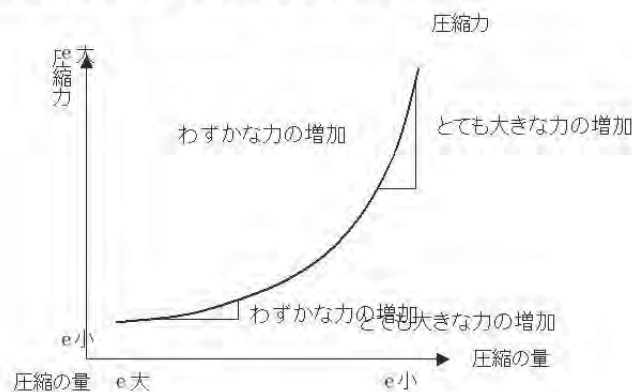
普通の力学では力を縦軸に取ります(図表3)。縦軸が圧縮力で、横軸は変形です。今の場合には圧縮の量です。初め間隙が大きい場合、すけすけの場合は、ごくわずかな圧縮量の増加で大きく圧縮します。ところが、だんだんと密になってまいりますと、少し圧縮させるのにとっても大きな力が必要になってきます。

これはまた土質力学の伝統ですが、普通このような絵を描いて、これで間隙が大きい間



図表 2

砂では力をかけてもほとんど圧縮しませんから、ここからは粘土を想像して下さい。

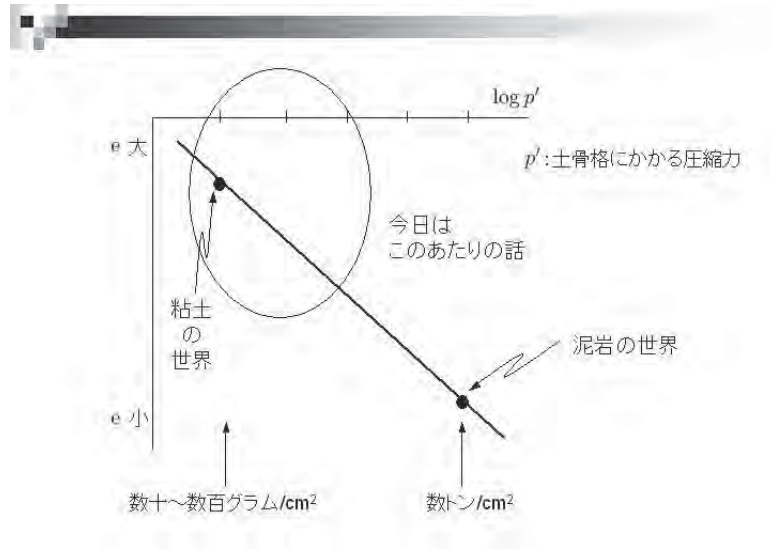


図表 3

はわずかな力で沈下する。つまり縦軸は間隙比の減少ですが、沈下と想像いただければよろしいかと思います。ところが、だんだん地盤が締まってくると、とても大きな力をかけないとわずかな沈下も起こさないということになります。

このわずかな力の増加、とても大きな力の増加というのが極端ですので、横軸に対数を取って表します。普通は1、2、3、4、5と数字が並んでいるものを、1、10、100、1000、1万とい

う数字の並び方でこのグラフを描きますと、よく練り返した粘土などの場合には、このように間隙比 e と力の対数との間で直線関係が出てまいります (図表 34)。右の方までずっと行きますと、泥岩の世界で、今日のお話には直接は関係しません。今日は粘土や砂の話をするので、力が弱い方の部分です。土は圧縮、あるいは膨張するというのが土と金属の違う点です。



図表 4

土と金属の違い 土は強度が決まらない

もう一つは、土の強さは一意には決まらないという点です。金属の場合、引っ張り試験をすると、例えば鋼材の場合は1平方ミリ当たり41キロで壊れるとか、そのようにして強度が決まっていますが、土の場合は壊し方によって幾らでも、どんな強度でも出せるようになります（図表5）。

初めに土をずっと圧縮させていきます。力を増やして圧縮させていって、それをもう一度、今度は力を抜いて除荷させます。そうすると、この線のこの部分は、間隙比は同じですが、そこにかかっている力の状態は非常に違います。いずれにしても、この●の土と○の土は見かけ上は何も変わりません。

この土をせん断します（図表6）。せん断というのは、四角いものを斜めの平行四辺形にするような変形を与えることをいいます。金属の場合は体積が増えもせず、減りもしません。ところが、先ほどの丸印の粘土の場合は、せん断しますと、これは右方向にせん断しても左方向にせん断しても、必ず圧縮します。右方向にせん断して圧縮して、左方向にせん断して膨張す

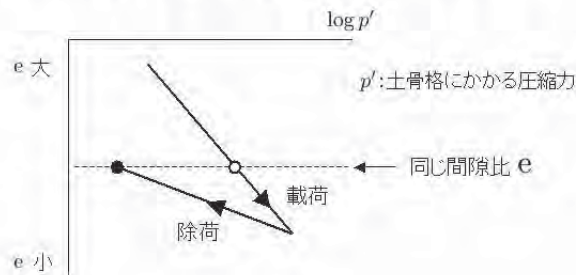
るものは弾性変形といいますが、この場合、右方向にせん断しても左方向にせん断しても圧縮します。圧縮するというのは、骨格を構成している粒子がぐっと詰まってくるということです。間隙が小さくなるためには水が出ることが必要ですので、水の排水を許しながらゆっくりとせん断すると、この粘土は非常に強くなりながら壊れます。

ところが、この●の方の粘土、圧縮してもう一度戻した粘土は、不思議なことに、右左は問いませんが、せん断すると必ず膨張します。間隙は水と空気からなると皆さんは思われておられるかもしれませんが、こんな地面は1mも掘れば、間隙は水で飽和していますので、今は、間隙は水で飽和しているとお考えください。そうしますと、今度は膨張するわけですので、せん断するときに、水を幾らでも、土骨格が欲しいというだけ供給して、膨らむのなら膨らみなさいというようにしてせん断をすると、実はこの粘土は弱くなりながら壊れることになります。

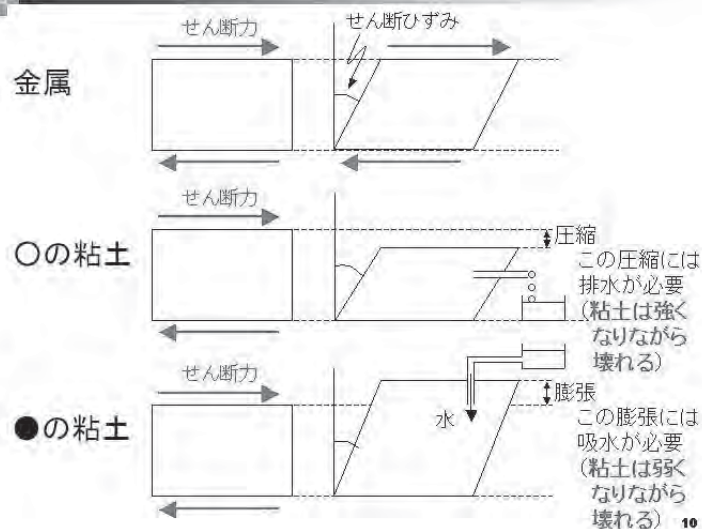
もう一つは、今度は水をはき出させない（図表7）。つまりここでコックを閉じてせん断を

1.1 土と金属はどう違うか？ その2
 (答)土の強度は一意に決まらない。

間隙比 e が同じの、二つの異なる粘土(○と●)



図表 5



図表 6

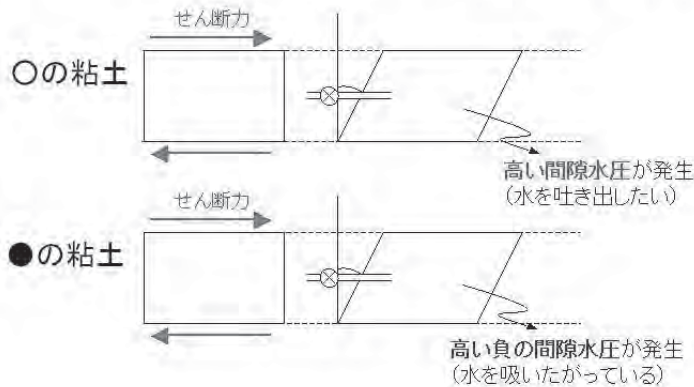
しますと、この粘土はもともと圧縮したかったのに圧縮できないわけですから、高い間隙水圧が発生します。水が土骨格に圧縮してはならないといって土骨格を押し広げているわけです。ところが、この粘土は、実はせん断すると膨張したかったのに、水をくれないと、これは高い負の水圧が出ます。ということは、水は土粒子が膨らみたいものを引き寄せる力を発生します。

高い間隙水圧が発生する場合には土骨格にか

かる圧縮力は減少しますし、この場合には圧縮力は増加しますから、この場合に非常に弱い粘土になります。この場合には非常に強い粘土になります。このように、間隙比が同じでもさまざまな挙動をします。

まとめますと、土骨格の弾塑性挙動は金属と異なって圧縮や膨張を必ず伴います。そのために、粘土から排水とか吸水を許すかどうかで、同じ土でも変幻自在、どんな強度でも出します。どういう変形の仕方でもするという、非常

もしこのせん断を「コックを閉じて」すれば、その1



11

図表 7

に困った材料です。

この問題を解くのに、われわれは2相混合体の力学と呼んでいます、水と土骨格の相互作用を考えながら計算を進める必要があります。一言で申しますと、間隙水は土骨格の圧縮・膨張を束縛しているわけです。粘土は水がしみ出ませんので、容易に高い間隙水圧が発生したり負圧が出たりします。砂は水が非常にしみ出しやすいですので、小さな砂の供試体の場合にはよほど特殊なことをしない限り、非排水、非給水ということがなく、すぐにずっと水が出てしまいます。

「過圧密状態」の喪失

次に「過圧密状態」と「構造」のお話をさせていただきます。「過圧密状態」は金属塑性でもよく出てくるのですが、「構造」は今のところ土に固有の性質ではないかと思われています。

最初に、金属でも出てくる「過圧密状態」のお話をします。銅の棒を引っ張る実験を想像してください（図表8）。縦軸が引っ張り力で、横軸が伸びです。最初はずっと急に立ち上がっ

て、ある降伏点に達すると、これよりはだいぶ緩いこう配で上ってまいります。初めのうち、この降伏点に行くまでの間にずっと除荷しますと、ほぼ正確にこの0に戻ってきます。これは銅の棒の場合で、スチールはこれほど賢くありませんのでよく忘れます。銅の場合は、ここから戻してまいりますとここにまいります。また再負荷しますと、ほとんど正確に白い位置を覚えて、またこのように行きます。

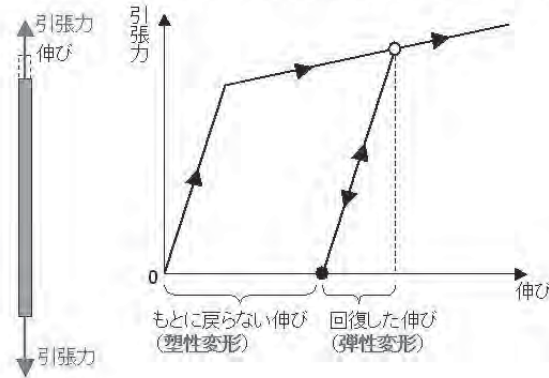
ここまで銅の棒を引っ張った状態から、もう一度力を全部0に戻してしまうと、これが回復した伸びで、元に戻りますという意味で弾性変形といいます。この部分は、どうしても元に戻りません。これを塑性変形といいます。

右上がりになっているのは、この場合、塑性変形によって銅の強度が上がった、硬化したといえます。右に上がる場合もあれば、下に下がる場合もあります。ともかく、この塑性変形・弾性変形というのは、回復するか、元に戻らなかったかということで区別しています。

今のようなことを受けまして、昔の言葉では、この部分の力と伸びの関係、あるいはこの部分の力と伸びを、同じルートを返ってくると

「過圧密状態」とは何か？

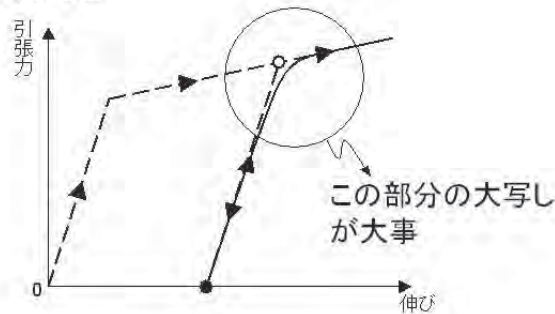
銅の棒の引張り試験を想像して下さい。



15

図表 8

再負荷すると



17

図表 9

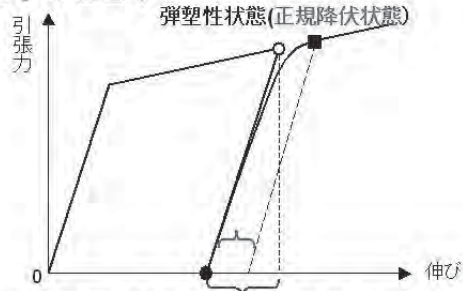
ということで弾性応答と呼んでいます。それに比べて、非回復のひずみが発生するというので、この場合は弾塑性応答と呼んでいます。

長いことこのような言葉が使われていましたが、今は金属の世界でも、この状態の棒をもう一度引っ張ったときの実験を正確に見ますと、こういう言葉遣いはあまりしない方がいいというようになりました。それはどうしてかということ、銅の棒のように、賢いというのは変な言い方ですが、賢い材料はほとんどこの○を覚えて

います。普通の材料はちょっと忘れるのです。この○ではないところに来て初めてやっつくつきます。

この部分を大映しします（図表9）。どうしてもここには戻れないのでここに戻ってしまうわけです。これをもう一度除荷しますと、このようになりますので、この部分の塑性変形のみだけ、昔の丸の位置を忘れてしまったということになります。塑性というのはものを壊すというような意味で、何か材料を壊しているため

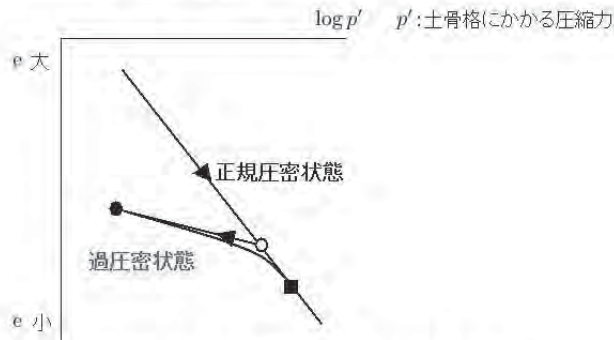
弾塑性力学の昔と今



昔は、もとの弾塑性状態に●が戻るためには、「弾性変形」が必要。
 今は、もとの弾塑性状態(の延長)に●が戻るためには、「塑性変形」が必要。
 (もとの弾塑性状態・・・正規降伏状態と言う)
 (九州大学 橋口公一) 19

図表 10

粘土の間隙比 $e \sim \log p'$ で描くと



過圧密状態から正規圧密状態への移行は塑性変形を伴う。

20

図表 11

に、昔の記憶をなくして、ちょっと不正確な記憶のところに来てしまったと理解します。

今は、元の弾塑性状態のことは正規降伏状態といいます(図表 10)。昔は元の弾塑性状態に戻るためには、弾性変形を与えることによって弾塑性状態に戻ることができると信じられていたわけですが、正確な実験をするとそんな材料は一つもないわけで、今は元の弾塑性状態の、この場合、■、延長にこの○が戻るためには、弾性変形ではなく、この塑性変形が必要だと定

義されるようになってまいりました。長いことこんな細かい話は要らないと言われていたのですが、これがなければ力学が進まなくなってしまいました。

これを土質力学、先ほどの $e \sim \log p'$ でかきますと(図表 11)、圧縮していたものをもう一度除荷をする、これが●です。再負荷しますと、こう来ます。地盤力学では、この一度除荷された●のような状態にあるものを過圧密状態という言葉を使います。正規降伏状態のことを正規

圧密状態という名前を使います。いずれにしても、一度除荷されたものがもう一度元の降伏状態に戻るためには塑性変形を伴うということがとても重要なことになってまいります。

「構造」の破壊

もう一つ、これは金属というよりは土骨格で顕著に観察されることですが、土骨格の「構造」とは何か、「構造」の破壊とは何かということについてお話しします。先ほど、初めは小さな力で随分大きく圧縮する、大きな力でないとこの辺では圧縮しない、対数を取ると直線に乗ると申しました。直線に乗ってくるような粘土。砂はどれだけ大きな力をかけてもほとんど圧縮しません。砂を無理やり圧縮させたら砂粒が割れてしまうわけで、砂を圧縮させるにはまた別の方法を使うのです。だから、これは粘土の話だと思ってください。

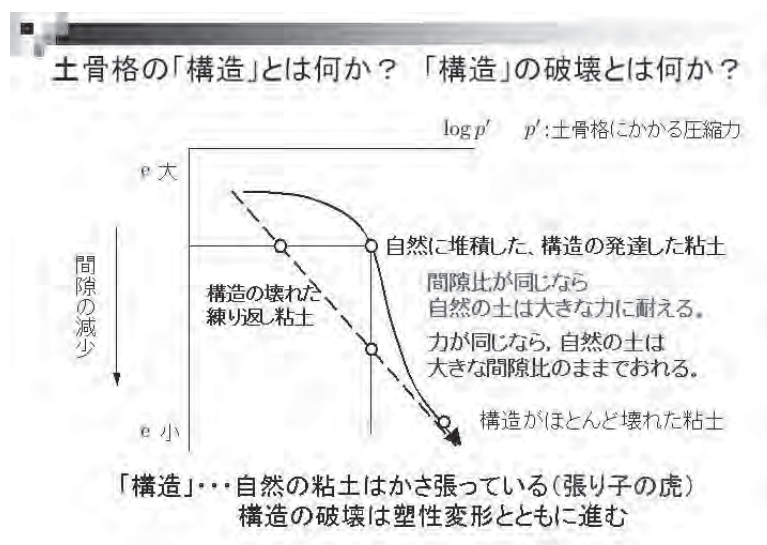
今、この \log の力と間隙、つまり沈下の量との関係は直線に乗ると申しました。この直線に乗る材料は、実は研究室の中でよく練り返した人工の粘土です。自然の粘土はもっとかさ張っており、それをわれわれは構造の発達した粘土

といいます。自然堆積粘土は練り返した粘土に比べて必ず圧縮曲線が、この場合、右上に来ます（図表 12）。

これは、もしも間隙比が同じ、間隙の土粒子の詰まり方が同じであれば、練り返したということは十分に一度壊したということですので、自然に堆積した粘土の方が練り返した粘土よりも大きな力を支えることができます。

つまり、間隙の詰まり方が同じものであれば、自然の粘土の方が大きな力を支えることができます。別の言葉では、力が同じであれば、練り返した粘土は既に相当間隙が詰まっていなければならないはずなのに、自然の粘土はまだ間隙がすかさかのままでも大きな力を支えることができます。

そのように、練り返した粘土と自然の粘土との違いのことを「構造が発達している」という言葉遣いをします。自然の粘土は、同じ力を非常に大きな間隙の状態を支えることができるということです。自然の粘土はかさ張っている、あるいは張り子の虎のようなものです。ところが、張り子の虎というのはやはり張り子の虎で、ここから 1 単位力をかけますと、余分に



図表 12

自然に堆積した粘土の土骨格は・・・

カードハウスのような「構造」



図表 13

これだけ圧縮してしまうわけです。この自然の粘土は、圧縮されてくると、構造を自ら壊しながら大圧縮するということになります。

この場合では、力はこの点からわずかしかか増えていないにもかかわらず大きく沈下しているということがお分かりになるかと思います。つまり、構造の破壊による圧縮がここで起こっているということになります。

これを分かりやすくかいたものがこれです（図表 13）。粘土は、電子顕微鏡で見ると、カードハウスのような構造をしていると昔から言われています。これは学生が作ったトランプの家です。これに力をかけますと、必ずパタパタと圧縮しながら壊れていきます。この場合は体積がありませんが、大圧縮します。ある閾の荷重を超えた力であれば、ほとんど力の増加なしに大圧縮を起こすということになります。

砂と粘土の違い

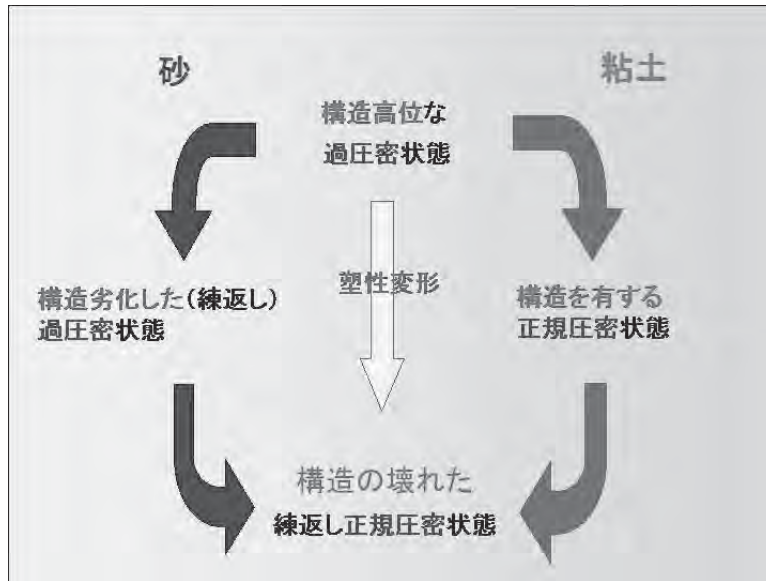
砂と粘土はどう違うかの方に入ってまいります。自然の堆積した粘土あるいは自然の砂は、一般に構造が非常に発達していて、しかも過圧密な状態にあります。つまり、除荷された状態

にあります。ところが、これに塑性変形を加えますと、先ほど塑性変形によって過圧密から正規に行く、構造が壊れるときも塑性変形だと申しましたが、塑性変形を与えますと、構造が壊れた練り返しの正規圧密土になります。構造が壊れていくときには必ず大きな圧縮を伴うということだけ今日のご記憶願いたいと思います。砂の例は出しておりませんが、自然の粘土でも砂でもみんなこうだと今私は申しました。

そうしますと、ある単位の塑性変形が起こったとして、構造が壊れる方が速いのか、元の正規状態に戻る方が速いのかという問題が出てまいります。これで粘土と砂はまるきり違うということが分かってきます。

これは自然の土です（図表 14）。非常にかさ張っていて、ある程度除荷された状態になっています。こういう自然の土が外力によって塑性変形を起こすと、構造は壊れて練り返した正規降伏状態に至ると申しました。粘土の場合は、少々の塑性変形を与えても構造は全然壊れません。構造がものすごく丈夫なのです。

ところが、過圧密はちょっとの塑性変形ですぐに正規圧密状態に戻ります。先ほど、昔の状



図表 14

態を覚えているという意味で銅の棒はスチールの棒よりも賢いと申しましたが、粘土も砂に比べたらとても賢くて、わずかな塑性変形で、つまりわずかな狂いしかなくて、●が元の○のちょっと右上の方に戻ります。

ところが、構造を壊すためには、ものすごく大きな塑性変形が必要です。必ずしも大きな荷重が要るとは申しませんが、大きな塑性変形が必要です。砂は逆で、わずかな塑性変形で、先ほどのカードハウスのようにパタパタと構造が壊れます。しかし、元の状態は全然覚えていないので、砂の場合、よほど大きな力で塑性変形を与えないと元の状態に戻りません。これは典型的な砂で、典型的な粘土です。本当の土はこの間に非常に稠密にいろいろな土があり、大きく分けて粘土側か、大きく分けて砂側かというような区別がつくぐらいです。

現在の地盤力学では、典型的な砂と典型的な粘土で構図が壊れる速さ、過圧密が解消する速さのパラメータを操作して、砂から粘土までどんな土でも表現できるようになってまいりました。

最初に粘土のことです。粘土は、わずかな塑

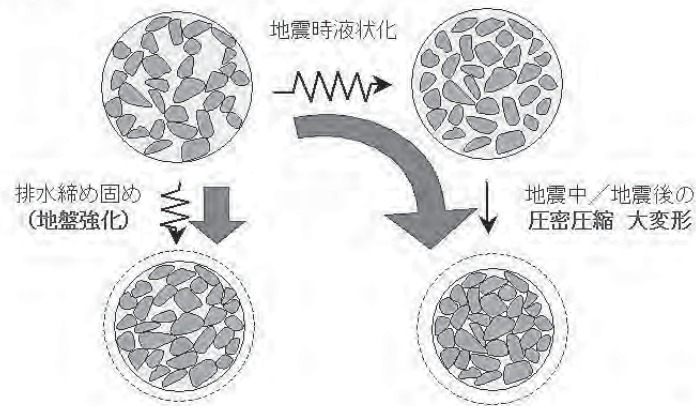
性変形で過圧密が先に解消して正規降伏状態に近付くのですが、構造の喪失には大塑性変形が必要で、構造は緩慢に壊れます。構造が壊れるときには大圧縮しますから、この間に大圧縮を起こします。しかし、粘土が大圧縮しようと思っても、砂ほど簡単ではありません。水を出す必要がありますので、何十年もかかります。このように遅れて出てくるような沈下のことを2次圧密といいます。

砂は逆で、わずかな塑性変形で構造はパタパタと壊れます。そのことを、われわれは「締め固め」と呼んでいます。締め固めるのは容易で、砂の粒子の隙間から水が出るのは非常に簡単ですから容易に圧縮します。

砂が幾ら水を通しやすいといっても、砂のボリュームがものすごく大きい場合には、そう簡単に水を出すことはできません。その場合、コックを閉じたような状態で締め固めが起こるとすると、そのことを「液状化」といいます。つまり、地震のようにあっという間、わずかな短い時間の間で繰り返されたりします。

それから、砂のボリュームが大きいと、ほとんど非排水に近いような、コックを完全に閉

液状化と液状化後の圧密沈下(概念図)



33

図表 15

めたような条件に近い条件が発生することがあり、そうすると、砂は締め固まるのではなく液状化してしまいます。ところが、液状化した砂は、今度は正規降伏状態に戻るときに大変大きな圧縮をします。これは昔のことを覚えていないがために起こる砂の大変形で、液状化後の砂の圧密はここで起こります。

これは砂の液状化とその後の圧密沈下、あるいは砂の締め固めのポンチ絵です(図表 15)。

初め、砂は緩い状態ですが、確かに骨格を形成しています。ところが、地震が来て、しかもここから水を排出できないということになりますと、接している部分がみんな外れてしまい、しかし水が出ませんから、一瞬ですが、水の中で漂っているような状態になってしまいます。これを大きな力をかけたまま放っておきますと、その力によって水を排出しますので、地震が済んだ後、砂は数分から数時間かかって地盤が大沈下を起こします。

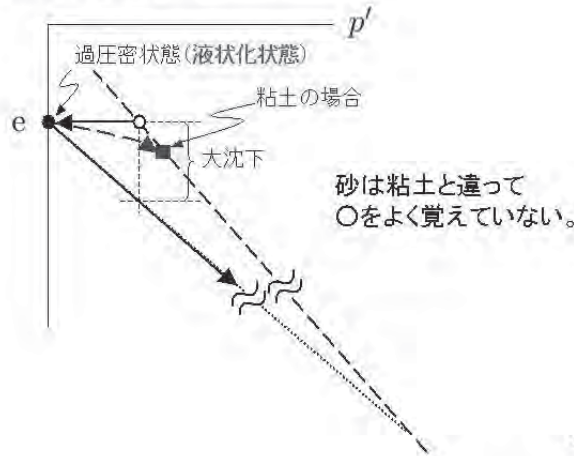
そういう液状化が嫌だということで、これを締め固めておけばいいのではないかとということで、排水を許しながらトントンと締めていく。これを地盤の締め固めとっているわけです。

砂の液状化の弾塑性力学による理解

緩い砂は著しく構造が発達しています。ところが、地震は短時間で水の出る暇がありませんので、コックを閉じた状態で繰り返しせん断していることになります。しかし、繰り返しせん断による構造の破壊が起こります。先ほど申しましたように、構造の破壊は必ず塑性・圧縮を伴います。ところが、圧縮しようにも水が出ないということですから、塑性・圧縮量と同じだけの弾性膨張を起こさなければならないということで、弾性膨張は土の拘束圧を0に持つていくことですので、水圧も上昇し、骨格は全然力を受け持っておらず、水圧だけが上がってくる。そういう状態を液状化とっているわけです。

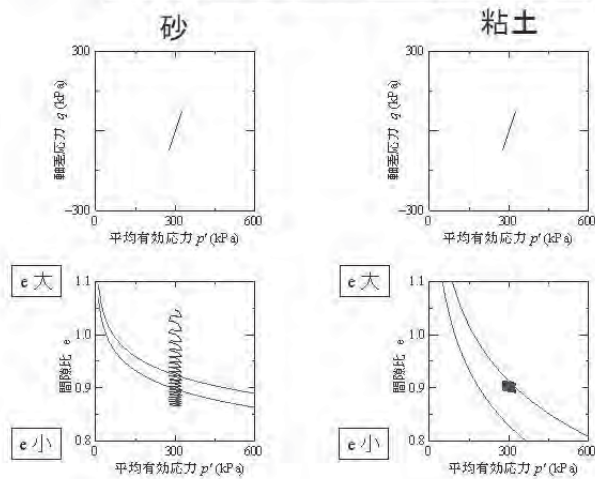
これは、ここにあった砂が、地震が来て、 p' がほとんど0にあって、高い水圧が出てしまいます(図表 16)。ところが、粘土はここをよく覚えていいますので、地震が済んだ後、大きな力がかかった状態ですと、こうやって戻り、その間の沈下は少ないのですが、砂は、ここを覚えていないわけですので、ここまで行かないと元に戻りません。そうすると、この間に大沈下が

液状化後の砂の沈下



図表 16

繰返し排水せん断・・・砂の締め固め



図表 17

起こります。これが、液状化後の大沈下です。砂層が5%前後圧縮するといわれていますし、計算してもそうなります。

これは砂の排水せん断です（図表 17）。この絵はせん断応力と p' の関係で、締め固めが分かるような絵ではないかと思えます。最初に一度、ものすごくたくさん圧縮するのです。ところが、だんだん締まってくると圧縮しなくなるというのを計算すると、このように出てきます。

粘土は、そんなことをしても全く圧縮しない。粘土も本当はわずかに圧縮するのですが、その場合は水が出る時間を十分に与えてのことですから、実際上は、粘土は全く締め固まりません。

今度はコックを閉じてせん断をしますと（図表 18）、砂はあっという間に p' という土骨格に作用している圧縮させる力が 0 になって、ほんの数発の地震の波でほとんど 0 になってしまいます。ところが、粘土はそんなことは平気で、

構造が壊れませんので、粘土は液状化しないと
いう図です。

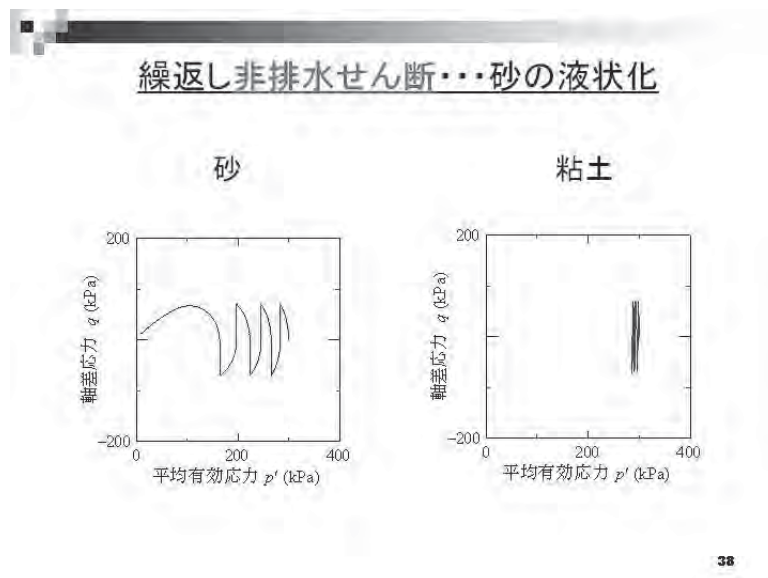
2. 地震中・地震後の地盤挙動 盛土による地盤破壊 (計算精度の検証)

地震中・地震後の地盤挙動、全部で五つの動画を
持ってまいりましたので、それを順に説明
していきたいと思います。

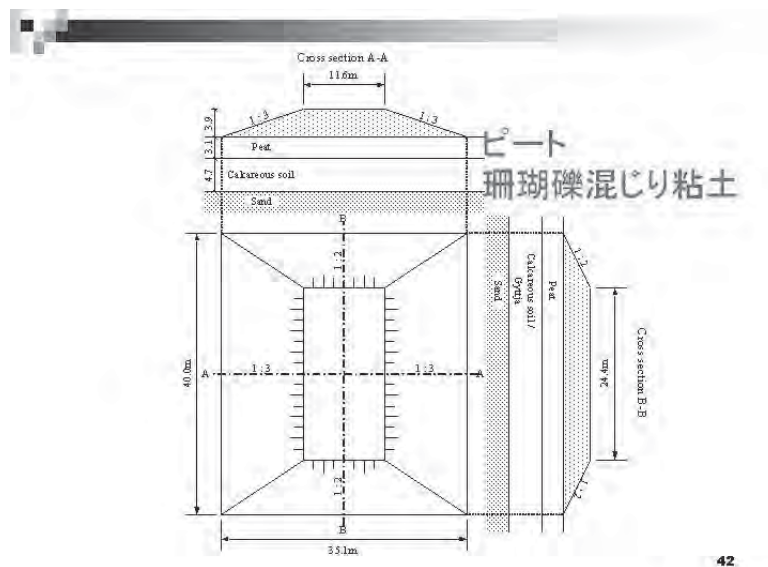
最初は地震の話ではありません。われわれが
やっている計算が、物が壊れるという問題に対

してはどれくらいの精度があるのかということ
です。物を変形させる方の計算は楽なのです
が、変形がずっと進んで、物が壊れてしまう
というときの、その壊れ方の絵というのは、実験
してもばらつきますし、やるたびに違うものが
出ますし、計算とそうそう合わないのですが、
どの程度かということをお見せします。

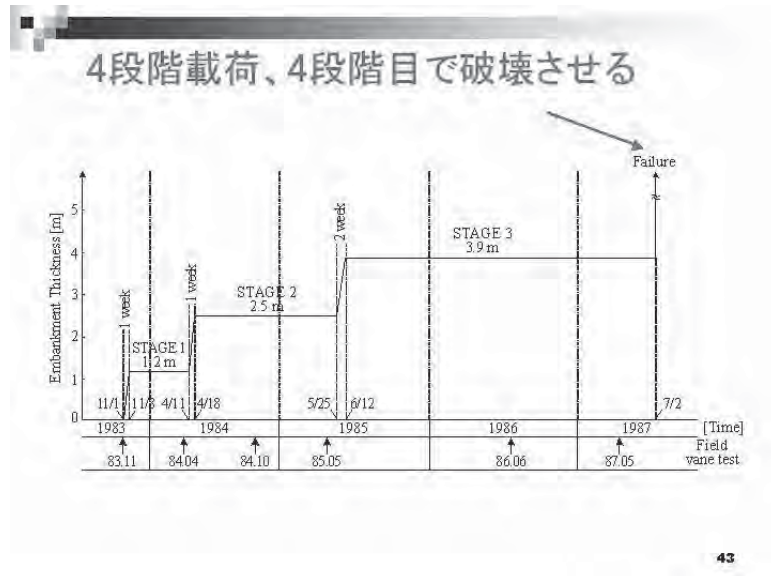
上の図面は、ヨーロッパの方で昔 20 年ほど
前にやった試験盛土です (図表 19)。上は腐食
土で、軟らかい粘土です。下は昔の珊瑚の石灰



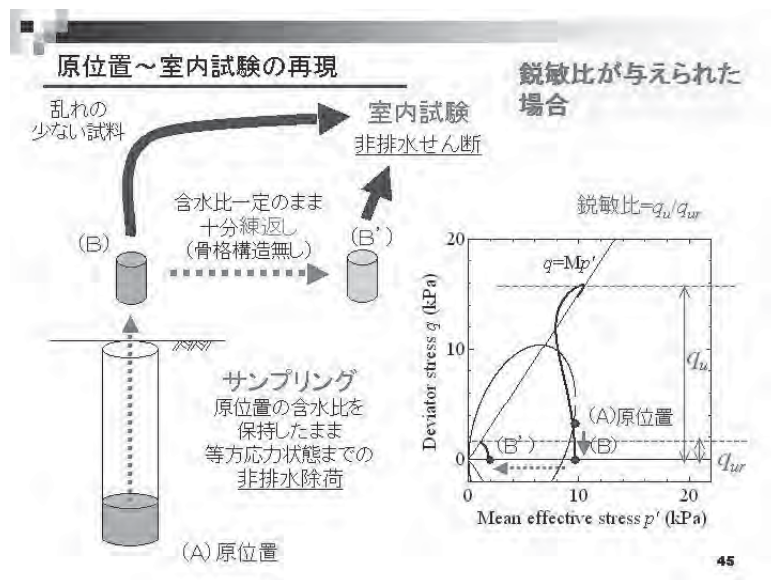
図表 18



図表 19



図表 20



図表 21

質がだいぶ入り混じったような珊瑚礫混じり粘土といわれているものです。この上に盛土を造ります。この盛土を真上から見た図面です。

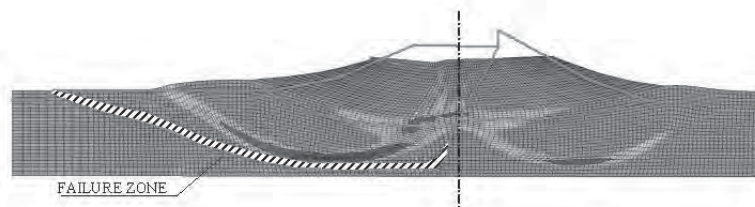
横軸は盛土の高さです（図表 20）。初めに盛土に 1m ちょっとほど荷重をかけてしばらく放置します。またちょっとかけてずっと放置します。放置するということで、かかった力によって粘土が水を排水するための時間を与えているわけです。また荷重を増やして、ここで 2 年ほど放置します。最後には壊そうということにな

りまして、ここでずっと力をかけて壊しました。この一連の試験工事を計算でシミュレートしたものをお見せします。

これは、計算に必要ないろいろな定数を決めたことで、定数を決めるためには現地から粘土を持ってきていろいろな試験をして決めるわけです。

これが試験結果を計算が再現できるかどうかをずっと確かめている絵です（図表 21）。鋭敏比というのがありますが、これが自然の粘土

破壊時のせん断ひずみ分布(盛土部拡大)



52

図表 22

で、いわゆる張り子の虎です。よく繰り返してやりますと、同じ間隙比ならものすごく弱い力で、繰り返した粘土は壊れてしまうというような絵です。それをみんな計算で再現して、二つ大きく違う土がありましたので、今から計算をしていきます。

これが1段階目の盛土で、ここにいろいろな色がありますが、真っ青というのは、せん断ひずみがまだほとんど出ていないという意味です。

今度は2段階載荷でやっていきますと、この辺が何となく色が薄くなって、この辺の変形が進んだなということが分かります。

その後、第3段階載荷をしますと、この辺だけがひずんでいるのかなと思ったら、この辺に、斜めにずれるようなせん断ひずみが、何かこれが気色悪いなということになってまいります。

それで、1300日たった後ここで急激に荷重をかけていきます。これは1日半ぐらいで荷重をかけました。この辺で、ものすごくせん断ひずみ、つまりぎゅっとずれているわけですが、そのずれがだんだんと盛土の中まで入って、こ

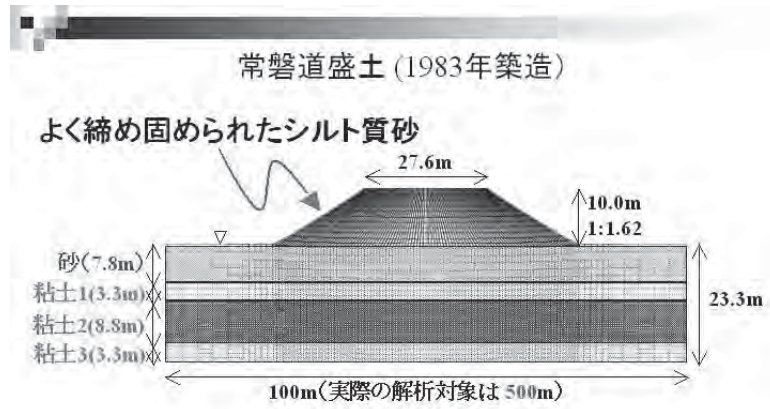
こでドスンと壊れたという絵になっています(図表22)。

実はこれは25年も前の試験盛土で、この盛土をどんな土でやったのかという情報がほとんどありません。この部分だけわれわれは想像してやったわけですが、実際に壊れた方が、ちょっと滑りの範囲は大きいです。だから、合うとか合わないといってもこの程度だとお考えいただけたらと思います。難しいところです。

2次圧密中にある軟弱粘土基盤(常磐自動車道神田地区)

今から地震中・地震後の地盤挙動です。これは常磐自動車道という1983年に築造した高速道路です。このときは、沼地を何キロか走らなければいけなかったのですが、高速自動車道というのは縦断こう配もそう簡単に変えるわけにいかないので、この場所は高さ10mという高い盛土を造る必要がありました。横幅が27.6mです。

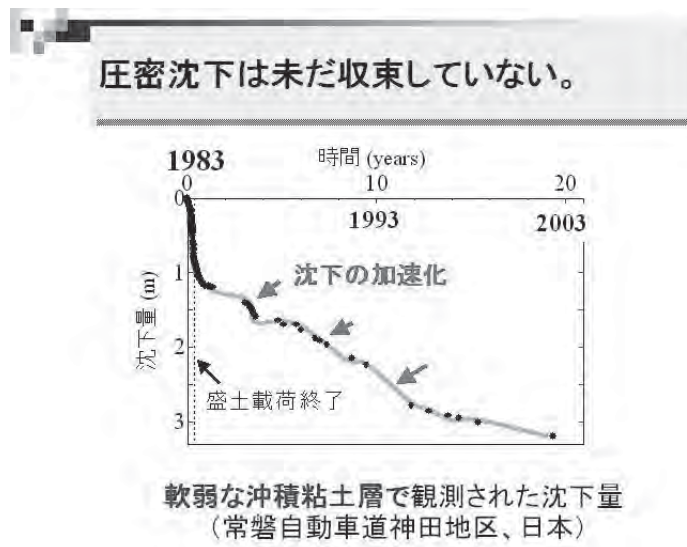
普通こんなに重い盛土をかけるときには、この下に粘土があります(図表23)。特にこの弱い粘土が8.8m堆積しています。ところが、こ



厚く堆積した軟弱粘土層の上に、
中密な砂層が厚く堆積している。

54

図表 23



55

図表 24

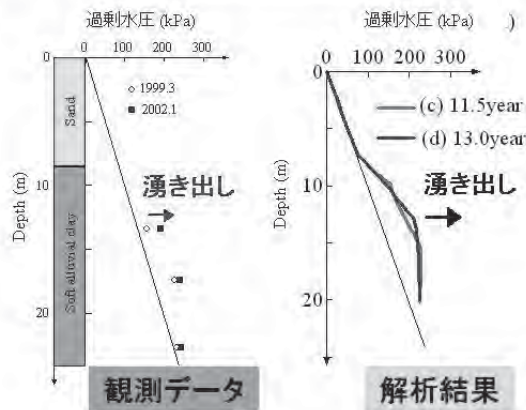
の上に約 8m 近くの砂があったので、砂は相当力をかけても頑張ってくれるのです。だから、きっと粘土の方にはそれほど被害が及ばないだろうとその当時の技術者は考えて、この粘土を強化することなく、10m の盛土を造ってしまいました。しかもちゃんと出来上がったところが憎いわけです。普通、下手にやりますと盛土は壊れてしまうのですが、この場合は壊れずに済んだわけです。壊れずに済んだというのが悲しいところでした。

これは 1983 年で、今は 2007 年ですが、これがその沈下です (図表 24)。3m 以上、現在も沈下中です。しかも、彼らは正確に測っていますので、今までの理論では沈下は滑らかに進むと思われていたものが、早くなったり遅くなったりして沈下しています。

これもまた同じように定数をいろいろと決めて、計算の準備に入りました。

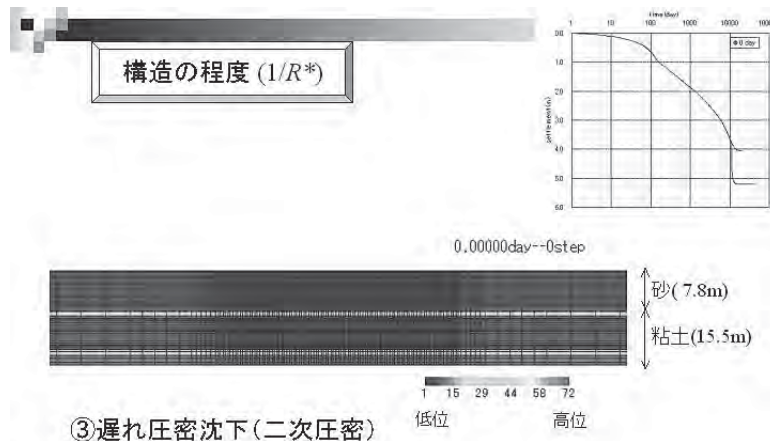
これは 1999 年、ここは 2002 年です (図表 25)。盛土を作ったのは 1983 年ですから、

荷重一定放置中に観測される過剰水圧の湧き出し



59

図表 25



時間経過とともに構造の劣化が著しく進行する。

61

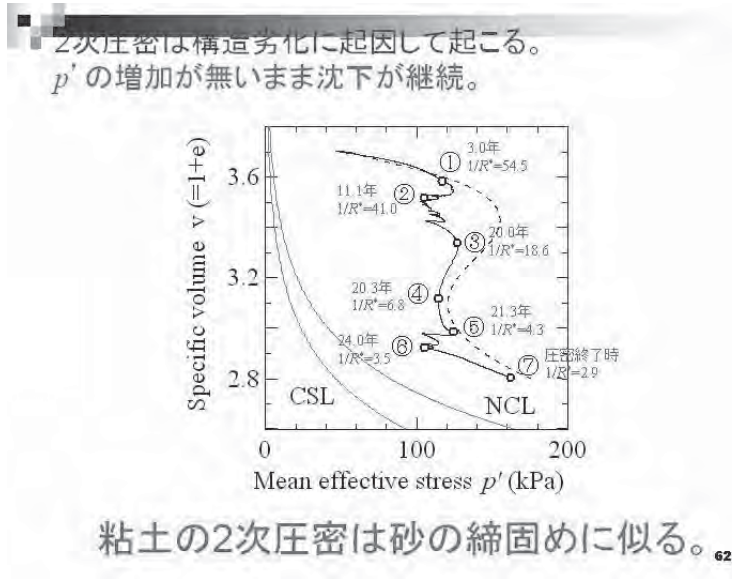
図表 26

盛土ができてから何年もたっているのに、粘土が水をはき出すどころか、まだ水圧が上がるという現象さえ出ている。そんなことがあり得るのだろうかということで、われわれが計算した結果をお見せします。

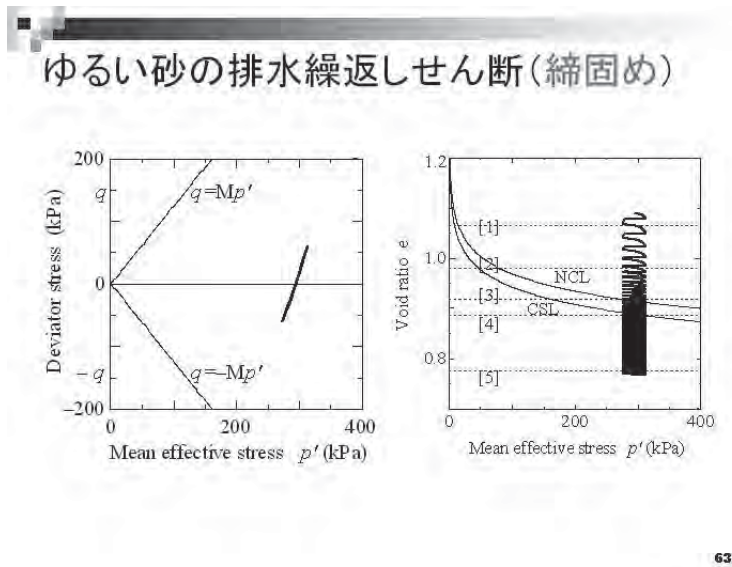
ここが構造の程度というもので、砂の方はあまり注目なされないで結構です(図表26)。この粘土は著しく構造が卓越しています。この上に今から盛土を造っていきます。ここが1983年で、ここがちょうど2007年です。1983年か

ら2007年までの間に4m沈下しましたが、張り子の虎の構造がどのように壊れていくかという絵がありますので、ご覧になっていただきます最初のうちはどうもないのです。ただ、この辺ぐらいになってからこの構造がどんどん壊れて、圧縮したいのですが、圧縮するには水をはかなければなりませんので、20年以上もかかっています。

これは粘土の部分で描いた絵です(図表27)。これは1を引いてもらえば間隙比です。



図表 27



図表 28

横軸は圧縮力です。後半の盛土の沈下というのは、荷重は一つも増えていません。盛土の高さも一定で、水圧も全然抜けていませんので、圧縮荷重は一つも増えていないのに、真逆さまに間隙が小さくなっています。これは、粘土でいうところの締め固めです。ところが、排水するのに何十年もかかると申しました。ここが造ってから3年目、ここが24年目、これが二十何年目かです。粘土は締め固まるのですが、締め固めるのに二十何年もかかります。

今の関西空港もまさにこれが起こっているわけで、粘土の二次圧密というのは遅れ沈下とっていいのですが、遅れ沈下の理由は砂の締め固めとそっくりです。砂の締め固めの計算はこういうもので(図表28)、これは茶筒の中に入れた砂をトントンとたたいたときの計算ですが、1発目、2発目、3発目ぐらいのところはよく沈下して、後は何回たたいても沈下しない。これも、力が増えていないのに間隙比が小さくなって圧縮しています。

この絵と先ほどの絵がそっくりであるということから、粘土と砂はいろいろと違う点はあるけれども、粘土に締め固めがないのかといったらあるわけで、われわれが言っている関西空港の沈下のような遅れ沈下というのはちょうど砂の締め固めが何十年にもわたって続いているという現象だということが分かってまいりました。

