

人 工 海 浜

井 上 雅 夫

1. まえがき

わたしは砂を置いて海の境とし
これを永遠の限界として
越えることができないようにした。
波はさかまいても、勝つことはできない、
鳴りわたっても、これを越えることはできない。

紀元前600年、旧約の預言者エレミヤは神の預言として、このように語っている。陸地と海の境界に砂浜があるならば、どんな激浪が襲っても、それは陸地には侵入しないということであろう。もちろん聖書は信仰の書物であるから、これは確たる科学的な根拠があつてのことではなからう。しかし、波や流れなどの外力から陸地を守る有効なものは砂浜であり、決して今日のコンクリート造りの堤防やブロックに相当した岩石や巨礫ではないと古くから考えられていたとしても間違いのないことであろう。

わが国においても、白砂青松の言葉に象徴されるように、海岸における砂浜は昔から人々の生活に潤いを与えると同時に、水産業などの生産の場であり、また生命や財産を委ねる重要な防災施設でもあった。ところが、近年臨海地域の開発や海岸侵食などによって、自然海浜は著しく消滅し、特に大都市周辺においてこの傾向が顕著なことは周知のとおりである。たとえば、環境庁の調査¹⁾によれば、海岸（汀線）になんらの工作物もない自然海岸は全国平均では59.0%であるが、東京湾ではわずかに10.9%といった状況である。

一方、総理府の調査²⁾によると、国民生活の力点は昭和49年には第1位が住生活であり、レジャー余暇生活は食生活について第3位であったが、昭和59年には住および食生活を一挙に追い抜いて首位になっている。こうした国民生活の変化に対応するとともに、わが国では夏季に比較的長期の休暇があることを考慮すると、当然、海洋性レクリエーション施設、特に老若男女にかかわらず利用することのできる海水浴場の整備が急務となってきた。

このような状況のもとで、脚光を浴びて登場してきたものが人工海浜である。ことに、昭和48年度から発足した海岸環境整備事業では、人工海浜は緑化とともにその大きな柱の一つとなっている。さらに、最近わが国の海岸整備に際しては、従来の海岸堤防などのような構造物だけによる、いわゆる線の防護方式から、海浜の整備を基本とし複数の構造物を組み合わせることによって、海浜に種々の機能をもたせようとする面的防護方式へと移行しつつあるが、ここでも砂浜がきわめて重要な役割りを演じている。

佐藤ら³⁾は、人工海浜を人工的な手段によって土砂を海岸へ運搬投入し、その結果として形成されるも

のと定義している。したがって、既存の侵食海岸に人工的に砂を補給して、砂浜の機能を回復させようとする人工養浜から、本来は岩場などで砂浜はまったくなかったところに、新しく海浜を造成するものまでをも含んでいる。しかし、その基本的な考え方は従来の養浜工法における直接置砂法とまったく同じであり、人工海浜という言葉がわが国において一般に用いられるようになってからはまだ日は浅いが、少なくとも研究段階においては、すでに30年ほど前から、それによる波高減衰⁴⁾や越波防止効果が注目されていた⁵⁾。

人工養浜の起源になるとさらに古く、米国では1920年代にその実施例がみられるほどである⁶⁾。もちろん、当初の養浜は浚渫土砂の処分がその主たる目的であったが、現在は海岸侵食の防止や海浜利用の面からも、きわめて有効な工法であることが認識され、ことに米国においては、砂浜そのものが背後地域の防護施設であるといった思想が定着しているとまで言われている³⁾。一方、わが国で本格的な養浜がはじめて行われたのは大阪府の二色の浜海岸であり、1966年のことであった。その後、この経験を生かして、全国各地に養浜による人工海浜が計画あるいは建設され、なかでも沖縄海洋博のエキスポビーチ、千葉市の稲毛、幕張、神戸市の須磨海岸などは著名である。

