

# 東日本大震災現地調査報告書

東京大学工学部社会基盤学専攻 橋梁研究室

横浜国立大学 山田・勝地・西尾研究室

## はじめに

2011年3月11日、午後2時46分、三陸沖を震源とする東北地方太平洋沖地震が発生した。そのマグニチュードは9.0と推定され、日本観測史上最大、世界でも第5位という巨大地震となった。その被害は東日本全体という非常に広範囲にわたり、「東日本大震災」と呼称される。今回の地震で最も大きい被害と言えるのが津波の被害であった。地震発生直後に日本列島全体に津波警報、注意報が発令、特に大津波警報が福島、宮城、岩手県に渡って発令され、場所によっては38mという驚異的な高さの津波が発生し、沿岸の都市に壊滅的な被害を及ぼした。6月16日現在で確認されているだけで、死者15441人、行方不明者7718人となっており、未だ10万人近い人々が避難生活を余儀なくされている。また、津波によって福島第一原発では炉心溶融、水素爆発による放射性物質の拡散などの二次災害が発生し、未だ収束の目処は立っていない。

この東日本大震災に対し、我々東京大学工学部社会基盤学専攻橋梁研究室は、津波と地震による橋梁や都市の被害の実態の把握、及び今後の社会基盤施設のあり方を考える目的で、5月17日から19日までの3日間に渡り、津波の被害の大きい東北地方を中心に現地調査を行った。調査には東京大学藤野教授を中心として横浜国立大学の方も加え、学部4年生までの計26名が参加した。本調査報告書は、その時の結果をまとめたものである。

## 行程

1日目は仙台に集合し、その後、図1のように仙台東部道路東部高架橋(①)、鳴瀬奥松島大橋(②)、一部のトラスが流出した新北上大橋(③)の各橋梁の被災状況を順に視察した。その後、女川町(④)、石巻市(⑤)では町全体の被災状況を視察し、1日目は盛岡駅周辺に宿泊して終了した。

2日目は図2のように盛岡駅より出発し、堤防が決壊した宮古市田老地区(⑥)、一部桁が流出したJR山田線第三十四閉伊川橋梁(⑦)、街全体が壊滅的被害を受けた大槌町(⑧)、地震発生時刻に駅に停車していた列車のJR山田線津軽石駅脱線現場(⑨)の視察を行い、2日目は再び盛岡駅に戻り終了した。

3日目も図3のように盛岡駅を出発し、釜石駅近くの三陸鉄道南リアス線の橋梁(⑩)を視察した後、同様に南リアス線の釜石市唐丹にある橋桁(⑪)が流出した橋梁を調査し、最後に陸前高田市の市街地(⑫)とその近くを流れる気仙川に架かる姉齒橋と気仙大橋の視察を行い、本視察の全行程は終了した。以降の調査結果はこの調査順に載せてゆく事とする。



图1 一日目行程



图2 二日目行程



図3 三日目行程

## 目次

### < 1 日目 >

- ・仙台東部道路 東部高架橋 . . . 5
- ・鳴瀬奥松島大橋 . . . 6
- ・新北上大橋 . . . 6
- ・牡鹿郡女川町 女川港周辺 . . . 8
- ・石巻市 石巻湾周辺 . . . 9

### < 2 日目 >

- ・宮古市田老地区 . . . 10
- ・第三十四閉伊川橋梁 . . . 16
- ・大槌町 . . . 19
- ・津軽石駅脱線現場 . . . 20

### < 3 日目 >

- ・釜石駅付近の三陸鉄道の橋梁 . . . 22
- ・三陸鉄道南リアス線唐丹橋梁 . . . 23
- ・陸前高田市 . . . 24

### < 総括 >

- ・参加者コメント、感想 . . . 27

< 1 日目 >

仙台東部道路 東部高架橋

(ルート：仙台港北 I.C.～仙台東部道路～仙台東 I.C.～県道 23 号線～仙台港北 I.C.)

被害：ゴム支承の破断、ジョイント部の損傷



図 1-1 破断したゴム支承



図 1-2 ジョイント部に生じた段差



図 1-3 復旧工事の進む高架橋



図 1-4 被害を受けた道路東側

1995 年 1 月の阪神淡路大震災での、高速道路の高架橋が崩れ落ちたことを踏まえて、橋桁と橋脚の間にゴムを挟む構造で揺れを抑えることを目標に地震対策が行われた。従来の載荷試験では、300%以下のせん断ひずみで破断したことはなかったようで、地震時にも損傷を受けないことが大いに期待されていたにちがいないが、ゴム支承が橋軸直角方向に破断してしまった(図 1-1)。また、ジョイント部では段差が生じている(図 1-2)という情報を元に、調査に向かった。今回の調査では、津波による被害の構造物が多かったが、その中でこれは数少ない地震動の影響を受けた構造物である。

現地到着後は、すでに東部道路、その下を並走する県道 23 号線が復旧していたこともあり、被害を目の前で確認することはできなかった。当日は、図 1-3 に示すように復旧作業が

進められており、ゴム支承があると思われる部分は覆われており、直接確認はできなかった。ジョイント部で生じた段差は、バスに乗っている限り、特に感じられることはほとんどなかった。ただし、下から見てみるとまだジョイント部での段差は確認できる。

新聞等でも取り上げられているように、東部道路が堤防のような役割を果たしたため、東部道路を境に被害の違いが確認できた。東部道路の東側は、津波が押し寄せたと予測できる状態（図 1-4）であった。一方、東部道路西側は、我々が仙台駅から現場へ向えたことが示すように、東側と比較すれば、津波の影響を受けていないことが確認できた。

### 鳴瀬奥松島大橋

被害：特になし



図 1-5 傾いたように見えるアーチ



図 1-6 特に異常のない橋脚

図 1-5 から分かるように、一見するとアーチ部が全体的に地震の外力によって傾けられた印象をもつ橋である。何か傾いているように見えるのが最初からのデザインであり、今回の地震の影響を特に受けていないことを確認するという点から調査を行った。

近くで見る限り、確かに傾いているような印象を持つが、図 1-6 に見られる橋脚も含め、明らかに損傷しているという部分を確認することはなかった。東部道路のようなジョイント部での段差もないよう見受けられ、調査に行った日には何事もなく供用されていた。

### 新北上大橋

被害：トラス部の流出

新北上大橋は、国道 398 号線上の新北上川の河口から 4km 付近の位置にかかっている橋長 556m、主径間 84.8m の 7 径間の単純トラス橋である。北上川を遡上した津波によって、図 1-8 のように左岸側 2 径間が破壊されてしまった様子が伺える。津波の高さは河口付近において 7m であったとされており、津波の威力が凄まじいものであったことが想像できる。



図 1-7 新北上大橋の位置



図 1-8 2径間が流出した様子



図 1-9 ケーブルの破断した橋脚部



図 1-10 津波によって曲げられた柵

一般に、蛇行している川においては、内側での流れは遅く、土砂が堆積され、外側では流れが速く、侵食されやすいと言われる。そのために、橋のかかる蛇行部の内側では外側よりも津波の高さが高くなり、トラス部に生じた水圧や浮力によって、一部分が流されてしまったと考えられる。今回、調査した中で、引き波によって大きな被害を受けたものも確認できたが、トラス部が上流側に流されており、引き波ではなく、遡上した流れによるということも確認できる。

さらに細かく調査を行うと、図 1-9 (新北上大橋の基礎部分を川側から撮影した写真) に示すように、桁と橋脚を繋ぐ落橋防止用ケーブルが完全に破断しており、支承や橋のサイドブロックが破壊されている様子が伺えた。写真右側 (下流側) のサイドブロックは無事である一方で左側 (上流側) のサイドブロックが破壊されている様子が分かるが、なぜこのような壊れ方をしたのか些か疑問が残った。

また、図 1-10 は図 1-9 の左上部に映っている鉄柵を拡大した写真である。上流側に傾い

ていることから、ここでも引き波の影響はあまり受けていないように思われる。金属でできた柵がこのように根元部分で折り曲がってしまっている光景を見たのは初めてであり、津波がこの高さまで上がってきたことを想像すると恐ろしく感じた。

### 牡鹿郡女川町 女川港周辺

被害：建物の横転、駅舎の破壊、地盤沈下など

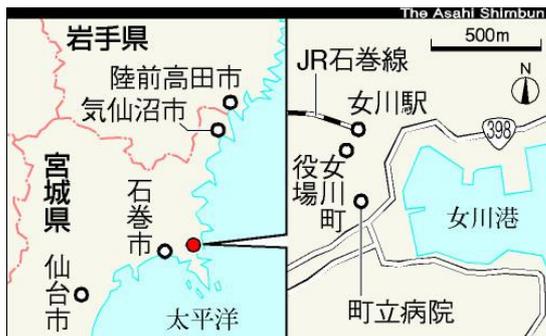


図 1-11 女川町所在地



図 1-12 女川町の惨状



図 1-13 4階まで到達した津波



図 1-14 破壊された駅のエレベーター

石巻市街から女川町（女川駅周辺）へと向かった。その途中、道路が海水に覆われている場所があり、以前と比較して何 m というところまでは分からないが、明らかな地盤沈下が確認できた。海岸沿いの道路を通っているとはいえ、すぐそこまで海岸線が迫っている場所が多かった。JR 石巻線も道路とほぼ並走しているが、この状態での運転再開は厳しいであろう。

女川駅周辺は、すぐ目の前が海であったが、津波の影響で横転している建物も多かった。

図 1-12 は被害状況を示す写真であるが、木造の建物は残酷なまでに全壊し、鉄筋コンクリートでできた建物も崩れてしまった様子がうかがえる。図 1-13 は図 1-12 の左側に映っている建物の全体を映した写真である。4 階部分の窓ガラスが割れている様子から、津波が 4 階部分にまで到達していたことが伺える。この建物は窓ガラスが割れてしまっているものの、倒壊は免れた。しかし、その周辺の木造の建物や、本来なら駅構内のエレベーターとなるはずであった金属塊（図 1-14）からも、いかに被害が大きかったが伺える。女川町は、陸側に引っ込んだような場所に位置しているため、津波の被害を受けた多くの場所と同じように、津波が集中してしまったのであろうと考えられる。

### **石巻市 石巻湾周辺**

被害：防波堤の消失，津波による建物の倒壊

リアス式海岸のように入り組んだ海岸線ではないが、石巻湾に沿って大きな被害を受けていた。がれき撤去こそ進んでいる印象を受けるが、多くの場所で信号が復活しておらず、がれきの山と独特の臭いに囲まれていた。テトラポットなどもあったようだが、その役割を果たせなかったことが確認できた。また、近くには製紙工場があり、ここも津波の影響を受けており、復旧の目処がたっていないようにも感じられた。

