

海岸堤防前面地形の変形特性

玉 井 佐 一*

1. ま え が き

海岸侵食に伴い、海岸堤防前面の洗掘が進み、海岸堤防の災害ポテンシャルが高まってきており、海岸保全上憂慮すべき問題として、その対策が急がれている。しかし、堤防前面の洗掘機構については入射波の特性、堤前面の海浜形状および海岸堤防の構造形式など多くの要因が関連して複雑であり、明確な解答がえられていないといえよう。また、従来の実験はもっぱら二次元波浪水槽を用いて行われており、岸・沖方向の砂移動に着目した堤脚洗掘について検討したものがほとんどである。

汀線の後退によって海浜幅が狭くなった地形にカスプが形成されるような条件下では、海岸堤防前面地形が沿岸方向に波状変化することが注目される場所である。著者は高知海岸の調査を通じて海岸堤防脚部地形の沿岸方向の波状洗掘または消波工の波状沈下をしばしば観察し、これらが比較的大きな値であることを知ることができた。したがって、本研究では従来のような二次元実験に加えて、さらに三次元的な砂移動を考慮に入れ、平面波浪水槽を用いて、海岸堤防前面地形の沿岸方向の変形特性を明らかにし、堤防脚部の洗掘について実験および現地調査を通じ検討し、ひいては海岸堤防決壊防止対策について考究しようとするものである。

2. 実験設備、実験方法および現地調査について

実験では、まず堤防脚部地形の沿岸方向の変動と洗掘について検討するため、二つの平面波浪水槽を用いて行った。すなわち、一つは長さ 20m、幅 10m、深さ 60cm でフラップ型造波機をもつ水槽に中央粒径 $d_{50}=0.28\text{mm}$ の自然砂によって勾配 $i_0=1/10$ および $1/15$ の海浜地形を作成した。他の一つの水槽は長さ 30m、幅 30m、深さ 80cm でプランジャー型造波機をもつもので、この水槽を中央で二分し、幅 15m として使用した。実験砂は $d_{50}=0.32\text{mm}$ の自然砂を用い、砂浜勾配は $i_0=1/30$ 、 $1/25$ および $1/8$ とした。堤防模型は前者の水

槽では高さ 15cm、後者では 20cm とし、ともに鉛直堤で越波は生じないようにした。一方、これら平面波浪水槽における堤防脚部洗掘深と対比するため、長さ 30m、幅 70cm、深さ 1.2m の二次元波浪水槽を用いた。この実験では $d_{50}=0.35\text{mm}$ の自然砂によって勾配 $i_0=1/10$ の砂浜を作成し、高さ 30cm の鉛直堤とした。

以上、三実験における実験波は周期 $T=1.0\text{sec}\sim 2.0\text{sec}$ 、沖波波高 $H_0=1.9\text{cm}\sim 11.7\text{cm}$ 、沖波波形勾配 $H_0/L_0=0.003\sim 0.075$ とした。入射波は容量式波高計を、また地形変化は砂面測定器を用いて測定した。なお、初期海浜幅 $x_B=0\sim 50\text{cm}$ の範囲で、種々変えて検討した。

現地調査は高知浦戸湾口より西方約 3km の長浜地区（建設省測点 No. 29-16）の海岸堤防脚部にリズミカルな波状地形が形成されている地点をえらんだ。そして、この地点約 300m について横断測量を行い、波状地形の特性を検討するとともに、高波浪来襲後におけるこの地形の変化について考察した。

3. 実験結果とその考察

(1) 堤防前面における波状地形の形成

初期海浜勾配 $i_0=1/15$ 、海浜幅 $x_B=30\text{cm}$ 、沖波波形勾配 $H_0/L_0=0.0085$ の場合の造波 2 時間後の堤防前面の砂浜地形の変化状況が 図—1(a) である。これよりわかるように、前浜部に Beach cusp が形成されるとともに、堤防脚部に地形変化が達している。この堤防脚部地形の沿岸方向の変化を示したものが 図—1(b) であり、沿岸方向にリズミカルな波状地形を形成することがわかる。しかし、この実験では H_0/L_0 が比較的小さく、また、 $H_0/d_{50}=233$ であって、いわゆる堆積型海浜に相当しており、図のように、波状地形は堆積によって形成されている。海岸堤防の倒壊については脚部が洗掘される場合が問題になるので、実験ではさらに H_0/L_0 を大きくし、また海浜幅が狭い場合について検討した。図—2 は $i_0=1/30$ 、 $x_B=21\text{cm}$ 、 $H_0/L_0=0.075$ の場合の堤防脚部地形の沿岸方向の変化を示したものである。この場合は上記の 図—1(b) と違って洗掘と堆積とが交互に現われ、波状地形を示している。このような波状地形の堤脚部の

