

津波による地盤災害の現地（初動・追加・追跡）調査および調査後の展開

ー準備・心構え・気づき・課題検証ー

常田 賢一

（一社）地域国土強靱化研究所 顧問 大阪大学 名誉教授

概 要

近年、津波災害が発生している代表的な地震は、1983 年日本海中部地震（M7.7）、1993 年北海道南西沖地震（M7.8）、2011 年東北地方太平洋沖地震（M9.0）、令和 6（2024）年能登半島地震（M7.6）などであり、津波の発生の頻度は少ないが、津波の浸水による人的被害および物的被害は甚大であり、地盤災害も発生している。津波の浸水による地盤災害には、地盤の侵食・堆積に留まらず、海岸堤防、道路盛土、河川堤防、人工盛土などの土工構造物の侵食、損傷、決壊などがある。

本文は、著者が実施した、2011 年東北地方太平洋沖地震および令和 6 年能登半島地震において津波により発生した地盤災害に関する初動の現地調査の状況を紹介する。さらに、初動調査に基づく研究の展開に資する現地調査、また、3.11 地震の被災箇所の地震発生 10 年後の復興状況を比較・検証してフォローアップする現地調査についても、現地調査として紹介する。

本文は、上記の現地調査に必要な「準備と心構え」に関する実施状況を紹介するとともに、3.11 地震の初動調査での重要な気づき、さらに、気づきを検証する研究への展開を紹介する。なお、能登半島地震の現地調査は、3.11 地震の現地調査などによる知見・示唆の比較・検証を目的としたが、3.11 地震当時と直近の能登半島地震の比較も意図している。

目 次

1. はじめに	2
2. 調査の目的、主体および時期	2
3. 調査のタイミングと調査計画の立案	3
3.1 調査のタイミング	3
3.2 調査計画および準備事項	3
4. 現地調査のための情報収集	4
5. 調査時の視点・工夫・配慮及び調査後の留意・展開（フォローアップ）	11
5.1 調査時の視点・工夫・配慮	11
(1) 現地調査の視点	11
(2) 現地調査の工夫	19
(3) 現地調査での配慮事項	20
5.2 調査後の留意・展開	21
(1) 現地調査での疑問・気づきの検証	21
(2) 被害から復興までの追跡調査	23
(3) 調査結果の公表	25
6. おわりに	26
参考文献	27

1. はじめに

近年、津波災害が発生している代表的な地震は、1983 年日本海中部地震 (M7.7)、1993 年北海道南西沖地震 (M7.8)、2011 年東北地方太平洋沖地震 (M9.0)、令和 6 (2024) 年能登半島地震 (M7.6) などであり、津波の発生の頻度は少ないが、津波の浸水による人的被害および物的被害は甚大であり、地盤災害も発生している。津波の浸水による地盤災害には、地盤の侵食・堆積に留まらず、海岸堤防、道路盛土、河川堤防、人工盛土などの土工構造物の侵食、損傷、決壊などがある。

本文は、著者が実施した、2011 年東北地方太平洋沖地震 (以下、3.11 地震と呼ぶ。) および令和 6 年能登半島地震 (以下、能登半島地震と呼ぶ。) において津波により発生した地盤災害に関する初動の現地調査の状況を紹介する。さらに、初動調査に基づく研究の展開に資する現地調査 (以下、追加調査と呼ぶ。)、また、3.11 地震の被災箇所の地震発生 10 年後の復興状況を比較・検証してフォローアップする現地調査 (以下、追跡調査と呼ぶ。) についても、現地調査として紹介する。

本文は、上記の現地調査における「準備と心構え」に関する実施状況を第 2 章から第 4 章および第 5 章の一部で紹介するとともに、3.11 地震の初動調査での重要な気付き、さらに、気付きを検証する研究への展開について、第 5 章の 5.1 調査時の視点・配慮および 5.2 調査後の留意・展開で紹介する。なお、能登半島地震の現地調査は、3.11 地震の現地調査などによる知見・示唆の比較・検証を目的としたが、3.11 地震当時と直近の能登半島地震の比較も意図している。

2. 調査の目的、主体および時期

3.11 地震および能登半島地震における現地調査の目的、主体および調査時期は、それぞれ次の通りである。

A. 3.11 地震

初動調査の目的は、津波直後の地盤災害の概況把握であるが、調査対象地は仙台平野の沿岸部 (仙台市～名取市～岩沼市～亘理町～山元町) とし、沿岸部および海岸から数百 m～数 km まで浸水地域を調査範囲とした。なお、仙台北岸の現地調査に続いて、千葉県旭海岸、茨城県大洗海岸の現地調査を実施したが、海岸地形、震央距離、津波規模の違いによる被害の差異の把握を目的とする初動調査とした。

現地調査は、地震後 1 年目から 10 年目まで、適宜、実施したが、初動調査、追加調査および追跡調査の実施時期、対象海岸、実施体制は下記の通りである。

2011 年 4 月 30 日～5 月 2 日：宮城県仙台北岸

2011 年 5 月 3 日：千葉県旭海岸

* 初動調査・個人調査：沿岸部の被災状況

* 以降、茨城県阿字ヶ浦～大洗海岸を調査

2011 年 7 月、9 月：宮城県仙台北岸

* 追加調査・グループ (研究室) 調査：落堀特性

2012 年 4 月：宮城県仙台北岸

* 追加調査・グループ調査：津波堆積土特性

2014 年 6 月：岩手県大槌町

* 追加調査・グループ調査：鉄道盛土・道路盛土の被災特性

その後、地震発生後、10 年目まで適宜、追跡調査・個人調査：復興状況

2021 年 3 月 18～21 日：岩手県～宮城県の沿岸部 * 追跡調査・個人調査：地震後 10 年の復興状況

上記の通り、現地調査は地盤工学会の調査団とは別に実施しており、追加調査・追跡調査を含めて、個人あるいは関係者 (研究室：学生) の構成によるグループにより実施した。その長所は、調査目的が特定できること、調査計画の調整が容易であること、臨機応変に機動できることなどがある。他方、地盤工学会の調査団は組織的な活動ができるのに対して、個人的調査は現地の関係機関との交渉あるいは情報の収

集に手間がかかる、あるいは限定されるといった短所がある。

B. 能登半島地震

初動調査の目的は津波直後の地盤災害の概況把握であるが、現地調査地は石川県珠洲市の沿岸部（事前に特定した3地域）だけとし、防潮堤の有堤海岸、無堤海岸およびその背後（数十mまで）とした。なお、3.11地震の現地調査などによる知見・示唆を能登半島地震において比較・検証することを目的とした。

現地調査の実施時期などは下記の通りであり、津波以外の災害も対象とした関係者の合同調査である。

2024年2月27日～3月1日：能登半島（内灘町、のと里山海道、穴水道路、輪島道路、珠洲市、輪島市）
＊初動調査・グループ調査：津波災害状況など

なお、上記の関係者、グループとは、（一財）土木研究センターおよび関係機関の担当者である。また、特に、のと里山海道・穴水道路・輪島道路では、国土交通省道路局に協力依頼を行い、被災現場への立ち入りによる初動調査が実施できた。

3. 調査のタイミングと調査計画の立案

3.1 調査のタイミング

A. 3.11地震

当時の著者の勤務先の所在地（大阪府吹田市）が被災地から遠方である事情により、現地調査は地震発生（3月11日）後50日ほど経過した、時間の融通が効く連休（4月30日～5月3日）とした。なお、その時点の現地はほとんど手つかずの状況であり、ほぼ地震直後と変わらないため、初動調査と見なせる。その後、数ヶ月～1年程度以内（2011.7, 2011.9, 2012.4：仙台北海岸）、3年後（2014年6月：大槌町）、10年後（2021年3月：岩手県～宮城県）などの追加調査、追跡調査を適宜、実施し、初動調査をフォローアップした。

B. 能登半島地震

現地調査の時期は、地震直後ではなく、奥能登に繋がる道路の復旧がある程度進むとともに、宿泊場所が確保できる時期とした。そして、準備、調整の結果、2024年2月27日～3月1日を調査時期とし、そのうち津波調査は2月29日に珠洲市で実施した。

なお、この時期は、のと里山海道が一部応急復旧されてはいたが、全体としてはほぼ地震直後の状態にあり、珠洲市の沿岸部も手つかずの状態であったため、初動調査と見なせる。

上記の通り、3.11地震および能登半島地震のいずれにおいても、現地の状況（道路の復旧、宿泊場所およびレンタカーの手配など）、調査者の条件（所属機関、業務など）により、現地調査を実施するタイミングを見計らった。なお、初動調査は関係情報の収集、資機材の準備、関係者間の調整を図る時間が必要ではあるが、現地の被災状態などが変わる前の可能な限り早い時期に実施できるとよい。

3.2 調査計画および準備事項

A. 3.11地震

初動調査は被害概況の把握が目的であるが、調査対象は、当初から海岸から防潮堤の背後地における津波被害に的を絞って実施した。具体的には、津波による浸水被害は、青森県から千葉県まで広域にわたるため、まず、初動調査は震源に近い仙台北海岸および遠い旭海岸とした。なお、両海岸は背後が平坦地である平野海岸であるため、さらに、岩礁海岸、砂丘海岸といった海岸地形における被害状況と比較するため、茨城県阿字ヶ浦～大洗海岸において初動調査を実施した。

仙台北海岸で初動調査を実施した5月の連休の時期は、東北自動車道、常磐自動車道、仙台北部道路および一般道路は通行が可能であり、仙台平野の調査地域内の移動は容易であった。また、仙台市内も地震動

による建物などの被害が比較的小さかったため、仙台市内のホテルの確保、レストランの利用ができた。

さらに、現地での移動手段はレンタカーとしたが、仙台市等の被災地では手配が困難と思われたため、被災地外の茨城県（つくば市）でレンタカーを借り上げて、常磐自動車道、東北自動車道、仙台東部道路を経由して仙台平野、仙台市に入った。

また、初動の現地調査の際の食事、トイレなどは、浸水被害の及んでいない、海岸から数 km 以上離れた地点にある、コンビニ等が利用できたため、現地で弁当、飲料水などの調達を行った。

他方、追加調査では、簡易動的コーン貫入試験機、ゴムボートは予め準備して、宅配便により仙台空港付近のレンタカーの営業所止めで輸送した。また、ゴムボートを固定する角材・ロープ、ライフジャケット、軍手などは、現地のホームセンターで調達した。

また、追加調査（2012 年 4 月）では、津波堆積土を採取したが、採取試料は宅配便により土質試験を依頼した試験機関（大阪府内）に送った。さらに、追加調査（2014 年 6 月：大槌町）では、現地のホームセンターで調達、使用したポール、スコップ、未使用の軍手などを、現地で話を聞かせて頂いた公民館に寄贈した。

