

2011年東北地方太平洋沖地震 岩手県南部第二次調査報告（その2）

Second Reconnaissance Report of Geotechnical Damage in the southern Area of Iwate Prefecture due to the 2011 off the Pacific Coast of Tohoku Earthquake (Part 2)

原 忠 (はら ただし)

山中 稔 (やまなかみのる)

高知大学准教授 総合研究センター防災部門

香川大学准教授 工学部安全システム建設工学科

石原 行博 (いしはら ゆきひろ)

(株) 技研製作所 新工法開発部実証科学課係長

1. はじめに

2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震 ($M_w 9.0$) では、東北地方沿岸部を中心に強い揺れと津波により、土木構造物の多くに壊滅的な被害が生じた。津波が遡上した河川では、津波の押し波と引き波の繰返しにより、堤防の決壊や法面の洗掘などが確認された。そこで、東北・四国支部第二次調査団Bチームでは、岩手県沿岸南部の中規模河川を対象に現地調査を行い、河川堤防の被害状況を把握し、被害メカニズムを分析した。

調査対象地域を図-1に示す。現地調査は、2011年6月5日～6日の2日間である。主な調査地は、大船渡市、大槌町の二級河川の河川堤防で、いずれも津波による被害が大きい地域である。調査は湾口より上流側に向けた踏査を基本とし、津波の遡上跡や洗掘跡等の被害実態の把握と簡易な測量調査を行った。



図-1 調査対象地域の概略

2. 調査地区の被害概要

大船渡市は、盛川を遡上した津波により市内の多くが浸水した。図-2に盛川背後地の津波浸水マップ¹⁾を示す。地震後の地盤沈降と盛川河川堤防からの越水により市街地が広い範囲で浸水した。盛川は、現地調査で確認した範囲では、右岸堤防では総延長約460mに渡り、堤防外

側の洗掘や二面張り法覆法肩の浸食、堤防天端の舗装の剥離が見られた。標高のやや高い左岸側の被害はほとんどなく、河口から約500m上流の左岸堤防で破堤が見られた程度であった。

大槌町は大槌川右岸堤防の崩壊と、防潮堤の崩壊により、図-3に示すように市街地の多くが浸水した¹⁾。大槌川は、河口から約400m地点の右岸堤防が崩壊し、背後地の被害を拡大させた。河口部の三面張り堤防は、全体的には波打ちの倒壊程度の軽微な被害で、堤内外の洗掘は確認されなかった。二面張り部分の被害はほとんどなく、堤防を越水した津波による浅い洗掘跡が僅かに確認された程度であった。



図-2 盛川背後地の津波浸水状況（文献1）に加筆



図-3 大槌川背後地の津波浸水状況（文献1）に加筆

3. 調査結果

3.1 盛川（大船渡市）

図-4に盛川における調査箇所を示す。調査箇所は、河口から上流に向けて、①河口部に架かる川口橋の両岸（以下、調査地点1）、②河口部から約1km上流の右岸堤防（調査地点2）、③河口部から1.6km流で道路橋佐野橋および三陸鉄道南リアス線鉄道橋が架かる地点の堤防（調査地点3）の3地点である。