* 正会員 工博 高知大学教授 農学部農業工学科

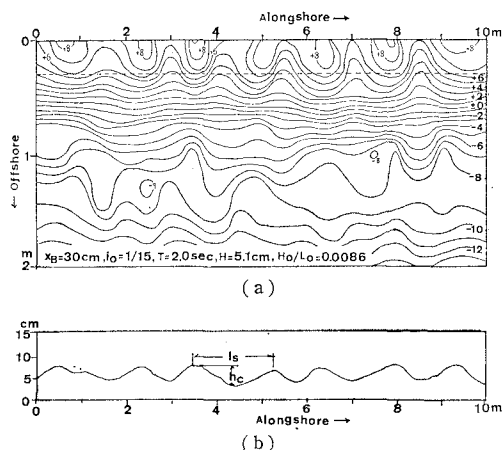


図-1 堤防脚部における波状地形の形成

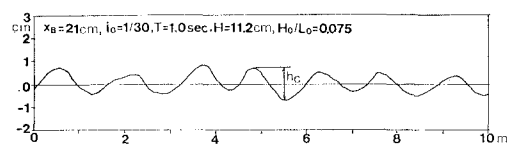
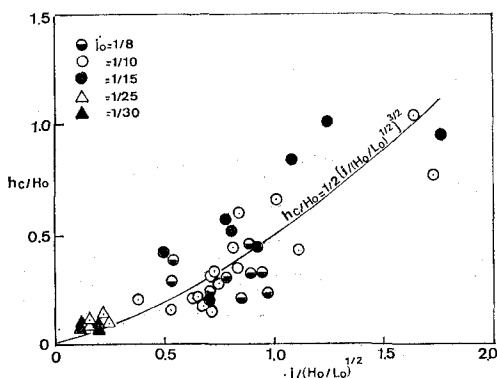
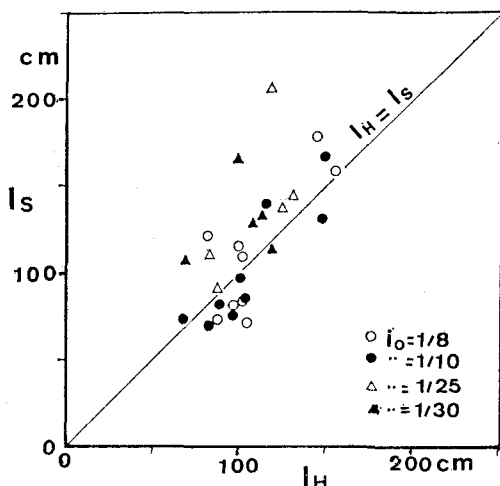


図-2 堤防脚部における波状地形の形成

変動高さ、すなわち、波状砂面の bottom から crest までの高さ h_c と沖波波高 H_0 との比 h_c/H_0 を縦軸にとり、横軸に海浜変形後の砕波点までの海浜勾配 i と沖波波形勾配の平方根 $(H_0/L_0)^{1/2}$ との比、すなわち、Surf similarity parameter $i(H_0/L_0)^{1/2}$ をとって示したものが図-3である。これよりわかるように、 $i(H_0/L_0)^{1/2}$ が大きくなると h_c/H_0 も増大し、平均的には図中の実線で示される。このような結果は海岸堤防を有しない自然海浜におけるカスプ形成時とほぼ同様の形状特性を示す¹⁾。

以上のような波状地形の形成については砕波帯内における Edge waves および離岸流の発生・発達に関連することが考えられる。本実験において、波状地形の沿岸方向の間隔、すなわちスパン l_s と砕波点における入射波高の沿岸方向の変動間