### **参考文献**

- ・土木学会東日本大震災被害調査団（地震工学委員会）緊急地震被害調査報告書  
<http://committees.jsce.or.jp/report/node/40>
- ・東北地方太平洋沖地震による高速道路の被害状況について  
[http://www.e-nexco.co.jp/pressroom/data\\_room/regular\\_mtg/h23/0324/pdfs/01.pdf](http://www.e-nexco.co.jp/pressroom/data_room/regular_mtg/h23/0324/pdfs/01.pdf)

< 2 日目 >

### 宮古市田老地区

宮古市田老地区は盛岡から約 90km 東に位置し、人口約 4400 人の地区である。同地区で 911 人の死者を出した昭和三陸沖津波の後から建設された「田老万里の長城」と呼ばれる高さ 10m、総延長 2.4km の世界最大級の防潮堤がある。防潮堤は陸側と海側で 2 重の防御壁になっており、中心でつながっているのが図 2-1 のように X 字のようになっている。今回の津波は防潮堤を超え、また海側防潮堤の東半分では防潮堤が破壊され全域的に甚大な被害を出した。この地区の遡上高は 37.9m、浸水域は 113ha に上った[1]。防波堤に到達した津波の波高は 14.6m であり、沿岸の防波堤は完全に破壊された[2]。死者数 94 人、行方不明者数 50 人となっている[4]。

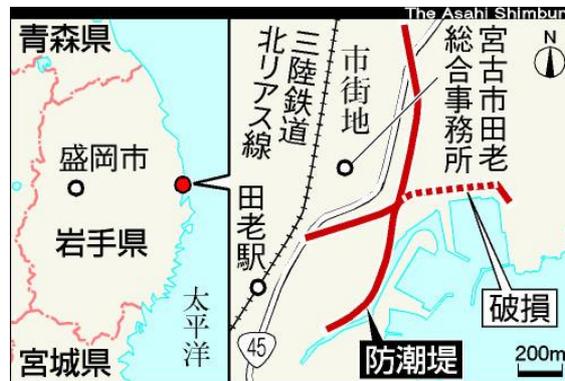


図 2-1 田老地区所在地[3]



図 2-2 田老地区被災前後の様子[5]

図 2-2 が田老地区の津波前後の写真だが、防潮堤が一重の B、C では写真で見てもほとんどの住宅が全壊であり、2 重の防潮堤で守られている A では住宅が残っている。しかし、

調査に行ったときには A の住宅も大部分が取り壊されていた。各エリアの被害者数を下表 2-1 に示す。

	人口	死者	不明者	死者不明者の割合
A	1610	63	9	4.5%
B	566	19	36	9.7%
C	278	12	5	6.1%

表 2-1 エリア毎の被害者数[4]

### (1) A 地区

倒壊しなかった建物も多く残ったものの、現在ほとんどの建物が取り壊され更地になろうとしている。防潮堤は破壊されておらず、根元の地面が削られた様子もなかった。



図 2-3 防潮堤から見た A 地区(左側に見える防潮堤は C 地区との境)



図 2-4 地上から見た A 地区(右側に見える防潮堤は B 地区との境)

船が落ちている様子を見ると、船が防潮堤を越えて流されたことが分かる。

(2) B地区

海とB地区を隔てる防潮堤が完全に崩されたため、大量の海水が流入し壊滅的被害を受けた。



図 2-5 防潮堤から見た B 地区



図 2-6 防潮堤から見た B 地区 (中心に見える川は長内川)



図 2-7 幅 3 m の防潮堤



図 2-8 防潮堤側面



図 2-9 B 地区と海を隔てる防潮堤



図 2-10 手すりのねじ曲がった階段



図 2-11 河口付近

また、海側防潮堤よりも外側にあるエリアにおいて、「みなと橋」という名前の橋が津波によってひっくり返されていた。崩落防止装置がついておらず、浮力によって持ち上げられ倒されたと見られる。橋脚には損傷は見られない。



図 2-12 みなと橋

### (3) エリア C

このエリアはもともと建物がまばらであった。ほとんどすべての建物が流出したと見られ、海岸からすぐそばにあった野球場も重大な損傷を受けた。壊れた車や瓦礫の置き場になっている。



図 2-13 C 地区に積み上げられた自動車と奥に見える野球場

### (4) まとめ

破壊されていた防潮堤は、基礎から持ち上げられたと同時に側面のコンクリートも破壊されて、中の土が流出していた。沿岸部では建物の鉄骨も完全に曲がっていたことから津波のエネルギーが伺える。巨額を投じて建設された防潮堤があると安心して逃げ遅れた住民が多数いたことが被害を拡大させた。

#### [参考文献]

[1] 土木学会東日本大震災 第一次総合調査団中間とりまとめ（案）2011 年  
[http://committees.jsce.or.jp/2011quake/system/files/2011\\_report\\_0512.pdf](http://committees.jsce.or.jp/2011quake/system/files/2011_report_0512.pdf)

[2] 放送大学セミナー 西田良平 コラム 「東北地方太平洋沖地震」による「東日本大震災」  
<http://www.campus.ouj.ac.jp/~tottori/center31/center31-pro-column2.html>

[3] 朝日新聞オンライン版 20113 月 19 日

[http://www.asahi.com/national/update/0319/TKY201103190440\\_01.html](http://www.asahi.com/national/update/0319/TKY201103190440_01.html)

[4] 朝日新聞 5 月 15 日朝刊 「津波防災の町」 田老の 3.11」

[5] 「牛山素行准教授とともに読み解く岩手・田老地区の防潮堤」をもとに作成

<http://yanagihara.iza.ne.jp/blog/entry/2202283/>

### 第三十四閉伊川橋梁

岩手県宮古市付近、JR 山田線宮古駅-磯鶏駅間に架かる第三十四閉伊川橋梁を視察した。被害状況と被害要因についてまとめる。

#### (1) 第三十四閉伊川橋梁

第三十四閉伊川橋梁は、鉄製の 10 スパン全長約 24m の橋桁である。閉伊川河口から約 2km の地点に位置する。下流側には道路橋が、上流側には水道橋が位置している。図 2-14 にそれぞれの位置関係を示す。両岸の民家がある土地の標高は約 1m である。

竣工は 1935 年で、3 回にわたる空襲(1945)、アイオン台風 (1948) やチリ地震津波 (1960) にも耐えたが、ついに破壊に至った。

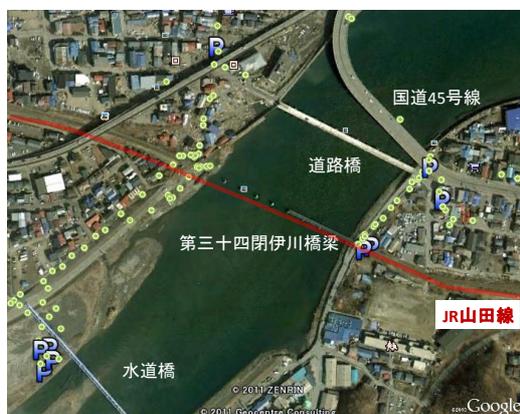


図 2-14 第三十四閉伊川橋梁周辺地図

#### (2) 被害状況

橋梁の右岸近くにあったガソリンスタンドの職員の方によると、津波は右岸の橋梁の側にあるガソリンスタンドまで達したということである。およそ標高 1m の高さまで津波が襲ったことになる。図 2-15(Google map)および図 2-16 (写真) に示すように、10 ある桁のうち 6 基が上流側に流出している。流出した 6 基のうち 4 基が地上から確認できた。1 桁は近くにとどまり、3 基は約 400m 上流の水道橋付近まで流出した。周囲の民家に大きな被



(a) 上空写真



(b) 現地で撮影した写真

図 2-15 流失した桁



図 2-16 流出後の桁位置

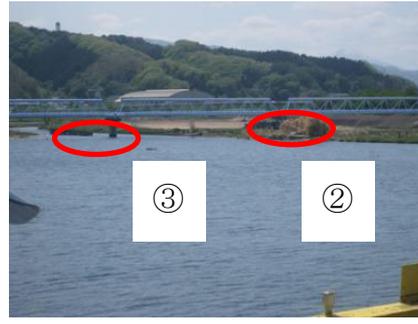


図 2-17 橋梁上部から見た桁②および③

害は見受けられなかった。

流出した桁を近くから撮影した写真が図 2-18～20 である。また、図 2-21, 22 より分かるように、流失した桁に伴って線路が剥れ川に落ちた。橋上部から撮影した写真が図 2-23, 24 である。最も右岸側の支承は下流側が浮き上がっており、波の力により上流側の支承を軸に回転モーメントがかかったと考えられる。



図 2-18 流失した桁①



図 2-19 流失した桁②



図 2-20 流失した桁③及び④



図 2-21 水没したレール(左岸)



図 2-22 横に引っ張られたレール(右岸)



図 2-23 線路が剥がれ落ちた橋梁上部



図 2-24 下流右岸支承部

### (3) 被害原因

被害は橋梁の左岸側に顕著に現れている。図 2-25 赤丸部に示すように第三十四橋梁のすぐ下流側にある道路高架橋も、同様に左岸側の欄干のみが倒れている。流出した桁①を間近で見ると小型漁船が衝突しており、この衝撃によって被害が起きたことが分かった。図 2-26 に示した桁①の様子からも、船が衝突し漁船の網が桁を引っ張ったことがわかる。桁①に激突した漁船から網が引っ張られるように伸びており、その網をたどると大破した漁船に行き着く。図 2-28 に示すように網には大量の木や瓦礫等が絡まっており、大きな引っ張り力をもっていたであろうことが予想される。図 2-29 に示される水道橋まで流出した桁②にも同様に小型漁船の残骸と大量の網が付着していた。



図 2-25 下流側の道路高架橋の欄干の被害状況



図 2-26 漁船が衝突した桁①



図 2-27 大破した漁船



図 2-28 木や瓦礫が絡む網



図 2-29 網が絡む桁②

以上より、道路橋をのりこえてきた小型漁船が桁①に衝突したことによる大きな力と網の引っ張り力で破壊の一要因であると推測される。この閉伊川橋梁の津波の様子はビデオがYouTube (<http://www.youtube.com/watch?v=JruWXIRUqGE>) にアップされており、見ることが可能である。

## 大槌町

大槌町では、鉄橋、堤防の破壊を調査した。大槌町は岩手県東部にある大槌湾と船越湾に面した人口約 15000 人の町である。大槌町は今回の地震の被災者数（死者・行方不明者・避難者数/2010 国調人口）が 72 パーセント[1]と非常に大きな被害を受けた。下の図 2-30～35 が今回の調査で撮影された写真の一部である。



