

2. 津波災害実態調査

2.1 津波痕跡調査

2.1.1 調査方法及び調査項目

国総研では、2011年の東北地方太平洋沖地震による津波直後の3月19～20日に、仙台平野において海岸研究室直営で津波痕跡調査を行った。地面から痕跡までの高さ(浸水深)を測定したものに、LP(レーザプロファイラー)測定データ等で測定した地面の高さを足して津波痕跡の標高を得た。津波の高さと浸水深、痕跡高(=浸水高)、遡上高の関係を図-2.1.1に示す。

仙台平野については地盤の高さは震災後のLP測定データを用いているので地盤沈下も考慮されているものである。国総研の技術指導の下、国土交通省仙台河川国道事務所が実施した痕跡調査(2011年3月30日～4月7日)から、仙台平野内の痕跡データを補完した。仙台河川国道事務所の痕跡調査は、石巻平野、北上川下流においても実施された。

なお、当該調査は土木学会等との合同調査により実施し、得られた津波痕跡は、東北大学津波痕跡データベースに登録され、都道府県が設定する津波浸水想定や設計津波水位の検討の際に活用されている。

当該調査結果の詳細は、国総研資料第646号「平成23年東北地方太平洋沖地震土木施設災害調査速報」¹⁾に掲載しているが、本報告では、その概要について以下に述べる。

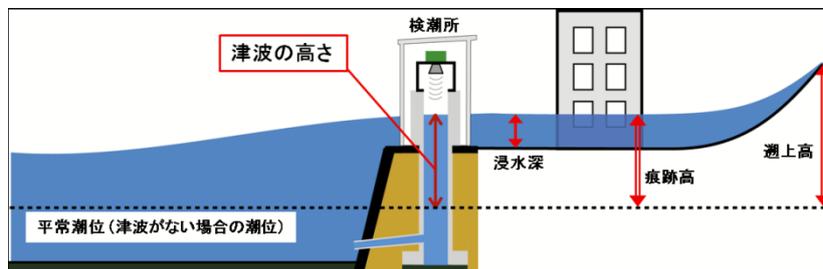


図-2.1.1 津波の高さ、浸水深、痕跡高、遡上高 (出典：気象庁ホームページ)

2.1.2 津波遡上痕跡特性の把握

測定した痕跡調査結果をもとに、仙台平野、石巻平野において津波痕跡水深及び痕跡標高断面分布を整理した。図-2.1.2は仙台平野における海岸研究室と仙台河川国道事務所の痕跡水深測定結果すべてを横軸に堤防からの距離をとってプロットしたものである。図から痕跡水深が遡上方向に減衰していることがわかる。測定した痕跡水深を津波来襲時の潮位または震災後のLPデータから標高に補正し、図-2.1.3に示す16の遡上方向測線で痕跡標高の断面分布図を作成した。結果を図-2.1.4～図-2.1.19に示す。図-2.1.4の仙台新港背後測線から図-2.1.15の吉田浜測線までは痕跡標高も遡上方向に減衰していることが読み取れる。図-2.1.16の笠野海岸測線から図-2.1.19の磯浜漁港測線までは遡上に伴う減衰が見られなくなる。これは、平地が狭くなり遡上距離が短くなるためと考えられる。

津波・高潮ハザードマップマニュアル(平成16年4月、内閣府・農林水産省・国土交通省)では、浸水予測手法の一つとして、想定される浸水量を陸上に一律に湛水させる手

法（レベル湛水法）が例示されているが、水勢による遡上や建物等による遡上低減が考慮されないため、最大クラスの津波浸水想定の設定においては、これらの事項が考慮できる津波浸水シミュレーションの必要性が今回の調査を通じて改めて確認できた。

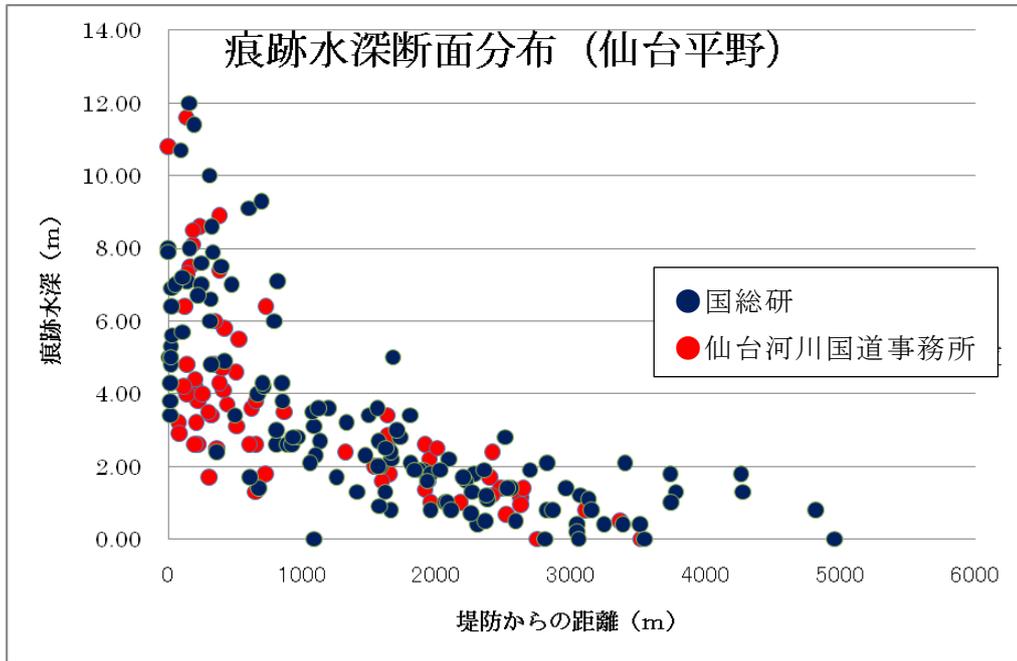


図-2.1.2 仙台平野の痕跡水深断面分布

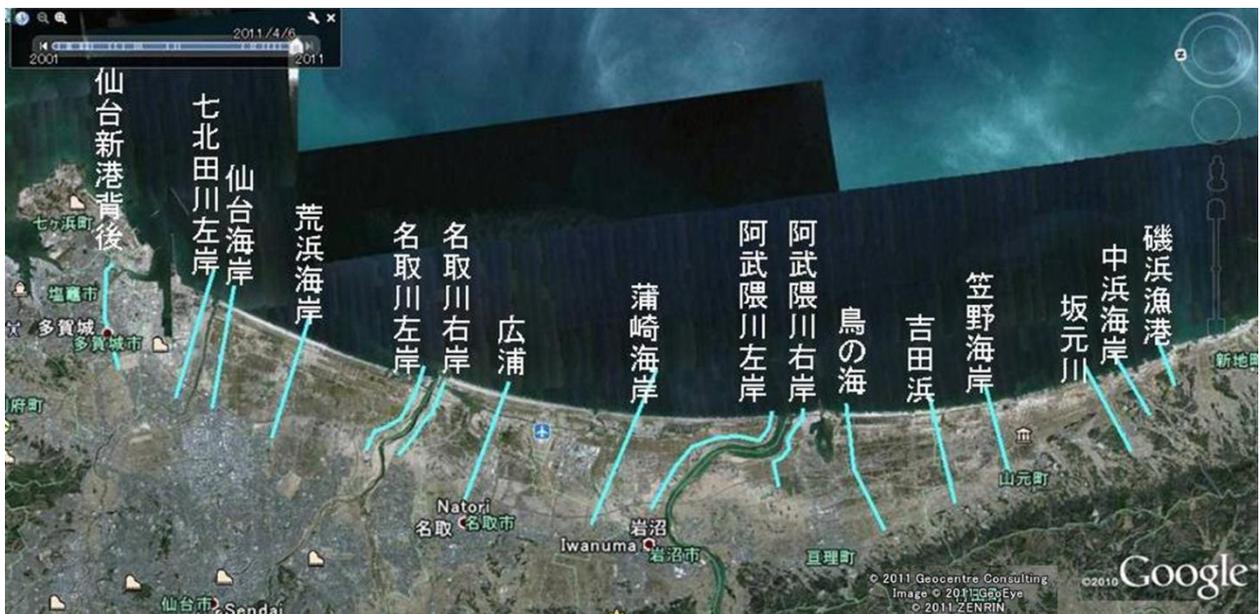


図-2.1.3 断面分布測線 (仙台平野)

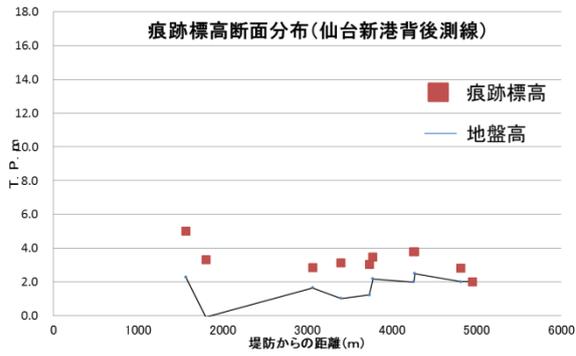


図-2.1.4 痕跡標高断面分布(仙台新港背後測線)

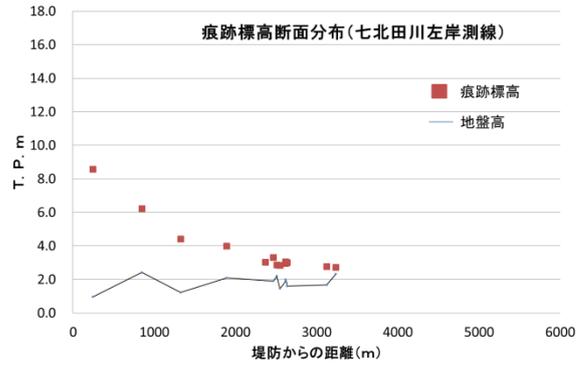


図-2.1.5 痕跡標高断面分布(七北田川左岸測線)

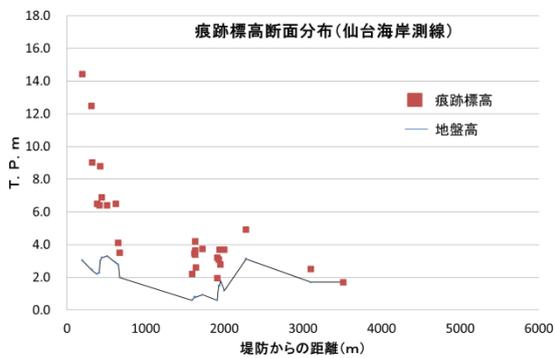


図-2.1.6 痕跡標高断面分布(仙海岸測線)

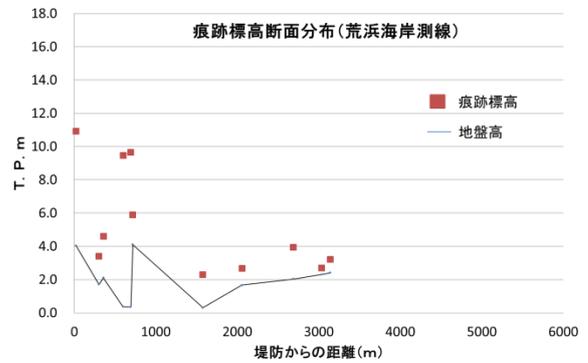


図-2.1.7 痕跡標高断面分布(荒浜海岸測線)

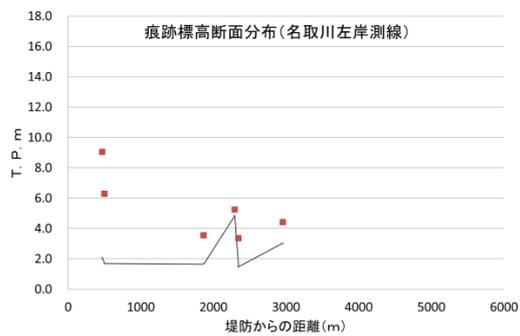


図-2.1.8 痕跡標高断面分布(名取川左岸測線)

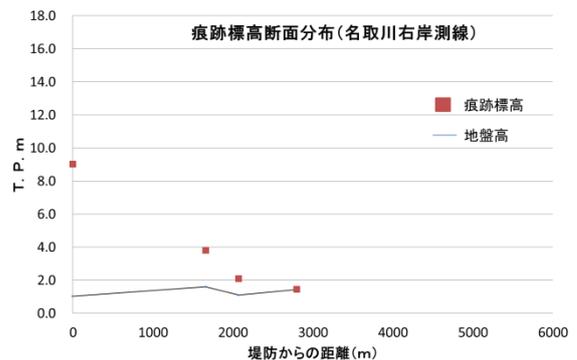


図-2.1.9 痕跡標高断面分布(名取川右岸測線)

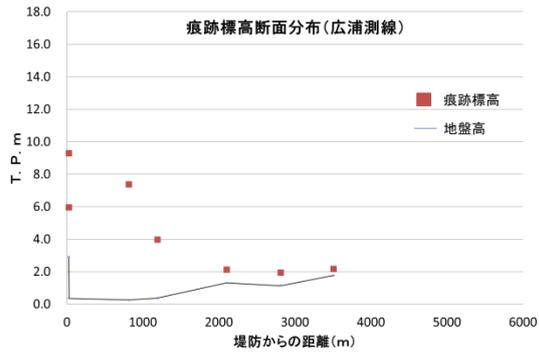


図-2.1.10 痕跡標高断面分布(広浦測線)

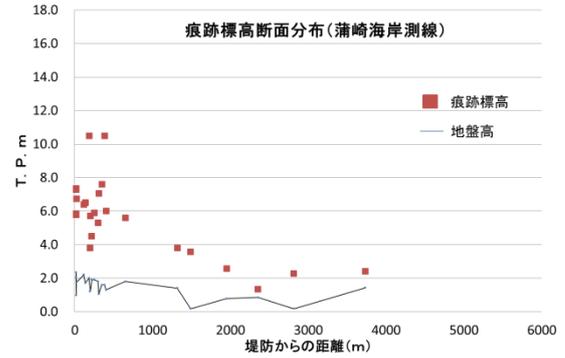


図-2.1.11 痕跡標高断面分布(蒲崎海岸測線)

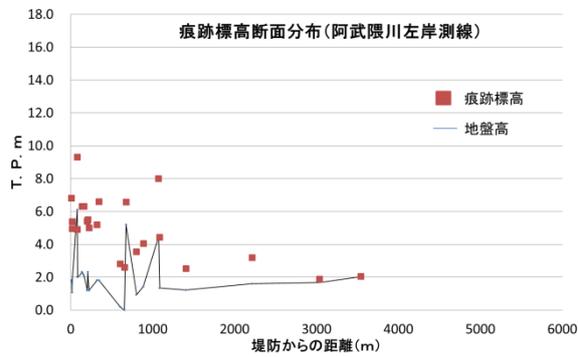


図-2.1.12 痕跡標高断面分布(阿武隈川左岸測線)

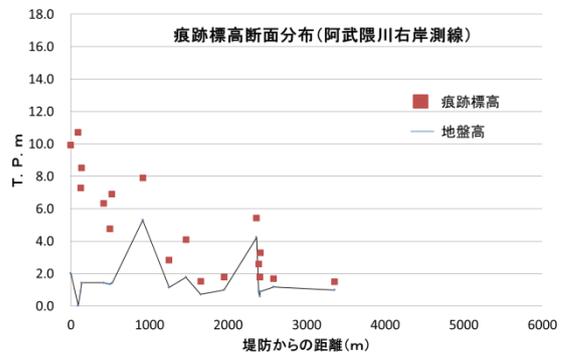


図-2.1.13 痕跡標高断面分布(阿武隈川右岸測線)

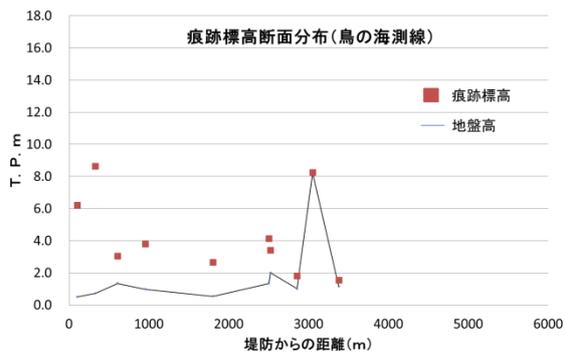


図-2.1.14 痕跡標高断面分布(鳥の海測線)

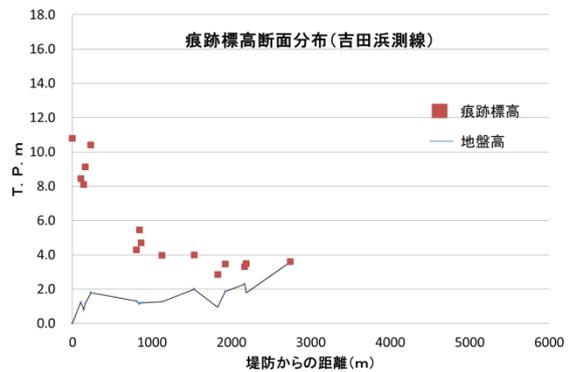


図-2.1.15 痕跡標高断面分布(吉田浜測線)

