

津波漂流物対策施設設計ガイドライン（案）について

由井孝昌*・山本修司**

* 前（財）沿岸技術研究センター 企画部 主任研究員

** （財）沿岸技術研究センター 理事

津波漂流物対策施設とは、津波の浸水そのものによる被害を低減させるのではなく、津波による漂流物(船舶、車両、コンテナ、木材、家屋の廃材等)から人命を守り、また財産の被害を低減させるために、津波漂流物の漂流等を防ぐ減災を目的とする施設である。平成19年には釧路港にて全国初となる津波漂流物対策施設が整備されたが、その設計に関する考え方や設計手法については、未確立の部分が残されていたため、「津波漂流物対策施設設計ガイドライン(案)」を取りまとめた。

キーワード：津波漂流物対策施設, 漂流物, 減災施設, 釧路港, 設計手法,

1. はじめに

これまで多くの津波被害を受け、近い将来も大規模地震が懸念される我が国は、津波及びその漂流物に対する対策が望まれている。津波による被害について、津波そのものによる溺死もさることながら、船舶、車両、コンテナ、木材、家屋の廃材などの津波漂流物の衝突により、多くの人命や財産が失われたり、漂流物が海域や港内に流出することによって、物流・人流機能の低下をもたらす。これら、津波漂流物に対する流出対策として、漂流物を捕捉する津波漂流物対策施設が提案され、平成19年には釧路港にて全国初となる津波漂流物対策施設が整備された(写真-1)。



写真-1 津波漂流物対策施設（釧路港）

津波漂流物対策施設とは、津波の浸水そのものによる被害を低減させるのではなく、津波による漂流物(船舶、車両、コンテナ、木材、家屋の廃材等)から人命を守り、また財産の被害を低減させるために、津波漂流物の漂流等を防ぐ減災を目的とする施設である。

しかし、このような施設に関する計画・設計基準がないため、(財)沿岸技術研究センター、(社)寒地港湾技術研究センターでは、学識経験者等により構成される「津波漂流物対策施設設計ガイドライン検討会」を開催し、計画・

設計手法の検討を実施し、その成果を「津波漂流物対策施設設計ガイドライン(案)」として共同で発刊した。

本論では、津波漂流物対策施設の概要と特筆すべき設計手法について報告する。

2. 津波漂流物対策施設の概要^{1), 2)}

2.1 概要

津波漂流物対策施設は、従来の防潮堤のように津波そのものを防御する施設ではなく、前述したように津波漂流物の漂流等を防ぐ減災を目的とする施設である。また、剛構造であるコンクリート製の防潮堤等とは異なり、漂流物の衝突エネルギーを支柱などの部材変形によって吸収させる柔構造とすることで部材の縮小化を図り、1m当り50万円程度での施工と整備期間の短縮化を可能とした。

2.2 基本構造

津波漂流物対策施設は、基本的に、鋼管支柱、捕捉スクリーン(ワイヤロープ等)及び基礎(直接基礎または杭基礎)からなる簡易な構造である(図-1)。支柱は施設の両端にある端部支柱と、その間の中間支柱で構成され、それぞれ基礎部がある。また、支柱間は捕捉スクリーンで結ばれ、支柱の強度と捕捉スクリーンの張力によって

