

2.3. 港湾施設

2.3.1. 港湾施設の被害の概要

2011 年 3 月 11 日の東北地方太平洋沖地震とこれによって発生した巨大津波によって、防波堤、岸壁、栈橋などの港湾施設において甚大な被害が発生した。ここでは、文献 1) をもとに港湾施設の被害の全般的概要を紹介し、次項以降にて、各種鋼構造物の被害状況として、鋼管杭式栈橋 (2.3.2)、鋼矢板式係船岸 (2.3.3)、水門、樋門、樋管 (2.3.4) についてとりまとめる。

まず、観測された地震動についてであるが、東北地方太平洋沖地震では、港湾地域強震観測網により、全国で 30 の港湾で強震記録が得られた。今回の地震で観測された強震記録の特徴として、継続時間が非常に長いことが挙げられる。また、福島県小名浜港の地表では、1,400gal を超える非常に大きな最大加速度が観測された。この値は、今回の地震で K-NET の築館観測点で観測された最大加速度 2,700gal より小さいものの、港湾地域強震観測網で記録された最大加速度としては過去最大のものである。図 2.3.1 に、各地の観測点で得られた地震波の加速度波形のフーリエスペクトルを示す¹⁾。これによれば、青森県八戸港、岩手県釜石港、岩手県大船渡港、宮城県仙台塩釜港については、港湾施設に対して影響の大きい周波数成分 (0.3~1Hz 程度) が少ないが、東北地方南部の福島県小名浜港では、1Hz 付近の成分を比較的多く含んでいることがわかる。このことは、釜石港の係留施設において地震動による被害がほとんど見られなかったこと、福島県や茨城県において、液状化を含む地震動による港湾施設の被害が東北地方北部よりも多くみられたことと一致している。なお、東北地方南部以南では、埋立てによって整備した港湾が多いことも、被害を大きくした原因の 1 つでもある。

次に、津波については、全国港湾海洋波浪情報網 (NOWPHAS) による波浪・潮位の観測の一環として実施されている GPS 波浪計による観測によって、地震発生後の間もない 14 時 50 分台に東北沖で第 1 波が観測され、15 時 10 分台に最大の津波高さが記録され、地震の発生から半日後の 3 月 12 日 3 時頃でも高さ数十 cm の津波が記録されている。これらのうち、最大波高は岩手県南部沖で観測されており、6.7m であった。また、三重県尾鷲沖、和歌山県南西沖、徳島県海陽沖の GPS 波浪計でも、地震から 1 時間以上を経過した 16 時過ぎに、高さ 0.3~0.5m の第 1 波の到達が観測されている。また、図 2.3.2 に示す津波痕跡高 (浸水高および遡上高) の調査結果によれば、宮城県の気仙沼から女川にかけて、浸水高 13m を超える非常に大きな津波が来襲していることがわかる¹⁾。また、岩手県の宮古から福島県の相馬に至るきわめて広い範囲で 10m 以上の浸水高が記録されている点も特筆すべきである。

地震や津波による構造物の被害状況についてみると、係留施設の被害は、津波によるものがほとんどであり、地震動による被害は、観測された地震動の規模や継続時間の割には顕著ではなかった。これは、地震波の周波数特性や地盤条件に起因するものと考えられる。一部で、地震動による被害が生じた係留

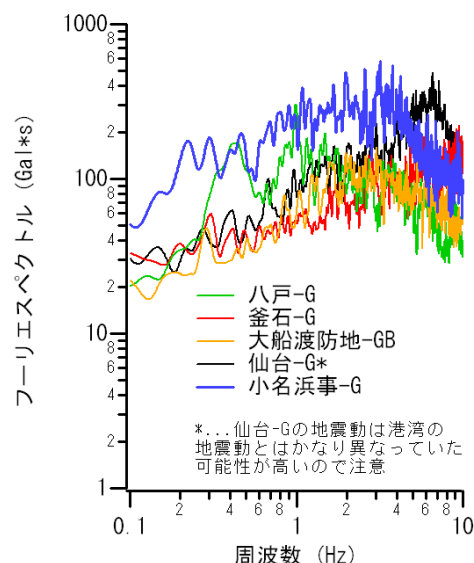


図 2.3.1 周波数スペクトルの比較

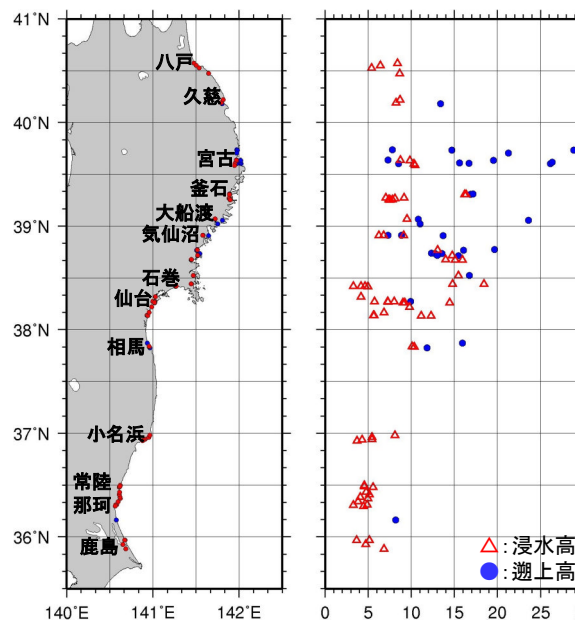


図 2.3.2 津波痕跡高の調査結果



写真 2.3.1 釜石港湾口防波堤の被災状況

施設も存在したことから、これらに対する被災メカニズムの解明を急ぐ必要はあるものの、総じて、現行の港湾施設の耐震設計法が妥当であることが実証された。各種鋼構造物ごとの被害の状況については、次項以降にて詳述する。

一方、防波堤については、今回の震災で、港内静穏度確保のための第一線防波堤が八戸港、久慈港、宮古港、相馬港などで津波による被害を受けただけでなく、津波防波堤として整備された釜石港や大船渡港の湾口防波堤でも甚大な被害が発生した。ここでは、津波防波堤の被害状況の一例として、釜石港湾口防波堤の事例を紹介する。

釜石港の湾口防波堤は、南堤と北堤からなっており、南堤が全長 670m で、22 函のケーソンから構成されており、最深部の堤頭函のみが台形のスリットケーソンで、それ以外は通常のスリットケーソンである。北堤は全長 990m で、44 函のケーソンで構成されており、このうち 573.5m の区間が台形のスリットケーソン、それ以外は通常のスリットケーソンとなっている。また、開口部潜堤は全長 300m で、13 函のケーソンで構成されており、端部以外は基面水深-32m、天端-19m となっている。ちなみに、開口部潜堤には、鋼構造物のハイブリッドケーソンが用いられている。

写真 2.3.1 に、北堤と南堤の被災状況を示す。南堤の 22 函のケーソンのうち、開口部側から 10 函はほとんど移動していなかったが、それよりも陸側のケーソンについては水没していた。北堤の 44 函については、一部で原形をとどめていたが、ほとんどのケーソンが移動あるいは水没していた。また、開口部潜堤を構成するケーソンについても、ほとんどがマウンドから港内側に転落していた。これらのケーソンの移動の原因としては、津波により港内外に発生した巨大な水頭差（約 9.5m）によるものに加えて、ケーソン目地部やマウンド中に作用した速い流れによってマウンドが洗掘を受けたことなどによるものであると推察されている¹⁾。

2.3.2. 鋼管杭式栈橋

以下の7つの栈橋について港湾空港技術研究所資料¹⁾をもとに報告する。

- ①岩手県久慈港(諏訪下地区栈橋(-7.5m))
- ②岩手県久慈港(諏訪下地区栈橋(-6.0m) (魚市場前))
- ③岩手県釜石港(須賀地区栈橋(-7.5m))
- ④岩手県大船渡港(野々田地区栈橋(-7.5m))
- ⑤岩手県大船渡港(野々田地区栈橋(-13m))
- ⑥岩手県大船渡港(茶屋前地区栈橋(-9m))
- ⑦岩手県大船渡港(永浜地区栈橋(-13m))

(1) 津波被害

津波被害については、津波の揚圧力により渡版が飛ばされている報告があるが、構造的にはあまり被害がなく健全度にも問題がないとされている。栈橋自体はもともと揚圧力を考慮して設計されているが、今回のような想定以上の津波の場合、渡版が飛ばされたことによって津波の栈橋への影響が軽減されたことも、栈橋本体に被害が生じなかった一因と考えられる。

