

突堤の陸側端を沿岸漂砂が通過する場合の 海浜変形予測モデル

-現地実測に基づく等深線変化モデルの拡張-

PREDICTIVE MODEL OF BEACH CHANGES AROUND A GROIN IN CASE OF
OCCURRENCE OF PASSING OF LITTORAL DRIFT THROUGH ITS LANDWARD END
- EXPANSION OF CONTOUR LINE CHANGE MODEL BASED ON FIELD OBSERVATION -

宇多高明¹・加藤憲一²・見附敬三²・山形 宙²・赤松直博³

Takaaki UDA, Ken-ichi KATOH, Keizo MITSUKE, Hiroshi YAMAGATA and Naohiro AKAMATSU

¹正会員 工博 建設省土木研究所河川部長 (〒305-0804 茨城県つくば市旭1)

²正会員 日本建設コンサルタント(株) (〒141-0022 東京都品川区東五反田5-2-4)

³日本建設コンサルタント(株)(同上)

Predictive model of beach changes around a groin due to longshore sand transport is developed by applying the contour line change model. In the case that a groin does not connect to the solid structure such as seawall and beach erosion is permitted at its landward end, littoral drift can pass through the landward end of the groin, while carrying a large amount of sand. This greatly decreases the shore protection effect of the groin. This phenomenon is modeled numerically. On July 26, 1997, storm waves attacked the Chigasaki coast and during this typhoon, the phenomenon as mentioned above occurred. Results of numerical simulation explain this situation qualitatively.

Key words : Contour line change model, groin, profile changes, longshore sand transport, Chigasaki coast

1. まえがき

一般に、台風による高波浪と満潮とが重なった場合、あるいはうちあげの高い長周期波が襲来した場合、汀線付近では著しい海浜変形が生じ、侵食の結果護岸などの施設が被害を受けることがしばしばである。神奈川県茅ヶ崎海岸では、1997年6月20日に来襲した台風7号、および同年7月26日に来襲した台風9号に伴う高波浪によって、護岸周辺が侵食され護岸が破壊された。その原因を調べると、主原因は砂が沖向きに流出したためではなく、護岸の東側に位置する突堤の陸側端を抜けて沿岸漂砂が東向きに流出したためであることが現地で観察された¹⁾²⁾。沿岸漂砂に起因する海浜地形変化の予測モデルには種々あるが、海浜縦断形の変化が予測可能なモデルとしては等深線変化モデル³⁾がある。このモデルを突堤周辺の海浜地形変化予測に適用する場合、突堤の天端高は十分高く、沿岸漂砂が突堤を越えて流出しないという条件で計算が行われている。しかし、茅ヶ崎海岸での実例は、高潮位条件下において突堤の陸側端を沿岸漂砂が抜けることが、突堤上手側での侵食に決定的作用をもたらすことを示唆する。そこで、ここではこのような現象を再現す

る数値モデルを開発した。

2. 研究の発端となった現地海岸の状況

研究の発端は、神奈川県茅ヶ崎海岸における台風後の現地踏査^{1),2)}から得られた。茅ヶ崎海岸では1997年夏、台風に伴う高波浪がたびたび襲来し、このため著しい海岸侵食が発生した。図-1には茅ヶ崎海岸の位置を示す。図示する区域のうち、ヘッドランドと茅ヶ崎漁港間は特に