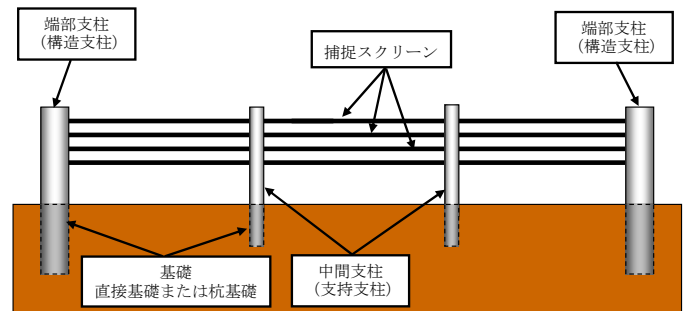


図-1 津波漂流物対策施設の基本構造

津波漂流物を捕捉する構造になっている。捕捉スクリーンは、大きな張力を持ち比較的大きな漂流物を捕捉するのに適しているロープ形式(ガードケーブルタイプ)や、木材や雑物など、ロープ形式では通過してしまう可能性のある漂流物を捕捉するのに適している網目状に張り巡らされたネット形式(フェンスタイプ)などが考えられる。支柱間の捕捉スクリーンが無い杭タイプは、比較的大きな漂流物のみを対象とする場合に適している(図-2)。ただし、これらはいくまでも基本的な構造であり、捕捉する漂流物の形状や、守るべき対象物とその対策レベルによって、適切な構造形式を選択する必要がある。

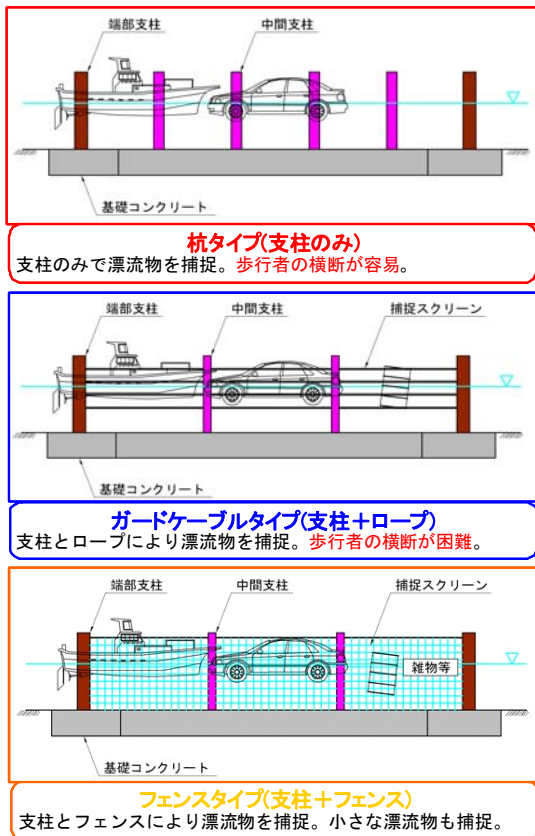


図-2 津波漂流物対策施設の構造形式

3. 津波漂流物対策施設設計

ガイドライン(案)の概要

ガイドライン(案)は、これまでの検討会の成果や実験の結果を取りまとめ、以下の構成とした。そのうち、特筆すべき設計手法について、以下に概要を述べる。

第1章 総則

- 1.1. 津波一般
- 1.2. 本ガイドライン(案)の適用範囲
- 1.3. 用語定義
- 1.4. 要求性能
- 1.5. 津波漂流物対策施設の基本的構造
- 1.6. 津波漂流物対策施設の配置計画
- 1.7. 津波漂流物対策施設設計時の留意事項

第2章 設計条件

- 2.1. 設計津波の設定
- 2.2. 地盤条件の設定

第3章 材料

- 3.1. 一般
- 3.2. 捕捉スクリーン材

第4章 作用

- 4.1. 対象漂流物
- 4.2. 作用の形態
- 4.3. 作用の組合せ
- 4.4. 作用条件の設定
- 4.5. 漂流物の衝突エネルギー

第5章 構造設計

- 5.1. 設計の基本的な考え方
- 5.2. 構造諸元の設定
- 5.3. 設計手順
- 5.4. 支柱設計
- 5.5. 捕捉スクリーン設計
- 5.6. 支柱基礎の設計
- 5.7. 支柱のコンクリート基礎への埋込長

第6章 構造細目

- 6.1. 防食
- 6.2. 支柱への捕捉スクリーンの取り付け

3.1 支柱設計～端部支柱

(1) 設計の考え方

- a) 端部支柱は、漂流物が衝突した箇所の支柱断面が局部的に変形し、さらに支柱基部の変形により衝突エネルギーを吸収する。
- b) 端部支柱への漂流物の衝突時、端部支柱は支柱のみで抵抗して漂流物を捕捉する。
- c) 施設全体の機能保持のため、端部支柱が漂流物の衝突により変形しても、施設両端で捕捉スクリーンの張力を保持させる。
- d) 端部支柱の梁変形の許容変形量は、支柱基部に局部座屈が発生した時の支柱の傾斜角とする(「鋼製砂防構造物設計便覧³⁾」の考え方を準用)。