人工海浜に関する研究については、これを直接対象としたものはあまり多くはないが、海岸工学のほとんどの研究が多かれ少なかれ、なんらかの形で人工海浜の建設に寄与しているといっても過言ではなからう。特に1970年、岩垣⁷⁾は養浜工の概要とともに諸外国における多くの実例を紹介し、養浜工法をわが国の海岸にいかに応用すべきかを具体的に検討すべきことを主張した。また、田中⁸⁾も米国を中心とした豊富な文献調査を行うとともに、わが国における養浜工の技術的問題点を明らかにした。さらに、佐藤³⁾は従来の養浜工を含めた人工海浜の計画、設計、工事施工および管理の過程において必要な知見と手法を取りまとめているが、それらのすべてを本文で論じることは、その範囲が非常に多岐にわたるため、著者の能力をはるかにこえている。

したがって、ここでは人工海浜の防災機能や海水浴場として利用する場合の問題点などについて述べることにする。

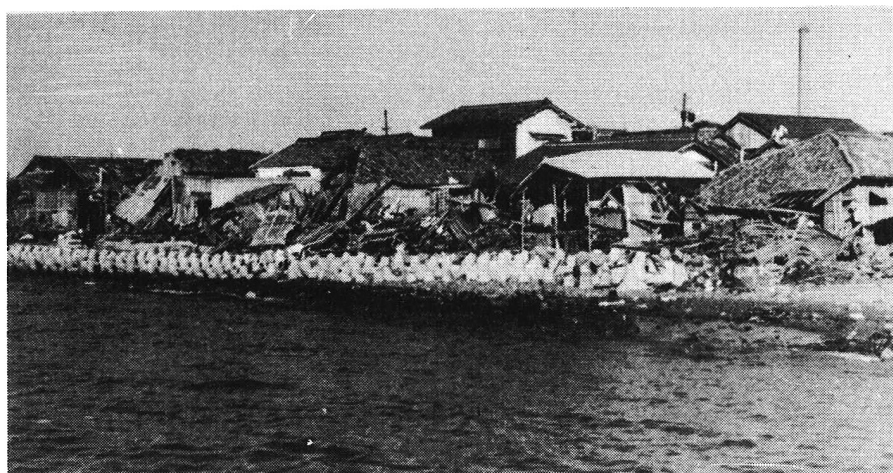
2. 人工海浜の防災機能

2.1 砂浜の消波機能

写真-1および2は、1961年に大阪湾に来襲した第2室戸台風による泉南海岸の被災状況である。これらの二つの海岸は約3 km離れており、波浪状況も若干異なるものと思われるが、この両者の大きな差は砂浜の有無であろう。この例のように、広い砂浜は波のエネルギーを減殺し、消波効果は非常に大きい。たとえば、田中⁸⁾は波の全エネルギーからそれぞれの構造物によって反射される波のエネルギーの比率を差し引いた値を波エネルギー吸収率と定義し、各種の構造物について表-1のように示したが、これによっても、砂浜の消波効果は他の構造物に比較してきわめて大きいことがわかる。また、波の遡上高さについても、従来の算定式や実験結果を用いて、波形勾配を一定としたときの遡上高さにおよぼす水深の影響を明らかにした。その結果、護岸の前面に砂浜がある場合の遡上高さは最大遡上高さの1/10程度に減少



写真－１ 樽井海岸（大阪府撮影）



写真－２ 尾崎海岸（大阪府撮影）

することを示している。また、宇多ら⁹⁾は波の打ち上げ高さには養浜工の天端幅よりも天端高さの影響のほうが大きいことを模型縮尺の異なる二つの実験結果から明らかにしている。

2.2 越波防止機能

(a) 越波量におよぼす堤防前面地形の影響

前述したように、人工海浜すなわち養浜などによってその背後に設置されている護岸の越波を防止軽減させようとする試みはかなり古くから考えられており、これもまた 2.1 で述べた砂浜の消波効果の一つにはかならない。しかし、人工海浜上で碎波する波の越波特性は波高や水深のわずかな違いによって急激に

表－１ 波エネルギー吸収率（田中⁸⁾による）

構造体の種類	波 エ ネ ル ギ ー 吸 収 率	
	波形勾配の大きい波に対して	波形勾配の小さい波に対して
直 立 壁	0 ～ 0.3	0
捨石傾斜面	0.7	0.4
異型ブロック	0.7	0.5
直立消波構造物	0.7	0.4
天 然 海 浜	0.95	0.8