①岩手県久慈港(諏訪下地区栈橋(-7.5m))では、グレーチング式の渡版は残っているものが多かったことが報告されており、グレーチング式の採用により津波による揚圧力をある程度は軽減できることを示唆している。これより、想定以上の津波対策には、グレーチング式の渡版を積極的に活用することも一案として考えられる。

(2) 地震被害

地震被害については、上記7栈橋について報告されているが、②岩手県久慈港(諏訪下地区栈橋(-6.0m) (魚市場前))を除いては、全く被害がなく健全度にも問題がないとされている。

唯一地震被害が報告されている栈橋(②岩手県久慈港(諏訪下地区栈橋(-6.0m) (魚市場前)))においても、土留めが大きく海側に傾斜(水平変位は、最大で1.5m程度)しているものの、栈橋の法線に出入りは認められていないようである。よって、東日本大震災程度の地震では、栈橋部の液状化対策および栈橋の設計法自体は現行の設計法で概ね問題がなかったことがうかがえる。ただし、地震動の周波数特性や栈橋の建設地点の地盤条件の影響によって被害が小さかった可能性もあるので、この点については今後精査が必要である。

地震時の栈橋被害は、栈橋本体が損傷する場合以外は、以下に示すように土留めの傾斜と渡版へのもたれかかりを介して損傷が生じることが多いことが報告されている。

- ・地震時に土留めが傾斜して渡版にもたれかかり、渡版自体が損傷することで栈橋杭には被害が生じない。
- ・地震時に土留めが傾斜して渡版にもたれかかり、前方に移動した土留めが渡版を介して栈橋を押し、栈橋杭に損を生じさせる。

これより、栈橋の地震時被害をなくするためには、栈橋本体の設計の他に、土留め自体の耐震設計も重要であることがわかる。また、栈橋と土留め護岸との遊間についても、渡版を介して水平力が作用しないように適切に設定することが重要である。また、想定以上の津波対策には、本渡版を積極的にフェールセーフとして活用することも、栈橋設計での1案と思われる。ただし、渡版が飛ばされていない栈橋においても被害が発生していないことから、渡版の飛散が栈橋本体の損傷に及ぼす影響については今後検討が必要である。

(3) 栈橋の津波および地震被害報告（港湾空港技術研究所資料¹⁾より、文章、写真、図を引用）
1) 岩手県久慈港（諏訪下地区栈橋（-7.5m））

図 2.3.3 に久慈港関連の位置図を示す。

本施設は、鋼管直杭式横栈橋である。

本施設は、明確に地震の揺れによる被害は認められていない。

本栈橋は、渡版の大部分が津波により飛ばされている（写真 2.3.2）。また、落下した渡版の影響で、鋼管杭の防食工（モルタル被覆+FRPカバー、図 2.3.4 に示す）が多数（確認できたもので 11 本）損傷している。中には鋼管杭表面が露出している杭もある（写真 2.3.3）。わずかに残っている渡版は、グレーチング式のものが多かった（写真 2.3.4）。これは、グレーチング式の採用により津波による揚圧力のある程度は軽減できることを示唆している。

土留めの前だしはわずかであったが、栈橋の南側でコンクリート舗装と土留め壁の間に比較的大きな開きが生じていた（写真 2.3.5）。また、舗装の下には、空洞が生じていた（写真 2.3.6）。

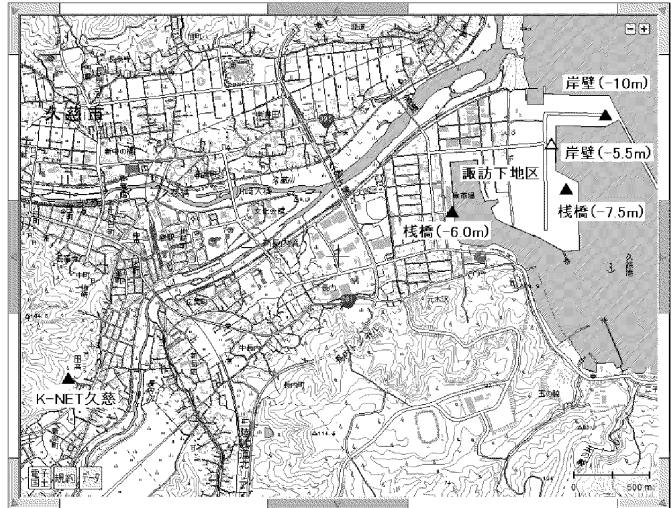
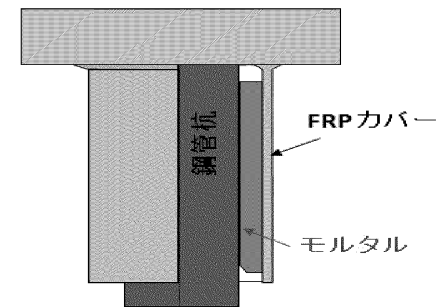


図 2.3.3 久慈港関連位置図



写真 2.3.2 諏訪下地区栈橋（-7.5m）
—津波による渡版の被害—



モルタル被覆（+FRPカバー）工法

図 2.3.4 モルタル被覆+FRPカバー工法

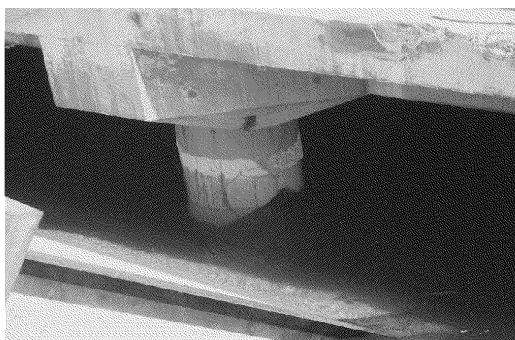


写真 2.3.3 諏訪下地区栈橋（-7.5m）
—落下した渡版による鋼管杭防食工の損傷—

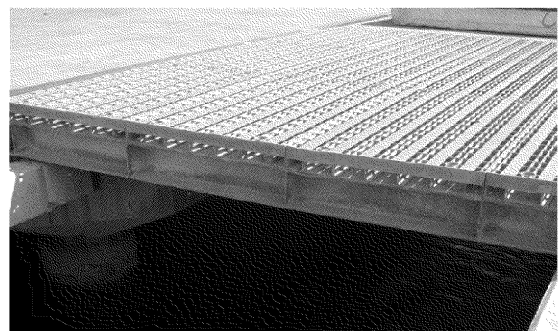


写真 2.3.4 諏訪下地区栈橋（-7.5m）
—津波で飛ばされなかったグレーチング式渡版—



写真 2.3.5 諏訪下地区栈橋(-7.5m)
—コンクリート舗装と土留め壁の間の開き—



写真 2.3.6 諏訪下地区栈橋(-7.5m)
—舗装下の空洞—

2) 岩手県久慈港(諏訪下地区栈橋(-6.0m)(魚市場前)

本施設は、鋼管直杭式横栈橋である(図 2.3.5)。

本施設は、明らかに地震の揺れによる被害が生じていた久慈港唯一の施設である。

まず、(写真 2.3.7) は、栈橋南端付近において南から北を望んだものである。諏訪下地区栈橋(-7.5m)と同様、津波の影響で渡版が飛散しているが、土留めの前出しはこの部分では見られない。

一方、(写真 2.3.8) は、栈橋中央付近(魚市場付近)において南から北を望んだものであるが、土留めが大きく海側に傾斜している。水平変位は、最大で 1.5m 程度であった。土留めの海側への傾斜は、地震時によく見られる被災形態であることから(例えば南他, 1997; 菅野他, 2007)²⁾³⁾、地震の揺れによる被害であると判断される。ただし、栈橋の法線に出入りは認められなかった。なお、本施設の周辺地盤は-25m~-30m まで砂、シルト、粘土が互層をなし軟弱な地盤であるが、-10m 付近のシルト層の N 値は 10~30 と比較的大きい(図 2.3.6)(運輸省港湾局他, 1968)⁴⁾。

被害の過程としては、まず、地震時に土留めが傾斜して渡版にもたれかかり、津波で渡版が飛んだ結果支えを失って前方に傾斜したものと考えられる。ただし、既往の栈橋被害との違いも認められる。1995 年兵庫県南部地震の際、神戸港高浜栈橋では、前方に移動した土留めが渡版を介して栈橋を押したため、栈橋杭に損傷が生じた(南他, 1997)²⁾。2005 年福岡県西方沖の地震の際、須崎埠頭東川栈橋(-11m)では、前方に移動した土留めが同じように栈橋を押す可能性があった。この時は、土留め上部工に損傷が生じたため、栈橋に力が伝達されず、栈橋本体には目立った損傷はなかった(菅野他, 2007)³⁾。津波で渡版が飛ばされた今回の事例を併せ、三者三様である。

