

# インドネシアにおける海岸侵食について

土屋 義人\*・ M. Yahya\*\*・ A. R. Syamsudin\*\*\*

## 1. 緒 言

インドネシア共和国は独立後 30 数年を経て、今日国連はじめ各国の援助によって、公共事業の推進や工業の近代化がなされてきている。しかし、オランダ統治時代に実施された河川のショウトカットや海岸構造物の築造によって、各地で大規模な海岸侵食が起っている。

本文では、著者の一人土屋が国連の技術専門家として、1975 年 7 月より 1 年および 1978 年 7 月より 2 ヶ月間バンドンの水工研究所に滞在したとき、同研究所の研究員の指導を兼ねて調査した海岸侵食の現状と主原因について述べ、その実情を紹介したい。

## 2. 海岸工学上の諸問題

海岸侵食をはじめとする海岸工学上の問題として現在提起されているものは数多いが、その主たるものをあげれば 図-1 のとおりである。図中の分類は必ずしも適切

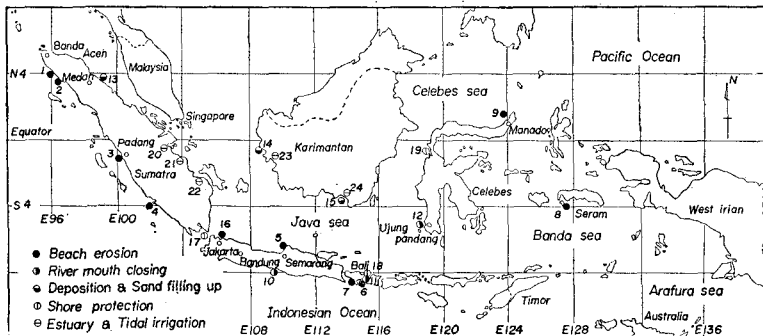


図-1 海岸工学上の諸問題とその位置図

ではないが、海岸侵食、河口閉塞のほか低湿地 (Swamp area) の開発に関連する水工学上の問題も大きくとりあげられている。

図-2 には、次章以下で述べる侵食海岸地点の風配図を示す。図-1 からわかるように、インドネシアは、北緯 5 度と南緯 9 度の間に位置しており、一般に赤道

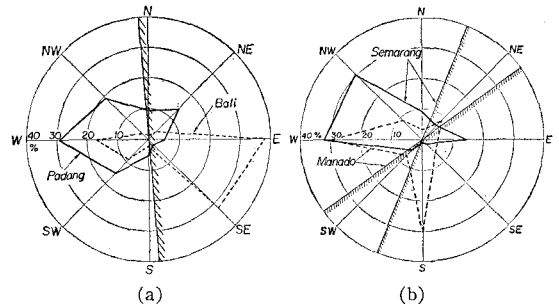


図-2 各地における風配図

偏東風および偏西風に支配されるので、冬期および夏期では風向が相違し、東または西風が卓越する。この傾向は、図-2 に示す Padang, Semarang および Bali において確認することができるし、また Manado では緯度が高いのでこの傾向は現われない。しかし、いずれにしても、海岸線に向う方向の風が卓越するので、海岸侵食についてはむしろ宿命的であるとさえいえるところが多い。しかし、残念なことに波浪

観測の経験はほとんどなく、波の資料はもとより深淺測量など調査資料もきわめて乏しいが、最近ではそれぞれの国際協力によって進められつつある<sup>2)</sup>。以下、図-1 に示した侵食海岸のうち、その代表的な地点をとりあげて、主原因別に述べる。

## 3. 河川のショウトカットによる海岸侵食

この代表的なものとしては、Padang (Sumatra), Ciujung (West Java) および Kedung-Semat (Central Java) 海岸をあげることができよう。いずれも洪水対策のため、1800 年代の末期から 1900 年代の初頭にかけて実施された河川のショウトカットによるものである。たとえば、Ciujung 海岸においては、河川のショウトカットによって、旧河口のデルタは急激に縮小し、中央部では約 2.5 km 以上も侵食されているのに反して、新河口部では同程度のデルタが発達している。ここでは、これらのうち

