

(3) 伝達波高

- ①防波堤を越波した波または防波堤もしくはマウンドを通過した波による伝達波の波高は、一般的に水理模型実験等の結果または既往の資料を参照して算定する。
- ②防波堤からの伝達波高は堤内の波高分布に影響を及ぼす場合があり、適切に推定すべきである。伝達波には、越波・越流によるもののほかに捨石堤やマウンドから波のエネルギーが透過して背後へ伝播するものが含まれる。後者を特に透過波と呼ぶこともある。最近では、港内の海水交換を図るために、本来不透過であるケーソン函に貫通孔を設け、透過性の防波堤を建設する場合がある。この場合には、海水交換の効率を表す指標の1つとして、波の伝達率（透過率）に対する検討を行うべきである。
- ③防波堤における港内への伝達率

(a) 混成防波堤を越波した波及びマウンド通過波による港内への伝達波高の算定には図-4.4.28¹³⁶⁾を用いてもよい。なお、図の作成に用いた模型実験における相対水深は $h/L=0.07\sim0.50$ 、相対天端幅は $B/h=0.8\sim1.1$ である。不規則波の場合にも波高伝達率はほぼ図-4.4.28に一致し、また、これは有義波高だけでなく、1/10最大波高及び平均波高についても成立することが示されている¹³⁷⁾。また、越波伝達波の周期は有義波周期及び平均周期ともに対応する入射波周期の50～80%に減少する¹³⁷⁾。

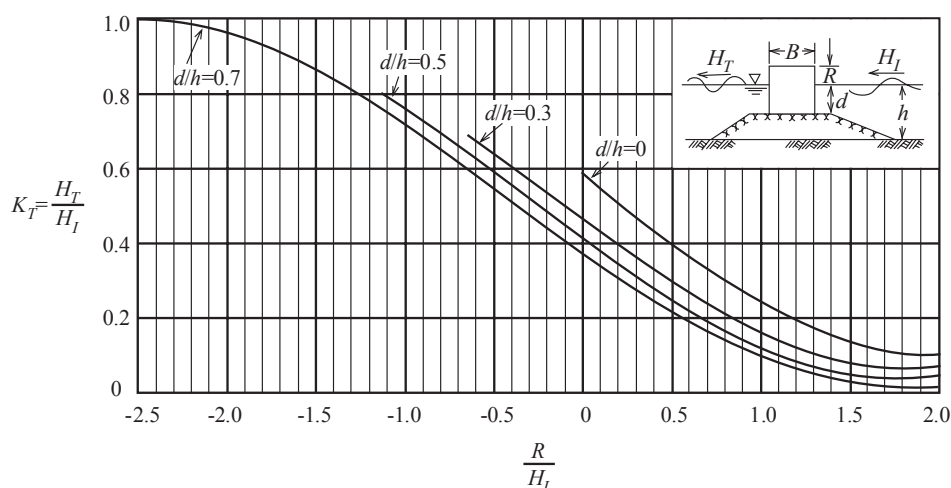


図-4.4.28 波高伝達率の算定図¹³⁶⁾

なお、マウンド通過波に比べ越波伝達波が卓越する場合の伝達率の概略値は、防波堤天端上の越波流量を用いて推定された例がある¹³⁸⁾。さらに、港湾を対象とした波浪変形計算においては、防波堤背後の越波伝達波を同時に算定する試みもみられる¹³⁹⁾。また、松本は¹⁴⁰⁾、CADMAS-SURFによる数値波動水路は越波伝達波計算にも適用できることを示した。

一方、地盤沈下や気候変動による平均海面上昇、津波や高波による直立部の転倒・マウンドからの滑落等により、天端が水没した混成防波堤（＝不透過型の潜堤）においては、天端水深が比較的浅く、かつ入射波高の2倍程度のとき、波の分裂現象により有義波周期が2割以上減少することが模型実験（相対水深 $h/L=0.11\sim0.28$ 、相対天端幅 $B/h=1.3$ ）により確認されている¹⁴⁰⁻¹⁾。ただし、この入射波高は換算沖波波高にほぼ等しい有義波高である。

また、この様子は必要に応じて段差境界処理を導入したブシネスクモデルを用いた数値計算でも比較的よく再現され、沖防波堤の一部が水没した場合の港湾への適用事例もみられることから、周期はブシネスクモデルを用いて算定される各地点の水位変動、または平均周期の空間分布から推定することができる¹⁴⁰⁻¹⁾。なお、不透過型の矩形及び台形の潜堤周りの平面波浪場において特に入射波の方向集中度が高い場合（例えば、一方向波 $S_{\max}=\infty$ ）には、潜堤両端で生じた屈折波が背後で取れんすることによる波高増大に留意する必要がある¹⁴⁰⁻¹⁾。