また、もう一点、この被害を見るときに注意すべきは、土留めの傾斜と渡版へのもたれかかりが今回の地震で生じたとは必ずしも断定できないという点である。1968 年十勝沖地震を初めとする過去の地震で土留めの傾斜と渡版へのもたれかかりが生じていたが、今回の津波で渡版が飛ぶまでそれが顕在化しなかった可能性も否定できない(当該栈橋の供用開始は 1966 年)。これを明らかにするためには、久慈港における今回の地震の揺れと過去の地震の揺れを比較することが必要である。なお、1968 年十勝沖地震後の本施設の状況については、被害が見られなかったことが運輸省港湾局他(1968)⁴⁾に記載されている。

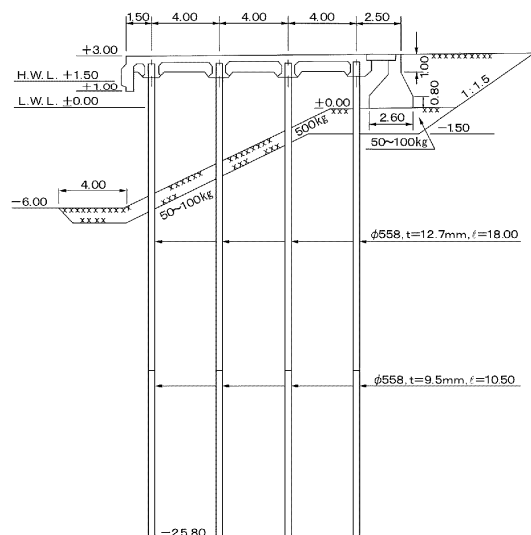


図 2.3.5 諏訪下地区栈橋(-6.0m)標準断面図

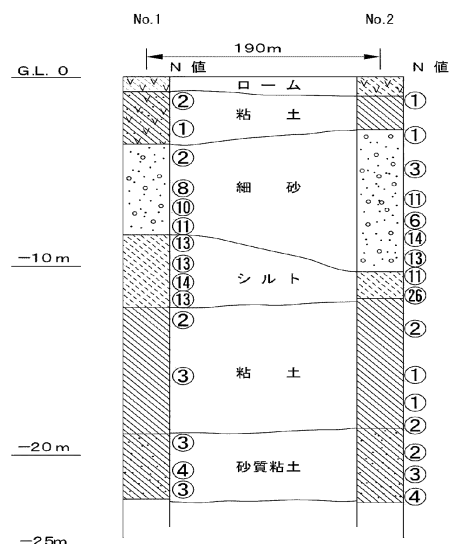


図 2.3.6 諏訪下地区栈橋(-6.0m)土質柱状図
(運輸省港湾局他, 1968) (丸囲み数字は N 値)



写真 2.3.7 諏訪下地区栈橋(-6.0m)
-津波による渡版の被害-



写真 2.3.8 諏訪下地区栈橋(-6.0m)
-栈橋背後の土留めの前出し-

3) 岩手県釜石港(須賀地区栈橋(-7.5m))

図 2.3.7 に釜石港における主な調査対象施設の位置図を示す。

本施設は、鋼管直杭式横栈橋であり、天端高さが +3.0m, H.W.L. が +1.5m, L.W.L. が 0.0m である(図 2.3.8)。設計条件は、設計震度 $K_H=0.15$ で、対象船舶は 50,000DWT である。栈橋延長は、130m で、施設の完成は 1970 年である。

写真 2.3.9~写真 2.3.12 に、須賀地区栈橋(-7.5m)の状況を示す。写真 2.3.9 に示すように、栈橋の法線に凹凸は全く見られず、写真 2.3.10 に示すように栈橋の端部にも変状は見られなかった。背後との境界部においても、写真 2.3.11 に示すように、段差や目違いは生じておらず、渡版の移動・脱落も見られなかった。これらより、本施設は地震動によって全く被害を受けなかったといえる。



図 2.3.7 釜石港における主な調査対象施設

[illegible]

82

4) 岩手県大船渡港(野々田地区栈橋(-7.5m))

図2.3.9に大船渡港における主な調査対象施設の位置図を示す。

本施設は、鋼管直杭式横栈橋であり、土留め部はL型ブロック構造となっている。天端高さは、+3.0m, H. W. L. が+1.5m, L. W. L. が0.0mである(図2.3.10)。

設計条件は、設計震度 $K_h=0.15$ で、対象船舶は5000DWTである。上載荷重は、常時 2 t/m^2 、地震時 1 t/m^2 である。栈橋延長は、260m で、施設の完成は1987年である。

写真2.3.13～写真2.3.16に、野々田地区栈橋(-7.5m)の状況を示す。写真2.3.13に示すように、栈橋法線に異常は見られなかった。ただし、建設当時から側方移動などの懸念があり、栈橋上部工上のエプロンにおいて、写真2.3.14に示すように栈橋本体の移動をモニタリングしていたようである。ブロック間の相対変位などから、今回の地震動によって栈橋本体が前面に数mm程度移動していたと推測される。また、写真2.3.15に示すようにエプロン背後で10cm程度の沈下が発生していた。また、写真2.3.16に示すように、部分的に鋼製の渡版が外れていたが、これは、津波による揚圧力によって外れたものと推測される。



図2.3.9 大船渡港における主な調査対象施設

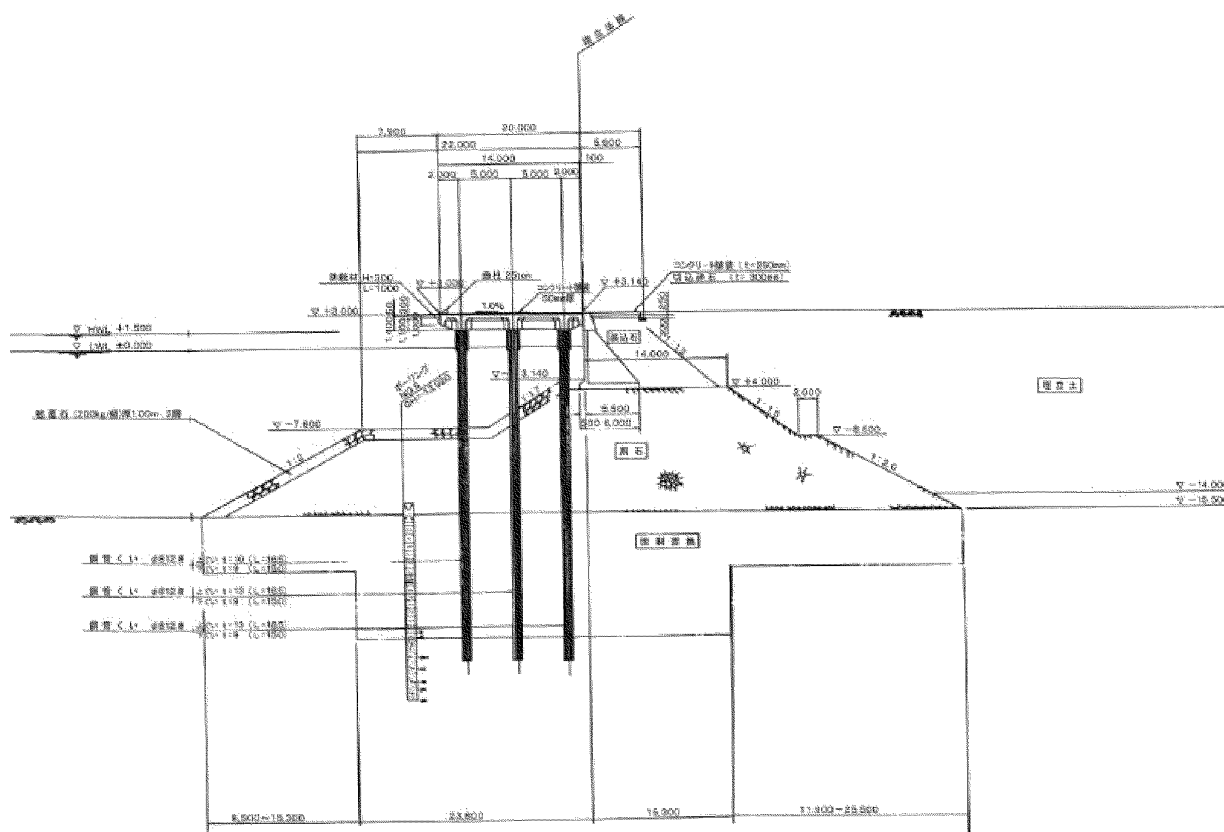


図2.3.10 野々田地区栈橋(-7.5m)の標準断面図



写真 2.3.13 栈橋法線の状況(異常なし)