(2) 設計手法

端部支柱を設計する場合、支柱への作用(衝突エネルギー)が、支柱の耐力(衝突に対する吸収エネルギー、図-3)に対して小さくなっていることを確認する。上記の関係を満足しない場合、支柱断面の再設定を行う。

a) 支柱の耐力(吸収エネルギー)： E_T

支柱の吸収エネルギー E_T は、支柱の断面性能によって一義的に定まり、次式で算出される。

$$E_T = E_R + E_p \quad (1)$$

b) 局部変形(凹み)による吸収エネルギー： E_R

局部変形による吸収エネルギー E_R は次式で算出できる。

$$E_R = P_0 \frac{\delta_{L0}}{1.8} \quad (2)$$

ここに、 P_0 ：衝突箇所で生じる反力の最大値
 δ_{L0} ：荷重 P_0 に対応する局部変形量

c) 梁変形による吸収エネルギー： E_P

梁変形による吸収エネルギー E_P は次式で算出できる。

$$E_P = P_0 \delta_{pa} \quad (3)$$

ここに、 δ_{pa} ：局部座屈発生時の塑性変位量

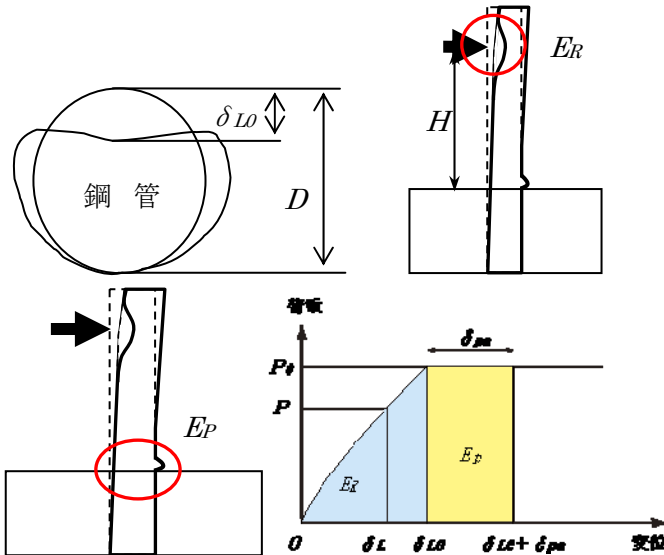


図-3 吸収エネルギーの概念図

3.2 支柱設計～中間支柱

(1) 設計の考え方

- a) 漂流物の衝突エネルギーは、支柱の変形と捕捉スクリーンの変形で吸収する。
- b) 中間支柱は、漂流物の衝突により変形しても、捕捉スクリーンがたわまないように保持させる。
- c) 中間支柱の梁変形の許容変形量は、支柱の傾斜角 15 度とする(「落石対策便覧⁴⁾」の考え方を準用)。

(2) 設計手法

中間支柱を設計する場合、支柱への作用(衝突エネルギー)が、支柱の変形と捕捉スクリーンの変形で吸収するエネルギーに対して小さくなっていることを確認する。

ここでは、支柱および捕捉スクリーン(ワイヤロープを想定)の吸収エネルギーの算定方法を述べる。

a) 中間支柱・ワイヤロープによる吸収エネルギー

漂流物が中間支柱に衝突する場合の吸収エネルギー E_T は次式で算定できる。ここで、 ER_1 はワイヤロープの弾性域内の吸収エネルギー、 ER_2 、 ER_3 は降伏域～塑性域の吸収エネルギーである。 E_{p15} は梁変形による吸収エネルギーである(図-5)。

