

移動床模型実験による海浜変形予測の一例

佐藤 昭二*・小笹 博昭**・永井 紀彦***

1. はし が き

防波堤や埋立地などの計画，建設を行うためには，まず，それらが付近海浜に及ぼす影響を予測しておくことが，環境問題との関連で近年重要となってきた。海浜地形変化予測の手法としては，ここ数年電子計算機による数値予測が注目されているが，比較的単純化された変形を除いてまだ十分に開発されていない。このことは，漂砂機構そのものが十分に数式化されるほどに解明されていないことによっている。一方，移動床模型実験による方法は，一般に模型に歪を与えるため相似律という点で疑問は残るが，境界条件や外力条件さえ適切に決定すれば，漂砂機構そのものが不明確であってもある程度の予測が可能であることが，今までの模型実験からわかっている。

そこで，著者らは，徳島空港の滑走路を海側に埋立延長した場合の海浜地形変化，とくに汀線変化の長期的予測をするために，移動床模型実験を行った¹⁾。本報告は，この模型実験について実験手法に重点をおいて述べたものである。

2. 松茂海岸の漂砂特性

空港の位置する松茂海岸は，図-1に示すように，吉野川河口から2 km 北側の今切港とさらにその北側にある栗津港との両防波堤にはさまれた，延長4 km の弓形をした砂浜海岸であり，吉野川三角州上の一部をなしている。近年の吉野川の土砂供給量の減少に加え今切栗津両防波堤建設のため，松茂海岸に流入する漂砂もここから流出する漂砂もきわめて少ない。このことは，沿岸砂州が海岸の北側の水深2~3 m 付近に存在しているのに対し，

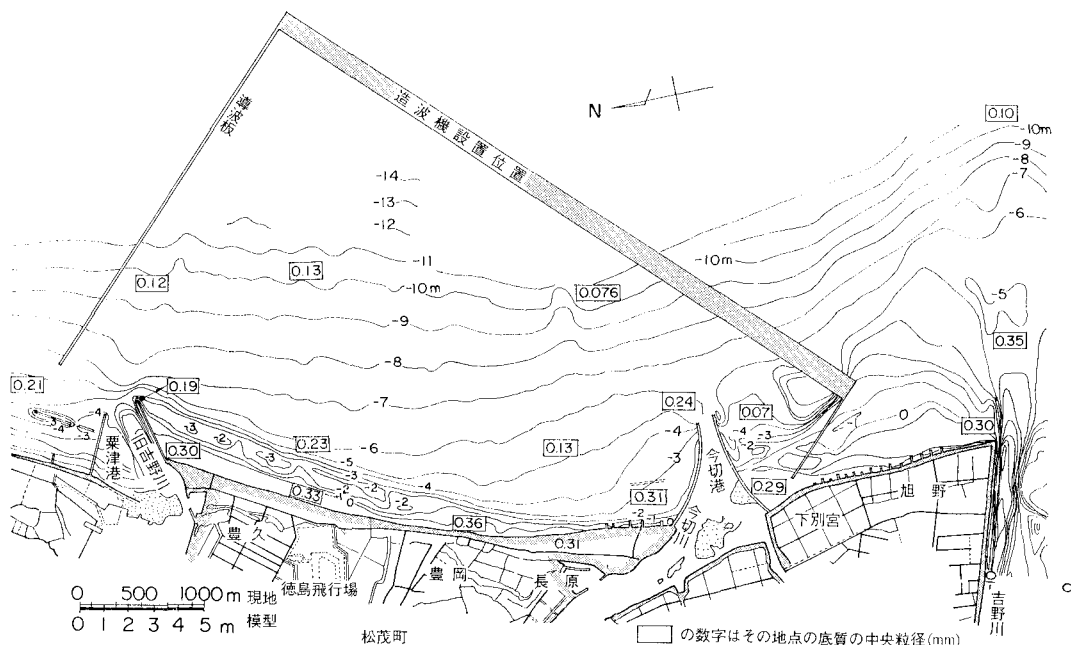


図-1 現地深図と模型製作範囲

* 正会員 工博 運輸省港湾技術研究所 次長
 ** 正会員 工修 運輸省港湾技術研究所 水工部海岸地形解析主任研究官
 *** 正会員 運輸省港湾技術研究所 海洋水理部波浪研究室

