

大阪市立大学 正会員 小田一紀
 学生員○真栄平宜之
 山上雅実
 株式会社 クボタ 田中彬夫

1.はじめに 本研究室では、これまで堤体の水面付近に円管を通して透過構造としたパイプ式透過堤の海水導入特性と波浪条件およびパイプ敷設条件との基礎的な関係を水理模型実験によって明らかにしてきた（小田ら、1995）。本論文では、パイプ式透過堤の波浪による導入流量と反射率を理論的に算定する手法を提案する。

2.海水導入流量および反射率の理論的算定法

実験の観察によると、パイプ流入口において急激な流量変化および水面変化が生じ、流入口で段波が形成されパイプ内部を伝わっていくことが確認されたので、本研究では流入口における流量計算に段波理論を用いることとする。式(1)、式(2)はそれぞれ段波理論における連続の方程式および運動量方程式を、また式(3)はこれら2式から導かれた段波の波速の式を表す。

$$A_I(\omega - v_I) = A_R(\omega - v_R) \quad (1)$$

$$A_R(\omega - v_R)(v_I - v_R) = g \Delta H A_I \quad (2)$$

$$\omega = v_0 + \sqrt{\frac{\frac{A_I}{A_0} g \Delta H}{\left(1 - \frac{A_R}{A_I}\right)}} \quad (3)$$

反射率の計算モデルとして海岸堤防における越波による反射率低減の理論解析に用いた水口のモデルを採用する。すなわち、式(4)に示すように、堤体直前での入射波のエネルギーフラックス $(EC_g)_i$ が、反射波のエネルギーフラックス $(EC_g)_r$ と流入口からの海水流出によるエネルギーフラックス F_e の和に等しいと置く。

$$(EC_g)_i = (EC_g)_r + F_e \quad (4)$$

E: 波の全エネルギー密度
 Cg: 入射波および反射波の群速度
 Fe: 流入口からの海水流出によるエネルギーフラックス

本論文では式(4)中の海水流出による、エネルギーフラックス F_e を流入口における段波のエネルギー

フラックスにおきかえて反射波のエネルギーフラックスを求め、また堤体沖側では入射波と反射波を線形的に重ね合わせた部分重複波が生じるものとし、式(4)中のE、Cgは微小振幅波理論を用いて求めることとする。

今回、導入流量を求める上で以下のような仮定を行った。

1.) パイプ内の導入水の流れはパイプ壁の摩擦などによるエネルギー損失を受けず、流入口の条件だけによって決まり、パイプ断面形やその長さの影響は受けないものとする。

2.) 流入口からの導入量は、すべてパイプ内部を伝達し岸側断面（流出口）より流出するものとし、流入口での流速分布は断面内で一様とする。

計算の手順は、まず反射率を仮定し、パイプ流入口で与えた水位に対して式(1)、式(3)を用い、タイムステップ間隔 Δt を0.001sとして流入口の流速の時間変化を求めた。また堤体沖側断面における部分重複波の波面がパイプの最上部を越えた場合は、以下に示す式(5)を用いて流速の計算を行った。

$$v_I = \sqrt{v_0^2 + 2g \Delta H} \quad (5)$$

v_0 : 時間tにおける流入口の流速

v_I : 時間t+ Δt における流入口の流速

ΔH : Δt 間の水位差

堤体沖側断面における部分重複波の波面がパイプの中心部より少し下がると段波の波速が負（段波が堤体沖側に伝わる）となり、そのような場合は以下に示す式(6)を用いて流速の計算を行った。

$$v_{In} = -\sqrt{v_I'^2 + 2g \Delta H_n'} \quad (6)$$

v_I' : 段波の波速が負になった時点の流入口の流速

v_{In} : 段波の波速が負になった時点からn Δt 後の流入口の流速（nは整数）

$\Delta H_n'$: 段波の波速が負になった時点とn Δt 後の定常波面との水位差（nは整数）

また堤体沖側断面における部分重複波の波面がパイプの最下部を越えた場合は、 $\Delta H_n'$ は段波の波

速が負になった時点の水位とパイプの最下部との差とする。

つぎに、各タイムステップにおける流入口の流速と入射波と反射波の合成波の動圧および流入口の水路断面積を乗じ、これを波の一周期間にわたり平均化することで段波のエネルギーフラックスを求めた。そしてこの段波のエネルギーフラックスを式(4)に代入して反射率を算出し、これが最初に仮定した反射率と一致するまで繰り返し計算を行った。導入流量は、流入口での流速分布を断面内で一様と仮定していることから各タイムステップの水路断面積と流速を乗じることで求めた。つぎに、得られた各タイムステップ毎の導入流量を一周期間にわたり積分し、これを周期 T とパイプ間隔 d で割って堤体単位長さ当たりの一周平均導入流量 $\bar{q}$ を求めた。

