

人工前浜の地形変化に関する現地観測

内 藤 朗* ・ 栗 原 淳** ・ 松 野 正 義***
久 保 田 進**** ・ 竹 澤 三 雄*****

1. はじめに

海岸前浜の地形変化は、直接に汀線の前進、後退となって現れるために、海岸域の保全と利用を行う者にとって極めて重大な関心時であるが、長年にわたり研究されてきたにもかかわらず、必ずしも十分に把握されていない。その理由として、一般に岸沖地形変化についての研究は主に中小規模の二次元移動床実験によって行われているが、結果には必ず縮尺効果が含まれることと側壁の影響などの実験上の制約があり、十分に現象を再現できないことが考えられる。また、現地観測の場合には、地形変化の時間スケールが長いことや前浜上での流体運動を測定することが極めて難しいために、地形変化の機構を議論し得るデータを取得しづらいこともある。

一方、最近各地で人工海浜が計画され施工されているが、設計断面をどのように決定するか、あるいは砂浜をどのように維持するかについてなど、確立された方法がなく、この点からも前浜地形変化に関する研究の進展が望まれているものと考えられる。

本研究の最終的な目標は、前浜地形変化の機構を明らかにして、そこでの漂砂量と外力との関係を定式化することにある。本論文では、上で述べた背景を踏まえて、縮尺効果のない現地海浜において、岸沖方向の現象が卓越する条件下での前浜地形、遡上波、入射波、流速、および底質の変化を同時に観測することにより、岸沖2次元の前浜地形変化の機構を調べることにした。

2. 観測概要

前浜地形形状、前浜の構成材料（以下底質と呼ぶ）の特性、および入射波特性のそれぞれが互いに及ぼす影響力が均衡している時には地形変化は生じない。また、それに近い状態（通常の高浜状態）の時には、地形がゆっくりと変化するために、短期間の観測ではその変化を捉えることは困難である。だからといって長期間にわたっ

て観測すれば、観測中に波浪条件が変化してしまい沿岸漂砂による影響等が混在するようなデータになり解釈が難しくなる。そこで、干潮時に前浜地形を人工的に変化させておき、潮位の上昇を待って観測することにより、地形が安定している状態から大きく離れた状態での地形変化を調べることにした。

観測ケースは、表-1に示す4ケースである。

1990年には平塚海岸において勾配約1/8の前浜を掘削することにより約1/10の前浜を作成した(HI90)。この観測のねらいは前浜の堆積過程の現象を調べることである。海岸線にはメガカスプが存在しており、掘削はカスプ凸部を中心として行った。掘削部中央の岸沖方向に1m間隔で長さ1.5m、幅35mmのアルミニウム製の定規を19本設置して、定規の設置地盤をビデオムービーにより撮影することにより、地形変化を測定した(肥田ら、1992)。掘削前後の前浜断面と定規列の配置は図-1に示す通りである。

侵食過程の現象を調べるためには、1992年、1994年、1995年に前浜勾配が比較的緩い波崎海岸において、前浜を盛り砂してマウンドを造り、勾配を急にして観測した(HA92, HA94, HA95)。HA92とHA95の観測時には、比較のため自然状態の前浜での観測も並行して行った。地形変化測定の方法は、HA92では目盛りを付けた径12mmの鉄杭列を前浜上に設置して、杭の地盤付近をビデオムービーで撮影することにより行った(肥田ら、1993; Kubota et al., 1994)。

HA94, HA95では同様な鉄杭列の地盤変化を目盛り付きのポールにより直接測定した。測定スタッフは2人1組として5組、10人であり、前浜の水中部分を含めて1分間隔で1時間以上の測定を行った(内藤ら、1995)。図-2に、例として1995年の波崎海岸での観測(HA95A; Aは人工の意)における前浜断面と計測器の配置を示す。また写真-1はHA95Aの観測状況を示す。マウンドの側面には前浜断面の二次元性を維持するために設置した土嚢が見られる。

