

港湾設計業務シリーズ

港内波高計算システム（透過堤モデル）

Ver 2.X.X

商品概説書

— 目次 —

1. はじめに	1
1.1 まえがき.....	1
1.2 システムの特徴.....	1
1.3 システムの制限事項.....	2
1.4 システムの動作条件.....	2
2. 機能説明	1
2.1 計算理論及び、適応性について.....	3
2.2 計算条件について.....	4
2.2.1 規則波・不規則波共通データ.....	4
2.2.2 不規則波用データ.....	4
2.2.3 境界分割率について.....	6
2.2.4 近似干渉回数について.....	6
2.2.5 メッシュピッチについて.....	7
2.3 透過壁を考慮する場合.....	8
2.3.1 複数の透過堤が相互干渉するように配置されている例.....	8
2.3.2 L字型の透過堤が配置されている例.....	9
2.3.3 相互干渉がないと考えられる複数の透過構造物が配置されている例.....	9
2.3.4 透過率の設定について.....	10
2.3.5 越波による透過波の考慮について.....	11
2.3.6 透過率と反射率の関係について.....	13
2.4 波向きについて.....	13
2.5 砕波について.....	14
2.6 複雑な形をした港湾形状を有する場合の注意事項.....	15
2.7 その他補足.....	16

1. はじめに

1.1 まえがき

本説明書は当社が開発する港湾設計業務シリーズパッケージプログラムのうち、「港内波高計算システム(透過堤モデル)」について説明したものです。

尚、この製品は「中村孝幸, 奥吉雄:任意平面形状を有する堤体構造物まわりの波変形の解析法について, 第32回海岸工学講演会論文集, pp.594-598, 1985.」をベースに、透過型防波堤の算定が可能となるよう拡張した「中村孝幸, 佐伯信哉:透過堤を含む港湾域の波高分布の算定法に関する研究, 海洋開発論文集, 第15巻 pp.339-344, 1999.」を元に作成され、さらに複数の透過堤が港湾域に存在する場合にも解析が可能となるよう拡張した「中村孝幸, 佐伯信哉, 村上剛:複数の透過堤を含む港湾域における波高分布の近似解析法, 海洋開発論文集, 第74巻2号, 1569-1574, 2018.」を元に作成したものです。

1.2 システムの特徴

本システムは、防波堤計画に必要となる波高分布をV.L.G関数法(Issacsonによる Vertical Line Green's function[鉛直線グリーン関数法])に基づいて計算しますが、沖防波堤のように壁厚が波長に比して小さくなる場合や、直立消波護岸などの低反射構造物にも適用できるよう修正を加え、従来よりも汎用性のある、しかも効率的な算定が可能となっています。

さらに、港湾形状・沖防波堤の設定にDXF・CSVファイル読み込みを用いることにより、簡単に任意形状を入力できるよう考慮されています。

また、複数の港湾形状・港湾開口部が入力可能となっており、港湾平面形状、波浪諸元に関わらず入力容易で遮蔽された領域がある場合でもデータを分割することなく一度に計算可能です。従って、データ作成者の熟練度に関わらず、初心者でも一般的に解法が行えます。

本システムには、以下のような特徴があります。

- 港湾形状の入力には、DXFファイル読み込み、CSVファイル読み込みなどを用意しています。
- 多方向不規則波、規則波の解析が可能です。
- 計算結果は、定常解となっていますので、境界条件が一致していれば、一定の解析結果が算出されます。
- 構造物の壁厚が考慮できるため、壁体厚が変化する場合の効果も考慮できます。
- 港内の水深は、一定水深でモデル化を行い、解析を行います。
- 港湾境界に任意の反射率を与えることが可能となっています。
- 港湾境界に任意の透過率を与えることによって透過型防波堤の算定を可能としています。
- 通常の透過型防波堤の設定では、沖→岸方向と岸→沖方向を考慮しますが、越波境界を設定することにより、沖→岸方向のみのエネルギーの伝達を考慮することが可能となっています。
- 複数の港湾開口部や遮蔽された領域がある場合でもデータを分割することなく一度に計算可能です。
- 港湾形状の変更や追加などCAD画面を用いることにより、容易に行うことができます。
- 不規則波の波高分布は、規則波の結果をエネルギー的に重ね合わせる方法を用いて計算します。
- 透過波の影響は、線形的に重ね合わせる方法を用いて計算します。
- 港外からの進入波、港内における低反射条件を考慮した多重反射、多重回折が考慮できます。
- 作図図面は、コンター図・デジタルマップ図・カラーコンター図・ベクトル図を用意し、それぞれ回折係数・波高・波向きが作図可能です。また、それぞれの図面を重ねて作図することも可能です。
- 作図データがDXFファイル形式に出力可能です。ただし、カラーコンター部分に関しては、DXFファイル形式への出力は不可です。
- 作図イメージが画面で確認可能です。

1.3 システムの制限事項

[データ容量]

- 最大構成座標数(入力値) 10000 点

[最大干渉透過堤基数]

- 2基(2重重ね合わせ透過堤まで)

1.4 システムの動作条件

オペレーティングシステム

Microsoft Windows10 64bit

Microsoft Windows8.1 64bit

メモリ

2GB以上 (推奨 4GB以上)