B. 能登半島地震

初動調査は、被害状況の把握が目的であるが、事前の収集情報により珠洲市の 3 地域を特定し、防潮堤およびその背後の津波被害に的を絞って実施した。

能登半島地震では、道路関係の調査対象である“のと里山海道”が 2 月中旬に応急復旧により、徳田大津 I C からの能登大橋手前まで片側通行ができるようになったこと、また、宿泊場所（羽咋市内）が確保できたことから、2 月下旬～3 月初旬（2 月 27 日～3 月 1 日）に現地調査を実施した。

初動調査では、コンベックス、ポール、カメラ、ヘルメット、長靴などを持参あるいは金沢駅付近のレンタカーの営業所に送った。また、現地の移動はレンタカーを借り上げ、宿泊場所を拠点として、奥能登の穴水町、珠洲市、輪島市などを日帰り往復した。なお、宿泊場所は、金沢市の知り合いの某氏にお願いしたところ、金沢市から車で 1 時間ほど能登半島に近い羽咋市内の宿泊施設が確保できたため、金沢市内から往復するよりも毎日 2 時間程度の時間短縮になった。

さらに、現地調査における昼食は、宿泊施設付近のコンビニで調達した弁当などを持参し、夕食は宿泊地に戻り、市内の食堂などを探して利用した。また、トイレは「道の駅 あなみず」「道の駅のと里山空港」などを利用した。

4. 現地調査のための情報収集

現地に入る前は、被害箇所、被害程度が分からない状況にあるので、現地調査を迅速かつ的確に実施するためには、現地の概況を把握し、概ねの調査箇所やルートを計画しておくことが必要である。3.11 地震および能登半島地震の初動調査に向けて収集した、主な現地に関する情報は、それぞれ次の通りである。

A. 3.11 地震

【収集 1：気象庁の HP に掲載（マスコミでも報道）される津波情報】

津波情報は、津波到達予想時刻、予想される津波の高さ、到達確認に関する情報であり、随時、更新されるが、現地調査の対象地の津波規模（津波高、浸水範囲）などの状況が分かる。**表-1** は、地震発生から 6 時間 50 分後の津波情報（適宜、抜粋）であり、**図-1** は分布図である。同図によると、太平洋側の北海道から静岡県までは、津波警報の大津波（高い所で 3m 程度以上）と予想されているが、表-1 の通り、予想される津波の高さは 3m よりもかなり大きいことが分かる。

【収集2：国土交通省（本省，東北地方整備局，仙台河川国道事務所など），東日本高速道路株式会社，宮城県などのHPに掲載される被害・復旧報告】

時間経過に伴って最新の状況が追加されるので，被害箇所，道路の通行止め状況を知ることができる。なお，被災箇所の写真が掲載されている場合は，ある程度，被災箇所の位置や被害状況が推測できるので，予め，現地の様子が感覚的に把握できる。

図-2 は，地震発生直後の国土交通省仙台河川国道事務所から記者発表された防災情報（第1報）であり，この時点での被害情報は無いが，事務所および出張所が管理する海岸（蒲崎海岸，山元海岸）などが分かる。また，図-3 は，記者発表の推移（海岸，道路関係を抜粋）である。第16報では落橋箇所，通行不能の道路区間などが分かるが，津波に關係する海岸は第29報でも“被害状況を収集中”である。その後，第33報（3月20日20時発表）では，直轄海岸の被災状況は海岸名・市町名までであり，個々の被災箇所までは分からない。

さらに，図-4 は，第29報に付属した管理道路の被災状況図であるが，被災箇所の位置，被災状況が分かる。また，写真-1 は，第16報に付属した名取川（別途，河川の被災箇所が記された河川管理図がある）の河口から左岸2.3km付近の堤内地の津波浸水状況（左の盛土は仙台東部道路）が分かる。また，津波に關しては，海上保安庁の写真-2 の情報があり，名取市の閑上港における津波の第1波の来襲状況が分かる。同写真により初動調査では閑上港に行く計画とした。

表-1 気象庁津波情報(抜粋)：平成23年3月11日21時36分

11日18時47分の津波到達予想時刻・予想される津波の高さに関する情報を更新します。津波到達予想時刻および予想される津波の高さは次のとおりです。		
予報区名	津波到達予想時刻	予想される津波の高さ
<大津波>		
北海道太平洋沿岸東部	津波到達を確認	6m
北海道太平洋沿岸中部	津波到達を確認	8m
青森県太平洋沿岸	津波到達を確認	10m以上
岩手県	津波到達を確認	10m以上
宮城県	津波到達を確認	10m以上
福島県	津波到達を確認	10m以上
茨城県	津波到達を確認	10m以上
千葉県九十九里・外房	津波到達を確認	10m以上
千葉県内房	津波到達を確認	4m
...		

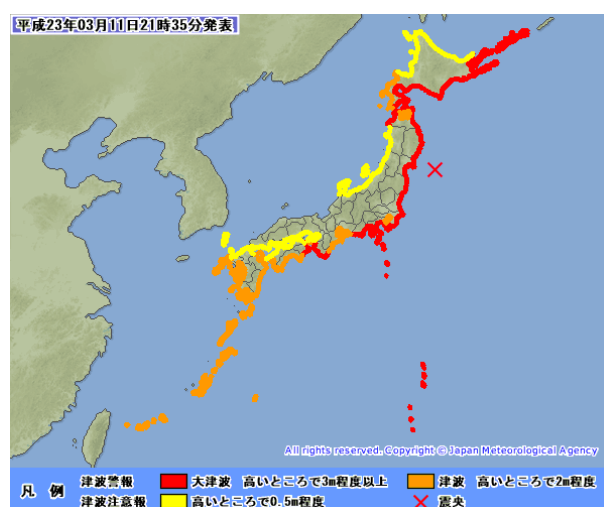


図-1 気象庁津波情報：平成23年3月11日21時35分発表

【収集3：テレビ，インターネットのマスコミ報道】

津波に關しては，津波の到達予想範囲，箇所別の津波高などの逐次の情報が把握できると共に，被災地や被災構造物の映像情報が把握できる。なお，被災場所は地名が分かる程度であり，場所の特定は難しいことが多いが，映像から概ねの場所が想定でき，当たりが付けられる。また，報道機関の情報は報道場所，施設などに偏り，欠落があるが，各報道機関の情報を横並びにすると，類似情報により情報の確度が向上し，また相互補完により情報の全体的把握ができる。

緊急情報／防災情報

【防災情報】（記者発表）仙台河川国道事務所
防災情報（第1報）

国土交通省 東北地方整備局 仙台河川国道事務所
平成23年 3月11日 14時46分発表

平成23年 3月11日（金）14時46分頃発生した宮城県沖を震源とする地震により、仙台河川国道事務所管内では、震度7を観測しました。
このため、仙台河川国道事務所では、14時46分に非常体制に入りました。
巡視・パトロールによる所管施設の点検を開始します。
今後の情報に十分な注意をお願いします。

1. 仙台河川国道事務所の体制について
1) 非常体制 14時46分に災害対策支部を設置

2. 対象出張所

河川

- 1) 岩沼出張所（阿武隈川）
2) 角田出張所（阿武隈川）
3) 名取川出張所（名取川）

海岸

- 1) 仙台海岸出張所管内（蒲崎海岸、山元海岸）

道路

- 1) 三陸道維持出張所管内（三陸道：鳴瀬奥松島IC～登米東とIC）
2) 岩沼国道維持出張所管内（一般国道4号、6号）
3) 仙台東国道維持出張所管内（一般国道4号、45号）
4) 仙台西国道維持出張所管内（一般国道4号、45号、48号）
5) 古川国道維持出張所管内（一般国道4号、108号）
6) 石巻国道維持出張所管内（一般国道45号）

<発表記者会：宮城県政記者会、東北専門記者会>

お問い合わせ先
国土交通省 東北地方整備局 仙台河川国道事務所
TEL 022(248)4131
(河川) 河川管理課長 畑山 作栄（内線331）
(海岸) 調査第一課長 齊藤 正道（内線351）
(道路) 道路管理第一課長 中鉢 一人（内線431）

図-2 仙台河川国道事務所の防災情報（第1報）3/11 14:46

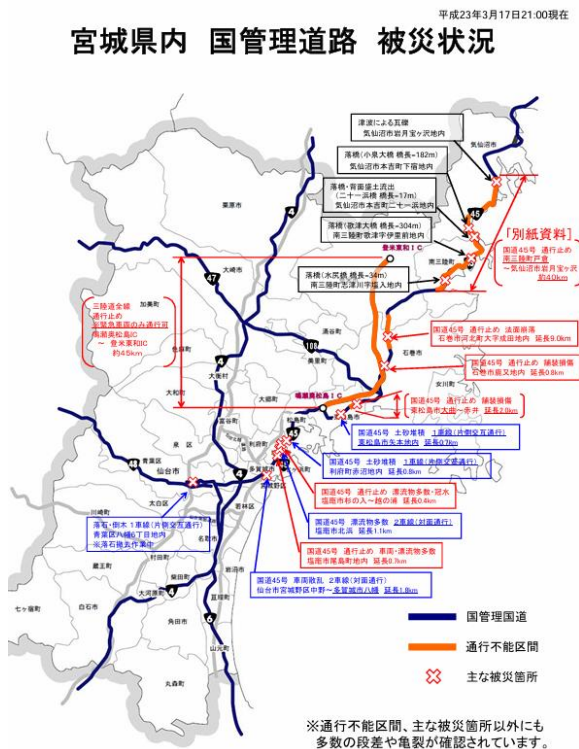


図-4 道路の被災状況図（第29報、抜粋）

【防災情報】（記者発表）仙台河川国道事務所
防災情報（第16報）

国土交通省 東北地方整備局 仙台河川国道事務所
平成23年 3月13日 13時50分発表

2. 所管施設の状況

2) 海岸

被害の状況を収集中です。なお、海岸のパトロールについては、津波警報等解除後となります。

3) 道路

○ヘリコプター巡視により確認

1) 国道45号

歌津大橋（南三陸町歌津） 落橋
二十一浜橋（気仙沼市本吉町） 橋の前後寸断
小泉大橋（気仙沼市本吉町） 落橋

○通行不能の箇所は以下のとおりです（別添参照）

三陸道（鳴瀬奥松島IC～登米東とIC） 約45km
応急復旧完了、緊急車両のみ通行可能。

国道6号 山元町坂元～福島県境 約3km 津波による瓦礫

国道45号 多賀城市八幡～松島町高城 約30km 車両散乱・冠水

国道45号 東松島市牛網～岩手県境 約106km

大津波警報のため確認不可能

国道108号 石巻市蛇田地内 約0.8km 冠水（緊急車両のみ通行可）

【防災情報】（記者発表）仙台河川国道事務所
防災情報（第29報）

国土交通省 東北地方整備局 仙台河川国道事務所
平成23年 3月17日 21時00分発表

2. 所管施設の状況

2) 海岸

被害の状況を収集中です。

【防災情報】（記者発表）仙台河川国道事務所
防災情報（第33報）

国土交通省 東北地方整備局 仙台河川国道事務所
平成23年 3月20日 20時00分発表

2) 海岸

被災の状況（直轄施工施設）は下記の通りです。

○蒲崎海岸（岩沼市）

海岸堤防の被災（堤防の全壊、半壊、沈下）が全域にわたり確認されました。

○山元海岸（山元町）

ヘットランド7基の消波ブロックの一部流失が確認されました。

図-3 防災情報（第16、29、33報）：抜粋

写真⑥ 現地状況（宅地側）
（河口から左岸2.3km付近 若林区日辺地先）



写真-1 津波の浸水状況写真（第16報）：著者加筆



写真-2 津波の来襲写真：海上保安庁提供、著者加筆

【収集 4 : Yahoo Japan／ZENRIN, Google Earth の地図などの情報】

現地調査に必要な基本情報は地図であるが、視覚的に現地の状況（施設、道路など）が実像として得られる衛星画像を活用することが有効である。ここで、衛星画像（履歴）の撮影時期は、必ずしも津波直後とは限らないが、写真3 はほぼ地震直後の 4/6 の衛星写真であり、現地調査などに際して有益な情報であった。

