

有限要素法解析による斜面上での有限振幅波の変形機構について

熊本大学 工学部 正員 渡川 清
正員 田村 幹修
学生員 岡山崎 紀久夫

1. はじめに 傾斜面上における波の変形および砕波現象は、非線形性の強い現象であり、この為、流連分布等内部特性に関する研究も少なく未だ不明な点が多い。著者らは、有限要素法(F.E.M.)を用いた解析を行い、斜面を遡上し砕波変形する波動場の特性について検討を加えてきているが、本報告は、一定勾配の斜面上に入射する波を(1)Pistonにより逆波された波(2)微小振幅波(3)Stokesの3次近似的波(4)Hyperbolic波の4種を取り上げ、これらの変形をF.E.M.解析により求め、入射波特性と変形の内部特性についての検討を加えたものである。

2. 一定水深上での造波に関する検討 F.E.M.による速度ポテンシャル ϕ を有する非定常・非線形な波動の解析方法は、既に文献(1),(2)で示しており、ここでは省略するが、波の入射条件は境界における ϕ で規定される。従って、入射境界において流速 $u = \partial\phi/\partial x$ を与える事によって任意の波を発生させる事が可能であって、上記(1)~(4)の各種の入射波に対してもこの方法を用い解析を行った。まず、一定水深上で波を発生させる場合、入射条件(主として h/L , H/L , h :水深, L :波長, H :波高)によって2次波峰(soliton)が発生する事が知られている。図-1は、Piston逆波および正弦波入射によって発生するsoliton数をF.E.M.解析によって求めたものである。このような一定水深上でのsolitonの発生に関してはGalvin³⁾や土屋⁴⁾の研究があるが、図中の λ は $\lambda = 1/6 U_0$ ($U_0 = HL^2/2\pi$)であって、本計算結果は土屋らと同様、ほぼ λ の値によって規定される事が示される。図-2は、図-1中のCase(1)の場合(周期2.5sec, 水深35cm, ピストン移動振幅17.4cm, 発生波高8.8cm, $H_0/L_0 = 0.0083$)について、波の発生状況をF.E.M.解析により図示したもので、(a)図Piston逆波、(b)図Hyperbolic波入射による結果である。また図示していない微小振幅波(正弦波)の入射は(a)図に、Stokes-3rd.波入射は(b)図に類似した波形が得られ、(a)図に見られる2次波峰は(b)図では見られない。即ち、solitonの発生は λ 数のサで規定されず入射波の特性(入射波形、内部流速)によって異なり造波によるsolitonの発生はPistonおよび入射波の正弦的運動に起因する事が知れる。図-3は、図-2の場合と同様のCase(1)に対し、(a)図Stokes-3rd., (b)図Hyperbolic波の入射による発生波の時間波形および峰と谷の位相での水平水粒子速度の鉛直分布である。図より、各理論に対応した波が発生されている事がわかる。

3. 傾斜面上での遡上波の変形特性 傾斜面上における波の変形は、沖波波形勾配 H_0/L_0 と斜面勾配 α および入射波波形等に

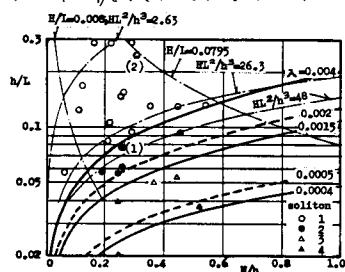


図-1 一定水深上のsolitonの発生数 (Piston逆波、正弦波)