両防波堤先端の水深は約 5 m であることからわかる。

表-1 に示すように、太平洋から侵入する南東または南南東の波が支配的なので、沿岸漂砂の主方向は南から北である。そのため、現在今切側で欠壊、栗津側で堆積となっている²⁾。来襲波の波高は一般に小さく、年に数回程度おこる通常の時化時で 1~1.5 m であり、2 m を超えることは

数年に一度である。なお、今切から栗津を結ぶ全海岸線に沿って天端高 D.L. +7 m の護岸が建設されている。

3. 実験方法

港湾技術研究所の大型水工実験場内の水槽（長さ 50 m，幅 30 m，深さ 1 m）に今切から栗津までの模型を製作し、図-1 に示すように、延長 25 m のプランジャー型造波機と導波板を SE 波向に設置した。深海波向は表-1 のように SSE 波向が支配的だが、造波機設置水深である水深 -15 m 付近では屈折のために SE 波向となるからである。水平縮尺は 1/200，鉛直縮尺は 1/50 とした。海岸護岸から D.L. -10 m までを $d_{50}=0.29$ mm の細砂による移動床とし、-10 m 以深は固定床とし -15 m までの地形を再現した。

汀線についてはモルタル壁面から汀線までの水平距離をものさしで測定した。海底地形はレベルとスタッフを用い約 3 000 点について測定した。移動床の部分には真鍮棒をさし、それにマークを記入し砂面調整に便なるようにした。実験水位は M.W.L. をとり D.L. +1 m の一定とした。

4. 予備実験

4.1 予備実験の方法

移動床模型実験においては、底質としての砂の粒径を模型の縮尺と同様に小さくすることはできない。だから幾分大きめの波をかけなければ砂は移動しない。すなわち、移動床模型実験においては波についての相似と砂移動についての相似を同時に保つことは困難であるので、どのような波が現地に近い漂砂をおこすかを実験的に定めなければならない。このため、台風時に相当する比較的大きい波をめやすとして予備実験を行った。

図-2 は昭和 39 年から 44 年までの 5 年間の汀線変化を航空写真から読みとったものである²⁾。予備実験は、この 5 年間の汀線変化をもっともよく再現しうる波を見出すことを目的とする。このため模型内に昭和 39 年の海底地形を再現し、種々の波を作用させて汀線の時間変

深海波向	W_i (t·m/m)
NE	12 020
ENE	3 400
E	5 300
ESE	125 440
SE	492 850
SSE	2 108 400
S	115 430
$\Sigma W=2\ 862\ 840$	
5 年間の深海波のエネルギー推算値（昭和 46 年 1 月~50 年 12 月）	

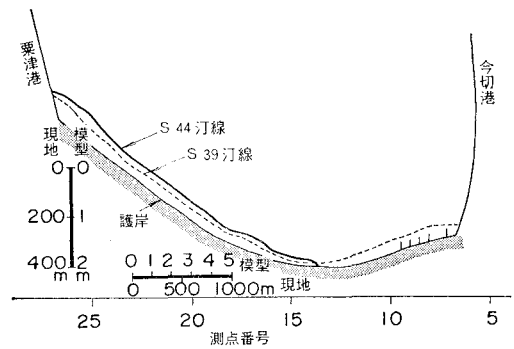
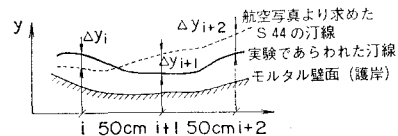