ここで、衛星写真と地図を併用すると、現地における海岸へのアクセス道などが想定できる。図-5 は、仙台市若林区井土浦付近の地図と衛星写真の対比例であるが、初動調査の前に、仙台海岸（仙台市～山元町）沿いに同様な比較図を準備して、海岸部の状況（施設、道路など）を把握した。図-5 には、初動調査において実際に移動した経路を追記しているが、県道 10 号からできるだけ海岸に近い地点まで車で侵入し、その後は貞山運河沿い、冒険広場、海岸などを徒歩で調査した。

なお、沿岸部は保安林があるのが一般的であるが、津波により保安林が倒木しているため、通り抜けるのは容易でなく、海岸へのアクセス道の確保が重要になる。図-5 の衛星写真では運河と海岸をつなぐ白い直線があるが、現地では盛土構造の道路があった。また、海岸に行くには運河を渡る必要があったが、衛星写真では橋が無いと想定していたが、現地では衛星写真には無い水門が整備されており、それを通り渡河できた。このように、地図などと現地状況は異なることがあるが、現地では臨機対応が肝要である。

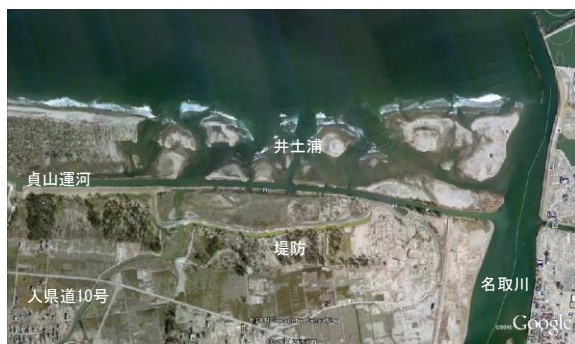


写真3 津波後の状況（Google Earth：2011.4.6）
：著者加筆



図-5 地図と衛星写真の比較図の準備：Yahoo Japan による

上記の各種の被災情報に基づいて、現地調査する調査場所、対象構造物を概ね想定し、調査ルートを描いたが、実際に調査対象とする場所、構造物などは、現地に入ってから状況判断し、選定した。また、現地に入ってから、現地の状況により、新たな場所、構造物などを調査する必要性が必ず発生するので、適宜、追加調査を実施する。なお、それにより調査時間が増えるので、調査スケジュールの調整が必要になる。

例えば、本調査の初動調査は、当初、仙台海岸だけとしたが、予め情報入手していた「高田松原の奇跡の一本松」だけは見ておきたくなり、現地調査の3日目（5月2日）に行く決断をした。その際、まず海沿いのルートの北上を考えたが、津波で被害を受けていることが想定されたため、内陸側からアクセスすることにした。現地（井土浦）を出発し、通行ができた仙台東部道から東北自動車道の一関 IC まで行き、さらに、既に応急復旧が済んでいた下道（「くしの歯作戦」のくしの1本）を通り、陸前高田市まで行った。

仙台市を出たのは13:00過ぎ、陸前高田市に着いたのは17:00頃であったが、2時間ほど高田松原付近（写真4、5）の調査を実施し、その後、茨城県（つくば市）に戻った。



写真4 奇跡の一本松：2011.5.2



写真5 もう一本残った松（左側）：右奥に奇跡の一本松

B. 能登半島地震

基本的な被災情報の入手の手段は、3.11 地震と概ね同じであるが、能登半島地震では、地震後の国、学会などの調査活動が迅速に行われており、情報源も多種多様であったことから、東北地方太平洋沖地震よりも多くの情報が得られた。これは、近年、地震後の情報収集、応急復旧などが迅速に行われる体制、環境が整備されているためと思われる。収集した3.11 地震と類似あるいは異なる現地の情報は、次の通りである。

【収集1：国土交通省（本省、北陸地方整備局、金沢河川国道事務所など）、気象庁、西日本高速道路株式会社、石川県などのHPに掲載される被害・復旧報告】

能登半島地震では、国交省・石川県による道路の応急復旧が迅速に行われて、概ね2週間後には一部（のと里山海道）を残して通行ができるようになっていた。しかし、被災地の復旧が進まず、現地に入れたとしても、宿泊場所、食事・飲料水・トイレの確保など、初動調査に必須な活動環境が整っていないため、現地調査が困難な状況にあった。そのため、初動調査を実施するタイミングを判断するため、現地の被災状況、復旧状況などは、マスコミ情報を始めとして、絶えず情報収集を続けた。

表-2 は、気象庁が1月11日から20日にかけて現地調査した津波の遡上高、痕跡高であるが、珠洲市の3地点では痕跡高が2.7～4.3mであることが分かる¹⁾。

表-2 気象庁による現地調査結果：1月26日発表¹⁾

表1 調査地点と推定した津波の高さ

都道府県	調査地点名	推定した津波の高さ	津波高の種類
新潟県	上越市柿崎漁港	2.9m	遡上高
新潟県	上越市船見公園	5.8m	遡上高
新潟県	上越市直江津海水浴場	4.5m	遡上高
新潟県	佐渡市羽茂港	3.8m	痕跡高
新潟県	佐渡市小木港	1.9m	痕跡高
富山県	朝日町宮崎漁港	1.4m	痕跡高
富山県	射水市海竜新町	1.5m	遡上高
石川県	珠洲市飯田港	4.3m	痕跡高
石川県	珠洲市鶴飼漁港	2.7m	痕跡高
石川県	珠洲市見附公園	2.9m	痕跡高
石川県	能登町恋路海岸	1.7m	遡上高
石川県	能登町松波漁港	3.1m	痕跡高
石川県	能登町内浦総合運動公園	4.0m	痕跡高
石川県	能登町白丸	4.7m	痕跡高
石川県	能登町九十九湾	2.2m	痕跡高
石川県	能登町宇出津港	1.3m	痕跡高
石川県	七尾市鶴浦漁港	1.8m	痕跡高
石川県	七尾市下佐々波漁港	2.2m	遡上高
石川県	輪島市袖倉島漁港	2.9m	痕跡高

※推定した津波の高さは速報値であり今後の精査により変更となる可能性があります。

※「遡上高」「痕跡高」については、参考資料参照。

また、図-6 は、国土交通省による津波による浸水と海岸保全施設の被害状況の速報（1 月 16 日）である。土木学会などの調査結果を精査し、7 海岸での堤防護岸の損傷等を確認し、復旧の姿勢がまとめられており、能登半島の津波被害の全体の状況が分かるので、2 月末の初動調査の参考にした。

令和6年能登半島地震 津波による浸水および海岸保全施設の被害状況（速報） 国土交通省

令和6年1月16日 7:00時点

- 航空写真の判読や、土木学会海岸工学委員会調査グループの現地調査等を精査した結果、石川県珠洲市、能登町及び志賀町の3市町において、合計約190haの津波による浸水を確認。特に浸水範囲の広い珠洲市における浸水深は、約4mに達したと想定。
- 今回の津波による浸水範囲や浸水深は、津波浸水想定（想定最大規模）と比較して小さい。詳細は今後検証。
- 宝立正院海岸、三崎海岸等の7海岸（石川県管理）において、堤防護岸の損壊等を確認。
- 被災施設の復旧にあたっては、国土交通省・国総研による石川県への技術的支援を強化。

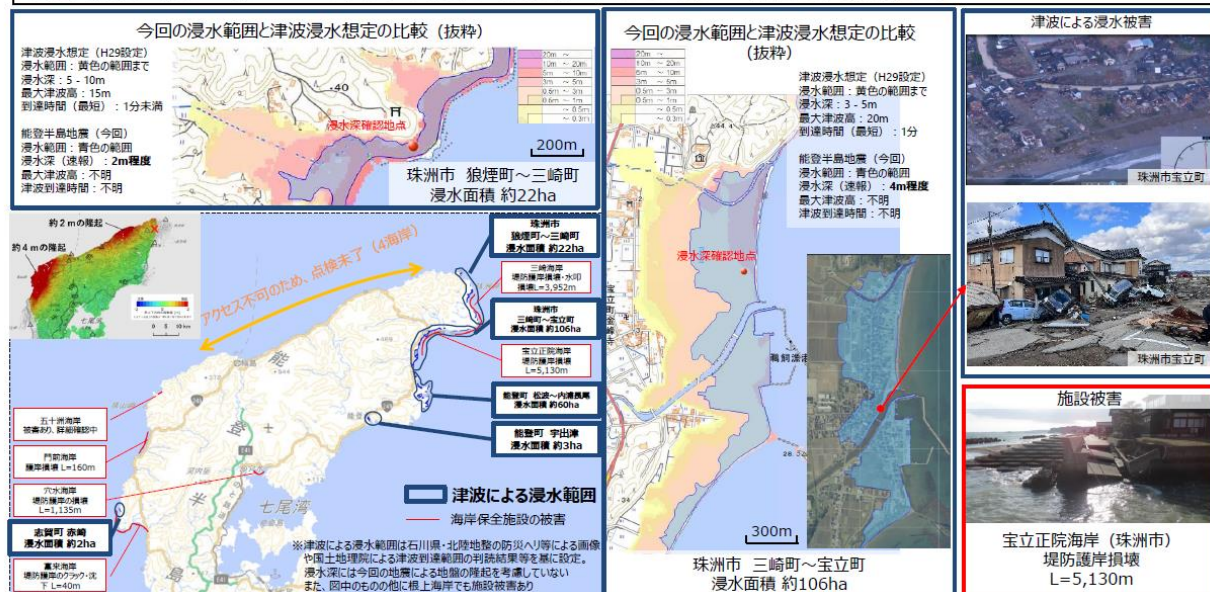


図-6 国土交通省による1月16日の津波による浸水と海岸保全施設の被害状況の速報

【収集2：テレビ、インターネットのマスコミ報道およびYouTubeの情報】

今次、新たな情報源として有効であったのは、民間機関、個人が投稿しているYouTube動画情報²⁾である。写真-6(1)は、1月20日に撮影されたとする、内灘町の県道8号を北から南に走行している車両からの動画の投稿である。例えば、写真-6(2)はその1カット（写真-8の交差点を抽出）であるが、県道8号の通行の可否、臨場感のある沿道の状況を知ることができた。近年、これらの情報は地震直後から多数寄せられているので、インターネット上でこまめに探すとよい。