これは、間隙にたまる過剰水圧です。盛土荷重がずっとかかってまいりますと、粘土からは簡単に水が出られませんので、水圧がたくさんたまってまいります。ところが、時間がたつと水圧がどんどん減ってきます。このぐらいまでは順調に減ったのですが、この辺ぐらいから構造が壊れていくと、また水圧が上がったり下がったりするわけの分からない現象がたくさん起こって、長期沈下を出しているということです。

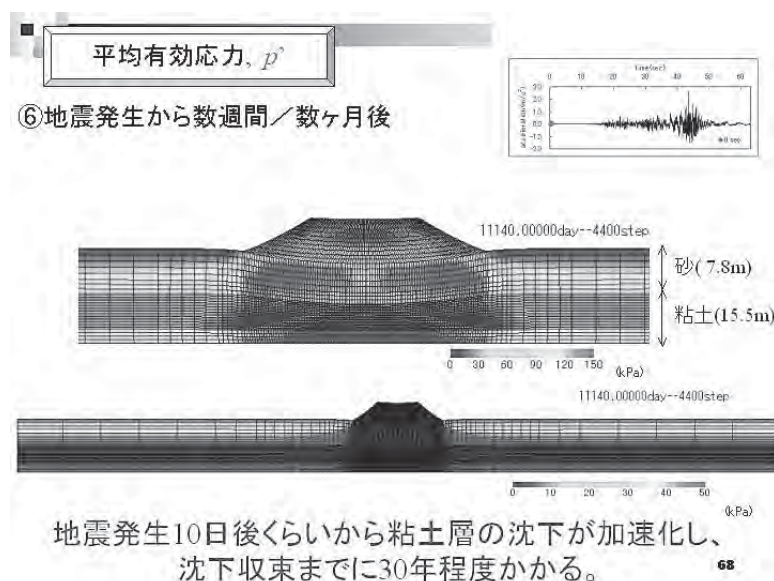
茨城県に東南海地震が来るわけではありませんが、面白いからというので、2007年1月27日に、ある会議の目的のために、もしも茨城県に東南海地震が起こったらこの盛土はどうなただろうというのをやってみました。ところ

が、どうにもなりませんでした。これが東南海地震です。茨城県に東南海地震が来るわけがありませんので、これは架空の計算です。継続時間がちょうど60秒もある大地震です。

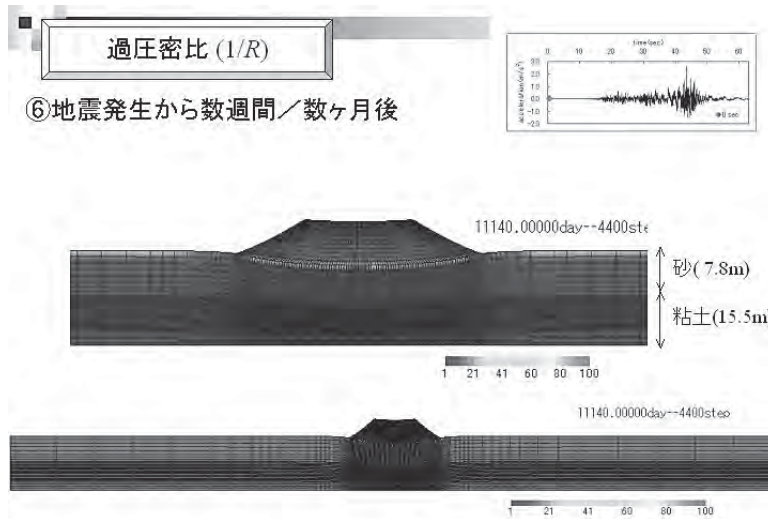
これを入れましたら、これが先ほどの土骨格にかかる圧縮させようとする土骨格に作用する力です(図表29)。上が砂で、初めのうちはこの辺のところは特にたくさんの砂の骨格に力がかかっていて、したがって、砂が丈夫なのですが、液状化しますと、これが0、つまり真っ青な状態になってまいります。その絵を見ていただこうと思います。

これが地震中です(図表30)。この辺の砂はもう全く液状化してしまいました。そうすると、粘土の押さえがなくなります。砂の地震後の沈下は、この場合3時間ほどで収束します。横軸は対数の日取りです。

ところが、地震が発生してから10日目ぐらいから30年もかかって粘土がやられていくという悲惨なことになります。地震がなければこの辺で済んでいたところが、地震が来たためにまずドスンと落ちて、その後、この場合はわずかですが、また何十年もかかって沈下を続けま

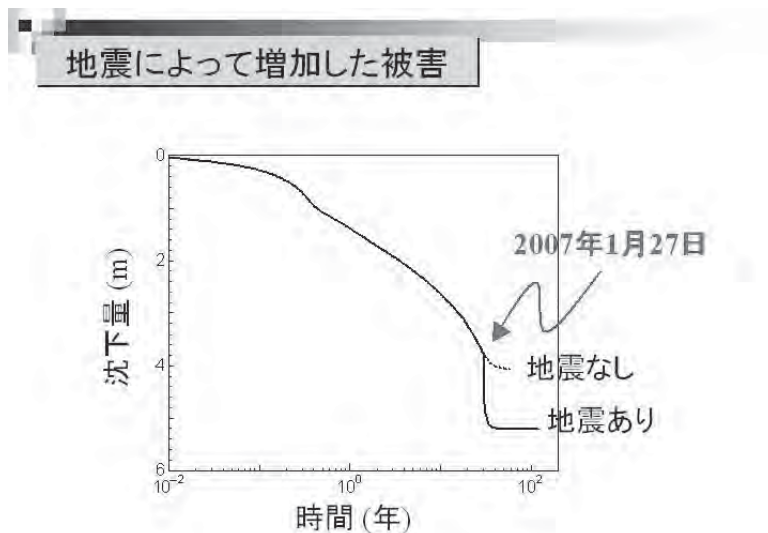


図表 29



次に、構造劣化に起因して生じる遅れ圧密沈下挙動を示す。

図表 30



図表 31

す (図表 31)。

地震のときに、盛土がドスンとまた 1m 以上も沈下したという理由は、周りの砂が液状化したために周りが粘土を押さえつけることができなかったものだから、粘土が右と左にぎゅっと圧縮されて薄くなって、右と左に動いてしまったために起こる沈下です。しかし、その後の粘土は、じわじわと数十センチの沈下を続けるという結果が出てまいりました。

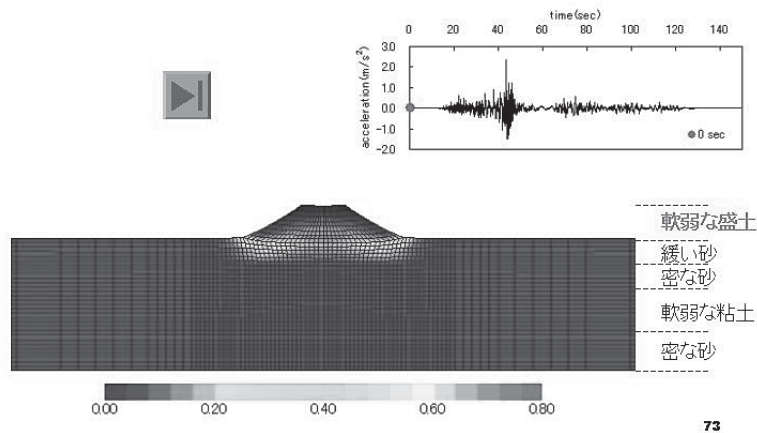
地震が一番弱いところに被害を与える

これが大変なことで、地震が一番弱いところを探して被害を与えるという例をお見せします (図表 32)。

これは小さな盛土です。実は架空の計算ではなく、本物の地盤です。ただ、この地震は架空のものです。これは、東海・東南海連動型地震で、120 秒ぐらいの継続時間があるという地震です。地盤は上に 2~3m の緩い砂があり、その下が密な砂、それから、軟弱な粘土があり、

盛土が締め固め不足で軟弱な場合

→ 盛土で円弧上にせん断ひずみが発生する。



図表 32

その下に密な砂があるというような、砂、粘土、砂の5層地盤です。これは軟弱な粘土と書いていますが、本当は砂質シルトで作ってまして、締め固め不良の盛土とお考えください。締め固め不良の盛土でも盛土は重たいので、この緩い砂は少しせん断ひずみが出ています。しかし、地震がなければこれで持っていたわけです。

ここに地震が来たらどうなるか。この場合、一番弱いのは締め固め不良のこの盛土です。そんなところに、東海・東南海が連動で起こると、うそか本当か知りませんが2分も続くといいます。2分も続いているのは下の方の基盤層の動きで、上の方はまだ続いて、数分かかって、4~5分だと思いますが、このようにぺちゃんこになりました。そうすると、ここは国道のための盛土ですが、これはもう道路としては全く機能しません。

ここで、この緩い砂と上の締め固め不良の盛土で大きな被害が発生していて、これが全部地震の力を吸収してくれたものだから、軟弱な粘土に何の被害も起こっていないということが分かります。

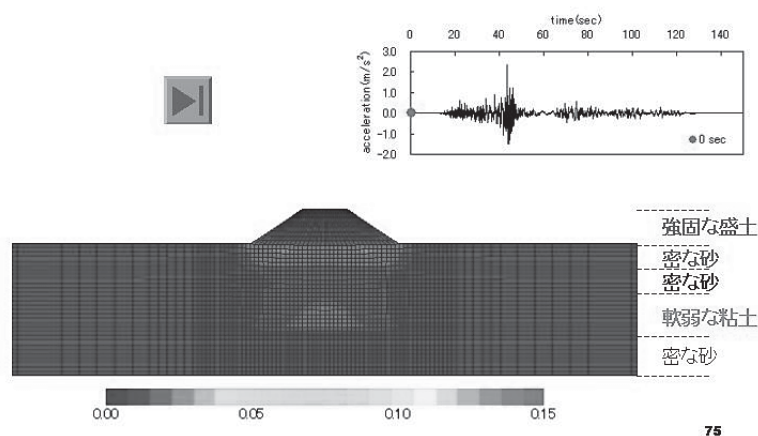
もう一つ、今度はこの盛土はもうガンガンに締め固め、表層 3m ぐらいの砂はもっと締め固めました。これで地盤が丈夫になったと思われるかもしれませんが、そこに同じ地震が来たら、弱いところはどこかなど地震は探していますので、今度は粘土がやられます。それをお見せします (図表 33)。

これは、砂質シルトは丈夫に締め固められてありますので全然どうともなっていません。計算のときに締め固めすぎたかなとも思いましたが、これはせん断ひずみの絵です。大体地震が済んだけれども、まだ表面は動いています。ところが、この4~5分が済んで、10日目ぐらいから、粘土はまだ動き始めます。この粘土が完全にやられるためには、1~2カ月もかかるということになります。本当かなと思いますが、計算したらこうなります。

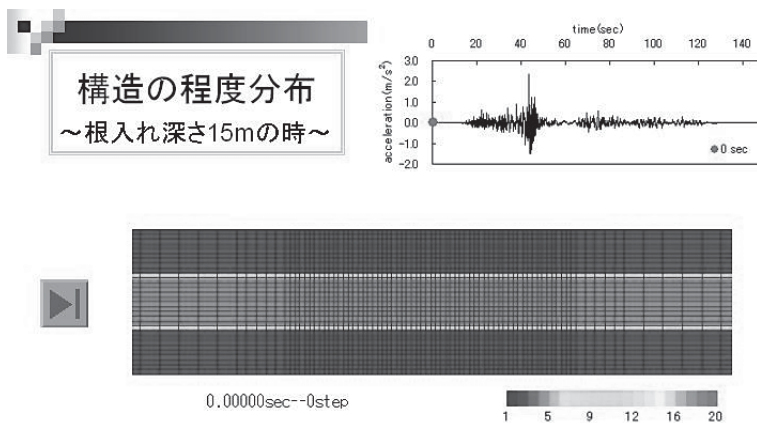
例えば、東海道新幹線などは、地震が来たときに盛土がなくなったら困りますから、どう補強したらいいかということをやっています。補強するのに、台形の盛土で、今はここに矢板を打ちまして、上を鉄の棒で縛って、これが広がらないようにします。矢板が薄い場合は、ここ

さらにその下の砂層が密だと

→ 今までは大丈夫だった粘土層で大きなせん断ひずみ



図表 33



粘土層に挿しこんだ矢板が粘土層を
乱して大沈下発生

78

図表 34

をどれだけ縛ってあってもハの字型に開いて壊れるのですが、矢板を一番下の、ここは密な砂ですから、砂層まで打ち込んでみると、この盛土はほとんどびくともしません。

間違っって弱い粘土のところを矢板を打ち止めると、真ん中が弱い粘土です。そうすると、この矢板の棒が粘土を乱して大沈下を起こします。それをやってみます (図表 34)。

新幹線の盛土ですが、この盛土をやめて、それで除荷して、矢板を今打ち込みました。その

後、ここに粘土をもう一度、盛土を戻して、そこで地震が来ました。矢板はここまでしか入っていません。こちらもここまでしか入っていません。そうすると、この粘土が矢板の先で乱されて、だんだんこうなってきました。ここは 120 秒ですが、粘土がやられるのは何日もかかりますので、じわじわと変形が続くということが分かります。これが最後の姿になっています。

ですから、地盤補強をする場合でも、地震は

弱いところを必ず狙ってきますので、それをよく考えないと、そう簡単に補強などできないということが分かりました。

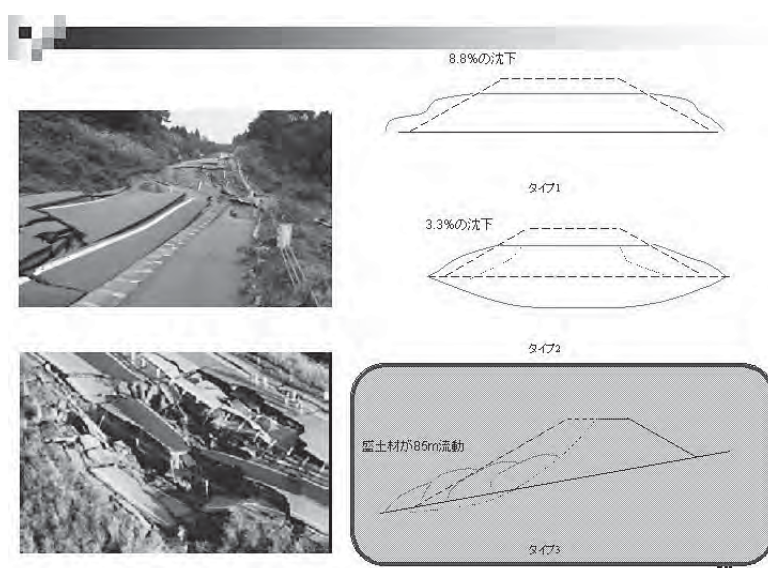
中間土を使った盛土の側方流動（中越地震の盛土災害）

今度は中越地震です。斜め地盤の上に、道路公団が作った盛土です。このときは、地震が起こってから1日ほどでつぶれてしまいました（図表 35）。この場合は、この斜めの固結シル

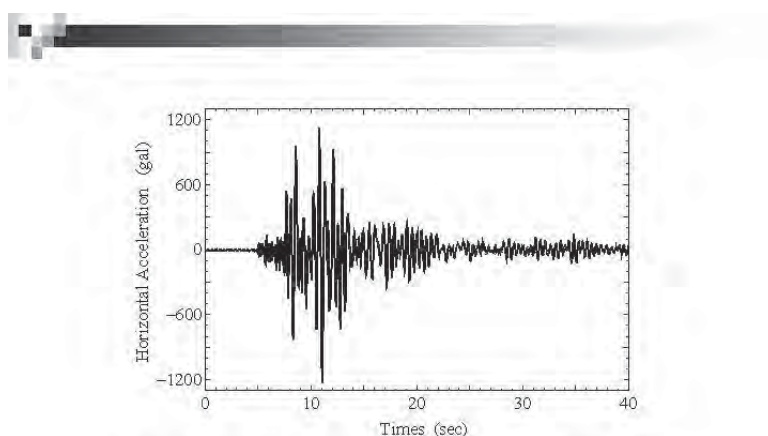
トのような固い地盤の上に、どんな材料で盛土を作ったのかということが大事ですので、それを調べました。それは、完全な砂ではないけれども、砂に近い粘土分が入った中間土であったということが分かりました。

中越地震のときにこの辺りで作用したであろうという地震波を入れて計算したらどうなるか、それを今からやってみます（図表 36）。

そうすると、この地震は30~40秒で済んでしまいました。この数十秒の間では全然どうも



図表 35



中越地震時のK-net小千谷の観測地表面波から開放基盤面における地震動を計算から算出した。解析にはこの地震波を1/2にして入力した。

82

図表 36

ないのです。これはせん断ひずみですので、この辺でちょっとひずんでいるぐらいで、それほど大したことありません。このまま止まってくれたら何もなかったのですが、実はこの辺りが、本当は水が供給されたらもっと弱くなっているのに、水が来ないものだから負圧が発生していて丈夫になっています。だから、これは、地震のときには壊れなくても、この場合は1日半ほどですが、地震後にずっとじわじわとずれ落ちてきます。この計算では止まるのに1日半ほどかかっています。これは、この辺のせん断ひずみがたくさん出ているところに、盛土と地盤から水が供給されているのです。それでだんだん滑ってきたということが分かります。

阪神淡路大震災のときも、沢を埋め立てた住宅地は、宝塚の方で地震が起こった翌日とか翌々日に滑ったりしていますが、大体それに似たような現象かと思います。

上部構造物系の地震時・地震後挙動（海上人工島）

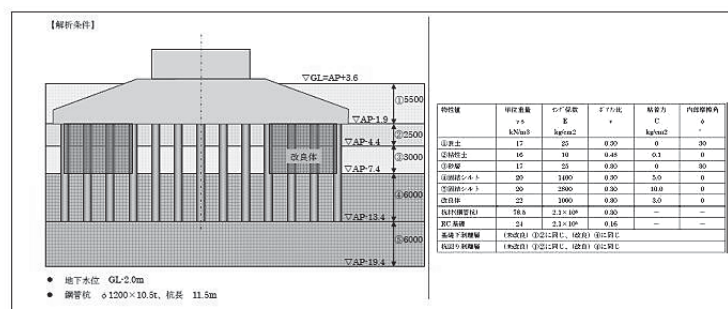
今度は、海上人工島の上に造った大マンションのようなものは丈夫かどうかということで

す。これは奥行き40mぐらいの建物で、その重さは約2万トンあります（図表37）。ここに杭が入ってしまっていて、杭の間をセメントミルクで改良します。上の方は埋め立て地で、砂とか中間土です。この下が固結シルト、それから本当に硬いシルト質粘土層です。ここはもう支持基盤と思っていいので、杭はここまで打ちます。

どのようにしてこの建物を造ったのか。初め、埋め立て土は全部取ってしまって、杭を打って、その上に6mのコンクリートスラブを打ち、この辺を埋め戻し、その上に高層ビルを造ります。この辺は、いって見たらビルの飾りです。しかも、もうちょっと高いビルにした方がよかったということで、高いビルにします。ここも縛っておこうということで縛っておきます。

この工事を全部計算でシミュレーションして、しかしそれだけでは面白くないので、この「羽田シナリオ波」というのはありもしない大地震です。しかし、ここに鋼管杭がものすごく密に入っていて、セメントミルクを注入して改良しています。下の地盤が大層立派な地盤で

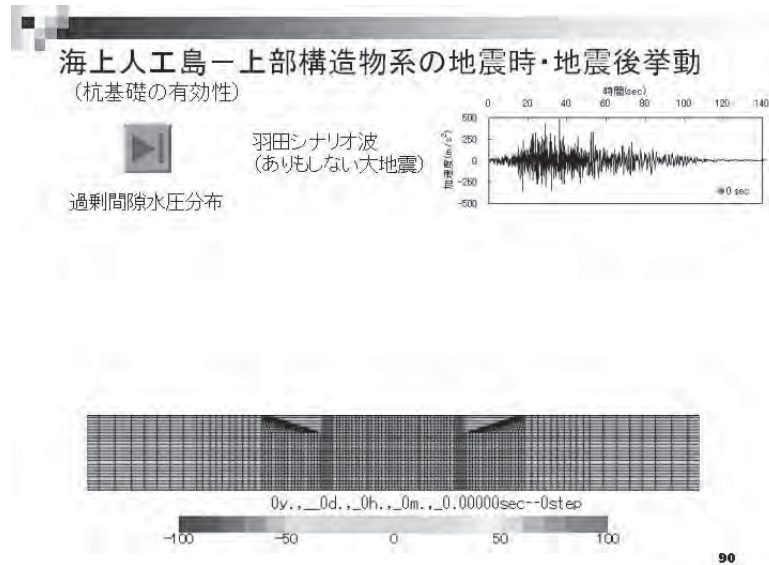
地盤条件および検討した構造物



【条件設定資料】より抜粋

地盤			構造物		
層別	記号	モデル	構造	モデル	構造
改良土	Ra	弾性体	①Aaと①Bの1/2倍	①鋼管杭	2相流 弾性体 (幅×1.2m×1.7、弾性係数と等価に仮設)
改良土	Rb	弾性体	H4 SC-1 のAaの弾性係数により定数決定	②鋼管杭	1相流 弾性体 (幅×1.2m×1.7、弾性係数と等価に仮設)
改良土	Rc	弾性体	H4 SC-2 のAaの弾性係数により定数決定	③鋼管杭	1相流 弾性体 (幅×1.2m×1.7、弾性係数と等価に仮設)
改良シルト	Ds1	弾性体	H4 TC-1 のAaの弾性係数により定数決定	④鋼管杭	2相流 弾性体 (幅×1.2m×1.7、弾性係数と等価に仮設)
改良シルト	Ds2	弾性体	H4 TC-2 のAaの弾性係数により定数決定	⑤鋼管杭	1相流 弾性体 (幅×1.2m×1.7、弾性係数と等価に仮設)

図表 37



図表 38

す。そういう場合をちょっとやってみます (図表 38)。

今、杭を打って、スラブを立てて、もうこれでビルができています。それで地震が来ました。左右に揺れていますので、右の杭が頑張ったり、左の杭が頑張ったりして、青、赤が点滅していますが、ビルが壊れません。壊れたら困ります。飾りはよく揺れています。

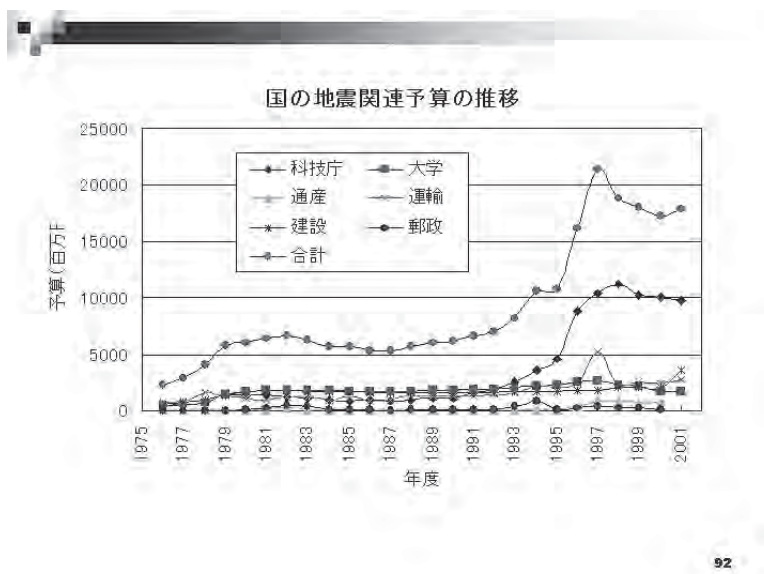
東京の臨海副都心でも、ちゃんとした基礎を造って建物を造れば、ありもしない地震が来てもビルは壊れません。この辺の地盤はよく絞めますと、液状化もしません。しかし、ビルは壊れなかったけれども、上で何メートルもの振幅で揺れています。中に人間が居て、2~3分もずっと揺れているわけですから、この辺に居た人は、生きた気がしないだろうと思います。きっと家の中はむちゃくちゃになっていると思いますが、ビルは壊れませんでした。このビルの剛性も、本物の剛性も与えています。だから、ちゃんとすれば大丈夫なのだということ

3. 地震学に比べて地震工学は……

ここでちょっとだけ皆さまに訴えたいことがあります。それは、この絵です (図表 39)。これは国が地震関連のためにどのぐらいの研究費を使ってきたかという絵なのです。1995年というのがここにあります。

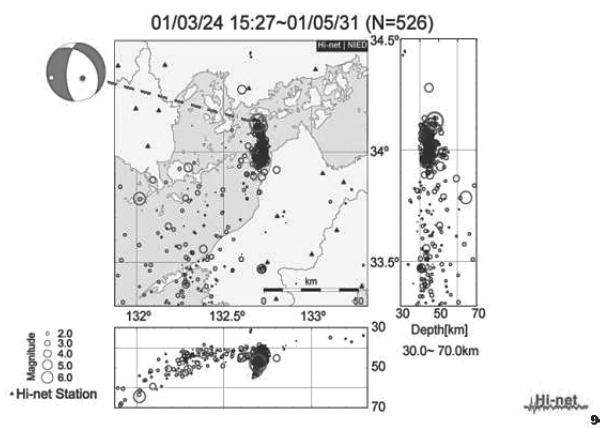
70年代のごく初めのときに、地震予知連絡会議というものができて、地震を予知するなどということを行うわけです。ずっとやってきて、通産省は通産省、建設省は建設省、国土地理院から気象庁から、大学の関係者、これは全部縦割り行政ですので、その間の連携は何もなしです。平均して毎年 50~70 億円を 20 年ぐらいにわたって使ってきました。しかし、大した成果はありませんでした。

ただ、このときの科学技術庁の長官が例の田中眞紀子でした。それで、阪神淡路の地震の後の政府の対応というのは目覚ましいものがありまして、170~200 億円を 7 年も 8 年にもわたってかけます。それから、今までは縦割り行政でバラバラだった研究事務を全部、科学技術庁に一元化する、研究情報は全部集める。そうしましたら、ものすごく研究が進みました。そのた



図表 39

研究成果① 震源分布の高精度把握 2001年芸予地震(M6.7)



図表 40

めに、いろいろな観測網をたくさん置いて、たくさん観測を進めました。これはみんな金の要ることです。金は使って、いろいろな機械を埋めてやりました。

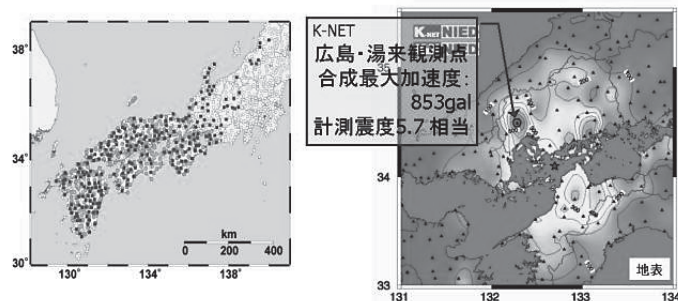
研究成果は、震源分布の高精度把握が進みました。これは2001年にあった広島沖の地震です(図表40)。それから、高密度震度・加速度情報が得られるようになりました(図表41)。震源メカニズムも、特に宮城県沖地震などは30年置きに必ず来ますので、非常に正確に分

かるようになってきました(図表42)。地表変位・ひずみの把握もできるようになりました(図表43)。断層の活動性の把握もできるようになりました(図表44)。

田中真紀子さんまでは、例えば糸魚川—静岡構造線にある断層は、「この断層を含む区間は、現在を含め、今後数百年以内にマグニチュード8程度の規模の地震が発生する可能性が高い」ということを言うために、十何年もかかっていました。ところが田中真紀子さんがお金を集中

研究成果② 高密度震度・加速度情報の把握

2001年芸予地震(M6.7)

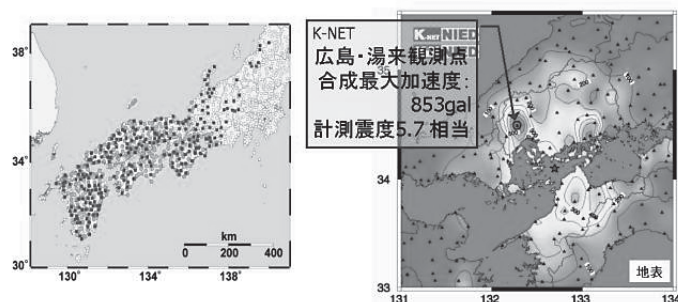


95

図表 41

研究成果② 高密度震度・加速度情報の把握

2001年芸予地震(M6.7)



95

図表 42

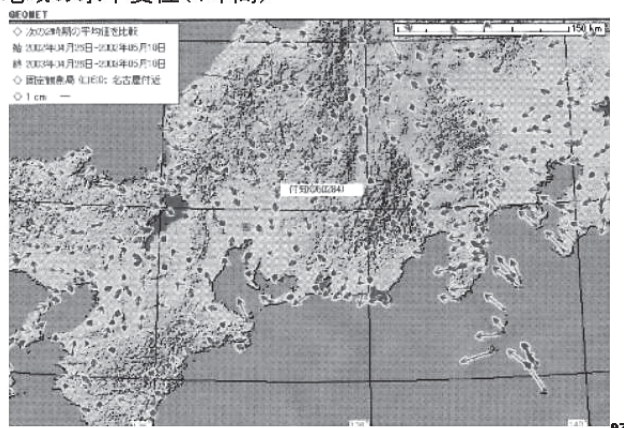
投下して、研究の事務を一元化すると、今は同じ場所に対して、「地震発生確率は30年以内に14%、50年以内に23%、100年以内なら41%。本断層帯は、今後30年の間に地震が発生する可能性が、わが国の主な活断層の中では高いグループに属する」。これは意味が全然違います。やはり研究にはお金が要るわけです。

例えば南海トラフというのは、東南海は今後30年以内に50%程度で必ず来ます。南海も40%で来ます。宮城県沖などは哀れなもので、

98%で来ます。各震源に対して、いろいろなことが詳しく分かってくるようになりました(図表45)。もちろん、地震予知研究も進展しました(図表46)。早期情報伝達システムも進んだといわれています(図表47)。

もう一つは、大都市周辺においては堆積平野の地盤調査と地震動予測地図もよく出てまいります。例えば兵庫県南部地震のときに、神戸の海沿いにばかり、なぜあんなに地震被害が集中したかというのは、そのときは分からなかった

研究成果④ 地表変位・歪の把握 中部地域の水平変位(1年間)



図表 43

研究成果⑤ 断層の活動性の評価

糸魚川—静岡構造線断層帯の例 (改善前)

牛伏寺断層を含む区間では、現在を含めた今後数百年以内に、M8程度 (M7½ ~ 8½) の規模の地震が発生する可能性が高い。

(改善後)

予想される地震規模	M8程度 (7½ ~ 8½)	
地震発生確率	30年	1.4%
	50年	2.3%
	100年	4.1%

本断層帯は、今後30年の間に地震が発生する可能性が、我が国の主な活断層の中では高いグループに属する。(3段階にランク分け)

98

図表 44

のですが、盆地の端からこの部分が堆積粘土層で弱い地盤です。表面から来るのと、直達してくるS波とが同じ時間に重なるということが分かりまして、そこで随分ひどい被害に遭ったということも分かってきました (図表 48)。

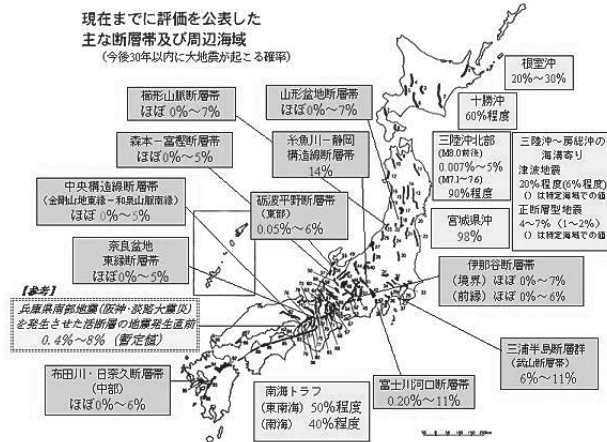
濃尾平野については、名古屋大学も協力してたくさんの方が分かっただけで、名古屋の下の方の地盤の構造の三次元モデルもできるようになりました (図表 49)。

結局、あれだけお金を投資しますと、一つは

今後30年の間に大きな地震が来る確率を正確に予測できるようになりました。もう一つは、ある断層を特定した場合には、それが滑ればどのような地震の波がこの辺に来るかということも計算されるようになりました。そうしますと、地震学の進歩で、日本は地震に対しては本当に危ない国だということがよく分かったわけです。

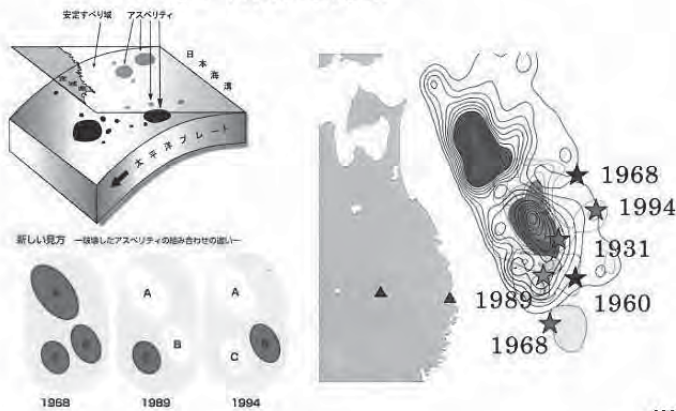
私が申し上げたいのは、阪神淡路大震災以後の急速に進んだ地震学・地震工学の進歩に、土

研究成果⑥ 活断層、海域地震の発生確率評価



図表 45

研究成果⑦ 地震予知研究の進展 アスペリティ概念の確立



図表 46

木工学・地盤力学が追い付いていません。市民の皆さま方による土木工学への温かい支援どころか、熱い支援を期待しています。ご清聴、どうもありがとうございました（拍手）。

質疑応答

(質問者 1) 昔、新潟地震でアパートが倒れる写真を見たことがあります。あれは下が液状化でどろどろになって倒れてしまったということですが、今、自分が住んでいるマンションの下

の方、地盤や基礎が大丈夫かどうかというのをチェックする方法というのはあるのかどうか、教えていただきたいのですが。

(福和) 4年前だと杭で耐震設計してあります。

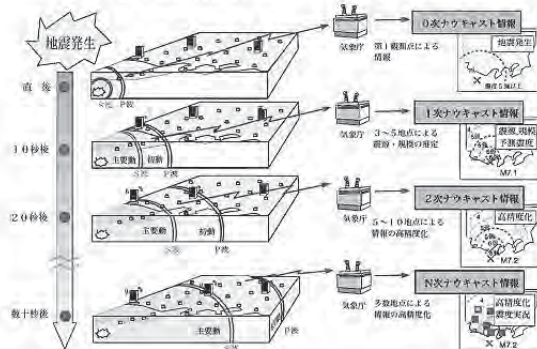
(質問者 1) 杭を打っていないようなのです（笑）。

研究成果⑧ 早期地震情報伝達システム

UrEDas, CUBE, SIGNAL ets.

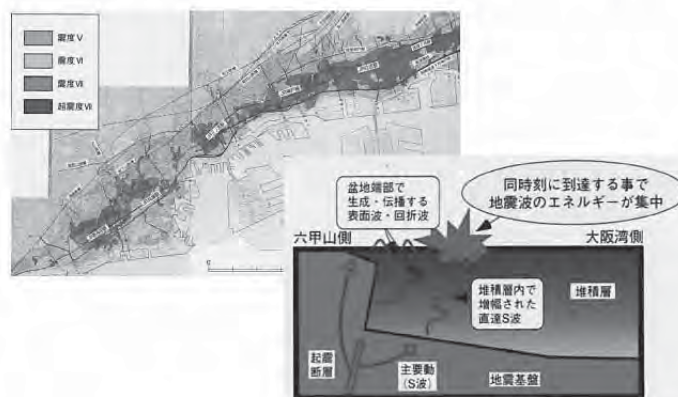
地震波の伝搬とナウキャスト地震情報(概念図)

—地震発動による被害を未然に防止するため—
震源の近くで、地震波(P波)を捕らえ、被害をもたらす主要断層(S波)の到達前に、その到達予想時刻や推計震度等を提供する。



図表 47

兵庫県南部地震における震災の帯の成因



図表 48

(福和) 場所はどこですか。

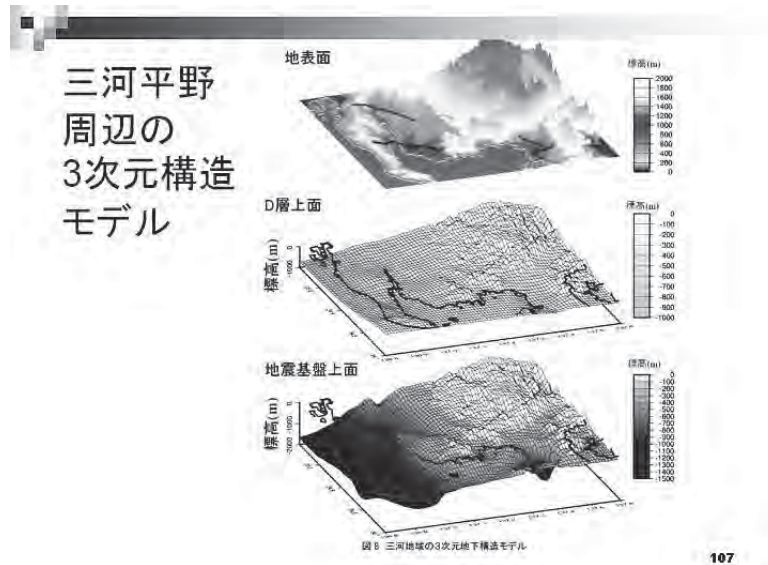
(質問者 1) 守山の瓢箪山です。

(福和) では、地盤がいいのではないですか。

(質問者 1) 8階建てなのですが、そういうものを建てる時はボーリングをして下の地層を全部チェックするのですか。何メートルぐらいボーリングするのですか。

(福和) 8階建てだったら普通はします。いい地盤だったら、あまり深くまではしません。それは造った人に聞くのが一番いいです。業者さんが造っていますよね。その人に聞けば、その人も勉強しますから、相互に良くなっていきます。設計事務所と施工会社に言っていただけると一番いいと思います。

(浅岡) ご紹介します。今のは福和さんといって、私の同僚でして、建築の先生です。



図表 49

(質問者 2) 阪神・神戸のときの大地震で、神戸には埋め立てをした島がたくさんあります。特にポートアイランドなどは液状化であったにもかかわらず、建物はどこも倒れなかったという現実があります。どうして倒れなかったのでしょうか。

(浅岡) 私は違って、ほとんど壊れたなという印象なのです。例えば頭が非常に重たい構造の高速道路は 500m にわたって一方向に倒れましたし、いろいろなものがみんな壊れています。例えば盛土というか、鉄道用の橋の基礎とか、堤防も、護岸も、ありとあらゆるものが壊れたのではないのでしょうか。

(質問者 2) 私はポートアイランドに 3 日目に入りました。たまたま私のところの企業の建物があって、液状化で土台が浮いているというよりも、土は沈んでいたわけなものですから、後から私も会社でいろいろと聞きましたら、基礎に相当お金がかかっていましたから、固いところに杭が打たれていたからそうだったのでしょか。

(浅岡) 例えば神戸の三宮の方をずっと歩いていまして、本当はだいぶ傷んでいますが、それほど被害がないのに、すぐ横のビルが全く倒れているとか、神戸市役所だったか、市役所の別館か何かの 5 階の部分がぺちゃんこになって壊れているのに、明治か大正のころにできた税関のビルはどうもなかったとか、そういうことはあります。しかし、ほとんどの構造物は大変大きな被害を受けたと思います。その後、今、福和教授も言われましたように、建築の基準も土木構造物の基準も耐震性をもっと重視するようになって、今は改善されていると思います。

(福和) 今おっしゃったのは、ポーアイの高層ビルが壊れていなかったのはなぜかということですよ。ポートアイランドのところは建物が結構よかったものですから。

(浅岡) それから、下まで全部杭が打ってありました。

(福和) それで建物は、液状化してくれると、建物に入ってくる入力が入らなくなるので、杭

さえしっかりしてあれば建物にはラッキーなのです。一方で、浅岡先生は土木の話だけをおっしゃっていて、建築の方はあまりよく分かっていないから、余力が結構あって壊れなかったものが多かったのです。

(質問者2) ということは、やはり建物を建てるときには、お金をかければ倒れなかったということですね。

(福和) デザインにたくさん金をかけても駄目ですが、構造に、しかも浅岡先生がおやりになっているような地下の見えないところに金をたくさんかけていただければ、相対的にはいいですよ。

(浅岡) ただ、それも、幾つも変なことがあります。自分のところの下だけを固くしますと、自分のところは大丈夫なのです。ただ、すぐ隣は、そこが改良されていないときよりもひどい被害が出ます。先ほど地震は弱いところを狙うと申しました。だから、自分のところだけよかったらいいのかなどということで、そういう話はあまりできないのです。

それから、本当にラッキー、アンラッキーがありまして、建物によって全然駄目なところと、ちゃんと台地の上に建っているところはものすごく丈夫で、本当に下のあれによります。たとえその土地代が一緒でも、確かにものすごく丈夫なところと弱いところがあります。

(質問者3) 水郷の町蟹江といいまして、マイナス2mの地帯で生活している者です。東海地震、東南海地震が連動した場合、濃尾平野の地震災害というのはどの程度のものが想像されるのでしょうか。その辺、何かご指導していただけたら。

(浅岡) 愛知県や名古屋市などいろいろなところが、ハザードマップとか、地震が来たらこのぐらいの被害が出るのではないかとというようなことは市民に必ず知らせることが必要になってまいりまして、そういうことをやられていると思います。だから、詳しくはそういうものをご覧になっていただくのがよろしいかと思います。

総じて申しますと、名古屋は、海あるいは水に対して非常に弱い町であることは事実です。昭和40年代に地下水をくみ上げて、とても広い面積、百八十数平方キロを海拔0m地点にしてしまいました。そこは今は海岸堤防によって守られているわけです。東海豪雨のように川の水があふれた場合は、漬かった人は誠にお気の毒ですが、水はすぐ引くわけですが、海の水は無尽蔵ですから、堤防をもう一度造り直すまで、そこは水に漬かったままになります。例えば伊勢湾台風のときでも、ひどいときは2~3カ月も水が引きませんでした。そのように、低平地は地震だけに限りませんが、高潮に対しても洪水に対しても、名古屋は、水による被害がきっと大きな町なのだろうと思います。

地形的な関係で、名古屋にはそれほど大きな津波は来ないと言われてはいますが、どうか分かりません。もちろん海岸堤防も国が毎年のようにお金をかけて補強しているのですが、それも限界があるでしょう。

ここはもともと地震が来たりしたときに、水による2次災害も大きいところだということを目ざから覚悟しておいてもらって、その心構えで地震の後も対処していただくように。そうとしか言えないのではないのでしょうか。

(質問者4) 私は建築を仕事でやっているのですが、今までのお話の中で、液状化になった場合、杭が粘土層とか固い地盤のところまで

届いていたらラッキーだというお話がありました。普通の2階建て程度の建物ですと、この辺りで調査するときにボーリングはしません。スウェーデン式サウンディング方法という方法で調査して、杭を打つというケースは比較的少なく、表層の地盤改良ということが非常に多いのです。

そういう改良工事をした場合、液状化が起きるとどういふ現象になり得るのでしょうか。それと、液状化が起こるかどうかということは、スウェーデン式サウンディング方法で判断できるのでしょうか。

(浅岡) まず後の方、そういうサウンディング方式で判断して、それでおよその傾向は分かっても、例えば今お見せしたような計算に乗るようなデータが得られるかというところではありませんので、やはり不十分だと思います。ただ、いろいろな住宅地、例えば平屋とか2階建てごとに、そんな土質調査にもものすごくお金をかけて、杭を打つのは非常に高いですから、そんなものも打てません。そういうときにどうなるのかと言われたら、福和先生、どうなるのですか。

(福和) つらいですね。スウェーデンもいいかげんですね。スウェーデンで液状化するかどうかなど、砂かどうかも判断できない試験ではちょっとつらいです。本当はそういうところに住まないのがいいのですが、住んでしまった方がいるから言いにくいだけで。

(質問者4) 以前、住宅メーカーにおりました。住宅メーカーはほぼ100%、スウェーデン式サウンディング方法を使っています。どうしてもそれを使わざるを得ないといひますか、安価でできるということもあるのですが、それに

よって必ず地盤改良しなければいけないということがメーカーに義務付けられたものが、最高裁の判例で出てしまっているものですから……。

(浅岡) 地盤改良というのは、表層を？

(質問者4) 表層を含めての話で、杭という判断をすることもあります。柱状改良という方法もあります。さまざまな方法で判断しているのですが、この三河地域はほとんど地盤が弱い地域で、岩盤の上に建てることもあります。それはまれです。3階建て以上の場合に限ってボーリング調査をしています。そうなりますと、費用も多少かかるのですが、それは仕方がないという判断です。

先ほどの杭の方が高いのではないかとおっしゃったのですが、実情は杭の方が安いのです。ただ、杭を打ちますと、近隣に被害が起こることが多いので、そちらの賠償金額の方が高いものですから、今は正直言って少なくて、表層改良の方で安全に、地盤の不等沈下が起こらないようにしたい、均等に沈下していった方がいいという考え方をしています。そういう地盤のときに、液状化が起こったらどうなるのかなと思ったものですから。

(浅岡) 例えば建物のすぐ下の層が典型的に液状化するような層であれば、液状化は1~3分のことですが、その後必ず砂は沈下しますから、大きな変形は避けられないでしょう。ただ、盛土などに比べて家は軽いですから、それほど目立ったことはないかもしれません。建物被害としては大きいのですが、液状化が起こって建物がおかしくなったから人が死んだというような事例はもともと非常に少ないのです。

それから、杭を打てない場合でも、例えばコ

ンクリートスラブのようなベタ基礎で、基礎がしっかりしていると、柱と柱との間の距離や角度がひずみませんので、ベタ基礎の方が、昔からある布基礎よりはるかに丈夫で、耐震性もはるかに高いと思います。

(福和) 今のような建築の話は、そのうちまた別に。ちゃんと飛田先生が、そのうち説明して

くださると思います (笑)。

(司会) 最後に専門家からの質問もあって、事態の深刻さというか、非常に難しい問題ということもかいま見られたかなと思います。浅岡先生、本日は本当に貴重なご講演をありがとうございました (拍手)。

沿岸災害と海岸工学



講師 水谷 法美

(名古屋大学大学院工学研究科社会基盤工学専攻教授)

(司会) 第42回名古屋大学防災アカデミーを開催します。本日は名古屋大学工学研究科の水谷先生に「沿岸災害と海岸工学」というタイトルでお話しいただきます。

来年で伊勢湾台風から50年が経過します。高潮災害により、5000人の方がこの地域で亡くなられてしまったわけですが、考えてみると濃尾平野はゼロメートル地帯が大変広く、海岸工学がなければ、われわれのこの土地はなかったのかもしれませんが。名古屋駅の辺りまで波が押し寄せてしまうというこの地域にこれだけの生活圏が形成できているのは、海岸工学のおかげと言っても過言ではないと思います。

昨今、地球温暖化時代を迎えて災害、台風が巨大化したらどうなるのかという新たな問題も突き付けられている私たちに、海岸工学について教えていただこうというのが本日の狙いです。水谷先生には海岸工学とはどのような学問かというあたりから、ぜひ話していただきたいとお願いしてあります。

それでは水谷先生、よろしく願いいたします。

1. はじめに——今、沿岸域で問われていること

(水谷) 過分なご紹介をいただきまして、ちょっと緊張しています。名古屋大学の水谷と申します。所属は社会基盤工学専攻で、いわゆる土木工学の中に海岸工学、海のことを専門と

する分野があり、そこで仕事をさせていただいています。

今、沿岸域、海と陸が接する場所で求められているのは、一つは災害の防止です。これが今日のお話のメインになります。それから、環境の保全や修復、一方では持続可能な形でどうやって開発していくかということ。もう一つは、生態系との共生をどう保持していくか、あるいはどう利用していくか。もう一つ、最近は大きな問題になっていますが、200海里という海域とどのようにかかわっていくのか、あるいは、新しい革新技术の創出、沿岸域では今、このようなことが問われています。昨年、海洋基本法が制定されました。それに基づいて海洋基本計画が打ち出されて、海とどのようにかかわっていくかが、今、割とホットなトピックスになっています。

では、海岸工学は何をしているかということですが、大きな四つの柱があります。

一つは、波とはどういうものなのか、どういう性質を持っているのか、あるいはどうやって記述していくのかということです。それから、これはなかなか難しい問題ですが、その波によって形成された砂浜がどのような形で保持できるか、あるいは砂浜の砂がどのように動いていて、侵食からどう守っていくかということです。それから、防波堤など、海域を利用するためにいろいろな施設を造りますが、波に耐えられる構造物をどう造っていくのか、そのために波

圧や波力といった外力をどう見積もっていくのかということ。もう一つは、海域の環境をどう守っていくかということ。主にこのようなことを海岸工学では研究しています。

中でも、近年目覚ましく数値解析時報が高精度化しており、それを使ったシミュレーション技術が非常に進歩しています。その応用と、それによって何が分かっていくのかということところが、最近是非常に注目すべき中身になっています。特に数値波動水槽という技術が1990年ごろから本格的に確立し、それを使った現象の解明が今非常に進んでいます。このような技術を使って、沿岸域で起こる災害にどう取り組んでいるのか、どのように現象を解明しているのかについて、今日はお話しさせていただきます。

2. 高波災害

2-1. 富山県高波災害（2008年2月）

今日は主に、高波と海岸侵食、高潮、津波の災害の問題を取り上げてお話しさせていただきます。

まず、高波災害です。本年2月に富山県で高波災害が起きました。そのときNHKとやまで放送されたビデオをご覧ください。

動画上映

風によってできる風波は、いったん防波堤を

越えてしまうと津波と同じような形でどんどん中の方へ押し寄せてきて、構造物等に甚大な被害を及ぼします。この写真1がそれを上空からとらえた様子です。普段の波打ち際を大きく越えて、背後に流れ込んでいる状況が分かります。

後日行ったときの写真2・3です。護岸のブロックがかなり散乱している状況が確認できます。

興味深いことに、同じ構造物でも右の写真4の方はほとんど被害がなく、ここに写っていない右側の部分が先ほど見ていただいた写真2と3の状況ということで、真ん中の線から右と左で現象が全く違うのです。これには波向きと前の状況が効いているのだろうと考えていますが、この辺りについてはまたこれから検討するところです。

このときには、伏木港で防波堤のケーソン、非常に大きなコンクリートの塊がかなり動いています（写真5）。防波堤がかなり被災していることも確認されています。この写真6は同じ構造物の別の部分ですが、これだけずれています。