図-2 航空写真による昭和 39 年から 44 年の汀線変化

化を調べた。このとき昭和 39 年の深図がなく昭和 50 年のものしかなかったため、昭和 39 年の航空写真から求めた汀線位置を昭和 50 年の汀線直角方向各断面に記入し、その点まで後者の汀線付近の断面形状を平行移動して昭和 39 年の海底地形とした。また、栗津防波堤はこの 5 年間に長さ 150 m から 550 m になり 400 m 延長された。予備実験における栗津防波堤はこの昭和 44 年の状態とした。



$$\text{標準偏差} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum (\Delta y_i^2)} \quad (n \text{ は測線数})$$

図-3 汀線一致の調べ方

そして、図-3 に示すような方法で、各測定時ごとに昭和 44 年からのずれの標準偏差を求めた。すなわち、汀線方向 50 cm 間隔ごとに昭和 44 年の汀線位置との差を求め、その差の自乗平均の平方根を求めた。なお、実験波の周期の縮尺は鉛直縮尺の平方根とした。

4.2 予備実験の結果

図-4 は実験を行った 6 ケースについて、波の作用時間を横軸にとり、図-3 に示した標準偏差を縦軸にとっ

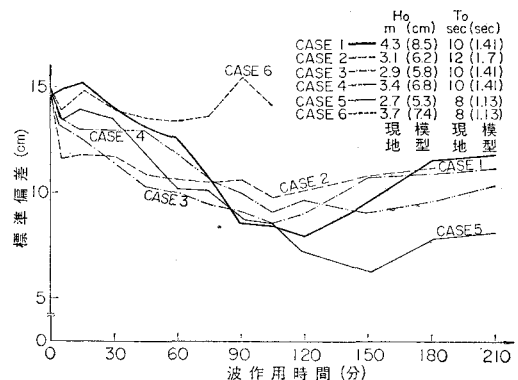


図-4 S 44 汀線への近づき方

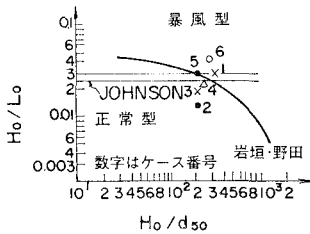


図-5 沿岸砂州の発生限界との関連

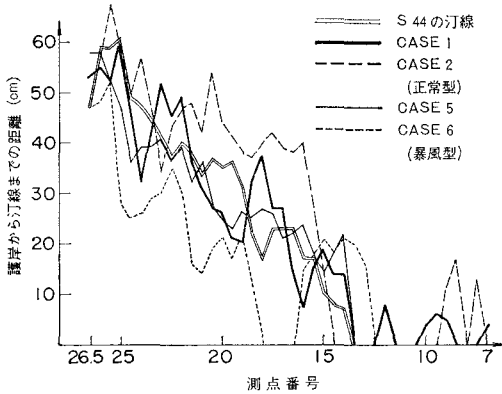


図-6 S44 にもっとも近づいたときの汀線

たものである。大部分のケースで、はじめは時間の経過とともに標準偏差が小さくなり、やがて極小値を示しその後は多少大きくなっていく。これらの中でケース5がもっとも小さい極小値をとり、次によいのはケース1である。ケース2と6は極小値が比較的大きい。

図-5は、実験値の換算沖波波高 H_0/L_0 と沖波波高と底質粒径の比 H_0/d_{50} を示したものである。図中には岩垣・野田による沿岸砂州の発生限界と Johnson による限界とを示してある⁹⁾。これらの線と予備実験の各ケースを比較すると、現地の汀線変化とよい一致を示したケース1と5は沿岸砂州の発生限界上にあり、比較的一致の悪かったケース2と6はそれぞれ限界上から大きく正常型と暴風型へずれている。このことは、昭和44年の汀線にもっとも近づいたときの汀線を示す図-6にもあらわれている。ケース1と5は昭和44年の汀線と比較的よく一致しているが、暴風型のケース6では汀線は全般的に後退し、正常型のケース2では全般的に前進しているのがわかる。

4.3 深浅予備実験

佐藤・田中の完全移動限界水深は次式から得られる⁴⁾。

$$\frac{H_0}{L_0} = 2.4 \left(\frac{d_0}{L_0} \right)^{1/3} \sinh \left(\frac{2\pi h_i}{L} \right) \frac{H_0}{H}$$

式中の h_i が完全移動限界水深、 d は底質粒径である。これより模型底質 $d=0.29\text{ mm}$ として実験波の h_i を求めると、ケース1では 5.6 cm (現地 2.8 m)、ケース5では 3.2 cm (現地 1.6 m) となる。現地の沿岸砂州は2.