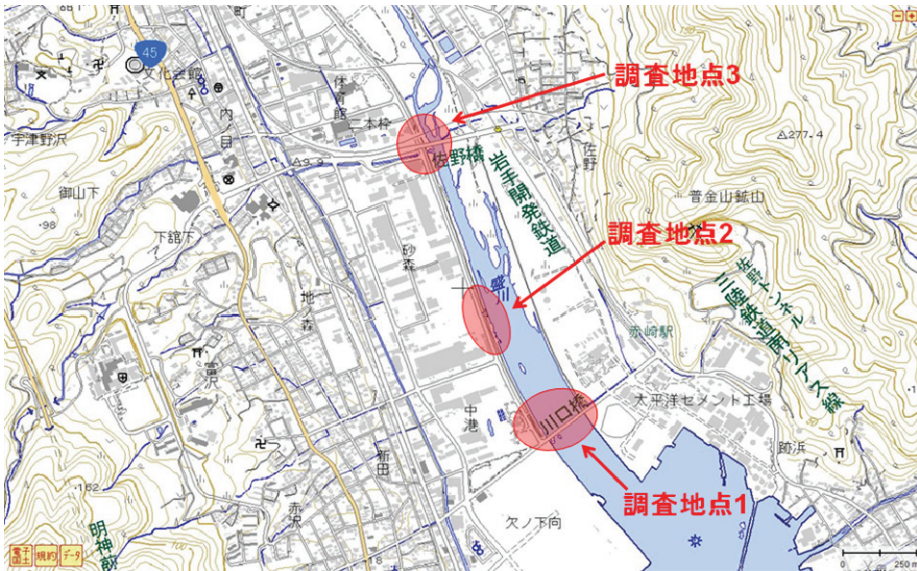


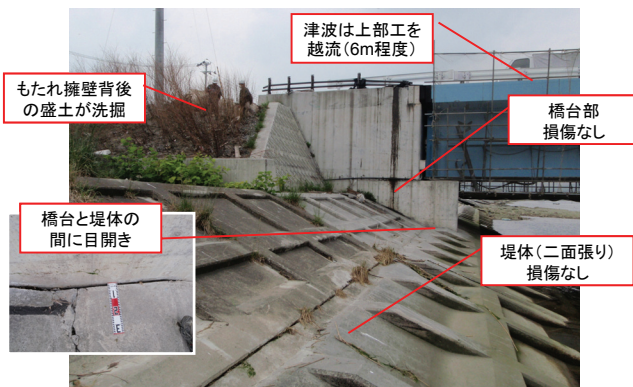
図-4 現地調査箇所の概略（盛川）

(1) 調査地点1の被災状況

図-5(a), (b), (c)に川口橋の橋台部の被災状況を示す。遡上高さ約9.5mの津波は上部工を乗り越え、上流側に遡上した。図-5(a)の右岸下流側では、橋台取付部盛土の小規模な洗掘や、橋台と堤防コンクリートブロックとの目開きが見られたが、構造物には大きな損傷は見られなかった。一方、図-5(b)の右岸上流側では津波の押し波による落ち掘れが確認された。周囲には多くの津波漂流物が集積していたことから、これらが引き波により衝突し洗掘深を拡大させたと考えられる。図-5(c)の川口橋左岸上流側では、橋台取付部の堤防が決壊していた。決壊箇所は谷地形で堤防と直交する道路盛土の斜面勾配が急であったため、押し波による射流と引き波による水平力により法尻付近が大きく洗掘され、決壊したと推察される。

積していたことから、これらが引き波により衝突し洗掘深を拡大させたと考えられる。図-5(c)の川口橋左岸上流側では、橋台取付部の堤防が決壊していた。決壊箇所は谷地形で堤防と直交する道路盛土の斜面勾配が急であったため、押し波による射流と引き波による水平力により法尻付近が大きく洗掘され、決壊したと推察される。

図-6(a), (b)は、川口橋から見た盛川上流堤防を左岸と右岸で示したものである。津波は盛川を遡上したが、図-6(a)の左岸堤防の被害はほとんどなかった。これ



(a) 右岸下流側



(b) 右岸上流側



(c) 左岸上流側

図-5 盛川下流の川口橋・橋台部の被災状況

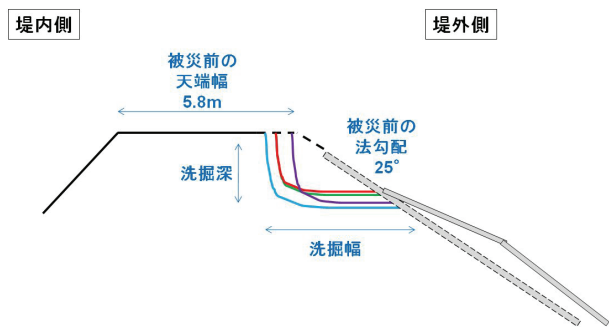


(a) 左岸側



(b) 右岸側

図-6 川口橋からの盛川上流の護岸の状況



洗掘区間	洗掘幅	洗掘深	洗掘長	洗掘土砂量
	[m]	[m]	[m]	[m³]
①	2.1	1.8	34.0	240
②	2.6	1.5	19.0	124
③	2.6	1.6	11.3	75
④	2.9	2.0	9.3	95