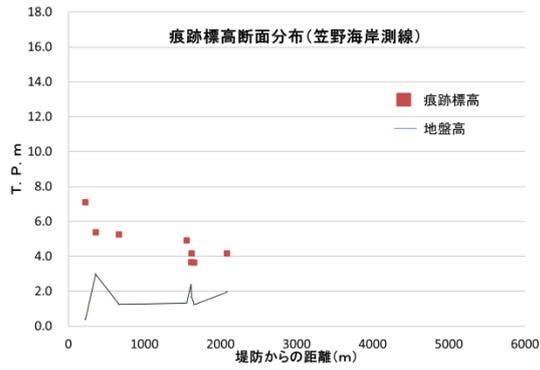


図-2.1.16 痕跡標高断面分布（笠野海岸測線）

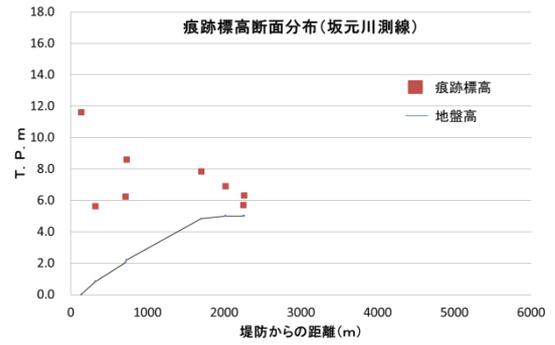


図-2.1.17 痕跡標高断面分布（坂元川測線）

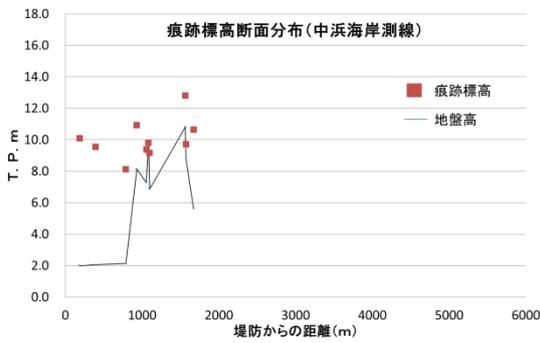


図-2.1.18 痕跡標高断面分布（中浜海岸測線）

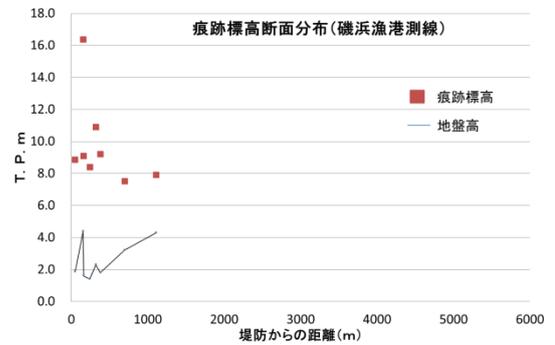
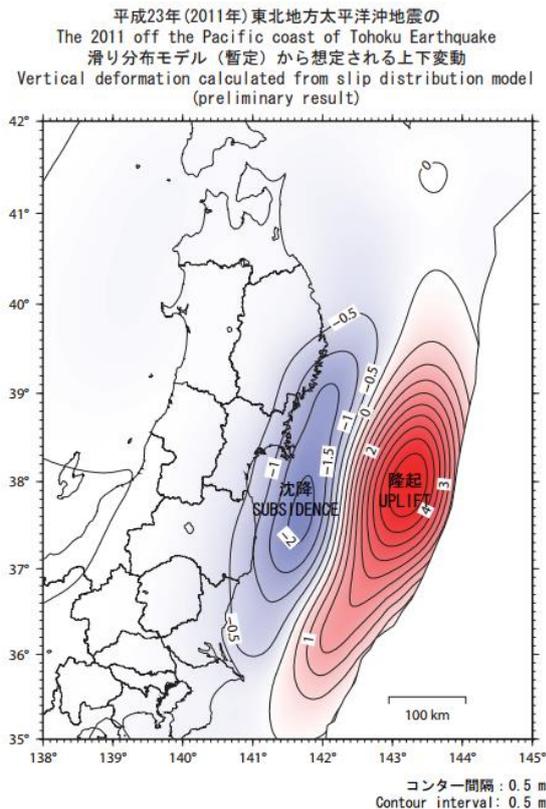


図-2.1.19 痕跡標高断面分布（磯浜漁港測線）

2.2 地形変化調査

今回の津波の波源は、岩手県から福島県にかけて延長が長くかつ海底地盤変動も広範囲にわたっていた²。このため、岩手県・宮城県では陸地が沈降域と重なり津波来襲前に地盤沈下が生じたことが特徴として挙げられる(図-2.2.1, 2.2.2)。

地盤沈下は、津波浸水想定における浸水深や浸水範囲に大きな影響を与えるため、最大クラスの津波浸水想定の設定にあたっては、地震による地盤沈下を計算上考慮する必要があることが分かった。



※この上下変動図は、電子基準点（GPS連続観測点）データからプレート境界面上での滑り分布モデルを推定し、そのモデルから想定される上下変動の推定値を図示したものです。従って実際の変動量とは必ずしも一致するものではありません。

国土地理院
Geospatial Information Authority of Japan

図-2.2.1 東北地方太平洋沖地震の
想定上下変動

また、被災箇所について、地形変化を調査³したところ、堤防が決壊した箇所について海岸線の後退が多く見られた。図-2.2.3, 2.2.4は岩手県船越南海岸の津波前後の写真であるが、破堤及び海岸線の後退が見られた。また、図-2.2.5, 2.2.6は宮城県仙台平野沿岸であるが、干潟の前面に存在していた砂浜や河口砂州等背後に堤防・護岸がない砂浜が津波後に消失している事例が見られた。

平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震における断層運動と上下変動の関係

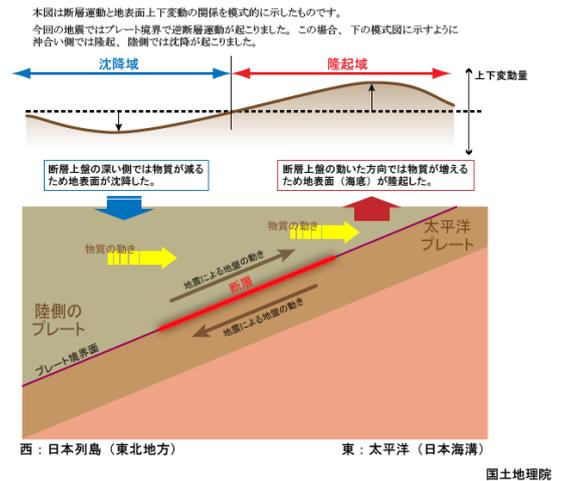


図-2.2.2 東北地方太平洋沖地震の
断層運動と上下変動の模式図

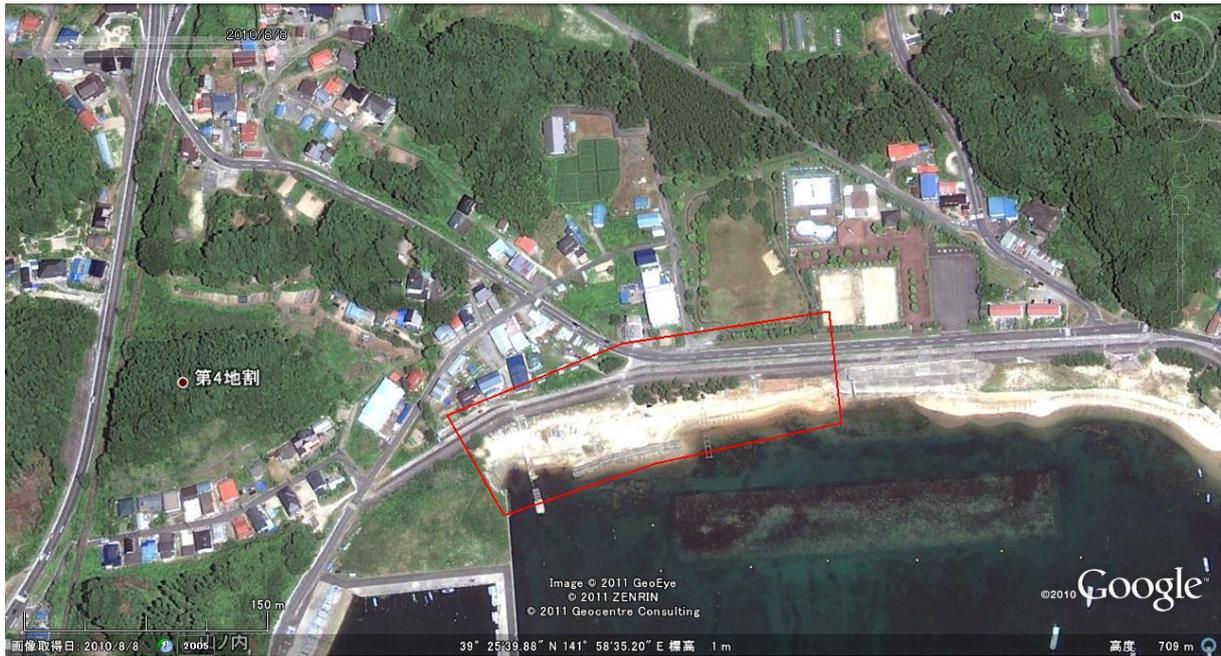


図-2.2.3 岩手県船越南海岸津波前空中写真

[画像データ:Google, GeoEye, ZENRIN, Geocentre Consulting]



図-2.2.4 岩手県船越南海岸津波後空中写真

[画像データ:Google, GeoEye, ZENRIN, Geocentre Consulting]

下水処理場から仙台港



図-2.2.5 仙台平野沿岸（七北田川北側干潟）空中写真（左：津波前、右：津波後）

閉上漁港から北貞山運河



図-2.2.6 仙台平野沿岸（名取川北側干潟）空中写真（左：津波前、右：津波後）

■空中写真による海岸線の変遷

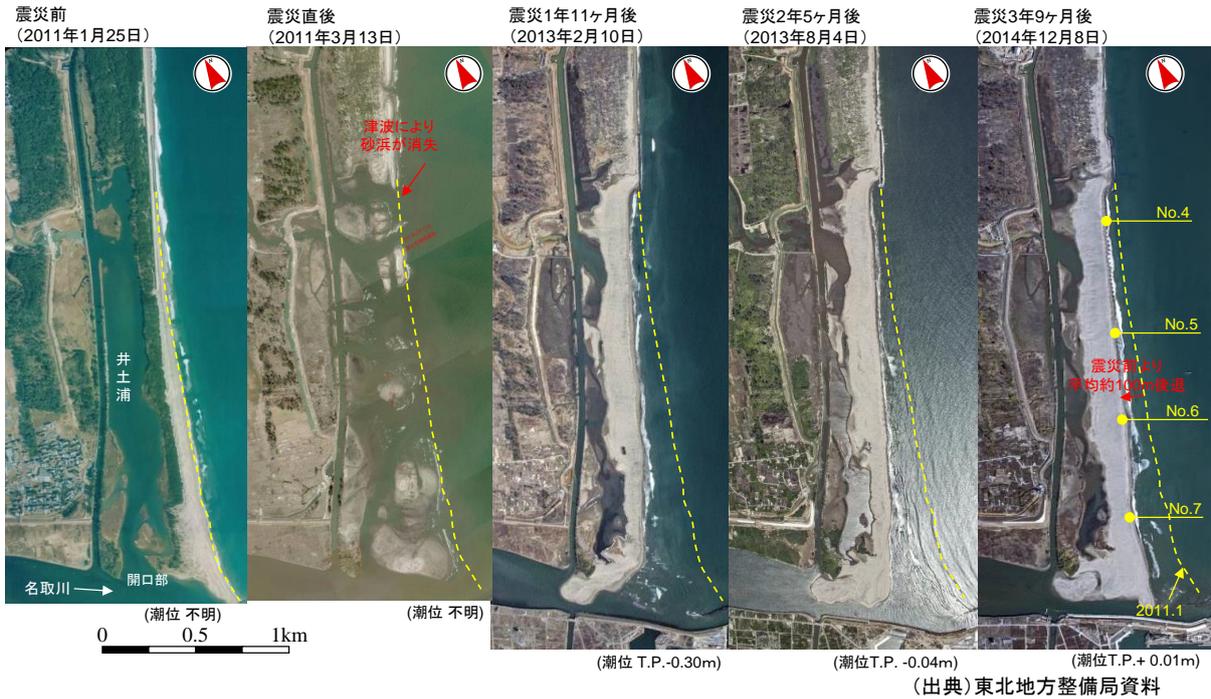
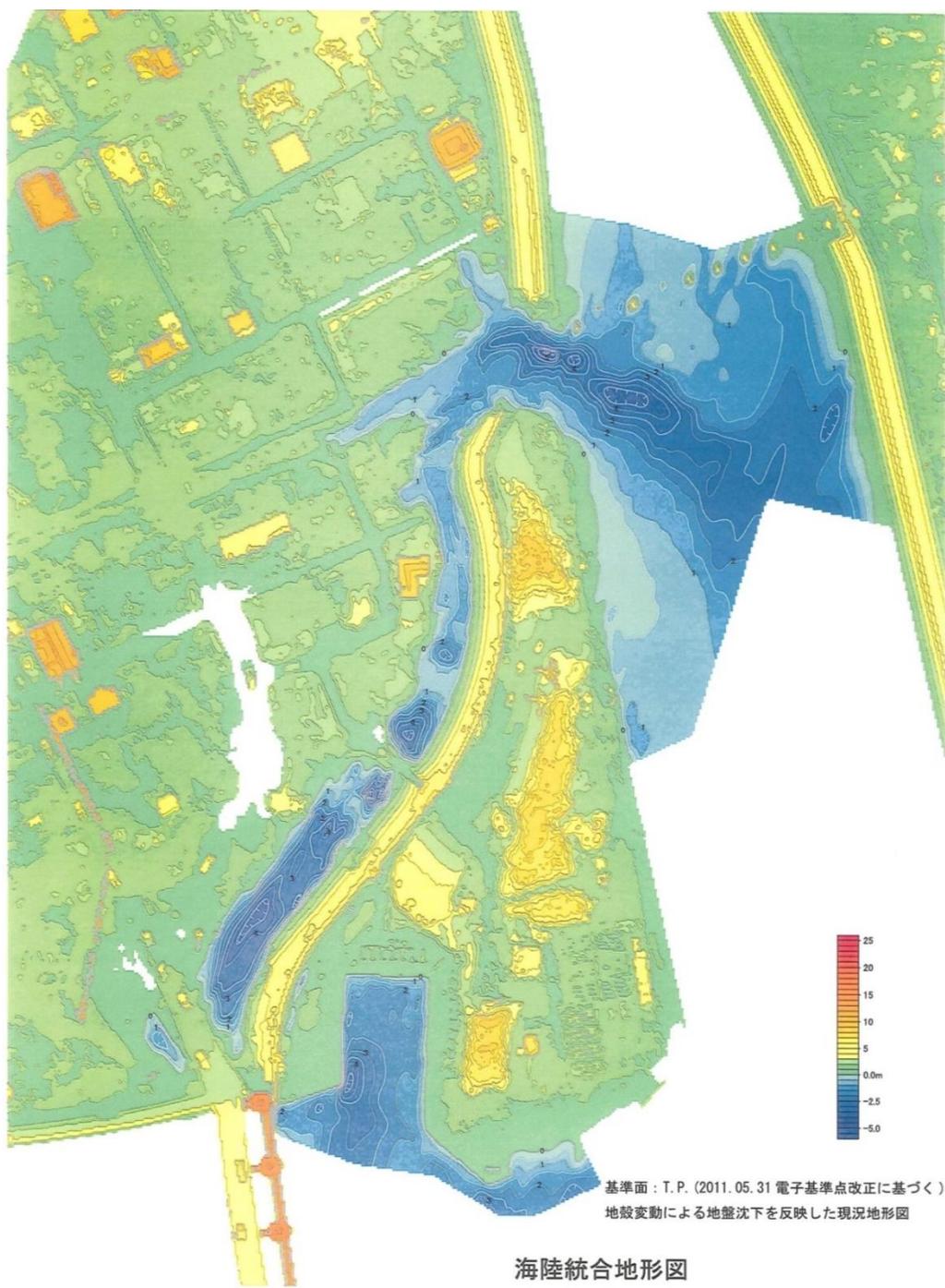


図-2.2.7 仙台平野沿岸（名取川北部干潟）の震災後の海岸線の変遷

図-2.2.7は、仙台平野沿岸における震災後3年9ヶ月後までの海岸線の変遷である。震災直後に砂浜が消失して以降、次第に砂浜は回復してきたものの、震災前に比べて後退した位置で安定しており、震災前まで海岸線が回復していないことが分かる。津波災害後の復旧や海岸保全にあたっては、こうした砂浜の回復状況をモニタリングした上での対応が必要である。

図-2.2.8、2.2.9は、岩手県大槌漁港海岸の破堤箇所周辺の洗掘状況を水中地形測量により調査した結果である。破堤口から海に向かう深掘れ跡があることが分かり、津波の引き波時の流路と考えられる。



