大阪市立大学大学院 工学研究科 大内 一、角掛久雄

はじめに

報道写真や先発調査された方々の報告を見せて頂き、今回は津波だと直感しました。津 波による流出は精々木造家屋など軽量物と思い込んでいたので、橋が消え、防波堤ケーソ ンがサイコロのように転がっているのは驚きでした。3月は色々行事もあり、ようやくにし て現地に出向いたのは4月10日~12日でした。限られた時間の中で行くとすれば、仙台 から宮古まで45号線を海岸沿い!と決めていました。1ヶ月が経過していましたが、結果 的にはむしろ幸いであったと思っています。先発調査の方々の報告やネット情報などから 予備知識があったこと、即復旧に取り掛かれないほど災害規模が大きかったこと、余震が 治まりかけていたこと、食料、車、燃料調達、宿泊なども少し容易になった時期であった からです。

原発の安全基準もそうですが、土木構造物の設計基準は変わる---と直感しています。日本の国土利用は海沿いであり、港湾・空港を整備し、その海に近い河に道路を通して来ました。これらの諸施設を構成する構造物に対し、耐震設計がようやく整備された矢先に今度は耐津波設計も必要になると。既存施設への対策も言うまでもないことで、嵐の前の静けさを感じる今日この頃です。

既に多くの方々が、震災後1ヶ月以内に調査報告を提出されています。2ヶ月も経って同 じような報告を出すことにいささかの躊躇が無いわけではありません。しかしながら、上 記のような動向を予見するとき、自分達も発信させて頂きたいというのが実感です。

取りまとめるにあたって少し意識したのは、1)震災直後の航空写真情報を利用して被 害の全貌把握に努めること、2)各地点での調査から今後取組むべき課題に触れることで す。

なお、橋梁名など不明なものは仮称を付けさせて頂きました。その他情報不足による不 十分な記述や独断がありましたらお許し下さい。まずは関係各位にご笑覧頂けると幸いで す。

2011年5月11日

- 1.橋梁施設
 - 1.1 調査橋梁
 - 1.2 鉄道橋
 - 1.2.1 志津川北架道橋(仮称)
 - 1.2.2 桜川橋梁他
 - 1.2.3 小泉架道橋
 - 1.2.4 津谷川橋梁
 - 1.2.5 小金沢橋梁(仮称)
 - 1.2.6 竹駒橋梁(仮称)
 - 1.2.7 浪板川橋梁
 - 1.3 道路橋
 - 1.3.1 歌津大橋
 - 1.3.2 二十一浜橋
 - 1.3.3 外尾川橋
 - 1.3.4 小泉大橋
 - 1.3.5 気仙大橋
 - 1.3.6 姉歯橋
 - 1.3.7 浪板新橋
- 2.港湾・護岸施設
 - 2.1 調査位置
 - 2.2 仙台港、仙台中央公園
 - 2.3 塩釜港
 - 2.4 松島地区
 - 2.5 南三陸地区
 - 2.6 田老地区
 - 2.7 山田・船越地区
 - 2.8 釜石地区

- 1 . 橋梁施設
- 1.1 調査橋梁

表 1.1.1 に鉄道橋について、また**表** 1.1.2 に道路橋について、調査橋梁一覧を示す。また、図 1.1.1 にはこれらの位置を示す。

地区	橋梁名	位置	形式	備考	落桁の状態
南三陸	1.志津川北架道 橋(仮称)	気仙沼線志津川~清水 浜間国道398号線沿い川 を跨ぐ	3径間単純RC&PC桁 橋(推定)	RC橋脚破壊(断面内外周に少鉄筋・ だるま落し)。全桁流出。	RC版桁表向け PC桁裏向け
	2.桜川橋梁他	気仙沼線志津川 ~ 歌津 間 清水浜駅付近	ラーメ橋台式単純PC 桁橋	橋梁上下部工は健全 盛土部が崩壊・流出	
陸前高田	3.小泉架道橋	気仙沼線蔵内 ~ 本吉の 陸前小泉駅周辺	多径間単純PC桁橋	1スパン分の桁落下	表向け
	4.津谷川橋梁	気仙沼線陸前小泉駅西 側で津谷川上流	多径間単純PC桁橋	RC橋脚破壊(1つは首折れ)。6スパ ンの桁流出。	左岸側3桁裏向け 右岸側2桁裏向け、他 1桁横向け
	5.小金沢橋梁(仮 称)	気仙沼線小金沢 ~ 大谷 海岸間の小金沢駅周辺	3径間単純RC桁橋 (推定)	RC橋脚破壊(断面内4隅に丸鋼鉄 筋、だるま落し)。海側桁と橋脚の一 部流出。	全桁裏向け
	6.竹駒橋梁(仮 称)	気仙沼線陸前矢作 ~ 竹 駒間の竹駒駅周辺	8径間鋼桁橋(推定)	4つのRC橋脚破壊(無筋・だるま落 し)を確認。3スパン分の桁流出。	鋼桁全壊
大槌	7.浪板川橋梁	山田線浪板海岸付近	3径間鋼桁橋	全桁流出。	比較的健全で2桁裏 向け、1桁裏向け

表 1.1.1 鉄道橋一覧

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(暫定版)9.橋梁の被害chapter9-2, 2011年4月