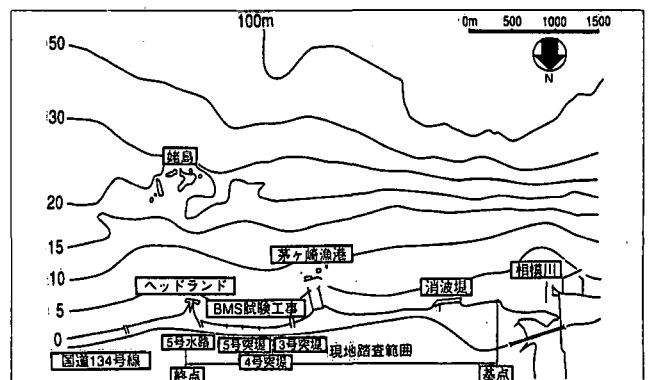


図-1 茅ヶ崎海岸の位置図

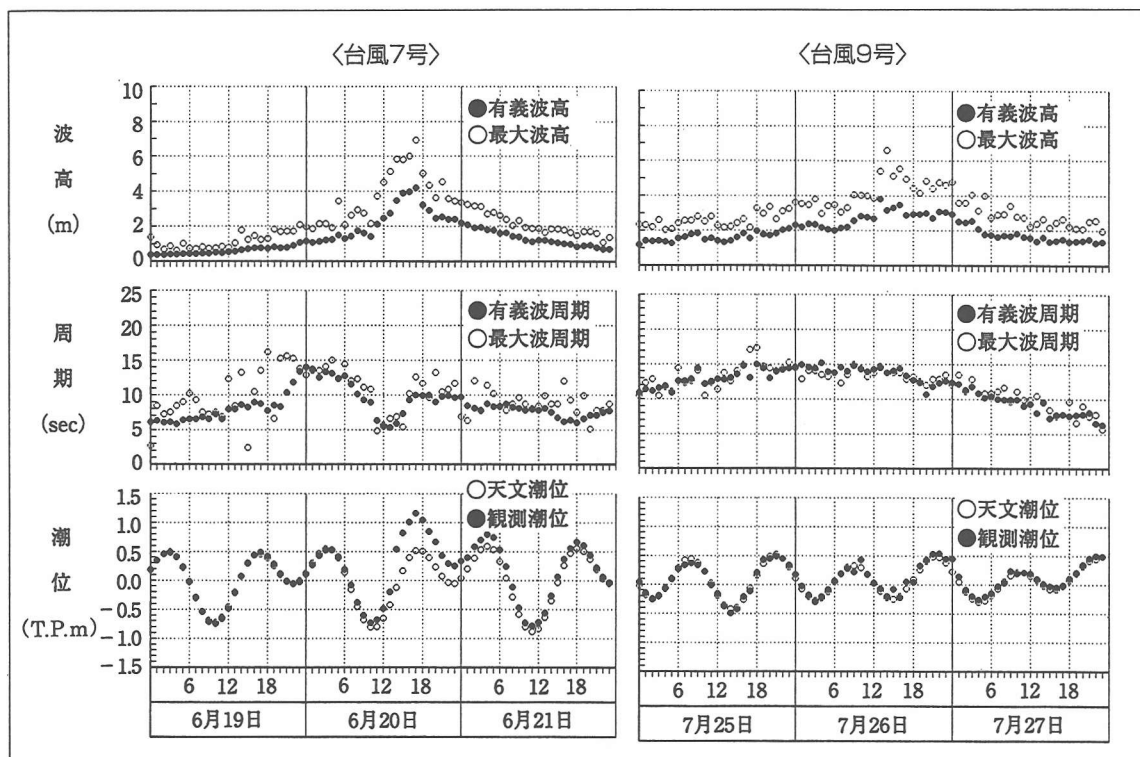


図-2 1997年の台風7,9号時の波浪と潮位



写真-1 侵食により形成された4号突堤背後の水路跡
(1997年8月7日撮影)



写真-2 4号突堤背後の水路跡を西向きに望む
(1997年8月7日撮影)

前浜が狭かったために、著しい災害が発生した。なお、この区域ではBMSの試験が行われている。

1997年の夏季における、科学技術庁防災科学技術研究所の平塚沖波観測塔での波浪観測結果を図-2に示す。6月20日の台風7号では満潮と台風による気圧低下などに起因して潮位がT.P.+1.28mまで上昇したと同時に、有義波高4.2m(周期10.0s)の高波浪が来襲した。また、台風9号では7月26日13:00に最大有義波高3.8m(周期14.5s)を記録した。台風9号では、台風7号と比較して波高はやや低いが、14~15sと長周期波が継続したことが特徴である。

1997年6月20日に来襲した台風7号においては、高

潮位に加えて高波浪が襲来したために、茅ヶ崎海岸の5号突堤背後を沿岸漂砂が抜け、浜崖の形成を伴う著しい侵食が起きた。また、7月26日に襲来した台風9号では、さらに著しい災害が生じた。以下では、台風9号来襲後の1997年8月7日の観察結果を示す。

写真-1は、BMSの試験施工区域の東側を区切る4号突堤の背後部での浜崖形成状況である。突堤の背後には砂丘があったが、そこが大きく侵食されて浜崖が形成された。写真-2は、写真-1の観測者背後の砂丘上から突堤の背後部を西向きに撮影したものである。突堤の陸側端部と急勾配の浜崖の間には水路跡が見られる。突堤端に立つ二人から右側、やや白い浜付近ではバームができてい