\* 正会員 工博 京都大学教授 防災研究所

\*\* インドネシア共和国水工研究所 海岸工学部門主任

\*\*\* 正会員 同上 主任補佐 京都大学防災研究所研修員

Padang および Kedung-Semat 海岸について考察する。

### (1) Kedung-Semat 海岸の侵食

この海岸は 図-1 に示したように、Semarang の北部にあり、Kedung および Serang 河が流入して多量の土砂を流出していたが、1892 年頃河川のショウトカットが行われ、図-3 に示すように Wulan canal が開さくされた。入手できた 2 枚の地形図と 1 枚の航空写真によって、汀線変化を図示したものが 図-5 であるが、旧河口付近を中心として侵食が著しいことがわかる。現地の底質調査も行われていなかったため、とりあえず Semarang における 1954 年より 1965 年までの風の資料を用いて、波浪特性を推算し、漂砂の卓越方向を見出すことにした。ただし、風速は 1 時間の平均風速で果して波の推算に用いられるかどうか疑問であり、また浅深測量図がないので波の屈折計算はできなかったため、とにかく沖波のエネルギーフラックスの季節変化を推定することにした。図-4 は推定されたエネルギーフラックスの沿岸方向成分をその割合で図示したものである。この場合、エネルギーフラックスの符号は北向きを正としている。

図-2 に示した偏西風による夏期の西風による南向きのエネルギーフラックスが卓越することから、漂砂の主流方向は北から南に向うものと想像される。侵食土量について考察する資料がないので、海岸地域の平坦な地形特性に注目して、図-3 から測られる侵食地域と新河口デルタの面積の経年変化を 図-5 に示すが、図中記号 A は侵食面積を、また C はデルタの面積の経年変化を表す。この結果によると、河口デルタの初期における発達には点線 B のようであって、これは新河口よりの流出土砂によるものであるが、一方 1910 年頃よりさらに急激に発達している。これは実線 A で表される Kedung 川河口付近を中心とする侵食が、ショウトカット後約十数年経って

から現われ始め、その侵食された土砂が南向きの漂砂となって輸送されたものが河口デルタの発達に寄与しているものと考えられる。すなわち、侵食土砂量（ここでは面積）の約 1/2 が河口デルタの発達に直接寄与していると推定される。漂砂の主流方向が北から南向きであるという推定は、この事実と 図-3 に示した河口デルタの地形が南に傾いていることから確かめられる。そして、旧河口付近における汀線の後退速度は約 10 m/year にも及んでおり、オランダ統治時代に作られた魚場やその付帯設備はすでに破損して、住民はヤシ林さえなくなった土地に生活しており、侵食防止の必要性が叫ばれているが、いまだ着手されていない。

### (2) Padang 海岸の侵食

延長 3 650 m に及ぶこの海岸の南端には、Arau 川が流入しているが、洪水対策のため 1926 年 Banjir (flood) canal によるショウトカットが行われて以来、海岸侵食が始まった。この海岸は Padang 市に属していることから、海岸侵食対策も幾度も試みられてきた。図-6 からわかるように、1942 年頃よりオランダ人によって、また戦時中には日本軍によって延長 3 000 m にわたるコンクリート造の護岸が作られた。最近では、インドネシア政府によって、護岸や突堤が作られ現在に至っているが、Arau 川の河口付近では、これら三代にわたる護岸の残がいを見ることができた。1970 年に入ってから、国連専門家の指導によって、突堤の建設や養浜が実施されたが、海岸侵食はなお続き、この海岸の中央部ではほとんど砂浜は失われ、ときどき越波するようである。

前述した方法によって、波のエネルギーフラックスから漂砂の卓越方向を推定すると、南向きまたは北向きともにあまり顕著でなく、むしろ若干前者が有効であると考えられた。このことは、Banjir canal の河口砂洲の形