図-7 盛川右岸の洗掘箇所形状と概略洗掘土砂量



図-8 盛川右岸（河口から約1km地点）での洗掘被害

は、堤防背後が河岸段丘で標高が高いため、堤防背後への津波の越水が少なく、引き波時の河川への流入量が少ないことが影響したと推察される。一方、図-6(b)の右岸



図-9 堤外側道路からの引き波の流入による洗掘



図-10 佐野橋右岸橋脚部の被災状況

側の堤防被害は顕著で、天端のアスファルト舗装の剥離や表のりコンクリート張ブロックの崩壊、堤外地の堤防洗掘が複数箇所確認された。右岸側は標高の低い三角州帯であり、越水した津波が河川に再流入する際、アスファルト舗装とコンクリートブロックとの接合部など、構造上弱部を破壊・浸食させたと考えられる。

図-7は、図-6(b)に示す洗掘箇所の形状と概略洗掘土砂量を整理したものである。洗掘深さはいずれも2~3m程度であるが、洗掘長は区間①が34mと最も長く、上流側洗掘長は短くなる傾向にある。

(2) 調査地点2の被災状況

図-8に、盛川河口から約1km上流部の右岸堤防の被災状況を示す。津波が越水した箇所では、局所的にアスフ

アルト舗装の剥離が見られ、法肩部の堤体土が洗掘・流出したが、調査地点1で見られたようなコンクリート張りブロックの損傷や滑り落ちは見られなかった。ただし、**図-9**に示すような河川堤防に直行し、下り勾配を有する道路との境界部付近では洗掘被害が顕著であった。堤外地の微地形が主として引き波の流速を促進させ、がれきの流入した水流の堤防衝突と相まって洗掘を促進させたと推察される。ちなみに当該地点では、津波により散乱した多量の水産加工品が水流により法尻に集積していた。

(3) 調査地点3の被災状況

図-10に、佐野橋直下の右岸堤防の被災状況を示す。近傍の建物に残された津波の痕跡から、津波高さは佐野橋橋面より1m以上高い約5mと推察される。当該箇所は、

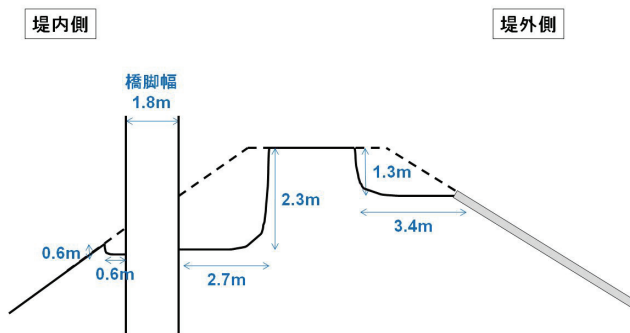


図-11 佐野橋右岸橋脚部の洗掘実測値

橋梁取付け道路盛土が河川に直交し、津波の流入・流出を妨げ、河川堤防に並行する道路部に流勢が集中する箇所になっている。また、堤防天端と橋桁との高低差が僅かで、堤防裏のり部に位置した橋脚が津波の流れを大きく阻害する構造となっている。堤防被害は**図-11**に示すように局所的で、主として橋げた橋桁直下の堤防法肩部や橋脚周囲が大きく洗掘されたが、表法面のコンクリート張りブロックに変状はなかった。津波の流れを大きく阻害する構造物がある箇所の河川堤防は浸食されやすいが、コンクリート被覆により浸食被害はある程度軽減されたと推測される。