写真-3 突堤背後から突堤の先端方向を望む
(1997年8月7日撮影)

るためやや小高くなっているが、水路跡はそこから開口部へ向いて下り勾配となり、突堤の裏（東）側へと抜けている。また、突堤背後に形成された浜崖は突堤の背後で最も高く、西向きに次第に高さが低くなっている。写真-3は、突堤背後の砂丘上から突堤の先端方向を望んだ写真である。突堤背後に形成された浜崖の上部を連ねる線は、突堤の中心線に関して右（西）側で広く、左（東）側で狭くなっており、明らかに突堤中心に関して左右非対称である。また、突堤右側の砂面の地盤高が高い。これらの点は、突堤右側の区域でうちあがった波が突堤の背後を回り込んで東側へと流出し、このとき突堤背後が大きく侵食されたことをよく表している。

突堤状構造物が海岸線と直角方向に伸ばされた場合の周辺海岸への影響については、その定量的予測が行われているが、上述のように突堤の陸側端を沿岸漂砂が抜けるという問題は全く新しい問題であり、しかも前浜の地形変化に深く関連することから、予測モデル構築の必要性は高いと言える。

3. モデルの基本と計算条件

突堤のモデル化の基本的な考え方について図-3をもとに述べる。等深線変化モデルでは、沿岸漂砂量の水深分布を与えているが、沿岸漂砂量は図-3(a)に示すように、 h_R から $-h_c$ の間で分布を持つ。突堤の先端水深を h_1 としたとき、突堤の天端高が h_R 以上の高さを持つ場合には、沿岸漂砂は突堤沖の $-h_1 \sim -h_c$ 間のみを通過し、その場合の沿岸漂砂量はその水深分布において、突堤によって阻止されない部分の面積比に応じて、すなわち比 $\Delta A_1 / \Delta A$ を乗じた沿岸漂砂量となる。これが従来タイプの突堤の考え方である。一方、ここで想定する場合には、図-3(b)に示すように、突堤の天端高が h_R よりも低い h_2 であるために、 h_2 以上でも沿岸漂砂が通過することができる。したがって通過沿岸漂砂量は比 $(\Delta A_1 + \Delta A_2) / \Delta A$ を乗じた沿岸漂砂量となる。