$$E_T = ER_1 + ER_2 + ER_3 + E_{p15} \quad (4)$$

b) ワイヤロープの吸収エネルギー ER

ワイヤロープの断面積を A 、全長を L 、弾性係数を E_w 、発生張力を T とすると弾性範囲におけるワイヤ

ロープの伸び δ は次式で算出できる。図-4 にワイヤロープの変形と荷重の関係図を示す。

$$\delta = \frac{TL}{E_w A} \quad (5)$$

また、中間支柱とロープのなす角 θ_y 、ロープの張出し量 δ_R は次式で算出できる。

$$\theta_y = \cos^{-1} \left(\frac{a}{a + \delta/2} \right) \quad (6)$$

$$\delta_R = a \tan \theta_y \quad (7)$$

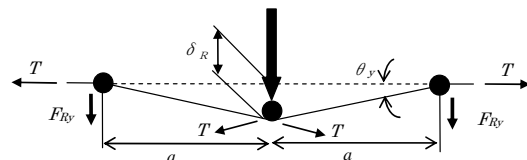


図-4 ワイヤロープの変形と荷重の関係図

ワイヤロープの吸収エネルギー ER_1 、 ER_2 、 ER_3 は次式で表される。

$$ER_1 = \frac{n_s L}{2 E_w \times A} (T^2 - T_0^2) \quad (8)$$

$$ER_2 = n_s (T_y + T') \times (\Delta L' - \Delta L_e) \times L/2 \quad (9)$$

$$ER_3 = 0.9 n_s \times T_b \times L \times (\Delta L - 1.5\%) \quad (10)$$

ここに、

$\Delta L'$ ： ER_2 区間内でのワイヤロープの伸び率(最大 1.5%)

T' ：伸び率が $\Delta L'$ 時の張力

L ：ワイヤロープの全長

T_y ：ワイヤロープの降伏荷重(0.75 T_b)

n_s ：ワイヤロープの設置本数

E_w ：ワイヤロープの弾性係数

T ：ワイヤロープに作用する張力

T_b ：ワイヤロープの破断荷重

ΔL ：ワイヤロープの伸び率(最大 3%とする)

ΔL_e ：ワイヤロープの弾性限界における伸び率

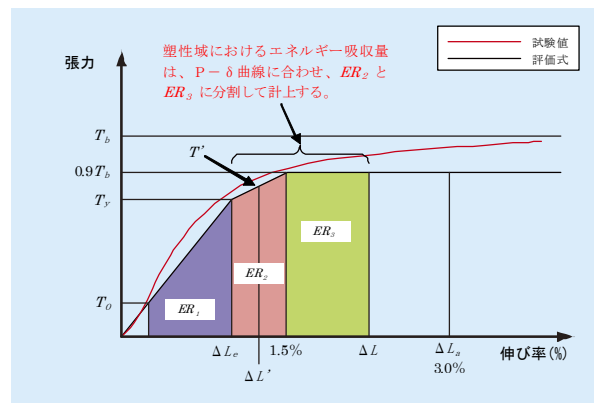


図-5 ワイヤロープの吸収エネルギー

c) 中間支柱の梁変形による吸収エネルギー E_{p15}

支柱基部が塑性変形する荷重 P_0 は、端部支柱と同様に次式で算出できる。

$$P_0 = \frac{Z_p \sigma_{yd}}{H} \quad (11)$$

支柱の漂流物衝突位置での変形量 δ_{15} ，支柱の梁変形による吸収エネルギー E_{p15} は，次式で算出できる。

$$\delta_{15} = H \tan 15^\circ \quad (12)$$

$$E_{p15} = P_0 \times \delta_{15} \quad (13)$$

3.3 支柱基礎の設計

本施設の基礎の形式としては，コンクリート基礎と杭基礎を想定している。以下にそれぞれの形式の設計における考え方を記載する。

(1) コンクリート基礎の設計

コンクリート基礎の設計法には種々の方法があるが，設計手法の選定にあたっては，基礎の状況，基礎の形状によって以下の中から適切なものを選択する。

①浅い基礎（静的設計を行う場合）

既設構造物と支柱基礎が隣接し，隣接する既設構造物に対する支柱基礎の変形の影響が懸念される場合に採用する。一般には，基礎の根入れ長が基礎幅よりも小さい場合に適用する。基礎の変形量を考慮しない設計法で，作用を静的荷重として扱う。

