

東北地方太平洋沖地震被害調査報告 —宮城県北部—

岡 二三生¹, 吉田 信之², 甲斐 誠士³, 飛田 哲男⁴, 肥後 陽介¹, 鳥居 宣之⁵, 鏡原 聖史³,
中西 典明⁶, 木元小百合¹, 山川 優樹⁷, 東瀬 康孝⁸, 渦岡 良介⁹, 京谷 孝史⁷

- 1 京都大学大学院・工学研究科
- 2 神戸大学・都市安全研究センター
- 3 株式会社ダイヤコンサルタント・関西支社
- 4 京都大学・防災研究所
- 5 神戸市立工業高等専門学校・都市工学科
- 6 復建調査設計株式会社・大阪支社
- 7 東北大学大学院・工学研究科
- 8 パシフィックコンサルタンツ株式会社・東北支社
- 9 徳島大学大学院・ソシオテクノサイエンス研究部

概 要

平成 23 年（2011 年）3 月 11 日に発生した東北地方太平洋沖地震による宮城県北部地域の地盤被害状況を把握するため、地盤工学会東北支部・関西支部合同調査団を組織し、2011 年 4 月 5 日～10 日、29～30 日にかけて調査を実施した。本論文では、その後の聞き取り調査なども踏まえ、河川堤防、海岸堤防、港湾施設、道路・鉄道の盛土・切土斜面、液状化や地盤沈降などの被害に関する調査結果を報告する。調査結果の一部は既に地盤工学会誌に速報として報告されているが、本論文ではそこで報告された被害事例も含めて被害対象ごとに整理して述べる。

キーワード：東北地方太平洋沖地震、地震地盤災害、宮城県北部地域

1. はじめに

宮城県北部地域を対象とした東北支部・関西支部合同調査団では、沿岸部から内陸部まで広範な地域に分布する多数の被害箇所を限られた日程で調査するため、5 グループに分かれて調査を実施した。

本調査での主な調査対象は、河川堤防、海岸堤防および砂浜、港湾施設、道路や鉄道の盛土および切土斜面、橋梁などの構造物、広域地盤沈降である。調査結果の一部は既に地盤工学会誌に速報¹⁾²⁾³⁾⁴⁾として報告されている。本論文ではそこで報告された被害事例も含めて被害対象ごとに整理して述べる。

2. 河川堤防の被害

2.1 被害の概要

河川堤防と河川構造物の被災箇所は東北地方整備局管内で 1195 箇所（堤防：773 箇所）、宮城県管内で 635 箇所（堤防：611 箇所）であった。河川としては、東北地方整備局管内では馬渕川（青森県）、北上川（岩手県含む）、江合川、鳴瀬川、吉田川、名取川、阿武隈川（宮城県内）、宮城県管内では、迫川など 146 河川（宮城県内）611 箇所

である。主な河川堤防の被災箇所の位置を図 1 に示す。

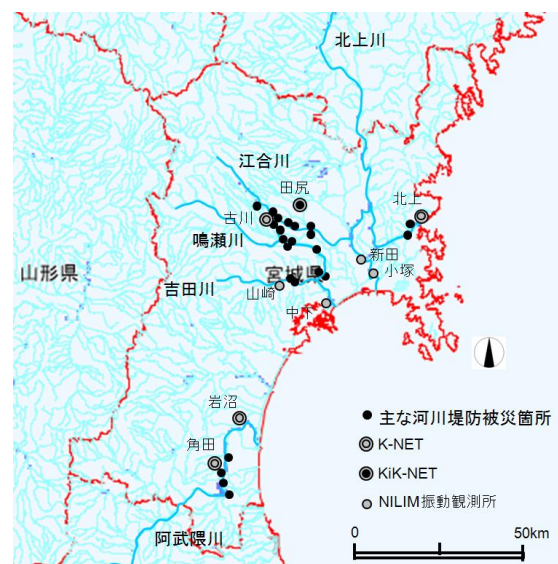


図 1 宮城県の主な河川堤防被災箇所（国土交通省国土数値情報（国土情報ウェブマッピングシステム）に加筆）

被害の形態は、(1) 基礎砂地盤の液状化、(2) 地下水面以下となった堤体砂質材料の液状化、(3) 津波による越流

と侵食が主な原因と考えられる。(2)の原因として、堤防下の厚い粘土地盤の圧密による堤体の沈下、また他の理由による堤防内の高い地下水位などが考えられる。また、今回の地震では50ガルを超える液状化に影響のある地震動の継続時間が150秒以上と長いことも原因である。

噴砂が確認され、堤体地下水位が高かったことが確認されているのは、阿武隈川下流右岸枝野地区(30.6km～31.4km)(以下、括弧内は河口からの距離を示す)、阿武隈川下流左岸野田地区(28.6km～29.0km)、江合川左岸上谷地地区(14.0km～14.6km)、江合川右岸中島乙地区(14.0km～14.6km)、江合川右岸福沼地区(26.6km～26.8km)、江合川左岸刈尻上流地区(27.6km)などである(東北地方整備局、北上川等堤防復旧技術検討会資料⁵⁾)。

江合川、鳴瀬川や吉田川の基礎地盤には全域にわたり4～5mの軟弱な粘土層が広く分布し、また、砂や砂礫との互層になっているところでは10～15mに及ぶ粘土層が堆積している。吉田川山崎地区(黒川郡大郷町山崎)など下部にN値4～5の軟弱粘土層が堆積している地域では、1978年宮城沖地震などで堤防の被害が発生しており、軟弱な粘土層の影響は、圧密、振動特性、変形特性に関して重要な課題である。また、形態は図2に示すように堤防天端にクラックが入り、堤体が左右へ移動、陥没沈下するパターンや、天端と法面などに複数のクラックが入りブロックが移動・沈下するパターンが多く見られた。移動量は10m近い場合(江合川左岸刈尻上流地区など)、天端沈下は最大で3m弱であった。

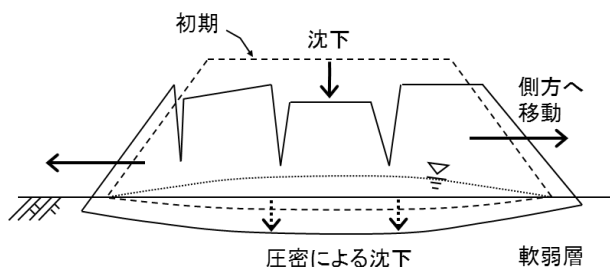


図2 河川堤防の変状模式図

2.2 江合川堤防

江合川堤防で被害が大きく、緊急災害箇所指定された箇所は、上流から、福浦(右岸29.3km～29.5km)、刈尻上流(左岸27.5km～27.8km)、刈尻下流(左岸25.9km～26.9km)、福沼(右岸26.6km～26.8km)、平針上流(左岸21.8km～22.0km)、平針下流(左岸20.8km～21.0km)、上谷地(左岸14.1km～14.7km)、中島乙(右岸14.0km～14.6km)の8箇所である。

宮城県大崎市古川の江合橋下流の江合川左岸27.2km～27.8km付近(刈尻上流地区)の堤防被害が今回の地震で見られた最大級のものであった。この地点は地震動によって約400mにわたり堤体が大きく崩壊した箇所である。被災直後は天端縦断方向に数本のクラックが生じ、天端が上

下方向に数メートル波打っている(写真1)。変状は、川裏が埋立て盛土であるため、約11個のブロック状に川表側へ9.37mはらみ出し、沈下は平均0.83mであった。地盤構成は、堤防盛土下部は約1mの緩い砂層、その下に約1mの砂・シルトの互層(N値約5～10)があり、その下部は約12mの沖積粘性土層で、これらの層はN値が5程度の軟弱土であり、その下部はN値10以上の砂層、粘土、砂礫層へと続いている。法尻付近に液状化跡があり、地震後の地下水位は堤防直下の緩い砂層までであるため、この層とその下の砂・シルト互層の液状化と変形が堤防の変状の原因と考えられる。

東北新幹線高架橋より下流側(左岸27.2km～27.4km)は天端中央縦断方向で3筋のクラックを生じ、特に天端中央より川裏側が数十cm沈下して陥没し、川裏側にすべりを生じていた。堤防川裏側下部の小道には堤体に垂直方向に幅10cm程度のクラックが確認された。また、周囲の水田には5～10mのクラックと噴砂が数箇所生じていた。近隣には比較的新しい民家があったが、住宅は無事で地面にクラックが生じる被害が見られた。



写真1 江合川左岸江合橋堤防被害(北上川下流河川事務所 地震災害情報第16報⁶⁾)

2.3 新江合川堤防

江合川と鳴瀬川を結ぶ新江合川では、右岸堤防(大崎市古川楡木)において地震動による被害が1箇所あった。写真2は右岸2.8km～3.0km付近の被害状況である。延長約250mにわたって天端アスファルトが波打ち、最大約2.5mの沈下が見られた。裏法面には深さ・開口幅とも1.5mを超える大きなクラックがあった。表法面の護岸工が大きくはらみ出し、損傷部から砂がしみ出た跡が見られた。川表側では法尻付近の高水敷で噴砂跡が見られた。一方、川裏側の堤体の顕著な側方移動は、堤体に隣接する水田と堤体との間にある用水路まで達していた。