公園のブロックも散乱していて（写真7）、一部埋め立てた所が洗掘されて空洞になる（図表8）というようなことが、高波災害でも起こっています。



写真1、2



写真 3、4



写真 5、6



写真 7、図表 8

左上の写真を見ると、手前の辺りの建物はなくなっていて、津波のときと同じような形で被災していることが確認できます（図表 9）。

富山湾では昔から、寄り回り波呼ばれる現象

があります（図表 10）。これは、低気圧が日本海上にあるときには風もきつくて風波が立っていますが、低気圧が抜けた後、波が収まったところに北海道の日本海側の風域で発達した波が



図表 9



図表 10、11

ずっと南下してきて、富山湾の中に入り込んできます。その波が、富山湾の地形の影響で、岸に近い所で急に大きく成長して襲ってくるという現象です。今回はまさしくその寄り回り波が発達したのだらうということなのですが、気圧配置（図表 11）からも、日本海側で発生した低気圧が、急に発達して北海道の東の方へ抜けていく状況が確認できます。

この天気図 12 は、24 日の高波が襲ってきた日のものです。低気圧が太平洋上にあり、割と密な等圧線があります。これにほぼ平行に吹くような風で波が発達して富山湾に襲ってきて、高波災害が発生したことが、ここからも推察されます。

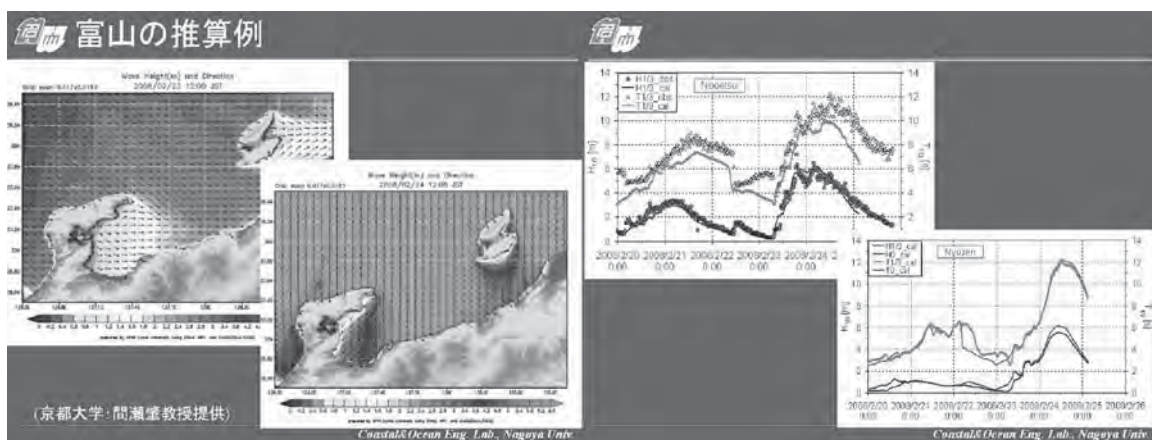
2-2. 作用外力の推定

では、本当にそういう波が突然襲ってくるのでしょうか。最近は作用外力の推定も随分精度が上がっています。つい先日、三角波で沈んだといわれている船の特集が「報道ステーション」であって、京都大学の間瀬先生が当時の波を推測して検討されていました。それと同じように、間瀬先生が富山湾の高波災害について、第三世代の波浪推算モデルを使って波の場を計算されています。左が前日 23 日の状況、右が 24 日の状況です（図表 13）。富山湾の中で波が非常に高くなっているのが分かります。

これでどれくらい予測できるかというのが図表 14 です。ドットは観測値、実線は計算して出した予測値です。先ほど見ていただいた入



天気図 12



図表 13、14

善地区では、実測値と予測値がかなり近い状況で出ていることが分かります。今、これぐらいの精度で波の場が予測できるようになっています。波浪推算、波浪予測がかなり現実味を持つようになって、注意報なども出せるような状況になってくると思います。

さらに細かく計算して、実際の地形に基づいて波の計算をすれば、例えば防潮扉が壊れたというときに、その機構まで今は普通のパソコンで計算できる技術が確立しています(図表 15)。

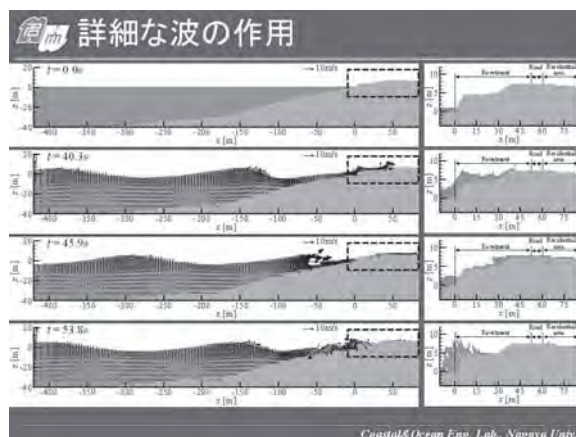
2-3. その他の高波災害

富山県以外でも、2004年の台風23号では高知県の菜生で護岸のパラペットが飛んで背後の

住宅を襲い、住民が亡くなるという被害も起こっています(図表 16・17)。問題としては、想定を超えるような波が来襲していることが一つ、施設の老朽化が一つあります。日本の沿岸施設の多くは伊勢湾台風後に造られたもので、40年経過した建物が随分あります。そのような老朽化した施設をどう考えていくかが、今大きな問題になっています。

2-4. 高波の発生状況と設計波高

先ほど、想定を超える波という話をしましたが、港湾空港技術研究所に全国の波浪観測施設のデータベースがあって、その統計では、今懸念されているような顕著な波高の増大は、あまり認められていないのが現状です。ところが一



図表 15



図表 16、17

方で、実際には高波の発生頻度が増加している地点もかなりあります。そういう意味では想定を超える波が増えている可能性は十分にあるわけです。

では、この風はどのように発生しているかというと、今考えているような高波は風波なので、気象要因、風が吹いて波が起こります。気象の変化が起これば、当然、波の発達状況も変わってきます。先ほどの北海道を横切る間に急速に発達するような低気圧、よく「爆弾低気圧」という言葉をニュースで聞かれるかと思いますが、その発生頻度が増えています。あるいは、台風の勢力が増加しているということがありますが、発生波の波高が大きくなる原因になります。実際には、先ほどの寄り回り波もこういう

もので発生頻度が増える可能性は十分あるといえます。

今、構造物を造るときの設計波高の基準はどう決められているかということ、過去の観測データから、例えば50年に1回発生する、あるいは100年に1回発生するであろう高波で考えることになっています。このベースには、現象の定常性という考え方があります。要するに、今まで起こってきた現象とこれから起こる現象が同じだということが成り立って初めて使えるのが、こういう考え方なのです。

それが地球温暖化などで状況が変わってくると、非定常性を無視できなくなり、こういう考え方が使えなくなって、設計波の見直しも必要になってくるかもしれません。この辺はまだこ

れからの課題ですが、多分これから話題になってくるだろうと考えています。

3. 侵食災害（海岸侵食）

3-1. 海岸へのインパクト

次に海岸侵食の問題です。これは海外の事例ですから極端ですが、海岸侵食が起こり、砂がどんどん削れています。典型的な所では、大きな波が来た後に浜崖といわれる崖ができてきます（図表 18）。砂がどんどん削られて後退していく、これが典型的なパターンです。日本では、砂浜がやせ細っていくのが、割とよく見掛けられるパターンです。

浜崖はいろいろな所で見られます（図表 19）。こういうものが見られると侵食傾向にあ

ることが分かります。

侵食は砂がなくなるわけですから、当然、波によって砂が動かされることになります。これを漂砂と呼びます。漂砂には二つあって、単純に沿岸漂砂と岸沖漂砂と、動く方向で分けます。沿岸漂砂は沿岸流によって岸に沿って運ばれることで、岸沖漂砂は波が沖の方から来てまた沖の方に戻っていく、岸に来たり沖の方へ返ったりという往復運動によって砂が運ばれることです。砂の動きを見ていて分かるのは岸沖漂砂で、実際にじわじわと効いてくるのは沿岸漂砂です。

この図 20 はよく紹介されるもので、清水海岸と静岡海岸で観測された地形変化から、波打ち際（汀線）が前進しているのか後退している



図表 18、19

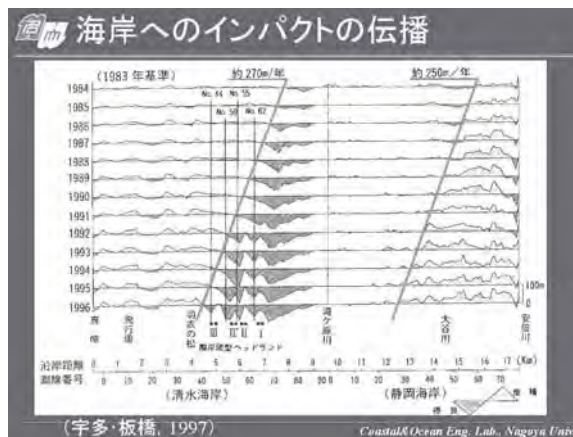


図 20

のかを、ある年を基準にプロットしたものです。黒の個所が侵食されている所です。

何かの要因があって侵食が始まると、侵食域は砂の流れる下流方向にどんどん広がり、大体同じような割合で進んでいきます。これは沿岸漂砂で、砂が岸に沿って動いています。あるインパクトが波によってどんどん下流側に伝わっていくという現象を明瞭に表したものです。逆に、その対策をして堆積が起こってくると、やはり堆積したのも下流側の方にどんどん大体同じ割合で伝播していくということで、これは砂が岸に沿って動いていることを表す明瞭なエビデンスだろうと思います。

要は、河川から運ばれてきた砂が波によって岸方向に運ばれ、入ってくる量と出ていく量のバランスが取られていれば動的に安定を保っている、これがずっと昔からできてきた海岸です。どちらかが減るとバランスが崩れてなくなる、あるいは増えることになります。

では、砂浜はどんな役割をしているかという、一つには、波のエネルギーの吸収があります。ほかにも生物の生息空間やレクリエーションの空間などとしての役割もありますが、ここでは波のエネルギーの吸収に着目したいと思います。改定された海岸法では、砂浜の消波機能についてきっちりと明文化され、その機能がう

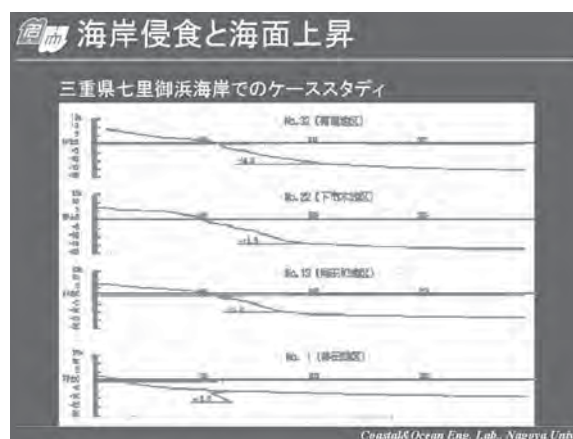
たわれています。砂浜を守ることは、高波災害の被害を防ぐ上でも非常に重要なことなのです。

3-2. 三重県七里御浜でのケーススタディ

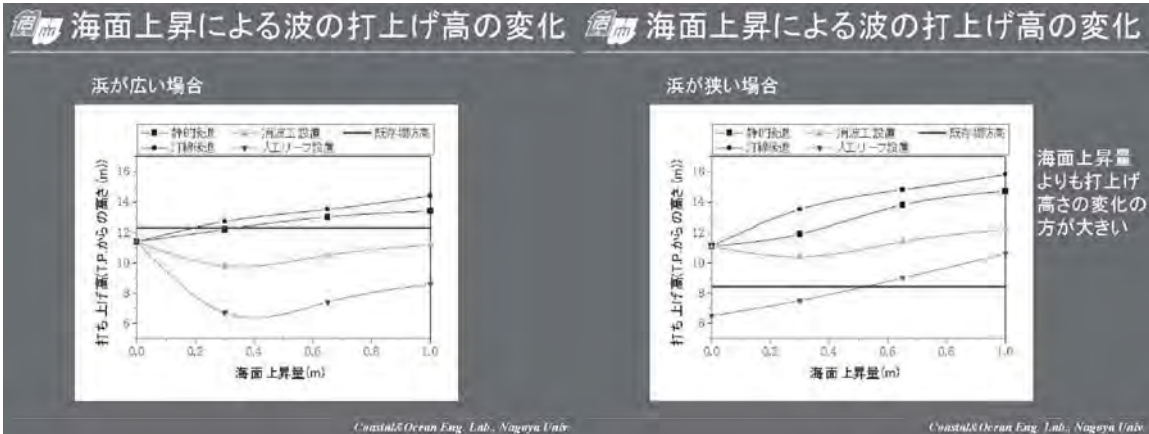
われわれが現地調査をしている三重県七里御浜でのケーススタディです(図表21)。場所は三重県南端にある熊野川の辺りで、約20kmある海岸です。北の方がかなり侵食されて浜の幅が非常に狭くなっていて、南の方はまだ比較的浜の幅があります。ここで、海面上昇が起こったときに波の打上げ高がどう変わるかを検討してみました。

浜の幅が広い場合、例えば海面上昇量を20cm刻みで1mぐらいまで検討してみます(図表22)。赤線が既存の防波堤の堤防高です。ただ単に汀線が後退するだけだと考えると、上昇量が増えれば増えるということですが、例えば消波工を設置したり、人工リーフを置いたりという対策をすれば、その影響は今の構造物でも守ることはできるだろうという結果になります。

ところが、浜が狭くなると、消波工や人工リーフの対策をしても、今の構造物ではもう守りきることができないという結果が出てきます(図表23)。もともと今の段階でも厳しい状況では



図表21



図表 22、23



図表 24、写真 25

ありますが、浜が狭いとその影響は顕著に出てきます。注目したいのは、打上げ高の変化は海面上昇量よりも大きく、1mの海面上昇があったとき、1m施設をかさ上げするだけでは不十分だということです。その意味では、砂浜を守ることは防災面からも非常に意義が大きいことがお分かりいただけると思います。

3-3. 海岸保全構造物

3-3-1. 離岸堤

砂浜を守るために、これまでいろいろな施設が造られてきました。その典型的なものが離岸堤です(図表24)。

この写真25は鳥取県の皆生海岸に置かれた離岸堤です。護岸まで砂がなくなってしまう

状況から、離岸堤を設置することによって、ここまで回復しました。日本で最初の事例で、非常に有名な施設です。離岸堤を置くことによって砂を回復させることができたので、非常に評価されています。

写真26は石川県の事例です。ほとんど砂浜がなかった所に離岸堤を設置することによって、写真27のように砂浜を回復することができました。そういう意味では非常に効果があった事例です。

写真28は浜松です。写真29のように離岸堤を並べることにより浜の幅を回復させました。浜の幅を回復させることにより、背後へ来襲しようとする波を吸収して、軽減する効果が期待できます。

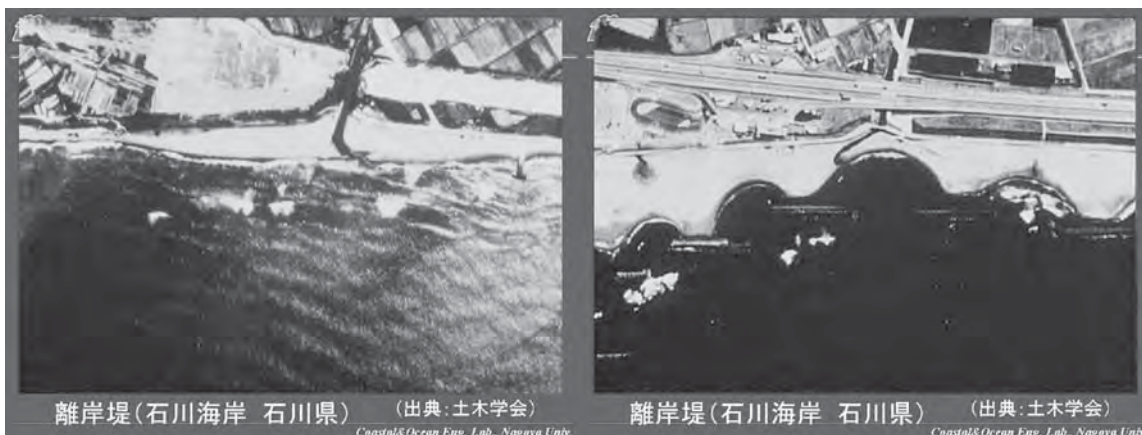


写真 26、27

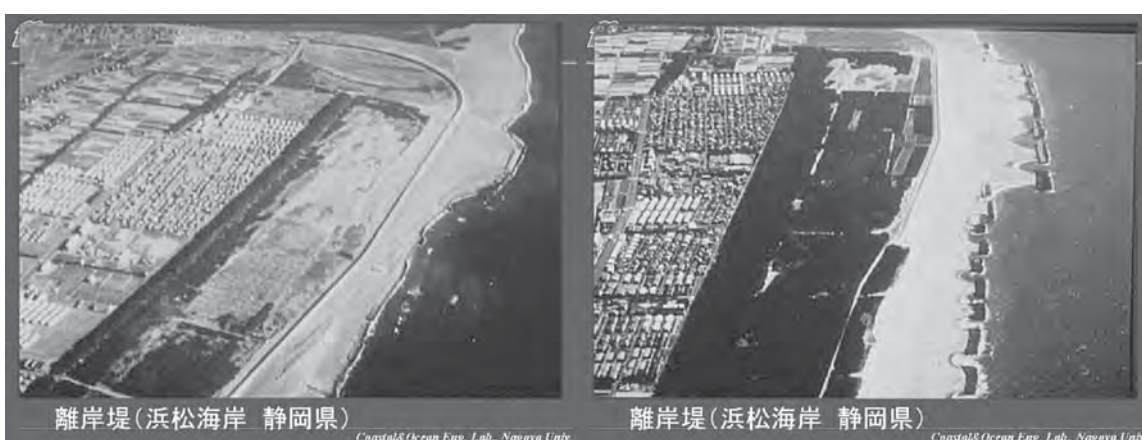


写真 28、29

3-3-2. 人工リーフとヘッドランド

最近、景観の問題などがあって、人工リーフが造られるようになってきました(図表30)。人工リーフは水面の下に浅瀬を造り、通過する波をここで碎破させてエネルギーを小さくし、波を背後へ透過させようという構造物です。離岸堤の場合は後ろにトンボロ地形というか、ギザギザの地形ができますが、人工リーフの場合はそこまで強い制御効果はなく、この砂の動きを抑えてやろうという考え方の施設になります。コストは非常に高くなりますが、最近、人工リーフの設置頻度は非常に高くなっています。

それ以外にもヘッドランド(図表31)など、砂の動きを抑える施設がいろいろ造られていま

す。

3-4. 構造物を使用しない対策

しかし、こういうものを造ると、そのインパクトは何らかの形で別の所へ出てくるので、もう少し別のやり方として考えられているのが例えばサンドリサイクルです(図表32)。砂浜の砂は絶えず動いており、上手側、供給される所からずっと下手側まで行ってしまいます。一番端っことは沖の方へ落ちていくしかないわけで、なくなってしまいます。なくなってしまった砂をもう1回ここで回収して、上流側に持ってこよう、ここで砂をぐるぐる回してやろうというポリシーでやっているのが、サンドリサイクルです。境港をはじめ、ほかの地域にもあります。



図表 30、31



図表 32

これも効果的なやり方だろうといわれています。

3-5. 水理模型実験(礫浜の浸透流)

もう一つ、沿岸漂砂を維持するためには砂の動く量を確保しなければいけないので、別の見方で考えて、少しずつ沖の方に逃げていく岸沖漂砂に着目しました。これは先ほどの七里御浜ですが、ここは礫でできています(図表 33)。波打ち際の一番波が上がるトップ辺りにできるとがった地形をバームといいます。これがなぜできているのかということに着目しました。

動画

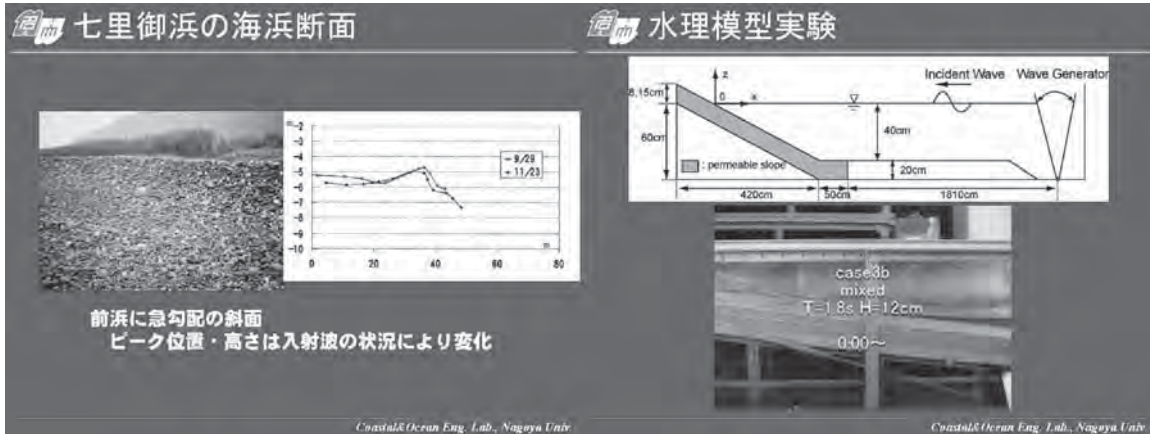
実験をしばらくやると、混ざっていた砂と礫

が、礫が岸の方に、砂が沖の方にたまり、だんだん分かれてきて(図表 34)、最終的にこのような地形ができます(図表 35)。現地で見られるような地形がきれいにできてきます。

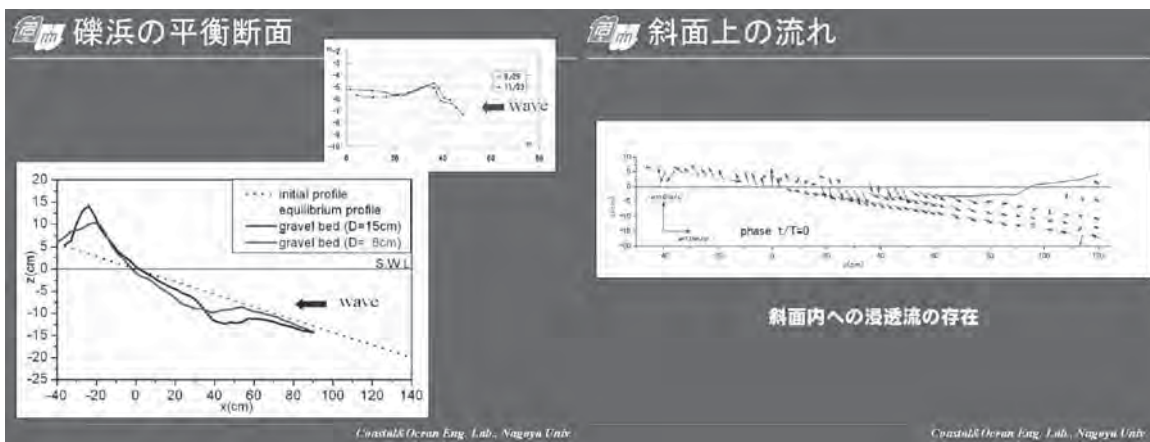
当然、外力、流れがあって、それで砂が運ばれるので、流れを工夫して測ります(図表 36)。そうすると、引き波のときに中に入ろうとする矢印がたくさん見えます。中へ入る流れが効いていて、上へ行くときと下へ行くときでは、流れの大きさが違うことが分かってきます。

では、底質に作用する力も上向きと下向きでは違うだろうということで、簡単なモデル(図表 37)を作って釣り合い式のようなものを考えます(図表 38)。

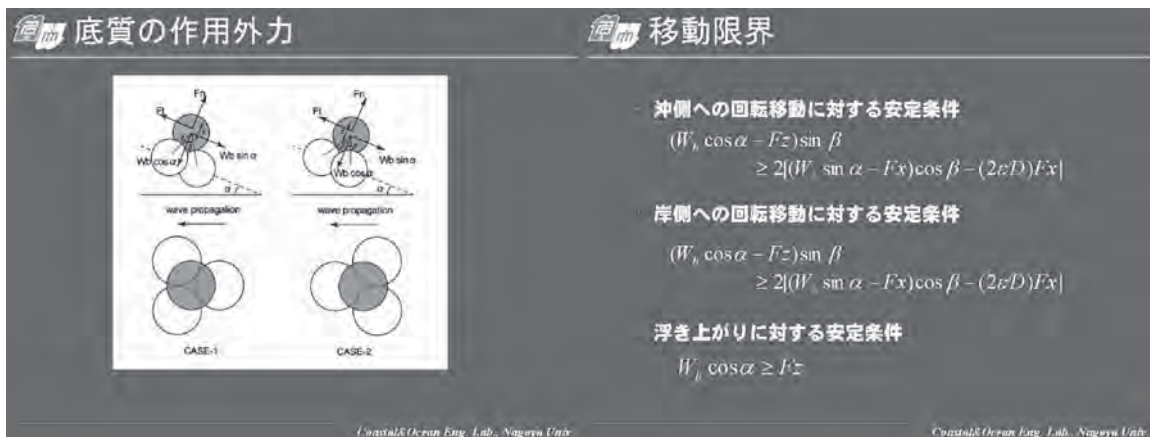
実際に力を計算して、釣り合った状態よりも



図表 33、34



図表 35、36

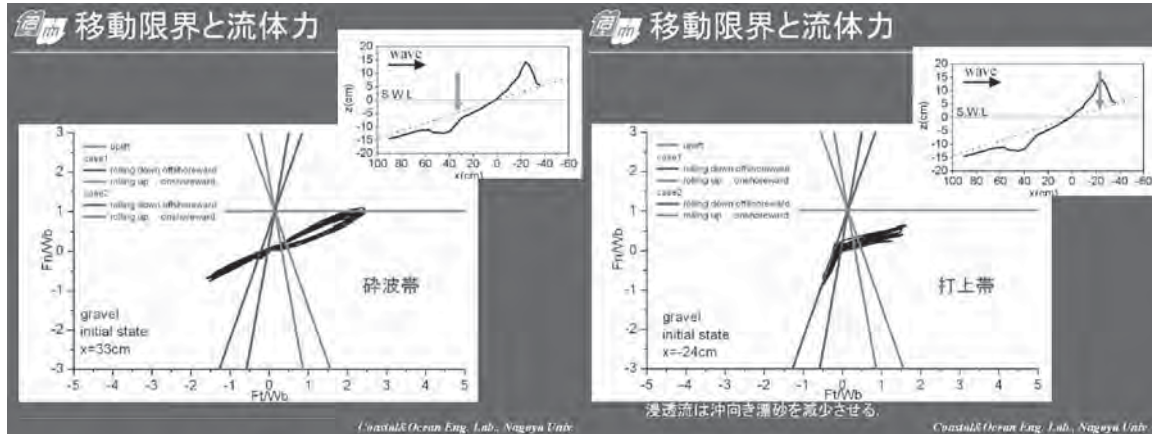


図表 37、38

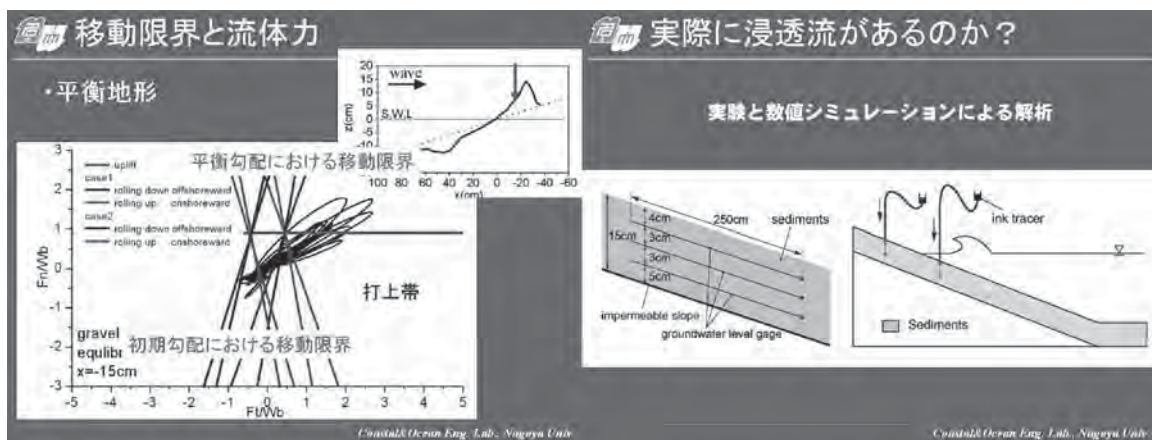
大きければ転がり、小さければ、中にいれどどまっているということで、これを比べます(図表 39)。波打ち際で比べると、下へ落ちるものも上へ行くものも両方とも限界を超えるので、ここでは砂利が行ったり来たりしていることが

分かってきます。

ところが、頂上に近い所を見ると、片側は超えますが、浸透流があって片側は超えなくなります(図表 40)。要するに、上には動くけれど下には動かない。そうすると非対称な動きが出



図表 39、40



図表 41、42

てきて、どんどん上の方へ行こうとして、こういう所に砂がたまってきます。

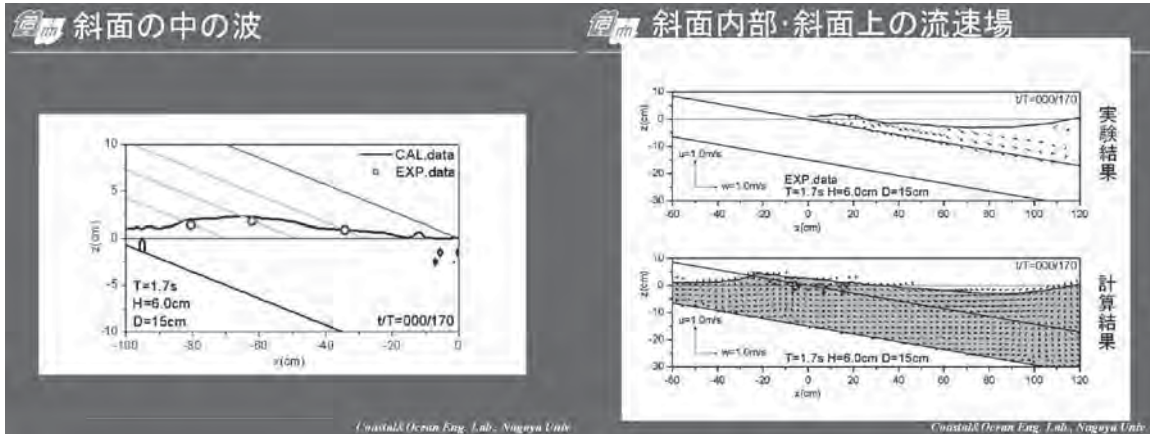
たまってくると斜面が急になるので落ちやすくなり、転げ落ちる移動限界が変わってくるので、あるところまで来ると下へ落ちる量も増えてきます（図表 41）。こういう非対称性があると、もともとは超えていなかったのに急になると超えてくるということで、平衡な地形ができるのだろうと分かってきます。

では、本当に浸透しているのか、数値計算もしようということで、先ほどの数値シミュレーション技術で砂浜の中の水の動きを解くことを試みました（図表 42）。実験で水面の変化を測ったのが赤で、計算で求めたのが黒い線です（図表 43）。砂浜の中に浸透している波まで計算す

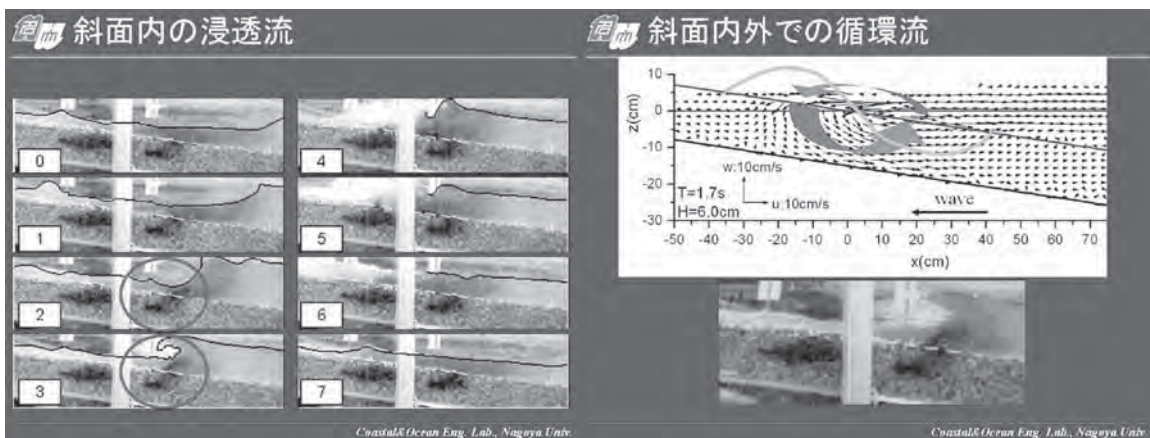
ることができるようになってきました。

斜面内部・斜面上の流速場も実験と計算でここまで再現できるようになってきたので（図表 44）、確かにこういう所で流れがあるということは、この図だけでは分かりづらいですが、確認できます。

そして、染料を流すと、染み出してくることが確認できます（図表 45）。赤丸の個所です。中から入ったものがこういう所から出てくるということで、こういう循環流ができていのだろうと考えられます。そのことから、図 46 のような流れがどうもありそうだということが分かってきました。そして、そういう流れがあるとこういう地形ができるのだろうということも分かってきます。



図表 43、44



図表 45、図 46

そうすると、これはどちらかというとならへ岸へ岸へという砂の動きを助長する流れになりますから、こういうものを促進することによって、沖の方へ逃げていく砂を減らせるのではないかと期待できます。

実際に上の方に砂利、下の方に砂を置いて波を当てて、下が3時間たったときの写真47です。もともとの境界が赤線ですが、砂がどんどん上の方へ上がってきます。ぐるぐる水が流れていて、それが砂の上の方を押し上げている現象も確認できているので、多分、そういう現象は期待できるでしょう。

3-6. 新しい対策

こういうことに着目した、中部地方整備局が

香良洲地区で実証実験された浸透層工法があります(図表 48)。砂浜の中に透水性の高いものを入れてその場の流れを促進させ、それによって打ち上がった水の中に浸透させてやる。上から入って下から出ていく循環をさせることで、この砂が取られることを防ぐという現地実証実験が行われています。もう数年前になりますが、確かに現地に行ってこれがあつた所とない所を比べると、ある所の方が波打ち際の線が前の方にあつてることが確認できます。これも今後期待できる工法です。離岸堤のような、確かに効果はあるけれども景観的にはどうかというものを造らなくても、いろいろな対策が可能なことがあつたと思います。こういうことで侵食の対策が出来ます。



写真 47、図表 48



図表 49、写真 50

3-7. 人工海岸の陥没

これまでのものは自然な砂浜でしたが、人工的な所では何が起きているか。これは記憶に新しい方もおられると思いますが、人工的に埋め立てられた砂浜で砂が急に陥没して、不幸なことに女の子が亡くなってしまったという事例があります（図表 49）。左上がもう少し引いた所から撮ったものです。この辺りで陥没が起きました。

実は、類似の現象はいろいろな所で起っています。写真 50 の上段は富山県氷見海岸の陥没跡、下段は愛知県白谷の人工海岸で確認された陥没穴です。

もう少しひどくなると、写真 51 の上段は福井海岸です。波が構造物を超えた背後でこうい

う陥没が起っています。下段の写真は知多半島です。師崎国道 247 号線、道路片側車線の路盤がごっそりと落ちた事例です。早朝で車が走っておらず、幸いにして人的被害はありませんでしたが、こういう陥没で被害が起きているというのが現状です。これは下に空洞があって、この辺から砂が吸い出されたのだろうといわれています。

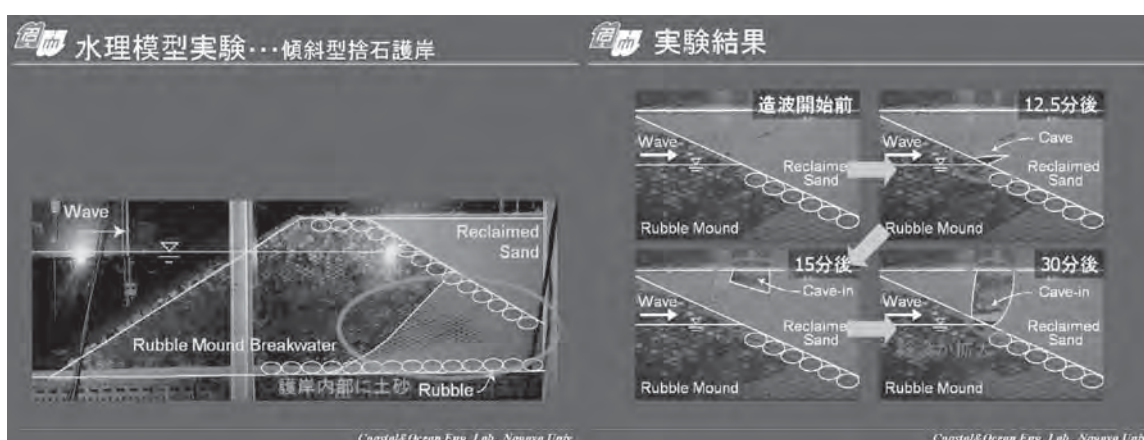
3-8. 水理模型実験（傾斜型捨石護岸）

これは白谷のケースを対象に行った実験事例です（図表 52）。このように捨石で防波堤を造り、背後を人工的に砂で埋めてやります。

波を当ててやると、静水面からだんだん砂がなくなってきます（図表 53）。砂がなくなって



写真51



図表 52、53

くると、なくなった所に上から落ちてくるので、上の方に陥没穴ができるという現象が再現できます。写真54は上から撮ったものですが、ぼこぼこ穴が開いているのが確認できます。

3-9. 埋立海浜内部の水位・水圧のシミュレーション

埋立海浜内部の水位・水圧もシミュレーションしています(図表55)。埋立の中の圧力変動を計算してやると、この段階ではまだ合っていないところもありますが、中の挙動まで合わせ込むことができそうなので、さらに内部の応力状態まで計算をします。

波が来て、波によって中の応力状態が変化します(図表56)。砂粒というのは、押されてい

る間はしっかり拘束されますが、引っ張りになると拘束力がなくなって、そこに流れが来ると持っていかれやすい。その性質を考えると、どうも静水面の辺りで流れが速くなったときに応力が圧縮から引っ張りになる、要するに拘束力がなくなって、砂が持っていかれやすいことが分かってきます。このようなことで静水面付近の砂が取られやすいことが分かってきました。

Googleなどで金城埠頭をのぞいて一部を拡大してみると(図表57)、ポコッと穴が開いたところが見えます。よく見ると、周りとは比べると少しへこんでいるところもあります。これは中に空洞があるだろうということで、先日、調査に立ち会いましたが、超音波のようなもので

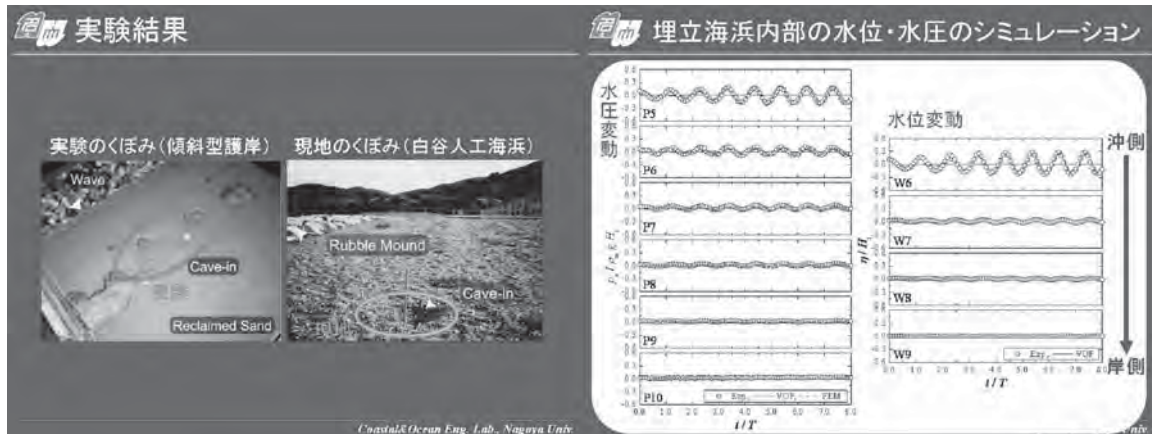
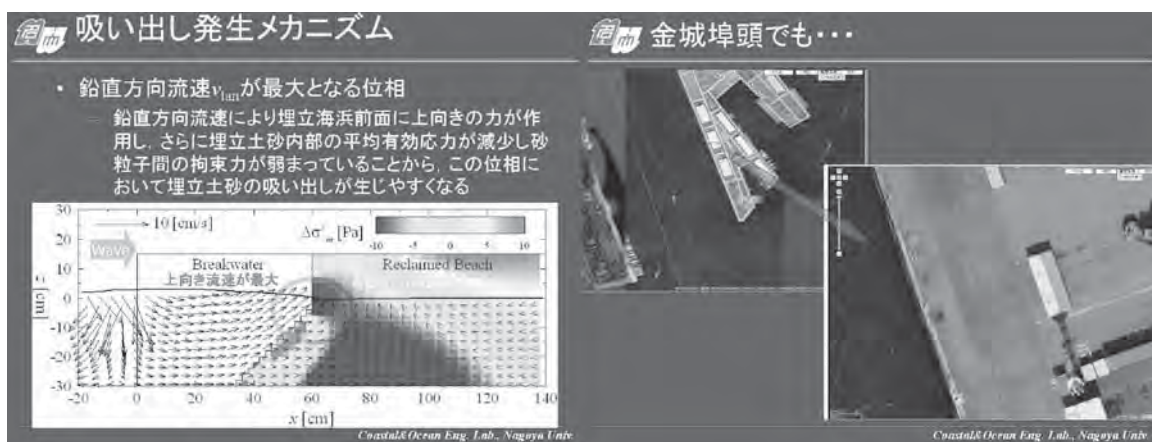


写真 54、図表 55



図表 56、57

スキャンしていくと空洞が見つかります。実際にその蓋を開けてみると、やはり穴が開いて砂がなくなっていました。放っておけば事故になっていたかもしれません。今、そういう技術もできています。

中の土の状態を調べていくと、やはり静水面、波打ち際、要するにハイウォーターレベルからローウォーターレベルで波の水位が変動するあたりで地盤の強度が非常に下がっていることが確認できました。先ほど言ったような現象が、多分こういう所でも起こっていると推測されます。これは調査が始まったばかりなので、もう少したないと確かなことは言えませんが、割と近い所でもよく似た現象が起こっていることが指摘できます。

4. 津波災害と高潮災害

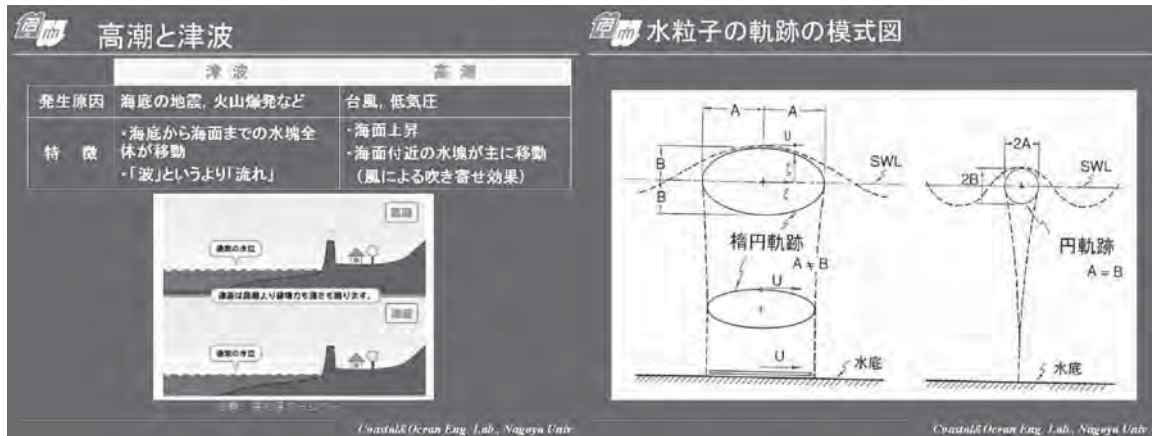
4-1. 高潮と津波の違い

高潮と津波は何が違うかというと、まず発生原因が違います(図表 58)。津波は地震や火山、地すべりなどで起こります。一方、高潮は台風や低気圧で起こります。また、津波は底面から水が一気に押し寄せてくるということで、「波」というよりは「流れ」の性格が強いです。一方、高潮は海面が上昇し、水面が持ち上げられてその上に波が乗っているということで、現象は少し違います。

4-2. 津波災害

4-2-1. 水粒子の軌跡

一般に、水粒子は周期が長くなれば長くな



図表 58、図 59

るほど、水深に比べて波長が長くなれば長くなるほど、底の方まで水がたくさん動きます。図 59 はその模式図です。波は自由表面だけで水が動いていて、下の方へ行くとほとんど動きがなくなります。しかし、周期の長い波は、底の方でも水はたくさん動きます。

ちょっと絵を見てもらおうと思います。

動画 1 波高 20cm 波

これは波の場での水粒子の動きです。マーカーが少し入っていますが、上の方の動きと下の方の動きを比べていただくと、上の方はたくさん動いていることがお分かりいただけるかと思ひます。

動画 2 波高 20cm 津波

一方、津波では、マーカーが左から右の方に一気に流れていきます。少し見づらいですが、上から下まで、津波の場合は一気に全部流れてしまいます。

動画 3 住宅模型 1/10 波高 50cm の波

これは港湾空港技術研究所の水槽で行われた実験です。護岸があって、背後に家が建っています。風波がやって来て越波が起きます。普通の風波だと、間欠的に越えたり戻っていったりという現象になります。

***動画 4 住宅模型 1/10 波高 50cm の津

波***

同じ波高の津波を入れるとどうなるかという実験を見ると、津波は流れのような性質だということがよくお分かりいただけるかと思ひます。こういう流れが襲ってきているというイメージがお持ちいただけるかと思ひます。これは模型なので建物は残っていますが、実際には多分残っていないでしょう。先ほどの風波とこの津波は、設定では同じ高さの波を入れているのですが、現象としてはこれぐらい違います。

4-2-2. 津波被害の事例

津波が襲ってくると、先ほどの高波と比べるとはるかに甚大な被害が起きます。これはインド洋津波でのスリランカの被災地の写真 60 です。左上の写真では、あった建物が完全になくなっていて、左下の写真はコンクリート製のトイレで、もう少し違う所にあったものがここまで流されています。

日本もかつては同様の被害を受けています。写真 61 は岩手県田老海岸です。1933 年の状況で、津波の来襲前には集落があり、施設は特に何もありません。写真 62 は三陸津波が襲った後です。先ほどあった集落が完全になくなっていて、インド洋津波で起こったようなことを、実は日本も経験しているのです。



写真 60、61



写真 62、63

写真 63 は 1983 年の状況です。防潮堤ができて、背後を守っています。問題は、この防潮堤の前に建物がどんどん進出していることです。

写真 64 は、北海道南西沖地震津波の前の奥尻島の青苗地区です。日本海中部地震の後、防波堤が整備されていましたが、津波の発生域が近く、想定以上の津波が襲ってきて、壊滅的な被災を受けました (図表 65)。

4-2-3. 津波のメカニズム

海底地震による津波はどのように起こるか、最近はよく報道されているのでご存じかと思いますが、一応念のため説明します (図表 66)。軽い大陸プレートがあり、その下に重い海洋プレートが潜り込んでいき、トラフなどが形成さ

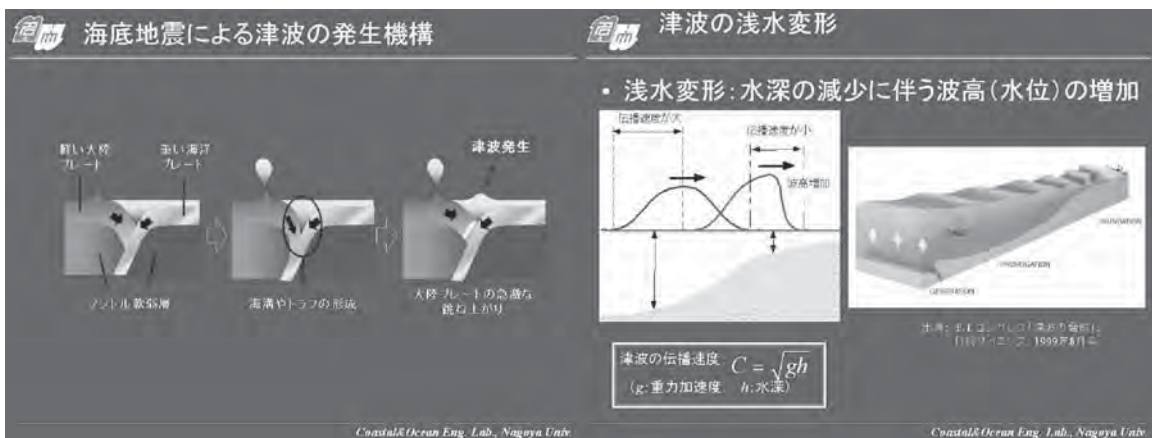
れます。ある所まで沈み込むと、プレートが耐えきれなくなってポンとはじけて、はじけたときに海水を持ち上げて四方八方に広がっていく、それが津波になって来襲するのです。

われわれが話している音も音波という形の波ですが、音波と海の波は決定的な違いがあります。それは分散性という性質で、伝わる速さが周期によって異なります。これが海の波の非常に重要な性質なのですが、分散性は周期が長くなるほど効かなくなってきます (図表 67)。周期による依存性がなくなり、水深だけに規定されるようになるのが長波の特徴です。津波では、その伝播速度が \sqrt{gh} 、水深に規定され、これが非常に重要な意味を持ってきます。