【収集3：地盤情報サイトの情報】

液状化などの現象の解明では、ボーリングデータが有効な情報になるが、被災箇所付近の既往のボーリングデータを探すのは容易ではない。しかし、例えば、（一財）国土地盤情報センターは、今回の地震に対して、災害復旧支援として地盤情報緊急公開サイト（NGiC）³⁾を開設し、ボーリング情報を無料公開していた。同センターは2019年に設置され、全国のボーリング資料のデータベースを運用しているが、一般に公開されて活用（有料）できる仕組みになっている。今回は、液状化に起因して地盤流動が発生した石川県内灘町の現地調査の結果の考察において、同サイトのボーリングデータを活用した。なお、珠洲市の津波調査に当たっては、同サイトから図-7の地図を取り出して、離岸堤の有無による調査箇所の選定などに活用した。



(1) You Tube による動画配信サイトのトップ画面

(2) 動画から撮影した沿道状況：写真-8 と同位置

写真-6 You Tube の動画配信情報例：BANBANBAN_TV²⁾

【収集4：Google Earth およびストリートビュー】

初動調査の対象とした珠洲市では、3.11 地震の調査で明らかにした知見「離岸堤は津波流を抑制するが、離岸堤間に迂回・集中するため、その背後の防潮堤が破壊される」を現地確認するため、Google Earth により離岸堤が設置され、防潮堤がある海岸を選定した。写真-7 は図-7 の野々江町(1)付近について、初動調査用に準備した衛星写真（津波前、2023 年 8 月）であるが、離岸堤の概ねの構造諸元（延長、設置間隔など）、防潮堤の前浜の堆砂の状況など、有益な情報になる。なお、当該海岸における津波被害の状況は、別の情報収集手段による写真-9（後述）で知ることができた。

さらに、今次、新たな情報源としたのは、Google Earth のストリートビューであるが、これにより被災前の道路あるいは道路周辺の状況が道路方向に連続的に閲覧できる。例えば、写真-8(1)は内灘町西荒屋地区で県道 8 号と交差する市道が迫り上がった状況であり、地震直後に注目を集めた地点である。同写真は 2 月末時点であるが、まだ復旧されていない状態であった。



図-7 珠洲市の津波被害調査箇所：NGIC³⁾から抜粋して加筆

写真-7 珠洲市の津波被害の調査箇所：Google Earth に加筆



(1) 初動調査時の道路の被害状況：2 月 27 日

(2) ストリートビューによる被害前の道路

写真-8 現地調査前のストリートビューの利用例

他方、写真-8(2)はストリートビューをカットした写真であるが、被災前の当該地点の状況が分かる。なお、写真-6(2)の YouTube の情報では、1月20日時点の被害状況が分かる。

【収集5：航測会社が撮影し、公表される航空写真】

航測会社は、地震後、自社の航空機を飛ばして、被災地を撮影した写真情報を HP で公開しているが、これらは斜め写真による立体感がある被災地、被災構造物などの情報であり、有益な情報源である。なお、各社の情報は撮影場所、撮影方向などが異なるので、同一被災個所の情報を収集して相互補完すると、情報の確度が向上するとともに、被災個所の全体像が把握できる利点がある。

今回実施した初動調査は、(一財)土木研究センターによる現地調査であるが、アジア航測(株)の参加を得ている。写真-9は、地震後の航空写真[撮影：アジア航測(株)・朝日航洋(株)]⁹⁾である。同写真から、津波前の写真-7の左側2基の離岸堤と背後地の被災状況が鳥瞰できるが、初動調査ではこれらの2基の離岸堤の背後の堆砂面からの防潮堤高を現地計測し、離岸堤の有無と背後地の住宅被害の関係を調査した。

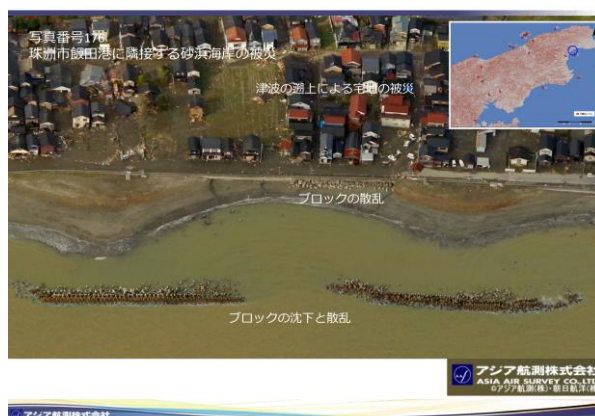


写真-9 航測会社による航空写真⁹⁾：写真-7と同じ海岸

【収集6：地盤工学会、土木学会などの調査報告】

学会による調査団などの報告がある場合は、その結果が活用できる。今回、地盤工学会による被災情報は、防災学術連携体による「令和6年能登半島地震・1ヵ月報告会」(1月31日)を参考にした^{4),5)}。

上記の通り、各種の事前情報に基づいて、現地調査する地域、場所、対象構造物を概ね特定し、調査ルートを設定することは、効率的な調査に有効である。ただし、あくまで参考情報であり、現地では現地状況を見極めて、適宜、判断することが必要である。

5. 調査時の視点・工夫・配慮及び調査後の留意・展開（フォローアップ）

5.1 調査時の視点・工夫・配慮

本節では、3.11地震および能登半島地震の現地調査から得られた、現地調査に際して必要とされる、(1) 現地調査の視点、(2) 現地調査の工夫、(3) 現地調査での配慮事項などを示す。

(1) 現地調査の視点

現地被害での初動調査では、どのような被害が発生しているか、被害の全容の把握を目的とするのが一般的である。そのため、現地ではできるだけ、広く、多くの被害を調査しようとする意識が先行する。この場合、学会などにより調査団が組まれる場合は、参加者の専門性に応じて調査対象は分担され、特定されるので問題は少ないが、個人、グループによる小規模な調査体制の場合は、調査の日数、人員が限られ

るため、調査対象を厳選し、絞り込むなどの対応が必要である。

また、現地調査では、当然、構造物などの被害に目が行きがちであるが、被害の発生メカニズム、原因を明らかにして、復旧あるいは将来の耐震性・防災性向上に資するためには、被災箇所隣接する無被害箇所を比較・検証すること、被災箇所の周囲の地形・土地利用などを俯瞰する姿勢、視点が必要である。

さらに、現地調査に臨む姿勢、視点で重要なことは【気付き】であり、単に“凄い”と感じて被害写真だけを撮るのではなく、現場の不自然さ、不思議さ、違和感といった、疑問を抱く“センス：感度”である。この気付きは、初動調査の結果を検討する際の被害の原因、メカニズム、さらに対策のヒントになる可能性が大きく、技術者として必須の資質である。

下記に、3.11 地震における津波による沿岸部の被災に関する初動調査での気付きを紹介する。なお、これらの気付き、知見は文献 7)~10) で速報するとともに、文献 11) で取りまとめているので参考にされたい。

【気付き 1】流出していない保安林がある

写真-10(1)は、仙台市若林区井土浦の現地で気付いた風景（矢印は津波の浸水方向：以下、同じ。）である。気付きは、手前の保安林は完全に流出しているが、奥に残存した保安林の背後の家屋は浸水深が 3.5m（痕跡高）であるのも関わらず、流失を免れていることであり、何故、保安林が残存したかの疑問である。なお、この気付きは、保安林の流出箇所とそれに隣接する流出していない箇所を比較して見たことによる。

この保安林の残存の原因は、写真-10(2)の衛星写真、現地調査時の写真-10(3)が示している。同写真から、残存した保安林の海側の貞山運河の堤防の陸側には落堀（著者は、洪水時の堤防の落堀に類似するので、落堀と呼んでいる。）が形成されているのに対して、保安林が流出した堤防には落堀が無いことが分かる。つまり、落堀が形成されることにより、津波流は減勢され、保安林は流出に至らなかったと推測できる。

なお、落堀による津波流の減勢特性は、5.2 (1) で示す、数値解析による検証へと研究展開をしている。



(1) 流出していない保安林の背後で残存した家屋



(2) 保安林の残存の有無と落堀の有無：Google Earth に加筆



(3) 堤防側から分かる保安林と落堀の有無の関係

写真-10 保安林の残存と落堀の有無の関係

【気付き 2】堤防の表法と裏法の侵食が違う

写真-11 は、仙台市若林区井土浦の堤防で気付いた風景である。この堤防（高さ 4m）では、津波の第 1 波が越流深約 4m で最大 30 分程度越流していることが推測されたが、越流に対して表法面（海側）は損傷が皆無であるのに対して、裏法面（山側）は侵食していることであり、何故、表法が侵食せず、裏法面が侵食したかの疑問である。なお、この気付きは、堤防の裏側の損傷だけで無く、損傷の無い表側を比較して見たことによる。

この侵食の差異の原因は、海からの津波流は堤防の表法を水位上昇するだけであるので侵食には至らず、他方、堤防を越流し流下する裏法では流速が大きくなり侵食されたと推測できる。同様な現象は、津波に対して最前線にあり甚大な被害が発生した防潮堤、河川を遡上した津波が越流した河川護岸でも同様であることを初動調査で確認している。ここで、越流による堤防、防潮堤、護岸の裏法の侵食は力学的に理解できる現象であるが、表法に関しては、地震後、現在まで議論されている様子はない。例えば、3.11 地震の防潮堤の復旧では、押し波だけを想定した防潮堤の両法面のブロックは流出防止のため重量を増加させているが、上記の現象を踏まえれば、表法まで重量を増加する必要はないと言える。言い換えると、表法のブロックの重量は従来通りでも構造上の問題は無く、それにより資材不足の対応、コスト縮減が図れることになる。



