

## 防波堤背後への伝達波に関する一考察

大阪市立大学工学部 正員 倉田克彦

まえがき

入射波高に比して比較的低い天端高を有する混成防波堤の背後に生じる伝達波は、次の2つの波が重ね合わさったものと考えられる。

(1) 越波に伴う水塊の堤内側水面への打込み現象によるもの：越波による伝達波

(2) 捨石堤内を伝達されてきた圧力変動によるもの：捨石堤内を通る透過波

越波量が多い場合には、透過波の波高は越波による伝達波の波高に比して小さいが、越波量が少なくなると両者はほぼ同程度の大きさとなる。透過波に関する検討は別の機会に譲り、ここでは越波による伝達波に関して述べる。

越波による防波堤の波高伝達率については既に幾つかの研究結果が発表されており、それらと今回着目がおこなった実験の結果のいずれにおいても、入射波が周期 $T$ なる規則波であっても、伝達波には入射波の基本周波数成分( $f_1 = 1/T$ )の他にその2倍、3倍、…の周波数( $f = 2f_1, 3f_1, \dots$ )を持つ成分波の存在が認められている。このような高周波数の波の発生は、潜堤背後の伝達波にも見られた現象<sup>(1)</sup>であって、水塊の打込み現象による波の発生に特有のものと思われる。合田ら<sup>(2)</sup>は防波堤背後の伝達波の波形をフーリエ解析して、各周波数成分の振幅が場所ごとに異なることを見出し、これを成分波間の干渉によるものであろうと推測している。谷本ら<sup>(3)</sup>は不規則波を用いた実験によって、伝達波には高周波成分のみならず入射波のスペクトル成分より低周波数の成分波が新たに生じることを報告している。

越波による伝達波の波形

越波による伝達波の発生原因は越波そのものであるから、

(1) 越波した水塊が堤内側水面に落下して衝撃力を作用させる (Initial Impulse)

(2) 越波した水塊が堤内側水域に付加されて水面の瞬間的な上昇が生じる (Initial Surface Elevation)

以上の2つの内のいずれか、あるいはそのいずれもが原因となって伝達波が生ずると考えても不都合はないであろう。上記の原因により生じる波の波形については古くはCauchy-Poisson<sup>(4)</sup>が解を得ているが、その解は時刻 $t \rightarrow \infty$ では振幅 $\rightarrow \infty$ となる性質を有しており、実際の現象とはかけ離れたものとなる。これは衝撃力あるいは水面上昇(以降これらを外力と総称する)がある一点に集中しているために生じるものであって、この点を補正するために外力をある範囲に分布させて波形を求めたものにKranzer & Keller<sup>(5)</sup>の研究がある。ここではある範囲にわたって分布した外力によって生じる波形を、フーリエ変換あるいはハンケル変換を用いたKranzer & Kellerの方法とは違ってCauchy-Poissonの解の一種の畳み込み積分によって求めた。例として、水面の瞬間的な上昇が生じた場合について述べるこ

KURATA, KATSUHIKO

にする。

時刻  $t = 0$  において座標  $x = 0$  の近傍に  $\int_{-\infty}^{\infty} f(x) dx = 1$  なる水面上昇  $f(x)$  が生じた場合の Cauchy-Poisson 波の波形  $\eta$  は次式によって与えられる<sup>(4)</sup>。

$$\eta \approx \frac{g^{1/2} t}{2^{1/2} \pi^{1/2} x^{1/2}} \left\{ \cos \frac{g t^2}{4x} + \sin \frac{g t^2}{4x} \right\} \quad (1)$$

$t = 0$  において  $0 \leq x \leq a$  なる範囲で水面上昇  $\xi(x)$  が生じた場合には、式(1)と  $\xi(x)$  との畳み込み積分の形で波形  $\zeta$  が与えられ、

$$\zeta \approx \int_{y=0}^{y=a} \eta(x-y; t) \xi(y) dy \quad (2)$$

一様な水面上昇  $\bar{\xi}$  が  $0 \leq x \leq a$  の範囲において生じるとすれば次のように波形  $\zeta$  の近似解が得られる。

$$\frac{\zeta}{\bar{\xi}} = \frac{2\sqrt{2}}{\pi} \left( \frac{1}{\tau} \right)^{3/2} \sqrt{\tau^2 + \left( \frac{3}{\pi} \right)^2} \sin \left( \frac{\pi}{2} \cdot \frac{\alpha \tau}{2} \right) \sin \left\{ \frac{\pi}{2} \left( \tau - \frac{1}{2} \right) - \varepsilon \right\} \quad (3)$$

ここで  $\tau = \frac{g t^2}{2\pi x}$ ,  $\alpha = \frac{x}{a}$ ,  $\varepsilon = \tan^{-1} \left( \frac{\pi}{3} \tau \right)$  である。

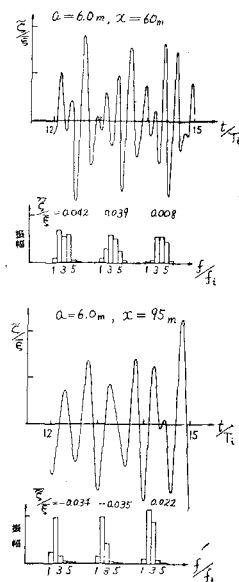
式(3)は  $t = 0$  の時に生じた水面上昇による波形の表示式であって、越波のようにある時間間隔  $T$  で生じる現象に関しては式(3)中の時刻  $t$  を  $t - nT$  と置換えて、 $n = 0, 1, \dots$  にとってそれらを重ね合わせればよい。このようにして得られた波形  $\zeta$  を、基本周波数を入射波の周波数  $f_0$  にとってフーリエ解析して各周波数成分の振幅を求めた。なお、衝撃力が作用した場合についても同じような操作を施せばよい。

### 数値計算の結果

式(3)の重ね合わせによる波形  $\zeta$  とそのフーリエ解析の結果の一例を示したものが下図である。図に示すように、 $\zeta$  には  $f_0$  の2倍、3倍、... 周波数の成分波が見られ、しかもその成分波の振幅は場所あるいは時刻ごとに变化している。この現象は合田らが成分波間の干渉と称していることと同じであるが、ただ、基本周波数成分の振幅が高周波数成分のそれに比して小さくなっており、この点は実験結果とは異なっている。しかし、この結果より高周波数の成分波は、越波等による水塊の打込み現象によって生ずる特有のものであって、その振幅は場所あるいは時刻によって異なるという性質を有するものであると言ってよいであろう。また、図中に示した  $\zeta$  の時間  $T$  における平均値  $\bar{\zeta}$ 、すなわち平均水面の位置も場所あるいは時刻によって比較的緩やかに変化して波打ち現象を呈していると見做せる。この現象は谷本らの実験において見られた低周波数成分の新たな発生に関係するものと思われる。

### 参考文献

- (1) 永井, 小田, 倉田: 大水深磯斜面岩石護堤に関する研究, オ22回海講演文集
- (2) 合田, 竹田: 越波による防波堤背後への波高伝達率, オ13回海講演文集
- (3) 谷本, 大里: 消波ブロック被覆堤の不規則伝達波について, オ26回海講演文集
- (4) Lamb, H.: Hydrodynamics, (5) Kranzer, H. C. and J. B. Keller: Water Waves Produced by Explosions, Jour. of Applied Physics, Vol. 30, No. 3



波形  $\zeta$  と成分波の振幅