いずれの観測ケースにおいても観測項目は、①前浜地形の測定、②遡上波の測定、③入射波の水位と流速、および④底質採取である。②は容量式波高計とメモモー

* 正会員 工修 新日本製鐵(株)

** セントラルコンサルタント(株)

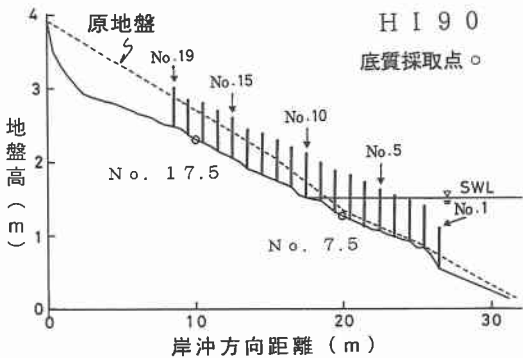
*** 大成ロテック(株)

**** 正会員 工博 日本大学理工学部専任講師 土木工学科

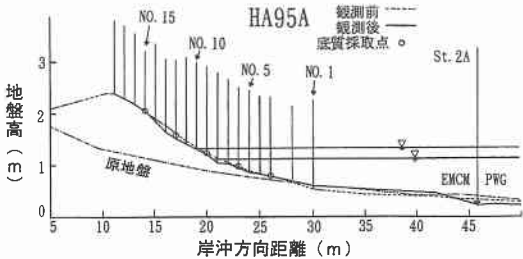
***** 正会員 工博 日本大学理工学部教授 土木工学科

表一 前浜地形変化の現地観測概要

観測場所	平塚海岸		波崎海岸		波崎海岸	
ID	HI90	HA92N	HA92A	HA94A	HA95N	HA95A
観測日時	1990.8.31 12:15-13:55	1992.7.29 15:00-17:30	1992.7.29 15:00-17:30	1994.8.5 15:00-16:00	1995.9.7 14:50-15:50	1995.9.8 13:45-16:00
潮位	約20cm上昇	約20cm上昇の後、満潮		約20cm上昇	満潮時	約20cm上昇
前浜勾配	1/10	1/18	1/10	1/5	1/18	1/10
底質中央粒径	0.9mm ~2.0mm	0.17mm ~0.19mm	0.17mm ~0.18mm	0.18mm ~0.23mm	0.18mm ~0.23mm	0.18mm ~0.25mm
波浪	$H_{1/3}=1.27\text{ m}$ $T_{1/3}=8.9\text{ s}$ 汀線沖 約40m地点 (平均的碎波点)	$H_{1/3}=0.88\text{ m}$ $T_{1/3}=10.7\text{ s}$ 汀線沖約80m地点 (平均的碎波点)		$H_b=0.7\text{ m}$ $T_b=11.5\text{ s}$	$H_b=0.95\text{ m}$ $T_b=9.8\text{ s}$	$H_b=0.7\text{ m}$ $T_b=9.0\text{ s}$



図一 前浜断面と測定用定規の配置 (HI90)



図二 前浜断面と計測器の配置 (HA95A)



写真一 地形変化の観測状況 (HA95A)

ションカメラまたはビデオにより撮影することによった。③の水位は②と同様な方法により、流速は電磁流速計によった。これらの読み取りまたは測定の間隔は0.2sである。④は前浜の5~7地点において観測の前後または観測中約30分毎に表層底質を採取した。各ケースの観測時間帯は上げ潮時から満潮時の1~2時間である。上記4ケースの観測の内、HI90の結果にはカスプ地形に伴う3次元的な流れによる地形変化が生じた可能性があり、HA92とHA94の結果には平均遡上位置よりも海側で沿岸流による影響があった可能性がある。しかしながら、これらの流れは地形性のものであって、平均遡上位置よりも陸側では岸沖方向の波動成分が卓越していたものと考えられる。