ハードディスクの空き容量

アプリケーション用に20MB程度

モニタ

1024×768と同等、またはそれ以上の解像度を推奨

マウス・プリンタ

使用するオペレーティングシステムに対応したもの

その他

Microsoft .NET Framework Version 4.5.X以上

ヘルプ表示用にADOBE READER

※ 使用メモリー量は、計算する港湾領域・波浪条件により変動します。領域が同等の場合、入射波周期が長い場合と短い場合では、短い方がメモリーを多く消費します。また、大領域の解析を行う場合は、できるだけ多くのメモリーを搭載していただくことを推奨します。

※ ハードディスクの空き容量は、アプリケーション用以外にデータ保存用が必要です。必要容量は作成するデータ数により変動します。

2. 機能説明

2.1 計算理論及び、適応性について

本システムの計算理論及び、適応性については次の別冊を用意しています。計算理論など不明な点や本システムの適応性については、そちらを参照してください。

- 鉛直線グリーン関数法に基づく波高分布の算定法とその実験的検証
- 透過堤を含む港湾域の波高分布の算定法に関する研究
- VLG 法による波向き算定法の概要
- 港内静穏度に及ぼす陸域境界及び島堤の反射波と透過波の影響の評価法(複数の透過堤があるときの算定法の概要)

2.2 計算条件について

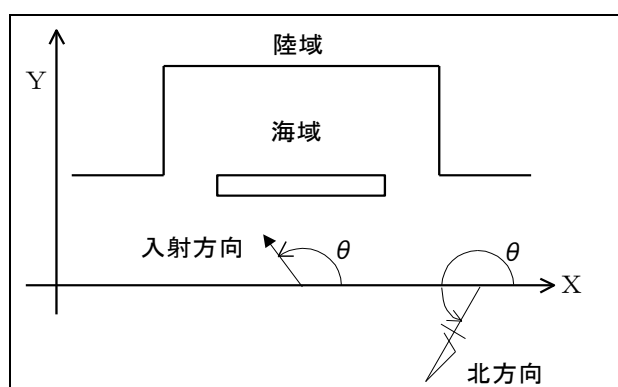
本システムでは、波高解析を行うために、計算条件として各種データを設定する必要があります。

2.2.1 規則波・不規則波共通データ

- 1) 入射波高値(m)
- 2) 入射波周期(秒)
- 3) 設計潮位(m)
- 4) 地盤高(m)
- 5) 入射角(度)
- 6) 磁北の角度(度)
- 7) 入射方向の16方位表記

※ 計算水深は、計算水深＝設計潮位－地盤高より内部的に算出します。

※ 本システム内部では、データの座標系として数学座標を採用しています。磁北の角度は、下図のように数学座標のX軸からY軸に向かう方向を正とした角度を設定してください。入射角は入力方法により与える角度に違いがあります。「X軸からY軸方向への角度」の場合は、磁北と同様に数学座標のX軸からY軸に向かう方向を正とした角度を設定してください(下図参照)。その他の入力方法の場合は、磁北から左回りあるいは右回りを正とした角度を入力します。



2.2.2 不規則波用データ

- 1) 方向分布関数の分割数(方向分割数)

不規則波は、無数の方向の波が重なり合って合成されていると考えられます。計算上はいくつかの方向の波を合成して実際の波を近似します。

方向分割数は、計算時に考慮する代表的な波向方向の数を指定します。各方向への波のエネルギー分布は方向集中度パラメータを使用して自動的に決定されます。(例えば、 $S_{max}=10$ であれば、方向分割数は少なくとも7,8分割程度を指定する事を推奨いたします。)尚、波の有効入射角の範囲は別途に指定します。

2) 方向集中度パラメータ(Smax)

不規則波は複数の方向の波が重なり合って合成されていると考えられます。方向集中度パラメータは、卓越波方向へのエネルギーの集中度を示す値です。一般に以下のような値を用います。

- | | | |
|--------------|---------------------------|---------|
| a.風波 | $H0/L0 > 0.03$ | Smax=10 |
| b.減衰距離の短いうねり | $0.03 \geq H0/L0 > 0.015$ | Smax=25 |
| c.減衰距離の長いうねり | $0.015 \geq H0/L0$ | Smax=75 |

