

津波から粘り強い防波堤で港を守る

アスファルトマットを用いた工法

岸 田 哲 哉・田 崎 邦 男・池 谷 毅

東北地方太平洋沖地震に伴う津波による防波堤ケーソンの被災状況および洗掘防止用アスファルトマットを使用した海岸構造物の調査を行った結果、摩擦増大用アスファルトマットを敷設した防波堤において被災の程度が小さく、津波に対して効果があることが示唆され、洗掘防止用アスファルトマットを使用した海岸構造物でも被災程度が小さかった。

摩擦増大用アスファルトマットを使用した防波堤で被災の程度が小さかったことから、津波に対する摩擦増大用アスファルトマットの効果を確認する目的で水理模型実験を行った。その結果、摩擦増大用アスファルトマットを敷設した場合は敷設しない場合に比べ、滑動時の津波高さが大きくなった。敷設しない場合は変位発生直後に滑動したのに対し、敷設した場合は滑動まで徐々に変位量、津波高さが増加し、津波に対し粘り強い構造であることが確認された。また、既設ケーソンの補強方法として、背後に摩擦増大用アスファルトマットを敷設した補強ブロックを設置することで水平耐力を増加させることができることが分かった。

防波堤を粘り強い構造とする対策として、腹付工を設置する方法が提案されている。津波越流時に腹付工が破壊されることが想定され、腹付工の洗掘防止工として適用された洗掘防止用アスファルトマットの事例について紹介する。

キーワード：重力式構造物、防波堤、津波、アスファルトマット、洗掘防止工

1. はじめに

東北地方太平洋沖地震に伴う巨大津波により多くの港湾・漁港構造物が被害を受け、防波堤においては特に混成堤ケーソンの津波による移動、倒壊が目立った。被災パターンは①越流洗掘型、②津波波力型、③堤頭部洗掘型、④引波洗掘型に分類され、中でも②津波波力型では、防波堤の安定性が確保できない例がみられた。これらの教訓から、「防波堤の耐津波設計ガイドライン（平成25年9月）」が策定され、「港湾の施設の技術上の基準・同解説（平成19年度）」を補完し、津波に対して「粘り強い」防波堤の設計法が提示された。また、様々な水理模型実験¹⁾によって、粘り強い防波堤の検討が行われている。

筆者らは、2011年4月に青森県から岩手県にかけて、港湾・漁港・海岸構造物に使用されている摩擦増大用・洗掘防止用アスファルトマットの調査を行った。その結果、摩擦増大用アスファルトマットを敷設している防波堤ケーソンおよび洗掘防止用アスファルトマットを使用している海岸構造物は津波による被害が小さいことを見出した。しかしこれまで、摩擦増大

用アスファルトマットの津波に対する安定性向上効果を調査した事例はないため、水理模型実験を実施し「粘り強さ」の要因を調べた。

本報告は筆者らの報告²⁾に洗掘防止用アスファルトマットの被災調査を追記するとともに、復旧復興工事や津波対策工事で使用されているアスファルトマットの事例と防波堤を粘り強い構造へ補強する工法への適用を紹介する。