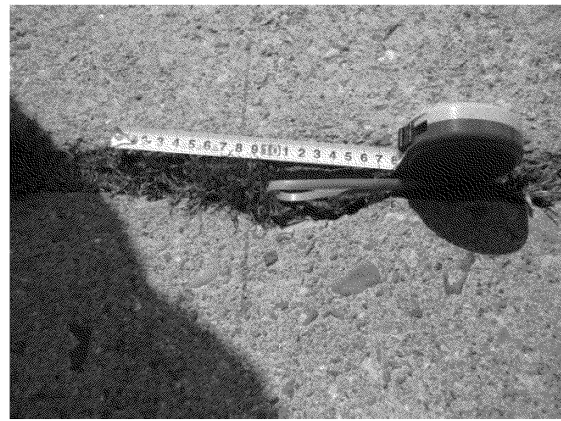


写真 2.3.14 栈橋ブロック間の相対ずれ



写真 2.3.15 背後との段差

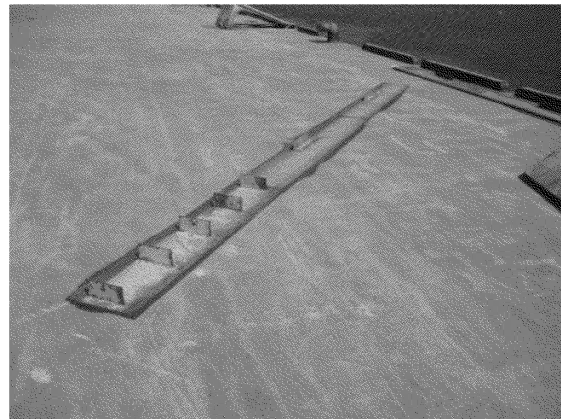


写真 2.3.16 外れた渡版

5) 岩手県大船渡港(野々田地区栈橋(-13m))

本施設は、鋼管直杭式土留め一体型横栈橋であり、土留め部は鋼管矢板と前方斜杭からなっている。天端高さは、+3.0m、H.W.L. が+1.5m、L.W.L. が 0.0m である(図 2.3.11)。

設計条件は、設計震度 $K_h=0.15$ で、対象船舶は 50,000DWT である。上載荷重は、常時 2 t/m^2 、地震時 1 t/m^2 である。栈橋延長は、270m で、施設の完成は 1989 年である。写真 2.3.17～写真 2.3.20 に、野々田地区栈橋(-13m)の状況を示す。写真 2.3.17 に示すように、栈橋本体の変状は全く見られなかった。写真 2.3.18 に示すように、エプロン背後で 20cm 程度の段差が見られたが、今回の地震で 10cm 程度の背後沈下が生じていたものと推測される。

ヤードについては、コンクリート舗装は多少の変状が見られたものの、使用に支障はない。写真 2.3.19 に示すように、舗装が剥がれている箇所において、エプロン下を目視確認したところ、液状化の発生は確認できず、空洞化も生じていなかった。

栈橋背後のハーバークレーンに関しては、写真 2.3.20 に示すように、津波の流れによってトラックやコンテナがクレーン下部にまわり付くように存在していたが、クレーン本体に目立った損傷は確認されなかった。また、釜石港のクレーン同様にアウトリガーが展開されていた状態となっていた。

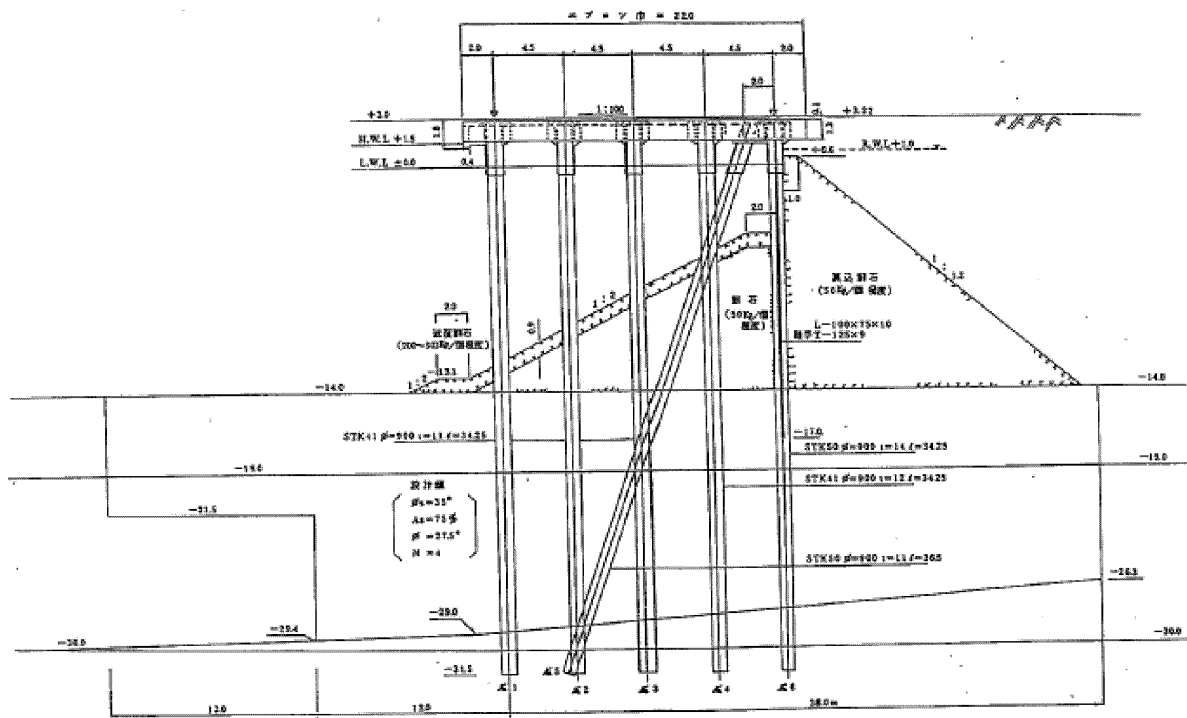


図 2.3.11 野々田地区栈橋(-13m)の標準断面図



写真 2.3.17 栈橋法線の状況(異常なし)

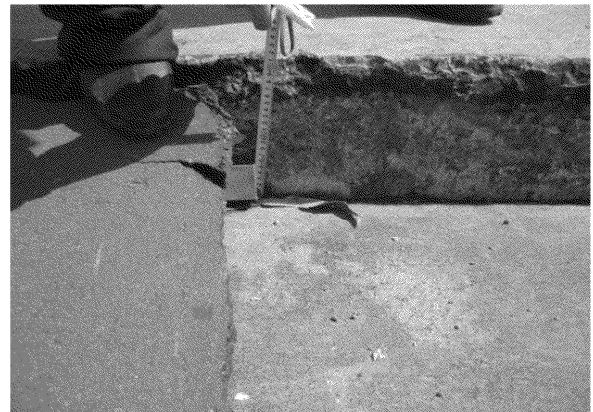


写真 2.3.18 背後との段差



写真 2.3.19 背後地の17°の下の状況



写真 2.3.20 ハーバークレーンの状況

6) 岩手県大船渡港(茶屋前地区栈橋(-9m))

本施設は、1バース分が栈橋であり、1バース分が棚式となっており、天端高さは、+3.0m, H.W.L. が+1.5m, L.W.L. が0.0mである(図2.3.12)。

設計条件は、設計震度 $K_H=0.10$ で、対象船舶は10,000DWTである。栈橋延長は、330mで、施設の完成は1バース目が1960年、2バース目が1985年である。写真2.3.21～写真2.3.22に、茶屋前地区岸壁(-9m)の状況を示す。栈橋部については、写真2.3.21に示すように、変状はほとんど見られなかったが、写真2.3.22に示すように、一部の渡版が外れていた。棚式部についても、本体に変状は全く見られなかった。背後のエポキシにはひび割れ・陥没などの顕著な損傷が見られたが、今回の地震前から発生していたと思われる。