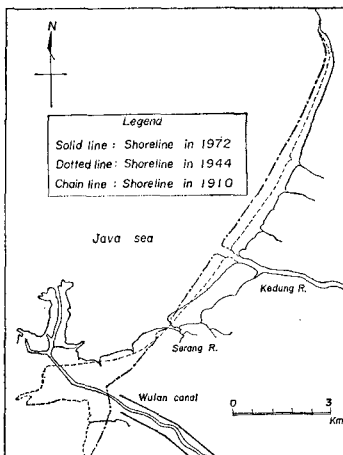


図-3 Kedung-Semat 海岸の汀線変化

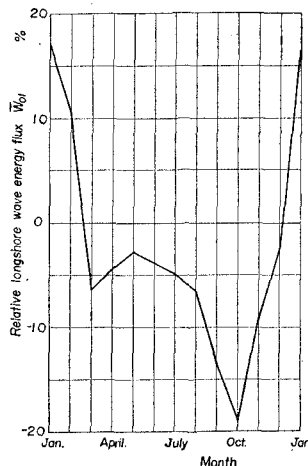


図-4 波のエネルギーフラックスの沿岸方向成分の季節変化

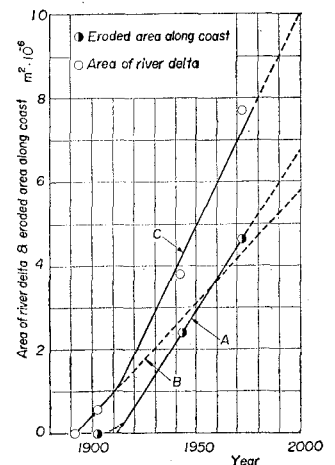


図-5 新河口デルタおよび侵食地域の面積の経年変化

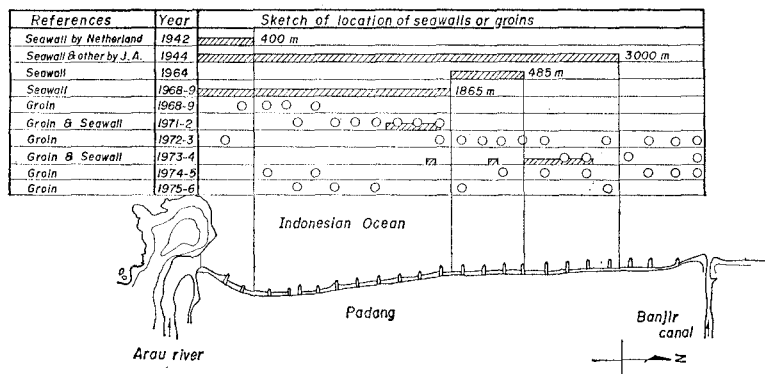


図-6 Padang 海岸における海岸保全の経過

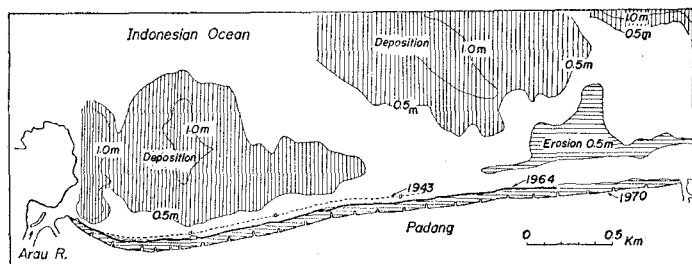


図-7 Padang 海岸の汀線変化と侵食堆積図

状によっても確かめられた。若干の深浅測量結果を用いて最近の侵食堆積図を図-7に示すが、図中には汀線変化も示してある。この結果によると、汀線変化は海岸線にはほぼ平行であり、沿岸方向への卓越した漂砂の移動より、むしろ汀線付近が侵食され、沖方向の漂砂が著しいように思われる。すなわち、最近では砂浜が消失して反射波が著しく、それによる沖方向漂砂が侵食の主原因になっていると推定される。いうまでもなく、海岸侵食の最大の原因はショウトカットであるが、この現状からすれば突堤より離岸堤のような平行堤の構造によるものが適すると判断された。

#### 4. 漂砂源の変化による海岸侵食

この事例としては、Manado (Celebes) および Sanur (Bali) 海岸であって、いずれもこの国の特殊性によるが、それらの概要を述べる。

##### (1) Manado 海岸の侵食

この海岸は図-8に示すように、Manado 湾に面し、Malalayang, Sario, Tondao, Massing および Tumampa 川が流入しているが、とくに問題となったのは Malalayang 川の河口海岸である。最近、この河川の北側の海岸が侵食され、護岸や道路が決壊した。図-9は漂砂の主方向を見出すために、海浜に存在する硬質および軟質の最大れきの大きさの沿岸方向分布を調べた結果である。明ら

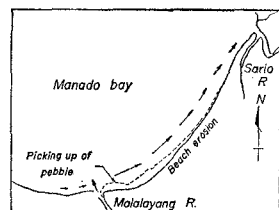


図-8 Manado 海岸と漂砂の卓越方向

かに、れきの大きさは河口から遁滅しており、主要な漂砂源となっていることがわかる。一方、1954年より12年間の風の資料を用いてエネルギーフラックスの沿岸方向成分を推定し、その沿岸方向の分布を求めたものが図-10であるが、その符号は南向きを正としてある。図中記号AおよびEでそれぞれ堆積および侵食傾向の状態を示してあるが、これから確かに河口付近では、漂砂の主方向は北向きで、長期的には堆積傾向にあることがわかる。このことは、図-9に示した底質特性ともよく一致する。