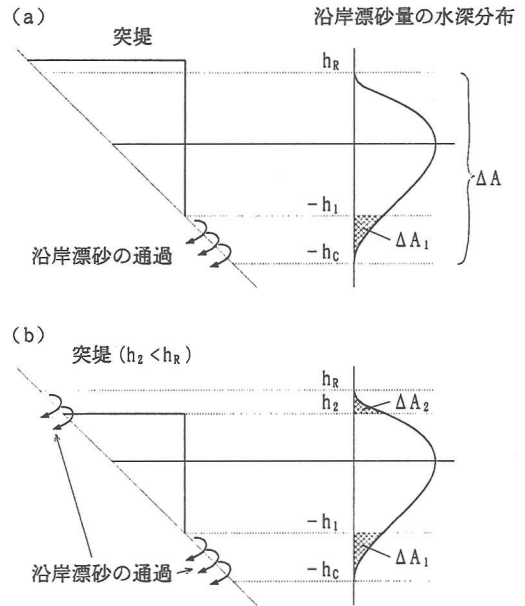


図-3 等深線変化モデルによる突堤周辺での地形変化計算の模式パターン

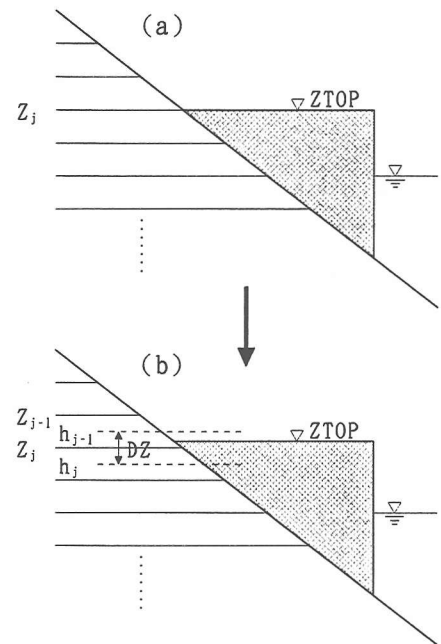


図-4 突堤の天端高と等高線との関係

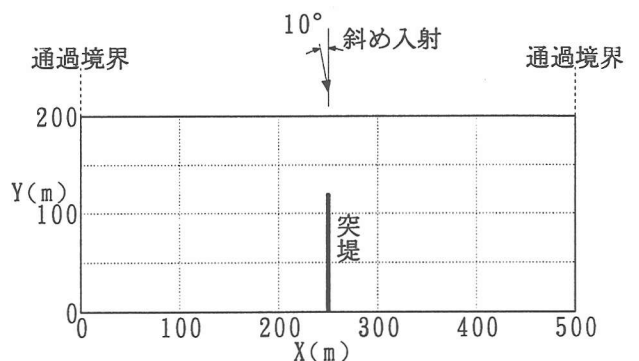


図-5 計算領域

表-1 計算ケース

ケース	初期海浜勾配	突堤天端高 (m)
①	1/10	∞
②	1/10	1
③	1/5	1
④	1/3	1

突堤を挟んで陸側と海側を通過した沿岸漂砂は、それぞれの等深線に沿って移動するが、海浜勾配がある限界勾配を越えるほど急になる場合には冲向きに土砂が移動する。このため、土砂が冲向きに移動する場所では等深線が後退することになり、それはまた沿岸方向に見た沿岸漂砂量に変化をもたらすので、その影響が沿岸方向にも伝播することになる。

等深線変化モデルでは水深方向にある間隔でスライス状に分割し、それぞれの層を代表する等深線の位置を追跡する。この場合、突堤の天端高は分割した層を区切る等高線と常に一致するとは限らない。このため、図-4 に示すように、突堤の天端高と各層との相対関係に基づいて通過沿岸漂砂量を定める必要がある。具体的には、図-4 を参照したとき、(a) は突堤の天端高が等高線位置と一致している場合であるが、実際には (b) のように天端位置は各層の間にくる。このとき、 z_{j-1} の等高線位置の計算では突堤が存在しないとしてそのまま行うことができる。しかし、 z_j の計算では $(z_{top} - h_j) / \Delta z$ に相当する沿岸漂砂量は阻止されると考える。高さ z_j に相当する等高線の変化計算を行う場合を考え、係数 a, b を次式で定める。

$$a = (h_{j-1} - z_{top}) / \Delta z$$

$$b = 1.0 - a$$

次に、 z_{top} が h_j に等しい場合に計算区間へ流入する沿岸漂砂量を Q_j 、 $z_{top} = h_{j-1}$ の場合の沿岸漂砂量を Q_{j-1} とすると、突堤の天端高が z_{top} の場合における沿岸漂砂量は比例分配により、

$$Q = aQ_j + bQ_{j-1}$$

で与えられる。

計算領域は、平行等深線を持つ沿岸方向に 500m の区域を考え、ここを 25m 間隔の 21 点に分割する。図-5 には計算領域を示す。両端は通過境界とする。波浪条件としては、現象の理解を容易にするために、沿岸方向に一定の碎波波高 ($H_b = 3.0\text{m}$) の波が反時計回りの方向から 10° の角度で斜め入射する条件を設定する。また、 h_R は 4m、 h_c は -7m とおく。さらに陸域および海面下における海浜の限界勾配は、前報³⁾と同様それぞれ 1/1.7、1/2 とおく。

初期海浜勾配は 1/10、1/5、1/3 と変え、計算領域の中央には不透過性の突堤を 1 基設置する。突堤の先端水深は 2m とする。計算は表-1 に示すように、4 ケースとする。ケース①は比較の基礎であって、突堤は陸上部まで十分な高さを有し、突堤より陸側を沿岸漂砂が通過しない条件