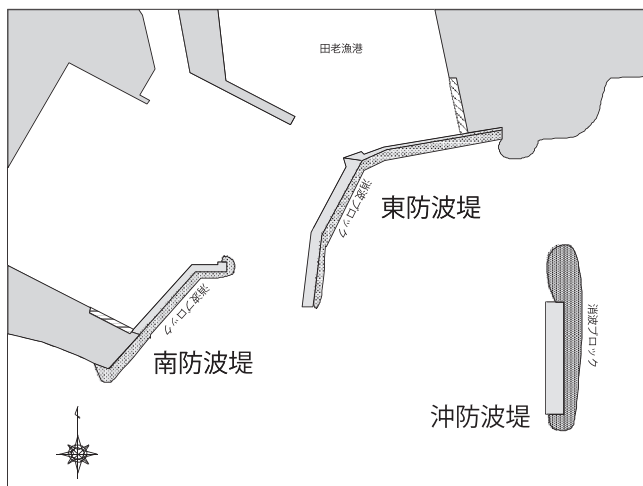
2. 被災調査

(1) 摩擦増大用アスファルトマット

筆者らの行った調査の内、以下の2港について示す。

(a) 田老漁港（岩手県宮古市）

被災前の田老漁港の外郭施設図を図—1、被災後の状況を写真—1に示す。田老漁港における今次津波の推定津波高さは16mと報告されている³⁾。東防波堤、南防波堤、沖防波堤が建設されていたが、東・南防波堤は基部を残してほとんどが移動、飛散しており、最大移動距離は150m程度であった。飛散したほとんどのケーソンが港内側へ移動しており、津波の押



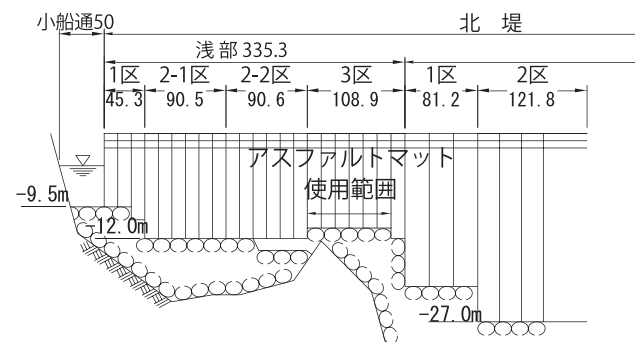
図—1 田老漁港（被災前）



図—2 釜石港湾口防波堤位置図



写真—1 田老漁港（被災後）

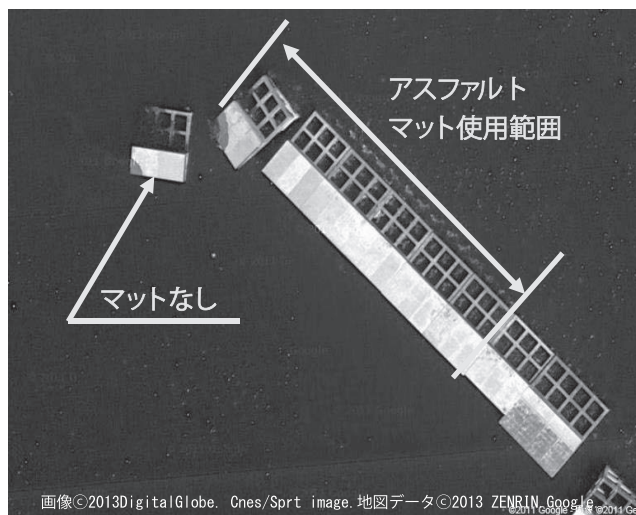


図—3 アスファルトマット使用範囲

し波の水平力によって被災した事が確認されている。摩擦増大用アスファルトマットは沖防波堤に使用されており、ケーソン本体の顕著な移動、飛散は見られなかった⁴⁾。

(b) 釜石港湾口防波堤・北堤（岩手県釜石市）

釜石港は津波の被害を受けやすい三陸海岸にあり、過去にも多くの津波に襲われたため、昭和53年より世界最大水深の湾口防波堤の建設が進められ平成20年度に完成した。釜石港における今次津波の推定津波高さは10mと報告されている³⁾。釜石港湾口防波堤位置図を図—2、摩擦増大用アスファルトマット使用範囲を図—3、北堤浅部の拡大写真を写真—2に示す。釜石港湾口防波堤・北堤では、浅部1～2区はほぼ全壊、深部はほとんどのケーソンがマウンドから滑落し、数函が残存した。ケーソンが倒壊した主要因は港内外の水位差による水平力と推定されている⁵⁾。アスファルトマットが使用された浅部3区（6函）では、6函中1函にマウンド崩壊に伴う移動が見られたが、