表1.1.2 道路橋一覧

地区	橋梁名	位置	形式	竣工	備考	落桁の状態
南三陸	1.歌津大橋	伊里前湾に面する国道45 号 線歌津バイパス	12 径間PC桁橋梁	1972 年	両端部を除く8 径間が落下。津波に よってサイドブロック以上の高さまで 桁が持ち上げられ、落橋、流出。	表向けと仰向け が半々程度
陸前高田	2.二十一浜橋	気仙沼市本吉町の二十一浜 川を渡る国道45 号線の橋梁	橋長17m の単純PC プレテンT 桁橋	1970 年	上部桁(下流側側道)および橋梁両 側の盛土部分が流出	
	3.小泉大橋	気仙沼市本吉町の津谷川を 渡る国道45 号線の橋梁	橋長182mの6 径間 プレートガーダー橋	1974 年	ーつは上流側に約350m に , もう一 つは堤防を越えて約400m 上流側に 流出。橋梁中央の橋脚流出。	
	4.気仙大橋	陸前高田市気仙町の気仙川 を渡る国道45 号線の橋梁	橋長182m の5 径間 鋼コンクリート連続 版桁橋	1982 年	5 径間すべての上部桁が津波によっ て500m 以上上流側に流出。橋台部 のみサイドブロック設置。	流出鋼桁全壊
	5.姉歯橋	陸前高田市気仙町の気仙川 を渡る東浜街道の橋梁	橋長147.2m の4径 間単純トラス橋	1932 年	桁が津波によって流失し,上流側に 漂着。上沓と下沓を止める支承部材 は引きちぎられている。	流出鋼桁全壊
大槌	6.浪板新橋	大槌町浪板海岸の浪板川を 渡る国道45 号線の橋梁	2径間鋼単純桁橋	2003年	両側道の上部桁流出、2橋脚とも破 壊	2桁とも比較的 健全で仰向け

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(暫定版)9.橋梁の被害chapter9-2, 2011年4月11日



図 1.1.1 調査橋梁位置図(Google マップ http://maps.google.co.jp/に加筆)

- 1.2 鉄道橋
- 1.2.1 志津川北架道橋(仮称)

位置:JR 気仙沼線志津川~清水浜間国道 398 号線沿いの河川を跨ぐ(湾口より約1.5km) 形式:3 径間単純 RC&PC 桁橋(推定)

被害の概要を図 1.2.1-1 に、全景を図 1.2.1-2 に示す。図 1.2.1-2 より、右岸側橋台の背面 盛土は破壊され、流出しているのが分かる。1つの RC 版桁と1つの PC 桁が左岸側に(図 1.2.1-3) また、1つの RC 版桁(図 1.2.1-4)が右岸の上流側に流出していた。3つの桁の うち PC 桁は裏向けの状態であった。



図 1.2.1-1 橋梁配置(推定)と被害の概要 (Google マップ http://maps.google.co.jp/に加筆)



図 1.2.1-2 被害全景および右岸側橋台と背面盛土の崩壊流出

橋脚については、所定の位置に見つけるこ とが出来ず、2 つの橋脚頭部が右岸側 RC 版 桁近くに流出していた(図 1.2.1-5)。このうち、円形断面橋脚は水平打ち継ぎ面と思われる 断面から上の頭部がだるま落し状に破壊されているのが分かる(図 1.2.1-6)。図に示される ように、断面内には細径の主鉄筋が断面内外周に僅かに配置されているが、配筋詳細は不 明であり、全ての鉄筋が破断したものであるかどうかは分からない。





図 1.2.1-3 左岸側に流出した PC 桁(手前) と RC 版桁(右奥)

図 1.2.1-4 右岸側に流出した RC 版桁 (奥にトンネルを見る)



図 1.2.1-5 河川内に流出した RC 橋脚頭部



図 1.2.1-6 RC 橋脚の切断面と配筋

1.2.2 桜川橋梁他

位置:JR気仙沼線志津川~歌津間の清水浜駅付近の第一清水浜架道橋、桜川橋梁、第二 清水浜架道橋(国道45号線の跨線橋)(清水浜より約300m)

形式: ラーメン橋台式単純 PC 桁橋

被害の概要を図 1.2.2-1 に、全景を図 1.2.2-2 に示す。図 1.2.2-2 に示すように、右側にあ る河川を跨ぐ橋の両橋台、および左側の国道 45 号線を跨ぐ橋の両橋台背面盛土が全て崩 壊・流出している。清水浜より約 300mの位置にあり、橋梁部分は PC 桁の上部に流木が見 られることから津波は桁上まで達したと思われるが、被害を免れている。



図 1.2.2-1 橋梁配置と被害の概要 (Google マップ http://maps.google.co.jp/に加筆)



図 1.2.2-2 橋梁の被害全景(写真右側河川、第二清水浜架道橋の山側 45 号線より撮影)

1.2.3 小泉架道橋
位置:JR 気仙沼線の陸前小泉駅周辺(湾口より約 800m)
形式:単純 PC 桁橋

被害の概要を図 1.2.3-1 に、全景を図 1.2.3-2 に示す。図 1.2.3-2 に示すように、国道 45 号線右側(陸前小泉駅側)の PC 桁が落橋している。なお、下部橋脚にはひび割れや傾斜の 様子は見られない。図 1.2.3-3 に陸前小泉駅方面を見た連続する単純 PC 桁橋を示す。また、 図 1.2.3-4 には、落下した PC 桁を示すが、表向きである。図 1.2.3-5 に橋脚桁がかり部分 を示すが、沓座下側部分とボルト頭が残っている。

図 1.2.3-7 では陸前小泉駅方面の崩壊・流出した盛土部を見ることが出来る。なお、陸前 小泉駅舎部はなくなっている。



陸前小泉駅 <u>2011 Google-地図データ 2011</u> ZENRIN 図 1.2.3-1 橋梁配置(推定)と被害の概要

(Google マップ http://maps.google.co.jp/に加筆)

今後に向けて

小尾川

隣接する小泉大橋は全上部桁が流出したが、本橋梁の場合、十数径間のうちー径間分の 桁だけが落橋した。比較的軽微な被害に終わった理由として、1)河川の架橋ではない、2) 路線方向が津波遡上方向とほぼ平行、3)橋脚高さが比較的高いなどが考えられる。具体の分 析が今後の課題として残る。



図 1.2.3-2 被害全景(下は国道 45 号線)



図1.2.3-4連続する単純PC桁橋(陸前小泉駅方面)



図 1.2.3-5 落橋した PC 桁



図 1.2.3-6 支承部



図 1.2.3-7 陸前小泉駅と盛土部の流出

- 1.2.4 津谷川橋梁
 - 位置:JR 気仙沼線陸前小泉駅西側で津谷川上流(湾口より約 2km)