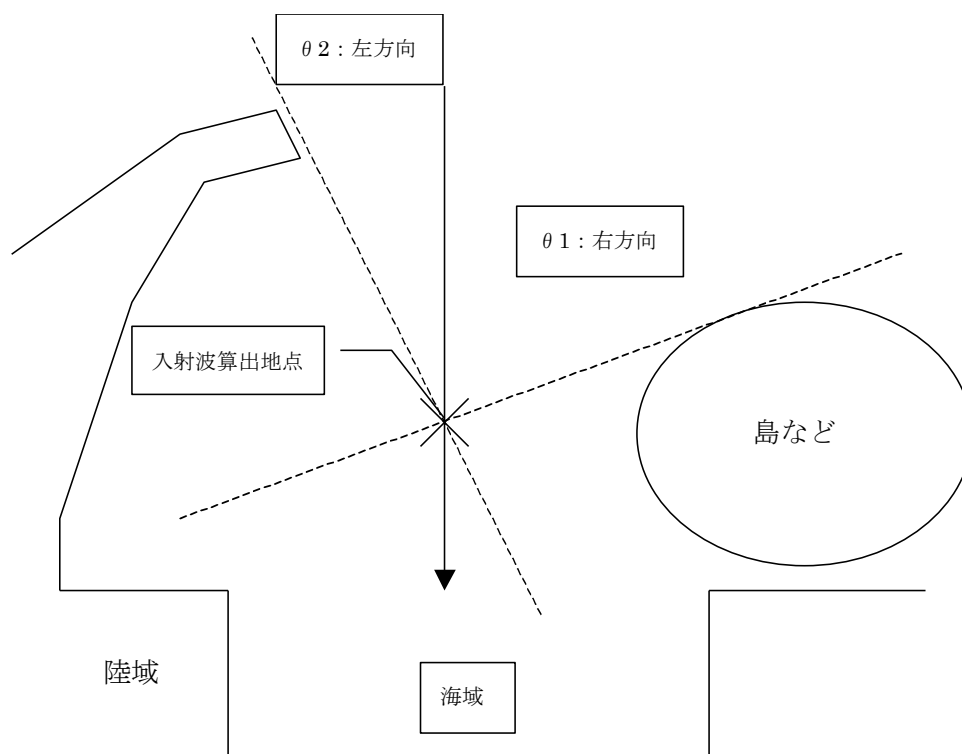
注) $H0/L0$ は、深海波の波形こう配です。

3) 入射方向より右方向・左方向の成分波の広がり

成分波の広がりとは、来襲波(入射波)を推算あるいは推定したとき、既に島や岬などの障害物の影響が考慮されており、その障害物を波高計算のデータとして必要とせず、入力しない場合に設定します。設定の仕方は、下図に見られるように幾何光学的な関係を利用するのが一般的です。

一方、障害物の沖側で来襲波(入射波)を推算あるいは推定したときには、障害物を波高計算データの一部として入力すればよく、このとき障害物の影響は計算内部で自動的に考慮されることから、成分波の広がり、右方向(90度)～左方向(90度)に設定すればよいことになります。

成分波の広がり設定方法を下図に示します。



※ 左右の角度の設定は、入射波算出地点に自分が立つと考えて沖側に向いて考えるのがわかりやすいと思います。また、エネルギーは、指定した角度内で100%になるように分割されます。従って、角度をカットすればその分、中心部分にエネルギーが卓越するようになります。

4) 周波数スペクトルの分割数(周期分割数)

不規則波は、無数の周期の波が重なり合って合成されていると考えられます。計算上は有限個の異なる周期の波を合成して実際の波を近似します。周期分割数は計算時に合成する波の周期の数を指定します。それを考えた場合、最低でも3分割、できれば5分割程度を推奨いたします。分割数だけ指定すれば波の諸元は自動的に計算されます。

2.2.3 境界分割率について

本システムでは、水深(設計潮位ー地盤高)と入射波周期より、計算波長を算出(※)し、本項目で指定した分割率により分割波長を算出し、境界を分割します。

画面には、現在指定されている境界分割率から計算した分割波長が表示されています。港湾形状が複雑な場合や、波長に比較して壁厚が小さい部材がデータとしてある場合は、できるだけ最小の部材幅に近い値になるように分割率を設定した方が良好な結果が算出されます。

また、比較的単純な港湾形状や、壁厚の小さい部材が無い場合はおおむね、規則波で 1/8、不規則波で 1/4 程度でほぼ収束すると思われれます。

計算を行う上で注意すべき点を以下に示します。

※ 不規則波の場合は、さらに周期分割により算出された最低周期を用いて計算波長を算出します。

1) 分割波長に比較してあまりにも壁厚が小さくなる場合

分割波長に比較してあまりにも壁厚が薄い構造物がある場合、分割波長が長いまま計算すると、計算結果が十分に収束しないうちに終了してしまい、結果が不安定となる可能性があります。そのような場合には、分割波長をできるだけ短く(※)していただくか、あるいは考慮しないようなデータとした方が良好な結果となる場合があります。

※ しかし、あまりにも分割波長を短くしてしまうと計算に必要なメモリー量が増加しますので計算ができなくなる可能性があります。

2.2.4 近似干渉回数について

本システムでは、従来考慮できなかった折り重ね透過堤の解析が可能となりました。折り重ね透過堤とは、透過堤同士が干渉し合うように配置されている状態のものです。

検証では、高反射率で完全に重複した配置の2重折り重ね透過堤列において、3次近似の取り扱いであれば、十分な精度の解析結果が得られることが判明しています。実際の港湾においても、多くは2重折り重ね透過堤までと予想されるため、初期値を3としています。

尚、3重折り重ね透過堤の場合には、3次近似では精度が不足し、計算結果が低めに算出されるという結果が出ています。したがって、そのような配置の計算は制限事項としています。近似干渉回数を考慮した解析手順を以下に示します。解析手順から、近似干渉回数と透過堤の数が多くなると、非常に長い解析時間が必要となることがわかります。

<手順①> 透過堤を不透過とみなして港湾域内での反射波の算定を行なう。

<手順②> 入射波と①での反射波を併せて、着目している透過堤に作用させ、透過波の算定を行なう。この時、透過堤自身よりの反射波の影響は考慮しない。

<手順③> 着目している透過堤よりの透過波を入力として、港湾域全体よりの反射波を算定する。この時、透過堤自身よりの再反射波の影響は考慮しない。
複数の透過堤があるときには、透過堤の一基ずつについて上記②、③の解析を繰り返す。
(ここまでが第1次近似解析)

<手順④> 着目している透過堤において上記②, ③で算定された透過波と反射波をその他の透過堤に作用させてこれら透過堤の透過波の算定を行なう。この時、透過堤自身よりの反射波の影響は考慮しない。

<手順⑤> 上記④での着目透過堤からの透過波を波源とするその他の透過堤への透過波に対して、港湾域全体からの反射波の算定を行う。

<手順⑥> 上記④, ⑤の解析において着目透過堤をその他の透過堤の全てに適用して、同様に透過する波と反射波を算定する。(2次近似解析)