写真-11 堤防の侵食しない表法と侵食した裏法

【気付き 3】堤防の裏法の侵食が表層的である

写真-11 下の堤防裏法あるいは写真-12 下の人工的に造成された高台盛土（最大標高 15m）が気付いた風景である。特に、写真-12 上の衛星写真では、津波流は人工盛土の両側面に分岐するように浸水しているが、写真-12 下のように盛土は流出せず、両側の保安林が流出している。

この盛土での気付きは、堤防は越流深 4m の津波流が越流し、人工盛土は浸水深 10m の津波流の流入に曝されたが、堤防および盛土の侵食はごく表層部だけであることであり、津波流の場合、何故、表層部の侵食に留まったかの疑問である。

なお、この気付きから、津波の越流による土、盛土の侵食が表層部に留まる原因、メカニズムは、5.2(1)の簡易模型実験による検証へと研究展開している。

【気付き 4】侵食されない堤防の裏法先がある

写真-13 は、仙台市若林区井土浦の現地で気付いた風景である。気付きは、上図では堤防の裏法尻が基礎地盤ともども侵食されているが、下図では侵食を免れていることであり、何故、侵食に差異があったかの疑問である。なお、この気付きは、落堀が形成された法尻部の被害箇所とそれに隣接する非侵食箇所を比

較して見たことによる

ここで、裏法尻が侵食されない原因は、現地調査時の法先の地盤表面の観察によると、植生の存在、礫分が多いこと、締まった地盤などが推測される。なお、国土交通省の防潮堤の復旧仕様での裏法先の基礎地盤改良は、破堤のトリガーとなる法先地盤の侵食の防止が目的であるが、本気づきに通じている。



写真-12 侵食が表層部に留まる人工盛土



写真-13 裏法尻部が侵食された箇所と侵食されない箇所

【気づき 5】人工盛土により津波流が抑制されている

写真-2 (前述) の名取市閑上港を初動調査した際に、現地で気付いた風景が写真-14 (1)である。同所は、閑上港からさらに海浜部に入った時に見つけた盛土であるが、港の浚渫土砂を仮置き (推測) した人工的な盛土であった。気づきは、単に砂を仮置きしただけの盛土であるが、津波で破堤せず、その結果、背後の保安林が残存していることであり、何故、人工盛土で津波が抑制できたかの疑問である。この人工盛土は、高さ 5.6m、天端幅 24m、延長 150m ほど (現地計測) であるが、浸水深は 6.1m、天端の越流深は 0.5m と推測している。

写真-14(2)は津波後の衛星写真であるが、人工盛土の存在とその背後の保安林の残存状態がよく分かる。同写真に追記したように、盛土により津波は抑制され、迂回したと推測できる。この事例の知見は、積み上げただけの土堤でも、相応の高さがあれば津波の抑制になることである。



(1) 人工盛土の侵食状況と背後に残った保安林



(2)人工盛土の背後に残った保安林：Google Earth に加筆

写真-14 人工盛土による津波抑制

【気付き 6】防潮堤の端部の被害、地盤侵食が大きい

海岸には防潮堤が設置された区間（有堤区間）と設置されない区間（無堤区間）があるが、無堤区間では直接津波が浸水するので勢いが強い。写真-15(1)は、有堤区間の防潮堤の端部の風景である。気付きは、端部の消波ブロックは飛散し、防潮堤も天端から裏法に渡り決壊し、さらに隣接する無堤区間の地盤がかなり侵食しているが、何故、このような現象が発生したかの疑問である。なお、この気付きは、有堤区間と隣接する無堤区間の境界部を比較して見たことによる

写真-15(2)は、津波後の衛星写真であるが、防潮堤により抑制された津波は、防潮堤の無い無堤区間に迂回する流れとなり、境界部では津波流が集中して、勢いが増加したと推測できる。言い換えると、本例、さらに、津波に限らず、「異なる構造の境界部は弱部」と言える、一般的な示唆である。



(1) 防潮堤の端部の被害



(2) 境界部の地盤侵食：Google Earth に加筆

写真-15 有堤区間と無堤区間の境界部の地盤侵食

【気付き 7】波返し構造の防潮堤の被害に違いがある

写真-16 は、亘理町亘理漁港の海浜部の風景である。気付きは、隣接した同じ波返し構造の防潮堤の設置区間において、越流に耐えた防潮堤（写真-16 上）と破堤した防潮堤（同下）があるが、何故、破堤の有無の違いが発生したかの疑問である。なお、この気付きは、破堤した防潮堤だけでなく、隣接した非破堤の防潮堤を比較して見たことによる。

この疑問は、図-8(1)のように推測できる。破堤した防潮堤がある区間は海水浴場であるため、海岸にアクセスするための階段の他に、図のように防潮堤の前面には小段が設置されていた。このため、小段が無ければ、波返し面に沿った上昇流があり上部の水平流を緩衝できたが、小段により上昇流が阻害されたため、水平流は直接、防潮堤上部に作用し、防潮堤は倒壊したと推測できる。つまり、防潮堤の設計段階



写真-16 同じ構造でも破壊の有無に差異がある防潮堤

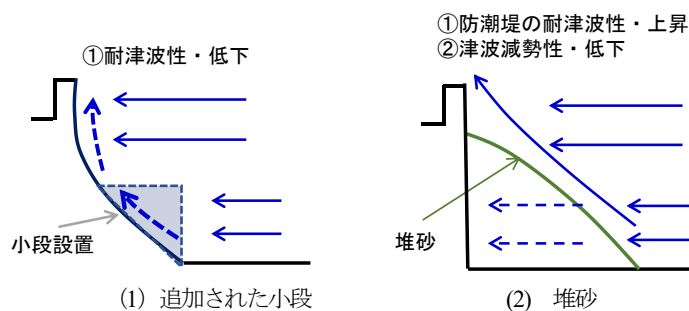


図-8 防潮堤の前面の状態変化による防潮機能の変化

では後付けの小段の設置は考慮していなかったと思われるが、防潮堤の前面の状態が変化する場合には注意が必要であることを示唆する。なお、次の【気付き 8】も、防潮堤の前面の状態変化に関する同様な知見である。

【気付き 8】防潮堤の機能は前面地形により変化する

写真-17 は、千葉県旭海岸の防潮堤の前面に注目した風景である。気付きは、直立堤構造の防潮堤の前面の堆積であり、この状態で津波流はどのように挙動したかの疑問である。なお、この気付きは、無被害の防潮堤かつその前面の海側を見たことによる。

防潮堤の前面の状態変化は【気付き 7】と同じであるが、この場合は防潮堤の建設後の時間経過に伴う堆砂であり、当初の防潮堤の設計では堆砂は考慮されていない。しかし、図-8(2)の概念図の通り、堆砂により防潮堤への津波流の作用が減ずるため、防潮堤自身の耐津波性は向上する。しかし、堆砂により津波流が遡上し、越流し易くなるので、背後地は浸水し易くなる。

この気付きは、防潮堤だけでなく、防潮堤の前面の状態変化に留意する必要性を示唆しており、維持管理における日常点検に関わる事項である。



写真-17 防潮堤の前面が堆砂して耐津波性が変化

【気付き 9】緩傾斜堤は耐津波性があるが遡上しやすい

写真-18 は、千葉県旭市飯岡の海岸の風景である。気付きは、親水性、アクセス性を意図した緩傾斜構造の防潮堤（緩傾斜堤）の被害は皆無であるが、何故、背後地の住宅に津波による甚大な浸水被害があ



写真-18 津波が遡上しやすい緩傾斜堤

ったかの疑問である。この気付きは、防潮堤の被害だけでなく、それが防御すべき背後地まで見たことによる。

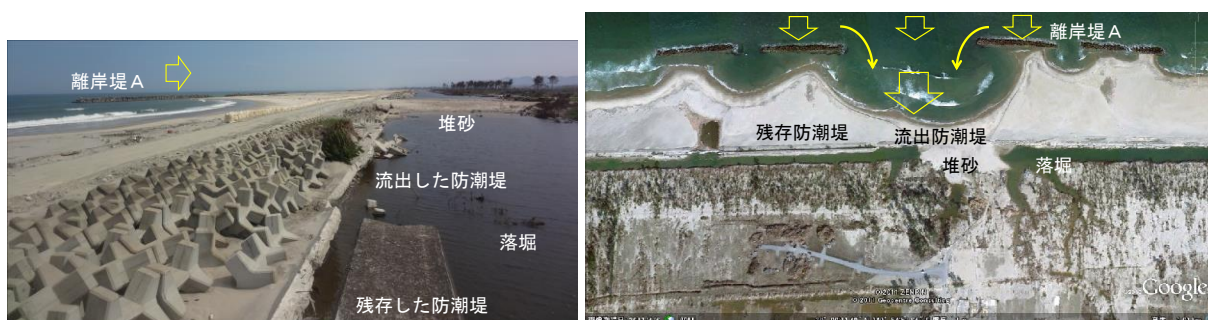
これは、【気付き 8】の堆砂による遡上と同様に、緩傾斜堤自身は耐津波性があり被害は皆無であるが、津波流は遡上し易くなることが原因である。この気付きは、海岸管理者は防潮堤の被害だけを見がちであるが、背後地の津波防災の視点の必要性を示唆している。

【気付き 10】 離岸堤背後の防潮堤の被害に違いがある

写真-19(1)は、宮城県山元町吉田の海岸の風景である。気付きは、離岸堤が整備された海岸において、何故、離岸堤の間の背後の防潮堤が決壊したかの疑問である。この気付きは、破堤した防潮堤だけでなく、隣接する破堤していない防潮堤、さらに沖合に設置された離岸堤および砂浜の侵食状況など、地区全体を俯瞰したことによる。

写真-19(2)は衛星写真であるが、離岸堤の間の砂浜は通常より侵食が進行し、さらに、防潮堤は決壊し、背後地が堆砂している原因は、津波流は離岸堤により抑制されるとともに、離岸堤間に迂回して集中する流れとなったためと推測できる。通常、津波に対する離岸堤の位置付けに関しては、特に意識されていないが、本例はその検証の必要性を示唆している。

なお、令和6年能登半島地震の珠洲市の初動調査では、本例の知見に基づいて、離岸堤の整備海岸を調査対象とした（図-7、写真-7、写真-9 参照）。



(1) 離岸堤の背後の防潮堤の被害の有無

(2) 離岸堤間の背後の防潮堤の被害

写真-19 離岸堤の背後の防潮堤の被害

【気付き 11】 ジオテキスタイルの被覆により盛土の侵食が抑制されている

写真-20は、【気付き 5】の人工盛土の端部であり、津波流（越流深4.6m：推定）が直接浸水した場所の風景である。気付きは、この海岸では保安林の前面の管理道路を防砂するためと思われる低盛土（高さ1.6m程度）が整備されていたが、直接的な浸水による越流水により盛土の覆土（層厚0.6m程度）が流失しているものの、ジオテキスタイルが露出した状態で残存し、それ以上の侵食を抑制していることである。