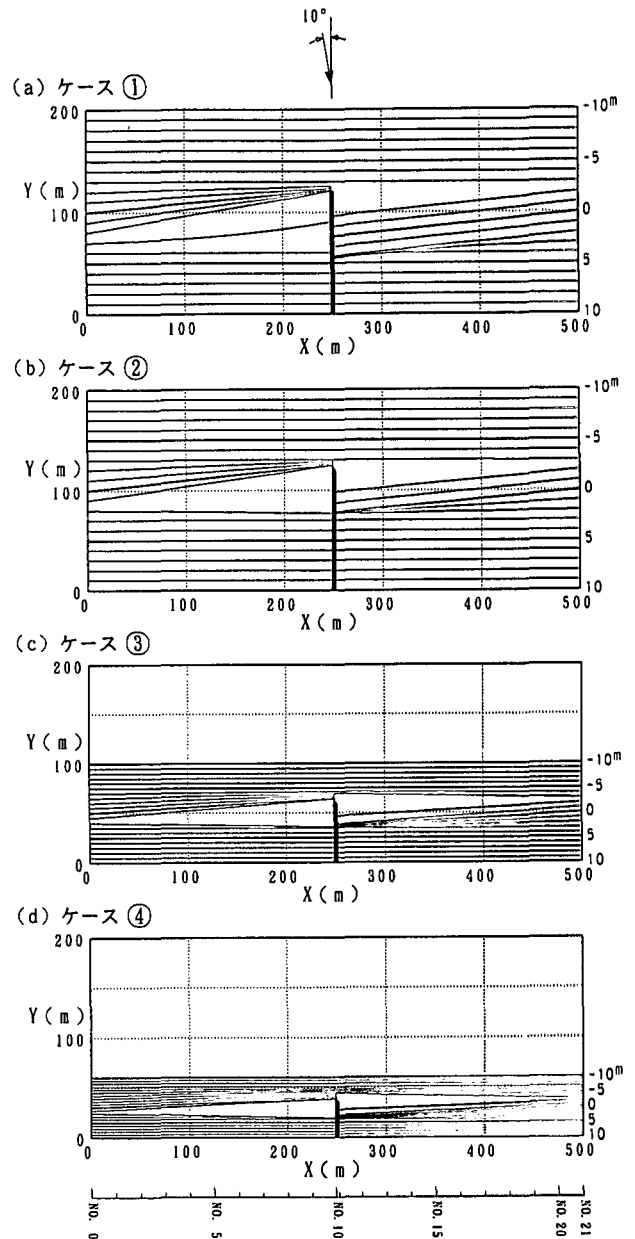


図-6 波作用後の海浜形状の比較

である。この条件を基本として、ケース②～④では突堤の天端高を 1m とし、突堤の陸側を沿岸漂砂の一部が通過できる条件とする。

4. 計算結果

(1) 平面等深線の比較

図-6 には、ケース①～④の波作用後 5 日の海浜形状を示す。突堤の天端高が十分高く、したがって突堤の先端水深と h_c の間を通過する沿岸漂砂以外が阻止されるケース①では、前報と同様な結果となり、突堤の上手側には砂が堆積して陸上部に平坦面が形成され、下手側では逆に浜崖が形成されたあと、浜崖の沖側には侵食によって緩い海底斜面が形成される。また突堤の先端では右方向へと移動する沿岸漂砂が堆積するため、局所的に非常に急