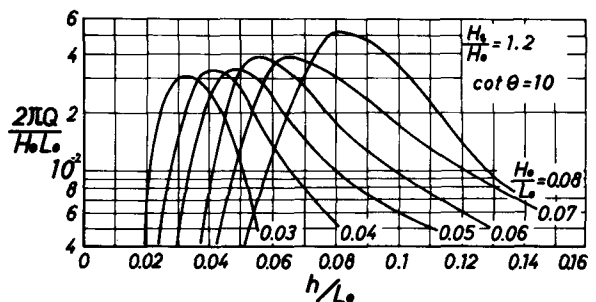
変化する場合が多く、特に高潮などによって潮位が上昇し、養浜の天端高以上になる場合には、養浜をしないときよりも越波量がかえって増加し、危険な状態が生じることがある¹⁰⁾。また、これとは逆に、越波防止の観点だけからは、むやみに養浜幅を増大させることは無駄であり、養浜断面の決定は十分慎重に行わなければならない。

このように、碎波現象を伴う越波の問題は現実の問題としてもきわめて重要であるにもかかわらず、理論的な取扱いが困難であるため、これまでほとんど研究されていなかった。しかし、最近樫木ら¹¹⁾は規則波についてではあるが、人工リーフが設置された護岸の越波量を護岸前面の入射波の特性から求めようとする方法を提案している。これについては、今回の研修会で別のテーマとして取り上げられているので割愛し、ここでは従来の実験的研究の成果に基づいて、防災上の立場から、人工海浜の計画に際して注意すべき事項について述べる。

人工海浜の越波防止機能を明らかにするためには、越波量におよぼす前面水深、海底勾配および前浜幅などの影響を十分に把握していなければならない。

図－１は、勾配が 1/10 の海浜上に設置された鉛直護岸の越波量 Q におよぼす護岸前面水深 h の影響を示したものである¹²⁾。これによると、いずれの波形勾配についても、越波量が最大になる水深が存在し、

その近傍ではわずかな水深の違いによって越波量が大きく変動している。特に注意を要すことは、最大越波量を示す水深より水深の大きい箇所では、その増大とともに越波量が減少することである。換言すれば、そうした箇所では養浜を行って水深を小さくすると、越波量がかえって増加してしまい、越波防止の立場からは逆効果になる。



図－１ 越波量におよぼす護岸の前面水深の影響

図-2は、波形勾配が0.01と0.02の場合には海底勾配が1/15, 0.03~0.08の場合には1/10勾配上に設置した鉛直護岸について、入射波の波形勾配とその波形勾配において最大越波量を示す水深波長比との関係を示した¹³⁾。これによれば、水深を小さくすると越波量が減少する限界を知ることができる。すなわち、プロットした点を連ねた曲線の左上部の領域では、水深を小さくすることによって越波量が減少し、右下部では逆に増加する。また、図中には Munk や合田の碎波限界も示されているが、水深の減少によって越波防止効果のある限界の水深は碎波水深よりもやや小さい。これは、碎波点よりやや岸側に護岸を設置したときに越波量が最大になるためである。

図-3は、海底勾配を1/3, 1/5, 1/10, 1/20および1/30の5種類に変化させたときの各勾配の越波量 Q_θ と1/10勾配の越波量 Q_{10} の比 Q_θ/Q_{10} と海底勾配との関係である¹⁴⁾。これによると、越波量におよぼす海底勾配の影響は大きく、この傾向は水深が小さいほど著しい。また、1/20と1/30勾配の越波量は1/10勾配のそれぞれ0.3~1.0, 0.1~0.4倍に減少しているが、これらの結果は他の実験結果¹⁵⁾ともほぼ一致し、不規則波による越波流量についても同様な傾向がみられる¹⁶⁾

図-4は、越波量におよぼす養浜断面形状の影響に関する実験¹⁷⁾に用いた養浜断面である。図-5は、縦軸に各養浜幅における越波量 Q と養浜をしないときの越波量 Q_0 との比、横軸に養浜幅 B と深海波長 L_0 との比をとり、パラメーターは波形勾配である。なお、養浜形状は勾配1/20の固定床で前面水深は0cmである。これによると、 B/L_0 の増大とともに越波量も増加し、ある B/L_0 で Q/Q_0 が1以上の極