形式:単純 PC 桁橋

被害の概要を図 1.2.4-1 に、全景を図 1.2.4-2 に示す。図 1.2.4-2 に示すように、津谷川に 架かる 6 径間分の PC 桁が落橋し、右岸側の 3 つの PC 桁は河川内の上流側に、左岸側の 3 つの PC 桁は決壊した堤防の外側へ流出している。 仮称 P1 橋脚は首折れ、P3~P5 橋脚は 上流側に横倒れ、唯一 P2 橋脚が元の形を保っている。



図 1.2.4-1 橋梁配置と被害の概要 (Google マップ http://maps.google.co.jp/に加筆)



図 1.2.3-2 被害全景

横倒れした P3~P5 橋脚を図 1.2.3-3 に示す。また、破壊状態の例を図 1.2.3-4~図 1.2.3-6 に示すが、基部曲げ破壊型の様相を呈している。P5 橋脚基部は打ち継ぎ部で開口し、鉄筋が抜け出し、または破断している。主筋には斜め横リブのついた D26、帯筋には D13 と予想される異形鉄筋が用いられている(図 1.2.3-7~図 1.2.3-8)。P1 橋脚を含め破壊した橋脚は全て上流側に傾いていることから、津波力によると考えるのが自然である。



図 1.2.3-3 上流側より P3~P5 橋脚を見る



図 1.2.3-4 P4 橋脚(下流側より撮影)



図 1.2.3-5 P5 橋脚(下流側より撮影)

図 1.2.3-6 P5 橋脚の破壊断面



図 1.2.3-7 主鉄筋



橋脚天端に遺されている沓座部分を図 1.2.3-9 に示す。左側はピン固定沓、右側はピン移 動沓と思われるが、浮き上がりに抵抗できる構造にはなっていない。また、沓座を含めて PC 桁を飛ばされた結果、P6 橋脚天端に遺された沓座固定用アンカーボルトの破壊状況を 図 1.2.3-10 に示す。興味深いのは下流側のボルトは上方向に引抜かれ、上流側のそれは引 抜きに加えて上流側に傾いていることである。回転モーメントによって引抜かれ、最後は 水平方向力によって上流側ボルトがねじ曲げられたことを予想させる。



図 1.2.3-9 支承 (P4 橋脚上)



図 1.2.3-10 支承固定用ボルトの変形 (P6橋脚上)

図 1.2.3-11 には左岸側堤防崩壊部と流出 痕を、図 1.2.3-12 に流出した PC 桁を示す。 いずれも裏向き状態であるが、下に凸となる変形を受けている。すなわち、もとの橋梁位 置にある時に上向きの作用力を受けたことを予想させる。一方、図 1.2.3-13、図 1.2.3-14 の斜めひび割れ状況からは下から突き上げるような力を予想させる。これらの PC 桁は落下 時や堤防盛土との衝撃力を受けていることが予想されるが、それぞれの桁によって破壊状 況に差異があり、特定するのは難しい。



図 1.2.3-11 堤防崩壊盛土からの流出痕



図 1.2.3-12 流出した G4 桁(右)と G5 桁(左)



図 1.2.3-13 G4 桁



図 1.2.3-14 G5 桁

図 1.2.3-15~図 1.2.3-17 には右岸側に流出 した PC 桁を示す。最上流側に流された G1 桁のみ横倒し、他は裏向きである。なお、G3 桁の変形状態や斜めひび割れは左岸側流出の G4、G5 桁と類似している。

図 1.2.3-18 には、落橋流出の一シナリオを示す。津波によって PC 桁には水平力に加え て上向き力が作用し、橋脚天端で回転しながら重流側へ落橋した。図 1.2.3-10 の支承固定 用アンカーボルトの変形痕はそのことを推測させる。その後河川堤防に衝突し、決壊させ て堤防外へ流出した。



図 1.2.3-15 G1 桁



図 1.2.3-16 G2 桁(背後に橋台)



図 1.2.3-17 G3 桁



図 1.2.3-18 落橋・流出のーシナリオ

津谷川橋梁のすぐ上流側には旧橋と思わ れる橋の被害を見つけることが出来た。図 1.2.3-18 には破壊を免れた多柱式橋脚を(背後に左岸側橋台)を示す。なお、図 1.2.3-16 で流出桁の背後には右岸側橋台を見ることができる。図 1.2.3-19~図 1.2.3-20 に破壊した 橋脚を示す。いずれも柱部が横梁と切り離された形で部分的に破壊している。図 1.2.3-21 に柱断面を示すが、外径 500 弱の中空断面で補強材には鋼より線が使用されている。



図 1.2.3-18 隣接橋梁の多柱式橋脚



図 1.2.3-19 破壊した多柱式橋脚



図 1.2.3-20 破壊した多柱式橋脚

今後に向けて

図 1.2.3-10 に示した支承固定用ボルトの変 形は、津波力による桁の浮き上がりと回転移動 を推測させる。今後、橋梁桁への津波力を推定 することが大変重要になるが、そのための一つ



図 1.2.3-21 橋脚断面と鋼より線

の状況証拠となる。加えて当橋梁の場合、橋脚の多くが曲げ破壊し上流側に傾いた。その 結果として、あるいはそれ以前に桁が流出したのかという問題も残る。

さらには、橋梁上流側堤防の崩壊は桁流出の結果であるか原因であるかの問題もある。 なお、図 1.2.3-18 に示したものは結果としての一シナリオである。 2.5 小金沢橋梁(仮称)
位置:JR 気仙沼線小金沢~大谷海岸間の小金沢駅周辺(海浜から数十m)
形式:3径間単純 RC 桁橋(推定)

被害の概要を図 1.2.5-1 に、全景を図 1.2.5-2 に示す。図 1.2.5-2 に示すように、河川内に ある 2 つの橋脚が破壊、3 径間分の RC 桁が落橋した。3 つの RC 桁は左岸上流側に、破壊 した橋脚上部は下流側に流出した。



図 1.2.5-1 橋梁配置(推定)と被害の概要 (Google マップ http://maps.google.co.jp/に加筆)