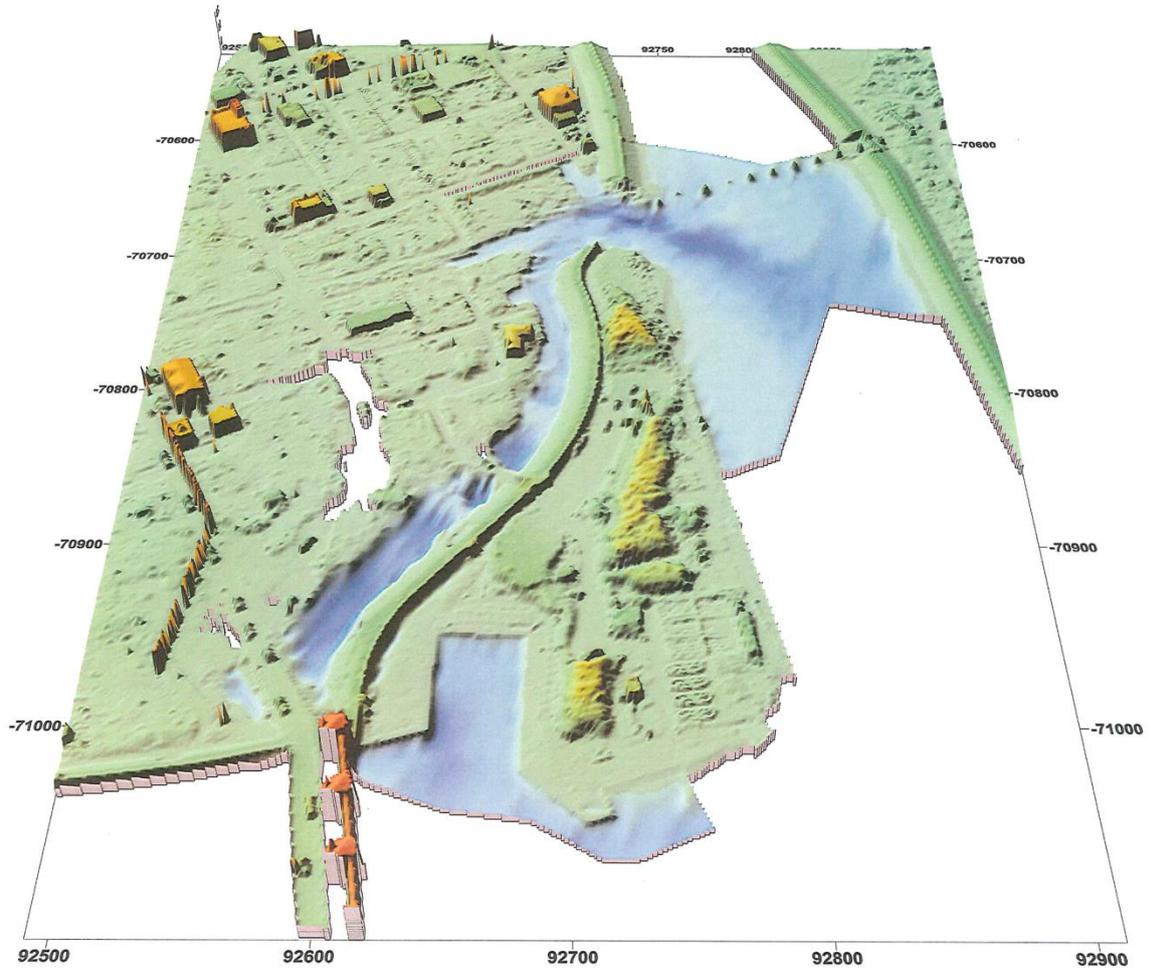
大槌町大槌川河口

海陸統合地形図

平成23年度

海岸保全施設周辺津波洗堀等調査業務

図-2.2.8 岩手県大槌漁港海岸の水中洗堀状況調査結果



海陸統合地形鳥瞰図

地殻変動による地盤沈下を反映した現況地形の鳥瞰図

標高の基準面：T.P. (2011.05.31 電子基準点改正に基づく)
 地形データの格子間隔：1m 格子

大槌町大槌川河口

平成 23 年度 海岸保全施設周辺津波洗掘等調査業務

図-2.2.9 岩手県大槌漁港海岸の詳細測量調査結果

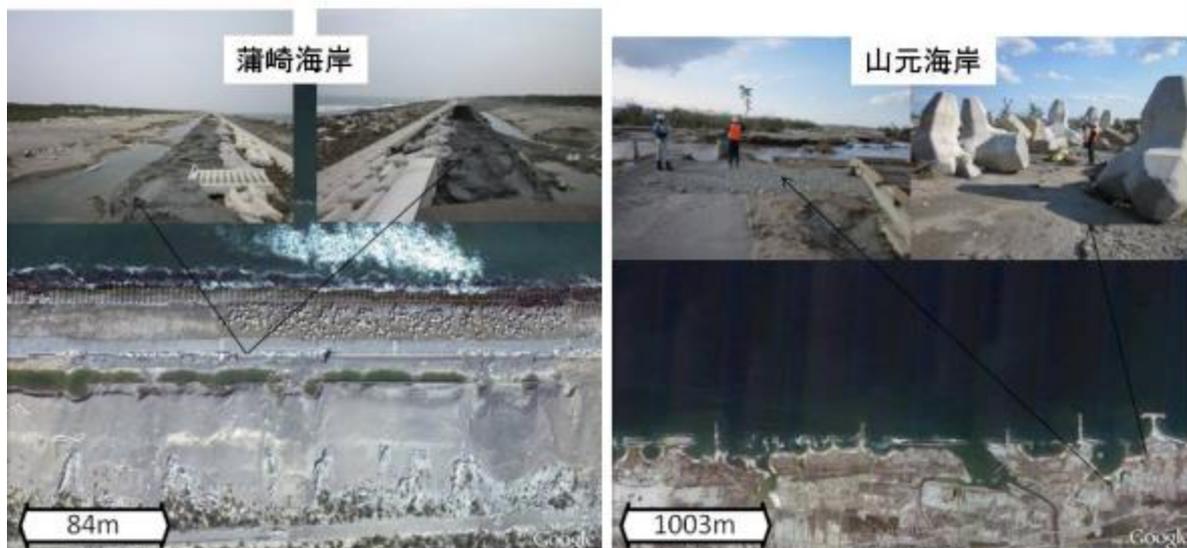


図-2.2.10 堤防決壊の有無による地形や背後地状況の違い（宮城県）
 [上空からの画像データ（左下、右下）：Google、ZENRIN]

また、図-2.2.10は宮城県蒲崎海岸と山元海岸の被災後の写真であるが、蒲崎海岸は堤防が被災しているものの残存しているために海岸線の後退に至っていない。一方、堤防決壊が多く発生した山元海岸では、地面の侵食や海岸線の後退等が発生しており、両者を比較すると、堤防が残存することによる減災効果が見て取れる。

図-2.2.11～13は陸前高田海岸の被災前後の写真である。津波の押し波（裏法被覆工）・引き波（表法被覆工・波返し工）によって砂浜・堤防・松林が流失するなどの被災を受け、海岸線が大きく後退している。また、堤防が残存した箇所では洗掘、海岸線の後退が軽減され、砂浜が保持されている。

このように、堤防の有無や決壊は、浸水範囲の拡大だけでなく、海岸線の後退や洗掘の発生といった地形変化をもたらすことが分かった。このため、海岸堤防の全壊の可能性を少しでも減らす「粘り強い堤防構造」は、避難時間を稼ぐだけでなく、地形変化の面からも減災に貢献することが期待される。



図-2.2.11 陸前高田海岸津波前 [画像データ:Google, GeoEye, ZENRIN, Geocentre Consulting]



図-2.2.12 陸前高田海岸津波後 [画像データ:Google, ZENRIN, Geocentre Consulting]



図-2.2.13 残存堤防が砂浜を保持

[画像データ (左下) :Google, GeoEye, ZENRIN, Geocentre Consulting]

[画像データ (右下) :Google, ZENRIN, Geocentre Consulting]

2.3 海岸堤防被災調査

2.3.1 海岸堤防被災調査の概要

東北地方太平洋沖地震では、海岸堤防や護岸を中心に海岸保全施設の被災が発生した。そこで、本章では、特に被害が大きかった岩手、宮城、福島の各県を中心に、海岸堤防等の被災状況を概観する。

なお、一部の海岸では、海岸堤防、護岸のほか、離岸堤、突堤、ヘッドランド（T字型の人工の岬等）の沈下やブロック飛散が生じている。離岸堤や突堤等は、風波やうねりの消波や漂砂制御を機能とする施設であり、津波の低減を期待するものではなく、津波や地震に対する安全性を要求されていない。施設設計において考慮されていない津波の作用である速い流れや洗掘によって、これらの施設は被災したものと考えられる。

(1) 岩手県での被災状況

岩手県では、ほぼ全延長にわたり海岸保全施設に何らかの被害が生じた。その例として、田老海岸と高田海岸の被災状況を紹介する。

宮古市の田老海岸には、**図-2.3.1**のように、T.P. +10.0mの堤防が漁港沿い（**図-2.3.1**中の白線）と陸側（**図-2.3.1**中の赤線）に整備されていた。漁港沿いの堤防は海岸線にほぼ沿って配置されていたのに対し、陸側の堤防は遡上した津波を東側にそらすように配置されていた。東北地方太平洋沖地震では、津波の浸水高はT.P. +16.3mに達し、陸側の堤防も越流した。その結果、漁港沿いの堤防は**図-2.3.2**のように破堤したが、陸側の堤防は一部で裏法が洗掘されたもののほぼ原形を保った（**図-2.3.3**）。この被災事例から、一線堤や遡上による津波の減衰に加えて、津波をそらしたことで二線堤の被災を軽減できた可能性があったと考えられることから、津波の遡上方向を考慮した海岸堤防の法線の設定方法を考えるべきであると示唆される。



図-2.3.1 田老海岸の堤防（白線：一線堤、赤線：二線堤） [画像データ:Google, GeoEye]



図-2.3.2 田老海岸の一線堤の被災状況



図-2.3.3 田老海岸の二線堤の状況

陸前高田市の高田海岸では、海岸堤防の被災だけでなく、海岸の地形そのものが変わってしまった。震災前には砂浜と松原が約2kmに渡って延びていた高田海岸には、1960年のチリ地震による津波の後、松原の海側に高さT.P. +3.0mの一線堤が、松原のすぐ背後にT.P. +5.5mの二線堤が整備されていた。二線堤の陸側には古川沼があり、川原川水門を通じて排水されるようになっていた。東北地方太平洋沖地震では、津波は海岸堤防を大きく越流し、市街地の多くが浸水し、海岸堤防付近での浸水高はT.P. +13m程度となった。このため、図-2.3.4のように、二線の海岸堤防のほとんどが破堤し、松林も一本を残して消失した。また、2011年5月の測量で得られた図-2.3.5のように、地震前に松林があった領域の多くは水没しており、海岸が全体的に侵食された。



図-2.3.4 高田海岸の堤防の被災

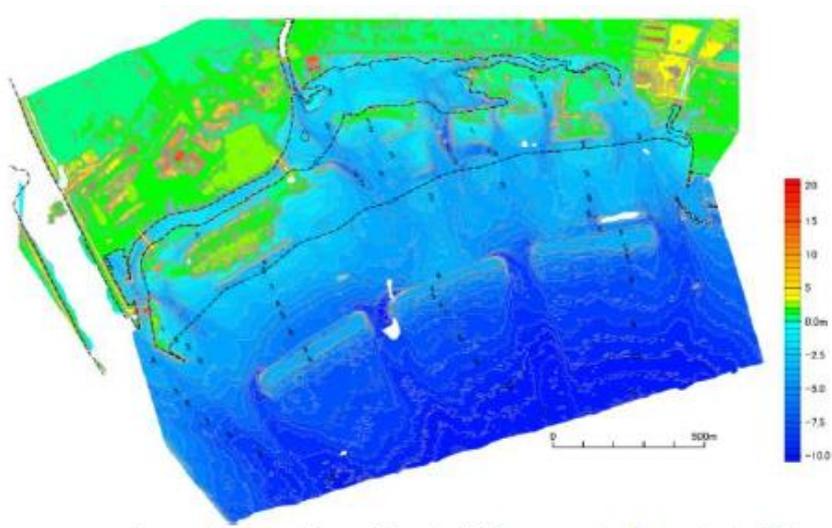


図-2.3.5 高田海岸の等深線（破線：地震前の水際線）



図-2.3.6 普代村の太田名部海岸と宇留部海岸

なお、津波が越流しなかった普代村の太田名部海岸（図-2.3.6）では、海岸堤防の本体は被災せず、背後地も浸水を免れた。これは、津波が海岸堤防を越流しなければ、海岸堤防の機能は確保され、背後地の浸水を防止する事例と考えられる。また、同じ普代村の宇留部海岸（図-2.3.6）では、津波が普代水門（図-2.3.6）の天端を少し上回る程度であり、管理橋は破損したものの、背後地の浸水はわずかな範囲であった。

（2）宮城県での被災状況

宮城県でも、ほぼ全延長にわたり海岸保全施設に被害が生じた。宮城県の各地での被害概要については既に報告されているが、本稿では、仙台平野南部（七北田川河口～福島県境）での被災状況を、地形変化を交えて紹介する。

仙台平野南部はT.P. +6.2～+7.2mの堤防が整備されている区間が多いが、阿武隈川より北には無堤や砂丘堤の区間が存在する。また、阿武隈川より南には、侵食対策としてヘッドランドが設置されている区間がある。東北地方太平洋沖地震では、津波が海岸堤防を越流し、海岸付近の浸水高は一部でT.P. +10.0mを越えた。このため、海岸堤防が広範囲で被災し、一部では図-2.3.7のように全壊に至っていた。海岸堤防が全壊した箇所では汀線が大きく後退しており、海岸堤防の破堤によって海岸の地形が大きく変化したことを示している。また、引き波による流れが旧河川や排水路に集中し、その流路が大きく侵食されたことが指摘されている。

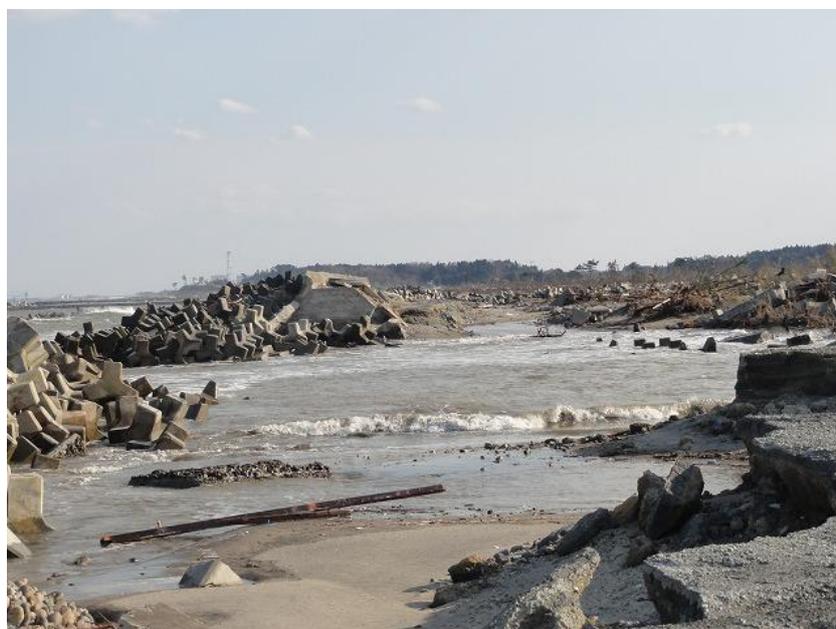


図-2.3.7 仙台平野南部での海岸堤防の破堤状況

図-2.3.8は、航空レーザ測量（2011年3月実施）で得られた1mメッシュの標高データを用いて、堤防断面の欠損率（被災後の堤防の横断方向の断面積の欠損量／被災前の堤防の横断方向の断面積）を算定した結果を示している。対象海岸の堤防はさまざまな構造のもの

のがあることから、海岸の所管および構造タイプをふまえて海岸を24分割した上で、各区分における欠損率の平均値を算出した。なお、構造タイプは、表法勾配に応じて、直立堤（2割未満）、傾斜堤（2割以上）に分類した。堤防断面の欠損率は、No.4（仙台海岸深沼地区（南部））、No.14（亶理海岸横須賀地区）、No.19（山元海岸中浜地区）で80%を超える一方、No.2（深沼漁港海岸）、No.3（仙台海岸深沼地区（南部））、No.23および24（磯浜漁港海岸）で20%以下であった。欠損率は破堤区間の割合と概ね対応していた。

図-2.3.9は、仙台平野南部における海岸堤防陸側での洗掘の幅を示している。洗掘幅は東北地方太平洋沖地震後の航空レーザ測量によって取得されたものである。長さ約40kmに渡るこの砂浜海岸において、洗掘幅は平均で約30mであった。その中でも、破堤した海岸堤防の割合が大きかった南部において、洗掘幅が大きかった。

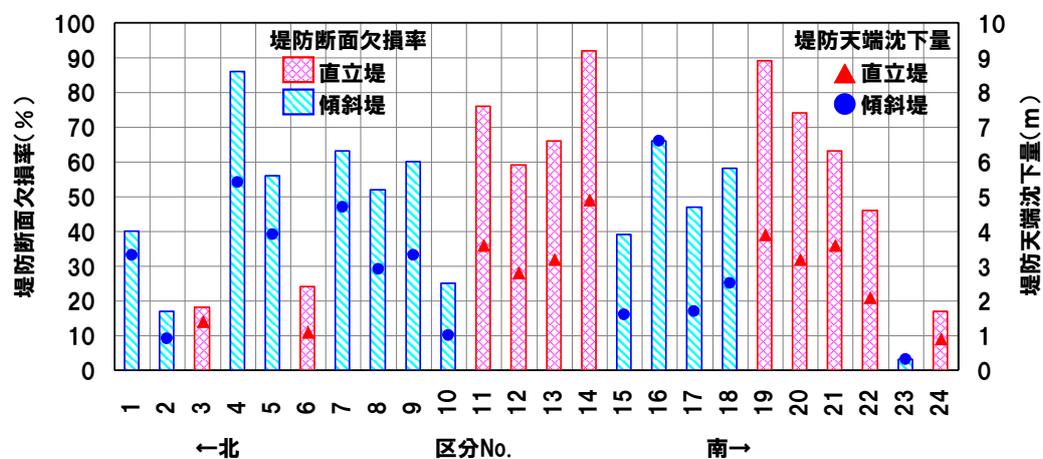


図-2.3.8 堤防断面(横断方向)の欠損率および天端沈下量

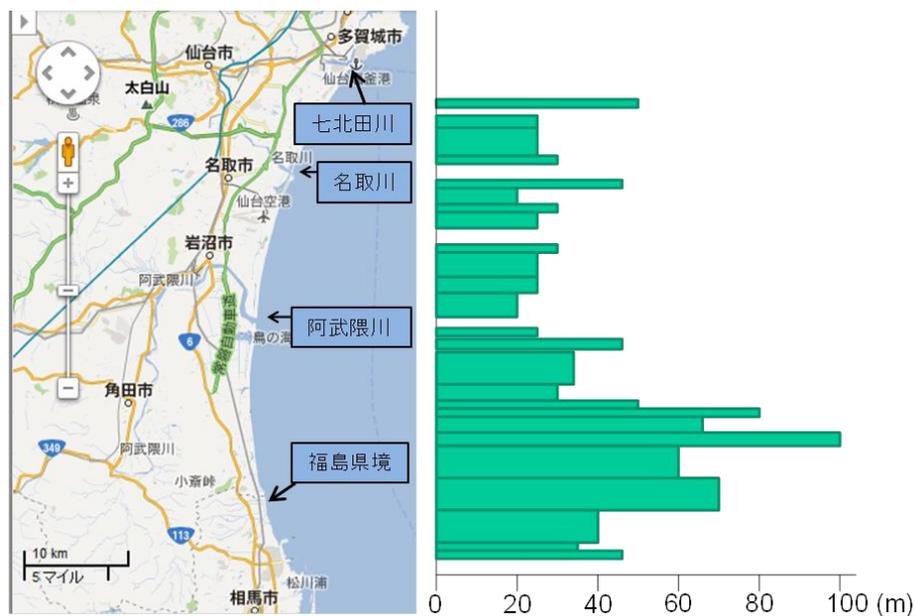


図-2.3.9 仙台平野南部での平均洗掘幅

(3) 福島県での被災状況

福島県においても、海岸堤防や護岸の決壊、消波工や沖合施設の沈下や飛散等の被害が各地で生じた。本稿では、いわき市の植田岩間地区海岸の被害状況を紹介する。



図-2.3.10 植田岩間地区海岸での波返工の破損状況

鮫川河口の左岸側に位置する植田岩間地区海岸には、波返工を有する護岸（天端高 T.P. +4.5m）が整備されていた。東北地方太平洋沖地震による津波の浸水高は T.P. +8.7m であり、地震による地盤が 0.4m 程度沈下したことを考慮すると、越流水深は 4.6m 程度であったと推定される。このような津波の越流により、図-2.3.10 のように波返工が破壊されており、破壊した波返工の割合は全延長の 71% と報告されている。なお、隣接する植田佐糠地区海岸は、波返工の天端高が T.P. +6.2m と高く、波返工の破損は限定的であった。

