

堤越波後の津波の挙動に関する基礎実験

徳島大学工業短期大学部 正員 村上 仁士
 徳島大学工業短期大学部 正員 細井 由彦
 通産省四国通産局 ○三野 英樹

1. まえがき： 昨年の研究では、孤立波によって津波の堤越波現象を再現し、その挙動を調べた。本研究では、現象の変化の緩慢な非砕波重複波型の津波を使って、堤越波と陸上遡上の現象について、時間変化を追った詳細な解析を行うことを目的とした。

2. 実験方法： 実験装置は、造波水槽と一様勾配を持つ堤内地を再現した二次元水槽からなり、その境界に鉛直壁を設けてある。プランジャーを水槽の中で上下させることにより水位を変化させ、堤越波と陸上遡上の現象を再現する。この際、プランジャーの周期 T_p を2分、3分の2種、天端高差 H_d を0.3, 5, 7cmの4種、斜面勾配を0.1/100, 1/50の3種に変化させて実験を行った。また、測点は、堤上と斜面上4点の計5地点とし、それぞれ流速と水深の時間変化および、遡上速度を測定した。図1の記号は最大値であり、その時間変化は小文字であらわすことにする。

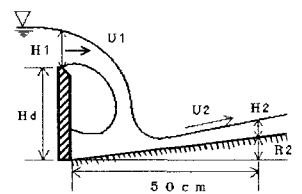


図1 記号説明

3. 実験結果： 実験より求めた堤上の流速と水深の時間変化を無次元化すれば、両者はほぼ同一の波形を示す。これより、水深の時間変化を $h1 = H1 \cdot \eta(t)$ --- (1) と表せば、流速の時間変化は最大のフルード数 $FR = U1 / \sqrt{g \cdot H1}$ を使って、 $u1 = FR \cdot \sqrt{g \cdot H1} \cdot \eta(t)$ --- (2) として求めることができる。図2は、最大越流流速 $U1$ と最大越流水深 $H1$ の関係を示したものである。ほぼ、 $FR=1$ の線に沿っており、平均的には限界流を生じていることがわかる。これによって、式(2)中、 $FR=1$ とすることができ、堤上の水深の時間変化さえわかれば流入量を予測することができる。図3の白丸は、この方法によって求めた総流入量の計算値と実測値の比と FR の関係を示したものである。 $FR < 1$ での誤差が大きく、最大5割に達している。この原因として2点を指摘することができる。一つは、一点に測点を固定したことであり、これを補正した結果が図3の黒丸である。 FR が1より小さくなるほど支配断面との距離が大きくなり、誤差が増加する様子がわかる。また、補正後の誤差は、 $FR=1$ と仮定したことによるものであり、 FR との間に相関がみられる。

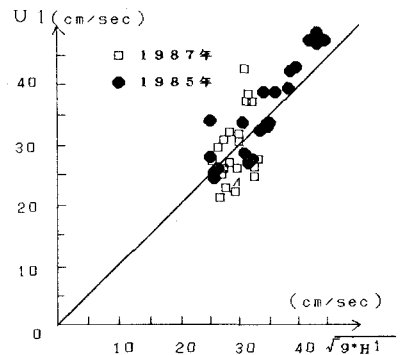
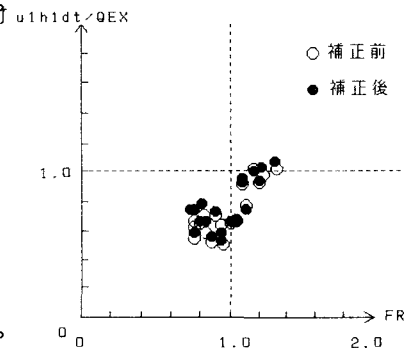


図2 最大越流流速と最大越流水深の関係

図3 $u1 h1 dt$ とフルード数の関係

次に、落下後の斜面上での水深の変化を計算によって予測する。 $D = q^2 / g H_d^3$ --- (3) $h2 / H_d = 0.54 \cdot D^{0.574}$ --- (4) は、RANDの式を変形したもので、(1), (2)式から求めた堤防上の越流量 q と天端高差 H_d から越流後の水深を求めることができる。図4は、落下指数 D を横軸に、落下後の水深 $h2$ と天端高 H_d の比を縦軸にとり、時間変化を調べたものであり、(4)式と良好な一致をすることがわかる。よって、(3), (4)式から、越流後の水深の時間変化