図 1.2.5-2 被害全景

河川内に遺された橋脚下部を図 1.2.5-3 に 示す。打ち継ぎ部と思われる断面より上部が なくなっている。図 1.2.5-4~図 1.2.5-5 には下流側に流出した橋脚頭部とその下面(打ち継 ぎ部と思われる)を示すが、細径の鉄筋(異形か丸鋼かは不明)が隅部に 4 本配置されて いる程度である。切断された鉄筋には絞りが見られる。図 1.2.5-6~図 1.2.5-7 には上流側に 流出した RC 桁を示すが、全て裏向けになっている。



図 1.2.5-3 橋脚下部分



図 1.2.5-4 橋脚頭部



図 1.2.5-5 橋脚破壊断面と補強筋

今後に向けて

破壊した橋脚上部が下流側に流出したの はいずれにせよ引き波による。しかし、破壊 して上流側に流出した後、引き波によって下 流側に移動した場合と、引き波そのものによ って破壊し流出した場合が考えられる。 1.3.6 節で紹介した浪板新橋の橋脚破壊は鉄 筋の曲がり方から引き波によることを示唆 しているが、本橋の場合は不明である。上部 桁は一般に上流側に流出しているが、橋脚に とっては寄せ波、引き波のいずれが支配的と なるのであろうか?



図 1.2.5-6 RC 桁(裏向き)



図 1.2.5-7 海側に流出した橋脚の一部

位置:JR 大船渡線陸前矢作~竹駒間の竹駒駅周辺(湾口から約 5km) 形式:8 径間鋼桁橋(推定)

1.2.6 竹駒橋梁(仮称)

被害の概要を図 1.2.6-1 に、全景を図 1.2.6-2 に示す。ここに、仮称 P0 橋脚はスパン割り からの推定である。しかし、未確認であり、確認できている P1 橋脚以降について記載する。

図 1.2.6-2 に示すように、4 基の橋脚(P1~P4)が破壊、一部の鋼桁は倒壊しなかった P5 橋脚に引っ掛かるようにして垂れ下がった。2 つの鋼桁は倒壊した P3、P4橋脚の上流側に、 そして残りの鋼桁は 343 号線の橋梁直下まで流出していた。4 基の橋脚のうち、P1,P2,P4 橋脚は打ち継ぎ部分からダルマ落し状に、P3 橋脚はフーチング部分から上流側に根こそぎ 倒壊していた。なお、P1、P2 橋脚の頭部は見つけることが出来なかった。



図 1.2.6-1 橋梁配置(推定)と被害の概要 (Google マップ http://maps.google.co.jp/に加筆)



図 1.2.6-2 被害全景(右岸上流側より撮影)

図 1.2.6-3~図 1.2.6-4 に倒壊した P1~P4橋 脚を示す。P1、P2、P4橋脚は水平打ち継ぎ 面と思われる断面からダルマ落し状に破壊している。一方、P3橋脚はフーチング部分から 倒れている。図 1.2.6-5 には P4橋脚の破壊断面を示すが、無筋である。図 1.2.6-6 には P5 橋脚を示すが、P4橋脚が破壊したため鋼桁はぶら下がる形で落橋している。図 1.2.6-7 に は約 200m上流の 343 号線橋梁直下まで流出した鋼桁を示すが、ほぼ原型を保っている。



図 1.2.6-3 奥より P1 ~ P3 橋脚



図1.2.6-4 奥よりP3~P4橋脚(右横に落桁)



図 1.2.6-5 P4 橋脚の破壊断面



橋脚の倒壊が先か、鋼桁の落橋が先か興味深 いところである。また、橋脚の倒壊は地震力に よるものか津波力によるものかも興味深い。 P5、P6橋脚は生き残っていること、また倒壊 した橋脚は全て上流側に倒れこんでいること、 水平打ち継ぎ面を有する橋脚は無筋構造であ ること、上流に流出した鋼桁は比較的原型を保 っていること等を勘案すると、津波力によって 橋脚が倒壊し、その後上部桁が流出したという のが可能性の高いシナリオとして想定される が、今後の分析課題である。



図 1.2.6-6 P5 橋脚と落橋桁



図 1.2.6-7 上流に流出した落橋桁

1.2.7 浪板川橋梁

位置:JR山田線浪板海岸付近(海岸から約400m)

形式:3径間鋼桁橋

被害の概要を図 1.2.7-1 に、全景を図 1.2.7-2 に示す。図 1.2.7-2 に示すように、3 径間分の全鋼桁 G1~G3(仮称)が落橋し、上流側に流出した。また、橋台背面盛土も破壊され流出した。



図 1.2.7-1 橋梁配置と被害の概要(Google マップ http://maps.google.co.jp/に加筆)



図 1.2.7-2 被害全景

右岸上流側に G1 および G2 (仮称)桁が 裏向きで流出していた。一方、残る G3 桁は 河川に沿う形で回り込み、約 100m 上流左岸側に表向きで流出していた。図 1.2.7-5 には左 岸側橋台と背面盛土を示すが、破壊・洗掘されるとともに橋台の上流側控壁が破壊してい る。また、図 1.2.7-6 には右岸側橋台を示すが、同様に上流側控壁が破壊している。そして、 沓座固定用のアンカーボルトが引抜けている(図 1.2.7-7)。



図 1.2.7-3 流出した G1 桁(裏向き)



図 1.2.7-4 流出した G2 桁(裏向き)



図 1.2.7-5 流出した G3 桁(表向き)



図 1.2.7-6 左岸側橋台と盛土



図 1.2.7-7 右岸側橋台と沓座

今後に向けて

図 1.2.7-8 に JR 浪板川橋梁、および 1.3.6 節で紹介した国道 45 号線浪板新橋を含む浪板 海岸周辺地図と橋梁被害を示す。周辺には浪板川に架かる道路用の橋が他に 3 橋あるが、 災害後の写真からも分かるようにこれらは流出していない。大きな差異は橋梁高さである。 浪板川橋梁背面盛土に残る流木や浪板新橋高欄の変形痕跡から見て、橋梁上部工を遥かに 凌ぐ津波高さであったと思われる。構造物の高さと被害との関係、さらには高さ方向の津 波力についても今後分析する必要がある。