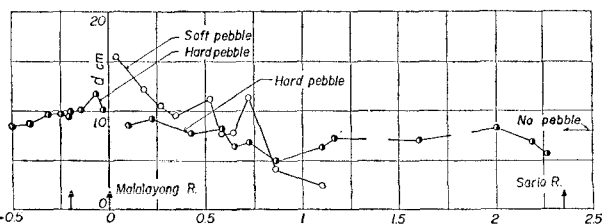


図-9 Manado 海岸の底質特性

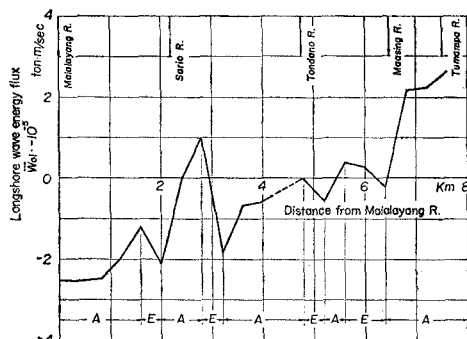


図-10 波のエネルギーフラックスの沿岸方向分布

この現状において、海岸侵食の原因を見出すべく現地調査をした結果、約10年前よりこの河口付近の住民がManado 空港の建設に伴って硬質のれきを拾い集めて売却していたことがわかった。これが海岸侵食の唯一の原因であるはずであり、沿岸漂砂量を減少させるために突

堤群を設置するより、適切な規制を行った方がよいと思うが、必ずしも可能ではないようである。

## (2) Sanur 海岸の侵食

この海岸は Bali 島の東部海岸の一部であって、さんご礁からなるいわゆる coral reef beach で、図-11 に

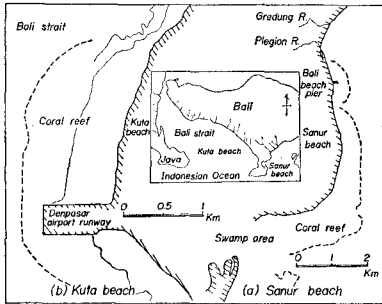


図-11 Sanur および Kuta 岸の位置図

示すようにその最大幅は約 1 km にも及ぶ。沿岸地域には各種のホテルやコテージが林立し、観光リクリエーションの地となっていることは周知のとおりである。Bali beach ホテルより約 1 km 北へ離れたところに、Plegion 川が流入して漂砂源の 1 つとなっている。図-12 には底

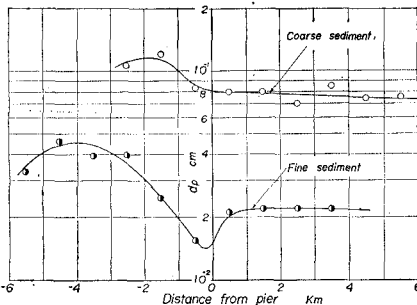


図-12 Sanur 海岸の底質特性

質特性の沿岸方向分布を示す。図中沿岸方向の距離の基点はこのホテルの棧橋 (Bali beach pier) であり、また  $d_p$  は粒度分布におけるモードに対応した粒径で、coarse および fine sediment に分けて表してある。これによれば、この棧橋より北側では南向きの漂砂が卓越するが、南側のこの海岸の大部分の範囲では、著しい傾向は存在しないと思われる。いうまでもなく、この海浜の漂砂源の 1 つはさんご礁それ自身であり、底質はさんご片と砂粒によって構成されている。さんご礁は大体平坦であるが、平均水深は場所によって相違し、たとえば平均潮位時の水深は深いところで約 2 m、浅いところでは約 70 cm 程度であり、潮差は約 2.5 m にも及ぶことがあるので、干潮時にはさんご礁は露出する。

一方、来襲波浪は Badung 海峡で発達するもののほかインド洋からのうねりが直接侵入するが、さんご礁上の

水深によって碎波規制されるので、海浜に到達する波は潮位によって支配される。Sanur および Kuta 海岸では、1976 年より簡易波浪観測法によって、波の変形の観測が実施されてきた<sup>2)</sup>。著しい海岸侵食ではないが、ときどき海浜断面が変動し、それが住民の生活をおびやかしている。このことは 図-13 に示す海浜断面の変化からも

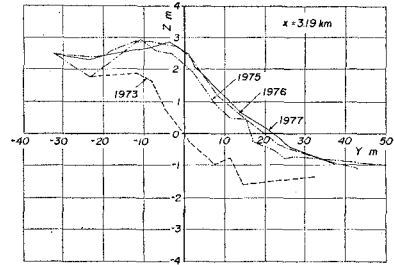


図-13 Sanur 海岸の海浜断面の変化

知ることができる。いま、この断面の変動特性を究明するために、前述したように波の特性がさんご礁上の水深  $h$  と幅  $B$  に影響されるものと考えて、平均潮位および高潮位における汀線の変動量の標準偏差  $\sigma$  と  $h/B$  との関係の調べると、図-14 のようになる。すなわち、さ