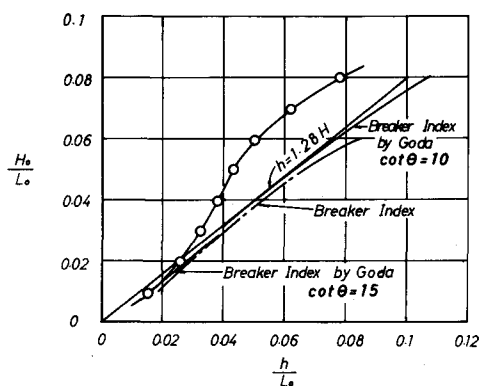


図-2 養浜によって越波防止効果の期待できる範囲

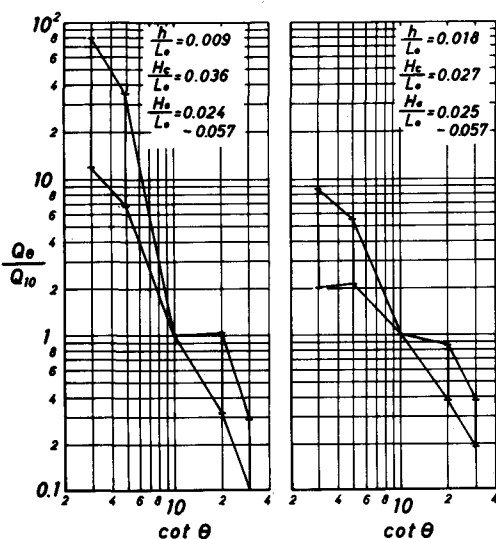


図-3 越波量におよぼす海底勾配の影響

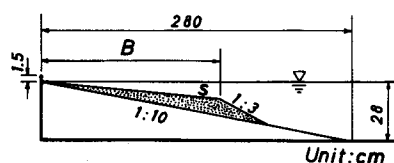


図-4 養浜断面

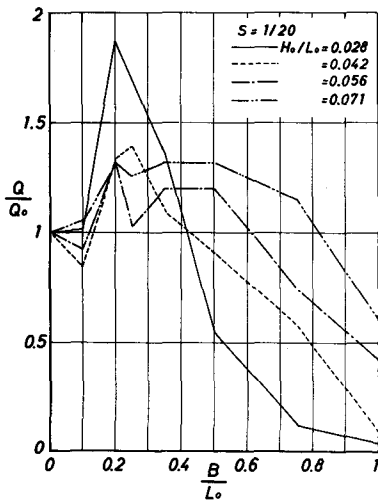


図-5 越波量におよぼす前浜幅の影響

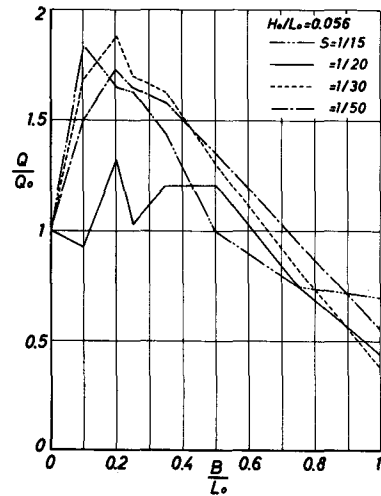


図-6 越波量におよぼす前浜幅の影響

大値を示したのち減少している。この越波量が極大値になる B/L_0 の値は、 H_0/L_0 にはあまり関係なく、ほぼ 0.2 であり、これは移動床の場合にもまったく同じである。また、越波量におよぼす養浜幅の影響は H_0/L_0 が小さいほど著しく、 H_0/L_0 が大きい波は B/L_0 を大きくしないと養浜の越波防止効果は期待できない。さらに、 Q/Q_0 の極大値は H_0/L_0 が小さいほど大きいようである。