さらに、付け加えるとすれば蛇行する河川内での津波遡上速度や波力は外周部と異なる のであろうか?厳密には地形や構造物などの影響も受けるはずである。今後、マクロ、ミ クロの視点に立った被害分析が必要と思われる。



図 1.2.7-8 浪板海岸周辺地図と橋梁被害 (Google マップ http://maps.google.co.jp/に加筆)

- 1.3 道路橋
- 1.3.1 歌津大橋
 - 位置:伊里前湾に面する歌津バイパス(湾口)
 - 形式:12 径間 PC 桁橋

被害の概要を図 1.3.1-1 に、全景を図 1.3.1-2 に示す。陸前三陸方面の仮称 P2 橋脚から P10 橋脚まで、伊里前湾に架かる 8 スパン分の PC 桁が山側に落橋した。P2 ~ P7 橋脚上の 桁は表向き、また、スパンの長い P7 ~ P10 橋脚上の桁は裏向きで落橋していた。また、橋

21



図 1.3.1-1 橋梁配置(推定)と被害の概要 (Google マップ http://maps.google.co.jp/に加筆)



図 1.3.1-2 被害全景 (奥より P2~P6 橋脚)

梁中央部の桁ほど山側に流出している。

図 1.3.1-3 ~ 図 1.3.1-5 には P5 ~ P10 橋脚を示すが、これらは RC 巻き立てによる耐震補 強がなされている。図 1.3.1-3 から分かるように、P7 橋脚では、天端に設けられた 4 つの 移動制限装置のうち、山側に配置されたものが同方向に傾斜している。また、図 1.3.1-4 か ら分かるように、P8 橋脚では、山側のサイドブロックが破壊されており、上部桁の山側へ の落橋と符合する。また、図 1.3.1-6 には P7 橋脚の梁付け根部のひび割れを示すが、水平 方向に伸びており、橋脚天端には曲げ、ないしは上向きの力が作用したことが推測できる。



図 1.3.1-3 右より P5、P6、P7 橋脚

図 1.3.1-4 P8 橋脚



図 1.3.1-5 右より P9、P10 橋脚



図 1.3.1-6 P7 橋脚梁付け根部水平ひび割れ

図 1.3.1-7 には表向きに流出している P4~P7 間の桁を、また、図 1.3.1-8 および図 1.3.1-9 には裏向きに流出した P7~P8 間、および P8~P9 間の桁を示す。図 1.3.1-9 の PC 桁端部 には沓座部が残っているが、浮き上がり力に抵抗できない可動沓と思われる。さらに、図 1.3.1-10 には P8~P9 間の桁端部を示すが、プレストレス用の PC 鋼より線が破断し、定着 部がなくなっている。



図 1.3.1-7 P4~P7間の桁



図 1.3.1-8 P7~P8 間の桁(裏向き)





図 1.3.1-10 P8~P9 間の桁端部

図 1.3.1-9 P8~P9 間の桁(裏向き)と沓座

今後に向けて

全 12 径間のうち中央 8 径間の桁が流出し、側径間のそれらは行き残っている。さらに、 引き波の問題は別途にあるとしても、中央径間ほど山側への流出が大きい。橋軸方向での 津波力作用の相違が考えられる。さらに、沓座、サイドブロックや躯体の損傷痕跡から、 水平方向だけでなく、浮き上がり力または回転モーメントの作用したことが推測される。 今後の解明が必要である。 1.3.2 二十一浜橋

位置:気仙沼市本吉町の二十一浜川を渡る国道 45 号線(海岸より約 50m)とその脇道 橋梁

形式: 単純 PC 桁橋

被害の概要を図 1.3.2-1 に、全景を図 1.3.2-2 に示す。3 径間の橋梁のように見えるが、 側径間は応急復旧された仮設の鋼桁である。二十一浜橋はそれほどに背面盛土の流出が大 きかったと言える。2 基の壁式橋脚が設置されているが、フーチングの下面まで基礎地盤が 大きく流出した。また、当橋梁の下流側、上流側には側道用の橋梁が別途に設置されてい たようであるが、下流側の桁は無くなっている。また、その杭基礎も露出するまで基礎地 盤が大きく流出している。なお、図 1.3.2-2 中の裏向けになった桁は、二十一浜橋とは別の



図 1.3.2-1 橋梁配置と被害の概要 (Google マップ http://maps.google.co.jp/に加筆)



図 1.3.2-2 被害全景

上流側脇道に設置された橋梁からの流出と思われる。

図 1.3.2-3 および図 1.3.2-4 に基礎杭が露出する程まで基部地盤が流出した橋脚を示すが、 側道部橋梁についても同様である。

図 1.3.2-5 には脇道の橋梁から流出したコンクリート桁を示すが、沓座の跡が見当たらな い。図 1.3.2-6 には当該桁の腐食鉄筋を示すが、海岸に面しており塩害劣化が進んでいる。







図 1.3.2-4 右岸側橋脚基部盛土流出



図 1.3.2-5 流出したコンクリート桁 (橋梁不明)



図 1.3.2-6 塩害による鉄筋腐食

今後に向けて

下流側の側道桁が流出したが、上流側で見つけることが出来なかった。津波の寄せ波で 水平方向に落橋するとすれば本線用 PC 桁で拘束される。従って、上方向に浮き上がったと しか考えられない。一方、引き波であれば水平方向への移動は可能である。上流側の側道 桁が流出しなかったのは、本線用 PC 桁の存在により津波力が小さかったからと考えてよい か?など今後解明すべき課題である。

1.3.3 小泉大橋

位置:宮城県気仙沼市本吉町 津谷川を渡る国道45 号線(海岸より約800m)

形式:橋長182mの6径間プレートガーダー橋

被害の概要を図 1.3.3-1 に、全景を図 1.3.3-2 に示す。全上部桁が約 300~400m上流側に 流出するとともに河川中央部の P3 橋脚(仮称)が無くなっている。



図 1.3.3-1 橋梁配置と被害の概要 (Google マップ http://maps.google.co.jp/に加筆)