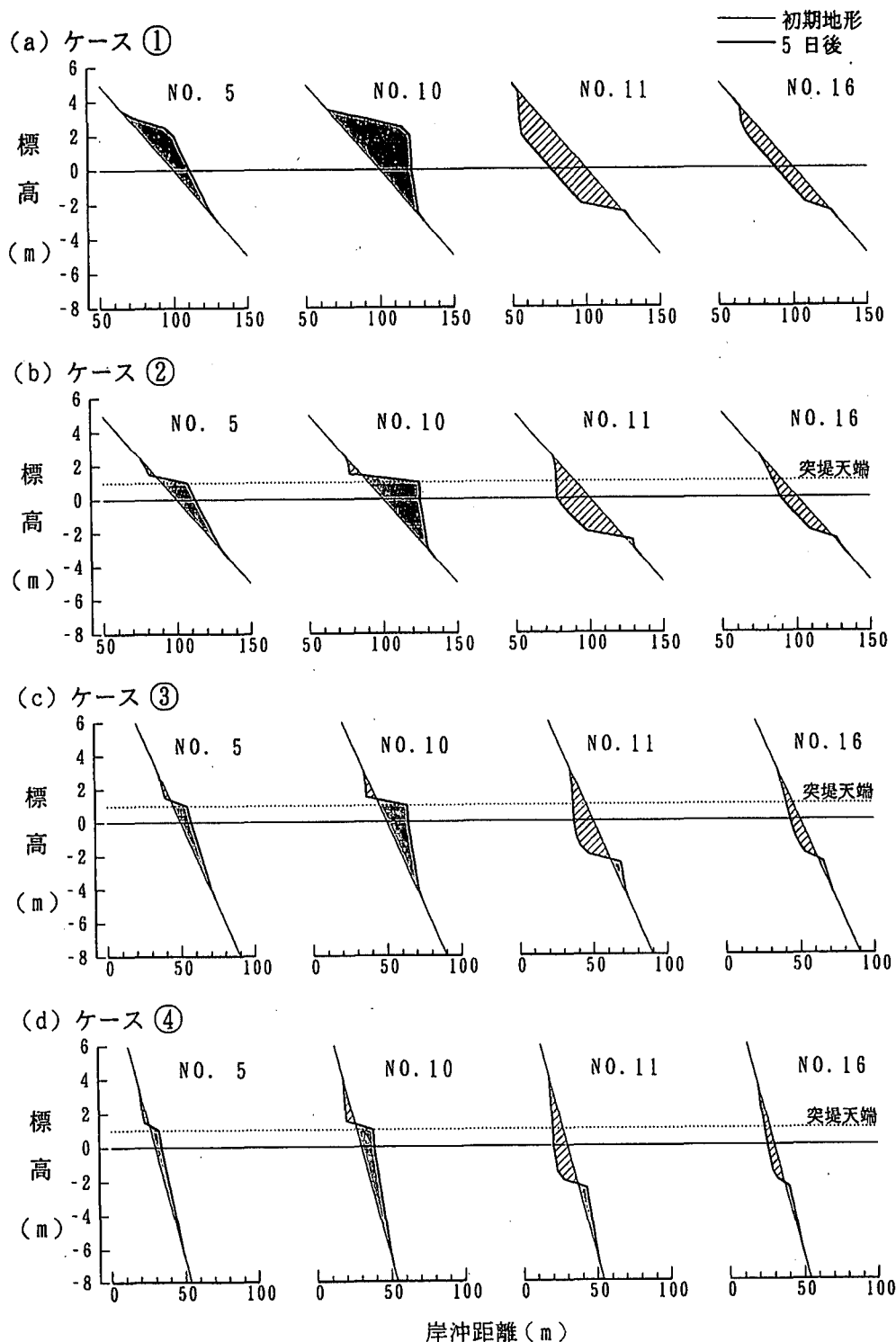


図-7 海浜縦断形の比較

な部分が形成される。また突堤を挟んで上手側では h_R ~ 突堤の先端水深 (-2m) 間の全ての等深線が前進し、下手側では後退することが特徴である。

図-6(a)に示す場合を基準として、これと各ケースの比較を行うと、初期海浜勾配が 1/10 のケース②では、ケース①と海浜勾配が同一なのでよく似た結果が得られている。しかし、ケース②の突堤の天端高は 1m であり、 $h_R=3m$ とこの天端高の間では沿岸漂砂が通過できる。汀線が突堤の上手側では前進し、下手側では後退している点は両

者で同一であるが、3m 以上の等高線は原形を保っている。また、2m の等高線は突堤の上手側から突堤の付け根に向かって緩やかな後退傾向、突堤の下手側では逆に前進傾向に変わる。さらに、突堤の下手側隣接区域では 2m の等高線と汀線が非常に接近し、急勾配になっていることが分かる。

ケース③、④と初期海浜勾配が急になるにしたがい、突堤の上手側直近で限界勾配に達することによる沖への土砂移動が活発になる。この結果、突堤の初期先端水深であ

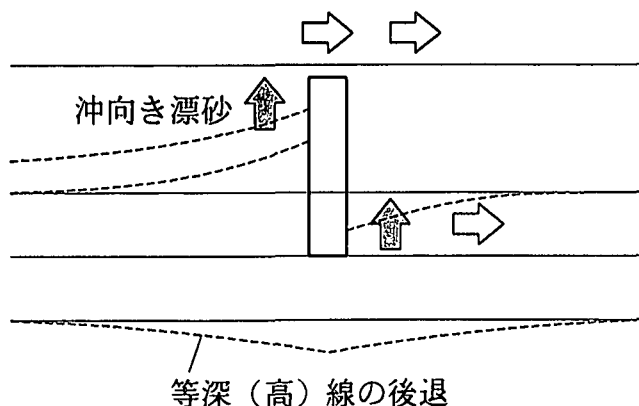


図-8 海浜変形機構の要約図

る 2m を越える水深にまで土砂が落ち込む。突堤の先端水深より深い位置では沿岸方向への土砂移動は自由であるから、突堤沖を通過して沿岸漂砂は下手側へと流出する。また一部は突堤を回り込むことができる。同様に、突堤のすぐ下手側直近では陸側から汀線部への土砂の落ち込みが著しくなったために、突堤の背後を中心とする 2m の等高線が大きく後退している。