2.3.2 海岸堤防の減災効果の試算

仙台平野南部を対象に、津波浸水計算を行い、被災した海岸堤防が果たした減災効果を試算した。

計算条件は、**図-2.3.11**～**図-2.3.12**に示すとおりである。計算は海岸堤防なし（ケース1）、海岸堤防あり（ケース2）、津波来襲前に海岸堤防被災（ケース3）、津波が堤防天端を越流した時点で被災（ケース4）の4ケースについて行った。堤防被災状態については津波後のLPデータから読み取った被災後天端高情報をもとに被災後堤防天端高を設定した（**表-2.3.1**）。

○計算条件

対象地震：東北地方太平洋沖地震

断層モデル：藤井・佐竹モデルver4.0(すべり量をチューニング仙台平野では1.2倍)

基礎方程式：非線形長波方程式(海岸堤防の越流量は本間の越流公式で算定)

地盤高：地震前の地盤高データから地盤沈降量(仙台平野では一律に-50cmを設定)を差し引く

潮位条件：T.P.0m

盛土構造物の扱い：河川堤防、東部道路は地形として考慮。ただし、東部道路のカルバートは実態に応じて設定

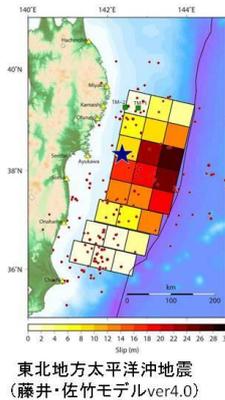


図-2.3.11 津波浸水計算（断層モデル等）

表-2.3.1 計算ケース

ケース	海岸堤防の状態
ケース1	海岸堤防無し
ケース2	海岸堤防があり、被災せず機能発揮
ケース3	津波来襲前に津波後の状態に被災
ケース4	津波が天端を越流した時点で、津波後の状態に被災

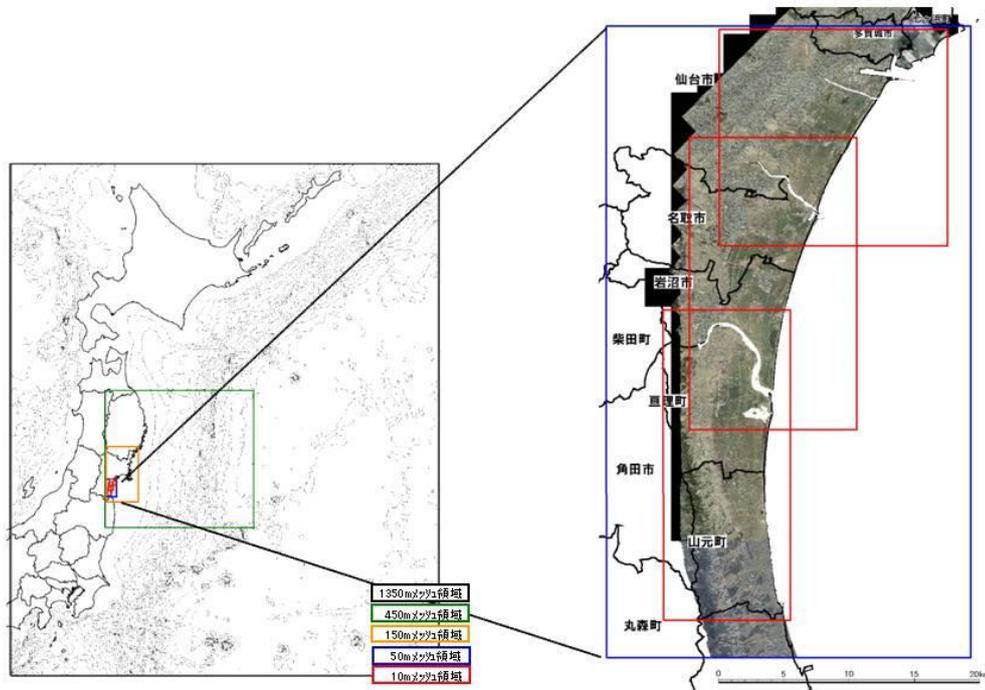


図-2.3.12 計算条件（メッシュ分割）

最大浸水深平面図の比較を図-2.3.13に示す。図から、ケース2では他のケースよりも、浸水面積が減少しており、海岸堤防が効果を発揮することで浸水面積が減少と考えられる。また、ケース3, 4はほとんど違いがなく、ケース1の堤防なしの状態と比較して総浸水面積で5%程度、水深2m以上の浸水面積では6%程度、水深5m以上の浸水面積では30%程度減少させる効果があると試算された。

図-2.3.14は、最大浸水標高の断面分布を示したものである。図から、堤防が被災していないAB断面では大きな浸水深低減効果が見られた。CD、EF断面でも浸水深を減少させる効果が見られた。

図-2.3.15は最大流速の平面分布を比較したものである。図から、被災した状態でも海岸堤防は最大流速を軽減する効果があることがわかった。

図-2.3.16、図-2.3.17は、浸水深の時系列変化を比較したものである。図-2.3.16は堤防背後での浸水深時系列変化の比較であるが、ここでは海岸堤防に浸水時間を遅らせる効果は見られなかった。図-2.3.17は遡上域内での浸水深時系列を比較したものであるが、ここでは海岸堤防があることにより、1から数分程度浸水を遅らせる効果が見られた。南部の堤防被災が多いF地点では遅らせる効果は見られなかった。

以上から、海岸堤防については津波が越流した場合でも、浸水深や水勢（流速）の低減効果があり、全壊の可能性を少しでも減らすことで減災効果を有することが分かった。

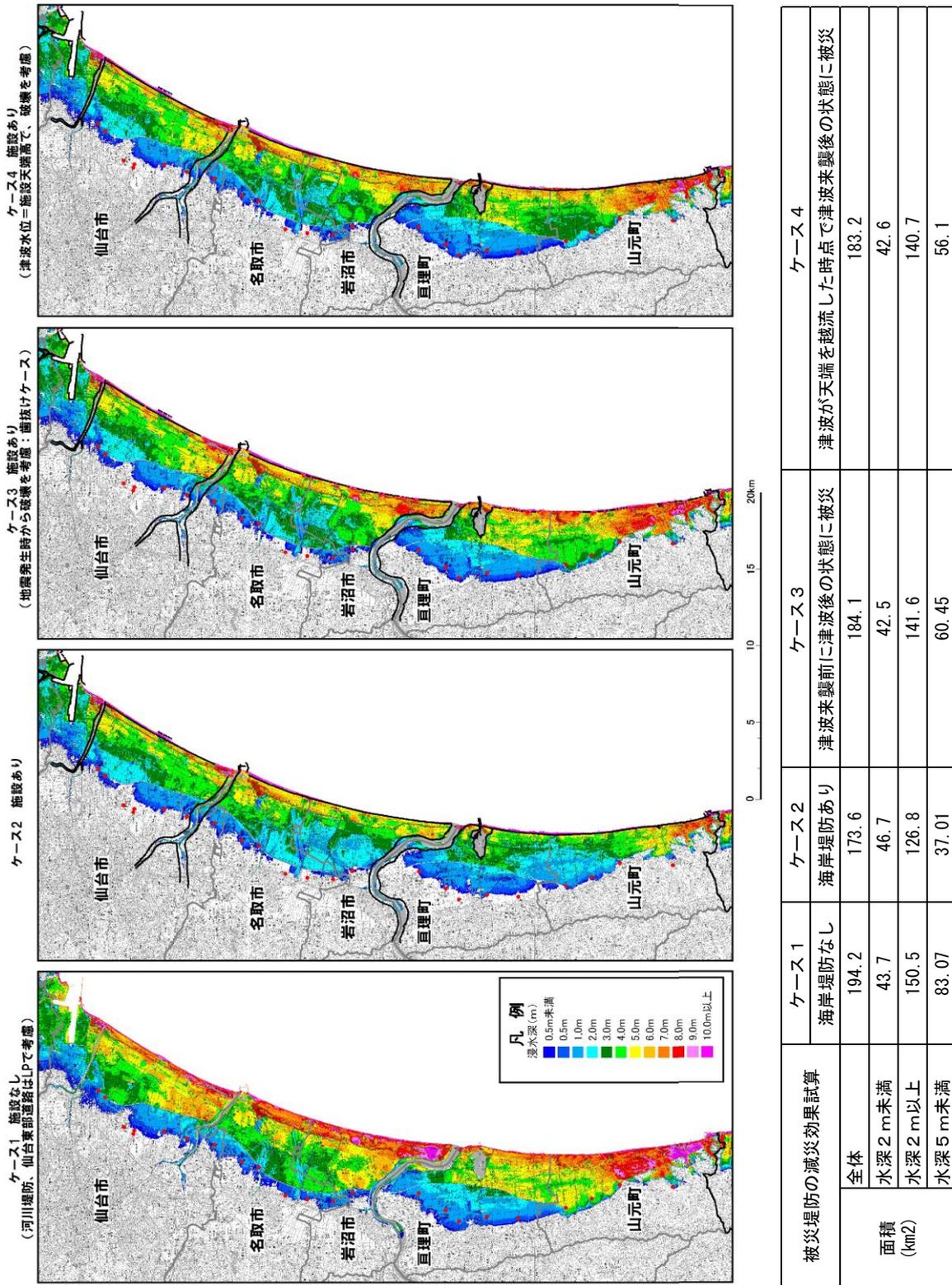


図-2.3.13 計算結果（最大浸水深図）

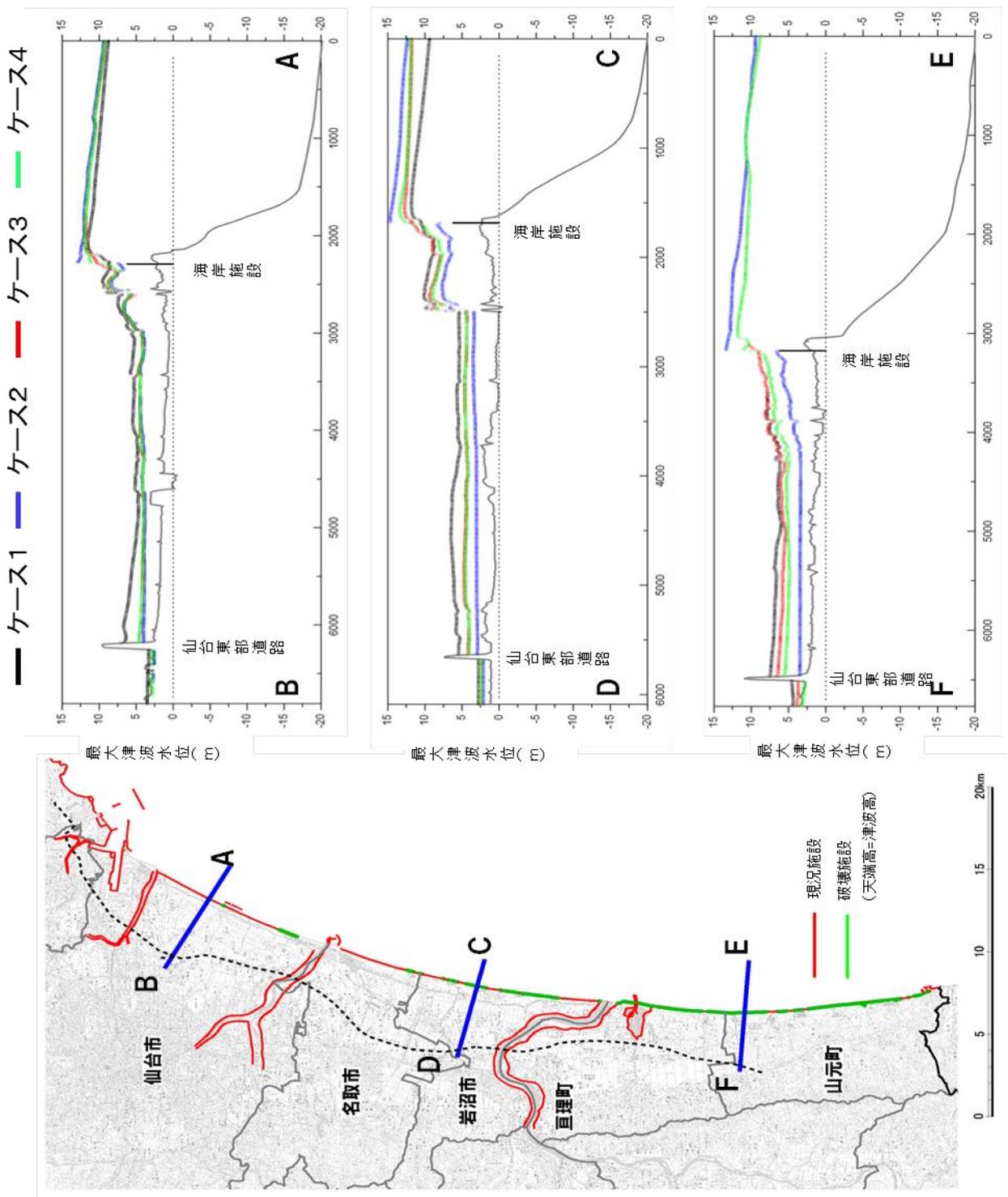
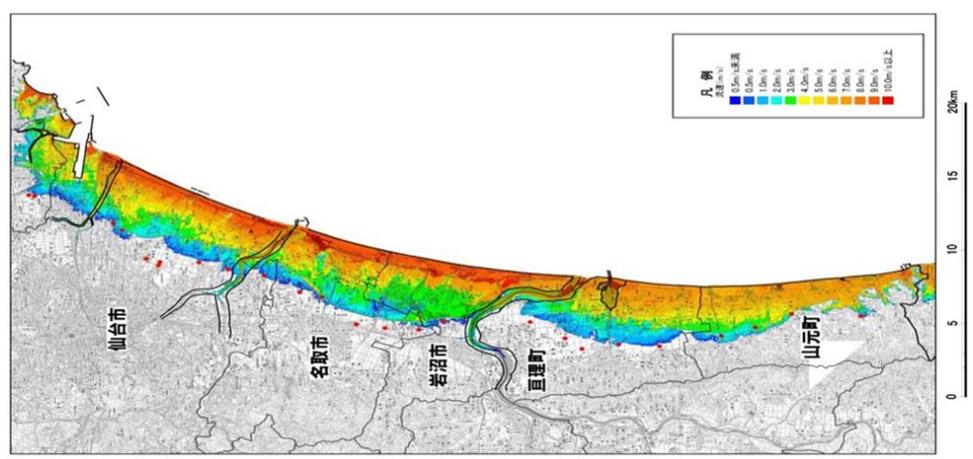
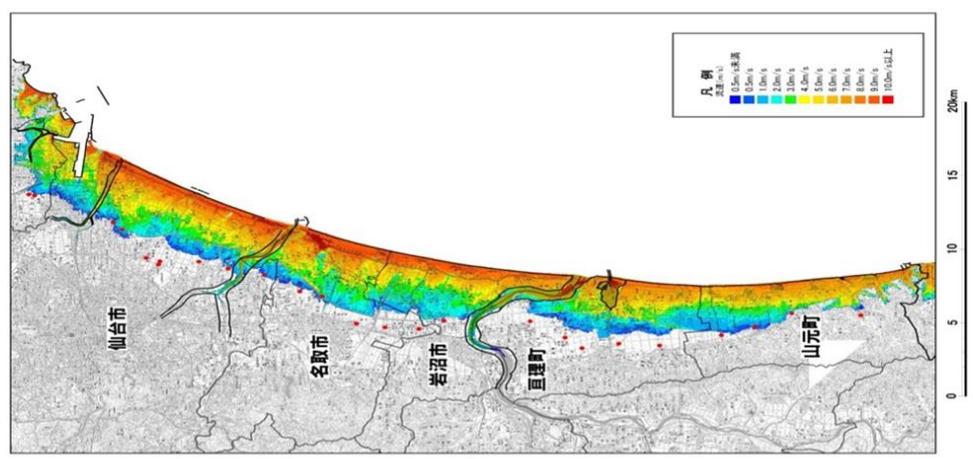


図-2.3.14 計算結果（最大浸水標高断面図）

ケース4 海岸堤防有り
 (津波水位＝施設天端高の時点で施設破壊を考慮)



ケース2 海岸堤防有り
 (被災せず機能発揮)



ケース1 海岸堤防無し
 (河川堤防、仙台東部道路は考慮)

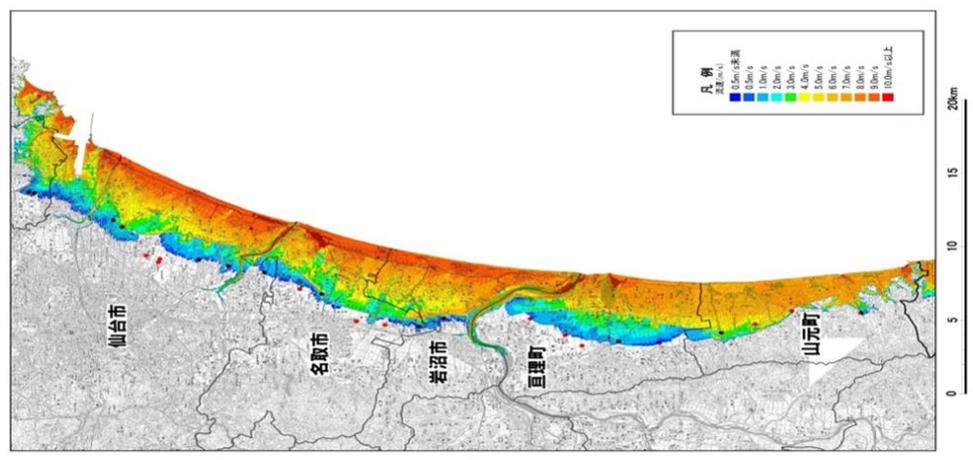


図-2.3.15 計算結果 (最大流速分布)