3. 観測結果

(1) 前浜の堆積過程

図-3に前浜を掘削して勾配を緩くしたケースの、HI90における断面地形の変化を示す。平均汀線よりも海側で侵食、陸側で堆積が生じていることがわかる。この変化は観測開始後50分頃まで進行し、掘削前の前浜勾配に近づいた。その後変化量は小さくなり、60分以後にな

ると掘削地形の側面の影響などのために地形変化は三次元的となった。汀線の陸側での堆積量は、変化のピーク時においても単位幅(1m)当たり0.3m³程であり掘削した土砂量の1/10以下である。

図-4は、前浜の上部と下部で採取した底質の粒径変化を示す。観測の前後で、侵食域の粒径は中央粒径値にして1.35mmから2.0mmに大きくなっており、堆積域では逆に1.1mmから0.9mmに小さくなっている。つまり前浜下部の細かい粒径の砂が岸側に移動して前浜上部に堆積したことを示す。

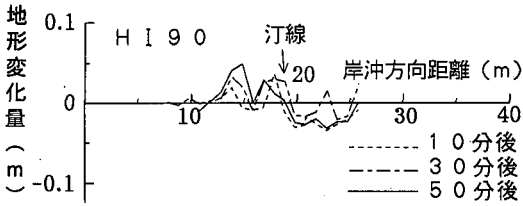


図-3 前浜断面の地形変化 (HI90)

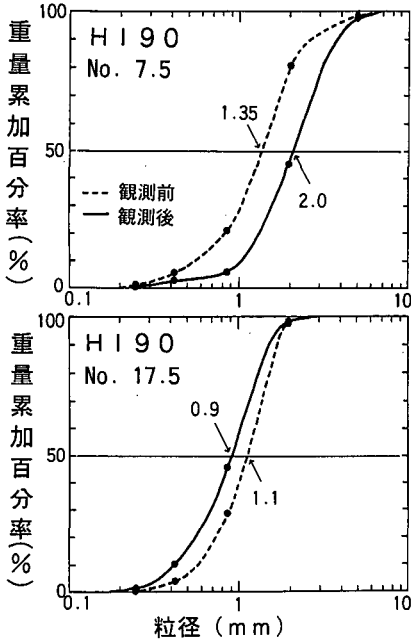
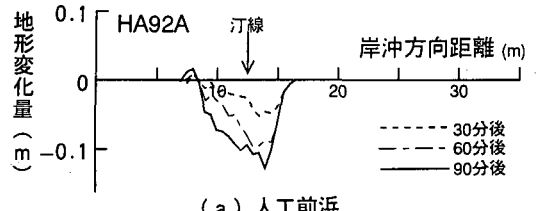
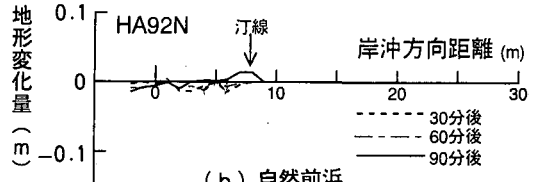


図-4 前浜底質の粒度分布の変化 (HI90)

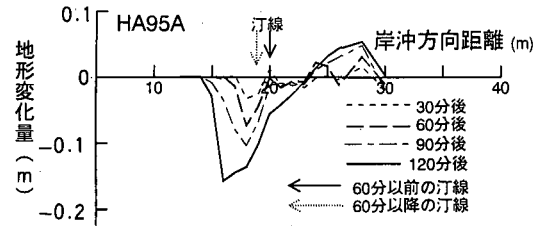


(a) 人工前浜

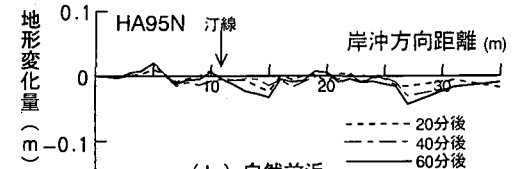


(b) 自然前浜

図-5 前浜断面の地形変化 (HA92)