図 1.3.3-2 被害全景 (Google マップ http://maps.google.co.jp/に加筆)

図 1.3.4-3 に P1,P2 および P4 橋脚全景を示すが、対岸(右岸)の橋梁上流側堤防が決壊 している。同様に、図 1.3.4-4 に示すように左岸も橋梁上流側で決壊している。図 1.3.4-5 には左岸側橋台部を示すが、左端のダンパーがなくなっており、残る 3 つのダンパーは桁 取付け部でボルトが破断したと推測される。



図 1.3.4-3 橋脚と右岸上流側堤防決壊



図 1.3.4-4 左岸上流側堤防決壊



図 1.3.4-5 流出した橋台部ダンパー

図 1.3.4-7 には左岸側橋台部での沓座を示 すが、上下移動制限用鋼板の頭部が破損して いる。



図 1.3.4-6 ダンパー桁側取付け部



図 1.3.4-7 沓座の上下移動制限用鋼板部の破損

図 1.3.4-8 には左岸側に流出した鋼桁を、また図 1.3.4-9 には河川内に流出した鋼桁を示 すが、原型を留めない程に変形している。軽重量の鋼桁は河川内で流出されるうちに大き く変形したと推測される。



図 1.3.4-8 左岸側に流出した鋼桁



図 1.3.4-9 河川内に流出した鋼桁

今後に向けて

橋梁の存在と上流側河川堤防崩壊との因果関係、さらには、比較的規模が大きく、河川 の流れと平行に配置された壁式橋脚の流出の可能性について解明が必要である。そのため には同橋脚の流出先も明らかにする必要もある。 29

1.3.4 気仙大橋

位置:岩手県陸前高田市気仙町 気仙川を渡る国道45 号線(海岸より約600m) 形式:5 径間鋼コンクリート連続版桁橋

被害の概要を図 1.3.4-1 に、全景を図 1.3.4-2 に示す。全ての上部桁が 500m以上上流側 に流出した。



図 1.3.4-1 橋梁配置と被害の概要(Google マップ http://maps.google.co.jp/に加筆)



図 1.3.4-2 被害全景(Google マップ http://maps.google.co.jp/に加筆)

1.3.3の小泉大橋と同様、橋梁上流側堤防が決壊している(図1.3.4-3 および図1.3.4-4)。 図1.3.4-5 には左岸橋台に設置されたダンパーを示すが、桁との結合ボルトが引き千切られ たと推測される。図1.3.4-6 には橋脚天端のゴム支承を示すが、ゴム支承がなくなっている ものや破断しているものなどがある。橋脚天端には設置されていないようであるが、橋台 にはサイドブロックが設置されており、乗り越える形で上部桁が流出したと推測される。



図 1.3.4-3 左岸上流側堤防決壊



図 1.3.4-4 右岸上流側堤防決壊



図 1.3.4-5 左岸橋台に設置されたダンパー

図 1.3.4-7 には 500m 以上上流側まで流出し た鋼桁を示す。このうちの 1 つは左奥に見える ように約 1km 上流にある姉歯橋のまだ上流側 まで流出している。なお、右奥に見える緑色の トラス桁は姉歯橋から流出したものである(気 仙大橋の上部桁は薄青色、姉歯橋のそれは緑 色)。

今後に向けて

橋梁の存在と上流側河川堤防崩壊との因果 関係は小泉大橋と同様である。ゴム支承への作 用力と強度との関係を検討する必要があろう。



図 1.3.4-6 橋脚天端のゴム支承



図 1.3.4-7 上流に流出した鋼桁

1.3.5 姉歯橋

位置:岩手県陸前高田市気仙町 気仙川を渡る東浜街道(海岸より約1.5km) 形式:4 径間単純トラス橋

被害の概要を図 1.3.5-1 に、全景を図 1.3.5-2 に示す。全ての上部桁が上流側に流出した。



図 1.3.5-1 橋梁配置と被害の概要(Google マップ http://maps.google.co.jp/に加筆)



図 1.3.5-2 被害全景

図 1.3.5-2 に示すように、銘板に昭和七年一月竣成とあるから旧い橋梁である。実際、図 からも分かるように老朽化が激しい。橋脚天端部分には緑色の塗装材噴霧の跡を見ること が出来る。図 1.3.5-3 に示すように橋の入り口は鋼材で遮断されており、供用されていなか ったようである。同図の左奥には、上流側に捻じ曲げられて流出したトラス桁の一部をみ ることができる。なお、そのまた上流側に薄青色の桁が流出しているが、これは下流側の 気仙大橋のものである。図 1.3.5-4 には、右岸側に流出したトラス桁を示すが、かろうじて 原型を見ることができる。



図 1.3.5-3 左岸側橋梁口と流出桁



図 1.3.5-4 右岸側に流出したトラス桁

1.3.6 浪板新橋

位置:大槌町浪板海岸。浪板川を渡る国道 45 号線側道(海岸より約 100m)

形式:2径間鋼単純桁橋

被害の概要を図 1.3.6-1 に、全景を図 1.3.6-2 に示す。上流側橋梁の中間橋脚が破壊され、 鋼桁とともに流出、下流側橋梁の中間橋脚は下部のみ残った形で破壊されている。河川の 上流右岸側に流出した鋼桁を見つけることが出来るものの、上流、下流側、いずれの橋梁 のものであるかは不明である。加えて橋台背面盛土も決壊している。



図 1.3.6-1 橋梁配置と被害の概要(Google マップ http://maps.google.co.jp/に加筆)



図 1.3.6-2 被害全景

図 1.3.6-3 に、上流側橋梁の右岸側橋台と 背面盛土を示す。本線橋梁の盛土を含め、大 きく破壊されている。なお、高欄は上流側に 曲がり落ちている。

図 1.3.6-4 と図 1.3.6-5 には、破壊した中 間橋脚の頭部および柱部コンクリートを示 す。橋脚頭部の沓座は定着部が引抜かれるか、 またはそれ自身が破断している。橋脚が部分 的に破壊していることについては、最初の破 壊時、または破壊後の津波力によるのか不明 である。