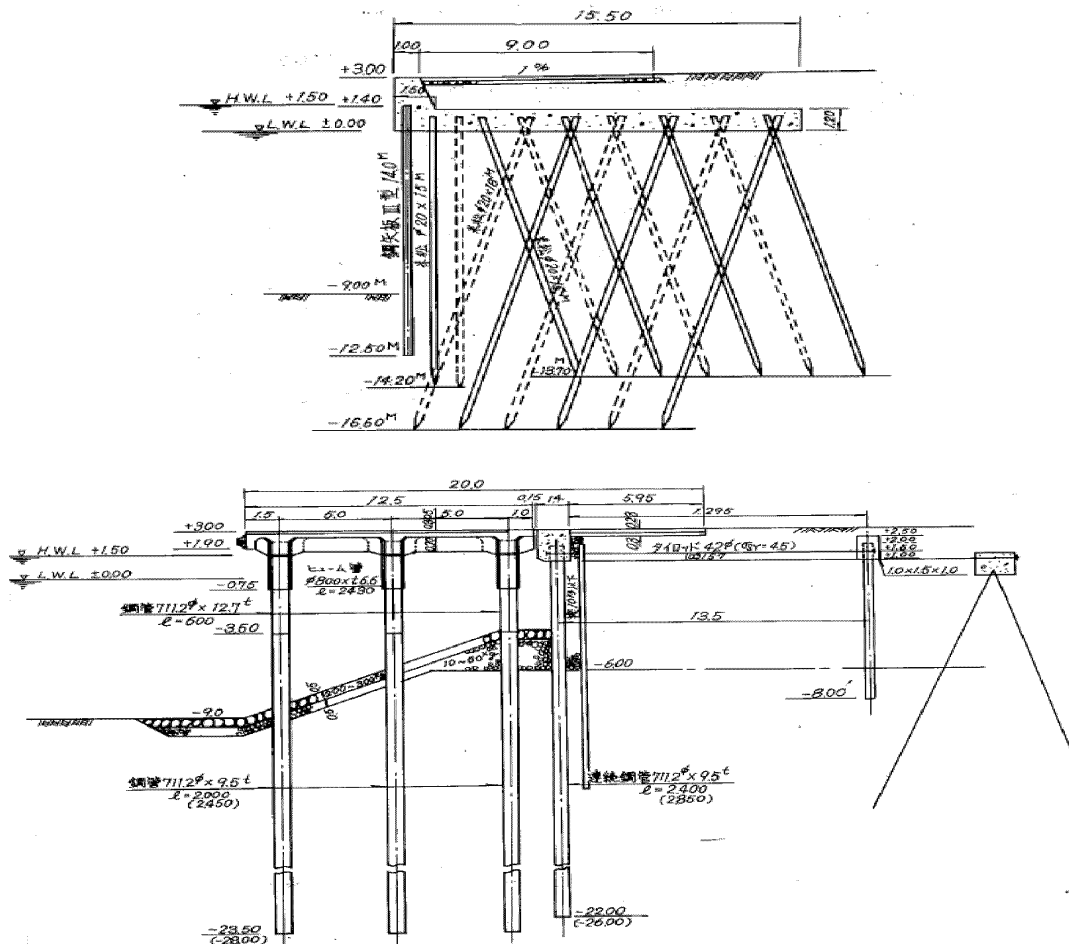


図2.3.12 茶屋前地区栈橋(-9m)の標準断面図



写真2.3.21 栈橋法線の状況(異常なし)

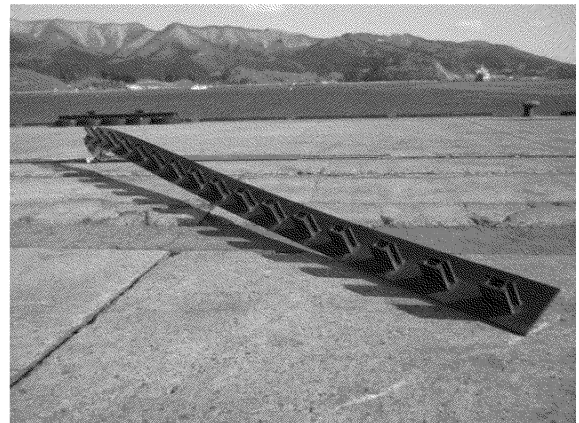


写真2.3.22 渡版の外れ

7) 岩手県大船渡港(永浜地区栈橋(-13m))

本施設は、鋼管斜め組杭式横栈橋であり、上部工はPC桁、土留め部はL型ブロック構造となっており、天端高さは、+3.0m、H.W.L.が+1.5m、L.W.L.が0.0mである(図2.3.13)。

設計条件は、設計震度 $K_H=0.15$ で、対象船舶は40,000DWTである。上載荷重は、常時 2 t/m^2 、地震時 1 t/m^2 である。栈橋延長は、260mで、供用開始が2009年である。

写真2.3.23～写真2.3.24に、永浜地区栈橋(-13m)の状況を示す。写真2.3.23に示すように、エプロン背後で15cm程度の段差が見られたものの、施設の健全度(岸壁法線など)には問題はみられなかった。ただし、写真2.3.24に示すように、大量の漂流物がエプロン上に堆積していたため、ほとんどの部分を確認できなかった。

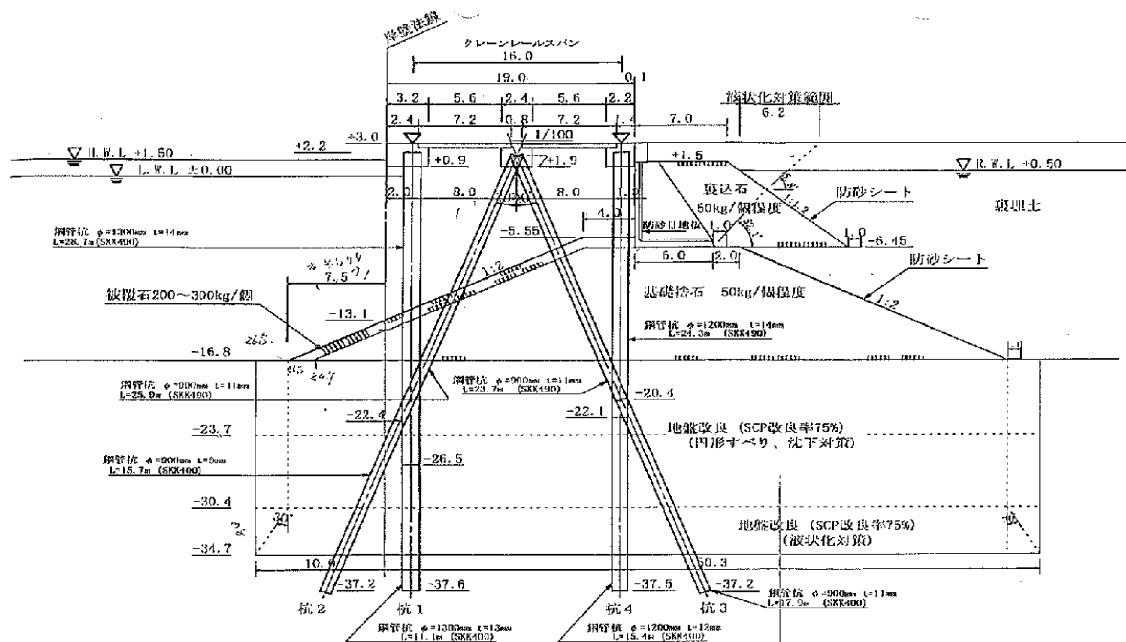


図2.3.13 永浜地区栈橋(-13m)の標準断面図



写真2.3.23 背後との段差(15cm程度)



写真2.3.24 エプロンの状況

2.3.3. 鋼矢板式係船岸

主な鋼矢板式岸壁の被害状況について、港湾空港技術研究所資料（No. 1231 : April : 2011）¹⁾より抜粋し、宮城県仙台塩釜港、福島県相馬港の被害状況について総括する。

被害の典型的な事例を整理すると、以下のような事象が発生している。

- 1) 岸壁法線のはらみ出し
- 2) 鋼矢板または鋼管矢板岸壁隅角部の矢板継ぎ手の破損
- 3) エプロン舗装のきれつ、沈下、陥没
- 4) 岸壁背面土砂の液状化
- 5) 岸壁背面土砂の流出
- 6) 鋼矢板岸壁と控え杭のタイロッドの破断

仙台塩釜港と相馬港の被害の程度は大きく異なっており、液状化の発生がなかったと見られる仙台塩釜港に対して、相馬港（図 2.3.14）については、以下の岸壁で被害が発生した。相馬港では大規模な液状化が発生したものともみられ、さらに津波による被害も加わり、大きな被害となっている。