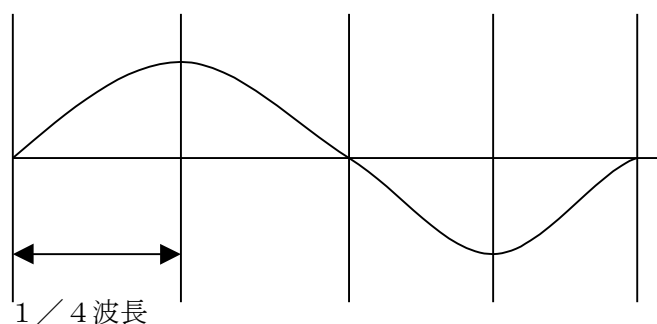
以降、この手順を繰り返します。

2.2.5 メッシュピッチについて

本システムでは、実波高値・回折係数値を算出する領域を矩形で指定します。計算領域を指定する場合、メッシュピッチを指定します。理想的なメッシュピッチとして、分割周期の $1/4$ 波長位を推奨値として表示しています。

推奨値を分割周期の $1/4$ 波長位とした理由として、波は腹や節といったように場所により高さが違い、特に規則波のような単一周期・単一方向の波に関しては、いっそう顕著に現れます。それを防ぐ方法として、メッシュ間隔を分割周期の $1/4$ 波長程度にすれば少なくとも以下の図くらいの位置は、押さえられるため傾向もわかりやすくなります。

ここに表示している値は、あくまでも推奨値であり、必ずこの値以下にする必要はありませんが、あまりにもメッシュピッチの間隔が大きい場合、コンター図がうまく作図できない場合があります。

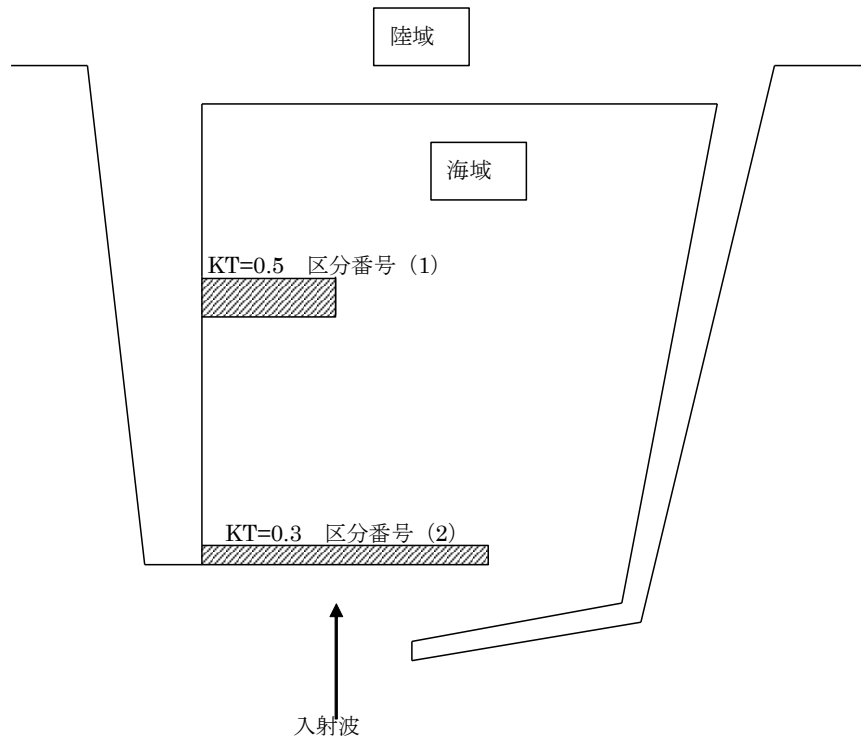


2.3 透過壁を考慮する場合

データとして透過型の構造物(以下、透過堤)を考慮する場合、構造物毎に番号を与えることでプログラム内部では、別の透過堤と認識します。その番号のことを、本システムでは「区分番号」と呼びます。区分番号は、原則的に1つの透過堤に対して1つの番号を割り当てます。しかしながら、区分番号が別の透過堤の数が多くなれば、それに伴い指数関数的に計算時間が長くなることに注意が必要です。影響がなさそうな配置の場合には、同じ区分番号を用いるなどの工夫が必要かもしれません。代表的な設定の方法を以降に示しますので参考にしてください。

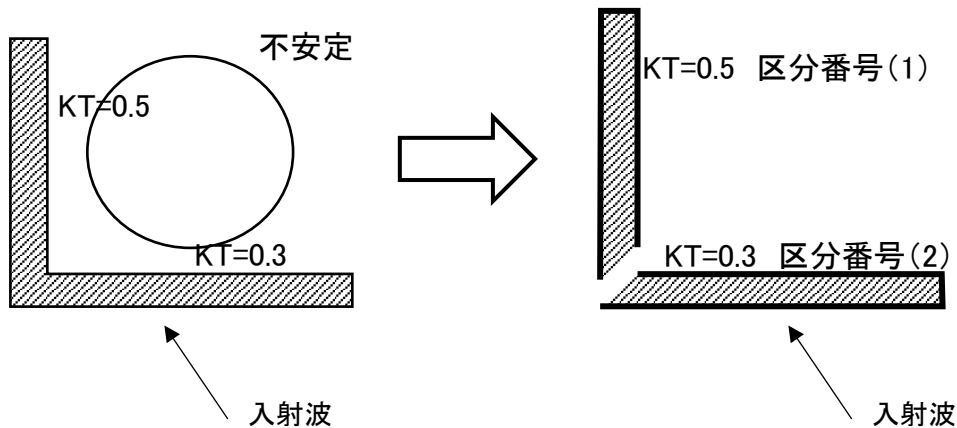
2.3.1 複数の透過堤が相互干渉するように配置されている例

下図のように複数の透過堤がお互いに干渉するような位置(例えば、透過堤で反射した波がさらに他の透過堤を透過してしまう様な形状)に設置している場合、従来は透過堤同士の干渉が発生し、入射方向などによっては、透過堤に挟まれていた海域や港内の波高値が不安定な結果となっていました。区分番号を設定し、透過堤それぞれが別のものであると認識させることにより、解析可能となっています。