(a) 人工前浜



(b) 自然前浜

図-6 前浜断面の地形変化 (HA95)

(2) 前浜の侵食過程

図-5(a), (b) に, HA92A と HA92N (N は自然状態の意) の前浜地形変化を示す。盛り砂マウンドから約 10 m 離れた自然状態の前浜における断面変化は予想した通り小さい。前浜勾配を約 1/18 から約 1/10 と急にした人工マウンド上では時間と共に侵食が進んでいる様子が見られる。侵食は、①まずマウンドの海側端で地盤の低下が始まり、②地盤が原地盤まで低下しつつ、次第に陸側に侵食域が広がる、といった形態を示す (Kubota et al., 1994 の Fig. 9a 参照)。マウンドの海側ではマウンドの侵食に対応する堆積が生じていない。先に述べたようにこのケースでは沿岸流の影響があった。沿岸流速は、10 分間平均値で見れば流速は小さくほとんど方向性を持たないが、1 分間平均では 20 cm/s 程度の流速値を示す時間帯があり、この時にマウンドの海側に堆積するはずであった砂が沿岸方向に失われたと考えられる。

図-6(a), (b) に HA95A と HA95N の前浜地形変化を示す。HA92 と同様に、自然側の地形変化は小さく、人

工前浜ではマウンドの侵食が顕著である。このケースではマウンドの海側に堆積域が見られるが、侵食量と比べてその量は少ない。前浜での鉄杭列による測定は 30 m 地点までであるが、観測の前後の深浅測量結果によれば 30 m 地点の海側にも堆積が生じていたことが確認された。しかしながら、この堆積量を含めても侵食量の約 8 割である。この原因としては、マウンドの沿岸方向の長さが限られているため、入射波の方向分散性によって沿岸方向に堆砂が拡散したことが考えられる。

観測開始から 30 分毎に実施した底質調査の結果 (松村, 1996) によれば、前浜の侵食域では底質の中央粒径と比重が大きくなった。堆積域ではこのような変化は見られなかったが、ふるい分け係数と偏歪度は小さくなり 1 に近づいた。侵食域から失われた粒径と比重の小さい砂が堆積地点のもともとの底質特性に近いものであったことが伺える。

(3) 浜崖の形成過程

HA94A では前浜勾配をさらに急にした場合のデー

を得るために、前浜勾配が約 $1/18$ から約 $1/5$ になるようにマウンドを造成した。その結果、急激な侵食が起こり、写真-2に見られるような浜崖が形成された。図-7に浜崖が観測された測点の地盤高変化を示す。観測準備に手間取ったために観測開始時にはすでにマウンドの海側部分の侵食が進んでおり、開始後数分でまず No. 25 地点で浜崖の崩壊が生じ、約 10 分後には No. 25 地点の陸側 1 m の No. 26 地点が崩壊した。崩壊地点は 20 分後、40 分後にさらに 1 m づつ進んだ。HA92A のケースと比べると、底質条件は同様であり、波浪はむしろ穏やかであったにも関わらず浜崖が形成された原因は前浜勾配が急であったためと考えられる。郷農ら (1995) の移動床実験

でも波浪条件が同じ時、前浜勾配が急なほど浜崖が発生し易いという結果が得られている。

目視観察によれば、浜崖の形成と崩壊の過程は次の通りである。①まずマウンド下部で HA92A よりも急激な侵食が起こり、前浜勾配が次第に急峻になって浜崖が形成される。②そして浜崖の上部にまで遡上波が達するようになると、浜崖の上部表面にひび割れが生じ、浜崖上部が崩落する。③この崩落した砂は浜崖のすぐ海側に堆積するが、次第に沖向きに移動する。④浜崖の崩壊面が遡上波に晒されるようになると、再び浜崖の崩壊がおこる。この形成過程は郷農ら (1995) の結果とも類似している。