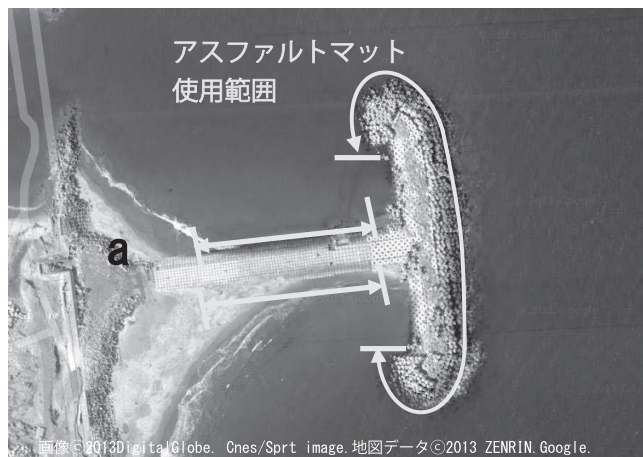
写真—2 北堤浅部（被災後）

残りの5函は残存していた。

(2) 洗掘防止用アスファルトマット

洗掘防止用アスファルトマットは砂地盤上の捨石マウンド下部、法先や突堤、離岸堤などの消波ブロックの下に敷設され捨石マウンド、消波ブロックの沈下を防止し、当該構造物の機能を維持するために適用され

ている。筆者らの行った調査の内、仙台南部海岸ヘッドランドの被災後の状況を写真—3, 4, 大曲海岸突堤・緩傾斜堤の被災後の状況を写真—5, 6に示す。仙台南部海岸における今次津波の推定津波高さは10 m, 大曲海岸は11 mと報告されている³⁾。仙台南部海岸ではヘッドランド上部の張りブロックの飛散, 大曲海岸突堤・緩傾斜堤では若干消波ブロックの飛散が見ら



写真—3 仙台南部海岸ヘッドランド（被災後）



写真—4 a部から見た状況



写真—5 大曲海岸突堤・緩傾斜堤（被災後）



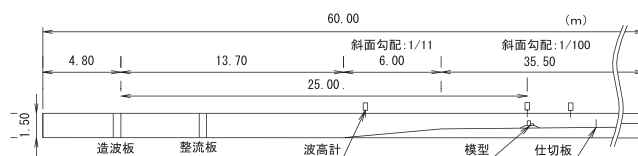
写真—6 b部から見た状況

れたが、洗掘防止用アスファルトマット上の消波ブロックは安定しており、両構造物ともに堤体の沈下は見られなかった。

3. 水理模型実験

(1) 実験概要

実験は長さ60 m, 幅0.7 m, 高さ1.5 mの水路とポンプ式津波実験装置を用いて行った。実験模型全体断面図を図—4に示す。



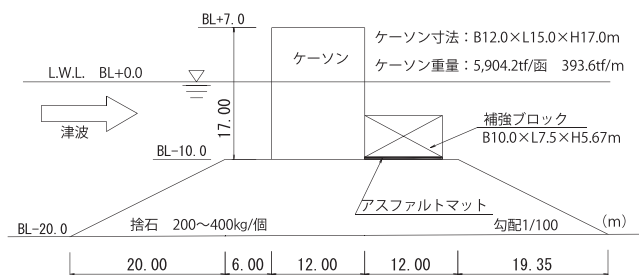
図—4 実験模型全体断面図

津波は環流水中ポンプにより沖側へ水を送り、沖側水位を上昇し、発生される流れにより再現した。縮尺1/60のフルード相似則で模型化し、波高計を沖側、模型前面、および後方に設置し水位を計測した。なお、陸側水位を一定とするため、陸側後方に仕切板を取付け、陸側水位を確認しながら適宜調整を行った。実験ケースを表—1、設置模型を現地寸法へ換算したものを図—5に示す。