一つは浅水変形というもので、浅くなると遅



写真 64、図表 65



図表 66、67

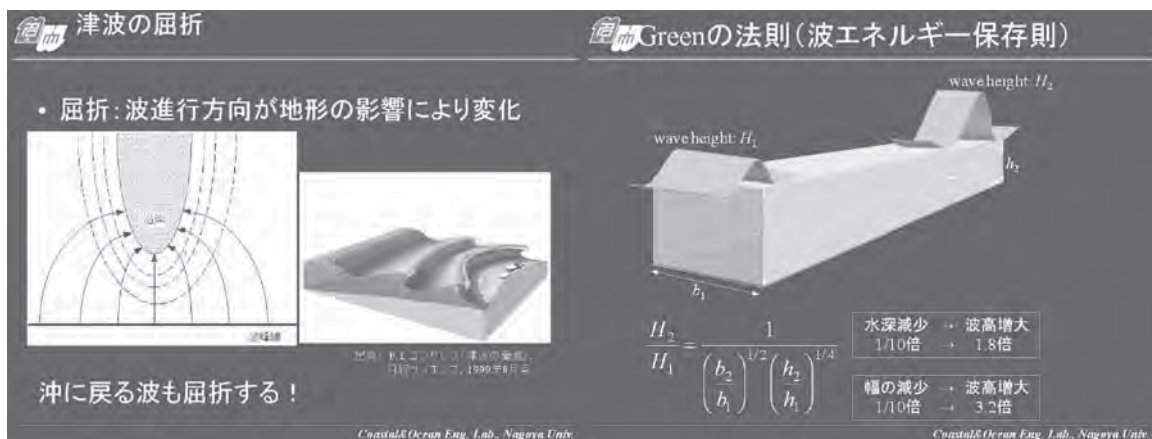
くなるので、津波の前の方と後ろの方では斜面に入ってくると前の方は遅く、後ろの方は速いので、前に詰まってきます。そうすると、長さでもっていた所が詰まってきて縦に伸び、波高が大きくなるということで、岸に近付いてくると波高が大きくなります。これが津波の非常に大きな性質です。

もう一つは、屈折です（図表 68）。同じ波が入ってきても、浅い所と深い所があると、浅い所は遅いのでブレーキがかかりますが、深い所はそのまま速い速度で入ってきます。そうすると、真っすぐだったものが浅い方へどんどん曲がってくる、これが屈折です。

等深線が沖へ飛び出している所は波が集まりやすい、要するに、岬の先端は波が集まって波

高が高くなるというのがもう一つの特徴です。屈折がやっかいなのは、戻ってくる波も屈折する、要するに、入ってきて沖の方へ返りますが、斜めに返っていくときには、岸の方が遅いので、また岸の方へ曲がってきます。完全に沖の方へ抜け切らずに、また岸の方へ戻ってくるということで、いったん浅い所へ入ってきた波は、非常に長い間、岸付近で行ったり来たりするというのも特徴です。

浅い所で大きくなるということは、エネルギーの保存則を使って簡単な評価式ができます。Green の法則と呼んでいますが、水深の4分の1乗に反比例する、湾の幅の2分の1乗に反比例するというのが、波高の変化の簡単な法則です（図表 69）。そういう意味で、リアス式



図表 68、69



図 70

海岸は危険だとよくいわれるのです。

図 70 は津波の伝播速度です。太平洋の真ん中では、ジェット機クラスの速さです。水深 100m でも、高速道路を走る車ぐらいだといわれています。陸上選手が 100m を 10 秒で走ると時速 36km になりますから、水深 10m ぐらいの津波の速度はそれに相当します。マラソン選手で時速 20km、一般の人で時速 7~12km といわれているので、なかなか津波からは逃げ切れないというのが実際のところです。

4-2-4. 漂流物による被害増大

津波が起こると、その水圧で建物などにいろいろな被害をもたらすことは周知の事実です。最近は特に、この漂流物による被害の増大も重

要視されています(図表 71)。水中、貯木場から物が流れていき、それがあつものにぶつかって物を壊すという被害が、無視できなくなっています。インド洋津波のときには、車も非常にたくさん流されて、被害を大きくしました。船なども流されます(図表 72)。

地震津波ではありませんが、グリーンランドでアイスバーグが崩落してできた波で船が流される映像を見ていただきたいと思います。

動画

アイスバーグが崩れて波が起こり、岸の方に来襲します。地すべり津波とよく似た現象です。

今、tidal wave と言いましたが、向こうでは tsunami の代わりに結構使われているようで



図表 71、72

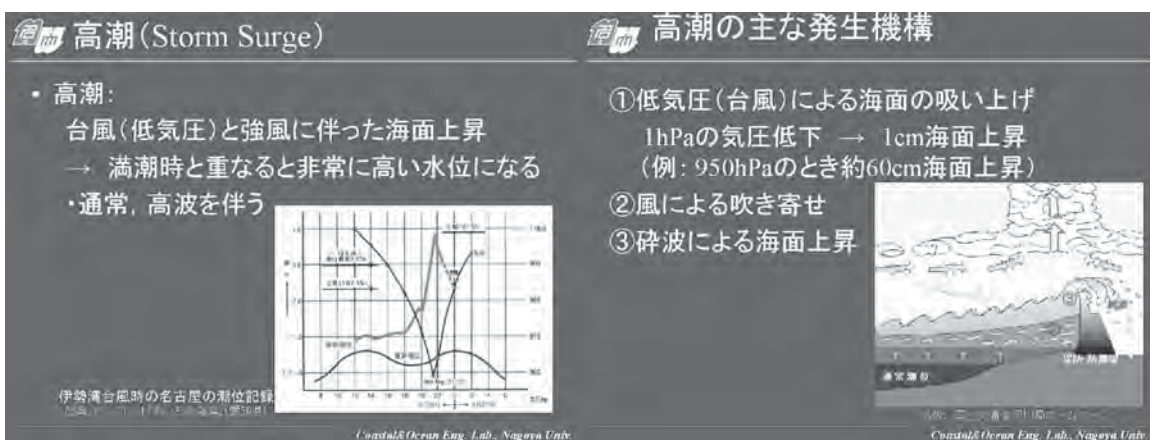


図 73、図表 74

す。

実際の海底地震津波はこれよりもはるかに周期が長いので、こういうものを流す力はずっと大きくなると思います。映像で見ていただいたように船などは簡単に持っていかれるので、こういうことにも注意しなければいけません。

4-3. 高潮災害

4-3-1. 高潮とは

高潮は、低気圧や強風に伴った海面上昇です。満潮時と重なると非常に高い水位になることはよく知られています。図 73 は伊勢湾台風の際の潮位の記録です。台風の成分だけで 3.45m といわれています。3・4・5 と続いていて覚えやすい数字なのでぜひ覚えていただきたいと

思います。3.45m が伊勢湾台風の高潮の記録です。これに実際には天文潮位が乗っているのですが、実際の水位はもう少し高くなると思います。

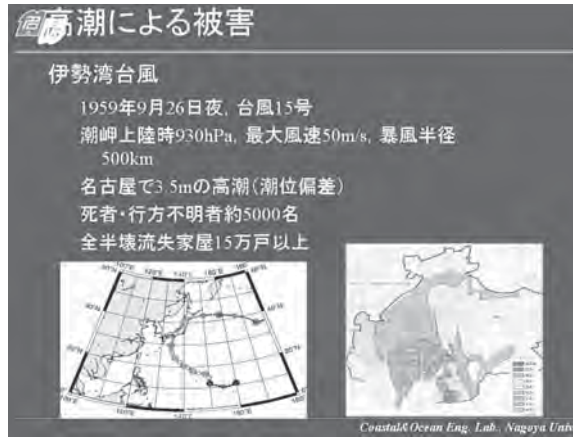
主な発生機構ですが (図表 74)、低気圧による海面の吸い上げ、要するに気圧が下がれば水面が上がります。1hPa 当たり大体 1cm 上がります。それから、風が吹くと、表面の摩擦で風下の方に水が寄せ集められます。これは吹き寄せ効果といわれます。①は吸い上げ効果、②は吹き寄せ効果です。もう一つは、こういう状況では大きな波が伴っています。波が崩れると、波の進行方向に流れの成分を持つので、それによって水位が上昇します。これはセットアップと呼んでいます。こういう三つの効果で水面がどんどん上がります。

4-3-2. 高潮による被害

伊勢湾台風での被害は周知のとおりです（図表75）。来年50周年で、今、何かシンポジウムをやるかという計画が持ち上がっています。

これは伊勢湾台風の状況写真76・77です。建物が浸かって、貯木場から木が流れています。

写真78・79は少し前のカトリーナのときのものです。先ほどとほとんど同じような状況が、アメリカでも起こっています。写真80で



図表 75



写真 76、77



写真 78、79



写真 80、81



図表 82、83

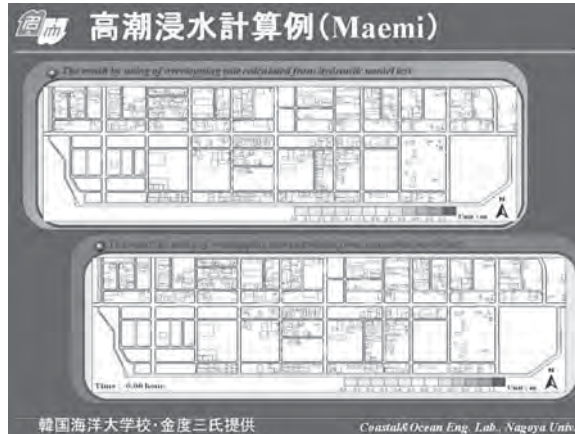
は流木が集められています。写真 81 ではバージ船が打ち上げられています。

比較的大きい船舶も打ち上げられています(図表 82)。このような被害が確認されています。そういう意味では、漂流物が高潮でも問題になることが分かります。

4-3-3. 高潮の数値計算

これは高潮のシミュレーション事例です(図表 83)。99年の不知火で人が亡くなったときの再現シミュレーションです。高潮の推算も、随分精度よくできるようになってきています。台風を走らせて、それに伴って水位がどう変化するかということも今はかなり高精度で予測できる技術がつけられています。

これは韓国を襲った台風 Maemi の事例です(図表 84)。あるアパートが浸水被害に遭い、そのシミュレーションを行った計算結果をご提供いただいた一例です。このような氾濫シミュレーションも今はできるようになっています。この台風 Maemi のときにも地下にあるカラオケボックスで被害に遭われた方がいますが、地下駐車場などに水が流れ込んでいくシミュレーションも今はできるようになってきました。実際にどれぐらいの氾濫が起こったときにどういう施設にどういう流れが発生するかも、だいたい予測できるようになっています。その意味では、それを基に対策が検討され、そういう資料が提供できる状況になりつつあるといえます。



図表 84

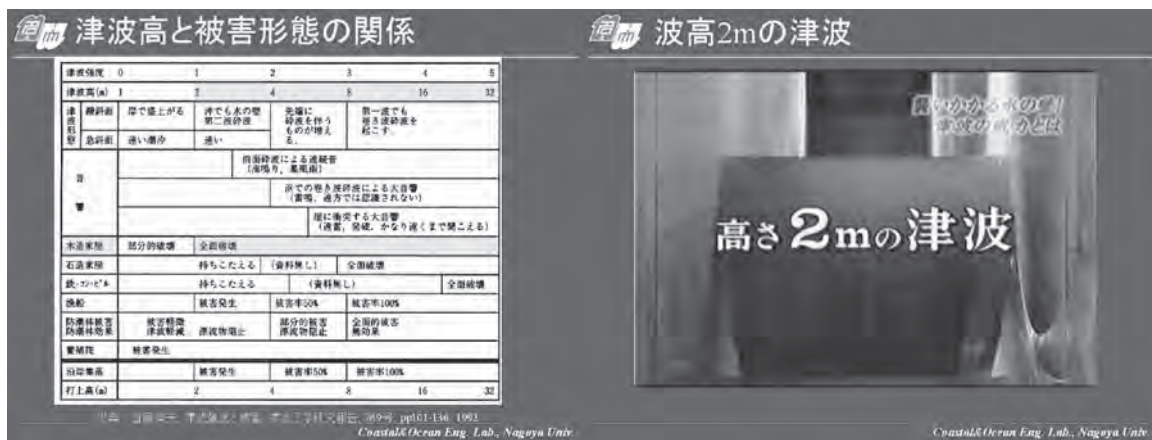


表 85、図表 86

4-4. 津波高と被害形態の関係

津波と構造物の被害がどういう関係にあるかというのが、表 85 です。先ほどの実験で、模型だから家もっているとお話ししましたが、木造住宅は大体波高 2m で全面破壊だといわれています。

動画

図表 86 は東海テレビでの報道の一部で、2m の津波が建物に直接作用したらどうなるかという実験です。実際に陸上に遡上した波と水槽の中の波は多少違うところがありますが、波高 2m の波だにご覧いただいた程度の破壊力があるので、かなりの注意が必要だということはお分かりいただけると思います。

4-5. 津波のシミュレーション

津波のシミュレーションはいろいろなところができるので、どういう震源でどういう初期波形だと、どういう波が伝播するか、かなり分かるようになっていきます。図 87 は東海地震津波を計算した事例です。一度岸に入ったものが入りつまでも残っていることが、ここからも分かると思います。一回入ったものはなかなか沖の方へ返っていかないというのが実際の津波です。こういう津波が入ってくるとどうなるか、もう少し細かい地形でも計算できるようになってきます (図表 88)。

さらに、構造物と波のインタラクションのようなものも、これは非常にシンプルな事例ですが、計算できます (図表 89)。例えば、建物

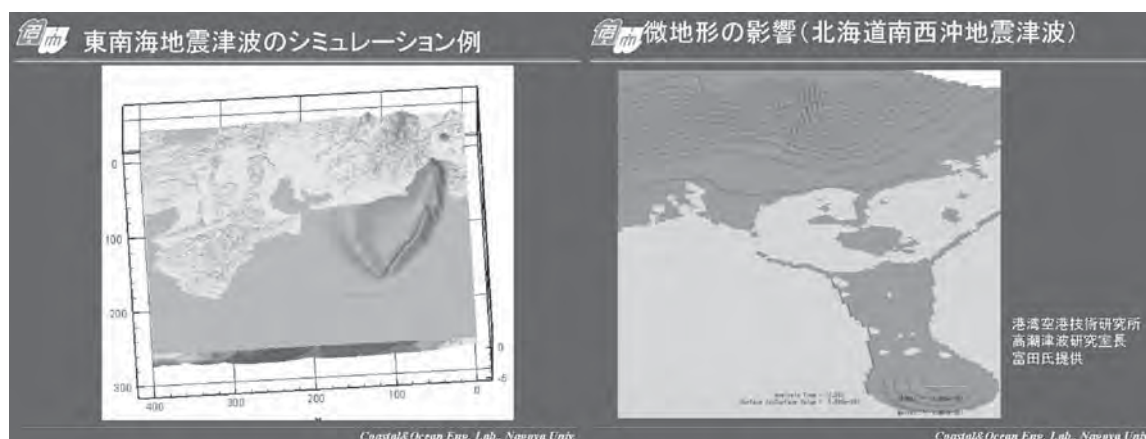
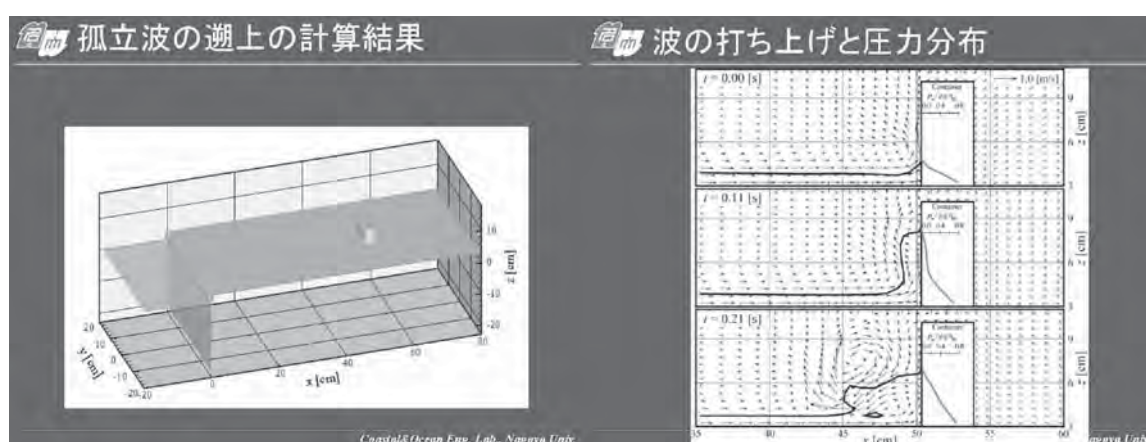


図 87、図表 88



図表 89、90

の壁面に波がどのように打ち上がり、どのような圧力分布になるかも計算できるようになります(図表 90)。

この計算したものと実験値を比べると(図表 91)、先ほどの四角いコンテナを見立てたものに作用する波力は、実験値と計算値で少し差がありますが、ほとんどドンピシャリ予測できています。

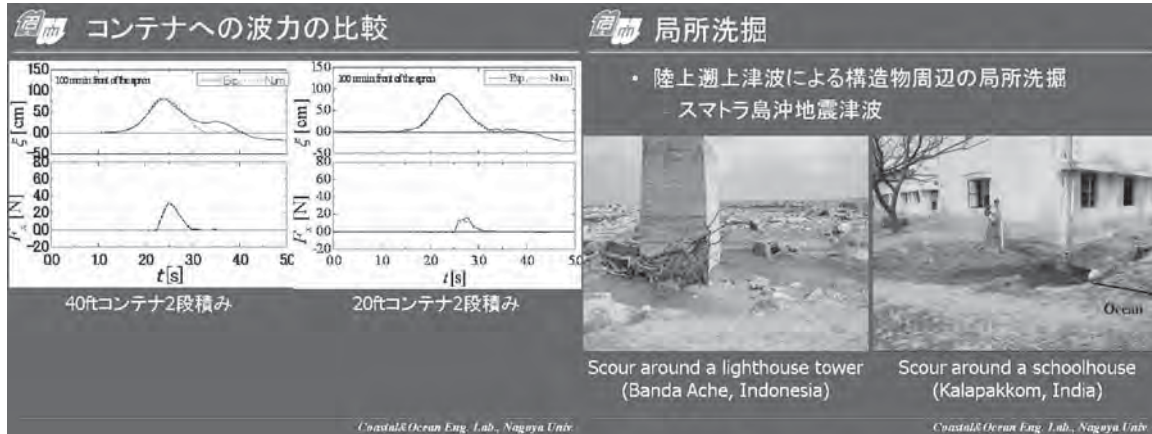
外力は何とか評価できるだろう、それに見合うものを作るにはどうしたらいいかということも、一応きちんとした形で作れます。外力の評価という面では、かなりのレベルまで来ていると思います。

4-6. 局所洗掘

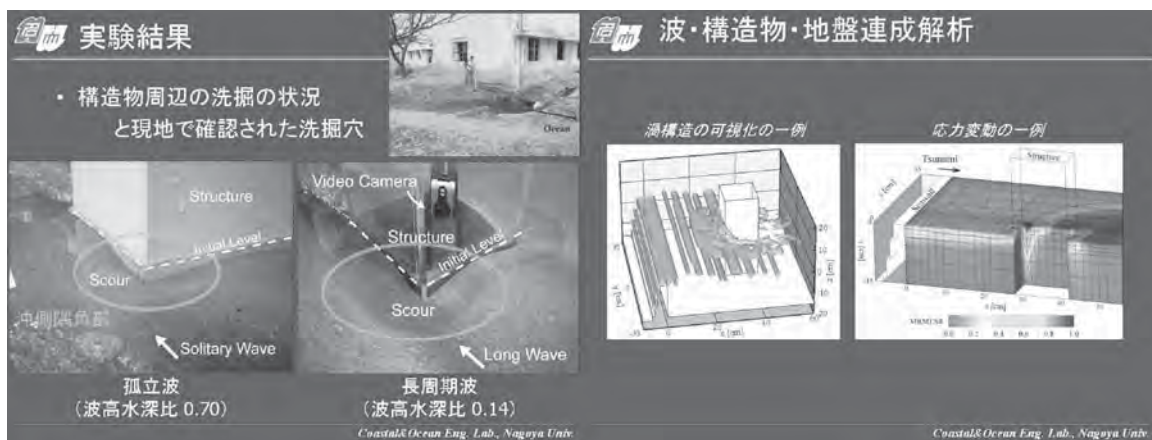
一方、津波が来ると一部分が掘られて、洗掘が起こります(図表 92)。これを局所洗掘と呼んでいます。

これも実験をすると、やはり現地で起こるような現象が確認できます(図表 93)。

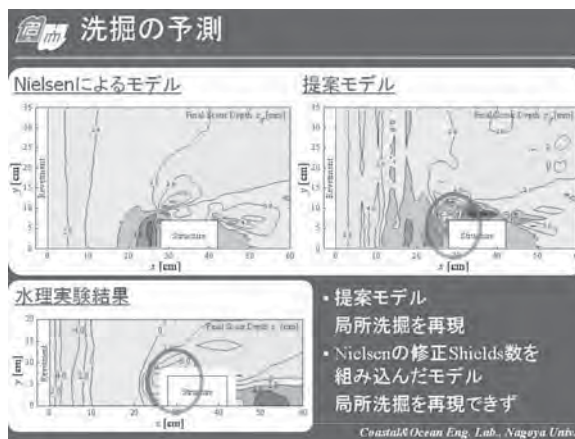
先ほどのツールに今度は地盤の応答まで含めて計算してやると、どういう所で地盤の支持力が弱くなるかということも分かってきます(図表 94)。それに漂砂モデルを組み込んでやります(図表 95)。応力状態も考えて砂の動きを見積もってやれば、この辺は構造物のぎりぎりの所は測れないので白くなっていますが、実験で見られたような現象が数値的に予測できるようなどころまで、今は技術が確立してきています。



図表 91、92



図表 93、94



図表 95

そのようなツールを持っていけば、何が起きているか、どういう現象が起こったかというところはかなり説明できるようになっています。

4-7. 人命被害

津波の人命被害としては、過去に三陸大津波などで随分たくさんの方が亡くなっています。スマトラ沖の地震津波では、約30万人が行

方不明も入れて被災されています（図表 96）。1983 年の日本海中部地震では、秋田県で 79 名の方が亡くなられ、工事現場の人や遠足の児童などが被災されています（図表 97）。

5. 被害防止対策

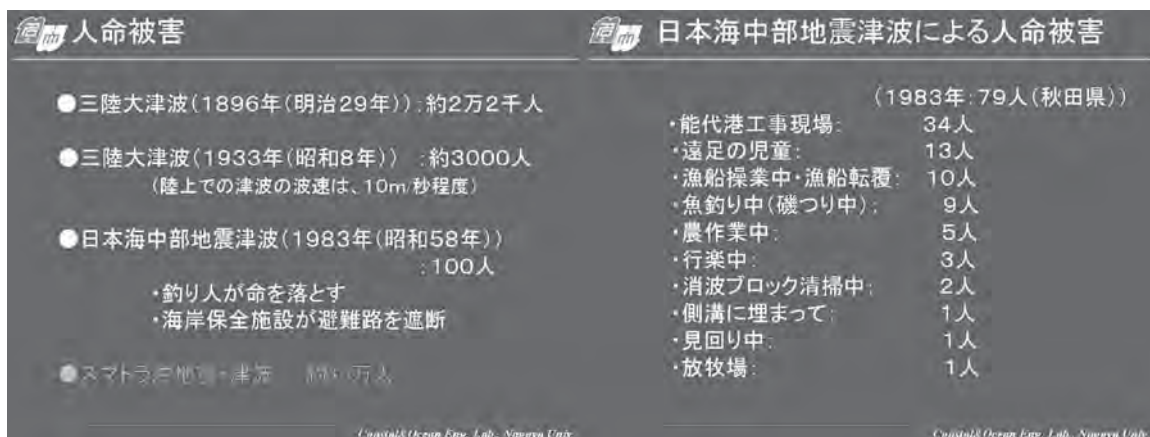
5-1. 防災施設

被災を減らすためには、何が必要なのでしょうか。施設も大事ですが、それだけでは駄目で、地域計画、防災体制が必要になってきます。例えば、施設は防潮堤や防波堤などいろいろなものがあります（図表 98）。写真 99 は釜石の津波防波堤と海岸堤防です。それから緩傾斜護岸があります。

それ以外には、防潮林です（図表 100）。日

本ではあまり意識されていないかもしれませんが、防潮林は実はかなり効果を持っています。手前に家があった跡があり、奥は家が残っています。これだけしか離れていない所でこちらはほとんど残っている、こちらは全くない。前面の状況が違うからではないかということが着目されている一つの事例です。防潮林で被害を軽減できる可能性があるということも、きちんと考えていくべきだといわれています。

それから、防潮扉です（図表 101）。これはきちんと動くかどうか非常に重要です。そして、誰が閉めに行くかは非常に大きな問題になるかと思しますので、できれば自動で閉められるものを整備することが非常に望ましいです。防潮水門も非常に重要な施設です（図表



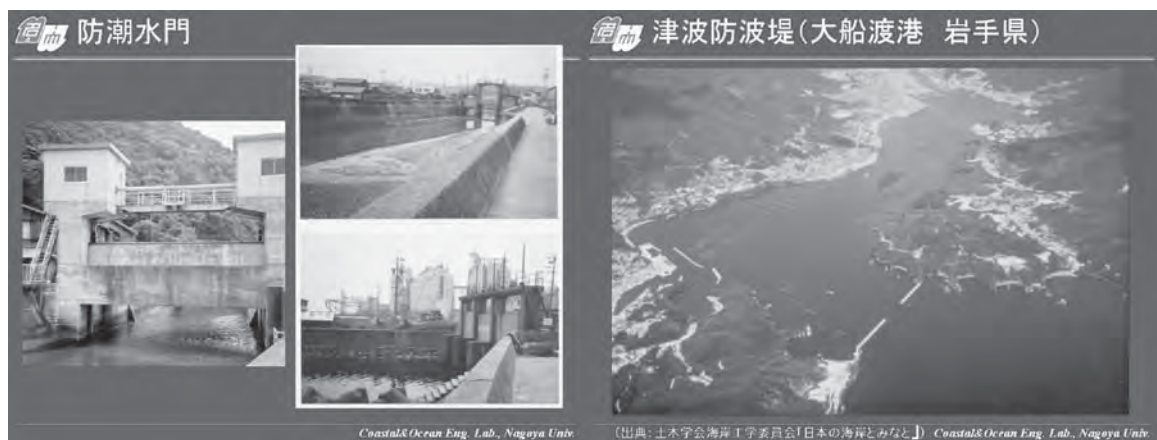
図表 96、97



図表 98、写真 99



図表 100、101



図表 102、写真 103

102)。

写真 103 は津波防波堤です。日本で最初の津波防波堤は岩手県大船渡に造られています。ここで入ってくる水の量を絞り込んで、中の水位、あるいは津波の伝播速度、伝播時間を稼いで、避難時間を少しでも稼ぐという意味で、意義の大きい施設です。

これのもっと大きいものが、釜石港の湾口防波堤です（図表 104）。水深 63m にある、世界で一番大きな防波堤です。ケーソンがたくさん並んでいますが、その 1 個が 5～6 階建てのマンション 1 戸ぐらいの大きさです。

5-2. 防災地域計画

防災計画も非常に重要です（図表 105）。可

能であれば住宅や施設を危険性の少ない場所へ持っていきたい。ただ、日本ではかなり難しいかもしれません。あるいは、用途を変えるということも大事でしょう。それから、ハザードマップを作成して、危険度を公開することが大事だといわれていますが、もっと大事なのはそれをきちんと説明して理解してもらうことです。ハザードマップはあるシナリオを基にして作られていますから、そういうこととセットで理解してもらうことが非常に重要になってくるかと思います。

写真 106 はスリランカのある地区の移転事例です。危険な所は捨てて、内陸の安全な所に町ごと移転しました。



図表 104、105



写真 106

5-3. 防災体制

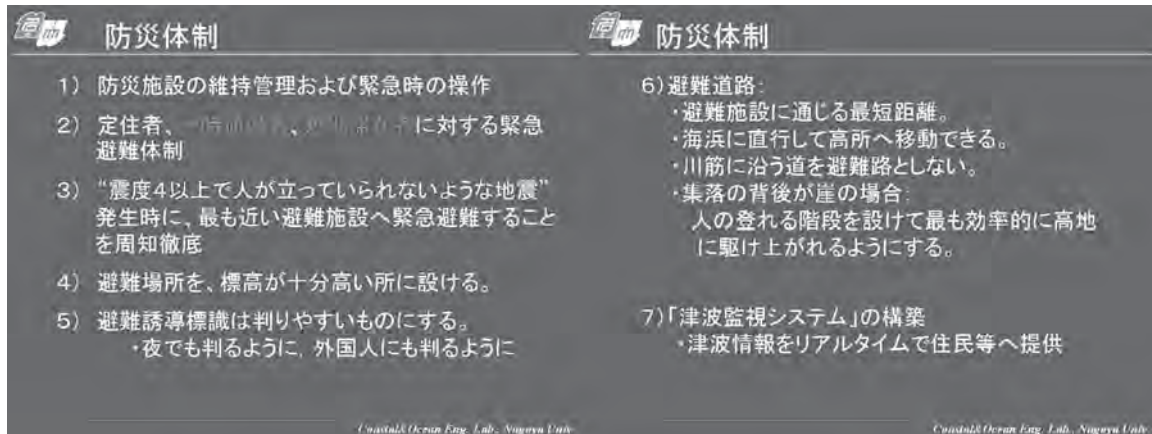
防災体制の整備も必要です（図表 107・108）。施設の維持管理もそうですが、一時的におられる方に対してはどうか。これは地震ですが、地震を感じられたらどうするかという話です。このような整備は大事です。それから、避難道路もいろいろな所に配慮して整備することが重要です。また、津波監視システムの構築は、今、非常に期待が大きいところです。リアルタイムで情報提供をすることは、防災面では非常に意味が大きいです。

図 109 は防災ステーションのイメージです。沖合で津波あるいは高潮をキャッチして、それを陸の方に伝達します。そうすると、水門が自動的に閉まる、避難情報が流れるというような

ものが整備されることが、非常に期待されています。

沖合で測る技術も整備が進んでいます（図表 110）。今、日本でも幾つか設置が進んでいる段階です。沖合で、GPS ブイで波を測り、その中で津波を検知していち早く知らせる。それによって十数分ぐらいの余裕ができます。十数分あるとかなりのことが期待できます。緊急地震速報では秒のオーダー、あるいは 10 秒のオーダーですが、これだと分、あるいは 10 分のオーダー時間が稼げるので、そういう意味では非常に大きいと思います。

それから、住民に理解してもらうことも非常に重要です。防災教育やハザードマップなど、解説が非常に大事です。小学校などには総合学



図表 107、108

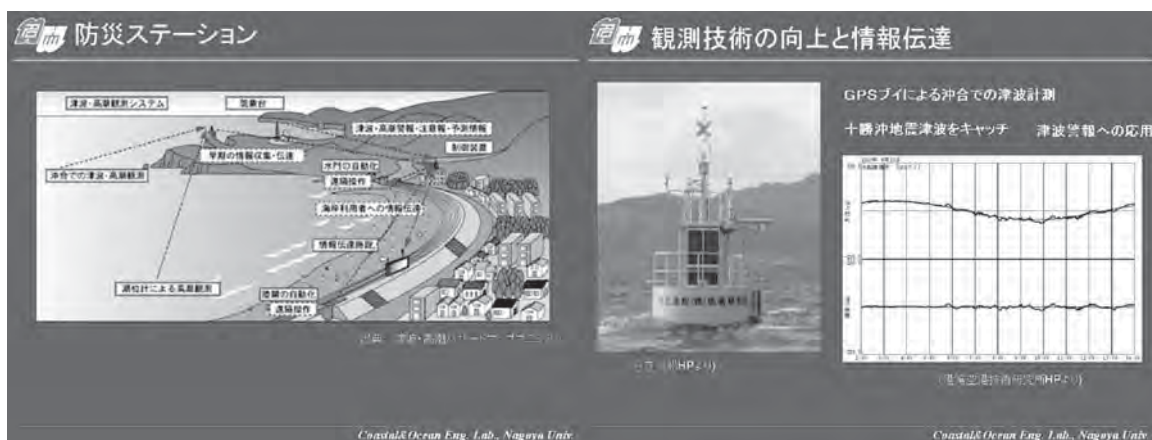


図 109、写真 110

習時間があるので、それを利用して早い段階で理解いただくことが効果的だろうといわれています。

5-4. 海外の事例

これは私もよく紹介していますが、もう10年以上前に、アメリカのオレゴン州ではパンフレットを作って住民に配っています（図表111）。チリ地震や北海道南西沖地震のことが書かれています（図表112）。

NewportやSeasideでも、ハザードマップが動画で出ています（図表113）。せっかくなのでSeasideのものをさせていただきます。

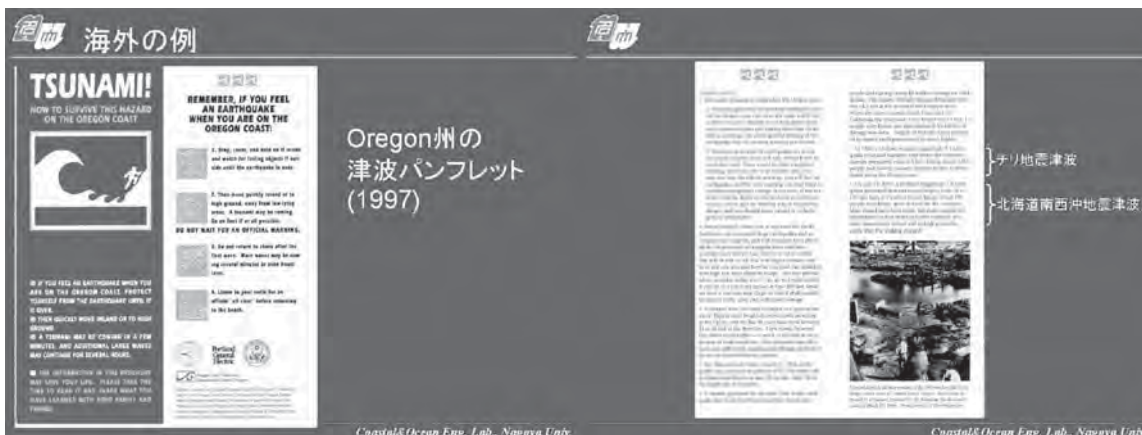
動画

これはウェブで見ることができますが、

Seasideという地形があって、津波が入ってくるとこういう所が浸水してくるということを誰でも動画で見ることができます。そういうものが随分前に作られています。

これはそのSeasideの写真114です。昨年12月に行ってきました。ここは観光地で、護岸のすぐ背後にホテルが建っています。オレゴンにはオレゴン州立大学があり、ここには本当の津波ではありませんが、津波に近い波を起こせる50m×30mぐらいの平面水槽があり、かなり実験を行っています。水槽にはSeasideの町の模型が入っており、ここで波を起こして何が起こるかを実験しています。

写真115はインド洋津波の事例です。高床式の構造物はしっかりしており、周りの建物



図表 111、112



図表 113、写真 114



写真 115、図表 116

が全部被災してもちゃんと残っていることが分かります。われわれはこういう被災事例を調査して、防災教育や津波警報システムが大事であること、鉄筋コンクリートは丈夫だということ

をあらためて確認することができました（図表 116）。

6. 海岸工学の課題

10年少し前までは、海岸工学では波や波力の問題など、割とクローズなところで議論していました。しかし、従来の枠組みではもう駄目だということで、今、学際的なアプローチがとにかく必要だと考えています。先ほどご紹介した土との問題、あるいは構造物とのインタラクションの問題、構造物も弾性を考慮したような解析が必要になります。生態系のようなことをやろうとすると、生物の知識を導入したものが必要になってきます。防災教育という話になってくると、ボランティアの方とのリンク、連携が必要になります。そういう意味では、われわれが海岸工学でこれから災害に携わっていかうとするときには、今日ここにおられるような大学のいろいろな先生方や行政の方、ボランティアといった方の協力を得ながらやらないと進まないだろうというのが、今、われわれが認識している大きな課題です。これから皆さんの協力をいただきながら、また研究や対策などを進めていきたいと思っておりますので、ぜひともご協力いただければと思います。

今日の話はここで終わりにさせていただきます。どうもありがとうございました（拍手）。

質疑応答

（質問者 1）江戸時代の私の先祖の話を知りました。私は弥富町に住んでいますが、江戸時代に近く5~10軒ほどが津市のもう少し南の方の高茶屋に流れ着いて、弥富市と同じような姓の家がバラックを建てていたらしいです。1年後にまた水が来て、4~5m高い所に引っ越して今まで住んでいると、中学の先生から聞きました。これは津波で流れていったのか、洪水で流れていったのかが私には疑問です。木曾川河口から津市の近くまで流れていくものでしょうか。

（水谷）今日は私と同じ研究室で頑張っている川崎さんがおられますが、彼は今、伊勢湾の中の海水流動などを研究されています。特に先般の東海豪雨のときのシミュレーション結果を見せていただくと、河口から出ていった出水が三重県側に沿ってずっと流れて、湾の外へ流れていくような結果になっていました。そういうことを考えると、今おっしゃった事例に近いのではないかと推察されます。木曾三川の河口から三重県側の陸に沿って流れていくということは、そういうケースでも十分あり得るだろうと思います。恐らく津波の可能性が高いのではないかという気がしますが、これは何とも言えません。川崎さんがおられるので、見解を聞いていただければと思います。

（川崎）水谷先生のところで准教授をしております川崎と申します。

私たちの研究室では、大気・海洋・波浪という三つのモデルを連結して、特に東海豪雨、いわゆる出水が大きいときの流動場を解いたときどうなっているのかを見てみました。水谷先生がおっしゃったように、河川からの出水は三重県側の方に流れていました。地球の自転の影響によって、そのまま真っすぐ進むのではなく、右側にどんどん逸れていくという流れが出ています。今のお話は江戸時代と伺いましたので、地形も湾の規模も今とはだいぶ違うということで、そのときの状況をしっかり把握してでないとなかなか申し上げることができないというのが正直なところです。

（水谷）多分、絵を見ていただくとお分かりいただけると思いますが、河川からの出水が理由として考えられる一番大きなものではないかと思っております。

(質問者 2) 東南海地震、東海地震でもいいですが、伊勢湾、木曾川の河口からさかのぼって大垣ぐらいまで津波が行くでしょうか。

(水谷) 伊勢湾からどちらに。

(質問者 2) 木曾川を遡上して何 km ぐらい上の方へ行くのか、防災の関係からお尋ねしたいのです。

(水谷) 2003年の十勝沖地震津波で、十勝川の河口から十数 km の所まで上っている映像が、自衛隊によって撮影されています。あの規模の津波でもそれぐらいは河川を遡上することなので、可能性は十分あるかと思えます。ただし、河口の構造物の状況によって若干変わってくるので、何 km ぐらい上るか、具体的な数値は今挙げられませんが、津波は河川も遡上してくるということは、認識としてお持ちいただくことは重要かと思えます。ただし、想定されている伊勢湾の一番奥まで届く津波は、潮位変動も入れて 1m かせいぜい 2m ぐらいなので、出水時でなければ今の堤防を越えるようなことにはならないだろうといえるかと思えます。

(質問者 3) 私は港区に住んでいるので、今のお話と関係があると思います。基調講演はいろいろ勉強になり、肝に銘じているところです。伊勢湾台風から 50 周年という話もあり、私の住んでいた所も昔ですから復旧が遅く、2 カ月間水に浸かっていました。

ただ、東海・東南海地震が来た場合、私どもの住んでいる所は液状化の危険性が指摘されています。液状化すると、海岸の防潮堤や防波堤など、いろいろなものが少しでも傾くと、扉などは閉まらないのではないかといら

す。海岸には凶器が非常にたくさんあるわけです。伊勢湾台風のときには、木材だけでもすごい被害を受けましたが、今はそういうものはだいぶ整備されています。しかし、今度は自動車やコンテナなどですごいものがあり、こういうものが津波で流されると相当被害を受けるのではないかと私は心配しています。今、1m ぐらいの津波だと言われましたが、波が押し寄せてくると多少高くなって 2m ぐらいになり、そういう凶器が押し寄せてくるのではないかと心配なのですが、どうでしょうか。

(水谷) おっしゃるとおりです。途中、少し見ていただいた絵の中にコンテナという言葉が出てきましたが、われわれもコンテナが流れるということに関しては問題意識を持っています。その辺については検討を進めており、その成果がまとまり次第、そういう評価ができると思います。今の想定されている外力であれば、それほど大きい被害は出ないだろうという希望的観測がありますが、それを超えてしまったときどうなるか、それは引き続きわれわれも検討していきたいと思えます。

もう一つは、地震が起こったときに液状化が起こり、天端が下がるということも考えられるかと思えます。その辺についても、われわれは土のグループ、名古屋大学にも非常に優れた研究室がありますので、その先生と一緒に今、検討しています。そのようなことも含めた上での何らかの結果は、近いうちに紹介させていただくことができると思います。

(質問者 3) 特に行政さんによろしく。

(水谷) はい、ここにもいらっしゃいますので。

(司会) どうもありがとうございました。時間になりましたので、そろそろこの辺で締めたいと思います。この地域の津波災害ではどういう深刻なことが起こり得るか、どのように備えなければいけないかということ。今、水谷先生がおっしゃったように、現在検討中という状態で、

その結果はこれから出てくると思いますので、われわれとしてもしっかり聞き止めていきたいと思います。

今日は水谷先生に大変分かりやすい話をしていただきました。どうもありがとうございました。

TSUNAMI 文化を世界へ！



講師 首藤 伸夫
(日本大学教授・東北大学名誉教授)

(司会) 今日は首藤伸夫先生にお越しいただきました。「TSUNAMI 文化を世界へ」ということでお話をいただきます。

首藤先生のご経歴を簡単に紹介させていただきます。1934年にお生まれになり、東京大学の工学部を卒業された後、建設省の土木研究所、中央大学を経まして、東北大学で長く教鞭を執られておられました。今は日本大学に移って教鞭を執っておられます。国内外の津波研究の第一人者として今もご活躍で、後進の方々のご指導にも当たっておられます。今日は「TSUNAMI 文化を世界へ」というタイトルでお話をいただこうと思います。

それでは首藤先生、よろしく願いいたします。

1. 世界の津波

(首藤) お晩でございます。首藤でございます。私は東北に行きまして30年になり、夜のごあいさつは「こんばんは」より「お晩でございます」の方が何となくしっくりいくという身分になりました。

本日いただいた議題は「TSUNAMI 文化を世界へ！」です。そもそも文化と文明はどう違うのかというと、文化という言葉が大辞林で引いてみたら「社会を構成する人々によって習得・共有・伝達される行動様式ないし生活様式の総体」とありました。そこで、日本でTSUNAMI 文化と言われるものがどのように

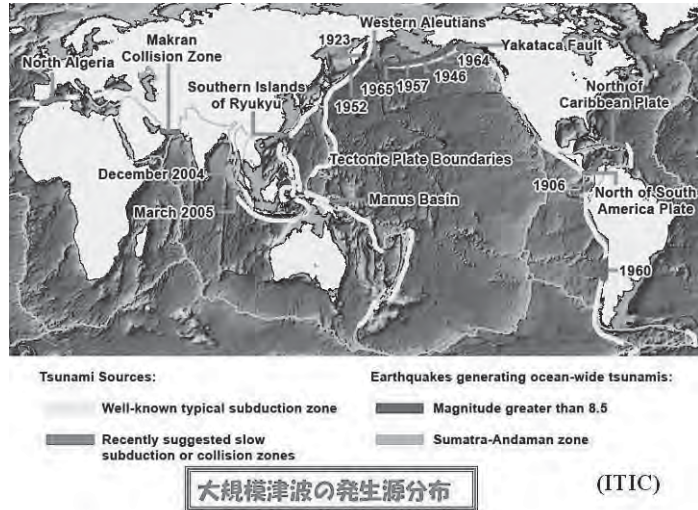
して体験され、その上に構築されてきたかということを中心にお話ししたいと思います。

図表1はITICのデータですが、黄色いところはかなり有名なプレートが潜り込んでいる場所で、それぞれに書いてある年号はそこでかなり大きな地震が起きた所です。非常に面白いのは、こんな所にも津波が起きたらしいという話が昔あり、それはアレキサンダー大王が影響を受け、その次は1946年ぐらいまで、ものすごい時間間隔で津波が起きているような場所です。それから皆さんよくご存じのオランダのところが2004年に津波が起きた場所です。津波は世界各地で起きています。

例えばスリランカでは今から2000年以上前に津波が起きたという伝説があり(図表2)、その後が2004年の大津波だったのです。2000年の間隔を置いてスリランカを津波が襲っています。そういう所では、やはり体験談が文化として定着しません。

また、1883年にスマトラとジャワの間のクラカタウという火山が爆発して大津波が起きたのですが、何と1400年ほど前に同じ所が大爆発し、海底が沈んで、スマトラとジャワの二つに分かれたのだという伝説的な記事が「ジャワ列王記」というものに載っています(図表3)。1400年も昔ですから、とても文化として継承されていないわけです。

図表4が1883年にオランダ人が撮ったクラカタウが噴火中の写真です。そしてこの降る灰



図表 1

スリランカの津波伝説

2000年以上前、スリランカ西部の王が仏教僧を反逆の疑いで罰した。

これが神を激怒させ、罰として大波が土地を呑み込んだ。王は怒り狂う神をなだめるため、黄金の船を造り、生け贄として長女をこれに乗せ、あてどなく出港させた。そうすると、海は引いたので、船は島の南部に到着し、幸運な王女は、その地の王の妃となった。



王女出航の図。

国土技術政策総合研究所
研究資料
(熊谷兼太郎・小澤敬二)より

図表 2

1883年クラカタウ火山の爆発による大津波

416年の大爆発で海底が沈み、ジャワ島はスマトラ・ジャワの2島に分離された。
(ジャワ列王記)



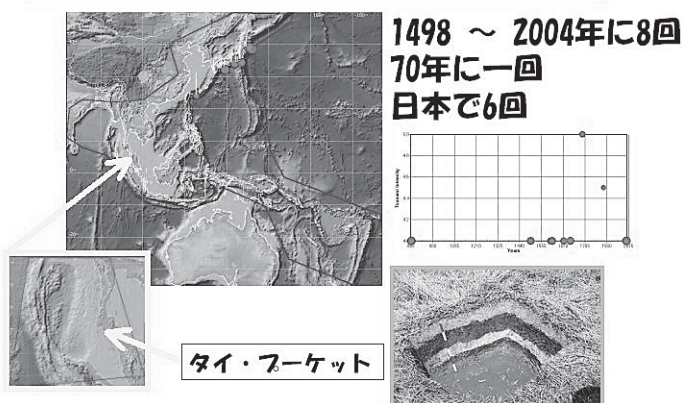
図表 3

降る灰で暗黒の中、突然現れた大津波



図表 4

赤線で囲んだ領域での大津波 I = 4 以上のもの



図表 5

で真っ暗な中に、突如として津波がきました。昼といえども真っ暗ですし、しょっちゅう火山が音を出して地面が動いています。ですから、津波が発生したかどうかがよく分かりません。白波が浜辺で目前に砕けたときから、あわてて人が逃げ出しましたが、これで3万6000の方が亡くなったという、かなり有名な津波です。津波の高さは40mぐらいで、当時のオランダ人のれんが造りの家がこのように壊されたというわけです。これが現在のクラカタウで、やはり少しずつ成長し始めているのですが、これまたいつ、どのようなことを引き起こすか、

全く予測が付きません。

図表5は今、ユネスコで世界の津波カタログを作っていますが、その中で、赤で囲んだ区域に関して、非常に大きな津波がどのぐらい起きたかというのを、データから抽出してみました。そうしますと、この500年ぐらいの間に8回起きています。そのうち6回が日本で、あとの2回はほかの地域だということで、最後のものはスマトラの津波です。ですから、とにかく日本はこの西太平洋という領域の中で考えますと、津波が非常に起こる所なのです。

ところがインド洋大津波の後で、タイのプー

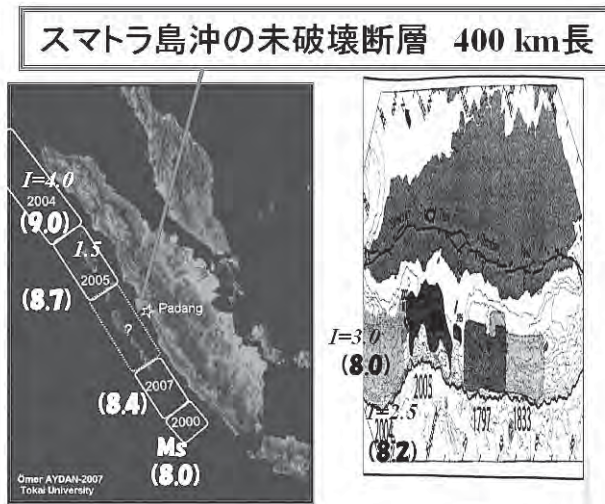
ケットの近くで地面を掘りましたところ、今回の津波で積もったものと、随分昔に積もった堆積層、津波によって運び込まれたものがあったということが分かりました。

これはつい1~2週間ほど前に毎日新聞に出たのですが、そうやって掘って見たら、とにかく近いもので550~700年前、古いものは2300年前のものがあったということです。要するに津波が全くないと思われている所でも、注意して見ると、ものすごく大きい津波が何百年に1回起きているということが、掘ることによって実証されたわけです。

実は今、図表6のあたりで未破壊断層が残っているのですが、それがいつ壊れるだろうかということをおもな気にしています。2004年（スマトラの大津波）、2005年、2007年、そして2000年にも壊れた所があることが分かります。

ところで、この2004年のものが壊れたときに、この辺りにスリン島という島があったのですが、そこではTSUNAMI文化が伝えられていたがために、死者が大変少なかったという事実が実は明らかになったのです。

図表7がそのときの新聞記事です。1907年に6000人の住人のうち、4000人ぐらいが亡く



図表6

「異常な引き潮見たら山へ逃げろ」

言い伝えが島民救った

インド洋大津波

Asahi, January 10, 2005

97年前、1907年の経験が……

「スリン島の島民は、大津波が来たら、山へ逃げろ」という言い伝えを守り、大津波から命を救った。この島には、大津波の記憶が刻まれている。1907年の大津波で、島民は大きな被害を受けた。しかし、この島には、大津波の記憶が刻まれている。1907年の大津波で、島民は大きな被害を受けた。しかし、この島には、大津波の記憶が刻まれている。

◆スマトラ沖地震救援金 朝日新聞社受け付け→郵便振替(00130)・1・91001 現金名義振替で〒104・8011朝日新聞厚生文化事業団「スマトラ沖地震救援金」課へ。届くまで、届かない証明が不要の方は明細を、届く場合は手数料が別途必要です。

承認でラント生活をすまモンと呼ばれる人たちは 毎日午後、タイ・スリン島で、残野所司撮影

図表7

なったという被害があり、これは日本でもよく言われていますが、「海の水が引いたら、とにかく山へ逃げろ」という、そのときの言い伝えが約 100 年後に生きて、死者が激減し、一けたで済んだという、TSUNAMI 文化が有効に働いた例です。