3.2 大槌川（大槌町）

(1) 大槌川河口部

図-12(a), **(b)**に航空写真による大槌川右岸河口部の破堤の状況を示す。**図-13**は、対岸から見た堤防決壊状況を示したものである。決壊箇所は河川堤防がS字型に緩く湾曲し、堤内地の盛土が途切れ、かつJR山田線大槌川鉄橋が交差するために堤高が局所的に低い箇所である。**図-14**に破堤部の断面形状を示す。堤防の構造はコンクリート三面張りで、旧堤防を約2m嵩上げしている。裏法勾配は比較的緩く比較的大きな堤体断面であるが、津波外力により破壊された。破堤箇所背後には、長さ5mを超える大きな洗掘痕が確認された。地震前に見られた樹木や建



(a) 破堤前（2010年6月）



(b) 破堤後（2011年4月）

図-12 航空写真による大槌川河口付近破堤前後の状況



図-13 堤防破堤部の全景

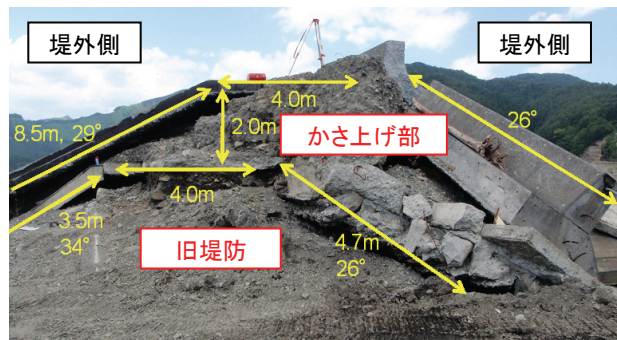


図-14 破堤部の断面形状



図-15 大槌川右岸（河口から約 1.6km）の法面被害

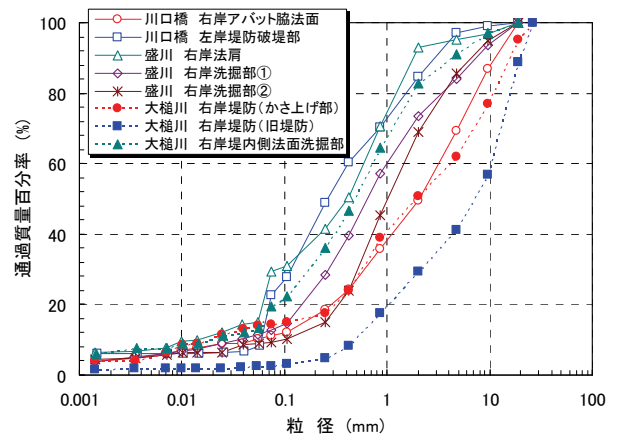


図-17 被災堤防の粒径加積曲線

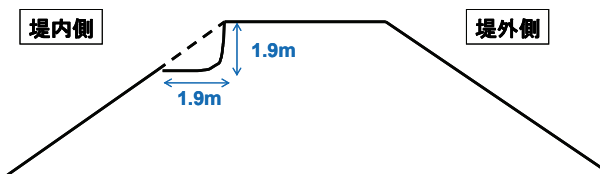


図-16 被災地点の洗掘実測図

屋は消失しており、鉄道盛土の崩壊も確認される。破堤の原因は、堤外地に構造体の急変により大きな段差が生じた個所で、かつ天端高さの異なる堤防構造上の弱部が押し波により崩壊し、その後の引き波が決壊部に集中して被害を拡大させたと推測される。

一方、破堤した右岸堤防の対岸にある左岸側では、津波が越水し背後地が壊滅的被害を受けていた。左岸堤防は、破堤した右岸堤防と同様の構造形式であるものの、法尻付近のコンクリート被覆が功を奏し、鉄道橋との交差箇所が局部的に洗掘したのみで津波や地震動による被害は見られなかった。