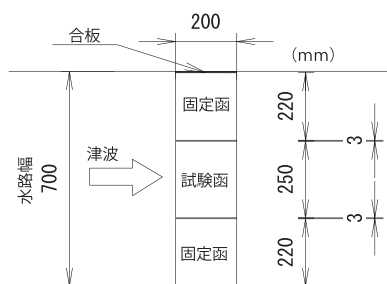
捨石マウンド上にケーソンのみ設置し摩擦増大用アスファルトマットの有無、既設ケーソンの補強方法としてケーソン背面にケーソン高さの1/3の高さの補強ブロックを設置した断面において、摩擦増大用アスファルトマットの有無を組み合わせ実験を行った。模型函設置平面図を図—6に示す。両端に津波により移動しない固定函を設置し、中央に所定重量の鋼材

表一 実験ケース アスファルトマットの有無

No.	ケーソン下	補強ブロック下	表記
1	×		なし/ー
2	○		あり/ー
3	×	×	なし/なし
4	×	○	なし/あり
5	○	○	あり/あり



図一五 実験模型（現地寸法換算）ケース No.4



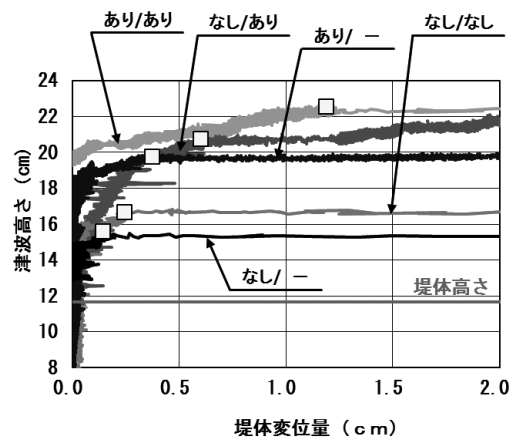
図一六 模型函設置平面図

を入れた試験函を設置した。試験函上面に変位計設置治具が取付けられており、前方よりレーザー変位計で試験函の変位を計測した。

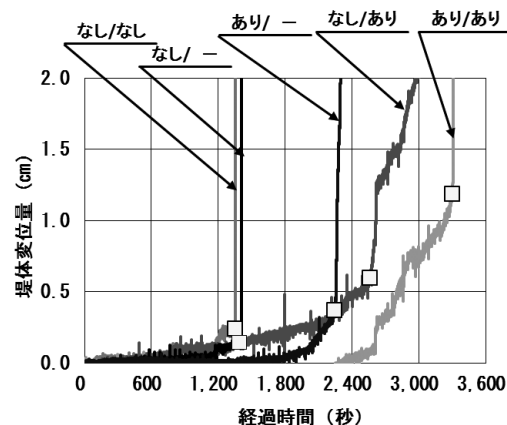
(2) 実験結果

実験状況を写真一七に示す。写真はケーソンと補強ブロック下に摩擦増大用アスファルトマットがあるケースのものである。実験開始前は沖側、陸側ともに同じ水位だが、徐々に沖側水位を上昇させ、ケーソンが大きく滑動した時点で終了とした。

津波高さと堤体変位量の関係を図一七、堤体変位量



図一七 津波高さと堤体変位量の関係



図一八 堤体変位量と経過時間の関係

と経過時間の関係を図一八に示す。なお、図中の凡例（ケーソン下/補強ブロック下）は摩擦増大用アスファルトマットの有無を示している。津波高さと堤体変位量の関係において、津波高さが大きくならず、変位量が急激に増加した時点（傾きが0となる時点、図中の□印）を滑動と判断した。

アスファルトマットを使用していないケース（なし/ー、なし/なし）では津波高さが16 cm前後で滑動に達し、また変位発生後早い時期に滑動した。摩擦増大用アスファルトマットを使用したケースでは、津波高さの増加に伴い堤体変位量が徐々に増加し、粘り



写真一七 実験状況 (No.5 アスファルトマット (あり/あり))