図-3 h_c/H_0 と $i(H_0/L_0)^{1/2}$ との関係図-4 l_H と l_s との関係

隔 l_H との関係を見たものが、図-4である。図中の直線は $l_H = l_s$ の線であり、多くの値がこの直線の近くにあるが、 l_H にくらべて l_s の値がやや大きいものが多いことがわかる。武田²⁾は現地資料や従来の実験結果を用いて Edge waves の波長とカスプのスパンの関係について同様の考察を行っており、両者は本実験結果とほぼ同様の関係を示している。武田はむしろ砂浜遡上波長 s と l_s とは $l_s = 1.5s$ でよい対応がみられると述べている。さて、本実験のように海浜幅が有限で遡上波が堤防に達し、もどり流れが変動するような場合について堤防脚部における波状地形の形成を検討したものが図-5である。縦軸には海浜幅 x_B と砕波帯幅 l_B との比 x_B/l_B をとり、横軸には $i_0(H_0/L_0)^{1/2}$ をとって示した。図において○は堤防脚部に波状地形が形成される場合であり、●

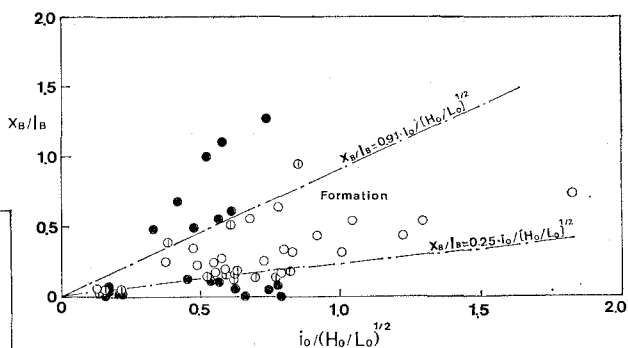


図-5 堤防脚部における波状地形の形成領域

印は形成されない場合、○は両者の判別が不明確な場合である。この結果から波状地形の形成は $x_B/l_B = 0.91 i_0 / (H_0/L_0)^{1/2}$ と $0.25 i_0 / (H_0/L_0)^{1/2}$ とで囲まれた範囲内とみられる。しかし、 $i_0(H_0/L_0)^{1/2} > 1.0$ の場合の実験値が少なく、これについてはさらに多くの実験を行って判別することが必要であろう。

(2) 堤防脚部における洗掘

堤防脚部における初期砂面の変動量 h_E と H_0 との比 h_E/H_0 を縦軸に、横軸に海浜幅 x_B と沖波波長との比 x_B/L_0 をとって、 H_0/L_0 別に示したものが 図-6 である。

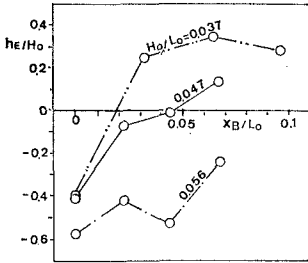


図-6 h_E/H_0 と x_B/L_0 との関係
(二次元実験)

以上のような結果から、初期堤防脚部砂面より波状地形の bottom まで高さの最大変動量 $h_{sb\max}$ について検討したものが 図-7 である。すなわち、縦軸に $h_{sb\max}/H_0$ を、横軸に $i/(H_0/L_0)^{1/2}$ をとって示した。縦軸の負号は洗掘を現わすものである。これによれば、初期海浜勾配 i_0 が急な場合に堤防洗掘が大きくなっている。また、図にみられるように、各初期海浜勾配によって図中

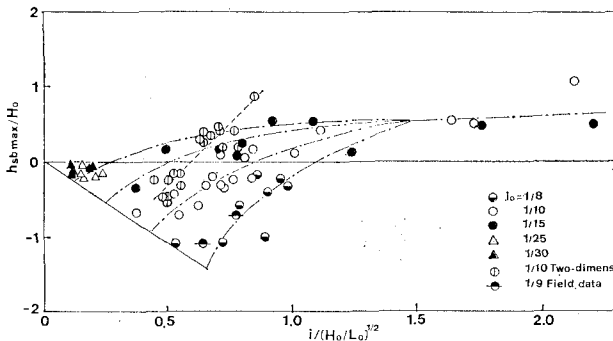


図-7 $h_{sb\max}/H_0$ と $i/(H_0/L_0)^{1/2}$ との関係

の鎖線で示すような $h_{sb\max}/H_0$ の変化がみられる。図には二次元実験結果を併示した。これらの実験値は図にみられるように、平面波浪水槽による実験結果にくらべて小さく、全般的に $i/(H_0/L_0)^{1/2}$ の小さい範囲に分布している。これは二次元実験における岸・沖方向の砂移動の特性が考えられ、平面波浪水槽と異なり、沿岸方向の砂移動が制限されるためであろう。