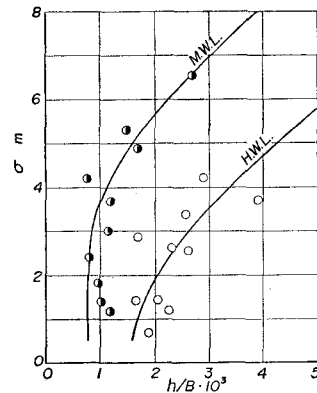


図-14 海浜断面の変動特性

んご礁上の水深が深いところほど、またさんご礁の幅が狭いほど汀線は変動することがわかる。現在、地元住民がさんご塊をとって売却しているが、これは水深を深めることになり、より海浜の変動を大きくするものと考えられるので、その規制が望まれるが、この場合も Manado 海岸の場合と同様であろう。

## 5. 海岸構造物による海岸侵食

この代表的なものは Kuta (Bali) 海岸であろう。図-11 に示すように、ここには Denpasar 国際空港があり、その滑走路の約 1 km がさんご礁を埋立て建設された。波浪のエネルギーフラックスの計算による漂砂の主方向の推定によれば、滑走路による波の回折効果を無視した

場合、この海岸は堆積傾向にある。また、現在の底質特性の沿岸方向分布からすれば、滑走路基部より北向きの漂砂が考えられる。しかしながら、その基部より約 1.5 km 付近は著しく侵食され、石積護岸はすでに流失し、最近ではコテージが決壊した。図-15 には最近の汀線の後退

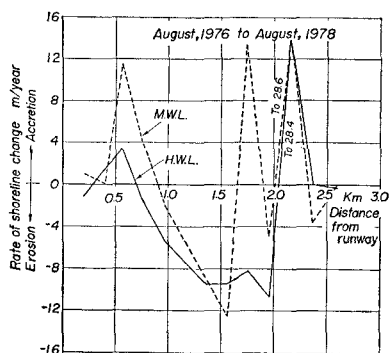


図-15 Kuta 海岸の最近の汀線変化

の状況を示すが、1976 年より 1978 年における平均の汀線後退量を滑走路基部よりの距離で表してある。

この海岸は夏期には赤道偏西風によって対岸 Java 島からの風波に加えて、インド洋よりうねりが侵入する。Bali 海峡は北から南に向かって対岸距離が大きくなっているため、波高はこの方向に増大する。このことから沿岸方向に侵食・堆積の傾向がかなりはっきりしていることが見出されている<sup>1)</sup>。一方、滑走路付近のさんご礁による波の屈折と滑走路による波の回折を考慮して、うねりの変形を概算すると、波が集中し波高が北向きに増大する個所が見出される。この場所は大体 図-15 に示し

た侵食個所に対応しているため、この主原因は滑走路による波の変形であるといえよう。その方策としては、さんご礁上に適当な平行堤を作って消波するか、あるいは headland control<sup>3)</sup> などの工法で汀線長を長くして単位長さ当りの波のエネルギーを減じることが考えられるが、いまだにも対策は実施されていない。

## 6. 結 語

以上、インドネシアでは現在海岸関係の調査資料がきわめて乏しいけれど、その少ない資料から漂砂の主方向を推定して海岸侵食の主原因の究明を行った事例について述べた。河川流域や沿岸海域の開発がもたらす典型的な海岸侵食をこの国情においても認識すべきであり、またその対策を放置しておく、自然は歩みをゆるめないことを改めて知らなければならない。

最後に、この研究の推進に協力し、また今回の公表を認めていただいた水工研究所 Rachmat Tirtotjondro 所長および UNDP の Surin Sangsnit 氏に謝意を表すとともに、調査に全面的に協力してくれた同研究所海岸工学部門の諸氏に感謝したい。

## 参 考 文 献

- 1) Tsuchiya, Y.: On the long-term beach change along Bali strait, UNDP, OTC/SF Project, INS-70/527, Inst. Hyd. Eng., Bandung, 43 p., 1976.
- 2) たとえば, Y. Tsuchiya, M. Yahya, Syamsudin and Kardana: Field investigations on beach erosion in Bali coast (1)—Kuta beach, UNDP, OTC/SF Project, INS-70/527, Inst. Hyd. Eng., Bandung, 184 p., 1976.
- 3) Silvester, R.: Headland defense of coasts, Proc. 15th Conf. on Coastal Eng., pp. 1394-1406, 1976.