3.理論計算結果と実験結果との比較 理論計算結果と実験結果の比較を図-1～図-3に示す。

まず、図-1は $T=2.53s$ とした場合における $\bar{q}$ と H_i の関係を相対パイプ間隔 $d/D=2$ および 10 の場合について示したものである。この図から d/D が何れの場合も計算値は実験値と良く一致しているといえる。この図から $\bar{q}$ は H_i にほぼ比例して増大する傾向がみられる。

つぎに、図-2は $H_i=10cm$ とした場合の $\bar{q}$ と T の関係を相対パイプ間隔 $d/D=2$ および 10 の場合について示したものである。この図から $d/D=10$ の場合は、計算値は実験値とよい一致を示し、 $\bar{q}$ は周期 T によって影響を受けないことが認められるのに対して、 $d/D=2$ の場合は、 $\bar{q}$ の計算値は T の増大とともに僅かに増大する傾向を示しており、実験値と若干の差違が認められる。

また、図-3は波浪条件を $T=2.53s$ 、 $H_i=10cm$ とした場合の、パイプ一本当たりの一周平均導入流量 $\bar{Q}$ と相対パイプ間隔 d/D の関係を示したものである。この図から計算値は d/D の増大とともに非常に緩やかに増大する傾向を示しており、実験値よりも10%程度大きいことがわかる。実験値よりも計算値が大きくなる理由としては、本理論計算ではパイプ流入口における損失を考慮していないことが考えられる。また計算値は d/D がある程度大きくなると反射率が1に近づくため一定値に漸近すると考えられる。

以上の図-1～図-2より、本理論計算から得られた $\bar{q}$ は実験結果とほぼ一致しており、この結果から $\bar{q}$ は波周期 T にはあまり依存しないが、入射波高 H_i にほぼ比例することがわかった。また図-3では

計算値が実験値よりもやや大きめにでているが、全体的に $\bar{Q}$ と d/D の関係は一致しているといえ、パイプ式透過堤の海水導入特性の変化を判断することに関して本理論は妥当なものであるといえる。

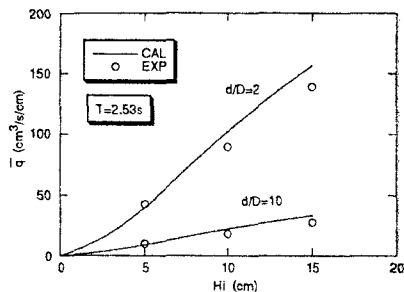


図-1 計算結果と実験結果の比較
($\bar{q}$ と H_i の関係)

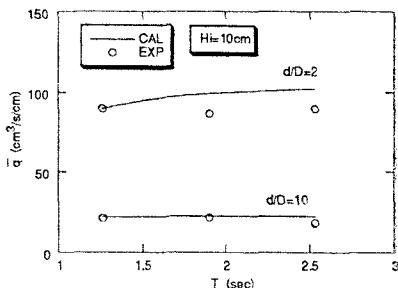


図-2 計算結果と実験結果の比較
($\bar{q}$ と T の関係)

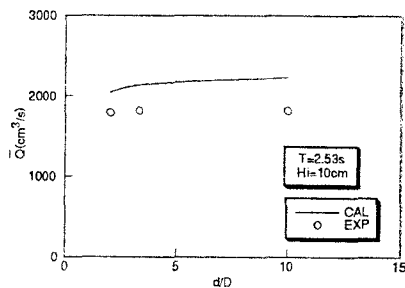


図-3 計算結果と実験結果の比較
($\bar{Q}$ と d/D の関係)

4.結論 パイプ式透過堤の海水導入流量および反射率を理論的に算定する手法を提案し、理論計算値と実験値の比較を行った結果、海水導入特性の変化を判断する上でこの理論の妥当性が検証された。

参考文献 横山 健・水口 優(1993): 鉛直壁における越波量と反射率, 海岸工学論文集, 第40巻, pp.676-680.