写真 2 新江合川堤防（右岸2.8～3.0km 付近）の被害



写真 3 モグラの穴



写真 4 小泉大橋（国道45号）左岸側橋台上流側の堤防決壊

2.4 鳴瀬川堤防

鳴瀬川における緊急災害箇所は、下中ノ目上流（左岸 30.0km～30.5km）、下伊場野（右岸 29.7km～30.1km）、下川原（左岸 29.0km～29.1km）、和多田沼（左岸 20.1km～20.3km）、木間塚（右岸 11.9km～12.0km）、砂山（左岸 11.3km～11.5km）、野蒜（右岸 0km～0.4km）の 7 箇所である。

下中ノ目上流地区（30.3km）では、2.1 節で述べた特徴である、堤体の沈下と堤防内の飽和域の存在が液状化による被害を大きくしたことが国土交通省東北地方整備局の調査で明らかとなっている。大崎市鹿島台木間塚付近の鳴瀬川堤防では、鎌巻と二子屋の間の延長約 200m で、天端および川裏と川表の法面にクラックがみられた。特に天端

では、幅約 80cm、深さ約 50cm のクラックが生じ、中央部で約 30cm 沈下しており、左右の堤体が側方へ移動するパターンであった。川表側護岸では、堤体の側方流動で、ブロックが折れており、一部では 30m くらいにわたって上部のコンクリートブロックが先端部のブロックの下にもぐりこむ形になっていた。

木間塚右岸での地盤構成は、堤体直下に 1～2m に N 値 5 以下の粘性土、その下に薄い砂層、また 1～2m の軟弱粘性土層、その下に N 値 10 以下の 3～4m の砂層である。河口付近の野蒜では、津波によって特殊堤が流失した。

2.5 吉田川堤防

吉田川で被害が大きかったのは、左岸の大迫上志田上流（15.2km～15.5km）と大迫上志田下流（14.6km～14.8km）であるが、右岸でも被害があった。

吉田川と鳴瀬川の間は、品井沼遊水地と呼ばれた湿地帯である。元禄 9～11 年に品井沼（しないぬま）の水を排水するため、吉田川サイフォンによって品井沼の水を鶴田川から人工河川の高城川によって松島湾へ流している。吉田川堤防は 1978 年宮城沖地震でも被害を受けている。その特徴は、複数の縦断クラックが発生し、内側の天端部が陥没するもので、円弧滑り状とは異なるものである。この原因として、堤体下部の軟弱地盤層の側方への変形が考えられる（例えば、佐々木⁷⁾）。つまり盛土全体が軟弱化するとの考えとは異なっている。

地震により天端中央部縦断方向にクラックが生じていた。天端にクラックが見られた箇所の川裏側小段付近にはほぼ直線状にモグラ塚と思われる砂山が多数見られた（写真 3）。モグラ穴は直径 6～7cm 程度で、堤体法面の浅い部分に張り巡らされているとみられる。今回の調査では堤体にクラックやすべりなどの変状がみられた箇所の多くで同様のモグラ塚が多数発見されており、堤体に変状が生じた後、穴を修復した際に形成されたと考えられる。

2.6 津谷川左岸堤防（気仙沼市本吉町中島）

写真 4 は津谷川左岸側河口近く（気仙沼市本吉町中島）の小泉大橋（国道 45 号）付近の津波による被害状況である。橋梁の被害詳細については 5.6.1 項で後述する。国道から約 150m 西側に設置されていた携帯電話アンテナ付帯設備の損傷状況、および元の海岸線から約 450m 陸側にある丘鞍部での津波越流状況から、この付近では少なくとも高さ 10m を超える津波が押し寄せたと推定される。

左岸側・右岸側ともに津波により橋台上流側の堤防が決壊していた。左岸側橋台付近の堤防決壊幅は約 16m で、橋橋管などの形跡があり、それが弱部になり決壊した可能性もあるが、橋台上流側のみが決壊した原因は不明である。橋台下流側でも背面侵食があった。さらに下流側の堤防では河口付近を除き顕著な被害はみられなかった。また、この下流側では河口付近の堤防先端で損傷・流出が見られた。

2.7 迫川・新北上川中流域

2.7.1 迫川堤防

旧北上川合流地点から 30km 上流に位置する迫川の堤防（栗原市若柳字大林境前地内）において、右岸・左岸ともに大きな変状が見られた（写真 5）。津波は到達しておらず、地震動による被害である。左岸堤防は、川裏側法面が大きく変形し、両法肩が残り、天端がクラックと共に沈下する、図 2 の崩壊モードとなっていた。右岸も川裏側に変形し、天端および法面にクラックが発生していた。左岸の堤防は、堤内地へのスロープの取り付け部で特に大きな変形が見られており、他の部位と異なる揺れ方をした事変形がトリガーになった可能性がある。右岸はアスファルト舗装されておらず、堤体は足で踏むと容易に変形する程軟弱であり、左岸の変状の見られた箇所も同様に軟弱であった。河川水位は堤体法尻部のレベルと比べて低い、川裏・川表ともに水田があり、基礎地盤部は比較的含水量が多かった事が考えられる。



写真 5 迫川堤防（栗原市若柳字大林境前地内）の被害状況⁸⁾

2.7.2 新北上川中流域

登米市東和町米谷～石巻市馬鞍の堤防において、クラック、樋門などの構造物との接合部での損傷、法尻での噴砂が散見された。登米市東和町米谷では、延長 150m 程度、深さ 10cm 程度、幅 2cm 程度のクラックが天端に見られた。また、樋門と接合した堤体に損傷が見られたが、地震時に構造物が盛土に対して損傷要因となるような外力作用を及ぼしたとみられる破壊形態が観察された。登米市登米町大字日根牛五郎峯前では法肩部に噴砂がわずかに見られ、堤内地に造成中の盛土にクラックなどの変状が見られた。

2.8 北上川下流堤防（宮城県石巻市）

2.8.1 津波による浸水被害

北上川河口付近では、釜谷（右岸 3.8km～4.6km）と月浜（左岸 0.8km～2.8km）で津波による被害を受けた。国土地理院による浸水範囲概況⁹⁾によると、津波は北上川

を 12km 以上遡上している。また遡上した津波は堤防を越流して、あるいは破堤とともに堤内地へ浸水している。浸水範囲は山地境界にほぼ一致している。津波発生時に石巻市河北総合支所職員によって新北上大橋付近で撮影された動画では、大橋付近では北上川に平行して流れる富士川を遡上する流速が大きく、富士沼方向に流れ込み右岸堤防や周辺の民家を飲み込んでいる様子が記録されている。また、動画では水位は新北上大橋の桁まで達し、右岸堤防がほぼ水没している。新北上大橋のトラスの橋桁は右岸寄りの 2 スパンが上流へ流出していた。

2.8.2 堤防の被害

北上川左岸、石巻市北上町愛宕神社付近では川表法面で幅約 20cm のクラックと 25cm の段差が延長 10m 程度にわたって発生していた。また、川裏のごみの散乱状況は国土地理院による浸水状況とも一致している。さらに下り、馬鞍を過ぎると堤防道路面の変状が大きく、路面のアスファルトが流失した部分が多い。沈下と左右への移動が大きく、愛宕神社前の堤防では、天端のクラックは最大で幅約 30cm、段差約 80cm もあった。また、津波の越流による堤防法面の侵食が見られた。愛宕神社の鳥居にみられた浸水の痕跡から、水位は地面から 2.5m 近くまで達していた。

北上川右岸 4.0km に位置する新北上大橋の上流では、津波越流により右岸堤防が延長 1,100m にわたって決壊した。月浜第一水門での推定津波高は 8.0m であり、津波は上流 11km 付近まで遡上したと考えられる。新北上大橋の下流側は北上川と富士川の間で堤防が決壊し、天端のアスファルトは流出し、法面および砂礫の堤体は侵食された。

2.9 まとめ

今回の地震による堤防の被害の主な原因は、2.1 節にも述べたように、堤防基礎地盤の液状化のほか、堤防下の厚い粘土地盤の圧密による堤体の沈下、種々の理由による堤防内の飽和領域や津波による越流と侵食と考えられる。さらに、基礎地盤の軟弱な粘土層の存在と長い地震動の継続時間にも注意する必要がある。

また、復興への留意点として、堤防の被害と地震動の特性を考慮すると、以下の 4 つに留意すべきである。

- ・堤防の基礎地盤の強度を高めるため地盤改良を行う。
- ・また、堤防を高規格のものにする。
- ・堤体内の地下水位を低下させ、水分量を減少させるためドレーンを考慮する。
- ・津波に強い堤防の構築が望まれる。
- ・基礎地盤での軟弱粘土層の影響について検討を行う。

3. 海岸堤防および砂浜の被害

3.1 被害の概要

宮城県の海岸線総延長は約 828km で長大であり、リアス式海岸特有の複雑な海岸線をなす北部の三陸沿岸（岩

手県域も含む。宮城県域の延長は約 428km) と、緩やかな曲線の海岸線で砂浜が広く分布する南部の仙台湾沿岸(福島県域も含む。宮城県域の延長は約 400km) に二分される。宮城県では平成 16 年度に「三陸南沿岸海岸保全基本計画」および「仙台湾沿岸海岸保全基本計画」を策定し、想定宮城県沖地震で高さ 10m を越える大津波も想定されることを踏まえた津波対策のほか、侵食対策および高潮対策も進めていた。宮城県北部の三陸南沿岸では、入り江の奥や河川河口周辺に形成された比較的狭い平地に漁村や市街地が形成されており、こうした沿岸集落には、一般的な海岸堤防のほか、津波防波堤(防浪堤)が設けられている箇所もある。