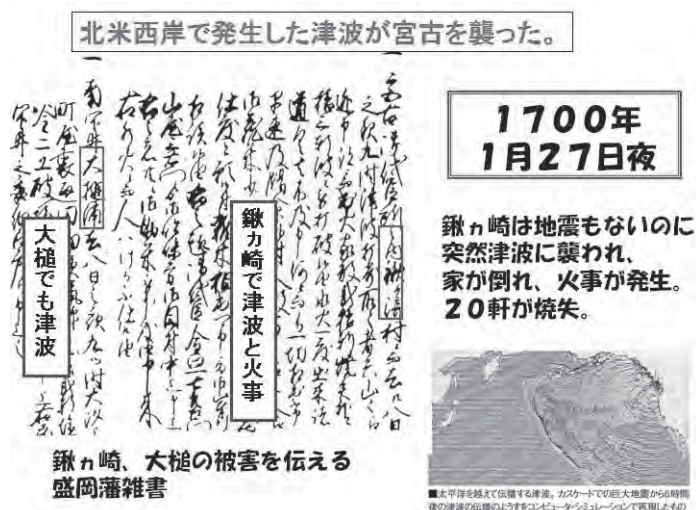
2. 海外から日本へ来た津波

さて、日本に帰ってきますと、1700 年 1 月 27 日の夜ですが（図表 8）、岩手県の宮古湾に鎌ヶ崎というところがあります。朝方だったと思いますが、地震がないのに急に津波がきて、家が倒されて、そこから火事が出て焼けてしまいました。それは近くの大槌や、紀州の田辺にも津波が来たという記録が残っています。実はそれはアメリカの西海岸で発生した津波がやってきて、宮古を襲ったということが分かったのです。アメリカはこの事実が分かっただけで、1990 年代に議員が必死になり、かなりのお金を津波や防災研究のために使おうというようになって、現在に至っています。彼らはそうと決めると、われわれが聞くととんでもないと思えるような額のお金をつぎ込んでやるのです。

そして調べた人が、アメリカのカリフォルニアのクレセント市の近くに昔からインディアンの伝説が残っていることを発見しました（図表 9）。そこで津波がどこまで来たか、高さを測るため、先ほどと同じように掘り、津波の堆積物が本当にあるのだというようなことを一生懸命調べています（図表 10）。

しかし、アメリカには TSUNAMI 文化があまり定着しませんでした。このカスカディアの津波が大変だということが分かり、その沿岸には図表 11 のように、津波が来たときにはどこへ逃げろという標識があります。ところが、この標識が逆さまにしてあったり、この矢印を山の方ではなくて海の方に向けてしまったという、いたずらもありました。また、この標識を取り付けたら、2 年ぐらいの間に約 25% がなくなってしまいました。珍しいものだから、みんな持って帰って自分の家の居間の飾りにしているらしいのです。

ここは西海岸のキャノン・ビーチという観光名所ですが、ここに行ったときに、この消防署長の方が「日本人はいいね」と言うのです。「それはどうしてだ」と言ったら「この海岸で津波警報が出たときに、浜辺に遊びに来ていた



図表 8

カスカディア津波 伝説の丘

一人の男が、二人の女の髪を、寝る前に、悪戯して結んで置いた。夜中に女達は、他の一人が意地悪をして髪を引っぱって居ると思い、騒ぎ始めた。



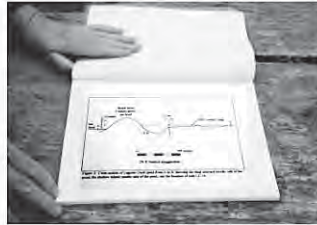
大地が揺れ、海が押し寄せた。この丘の、高さ60呎にあった家まで逃げてやっと助かった。

何時までも海が静まらないので、頭帯に祈りをこめて投げ込み、やっと収まった。

(クレセント市近傍のLagoon Creek)

図表 9

掘って判った事



左に示す断面で調査し、**3つの津波が確認された。**

1160~1350年前の津波は
1700年の津波より大きかった。

1280~1520年前の津波は
更に大きかった。



別の箇所の津波堆積物。手袋の位置の黒い砂が持ち込まれたもの。

図表 10

地元不案内者の悲劇

津波は世界共通語—日本人なら分かるか—



キャノン・ビーチ

米国西海岸にはカスカディア地震津波の危険。

図表 11

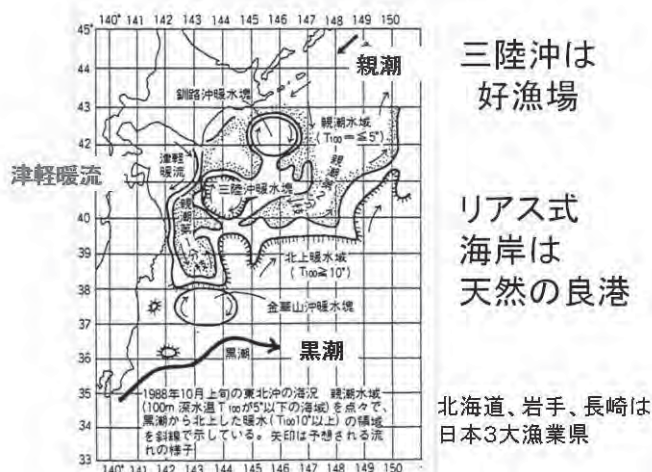
日本人の中学生のグループがいた。中学生のグループに英語で一生懸命言ったけれど全然分からない。そこで「TSUNAMI」と言ったら『え、津波?』と言った途端に、中学生のグループがさっと山の方に駆け出していった。アメリカ人もあれぐらい反応してくれればいいのに」と言っていました。

三陸沖です。三陸沖は浜が大変入り組んでおり、その湾の奥に行きますと、風波が小さいので大変にいい港になるのです。少し出ると黒潮と親潮と津軽暖流という、三つの温度の違う流れがあるので、いろいろな魚が捕れます。ところが、すぐ前面に津波を起こす場所があり、津波が入ってくるとリアス式の海岸というのが今度は逆に悪さをする、津波を大きくすることになるわけです。

3. 津波対策

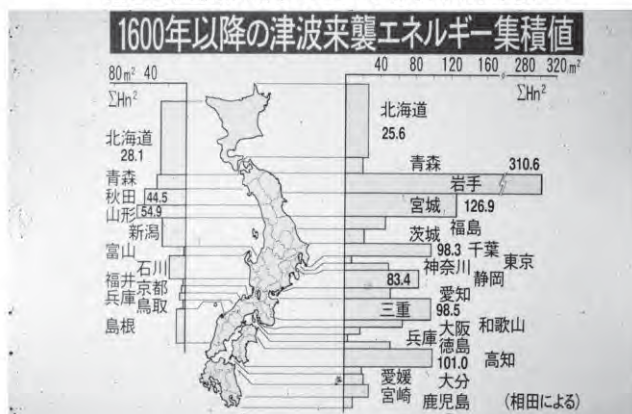
さて日本を振り返ってみますと、日本の近海にはいろいろなものがあります（図表12）。そして、日本で津波を一番頻繁に受けているのは

図表13でご覧いただくと分かりますが、1600年以降では岩手県へやってきた津波のエネルギーが一番大きく、段抜けて大きい場



図表 12

ここ400年では最も津波に襲われた岩手県
然し、最高打ち上げ高は沖縄に



図表 13

所です。日本全国いろいろなところで津波の危険がないわけではありません。

1600年以降の津波で一番高く打ち上げたところはどこかという、実は沖縄の宮古島です。ここは80mの高さまで打ち上げたという古い記録があります。ただ、明治の三陸大津波の後、やはり津波を知ろうではないかという努力が一生懸命されましたが、そのときには、恐らくこれは記録の間違いだということになりました。要するに尺で書くところを丈で書いたのだらうといったわけです。皆さんご存じだと思いますが、10尺が1丈ですので10倍の差があると思っていたわけです。ですから、いくら何でも80mではなくて、8mだらうといていたのですが、それが実は本当に80mであったということが、そのとき持ち上げられた珊瑚礁の岩などで立証されました。

そのような時期ですが、とにかく1896年の明治の三陸大津波では2万2000人の方が命を亡くされたのですが、それ以前の津波対策は何であったかという、大きく分けて二つだと言って、ほとんど差し支えありません(図表14)。一つは高い所に住みましょうということ、もう一つは浜辺の近くでさっと逃げ込める高い所を作りましょうということです。そこで高い

所に住む例として三つ、高い場所を作る例として二つの例をお見せします。

図表15は奈良時代の話ですが、役の行者が岩手県の山田町の船越という浜に来まして、いろいろ不思議なものを見せました。それに魅了された村人たちに「おまえさんたちはこんな低い所に住むのではないよ。高い所に住みなさい」と言って、村人たちが移り住んだのが山ノ内という場所だという伝説を、昭和の津波の後で今村明恒さんが再話されています。ここに上がったおかげで、その後奈良時代から以降1200年間、この人たちは津波の被害を受けていません。

図表16は四国の土佐清水市で、非常にきれいな岩が見られ、面白い竜の背骨のような形をしているというので竜串と言われている場所ですが、もともとは低い所に住んでいたのです。それが宝永の津波の後で平ノ段に上がり、その後下りていません。ちょうどこの集落の出口の所に昭和の南海津波の碑があります。そして平ノ段の住人たちは移転後、津波の被害を全く受けていません。ただ、言っては悪いですが、実はそういうものを自分たちのものだけにしているのです。

というのは、図表17の竜串海岸は観光名所です。そしてもともとの場所は緑のところだっ

1896年以前の津波対策

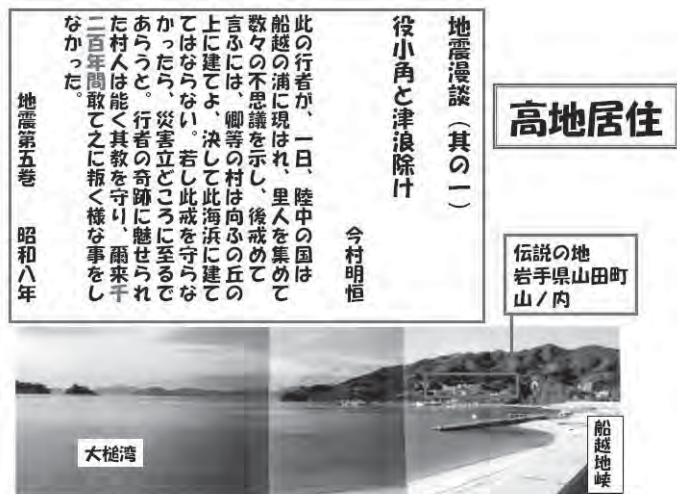
高地移転

- 例1 岩手県山田町山ノ内
- 例2 高知県土佐清水市平の段
- 例3 沖縄県宮古島

避難場所築造

- 例1 千葉県鴨川市日枝神社 津波避難丘
- 例2 静岡県浅羽町 命山

図表 14



図表 15



図表 16



図表 17

たのですが、赤い四角のところへ移っているのです。観光の案内図は旧集落地にあり、津波が来たら危ない所です。しかし、こういうところに津波が来たらどうしなさいということは一言も書いてありません。せっかくの昔の知恵を、今来る人たちに警告するような準備がされていないということです。

図表 18 は、先ほど申し上げました 80m まで津波が来たところで、高い所に上がった宮古島の例です。ところが、これはわずか 3 年で現地に戻ってしまいました。それはなぜかというのと、とにかく 80m の高さというと、船着場までものすごい距離になるのです（図表 19）。高い所

ですから、飲み水もなかなか手に入りません。それから、その場所の産業である御用布の作業を海岸で行っていたのですが、そのために毎日海岸まで往復するのは長すぎるということなど、いろいろなことがあり、結局は 3 年で戻ってしまいました。

ここまでは高い所へ住居を移す話でしたが、今度はいざというときに浜にいた場合に、少しでも高い所へ早く逃げた方がいいという話です。図表 20 は岩手県の田野畑村の大沢家文書というものですが、面白いのは「必ず高所に上げべし。但し平地をにげる時は、浪に迫続られ死亡すべし」ということを言い伝えているわけ

僅か3年で現地へ戻った石垣島



図表 18

戻った理由

- ① 船着場が遠く不便
- ② 高地のため用水が不自由
- ③ 産業である御用布の作業を海岸で行うのに不便
- ④ 離島民の往来に、時間労力の無駄が生ずる
- ⑤ 各地からの税穀物、御用布の運搬に不便
- ⑥ 津波後の食料難、経済難で生活上困難

(牧野、1981)

図表 19

高い所へ避難

- ・岩手県田野畑村 大沢家 文書
- ・・・・今後津波の心得を記す。

常の地震より大なる時、又は度々地震ある時は必ず高所ににげべし。但し平地をにげる時は、浪に迫続られ死亡すべし。海岸の近所でも高所々々心掛にげべし。

家に火を置べからず。火事おこる恐れあり。
 ・・・・私は明治29年の海嘯と昭和8年3月3日に津浪に合まして、忝度ともよくして居ます。・・・

17代目大沢永喜 記す。

図表 20



図表 21

です。

そこで、とにかく高い所を作ろうということで、図表 21 は千葉県ですが、鴨川に1600年に津波非難丘というものを造って、そこに日枝神社を祭っています。それが人の命を救うのに役立ったのは1700年です。要するに津波対策のいろいろな施設というのは、造ってから役立つまで50~200年かかるわけです。ですから、その間にきちんと維持するかどうかが大変問題になります。もう一つは静岡県の命山ですが、これは津波というよりは、どちらかというと高潮対策だろうと思っていますが、とにかく浜の近くにさっと逃げ込める所を造ってあるわけで

す。

そこで、そういう高い所が近くにあればいいのですが、ないときにどういう逃げ方をするか。先ほどの大沢家文書は、波を後ろに見て逃げてはいけないとあるのですが、紀州の由良では安政の津波のときに「大津浪来ると見るならば浪をうしろにしてにげる方はよし、浪を横に見てにげるべからず」という言い伝えがあります。ところが田野畑村の経験は「海嘯に追われ逃げつつも終に捕はれしもの幾人あるを知らず今回の経験にて聞くに海嘯に追ひ懸けられし時は真直に逃走せずして横に走れと実際横に走りしものに助命多くして海嘯の先に立て競

争したる者は皆死亡したり」ということで、場所によって言い伝えが違うのです。ということは、TSUNAMI 文化というものは、それができたところの津波や地形の状況が全部反映されているのです。従って、そういうものを考慮しないで言い伝えると間違ってしまうということです。実はそういうものをふるっていくのは科学です。津波に関する科学が曲がりなりにも始まったのは明治三陸大津波があった 1896 年です。科学の目できちんとふるいをかけて生き残るものを生き残らせなければいけないのです。

それではこの二つの地点を見ていきましょう。図表 22 が横に逃げた者が助かって、真っすぐ逃げた者が津波に捕まって死んだ場所のアニメーションです。今、港の水が引き始め、地震から 30 分 42 秒という時間がたって徐々に津波がやってきます。堤防は当然乗り越えて入ってきます。

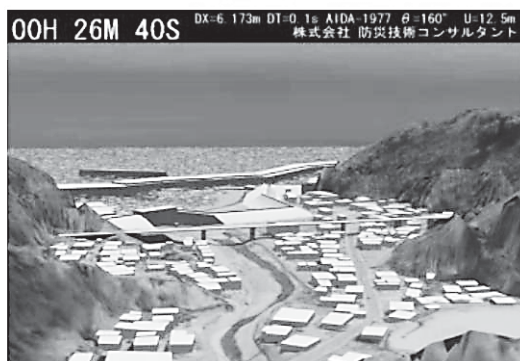
先ほどの大沢家という家は、実は昔、この左端の辺りにあったらしいのです。明治の津波のときには、そこの 1 階で 3 人の方が酒盛りをしていました。明治は地震がよくありましたから、地震から津波とは思わなかったわけです。しかも夜でした。ところが 3 人のうち、1 人が津波の物音に気が付いて、さっと家を駆け出し、波を背に真っすぐ走りました。2 人目は、これは

危ないといってその家の 2 階に上がりました。3 人目はおたおたして少し水に漬かったのですが、山へやっと逃げ上がったのです。この津波は 2 分半ぐらいでどンドン来るような速さの津波ですから、真っすぐ逃げた方は津波に追い付かれたのです。それから家は 2 階屋でしたが、津波で流されました。最初の 2 人は命を落としましたが、山へ駆け上がった方は助かったのです。ですから、かなり速く来た津波で、とにかく横に逃げればすぐに高い所があるという場所では、津波を後ろにして逃げるよりは、横へ走れということになったのです。

一方、図表 23 の紀伊の由良の方は、津波が上がる様子を見ていきますと、津波が上がるのに 10 分ぐらいかかるような、ゆっくりとした津波です。そうすると横へ逃げるよりは、真っすぐ高い所へ逃げた方が結局は早いわけです。つまり地形、それからやってくる津波の速さというものに、TSUNAMI 文化は色濃く作用されているということです。そういう違いがあります。

図表 24 は京都大学の河田さんが作ったグラフですが、地盤上の津波の高さが同じでも、死亡率は 1 万人中、下手をすると 7000 人が亡くなるかと思えば、1 万人中誰も死なないで済む場合もあります。それは一体なぜかという、

岩手県島の越の場合



(岩手県)

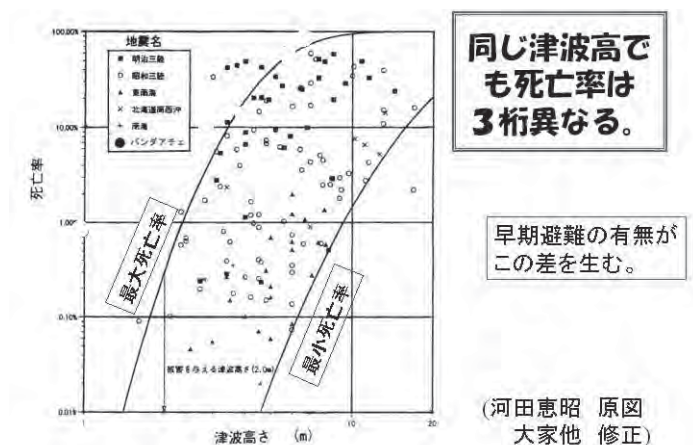
図表 22

紀州 由良の場合

(ビデオは和歌山県HP, 地図はGoogle earthより)



図表 23



図表 24

結局は早く逃げ出すかどうかです。この図にインド洋大津波のときのバンダアチェを乗せると、この大きな黒丸になります。バンダアチェの方々は一生懸命逃げたのですが、先ほどと同じように、津波を後ろにしてどんどん逃げたので津波に追い付かれたのです。

どのぐらいの津波に追い付かれるかというのが図表 25 の例です。これは 25 年前でしょうか、日本海で起きた日本海中部地震津波のときに、青森県の十三湖岩木川河口で撮られた写真です。実はここに 9 名の方が写っていますが、1 人を残してあとの 8 人は水に追い付かれました。そして結局はその最後の方を含んで、9 名中 3 人が命を落としました。建物に水の厚さが

残っていたので測ったのですが、わずか 70cm です。70cm の厚さの水に追い付かれて 9 名中 3 人が命を落としました。はっきり言って、この建物へぼんと逃げればよかったのです。しかし、ここへ本当に逃げられるかということ、こんな所へ逃げても津波の方が大きいのではないかという恐怖心があります。ですから、やはりみんな横へ逃げてしまったわけです。

そういうことがありますから、例えば徳島の甲浦の白浜海水浴場では、図表 26 のように人工地盤を造って逃げ込めるようにしています。「本当にここへ逃げ込んで、津波はこれよりも大きくないだろうか」という恐怖心を払しょくするために、今までの記録上で一番高かった津

小さい津波にでも追い付かれる

1983年日本海中部地震津波 十三湖岩木川河口

懸命に逃げる
9人の人々



そして誰も居なくなった。水の厚さは70cm



図表 25



徳島甲浦
白浜海水浴場の人工地盤

図表 26

波と、今想定されている一番大きい津波の高さを示す二つ線があります。ここまで言われれば、「ではこの上に逃げ込みましょう」という気持ちになり得ると思います。

図表 27 は静岡の例ですが、頑丈な耐震性のある鉄筋コンクリートの建物は津波に対しても強いです。普通は3階よりも上ならば大体大丈夫かと思われます。しかし、そういう所に上がっても窓は破られるので、やはり海側ではなく、陸側の方へ逃げ込むようにしてください。これはそういう指定をされたビルで、持ち主も同意しているという印です。

そういうものがない紀勢町の錦では、錦タワーというものを造りました（図表 28）。青い線が昔の津波の高さです。1階は倉庫、2階は集会所、3階は資料館、4階と5階が避難所になります。タイでも、それを真似して造ろうというところがあり、土地がないのでお寺さんの境内を借りました。そこへ2階建ての鉄筋コンクリートの建物を造り、1階はお坊さんの収容所、あるいは村民の集会所に使うと言っていました。



図表 27



図表 28

4. 科学から見た津波

先ほど、災害文化というものやはり科学の目できちんとふるいをかけないと、土地の特性が色濃く反映しているので、見極めることがなかなか難しいということを申し上げました。その科学としての扱いは始まったのは明治三陸大津波からだと言っているかと思いますが、図表 29 をご覧いただきたいと思いますが、ここが震源で、この大きな津波が来るところは震度 1 ~ 2 ぐらいです。皆さんご存じだと思いますが、震度 2 の揺れがここであったとします。そうす

ると半分の方は「あ、地震だ」とすぐ分かりますが、残りの半分の方は「揺れているのは地震かな、どうかな」というぐらいなのです。見上げると天井のランプが揺れていて「やっぱり地震だったのか」とお思いになるぐらいが震度 2 です。たまたま旧暦の 5 月 5 日、ちょうど流される飾り物のかぶとが描いてあります。おじいさんはまだちょんまげを結っておられますし、お風呂に入って流される方もいますが、要するにお風呂から出なければと思うような揺れではなかったということです。そして夜 8 時ごろ津

震度の弱い明治三陸大津波から 科学としての取扱が始まった



図表 29

波が襲来し、2万2000人の方が亡くなったわけです。

そのときに、それまでの経験が逆に働いたという例が幾つもあります。岩手県の大槌町安波の区長は、40年前に地震があつて津波があつたというのを経験していました。ところが、地震がないけれども津波だという声が浜の方からする、家の方が「あなた、津波だそうですから逃げましょう」と言ったら、「何を言う。津波というものは地震の後で来るものだ。まあ落ち着きなさい」と言って、落ち着かせている間に、一家の皆さんが命を失ってしまったのです。また、別の例でも、やはり41年前の津波は「来るときに緩やかで、2階にいたものは大丈夫だったから」と言って油断したために死んでしまいました。ところが、その経験がない人の方はあわてて逃げて助かったというようなことがありました。

そのときに、例えば青葉の季節は津波はないという話がありました。これは実は大変不思議ですが、私が東北に移りましたのが昭和52年(1977年)ですから、30年ほど前です。夏場に人の来る、ある沿岸のキャンプ場へ津波対策で行ったときに、津波の危険を知らせるような装

置が全くないので、「やはりこれは危ないからスピーカーぐらい付けたら?」と言ったら、その村長に「何ていうことを言うんだ。津波は青葉の季節には来ない。ここに海水浴客やキャンプ客が来るのは夏場だ。夏場には津波は来ないのだから、そんなものは必要ない」と、私は頭ごなしに怒られたことがありました。そういう話が今でもあるのだなと思ったのが、わずか30年前です。

また、明治の津波は地震が弱くて津波が大きかったのです。ところがその翌年、宮城県の牡鹿半島の近くでは、非常に強い地震があつても津波がなかったのです。つまり、直下ぐらいで、かなり深い所で地震があり、地震は大きかったのですが、津波はなかったのです。そこでその地方には、津波が大きいときは地震が弱い、地震が大きいときは津波が小さい、要するに地震と津波のエネルギーを足したらコンスタントぐらいで、地震が大きかったから津波は小さいということが一種の科学だと思ったのだと思います。そのせいで、明治の津波から37年後の昭和の津波のときに、地震が大きかったので「今度は地震が大きいから逃げなくてもいいよ。津波なんて来ない」と言って命を落とされたとい

うことが発生しています。

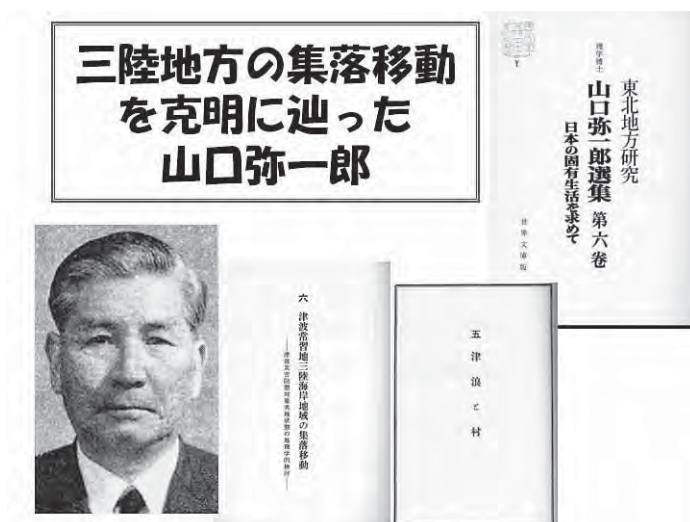
さて、明治の津波の後でも、やはり高い所に上がりましょうというのが一番の対策でした。43カ所も上に上がったのですが、個人で上がったものが多く、集落として上がったのは7カ所ぐらいでした。ところが、そのほとんどが10年たつたはずなのに、元の所に戻ってしまいました。原因は何かというと、やはり「浜から遠いから毎日の作業に不便だ」ということです。それから、昔は高い所では飲料水がなかなか手に入りませんでした。そしてちょっと珍しいと思うかもしれませんが、先祖伝来の土地に対する執着心が意外とばかにならなかったのです。なぜかという、三陸地方はリアス式で入り組んでおり、陸にいい道がほとんどありませんから、船で入ってきて上陸し、そこに集落を作っていたわけですから、やはり浜がその集落の発祥の、一番の基なのです。そこに氏神様を祭っており、そういう所に戻りたいということです。

そして津波襲来が頻繁でないために、大体10年一昔で下りてきます。そのときに、どういう条件があったらこれが駄目になるかというのを、山口弥一郎さんという方がよく調べられ

ました。大体、歩いていくという条件では高さで10m以上、距離で400m以上、浜から離れたものは全部駄目になったということです。それ以内だったら何とか続いているということをお明らかにしておられます。図表30が山口弥一郎さんです。『津浪と村』という本も書いていらっしゃいます。

さて、そのときの明治の津波の特性ですが(図表31)、横軸が地震の規模のマグニチュード、縦軸が津波のマグニチュードです。普通は地震が大きければ津波も大きくなるのですが、明治の三陸大津波は地震の大きさに対して、津波がものすごく大きかったのです。

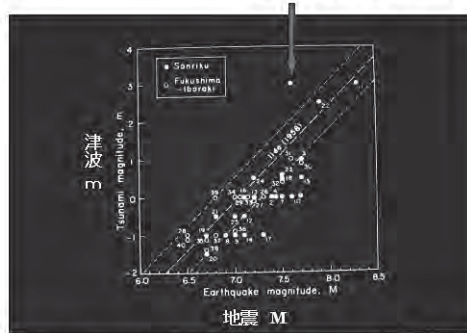
そのときに、ではこの津波は一体どうして起きたのかということで、八つのいろいろな原因が述べられました(図表32)。そして、これは断層運動によって起きた津波であるという結論を3年後に出されたのが今村明恒さんです。その根拠となったものは何か。地震が大変弱かったので、とにかく地震ではなからうという話が随分多かったのです(図表33)。一番上は神奈川県(相模の国)の三崎です。真ん中は北海道、一番下は宮城県で取られた潮位の記録です。こんなに波長の長いものが火山噴火で起こるはず



図表30

地震マグニチュードと津波マグニチュード

死者2万2千人の明治三陸大津波



地震の割には津波の大きい津波地震

図表 31



明治三陸大津波の原因諸説

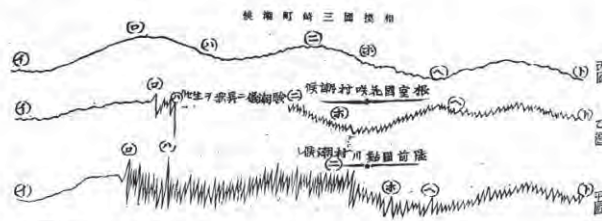
1. 潮流の衝突
2. 海底の陥落
3. 海床の噴火作用隆起
4. 地滑り(田老村沖合い)
5. 火山破裂
6. 急斜海底の地滑り
7. 陸に遠き海底の大隆起
又は地滑り
8. 陸地に近い場所に原因

三陸津浪ハ断層ヲ成セル地層ノ
上下変動ニ依テ起サレタリ
(今村明恒:明治32年)

三陸地方に演じたる洪浪の原因は該地の東面急斜の海床に発動せる地滑りに由て生じたる地震なり(巨智部忠承)

図表 32

明治三陸大津波の潮位記録



当時の新聞、岩手公報に掲載。

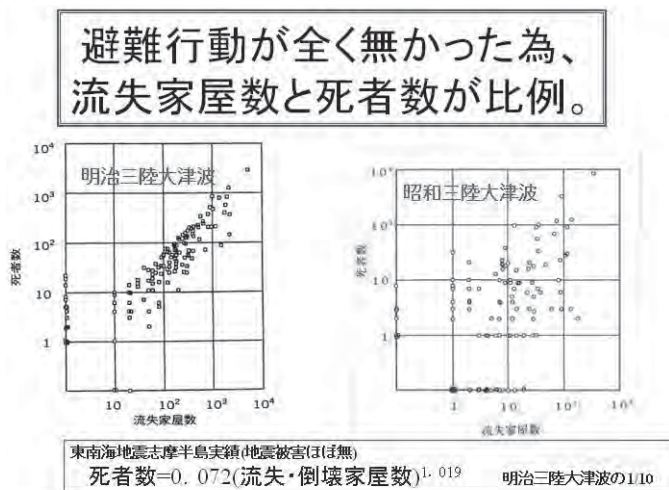
図表 33

はないとか、いろいろな立証をされ、結局は、やはりこれは断層運動で起きたものだという結論を出しました。ですから、こういう記録があったので結論が出たわけです。津波の科学的な学問としてのスタートがこれで切られたわけです。

明治三陸大津波のときには地震がよくあったので、ほとんどの方が逃げませんでした（図表 34）。ですから、流された家と死者の数がほぼ比例したのです。それに比べると、昭和の三陸大津波は地震が非常に強かったので、逃げ出した方が多く、あまり比例はしません。ところが東南海地震の志摩半島の実績ですが、このと

きも死者数と流された家の数とは大体比例します。しかし、比例係数は東南海地震では 0.07 で、明治三陸大津波は 0.7 ぐらいと 10 倍違うのです。ですから、流された家と死者の数は、あまり避難行動が行われないと比例するわけですが、その比例係数もちょっとしたことで 10 倍ぐらいすぐに違ってしまうということです。

明治の津波の後で、岩手県遠野の山奈宗真という方が沿岸地方をずっと歩いて、当時の克明な記録を取っておられます（図表 35）。それによると、かなり高い所まで津波が上がったのではないかとされています（図表 36）。しかし、今のところ一番信用されているのは、宮古島の



図表 34

山奈宗真



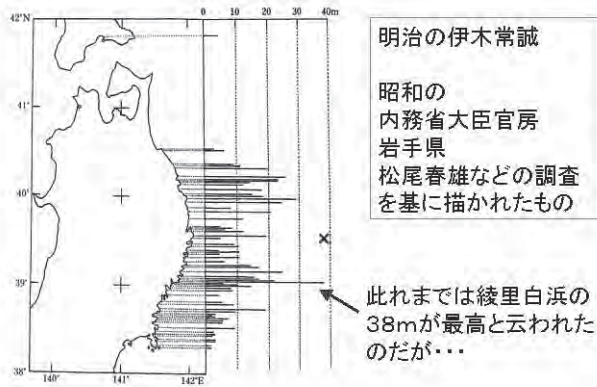
岩手県遠野の人。当時49歳。県の囑託として7月28日より44日間、300キロに及ぶ沿岸を調査。徒歩、馬、船で移動。

牧場開発、遠野製糸場開設、農業試験場設立など、岩手県産業振興にも努めた。右は調査原本。



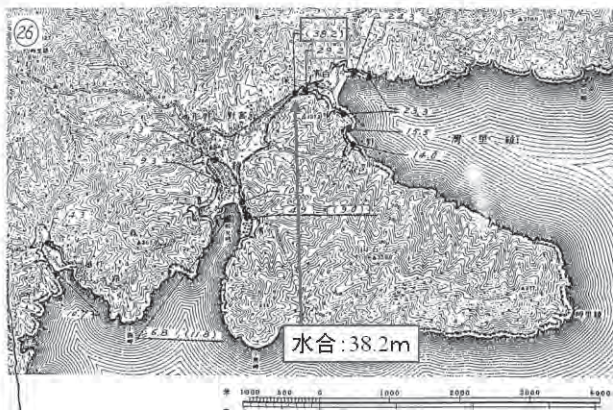
図表 35

明治三陸大津波の痕跡高



図表 36

綾里湊と白浜の岬で 明治の津浪が会った。



図表 37

80m に比べると半分程度ですが、38m まで津波が上がったようです。

それがどんなところかという、図表 37 は岩手県の綾里湾という、V 字状の湾です。綾里湊側から上がった津波と反対側から上がった津波が会ったから水合と言うのだというような所です。図表 38 は家が 1 軒もなくなった綾里湊の写真です。明治の津波のころから、こういった種類の写真がぼつぼつと撮られ始めました。

その地点に行ってみますと、海はこんなに遠くにあります (図表 39)。手前に三陸リアス

鉄道がありますが、昔、道路があまり発達していなかったころ、津波があったときに物資を運んだりするのにどうしても鉄道が欲しいというのが、この地方の方々の念願で、昭和 20 年代後半になってそれがやっと実現したのですが、明治の津波が来ても鉄道が潰れない高さということで造られました。ですから、その場所に立ってみると、はるか向こうから津波がやってきて、この集落全部を破壊していったというのが、「本当ですか」と言いたくなるような、ものすごさです。そこには図表 40 のような碑が建っています。



図表 38

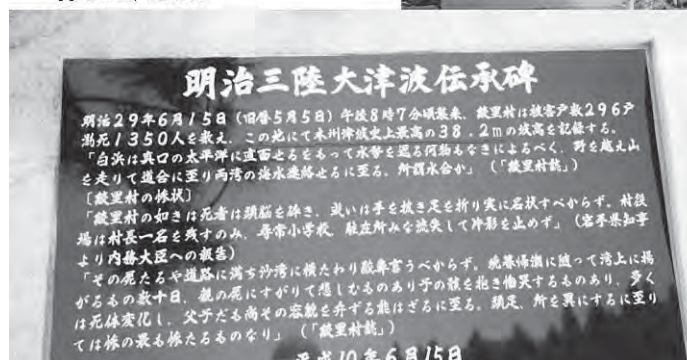
**綾里白浜の三陸鉄道は
明治三陸大津波の最高打ち上げ高より
高い位置にある**



図表 39

綾里 明治津波伝承碑

どのような津波が38mまで
打ち上げたのか

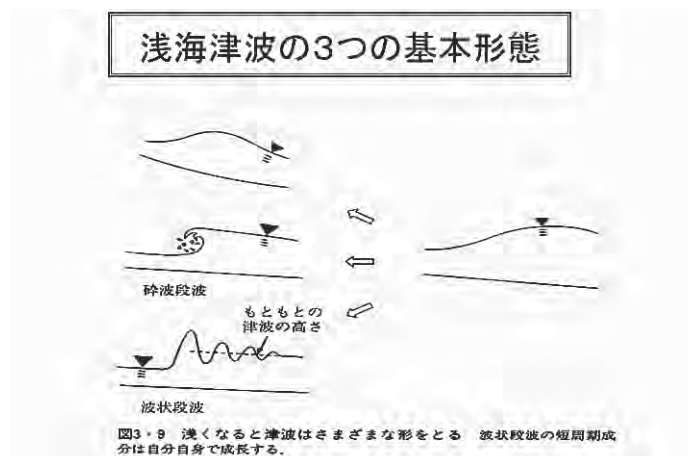


図表 40

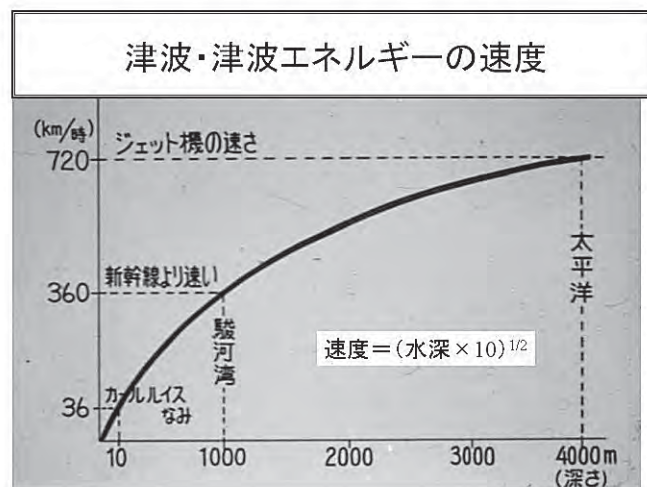
ここで津波の科学のようなことを申し上げませんが、津波は深い海になると、上がって下がってまた上がるまでが、短くて50~60km、チリ津波というのは700kmぐらあります。ところが、それが陸地にやってくる浅くなると、三つの形態を取ります(図表41)。一つは波の長さが縮まって、波の高さが大きくなるけれども、潮が速く出たり入ったりするという形態です。二つ目は一番頻繁に見られる、段が付いて後ろが高くなり、前がどんどん崩れ続けていくという形態です。これを砕波段波と呼びます。三つ目は、条件がそろって段が付くのですが、崩れるのではなく、普通の風波程度、一つ

の波の間が100m程度のものが波状段波になります。波状段波の嫌なところは、波状によって高さが倍ぐらいに成長してしまうのです。

そのようにいろいろな現象が生じるのですが、それらはわずかこの1本の曲線で説明できます(図表42)。どういことかという、津波の進む速度を調べるには、水深を10倍してその平方根を取ればいいのです。平方根というのは結局二乗の反対です。例えば2の二乗は4ですから、4の平方根というのは2に戻ります。10×10=100ですから、100の平方根は10に戻ります。100×100=1万ですから、1万の平方根は100に戻るといことです。太平洋の



図表 41



図表 42

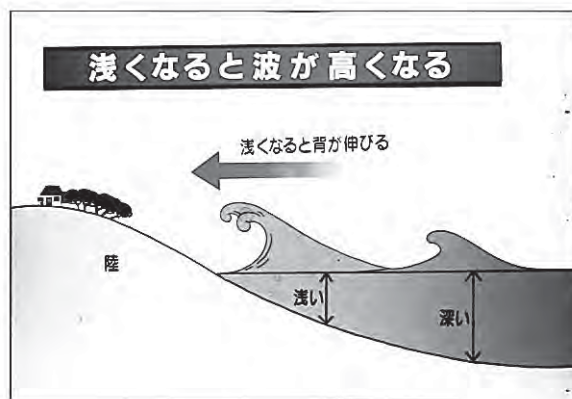
平均水深は 4000m です。4000 を 10 倍すると 4 万、その平方根を取ると 200 になります。200 というのはどういうことかという、1 秒間に 200m、1 時間にはその 3600 倍ですから 720km 進むということです。そういうことがすべてを支配します。

図表 43 はポンチ絵ですが、津波は一つの波の距離が何十 km、何百 km あるわけです。そうすると、深い所にある波は早く進みますが、浅い所の波は少ししか進みません。ですから、次の瞬間には波の長さがぐっと短くなるわけです。波の長さが短くなって、エネルギーが保存

されるためには津波の高さが高くならなければなりません。従って、浅くなると波が高くなるのです。ところが、なぎさの所でこの波の高さだから、この高さですっと行くかという、そうではなく、水に勢いが付いていますから、勢いでだっと陸地に駆け上がってきます。なぎさでの波の高さよりも、もっと高い所まで駆け上がってきます。このようにして、先ほどの綾里白浜の津波は上がってきたのです。

さらに綾里白浜では、入り口は幅が広くて深く、湾の奥は幅が狭くて浅いのです（図表 44）。湾の外から入ってきたエネルギーがどん

浅水効果



図表 43

集中効果



図表 44

どん中へ押し上げられてきますから、湾の奥へ集中して津波が大きくなるわけです。

もう一つ、これは子供のときに多少悪童であった方、ブランコ揺すりの名人だった方はすぐお分かりになります。例えば、ひもに重りをつけたものを横に持ってきまして手を離すと、チックタックチックタックと揺れます。ひもを短くしてやるとチクタクチクタクと、こちらの方が明らかに速く揺れます。ですから、皆さん方がブランコに乗って大きく揺するには、まず高く持ち上げて乗って、そしてブランコの動きに合わせてければいいのです。これを繰り返すとどんどん高くいきます。ですから、湾の中の水の揺れる周期にちょうど合うような津波が来ると、湾の中でどんどん大きく揺れるのです。

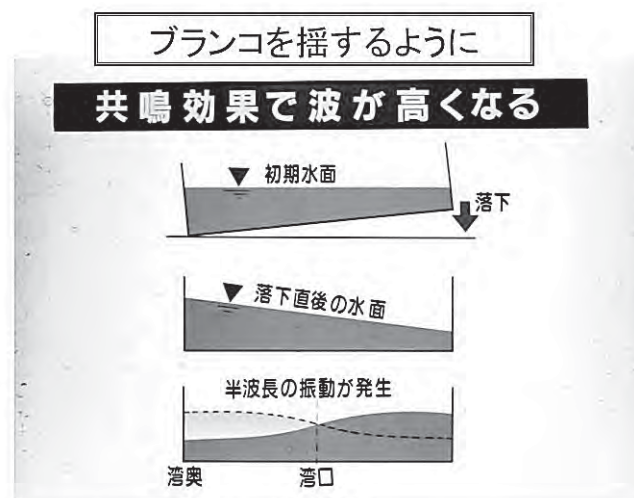
それをどうやって調べるかというのが図表45です。たらいでも何でも水を張りますと、初めは水平になっています。これをことんと落としますと、水面もがらっと変わるわけです。水は高い所から低い所へ流れます。そうすると、この入れ物では左が高く、右が低くなっています。そして波の一波長というのは、高くて低くて元に戻ってまた高くなりますから、このような入れ物では半波長です。ところが湾だと、陸

地があって湾の入り口ですから、ちょうど湾の中で4分の1波長の震動が起こります。その震動に合うような津波が来ると、津波はどんどん大きくなるのです。

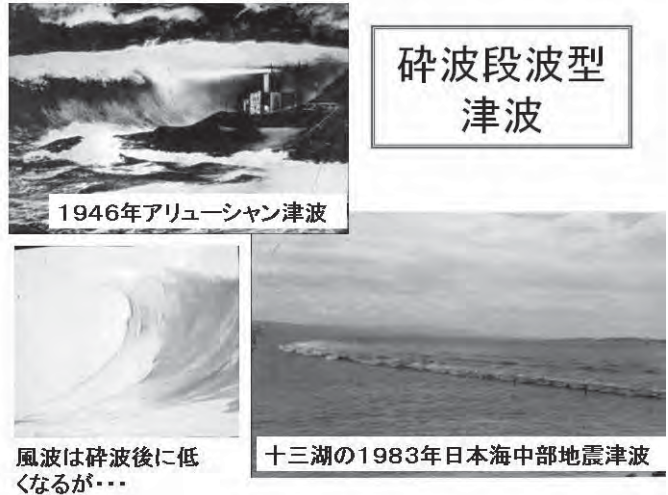
そこで、いろいろな形の津波があると申し上げましたが、日本海中部地震津波は先端が壊れて、後ろが高くなっています(図表46)。高さはわずか1.5m~2mぐらいです。1946年のアリューシャンの大津波は高さが30mありましたが、30mありながら、後ろがずっと高くなっているのです。普通の風波だとぼしゃっと崩れて、高さが大体4割ぐらい削られて、6割ぐらいにさっと減ります。しかし津波は後ろが高いので、崩れても崩れても高さは減りません。高いまま崩れていきます。

図表47は波状段波ですが、これは川の中で発達します。図表48の右の写真を見ますと、第一波、第二波、第三波が次々にできているのがお分かりになると思います。

図表49は海の中で発生した波状段波です。左の写真を見ていただくと、一波、二波があります。近づいてくると一波、二波、三波目がかなり見えるようになります。このように自分で発生・発達するわけです。



図表45



図表 46

波状段波は川で発達する



北上川に入った1960年チリ津波は内海橋に船舶を激突させた

図表 47

北上川で成長する波状段波



図表 48

海で発達中の波状段波



図表 49

砕波段波と波状段波の共存 米代川の日本海中部地震津波



図表 50

実は伊勢湾の奥の桑名の沖で安政南海津波が来たときに、その渡しに乗っていた方がどうも体験されているらしいのですが、その記録を見ますと、2~3丈(10~16m)ぐらい、船がばーっと上がって落ちて、そしてまたばーんと上がって落ちて、それを5回ぐらいやったら平穏になったということです。これは波状段波が伊勢湾の奥で発達したことを思わせます。

図表50のように、ちょっとした条件の違いで、下側は砕波段波、上側は波状段波になっています。

次に昭和の津波です。明治の津波は端午の節句の夜でしたが、1933年の昭和の津波はおひ

なさまの朝間時に発生しました(図表51)。非常に激しい地震の後でした。そして先ほどの明治の津波がはい上がった場所がまたやられました(図表52)。また、山の林が津波でばたばたとなぎ倒されました(図表53)。

図表54は先ほどの場所で、昭和の津波を体験した後、明治の津波よりも高い所へ鉄道を造ったという所です。

昭和の津波のときにも、やはり火事が起きたのです。釜石という所で火事が発生しました(図表55)。

図表56の斜線を引いている所が家が流出した所です。第三波が来ているときに、一番下の

激震の後に襲来した昭和三陸大津波



昭和8年
3月3日の
午前3時頃
襲来

図075-1 昭和「陸地部の浸没分布」(気象庁、1988による)
×印は震央

図表 51

昭和の津波でも大被害となった
綾里湊と綾里白浜

綾里湊

しかし明治の津波は、
この小学校より遥か奥まで行った。



図表 52

昭和津波直後の綾里白浜

水合



明治よりも10mは小さく、綾里湊
からの津波とは出会わなかった。

直径約30cmの樹木折損。

資料第五十一 綾里村白浜、洋の右岸向背にある折約 30cm の樹木が上流側に折れておる。

図表 53

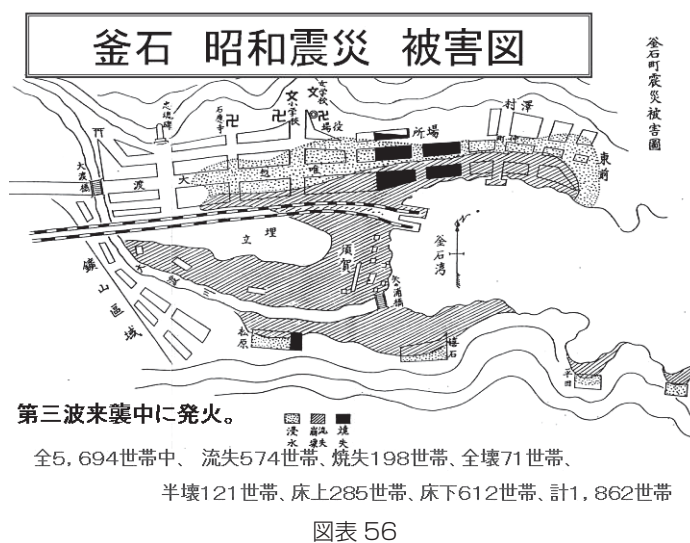


図表 54

昭和の津波でも釜石は大被害
この時は火事も発生。



図表 55



図表 56

黒い四角の辺りから火が出ました。皆さんは高台に逃げていたのですが、水が来ているので消しに行けないのです。おかげで黒く示している所の家が焼けてしまいました。原因は漏電だろうといわれており、電線が塩水に漬かって起きたらしいといわれています。

5. 津波予報

大変面白いのですが、そのときに津波予報装置というものが作られました。図表 57 は岩手県の上野さんという人が発案し、装置に電線が張ってあり、塩水がある程度以上高く、あるい

はある程度以上低くなるとそれを感知して自動的にサイレンを鳴らすというものです。当時 1500 円でできたといっていますが、それは非常に高く、全部で 30 カ所作ろうとしたのがここ 1 カ所しか作れなかったのです。今村明恒さんが大変いいといって褒めたのですが、とにかくお金が足りなくてできなかったというものです。

図表 58 におられるのが今村明恒さんで、これが本多静六さんという防潮林をたくさんつくれと言ってやった方です。この昭和の津波のときに初めて総合的な津波対策が提案されまし



図表 57



図表 58

た。

図表 59 が昭和の提案です。現在のものは大体防災構造物、防災体制、津波に強いまちづくりという 3 種類のを組み合わせて作るということになっています。その目で昭和の提案を見てみますと、防災構造物としては海岸に堤防を作る、津波に強いまちづくりでは高い所に住む、あるいは津波に強い家を造る(防浪地区)、防災体制は津波の警戒、避難、そして津波のことを忘れないような記念事業を行うというようなことをしました。

それと同時に、昭和の津波は昭和 8 年でした

が、それから 8 年後の昭和 16 年 (1941 年) に日本で津波予報を始めました。そのときに使われた予報図が図表 60 です。X 軸が震源までの距離、あるいは地震計で取られた P 波と S 波の時間間隔です。Y 軸が標準の地震計で取られた地震波形の最大震幅です。ところが、これを現地に伝えるのに、どうしても 20 分はかかったわけです。昭和 27 年に津波予報が正式な気象業務になったときに、これに基づいて作ったのが右の図です。こういう条件がそろえば大津波だというのが昭和 27 年 (1952 年) にでき、それが平成 11 年に日本で数値計算に基づいた

**津波災害予防に関する
注意書での手法
(昭和8年6月)**

- 防浪堤
- 護岸

- 高地移転
- 防浪地区
- 緩衝地区
- 防潮林
- 避難道路

- 津波警戒
- 津波避難
- 記念事業

**地域防災計画における
津波対策強化の手引き
(平成9年3月)**

防災構造物

津波に強いまちづくり

防災体制

図表 59

世界に先駆ける津波予報

電話により発震後二十分で伝達

昭和二十七年、津波予報が気象業務法に取り込まれた。

平成11年、量的予報開始。今、米国が検討を始めた。

図表 60

予報を開始するまで、この図面が日本の津波予報で使われていました。

6. 過去の津波の経験から

さて、唐丹本郷という所が明治の津波、昭和の津波をどのように受け止めたかということをお見せします(図表61)。

このときは166軒中165軒が駄目になり、873人中769人が死亡しました(図表62)。残った104人はみんな漁のために沖に出ていた人でした。それで助かった70歳のお年寄りが、自分の持ち山を提供するから高い所に上がろうと