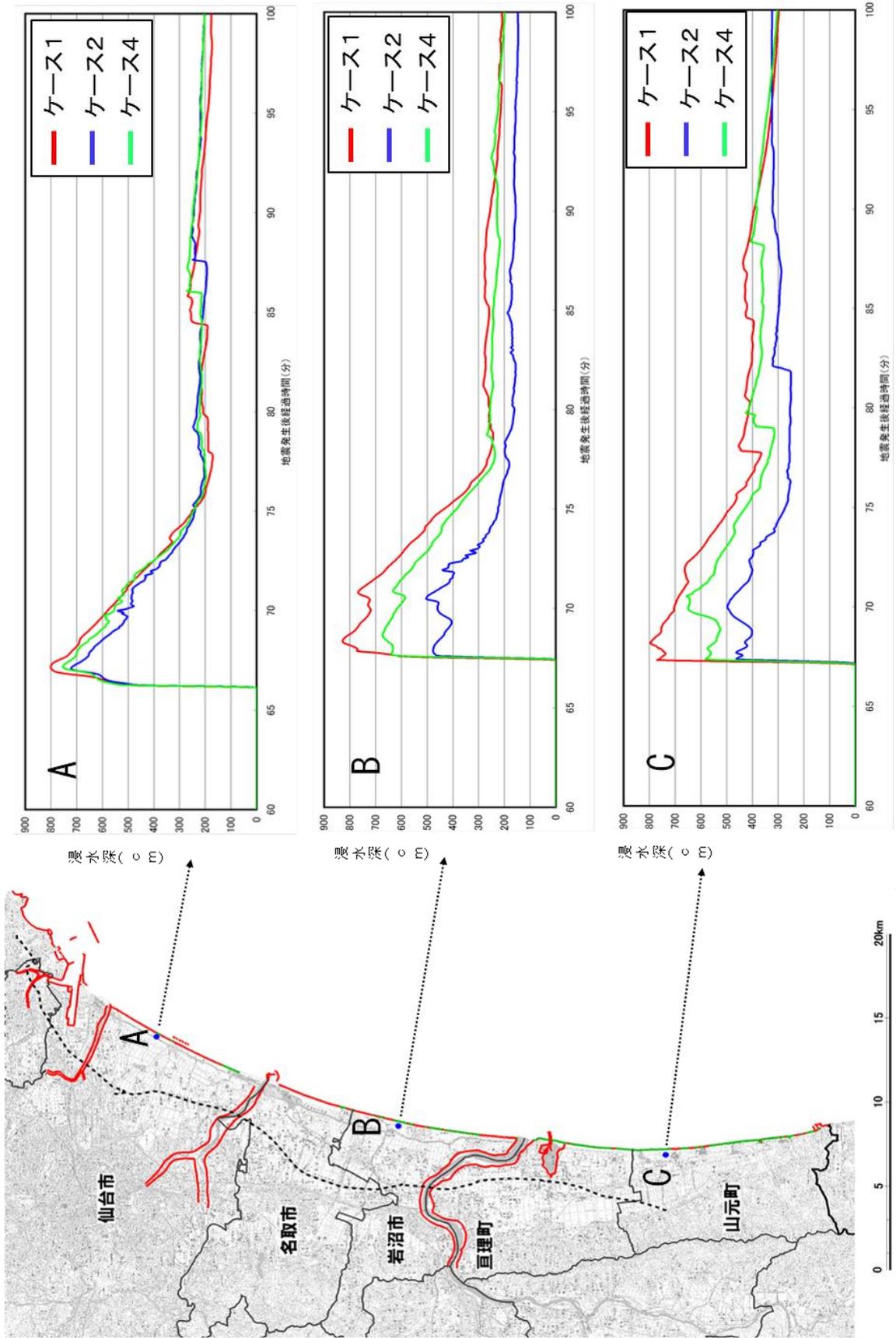


図-2.3.16 計算結果（浸水深時系列 堤防背後）

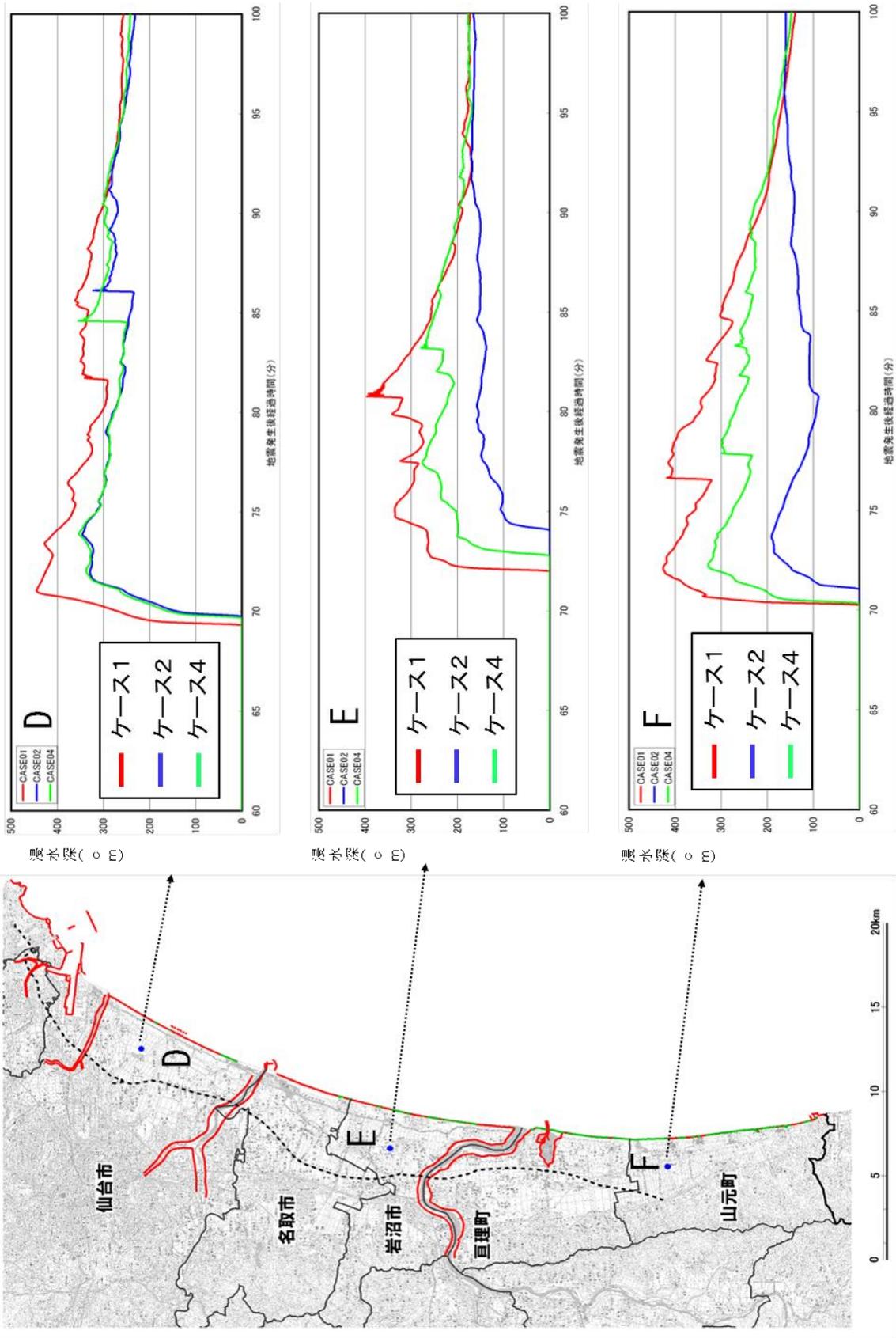


図-2.3.17 計算結果（浸水深時系列 遡上域）

2.4 河川堤防被災調査

2.4.1 研究の背景と目的

国総研では、津波の作用による河川堤防の被災について、被災の形態・程度のカテゴリとその空間的分布、それらと痕跡水位縦断分布との対応、越流による堤体侵食の程度と越流の水深・継続時間の関係などについて整理し、被災の特徴について分析した。

2.4.2 河川堤防の被災の特徴

東北地方管内の直轄河川管理施設の地震及び津波による被災箇所数は1195箇所を上り、北は馬淵川、南は阿武隈川上流まで広い範囲で被災した。堤防被災箇所773箇所のうち、堤防決壊・崩落等の大規模な被災は北上川、鳴瀬川、阿武隈川に集中しており、「決壊・崩落」、「陥没・沈下、亀裂」の被災は、堤防被災箇所全体の約6割を占め、その延長は約66kmであった。なお、堤防が決壊した箇所は、新北上川左岸2.8kp付近（月浜第二水門取付け部）及び右岸4.2kp付近、鳴瀬川右岸0.2kp付近の特殊堤、阿武隈川河口左右岸の海岸堤防との接続部と限定的であった。破堤に次いで大きな被災は、越流に伴う堤防裏のり及び背後の堤内地盤であり、津波遡上に伴う高流速によるのり面の被災は軽微であった。

本項では、破堤に次いで大きな被災であった越流に伴う堤防裏のり及び背後の堤内地盤の侵食について、阿武隈川を対象として、津波による被災の程度と津波遡上時に作用した外力との関係を整理する。



図-2.4.1 津波痕跡水位と堤防高の関係及び被災状況（写真は国土地理院撮影）

図-2.4.1は、被災直後に撮影された阿武隈川河口付近の航空写真に、痕跡水位と堤防天端高との関係、河川堤防裏のりの被災状況について、以下に従ってそれぞれの区間を示す。図-2.4.2に示すとおり痕跡水位と堤防天端高との関係については、現地踏査や津波痕跡調査結果を参考にして、水没区間、越流区間、堤防高以下遡上区間の3区間に分けた。

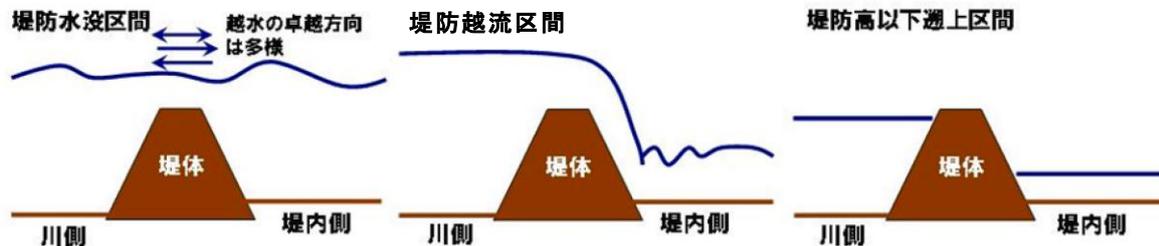


図-2.4.2 河川への津波遡上状況の三分

表-2.4.1 被災状況の分類

被災レベル	裏のり面
I	草本植物が流れの作用で倒伏しているが、剥離はほとんど見られない。
II	部分的なりのり面植生の剥離、堤体の侵食が生じた状態。落堀の形成はない、または軽微。
III	全面的にのり面が侵食・崩壊し、鉛直に切り立った状態。落堀の形成を伴う場合がある。
IV	のり面が流失し、さらに天端まで侵食・崩壊が及んだ状態。落堀の形成を伴う場合がある。

被災状況については、表-2.4.1の通り4つの被災レベルに分類した。被災レベルが記入されていない区間は特筆すべき被災が生じていない。なお、裏のり面はコンクリート等で覆われておらず、草本植物が繁茂していた。水没区間は河口部周辺に限られ、上流に向かって、越流区間、堤防高以下遡上区間が現れることから、遡上に伴い津波水位が減衰したことを確認できる。ただし、越流区間の延長は左右岸で大きく異なり、左岸では0.5 km程度の延長であるのに対して、右岸では2km程度と長い。河口部右岸を除くと、亘理大橋右岸で堤防高を5m近く超える津波痕跡水位が確認されており、津波の遡上に対して湾曲部外岸側となった右岸側で津波水位が高かったことを推定できる。河口部付近の水没区間では、河川堤防と海岸堤防との接続部において左右岸とも堤防が決壊している。その地点を除くと、左岸では0.55km地点の水門周辺で被災レベルⅢとなったが、大半が被災レベルⅠであるのに対して、右岸ではⅢ～Ⅳと被災レベルが高くなっていた。越流区間でも同様に、左右岸の被災の程度が大きく異なり、左岸側では被災レベルⅠであるのに対して、右岸側では約2kmにわたる広い範囲で被災レベルⅡやⅢとなっていた。さらに、越流区間の右岸では、被災レベルⅠであった0.8～1.2km区間の上流で被災レベルⅡやⅢの区間が生じている。

亘理大橋右岸側において、その下流に比較して高い痕跡水位が確認されていたことを踏まえると、被災レベルは越流水深とある程度対応していると推察されるが、そのみで左

右岸での被災レベルの差異を全て説明できるとは考えにくい。この点については、堤内地が河川側からの越流に先んじて湛水することで、もしくは越流後短時間で堤内地が湛水することで、ウォータークッションの効果が働き（図-2.4.3）、裏のり面及び法尻の侵食が抑制されたと考えた。以下では、今次津波を対象とした津波遡上シミュレーション結果（以下、再現計算）から、被災の程度を分けた要因を定量的に検討する。

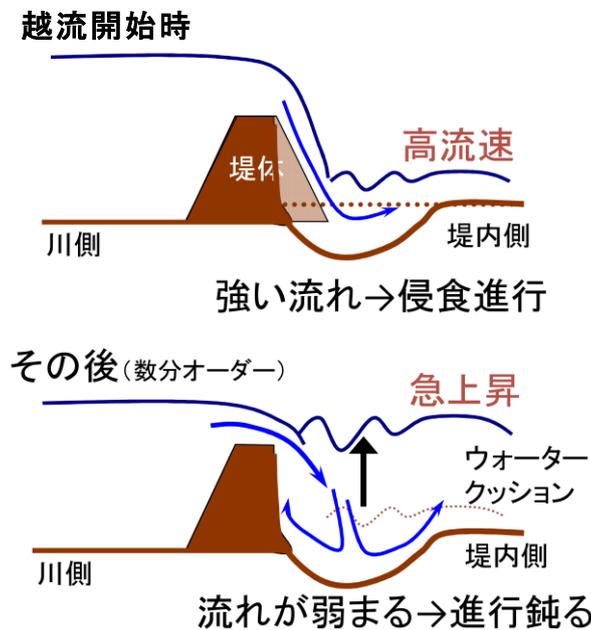
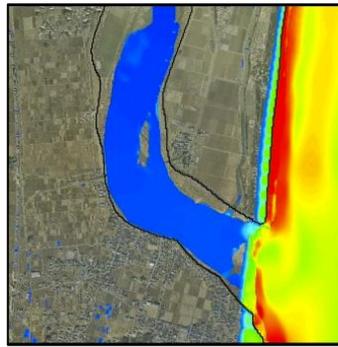
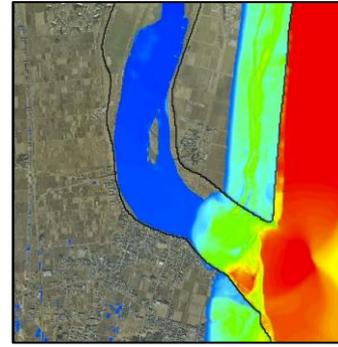


図-2.4.3 堤内側の水位急上昇による侵食進行の抑制イメージ

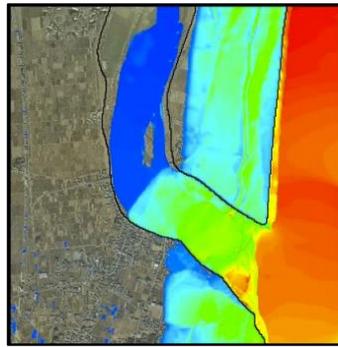
再現計算から得た津波の伝播状況を図-2.4.4に示す。海岸堤防を越えた津波は、左右岸とも同程度の伝播速度で遡上し、海岸堤防越流3分後には左岸側河川堤防によって津波の遡上が止まり、右岸側ではさらに遡上を続けている。左岸側堤防際では、津波が河川を遡上するのとほぼ同時に、水位が6m程度（凡例の緑系）まで上昇している。一方、右岸側堤防際では、津波が河川を遡上した後に水位3m以下（凡例が青系）の低水位領域が確認される。この堤防法線が津波遡上に対して離れていく配置となっていた右岸側では、区間によって継続時間に差があるものの、堤内地の湛水深が小さい状態で越流が生じていたこととなる。その顕著な例が、海岸堤防越流3分後の状況であり、赤い点線で囲んだ箇所では、堤内地を遡上する津波が堤防際に到達する数分前に越流が生じている。



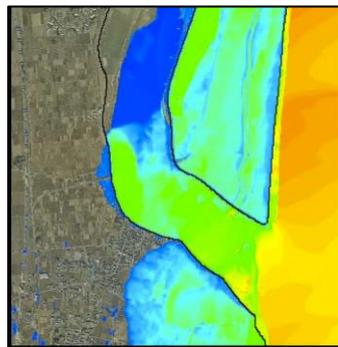
(1) 海岸堤防越流直後



(2) 海岸堤防越流 1 分後



(3) 海岸堤防越流 2 分後



(4) 海岸堤防越流 3 分後

図-2.4.4 津波の伝播状況 (写真は国土地理院撮影)

この状況を詳細に確認するため、図-2.4.1の地点A~Fで河川側水位と堤内側水位の時間変化を再現計算から抽出し、越流時間や被災レベルと合わせて図-2.4.5に示した。越流時間等に付した括弧内の数字は、単位を秒とする越流時間及び初期越流時間である。ここで、越流時間は河川側水位が堤防高を超えている時間であり、地点Eのように堤内側水位が河川側水位を上回った場合には、その時間までを越流時間とした。初期越流時間は、河川側水位が堤防高を超えた時点から、越流水が法尻付近で跳水する程度に、堤防際が湛水までの時間とした。なお、これをウォータークッションの効果が働く湛水位と考えた。

水没区間の地点Aと地点Eでは、越流時間は同程度であり、最大の越流水深が地点Aでは約6m、地点Eでは約3mと異なるものの、河川堤防の越流に対する脆弱性を考えると、ともに大きな値である。初期越流時間を見ると、地点Aでは6分程度であるのに対して、地点Eではゼロと越流開始時点でウォータークッションの効果が働いていたことを確認できる。したがって、地点Eの被災の程度はウォータークッションによって低減されたと考えられる。