設計にあたり，「港湾の施設の技術上の基準・同解説⁵⁾」の考え方を準用し，照査項目は基礎の滑動・転倒ならびに基礎底面における地盤の支持耐力とする。

②浅い基礎（基礎の回転運動を考慮した設計を行う場合）

地盤を含めた既設構造物と支柱基礎との間に力学的な分離が十分図れ，隣接する既設構造物への支柱基礎の変形による影響がないと判断される場合に採用する。

支柱から伝達される作用を回転運動量として扱い，基礎のエネルギー吸収の考え方については，「落石対策便覧⁴⁾」の考え方を準用する。設計法概念図を図-6に示す。

なお，この設計法の適用にあたっては，その適用条件を十分に考慮し，適用範囲を満足できないと判断される場合には，「浅い基礎（静的設計）」として設計を行う。

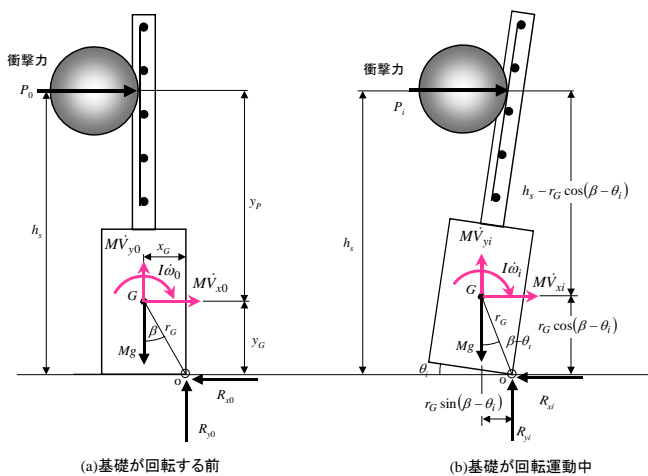


図-6 基礎の回転を考えた設計法概念図

(2) 基礎杭の設計

杭基礎の設計には，「港湾の施設の技術上の基準・同解説⁵⁾」の考え方を準用し，基礎杭によるエネルギー吸収を考慮することができる。

基礎杭の挙動解析は，「港研方式」によることとし，基本式は次式のとおりである。

$$EI \frac{d^4 y}{dx^4} = -P = -pB \quad (14)$$

ここに， EI ：杭の曲げ剛性(kN・m²)

x ：地表面からの深さ(m)

y ：深さ x における杭の変位(m)

P ：深さ x における杭の単位長さ当たりの地盤反力(kN/m)

p ：深さ x における杭の単位面積当たりの地盤反力(kN/m²) $p = P/B$

B ：杭幅(m)

4. おわりに

本ガイドライン（案）は，これまでに行われてきた検討会の成果や現時点での実験の結果を取りまとめたものであり，今後とも研究成果や新たな知見が得られるつど，随時改訂していく必要がある。本ガイドライン（案）が，今後，津波漂流物対策施設を計画・設計される方々に広く活用され，津波対策の推進に寄与することが期待される。

5. 謝辞

本ガイドライン（案）の技術検討に際し，「津波漂流物対策施設設計ガイドライン検討会」では委員の皆様から貴重なご指導，ご助言をいただきました。また，資料編に掲載の各種試験結果は，津波・高潮バリア研究会よりご提供いただきました。ここに記して感謝の意を表します。

参考文献

- 丸山修治：釧路港における津波漂流物対策の取り組みについて，平成19年度国土交通省国土技術研究会，2007.10
- 松下圭吾：津波漂流物対策施設設計ガイドライン（案）の発刊について，（社）寒地港湾技術研究センター 海と港，pp.108-115.2009
- 財団法人砂防・地すべり技術センター：鋼製砂防構造物設計便覧改訂4版，2001.2
- 社団法人日本道路協会：落石対策便覧，2008.3
- 国土交通省港湾局監修：港湾の施設の技術上の基準・同解説，社団法人日本港湾協会，2007.7