強く耐えていることが分かる。ケーソン下、補強ブロック下ともに摩擦増大用アスファルトマットを使用したケースでは津波高さが22 cm 以上となった。滑動に達するまでの時間は、補強ブロックのみ設置したケース（なし／なし）はケーソンのみ設置したケース（なし／－）に比べ、大きな変化が見られなかったが、摩擦増大用アスファルトマットを使用したケースでは1.6 倍以上長くなり、ケーソン下、補強ブロック下ともに摩擦増大用アスファルトマットを使用したケースでは2.4 倍程度も長くなった。すなわち、摩擦増大用アスファルトマットを使用することで滑動抵抗が増加するのみではなく、最大値に達するまでの変形および時間が大きくなることが分かる。

実験終了後の捨石マウンド表面を観察すると、摩擦増大用アスファルトマットを使用したケースでは捨石が引きずられた跡が見られ、ケーソンが滑動する際に捨石マウンドの抵抗力も加わり、粘り強い構造になったと考えられた。

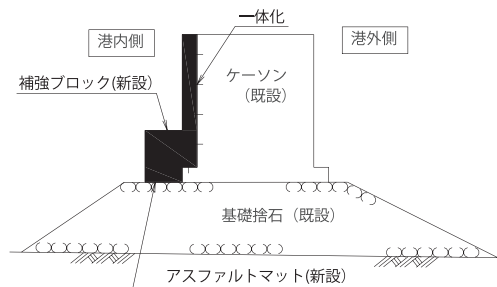
4. おわりに

現在、港湾の早期復旧・復興そして国土強靱化に向けて、防波堤の復旧工事が行われている。東北地方太平洋沖地震津波の被害実態を踏まえ、八戸港、宮古港、釜石港、大船渡港、田老漁港および相馬港など多くの復旧工事において摩擦増大用アスファルトマットが採用された。これらの復旧工事においてケーソンが新設されたものは摩擦増大用アスファルトマットをケーソンに取り付けて設置する工法が取られ、ケーソンを再利用した八戸港、相馬港では、捨石マウンド上に摩擦増大用アスファルトマットを敷設した後にケーソンを設置するマウンド敷設による施工が行われた。相馬港に近い原町火力発電所の防波堤では、設計波を越える高波浪による被災確率を考慮したLCC 検討を踏まえ、摩擦増大用アスファルトマットを使用していた。その結果、滑動安定性に対して設計上の裕度ができ、今次津波に対しても防波堤は健全性を保つことができたと報告されている⁶⁾。

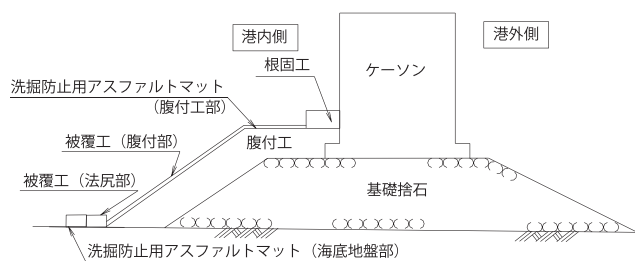
次の巨大津波として喫緊の対策が求められるものに、南海トラフ系の巨大津波がある。中央防災会議によれば、予想される被害は基本のケースで97.6 兆円と試算されており⁷⁾、沿岸域の強靱化が我が国の安全安心、および経済活動の両面から強く求められている。防波堤については東北地方太平洋沖地震津波による被災を踏まえた補強が求められるが、ここでもアスファルトマットは有効な手段になると考えられる。前述の

摩擦増大用アスファルトマットを敷設したブロックをケーソン港内側に設置する方法は、滑動抵抗と粘り強さを増大させる手法として有効と思われる。また、図—9 に示すような補強ブロックをケーソンと一体化することにより、滑動抵抗の増大のみならず、転倒に対しても抵抗を増大させることができ、既設のケーソンの補強工法として有効に機能すると期待される。