言ったのですが、そこへ上がった数件も5~6年でまた元の所へ、結局は作業所から遠いということが原因で戻ってしまいました。

それがまた昭和でやられました(図表63)。左下の図で、元の場所は海側で、今建物が見えるのは災害の後のテンポラリーな場所で、その奥が先ほどの山です。その山を切り開いて、そこへ移ったわけです(図表64)。ですから、昔はみんな海側にいたのが、山の方へ移ったのです(図表65)。

1960年のチリ津波が来たころには、みんな山の方にいたのです。ところが、それからだん



図表 61

明治三陸大津波後の唐丹本郷



ここに唐丹本郷。166戸中165戸を流失、873人中769人が死亡した。助かった104人は、いずれも「漁のため沖にありし者、節制のため余所に出ておりし者のみ」とある。これは、出漁して無事だった舟と、その漁師たち。

陸に居て助かった山澤鶴松氏(当時70歳)が、所有する山腹の畑地を提供して復興計画。しかし5、6年で原地へ戻る。

図表 62

唐丹本郷 昭和津波直後



図表 63

高地移転予定敷地は、明治に山澤氏の計画した土地。

25. 岩手県唐丹本郷。高台移転予定敷地。南面の斜面なり。(附図第 25) 調査計画同参照) 昭和八年九月四日撮影

唐丹本郷

造成工事中

26. 岩手県唐丹本郷。住宅地造成事業進捗状況。写真第 25 に示す位置に於て面積 5,037 坪の敷地を造成し 101 戸を収容す。山崎を越えは附登経道。左方の道路は連絡道路(附図第 26)調査計画同参照) 昭和八年三月末撮影

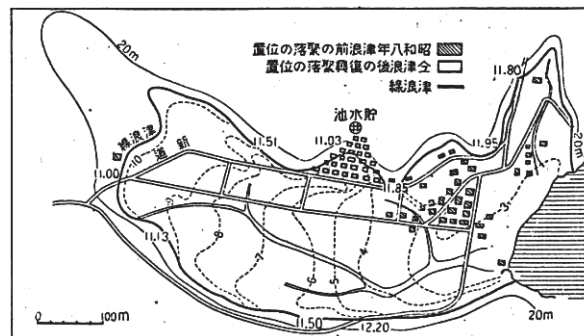
総工費 17,500 円。
 昭和 8 年 9 月着工、11 月完了。
 昭和 9 年 10 月までに 84 戸移動。
 1 戸平均 50 坪の宅地。
 簡易水道完備。

図表 64

山口弥一郎の調査結果

郷本村丹唐の動移図集 圖四第

(照對の動移位置の落葉の後前來風浪津の年八和昭)



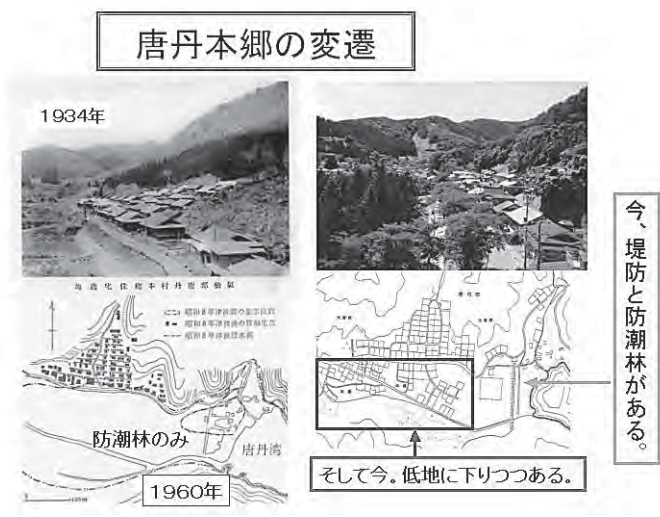
図表 65

だん下の方へ下りてきました（図表 66）。なぜ下りてきたかという、チリ津波対策で左の写真のような堤防ができました（図表 67）。その後、右の写真のように高さ 11m の堤防ができたのです。そうすると「もうあんな堤防があるから大丈夫なのではないか」ということで、「そういうものを乗り越えられるかもしれませんよ」という警告が、住民にはなかなか届かなかったのです。

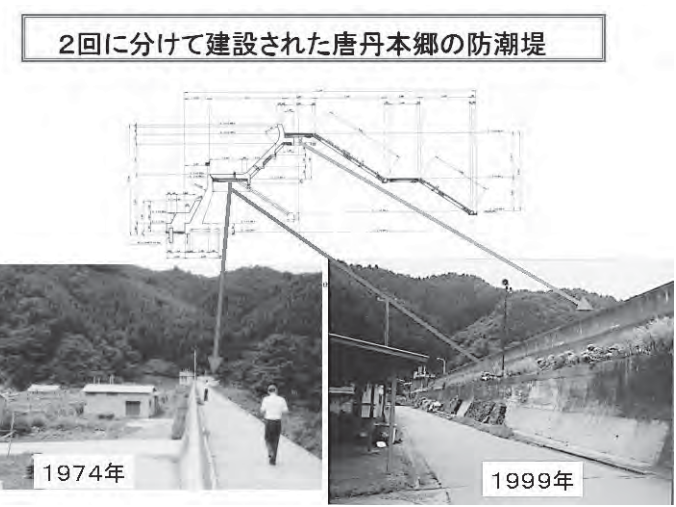
ところが、図表 68 は姉吉という所ですが、道の片脇に碑があり、そこに「高き住まいは児孫の和楽、想へ惨禍の大津波、此処より下に家

を建てるな」という詩が書いてあります。確かにこの集落は、これより下には家を建てていません。下というのは図表 69 のようなところで、昔の集落はここにあったのですが、それがみんな上に上がって、そこには昔の津波の標識があり、とにかくここに家を建てるものではないよということ、ここはその教えがきちんと根付いているわけです。

津波で一番有名なのは田老という町で、「津浪太郎」という字を当てて有名になっていますが、図表 70 が現状です。明治の津波で 242 軒のうち 191 軒が流れて、しかも砂が動いてもの



図表 66



図表 67



図表 68



図表 69



図表 70

すごいことになりました。1859人が亡くなり、生き残った方はわずか36人、プラス沖にいた60人で、100人程度が生き残られたのです（図表71）。

図表72が津波前で、津波後は図表73のようになりました。そこへまただんだん戻ってきたわけです。

東さんという方は、6歳になったときに津波を体験して、津波対策を一生懸命おやりになりました（図表74）。当時、図表75の上の写真のように荒れ野原になった所へ、今で言うボランティアで、いろいろな所から義勇団、青年団が来て、助けるというようなことも行われて

いました。

その際に、低い所にあったものを高い所に移しましょうと言ったのですが、土地がありません。ではもともと住んでいた所の地盤を高くして住みましょうかと言ったら、これは金が非常にかかります（図表76）。結局は、海の近くに防潮堤を造りました（図表77）。実は津波の翌年には、またみんなが元の場所にどんどん戻ってきたのです。これではいけないということで、防潮堤が造られたのです。


それから、町並みを作るときに面白い工夫をしたのです（図表78）。手前が浜で、人間は奥の高い方へ向かって逃げます。ところが車はそ

明治三陸大津波による 田老の被害

田老	242戸中	191戸流失
乙部	94戸中	94戸流失
撰待		9戸流失

死者1,859名 死を免れたもの 36名

船で沖合いに居た60人。北海道出稼ぎ数名。



素材での傷小屋 明治6.1897

◎田老は甚しと人は皆云へも異常の翌日村入見たる人は一面は是れ河原の如く此處は町村地ありしかと疑ふ許りなり而して泥沙の中より隻手被んであるあり前庭のみ現れると布り廻り出たるもあも九で人間の砂漠と見たる如きと呼ぶ今年に吾輩下に於て更に幾多の地獄を作れられたり

図表 71

昭和三陸大津波前の田老



図表 72

昭和三陸大津波 田老での被害

総戸数834戸中 505戸罹災
 総人口4,983人中 死者548人、行方不明363人、
 生存者1,828人、内負傷者122人。



図表 73



東 信一
 (あすま・しんいち)
 岩手県田老町長

被災体験を
 持つ
 東 信一



図表 74



第 241 回 戻れた砂原化した田老町。北知乙部の奥山から南尻。自然の上る途は昔山田種。方一本柱の下あたり乙部津波のあった地点。(3月11日 大塚撮影)
 Fig. 241. Prospers town of Tarō where there are white smokes in this



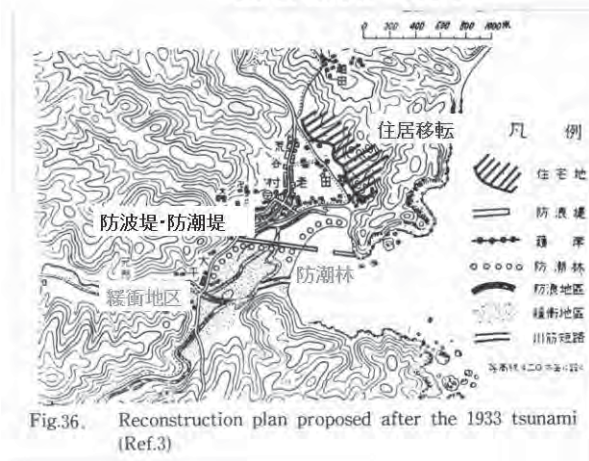
第 245 回 田老村田老。海上より田老を望む。学校、寺及役場(3階)に見ゆる如く何れも高地にあり)のみを残して住宅、納屋等全部津波消失。(3月9日 石橋撮影)



(村田町) 難民の四年少習盛、しそ地

図表 75

田老復興 初案



図表 76



図表 77



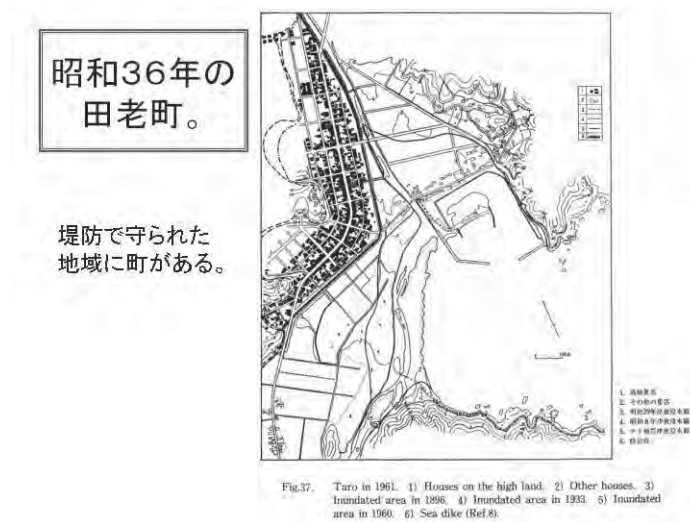
図表 78

れを横切るように通ります。逃げる途中に十字路で立ち止まって、車の安全を確かめたのでは逃げる速度が遅れるということで、角の隅切りをして、走りながらも左右が見られるというまちづくりをしたのです。

図表 79 が 1960 年ごろの田老町で、図表 80 が現在です。古い堤防に加えて、黄色い所に昭和 40 年代に新しい堤防ができ、町ができました (図表 81)。

では、それで大丈夫か。まず堤防は、どうも老朽化しているらしいということで、草が生え

ています (図表 82)。それと同時に、そういう堤防へ明治の津波が来たらどうなるか (図表 83)。これは田老町の住民の方にお見せしたのですが、地震から 29 分後、そろそろ明治の津波がやってきます。そして現在の高さ 10m の堤防を、明治の津波は難なく乗り越えてしまいます。今、津波が引き始めました。ところがこの水がたまって、7~8m の海水プールが出来上がります。なぜかという、昭和の津波対策は高さ 10m、明治の津波は 15m ですので、簡単に乗り越えられるのです。



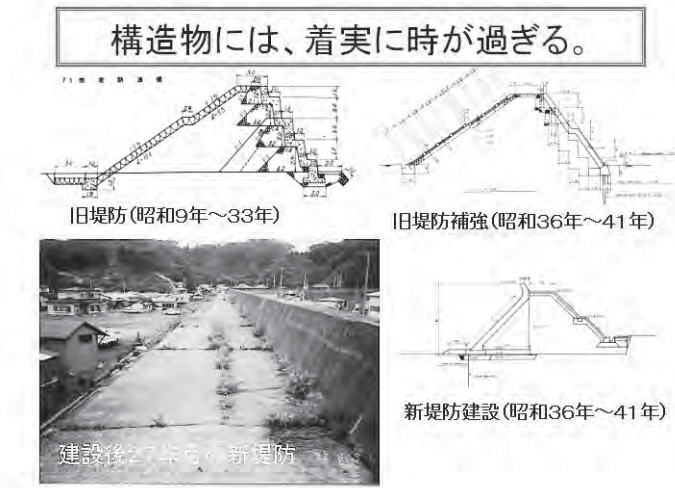
図表 79



図表 80



図表 81



図表 82



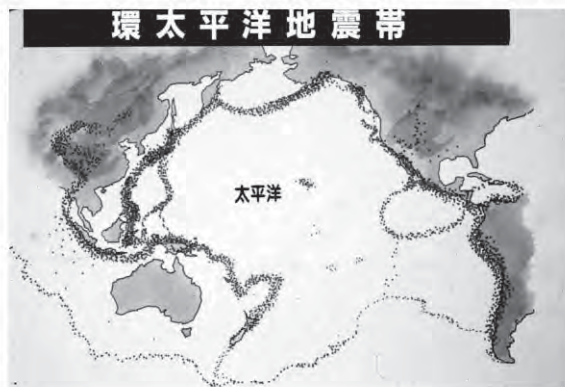
図表 83

そういう経験のあったところへ、1960年のチリ津波がやってきました（図表84）。チリ津波は南米で発生し、太平洋上にいったん広がります（図表85）。しかしそれはハワイを通過して反対側の日本へ集中してきます。これはなぜかというと、例えば皆さんが今北極にいて、みんなばらばらでどちらの方向でもいいから歩き始めたとしても、最終的にはまた南極に集まりますよね。それと同じことが起きたわけです。そしてカムチャッカから沖縄まで、高さが大体5～6mというような津波になりました。

図表86がチリの状況で、図表87がハワイ、

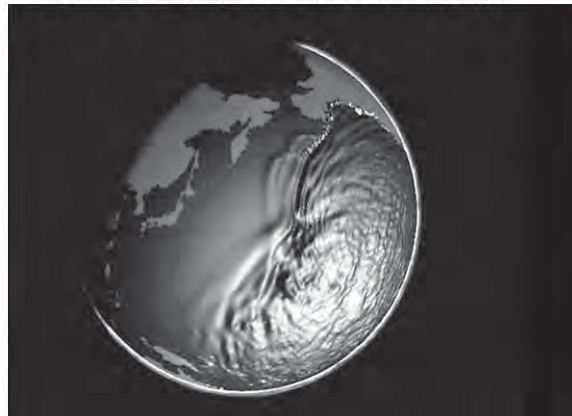
そして図表88が日本です。日本では「津波が来た」と言って逃げて助かったのですが、そのときの死者が142名で、被害額は国家予算の2%になりました。これはその前の年の伊勢湾台風が当時の国家予算の9%の被害額でしたので、それに比べると被害額としては小さかったのですが、伊勢湾は伊勢湾周辺に限定されましたが、チリ津波は北海道から沖縄まで、いろいろな所に広がったわけです。それを現在計算してみますと、計算値と実測値はこのようによく合います（図表89）。ですから津波の数値計算というのは、遠地津波に関してはよく合います。

海の彼方からも津波は来る……遠地津波……
1960年チリ津波で近代的な津波対策の開始



図表84

1960年5月 南米で発生し
太平洋全域に影響したチリ津波



図表85

チリ津波発生

最高津波高: 25m
死者: 約1,000名
被害額: 5億5千万米ドル



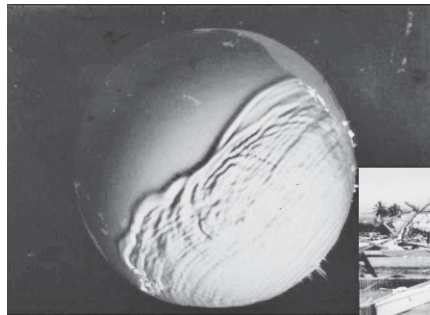
チリ・チロエ島: 死者200名



図表 86

ハワイ通過中のチリ津波

最高津波高: 10.5m
死者: 61名
被害額: 7千5百万ドル



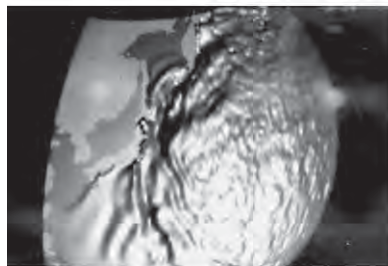
ハワイ・ヒロでの状況



図表 87

チリ津波 日本到達

死者: 142名
罹災者: 160,000名
被害額: 350億円
(国家予算の2.2%)

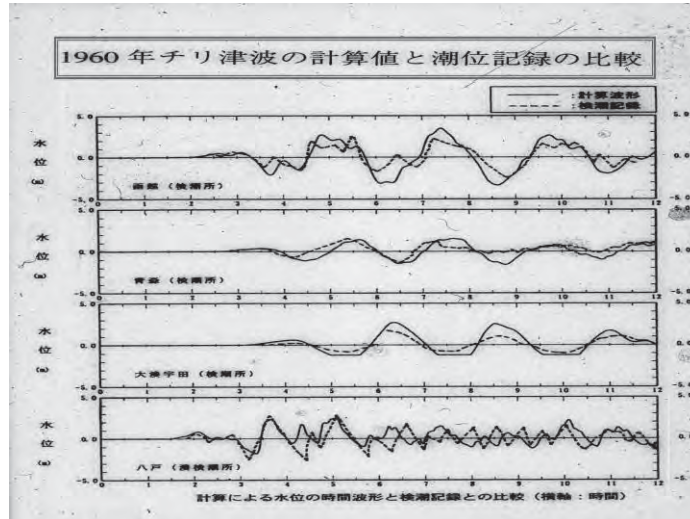


22時間後の状況。
カムツチャカから沖縄まで
5~6mの津波高。
周期40分~2時間。

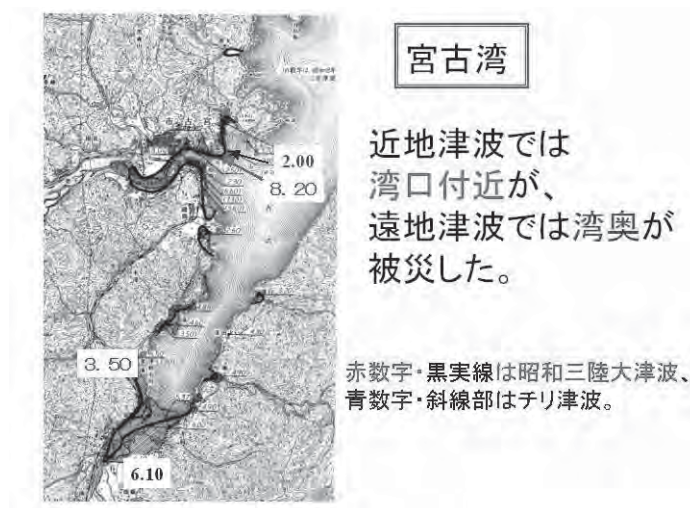


宮城県女川

図表 88



図表 89



図表 90

ところが宮古湾で見えますと、湾が長いのです（図表 90）。長い湾は長さの長い津波に共鳴しますから、湾の奥で6m、湾の入り口で2mということでした。ところが、昭和の津波は湾の奥で3.5m、湾の入り口で8mと逆転しているわけです。このように津波の長さと湾の長さいかんでは、大きくなる場所が変わってきます。

ですから、宮古湾の浄土が浜という観光地に行きますと、奥に碑が二つあります（図表 91）。左は昭和の津波の後で作られた碑で、「地震の後は津波の用心」と書いてあります。右は

チリ津波の後で「地震が無くとも津波は来る」と書いてあります。このように違うわけです。

図表 92 は鹿児島県、高知県、三陸の方々が、自然災害をどう受け止めているかということです。「災害は天が人間を懲らしめるために災害を起こすのだ」ということに、三陸の人で「大いに共感する」という人は非常に少ないのです。ところが高知県辺りだと「大いに共感する」「やや共感する」が3割以上になります。「災害は人間に対する自然からの仕返しである」ということに対しても、三陸地方の人はそんなことはあるまいと思っているわけです。ところが高知

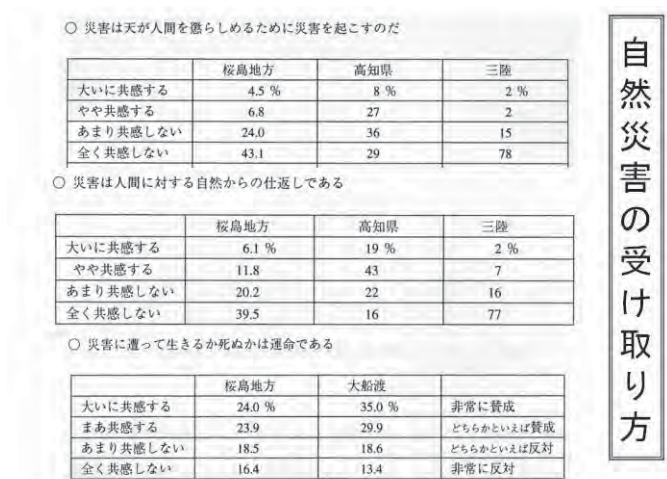


津波の個性を教える、
浄土が浜 北端に
並び立つ碑。

左:地震の後は
津波の用心。

右:地震が無くとも
津波は来る。

図表 91



図表 92

県辺りは「大いに共感する」というのが半分を超えてしまいます。要するに、災害の頻度やさまざまなことによつて、そういうものに対する受け止め方や災害文化のでき方が、地方地方によつてものすごく違うのです。今度は「災害に遭って生きるか死ぬかは運命である」ということになる、鹿児島県の桜島の噴火する場所、それから津波がよく来るようなところは「共感する」。「非常に賛成」「どちらかといえば賛成」という方は、やはり日本人だと 50~60% が災害をこのように受け止めています。その地方の災害の歴史、その地方の地形、いろいろなことが絡み合つて地方地方の災害文化が出来上がつ

ているのです。

そういうものをきちんと解明していくために、津波シミュレーションは大変有効な手段です（図表 93）。東北大で発達させ、今はユネスコを通じて、標準的な技術として世界に広めています。これも下手をすると間違ふということに気を付けておかないと困ります。

7. 防災設備

日本の総合的津波対策というのは 1997 年に、津波に関係した 7 省庁で合意されました（図表 94）。そのときの特徴が二つあります。一つは計画対象として何を選ぶかということです。こ

ユネスコの標準手法となった 東北大学の数値計算技術



1970年代から日本で発達し、
いまや不可欠の道具となっ
たが、思わぬ落とし穴も無
いわけではない。



図表 93

1997年に合意された総合的津波対策

地域防災計画における津波対策強化の手引き

計画対象津波 ○過去最大の津波
○予想される最大地震による津波
のうち、大きい方。

対策手法 次の三つを組み合わせる。
○防災施設
○津波に強いまちづくり
○防災体制

国
土
庁
農林水産省
建設省
気象庁
環境省
警察庁
消防庁
自治体

<http://tsunami.dbms.cs.gunma-u.ac.jp>

図表 94

れは川の計画対象とは違います。川だと「この地域は比較的重要度が高いから150年に1回の洪水を対象にしましょう」「ここは50年に1回の洪水で我慢してください」というやり方をしますが、津波の場合の計画対象は、記録上信頼できる数多くのデータがある過去最大の津波を一つの候補にします。

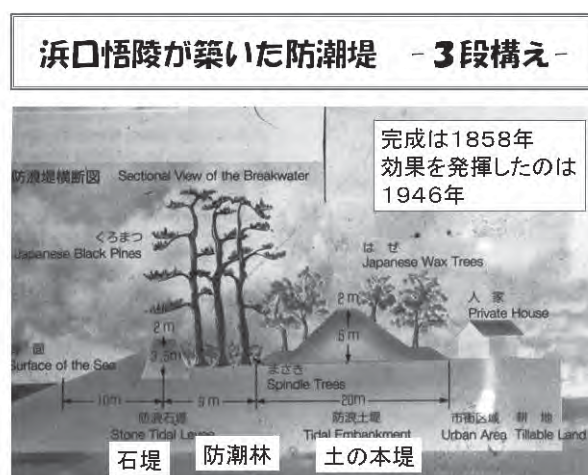
もう一つは、最近では地震の知識、学問が増えたので、その学問で想定される最大の地震によって起こされる津波、この二つを比べて大きい方を対象にします。しかし、その大きいもの

を全部構造物で防ぐことはできません。従ってどうするかというと、対策は構造物、そしていざというときは逃げるということを含んで、とにかく人命だけは守り抜きましょう。それから津波は長い時間間隔でやってきますから、その間に沿岸の町がいろいろ変化します。その度ごとに町が津波に強い町になるだろうか、弱い町になるだろうかということを考えながらやりましょうということです。

防災施設は、図表 95 のように非常に分かりやすくなっています。これが防潮堤です。一番



図表 95



図表 96

有名なのは、「稲むらの火」で有名な悟陵さんの築いた防潮堤でしょう（図表 96）。当時は丈夫な材料がなかったので、土で作った本堤、石堤、その中間に防潮林を置いています。そして完成したのは 1858 年、働いたのは 1946 年ということで、やはり 100 年近くたっています。ですから、こういう構造物をお造りになるのは結構ですが、100 年の間、誰が責任を持って維持していくか。それが抜けてしまうとせっかくのものが役に立たないのです。そして赤い線の所に防潮堤があり（図表 97）、その後ろの区域が守られています。防潮堤の前面を埋め立てて、今は左下の写真のようになっています。実はこ

こに役場があるという状態になっています。

図表 98 は大船渡にある津波防波堤で、これが出来上がった直後に十勝沖地震津波が来ました。その効果があったかどうかということ調べてものがありますが、長い周期の津波に対しては、グラフの上の線まであるものを下の線の高さに切り落とせました。ところが、10 分程度の近地津波ではよくあり得るようなものには、ほとんど効きませんでした。ですから、津波防波堤は万能ではないということです。

それから、川に水門を造って、そこで津波が中に入るのを防ごうというのが津波水門です（図表 99）。静岡に行くと、川ではなく、沼津



津波防波堤の効果

完成直後に襲った
十勝沖地震津波の
増幅率

周期の長い津波に効果的。

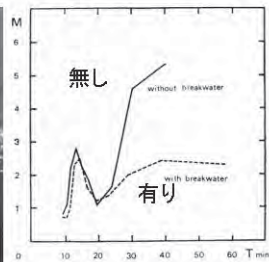


Fig. 7. Oscillatory characteristics (results of field investigation) (Ref.5).

図表 98

津波水門 -延長の長い河川堤防嵩上げの代わり-



図表 99

の内港の前にこのような建物が造ってあります(図表 100)。これは地震計と連動し、地震があると5分で閉めてくれます。しかし、こういうものはこれから下手をすると100~150年維持しなければいけないわけです。それがやはりこれからの問題だろうと思います。

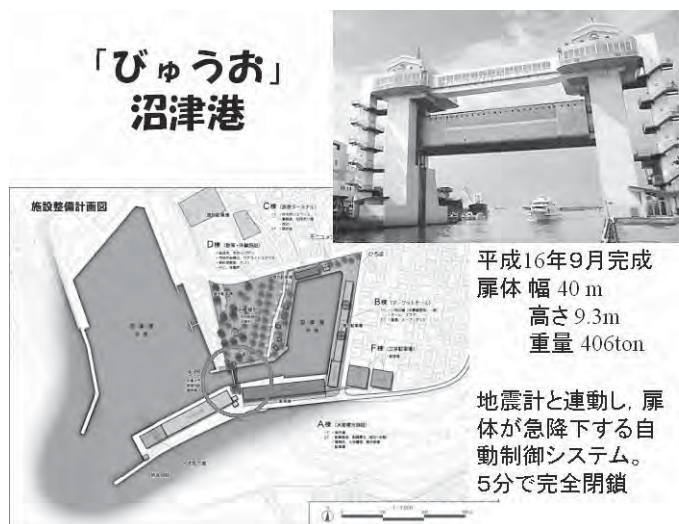
津波に強いまちづくりとは、高い所に住む、地盤を高くする、建物を強くするという事です。

また、津波に強い家とは、どのようなものでしょうか。明治のころから耐震的家屋は津波に

強いということを現地で確認していますし、昭和のときもそういうことを確認しています(図表 101)。昭和のときには鉄筋コンクリート造のものを造りなさいという勧めをしています。

津波のときには、津波の力だけではなく、漂流物が当たってくることが怖いわけです(図表 102)。チリ津波のときには、開運丸という縁起のいい名前の船が不運を運んできたという状況になりました。

いい建物が強いということでは、1908年のイタリアの津波は3mぐらいあったのですが、



図表 100



図表 101



図表 102



図表 103

全部漂流物を防いでくれているわけです（図表 103）。

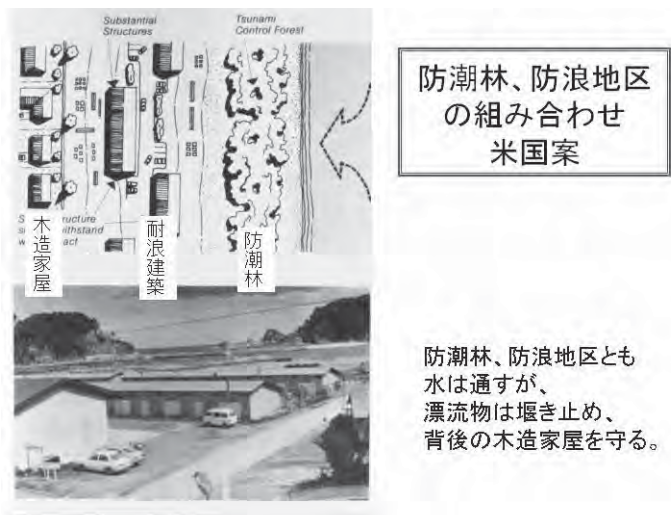
図表 104 はアメリカのアイデアで、まず防潮林、それから丈夫な建物、そしてその後ろなら木造でもいいのではないかとやり方をしています。

そのようなことをきちんとするためには、その土地にこういうことをしてもいい、これは駄目という、土地利用規制をかけないと次々に駄目になってしまいます。図表 105 は伊勢湾台風のとくに漬かった名古屋市です。名古屋市はその教訓を基に、黒く塗ってある第一種区域で

は木造は駄目としています（図表 106）。それから浸水するところは、きちんと逃げ込めるところを作ってある建物でなければ駄目ということにしています。

ですから、図表 107 を見ていただくと、右の写真で同じような逃げ込めるものが作ってあるのは、土地利用規制によるものです。左上の写真の建物などは、1階には人が住まないようにしているわけです。

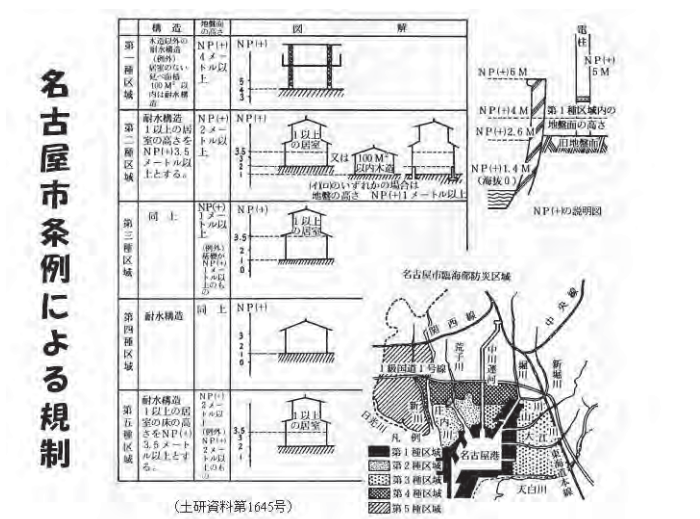
チリ津波の後には、町の条例が2カ所できました（図表 108）。一つは北海道の浜中町ですが、沿岸部の災害危険区域の土地利用規制を



図表 104



図表 105



図表 106



図表 107



図表 108

して、コンクリート以外は駄目ということにしました。

もう1カ所は宮城県の志津川です（図表109）。災害危険区域を指定し、そこには人が住む建築物を造ってはいけないということにしました。右の写真に2軒写っていますが、その後ろが堤防ですので、今はそういう規制のおかげで住む所を放棄したわけです。ところが行ってみますと、左の写真のように1軒、しぶとく新築をしている方がいるのです。こういう方たちにどう話をするかが大変でして、行って話をす

ると「うん、すぐ逃げるから大丈夫」とおっしゃるわけです。なぜかという、観光で食べている町だから、高い堤防を造られて海も見えないというのではお客さんが来なくなってしまいます。その代わり、いざとなったら逃げるから、逃げ道だけはきちんとしてくれというので、町の人がみんなそういう覚悟になれば、それはそれでいいわけです（図表110）。左の写真は大船渡ですが、ここに堤防を造られると魚市場などがめちゃくちゃになって駄目だと。その代わり後ろのレールを越えさえすれば安全なのだ

宮城県 志津川町災害危険区域設定条例
 第一条 この条例は、建築基準法(昭和25年法律第201号)第39条第1項及び第2項の規定に基づき津波、高潮、出水等による危険の著しい区域として志津川町災害危険区域を設定する。
 第二条 志津川町災害危険区域は志津川町南町88番地 同89番地以南とする。



図表 109

構造物より避難を選んだ街

大船渡魚市場周辺

地震だ 津波だ すぐ避難!

(内浦三津地区)

●津波は地震発生後約10分以内によってくる
 ●津波の波高は約10mです 沼津市防災地震課 ☎31-2500
※この地図はよく見えるところに貼ってください

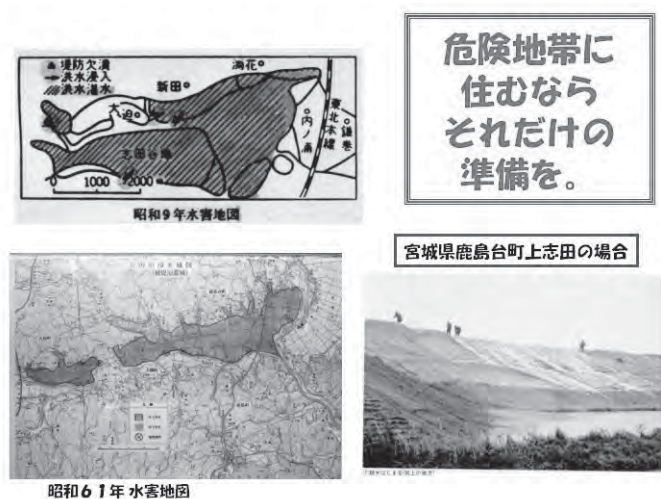
図表 110

から、「おれたちは逃げるから堤防は要らない」と言ったということです。それはそれで結構だと思います。ですから、危険な地帯に住むならば、それ相応の覚悟をしてお住みになればよろしいのです。

今からお見せしますのは洪水の例です。実は宮城県の松島の奥に昔、品井沼といった非常に大きな沼がありました。そこを干拓して田んぼにしたのですが、図表 111 は、昭和 61 年に水が堤防を乗り越えて、あふれているところです。

そこへ行くと、図表 112 のように集落はめちゃくちゃにやられていました。雨が降って3

日目ぐらいに、何とか水が引いたので調査に行きましたら、ほとんど家はこのようにやられているのです。ところが、私が行ったのは8月21日ですが、1軒だけ平常の生活をしているわけです。近寄ってみると、下が石壁で、隣の倉庫には船がつてあるのです。さすが地元の人で、ここが昔、品井沼であったということをよく知られてきたから、手当をしたのだろうと思って伺いましたら。「違います。私はよそ者です」と言うのです。「なぜこうしたの?」と言ったら、「ここへ入植して周りを見回したら堤防がやけに高い。これは何かあると思って、1階は石壁にした」と言うのです。この方は、



図表 111



図表 112

最近のハザードマップなどを配られなくても、周りを注意深く見ただけで、その危険を察知されたのです。昭和 25 年に入られて、昭和 61 年の 37 年後にその準備が役に立ったのです。

図表 113 はアメリカの例です。何もありませんが、人の行く所に警告だけはたくさんあります。

図表 114 は日本の例ですが、これも面白いのです。入るなどは一言も言っていません。「濃霧や風の強い日は大変危険ですので立ち入りは各自の責任でお願いします」。アメリカやヨーロッパへ行くとすべてこうなっています。日本

だと防波堤のところに「ここは危険ですから立ち入るな」とあって、鉄条網が張ってありますが、それを押しのけてみんな釣りに行っています。ですから「危険ですが、行くのならば自分の責任で行きなさい」と言えばいいのだらうと思います。

図表 115 は申本の例ですが、津波が来て、だっと逃げると高台まで 15 分かかります。ところが津波は 10 分で来るのだから、こんな悠長なことではいけないということで、赤い線の避難路を住民主導で造りました。これは行政は造れないのです。なぜ造れないかという、



図表 113



図表 114



図表 115

JRが通っていますから、行政と話し合いをすると、正規の踏切を作らなければ駄目なのです。ところがJRには、新しい踏切を作る余力はありません。そこで今度は住民がJRに話しに行ったところ、「お客さまのおっしゃることだから、緊急の場合にお通りなるのは目をつぶりましょう」ということになったのです。そこで住民が避難路を造って、右の写真のような道を造りました。この道にかかった50万円かそこらは町が出しましょうということになったのです。

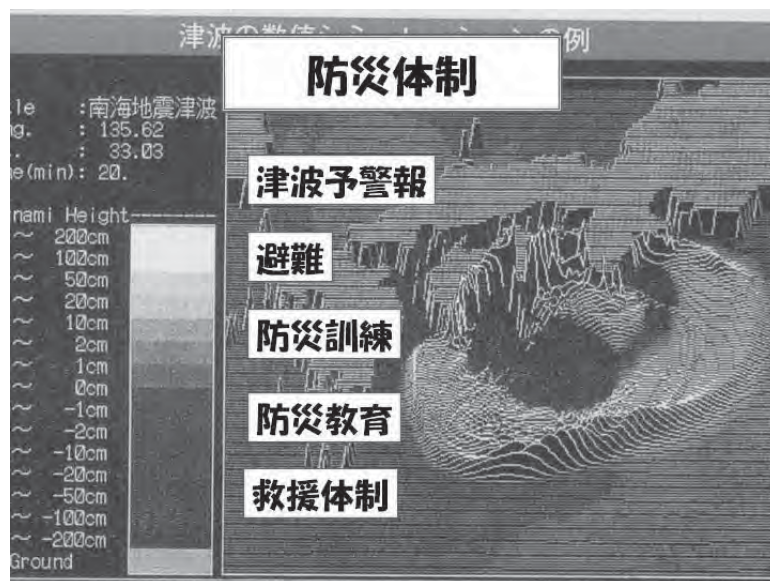
ところが、これも困ったことが起きたのです。高台のホテルから、この道を使ってぞろぞろとお客さんが来るわけです。そこで今は簡単な閉め切り設備が付いており、津波のときだけ使ってくださいということになっています。これで逃げる時間が15分から6分になりました。これは確か防災まちづくり大賞という賞を受けています。

8. 防災体制

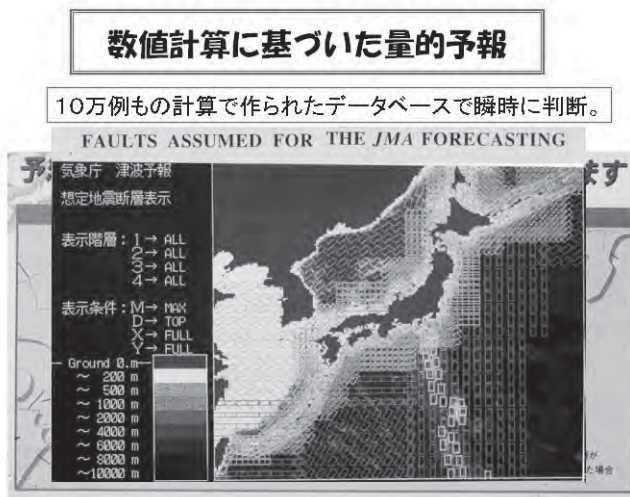
図表116が防災体制ですが、津波予警報をやってもらい、避難をし、それを忘れないための防災訓練をしましょうということです。実は

日本の津波予報というのは世界に冠たるもので、よく働いていますが、数値で高さを表しています（図表117）。

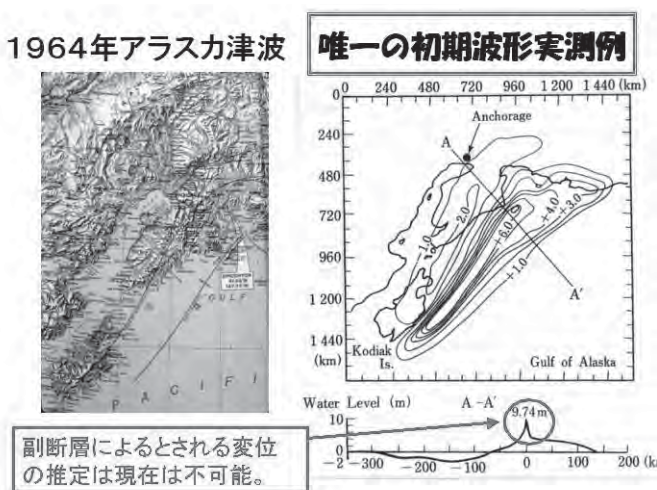
それはいいのですが、皆さんにこの際ご注意願いたいのは、津波予報が出るときは皆さん気を付けられます。ところが、津波予報がないにもかかわらず、「若干の海面変動があるかもしれないが被害の心配なし」というコメントが付いたときは、実は津波があるのです。地震によって津波が起きるのです。しかし、漁業者の方から、20cmぐらいの港の振動は津波以外のことでしょっちゅう起きるから、あまりこういうのに津波、津波と騒ぎ立てられると、かえってオオカミ少年みたいなことになるということから、20cmぐらいのときには津波予報は出しません。しかし、このときは絶対に海の中に入ってはいけません。というのは、津波が押しつけてくるときはいいのです。引いていくときは、地形によって水が集まる場所ができます。そこに立っていたら、完全に足をすくわれて持っていかれます。海水浴客や水中工事の人たちは、絶対に陸の上になければいけません。そうすれば被害の心配はないのです。そういう意味だと



図表 116



図表 117



図表 118

ということが、今のところ、まだなかなか行き渡っていないと思います。

また、日本の津波予報も、間違わないとは限りません。間違わないためには、大体倍ぐらいと思っておけばいいと思うのです。なぜかという、津波を起こした最初の津波の形がどのようなものだったかというのが分かっているのはたった1例だけで、それが図表 118 です。右下の図で見ると、このように変形しており、ゆったりとしたものは今の地震の技術で推定できます。今の津波予報はこれを基にして津波を計算しているのです。ところが、これは副断層の結

果だということは分かりましたが、赤丸の所がぴよこっと上がっています。これで津波は倍になってしまうわけです。その推定ができないことが、現在の日本の津波予報の弱みです。

さて、津波を見ながら逃げることができるかということ、津波を見ながらちょこちょこ逃げている例です(図表 119)。また、津波を見に来てさっさと逃げた例です(図表 120)。そして、先ほどのようにつかまった例など、いろいろあります。

まず最初は、強い地震の後には津波がきます。これは日本だけではなく、アメリカでも南アメ

津波を見ながら避難出来るか



1960年チリ津波。写真は、宮城県女川町。
足元まで迫る津波を見ながらも逃げおおせた。

図表 119

危うく逃れた見物客

1968年十勝沖地震津波、釜石魚市場前。

滅多に見られぬ
海底を見に来た人々。



次の第4波を辛うじて
逃れ得たが……

図表 120

リカでも、どこでもやっています（図表 121）。ところが、それはどのぐらいかという、浜にいて立つのが難しいような自身があったらとにかく高い所へということですが、これは1割の例外を持つのです。それが津波地震です。

もう一つ、津波が来るときには水が引きます。しかし、図表 122 を見てください。漁港の中は全く静かです。それで3m ぐらい、がっとう上がって津波がくる例外もあります。ですから津波が来る前に、海に異常が起きる、引くというのは、一つの有力な TSUNAMI 文化ですが、例外があるのです。

もう一つの面白い文化は、異様な音がしたら

津波が来るといふものです（図表 123）。これは高さが2.5m 以上の碎波段波が近づいてくると、ザーザーザーと聞こえるのです。これは世界のいろいろなところで、大きなダンプカーがたくさんこちらに走ってきている、昔だと蒸気機関車がやってきている、大嵐が近づいているという言い方をします。途切れなく聞こえます。それから、遠くの方でドーンという音がします（図表 124）。これは高さが5m 以上の段波が海のがけに当たったときの音で、これが津波の印です。こういう物音がしているにもかかわらず、気を付けないで浜辺にいて、あなた方の周辺で突然ドーンという音がしたら、も

強い地震の後には津波がくる。



浜に居て、立つのが難しい揺れを感じたら、
20m以上の高い所へ
(この法則は90%しか正しくない)

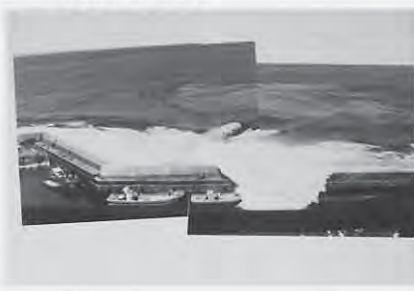
小さい揺れでも津波が極端に大きい場合がある(津波地震)

近地津波に対する
米国NOAA津波避難教育
パンフレット

図表 121

津波が来る直前の海の異常

津波は引きで始まると思っている
人が多いが.....