国土交通省のまとめによれば、岩手・宮城・福島の 3 県の海岸堤防の延長約 300km のうち、約 190km で全壊・半壊の被害があった。宮城県の海岸堤防・護岸の延長は約 160km で、このうち 100km 以上、63 地区海岸(宮城県所管分、2011 年 9 月 21 日現在)が被災した¹⁰⁾。このうち石巻長浜海岸など 28 箇所が応急工事箇所指定され、これらの箇所の応急工事は 9 月 21 日の時点で完了している¹¹⁾。

海岸堤防により津波遡上に対して一定の低減効果を発揮したことが確認されているが¹²⁾¹³⁾、堤防・護岸が決壊・損傷ないしは津波が越流した箇所では、沿岸域で甚大な人的被害および構造物等の物的被害が発生した。柿沼ら¹⁴⁾の調査によれば、宮城県北部の三陸南沿岸における津波浸水高は、場所によって差はあるものの、全体的に県南部の仙台湾沿岸と比べて明らかに高かったことが確認されており、海岸堤防に作用する津波外力も大きかったと思われる。

宮城県北部における海岸堤防および砂浜の主な被災箇所一覧を図 3 に示す。以下の節では、このうち、御伊勢浜(気仙沼市波路上杉ノ下)および小泉赤崎海岸(気仙沼市本吉町中島)における二つの被災事例を紹介する。これら二つの被災箇所(写真 6, 7, 8)の位置は図 3 中に示した。



図 3 宮城県北部における海岸堤防および砂浜の主な被災箇所一覧(文献^{15) 16)}に基づき作成)および本章掲載写真の位置図(Google Map に加筆)

3.2 杉ノ下海岸・御伊勢浜(気仙沼市波路上杉ノ下)

写真 6 は杉ノ下海岸・御伊勢浜(気仙沼市波路上杉ノ下)における津波による被害状況である。御伊勢浜海水浴場の砂浜は流出し、ほとんどの海岸堤防が転倒・流出していたが、一部が岸から数十 m 先の海水面に確認された。付近の水路と水門施設は倒壊していた。破損した水路の一部と思われるコンクリート塊が岸から約 80m 先に確認された。これらの位置関係から、海岸線の後退量は少なくとも 80m 以上に及ぶと推定される。

また、5.2.4 項で後述するが、この海岸の南側(気仙沼市本吉町沖ノ田)では道路盛土・鉄道盛土と鉄道橋梁上部工の流出が見られた。



写真 6 杉ノ下海岸・御伊勢浜の海岸堤防の損傷と砂浜の流出

3.3 中島海岸(小泉赤崎海岸, 気仙沼市本吉町中島)

写真 7, 写真 8 は津波谷川河口・小泉大橋に隣接した中島海岸(小泉赤崎海岸, 気仙沼市本吉町中島)の津波被害状況である。小泉海水浴場の砂浜・海岸堤防・防砂林は津波によってほぼ全て流出していた。写真 7 に示すように、砂浜流出により建物基礎が露出していた。地形図判読では海岸線後退は約 150m とみられ、写真 8 のように底部の古い粘土質地盤が露出し、栈橋状の古い木杭が現れていた。

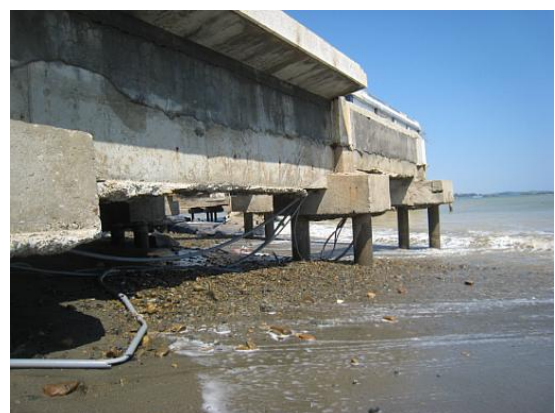


写真 7 中島海岸(小泉赤崎海岸)の砂浜流出による建物基礎の露出



写真 8 中島海岸（小泉赤崎海岸）の砂浜流出と古い粘土質地盤の露出

3.4 まとめ

海岸堤防の被害では、堤体の変位・傾斜・損傷のほか、津波越流による裏法護岸の損傷や堤防背面土砂の洗掘もみられ、これにより堤体の転倒や流出に至ったケースも多い。津波外力が大きな箇所では、堤体そのものの流出のほか、堤防前面の消波工の流出や砂浜の侵食、背面の防砂林の流出により、海岸線が数十～百数十 m 程度後退した箇所もみられた。地震動や津波外力が海岸構造物のマウンド・基礎地盤の沈下や支持力にどの程度の影響を及ぼしたかについては、今後詳細な分析が必要である。また、地盤工学分野で近年研究が進んでいる地盤－構造物の連成挙動に加えて、今後は地盤および構造物それぞれに対する流体力の作用も考慮した検討が求められるであろう。

4. 港湾施設の被害

4.1 被害の概要

調査を行った港湾施設（主に係船岸）の位置を図 4 に、被害形態を表 1 に示す。港湾施設の被害は、主に津波（掃流力、波力等）による施設損壊や地盤沈下による機能不全が多い。全調査地点において津波被害が甚大であり、地震動による被害の詳細は不明である。



図 4 港湾施設の調査位置（Google Map に加筆）

表 1 現地調査箇所の被害一覧

港湾名	岸壁形式	被害状況	施設機能
気仙沼港	栈橋式	法線のずれ、渡版の流出	機能は維持
石巻港（中島埠頭）	矢板式	エプロンの陥没、法線のずれ、液状化	東向き岸壁は機能維持、南向きは不全
石巻漁港（東防波堤周辺）	矢板式	岸壁の流失、地盤沈下	機能不全
女川漁港（石浜物揚場）	コンクリート方塊式	護岸の欠損、崩壊	機能不全

4.2 主な岸壁形式と被害の特徴

岸壁の形式は多様であるが、主に (1) 重力式係船岸、(2) 矢板式係船岸、(3) 栈橋式に区分される。今回調査を行った岸壁もいずれかの形式となっており、各構造形式の主な被災パターンをそれぞれ以下の各項に図 5、図 6、図 7 として記載した。これらの被災は、津波や地震力による複合的なものであるが、これまでの調査¹⁷⁾によれば、地域によって概ね図 8 のように大別されている。これらより、今回調査を行った宮城県北部地域は津波だけでなく地震力による被害も大きかったものと推察される。

4.2.1 重力式の被災パターン（図 5）

- ① 地震による水平力や基礎の洗掘 → 傾斜，破壊
- ② 液状化による土圧増大 → 構造物の傾斜，滑動
- ③ 構造物の傾斜や土砂流出，液状化による土砂噴出 → エプロン部の沈下，陥没

4.2.2 矢板式の被災パターン（図 6）

- ① 矢板根入れ部の洗掘や地震力による矢板前傾
- ② 液状化による控え杭の支持力低下と土圧増大 → タイ材の緩み，矢板の前傾やたわみ
- ③ 矢板の変状による背面土砂の流出，地盤液状化 → エプロン部の沈下，陥没

4.2.3 栈橋式の被災パターン（図 7）

- ① 地震力，地盤の洗掘 → エプロンの変状や開口
- ② 津波の揚圧力 → 渡版の流出

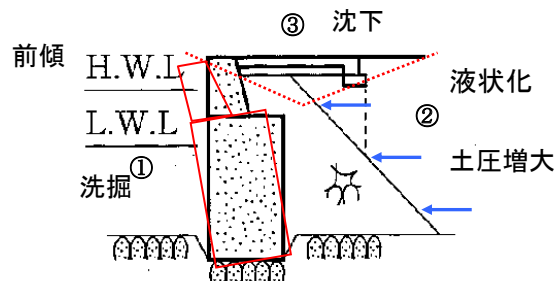


図 5 重力式の被災パターン

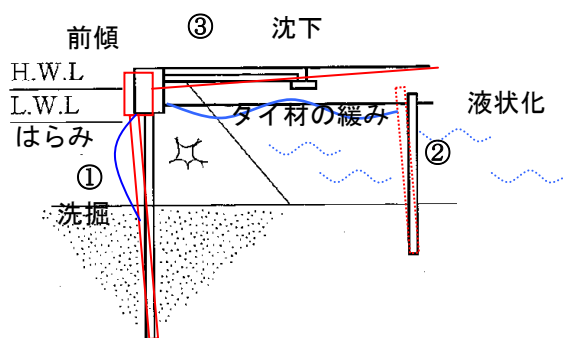


図 6 矢板式の被災パターン

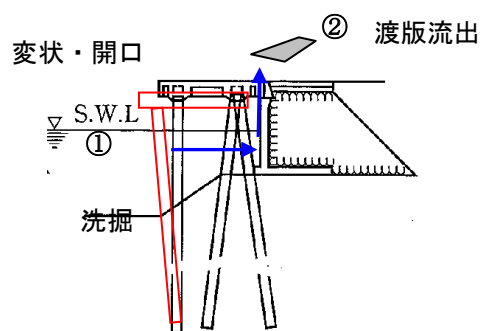


図 7 棧橋式の被災パターン



図 8 港湾施設の主な被災要因（Google Map に加筆）

4.3 気仙沼漁港（棧橋式岸壁の例）

気仙沼漁港は東北屈指の水揚げ高を誇る特定第3種漁港である。湾奥部には棧橋式岸壁があり、被災形態は床版間の開きや法線のずれ、渡版の流出である。渡版はほとんどが津波により流出していた（写真9、図9）。しかしながら、法線のずれは僅かなため係留施設としての機能は維持していた。