- 1) 相馬港 1号埠頭 写真 2.3.25 に鋼矢板岸壁の隅角部破損状況隅角部は、矢板継ぎ手が破損、開口しており、エプロン舗装版に亀裂、沈下が見られる。写真 2.3.26 に鋼矢板岸壁の破損・洗掘状況を示す。当該地点では、タイ材（タイワイヤーまたはタイロープ）の破断が確認された。
- 2) 相馬港 2号埠頭 写真 2.3.27 は、鋼矢板岸壁の開口4箇所認められており、裏埋土が流失しており、1.6m～2.2m の陥没であった。
- 3) 相馬港 3号埠頭 写真 2.3.28 は、石炭用アンローダーが設置されている鋼矢板式岸壁（-10m）である。岸壁法線が最大 50cm 程度はらみ出しており、海側レールと陸側レールの間のエプロン舗装版が 30cm 程度沈下している。陸側レール背後で 1.0m 程度の段差が発生している。
- 4) 相馬港 4号埠頭 写真 2.3.29 は、鋼矢板岸壁とケーソン式岸壁の境界部分であり、約 10m の区間に、若干のはらみだし、エプロン舗装版に浮き上がりが確認されている。

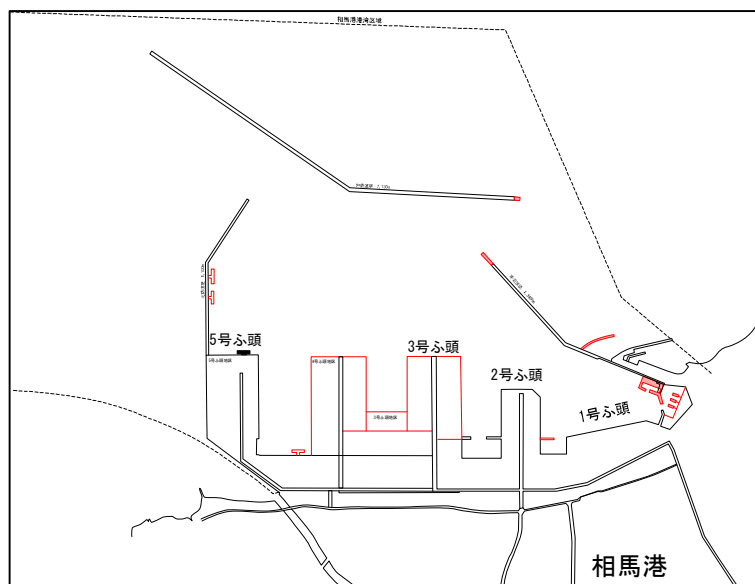


図 2.3.14 相馬港

写真 2.3.25 および写真 2.3.26 に相馬港 1号埠頭の被災状況を示す。写真 2.3.25 は鋼矢板岸壁隅角部の矢板継ぎ手の破損状況を示している。継ぎ手部分は大きく開口しており、エプロン舗装部にはきれつ、

沈下がみられる。陥没量は 1.7m程度に及び、地震時に裏理土に液状化が生じ、継ぎ手部分が開口し、その後の津波の作用によって洗掘されたものと見られる。



写真 2. 3. 25 相馬港 1号埠頭における鋼矢板岸壁の隅角部破損状況



写真 2. 3. 26 相馬港 1号埠頭における鋼矢板岸壁の破損・洗掘状況



写真 2. 3. 27 相馬港 2号埠頭 鋼矢板岸壁の開口と裏埋土流失



写真 2. 3. 28 相馬港 3号埠頭 石炭用アンローダー設置の鋼矢板式岸壁に生じた段差



写真 2.3.29 相馬港 4号埠頭 鋼矢板岸壁とケーソン式岸壁の境界部分

仙台塩釜港（図 2.3.15）については、以下の岸壁で被害が発生したが、大規模な液状化は発生しなかったと見られており、そのため被災の程度も相馬港に比べると軽微に留まっている。

- 1) 高松埠頭は、鋼矢板式耐震強化岸壁で、延長 240m、前面水深-12m である。写真 2.3.30 に示すように岸壁法線の直線性が保たれている。写真 2.3.31 に、控え工背後に段差が見られたが、舗装版は概ね健全であった。
- 2) 中野埠頭は、鋼矢板式岸壁で、延長 1,165m、前面水深-10m 及び-12m である。1号～2号岸壁の取り付け部でエプロンに 20cm 程度の沈下が見られ、写真 2.3.32 を見ると遠方の車止めの高さが低くなっていることがわかるが、舗装の状況から大規模な液状化は発生しなかったと考えられる。2号～4号岸壁では、写真 2.3.33 に示すように背後側、法線側に緩く傾斜していた。エプロンと荷役ヤード境界付近では写真 2.3.34 に示すように、10～15cm 幅の亀裂が発生していた。
- 3) 雷神埠頭は、鋼矢板式岸壁、延長 440m、前面水深-9m（平成 21 年秋に延伸、増深）である。写真 2.3.35 に示すように岸壁法線は直線性を保っており、顕著な沈下や変状は見られなかった。
- 4) 高砂埠頭は、鋼管矢板式耐震強化岸壁で、延長 270m、水深-12m の 1 号岸壁と延長 330m、水深-14m の 2 号岸壁からなる。写真 2.3.36 は 2 号岸壁の法線であるが、20cm 程度のほらみだしが見られる。写真 2.3.37 には、矢板上部工と海側レール間に生じた空洞を示す。写真 2.3.38 は 2 号岸壁隅角部の被災状況で、コンクリートに割裂が見られ地盤が 2m 以上沈下していた、写真 2.3.39 は、エプロン背後の被災状況であるが、大きな沈下が見られた。



図 2.3.15 仙台塩釜港 全体図



写真 2. 3. 30 高松埠頭 鋼矢板式耐震強化岸壁



写真 2. 3. 31 高松埠頭岸壁の段差



写真 2. 3. 32 中野埠頭 1 号～ 2 号岸壁の小沈下



写真 2. 3. 33 中野埠頭での緩傾斜状況



写真 2. 3. 34 中野埠頭エプロンと荷役ヤード境界付近の亀裂



写真 2. 3. 35 雷神埠頭法線状況



写真 2. 3. 36 高砂埠頭 2 号岸壁法線



写真 2. 3. 37 高砂埠頭 2 号岸壁に生じた空洞



写真 2. 3. 38 高砂埠頭 2 号岸壁隅角部



写真 2. 3. 39 高砂埠頭 2 号岸壁エプロン背後の被災状況

2.3.4. 水門、樋門、樋管

(1) 水門、樋門、樋管における形式・材質別等における被災状況

国土交通省・農水省・水産庁 第3回 海岸における津波対策検討委員会(平成23年11月15日開催)配付資料⁵⁾をもとに、水門、樋門、樋管の被災状況を以下に示す。

岩手県、宮城県、福島県から7月までに収集した資料により判明した設置箇所341箇所のうち、被災状況が判明した箇所は127箇所(37.2%)であるため、被災状況別集計は127箇所を母数としている。

1) 形式別被災状況

表2.3.1、図2.3.16に形式別被災状況を示す。これより、形式が判明した箇所は269箇所(78.9%)であり、その内訳は、フラップゲートが最も多く、全体の36.1%を占めている。

表2.3.1 形式別被災状況

区分	設置箇所	被災状況				被災数	被災率
		全壊	半壊	被災なし	不明		
スライドゲート	71	5	25	5	36	30	42.3%
スルースゲート	58	14	28	0	16	42	72.4%
フラップゲート	97	4	2	5	86	6	6.2%
マイターゲート	1	1	0	0	0	1	100.0%
ローラーゲート	42	2	27	6	7	29	69.0%
不明	72	1	1	1	69	2	2.8%
計	341	27	83	17	214	110	32.3%

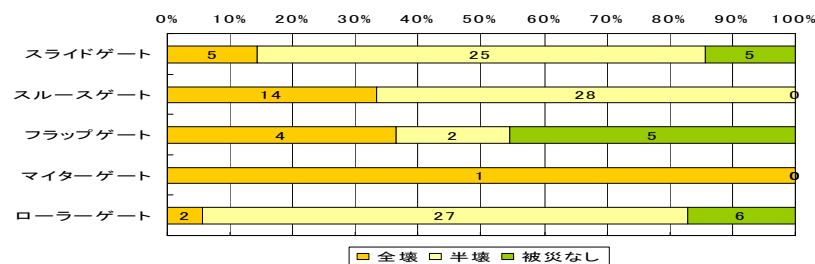


図2.3.16 形式別被災状況

2) 材質別被災状況

表2.3.2、図2.3.17に材質別被災状況を示す。これより、母数341箇所のうち、材質が判明した箇所数は186箇所(54.5%)であり、その内訳は、鋼製が最も多く、全体の41.4%を占めている。

表2.3.2 材質別被災状況

区分	設置箇所	被災状況				被災数	被災率
		全壊	半壊	被災なし	不明		
アルミ	69	8	19	7	35	27	39.1%
ステンレス	40	6	17	5	12	23	57.5%
鋼製	77	12	46	4	15	58	75.3%
不明	155	1	1	1	152	2	1.3%
計	341	27	83	17	214	110	32.3%