この気付きは、津波対策としての盛土のジオテキスタイル補強工法の適用性に着目して、5.2(1)の水路模型実験による検証へと研究展開している。



写真-20 覆土が流されても侵食を抑制したジオテキスタイル

【気付き 12】盛土の舗装の損傷は僅かで破堤しない

写真-21 上は、写真-11 と同一場所の河川堤防の天端の風景である。気付きは、越流深約 4m の津波の第 1 波が 30 分程度越流した、高さ約 4m の堤防天端のアスファルト舗装が、一部の剥離はあるが損傷は僅かであり、何故、防潮堤のような破堤をしなかったかの疑問である。この気付きは、異なる構造の海岸堤防（防潮堤）と河川堤防の被害を比較して見たことによる

さらに、写真-21 下は、岩手県大槌町浪板の道路盛土の被災状況であるが、追加調査に際して国道 45 号を管理する三陸国道事務所から提供された写真である。この盛土は浪板川の低地を横断しており、津波により越流深 10m の押し波と引き波が 10～20 分程度越流したと推測できる。写真から分かるように、押し波により盛土の山側の法面、引き波により海側の法面が侵食しているが、道路盛土の一般部の天端舗装の被害は皆無であり、破堤はしていない。また、残留した堤体土の色調が白っぽいが、これは越流水の堤体内への透水は浅く、深部には至っていないことを示す。

これらの堤防および道路盛土が決壊、流出しないのは、【気付き 3】の盛土内への浸水、侵食が表層部に留まったことを示唆する。



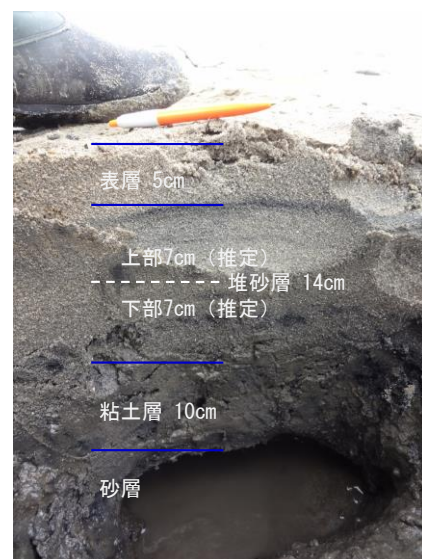
写真-21 天端の舗装の損傷は軽微：上・堤防，下・道路盛土

【気付き 13】津波堆積土の表面に不陸がある

写真-22 (1)は、2012 年 4 月の津波堆積土の追加調査の際の宮城県山元町吉田の耕作地の風景である。気付きは、地表面の広い範囲で堆積土が見られるが、何故、部分的に不陸が形成されたかの疑問である。



(1) 津波堆積土の表面の不自然な不陸



(2) 掘削・土質分類による液状化噴砂層と津波堆積層

写真-22 液状化後に津波が浸水した場所

津波堆積土の追加調査は、津波前の原地盤上に津波が浸水して堆積して形成された表土層の特性（層厚、粒度など）の把握が目的であったが、写真-22(1)の不陸の発生が液状化に関わると推測し、液状化による噴砂と津波による堆積の関係を捉えるため、この場所では原地盤まで40～50cm程度掘削した。

写真-22(2)は不陸の位置の掘削断面であるが、目視による粒状、土層色から5層に区分して、各層から土資料を採取した。土試料の粒度試験の結果により、表層と上部砂層は津波堆積土であり、下部砂層は原地盤の表層粘土層の下層の砂層からの噴砂と識別された。

本例では、地震による液状化（噴砂）の発生が津波到達（堆積土）の前であることが判明したが、地震動と津波の浸水の複合的現象の時間的相関について、不自然な不陸の気付きにより明らかにできた事例である。

【気付き 14】防潮堤の損傷には大小の差異がある

写真-23は、初動調査の調査箇所で見られた風景の集約である。気付きは、一般的に初動調査では防潮堤の被害の有無だけを着目しがちであるが、何故、防潮堤の被害の規模・形態に差異（写真-23では5区分）があるのかの疑問である。この気付きは、横断的な視点で相対的な被災規模・形態の差異を意識して見たことによるが、差異を意識して撮影するようにした。

なお、相対的な被災規模・形態の差異は、5.2(1)の防潮堤の要求性能の区分へと研究展開している。



写真-23 被害の規模・形態に差異がある防潮堤

(2) 現地調査の工夫

初動調査では、被害の全容を把握するため、被災箇所では写真撮影、形状・寸法計測、土試料採取などの情報収集に留まるのが一般的である。また、ボーリング調査などの詳細な追加調査は、費用、時間、準備などの制約があるため、容易には出来ないことがある。

ここでは、防潮堤の背後に形成された落堀の深さを概略かつ多数の箇所では計測する現地調査および落堀の深さと水底の地盤性状を計測する現地調査において、調査方法を考案し、工夫した2事例を紹介する。

【事例1：釣竿・浮標を用いた落堀の深さ計測】

初動調査では、越流水により形成された落堀が防潮堤や堤防の背後の随所で見られたため、落堀の規模（幅、深さ）と防潮堤の構造特性（高さなど）の相関を調査（2011.7）することにしたが、水面下の落堀深さの計測方法が課題であった。そのために考案したのが、**写真-24** 右の釣糸に浮子（10cm 間隔）、重錘を付けた釣竿である。重錘などを随所に投入し、隣接する水面と水中の浮子を特定し、引き上げて浮子の水深（誤差±10cm）を読み取る。水深の計測位置は、写真のように標尺による計測あるいは目測による。釣り竿は持ち運びが容易であり、10箇所計測して落堀の特性を定式化した。概略の特性を把握するためには十分である。

本方法は、2015 年関東・東北豪雨による鬼怒川の越流により破堤した堤防の背後地で形成された落堀の水深分布を把握する計測調査でも採用した。

【事例2：ゴムボートを用いた水上での計測】

事例1の落堀の深さ計測の後、さらに落堀の横断面形状と水底の土質特性を把握する追加調査（2011.9）を実施した。落堀の横断調査は水上調査になるが、計測方法では足場を組むあるいは船を使うことが考えられたが、費用などの制約から、本調査では**写真-25**のゴムボートを使う方法にした。ゴムボートおよび簡易動的コーン貫入試験機は事前に準備して宅配便で輸送し、その他のロープ、角材、アンカー、ライフジャケットなどは、仙台市内のホームセンターで調達した。

調査地は仙台市井土浦であり、落堀の海陸方向の横断面は、浸水直後からの水位低下分を補正すると、幅 16.8m、最深部の侵食深さ 4.6m（うち、0.6m は再堆積）であった。上記の調査方法により、落堀の横断形状が把握できると共に、動的貫入抵抗値から侵食前の水底の地盤特性（ N_d 値）、再堆積層の存在などが把握できた。

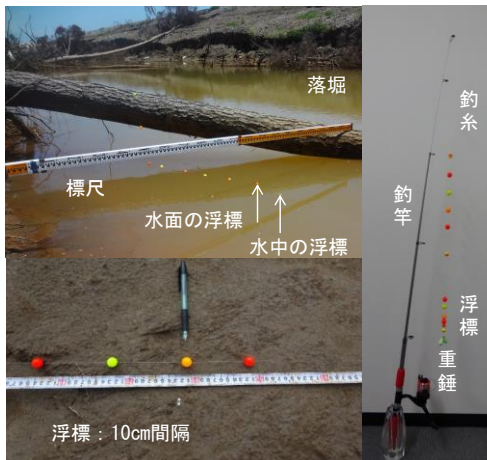


写真-24 浮標による落堀の深さの簡易測定



写真-25 ゴムボートによる落堀の調査

(3) 現地調査での配慮事項など

現地調査をする対象地には、被災した家屋、敷地・耕作地、漂流物などの私有財産があるとともに、地元には被災者、住民の方が居る。地元の方からは、現地調査に来る人間はよそ者であり、泥棒ではないかななどの不信感を持つのは当然である。他方、調査する側は、住宅等の被災状況をよく見たい、住人に話を聞きたい気持ちが先立つ。しかし、被災者、地元は部外者の被災調査に興味は全く無く、自らの生存、生活が最優先であることを念頭に置き、調査側からの興味本位的な話しかけは厳禁である。現地の状況をよく見て、勝手に私有地に立ち入らない、私物に触らないなどの気配りをした調査をする配慮、気配りが必要である。

また、5月の連休に実施した3.11地震の初動調査では、沿岸部への立ち入りの制限は全く無かったが、次第に通行・入場規制が始まった7月、9月の調査では、大学の腕章などを持参し、身分証明を心がけた。

なお、地震後3年経過した2014年6月の岩手県大槌町浪板にある、復旧に着手されていない鉄道盛土の被災状況調査（東日本鉄道株式会社の許可、立ち会い、資料提供）では、地元の公民館をアポなしで訪ねたが、公民館長と自治会長のお二人からは快く当時の話を聞かせて貰えた。その際、津波来襲時の写真を譲り受けることができ、押し波、引き波の到達時間、道路盛土、鉄道盛土の越流時間の想定のための重要なデータとなった。なお、現地調査で使った資機材を公民館に寄贈させて頂いたのは、前述（3.2）の通りである。

5.2 調査後の留意・展開

現地調査の後には、調査結果をまとめるなどの対応が必要であるが、本節では、(1) 現地調査での疑問・気付きの検証、(2) 被害から復興までの追跡調査、(3) 調査結果の公表について、留意・展開の状況を紹介する。

(1) 現地調査での疑問・気付きの検証

5.1(1)で紹介した、現地調査での気付きのうち、特に関心を持った、【気付き1】【気付き3】【気付き11】【気付き12】および【気付き14】に関して、検証のための研究展開をしているが、「調査後の留意・展開」として紹介する。その主旨は、疑問の解決が現象のメカニズム、さらには対策のヒントになることによる。

まず、【気付き1】の落堀による津波流の減勢については、津波の流向方向の二次元断面モデルにおいて、落堀の有無による浸水シミュレーションを行った。落堀の下流端から20m離れた位置での結果が図-9であるが、落堀があると浸水の水位は上昇するが、流速が低下することが分かる。更に、水中にある構造物に作用する抗力は、流速の2乗に比例し、水位に反比例するので、例えば、流速が1/2、水位が2倍になった場合、抗力は1/2に低下することになる。