写真 9 気仙沼港の棧橋式岸壁の被災状況（渡版の流出）



図 9 気仙沼港の棧橋式岸壁の被災状況（渡版の流出）（写真 9）の位置図（国土電子ポータルに加筆）

4.4 石巻港・石巻漁港

4.4.1 石巻港（矢板式岸壁の例）

石巻港は工業港であり重要港湾に指定されている。今回は、矢板式控え工岸壁の中島埠頭3号岸壁周辺の調査を行った。東向きのエプロンは一部沈下していたが、被災程度は軽微であり早急に供用された。

しかし、埠頭南端部は東西約60mにわたりエプロンが陥没し（写真10、図10）、機能不全となっていた。この中島埠頭は、1978年宮城沖地震においてもエプロン上で噴砂が確認された¹⁸⁾ことから、今回も液状化による岸壁の変状、その後の津波による洗掘被害の可能性が考えられる。



写真 10 石巻港中島埠頭岸壁南端部の陥没



図 10 石巻港中島埠頭岸壁南端部の陥没(写真 10)の位置図(国土電子ポータルに加筆)



図 12 石巻漁港東端部の海水流入(写真 11)の位置図(国土電子ポータルに加筆)

4.4.2 石巻漁港

石巻漁港は特定第3種漁港であり、水揚げ量・水揚げ高ともに日本有数の大漁港である。今回の調査地点は、その東端部に位置する東防波堤周辺である。当地点は1978年当時の資料¹⁸⁾によると、護岸が整備されていないことから、後背地は比較的新しい埋立土と推察される(図 11(a))。また同図(b)に示す地盤図より、液状化層も分布することがわかる。したがって、液状化を伴う岸壁の被災の可能性が高い。また、周辺は地盤沈下が著しく、岸壁の欠損箇所から満潮に伴い海水が流入していた(写真 11, 図 12)。

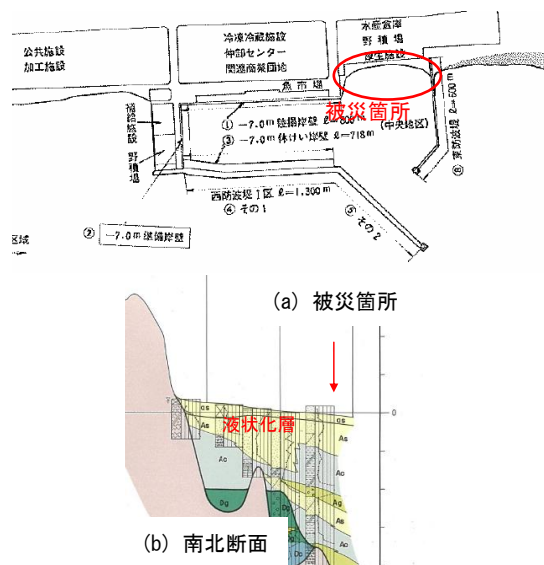


図 11 1978年当時の石巻漁港¹⁸⁾と地盤図



写真 11 石巻漁港東端部の海水流入の状況

4.5 女川漁港(重力式岸壁の例)

女川港は三方を山に囲まれ、南方に牡鹿半島を有する天然の良港(第3種漁港)である。1978年宮城県沖地震では無被災であった¹⁸⁾。今回調査したのは、石浜地区の物揚場のコンクリート方塊式護岸であるが、地震動あるいは津波の波力により護岸の一部が欠損し、舗装コンクリート下部も流出した(写真 12, 図 13)。また、衛星写真から湾口に設置されていた北および南防波堤が、津波により転倒、消滅していることが確認された。しかしながら、石浜埠頭の一部では暫定的ではあるが早急に供用が開始された。

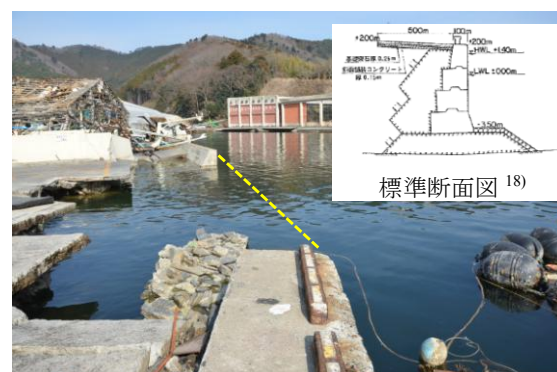


写真 12 女川漁港石浜物揚場の護岸欠損部の状況



図 13 女川漁港石浜物揚場の護岸欠損(写真 12)の位置図(国土電子ポータルに加筆)

4.6 まとめ

今回調査を行った宮城県北部地域の係船岸は、津波によって甚大な被害を受けたものの、一方では法線の乱れが軽微で、被災後早急な供用が出来た箇所も多かった。これは、前述のように地盤が比較的良好な箇所が多かったこと、防潮堤のように突出した箇所が少なく、津波流体力による耐性が強かったこと等が考えられる。今回の調査で相対的に被災リスクの大きい箇所は以下のとおりであった。

- ・構造形式の変化点や隅角部等
- ・パラペット構造等の突出部
- ・津波到達前に岸壁変状が発生する可能性の高い、液状化層分布箇所
- ・基礎前面が深掘れする可能性の高い箇所

また、本調査で得られた知見をもとに、現在も鋭意取り組まれている復旧、及びこれからの復興に際する留意点を以下に挙げておく。

- ・津波による甚大な被害のメカニズムを検証するだけでなく、耐震強化岸壁等の無被害箇所の効果を検証し、より効果的に耐抗性を向上させる。とくに、地盤の液状化や基礎前面の洗掘、津波の衝撃力、引き波に対する耐力が重要である。
- ・津波規模に応じレベルを分けた対策（巨大津波に対してはある程度の越波を許容）を行う他、人命を守るための港湾施設整備を図る。
- ・復旧に際しては、津波や地震規模の見直しに応じて原形復旧だけではなく『強化』が必要である。
- ・復旧後においては、施設健全度の継続的監視と施設の長寿命化を図る他、今後増大する現存施設の老朽化対策を目的とし、簡易で効果的な点検手法の確立、実施が望まれる（とくに水中心点検や地盤の空洞化等）。

5. 道路・鉄道の盛土・切土法面・橋梁の被害

5.1 被害の概要

道路の被害箇所は、国道では直轄で 38 区間、都道府県管理で 45 区間、都道府県道等では 270 区間であった¹⁹⁾²⁰⁾。宮城県内では、県道、市町村道合わせて 907 箇所に被害が認められた²¹⁾。また、首都高速道路を除く高速道路会社等が管理する道路では 20 路線で被災し、各路線の被災総延長は表 2 に示すとおりである²²⁾。一方、鉄道については、11 事業者 36 路線にて全線あるいは一部区間が運転休止になった²³⁾。

沿岸部を通る道路や鉄道の被害は、津波によると考えられるものが多かった。表 3 は、津波を受けた在来線 7 線区の被害形態と箇所数をまとめたものである²⁴⁾。盛土では法面の洗掘や流出、盛土自体の流失等が見られた。法面保護工が施されていたにもかかわらず被災したケースもあった。道路盛土でも同様の被害形態を呈したが、高規格盛土では津波運搬物の堆積はあったものの構造的な被害は皆無であった。鉄道及び道路橋では桁や橋脚の移動や流

失が見られた。また、軌道および路盤では軌道の移動や流失が見られ、路盤の洗掘や流失も見られた。道路舗装では、表基層のみが流失あるいは表層から路床上部までが洗掘し流失している場合もあった。

一方、津波の影響を全く受けなかった地域の道路や鉄道の被害については、過去の地震で生じた被害と同じような形態が確認されている。例えば、津波の影響の無かった在来線 36 線区の被害の形態では、軌道変位が約 2,200 箇所²⁵⁾で最も多く、続いて電化柱の折損・傾斜・ひび割れが約 1,150 箇所、道床碎石の流出約 220 箇所と続き、その他の形態も合わせて計約 4,400 箇所²⁵⁾で被害を受けた²⁵⁾。また、東北新幹線では電化柱の折損・傾斜・ひび割れが約 540 箇所と最も多く、次いで架線の断線が約 470 箇所と続き、その他形態も合わせて計約 1,200 箇所²⁶⁾で被害を受けた²⁶⁾。道路の被害形態も、過去の地震被害で見られた路面クラック、路面段差、路面陥没、ジョイント部段差、盛土変状、法面崩壊、自然斜面崩壊等が生じた。