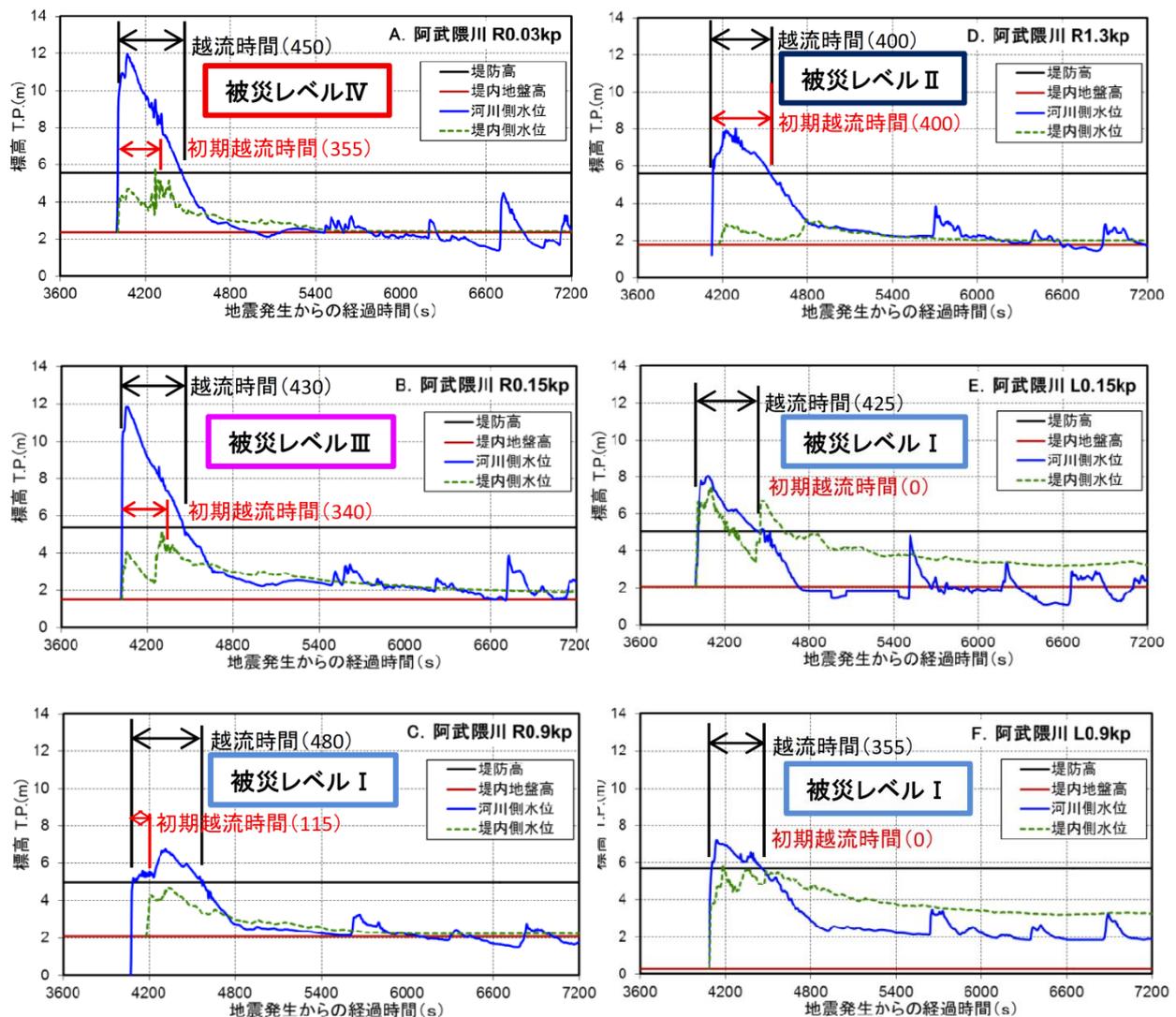


図-2.4.5 津波の伝播状況（写真は国土地理院撮影）

越流区間の左右岸で比較すると、右岸側の地点B、C、Dでは最大の越流水深が左岸側の地点Fに比べ大きめであるが、越流時間は6～8分程度と左右岸で大きな差はない。初期越流時間で比較すると、地点Fでゼロであるのに対して、地点B、C、Dでは2～7分程度と差がある。これらの越流区間の4断面の結果を見ると、初期越流時間が長いほど、またその間の越流水深が大きいほど、被災レベルが大きくなる。右岸で見られた区間ごとの被災レベルの違いは、地点B、C、Dの3断面で見たように、堤内地の湛水状況によって説明できるようである。

上記で6断面について確認した結果を水没区間及び越流区間の全断面で比較し、堤防の被災の程度を分けた要因として初期越流時間が重要であることを示す。

被災の程度を評価するにあたって、現地調査から大まかに分けた区間設定でなく、より客観的な指標で堤防の被災の程度を表現することを考える。堤防を堤内地盤も含めて10m間隔で輪切りにした断面を作成し、裏のり面及び堤内地盤について侵食された面積を欠損面積とする。欠損面積を、図-2.4.6の中央付近に示す裏のり基準断面積で割り、欠損割合

とする。堤防の欠損割合を算定するにあたり、地震の影響で生じた地盤の水平・鉛直変位を補正した、地震発生前後の航空測量データ及び定期横断測量成果を用いた。堤防欠損量を踏査結果に代えて用いるにあたり、両者の関係を比較した（図-2.4.6参照）。被災レベルⅠのほとんどが欠損割合0-2%であり、被災レベルⅣは全て欠損割合100%以上となっている。被災レベルⅡとⅢは異なる欠損割合に分散しているが、Ⅱは小さい欠損割合に多く、Ⅲは大きい欠損割合に多くなっており、欠損割合は被災の程度と整合する。このことから、被災レベルに代えて、欠損割合を用いることができると考える。

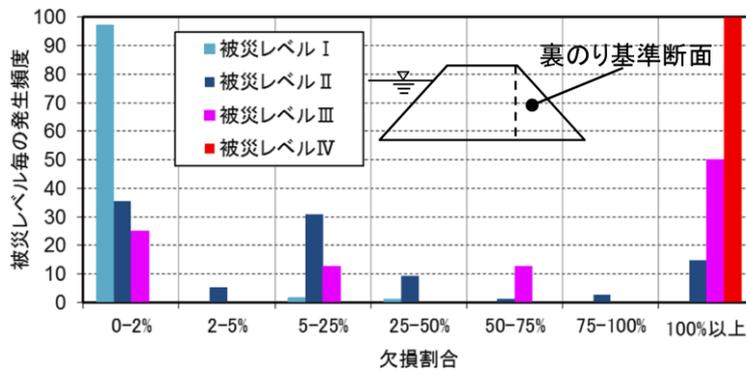


図-2.4.6 堤防の欠損割合と被災レベルの関係

図-2.4.7は、越流時間を横軸に、平均越流水深を縦軸とし、欠損割合ごとにプロットの形状を変え、越流条件に応じてプロットした結果である。また、プロットの色を分けている。ここで、平均越流水深は越流時間で生じた越流水深の平均値である。図では右上に行くほど越流条件が激しくなり堤防の欠損割合も大きくなると考えられるが、欠損割合ごとのプロットの境界が曖昧である。図-2.4.8は、図-2.4.7の縦軸を初期越流時間における越流水深の平均値とし、横軸も初期越流時間で整理し直した結果である。赤い点線で囲んだ一部の範囲を除き、欠損割合ごとの境界が明確となる。

以上の結果から、同程度の越流条件でありながら被災の程度が異なった理由は堤内地の湛水状況であり、湛水せずに越流を受けていた時間が長い断面ほど、大きな侵食を受けたと考えられた。

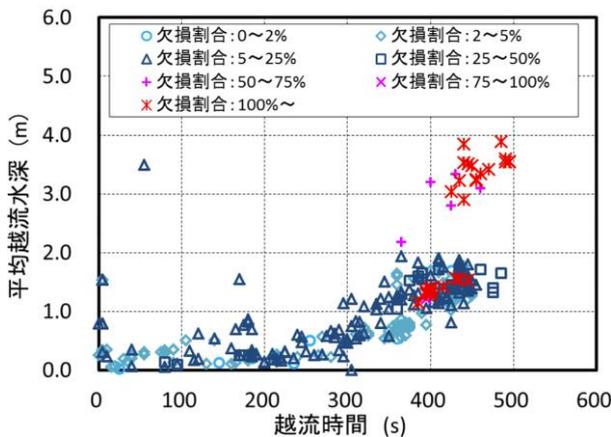


図-2.4.7 越流状況と堤防欠損割合の関係

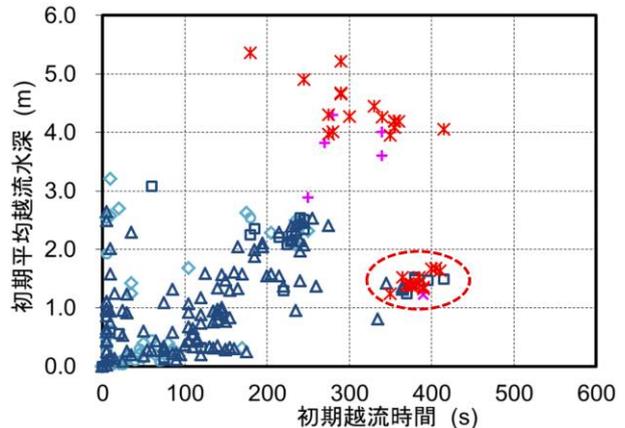


図-2.4.8 越流状況と堤防欠損割合の関係
(堤内地の湛水状況を考慮)

2.5 建築物被害調査

2.5.1 調査概要

2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震では東北地方沿岸部をはじめ広範囲において津波による被害が発生した。一部の地域では計測された浸水深が10mを超え、木造建築物のみならず、鉄筋コンクリート造（以下、RC造）建築物や鉄骨造建築物にも層崩壊や転倒などの甚大な被害が少なからず生じている。国土交通省 国土技術政策総合研究所では独立行政法人 建築研究所(当時)と合同の自主調査という位置づけで地震発生から約3週間経過した3月30日から岩手県および宮城県において建築物の津波被害調査を実施した。3回に及ぶ現地調査において合計約100棟の建築物や工作物等の被害事例を収集した。また、建築研究所は国土交通省 建築基準整備促進事業における津波避難ビル等の構造設計法等の検討委員会(委員長: 東京大学生産技術研究所 中埜 良昭 教授)において、これらの被害調査結果に基づき、建築物に作用する荷重と構造物耐力の比較を行い、建築物に生じる津波被害について基礎資料を得るとともに、津波避難ビルの設計に用いる津波荷重の検討を行っている^{4, 5, 6, 7}。本稿では現地調査において観察されたRC造建築物に生じた津波被害を分類し、津波荷重を検討するために被害が生じた建築物について静水圧作用荷重と構造物耐力を比較した結果を示す。なお、当該調査の結果は、国総研資料第674号「平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震被害調査報告」に掲載しているが、本報告では、その概要について以下のとおり述べる。

2.5.2 鉄筋コンクリート造(RC造)建築物の被害形態

東北地方太平洋沖地震の現地調査結果においてRC造建築物の被害として以下のような被害形態が挙げられる。なお、津波により建築物に生じる荷重は浸水深のみならず流速や浮力などが大きく影響していたと考えられるが、RC造建築物の主架構に甚大な被害を与えた構造被害は計測浸水深が概ね7m以上の地域で確認されている。なお、計測浸水深は対象構造物の所在地域で計測された津波の痕跡深さの最大値と定義している。

(1) 1階の層崩壊

建築物の1階の柱が柱頭・柱脚で曲げ破壊し、層崩壊した事例が平屋および2階建ての建築物で見られた。主架構は純ラーメン構造であり、柱間にはコンクリートブロック造壁が設けられているが、面外方向に倒壊している。柱幅は350~450mm程度と小さく、鉄筋はいずれも丸鋼が使用され、旧耐震基準による建築物である。層崩壊した建築物は岩手県陸前高田市で合計6棟、宮城県名取市閑上でも1棟確認されている。なお、現地調査では津波の作用方向にRC造耐力壁を有するまたは3階建て以上の建築物では1階の層崩壊は確認されていない。



図-2.5.1 層崩壊

(2) 部分的な崩落

柱および外壁がRC造、屋根が鉄骨造の議会ホールや体育館などの大空間建築物において、鉄骨造の屋根が脱落し、片持ち形式となったRC造の柱や壁などが面外方向に倒壊する被害が見られた。屋根が崩落した建築物は岩手県陸前高田市、岩手県南三陸町、宮城県名取市荒浜でそれぞれ1棟ずつ確認されている。



図-2.5.2 部分的な崩落

(3) 移動・転倒

建築物が移動または転倒する事例が4階建てまでの建築物において見られた。移動または転倒した建築物において計測された浸水深は建築物高さを上回っていた。転倒した建築物は直接基礎が多いが、杭基礎で杭が引き抜かれている事例も見られた。これらの杭では径300 mmのPC杭が使用されていた。また、同規模の建築物で比較すると開口が少ないものに転倒が多く見られたことから、開口の大きさが転倒に大きく影響したと考えられる。残存した2階建て建築物においては開口上端の高さまで津波の水痕が確認されており、少なくとも開口上端から天井までの部分は空気溜りとなっていた。特に、開口が小さい建築物ほど建築物内への水が流入しづらく、浮力が働き転倒が生じやすいと考えられる。転倒した建築物は宮城県女川町で5棟見られ、岩手県陸前高田市で2棟、岩手県大槌町でも1棟確認されている。



図-2.5.3 転倒

(4) 内外壁の面外破壊

津波荷重が作用する面の内外壁にコンクリートにひび割れが生じて、面外方向に大きくはらむ事例、さらには壁縦筋が壁頭・壁脚で破断する事例が見られた。本被害は厚さ120mmでシングル配筋の非構造壁に多く見られたが、2階が一部吹抜けとなった建築物において、厚さ300mmの耐力壁が付帯する梁や柱とともに内側に大きく湾曲した事例が見られた。ただし、当該建築物の2階床が取り付く耐力壁では湾曲するような被害は見られなかった。内外壁の面外破壊は現地調査を実施した各地域で数例確認されている。



図-2.5.4 外壁の面外破壊

(5) 洗掘

襲来した津波が建築物に遮られることで、基礎隅角部等で強い下向きの水流が発生し、基礎周辺地盤に大きな穴が開けられた痕跡が見られた。直接基礎の低層建築物では、洗掘により基礎が沈下し、建築物が倒れ込み傾斜したのが見られた。杭基礎の構造物においては杭頭が露出するものの、構造物の傾斜は確認されなかった。直接基礎の建築物の傾斜は岩手県山田町、宮城県名取市で1棟ずつ確認されている。



図-2.5.5 洗掘

(6) 漂流物の衝突

漂流物の衝突による被害は、窓や天井材など非構造部材の脱落を引き起こしたものがほとんどだった。躯体への明確な被害は多くはなかったが、宮城県名取市荒浜および岩手県陸前高田市の集合住宅の連層耐力壁において衝突により生じたと思われる開口が確認されている。



図-2.5.6 漂流物の衝突

2.5.2 静水圧式による津波作用荷重評価

内閣府「津波避難ビル等に係るガイドライン」⁸では一般財団法人日本建築センターの自主研究に示された津波波圧算定式を参照し^{9、10}、設計用浸水深 h （自治体等がハザードマップ等で公開する想定される浸水深(建物の堰上げの影響を含まない)）の津波を建築物が受けた場合、高さ $3h$ の静水圧に相当する波圧分布を生じるとし、波圧は三角形分布形としている(図-2.5.7参照)。これは朝倉らが実施した水理実験において構造物に作用する波圧計測結果¹¹に基づき、設計用津波荷重を動的な影響も含めて安全側に評価したものと考えられる。なお、2004年スマトラ島沖地震の被害調査において中埜らは構造物を対象として設

計用津波荷重に関する検討を実施している。本検討では、計測された浸水深に対する構造物耐力相当時の静水圧荷重を与える浸水深の比を水深係数 a と定義し、倒壊した構造物と残存した構造物の境界線となる水深係数 a は2.0～2.5程度であり、設計上の安全性余裕率を考慮した水深係数3の値は妥当であると報告されている¹²。

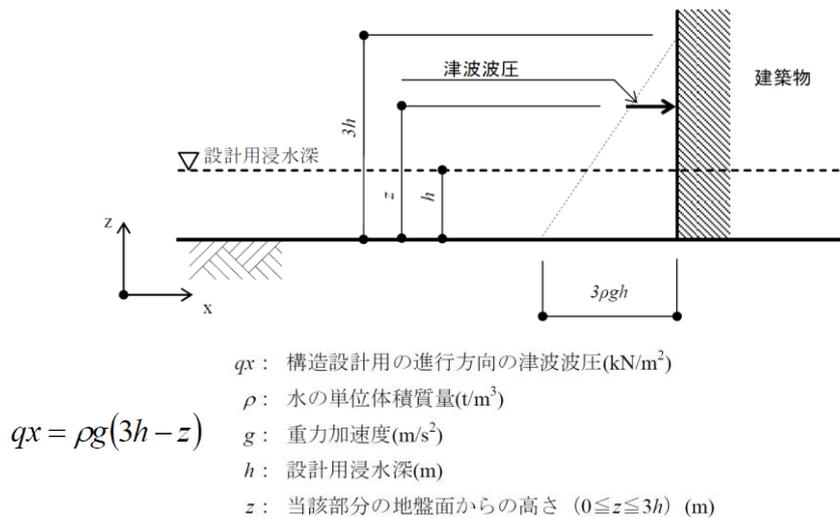


図-2.5.7 内閣府ガイドラインにおける津波波圧算定式

2.5.3 鉄筋コンクリート造構造物耐力と津波作用荷重の比較

本検討では静水圧荷重により建築物に作用する津波波力及び構造物耐力を比較した例について示す。静水圧荷重における検討では2004年スマトラ島沖地震の津波被害調査において中塾らが使用した構造物耐力相当時の浸水深 h_{eq} の計測された浸水深に対する比である水深係数 a を算定した。なお、RC造建築物の単位床面積重量は比較的低層の建築物を検討の対象としているから14 kN/m²と仮定している。丸鋼の降伏応力度は294 N/mm²、コンクリート圧縮強度は21 N/mm²としている。