押しで始まった津波。
漁港内は静穏。
漁港外も渦一つを
除いて静か。
突然、海面が上昇。
防波堤を越える津波。

1983年
日本海中部地震津波。
秋田県島漁港。
(佐々木文雄氏撮影)

図表 122

異様な海鳴りー1

嘉永七年甲寅十一月四日...忽ち大地震が襲来...
その時海鳴りがして来たのを聞いて人々の不安と恐怖は
いよいよ極度に達し... (相良町大沢寺文書)

高さ2.5m以上の
碎波段波が出す
連続音



米代川の日本海中部地震津波

嵐が近づいて来る。
大型のダンプカーが沢山やって来る。



地震海鳴りほら津浪 青森県の碑

図表 123

異様な海鳴りー2



高さ5m以上の段波が崖に衝突すると大音響発生。
遠雷、発破、砲声。
かなり遠くまで聞こえる。



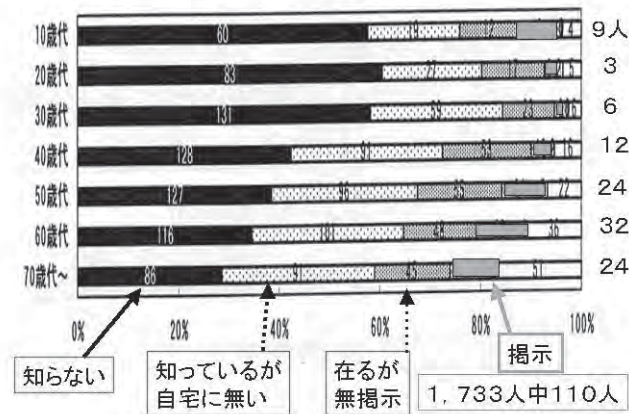
図-6.4 広島湾内の各地点では、黒崎辺りで発生した音響しか聞かなかったが、遮蔽されていない欠浜では、突撃する津波が次々と崖海岸に衝突して発生する音を聞いている。

図表 124

津波避難地図

5年前に配布した地図なのだが・・・

マップの所在と年齢との関係



図表 125

う一生の終わりです。これは5m以上の津波が、あなたのいる浜にドーンとのしかかったときに発生する、本当に雷が落ちたときよりもものすごい音です。こういう TSUNAMI 文化も、うまいことお使いになるといいと思います。ただ、そういうことをいろいろお知らせするために津波避難地図をお配りしても、5年もたつとだんだん忘れられてしまうというのが実情です（図表 125）。

さて、いろいろな TSUNAMI 文化で面白いものがあるのですが、図表 126 は東照宮さまの

御神徳というもので、安政東海津波（1707年）のときに、とにかく津波が東照宮の下まで来た。そうしたら、東照宮の扉がぱっと両方に分かれて、白いハトが右と左に飛んでいった。そのハトに従うように、津波がそこで右と左に分かれていったという言い伝えがあったのです。ところが、同じように1854年のとき、このときは白いハトは確認されていないのですが、岸辺の近くで、やはり津波が両方に分かれていったのです。これを誰か科学の力で解き明かせないでしょうか。私はできると思っているのですが、

東照宮の御神徳


同日 一右大地震に付、下御番所相倒、其外炭火少々有之に付、即刻屋根相破り水継込消申候、其内御供所出火に付、高尾勘左衛門差図致し、御櫓に有之候、御焔硝籠持出し馬淵多四郎水継申候右同様向焔硝籠も水継置申候

右大地震に付、巳の一天俄に揺曇り、山々谷々は夥敷崩落、其外野畑往来平地等所々地割、土中より泥水青砂等吹出し、又磯辺通凡町余も暫時に潮曳、夫より津波押し立、既に御山下間近くまで両度迄も押来り、右波打上げ候はば御山下は勿論、東西住居之面々、幾百之人々、是が為に一命難遁、然るに不思議成哉、其波磯辺間近にて鳴響き、左右え押分れ、ことごとく沖の方え打返して、御山下無恙、老幼に至る迄吾人も怪我無之、是全く御宮之御神徳に寄て、御山下一同其難を遁る事、実に衆人眼前に其難有事いか斗りや思べし、昔し宝永之大地震之節、津波山下え押来候処、御内陳之御扉おのづから左右ニ押開、御内より白鳩二羽舞出、左右え飛分れ、其鳩之飛去候方え津波押分れて、沖の方え打返し、御山下御別条無之由、申伝へのみにて書留等無之、既に此度御唐門御拜殿御幣殿共おのづから御扉左右え押開有之事、実に不思議と申も恐多し、是等誠に御深秘之御事に候得共、其御神徳之難有事を後代御番入之人々に委しくしらしめん為、日記に書留置申候

(1707年宝永津波) (1854年安政東海津波)

図表 126

**不思議な現象を見たとき
自然への畏敬の念を忘れまい**



ニュージーランドでの千リ津波への反応

ヨーロッパ系
干潮で座礁した船を見に行き遭難

マオリ系
原因不明でも不自然な現象には近づかない

キスボーン

フワカタレ

津波がボアで上がった川。皆避難。半分は見に戻る。残りは避難のまま。

図表 127

こういうこともあります。

それから図表 127 は、不思議な現象を見たときにどういう態度を取るか。ニュージーランドの人たちはチリ津波が来たときに、見に行く連中と、山へ逃げる連中に分かれたのです。見に行く連中はヨーロッパ系で、先住民系は、これは説明ができない、こういうものには近づくなと言って山に行ったということです。ですから、やはり民族としての言い伝え、自然に対する対処の仕方でいろいろな行動に分かれるのです。

9. 地震予知

これから、うまくいけば津波の前兆現象として使えるのではないかという例をお話したいと思います。それは地震が起きる前に津波があった例です（図表 128）。今村明恒さんは4例挙げておられまして、そのうちの1例でこういう記録が取れています。要するに異常な引き潮があった後で地震が起きて、本番の津波が来たというわけです。

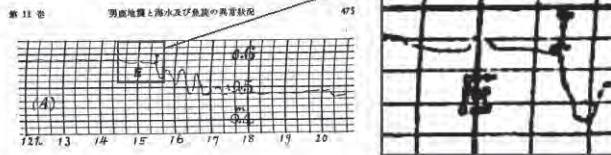
実は昭和の津波のときにも、それを体験された人がいました（図表 129）。夜の漁に出かけて、普段の半分ぐらいの速さでばーっと帰って

地震前に異常潮汐のあった前例

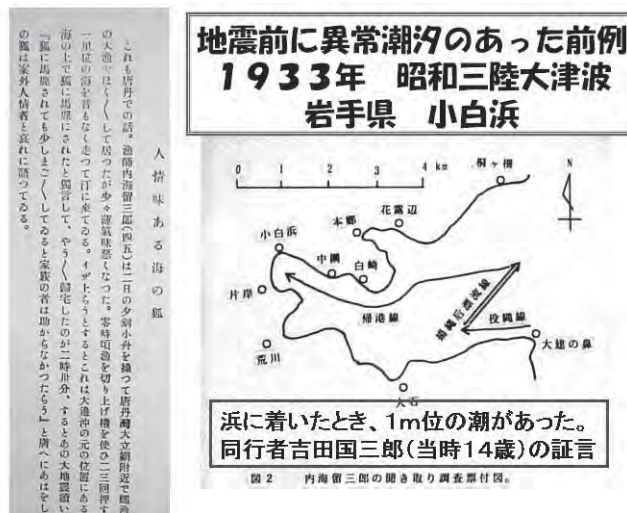
今村明恒の挙げる例

1. 1793年 2月(寛政4年) 西津軽
2. 1802年 12月(享和2年) 佐渡小木
3. 1872年 3月(明治5年) 浜田地震
4. 1939年 5月(昭和14年) 男鹿地震

発震前数十分乃至数時間、海水の干退
(陸地の一時的隆起の証拠)



図表 128



図表 129

きて、浜に着いたら1m ぐらいの津波があったと。「おかしいね、これは何だろうね」と言って帰って寝たら、地震が起きて、本番の津波が来たということです。

実はその津波らしいものは、本当の津波の前に、よく見ると記録されている場所もありますのです(図表 130)。

それから、実は明治の津波でも同じことがありました。普通は2時間ぐらいで帰るところが30分ぐらいで帰ってしまったというようなことがあったのです(図表 131)。

実は南海道地震のときにも経験されており、

こんな所が見えるはずがないと思ったのに、石が見えているというのです(図表 132)。帰ってきたらうんと潮が引いていて、本当なら船荷を揚げられるはずなのに、潮が満ちてくるまで待たなければ揚がらなかった。それでしばらくしたら、今度は本当の津波が来た。こういう地震の前に起きる津波を何とかつかまえられるかと、直前ですが、うまく津波予知にまでつながるかもしれません。

それは恐らく、前兆地震といえますか、前兆滑りで、地盤が変形すれば起きるかもしれません(図表 133)。

そして 潮位記録にも それらしいものが

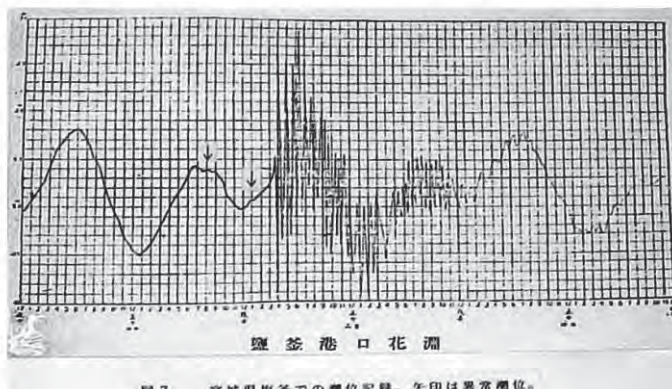


図7 宮城県塩釜港での潮位記録。矢印は異常潮位。

図表 130

岩手公報 明治29年6月22日参面

明治にもあった異常潮

宮古通信 (六月十八日發)

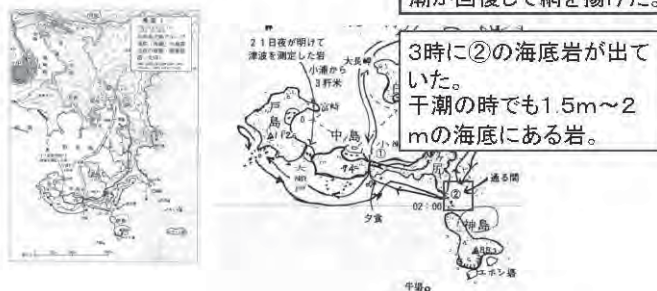
◎大災の前兆に付ては大に査察候要すべきか勿論にきて生存者に就て實現取調たるも確たる源因を認むべきものなきも當時異常を認めたる事實の鐵ケ崎漁夫女遊戸沖に漁業し居りたるに沖台鳴動幽かに聞へ氣味惡化を以て歸家またるに全所より鐵ケ崎へい常に二時間半斗りを費せよ非れば到着不能はざるに僅かに三十分斗りにして歸着せり甚だ奇怪なりと言ひ居たるに果ては海嘯ありたると

図表 131

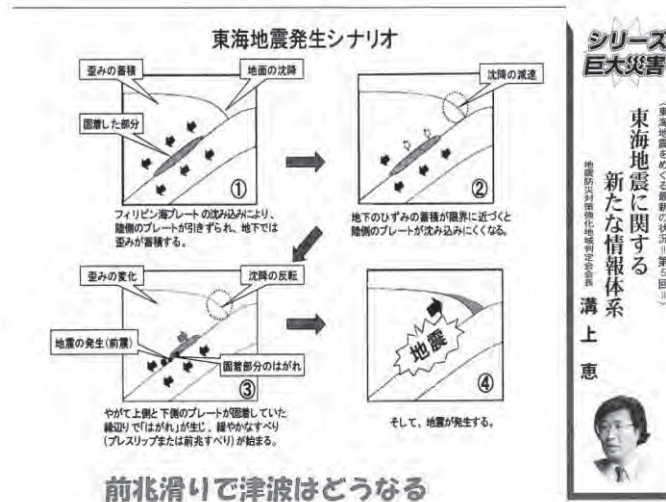
**地震前に異常潮汐のあった前例
- 1946年南海道地震 四国須崎 -**

12月20日23時13分 干潮
12月21日 5時13分 満潮
4時35分過ぎ 津波襲来

潮が引いて岸壁につけず、
4時15分頃 やっと
潮が回復して網を揚げた。



図表 132

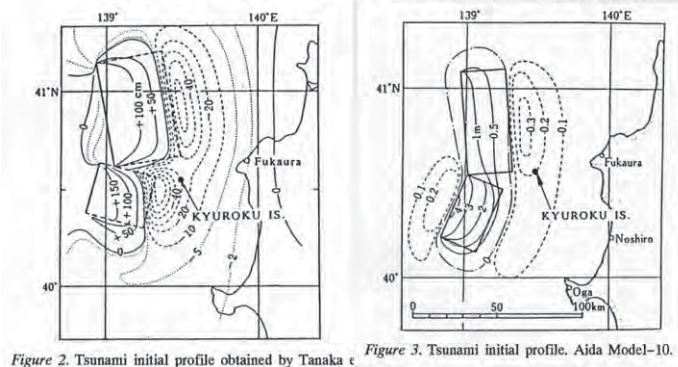


図表 133

日本海中部地震津波の場合

左は地震に基づいた海底鉛直変位推定値。最大は 1.5m。

右は津波を説明する海底鉛直変位推定値。最大は 4m。



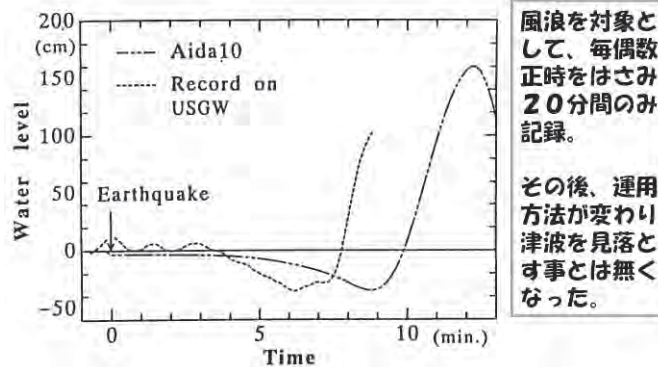
図表 134

では本当にそんなものが起きた例があるだろうかという、実は 25 年前の日本海中部地震津波がそれかもしれないのです (図表 134)。そのときは地震で津波の大きさを調べると、初期波形は 1.5m ぐらい上がったということです。ところが、津波を説明するためには 4m 上がっていかなくてはならないので、2 倍ぐらい違うわけです。ですから、アラスカの津波のときを例にして 2 倍ぐらいに考えた方がいいということは、日本海中部のときにも起きていたのです。

問題は、その津波を説明できるモデルが到達するよりも、かなり早く現実の津波が来ている

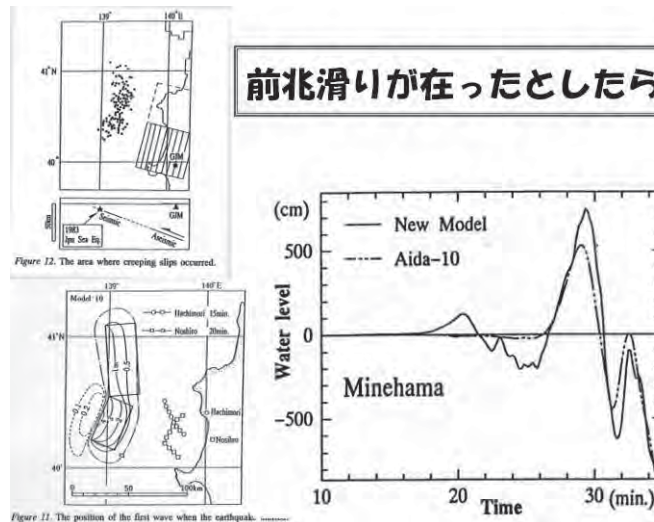
のです (図表 135)。4~5 分から、場所によっては 10 分ぐらい早いのです。これは地震の起こした断層ではなく、どうも別物らしいのです。左上の図のところを断面を取っていますが、ちょうど前兆滑りのようなものがあって、地盤が変形して起こされた津波があって、その後ちょっとして地震が発生したというモデルにすると、何とかうまく説明できます (図表 136)。ですからこういうものをうまく使って、よく観測していけば、直前ではありますが、津波予知、あるいは地震直前予知ができるかもしれません。

深浦水深50mでの超音波波高計記録



図表 135

前兆滑りが在ったとしたら



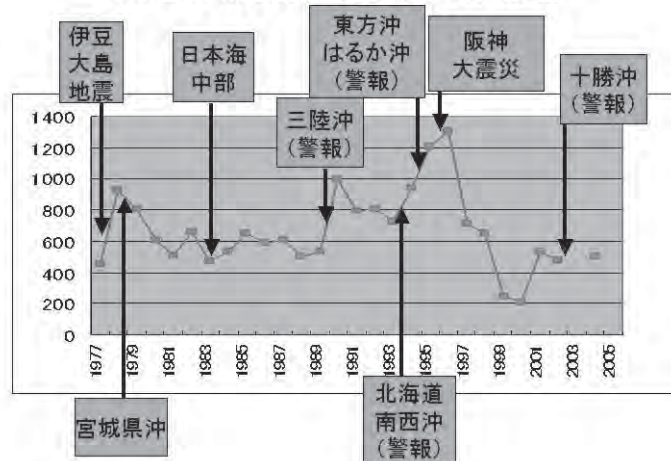
図表 136

そこで、いろいろな経験を伝えていくためには、住民の方に熱心にやっていただかなければなりません。これは先ほど言いました田老町の防災訓練の住民参加者です（図表 137）。1977年から、このところで参加者数がほんとに上がったのはなぜかという、伊豆大島地震があったからです。そして宮城県沖地震があったので、参加者の数が減りません。そしてずっと減ってきて、日本海中部の地震があったのですが、今度は増えません。というのは「あれは日本海のことだ」と思ったのでしょうか。次に上がったのは、三陸沖で警報が出たからです。こ

こでは北海道南西沖で警報が出ました。そしてはるか沖で警報が出ました。そして阪神大震災で、やはり人ごとではないと。それでだんだん下がってきました。気になっているのはここです。十勝沖で警報が出たにもかかわらず、上がらないのです。なぜでしょうか。何か災害があると人ごとでも思い出すのですが、この傾向が今のところ気になっています。

人間は忘れやすいものです。大体、大災害から8年ぐらいまでは、被災者もその周辺の方も「ああいうひどいことはないようにしてくれ」というのが行政への要望の第1位です。そ

田老町防災訓練の住民参加者



図表 137

れが8年過ぎると下がり始めます。10年たちますと、10年一昔で大体元に戻ります。最近のバブル景気も、大体10年周期があるというのをフランスのジュグラーさんが発見しましたが、それも10年たつと前の手痛い経験を忘れて、「今度こそ、おれはうまいこと切り抜けて、さっさとやることができるよ」と思う人の心が基なのだということに言われていますが、どうも10年一昔はどこでもあるようです。15年たつと災害の経験が全く役に立たなくなります。能代というところで調べたのですが、日本海中部で悲惨な目に遭われた方も、全く影響がなかった方も、「あなた方、次に来る災害に対してどうしておられますか」と聞いたら、「みんなで落ち合う場所を決めている」というのは両方とも15%です。そんなものなのです。「持ち出すものを決めていますか」と聞いても、「そんなものは……」というのが大体10~15%ぐらいで、15年たつとみんな忘れていきます。

30年たつと、土木技術者の間では、大きな橋が30年ごとに落ちるという有名な話があります。これは朝日選書で『橋はなぜ落ちたのか』という本になっています。日本でいうと吊り上げが三十三回忌です。「三十三回忌は何ですか」

とお坊さんに聞きましたら、「故人が亡くなられて32年になると、故人を本当に知っておられる方もご存命でなくなる。だから法事はやめてよいのです」と言われました。つまり30年というのは、代が一つ替わるということなのです。ですから、先ほどのように災害があった田老町の訓練の参加数が最近になって上がらないというのは、恐らく代替わりが効いているのではないかという懸念を持っています。

ただ、災害を忘れてはいけないというのですが、忘れないと困るのです。それは72カ月、6年の間に災害の体験を忘れないと、心に痛手を負って一生が駄目になるのです。私は日本海中部の後で、そういう方に一人お目にかかったことがあります。このPTSDを問題にして、何とかケアしようと言いだめたのが奥尻の津波のときで、それから2年後の阪神大震災の後では、これが大変話題になって扱われました。

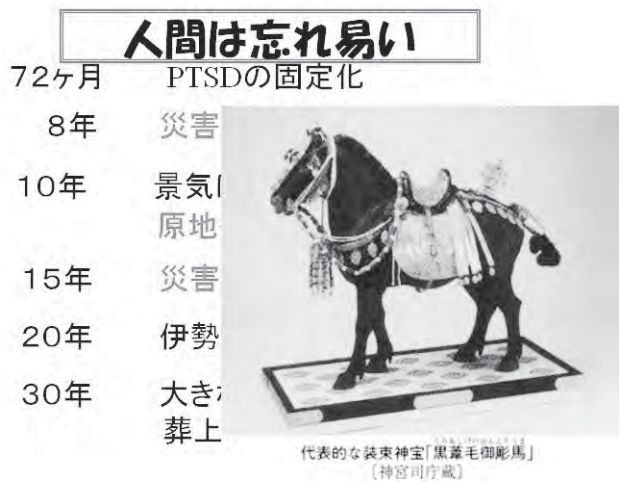
ではどうすればいいのか。「忘れては困る」「忘れなければいけない」。日本には、実に見事な例があります。それは伊勢神宮の式年遷宮です。20年ごとにやります。なぜ20年ごとにやるかというと、木造だから柱が腐る、だから建て替えるのだという話の一つあるのですが、実は掘

り出してみると、ほとんど腐っていないのです。そうではなく、神様に作って差し上げるお供え物を新調しなければいけません。ところが新調するときには、前のものは神様のものになっていますから、それを人間が手に取るということは許されないのです。ところが20年後で、まだ弔い上げに10年あるとなると、前のものを作った方はご存命で、ここはこうしたのだよということを教えてくれるのです。そういうことで700種類、数にして1400個ぐらいが20年ごとに、1300年前のとおりには作られて、差し上

げられるわけです。何かそういうことでうまくいけば、本当にいろいろな経験が伝わっていくと思います（図表138）。

ですから、お祭り騒ぎでも結構ですから（図表139）、とにかく過去を忘れないようにすることが、TSUNAMI 文化を世界だけではなく、われわれの子孫につないでいくための非常に大きな重要なポイントだと思っています（図表140）。

予定を超過しましたが、長い間ご清聴ありがとうございました（拍手）。



図表 138



図表 139



図表 140

東海豪雨から10年—何が課題だったのか 何が克服されたのか そしてなお、何が課題か?—



講師 辻本 哲郎
(名古屋大学大学院工学研究科教授)

(司会) ただ今より、第61回防災アカデミーを始めます。本日は名古屋大学大学院工学研究科教授、辻本哲郎先生にご講演いただきます。辻本先生は河川の土砂移動や洪水など、自然のメカニズムを解明し、安全・快適に暮らすための水工学がご専門で、河川の土砂移動や生物多様性などを総合的に研究される中で、治水、水防災にも積極的に取り組まれています。数年前からは水防災セミナーも手掛けられ、人の輪づくりも行われていて、10年前の東海豪雨のときには土木学会の調査団長を務められ、ハリケーン・カトリナの調査団の一員でもあられます。

本日はこのようなご経験から、「東海豪雨から10年—何が課題だったのか 何が克服されたのか そしてなお、何が課題か?—」というタイトルでご講演いただきます。

1. はじめに

(辻本) 遅い時間からの講義にもかかわらず、たくさんの方にお集まりいただき、ありがとうございます。この防災アカデミーはもう61回を数えるということで、毎回熱心に防災の議論をされていることを非常に素晴らしく思います。

実は5~6年前にも一度、ここでお話をさせていただきました。防災というと、地震などいろいろなパターンがあって、水の話を見せていただく機会は少ないのですが、前回も本当は東

海豪雨の話をしようと思っていたのです。そのころには東海豪雨に対する河川激甚災害対策特別緊急事業（激特事業）が進んできて、一段落ついて次の議論に入ってくるころだったので、その話をしようと思っていたのですが、その年には10の台風が日本を襲って、新潟豪雨も起きました。台風が上陸する前に、前線の影響で新潟と福井で豪雨があり、それから台風21号と23号によって連続的に大きな災害が起きた、その直前にお話ししたような気がするのですが、そのために、新潟県の五十嵐（いからし）川や刈谷田川の話之急きよ交ぜてお話しさせていただきました。今年も、先日この近くでは可児市や八百津で大きな水災害や土砂災害がありました。私がお話をしようとする、あちこちで災害が起こってあまりよくないのではないかと考えています。今回も前回のように最近の可児や八百津の災害の話もと思ったのですが、そこまで手が回りませんでした。

「東海豪雨から10年」という題は、事務局から頂いたものです。何を話すか聞かれたので、何が課題だったのか、何が克服されたのか、そしてなお、何が課題なのかについてお話しさせてもらうと言ったところ、それがそのまま副題になっていました。もちろん事前に確認していただいておりまして、私もほかにいい題が思い当たらなかったのもオーケーしたのですが、この題で話すのは意外と難しいのです。いざ日が近づいてきて話の内容を考えたときに、やはり

最初の何が課題だったかという話ですら、東海豪雨というものを頭の中でしっかり理解している必要があるので、まず東海豪雨とはどんなものだったのかということからお話します。

センセーショナルなタイトルなのに、ずっと説明かと思われるかもしれませんが、10年も前の話なので、意外と忘れていました。東海豪雨のときには、何があっても東海豪雨のような災害が二度と起こらないようにという話をしました。当時、庄内川や新川の河口ではラムサール条約やごみの埋め立ての話があったのですが、そんなものは吹き飛んで、まずは東海豪雨のような災害が起こらないように安全対策を立てようということになりました。人間の気持ちはあつという間に変わってしまうもので、豪雨災害の後にはやはり人命が大事だと言っていたのですが、そこから10年たってしまうと、今はまた全然違う状況になっています。東海豪雨ですら、たった10年なのに記憶している人が少ないということに気がきました。

自分もこの話をいただいてずっと頭の中に眠っていたものが呼び起こされた感じがするぐらいで、人間というものはつくづく次から次にものを忘れていく生物だと思うのですが、その

ときちょうど東海豪雨を忘れないために本を作りたいということで、声を掛けていただきました。そこで、私と中部大学の松尾先生、そして東海豪雨にかかわった国交省の事務所の所長が集まって、資料を全部確認して編集したものが昨日出来上がりました。今日は、包みを解いたばかりの冊子を持ってきています。最初は50冊ぐらい用意しておけばいいだろうと思っていたのですが、150冊も必要だということで、この立派な本を150冊も配るのはもったいないようにも思うのですが、熱心な方に読んでいただくために作ったものですので、ぜひ楽しんでください。楽しむとは少しおかしな言い方ですが、多分皆さまも感じられているように、この防災アカデミーが61回も続いているのは、物事の本質に迫っていく楽しさがあるからこそだと思います。その意味で、この本もぜひ楽しんでください。

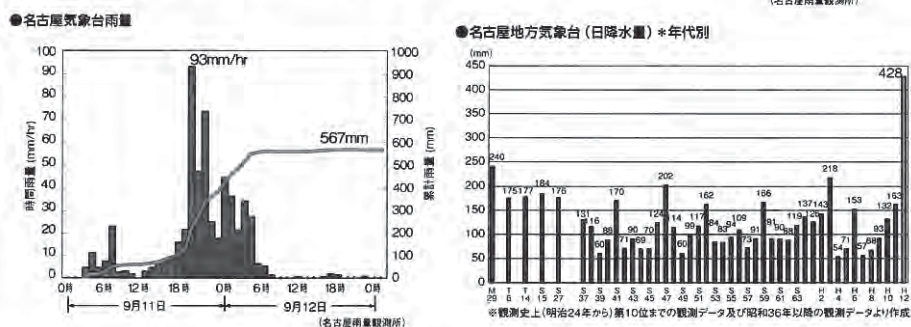
2. 東海豪雨とその災害の特徴

2-1. 未曾有の豪雨がこの地域に集中・停滞した

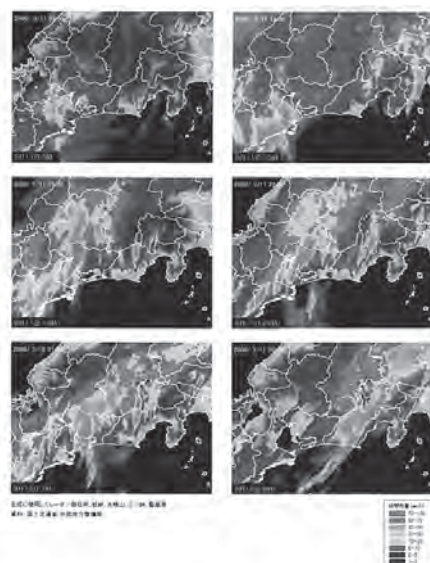
まず、東海豪雨では未曾有と言われる豪雨がこの地域に集中し、しかも停滞しました。こ

東海豪雨とその災害の特徴

(1) 未曾有の豪雨がこの地域に集中・停滞した



図表 1



図表 2

の周辺には1時間に100mm近い雨が降り、庄内川などの流域・集水域の中には500~600mmの雨が降ったということをご認識してください(図表1)。それがめったにない圧倒的に飛び抜けたものだという事は、名古屋気象台の今までの記録を見ていただければはっきりします。

最近リアルタイムレーダーをよくご覧になると思いますが、これで当時の雨の様子を再現すると、こうなります(図表2)。これは、今回の冊子を出すために整理していただいたものです。ご覧になって分かるように、赤い部分が同じ所に滞在したまま、じっと動かない状況が続きました。普通は赤い部分が西から東へとどんどん流れていくので、「もうしばらくで雨が降ってくるだろう」「もう少しするとやむだろう」と分かるのですが、このときは周りが動いていても強い雨域の所だけはいつまでも止まっているように見えるのが特徴的でした。

2-2. 都市の脆弱さが顕在化

もう一つ大事なことは、都市の水害に対する弱さが顕在化したことです(図3)。水の問題は、単に水道が止まって水が飲めないというだけで

はありません。例えば今はみんな水洗トイレですから、それも使えなくなる。現在の都市の生活様式は、水や電気、交通などいろいろなものがうまく供給されていないとどうしようもない形になっているのです。道路については、名古屋で言うと東西の道路が優先されて、南北の道路は交差点になるのを嫌って川の方へアンダーパスしながらうまく交差点待ちから逃げるように工夫されているのですが、そういう所が全部水に漬かって、場合によっては救援も難しくなりました。東西の道と南北の道が交差するところでは、アンダーパスになっている南北の交通がうまく通らなくなるような仕組みがもう出来上がってしまっているのです。

それから、大量のごみが発生します。当時、名古屋はごみ処理をどうするか非常に苦慮していたのですが、最終的には賢明な決定をしています。市民がまだごみの分別回収に慣れていない時期に災害がやって来て、水害があると非常に大量のごみが出るということも認識されています。このごみはどこへ行ったかという、冊子にも書いたように、かなりしっかり分別して処分されたという記録が残っています。

(2) 都市の水災脆弱さが顕在化

- ライフライン＝水・交通
- 道路の河道へのアンダーパス
- 生活様式
- 地下空間
- 大量の災害ごみ



図 3

(3) 新川ほかで破堤 連続堤という治水インフラが破綻



図 4

2-3. 新川ほかで破堤

それから、破堤が起きました。破堤はめったに起こらないものだと思っていましたが、このときは新川をはじめ、右の図4にあるように、あちこちで破堤しています。その後、2004年に10個の台風が日本に上陸しましたが、そのときにも破堤がたくさん起こっています。新潟の信濃川の支川である五十嵐川、刈谷田川の破堤による氾濫水がいろいろな所を襲って死者が出たことは、まだ多くの方が記憶しているこ

とでしょう。

堤防は切れなくても、低平地で降った雨水が排除し切れないでたまってしまふことを内水氾濫といいます。このときはそれが既に行進している中で、破堤によってさらに泥水が入ってきて決定的にダメージを受けるということが起こりました。左下の写真を見ていただくと、川と同じ色の水が新川の左岸に入っています。右岸の方は降った雨を出す所がなくてたまって水なので、川の水とは少し色が違うことが分

かります。

実際には切れていない所でも、川には川で守らなければいけない水位、堤防で守らなければいけない水位があって、それを超している所がたくさんありました。枇杷島や一色大橋の所では堤防ぎりぎりまで水が迫り、コンクリートの特殊堤の上に土のうを積んで越水をしのぎました。この河川を管理されている方は、恐らく堤防が切れることを覚悟されたと思います。これは、100V でしか使えない電気製品に120V の電圧がかかった状態で、製品が壊れても仕方がない状況です。

ここで少し勉強してもらいたいのですが、今の100V という数字は、堤防で言えば計画高水位 (HWL) になります。実は堤防は、天端いっぱいまで流せるようには設計してありません。日本の電化製品もそうで、100V と書いてあると、実際には天端に相当する120V ぐらいまでは大丈夫ですが、100V を超したら壊れても仕方がないということで、堤防でも計画高水位と天端の間には少し余裕高を取ってあります。

2-4. 内水被害

この辺りは大体低平地なので、川が地面より

高い所に流れています。雨が降ると、川はあちこちの水を集めながら流れているので水位が高くなり、一方低平地では降った雨が流れ込で、ポンプ場などが無いと水はけないようなところに人が住んでいるのです。

よく問題になったのは2m以上の浸水があった野並で、ポンプ場の設置が悪いなどいろいろなことを言われました。ポンプ場を造るときには、排水区域を決めて、そこに降る雨を考えながら排水機の性能を決めます。ところが、右の絵5で分かるように、この排水区にはほかの所からも水が入る仕組みになっていて、そこがまだ整備できていませんでした。われわれ住んでいる人間としては当然、もっと大きなポンプを設置しておけばよかったのと思うのですが、計画というものは、それぞれの計画が全部出来上がって一つのシステムとして働くという形になっていながら、実はそれぞれ進行状況が違うのです。ここはできるけれど次のものはできないという形で、アンバランスになっているところが結構あります。だからといって、一つの所にとんでもなく大きなポンプを設置すると、最終的には大変な無駄になります。結局、順番がうまくいっていないために浸水したところが目



絵5

立ってしまいました。

ここでは、ポンプが止まってしまったという事故もありました。ポンプが水に漬いてしまったために、燃料が届かず、ポンプが動かなかったのです。同じことが、ハリケーン・カトリーナの際にもニューオーリンズでたくさん起こりました。今、ニューオーリンズのポンプ場では給油装置を全部高い所に置いて、いざとなれば重力だけでも燃料が流れるような仕組みにしています。すなわち、何重にもセーフティーを確保する形にしておく必要があるということです。

もともとは、ポンプが水に漬いて動かなくなったことによる内水災害ではなく、やはり非常に雨が降っていろいろな所から水が集まったからです。ですから、水が漬いてしまったことは仕方のないのですが、そうなったときにはできるだけ早く解消しなければいけません。そのときにポンプが動かなかったということで、ポンプ停止は浸水が長期化した一つの原因であることは確かです。

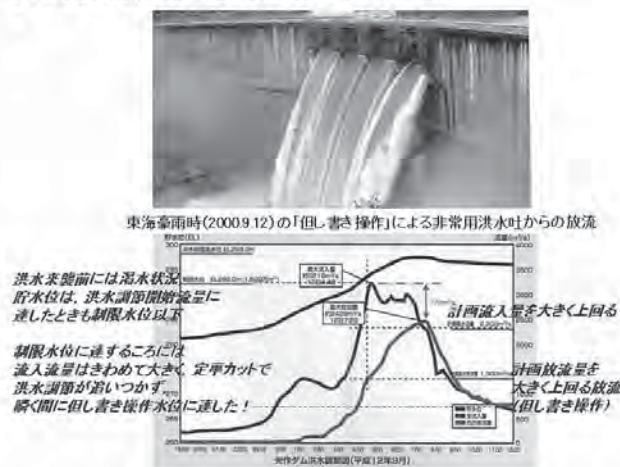
2-5. 矢作ダムで「但し書き放流」

東海豪雨のときは、名古屋が大変で周辺の所まではなかなか話が行かなかったのですが、しばらくしてから、矢作ダムの但し書き放流が非常に大きな問題になりました。これは、2004年に10個の台風が来たときにもあちこちで行われて、非常に注目されています。

図表6の下のグラフをご覧ください。上の黒い線は、ダムの貯水池にたまっている水の水位です。それがぐっと増えていって、途中で何とか真つすぐになっていますが、このまま増えていくと、ダムを超えてしまいそうな状況にまで至りました。このダムの計画最大放流量は $1300\text{m}^3/\text{s}$ でしたが、それだけしか放流しないとあふれてしまうので、青い線で表した全流入量をカットしながらも、計画放流量を超える水を流さざるを得なかったのです。それでも、できるだけ下流で急に水位が上がらないように工夫しながら水を流すことを、但し書き操作による放流（但し書き放流）といいます。

ダムには非常用洪水ゲートが一番上に付いていて、そのいざというときに貯水池が満杯にならないように開ける安全弁が働いたわけです。

(5) 矢作ダムで「但し書き放流」
ダムの洪水調節(ダムという治水インフラ)の破綻



図表6

これは、ダムがその機能を十分に発揮できない状況になったということでもあります。

全体の計画から言うと、例えば矢作ダムより上流で構想されていた上矢作ダムというダムは河川整備計画で造らないことになりましたが、河川管理の手法としては、上でもう少し流量をカットしておけば治水上有利であることは間違いありません。先ほどのポンプ場は、そこに降った雨をきちんと流すための設計になっていたのですが、ほかの所から水が入りました。矢作ダムでは、もう少し上の方で流量をカットしておいてくれたら、ここへ入ってくる量がこんなに多くならなかったということで、計画のさまざまなアンバランスを感じるができます。

2-6. 広範囲でさまざまな災害形態

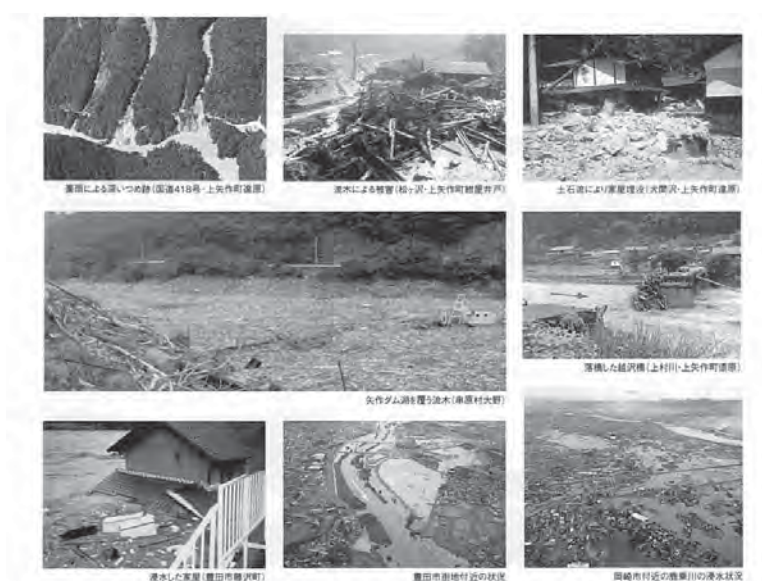
東海豪雨のときは、広範囲でさまざまな形態の被害が出ました。東海豪雨というと都市型災害に目を奪われがちですが、いろいろな所でいろいろなタイプの災害が起こっていました。これだけ災害がオンパレードになったことはこれまでなかったのです。私自身は東海豪雨を都市

型水害に特化してお話しすることにしていて、あまりこちらの方は話をしなかったのですが、それが一番大きな特徴ではあるものの、河川の破堤によるダメージを受けたのは都市部だけではありません。

ダムの但し書き放流でも、都市まで影響を与えることは当然ありますが、一般的には河川の中流部に大きな影響を与えます。すなわち、計画よりも大きな流量が流れてくるのですから、河道に沿って甚大な災害が起こっているのです。河岸の浸食はもちろん、矢作川には矢作ダムの下流にも幾つものダムが存在しますが、ここでもいろいろな所でオーバーフローして、河道に沿った家が被害に遭っています。

もっと上流へ行くと、恵南豪雨という表現をされていますが、今回の広島県庄原地区の災害とちょうど同じように、沢抜けと呼ばれた現象が起きました（図表7）。ここは、風化した花崗岩という共通の地質を持っているという話です。

氾濫もこれだけありました（図表8）。それから、矢作ダム但し書き放流による災害もありました。

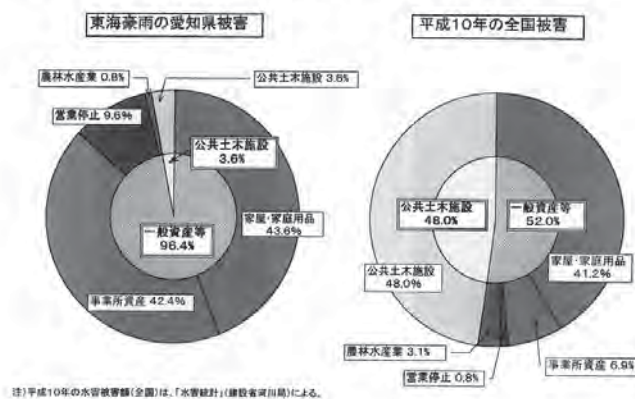


図表 7



図表 8

(7)被害に占める一般資産災が大きい。



図表 9

2-7. 被害に占める一般資産災が大きい

7番目の特徴は、被害に占める一般資産災が大きかったことです。全国的に見ると、最近是一般資産の被害と護岸や橋梁、堰などの公共土木の被害が半々となっているのですが(図表9)、東海豪雨に限って見ると、96.4%までが一般の人たちの資産になっています。このような災害が、この後だんだん増えてきました。川の治水施設はいわば軍隊で、われわれの生活を前面で守ってくれるものなので、そこに被害が出るのはトラブルがあれば仕方がないことです。ですから、それまでは公共土木災が主体だった

のですが、東海豪雨では中まで被災してしまいました。市民までが戦争に巻き込まれたのと同じ状況です。

3. 東海豪雨災害の課題抽出

3-1. 新川の破堤原因

次に、課題を抽出するために、大きな問題である破堤原因を見てみます(図表10)。これも訴訟などいろいろなことがあったので、もう少しきちんと振り返っておくために、新川の破堤を取り上げてみると、愛知県の河川堤防緊急強化検討会が当時まとめた破堤の原因には、まず



図表 10

大きな流量がありました。もともと大雨が降って新川の流量が多くなっていたのに加えて、庄内川から洪水の分派があって、 $300\text{m}^3/\text{秒}$ 程度の流量が出てきています。当然、どちらもいっぱいいっぱいのところまで守っているのですが、ある程度能力を超えたときには、庄内川から新川に流すという仕組みがあります。これは、庄内川の方が高い安全度で守る川だという認識があるからです。大きな川は高い安全度にするということは、計画上でも同じです。どちらも計画上で動いているときはいいのですが、計画流量を超えるときには、強いものから弱いものへ、つまり、氾濫面積が大きく、氾濫域における人口や資産の多い所から、それよりは少ない方へ水を流すという仕組みがあったのです。

もう一つの原因は、水位が高かったことです。流量相応の水位よりももっと上がっている。これは、本来、想定される水位よりもっと高い所に橋を架けておかないといけないのに、低いままの橋がたくさんあったからです。そこに洪水がぶつかって、どんどん下流からせき上がり、破堤点では堤防からあふれるかあふれないかというところまで水位が上がりました。す

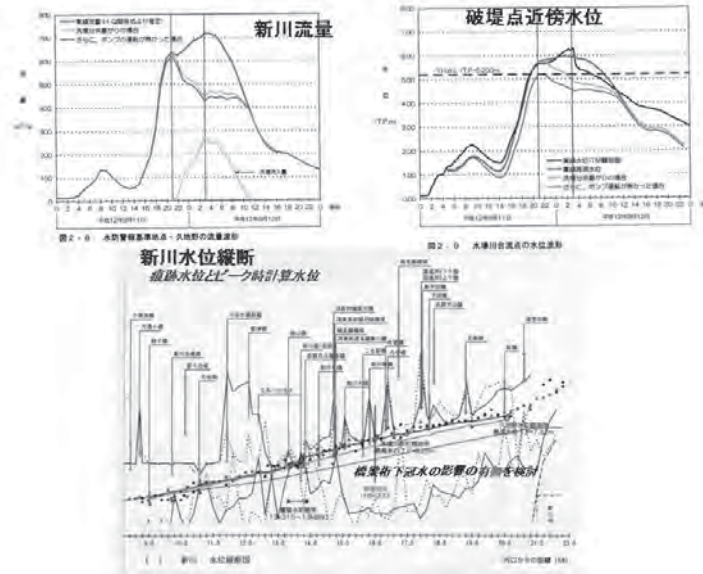
なわち、100V までは安全な装置に 120V の電圧がかかったということです。

また、堤防が土構造で、大雨が降って水がたくさん入っていたことも一つの原因でした。

3-2. 新川の流量・破堤点近傍水位・水位縦断のグラフより

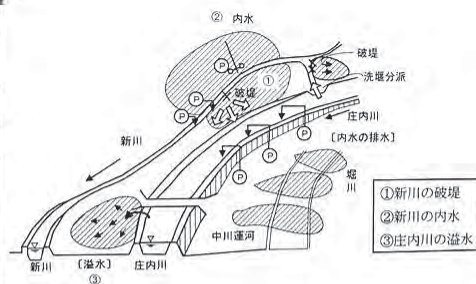
新川の流量を見ると、明らかに下のピンク色の曲線で示した新川だけの流量を大きく上回っています(図表 11)。もう一つ、青と黄色の差を見てください。青は、ポンプの運転がなかった場合の流量です。すなわち、堤防の内側、人が住んでいる側には水があふれているので、その人たちはできるだけ川に水を吐きたいと考えます。吐いたから堤防が壊れたのだという意見も当然ありますが、流量で見ればこのぐらいでした。ところが、庄内川から入ってきた流量は $300\text{m}^3/\text{秒}$ 近くあります。

さらに右側の図は、破堤点の水位です。この流量に対して考えられる水位を赤い線の示しています。ところが、実際には既に計画高水位を超えていました。破線の HWL と書いたところが 100V ラインに相当します。そこは既に自己



図表 11

東海豪雨新川破堤災害(2000.9)



新川破堤部の土質構造

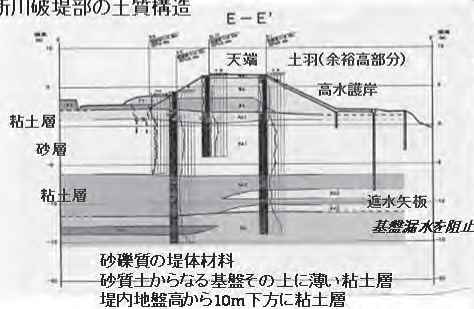


図 12

流でも超えているのですが、庄内川からの流量が分派してきて、それを大きく上回りました。それでも、目盛りで言えば天端の600以上には達していないのですが、実際には黒い線のように肝心なときにぴくっと上がっています。これは、橋に洪水がぶつかって水位が上がっているのです。

下の図は、横軸に河口からの距離を取ったものです。これは、堤防の高さと橋梁がどこにあるかを全部示した図ですが、肝心なのは、橋梁の桁下が冠水したかどうかで水位がこれだけ違うということです。青い水位は桁下冠水が影響した水位です。赤い線が計画高水位です。橋にぶつからなければ水位はもう少し低かったので

すから、何をしたらいいか分かると思います。

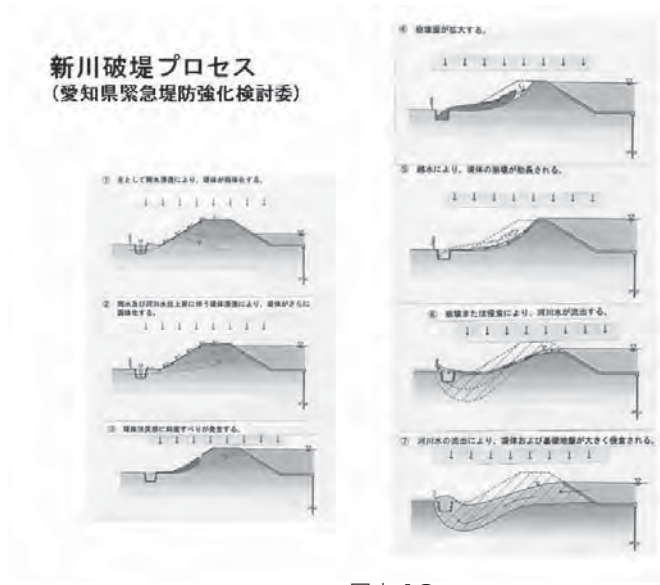
まとめますと、図12の右上にあるように、庄内川は危ない川なのにもかかわらず、名古屋市はポンプでたくさん庄内川に排水しています。もちろん、堀川や中川運河でも同じでした。一色ではついに水があふれてしまいました。水防活動がなかったら、破堤したかもしれません。ものすごく大きな流量がこちらに流れていって、それに比べると比較的小さな流量ですが、庄内川から300m³/秒が分派したために、①の地点で破堤しました。でも、もともと内水で浸水していて、ポンプでも吐いているというぎりぎりの状況だったのです。

右下の写真は、破堤点ではなく、洗堰です。これは庄内川から新川へ水を取り入れて、放水路のようになっています。放水路に水を流すと、下流は確実に危なくなります。ちょうどダムの放流と同じですから、本来ならここでサイレンが鳴り響かないといけないのですが、誰かがゲートを開けたわけではなく、自然にあふれているので、そんな仕組みにはなっていませんでした。

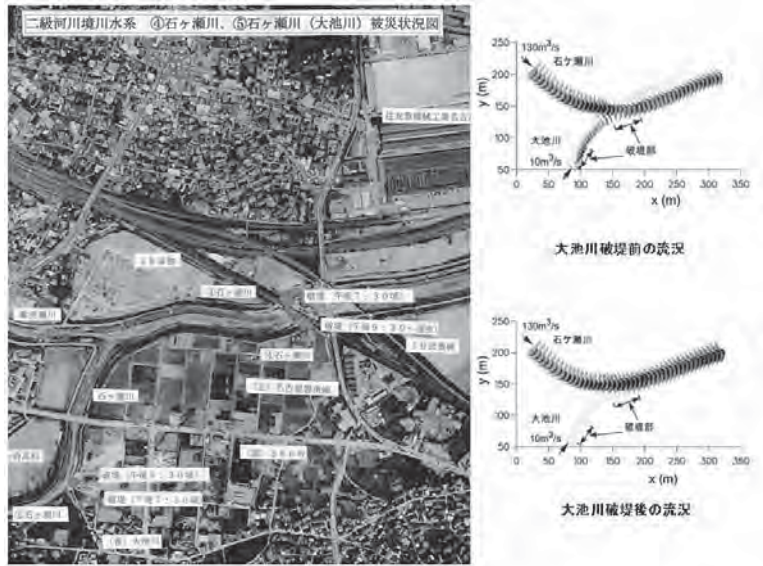
3-3. 破堤プロセス

新川の堤防はどのようにつぶれたのかというと、まずたくさん雨が降り、水位が上がって、堤防の中に水が入ってくると、安定を失い、既に水位は天端まであって、それが全破壊に至ったという話です（図表13）。

違う仕組みの破堤もたくさんあります。境川水系では、本川に石ヶ瀬川が合流し、また別の川が合流しています（図表14）。*最初に支川大池川（左下の部分）が破堤して、引き続いて合流後のすぐ下流（そのすぐ上）で破堤し、氾濫水がずっと流れていって、鉄道盛土と河川の交差するところで（⑤の辺り）氾濫水が堤内側から堤防を乗り越えて（④の方）流れ落ちたために、ここ（真ん中の赤丸の地点）で破堤したというように（DVD 00:33:50）*、破堤はいったん起こりだすと氾濫水によってさまざまな挙動が連動するということが、当時既に注目されていました。



図表 13



図表 14

3-4. 課題

さて、東海豪雨にはどんな課題があったのか整理します。第一に、これは未曾有の豪雨でした。未曾有の豪雨だと、当然、治水インフラは破綻します。ここには、治水計画が進捗していないという課題がありました。その結果、排水区域を決めているにもかかわらず、排水区域外から水が来たり、上流のダムで助けてくれていると思っているのに、そのダムはできていないということが起こったのです。そのようにさまざまな計画の積み上げでできている部分に弱いところがあって、堤防が破堤し、ダムでは但し書き放流をすることになったのです。つまり、治水インフラの機能が破綻してしまったわけです。

だからといって、既に出てきている治水インフラがなければもっと早くから水浸しになっていたり、氾濫水域もずっと大きく被害はより大きかったでしょう。堤防があるからこそ高い所まで守ってくれて、水を海まで運んでくれるから、仮に破堤してもあふれる水は少しで済むわけです。大雨の時には流量がだんだん増えていくので、大きな流量を全部流さないといけない

のですが、少しでも辛抱すれば、最後の少しだけがあふれることになります。早めに切れたら、そこから全部あふれますから、やはり高めの堤防があって、ぎりぎりまで守ってくれたら少しは助かるという話です。もちろん、堤防が壊れたときには危ないので、堤防際の人は早く逃げないといけません。これは大事なことです。でも、早く逃げないといけないからといって、そういう危険性を作ったからいけないのだという人がよくいるのですが、総合的に見ると、やはりできるだけ早く水を流しておく必要があって、ゆっくり流せば大変な被害になります。

もう一つの課題は、計画・管理の不整合です。いろいろなところが複雑にかみ合っていて、新川の洪水にしても、単に一言で済むような話ではありません。このような不整合をしっかりと認識して解き明かすことも非常に重要です。

野並地区は、内水氾濫で2m以上水が漬いてしまいました。この地区は、天白川やその支川の水位より低いところにあります。支川はもともとは高い所にあるのですが、場合によっては本川の方が高くなるので、支川の水が本川に入

らなくなるという話もあり、あふれたら大変なことになると思います。この原因は大規模豪雨と排水区域外からの流入で、とてもポンプだけでは出し切れませんでした。なお、雨がたまって冠水する場合は徐々に水が来るのですが、河川からあふれて横から入ってくる水は非常に高速な氾濫流ですので、避難するときには注意しなければいけません。もう一つ、ここはポンプが燃料供給系の水没で停止してしまったのですが、既に天白川の水位が上がっていたので、本来であれば人工的に停止しておくべきところでした。それから、夜中なのでなかなか難しかったのだと思いますが、避難体制の不十分さも指摘されています。

また、ダムに土砂がたくさん入っていたというダム管理の問題もありました。ダムはできるだけポケットを持って洪水に備えておかないといけません、その大切さを身をもって体験することになったわけです。ダムがあふれそうになるまで土砂がたくさん入ってくるなどともないことで、普段からきちんと掘削して、入ってくる土砂をうまく排除しておかなければいけません。よく調べてみると、矢作ダムは貯水池の堆砂が非常に進んでいて、洪水調節するにはいっぱいいっぱいの状況なので、掘削しないといけない、あるいは今後入ってくるものを上手に排出させないといけないという課題がありました。

もう一つは、途中段階の治水インフラの効率的運用です。このときは、治水計画が工事实施基本計画から新しい河川法での基本方針と整備計画に変わろうとしていました。昔は大体今の基本方針と同じような工事实施基本計画だけがあって工事をしていたのですが、河川法改正後、基本方針はこうだけれど、20~30年の間にここまでやるという整備計画が必要になりました。矢作川の問題でも、この川で150年に一