図 1.3.6-3 橋台と背面盛土の破壊



図 1.3.6-4 破壊した中間橋脚の頭部



図 1.3.6-5 破壊した中間橋脚の柱部

図 1.3.6-6 と図 1.3.6-7 には、下流側中間橋脚の破壊を示す。橋脚中間部で壊れているが、 配筋の問題、または津波力作用によるのか、これも不明である。但し、軸方向鉄筋は橋梁 高欄と同様下流側に曲がっており、引き波による破壊であり、橋脚頭部や上部桁は海に流 出したことも予想される。

図 1.3.6-8 には上流側に流出した鋼桁を示す。右側 I 桁鋼の手前支承部付近で、局部的に 曲げねじりを受けている。津波による流出の際、この部分が局部的に抵抗したためと予測 される。





図 1.3.6-6 下流側中間橋脚の破壊

図 1.3.6-7 下流側を向く中間橋脚の鉄筋



図 1.3.6-8 流出した鋼桁

今後に向けて

本線桁は生き残り、側道桁が流出した理由として、1)中間橋脚の破壊、2)本線が PC 桁で あるのに対して側道は軽重量の鋼桁、3)スパンが長い、ことなどが考えられる。また、中間 橋脚の破壊が先か、上部桁の流出が先かの問題もある。一般には前者と考えるのが自然で あるが、設計情報や外力と破壊との関係が不明であり推定は困難である。また、下流側中 間橋脚について引き波による破壊の可能性や、中腹部での破壊についても今後解明する必 要がある。

- 2.港湾・護岸施設
- 2.1 調査位置
 - 図 2.1-1 に調査位置を示す。



図 2.1-1 護岸・港湾の調査位置 (Google マップ http://maps.google.co.jp/に加筆)

2.2 仙台港、仙台中央公園

東北地方にあって大規模な港湾であり、荷揚げや倉庫、生産施設もあることから、被害 は比較的大きい。



図 2.2-1 横倒しにされた立て看板支柱



図 2.2-2 横倒しにされた樹木



図 2.2-3 歩道の段差



図 2.2-4 保護工の破壊



図 2.2-5 打上げられた船体とガントリー クレーンの損傷



図 2.2-6 駐車場での自動車流出

2.3 塩釜港

仙台港に比べ被害は概ね軽微であった。



図 2.3-1 桟橋周辺地盤の沈下

2.4 松島地区

松島の被害は極めて軽微である。その理由として島々の存在が津波を緩和させる効果を もたらしたと考えることが出来るであろうか?日本三景の一つが津波被害から守られたこ とは不幸中の幸いであった。



図 2.4-1 被害のないボート



図 2.4-2 被害の少ない街並み



図 2.4-3 観光船と桟橋

図 2.4-4 周辺の島々

2.5 南三陸地区

防潮堤は石積み堤の表面を防護コンクリートで覆った構造であり、鉄筋は殆ど入っていない。



図 2.5-1 防潮堤の破壊



図 2.5-2 石積みと防護コンクリート



図 2.5-3 防護コンクリートの破壊・流出



図 2.5-4 散乱する消波ブロックと コンクリートブロック



2.6 田老地区

田老地区に設置された防潮堤の配置、および被害の概要を図 2.6-1 に示す。B 部の防潮堤 が全壊したためその内側の被害は甚大である。津波高は防潮堤を超えていたため A 部内側 の被害も同様である。最奥の C、D 部防潮堤内側街区まで被害は及んでいるが、他と比べ ると被害度はやや小さい。





被災前(昭和52年10月撮影)

被災後(平成23年3月13日撮影)





http://www.pa.thr.mlit.go.jp/kamaishi/bousai/b01_02.html



図 2.6-1 田老地区防潮堤と被害の概要 (Google マップ http://maps.google.co.jp/に加筆)

2.6.1 防潮堤

図 2.6-2 に防潮堤交差部から見た A 部(左)および C 部(右)防潮堤と内部街区の被害状況を 示す。また、図 2.6-3 には、同様に交差部から見た B 部防潮堤と内部街区の被害状況を示 す。また、図 2.6-4 と図 2.6-5 には健全である A 部防潮堤、および破壊した B 部防潮堤の 全景を示す。図 2.6-6 に破壊した防潮堤を示すが、その構造は基本的には盛土であり、外表 面を約 90cm 厚さのコンクリート壁で保護したものである。なお、図 2.6-7 に示すように鉄 筋は極めて少ない。





図 2.6-2 交差部から見た A 部(左)&C 部(右)防潮堤

図 2.6-3 交差部から見た B 部防潮堤



図 2.6-4 A 部防潮堤全景



図 2.6-5 破壊した B 部防潮堤全景



図 2.6-6 交差部付近の B 部防潮堤

2



図 2.6-7 コンクリート壁の配筋

図 2.6-8 には同様に破壊した防潮堤を、図 2.6-9 海側に流出したそれを示すが、盛土が 流出したため前面コンクリート壁は海側に倒れ、コンクリート控え壁だけが残っている。

図 2.6-10 および図 2.6-11 には C 部、D 部防潮堤の内側街区の被害状況を示す。壊滅的 ではあるが、一部の建て屋は残っており、外側に比べるとそれでも軽微であり、A、B 防潮 堤と内側街区の存在により緩和される傾向にある。



図 2.6-8 破壊した防潮堤



図 2.6-9 海側に流出したコンクリート壁



図 2.6-10 C 部防潮堤の内側街区

図 2.6-11 D 部防潮堤の内側街区

今後に向けて

津波の進行方向に対して直面する A 部防潮堤が生き残り、側面に位置する B 部防潮堤が 破壊した。理由として、1)湾口での反射、屈折による津波エネルギーの変化や 2)建設年度 と構造形式の相違(A 部は S53 年、B 部は S37 年竣工)などが考えられるが、対策を施す上 で理由を明らかにする必要がある。また、破壊した防潮堤前面のコンクリート壁ブロック は無筋コンクリートに近いものと予想されるが、直交する控え壁と十分結合されていれば、 そして独立ブロックではなく横方向に互いに結合されていれば被害は軽減できたのではな いか。これらを含め、今後の防潮堤形式を検討する必要はないだろうか。