図 2-30 津波で破壊された堤防



図 2-31 道路に倒れ込む堤防

上図 2-30,31 は津波によって堤防が決壊し流された写真である。図 2-31 をみると、堤防が底からもぎ取られ道路まで運ばれていることが分かり、その時の津波の強さを物語っている。



図 2-32 流された橋桁



図 2-33 大槌川に残された橋脚

もともと大槌町には JR 山田線が走っていた。しかし、今回の地震による津波の影響で、鉄橋が崩壊した。図 2-32 は流された橋桁であり、図 2-33 は大槌川で橋桁が全て流され、橋桁だけが残されている写真である。



図 2-34 鉄骨のみが残る建物



図 2-35 根こそぎ破壊された町

この他にも、根こそぎ倒されているアパートや、図 2-34 のように、鉄骨のみが残された建物などが見られた。

#### 参考文献

[1] <http://committees.jsce.or.jp/report/system/files/3¥2¥2.pdf>

#### 津軽石駅脱線現場

津軽石駅は岩手県宮古市にある JR 山田線の駅である。駅舎は元々図 2-36 の通りであった。



図 2-36 被災前の JR 津軽石駅舎

#### (1) 津波被害の様子

3 月 11 日の東日本大震災で、宮古市は津波により甚大な被害を受けた。津軽石駅もまた同様に津波に襲われた。その様子を図 2-37～図 2-39 に示す。



図 2-37 津波で流された列車



図 2-38 壁に津波の痕跡が残る



図 2-39 津波により水浸しとなった駅舎内

(2) 詳細

毎日新聞記事[1]によると、この駅に止まっていた列車は、図 2-40 のように、地震が発生した時刻と丁度同じ 2 時 46 分津軽石駅発の列車であった。地震が発生後に直ちに大津波警報を受けて、運転を取りやめ、従業員は乗客全員を避難させた。地元の消防団員の助言で付近の裏山に避難し、全員が助かったという事である。

時 Time	分 Minute	行先 For	記事 Remarks
7	47	宮古	
8	44	宮古	
10	59	久慈	宮古・三陸北リアス線経由
12	30	宮古	
14	46	宮古	
16	48	宮古	
17	55	宮古	
19	09	宮古	
20	43	宮古	
22	24	宮古	

図 2-40 地震発生と同時刻の列車を示す時刻表

参考文献

[1] <http://mainichi.jp/photo/archive/news/2011/04/24/20110424k0000m040131000c.html>

< 3 日目 >

### 釜石駅付近の三陸鉄道の橋梁

この橋梁は、河口から 1.8km の距離に位置し、標高は 3m である。高さ 15m 程ある橋桁の上にもゴミが散乱しており、津波の勢いの強さを伺うことができた(図 3-1)。

この橋の橋脚部分を見てみると(図 3-2)、曲げ破壊によってコンクリートが破壊され、鉄筋が座屈していた。津波と地震両方の影響で破壊されたと考えられる。破壊された部分をよく観察すると、鉄筋が段落としになっていることが分かる。阪神淡路大震災の時にも段落とし部において破壊された柱がよく発見された。今回の破損現場では、段落とし部の補強のために外側にプレートが巻かれていたが、役に立たなかった様子である。

また、圧接された鉄筋をみると、これらの鉄筋は全て切り離されていた。このことから、圧接の強度に疑問が残る結果となった。



図 3-1 当該橋梁の位置



図 3-2 座屈した橋脚

参考文献

<http://www.ipej-hokkaido.jp/ch/ch107/QandA.pdf> (道路橋の耐震設計とは 石川博之)

### 三陸鉄道南リアス線唐丹橋梁

この橋梁は、海から約 740m の距離に位置し、標高は 15m である(図 3-3)。橋脚の高さも含めると、唐丹を襲った津波は、20m 以上はあったものと推定できる。

現場の状況から、箱桁構造になっているため橋に強い浮力が働き、川上方向を軸として回転しながら落橋したと推察できる。落ちた橋が真ん中できれいに半分に割れているが、これはもともと圧縮力が作用していた橋梁上部のコンクリートに対して、津波で逆さまになることで重力が逆側から作用し、引っ張り応力が作用したため中央で破壊したものと考えられる(図 3-4)。

近くから橋を見ると、落橋防止装置は確認できなかった(元々存在していたかは不明)。鉄道橋には落橋防止装置の設置義務がないが、すぐ近くにある道路橋が落ちてないことを考えると、その必要性は明らかであると考えられる。今後、津波や洪水が想定される地域においては、落橋防止装置の設置義務に関する法律を柔軟に整え、さらなる災害の未然防止につなげるべきである。



図 3-3 当該橋梁の位置



図 3-4 流出した橋桁

### 陸前高田市

陸前高田市では、下図 3-5 に示すように、気仙川にかかる姉齒橋(1)と気仙大橋(2)の 2 つ道路橋と、多くの犠牲者を出した市民体育館(3)に行き、津波の被害状況を調査した。



図 3-5 陸前高田市の調査箇所

#### (1) 姉齒橋

この橋は河口から約 1.2km、標高 3m に位置する道路橋であったが、津波により全ての橋桁が流されていた。また、図 3-6 に示すように、残された橋脚にも鉛直方向にクラックが生じている。津波により橋桁が回転・移動した際に、橋脚に偏った荷重がかかったため、このようなクラックが生じたと思われる。

#### (2) 気仙大橋

気仙大橋は河口から約 500m に位置し、陸前高田市と宮城県気仙沼市を結ぶ国道 45 号の

一部であったが、津波により全ての橋桁が流され、橋脚のみが残された状態であった。この橋の流出のため国道 45 号は寸断された状態であり、下流側では仮橋設置工事が行われていた。流された全ての橋桁は上流部で発見されており、津波が川を凄まじい勢いで遡上し、橋桁を押し流していったことがわかる。



図 3-6 姉齒橋(左)と気仙大橋(右)

### (3) 市民体育館

この体育館は津波が発生した際に真っ先に逃げるための 1 次避難所となっていたが、津波により 80 人以上の避難者が犠牲となり、生き残ったのは 3 人だけであった。海からの約 1km・標高 5m の市の中心部に位置しており、2 階部分に逃げれば大丈夫と言われていた。しかし、図 3-7 に示すように、体育館 2 階部分の窓が津波により全て割れ、津波が 2 階に避難していた人を襲っていたことがわかる。また図 3-8(左)に示すように海と反対側の壁も大破しており、この場所より山側の街を見渡すと、この体育館から 1km 以上先まで津波の被害が及んでいた。

また、図 3-8(右)は津波により流されて裏返しになった石であり、100m ほど離れた市民博物館においてあったものである。これだけ巨大な石が動かされている状況から、津波の流れによる力の凄まじさが感じられた。



図 3-7 海側から撮った体育館(左) 体育館 2 階部(右)



図 3-8 体育館の内から見た山側の街(左) 津波で押し流された石碑(右)

参考資料

[http://www.kahoku.co.jp/spe/spe\\_sys1062/20110414\\_25.htm](http://www.kahoku.co.jp/spe/spe_sys1062/20110414_25.htm) (河北新報社)

## 参加者のコメント、感想

最後に、総括として今回の被災地見学の参加者全員の見学後の感想を掲載する。各個人が被災地を見て考えた事は様々であるが、こうした思いが今後の社会基盤学の更なる発展に繋がっていく事を期待したい。

自分が被災地に行ったのは今回の調査が初めてだった。バスでの移動中、地震の影響が全くと言っていいほど感じられない山地から河口付近の平野に近づくにつれ急激に変わる景色に衝撃を受けた。調査した橋や堤防も信じられないような壊れ方をしており、震災前の風景が想像出来ないほどであった。しかし不思議と自分が想像していたよりも感傷的にはならなかった。それは平野部にはもう人は住める状態ではなく、住人の方もいらっしやらなかったことや、家の解体などがれき整備がすすんでいたこともあり、その景色が人気の感じられない無機的な様子に写ったからであると思う。

今回の調査を通じて人工物の自然に対する圧倒的な無力感、そして多くの人の生死を左右する土木技術の重要性とそれに関わることの重みを痛感した。

(東京大学 学部4年 嶋田)

女川町は「自分たちに何ができるか？」と考えることすらおこがましく思えるような被害。とにかく、鉄筋コンクリート構造物が基礎から根こそぎ、なぎ倒されており、あらゆるものが海の藻くずと化している女川を目の当たりにすると、当時被害にあった方々や逃げ延びた方の恐怖がどれほどのものであったかと思われまます。むしろ、自分が今思っている以上でしょう。移動中、ところどころガレキ収集所がありました。しかし、明らかに場所が足りない印象を受けました。このガレキをどうするのか、それが問題となってくるでしょう。岩沼市の復興計画で、がれきを堤防に使用することになってはいますが、実現性はどれほどのものなのでしょうか。純粹に気になります。復興に際して、何から手をつけるべきか、それすらわからないほど被災地には今、何もない…。女川にいたっては区画もわからないほど。かろうじて道路は残っていますが、基礎ごと流されている建造物も多く、個人個人の土地区分がもはや判断不可能なレベルでした。2ヶ月経って訪問してもまだこんなのがれきがあるということは、いったいどれほどのスパンで復興が可能なのでしょうか。この津波を起こさないことはできません。では、その津波への対策をどこまでやるべきなのでしょうか。津波に耐えうるインフラや建物を作るべきなのでしょうか。それとももうそこには住まないべきなのでしょうか？答は、「そこに人が住む限り、対策をしなくてはならない」のだと思います。

(東京大学 学部4年 高田)

今回の震災調査にあたって、堤防を根こそぎもっていき、町を破壊する津波の恐ろしさを思い知りました。防災にあたってはハードな面の整備と同時に、それで防げない状況に対応したソフトな面の整備も必要であると感じました。

(東京大学 学部4年 松本)

自分自身の目で見た被災地の光景は、これまでテレビや新聞でみていたものよりはるかに悲惨に感じられました。特に、津波の被害はすさまじく、建築物や構造物の破壊した有様は見るに堪えないほどのものでした。

地震と津波の甚大な被害を受けた被災地はいま、大雨による土砂災害や冠水などが起きています。このような過酷な自然災害が多発する日本において、その猛威からどのように人々の生活を守るか、安全な社会基盤を整備するかということ、土木工学を学ぶ者として、改めて考えなければなりません。

3日間の視察の1日という部分参加ではありましたが、非常に有意義な体験をすることができました。このような機会を与えてくださった、藤野先生、長山先生はじめ東大橋梁研の皆様、そして西尾先生、ありがとうございました。

(横浜国立大学 学部4年 宮崎)