を得ることができ、水脈の落下という不連続な現象に対して連続計算ができるようになる。

また、堤防からの落下に際しては、当然エネルギー損失を生じるが、これは、下式によって求めることができる。

$$E1 = \left(\frac{u_1^2}{2g} + h_1 + H_d \right) \quad \text{--- (5)}$$

$$E2 = \left(h_2 + \frac{q^2}{2g h_2^2} + R_2 \right)$$

$$= 11.07 \left(\frac{q^2}{g H_d^3} \right)^{0.574} H_d + \frac{q^2}{2g \times 11.07^2 H_d^2} \left(\frac{q^2}{g H_d^3} \right)^{-1.148} + R_2 \quad \text{--- (6)}$$

$$\Delta E = E1 - E2 \quad \text{--- (7)}$$

ここに、E1は堤上のエネルギー、E2は、落下後の斜面上でのエネルギー、 ΔE は落下によるエネルギー損失をあらわす。

図5は、天端高差が3,5,7cmの場合について(5),(6)式を使って求めた理論曲線と実測値より求めた値をプロットしたものであり、両者は、ほぼ一致していることがわかる。

最後に、遡上波の先端部分の性質についてのべる。

陸上に遡上した津波の被害の要因として、先端波の持つエネルギーの大小が挙げられる。これは、先端部の流速によるところが大きく、その特性を調べることが必要である。図6は、遡上波内の流速と波の進行速度をプロットしたもので、およそ $C2=U2$ つまり、フルード数が1の線に沿っていることがわかる。また、斜面上の遡上波の先端が、非碎波の場合はフルード数が1、碎波する場合、フルード数が2となることが知られているが、図6にも、この傾向を見出すことができる。

また、図7は、遡上波先端のフルード数と天端高差との関係を示したものであるが、全てのケースについて、天端が高くなるほどフルード数が大きくなることがわかる。また、斜面が緩やかなほどフルード数は大きくなるが、先ほどの碎波型の遡上波の先端条件であるフルード数が2に近くなるほどその増加率は減少し、ほぼこの値に収束するようである。

4. あとがき： 本研究では、現象の変化の緩慢な完全重複波形の津波を再現して、解析を行なった。しかし、非定常性が強くなるにつれて、堤上や陸上における津波の挙動は一層複雑になり、さらに多くの実験と解析が必要となるであろう。

本研究にあたり、実験方法および理論展開にアドバイスいただいた阿南高専の島田富美男氏に心から謝意を表す。

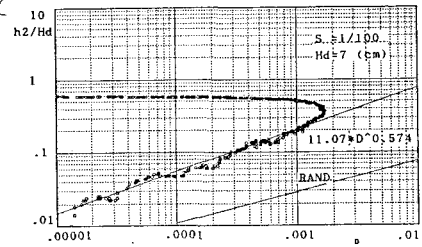


図6 h_2/H_d と D の関係

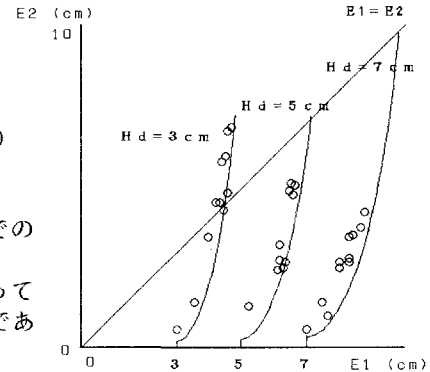


図5 堤上と落下後の全エネルギー

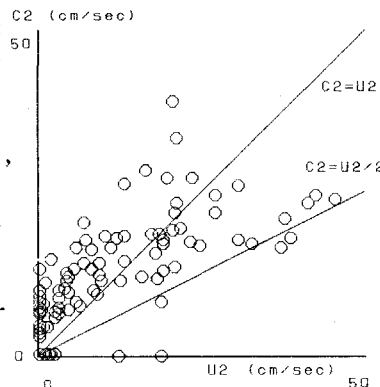


図6 先端部流速と進行速度の関係

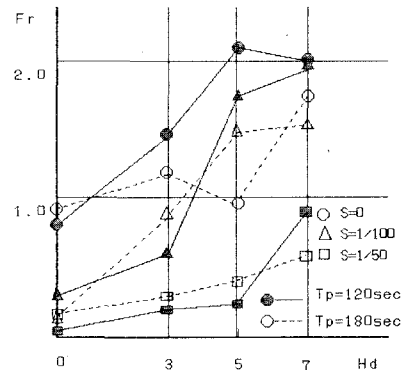


図7 遡上波先端フルード数と天端高差