このように、落堀の形成により、津波流の流速、さらに抗力が低下し、保安林が残存したことを明らかにした。さらに、同結果によれば、既存の池、湖沼の前面に盛土を配置、人工的なため池などを盛土の背後に設置などが津波越流対策として考えられる。なお、河川堤防の越流堤の裏法尻に設ける水叩きは、越流水の減勢のためであり、既に実用化されている構造である。

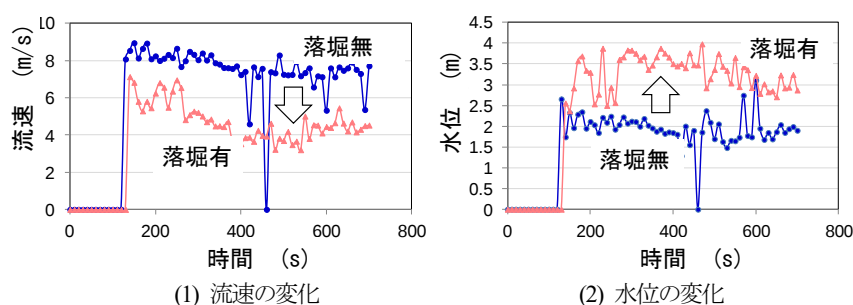


図-9 落堀の有無と流速、水位の関係：数値解析による検証

また、【気付き3】の堤防の侵食が表層部に留まることの疑問に関して、写真-26の実験装置を製作し、越流水の土層内への浸潤特性を把握した。土槽はアクリル製の内径20cmの円筒であり、土層高さ75cmとし、透水の浸潤到達の検知のため、深さ方向に9箇所（7.5cm間隔）に土壌水分計を設置した。設定した水位（水頭）は、屋内で2, 4m、屋外で6, 8, 10mとした。土層の飽和度（Sr）は35%を基本とし、水位4mでは45%、65%も実施した。浸透時間は30分以上とした。ここで、“浸透時間は30分以上”の設定は、写真-11の堤防における第1波の押し波の越流時間が30分程度と予測されたことに基づく。



写真-26 越流水位による土層の浸透特性の
屋内模型実験

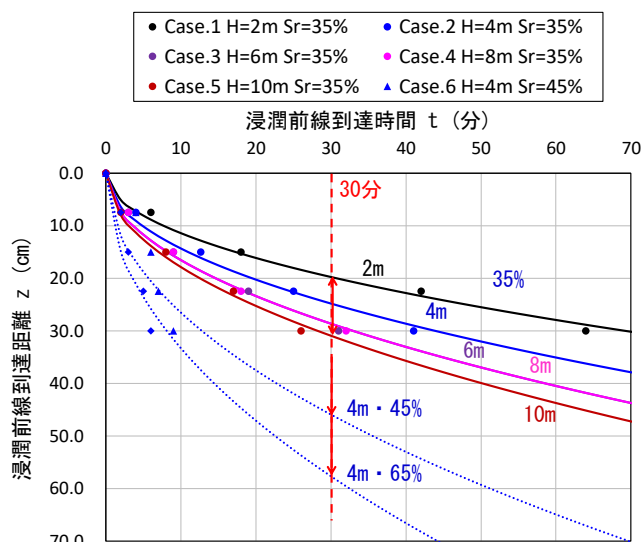


図-10 水位と浸透深さの時間変化：簡易土層実験による検証

実験結果は図-10 であるが、30 分後の浸潤深さは、飽和度 35%、水位 2～10m で 20～30cm であり、飽和度 65%、水位 4m で 60cm であり、たかだか 30 分程度の越流では、土層の強度が低下する盛土内への越流水の浸透は表層部に留まり、侵食も同様であることを検証した。なお、盛土の耐津波性のためには、堤防の飽和度、地下水位を下げる構造、管理が有効である。

次に、【気付き 11】の盛土のジオテキスタイル敷設の侵食防止効果の疑問に関して、写真-27 の水路（幅 1m、延長 55m）による盛土模型越流実験を実施した。固定床に設置する盛土模型は、高さ 8cm、天端幅 14cm であり、両法の勾配は 2 割である（底面幅 46cm）。模擬津波は、ピストン型造波機により行なったが、越流深 3cm 程度、越流時間 10 秒程度を再現している。

写真-28 は、全表面から 1cm 下にジオテキスタイルを敷設した盛土模型に対する越流前後の比較である。越流により覆土が流出しているが、写真-20（前述）の現地で見られた被覆による侵食抑制が再現された。

さらに、【気付き 12】の写真-21 で現地確認された、天端の舗装による侵食拡大の防止効果について、写真-29 は模型実験の結果である。同写真のように、天端の舗装を模擬したアクリル板により、裏法面の侵食拡大が防止されることが再現された。

上記の検証結果は、ジオテキスタイル補強および天端舗装が津波の越流侵食防止対策としての有用性を示している。なお、天端の舗装は、従来から洪水時の堤防の越流に対して有効であることは周知の事実であるが、ジオテキスタイルなどによる盛土被覆の侵食防止効果は、洪水に対する堤防の粘り強さの向上策としての可能性を示唆している。



写真-27 水路および盛土模型：水路模型実験による検証



写真-28 盛土のジオテキスタイル敷設による侵食防止実験

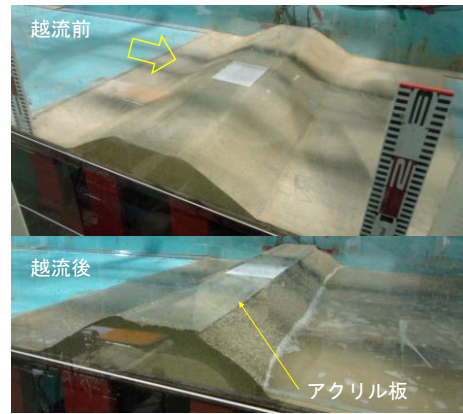


写真-29 盛土天端の被覆：舗装による侵食防止実験

さらに、【気付き 14】の防潮堤の被害レベルの差異をどう活かせるかについては、防潮堤の性能評価に
関係付けている。写真-23（前述）では、防潮堤が破堤・決壊する被害レベル（S）、天端・法面に大中規模
損傷があるが天端保持する被害レベル（A）、裏法・法先に中小規模損傷があるが天端保持する被害レベル
（B）、裏法先地盤の侵食などの被害レベル（C）および無被害レベル（D）に5区分したが、被害レベルは、
防潮堤に対する要求性能の水準と言い換えられる。そのため、現地調査で気付いた、被災レベルA～Dに
基づいて、表-3の防潮堤の性能設計の目標水準を提案した。

ここで、“粘り強い”とは、通常、水準S（破堤）に至る時間を出来るだけの延ばす・・・とされている
が、人命、さらに資産を守るためには、天端が決壊しない水準A～Dにすることが必要である。なお、こ
れは、洪水時の越水に対する堤防の機能でも同様であり、表-3が援用できる。

表-3 津波に対する防潮堤の要求性能区分例¹²⁾

評価 レベル	防潮堤の損傷程度＝要求性能
S	表法、天端の損傷、決壊により、高さが喪失ある いは確保が危ういことから、基本構造の機能は完 全あるいはほぼ喪失する。
A	裏法・裏法先の一部あるいは全部が侵食あるい は流出するも、表法・天端が残留して、高さ、基本 構造の機能は最低限確保される。
B	裏法の表面侵食、ブロックの飛散、一部欠損があ るも、裏法先の侵食程度であり、基本構造の機能 は確保される。
C	裏法先の侵食程度であり、基本構造の機能は十 分に確保される。
D	損傷は皆無であり、基本構造の機能は十分に確 保される。

(2) 被害から復興までの追跡調査

初動調査および追加調査に加えて、「調査後の留意・展開」として忘れてはならないのは、被災の復旧、
復興がどのように実行されたか、それにより被災箇所はどう変化したかまで追跡するフォローアップであ
る。

なお、当初の現地調査（2011～2012年）は仙台海岸が中心であったが、その後は岩手県大槌町での現地
調査を始め、岩手県の普代村から宮城県南三陸町まで訪れており、概ねの土地勘はあった。そのため、2011
年3月から10年経過し、概ね復興が済んだとされる、2021年3月18日から21日まで、岩手県の田野畑

村から気仙沼市まで、宮城県の南三陸町から女川町、石巻市、仙台市、山元町に至る海岸部の現地調査を実施した。

現地調査の結果は、後述の(3)の通り、文献12)および文献13)で報告している。ここでは、初動調査の代表的な被災箇所について、主に地盤工学に関わる盛土構造を利活用した防潮堤の特徴的な復興の姿を紹介する。

【事例1：仙台市若林区井土浦の堤防】

初動調査で数多くの気付きがあり、落堀の追加調査を実施した仙台市若林区井土浦の堤防である。写真-30 が被災直後と復興後の比較であるが、破堤しなかった堤防は、落堀の埋め戻し、張芝、舗装により原形復旧されている。この堤防は表-3 の要求レベル A に相当し、津波に対して所要（破堤しない）の粘り強さが発揮されるとともに、復旧が容易であった。言い換えると、盛土による津波対策は「基本構造の機能（表-3 の A）を保持し、低コスト」であり、盛土の構造特性を活かした津波防災の可能性を示す好例である。

なお、コンクリートブロックの3面張り構造の防潮堤の津波対策は「高機能、高コスト」であるが、表-3 の水準 S であり、破堤に至る時間を延ばすことが要求レベルとされており、盛土とは視点が異なる。



写真-30 被災し、復興された堤防：仙台市若林区井土浦

【事例2：亶理町鳥の海の防潮堤】

写真-31 は亶理町鳥の海の防潮堤であるが、レベル2 津波対応の防潮堤の構造による復興が特筆できる。復興ではレベル1 津波が越えない設計高さ（仙台海岸：T.P.7m）が整備目標であるが、ここでは写真-31 下のように3mの高さの嵩上げ盛土が腹付けされており、今次の津波高（T.P.10m）にしてある。つまり、レベル2 津波相当でも越流が抑止できる構造となっており、自由度の高い盛土の優位性を活かした好例である。