現地を訪れ、人の気配がない異様な光景を見て、「ここには本当に人が住んでいたのか」、「何がこの町をこうさせたのか」と、普段日常的に目にする街の風景と東北で目にした惨状とのギャップを埋めることができなかった。きっと、昭和三陸沖地震を経験したお年寄りにとって昔目に焼きついた景色がもう一度目の前に現れたことに言いようのないやりきれなさを感じているのだと思う。起こる可能性があると言われていたけど起きると考えたくないことは世の中たくさんある。ところはそういったことは、起こるかもしれないという可能性に終わらず実際に、現実にかかるのだというのを強い戒めとして思い知らされた。この地震は日本が戦後経験した有事の中で最大の災害だと言われている。社会の基盤となるインフラを学ぶ人間として、今後自分の専門性を活かして社会に貢献しなければいけないのはもちろんだが、自分たちが3.11を経験し、被災地を五感で感じた経験を将来下の世代に伝えていくことは、同じくらい重要なことだと感じた。

(東京大学 修士1年 加賀谷)

東日本大震災から約2カ月が経過した中での被災地訪問。被災した方にとっては、ものすごく長く感じられたであろう2カ月だが、いまだに多くの場所でがれき撤去の段階であ

った。今回の地震で生じた津波の大きさを改めて肌で感じた。岩手県の海岸沿いの町を中心に調査を行ったが、ほとんどが更地になってしまっており、多くの人の生活が一瞬にして失われてしまったことを考えると、なんと言葉を発していか分からなくなる。特に、宮古市での倒壊した家屋に、「津波のばかやろう、海なんて嫌いだ」とスプレー書きされていたのが印象深い。山と海に囲まれ、とても環境に恵まれた場所であったことにはちがいないだろうが…

被災地調査を通して、何か感じ取れたことがあったのかは自分の中で疑問が残る。もちろん、橋桁ごと流されている現場を見て、津波の恐ろしさを実感はしたが、そこで終わってしまっているような気もした。自分だけやじ馬になっていないかと不安にもなった。

今回の地震では、阪神大震災のように、構造物が大きく倒壊することはなく、ほとんどが津波である。沿岸部では津波についてもう一度考え、街づくりをもう一度見直す必要があるように感じた。

(東京大学 修士1年 小林)

今回の調査で最も心に残った光景は、調査最終日に訪れた陸前高田市の体育館だった。避難所として使われたこの体育館は大きく津波によって壊されており、多くの方がこの建物内で亡くなったとわかる形跡もまだ残っていた。安全と言われていた避難所まで逃げる事ができたにも関わらず、津波の犠牲となってしまった方々のことを思うと残念でならない。流された橋脚や押し倒された巨大な防波堤を見たときの衝撃よりも、この被災した避難所で感じたなんともやりきれない気持ちの方が記憶として深く残っている。たとえ橋や堤防などが津波によって悉く破壊されたとしても、せめて避難者が逃げ込むはずの構造物だけは崩壊してはならない、と強く感じた。このような悲劇を繰り返さないためには、防波堤決壊も想定の内に入れ、圧倒的な自然の力からの避難に重点を置いた防災計画が必要である。津波も達しない高さをもつ防災用のビルを作る、緊急時に高台に避難するための交通インフラを作る、といったハード面の整備だけでは無く、他にも警報システムの改善・住民の高地移転といった対策も考えられる。自分の中でどの策が最善策なのかという答えは出ていないが、想定外と報じられた今回の津波を、今後想定しなくてはならないものとして強く記憶に焼きつけ、将来社会基盤に関わる一員としてどこかで生かしていけたらと思う。

(東京大学 修士1年 高本)

東日本大震災の現場調査に5月19日に参加させて頂きました。地震発生後の報道では津波による都市の被害や原発に関する内容のものが主であり、被害を受けていると聞いてい

た土木構造物に関するものはあまり取り上げられていなかったように思います。具体的にどのような被害が出ていたのか非常に興味があり、自分の目で現地を見ることで学ぶことがあると思いましたが、参加させて頂きました。私は最終日のみの参加でしたので釜石、陸前高田を視察致させて頂きました。

釜石では、津波で押し流された PC 橋梁の視察を行いました。これは非常に印象的なものでした。津波による橋梁の被害は概要を少しだけ聞いてはいましたが、実際に目の当たりにすると言葉を失いました。何トンもあるはずの PC 橋梁が流されるなど想像もしたことはありませんでしたし、それを起こした津波のエネルギーの大きさを感ぜずにはいらませんでした。あの場所でひとつ発見をしました。流された PC 桁がもともとあったところで登り、線路の上に立った時のことです。線路のわきに設置されていた鋼製の柵がなぎ倒されていたことから、おそらく 10m 程度の高さまでは津波が押し寄せたのだろうと考えられます。しかし、ふと反対側を向いてみると、ほぼ同じ高さにあった民家はほとんど被害を受けていませんでした。その原因を考えてみたのですが、流された PC 橋梁と海岸との間にはもう一つ橋梁があり、それは盛り土によって支持されていました。民家は盛り土の陰に隠れるような位置にあったので、津波がそこまでは回り込んでこなかったために PC 橋梁と同じくらいの高さにあったにも関わらず被害を受けていないのではないかとことです。このことから津波に対する対策の一つには、防波堤などの構造物を建設する他にその地域の地形を利用し、多重の安全策を設けるという方法もあるのではないかと感じました。市町村のレベルでは経験的に行われていた地域もあるようですが、国が方針として積極的に対策を行うことでより効率的に対策ができるのではという想いがこみ上げてきました。

陸前高田での壊滅的な被害を目の当たりにした時にも言葉にならないという状態でした。はるかかなたに流されてしまったかつて鋼桁だったものを目の当たりにし、構造物の設計指針を改良してどうこうなるような話ではないと強く感じました。これだけの被害が出ているのに何も感ぜずに能天気だった自分が情けないとも思いましたし、自然災害から人々を守らなくてはいけないという土木技術者の責任を強く感じました。

今回の調査会に参加させて頂いたのは一日のみでしたが、非常に様々なことを感じることができました。自然災害に対し強い構造物を作るだけでは不十分で、地形を利用することや、ハードとソフトを組み合わせた多重の対策が必要だと感じました。研究分野も土木の範囲も超え、様々な分野の人々と意見交換をしていくことの必要性を感じました。このような機会を与えて頂いたことに感謝します。ありがとうございました。

(横浜国立大学 修士 1 年 森谷)

今回東北地方に視察に行って、本当の自然の驚異の前では、我々は無に等しいことを痛

感じた。あらゆるものが流され、そこに残っているのはがれきの山だけとなった街を見て、言葉を失った。桁そのものがひっくりかえったコンクリート橋を見て、津波の恐ろしさを思い知った。堤防などでの防災にも限りがあるため、『逃げる』ことこそが、被害の拡大を防ぐのに最も重要なことである。この記憶を風化させることなく、防災と避難の線引きをしっかりとしていく必要があると思う。最後になりましたが、亡くなられた方のご冥福をお祈りいたします。

(東京大学 修士1年 三輪)

今回、3.11 に起きた東方地方関東沖地震の被災地を訪れたわけだが、連日メディアで報道されている光景を実際に見たことで、想像以上の衝撃を受けた。地震から2ヶ月以上も月日が経過したにも関わらず一面のがれきの山で再びこの地域が復興するのがいつになるかを予測することは到底出来なかった。実際に被災地を訪れて感じたことは自分の無力さであった。このような状況下では自分は何もできず、ただ被災地を目に焼き付けることしかできなかった。それと同時に今自分がすべきことは学生として今自分がしなければならないこと、すべきこと、やりたいことを全力でやることだと思った。橋梁に関わっている人間として微力ながらも自分が貢献できるよう精一杯やりたいと心から感じた。

(東京大学 修士1年 宮嶋)

はじめに、東北地方太平洋沖地震でお亡くなりになられた方々のご冥福をお祈り申し上げます。

私は5月17日、18日と2日間参加させて頂きました。

1日目は、初めて自分の目で見る被害の様子に、ショックを受けるばかりでした。新北上川大橋では、落橋防止ケーブルが破断された様子から津波の威力が伝わってきました。特に印象深いのは女川町でした。調査前に地図を見ると女川町の地形は波が集中しやすい形になっていることがわかり、また一方で、海拔が低い土地の部分は奥行きがないため、街にはかなり高い津波が押し寄せただろうと予測していました。しかしその予測を遥かに超える高さの津波が襲来していたことが判明し、堤防等の土木構造物だけでは防ぐことが出来ない災害があることを実感しました。

2都日目は宮古を中心に、岩手県内の被害を拝見しました。三陸海岸沿いの被害範囲の広さを知りました。田老地区では「田老万里の長城」と言われた立派な堤防や、下からの波の力で完全に引っくり返ったコンクリート製の桁がそのままの状態でした。同地区には2ヶ月経った今も多くアルバムが残されており、取りに来る人がいないのかと思うと、胸が締め付けられる思いでした。また閉伊川橋梁では、大きく曲がったレールや、6径間にも

渡って流された鋼製桁を調査し、私はここでようやく、力学的にどのような力が加わったのか、構造的な考えをめぐらせることができました。この日、大槌町で感じた鼻をつく臭いは一生忘れないようにしたいです。

今回の調査で、土木構造物の防災の限界を感じる事ができました。ハード面だけでは防ぎようがない災害があるという現実を突きつけられ、橋梁を勉強している身として悔しい思いをしました。今後はソフト面での防災は勿論ですが、ハード面でも橋梁分野だけでなく、例えば「橋梁構造分野と海岸工学分野」や「橋梁構造分野と都市計画分野」など、様々な分野が協力して研究を進めていくことが大切であると実感しました。

調査以来、ひとつの答えのない考えが頭をめぐっています。それは「過去にも津波の被害を経験しているのにも関わらず、その場所にまた街ができて人が住む、その理由は一体何だろうか」という疑問です。2ヶ月が経ち、被害の大きな地域では人々の姿はほとんどありません。しかしその一方で、眼下に被害が広がる高台で暮らす人がたくさんいらっしゃいました。その街に住み続けたい人のために、私たちは何が出来るのでしょうか。この震災を通して、改めて土木工学という学問の重要さを感じました。私は、土木工学が勉強できる環境であることに感謝をして、自分の目を見た被害を忘れることなく、今後の学生生活を送りたいです。

最後になりましたが、東北被害調査を計画して下さい藤野先生、長山先生、東京大学橋梁研の皆様、西尾先生に感謝申し上げます。ありがとうございました。

(横浜国立大学 修士2年 泉)