(b) 消波ブロック被覆堤に対する伝達波高については、近藤・佐藤の実験¹⁴¹⁾や谷本・大里の実験¹⁴²⁾がある。また、消波ブロック式傾斜堤については、坂本らの実験¹⁴³⁾がある。

(c) 潜堤は通常、碎石をマウンド状に積み上げて、表面に吸出し防止用の被覆ブロックを施す。碎石潜堤

の伝達率については堤体天端高と透過率の関係図¹⁴⁴⁾を用いることができる。

④防波堤の透過率

(a) 捨石堤や異形ブロック堤などの多孔質透水性施設については、近藤・竹田¹⁴⁵⁾の理論解析がある。代表的な施設の透過率については以下の実験式を用いることができる。

$$\text{石積み堤}^{146)}: K_T = 1 / \left(1 + k_t \sqrt{H/L} \right)^2 \quad (4.4.27)$$

ここに、

$$k_t: \text{捨石堤の場合 } k_t = 1.26 \left(\frac{B}{d_t} \right)^{0.67}, \text{異形ブロック堤の場合 } k_t = 1.184 \left(\frac{B}{d_t} \right)^{0.895}$$

B : 施設の天端幅

d_t : 捨石材の代表径または異形ブロックの高さ

H : 通過波高

L : 通過波の波長

(b) カーテン防波堤の場合には森平ら¹⁴⁷⁾の理論解を用いることができる。

(c) 前壁と後壁にスリットを有する直立消波透過型防波堤の透過率については実験結果を参考にできる¹⁴⁸⁾。

(d) 海水交換を促進する目的の防波堤としては、多翼式透過性防波堤、多列柱体列防波堤、水平板式透過性防波堤、パイプ式透過堤などがあり、透過率が求められている¹⁴⁸⁾。

4.4.8 波による平均水位の上昇とサーフビート

(1) 波による平均水位の上昇

①沿岸に進出した波が砕波することによって砕波帯内に生じる平均水位の上昇量は、砕波帯内に施設を建設する場合には、必要に応じて考慮することが望ましい。

②砕波による平均水位の上昇

砕波によって汀線近傍の平均水位が上昇する現象 (wave set up) については、海岸での観測などによって早くから知られていたが、その現象の発生原因については、理論的な裏付けが乏しかった。1962年に至って、ロンゲット・ヒギンズ (Longuet Higgins) とスチュワート (Stewart)¹⁴⁹⁾は、波高が変化している一連の波が進入してくると、波高が大きい箇所では大きな運動量の輸送になり、小さい箇所ではそれが小さくなるため、見掛け上応力が生じたようになって、平均水位が変化することを示した。この見掛け上の応力をラディエーションストレス (radiation stress) と名付けた。このラディエーションストレスは波高の2乗に比例する量で、この意味では波のエネルギーと同じオーダーの量である。

③ラディエーションストレス

ラディエーションストレスの概念を導入すると、次のように平均水位の変化が説明できる。

沖合から進入してきた波が浅海域に到達すると、水深が浅くなるにしたがって浅水変形で波高が増大する。波高が大きくなると、運動量の輸送が大きくなって、平均水位は低下し始める (wave set down)。

波がさらに浅くなった地点に進入すると、海底勾配及び水深に対応した波高で砕波して、急激に波高が減衰し、この波高の急激な低下は運動量の輸送を急激に減少させ、平均水位は上昇する。汀線近傍における平均水位の上昇はこのようなラディエーションストレスによって引き起こされる現象の典型的な例とみなされている。

④平均水位上昇の算定図表

合田⁹³⁾によって計算された海底勾配1/100, 1/10の場合の平均水位の変化を図-4.4.29と図-4.4.30に示す。平均水位の変化は、波形勾配 (H_0'/L_0) が小さいほど早く生じ、大きい。また、海底勾配が大きいほど、水位上昇量は大きい。図-4.4.31は、汀線での平均水位の上昇量を示したもので、波形勾配が小さいほど、また、海底勾配が大きいほど、平均水位の上昇量は大きい。 $H_0'/L_0=0.01\sim0.05$ の範囲を対象とすると、海底勾配が急な場合を除けば、汀線付近の平均水位の上昇量は $(0.1\sim0.15) H_0'$ 程度である。ここに、 H_0' は換算沖波波高、 L_0 は沖波の波長である。なお、波の方向スペクトルを考慮した場合の平均水位の上昇量算定図が新たに図-4.4.32として提案されており、図-4.4.31に比べると、波形勾配の小さな範囲ではやや低めの値になる¹⁵⁰⁾。