また、図には台風 7617 号による高知海岸仁井田地区および台風 7920 号による安芸西浜地区の堤防脚部洗掘深をとって示した³⁾。前者の洗掘深は 4.0m、後者は 3.0m であり、それぞれ台風来襲時の有義波を用いて現わした。これらの結果は実験値と比較的よい対応がみられ

る。

以上の結果を通じて堤防脚部の最大洗掘深について $-h_{sb\max}/H_0$ と $i/(H_0/L_0)^{1/2}$ の関係を見ると図中の実線で推論することができよう。これらについては、さらに急勾配海浜や種々の海浜幅等について検討を進める考えである。

4. 現地海岸の波状地形

(1) 波状地形の特性

高知県長浜海岸地区においては経年的に海岸侵食が進んでおり、1977 年 1 月の調査地区延長 300m の平均海浜幅は、75.5m、1978 年 4 月では 67.6m さらに 1983 年 8 月の測量結果では 48.8m であり、年々汀線が後退していることがわかる。また、1977 年 1 月および 1978 年 4 月では後浜には波状地形が形成されておらず、この地点から東方数 100m 地点に波状地形がみられた。このことから、最近侵食が進行し、高波浪来襲時には遡上波が堤防脚部まで達することが推察できる。

さて、図-8 は 1983 年 8 月の高知県長波地区の堤防前面地形である。堤脚部にリズミカルな波状地形が形成されていて、脚部砂面高は波状地形の crest, T.P. +7.1m, bottom, T.P. +4.5m であり、波状地形の高さは 2.6m、スパンは平均 76m である。

(2) 荒天時波浪による波状地形の変化

1983 年に発生した台風の内、高知海岸に直接影響を及ぼした台風は T.Y. 8305 号と T.Y. 8310 号が主であった。しかし、T.Y. 8310 号来襲時は干潮であって、遡上波が堤防近くまで達することなく、波状地形の変化はほとんどなかった。ここでは、T.Y. 8305 号により発生した波浪によるこの地区 300m 間の海浜への影響について考察する。1983 年 8 月 15~16 日は台風 5 号の北上により沿岸海上では波浪が大きくなった。運輸省第三港湾

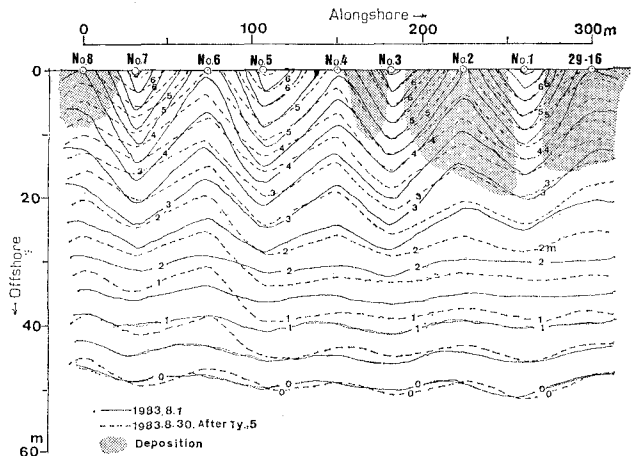


図-8 現地海岸における波状地形

建設局高知港工事事務所による桂浜高知灯台 195° SSW の 27 km 沖 (N 33°15'24", E 133°30'06") 水深 120 m 地点における波浪観測によれば, 8 月 15 日は最大波高 $H_{\max}=6.4$ m, 有義波高 $H_{1/3}=3.8$ m, 最大周期 $T_{\max}=14.8$ sec, 有義周期 $T_{1/3}=12.7$ sec であった. また 8 月 16 日は $H_{\max}=6.3$ m, $H_{1/3}=4.3$ m, $T_{\max}=13.2$ sec, $T_{1/3}=12.1$ sec で高波浪が長時間続いたことがわかる. この高波浪来襲後の 8 月 30 日の海浜形状を 図-8 の中で点線で示した. なお, 図中実線は来襲前の地形で, これによれば, 測点 No. 29-16, 2 および 8 の bay 部と No. 3~4 の中間部で砂の堆積がみられるのが他の部分では侵食されている. これらの測点の内, 代表的な砂浜断面形, bay 部 No. 2 と apex 部 No. 5 を示したものが 図-9(a), (b) である. 図には 1977 年 1 月および 1978 年 4 月における海浜断面を併示した. いま, これらの断面形をもとに汀線より陸側の海浜砂の変動量を求め 図-10 に示した. これからも近年侵食が進んでいることがわかる. 特に, 高波浪来襲後のこの地区 300 m 間の侵食量は 4996 m³ であり, 沿岸方向単位幅当たり平均 17 m³ である. また, 波状地形の apex 部および bay 部の侵食および堆積量を比較すると, apex 部 No. 1, 3, 5 および 7 の侵食量は 86 m³ であり, 堆積はみられない. 一方, bay 部 No. 29-16, 2, 4, 6 および 8 における侵食量は