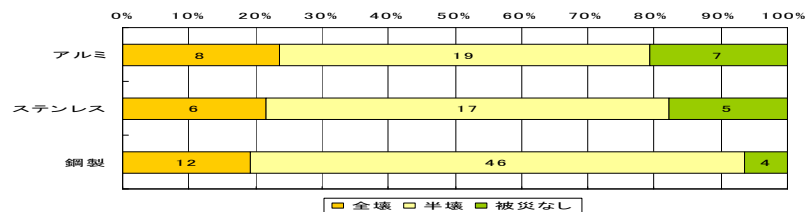


図2.3.17 材質別被災状況

3) 津波来襲方向別被災状況

表 2.3.3, 図 2.3.18 に津波来襲方向別被災状況を示す。これより, 母数 341 箇所のうち, 津波来襲方向が判明した箇所数は 329 箇所(96.5%)であり, その内訳は, 海岸にほぼ並行である 0 度が全体の 74.2%を占めている。

表 2.3.3 津波来襲方向別被災状況

区分	設置箇所	被災状況				被災数	被災率
		全壊	半壊	被災なし	不明		
0°	244	25	71	11	137	96	39.3%
45°	56	1	7	4	44	8	14.3%
90°	29	1	2	1	25	3	10.3%
不明	12	0	3	1	8	3	25.0%
計	341	27	83	17	214	110	32.3%

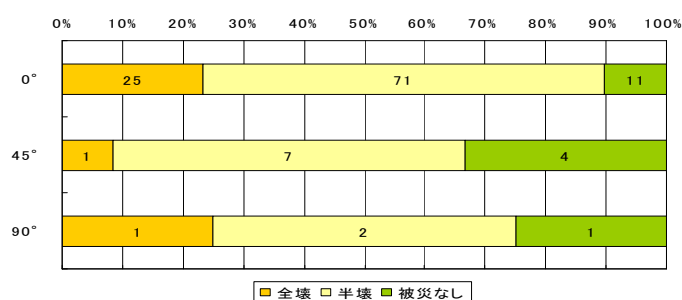


図 2.3.18 津波来襲方向別被災状況

4) 地盤沈下状況別被災状況

表 2.3.4, 図 2.3.19 に地盤沈下状況別被災状況を示す。これより, 母数 341 箇所のうち, 地盤沈下状況が判明した箇所数は 341 箇所(100%) (所在地からの推定含む)であり, その内訳は, 30cm 未満が最も多く, 全体の 31.7%を占めている。

表 2.3.4 地盤沈下状況別被災状況

区分	設置箇所	被災状況				被災数	被災率
		全壊	半壊	被災なし	不明		
－30cm未満	108	1	12	0	95	13	12.0%
－30cm以上－40cm未満	7	0	3	0	4	3	42.9%
－40cm以上－50cm未満	53	6	18	5	24	24	45.3%
－50cm以上－60cm未満	35	9	14	1	11	23	65.7%
－60cm以上－70cm未満	49	4	14	0	31	18	36.7%
－70cm以上－80cm未満	77	2	20	11	44	22	28.6%
－80cm以上	12	5	2	0	5	7	58.3%
計	341	27	83	17	214	110	32.3%

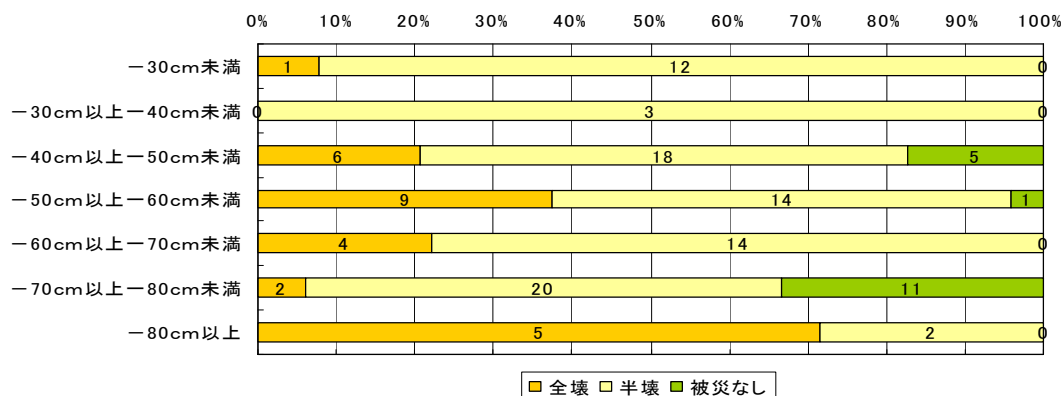


図 2.3.19 地盤沈下状況別被災状況

5) 津波痕跡高さ別被災状況

表 2.3.5, 図 2.3.20 に津波痕跡高さ別被災状況を示す。これより、母数 341 箇所のうち、津波高さが判明した箇所数は 341 箇所(100%) (所在地からの推定含む)であり、その内訳は、2m 以上 4m 未満が最も多く、全体の 23.2%を占めている。

表 2.3.5 津波痕跡高さ別被災状況

区分	設置箇所	被災状況				被災数	被災率
		全壊	半壊	被災なし	不明		
2m未満	15	0	2	3	10	2	13.3%
2m以上4m未満	79	0	7	0	72	7	8.9%
4m以上6m未満	10	0	0	1	9	0	0.0%
6m以上8m未満	31	1	7	3	20	8	25.8%
8m以上10m未満	48	7	11	1	29	18	37.5%
10m以上12m未満	30	2	8	4	16	10	33.3%
12m以上14m未満	40	7	13	1	19	20	50.0%
14m以上16m未満	36	2	14	0	20	16	44.4%
16m以上18m未満	28	3	10	3	12	13	46.4%
18m以上20m未満	9	4	2	1	2	6	66.7%
20m以上	15	1	9	0	5	10	66.7%
計	341	27	83	17	214	110	32.3%

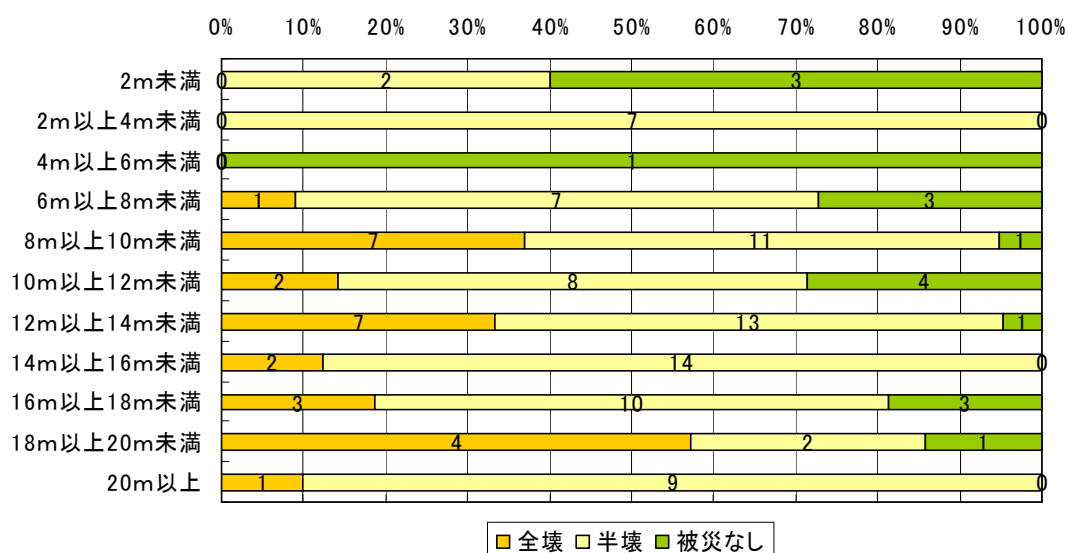


図 2.3.20 津波痕跡高さ別被災状況

6) 破損箇所別被災状況

表 2.3.6 に破損箇所別被災状況を示す。これより、母数 341 箇所のうち、半壊と判定した箇所は 83 箇所であり、被災なし・不明を除く 110 箇所の 75.5%を占める。

表 2.3.6 破損箇所別被災状況

被災状況	破損箇所	箇所数	比率
半壊	躯体(門柱等)	14	16.9%
	扉体	3	3.6%
	戸当り	9	10.8%
	開閉装置	62	74.7%
	電気設備	31	37.3%
	通信設備	18	21.7%
	その他	63	75.9%
	全体	83	100.0%