本調査を通し、土木構造物について考えを巡らせたのが、巨大な防潮堤をもつ田老地区である。田老地区は明治29年に死者1859名、昭和8年に911名と、二度の津波来襲時にそれぞれ最大の被害を受けている。その際、集団高所移転が困難であった村は、防潮堤の建造を中心に据えた復旧計画を立てた。財政難・戦争による物資不足を乗り越えて建てられた防潮堤は、昭和35年チリ津波、昭和43年十勝沖地震津波から人々を守り、1979年には総長2.4kmに及ぶ二重の大防潮堤に進化した。防潮堤の他にも、避難道路の建設・津波避難訓練・戸別防災無線受信機の配布など、あらゆる津波対策がとられた。今回の震災でも、巨大防潮堤と綿密な防災計画が果たした役割は大きい。反面、それでも犠牲者をなくすことのできなかつた現実に言葉を失う。

津波の難しさは100年に1度の災害であることだ。人の一生よりも長い周期の出来事との認識から油断が生じる。田老地区の人々でさえも、新しい防潮堤が過信を生んだのではないかと、訓練が簡略化していた、といった悔いの言葉を新聞に残していた。全く異なる問題だが、原子力発電所事故の背景にも、「大事故が起こる確率は少ない」という気持ちが

あると感じる。構造物の安全は50年に1度、100年に1度といった再現期間を基準に守られる。これからは、その線を越えた事象が起きた場合にどう対応するのかを真剣に考える責任があると思った。

土木構造物は、風景に溶けこみ、地域の人々の認識が曖昧になっていく。田老町で防災係を務めた方は、「防潮堤のもともと役割は、“自然の力に逆らわないように南北にできるだけ津波を受け流し避難の時間を稼ぐ”ことだった。」という。しかし、防潮堤が“津波から守ってくれる”という意識に変わっていた人も多いのではないか。自分の地域にある土木構造物が、何故存在するのか・何年使うつもりなのか・どれくらいの現象に耐えられるのか、もう一歩踏み込んで理解する必要がある。そして、専門家の役割は、それらを分かりやすく発信することではないか。例えば、構造物に完成した月日だけでなく、耐用年数も明記すれば、人々の意識が高まるだろう。震災を通して、日々の生活がどのように成り立っているのか、各々が見つめなおす時代になったと感じている。

(東京大学 修士2年 菊池)

毎日新聞 5月15日朝刊 検証・大震災:「津波防災の町」岩手・宮古市田老の3・1

#### 1 二重防潮堤にも限界

山下文男 三陸海岸・田老町における「津波防災の町宣言」と大防潮堤の略史 歴史地震 第19号(2003) pp.165-171

3月11日に発生した東日本大震災で、発生後に津波が家々を押し流してゆく様子をテレビの生中継で目の当たりにし、衝撃を受けると同時に、我々人間に対する自然の力の強さ、圧倒的なスケールに呆然とする他なかった。米CNNでも連日 **Breaking news** としてこの震災を一日中報道し続けていて、世界全体がこの自然の力に驚愕していた事が伺えた。普段沿岸の住民に美しい景色を誇り、生活を共にしていた海がこのような猛威を振るうという事は地元住民にとってどのような事だったのだろう。

今回の被災地の視察で、実際に自分の目で津波で全てを流された家々の瓦礫の山を目の当たりにし、震災発生から2ヶ月以上経った今でも、報道で見る以上に被害が深刻であったと感じた。瓦礫の山の中で、家族のアルバム、子供が大切にしていたであろう人形等、生活感の溢れる遺物も時折見られ、「取りにくる人はもういない」という現実に涙せざるを得なかった。家の基礎だけが残され、並ぶという光景は衝撃であり、その残された基礎が被災者の唯一の思い出への拠り所となっているのだろうか。自分達の地域に築き上げてきた基盤、思い出などがある日を境に全て失われる、という事実の辛辣さは我々には想像もつかないが、今回の視察ではその一部を垣間見ることができたと思う。

この震災を経験し、日本、そして世界の進む方向は間違いなく変わってゆくであろう。我々社会基盤学の人間として、ハード的な技術を用いて自然に立ち向かっていくか、ソフト的な対策で自然とうまくつきあってゆくか、様々な対策が考えられるが、いずれにせよ今回の震災を契機として我々は一層の社会基盤学的研究の進展をさせねばならないと感じた。それは社会基盤学を学ぶ我々の使命でもあるはずである。

勿論、被災者の方々の生活をもとのレベルに戻す事は最優先な事であるが、長期的にはこれらの壊滅的な被害を受けた被災地の新たな復興都市計画を考える上で、この大津波の記憶をどのようにして何世代にも渡って受け継いでゆくかという事も含めてデザインが考慮されるべきであるだろう。世界には広島平和記念公園、グラウンド・ゼロなど教訓を今に伝える様々なモニュメンタルな広場、建築などがある。どんなかたちは分からないが、日本人だけにではなく、世界の人々にも津波の恐ろしさを伝えることのできる“何か”を作る、または遺さねばならないと提言したい。具体的には陸に乗り上げた船、並ぶ住宅の基礎、いや、全く新しい何かのオブジェかもしれないが、我々が訪れた際に強い印象を与えられるものである。

さて、復興都市計画では、高台への居住、避難用の高層ビルの建設などが震災当初から叫ばれていたが、それで良いのだろうか。確かに、津波の破壊力を思い知らされた以上、沿岸に住む事はかなりリスクな事であるかもしれない。しかし今回の被災した地域は元々漁業と住が一体となって形成してきた個々の都市の深い歴史と精神がある。この震災を機に全てを均一化した高台移住などの対策によって行えば、それはある程度は有効ではあろうが、資産を失っても人々の中に息づく都市のこうした遺伝子は完全に消滅してしまう事になるだろう。本当の津波の被害はこういう事なのではないかと思っている。また、沿岸部に住む事が“過ち”であるかのように言う人もいるが、1000年に一度の大津波に遭うリスクと職住近接で漁業を行いながらその近くに住むというメリットを比較すると、実は沿岸部に住む事は極めて合理的な考え方であったのだと思う。わざわざ高台に住み、位置エネルギーを得るために毎日自動車などのエネルギーが使われるという事は近年のエネルギー問題の観点からしても合理的な考え方とは言えない。

では、津波がきたらどうするかという問題になる。ここに安全を取るか、都市の精神を取るかのジレンマがあるのだが、沿岸に住んだとしても避難訓練などのソフト対策、また、防波堤を作る事で津波の進行を遅らせる事も可能であるはずである。また、今後の技術発展により津波、地震の正確な予知ができるようになることも期待したい。

最後に、このような被災地の見学という、貴重な機会を与えていただいた研究室の皆様、先生方に心より御礼申し上げますと共に、被災地の1日も早い復興、犠牲者のご冥福をお祈りいたします。

(東京大学 修士2年 佐藤)

今回の現地調査を終えて、「自分に何ができるのか」ということを深く考えさせられた。正直、今回の調査で見てきたことに対して私個人が今の段階でできることは、非常に少ないように思う。しかし、長期的な視点にたって考えた時、今回の調査が来年から建設業界で働く私に新たな問題意識と未来に向けた強い決意をもたらしてくれたのは確かである。

遠くない未来に、建設業を通じて私が私なりに被災地の方々に貢献できる時が来ると思う。それは、東北地方だけでなくまた違う場所での災害になるかもしれない。その時に自分がどれだけアクションを起こせるか。そのための準備として私に今出来ることは、精一杯大学で土木工学を学ぶことなのではないかと考える。復興とは、一人ひとりの小さな努力の積み重ねによって成し遂げられるものだと思う。たとえすぐにその効果が見えなくても、その一つ一つの小さな努力を馬鹿にせず、その時その時を大切に毎日生きていけば、必ずや何かしらのかたちで社会貢献できるのではないだろうか考える。

最後になりますが、被害にあわれた皆様に心よりお見舞い申し上げますとともに、犠牲になられた方々のご遺族の皆様に対し、深くお悔やみを申し上げます。また、1日も早く普段の生活に戻れるようお祈り致しております。

(東京大学 修士2年 山崎)

私は、3月11日以来、ニュースや雑誌で多くの破壊した構造物を見ましたが、今後どのような構造物を作ればよいのかという観点から、津波の被害に耐えた構造物に関心を持っていました。そこへ西尾先生から今回の調査の案内があり、この時代に生きた日本人として被災地の状況を自分の目で確認したいという気持ちも後押しし、すぐに参加を決意しました。

実際に現地に行ってみると、特に津波で大きな被害を受けた被災地では、ただただ津波の威力とスケールに圧倒されるばかりでした。宮古市田老地区の津波が巨大防潮堤を超え襲った町の被害状況や、陸前高田市の市街地の大部分に及ぶ凄惨な被害の様子は、震災直後から逐次報告されておりましたが、自分の家のパソコンで見るのと、現地で目の当たりにするのはインパクトが全く異なりました。それを感じ得ただけでも視察に行った意味は大きかったと思います。

さて、関心事であった、被害に耐えた構造物はどのようなものであったかに関してですが、稚拙であると自覚するものの、自分なりに若干の分析をすることができました。建築物に関しては、鉄骨造が津波に強いのではないかと考えています。津波を受けた鉄骨造の多くは下層階部分が鉄骨フレームを残し流失していたものの、津波を直接受けていない高

層階の損傷は極めて限定的でした。また、下層階の被害は甚大でしたが、水圧で転倒したRCの構造物が多いことを踏まえると、下層階がフレームを残して流出したことで建物に作用する水圧は軽減されたと考えられます。人命救助の観点からは鉄骨造は有効なのではないでしょうか。橋梁に関しては、いくつかの橋梁で耐震用の落橋防止装置が桁の流失を食い止めた事例がみられました。今回のような震災時、まずは橋梁の被害をどの程度に留めるべきかという要求性能の議論になると思われませんが、落橋防止装置のこのような効果は次のいかにその要求性能を実現するかの段階で参考になるかも知れません。河川分野からは、堤防背面の被害が甚大であったことから津波が超流することを前提として河川堤防を設計すべきとの意見があります。建築・土木の分野でも堤防を越えた津波の被害を受ける可能性を考慮することが求められるかも知れません。

実は、最後に訪れた陸前高田市では、被災状況に言葉を失い、このような震災から人命を守り抜くことは到底できないと感じてしまいました。しかし、過去何度も発生した震災に立ち向かった先人たちに負けぬよう、私たちも少しずつでも状況を良くできるよう立ち向かわなければなりません。まずは、いかに人々を守り抜くか青写真を描くことからでしょう。私も、いまは今回の視察で得た経験を周囲に報告することが第一の役目と考えますが、将来的にはそのような震災対策のお手伝いをしたいと考えています。

今回、このような機会を与えて下さった先生方、私たち横国生を温かく迎えて下さった橋梁研の学生の皆さま、本当にありがとうございました。

(横浜国立大学 博士1年 田村)

Tohoku pacific ocean tsunami seems to be the most catastrophic event over the last 50 years in Japan. It caused disastrous damages to infrastructure and building but most importantly is that it caused about 30000 people lost their life. To date, it's possible for human being to overcome the financial damages such as collapse of buildings and industrial constructions and so on by economizing or carrying out an appropriate economy management or even spending money, if there is, but there is no way to compensate damages of missing human life.