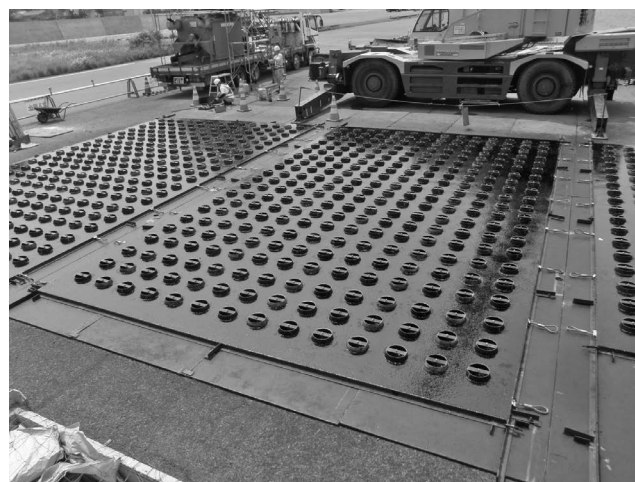
また、越流に対する洗掘対策として図—10 に示すような構造形式が提案されており⁸⁾、越流による洗掘防止対策に全面孔あきアスファルトマットを用いた水理模型実験が実施され、破堤までの時間を引き延ばす効果があることが確認されている¹⁾。静岡県御前崎西防波堤では、越流による洗掘防止工として全面孔あきアスファルトマットが採用されている⁹⁾。全面孔あきアスファルトマットの製作状況を写真—8、吊上げ状況を写真—9 に示す。



図—9 補強ブロック設置例（一体型）



図—10 越流対策標準断面図



写真—8 全面孔あきアスファルトマット製作状況



写真—9 全面孔あきアスファルトマット吊上げ状況

アスファルトマットは、古くから存在する建設資材であり、その耐久性、環境親和性も十分に確認されている^{10), 11)}。温故知新の技術として、適用が進むことを期待するものである。

J C M A

《参考文献》

- 1) 有川太郎ら：津波越流時における混成堤の被災メカニズムと腹付工の効果，港湾空港技術研究所資料，No.1269，2013.
- 2) 岸田哲哉ら：摩擦増大用アスファルトマットによる防波堤の津波に対する安定性に関する実験，土木学会論文集 B-3（海洋開発）Vol.69，No.2，pp.467-472，2013.
- 3) 岩手県，岩手県東日本大震災津波復興計画 復興基本計画（案）参考資料 資料 4，2011.
- 4) 八木宏ら：東北地方太平洋沖地震津波による田老漁港の漁港施設における被災メカニズムの検討，土木学会論文集 B2（海岸工学），Vol.68，pp.1351-1355，2012.
- 5) 有川太郎ら：東日本大震災における釜石湾口防波堤の被災メカニズムに関する研究，土木学会論文集 B2（海岸工学），Vol.68，pp.826-830，2012.
- 6) 斉藤知秀ら：東日本大震災による火力発電所土木構造物の被害と対策，電力土木，No.360，pp.7-11，2012.
- 7) 南海トラフ巨大地震の被害想定（第二次報告）のポイント ～施設等の被害及び経済的な被害～.
- 8) 国土交通省，防波堤の耐津波設計ガイドライン，p.30，2013.
- 9) 国土交通省中部地方整備局 港湾空港部 名古屋港湾空港技術調査事務所，防波堤の粘り強い構造の設計，波となぎさ，No.189，pp.13-18，2013.
- 10) 浜田敏明ら：海水中における摩擦増大用アスファルトマットの長期耐久性（30年）について，土木学会海岸工学論文集，第48巻，pp.1001-1005，2001.
- 11) 林文慶ら：アスファルトマットの海藻植生試験，土木学会第56回年次学術講演会，pp.186-187，2001.

【筆者紹介】

岸田 哲哉（きしだ てつや）
日本海上工事㈱
技術研究所
技術課長



田崎 邦男（たさき くにお）
日本海上工事㈱
常務取締役



池谷 毅（いけや つよし）
鹿島建設㈱
技術研究所
主席研究員