*その他は、上屋や防止柵破損及び堤体流出等による破損箇所の特定できないものを含む。

*比率は、半壊と判定した箇所数を母数として算出。

（２）代表的な堰、水門の被災状況

国土交通省 東北地方太平洋沖地震を踏まえた河口堰・水門等技術検討委員会 平成 23 年 9 月 30 日 東日本大震災を踏まえた堰・水門等の設計、操作のあり方（資料編）⁶⁾をもとに代表的な堰、水門の被災状況を以下に示す。

図 2.3.21 に関連する位置堰、水門の位置図を示す。

1) 北上大堰（北上川水系北上川 17.2k）

写真 2.3.35、図 2.3.22 に北上大堰の全体外観および正面図、縦断面図を示す。



写真 2.3.35 全体外観

①北上大堰の地震による被害状況

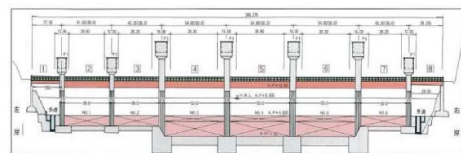
- i 堰等の躯体：異常なし。
- ii 水門扉、戸当たり、開閉装置：異常なし。
- iii 電源設備：停電により常用電源による操作不可能。
予備発電設備による操作可能。
- iv 制御装置：異常なし。
- v その他（管理棟等）：異常なし

②北上大堰の津波による被害状況

- i 堰等の躯体：6 号ゲート下流部床版、1 号ゲート下流部床版からの漏水。
止水板が破断している可能性が高い。
- ii 水門扉、戸当たり、開閉装置
扉体：2, 5, 6 号ゲートの浮き上がり。
戸当たり：4 門とも変形。
開閉装置：1, 2, 4 号ゲートワイヤ固定金具破損（4 月 16 日復旧）。3, 4 号フラップゲート AD 変換機故障のために自動制御不可能。
- iii 電源設備：停電により常用電源による操作不可能。予備発電設備により操作可能（常用電源 3 月 22 日復旧）。
- iv 制御装置：3 号ゲート開度計のメッセジャワイヤ切断のためのゲート開閉制御不可能。手動による開閉操作可能（5 月 1 日復旧）。
- v その他（管理棟等）：異常なし。



図 2.3.21 位置図



< 縦断面図 >

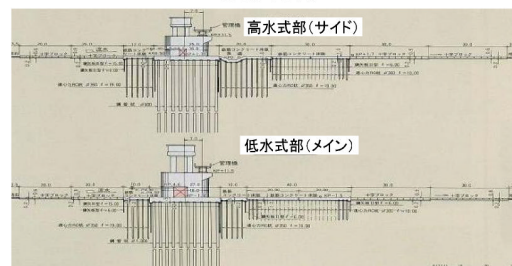


図 2.3.22 正面図、位置図

2) 馬渕大堰（馬渕川水系馬渕川 2.6k）

写真 2.3.36, 図 2.3.23 に北上大堰の全体外観および正面図, 縦断面図を示す.

①馬渕大堰の地震による被害状況

- i 堰等の躯体：異常なし.
- ii 水門扉, 戸当たり, 開閉装置：異常はなく, 地震発生後, 出張所より遠隔で全閉操作を行ったが, 1 号, 2 号, 4 号ゲートは操作中に開閉異常が発生し, ゲートが片吊状況となった. このため, 出張所職員が管理所に急行した. 3 号ゲートは, 問題なく全閉できた.
- iii 電源設備：停電により常用電源による操作不可能. 予備発電設備による操作可能.
- iv 制御装置：地震発生後に 1 号, 2 号, 4 号ゲートの開度計のメッセンジャワイヤ取付け金具が破断し, メッセンジャワイヤが滑車から外れ, ゲート開度の確認が不可能.
- v その他（管理棟等）：異常なし.

②馬渕大堰の津波による被害状況

- i 堰等の躯体：異常なし.
- ii 水門扉, 戸当たり, 開閉装置
 - 戸当たり：一部変形.
 - 開閉装置：片吊状態は, 復旧せず.
- iii 電源設備：停電により常用電源による操作不可能. 予備発電設備により操作可能（常用電源 3 月 13 日復旧）.
- iv 制御装置：地震による開度計のメッセンジャワイヤ取付け金具が破断が継続し, 遠方操作, 機側操作とも不可能（3 月 15 日復旧）.
- v その他（管理棟等）：異常なし



写真 2.3.36 全体外観

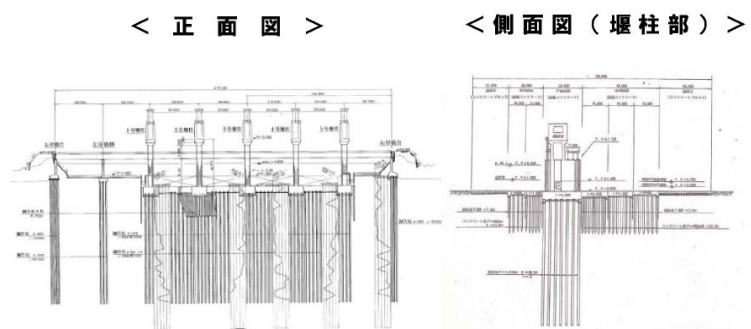


図 2.3.23 正面図, 位置図

3)真野川水門（北上川水系旧北上川左岸 4. 8k）

写真 2. 3. 37, 図 2. 3. 24 に北上大堰の全体外観および正面図, 縦断面図を示す.



写真 2. 3. 37 全体外観

①真野川水門の地震による被害状況

- i 堰等の躯体：異常なし.
- ii 水門扉, 戸当たり, 開閉装置：1 号上段ゲートが戸当たりの破損（レール曲がり及びアンカー部破損）により, ゲート開閉操作が不可能となった.
- iii 電源設備：停電により常用電源による操作不可能. 予備発電設備による操作可能.
- iv 制御装置：異常なし.
- v その他（管理棟等）：異常なし.

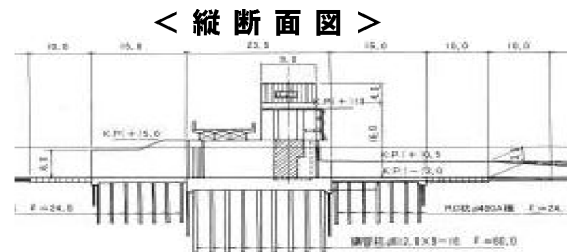
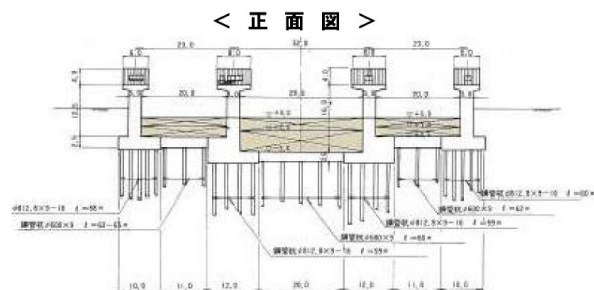


図 2. 3. 24 正面図, 位置図

②真野川水門の津波による被害状況

- i 堰等の躯体：異常なし.
- ii 水門扉, 戸当たり, 開閉装置
戸当たり：1 号上段ゲート開閉操作不可能.
開閉装置：戸当たりを調整し, 仮復旧を行った.
- iii 電源設備：停電により常用電源による操作不可能. 予備発電設備により操作可能（常用電源 3 月 19 日復旧）.
- iv 制御装置：異常なし.
- v その他（管理棟等）：翼壁取り付け護岸の沈下. 止水板の破断. 管理橋取り付け部の沈下. 連接ブロックの流出

参考文献

- 1) 高橋重雄他：2011 年東日本大震災による港湾・海岸・空港の地震・津波被害に関する調査速報, 港湾空港技術研究所資料, No. 1231, 2011.
- 2) 南他(1997)：神戸港における横桟橋の被害調査と動的相互作用解析, 第 24 回地震工学研究発表会講演論文集, pp693-696.
- 3) 菅野高弘他(2007)：2005 年福岡県西方沖の地震による港湾施設被害報告, 港湾空港技術研究所資料, N01165.
- 4) 運輸省港湾局・港湾技術研究所・第二港湾建設局(1968)：1968 年十勝沖地震 港湾被害報告 津波調査報告.
- 5) 国土交通省・農水省・水産庁 第 3 回海岸における津波対策検討委員会（平成 23 年 11 月 15 日開催）配付資料
- 6) 国土交通省 東北地方太平洋沖地震を踏まえた河口堰・水門等技術検討委員会 平成 23 年 9 月 30 日 東日本大震災を踏まえた堰・水門等の設計, 操作のあり方（資料編）