図-6 は、 Q/Q_0 と B/L_0 との関係を養浜勾配をパラメーターとして、 H_0/L_0 が 0.056 で固定床の場合について示した。これによると、 Q/Q_0 が極大値を示す B/L_0 は勾配が変化してもほぼ 0.1 ～ 0.2 程度である。しかし、移動床の場合には、勾配によって若干変化するようである。

越波量におよぼす養浜部の勾配の影響は養浜幅が 1 波長程度でなければ現われない。しかも、越波量と勾配との関係は入射波の周期などによって微妙に変化し、勾配がゆるやかなほど越波防止効果が大きいとは限らない。また、移動床での越波量はほとんどの場合、固定床のものよりも少ない。したがって、従来の固定床で行われてきた模型実験の結果は安全側の結果が期待されるが、養浜幅がせまく、波形勾配が小さい場合には、必ずしも安全側であるとは限らない。

(b) 模型実験による実例

ここでは、実際の人工海浜を対象とした模型実験の結果から、越波量におよぼす人工海浜の影響について述べる。

図-7 は、二色の浜海岸の概略図であり、海浜の背後には天端高が O. P. + 5.00m の階段式の護岸がある。実験は図示した三種類の海浜形状について、模型縮尺を 1/20 として行った¹⁸⁾。A 型海浜は養浜以前のかかなり侵食されたもの、B 型海浜は A 型海浜上に 1.0 m 全面的に盛砂したもの、C 型海浜は平均潮位上の陸上部分を広くし、海水浴場に適すようにしたものである。計画波浪は周期 6.5 s、深海波高 3.0 m

とし、潮位は O. P. +4.00 mとした。

図-8 は、無次元越波量と波形勾配との関係を各海浜型式ごとに示したものである。これによると、A型海浜は波形勾配が約 0.008 で越波しはじめ、その後急激に越波量が増加したのち、若干減少する傾向を示している。B型海浜の場合にも、A型海浜に比べると越波量は少ないが、ほぼ同様な傾向を示している。これに対して、C型海浜の場合には波形勾配が 0.03 以上の波でわずかに越波する程度であり、その越波防止効果がきわめて顕著に現われている。このことは、前述したようにのり先水深が小さくなったことのほかに、特にC型海浜では養浜幅 B が 30 m であるのに対し、深海波長 L_0 は約 66 m でその比は約 0.45 であり、越波量におよぼす養波幅の影響がきわめて大きく現われるためである。

図-9 に示した現況海浜とこれに養浜を行った場合の相当深水波高 H_0 と越波流量 q との関係を示したものが図-10である¹⁹⁾。これによると、どのような波高の波に対しても養浜の越波防止効果はかなり顕著にみられる。さらに、波高を一定にして周期の影響を調べてみると、ほとんどの波高で周期が 10 s よりも 8 s の波のほうが養浜の越波防止効果は著しい。これらのこと