As I saw and heard in my field investigation trip to Tohoku region, the tsunami waves were more than 38 meters in some area with unbelievable high speed and caused widespread damages throughout the coastal region. In my opinion there are two priority tasks for us to encounter and decay the destructive effects of future tsunamis:

1. The existence of early warning system is essential and indispensable to inform the

people from events and danger of tsunami. So it's necessary to improve abilities of tsunami waves prediction. Moreover a standing well organized institution should be organized to evacuate people when catastrophe happens. In addition evacuation procedures should be learnt by people in coastal area.

2. As I understood during the investigation trip, the settlement and liquefaction problems are more critical than super structure problems in the damaged area. So the behavior of different kind of soil in such those area, exposed the danger of tsunami, should be inspected and find a proper solution to overcome the problems of liquefaction and settlement and its destructive effects on the behavior of supported structures.

訳：東北太平洋の大津波は過去50年間の日本の歴史の中で最も壊滅的な被害であったと思います。それによって多くのインフラや建物に悲惨な被害を与えましたが、何より重要な事は、この災害によって3万人近く（訳注：6月16日現在で死者15541人、行方不明者7718人）の命が奪われた事です。建物やインフラの被害といった資産的な被害については、経済的政策や金銭の投入によって乗り切る事ができますが、失われた人の命をお金によって補償することはできないのですから。

私が今回の東北の被災地見学に行き聞いた所では、場所によっては津波は38m以上の高さであり、信じられないほどの早さで沿岸地域を広い範囲に渡って被害を与えたそうです。私は、将来起こりうる津波に立ち向かい、その威力を抑えるために、最優先で2つの事をやらなければならないと思います。

1. 津波の危険を住民に知らせるために早期警戒システムが不可欠であると考えています。そのため、津波の予測の性能を上げる事が重要であると思います。その上、大災害が起こったときに、人々が避難できるように良く組織された何らかの組織が必要であると思います。また、沿岸住民の方々はさらに災害発生時の行動について認識しておく必要があると思います。
2. 災害調査の時に分かった事です。被害地域では構造物そのものの問題よりも地盤沈下や液状化現象の問題の方が重大であるように思います。そのため、これらの津波に遭った地域の異なった種類の地盤の挙動を調べ、液状化、地盤沈下、そしてそれらの支持構造への被害の解決に役立ててほしいと思います。

(東京大学 博士2年 Amin 訳：佐藤)

今回の調査活動で、自分の目で津波の被害を見て、自然災害の破壊力に驚きました。社会基盤学の学生として、いろいろ勉強しなければならないことがたくさんあると思います。これから、自分も頑張ります。

(東京大学 博士2年 孫)

I am an exchange student from Thammasat University, Thailand. I have a great chance to attend the tohoku earthquake area inspection tour. Before I go to the area, I think I will see and understand the effect of the earthquake to the structures because I am interested in this topic. When I arrived at Sendai, I have seen the damage of many structures from the earthquake as I thought. However, it is only damage of minor structural component and non-structural component. After that, we go to observe the damage from Tsunami in Onagawa town, Ishinomaki port and Morioka. Everything I see from this inspection tour makes me understand about the horror of the disaster, because every time I look through the viewfinder of my camera to take pictures, I see only the ruins and lost. I know it must be a tremendous energy to be able to cause something like this. I feel sad and feel sympathetic people who have been affected by this disaster. I hope everything will be recovered and people will rise up again soon. I hope that natural disasters cause huge loss like this will not occur again in this world. Even though I know it is impossible, but I hope that more knowledge and technology will reduce losses down until there is no loss.

訳：私はタイのタンマサート大学からの交換留学生です。今回、この東北被災地調査ができたことは、とても良い機会だったと思っています。私が現地に行くまでは、私の興味がある分野でもある、地震そのものの構造物に対する被害を見学するのだろうと思っていました。仙台に到着して見た物は、やはり私が思った通り、地震によって被害を受けた多くの構造物でした。しかしながら、それらの被害は構造的にそこまで重要ではない箇所でした。その後、我々は女川町、石巻港と盛岡の津波被害を視察に行きました。この被害調査では災害というものの恐ろしさ以外に考える事ができませんでした。というのも、カメラを取り出してファインダーを覗いて見えた光景は、荒廃した町と瓦礫しかなかったからです。町をこのような状態にさせる力というものは途轍もないものだろうと思います。この災害に遭われた方々に悲しみや同情を感じるほかありません。一日も早く全てが復旧し、再び人々が立ち上がれることを祈念しています。またこのように、ここまで大きな損害を与えた自然災害が起こらないことを願っています。そのような事は無理だと分かっていた

としても、より多くの知識や技術によって被害を撲滅することができることを願っています。

(横浜国立大学 研究生 **Prakit** 訳：佐藤)

はじめに、このたびの東北地方被災地視察に参加させていただきまして、本当にありがとうございました。計画から当日アレンジまで行っていただいた、橋梁研究室の皆さまに大変感謝いたします。

わたくしは5月17日のみの参加で、仙台から石巻・女川地区を視察いたしました。テレビ等ではわからない、360度何もかもが浚われた広大な地帯を目の当たりにし、空気を肌で感じて、まずは言葉を失いました。被害の大きさに目を奪われがちではありましたが、先生方・学生の皆さんと橋梁を中心に女川・石巻地区の構造物を視察し、以下のことを特に考えました。一つは、これまで「耐震設計」のように地震のみについて考える構造物設計は身近に感じていましたが、今後は、今回の「地震」と「津波」のように複数の災害が襲う際の、防災にも目を向けた構造信頼性設計について、より考えていくべきと感じました。他に印象的であったのは、特に石巻から女川にかけての住宅地区にて、道路一本隔てただけで、津波・冠水に対する建物の被害の大小に違いが見られた点です。これは建物の形や並び方による問題か、海拔の1m程度の差・地盤の違いなのか、また建物の基礎の違いによるか、検討すべき点は多くあると思いますが、今後の防災において、大変貴重な検証材料となると感じました。

わたくしは普段、構造物のモニタリング等を研究テーマにしております。しかしこの震災が発生し、津波で一気に浚われていく構造物を生中継で目にした後しばらくは、センサをつけて安全・信頼性と謳っているいろいろなことを考えてもなんと無力なことかと、大変に気持ちが落ち込みました。しかし今回、二ヶ月後の被災地を訪れ、復旧・復興はまだ遠くても粛々と生活を始めようとしている人々の姿を目にして、また気持ちを新たに、土木に携わるものとしての使命を考えることができました。

(横浜国立大学 西尾准教授)

Visiting a disaster-affected area always gives you a special feeling. You will see directly the magnitude of disaster and how badly people in that area are affected. Before visiting the 2011 East Japan tsunami-affected areas I followed the news on the subject passionately from televisions, newspapers, and any online media and I had visualized the scale or magnitude of the disaster. But visiting the tsunami remains gives you different meaning. And soon as I reached the area, I realized that the scale of disaster

was far greater than what I had imagined.

We know Japan is not a stranger to natural disaster including tsunami. In fact it has been recognized worldwide as one of the countries that best prepared for earthquake and tsunami. At the visited areas we can see how people were aware of the tsunami hazard and how mitigation schemes have been in place. These areas are not new to tsunami. Some have been struck by large tsunami in 1960 Chile Tsunami. There have been reports showing that even greater tsunami have had struck the areas several hundred years ago. So the questions that come into my mind when seeing all the debris and tsunami remains are: “had we done our best to prepare for this?” and, “what can we do best to prepare ourselves for the similar event in the future?”

Some say that the current tsunami scale is unprecedented in the past 1000 years. Consequently, not so many structures were designed for such a rare event. This is probably true if we looked at how the giant breakwaters and tsunami protection walls collapsed at the coast of Iwate prefecture. But even though the scale of the event is colossal, there should be some ways to mitigate the impacts for people living in the areas.

We witnessed the failure of many bridges during the tsunami. Some of them were important bridges for the areas that should have withstood the disaster as they were part of disaster emergency escape route or disaster relieve plan. We should investigate how these bridges failed; learn from this event and prepare engineering strategies to make them more resilient in the future event of tsunami. Japan has done this before. Japan engineers have learned a lot from the 1995 Kobe earthquake on how to improve seismic resistant design of their infrastructures. Those lessons learned have been proved to be fruitful in the present earthquake. Therefore, similar approach should be taken for tsunami hazard.

As engineers or persons trained to be engineers, we often seek for engineering solution as the last resort. But perhaps we have not been so wise after all. I believe engineering solution is an integral and essential part of a disaster mitigation plan, but it is not the entire plan. Disaster such as earthquake and tsunami surely affect infrastructures technically, but at the end of the day it is society that is most affected. Therefore, we should avoid the pitfalls of building structures as tsunami protections that give people the false sense of safety. Seeing the marks left by tsunami and knowing how many people died in the hardest hit tsunami area make me question the logic of letting people

resided in the area at the first place. Why were they allowed to reside in those areas, especially when the areas have been long known prone to tsunami? This is a question that I think merits a serious discussion.

Of all places we visited in tsunami-affected area, the visit to Rikuzen-Takada saddened me the most. I could not help but infuriated by the fact that nothing better was done for the helpless people perished in the emergency shelter. As researchers, engineers and students trained to make a better society, we owe it to these people.