で述べたように水深 $2\sim 3\text{ m}$ に位置しているので、ケース5では現地の沿岸漂砂をよく再現していないのではなにかという疑問が残る。

そこで、沿岸砂州付近の砂の移動を見るため、深浅測量を含めた予備実験をケース1と5について再度おこなった。その結果、ケース5は沿岸砂州付近およびその沖で砂があまり動かず沖浜帯でのリップルの発生も弱かったので、ケース1に相当する $H_0=8.5\text{ cm}$ 、 $T=1.41\text{ 秒}$ の波を本実験における実験波として採用した。汀線変化に対する時間縮尺としては、図-4より120分間を5年間に対応するものと考えた。

なお、本実験における実験波の完全移動限界水深を現地換算すると前述のように 2.8 m になる。この水深で完全移動限界水深となる現地における波高を、周期10秒、底質粒径 0.2 mm として同様に佐藤・田中の式から求めると、約 1.2 m となる。この波は前述したように松茂海岸の通常の時化時の波に相当する。

5. 本実験

本実験は6ケースについて行ったが、ここでは、昭和50年海底地形である現況に波を作用させたケース1と、現況に空港のみを加えて空港の影響を調べたケース2について述べる。

5.1 汀線変化

図-7と図-8に各ケースの D.L. +1m 汀線が示して

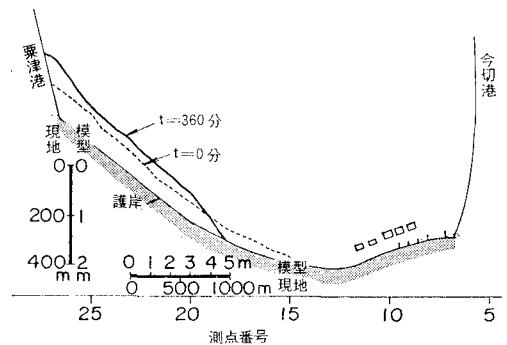


図-7 汀線変化ケース1

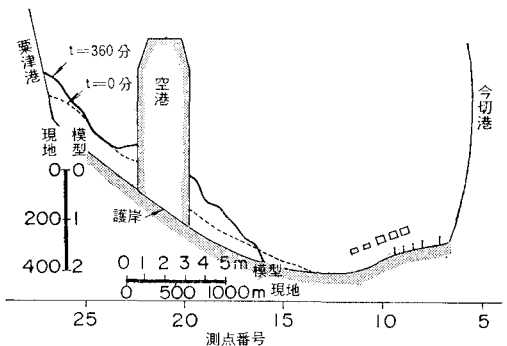
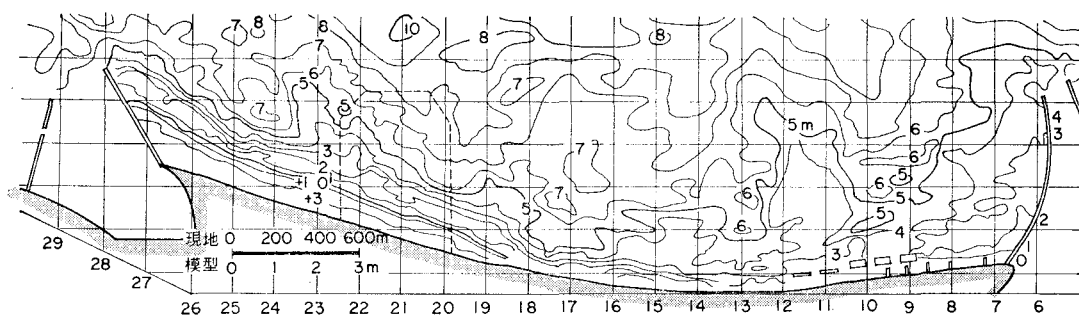
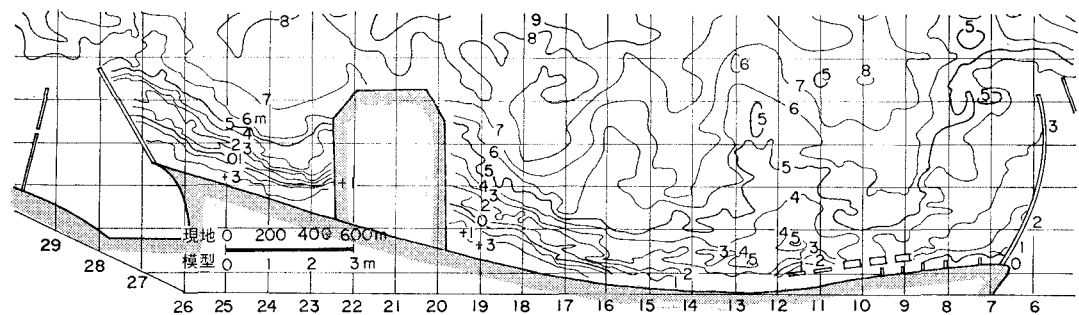