2.3.2 L字型の透過堤が配置されている例

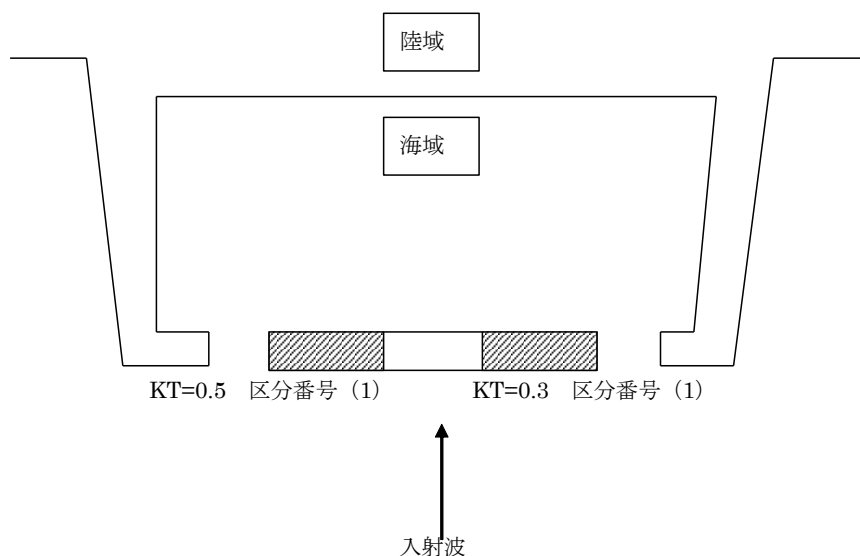
下図のように、一つの透過堤内に相互干渉が発生するような形状の場合でも、解析結果が不安定となります。そのような場合には、一つの透過堤内で別の「区分番号」を設定することで違う透過構造物と認識し、解析を行うことが可能です。この時、短辺及び結合部の透過率・反射率に何を設定しても解析結果に大きな影響はありません。また、結合部の区分番号の分け方について、下図は一例であり、構造物の形によってはこの限りではありません。



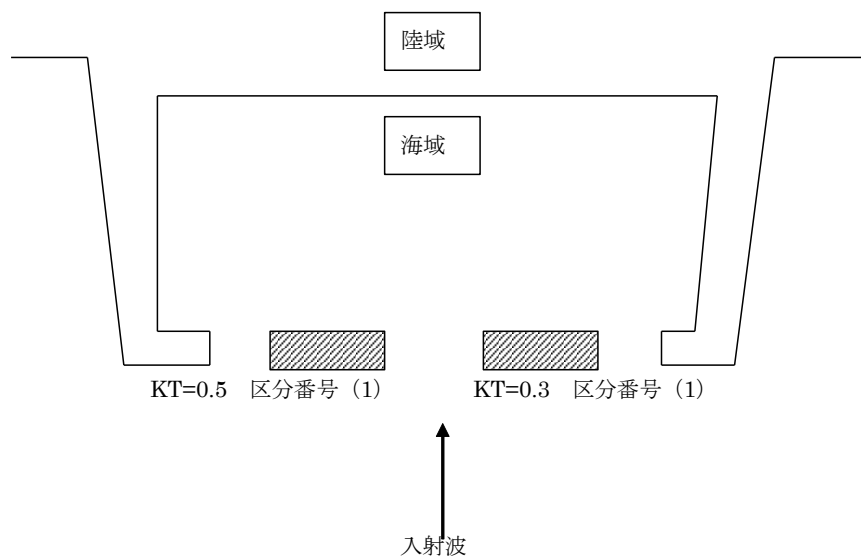
2.3.3 相互干渉がないと考えられる複数の透過構造物が配置されている例

一つの透過堤内に複数の透過構造物が配置されているケースや、近傍に複数の透過堤が直線的に配置され透過堤群とみなされるようなケースで、それらの透過構造物が相互干渉しないと考えられるような配置（同一の透過堤とみなしても差し支えない状態）であれば、同一の区分番号を設定し、一つの透過構造物として取り扱いを行っても十分な計算精度を有する場合があります。

(一つの透過堤内に複数の透過構造物があるケース)



(複数の透過堤があるケース)