2.6.2 防波堤

図 2.6-12 に被災直後の航空写真を示す。田老漁港口に配置された防波堤が、沖合に単独 配置された防波堤を除き、全壊している。防波堤は、捨石でマウンドを作りその上に重力 式ケーソンを置いた混成提と考えられるが、図 2.6-13 には移動・流出したケーソン群を示 す。この区間のみ配置されている理由は不明であるが、生き残った沖合の防波堤を図 2.6-14 に示す。

図 2.6-13 沖合に流出した防波堤ケーソン

図 2.6-12 防波堤の壊滅的破壊 (Google マップ http://maps.google.co.jp/に加筆)

図 2.6-14 生き残った沖合の防波堤

今後に向けて

漁港口に配置された防波堤が全壊し、沖合の防波堤が生き残った理由を明らかにする必要がある。前者は従来型の混成堤と思われるが、後者は別の構造形式のものか、あるいは 作用した津波力そのものが異なるのか?など。また、混成堤のケーソンは2.6.1節の防潮堤 と同様、単独ブロックとして配置されている。横方向相互に結合すれば被害は軽減できた か?これらを含め、今後の防波堤形式を検討する必要はないだろうか。 2.6.3 橋梁

湾口河川に架かる橋梁についてもいくつかの被害を見つけることができる。図 2.6-14 に 調査橋梁の位置を示すが、D 部防潮堤に沿って山側から流れ、やがて B 部防潮堤に交差す る形で湾内に河川が流れ込んでいる。図 2.6-15 は湾口から約 400m 上流に位置する橋梁で あるが、上部桁が流出している。すぐ上流側でコンクリート塊の破砕作業が行われていた が、その流出先は不明である。

図 2.6-14 調査橋梁位置(Google マップ http://maps.google.co.jp/に加筆)

図 2.6-15 上部桁が流出した橋梁

図 2.6-16 は湾口から約 300m 上流に位置す る水門手前にあるみなと橋の被害である。図 2.6-17、図 2.6-18 に示すように、上部桁が橋 脚と上流側にある水門に挟まれる形で裏向け に落橋、流出している。橋脚のすぐ脇で裏向け に流出していること、そして元は上流側にあっ た桁支承部プレートだけが引き千切られてい ること(図 2.6-18 では右端の梁端部の破壊) を考慮すると、図 2.6-19 のような津波力作用 と桁の回転・移動が推定できる。

図 2.6-16 上部桁が流出したみなと橋

図 2.6-17 みなと橋銘板

図 2.6-18 裏向けになった上部桁

図 2.6-19 津波力による上部桁の回転・移動

図 2.6-20 および図 2.6-21 は河川の最も海側に架かる橋梁であり、支承上部を含めて桁が 流出している。橋台に残された支承固定用のボルトが流出した方向に曲げられているのが 分かる。すなわち下流側(海側)のボルトは鉛直方向を向き、上流側(山側)のそれは次 第に上流側に倒れるように曲げられている。このことは、図 2.6-19 に説明したような回転 を起こす津波力の作用したことを示唆している。

図 2.6-20 湾口橋梁支承部のアンカーボルト(右岸側)

図 2.6-21 湾口橋梁支承部のアンカーボルト(左岸側)

今後に向けて

図 2.6-19 に説明したみなと橋の落橋、流出のシナリオは図 2.6-20~図 2.6-21 の海側橋梁 支承部アンカーボルトの変形痕跡でも予想することが出来る。この痕跡は図 1.2.3-10 に示 した津谷川橋梁のそれと同様である。流出した多くの上部桁が裏向けになっていることか ら、これらについても橋梁上で回転しつつ落橋、流出した可能性も想定される。この現象 に関し、今後説明が望まれる。

2.7 山田・船越地区

当地区も堅牢な防潮堤(図 2.7-1)に守られているが、ブロック状に破壊され(図 2.7-2) 被害度は大きい(図 2.7-3)。その中、防潮堤の背後にあるにも関わらず戸建て住居が被害 を免れている(図 2.7-4)。

図 2.7-1 堅牢な防潮堤

図 2.7-2 防潮堤の破壊

図 2.7-3 街区の壊滅的被害

図 2.7-4 被害を免れた戸建て住居

- 2.8 釜石地区
- 2.8.1 防潮堤と橋梁

防潮堤が甚大な被害を被っている。図 2.8-1 は山側に転倒した防潮堤、図 2.8-2 は流出し た組合せブロックの一部である。これ以外にも上部桁のなくなっている橋脚を見ることが 出来たが(図 2.8-3)、一方で、津波高さが上部桁まで及ばなかった鉄道橋梁は被害を免れて いる(図 2.8-4)。

図 2.8-1 転倒した防潮堤

図 2.8-2 保護コンクリートブロックの流出

図 2.8-3 上部桁が流出した橋脚

図 2.8-4 無被害の鉄道橋梁

2.8.2 市街地

図 2.8-5 には写真撮影位置を示す。図 2.8-6 に市街地全景を示すが、他地区と比べ建築物 の被害は少ない。そのことは電柱の倒れの少ないことからも理解できる(図 2.8-7)。また、 津波高さにもよるが、河川に対し鋭角的に斜交した鋼トラス橋は流出していない(図 2.8-8)。 しかしながら、図 2.8-9、図 2.8-10 に示すように湾口から河川に沿って走る国道 283 号線 沿いの被害は深刻である。河川内津波遡上方向と斜交または平行する橋梁への津波力は小 さいこと、また、奥深い釜石湾への津波力は地形とともに側方向には緩く、直方向には強 いことが推測できる。

図 2.8-5 写真撮影位置(Google マップ http://maps.google.co.jp/に加筆)

図 2.8-6 市街地全景

図 2.8-7 電柱の軽微な倒れ(奥は JR 線トラス橋)

図 2.8-8 JR 線トラス橋(国道 4 号線橋梁より撮影)

図 2.8-9 国道 283 号線沿いの被害その1

図 2.8-10 国道 283 号線沿いの被害その 2