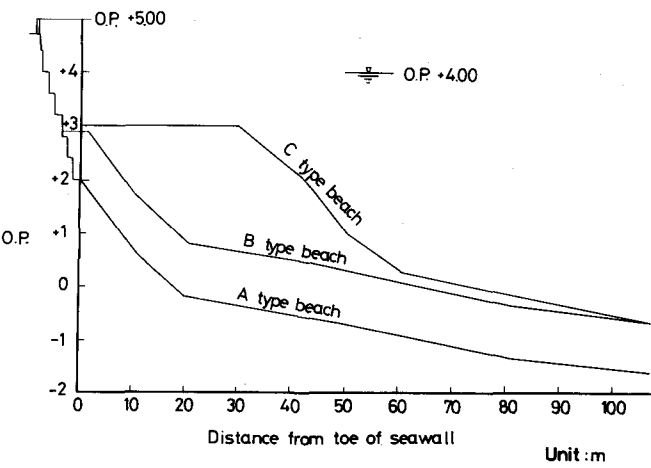


図-7 二色の浜海岸断面図

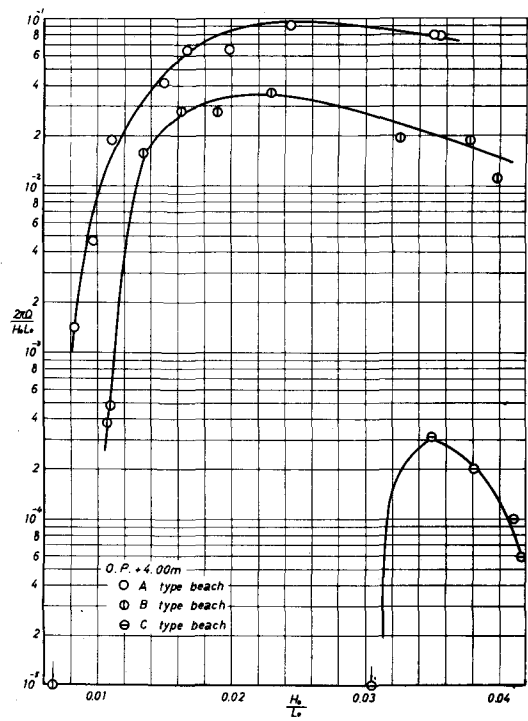


図-8 越波量におよぼす養浜工の影響

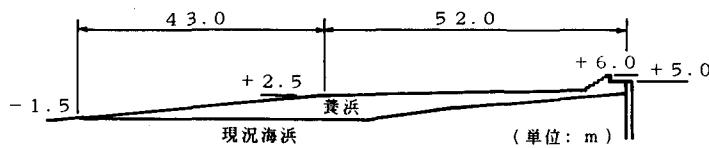


図-9 養浜断面 (服部ら¹⁹⁾ による)

は、養浜幅 B を90 mと考えると、周期が8 sと10 sのときの B/L_0 の値はそれぞれ約0.9と0.6になるためである。

2.3 侵食防止機能

前述したように、人工海浜の基本的な考え方は従来の養浜工法における直接置砂法と同じであるから、人工海浜が海岸侵食の防止機能を有することは当然であり、海浜は拡大される。しかし、二色の浜海岸の実施例にもみられるように、養浜の施工と同時に離岸堤などを設置しなければ、せっかくの養浜砂がほとんど流失してしまうことがある。このため、ほとんどの人工海浜では離岸堤や突堤などが設置され、それらの侵食防止機能については、これまで数多くの研究が行われている。また、最近

では離岸堤によって囲まれた人工海浜の海浜変形に関する現地の追跡調査結果²⁰⁾も報告されている。

一方、砂村²¹⁾は自然環境保護の観点から、こうした離岸堤などの構造物を築造することなく、養浜砂だけによって、海岸侵食の制御が可能かどうかを砕波帯と沖浜帯にそれぞれ養浜した場合について詳細に検討を行っている。その結果、砕波帯に養浜する場合には、養浜砂量が少な過ぎると養浜砂の粒径にかかわらず養浜効果は期待できないこと、本来ある海浜砂より大きい粒径のものをを用いた養浜工はかなり汀線の後退を防止することができ、この場合には養浜効果を最大にするような最適粒径が存在することを明らかにした。さらに、こうしたことは砕波点よりも沖に養浜した場合についても同様であることを示している。

3. 海水浴場としての人工海浜

3.1 人工海浜の適地選定

人工海浜の建設技術マニュアル²²⁾によると、人工海浜の計画に際しては、海水浴場などの海浜利用の目的に応じた立地条件および将来の需要などの社会条件と、気象、海象、地形、水質、底質、漂砂などの自然条件を十分把握するように定められている。また、人工海浜だけでなく、自然状態の海浜を含めたものを対象とした自然海浜保全整備計画指針(案)²³⁾にも、ほぼ同様のことが定められている。特に自然条件に関する調査項目は水工設計の対象となるものであるが、海水浴場などレクリエーションの場として用いられる場合には、これらの項目のほかに、景観、施設の安全性や快適性など個人の感覚によって非常に左右される要素も考慮しなければならない。

人工海浜の対象地点の選定にあたっては、海岸特性、水質環境、水面および背後利用状況、交通事情、地域政策などを総合的に検討すべきであって、水工学的立場からは、前述の自然条件に関する調査結果に