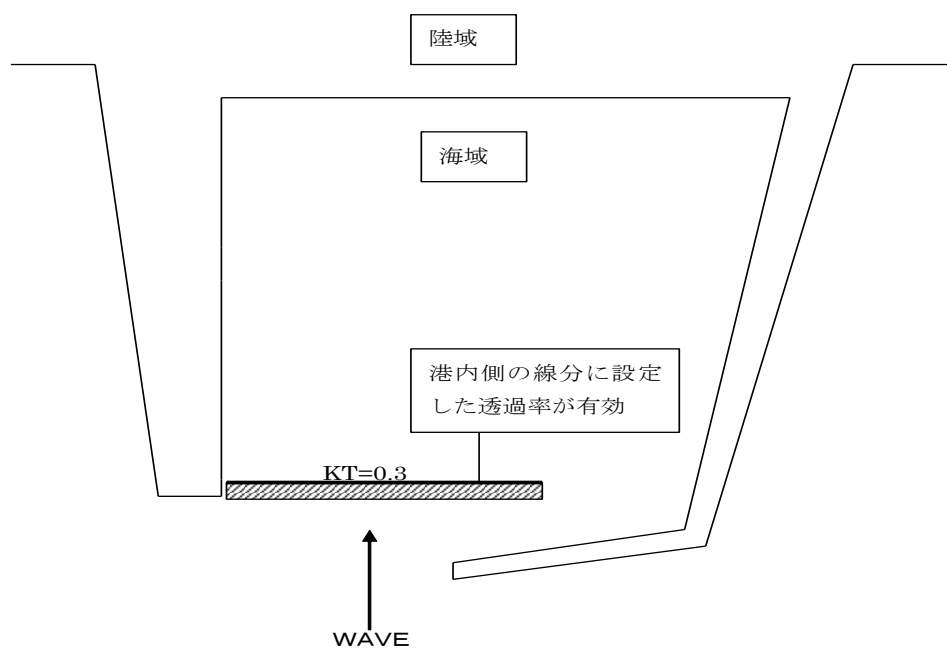
2.3.4 透過率の設定について

本システムでは、構造物の厚みを考慮できるため、透過壁がある場合、壁の前後に透過率を設定することができますが、計算結果の安定性を考えた場合、その透過堤全ての辺に対して透過率を与えてください。

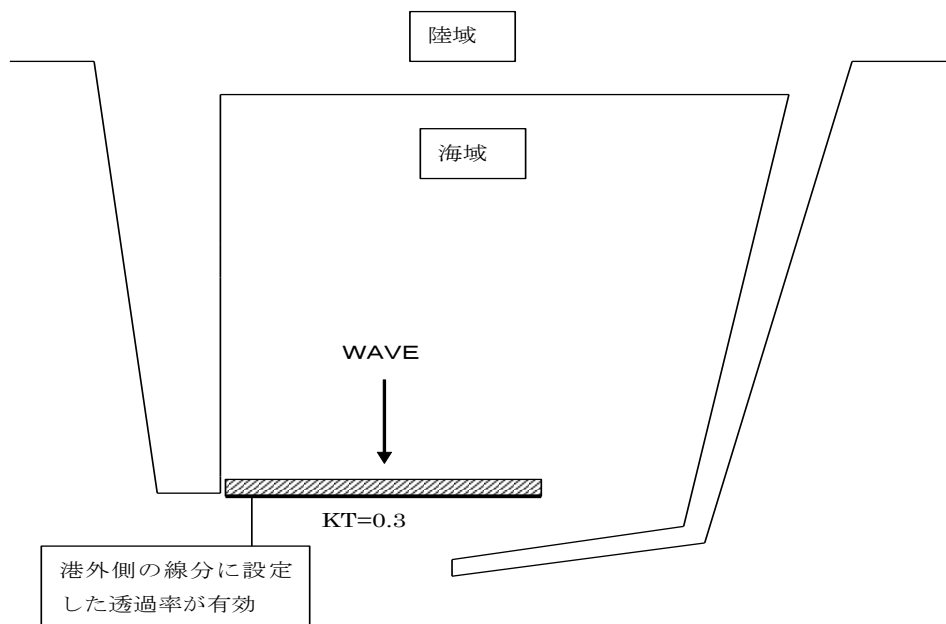
一部不透過な辺がある場合は、計算結果が不安定になる可能性があります。設定する透過率は、同一である必要はありませんが、著しく値の違う透過率を設定した場合でも計算結果が不安定になる可能性がありますのでご注意ください。

計算での透過率の考え方を下に示します。

(沖側から港内に向かって作用する波に対しての透過率)

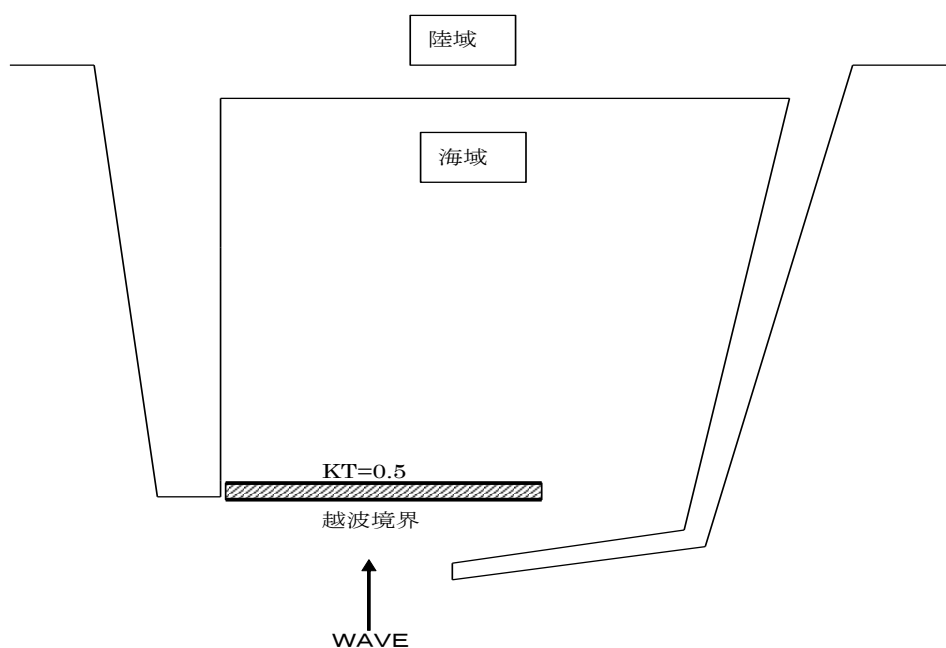


(港内から沖側に向かって作用する波に対しての透過率)