訳：

被災地を訪れるといつも特別な感覚にとらわれます。そこではその被害の大きさと、その住民がどれだけ大きく被害を受けたかを直接知ることができるからです。2011年の東日本大震災で津波の被害を受けた地域を訪れる前は、この話題についてテレビや新聞、オンラインのニュースなどから感傷的に思いながら辿り、その災害のスケールや規模を知ることができました。しかし、津波の被災地を訪れることで違った意味を呈してくるのではないかと思います。そして私が被災地に着いてみると、そのスケールは私が思っていたよりはるかに大きなものであったと思いました。

周知の通り、日本は津波を含めた自然災害には強くはありません。しかし、実際は「日本は地震や津波などには最もよく対策が施されている」と世界的に認知されてしまっています。今回訪れた被災地ではどれほど住民が津波の危険性を認知し、どれほど軽減策が現地で行われていたかを知ることができました。これらの地域では津波は初めての経験ではありません。例えば、1960年のチリ地震津波では被害を受けたところもありました。また、さらに数百年前に今回より更に大きな津波が襲ったという記録もあります。なので、この津波の被災地や瓦礫の山を見て思った疑問は、「我々は津波に対して十分な対策をしてきたのだろうか？」そして、「将来に起こりうる同じような災害に対して我々はどう対策すべきか？」ということです。

過去 1000 年間でこの津波のスケールは未曾有のものであったという人もいます。その結果として、このような稀有な出来事を考慮して設計されている建物は多くありません。岩手県の海岸で巨大な消波堤や津波防波堤が破壊されたのを見ても、恐らくそうなのだろうと思います。しかし、例えどんなに出来事のスケールが巨大であってもその地域の住民への被害を軽減する方法があるはずです。

今回、津波によって破壊された多くの橋梁を見てきました。その破壊されたものの中には災害時の避難経路として使われるため、災害時には耐えられなくてはならない重要な橋梁もありました。我々はこれらの橋梁がどのように破壊されたかどうかを調査し、この出来事から将来起こりうる津波に耐えうるような工学的戦略を立てるべきでしょう。日本は

かつてこのことをしてきました。例えば日本の技術者たちは 1995 年の兵庫県南部地震の際には社会基盤施設の耐震性能をいかにして上げるかということを知り、これらの教訓は今回の地震では活かされたということが証明できました。従って、同じような姿勢が今回の津波の被害に対しても取られるべきであろうと思います。

技術者、および技術者の卵たちにとって我々は、工学的解決法を最後の砦として求めています。しかし、結局我々はそのままで賢くはないのです。工学的解決法は災害軽減のプランの中では重要なものであると思いますが、それは全体的なプランではありません。地震や津波といった災害は、確かに技術的にインフラに影響を与えますが、結局は最も影響を受けたのは社会であったと思います。従って、我々は間違った認識を与えている津波防災としての建築物の落とし穴から避けるべきであろうと思います。津波によって残されたものを見て、そして津波の被災地でどれだけの人が亡くなったのかを知る限り、この地域に最初に住ませた人の論理がよく分かりません。なぜ津波によく遭う地域であると知りながらこの地域に住むことが許されてきたのでしょうか？これは十分に議論する必要があることであると思っています。

今回津波の被災地を見に行った中で、陸前高田が最も悲惨であった場所でした。緊急避難場所で亡くなった無力な住民に何もしてあげることが出来なかったということが無念でなりません。よりよい社会を作るために日々研鑽を続ける研究者、技術者そして社会基盤学の生徒として、我々はそれをする義務があるのだと思います

(東京大学 Dionysius 特任助教 訳：佐藤)

### • 失敗か？成功か？

今回の震災で、太平洋沿岸部の壊滅的な被害が大変衝撃的なイメージとして残りました。なぜ今まで土木エンジニアが精一杯作った社会施設は、人命や財産を守れなかったのでしょうか。田老町が 60 年以上をかけて整備した「日本一の防潮堤」「万里の長城」も無念にも失敗しました。

しかし、津波による被害が多かった一方、世界最大級のマグニチュード 9.0、最大震度 7 という規模にもかかわらず、揺れによる建物被害は少なかったと思います。もちろん、木造住宅や中低層の建築物に大きな被害を与える周期 1~2 秒の地震波があまり強くなかったことが一つの要因であるかもしれませんが、兵庫県南部地震後に土木エンジニアが提案した耐震設計の修正や耐震措置の改良など、様々な対策の成功も否定出来ないでしょう。

土木は、人類文明の共に、自然災害から勉強すべき科学です。失敗からのフィードバックは土木工学の当然の本質です。今回の防災の失敗の原因究明が、将来の失敗防止等、これからの防災の成功と繋がっていくことと思います。

- 想定外？

近頃、「想定外」という言葉をよく耳にします。予想を超えて、最悪の事態を避けられない事です。しかし、工学は理学の分野と異なり、あくまでも実用の学です。私たちの生活する日常空間で、技術的にも経済的にも成立するモノを作り上げ使用していく、というための学問です。事象を想定するが、影響が評価できず、対策も取らないこと、あるいは事象を想定せず、対策も取らないこと、これは工学では許されないことです。

この言葉は政治家や企業などがよく使っていますが、あくまで責任逃れのために便利な口実だと思います。巨大地震や大津波は当然想定されるべきでしょう。なぜならば、一人の人間の生涯で、これらを経験するのは一度だけとは限らないほど頻度が高いからです。今回の東日本大震災は 1000 年に一度しか起きないようなきわめて稀な地震と津波、という見方に私は反対します。明治にあった「三陸沖地震津波」は、記録による最大波高は、38.4m にもなります。他の地域でも、概ね 10m を遥かに越えていました。この地震津波は、国際的にも地震研究者の間では、常識中の常識と言われる有名な出来事だそうです。これと同規模の津波が再来する事を想定した対策を打っておくべきだと思います。なぜ想定外となったのでしょうか。

我々が調査した東北地方では、「津波浸水想定区域 ここまで」の看板を、たまたま見かけましたが、今回の津波でこの想定位置より高い場所に到達するケースは、陸前高田だけでした。工学では、いつでも想定能力が欠乏してはなりません。影響が十分に評価できないものの、最大限の安全係数をもって対策すべきでしょう。エンジニアは一義的に責任逃れではなく、謙虚に教訓を得ていく姿勢が必要となるでしょう。工学は、安全性だけでなく経済性も考えなければなりませんから、いかに狭い範囲に限定して 想定 を行うかということではなく、より広い範囲で想定内ただ予算外、想定内ただ対策手間外などの理念、エンジニアが有るべきであると思います。

- ハード vs ソフト

津波は低い頻度で発生、推定が困難なほどの巨大な破壊力を及ぼすものですので、堤防、水門などの構造物のみでこれに対抗することは難しいです。したがって、従来から、ある高さまでの津波に対しては、主に構造物で防護し、これを超える高さの津波に対しては、構造物によるハード対策ではなく、高台移住・拠点ビルの配置などのまちづくりや予警報と避難などのソフト対策を組み合わせる総合的な防災システムの整備が必要です。

三陸エリアは津波を 90 回も受けてきたと言われました。自分の集落の人たちがたくさん死ぬ、それでも立ち直る、ということをずっと繰り返してきた。先祖たちからいただいた大事な故郷を、いつまでも守りたい気持ちはよく理解していますが、必ずその場で現状復旧するわけではないでしょう。祖先から引き継いだものを少しでもより良いものにして子

孫に引き継ぐべきことはもっと良いです。今回の調査で、被災地と高台の高度差ただ数メートルの区別ですが、地獄と天国の距離です。今まで被災地の住民は半分以上元の集落に再建したいと報告します。長年故郷として住み慣れた場所を離れたくないのは良く分かります。しかしこの強大な自然の力を前に、堤防だの水門だのが余りにも無力なことがはっきりしたのではないのでしょうか。

正直高台に住まいを移す以外、思いつきません。たとえ不便でも漁港から離れた高台を開拓すべきだと思います。故郷を捨てるのは、生き残った人には辛いでしょうが、これから生まれてくる子供達には安全な「故郷」となるのですから。これはソフト対策の一環だと思います。

今回は見ていませんでしたが、三陸地方では、「高き住居は児孫に和楽、想え惨禍の大津波、此処より下に家を建てるな」のような石碑は約 200 基があります。なぜ失敗は伝わらないのでしょうか。地形は昔も今も変わらないので、湾になっていて津波が高くなるような場所は、過去にも部落が消滅するような悲劇を繰り返しているはずですが、時間が経ち世代も変わると恐怖心も薄れ、また同じことを繰り返します。

歴史が繰り返すことを止めることは出来ないのです。災害の記憶の伝承は防災の基本だと思います。

#### ● 土木エンジニアの責任

以上ではソフト対策ばかりを書いています、土木エンジニアもたくさんやるべき物があります。

津波予測の精度向上。東日本大震災ではすぐに津波の発生を予測できたが、予測を上回る大きさでした。修正した予測がすでに電気や通信が中止した地方の住民に伝わらなかった可能性が高いのです。また、第二波、第三波などは第一波より断然に大きいケースが多数存在しますので、地震後より確実な津波予測が必要だと思います。これまで開発してきた地震速報システムも大変役に立ちますので、津波予測はより難しいシステムとなるでしょうが、期待しています。

総合的な防災対策。土木のモノづくりは、冗長度が高いものを追求しています。同時に、より総合的な考えが必要だと思います。今回の仙台東部道路が事実上の防波堤になりました。堤防のような役割を果たしたとみられ、道路西側の被害を和らげました。南三陸町の津波避難ビルでは、全ての住民は奇跡的に全員生き残りました。土木エンジニアはあるものを作るとき、もっと全般的に考慮することは、将来的に役に立つことになるかもしれません。

復旧の大小問題。今回は、東北新幹線の運転再開にあたって最も大きな問題は電柱の損傷によるものです。今までの震災で、構造物が地震によってダメージを受け、そちらの復

旧に時間がかかっていましたが、今回は構造物の復旧があまりにも早く済んでしまったために、電柱の復旧が全体工程を左右するような状況になっていると言えるかもしれません。大きな構造物の安全性の問題を解決しても、小さい問題の着目点も重視が必要でしょう。

もっと工夫へ。今回の調査は、すでに存在する様々な工学対策は例外なくよく効いている印象が残ります。耐震補強済みの鉄道高架橋は全然被害が認められませんでした。巨大な破壊力をもつ自然災害を前にして、土木エンジニアはもっと工夫をして、自分の知恵や能力を発揮する余地が十分にあるのでしょうか。

(東京大学 蘇特任助教)

津波被災地の光景はいつまでも強く目に焼き付き、調査を終えて東京に戻ってからも折にふれて同じ光景が脳裏に浮かぶ。被災者を思うと共に、何が起きたのか、何をすべきか、思いを巡らせている。

現地ですぐ気づいたのは、浸水の有無により被害に大きな差があることである。津波により全壊した家屋のすぐ側にも、浸水がなく無被害の地域がある。津波対策は第一義的には津波による浸水を防ぐことであると直感的に理解できる光景であった。津波想定区域を示す道路標識が国道沿いにあったが、三陸地方の調査対象箇所に限れば陸前高田市以外では、津波被害により大きな被害が出ているのはこれら道路標識よりも標高の低い地域であった。(今回の調査対象外の仙台平野以南の平野部では想定区域未設定の地域にも浸水があったようである。)津波想定区域には入っていたが、防ぎきれなかった被害を我々は見たのだと思う。

一方で、浸水被害にあった地域でもよく見ると、鉄骨の曲がり、コンクリート構造物の被害程度などに地域差があった。特に宮古市田老地区では2重の堤防の内外で、破壊の程度が大きく異なっていた。地域によって土地利用も違い構造物群の強さに地域差もあるだろうが、恐らく津波の破壊力に差があったと解釈してよいであろう。事前調査資料を見ると、構造物の被害だけでなく、人的被害の観点からも大きな地域差があった。地形や土地利用形態、防波堤などの整備状況、防災意識などが影響因子であろうか。より大きな地域を俯瞰すると、三陸地方と仙台平野では、津波高さや遡上高、浸水面積など、被災状況は大きく異なる。一見すると、浸水地域はどこも同じように被害をうけているようだが、被災の程度は大きく異なる。