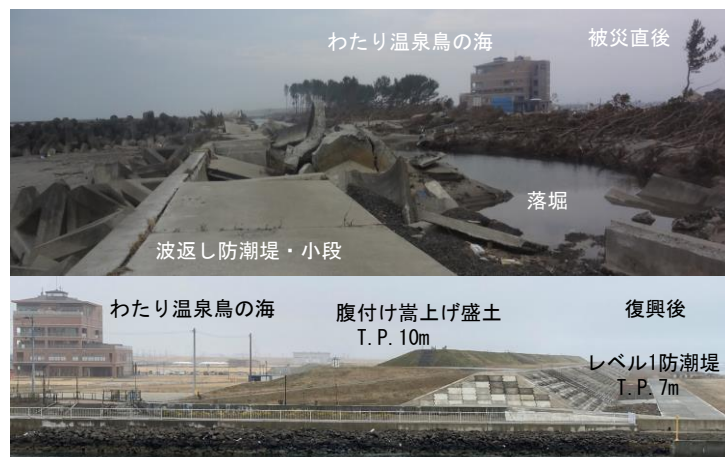


写真-31 復興された防潮堤＋盛土：亶理町鳥の海

【事例3：山元町高瀬の防潮堤】

写真-32 は山元町高瀬の防潮堤である。同写真の上は被災直後であるが、下の復興写真の撮影では、右奥の7号突堤の位置を目安にした。この場所の壊滅的な破壊をした防潮堤は「緑の防潮堤」として復興され、山側の法面は覆土し、植栽された構造が特徴である。同様な「緑の防潮堤」は宮城県内の他の箇所でも採用されているが、陸側から見た防潮堤は緑化され、景観性、自然性の創出が工夫されている。盛土の併用構造による防潮堤の新たな機能付加の好例である。



写真-32 復興された緑の防潮堤：山元町高瀬

【事例4：陸前高田市・高田松原の防潮堤】

写真-33 は復興後の陸前高田市の高田松原である。3.11 地震の津波痕跡高は 18.3m であったが、市街地は T.P.5m で嵩上げ、高台化され、高田松原の防潮堤は第1線堤が高さ T.P.3m、第2線堤が12.5m とされ、両者の間の約 100m は松原再生の4万本（被災前は7万本）の松が植栽されている。なお、写真-33 下の通り、第2線堤の防潮堤の裏法は覆土され、さらに地震前からあった古川沼が隣接しているが、この沼には図-9（前述）の落堀に相当する津波減勢が期待できる。



写真-33 復興された高田松原：上・表法側、下・裏法側

(3) 調査結果の公表

現地調査の結果は、相応の成果として取りまとめるとともに、対外的に積極的に公表することは、調査者の責務と言えるが、公表情報は広く共有されて社会的貢献に繋がる。

本文の3.11 地震および能登半島地震の現地調査では、下記の通り、初動調査、追加調査および追跡調査の結果を報告、発信している。

A. 3.11 地震

初動調査（4月30日～5月3日）および追加調査（5月～9月）の結果は、地震発生と同年の地盤工学会

誌に4回〔Vol.59, No.8～No.11：参考文献7)～10)〕に分けて投稿し、掲載されている。同報告は、地盤工学会の会員として投稿したが、連続する4回の連載は地盤工学会の理解によるものであり、現地調査後あるいは追加調査に並行して最短時間で掲載されている。

さらに、初動調査、追加調査および本章の前項(1)の現地調査での疑問・気づきを検証する調査・研究の成果を取りまとめて出版している〔文献11)〕。その際、書籍の内容に関わり、現地調査などで協力を得た、関係者(大槌町の公民館長、自治会長含む)は、巻末に氏名と所属(当時)を記すことにした。また、本章の前述(2)の初動調査の被害箇所をはじめとする復興状況の追跡調査の結果は、2021年に文献12)、13)として刊行している。

B. 能登半島地震

珠洲市の津波に関する調査結果は、対外的な公表には至っていない。

なお、同じ初動調査で実施した、内灘町の液状化に起因する地盤流動(側方流動とも言う。)に関する調査(2月27日)の結果は、取りまとめて4月上旬に地盤工学会誌に投稿し、7月号に掲載¹⁴⁾された。同投稿は、地盤工学会の会員として、報告ではなく、寄稿として投稿しているが、今回の地震でも地盤工学会の理解を得て、現地調査後、すみやかに、ほぼ最短時間で掲載されている。

上記の通り、現地調査および関連研究の成果は、地盤工学会誌のほか、報告会、研究発表会などを通じて、情報を共有し、活用するように努めるとともに、そのための一層の場造り、環境整備が必要である。

6. おわりに

本文では、津波による地盤災害が生じた後に実施される現地調査について、第2章：調査の主体と目的、第3章：調査のタイミングと調査計画の立て方、第4章：被災状況・現地状況に関する事前情報収集、さらに、第5章：調査時および調査後の留意事項について、著者が実施した、2011年東北地方太平洋沖地震および令和6(2024)年能登半島地震の津波に関する初動調査を事例として紹介した。また、本文では、初動調査に留まらず、初動調査の追加調査および追跡調査を取り上げて、初動調査からの研究・開発への展開についても紹介した。これは、折角、時間と手間をかけて実施した現地調査をやりっぱなしにせず、その後の調査・研究・開発に繋げるとともに、それらの成果を公表し、後世に残すことが必須と考えたことによる。

なお、本文の第2章から第4章までと、第5章5.1(3)および5.2(3)は、津波の初動調査に留まらず、他の地盤災害に共通する事項である。また、本文は著者の経験の範囲にあるため、それら以外の現地調査の留意事項は、文献15)を参照されたい。

他方、津波の調査に固有な事項は、上記の共通事項以外、つまり、第5章〔5.1(3)および5.2(3)を除く〕であり、それらも筆者の経験の範囲ではあるが、相応の視点、課題認識を持って、追加調査、追跡調査、さらに、研究への展開をしているので、その主旨、視点、工夫などを参考にして頂ければ幸いである。

最後に、初動調査などの現地調査およびその後の対応では、津波災害を問わず、災害形態に応じた視点、工夫などが必要とされるが、そのための専門的な知識、経験、感度(センス)が問われるので、それに応えられる日頃からの課題認識、自己啓発などが必要である。

なお、本技術資料は文献16)の原案(2段組・20ページ相当)に基づいているが、地盤工学会誌の16ページの制限あるいは査読により省いた内容を網羅している。

参考文献

- 1) 気象庁地震火山部：「令和 6 年能登半島地震」における気象庁機動調査班（JMA-MOT）による津波に関する現地調査の結果について，報道発表，令和 6 年 1 月 26 日。
- 2) BANBANBAN_TV：能登半島地震【隆起・液状化・地盤沈下】石川県内灘町西荒屋小学校付近（金沢市の隣町）道路周辺被害状況 2024 年 1 月 20 日現在～自衛隊拠点の様子，入手先
〈<https://www.bing.com/videos/riverview/relatedvideo?q=BANBANBAN%20TV%20%E8%83%BD%E7%99%BB%E3%80%80%E6%B6%B2%E7%8A%B6%E5%8C%96&mid=83592D24FB96E234694583592D24FB96E2346945&ajaxhist=0>〉（参照 2024.2.17）。
- 3) （一財）国土地盤情報センター：災害復旧支援 地盤情報緊急公開サイト（NGiC），入手先 〈<https://publicweb.ngic.or.jp/emergency-1/>〉（参照 2024.3.1）。
- 4) 新保泰輝：令和 6 年能登半島地震に係る地盤関連被害速報，防災学術連携体・令和 6 年能登半島地震・1 ヶ月報告会，2024.1.31。
- 5) 今村文彦：令和 6 年能登半島地震による津波の発生と被害—今後の課題と教訓—，防災学術連携体・令和 6 年能登半島地震・1 ヶ月報告会，2024.1.31。
- 6) アジア航測株式会社：「令和 6 年能登半島地震」被害状況（2024 年 1 月），空中写真で見た海岸地形の特徴（2024 年 1 月 3 日），写真番号 176 珠洲市飯田港に隣接する砂浜海岸の被災，撮影：アジア航測（株）・朝日航洋（株）入手先 〈<https://www.ajiko.co.jp/disaster/1439>〉（参照 2024.1.3）。
- 7) 常田賢一・小泉圭吾：津波被害からの知見とハード対策の方向性の考察（その 1），地盤工学会誌，Vol.59，No.8，pp.36-42，2011。
- 8) 常田賢一・小泉圭吾：津波被害からの知見とハード対策の方向性の考察（その 2），地盤工学会誌，Vol.59，No.9，pp.34-40，2011。
- 9) 常田賢一・小泉圭吾：津波被害からの知見とハード対策の方向性の考察（その 3），地盤工学会誌，Vol.59，No.10，pp.37-43，2011。
- 10) 常田賢一・谷本隆介：津波被害からの知見とハード対策の方向性の考察（その 4），地盤工学会誌，Vol.59，No.11，pp.26-32，2011。
- 11) 常田賢一・秦 吉弥：東日本大震災の津波に学び 粘り強い盛土で減災，理工図書，264p.，2016。
- 12) 常田賢一：東日本大震災から 10 年，復興により津波に立ち向かう沿岸陸域の姿（その 1）多様な防潮堤，土木技術資料，Vol.63，No.9，2021。
- 13) 常田賢一：東日本大震災から 10 年，復興により津波に立ち向かう沿岸陸域の姿（その 2）多様な多重防御・高台移転，土木技術資料，Vol.63，No.9，2021。
- 14) 常田賢一・島 馨・土橋 聖賢・小野田 敏：令和 6 年能登半島地震による液状化・地盤流動の現地調査からの知見—内灘町の地盤変状および住宅被害に基づく地盤流動特性および対策方法の考察—，地盤工学会誌，寄稿，Vol.72，No.07，Ser.No.798，pp.51-54，2024。
- 15) 村上 哲：地盤災害の調査に入るまでの準備と心構え，地盤工学会誌，講座：地盤災害の現地調査，第 2 回，pp.72-79，2025。
- 16) 常田賢一：津波による地盤災害の現地調査，地盤工学会誌，講座：地盤災害の現地調査，第 6 回，pp.1-16，2025.9（掲載予定）。（2025.5：投稿済み）

なお，図-2，図-3，図-4 および写真-1 の仙台河川国道事務所による第 1 報，第 16 報，第 29 報および第 33 報の参照（2025.06.25）は，以下の通りである。

- i) 国土交通省東北地方整備局仙台河川国道事務所：防災情報／緊急情報・防災情報（記者発表），2011/03/11 14:46 【防災情報】仙台河川国道事務所 東北地方太平洋沖地震に関する災害情報（第 1 報）入手先 〈https://www.thr.milt.go.jp/Bumon/kisya/saigai/images/33228_1.pdf〉
- ii) 同上，2011/03/13 13:50 同上（第 16 報）入手先 〈https://www.thr.milt.go.jp/Bumon/kisya/saigai/images/33507_1.pdf〉
- iii) 同上，2011/03/17 21:00 同上（第 29 報）入手先 〈https://www.thr.milt.go.jp/Bumon/kisya/saigai/images/33701_1.pdf〉
- iv) 同上，2011/03/20 20:00 同上（第 33 報）入手先 〈https://www.thr.milt.go.jp/Bumon/kisya/saigai/images/33789_1.pdf〉

以上