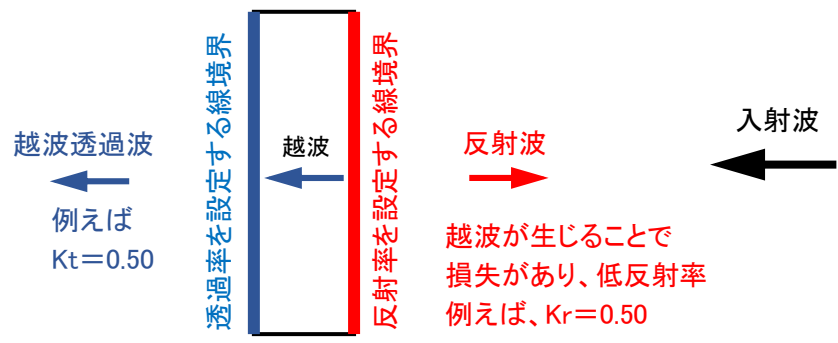
2.3.5 越波による透過波の考慮について

透過構造物に透過率を設定する場合、これまでの説明から透過壁が対となるように透過率を与える必要があります。そのため、越波のような沖→岸方向のみの透過波を考慮するために特別な境界「越波境界」属性を用意しています。沖→岸方向の入射波に対して作用する透過率は岸側境界のものとなりますので、本属性は沖側境界に与えることとなります。したがって、下図の場合の越波による透過波は透過率 0.5 で港内に作用することとなります。

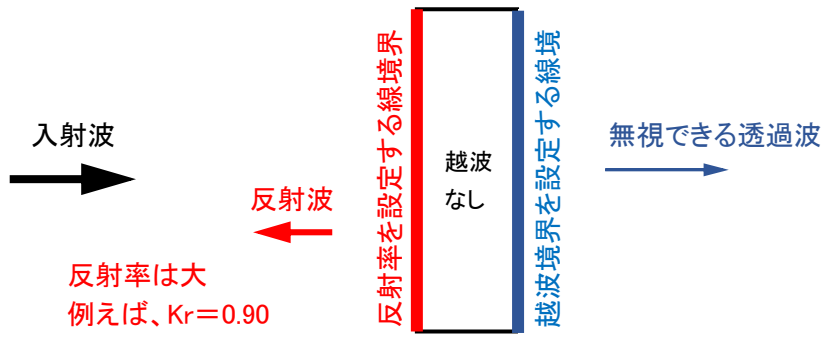


尚、このような越波型の透過率を考慮する場合の反射率と透過率の一例を以下に示しますので、参考にしてください。

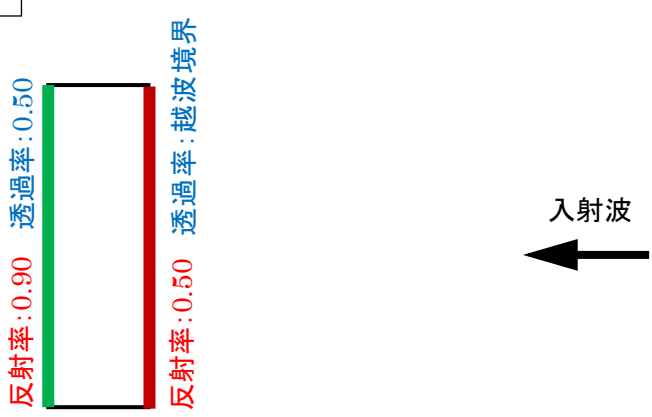
状態 1 波は沖から岸へ入射



状態 2 波は岸から沖へ作用



設定する条件例



この例だと、「2.3.6 透過率と反射率の関係について」の条件を満たさないことになってしまいますが、越波型境界の場合には港内側に有意な影響は出ないものと推定されます。
 尚、越波現象では周期特性が入射波のそれとは異なるようになることが知られています。しかしながら、このような周期変化を平面波高計算にどのように取り入れるかは従来において検討されておらず、したがって本計算でも周期変化は無視して計算を行っています。

2.3.6 透過率と反射率の関係について

透過率 K_t と反射率 K_r の絶対値は、各設定面に対して波のエネルギーの保存則を守って設定してください。具体的には、以下の関係式を満足するように設定してください。

$$K_t^2 + K_r^2 \leq 1 \quad (1)$$

2.4 波向きについて

計算条件において、波向計算を「する」とした場合、波向きのベクトル図やデジタルマップの描画が可能となります。計算方法の詳細については、別冊の「VLG 法による波向きの算定法の概要」を参照してください。ここでは、波向きを計算する際の注意点について示します。

- 反射率を設定したモデルでの波向きの計算は反射波等の関係から推奨されません。
- 構造物の直背後など、複雑な変形が起こるような場所の波向きは、不定な場合があります。