図-8 汀線変化ケース2

図-9 深浅図ケース 1 $t=360$ 分図-10 深浅図ケース 2 $t=360$ 分

ある。図中の点線は波作用前のもの、実線は波作用後 360 分のものである。これらの図からわかるように、空港今切間ではこのままに放置しておけば欠壊は著しく進む。しかし、空港延長により欠壊は弱まり、同じ期間の砂浜の消失延長は 1 000 m から 500 m に半減する。一方、空港栗津間では現況のままでは汀線は全般的に大きく前進する。空港を延長すると、空港と栗津防波堤の元付け付近では汀線は大きく前進するが中央部はわずかながら後退し、空港栗津間に凹状の弓形の浜が形成される。

5.2 海底地形変化

図-9 はケース 1 の波作用後 360 分の深浅図である。これを波作用前の深浅図である 図-1 と比較する。-5 m の等深線は、測線 No. 9~10, No. 13, および No. 16~18 で著しく護岸に近づく。一方、No. 11~12 および No. 22~23 で著しく沖に前進し、今切栗津両防波堤の先端でも前進している。汀線付近では、今切側欠壊、栗津側堆積のパターンがはっきりとあらわれ、今切から 2 400 m の間で前浜が見られなくなり、栗津付近では +1 m 以上の砂浜が幅 200 m にもなっている。

図-10 はケース 2 の波作用後 360 分の深浅図である。空港今切間に注目し -5 m 等深線を見ると、測線 No. 9~10 ではケース 1 と同様著しく後退している。しかし、ケース 1 で著しく後退した中央の No. 13~18 にかけては、No. 14~16 で多少後退したのみで No. 17~18 では反対に前進し、それから空港までの間は著しい前進を示している。±0 m の汀線を見ると、ケース 1 では No.

18 以南の砂浜が消失したが、ケース 2 では No. 15 以南が消失したのみで No. 17 から空港までの区間の前進が顕著に見られる。すなわち空港は防砂堤としての役割を果たしている。空港栗津間に注目すると -5 m の等深線は No. 24~25 で後退しその両側で多少前進した。ケース 1 で見られたような栗津防波堤先端での前進は見られなかった。これは栗津防波堤を越え栗津港内に流入する漂砂量の減少を意味すると考えられる。汀線は前述したように等深線とともに凹形になった。

5.3 沿岸漂砂量

図-11 は沿岸漂砂量の測定結果をまとめたものである。ケース 1 では、波作用時間 120 分から 130 分までの 10 分間、空港延長予定位置の測線 No. 20 に沿って護岸から沖向きに水深約 7 m まで、ステンレス製トラップを設置した。これより、沿岸漂砂の多くは水深 2~3 m に集