度の洪水に対して守りたいというイニシアチブがあるとき、それがいつまでたってもどこまでできるか分からないということではなく、20~30年の間にはここまでやるという決め方をするわけです。そうすると、何を優先的にした方がいいかということになります。その中で、矢作川では上矢作ダムよりも先に、例えば鶴の首の掘削や明治用水の改築などいろいろな案が出る中で、20年、30年と時間を設定することによって、新しい計画が決まってくるという仕組みになりました。

このように、段階的に安全度が進んでいくという認識が皆さんの中にきちんと根付いていくことが大事です。「将来の安全度はこうだけれど、今の安全度は分からない」ではどうしようもありません。今の安全度はこうで、10年後にはこう、20年後にはこう、40年後にはこうなっていくのだけれど、今は場合によって複合的な災害が生ずる可能性があることを認識することが必要で、それが少し進みました。

実際に整備の進捗と安全度の確認はきちんとやっていく必要があります。特に災害復旧のときには、ただ単にあったものをそのまま再現するのではなく、同じような規模の外力が来ても災害にならないように考えます。特に急いでやるものについては激特事業といいます。激特計画が入って、その後に整備計画が入り、20年、30年たった後には、さらにどんな安全度にしてわれわれの地域を守っていくのかというように、段階をしっかりと認識できるように早くしたいということが、当時課題になりました。

森林管理の問題は、口で言うのは簡単ですが、なかなか難しいのです。その下の地質、土壌も関係していて、矢作川の流域や庄原地区など、風化した花崗岩地帯ではそう簡単に豪雨対策が取れるものではありません。

このときは、降雨・洪水予測の問題や、治水

インフラ破綻の情報提供、破綻の情報をどんなふう流すのかも課題になりました。洗堰から越流分派するときには、当然そのことを下流側に伝達しなければなりません。堤内地で何が起きているのかを、河川管理側にもきちんと分かってもらう。あのときは内水のための貯留池も既に満杯になっていましたので、ここから先は何の助けもないということを早く市民に知らせなければいけません。その他、ポンプ運転が調整によって止まったことや、遊水地も満杯になると、そこから洪水の様子が変わりますので、治水インフラが破綻しているという情報を提供することも非常に重要です。

避難体制の話は何度も言われましたが、水防体制、避難体制、それから、そのときの話だけではなく、平常時からの準備も非常に重要です。水防体制では水防が徹底できなかったことが課題となりました。なぜかという、堤防上にたくさんの不法駐車があるのです。また、新幹線の所には鉄条網が張ってあってなかなか入れないなど、いろいろな問題が実際にありました。

そして、都市型水害への対応として、地下施設はきちんと防水板を地下鉄や地下街の入り口に付けて、どんな防災体制が組まれているのかをチェックしなければいけません。それから、ライフラインはいつでも安心だという神話を信じるのではなく、きちんと耐災性を考えておかなければいけません。また、最後まで浸水してしまい堤防道路に皆さんが集中して、その上で交通渋滞も含め交通が破綻すると、最終的に緊急自動車も走れなくなるという課題や、アンダーパスの改善なども課題になっています。

4. 課題克服に向けた努力

4-1. 災害復旧から再度災害防止

課題の抽出が終わった後、われわれは課題を

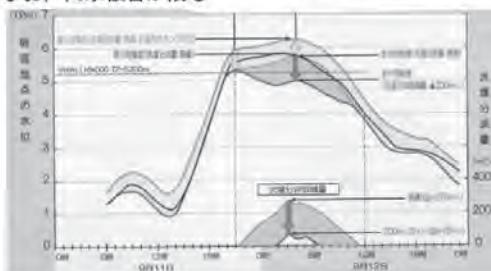
克服するための努力をします。その課題のうちのどんなものを克服したのか、克服するためにどんな努力をしたのかをまとめました。

まずは災害復旧をしなければいけません。壊れた堤防や浸水した所に関しては、緊急にいろいろなことをしなければいけない。ただし、単なる災害復旧ではなく、再度の災害を防止することにつながる必要があります。同じようなものが来たらまた壊れるということでは駄目なのです。実は、普通は原形復旧が原則なので、もとあったものをそのまま造る復元するのですが、愛知県では努力されて5年間で約1000億円の激甚災害対策特別緊急事業をしています。東海豪雨の一般資産災や公共土木災の合計は7000億、8000億と言われてますからこうした災害対応が先にあればと嘆くしかないです。新川についても破堤原因を全部チェックしながら事業を進めました。

新川では、激特後もHWLを超すけれど、庄内川からの分派流量ぐらいはカットしてくれということで、カットする分を決めました(図表15)。新川にできるだけ負担を掛けないようにする。その代わりに、庄内川は、先ほどの100Vを超えた120Vまでのところが課題となりました。実は、その20V分として庄内川では余裕高を2mとしていたのですが、それを1.2m、すなわち6割にしています。なぜかという、新川に流していた流量を自分のところで引き受けるため、庄内川の流量は増加しますので、その分、余裕高を2mから1.2mにして当面は我慢しようということです。それから、ポンプはやはり排水調整をする。名古屋市のような強い所といえども、大事なときにはちゃんと止める、新川に入ってくる所も大変だけれど、堤防が切れたらもっと大変なのだから、ポンプは早めに止めるというルールも作ります。

激特事業による治水安全度の向上

新川 HWLを越す水位、継続時間は大幅に抑制
なお、内水被害が残る



庄内川 堤防高-1.2mに洪水位を押さえ込める
(本来は余裕高2.0mが計画)
ポンプ排水の調整が必要

図表 15

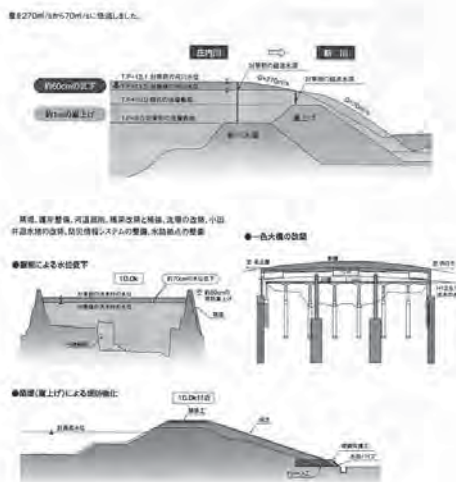
庄内川激特事業

洗堰嵩上げ

↓
流量増

↓
築堤
河道掘削
橋梁架け替え
余裕高の割引

↓
堤防の質的強化



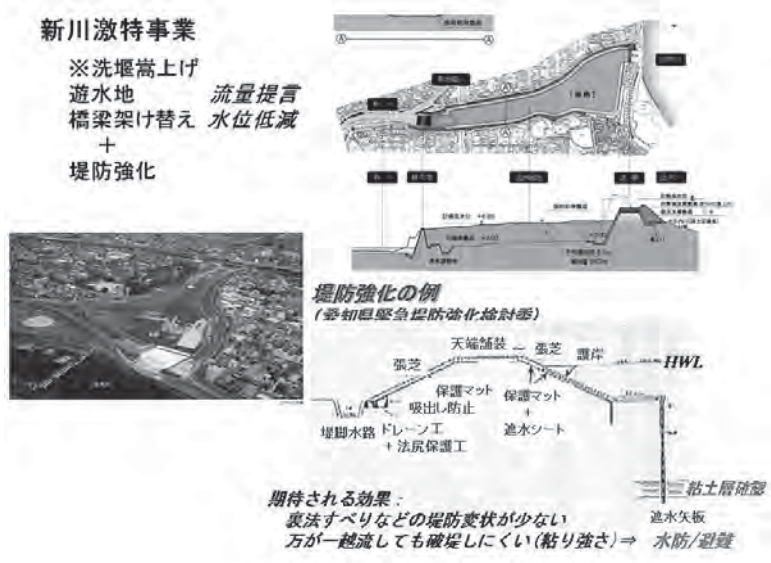
図表 16

庄内川では、洗堰の嵩上げをしてなかなか分派しないようにしました（図表16）。そうすると流量が増加するため、ある部分では築堤し、ある部分では河道を掘削して、ある部分では橋梁の架け替えをしています。堤防にとっては流量の問題より水位が上がるのがきついわけですから、水にぶつかるような橋梁は架け替える必要があります。ただし、そう言っても誰も簡単には架け替えてはくれません。お金がないのです。でも、治水関連の激特として、何とか幾つかの橋は掛け替えられました。

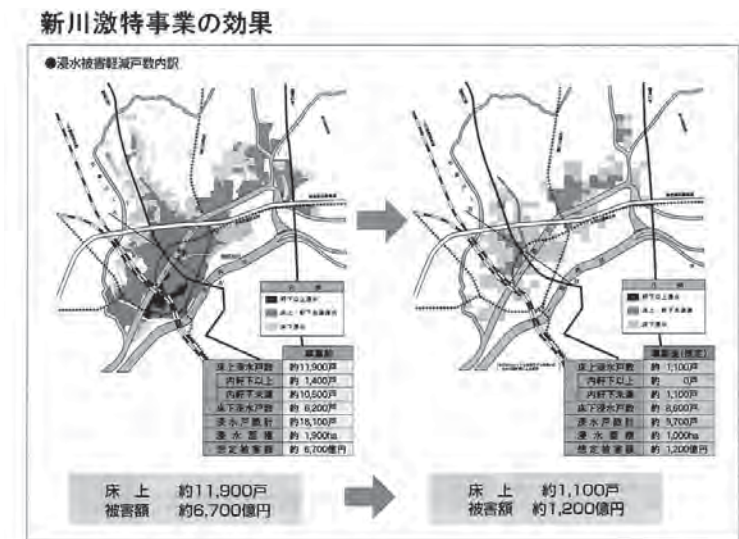
堤防も通常のものでは危ないので、少し固めたり、芝を植えたり、中にシートを入れたり、

堤防の中に入った水がスムーズに出るようなドレーン工を付けて、若干の工夫をしています。といっても、目詰まりすることもありますし、シートは永久構造物ではありませんから、いつまでもこんな状態で放っておくわけにはいきませんが、激特としてはこのようなメニューを取りました。

一方、新川は、庄内川から入った所で、すぐに、川に入る前にいったん水をためる仕組みとしました（図表 17）。流量は、庄内川が辛抱してくれたので減らすことができました。でも、悪さをしていた橋梁は全部付け替えないとイケません。それから、完全に水位を下げることは



図表 17



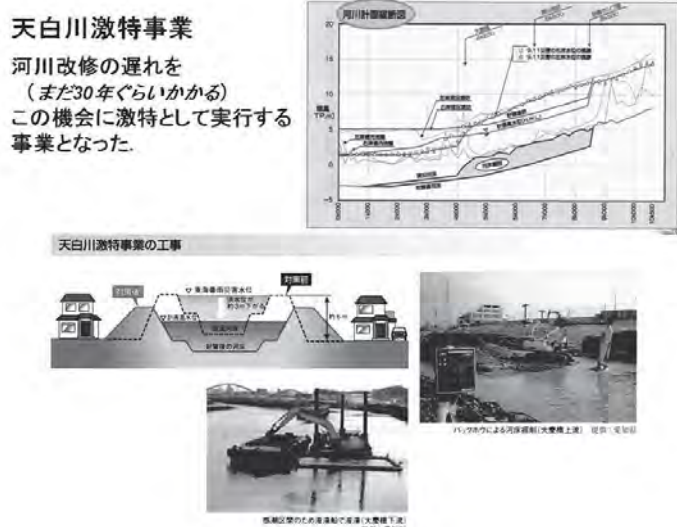
図表 18

できないために、堤防の強化もする必要があります。堤防に芝を張ったり、保護マットを入れたり、吸出し防止材を入れたり、いろいろ工夫した堤防を造りました。万が一越流しても破堤しにくいというレベルまではできるようになりましたが、これで完ぺきではなく、HWL まで水が来たら、周辺住民が速やかに避難するという体制が必要です。

新川で言えば、そのままでもう一回同じような雨が来たら 6700 億円ぐらいの被害が出るところを、激特事業によって、若干まだ床上浸

水で被害が出るところはあるので 1200 億円の被害額になるという形で、5000 億円ぐらいの被害低減になるという効果があります (図表 18)。

天白では図に示すような河道を掘削する河川改修を計画していたのですが (図表 19)、そう簡単にお金はつかないので、ゆっくりとしか進んでいませんでした。これまで一生懸命構造物を造ってあとは上流が未整備だったのですが、今回の災害があったため、激特事業により、あと 30 年ぐらいかかりそうだった河川改修を一



図表 19

気に5年間で実行することができました。

4-2. 都市水害対策

都市水害への対策は、国も非常に意識しました。中央政府は同じような災害が東京で起こると大変だと考えて、当時の建設省ですぐに都市型水害緊急検討委員会を立ち上げ、一体どんなことをしなければいけないのかを検討しています。9月11日、12日に災害があって、その後、委員会を重ねて、11月初めに提言を出したのですが、ここで情報提供や危機管理、下水道との連携など、いろいろなことがプランとして出されて、翌年の夏から都市型水害対策検討委員会が立ち上がり、どのようなメニューで計画を立てたらいいか、しっかり議論が始まりました。

4-3. 名古屋市緊急雨水整備事業

名古屋市は時間雨量 50mm 対応だった施設を、10年かけて 60mm 対応にしています。2010年ですからそろそろ終わるのですが、さらに、今回降った 97mm に対して、床上浸水がおおむね解消すること、地下の雨水貯

留施設建設がメニューになっていました。これは、特定都市浸水被害対策法と連携するという話で、堀川がその特定都市河川になったので、堀川の河川整備計画と連携して、下水道の計画で貯留する部分を堀川が河川としてうまく排出していく仕組みが出来上がるという形になっています。

4-4. 水防法改正

それから、2001年に水防法が改正されて、指定河川の洪水予報や浸水想定区域の公表をして、それが円滑・迅速な避難につながるようしようということが言われました。これは、東海豪雨があったから緊急にできたわけではなく、それまでもずっと検討していたのですが、一つのきっかけになったことは確かだと思います。

4-5. 排水ポンプ運転調整

この地域では、庄内川も新川も最初からどれぐらいの水位になったらきちんとポンプを止めようというルールを決めました。今までは当たり前のことだったのですが、ルールは決まって

いないし、協議会などもないので、いつまでも止めないということがあって、「あそこが止めなかったからうちの堤防が切れたんだ」とけんかになりかねないので、今回きちんとルールにしています。これも、東海豪雨を経験してわれわれが少し賢くなったところです。

4-6. 特定都市河川浸水被害対策法

次はある意味では政治決定のはしりのようなものですが、行政というよりむしろ政治決定での仕組みです。今まで国や県が行う河川管理と、市や町の下水道行政が行っていた雨水排除とが連携できるように、特に都市化した所では特別に指定した川で連携しやすいようにしようという特定都市河川浸水被害対策法が出来上がりました。これも東海豪雨をきっかけにできた仕組みで、堀川や新川ではこの仕組み（図表20）を利用しています。

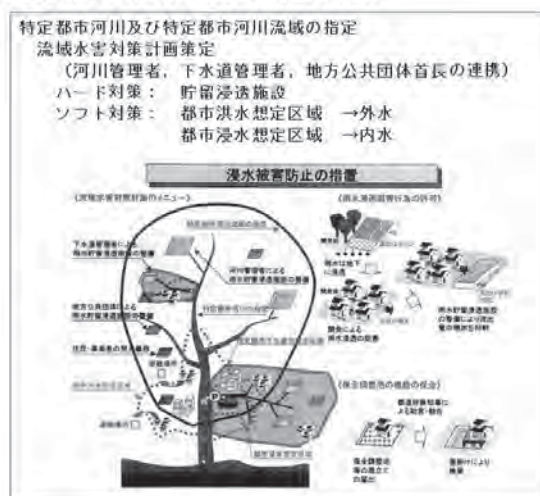
4-7. さまざまなシナリオでの氾濫シミュレーション

愛知県では、現在、さまざまなシナリオの氾濫シミュレーションができるようになりました。すなわち、どんな雨が降っても、どこに水

がどれくらいあふれるかを正確に予測し、検証することができるわけです。これが出来たのは、誠に申し訳ない話ですが、東海豪雨で名古屋が水没して、その痕跡があるからです。数値計算はいくらでもできるのですが、検証対象がなかなかないのです。あちこちで小さいものはありますが、これくらい大規模な例はありません。水没したことがきちんと遺産となったということで、東海豪雨での水没地区のデータを使って、正確なシミュレーションができるようになりました。これでいろいろな想定計算を行って、膨大な情報を市町に流しています。

ただし、水防法の枠組みの中でハザードマップを各地で作るように言ったところ、そんな難しいものは分からないし、複雑なデータをたくさん渡されてもハザードマップは作れないということで、あまり機能していません。この後のサービスがうまくいっていないのです。科学技術は進んで、東海豪雨の実績を受けていろいろな予測ができるようになったものの、それがうまくハザードマップやそれを使った避難体制につながっていないのです。

(6) 特定都市河川浸水被害対策法(2003)



図表 20

4-8. 緊急提言とアクションプラン

2004年には台風が10個も上陸し、さまざまな災害をあちこちに残していきました。東海豪雨はこれで忘れ去られてしまいます。それまで東京では、名古屋で起こった東海豪雨災害のようなものが東京で起こったらどうするのかと、全国の学者や行政の責任者を集めて会議をしていました。ところが、このときにはあちこちで災害が起こり、さまざまな災害のパターンがあったために、「総合的な豪雨災害対策についての緊急提言」が同じ年に出され、翌年には「豪雨災害対策緊急アクションプラン」が出されて、われわれも講演会をしたり、本を出版したりと慌ただしかったのですが、これで東海豪雨の継承や対応など吹き飛んだのです。

当時は内閣府でも「集中豪雨時等における情報伝達及び高齢者等の避難支援に関する検討会」ができています。このときには、220人の方が亡くなったのです。伊勢湾台風で5000人ほど亡くなったのですが、それを半世紀かけてわれわれは10人台に減らしていたのに、この年だけで200人の方が亡くなってしまいました。これは非常にショックで、避難勧告などいろいろなことを議論することになっていきます。そして、豪雨災害の議論が始まり、緊急提言を出して、政策提言が出ました。

ここでは既存のストックを上手に使う、すなわちいろいろなダムをフル出動させてでも守ろうと、発電ダムの効果を期待したり、事前放流、中小河川の堤防の強化、粘り強い難破堤堤防など、東海豪雨で議論したことがまあまあ生かされています。新川でも庄内川でも何とか我慢する難破堤堤防を造って、それを避難と結び付けようと思いました。決して壊れない堤防を造るのではなく、壊れにくい堤防を造るということは、住民が逃げるのをサポートすると言っているだけの話で、完全に守ってあげるとは言っ

ていません。それから、輪中や霞堤などを上手に使った、連続堤にこだわらない河道整備や、ハザードマップを作成の強化、避難勧告や避難指示に加えて、それより前に避難準備情報を出すことなどがこのときに決まっています。

この中には東海豪雨対策になっているものもあるのですが、この議論をしているときにはみんなすでに東海豪雨のことを忘れていました。このときには新潟県や福井県、兵庫県、京都府で災害が起こっていて、愛知県では起こっていないので、一般的にいろいろなことをやろうということ、愛知県の市民も、われわれも、全国問題として取り上げてしまいました。ですから、愛知県で進んでいるかどうかはあまりチェックしないままになっています。だから、何ができていないのかもよく分からないのです。防水板も全部付いたのかどうか、付けた防水板が機能しているのか、地下街にはちゃんと誘導係を置くことができたのか、あまりチェックできていません。

4-9. 水防法改正と河川整備基本方針・河川整備計画の策定

そのような豪雨災害を受けて、水防法はさらに改革されて、協力団体制度などいろいろなものができていきます。

それから、河川整備基本方針や河川整備計画を作ろうと言ったのは1997年でしたが、その3年後に東海豪雨が起こり、さらに大きな災害が起こって、やっと新しい仕組みが動いてきました。将来的に守るべきところ、20~30年で守るべきところをきちんと押さえるということで、特に庄内川・新川では激特としてやった部分とどう違うのかが大きな問題になります。

庄内川では、基本方針を2005年に策定し、河川整備計画は2008年に策定して、激特における暫定措置の解消を図りました。激特では、

余裕高を 1.2m にして、足りない所は足しています。庄内川は、昔は名古屋側の堤防の方が高かったのですが、激特で危ない所を手当てすると、名古屋側の方が低い状態になりました。ある意味ではかまわないのですが、昔と違うアンバランスになっていたのが、庄内川の整備計画でやっと両側がそろってくるはずになっています。

矢作川の整備計画では、いろいろなことがあって上矢作ダムを断念していますので、それ以外のもので 20~30 年は何とかやっていかなければいけません。庄内川には激特が入りましたが、矢作川には入っていませんので、危ない所をそのままにした状態で河川整備計画のレベルを決めて、それを達成していくことになりました。

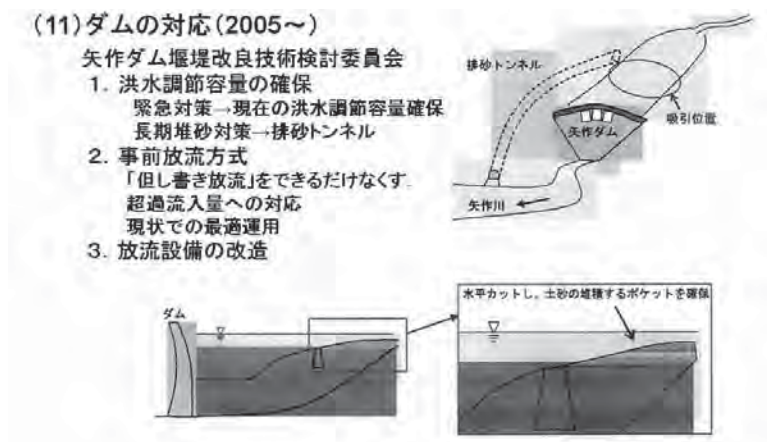
4-10. ダムの対応

先ほど言いましたように、矢作ダムではポケットが足りなくなったので、矢作ダム堰堤改良技術検討委員会が作られて、掘削や事前放流方式、放流設備の改造などいろいろなものを目指していました（図表 21）。事前放流や放流設備の改造などについてはさまざまな問題から今のところ断念していて、排砂トンネルだけが動くようとしています。ましてや上矢作のダムも整

備計画の中では到達できないので、矢作ダムの洪水調節機能に期待せざるを得ません。ですからこれが非常に重要になっていて、わずかでも減らすわけにはいきません。これが矢作ダムの排砂トンネル計画に結びついているのです。

4-11. 東海ネーデルランド高潮・洪水地域協議会と危機管理行動計画

2005 年になると、ハリケーン・カトリーナがニューオーリンズを水没させました。これは伊勢湾台風を彷彿とさせるような災害で、ゼロメートル地帯にとってはこのような災害に備えておかないといけないという話になり、まず東京が動いています。ゼロメートル地帯の今後の高潮対策のあり方について、国がすぐに首都圏をイメージしながらいろいろな行政者や政治家、研究者を集めて議論し、次から次に新しい施策を打っています。名古屋はいつも後回しになるのですが、これについては名古屋地区が先頭を走っています。ニューオーリンズは伊勢湾のゼロメートル地帯と匹敵しているのです。どちらも 400km² ぐらいで、人口はニューオーリンズよりわれわれの方が多、高潮堤が切れて同じようなことが起こるとこれだけ水没するので（図表 22）、これを助けるような仕組みを作っておかないといけないという話に展開して



図表 21

(12) 東海ネーデルランド高潮・洪水地域協議会
危機管理行動計画(2008, 2009)

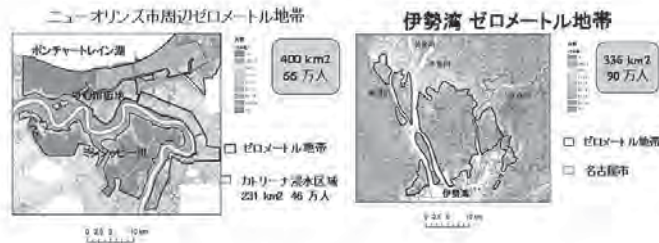
伊勢湾台風(1959)の5千人被害→スーパー伊勢湾台風

↑

「ゼロメートル地帯の今後の高潮対策のあり方」(2006)

↑

米国東南部ハリケーンカトリーナ災害
ニューオリンズの水没、千数百人の死者
日本の三大湾地区と同じ規模のゼロメートル地帯



図表 22

「東海ネーデルランド高潮・洪水対策協議会」
Tokai Nederland Takashio-Kozui Regional Council
(High tide and flood)

地域行政・関連行政(国, 地方)・民間組織の連携
命令系統, 技術的支援, 個々の組織の強化(Tech-Force)

Incidentの想定

戦略構築のためのシナリオ
(スーパー伊勢湾台風... 高潮・洪水)

現実のシナリオをどのような観測網で描き,
時々刻々シナリオ更新

Emergency Support Functionの類型化,
地域連携の仕組み
本部体制, 地域拠点との連携, 必要な装備

災害対策本部の時系列的変化(発災前から復興まで)
→行動計画, 実動訓練(組織連携, 組織・住民)



図表 23

います。東海豪雨の状況を助けるという話から、スーパー伊勢湾台風がこの地区を襲ったらどんなことになるか、どんな被害が起こるか、それに対して安全な町をつくらないといけないという話に進んでいくわけです。

これも大事な話で、場合によってはスーパー伊勢湾台風が来襲する可能性もあります。これに備えておかなければならないという話をしていると、東海豪雨はどうなったのかという話も、言い方を換えれば出てきます。

東京は内閣府を使って一生懸命やっていますが、中部では独自の力で東海ネーデルランド高

潮・洪水地域協議会 (TNT) (図表23) をつくって、そういうときにわれわれはどう動くのかを議論してきました。東海豪雨や 2004 年の豪雨災害を受けて、いろいろな人たちがいろいろなことを勉強してきました。「洪水時は治水インフラも大事だけれど、自助・共助が大事であり、自分たちが意識してしっかり逃げないと駄目だ。あるいは周りの人と手を携えて逃げないといけないので、上手に逃げる工夫をしましょう」と言って、それがうまくいけばすべて助かるように思ってきたのですが、スーパー伊勢湾台風のような広域大規模水害のときには勝手に

逃げてもらっては困ります。ものすごくたくさんの人たちが逃げることになり、その人たちが収容しなければいけないという問題が起こってきますので、それぞれの助かりたいという意識を持った人たちが助かるための公的な枠組みがどうなのかという問題が出てくるのです。公的にサポートしないと、自助・共助も発揮できません。勝手に自助・共助で動いてもらうと困るような災害もあるということに、われわれは気付きました。

4-12. ゲリラ豪雨の頻発への対応

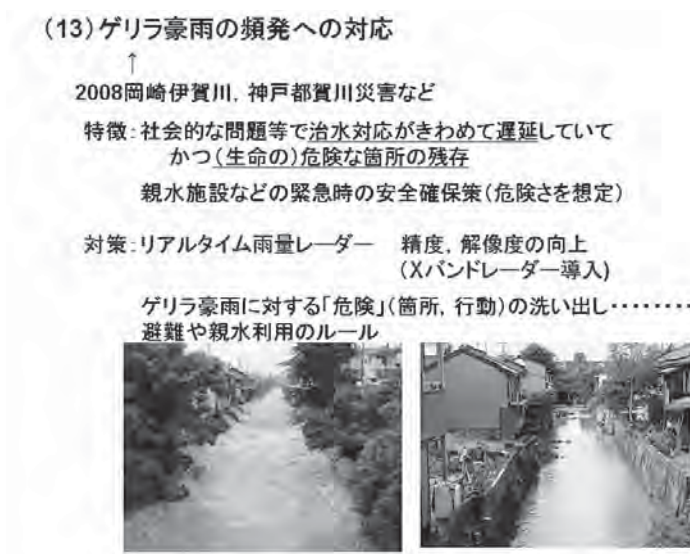
それから、ゲリラ豪雨への対応も必要になっています。図表 24 の下は岡崎市の伊賀川ですが、こんな豪雨があると、こんな所に家が建っている状況を放置してきたのが間違いなのかもしれませんが、実は世の中の対応はあちこちが歯抜けになっています。ゲリラ豪雨は非常に局所的に、しかも集中的に雨が降るということで、東海豪雨は必ずしもゲリラ豪雨ではありません。これが起こると当然、問題が出てきて、伊賀川や神戸の都賀川の災害が起こりました。国土交通省は、リアルタイム雨量レーダーのよ

うなものでは間に合わない、もっと速く、もっと細かく、もっと高解像度でないと場所が分からないということから、Xバンドレーダーを東京地区、名古屋地区、大阪地区、金沢地区などに配備しました。これによって、かなり細かいメッシュで、細かい時間間隔でリアルタイムの結果が入ってきて、それをもとに予測することができるようになってきています。

このような経緯を東海豪雨から 10 年でやってきたのです。東海豪雨の課題もありましたが、その後、次から次へと違うパターンの豪雨がわれわれを襲って、われわれはある程度振り回されながら、いろいろなことをしてきたわけです。

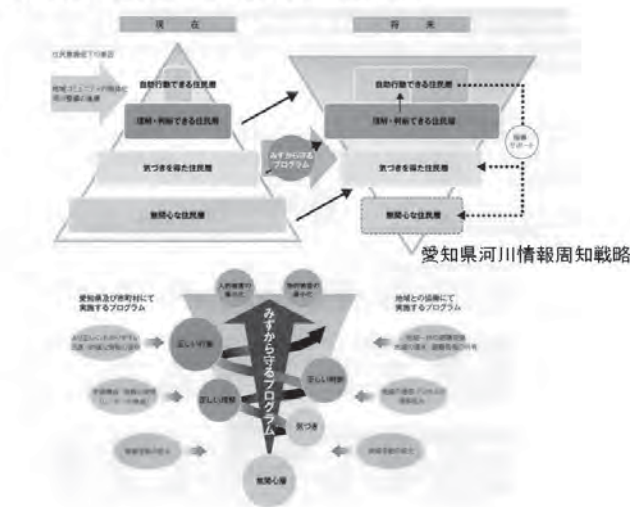
4-13. 地域住民に密着した減災への戦略

愛知県では、愛知県河川情報周知戦略という自助・共助レベルの話を中心に、それを向上させたものを持っています。昔は図表 25 の右側のように、災害に関心な人はいませんでした。みんな災害には関心を持っていて、災害の危なさに気付いている人も多し、どうしたらいいか分かっている人が多かったのですが、現



図表 24

(13) 地域住民に密着した減災への戦略



図表 25

在は左図のように、ほとんどの人が無関心で、わずかな人がやっと危なさに気付いている、でも仕組みは分かっていないという状態です。その上に、理解や判断ができる人たちがいて、自助で行動できる人がいるわけですが、愛知県ではそれを右側のような人数構成に変えていこうというプログラムを作ろうとしています。これはすごいことで高い評価を受けるものです。

しかしながら、とてつもなく大きな災害が起きたときには、こんなものでは動きません。でも、たまにやって来るような災害のときにはこうしておかないとうまく機能しないし、名古屋全体が水没するような災害が起こって法的な枠組みで逃げないといけないときでも、このような訓練をしている人としていない人では話が全く変わってきます。あるいは、ハリケーン・カトリーナが来て、今アメリカでは一生懸命、危機管理行動訓練をしているのですが、そういう訓練をこれからやっていくときに、小さな規模でしょっちゅう起こる災害ではどこが危ないかというレベルの訓練ができていない人に、大規模災害時に統制の取れた法的な枠組みの中での自助・共助を求めることが大事です。

今、「みずから守るプログラム」という形で、ハザードマップをみんなで作って、雨が降ったことを想定してどんな逃げ方をしたらいいのか市民に分かってもらうような運動もしています。これが適用できるのは中規模の災害なのですが、大規模災害のときにもこういう訓練をしておかないといけません。でも、大規模のときに、自分は雨の降り方が分かっているし、どこが危ないか分かっているからと言って勝手に動かれると困るのです。

5. なお残る課題

5-1. 治水目標の段階的設定

先ほど治水目標の段階的設定が大事だと言いましたが、なかなかこれはうまくいっていません。東海豪雨が来るまで、矢作川ではこんな大きな計画洪水は来ないと思っていました。でも、東海豪雨があったので、こんな洪水も起こるのだと皆様の認識は変わりました。今までは、実績データを使って丁寧に確率論で説明できるようなことを学者が考えて、それを使って計画を立てていました。しかし今の考え方のままだと困るのではないか、と思います。2年続いて大

きな洪水が来た所やしばらく洪水が来ていない所はどんなふう考えたらいいか、もう少し考えるべきだと思います。よく「ここは最近洪水が来ていないのに、こんな大きな計画でよろしいのでしょうか」と言われます。私も実は矢作川や石川県の梯川については、「最近洪水が来ていないのに、計画規模が大きすぎるのではないか」と思っていたら、ちょうど豪雨があって、しかるべき所にちゃんとプロットされるのです。

しかるべき所に雨が降る、このしかるべき所をしっかりと知ることが大事だと言ったら、ある人から「辻本先生は星占いをしているのですか」と言われました。ある所では確率洪水の話をする「ギャンブル的治水ですね」などと厳しい言葉を突きつけられることが多いのですが、言葉にだまされないで、しっかり中身を見る訓練をしないとはいけません。

5-2. 最適な治水投資

今の政権は財政難で、それは前の政権の責任かもしれませんが、いろいろな事業のコストを縮減していく必要があるのも確かです。カンボジアなどに行くと、もっとやったらいいのと思うのですが、国力からしてできないという地

域がたくさんあります。われわれは最大限の努力をして、できるだけ治水投資も増やしながら一定の安全度を確保したいのですが、日本の国力や財政力によって、あるいはそのときにどこに国の力、資産、資源を優先的に配分しなければいけないのかにもよって、やりたいこともできないことが当然あることを認識して、次善の策を考えていく必要があります。

5-3. 治水インフラ整備からソフト対応を含む危機管理

それから、インフラ整備からソフト対応を含む危機管理が必要なのですが、これにも財政的制約や社会的制約など、さまざまな制約条件があります（図表26）。

図表27、図表28ともに現在、治水有識者会議で私の主張していることなので、治水有識者会議のホームページには載っているのですが、あまり議論中の会議の中身を言うと誤解を招くかもしれないので、見ていただくだけにします。

*** 中断 (DVD 01 : 18 : 50) ***

5-4. 水災の多様性

有識者会議の治水議論は主に水系治水です。

なお残る課題

- (1) 治水目標の段階的設定
 - 激特事業 → 基本方針(長期) + 河川整備計画(20~30年)
 - 目標の設定 = 確率年・実績データからの推計手法
 - 流量確率 ⇄ 雨量確率
 - メニューの優先順位
 - 効率的な中期目標
 - 長期的な目標へのすりつけ
- (2) 最適な治水投資
 - 事業のコスト縮減
 - 安全度
- (3) 治水インフラ整備からソフト対応を含む危機管理
 - 財政的制約
 - 社会的制約
 - 地球温暖化・気候変動

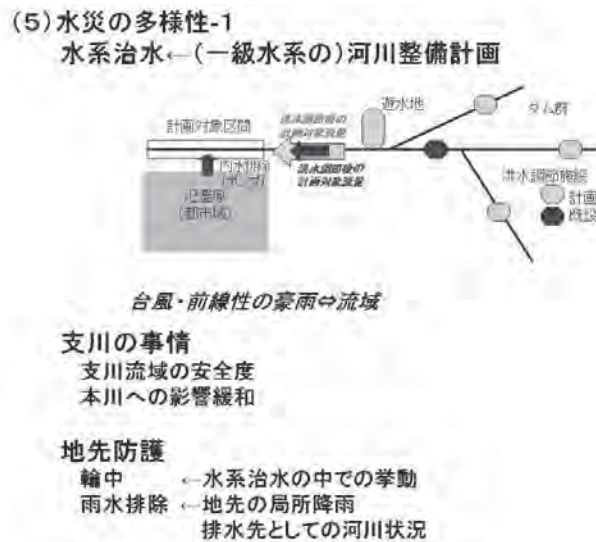
図表 26

これは図 27 に示すように対象区間を水系で洪水調節と併せて安全性を確保するものです。水系治水もまた難しく、計画対象区間が都市域に存在していて、そこを守るために水系全部のダム群をどう配置したらいいか、遊水地をどうするのか、自分たちの内水排除はどうするのかなど、ほかからの影響を受けながらこの場所をどう守るかという仕組みを考えなければいけません (図表 28)。

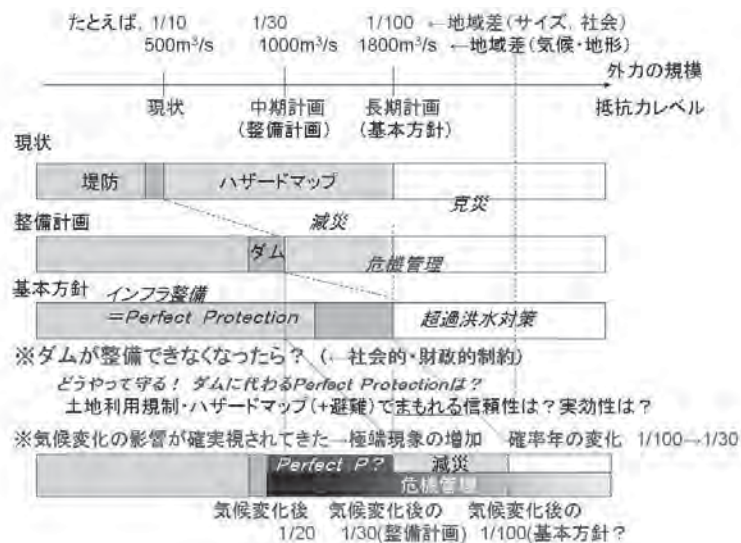
これと、地先防御、輪中で守ればいだろうというような話は、なかなか一緒にはなりません。

自分の所で守ってもらってもいいのだけれど、そのおかげで下流側や上流側が迷惑をするのであれば、やはり問題です。水系の中で安全度のバランスを考えないといけないという問題に必ずもどってきます。

支川の事情もそうです。支川を安全にすると、本川にその影響があります。ダムは大都市、都市域だけを守っているのかという話があって、確かにダムを計画するときには対象区間のことを考えているのですが、ダムの直下は当然、洪水が軽減します。ダムができなければ自分たち



図表 27



図表 28

で堤防を造らなければいけないという事情があるので、どのように治水のバランスが決まっているかを知っていくことが大切で、それをわれわれもきちんと言っていく必要があります。

また、水災害のもう一つの多様性として、東海豪雨を受けたわれわれには、都市水害対策の課題が解決されているのかをしっかりと問うていく責任があります。実は破堤やダムの但し書き放流など、いろいろな問題があるのですが、これは次の豪雨災害のときに吸収して議論できると思います。2004年の豪雨対策の中で、どれだけ克服できているかをチェックすることができるので、やはり東海豪雨では、都市型水害でどれだけ市民が安全なように、不便を被らないようにできるかということが大切だと考えています。なお、東海豪雨や2004年の豪雨災害では、自助・共助が非常に重要で素晴らしいと喧伝した人たちもいました。内閣府もそうなのですが、ハリケーン・カトリーナが来たときには、勝手に自助・共助をしてはいけない、統制の取れた避難をしなければいけないということで、広域大規模水害では全然違うことが分かっています。あるいはゲリラ豪雨については、情報伝達が今のシステムでは間に合わない状況で

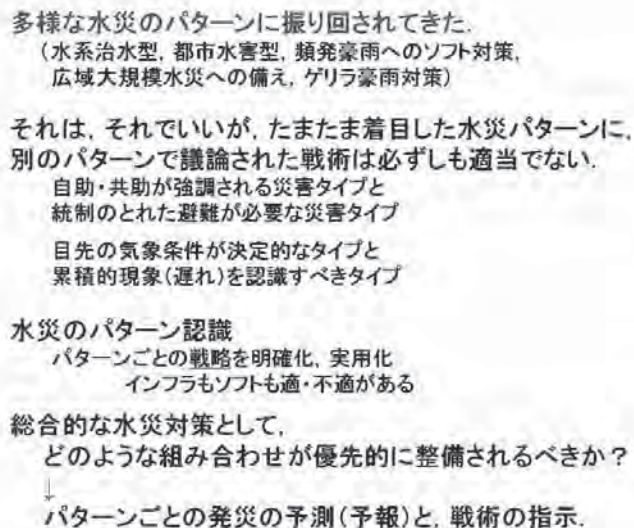
す。国交省などはリアルタイム情報や予測の提供ができるようになりましたが、「あと15分後に豪雨が来ます」と言われて逃げられるかという問題はまだ残されたままです。ある人が「Xバンドレーダーのように最新の機械やインフラが配置されたので、ハリケーン・カトリーナにも役に立ちますか」と質問したのですが、役に立たないのです。

水害の多様なパターンはこれぐらいの分類で済むと私は思うのですが（図表29）、これに対する独特の守り方はそれぞれ少しずつ違います。それを理解しながら話をしていかないと、「自助・共助が最善の手段なので、いつでもそうしなさい」「治水インフラなんて要らない」と極端なことを言う人もいるのですが、治水インフラの効き方、統制の取れた避難の効き方、自助・共助の大事さなどをそれぞれにきちんと当てはめて、全部を検証する必要があります。

これで、今日の講義は終わります。ご清聴ありがとうございました。

質疑応答

（司会）私の方から一つ伺いたいのですが、一般資産災の話で、一般家庭の被害と事業所の資



図表 29

産の被害がとても似ていたように思います。私の感覚からすると、事業所の資産被害の方がもっと大きくてもいいのではないかと思うのですが、実際の具体的な内容を教えていただけますか。

(辻本) 名古屋の人はそれぞれの家庭がリッチなのでしょう。確かにアイシンやトヨタ系の中小工場がだいぶやられましたので、事業所の資産もだいぶやられているはずですが、ちょっと私も検討していませんでした。専門ではないのであまり知らないのですが、面白いところに目を付けられたので話をしますと、この中でもう一つ、保険で戻ってきた分はどれだけあるかという話もあるのです。例えばトヨタ系の事業所は、かなりの部分が保険で戻ってきています。正確ではないのですが、当時、日本に払った保険額が3500億と聞いたことがあります。その後、額の是正をしているので分かりませんが、水害については水害保険を掛けていないと戻ってこないのが特に今言われた家庭なのだと思います。事業所などはあまり関係なく、保険の上に保険を掛けているような仕組みになっているので、そこはそれでまた調べてみないといけませんし、私自身、ひっくるめて一般資産災として、軍隊がやられるか市民がやられるかという簡単な話をしましたが、今言われたところは興味深いと思います。

もう一つ、その地域の重要な産業、事業所が生き残ったかどうかは、その後の地域の復興に非常にかかわっています。そうすると、その地域を代表する企業や事業を優先的に守るということを考えるのも、地区の生き残りとしては非常に重要です。これは、経済界からも賛成していただきました。だから、企業や事業所はこの地域の人たちの安全性にどう貢献できるかを考えてほしいのです。一つは避難場所や避難誘導

があると思います。すなわち、従業員もたくさん勤めていますから、事業所の持つ被災時対応も非常に重要です。もう一つは、企業優先をするなら、初めから災害対応の基金をつくるべきだと言ったところ、なぜそんなことをしなければいけないのかと怒られましたが、皆さんの気持ちの中にそういうものがだんだん根付いていって、いろいろな所でそういう話が出てくると、今後、いろいろな地域の守り方が出てくると思います。やはり地域を守るのは市民だけでなく、行政だけでもない、そこに根付いている企業も大きな役割を果たして、その人たちが受けるべき恩恵とやらなければいけない貢献はそれぞれにあるという見方が大事だと思います。

(質問者1) それは、土地開発問題にかかわってくると思います。つまり、ここに造ると将来的に危ないという提示や、それを知っていて造るのであれば知らないなど、土地開発の関連で将来的な安全に対する情報なりの提供についてはどうなってくるのでしょうか。

(辻本) 一つは、われわれがこのように危ない状態になってきたことにも、この流域の土地開発や利用の変化が非常に大きく効いています。さらにこれからどちらの方向に進んでいくかについて、われわれは今までの経験を生かしてしっかり規制しないといけないのに、それが十分にできていません。伊勢湾台風の後には大きく土地利用規制をしたのに、東海豪雨の後にはそれができていない。本来、都市型水害の脆弱さを東海豪雨でわれわれは知り尽くしたはずなのに、その脆弱さをひょっとしたら助長しているようなその後の発展があるのではないかということで、これを本当は調べないといけないのです。

本当は都市型水害対策を当時われわれは築いたはずで、それを実施してきたはずです。例えば地下の防水板の設置や、地下での防災体制の強化、協議会の組織化などをしてきて、安全になった面もあるのですが、一方で、なおかつ低平地に進出している、あるいは洪水流出を助長する所に展開しているという自虐的と敵対的展開があります。洪水により浸水することが分かっているのに、そこに住宅地を展開することも、被害額が増すのでやはり困るわけです。もう一つ、雨を低地に集めてくるような、すなわち丘陵地に展開するような動きも非常に困ったもので、そういうものに対する土地規制が東海豪雨の後、どのように変わってきたのかという、どうもそんなことは全く忘れて、やはり低平地にいろいろな都市再開発が進むということがあるようですが、ちょっと今のところ私の手には余っています。

(質問者2) 最後に出たお話について、自主防災の立場から質問します。ハリケーン・カトリナうんぬんのときにスーパー伊勢湾台風の話が出て、政府としては自助・共助でなければならないと言われていますが、その場合、自助・共助では間に合わない、統制の取れた避難が必要だというお話でした。では、実際に国内で、どこかの県や行政でそれを進めているところはあるのでしょうか。

(辻本) 先ほど紹介した TNT (東海ネーデルランド高潮・洪水地域協議会) では、市町のスタッフ向けに、どんな災害が起こって、どういう形で市民を誘導しなければいけないのかという危機管理行動計画を作っています。やはりこれはどちらかというと市民側ではなく、行政側でどれだけのパイを用意しておかないといけないかという話で、例えば輸送機関も用意してお

かないと大勢の人が逃げられないので、そのような準備を現在やっています。ですから、名古屋は全国に先駆けてやっていると思うのですが、その後、それに従って市民が行動できるような体制をどうするのかというと、自助・共助で動いているような部分をうまく公的な枠組みに載せていくという話になります。

自助・共助は決して最善のものではありません。この間のゲリラ豪雨のときでも、もう少し我慢して避難誘導を待ってくれた方がよかったということがあったので、自助・共助と言っていた内閣府や防災のリーダーシップを取っていたところにも若干迷いが出てきていると思います。

(質問者3) 先生の話聞いていますと、全体のバランスやシステムのつながり、またその整合性ということで、大変難しいと思っています。これは素人の思い付きかもしれませんが、今のように政権がころころ変わったり、仕分け人などが出てくると、先生がおっしゃっているようなシステムのつながりなどは大丈夫なのかと心配になるのですが。

(辻本) 心配なところもあります。われわれはきちんとしたシステムが確保されるように努力して説明していきますが、いろいろな人たちがそれぞれの事情の中で動いていて、個人的に話をして分かってもらっても、その人がまた組織からドロップアウトするような形になっているので、なかなか難しいのです。でも、少しずつ前進はしたいので、説得はしていきたいと考えています。

先ほど言ったように、一番いいことなのにできないということは、この世の中にたくさんあります。このシステムが一番いいと分かっている、時間をかけて説得したら分かってもらえる

ことでも、なかなか説得できないし、説得するまでにマニフェストなどさまざまな事情彼らは政策シナリオを選択するわけです。その場合、そのシナリオの中で最善のものを求めていくような努力をみんなですていくことが大切です。いつもわれわれは最善の策を選んできたわけではなく、これが一番いいと思っても、そうなったことはなかなかそれぞれの人生を見てもないだろうと思いますので、それぞれのところで最善になるように、われわれも努力したいと思います。

特に治水のときはそうです。私が痛恨の極みだと思っているのは、吉野川で第十堰が改築されなくなったことです。非常に危ないものがないつまでも放置されることになったのですが、住民がそれを選択したら、速やかにその選択に応じて次善の策を取らないといけません。われわれは市民がそれぞれの考えの中でどんな選択を

されても、そのときにそれと同等に近い効果が出るようなものを、知恵を出し合いながら考えないと仕方ありません。われわれが大学で水理学や河川工学を学んでこれが一番いいと言っても、確実に人を説得できるかという、そうではありません。いろいろな人がいますから、それぞれの人から成る社会ではどう動くか分からないのですが、その中でいいものを見つけながら最大の効果を上げること考えるのが大事だろうと、最近は思っています。

(司会) まだご質問したい方がいらっしゃるかもしれませんが、時間がもうだいぶ過ぎましたので、これで第61回防災アカデミーを終了させていただきます。最後に、辻本先生にもう一度大きな拍手をお願いします。ありがとうございました(拍手)。

防災アカデミーアーカイブ vol.4
「災害から国土を守る 土木技術」

発行年月：2011年3月

発行・編集：名古屋大学災害対策室
〒464-8601 名古屋市千種区不老町

印刷・レイアウト：株式会社 クイックス
〒456-0004 名古屋市熱田区桜田町 19-20

第30回名古屋大学防災アカデミー

液状化 の謎に迫る

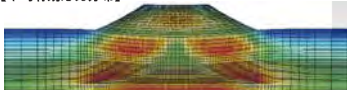
—地盤工学のアプローチ—

平成19年6月27日(水)18:00~19:30
環境総合館1階レクチャーホール

浅岡 顕(名古屋大学教授)



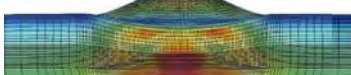
【平均有効応力分布】



① 盛土載荷20年後(地震発生直前)



② 地震中(地震発生後約20秒)



③ 地震後約30年

▲GEOASIAによる解析結果地震によって砂層が液状化している

主催：名古屋大学災害対策室 TEL:052-788-6038 <http://www.seis.nagoya-u.ac.jp/~taisaku/>

第42回名古屋大学防災アカデミー

沿岸災害と 海岸工学

名古屋大学大学院工学研究科教授
水谷法美



平成20年9月17日(水)18:00~19:30 環境総合館レクチャーホール
主催：名古屋大学災害対策室 TEL：052-788-6038

災害対策室 検索

首藤

伸夫

日本大学教授・東北大学名誉教授



第44回名古屋大学防災アカデミー

TSUNAMI文化を世界へ!



平成20年11月17日(月)18:00~19:30 環境総合館レクチャーホール
主催：名古屋大学災害対策室 TEL：052-788-6038

災害対策室 検索

第61回名古屋大学防災アカデミー

東海豪雨から 10年

何が課題だったのか
何が克服されたのか
そしてなお、
何が課題か？



辻本哲郎
(名古屋大学大学院工学研究科教授)

平成22年7月21日(水)
18:00~19:30
環境総合館1階レクチャーホール



平成13年9月 東海豪雨による被災の様子
荒川流域(住所119-444付近右岸)

主催：名古屋大学災害対策室

問い合わせ：名古屋市中区正栄町 TEL: 052-788-6038 FAX: 052-788-6038

災害対策室 検索