5.2 節と 5.3 節では、津波によると考えられる特徴的な盛土・斜面の被害例を概述する。5.4 節と 5.5 節では、地震動による盛土・斜面の被害例を紹介し、5.6 節では道路橋の被害例を示す。本章で紹介する被災箇所（後掲の写真 13～写真 27）の位置図を図 14 に示す。

表 2 首都高速道路を除く各高速道路の被災総延長²²⁾

路線名	延長km	路線名	延長km
東北自動車道	347.1	東京外環自動車道	0.9
釜石自動車道	7.7	北関東自動車道	45.8
山形自動車道	28.1	仙台北部道路	11.8
東北中央自動車道	6.6	仙台東部道路	18.5
磐越自動車道	85.5	三陸自動車道	4
関越自動車道	11.8	東水戸道路	10.2
上信越自動車道	15	京葉道路	6.4
常磐自動車道	166.4	東京湾アクアライン	15.1
館山自動車道	7.5	富津館山道路	4.1
東関東自動車道	63.1	圏央道	14.2
		計20路線	869.8

表 3 津波による在来線の被害形態²⁴⁾

被害の形態	箇所	被害の形態	箇所
津波による駅舎流失	23駅	信号・通信設備の故障	約80区間
津波による線路流失・埋没	66(延長約60km)	橋りょう・高架橋の損傷	約30
津波による橋げた流失・埋没	101	駅舎の損傷	25駅
軌道変位	約210	変電設備の故障	4
電化柱の折損・傾斜・ひび割れ	約950	乗換こ線橋等停車場設備の損傷	約15
道床碎石流出	約80	落石	1
乗降場変状	約40	架線の断線	約10
盛土・切取等土工設備の変状	約50		
		合計	約1680

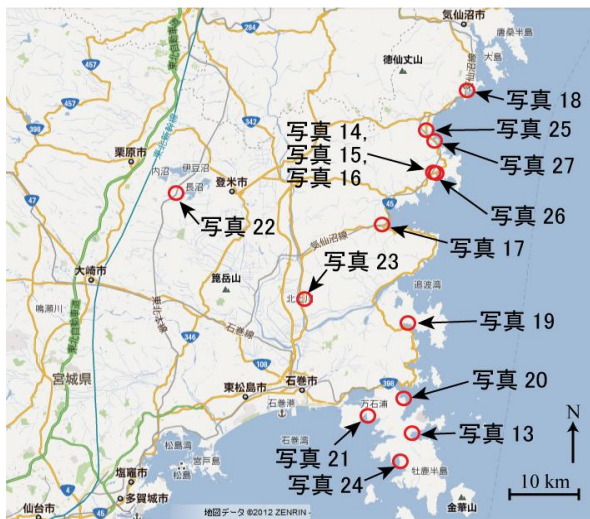


図 14 第5章で紹介する道路・鉄道の盛土・切土斜面・橋梁の被災箇所（写真13～写真27）の位置図（Google Map に加筆）

5.2 津波による盛土の被害

5.2.1 県道 41 号，石巻市鮫浦

写真 13 は県道 41 号女川牡鹿線（石巻市鮫浦）の道路盛土の被災状況である。その位置図を図 15 に示す。津波による他の道路盛土被災箇所でも、盛土法面および保護路肩が流出し、鉛直に路体が残存しているケースが多く確認された。低地中央部などでは、路体全体が流出し、道路が消失するケースも確認された。



写真 13 道路盛土の津波被害（県道41号，石巻市鮫浦）



図 15 道路盛土の津波被害（写真 13）の位置図（国土地理院数値地図25000（地図画像） 萩浜より作成）

5.2.2 JR 気仙沼線歌津駅周辺

図 16 は JR 気仙沼線歌津駅周辺の地形である。南西側トンネル抗口から出た JR 気仙沼線は歌津駅を経て北東側トンネル抗口へと入っていく。南西側トンネル抗口から歌津駅の西側約半分は盛土構造となっており、その途中でカルバートボックスにより盛土北西側と南東側にある集落の連絡路が設けられている。盛土の南東および北西側の法面には雑石張り工が施工されていた。歌津駅周辺の推定震度は 6 弱である。津波は、南東方向から襲来し国道 45 号歌津バイパスを越え西北西方向に浸入し上記の盛土を越流すると共に伊里前川を遡上した。

写真 14 は歌津駅の盛土の北西側法面の様子である。南東方向から来た津波の越流により、軌道が大きく北西方向へ流されており、盛土法肩から法面ではかなりの洗掘・流出が見られる。法面保護として施されていた雑石張り工も流失している。写真 15 はプラットホーム西端から南西側トンネル抗口方向に見た盛土の北西側法面である。法面の洗掘・流出により軌道が流失し、集落の連絡路であるカルバートボックス出入り口周辺が洗掘によりむき出しになっている様子が分かる。

一方、盛土の南東側法面の様子を写真 16 に示す。前述のように法面には雑石による張り工がなされており、歌津駅下の盛土法面には変状は見られず、同様にそれより南西側の法面（写真 16 (b)：写真 15 の反対側）でも変状は認められず津波運搬物が堆積しているにすぎない。したがって、盛土法面の雑石張り工は、津波の越流にはほとんど効果がなく押し流されてしまったが、正面からの津波の流体力には十分な保護効果があったと言える。ところで、この被害形態を模式的に描くと図 17 のようになる。この被害形態は平成 21 年の台風 9 号による地盤災害調査でも確認されているものであり、越流水により発生した堤体の被害形態のひとつである²⁷⁾。さらに、紙数の制約で紹介はできないが、台風 9 号による被害として認められている図 18 や図 19 に示すような形態も、宮城県北部や岩手県南部でも確認されていることを付記しておく。

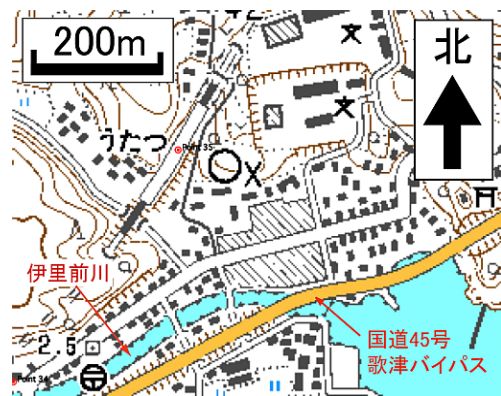


図 16 JR 気仙沼線歌津駅周辺の地形（国土地理院数値地図25000（地図画像） 伊里前より作成）



写真 14 盛土の北西側法面の洗掘と軌道の移動（歌津駅）



写真 15 盛土の北西側法面の洗掘・流出と軌道の流失（歌津駅南西側）



(a) 歌津駅下



(b) カルバート出入口（右下）から南西側トンネル抗口方向（左上）

写真 16 盛土の南東側法面の様子（歌津駅）

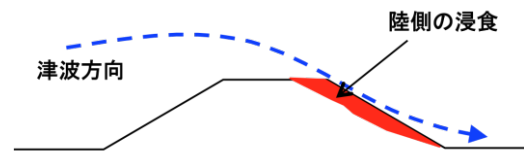


図 17 盛土・斜面の被災形態1（津波の越流水による盛土裏（陸側）法面が侵食、流出）

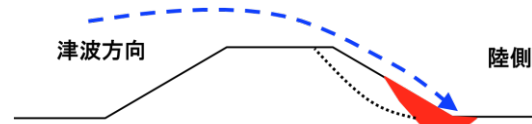


図 18 盛土・斜面の被災形態2（津波の越流水による盛土裏法尻部が洗掘に伴う法崩壊）

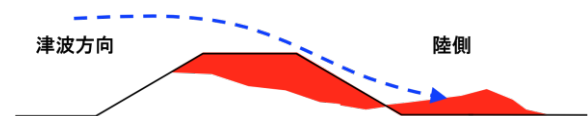


図 19 盛土・斜面の被災形態3（津波通過時の流体力による盛土の洗掘、押し流し）



図 20 陸前戸倉駅周辺の地形（国土地理院数値地図25000（地図画像）折立より作成）

5.2.3 JR 気仙沼線陸前戸倉駅

図 20 は、JR 気仙沼線陸前戸倉駅周辺の地形である。JR 気仙沼線は沢部を東西方向に走っており、折立川左岸側を通る国道 45 号線の北側に位置する。国道 45 号と 398 号の分岐あたりで折立トンネルへ入っていく。この区間は盛土構造である。また、陸前戸倉駅から東方向に約 700m のところに志津川湾が広がっている。この付近の推定震度は 6 弱である。

写真 17 に、陸前戸倉駅の跡地から東方向の盛土の様子を示す。津波は、東側から襲来し沢部を西方向へ浸入しているが、津波運搬物がトンネル抗口の上さらにそこより高い木々にも残っていることから、かなり高い位置まで斜面を駆け上がったと推察できる。山側の重力式擁壁が時計方向に転倒し、軌道は完全に流失し盛土も洗掘・流出してい

ることが分かる。この擁壁の転倒は、引き波力と引き波時の背面斜面の土砂崩れによって生じたのではないかと考えられる。また、盛土の南側法面には岩座張り工が施されていたようであるが、法尻付近にしか残っておらず、引き波時に流出したと考えられる（図 21、図 22 参照）。