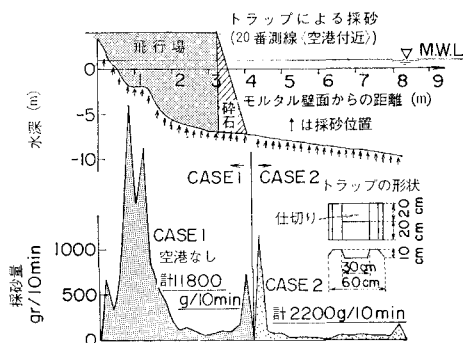


図-11 沿岸漂砂量

中していることがわかる。一番沖側のトラップで1つのピークがあらわれているが、これは沖から砂が流入したためで除外して考えるべきであろう。ケース2では、波作用時間200分から210分までの10分間、ケース1と同様に測線 No. 20 に沿って空港の先端から沖に向かってトラップを設置した。一番沖側でピークがあらわれているのは沖からの砂の流入によるが、最も空港よりのピークは空港護岸に沿った沿岸漂砂と考えられる。

そこで、空港のないときの沿岸漂砂量は、ケース1の11 800 g/10 分から沖側端のピークを引いた値に、ケース2の値から空港端のピークを引いた値を加えたものと考え、空港があるときの沿岸漂砂量はケース2の2 200 g/10 分をそのままの値と考えると、前者に対しては1 200 g/分、後者については220 g/分となる。これを1年当りの漂砂量に現地換算すると、それぞれ3.6 万 m³/年、0.66 万 m³/年となる。ただし、時間の換算にあたっては120 分を5年とし、土砂の容積比重を1.6、模型の現地に対する容積縮尺比を200²×50とした。

次に計算により現地の沿岸漂砂量を求める。現地の波浪調査によると、昭和46年から51年までの5年間の波による南から北への沿岸方向エネルギー輸送量は、約 9×10^5 tm/m であると推算されている。この値を沿岸漂砂量を推定する佐藤・田中の式⁴⁾

$$Q_i = 0.3 E_i \quad Q_i: \text{m}^3 \quad E_i: \text{tm/m}$$

に代入すると5.4 万 m³/年となる。この値はオーダー的に実験値と一致している。

すなわち、この移動床模型実験で測定された沿岸漂砂量は、ピークを示す水深でも量的なオーダーでも、現地を再現しえたものと思われる。

6. あとがき

移動床模型実験においては、模型内に再現されるすべての現象を現地と相似にさせることは一般に不可能である。本実験では、長期的な汀線変化に主眼をおきそれとできるだけ現地と相似させるようにしたので、汀線変化については比較的よく再現できたと思われる。また、実験波は移動限界水深の観点からは現地の通常の時化時の波に相当すること、模型内で得られた沿岸漂砂量が波浪エネルギーから計算された沿岸漂砂量とオーダー的に一致していること、現地の沿岸砂州付近に沿岸漂砂が集中したことなどから、本実験で得られた地形変化に関するデータも現地とさほどかけはなれているとは思われない。

なお、貴重な現地資料の御提供と種々の御協力をくださった第三港湾建設局の神戸調査設計事務所および小松島港工事事務所の方々、貴重な御意見をしてくださった本研究所田中則男漂砂研究室長に感謝いたします。

参 考 文 献

- 1) 佐藤昭二・小笹博昭・永井紀彦：徳島空港延長に関する漂砂模型実験，港湾技術研究所報告第17巻第1号，pp. 3~56, 1978.
- 2) 田中則男・小笹博昭：海浜変形調査資料（第2報），港湾技研資料 No. 192, 1974.
- 3) 土木学会編：水理公式集，p. 542, 1974.
- 4) 佐藤昭二・合田良實：海岸・港湾（わかりやすい土木講座 17），彰国社，pp. 146~194, 1976.
- 5) 佐藤昭二・田中則男・佐々木克博：清水港三保防波堤の漂砂に関する実験的検討，港湾技研資料，No. 154, 1973.