(2) 海浜縦断形の比較

図-7 にはケース①～④の海浜縦断形変化をまとめて示す。いずれの場合も突堤の両側から 2 測線ずつ選んでおり、それらの位置は図-6 に示す通りである。(a) に示すケース①では、突堤による沿岸漂砂阻止効果が現れ、突堤の上手側では陸上部に平坦面が形成され、突堤に近接するほど海底勾配が急になる。突堤の下手側では侵食によって浜崖の形成が進む。(b) に示すケース②では、突堤の上手側で土砂が堆積する点は同様であるが、突堤の上手側でありながら、1～2m の間に小規模な浜崖が形成され、この浜崖は突堤より離れた No. 5 まで広がっている。また、突堤の背後を沿岸漂砂が通過するために、突堤によって阻止された土砂量がケース①と比較して減少している。ケース③、④でも同様な特徴が現れているが、初期海浜勾配が急になったために、冲向きの土砂移動が活発になり、その分突堤の上手側での浜崖形成が著しくなった。以上の結果は、茅ヶ崎海岸の突堤背後を通過して沿岸漂砂が流出した場合の、突堤上手側の後浜近傍での浜崖形成をよく説明している。

5. 考察

突堤の陸側端付近の天端高が低い場合に、突堤の陸側端を沿岸漂砂が抜ける場合の海浜変形の数値計算を行っ

たが、この結果は図-8 の模式図にまとめられる。すなわち、不透過突堤によって沿岸漂砂がブロックされる部分の等深線は漂砂の上手側では前進し、下手側では後退する。突堤より岸側では最初下手方向へと沿岸漂砂が通過するが、突堤のすぐ下手側では等深線が後退して海浜勾配が急になるため、突堤の陸側を通過した沿岸漂砂が急勾配部分を通過して落ち込む。このことから突堤の背後では等深線が後退し、突堤に近づくにしたがい等深線が後退し、突堤より漂砂の下手側では後退量が小さくなる。突堤下手側での土砂の落ち込みは海浜勾配が急なほど顕著になるから、初期勾配が 1/3 の場合に最も大きな影響が現れる。

茅ヶ崎海岸の場合、突堤の陸側端では局所的な流れの集中が起きている。写真-2 に示したように、突堤の陸側端では突堤の天端高よりも周辺の地盤高が低い。これは突堤の上手側から端部へと流れが集中して洗掘されたためと考えられる。等深線変化モデルではこのような局所的な地形変化までは再現できず、したがって詳細な地形変化予測を行うには水理模型実験による検討が必要と考えられる。

突堤のように海浜を横断する施設は、長く続く海浜の景観を阻害することから、なるべく長さを短く、高さも低くしたいという欲求が強い。しかしここで見たように、台風など、潮位が高まった状態で高波浪が来襲すれば沿岸漂砂の著しい流出が生じ、周辺施設の基礎地盤の低下を招き、さらには施設の災害をもたらす。このことから、景観への配慮は当然として、背後の施設との取り付け部を通過した流れや漂砂が生じないような工夫が必要である。具体的には、突堤状の施設を取り付け部まで十分伸ばしたのち、その上面に砂をかぶせた、いわば隠し突堤のような構造とすることが必要である。

また、近年、地球温暖化に伴う海水準の上昇が懸念されているが、このような海面上昇は、従来十分な漂砂阻止効果を有していた突堤などの施設の漂砂制御効果を上述のように急激に減じるから、この点においても十分な注意が必要であろう。

参考文献

- 1) 神奈川県：「なぎさを歩く」、海岸災害の現地踏査記録, p. 46, 1999.
- 2) 宇多高明・内田 剛・高橋由貴・西村 晋・福山慎一：湘南海岸における台風 7, 9 号による侵食災害の現地踏査, 海洋開発論文集, Vol. 14, pp. 263-268.
- 3) 宇多高明・河野茂樹：海浜変形予測のための等深線変化モデルの開発, 土木学会論文集, No. 539 / II - 35, pp. 121-139, 1996.