写真 17 陸前戸倉駅から東方方向の様子

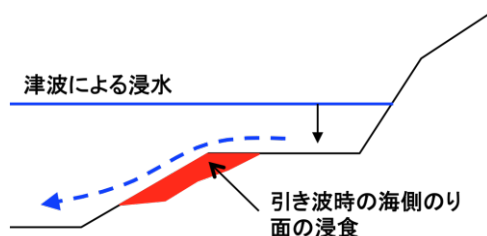


図 21 盛土・斜面の被災形態4（津波の引き波による法面侵食、流出）

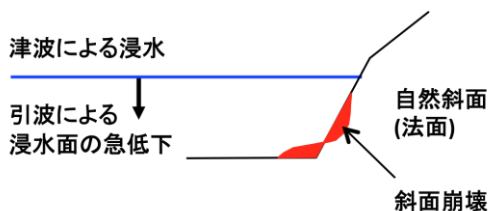


図 22 盛土・斜面の被災形態5（浸水面の急低下による斜面崩壊）

5.2.4 気仙沼線、気仙沼市本吉町沖ノ田

写真 18 は気仙沼市本吉町沖ノ田における鉄道橋梁・盛土の被害状況を示したものである。その位置図を図 23 に示す。沖ノ田川横断部付近で気仙沼線（大谷海岸～陸前階上間）は国道 45 号と併走している。この区間は低地（多くは水田）であり、鉄道盛土・道路盛土とも津波により流出していた。調査時点で国道は応急復旧盛土により車両通行可能となっていたが、鉄道橋梁はアバットと橋脚を残して上部工と前後盛土が流出したままであった。



写真 18 国道45号の道路盛土、および気仙沼線沖ノ田川橋梁とその前後の鉄道盛土の津波による被害



図 23 国道45号の道路盛土、および気仙沼線沖ノ田川橋梁とその前後の鉄道盛土の津波被害（写真 18）の位置図（国土地理院数値地図25000（地図画像）津谷より作成）



写真 19 県道238号沿いの斜面崩壊（石巻市雄勝町雄勝）

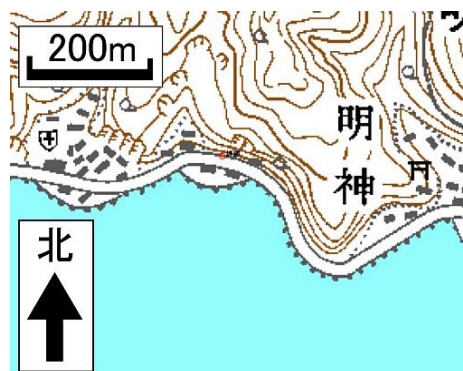


図 24 石巻市雄勝町雄勝の斜面崩壊箇所の地形（国土地理院数値地図25000（地図画像）雄勝より作成）

5.3 津波による斜面の被害

写真 19 に示す石巻市雄勝町雄勝の雄勝湾に面して走っている県道 238 号沿いの斜面崩壊の例である。周辺地形は図 24 のとおりである。落石防護フェンス付きもたれ式擁壁により落石対策が施されている区間である。地山は古生代二畳紀の登米層粘板岩からなり風化が進んだ状態である。

津波は南側から襲来して、梢に残っている津波運搬物の位置から擁壁高の倍以上の高さまで山肌を遡上したと推測できる。引き波時の海水面の急低下により斜面崩壊が生じ、崩壊土砂が擁壁下部を手前に押し出した形で擁壁が崩壊したと考えられる（図 22 参照）。こうした海水面の急低下により崩壊したのではないかと推察される事例は他の箇所でも見られる。



写真 20 谷埋め道路盛土変状（県道41号、女川町高白浜）



図 25 谷埋め道路盛土変状（写真 20）の位置図（国土地理院数値地図25000（地図画像）女川より作成）



写真 21 道路盛土部での被害（県道2号石巻鮎川線）

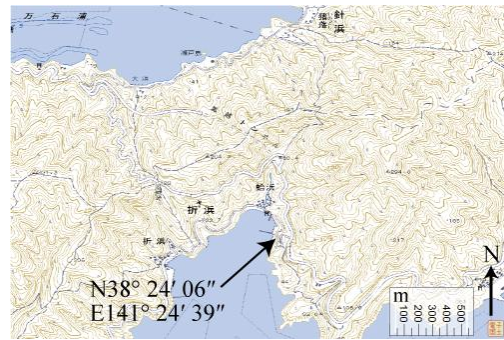


図 26 道路盛土部での被害（写真 21）の位置図（国土地理院数値地図25000（地図画像）浜浜より作成）

5.4 地震動による盛土の被害

5.4.1 県道 41 号、女川町高白浜

写真 20 は県道 41 号女川牡鹿線（女川町高白浜）の谷埋め盛土の変状である。その位置図を図 25 に示す。クラックが開口し、1m 以上の深さを示していたことから、地震動により盛土体にすべり破壊が生じたとみられる。山岳道路の谷部の道路盛土においては、この写真と同様の変状が他の箇所でも複数確認された。

5.4.2 牡鹿半島西部

写真 21 は、地震動によって片切片盛の道路盛土部が数 cm～数十 cm 程度沈下、ガードレール傾倒、舗装面でのクラック発生などの地盤変状が見られた被害状況である。その位置図を図 26 に示す。このような道路盛土部における変状被害は、牡鹿半島西部を走る県道 2 号石巻鮎川線沿いの多数の場所で見られた。

5.4.3 東北本線、梅ヶ沢～新田間、新田～石越間

鉄道盛土では、東北本線の梅ヶ沢～新田間および新田～石越間で甚大な被害が生じた。この付近の推定震度は 6 強である。

図 27 は、梅ヶ沢～新田間の被害箇所周辺の地形図である。当該箇所は、水田からなる軟弱地盤上の高さ約 8m の盛土区間である。この区間は当初単線であったが、上り線側線を腹付け盛土で増設することにより 1958 年 9 月に複線開通したとのことである²⁸⁾。写真 22 は被害の状況である²⁵⁾。変状が生じたのは旧線側の方で、盛土崩壊が生じて天端が延長約 150m にわたって約 1.5m 沈下した。

ところで、同区間では、1962 年 4 月 30 日に発生した宮城県北部地震でも旧線（下り線）側の盛土で崩壊が発生したことが報告されている²⁸⁾。旧線側盛土材料は粘着性の乏しい砂（砂分 81～85%、シルト分 11～8%、粘土分 8～7%）であり、新線（上り線）側は路盤面下方 1.7m に旧線の路盤があり、かつその外側に旧線に沿って道路が存在していたことから、基礎支持力の違いにより旧線が崩壊したと考えられている²⁸⁾。今回の盛土崩壊も同様のメカニズムにより斜面崩壊が発生したと考えられる。

ここでは図は示さないが、新田～石越間も軟弱地盤上の

盛土区間での被害であり、梅ヶ沢～新田間と同じように、旧線（上り線）盛土に新線（下り線）増設のために腹付け盛土をした構造である。ここでも旧線側盛土が崩壊した。新線盛土の築造時に地盤改良のための簡易サンドドレーンを実施していた可能性があり²⁸⁾、この軟弱地盤対策の効果があったと考えられる。



図 27 東北本線の梅ヶ沢～新田間の被害箇所周辺の地形（国土地理院数値地図25000（地図画像）築館より作成）



写真 22 盛土の崩壊（東北本線の梅ヶ沢～新田間：旧線が右側線、新線が左側線）



写真 23 自然斜面崩壊（国道45号，石巻市合戦田谷）

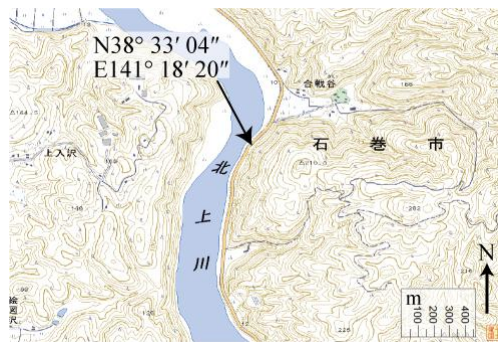


図 28 自然斜面崩壊（写真 23）の位置図（国土地理院数値地図25000（地図画像）飯野川より作成）



写真 24 道路切土斜面崩壊（県道2号，石巻鮎川線）

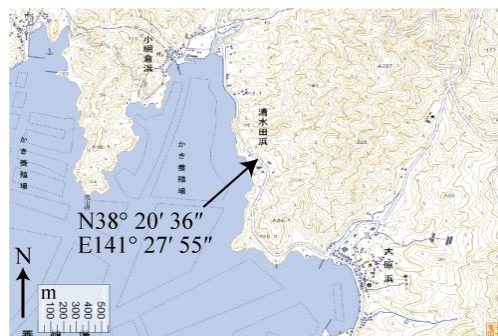


図 29 道路切土斜面崩壊（写真 24）の位置図（国土地理院数値地図25000（地図画像）荻浜より作成）

5.5 地震動による斜面の被害

5.5.1 国道 45 号，石巻市合戦谷

写真 23 は国道 45 号の切土斜面上部の自然斜面が地震動によって表層崩壊した状況である。その位置図を図 28 に示す。斜面崩壊地周辺の地形は、凸形斜面で斜面傾斜角が 40 度と急傾斜である。宮城県北部域で発生した斜面崩壊の中では大規模なものである。基盤地質は、中生代の稲井層群伊里前層葉理砂質粘板岩及び粘板岩であると推定され、硬岩地域での地震による崩壊の特徴的なパターンである。