2.5 砕波について

本システムは一定水深のモデルであるため、砕波による波高の減衰等の影響は考慮できません。そのような条件での解析を行うことは可能ですが、解析結果の妥当性はありません。尚、砕波の条件としては以下の2つの条件が考えられます。

1. 水深の影響により砕波する場合

計算結果として対象となっている堤体に前面の波高水深比(H/h)が約1.0よりも大きくなる場合は、砕波する可能性があります。したがって計算結果としては、現地と沿わない結果となる可能性があります。その場合は反射率を低減し、砕波によるエネルギーの損失を考えてください。

2. 波形勾配により砕波する場合

水深が十分にあって、波高が高く砕波限界の波形勾配を越える場合があります。砕波限界の波形勾配は、海底勾配を考えなければ以下の式で算出することができます。

[進行波における砕波限界の波形勾配の算定(ミッシェの式)]

$$H/L = 0.14 \cdot \tanh(kh)$$

ここに、

0.14・ $\tanh(kh)$: 沖波の限界波形勾配

H: 砕波限界波高

L: 沖波波長

k: 波数 = $2\pi/L$

h: 水深

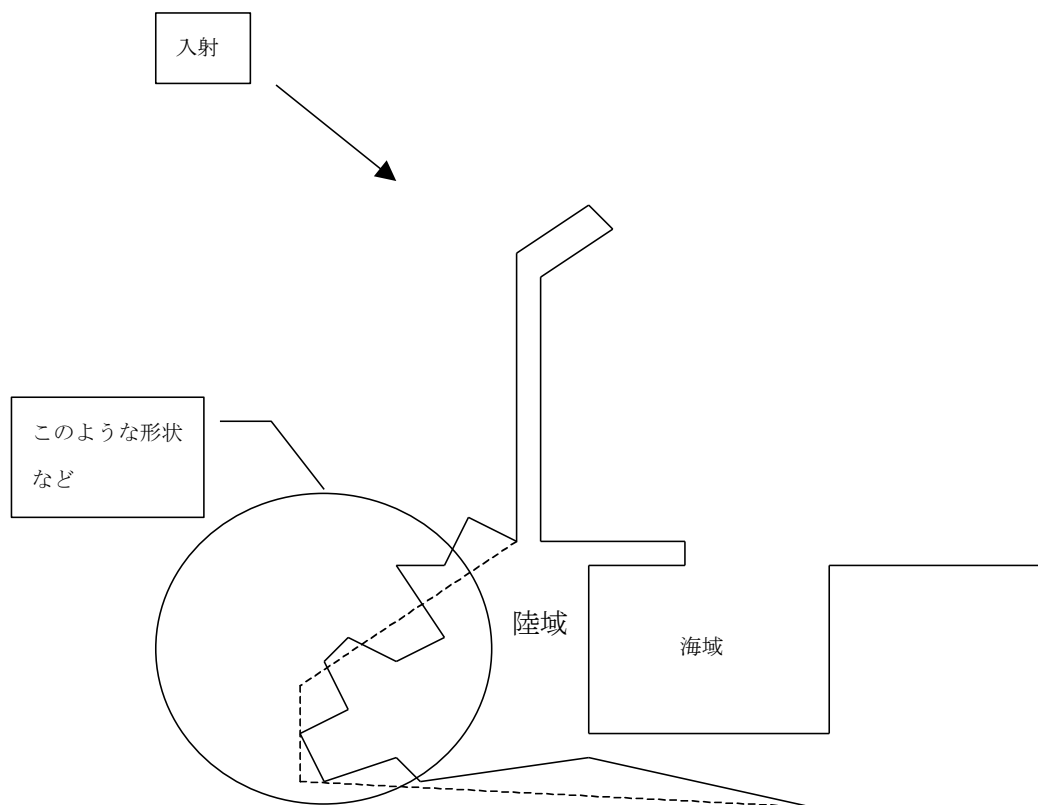
$\tanh(kh)$ は、波長に比べて水深が深い場合($h > L/2$)は、 $\tanh(kh) \doteq 1$ として表せます。

どちらも、波高と水深に依存しています。周期については、どんな周期でもかまいません。

一般に進行する波は一番とがった状態から崩れ始めます。これを砕波点と呼びます。そこから岸までの間を砕波帯と呼びます。

2.6 複雑な形をした港湾形状を有する場合の注意事項

下図のように港湾形状が、細かい間隔で変化しているような場合、港内の波高値が不安定な結果となる場合があります。そのような場合には、下図破線のようにできるだけ単純モデル化した方が良好な結果となる場合があります。



2.7 その他補足

- ・ 方向分割数は、 S_{max} に依存する部分があります。したがって、 $S_{max}=10$ であれば、方向分割数は、7, 8分割程度を指定する事を推奨いたします。また、周期分割数については複数の規則波の重ねあわせで不規則波を近似的に表現するために必要です。それを考えた場合、最低でも3分割程度、できれば5分割程度を推奨いたします。
- ・ 共振現象の影響などで計算結果が思わしくない場合や、特定の周期が異常値を出力するケースがあります。不規則波の場合は、与えられた周期分割数によりプログラム内部で多周期成分を生成します。そのため、周期分割数を変更すれば該当する周期成分が生成されなくなるため、計算結果が改善する可能性があります。
- ・ 長周期の入射波が港内に作用する場合、境界分割率を上げたほうが安定した結果が算出されます。例えば、 $1/4$ 波長 $\rightarrow 1/8$ 波長（これにより、境界分割波長が短くなります。そのため、計算に必要なメモリー容量と計算時間は増えます。）