(4) 漂砂量と外力の関係

以上述べてきたような人工前浜上での侵食域や堆積域での地形変化量、または領域の海側端での通過漂砂量と碎波帯沖側や碎波帯の波浪、遡上域への入射波や流速変動、および遡上波との相関を調べた。

まず碎波点付近から沖合いの波浪と人工前浜の地形変化との相関は悪かった。

次に HA92A と HA92N において、前浜下部での電磁流速計のデータから岸沖方向流速変動のパワーを調べたところ、人工側の流速のパワーは自然側に比べてかなり大きいことがわかった。これは HA95A と HA95N についても同様であった。つまり、前浜勾配が急になると遡上開始点付近の流速が大きくなり、その結果前浜で地形変化が起こると考えられる。

また、HA95A では観測開始 60 分以後に前浜の侵食量と遡上波のパワーが増加した。観測開始 60 分以前と以後の毎分の値を図-8 に示す。遡上波のパワーが前浜地形変化にとって重要であることがわかる。

ここで、前浜地形変化の予測に向けて、砂村 (1984) の漂砂量算定式により汀線での漂砂量を求めて、観測結果と比較した。

図-9 は、各ケース毎に平均汀線から陸側の土量変化を求め、地形変化が生じ始めた時を基準として示したものである。ほとんど変化の生じなかった自然状態のケースについては、時間軸に重なるため図には描いていない。また HA95A については上で述べたように観測後 60 分を境に傾向が異なるため 2 つに分けて示した。

各ケース共、汀線陸側の地形変化量は経過時間と共にほぼ直線的に増加しているので、この増加率から汀線を通して漂砂量を求めた。砂村の式には、表-1 で示した、前浜勾配、底質中央粒径、碎波波高・周期の値を用いて計算した。結果を図-10 に示す。図中に示すように、ここでは U_r に掛かる係数を 0.13 から 0.06 に変更している。傾向は概略一致しているようにも見えるが、浜崖の発生したケースのデータの評価に問題があること、



写真-2 浜崖の状況 (HA94)

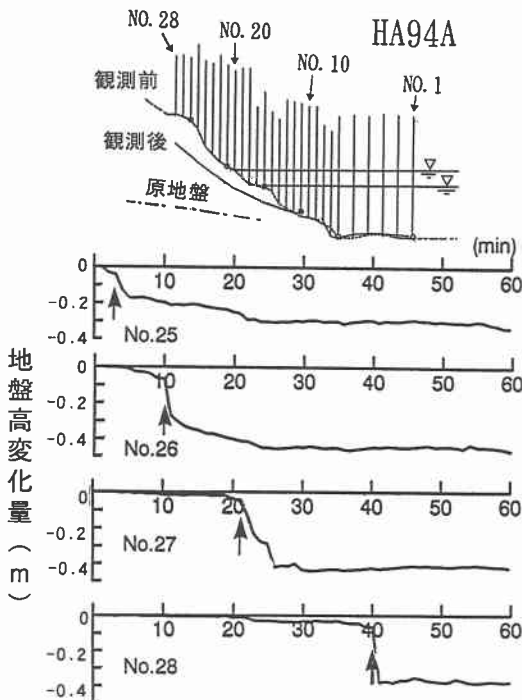


図-7 浜崖の後退状況 (HA94)