5.5.2 県道 2 号，牡鹿半島西部

写真 24 は牡鹿半島西部の切土斜面の崩壊状況である。その位置図を図 29 に示す。このように表面工が施工され

ていない切土面表層部分が崩落する例がいくつか認められたが、表面工等の対策工が施工されている斜面では、ほとんどの箇所が無被害あるいは軽微であった。牡鹿半島西部の海岸沿いでは自然斜面の表層崩壊がいくつか確認された。ただ、震源に近く振動による影響を強く受けたと考えられるが、崩壊の数は兵庫県南部地震による崩壊と比較して限定的である印象を受けた。切土斜面・自然斜面の崩壊も国道 45 号での崩壊と同様に、硬岩地域での地震による崩壊の特徴的なパターンである。

5.6 道路橋の被害

5.6.1 小泉大橋（国道 45 号，津谷川）

写真 25 は津谷川の小泉大橋（国道 45 号，気仙沼市本吉町中島）の被害状況である。津波により全ての橋桁と橋脚 1 基が流出し、橋桁の一部は津谷川の約 340m 上流まで流されていた。また、両岸の取付け部の道路も流失していた。2.6 節で述べたとおり、左岸・右岸とも橋台上流側の堤防が決壊していた。橋脚周辺が洗掘された痕跡がみられた。右岸側には JR 気仙沼線の高架橋があるが、小泉大橋より約 1 km 上流側にあった鉄道橋の上部工も流出していた。また、小泉大橋より右岸下流側にあった陸前小泉駅では鉄道盛土や駅舎が流出していた。

5.6.2 歌津大橋・二十一浜橋

南三陸町歌津の伊里前川にかかる歌津大橋では、全 12 径間のうち 8 径間の上部工が津波によって流出した（写真 26）。なお、一部コンクリートの剥離などが見られたが、橋脚は津波による水圧の受圧面が小さく被害は限定的であった。なお、沿岸部の護岸は裏込めの土と共にほとんど流出していた。

気仙沼市本吉町の二十一川にかかる二十一浜橋では、基礎周辺部が洗掘され杭頭部が露出していた。また、取付け部の盛土も津波によって流出し、歩道部を支持していた鋼管がむき出しになっていた（写真 27）。

5.7 まとめ

今回の東北地方太平洋沖大地震により、宮城県北部における道路・鉄道の盛土・斜面・橋梁には甚大なる被害が発生した。全体的に見ると、地震動による被害は過去の震災で見られた形態が多かった。例えば、盛土では沈下・変状・滑り、斜面では崩壊・落石など、橋梁では取付け部の沈下による段差・橋脚の変状・支承の損傷などである。

一方、今回の地震には大津波を伴ったことから、これまでの震災では認められなかったような津波による特徴的な被害が見られた。津波の越流水や津波流体力による盛土の流失・侵食・洗掘崩壊、斜面の侵食・崩壊・石積損壊といった被害が見られ、5つの被害形態を特定することができた。また、橋梁でも津波により上部工流出・橋脚損壊・取付け部の土砂流出などが見られた。

さて、今後の復旧を考えると、まずは、これまで全く考慮してこなかった津波の影響をどのような形でこれら構造物の設計に取り入れるのか（取り入れる必要がない場合も合わせて）を検討する必要がある。また、地震動による損傷の程度がその後の津波による被害にどの程度影響したのか、未解明な点は少なくない。一方、仙台東部道路のように高速道路の高盛土が津波によるがれきの内陸部市街地への浸入を防いだ例、内陸部に位置した三陸縦貫自動車道の高架部のように住民の避難場所として機能した例もあることから、新たに高盛土や高架部を配置する場合には都市計画と一体で検討する必要もあろう。

6. 液状化や地盤沈降の被害

6.1 被害の概要

被災地では噴砂跡が頻繁にみられ、その周辺では変状が確認されたことから、液状化被害は広範囲で生じたとみられる。一方、津波被害を被った地域では液状化の痕跡が流出したため、液状化被害は判然としなかった。本章では、江合川・旧北上川合流点付近（石巻市河南町北和淵、西八反崎）と県道 29 号沿い（遠田郡涌谷町猪岡短台）の二つの被害事例を紹介する。

また、地震により沿岸部において地盤沈降が生じた。国土地理院の発表では、被災地の沈降量は数十 cm～1m としている。地盤沈降が生じた地域では、潮位上昇時に広範囲で浸水被害が生じている。本章では、鮎川漁港と旧北上川河口部の二つの被害事例を紹介する。

本章で紹介する被災箇所（後掲の写真 28～写真 31）の位置図を図 30 に示す。

6.2 液状化の噴砂跡とマンホール隆起

写真 28 は江合川・旧北上川合流点付近の堤内地の畑地（石巻市北和淵）に見られた液状化による噴砂跡とクラックである。その位置図を図 31 に示す。ここは南側の和淵山と北側の江合川堤防に挟まれた宅地と畑地であり、開口幅 20～30cm、長さ数 m のクラックが江合川とほぼ平行な方向（東西方向）に多数見られ、液状化に伴う噴砂跡も広範囲にあったが、住宅に損傷が及ぶほどの顕著な沈下は確認されなかった。なお、この地域では 1978 年宮城県沖地震でも液状化の発生が確認されている²⁹⁾。

写真 29 は遠田郡涌谷町の県道 29 号沿いでみられた液状化によるマンホールの隆起と歩道の変状である。その位置図を図 32 に示す。アスファルト下には空隙が生じ、局所的な沈下が地下埋設管に沿って生じていることを確認した。歩道は波打ち、開口したクラックが約 50m にわたり連続していた。



写真 25 小泉大橋の橋桁・橋脚の流出と橋脚周辺の洗掘（点線は流失前の橋脚位置）



写真 28 堤内地の液状化による噴砂とクラック（石巻市河南町北和淵、西八反崎）



写真 26 歌津大橋の津波による流出³⁰⁾

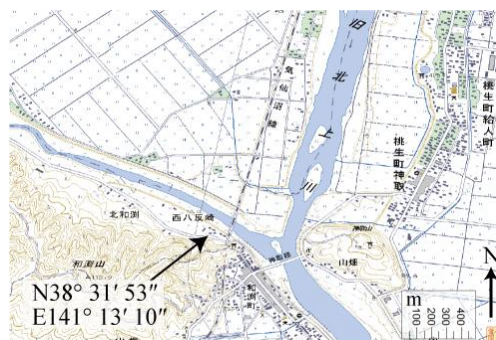


図 31 堤内地の液状化による噴砂とクラック（写真 28）の位置図（国土地理院数値地図25000（地図画像）涌谷より作成）



写真 27 二十一浜橋の津波による基礎周辺の洗掘と取付け部の流出³¹⁾



写真 29 マンホールの隆起と歩道の変状（遠田郡涌谷町猪岡短台）



図 30 第6章で紹介する液状化・地盤沈降の被災箇所（写真28, 29, 30, 31）の位置図（Google Map に加筆）

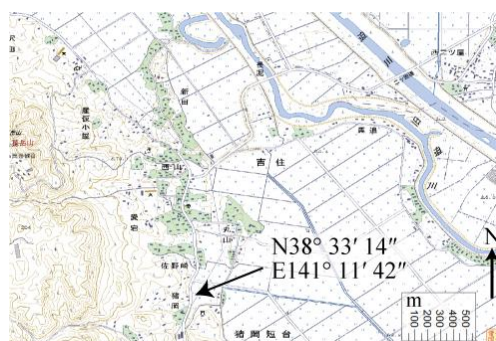


図 32 マンホールの隆起と歩道の変状（写真 29）の位置図（国土地理院数値地図25000（地図画像）涌谷より作成）



写真 30 鮎川港周辺の地盤沈降（石巻市鮎川浜，県道2号から望む）



写真 31 旧北上川左岸河口部の地盤沈降と浸水状況（石巻市川口町二丁目付近）

6.3 沿岸部における地盤沈降

写真 30 は鮎川港（石巻市鮎川浜）における沿岸部の地盤沈降の状況である。主として地殻変動によるものと思われる。鮎川港付近では約 1m 沈降し，防波堤，臨港道路，物揚場等の港湾構造物が水浸していた。

写真 31 は旧北上川左岸河口部の地盤沈降の状況である。旧北上川河口部付近では約 70cm 沈降した。河川水位の上昇に伴い，水浸範囲が拡大し，水深が増す状況を確認した。

6.4 まとめ

確認された噴砂跡などの痕跡から，沿岸部でも液状化による地盤変状や沈下の被害は広範囲に発生していると思われるが，津波によって痕跡が流失し，液状化の発生によるものか否かが判然としない箇所も多い。繰返し回数が多く，継続時間が長い地震動では液状化の危険性が高くなる³²⁾ことから，液状化事例に対して地震動特性がどのように影響したかについての検討が必要である。

また，地殻変動によるものと思われる広域的な地盤沈降への対策は，これまで地盤工学分野でほとんど考慮されていない困難な課題である。地盤沈降の長期的な監視，地盤沈降による表層地盤沈下の影響などの検討が必要である。