浸水の有無で決まる被害を完全に抑えるためには、防波堤により後背地の浸水を防いだり、浸水想定区域から人を排除したりすることが考えられるが、対象地域全体への適用は不可能であろう。浸水地域は生じるが、人命は守る、早期復旧を可能とする、など被害軽減策を考えるには、浸水の有無だけでなく、その程度や形態を詳細に調べ、どのような被

災を防ぐのか、許容するのか決める必要がある。浸水域の津波速度や破壊力の推定、被害軽減対策の成功や失敗の実例調査などの分析が不可欠なステップであり、専門家による調査結果が待たれる。

特に、被害軽減の実例調査に関していえば、明治、昭和、チリ津波を経験していた三陸地方では、ハードとソフトを組み合わせた高度な津波対策が既に行われていた地域もある。田老地区では 2 重の防波堤、非難街路の整備、避難訓練などの対策が行われていた。瓦礫の山と化した田老地区を一見すると、これらの対策が役に立たなかった、「想定外」の津波により大きな被害を受けた、との印象を受けるが、そうであろうか。防波堤内外で破壊程度が異なる、被災死者数は他の地域と比べて比較的少ない、など、減災効果があったと想像させるものが幾つかある。浸水はしたものの被災は軽微であった例とその原因究明、犠牲者がでたケースは、避難弱者が多かったのか、あるいは、避難に時間を要する地域の被災者が多いのか、等の詳細調査を経て、対策を考えるべきである。

我々が現地を訪れたのは震災から 2 ヶ月余りが過ぎてからであり、バスから降りた数箇所のみを点でみている。時間的、空間的に限られた調査である。より広い地域を俯瞰的に調べ、また、聞き取り調査などから避難状況など過去の状況を遡って調べたり、計測されたデータを元にシミュレーションしたりすることで、より詳細な実態が明らかになると期待している。大学や研究機関で詳細調査が進んでいるであろうから、調査報告書等から全体像（少なくとも現在よりも大きな像）が次第にみえてくるだろうが、その一部を今回自らの足で歩き、目で見て体験できたことは、全体像を把握、理解する上で大きな強みだと考えている。

現地を後にするとき、明治、昭和、チリ地震の津波の折にも多くの土木技術者が被災調査を行い、同じような光景を前に土木技術者の使命に思いを巡らしたはずだと考えた。我々の先輩も、ハード、ソフト双方の対策が必要で、そして、津波被害を長く伝承すべきだ、と考えたはずで、その跡が防波堤や避難経路の設定、石碑や言い伝えなどの形で、残っている。江戸時代以前のハード対策は限られるものの、ソフト対策や伝承の形で、土木技術者や地域の有力者が津波対策を繰り返してきたのだと思う。津波はてんでんこ、という言葉による伝承はその一例ではないか。時代時代の新しい技術、知見を加えながら基本的には同じことを繰り返してきているのであろう。

繰り返してきているといえど、人間の寿命の内に、一度か二度の経験であるから、繰り返しているとの実感は少ないかもしれない。地震による構造物被害は津波被害と比べて発生頻度が高く、被害から計画・設計・施工へのフィードバックも徐々に進み、改善を重ねてきているように思う。津波は頻度が少ないことから、被害から計画・設計・施工へのフィードバックも相対的には少ないのではないか。この数少ない機会を活用して津波対策へ

の有効なフィードバックをしなくてはと思う。

明治・昭和・チリ地震の被害を目にした土木技術者と比べて、我々が対策を考える上で持っている強み、技術・知見は何であろうか。考えを重ねた上での答えはないが、ビデオ記録や地動・波高データなどによる詳細な事象の記録、防波堤などの破壊形態の観察記録、シミュレーションによる推定、通信・解析技術を利用した迅速でより正確な津波警報、クラウドなどの津波被害情報管理・共有の仕組み、より強い材料、数々の地震を経て改良を重ねてきた構造物の耐震設計の考え、などが挙げられる。ハード、ソフト、後世への伝承といった同じ枠組みの中でも、これらの新しい知見を利用してより高度な津波対策の概念や具体策を実現できるはずだ。今まではできなかったことが、現代の知見を利用して実現可能なことも多いのではないか。例えば、津波はてんでんこの考えを進めて、避難弱者に対する考えも盛り込めないか。

最後に、新しい津波対策のアイデアを挙げる。一般的な対策は、報告書などに記載されるであろうから、アイデアベースの自由な記述であるが。

膜構造を利用した防波堤：

橋梁構造物では、径間が長い場合にもっとも有効にスパンを伸ばす形式は、斜張橋の形式である。曲げやせん断ではなく、引っ張り強さを利用することで、大きな荷重にも耐えられる形式である。津波による力は非常に大きい、これに有効に対抗するメカニズムとして、引っ張り強さを利用できないかと思う。具体的には、大きなアンカーから斜張橋メインケーブルのようなものを張って、横方向の力に耐えるようにできないか。複数本のケーブル間には引張強度の高い膜材料を張り、引張力で津波の水圧に抵抗出来ないだろうか。浸水を完全に抑えないまでも、流速を落とすためだけに利用するものであってもよいと考える。

津波進行方向の制御：

反射や屈折を考慮して波のエネルギーを人のいない地域に流す、ぶつけるといったことができないか。三陸地方では津波遡上高さに大きな地域差があった。波の進行方向に大きく依存している。そこで、様々な手段を利用して、崖など人間の居住域以外の場所に津波エネルギーの多くを誘導できないか。完全に津波を止めるのではなく、流す、誘導するほうが現実的でないか。防波堤の一部は既にそのような目的で設置されていることと思うが、前述の膜構造物や、水深変化による屈折・反射も考慮に入れて、総合的に津波を流す対策が考えられないか。

導水管等を利用した、津波波高の早期検知システム：

巨大津波が来る場合には避難が必要だと分かっているにもかかわらず、いつ津波が来るかわからなければ避難できない。現在も津波警報があるが、その精度は必ずしも高くない。警報が発令されても津波が来なかった、という事例が 10 回続くと、その後も住人は避難を続けるだろうか。警報の空振りが 50 回続いても避難を続けるだろうか。正確な予報、警報が重要である。GPS 潮位計などの利用で、津波予測の精度や速さが向上するであろうが、より原始的な方法で、正確な予報を実現できるのではないかと考える。例えば、導水管（ホースでもよいが）を数 10km 沖方向に向けて敷設する。津波の速さは時速数 10km であろうが、それよりも速い速度で水圧の変化は伝わるはずである。導水管が陸側では町役場などに通じていれば、数 10km 先の潮位変化を、導水管を通じて迅速に知ることが出来るのではないか。そして避難の可否を確実に判断できるのではないか。

後世への伝承のための定期的避難訓練：

関東大震災後の焼け野原となった東京の写真を見ると、その光景はあたかも津波被害にあった三陸地方のようであった。関東大震災後も、現在と同様に、土木技術者達が対策を議論したはずである。ハード、ソフト対策、そして後世への伝承など考えたことと思う。現在では、地震発生日の 9 月 1 日に防災訓練という形で伝承されている。静岡県出身の私は、小学校以来、9 月 1 日には防災訓練を行い、地震に対する対策を定期的に考える機会となっていた。津波に対しても、定期的な避難訓練を、教育機関のみならず地域として開催することが後世への伝承の手段として有効ではないか。防災訓練以外にも、関東大震災後に、当時の土木技術者たちが伝えようと考えたことがその後どのように伝わって行ったのか、検証することは、東日本大震災の教訓を残す上で、有効な手段となるのではないか。

(東京大学 長山講師)

大学三年のときに地震研究所 伯野元彦先生による地震工学の講義を受け、その分野に憧れ、卒業研究、修士時代は地震研究所ですごしました。地震学を極めるとはいかないものの、そこでは地震学を学ぶ若い方々と馴染みになり地震学の面白さと地震工学の社会に役立つ良さを知りました。

私が卒業研究のころには、現在カリフォルニア工大名誉教授金森博雄先生も 34 歳の教授として在任中で、間接的ではありますが、いろいろ御教えを受けました。留学から戻った後も地震研究所（伯野研究室）の助手を務めさせていただき、伊豆大島近海地震、宮城県沖地震を経験し、何度となく被災地を訪問しました。懐かしい思い出です。

その後、筑波大学そして、今の橋梁研究室に身を置き、次第と地震工学とは離れました

が、気分的には地震工学は常に私の関心事でありました。「若手地震工学の会」を京大の先生ほかの方々と作ったのも地震工学が大変好きだったからです。研究としては少し離れましたが、1989年ロマ・プウリエータ地震などの橋梁被害が大きい地震の被害調査には、その後も時折参加しました。

1995年の兵庫県南部地震は私を地震工学研究に引き戻す大きなきっかけとなりました。阪神高速道路神戸線の橋脚一本一本の図面をあつめ、被害を分析し、統一的な解釈ができることを何とか示すことができました。以来、耐震補強や免震設計などにも研究の手をのばし地震工学の問題であれば自分なりの解答を持てるとの自信を持っていたところがあります。

今回の3.11東日本大震災はこれまでの私の地震工学のイメージを一掃するものでした。もちろん地震による揺れで被害をこうむったものもありますが、そのほとんどの被害は揺れではなく、水すなわち津波によるものでした。津波による被害は水が襲ってきたほとんどすべての構造物を破損に至らしめるもので、振動による被害とは様相がまったく異なるものであることが、今回この目で見てははっきりといたしました。私自身がこのような津波による被害に対してどのような解決策を示すことができるか、まだよくわかりませんが、これからを担う若い人には自分たちの目でこの被害を見てもらいたく今回の調査旅行を企画した次第です。

三日間の調査で見たものも、ほとんどが津波による被害で、被害そのものの大きな差はないかもしれませんが、津波被害の恐ろしさを逆に物語っていると思います。原子力発電の問題とも加わって今回の被害による我が国が受けるダメージの大きさは極めて大きいと思われませんが、今回の災害を教訓に新たなる出発に向けて研究室の諸君が何らかの形で貢献してくれることを期待しています。

横浜国立大学の山田・勝地。西尾研究室のメンバーも参加して下さい、本当に充実した3日間でした。下の写真は、私にとって、貴重な写真になります。

(東京大学 藤野教授)



津波で流された新北上大橋をバックに 橋梁研と横国大メンバーと  
(2011年5月17日)