図-2.5.8に国土技術政策総合研究所が現地調査を行った層崩壊および残存した建築物について、計測浸水深と水深係数 a の関係を示す。配筋が不明な建築物が多数であるため、構造物耐力はすべて耐震1次診断基準¹³における強度評価式で評価している。また、津波が直接作用する構面における開口による荷重低減効果を考慮している。浸水深10m以下の建築物では1棟のみ倒壊が確認されており、本建築物の水深係数 a は0.91であった。また、水深係数 a が1より小さいにも関わらず倒壊を免れた建築物が確認された。本建築物は側面に大きな開口を有しており建物内部に水が回りこむことによって作用荷重が小さく留まったと考えられる。一方、浸水深が10mを超過した地域では水深係数 a が1より小さいにも関わらず倒壊を免れた建築物が多数確認された。これは最大浸水深の静水圧分布を用いて仮定している津波波圧の作用状況とは大きく異なっているため、最大浸水深時の流速がそれほど大きくなっていないことなどに起因していると推察される。本検討結果より浸水深の大きな地域ではやや安全側の評価となるものの、東北地方太平洋沖地震において建築物に作用した最大津波荷重は概ね計測浸水深の静水圧荷重(水深係数 a が1)で表されることが考えられる。

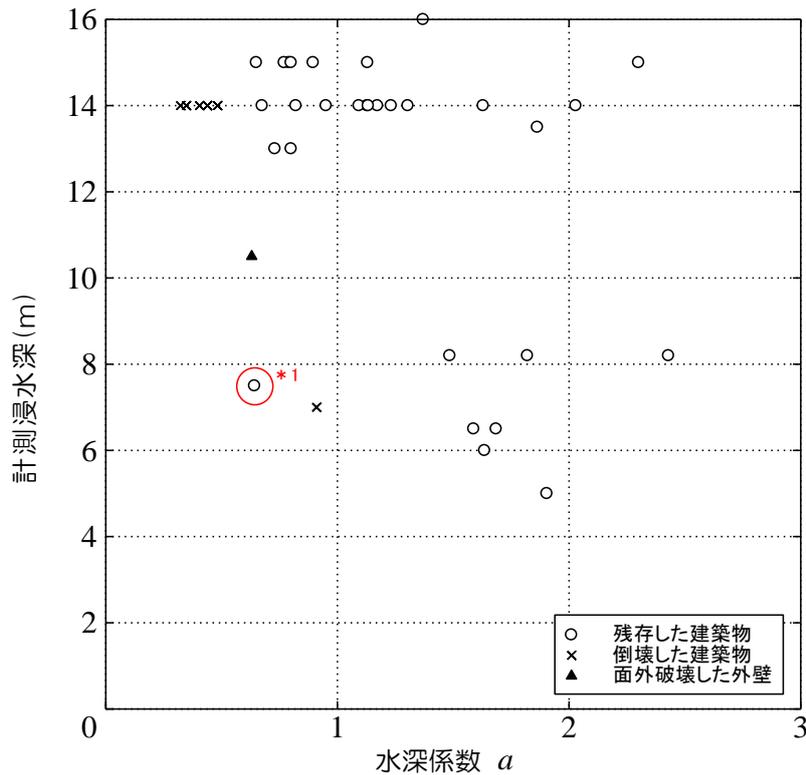


図-2.5.8 層崩壊した建築物に関する計測浸水深と水深係数 a の関係

* 1 開口が大きく建物内に水が早期に流入した可能性が高い建築物

2.5.4 鉄筋コンクリート造工作物に関する検討

国土交通省 平成23年度建築基準整備促進事業では建築物と同様に鉄筋コンクリート造の壁、独立柱等からも津波作用荷重の推定を行っており、建築物のみの検討とは異なり、鉄筋コンクリート造工作物は浸水深の大小に関わらず水深係数 a が1以上の範囲で転倒等の構造物基部破壊に至る被害が複数事例確認されている。

比較的単純な工作物45件および鉄筋コンクリート造建築物の自重に基づく転倒耐力以外で耐力評価した36棟の両者について、津波荷重と被害形態・程度の対応関係を検討すべく、図-2.5.9および図-2.5.10に、縦軸に計測浸水深 η m、横軸に構造物耐力相当の浸水深 $a\eta$ mを計測浸水深 η mで除した比として定義した水深係数 a をとってまとめた。建築物は崩壊または残存した物を対象とし、転倒した物は含まない。また、津波波力が構造物の立地条件により異なることを想定し、津波高さや防波堤や防潮堤などの津波防災施設の規模等を総合的に勘案し、海側に津波の波力低減を期待し得る遮蔽物がある構造物と、ない構造物とに分類した。

図-2.5.9によると遮蔽物による波力低減効果が期待できる場合は、計測浸水深 η mが概ね10m以下の場合では被害の有無(○と×等)の境界は水深係数 $a=1$ 程度(計測浸水深 η m相当)であると考えられる。一方、波力低減効果が期待できない場合を図-2.5.10に示す。調査対象群には該当する建築物はなく、比較的単純な工作物のみである。×が水深係数 $a=1$ を超えて数例プロットされており、計測浸水深の概ね1.7倍以上の静水圧に相当する波力

が作用したものと考えられ、遮蔽物の有無による波力低減効果の差が見られる。

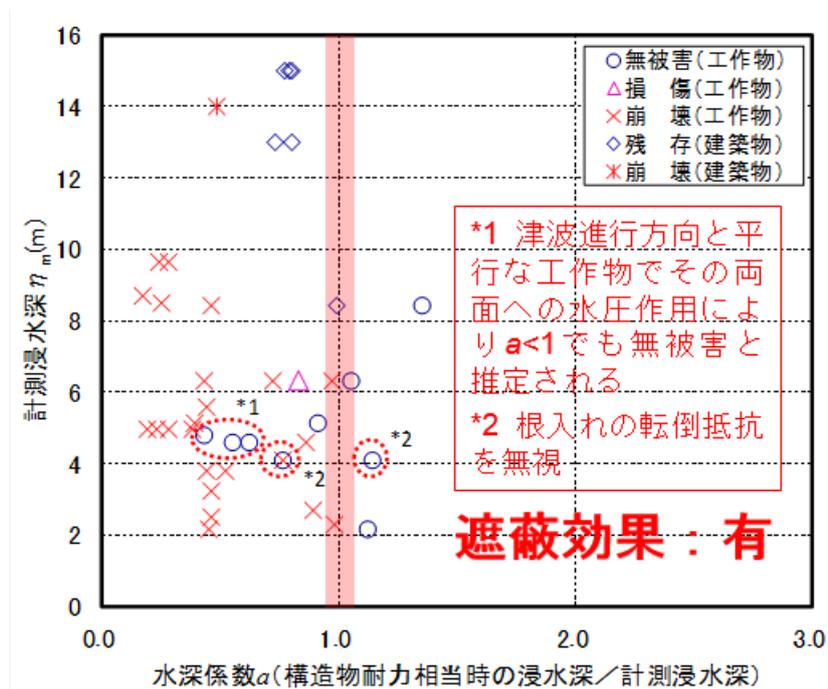


図-2.5.9 鉄筋コンクリート造工作物に関する計測浸水深と水深係数 a の関係 (遮蔽物による波力低減効果が期待できる場合)

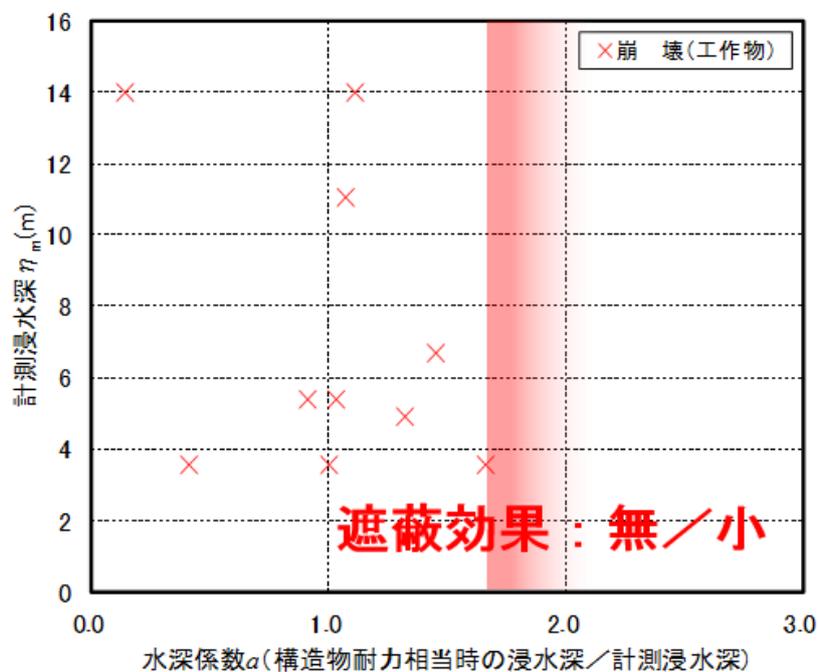


図-2.5.10 鉄筋コンクリート造工作物に関する計測浸水深と水深係数 a の関係 (遮蔽物による波力低減効果が期待できない場合)

2.6 都市防災拠点機能の喪失・回復等の実態調査

2.6.1 調査の目的及び方法

東日本大震災においては、東北地方太平洋沿岸部の津波被災都市を中心に、市町村役場や消防署、病院、その他の公共施設などの多くが、津波浸水や地震動により損壊した。そのため、これらの施設において展開するはずであった、各種の防災拠点機能が、都市全体として失われたり、欠損したりするなどして、自治体の自律的な災害対応に支障を生じることとなった。

沿岸都市において津波災害時の防災拠点施設の機能を担保するには、全てを高台に移転した上で耐震化を図ることが考えられる。しかし、これらの施設の多くは平時において市街地に近接することにより住民の利便に供し、あるいは中心市街地の活性化に寄与している側面もある。特に人口減少が進む地方都市には、個々の施設の取組みがその都市の衰退を導かないよう、都市の将来像と整合させつつ、耐浪・耐水・耐震化、移転、代替施設の整備等の取組みを計画的に進めることが望ましい。

本調査では上記の視点に基づいて、東日本大震災での津波被災都市における防災拠点施設の被害、防災拠点機能確保上の支障、及び機能回復の状況等を調査し、都市・地区スケールでの防災拠点機能確保に際してみられた対応を整理した。

対象とする機能・施設については、災害対策の諸活動を統括する災害対応・復旧指令機能（災害対策本部が設置される市町村役場庁舎等）や、火災や被災者にかかわる消防・救援活動機能（消防署）、傷病者の救命・治療等の災害医療・救急活動機能（災害拠点病院等）、被災者の避難生活を受け入れる避難者収容機能（避難所）、及び外部支援の受入機能（公園等）とした。その上で、宮城・岩手両県を対象にこれら機能・施設の立地と津波浸水被害等の状況を概観し、さらにケーススタディ都市を選定しヒアリングを含む詳細調査を行った。

2.6.2 岩手県・宮城県における防災拠点施設の被災状況の収集・整理

2県の沿岸28市区町における防災拠点施設の被災・機能確保・移転等の状況を文献やインターネット情報等により収集・整理した。その概要を表-2.6.1にまとめる。

これによれば、中心市街地が津波により浸水した14都市の内、都市防災拠点施設が無被害であったのは、3都市に過ぎず、それ以外の都市では複数の種類の防災拠点施設が使用不能となるなどの大きな被害にあっている。実は、これらの都市における中心市街地の浸水の状況及び都市防災拠点施設の中心市街地への立地の状況、都市防災拠点施設の立地の点在・分散・集積の状況はさまざまであるが、こうした状況にかかわらず、津波被災時の都市防災拠点機能の維持が、沿岸都市にとっての大きな課題であることがわかる。

中心市街地の浸水の状況及び防災拠点施設の中心市街地への立地の状況、防災拠点施設の立地の点在・分散・集積の状況から、図-2.6.1に示す5パターンに分類した。この内、津波浸水被害と防災拠点施設の立地に関する都市計画上の課題がみられるのは、A～Dの類型であると考え、各類型から宮城県石巻市、岩手県釜石市、岩手県大船渡市、宮城県南三陸町の各1、計4市町を抽出し詳細調査を行った。

表-2.6.1 岩手・宮城両県の津波被災市区町における防災拠点機能の状況

	分類	災害対応・復旧指令	災害医療・救急活動	消防・救急活動機能	外部支援受入機能		
		役場本庁舎	災害拠点病院等	消防本部等庁舎	拠点施設の概要		
岩手県	洋野町	E	◎被害なし	—	◎被害なし	—	
	久慈市	E	◎被害なし	◎被害なし	◎被害なし	歴史民俗資料館(緊急消防援助隊)として機能	
	野田村	D	○一部浸水(玄関部分)	—	△一部浸水(1階部分)	—	
	普代村	E	◎被害なし	—	◎被害なし	—	
	田野畑村	E	◎被害なし	—	◎被害なし	—	
	岩泉町	E	◎被害なし	—	◎被害なし	—	
	宮古市	B	△一部浸水(1階部分)	◎被害なし	○一部損傷(亀裂)	—	
	山田町	A	△一部浸水(地下部分)	(×県立山田病院が浸水により機能停止、仮設診療所にて対応)	△一部浸水(1階部分)	遠野市運動公園(物資集積拠点)	
	大槌町	D	×全壊 →大槌小学校校庭に仮設庁舎	×2階まで浸水し機能停止(大槌高校救護所、上町ふれあいセンターを経て、現在は仮設診療所)	×全壊	寺野野球場(物資集積拠点)及び遠野市運動公園(物資集積拠点)	
	釜石市	B	×一部浸水(第一庁舎地階・1階) →代替施設にて業務実施	△地震動により一部が使用不可(耐震補強を実施し、業務を再開)	×一部浸水(第一庁舎地階・1階) →代替施設にて業務実施	物産センター(物資集配拠点) 交通事業者営業所(緊急車両給油拠点) 遠野運動公園を駐屯拠点として、釜石地区合同庁舎、消防本部小佐野出張所に活動部隊を展開	
大船渡市	C	○一部損傷(亀裂)	○壁面のひび割れ程度(病院機能に問題なし)	○一部損傷(亀裂)	東高校(緊急消防援助隊等)、住田町世田米小(英米支援部隊) 運動公園予定地→旧農業高校(自衛隊) 支援物資は種類別に集積場所を設定		
陸前高田市	D	×全壊	(×高田病院が全壊)	×全壊	竹駒IC・滝の里工業団地・オートキャンプ場等に分散野営(緊急消防援助隊)		
宮城県	気仙沼市	A	◎被害なし	◎被害なし ※建て替え検討中	◎被害なし	市営野球場(DMAT等)	
	南三陸町	D	×全壊(防災庁舎含む) →他施設にて業務再開	(×志津川病院が全壊) →患者は石巻赤十字病院へ救出・搬送。ベイサイドアリーナにて診療スペースを設置。	×全壊 →ベイサイドアリーナにて業務再開	ベイサイドアリーナ(物資受入拠点、外部支援受入拠点) 緊急消防援助隊は登米市総合体育館を駐屯拠点、ベイサイドアリーナを活動拠点に。	
	女川町	D	×全壊 →仮設庁舎にて業務再開	(なし)女川病院は1階部分が浸水	×全壊(仮設庁舎にて業務再開)	総合運動公園(物資集積拠点)	
	石巻市	A	△一部浸水(1階部分)・一部損壊(6・7階部分)	◎被害なし (×市立病院は津波で機能停止、港湾病院は1階部分が浸水し2階以上で業務継続)	○一部浸水(地下ピット)	総合運動公園・専修大学(外部支援・物資受入拠点) 総合運動公園は近隣自治体支援部隊の駐屯や患者の後方へり搬送の中継も	
	東松島市	A	◎被害なし	—	◎被害なし	—	
	松島町	E	◎被害なし	—	◎被害なし	—	
	利府町	E	◎被害なし	—	◎被害なし	宮城県総合運動公園(緊急消防援助隊)	
	塩釜市	A	◎被害なし	被害なし(ICUが一時使用不可)	◎被害なし	—	
	七ヶ浜町	E	◎被害なし	—	◎被害なし	町役場庁舎3階(自衛隊詰所)	
	多賀城市	A	◎被害なし	—	◎被害なし	—	
	仙台市	宮城野区	E	◎被害なし	—	◎被害なし	—
		若林区	E	◎被害なし	—	◎被害なし	—
		名取市	E	△一部損傷(亀裂、天井脱落)	—	◎被害なし	市箱塚グラウンド(緊急消防援助隊)
		岩沼市	E	◎被害なし	—	◎被害なし	市民会館(緊急消防援助隊)
亘理町		E	×損壊(亀裂・使用不可) →仮設テント →プレハブ庁舎にて業務継続	—	◎被害なし	亘理消防署(緊急消防援助隊)	
山元町	E	◎被害なし	—	◎被害なし	小中学校グラウンド(緊急消防援助隊)		

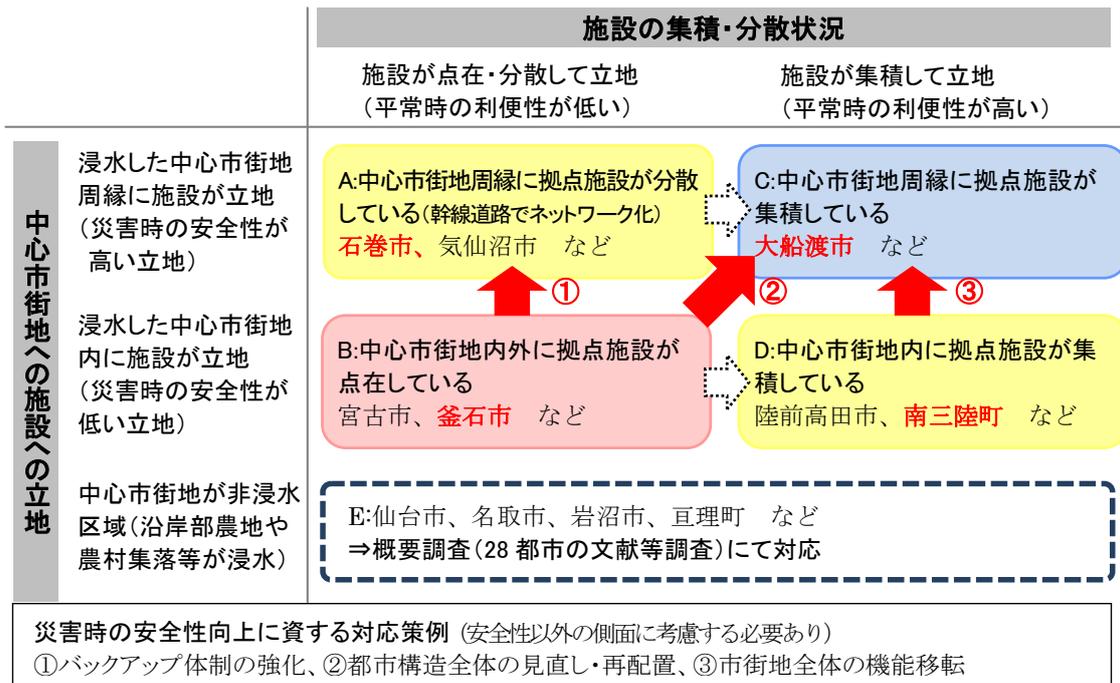


図-2.6.1 津波被災都市の浸水・防災拠点施設の立地状況によるパターン分類

2.6.3 宮城県石巻市での防災拠点機能の喪失・回復状況

状況の異なる石巻市・釜石市・大船渡市・南三陸町の4市町を対象に、都市防災拠点施設の被害とそれによる機能確保上の支障、機能回復と活動等の状況を文献や現地でのヒアリング等により、東日本大震災の翌年度と翌々年度の平成23年度から24年度にかけて実態調査した。対象とする都市防災拠点機能(施設)は、災害対策の諸活動を統括する災害対応・復旧指令機能(災害対策本部が設置される市町村役場庁舎等)や、火災や被災者にかかわる消防・救援活動機能(消防本部)、傷病者の救命・治療等の災害医療・救急活動機能(災害拠点病院等)、被災者の避難生活を受け入れる避難者収容機能(避難所)、及び外部支援の受入機能(運動公園等)とした。