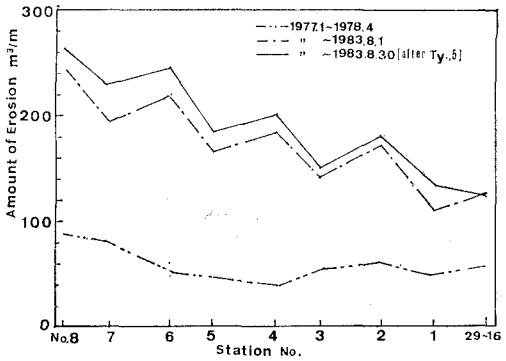


図-10 海浜土砂の変動

67 m³ であり, 堆積は 11 m³ である. 勿論, このような砂移動は波の遡上のみによるものではないが, 高波浪来襲時には雨も少なく, その主因はやはり波の遡上と考えられ, 高波浪の来襲によって比較的多量の砂が短時間に移動することがわかる. なお, 遡上波の計算によれば最大波の場合, 堤脚部まで遡上していたことが推察された. 図-9 にみられるように, 経年的に侵食が進み海浜勾配が急になるとともに, 短期的には高波浪来襲によって急激な海浜変化が生じることが推察される.

5. あとがき

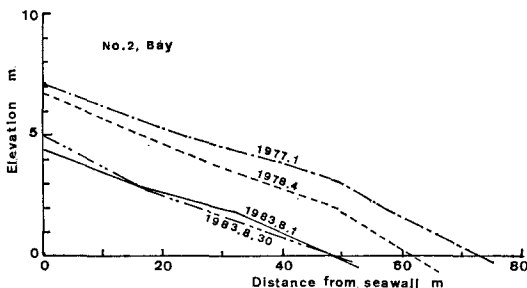
以上のように, 海岸堤防前面地形の変化について実験および現地調査によって考察し, 特に, 堤防脚部における波状地形の形成と洗掘深について検討した. その中で実験では堤防脚部での波状地形の形成とその形成限界特性および Edge wave と波状地形のスパンとの関係などを明らかにすることができ, さらに堤防脚部の洗掘深を求めることができた.

一方, 現地海岸においても波状地形の調査を行い, 最近の侵食傾向と, 特に高波浪来襲時の遡上波による堤防前面 apex および bay 部の砂移動を明らかにすることができた.

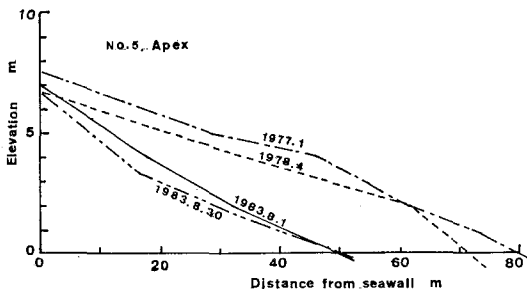
今後ともこのような実験および現地調査を詳細に行い, 堤脚洗掘防止について考察を進める考えである.

参考文献

- 1) 玉井佐一: 海浜カスの特性と海岸地形の変動予測に関する研究, 高知大学農学部紀要, 第 39 号, 151 p., 1981.
- 2) Takada, I.: Beach change by waves, Sci. Rept., Inst. Geosci., Univ. Tsukuba, Sect. A, Vol. 5, pp. 29~63, 1984.
- 3) 上森千秋・玉井佐一・土屋義人・安田孝志: 台風 7617, 7916, 7920 号による高知海岸の災害について, 京大防災研年報, 第 24 号, B-2, pp. 485~508, 1981.



(a)



(b)

図-9 海浜断面の変化