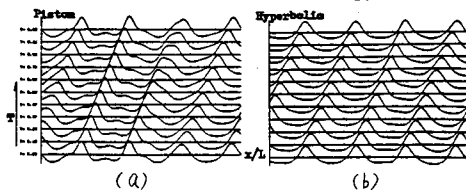


図-2 一定水深での発生波波形

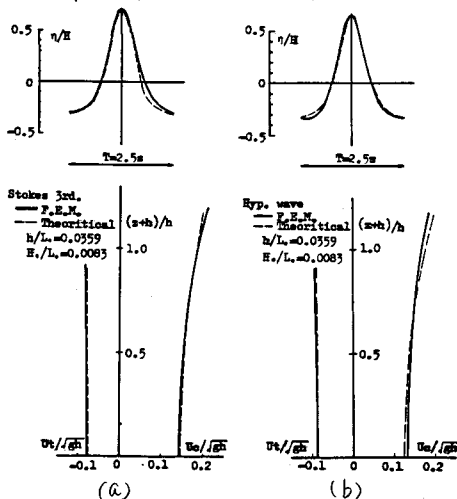


図-3 一定水深での波形および水平水粒子速度分布

よって変化すると考えられるが、入射する波の波形変化を考慮した報告は見受けられないようである。ここでは、斜面勾配 $i = 1/20$ 、入射波は前述した(1)~(4)の各波について、各々 Case (1) ($H/L_0 = 0.0083$)、Case (2) ($H/L_0 = 0.0735$) に対し F.E.M. 解析を行った結果について報告する。図-4 は、Case (1) の沖波波形勾配に対して (a) 図 Piston 波、(b) 図 Hyperbolic 波の入射の各場合の空間波形の時間変動を明示したものである。入射波は図-2 と同様に変位時の波形の特徴を示し逆上するが、さらに水深が浅くなり波の前後化が激しくなると両者には顕著な差異は見られぬ。図-5 は、Case (2) の場合、(a) 微小振幅波、(b) Hyperbolic 波の入射による砕波点近傍と思われる点 ($H/L_0 = 0.1032$) での水面波形および水平水粒子速度の分布および谷の位相での鉛直分布 ($U_x/\sqrt{gh}$, $U_z/\sqrt{gh}$) を示したもので各図中の破線は、計算点での H.T.R. に対応した理論曲線である。この砕波形態はいわゆる spilling 型であるが、砕波点近くまで比較的前後対称な波形のまま逆上し、流速分布は微小振幅理論との対応が最も良いが砕波点近傍では各理論とも F.E.M. 解析結果より過大となり、(b) 図の場合では谷の位相での差異が著しい。図-6 は、(a) Case (1)、(b) Case (2) の各種入射方式による F.E.M. 解析結果であり、砕波点近傍と考えられる水深での図-5 と同様の図である。図中の○印は、Piston 逆波時の L.D.V. を用いた実験結果である。いずれの場合も、入射方式に影響されず同様の分布となる結果が示されている。図-7 は、Case (1)(2) に対し、Hyperbolic 波の砕波点近傍での水粒子エネルギー $(-\rho g \eta)/\alpha_0$ (α_0 は沖波振幅) 分布を同化したものであるが、spilling (Case (2))、plunging (Case (1)) 型の砕波に対応してエネルギーの集中度の相違が計算されている事わかる。

4. おわりに $i = 1/20$ の場合、入射方式にはあまり影響なく変形砕波する結果が得られたが、さらに斜面勾配の影響を明確にするため、他の斜面勾配の場合等、多くの Case について計算を進める必要があり現在解析検討中である。

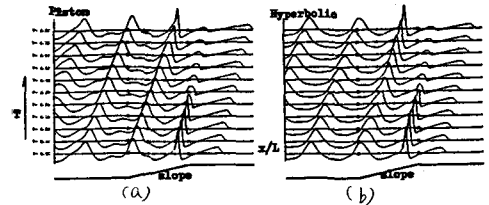


図-4 斜面上での波形変化 (Case (1))

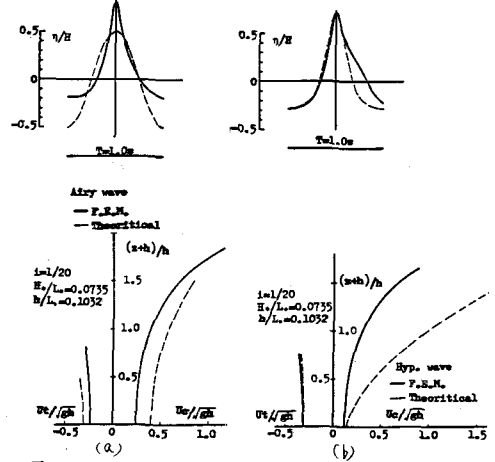


図-5 斜面上での波形および水平水粒子速度分布

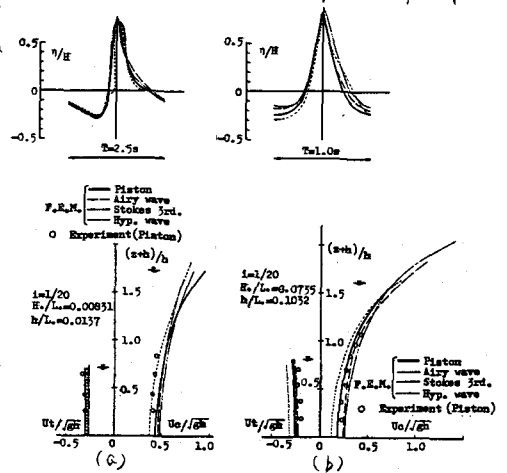
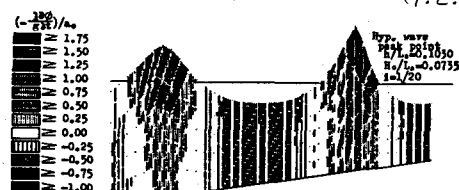
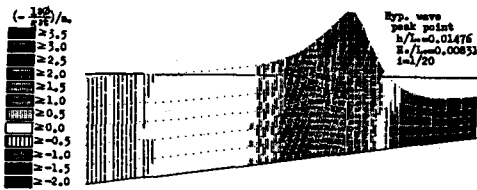


図-6 斜面上での波形および水平水粒子速度分布 (F.E.M.)



(a)

図-7 水粒子エネルギー分布

(b)

- 参考文献) 1) 濱川清・田淵純彦: 有限振幅による波の解析について 第25回 海運論文集 PP. 28~32, 1978. 2) 濱川清・常田長一・中村政博: 有限振幅波による斜面上の波の砕波変形と内部流れ構造の解析 第30回 海運論文集 PP. 20~24, 1983. 3) Galvin, C.J.: Finite-amplitude, shallow water-waves of periodically recurring form, Proc. Symp. on Long Waves, 1970, p.32. 4) 土屋義人・安田孝志: 浅海における波の変形 - 4年: Soliton の発生について - 第20回 海運論文集 PP. 397~401, 1973.