調査の結果は、機能毎に時系列でフロー図として整理し、またそれらの位置関係等を災害対応のフェーズ毎に地図上に記入した活動展開図を作成した。図-2.6.2及び図-2.6.3は南三陸町を対象として作成したフロー図及び活動展開図である。これにより、各都市における被災後のフェーズ毎に、防災拠点機能の確保・喪失・回復といった状況や、防災拠点機能の移転・集約・閉鎖といった施設利用の状況、防災拠点施設における活動や施設間の機能代替・補完・連携等の関係などを、概観することが可能となった。

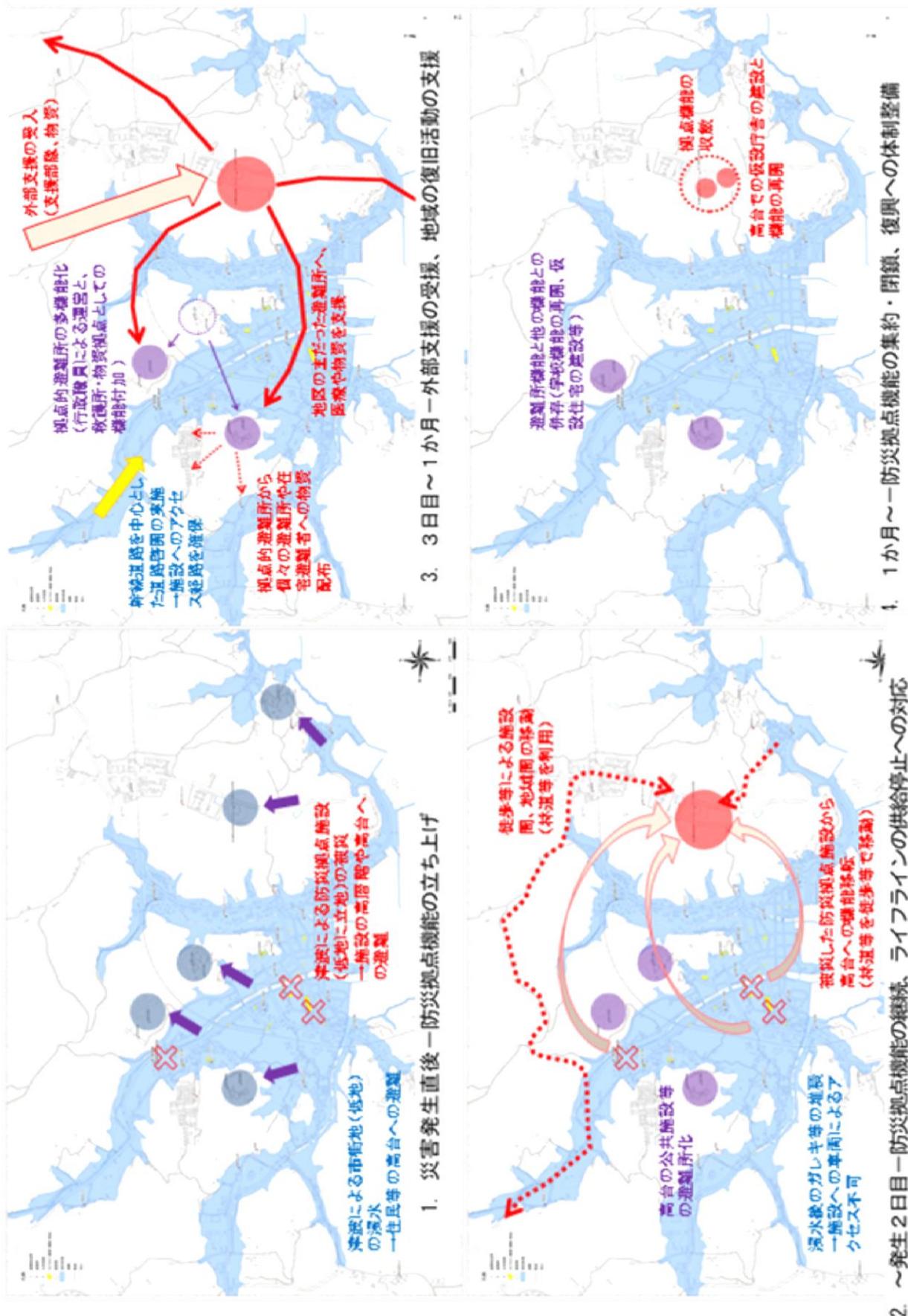


図-2.6.3 南三陸町における時期毎の都市防災拠点機能の展開状況

想定を上回る津波被害であったため、従来の地域防災計画に定めた対応とは多くの都市で異なったが、結果として、都市防災拠点施設（代替施設を含む）の都市・地区レベルにおける空間的な事象（配置・施設相互や幹線道路との位置関係等）が、施設の被災状況のみならず、応急対応及び復旧・復興期におけるその機能に影響を与えていることがわかった。みられた空間的な現象を整理すると、図-2.6.4 のようになる。

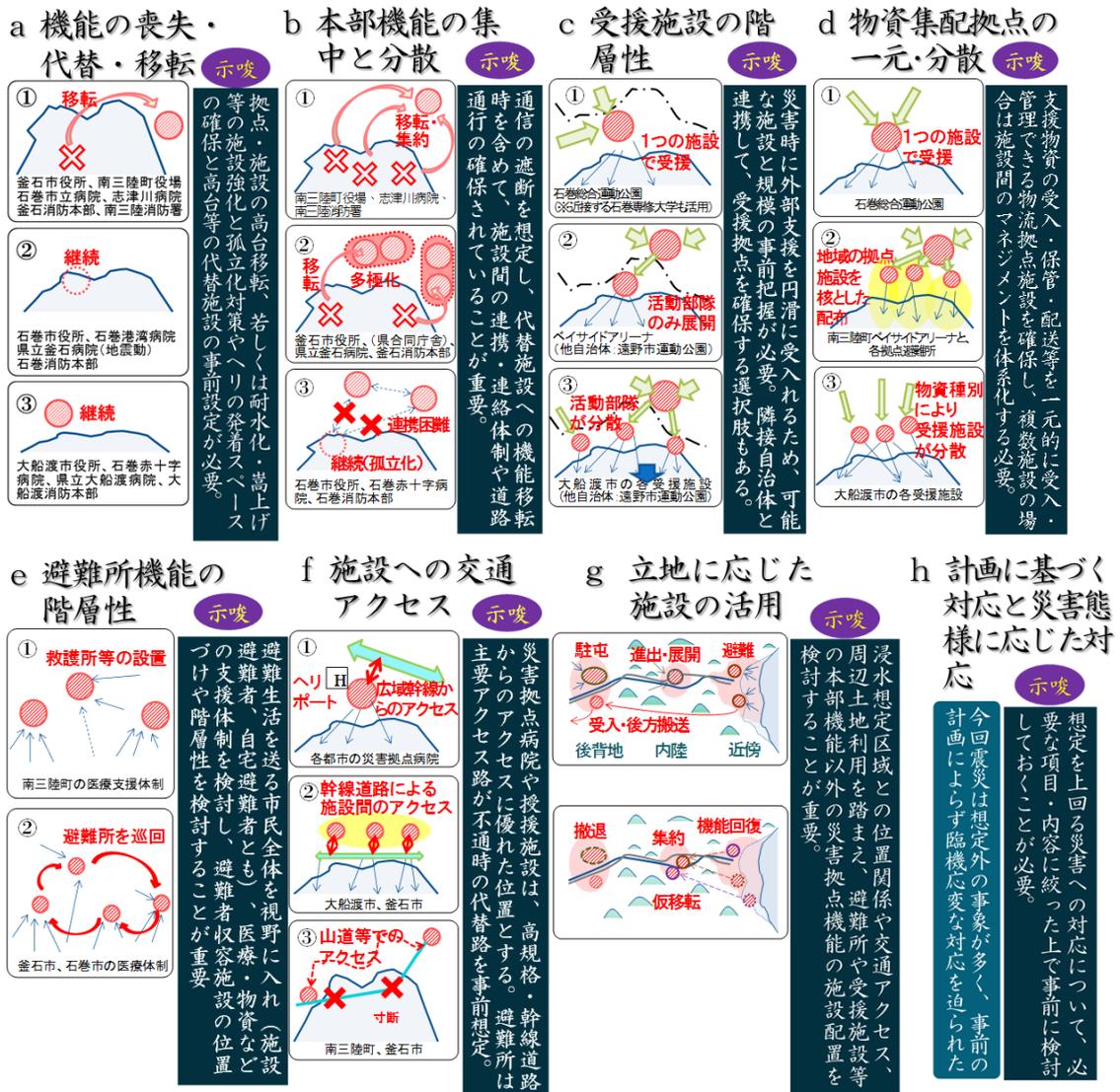


図-2.6.4 津波被災都市において防災拠点機能確保に関して見られた都市・地区レベルでの現象

以上より、都市防災拠点機能の確保や相互連携も含めた活動の円滑化に向けて得られた知見を、以下にまとめる。

- ・災害時の拠点機能の確保に関しては、施設の安全な場所への移転の他に、代替施設の事前設定も考えられるが、その施設が代替の機能を発揮できるように留意しておく必要がある。また、拠点機能の被災・孤立対策として、施設からの緊急避難場所の確保や施設へのアクセス経路の強化も図る必要がある。

- ・各拠点機能の活動の円滑化に関しては、拠点機能間の相互連携が可能となるよう、拠点施設の集約化は有効であるが、それ以外の場合においては、拠点施設間の被災時の連絡経路の確保が重要である。
- ・外部支援の受け入れに関しては、施設の許容量を想定して支援部隊等が滞在する受援拠点施設を事前に設定しておくこと、特に隣接都市との協力による大規模な受援施設の確保が重要である。本部機能と受援拠点との連絡手段にも留意する必要がある。
- ・支援物資の受け入れに関しては、その受け入れ・管理・配送等を行う物流拠点施設を事前に設定することに加えて、受け入れ・管理・配送等の体制整備にも留意する必要がある。
- ・避難所機能に関しては、医療・介護・物資の提供などの避難者の生活支援を行う拠点施設と実施体制を事前に検討しておく必要がある。
- ・災害医療機能に関しては、災害拠点病院の災害時の広域アクセスの確保や、浸水想定区域に立地する医療機関の機能継続性の強化が重要であるとともに、他の拠点施設へのアクセス経路等の強化を図る必要がある。
- ・防災拠点機能の配置計画の事前検討においては、施設の立地に応じたフェーズ毎の活用や、想定を上回る災害への対応方法にも留意する必要がある。

2.7 2章のまとめ

本章におけるまとめを以下のとおり示す。また、現地調査の結果を示した位置を図-2.7.1に示す。

(1) 津波痕跡調査

- ・陸上地形によって津波遡上状況が異なることが分かった。津波ハザードマップの原図となる津波浸水想定の設定にあたっては、水勢による遡上や地形・建物等による低減が考慮される津波浸水シミュレーションが必要であることを確認した。

(2) 地形変化調査

- ・大規模地震によって陸地や海底で大規模な隆起・沈降が発生することが分かった。津波の浸水深に関わるため、津波浸水想定の設定にあたっては陸地や海底の隆起・沈降を考慮する必要があることを確認した。
- ・海岸堤防の決壊箇所では、砂浜の消失等の海岸線の後退や深掘れが見られた。地形変化を軽減する観点からも津波に対して海岸堤防の全壊可能性を減らす必要性を確認した。

(3) 海岸堤防被災調査

- ・越流水により海岸堤防における天端保護工、裏法被覆工、堤体の侵食、裏法尻の洗掘が見られ、越流水深が大きいほど全壊の事例が多く見られた。津波に対して海岸堤防の全壊可能性を減らす研究を行う際は、これらの項目を分析する必要性を確認した。
- ・海岸堤防の被災状況を参考に海岸堤防の有無による浸水範囲の比較試算を行い、海岸堤防が被災しないほど、浸水面積や氾濫流の流速が低減することが分かった。津波に対して海岸堤防の全壊可能性を減らすことが減災効果に繋がることを確認した。

(4) 津波による河川堤防の被害

- ・津波遡上時の河川堤防において同程度の越流条件でありながら被災の程度が異なっていた。その理由は堤内地の湛水状況であり、湛水せずに越流を受けていた時間が長い断面ほど、大きな侵食を受けたと考えられた。

(5) 建築物被害調査

東日本大震災における建築物の津波被害では計測された浸水深相当の静水圧以上の耐力を有するもので崩壊した事例はなかった。一方、強度の低い簡易な工作物を含めると防潮堤等の遮蔽物を有する地域とそうでない地域で構造物に作用した津波波力に異なる傾向が表れた。東日本大震災の津波においては遮蔽物を有する地域では建築物と同様、概ね設計用浸水深の静水圧相当の荷重において被災および残存構造物の境界が表れるが、遮蔽物が周辺にない地域では計測浸水深の1.7倍程度の静水圧に相当する耐力を有する構造物が被災した事例が確認された。

(6) 都市防災拠点機能の喪失・回復等の実態調査

- ・津波被災都市における都市防災拠点機能の喪失・回復等の実態を把握した。
- ・都市防災拠点機能の確保策について、拠点機能の配置計画やアクセス等を含む事前検討が有効であることを確認した。

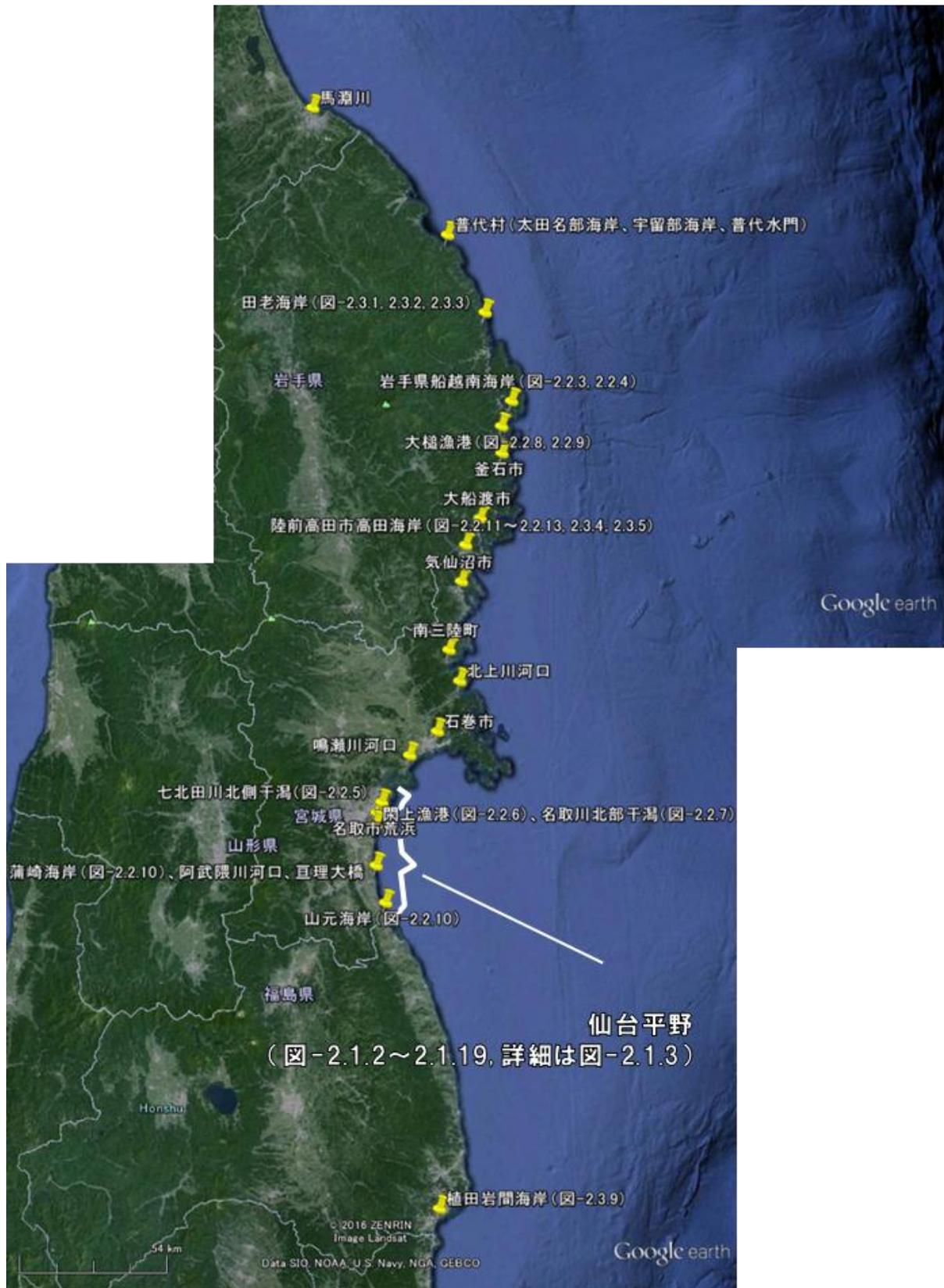


図-2.7.1 本章で示した現地調査実施地点の一覧