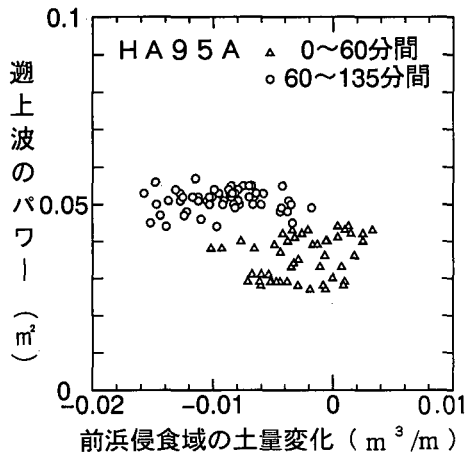


図-8 前浜地形変化と遡上波のパワー

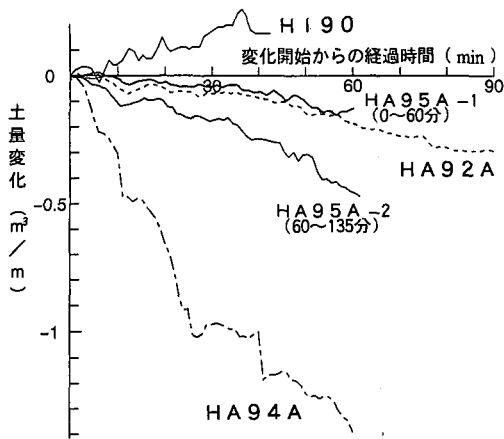


図-9 汀線陸側の土量変化

HA95Aの全般と後半のデータの場合に予測値は同じになってしまうことなど、さらに詳細な検討が必要と考えられる。

4. おわりに

以上、現地海岸において人工的に前浜を掘削、造成して地形変化を測定することによって、通常波浪の下での前浜地形変化の過程を調べることができた。今後は異なる条件下での観測を行うことと、汀線での漂砂量を遡上

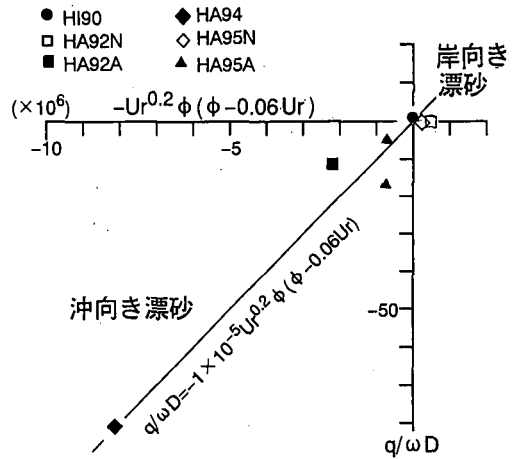


図-10 汀線での漂砂量の実測と予測

波や前浜への入射波と関連づける必要がある。

最後に、本研究は平成7年度日本大学学術賞研究費を受けて行われたことを付記する。波崎海岸での観測では運輸省の海洋研究施設を利用させていただいた。また図面の作成にあたっては日大理工学部大学院生の松村健君にお世話になった。ここに記して謝意を表する。

参 考 文 献

- 郷農一之・有村盾一・服部昌太郎 (1995): 浜崖地形の形成機構, 海岸工学論文集, 第42巻, pp. 616-620.
- 砂村継夫 (1984): Swash zone を含む碎波帯の岸沖漂砂量に関する研究, 第31回海岸工学講演会論文集, pp. 316-320.
- 内藤 朗・上原健一・渡辺 昇・大塚雄次郎・竹澤三雄・久保田進 (1995): 現地前浜における地形、底質変化特性, 土木学会第50回年講概要集, II (B), pp. 870-871.
- 肥田幸賢・久保田進・竹澤三雄 (1993): 前浜勾配の違いによる遡上域の地形変化特性, 土木学会第48回年講概要集, II (B), pp. 956-957.
- 肥田幸賢・権代信次・久保田進・竹澤三雄 (1992): 現地海岸における流速変化と短時間地形変化, 土木学会第47回年講概要集, II (B), pp. 1144-1145.
- 松村 健・久保田進・竹澤三雄 (1996): 現地人工前浜の底質特性の時間変化, 土木学会第51回年講概要集 (投稿中).
- Kubota, S., Y. Hida, and M. Takezawa (1994): Two dimensional change of swash slope, Int. Conf. on Hydro-Technical Eng. for Port and Harbor Construction, pp. 1193-1209.