7. まとめ

地震動による地盤の液状化，土構造物の変形，斜面の崩壊では，繰返し回数が多く，継続時間が長い地震動特性の影響を検討する必要がある。また，沿岸部における津波による侵食・流出の被害も顕著であった。今後，土構造物の水による洗掘・侵食対策や，海岸堤防等の基礎地盤の津波外力に対する支持力について検討と対策が必要であろう。

謝辞

本論文は，地盤工学会東北支部・関西支部合同調査団による調査結果に基づいて報告したものである。著者らとともに調査にあたって下さった東北大学の加藤準治氏，（株）テクノ長谷の高橋一雄氏，（財）電力中央研究所の石丸真氏，神戸工業高等専門学校の下山典彦氏，JR 西日本の深田隆弘氏に謝意を表す。河川堤防の被害調査において，国土交通省東北地方整備局河川部の成田秋義氏，同・北上川下流河川事務所の齋藤茂則氏および関係各位のご協力を頂いた。また，鉄道被害の調査において JR 東日本の谷口善則氏にご協力頂いた。ここに記して謝意を表す。

参考文献

- 1) 飛田哲男，甲斐誠士：宮城県北部の港湾と河川施設の被災状況速報，地盤工学会誌，Vol. 59, No. 6, pp. 36-39, 2011.
- 2) 鳥居宣之，肥後陽介，鏡原聖史：東北地方太平洋沖地震 宮城県北部地域第一次被害調査速報（A3グループ），地盤工学会誌，Vol. 59, No. 7, pp. 56-59, 2011.
- 3) 吉田信之，深田隆弘，山下典彦，山川優樹：宮城県北部の道路・鉄道の被害状況，地盤工学会誌，Vol. 59, No. 7, pp. 34-37, 2011.
- 4) 山川優樹，東瀬康孝，渦岡良介，石丸真，京谷孝史，加藤準治，高橋一雄：東北地方太平洋沖地震 宮城県北部第一次調査報告（A1，A2グループ），地盤工学会誌，Vol. 59, No. 8, pp. 32-35, 2011.
- 5) 国土交通省東北地方整備局，北上川等復旧技術検討会，第1回，第2回資料，被災要因の考え方について，平成23年5月6日。
- 6) 国土交通省東北地方整備局北上川下流河川事務所，平成23年東北地方太平洋沖地震鳴瀬川・北上川被害状況（速報第16報版）。
- 7) 佐々木康：次世代型堤防技術への期待，国土技術研究センター，堤防委員会基調講演録，<http://www.jice.or.jp/jishu/t1/2011.02030.html>，2009.
- 8) 宮城県北部土木事務所栗原地域事務所：河川・砂防工事だより，第2号，<http://www.pref.miyagi.jp/nh-khdbk/saigai/taiheiyouokijisin/kasen2.pdf>，2011.
- 9) 国土交通省国土地理院：10万分の1浸水範囲概況図，<http://www.gsi.go.jp/kikaku/kikaku60003.html>。
- 10) 宮城県沿岸域現地連絡調整会議：宮城県沿岸における海岸堤防高さの設定について，平成23年9月9日。
- 11) 宮城県土木部：東日本大震災 土木部関連公共施設等の状況（9月21日10:00現在），第91報，p. 3，2011.
- 12) 諏訪義雄：津波による海岸構造物と背後地被害の特性，国土技術政策総合研究所，東日本大震災調査報告会資料，2011年4月26日。
- 13) 農林水産省農村振興局，農林水産省水産庁，国土交通省河川局，国土交通省港湾局：海岸保全施設の整備と被災状況について，東北地方太平洋沖地震を教訓とした地震・津波対策に関する専門調査会（第3回）資料2，中央防災会議，内閣府，2011年6月19日。
- 14) 柿沼太郎，辻本剛三，安田誠宏，玉田崇：宮城県北部における津

- 波痕跡調査, 東北地方太平洋沖地震津波に関する合同調査報告会資料, 東北地方太平洋沖地震津波合同調査グループ, <http://www.coastal.jp/tjt/>, 2011年7月16日.
- 15) 国土交通省: 東日本大震災 (第93報), 平成23年10月3日 (月) 10:00作成, pp. 45-58, 2011.
 - 16) 宮城県気仙沼土木事務所: 東日本大震災 公共土木施設の被害・応急復旧状況, 平成23年9月.
 - 17) 長尾毅他: 東日本大震災による港湾・空港・漁港の地震・津波災害調査報告, 港湾・空港・漁港技術講演会, 平成23年5月11日.
 - 18) 土田孝, 稲富隆晶, 野田節男, 柳生忠彦, 田端竹千穂, 徳永省三, 大槻有吾, 平野忠告: 1978年宮城県沖地震港湾被害報告, 港湾技研資料, 運輸省港湾技術研究所, No. 325, p. 175, 1979.
 - 19) 国土交通省: 平成23年東北地方太平洋沖地震 (第20報), 平成23年3月16日 (水) 13:00作成, p. 89, 2011.
 - 20) 国土交通省: 平成23年東北地方太平洋沖地震 (第22報), 平成23年3月17日 (木) 13:00作成, p. 94, 2011.
 - 21) 宮城県土木部: 東日本大震災 土木部関連公共施設等の状況 (4月8日9:30現在), 第45報, pp. 1-3, 2011.
 - 22) NEXCO 東日本: 東北地方太平洋沖地震による高速道路等の被害と復旧状況について (平成23年3月24日), 別紙「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」, p. 1, 2011.
 - 23) 国土交通省: 平成23年東北地方太平洋沖 (第25報), 平成23年3月19日 (土) 10:00作成, p. 146, 2011.
 - 24) JR 東日本: 津波を受けた7線区の主な被害と点検状況 (4月4日現在), 2011.
 - 25) JR 東日本: 在来線の地上設備の主な被害と復旧状況 (4月4日現在), 2011.
 - 26) JR 東日本: 東北新幹線の地上設備の主な被害と復旧状況 (4月4日現在), 2011.
 - 27) 地盤工学会関西支部: 第II編 河川構造物被害, 平成21年台風9号による地盤災害調査, pp. II-1-II-68, 2009.
 - 28) 山田剛二, 田中寿男, 守山信一, 西尾国重: 災害盛土土質調査ー宮城県北部地震によるー, 鉄道技術研究所速報, 日本国有鉄道鉄道技術研究所, No. 62-327, p. 2, p. 6, 1962.
 - 29) (社) 土木学会東北支部: 1978年宮城県沖地震調査報告書, 1980.
 - 30) 国土交通省国土地理院: 被災地域の空中写真 (電子国土 Web システム版), http://www.gsi.go.jp/BOUSAI/h23_tohoku.html, 2011.
 - 31) 国土交通省国土技術政策総合研究所, 独立行政法人土木研究所: 平成23年 (2011年) 東北地方太平洋沖地震土木施設災害調査速報, 国総研資料第646号, 土研資料第4202号, 平成23年7月.
 - 32) 八代和幸, 杉戸真太, 八嶋厚, 古本吉倫, 渦岡良介: 震動継続時間の影響を考慮した液状化危険度判定法について, 土木学会地震工学論文集, Vol. 27, 論文番号111, 2003.

(2011. 10. 24 受付)

Reconnaissance Report of Geotechnical Damage due to the 2011 off the Pacific coast of
Tohoku Earthquake
— Northern Area of Miyagi Prefecture —

Fusao OKA¹, Nobuyuki YOSHIDA², Seiji KAI³, Tetsuo TOBITA⁴, Yosuke HIGO¹,
Nobuyuki TORII⁵, Satoshi KAGAMIHARA³, Noriaki NAKANISHI⁶, Sayuri KIMOTO¹,
Yuki YAMAKAWA⁷, Yasutaka TOUSE⁸, Ryosuke UZUOKA⁹ and Takashi KYOYA⁷

- 1 Department of Civil and Earth Resources Engineering, Kyoto University
- 2 Research Center for Urban Safety and Security, Kobe University
- 3 Kansai Branch, Dia Consultants Co., Ltd.
- 4 Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University
- 5 Department of Civil Engineering, Kobe City College of Technology
- 6 Osaka Branch, Fukken Co., Ltd.
- 7 Department of Civil and Environmental Engineering, Tohoku University
- 8 Tohoku Branch, Pacific Consultants Co., Ltd.
- 9 Institute of Technology and Science, The University of Tokushima

Abstract

This paper reports geotechnical damages in the northern area of Miyagi prefecture caused by the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake on March 11, 2011. A joint reconnaissance team organized by Tohoku branch and Kansai branch of the Japanese Geotechnical Society carried out extensive field surveys in the area from April 5 to 10 and from April 29 to 30, 2011. This paper consists of the main results from these surveys and subsequent researches on the damage such as failure of river embankments and coastal levees, coastal erosion caused by tsunami, damage of port and harbor facilities, failure of cut and banked slopes of roads and railroads, and occurrence of liquefaction and subsidence. Although some results have already been reported as news flash to the Journal of the Japanese Geotechnical Society, this paper provides inclusive summaries and more detailed investigations on the damage in the northern area of Miyagi prefecture. In separate sections of this paper, outlines of the damage in each object are briefly summarized, and then several typical damage cases are presented and these mechanisms are discussed in detail.

Key words: The 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake, Geotechnical damage, Northern area of Miyagi prefecture