(2) 大槌川中流部

図-15に大槌川右岸（河口から約 1.6km）の法面被害を示す。天端はアスファルト舗装され、表法面のみコンク

リート張りブロックで被覆されていたが、裏法面の法尻付近が局部的に洗掘されていた。ちなみに、河口部より遡上してきた津波は、当該地点より約 200m 上流で止まっており、被災個所での津波高さは概ね堤防の高さに等しい水位であったと推定される。

図-16に、図-15で示した盛土洗掘の実測図を示す。洗掘深さ・幅とも大きくはなく、おおよそ 1.9m であった。洗掘形状からは津波の落ち掘れの様相を呈するが、写真左側は急傾斜斜面に囲まれた窪地であり、引き波によるがれきの衝突が崩壊範囲を拡大させたとも考えられる。

4. 被災堤防の材料特性

表-1に被災堤防より採取した試料の物理特性を、図-16に粒径加積曲線をそれぞれ示す。各試料とも、概ね最大粒径が 19.0~26.5mm の礫を含み、細粒分を含む粗粒土である。盛川堤内地の洗掘部より採取した試料は、地点によるばらつきは小さく、ほぼ同一の材料で締め固められたと判断される。大槌川破堤部より採取した堤体試料は、かさ上げ部と旧堤防部で粒度組成が大きく異なる。堤体の試料同士を比較した場合、均等係数は大槌川堤防がや

表-1 被災堤防の物理特性

地点名	河口からの距離 (m)	ρ_s (g/cm ³)	D_{max} (mm)	D_{50} (mm)	U_c	F_c (%)	G_c (%)
川口橋 右岸アバット脇法面	500	2.715	19.0	2.090	54.1	11.3	50.4
川口橋 左岸堤防破堤部	500	2.475	19.0	0.268	7.14	22.6	15.4
盛川 右岸堤防法肩	550	2.640	19.0	0.409	42.0	29.5	7.1
盛川 右岸堤防洗掘部①	550	2.720	19.0	0.643	23.8	12.7	26.5
盛川 右岸堤防洗掘部②	650	2.616	19.0	1.012	15.6	9.3	31.0
大槌川 右岸堤防内(かさ上げ部)	400	2.644	26.5	1.968	282	14.5	49.4
大槌川 右岸堤防(旧堤防内)	400	2.713	26.5	7.216	20.5	2.7	70.8
大槌川 右岸堤内側法面洗掘部	1600	2.609	19.0	0.476	37.1	13.5	17.2

や大きく、良配合な砂礫と判断される。礫分含有率は地点ごとのばらつきが大きい、盛川に比べ大槌川の含有率が全体的に大きい。

5. まとめ

津波による背後地の被害が甚大な船渡市、大槌町の河川堤防の被災調査を行った結果、堤防被害が顕著な箇所に関する下記の主要な知見が得られた。

- 1) 水門や橋梁との接続部、防潮堤と盛土との境界付近、堤防の湾曲箇所など、堤外地に大きな段差のある箇所や、構造体の不連続な部分では津波により破堤を伴う大規模な崩壊が生じやすい。
- 2) 法肩とコンクリートブロックの境界部では非被覆部での局所的な洗掘が生じやすい。
- 3) 天端高さの異なる箇所では被害が拡大傾向を示す。
- 4) 堤内地側に河川堤防に直交する構造物が存在する箇所では、特に上流側で大洗掘を伴う崩壊が生じやすい。
- 5) 堤内側に水路や小河川が近接した箇所では被害が生じやすい。
- 6) 微小な谷地形、堤防背後の緩勾配の道路などの微地形の違いにより、堤内側での水の流速が局所的に速く、流体力が大きくなった箇所では堤内外で洗掘を伴う被害が生じやすい。
- 7) 堤体の材料特性と被害との相関性は、調査の範囲では明確な関係は見られない。

今後は、現地の被害状況と地震前後の地形情報を対比させ、周辺の微地形や河床地形が堤体被害に及ぼす影響も検討する必要があるだろう。

参 考 文 献

- 1) 日本地理学会：2011年3月11日東北地方太平洋沖地震に伴う津波被災マップHP,
<http://danso.env.nagoya-u.ac.jp/20110311/map/index.html>