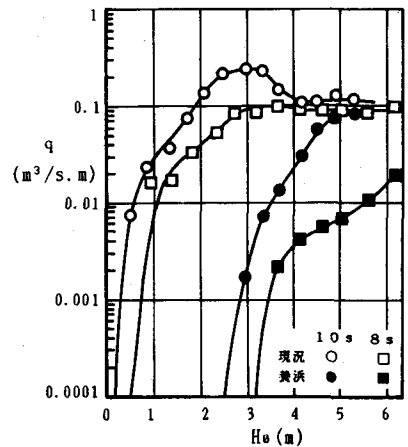


図-10 越波流量曲線
(服部¹⁹⁾による)

基づいた十分な検討が必要である。

自然条件のうち、気温、日照、降水、風・水温などは人為的な制御がほとんど不可能であるが、堀川ら²⁴⁾は海水浴の条件として、日平均気温 24°C 以上、日照5時間以上、風速 5 m/s 以下、水温 $23\sim 25^{\circ}\text{C}$ を提案しており、これらの条件に適合する日数が多い地域が選定の対象となる。特にこれらの中でも水温はもっとも重要な条件であり、20代の男性のほとんどは 23°C 以下では冷たいと感じ、 25°C 以上では快適と感じている²⁵⁾。一方、井上ら^{26)~29)}は一般の海水浴客を対象としたアンケート調査を多くの海水浴場で行い、水温 X_w とその満足度 W_w との関係を図-11のように示した。なお、この場合の満足度は水温に対して、「適当」と答えた者の全調査者に対する百分率である。これによると、最適水温 28°C で満足度は70%になり、 $25\sim 31^{\circ}\text{C}$ であれば50%以上の満足度が得られる。したがって、人工海浜によって新しく海水浴場を造成する際には、シーズンを通して水温が $25\sim 30^{\circ}\text{C}$ に維持されるような水域が望ましい。

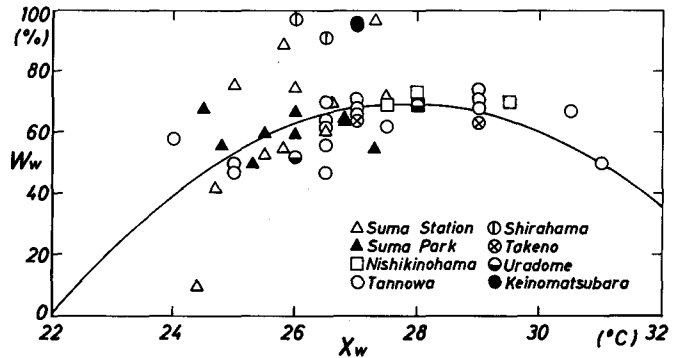


図-11 水温に関する満足度

自然条件のうちでも、流れ、波高、水質などは人為的な制御がいくらかは可能である。海水浴場の条件としては、流れは微弱であり、波高は 0.5 m 以下とされている。流れのうち、もっとも危険なものは離岸流であり、九十九里浜における現地調査の結果²⁵⁾によると、遊泳限界流速は 50 cm/s 、遊泳注意報がもっとも多く発令されるのは $20\sim 30\text{ cm/s}$ 程度である。

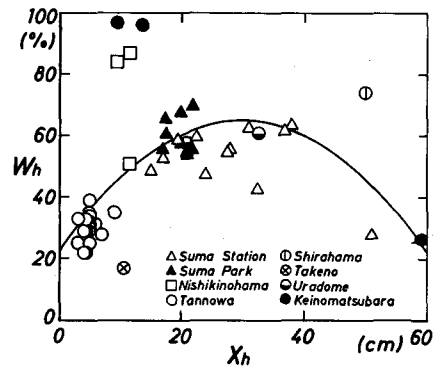


図-12 波高に関する満足度

波高については個人差が大きい。前述のアンケート調査の結果から、波高 X_h とその満足度 W_h との関係を示したものが図-12である。なお、この場合の満足度は波高に対して、「適当」と答えた者の全調査者に対する百分率である。これによると、最適波高 30 cm で満足度は65%になり、 $15\sim 45\text{ cm}$ であれば、満足度は50%以上になる。一般に高年層は小さい波高、若年層は大きい波高の波を望む傾向がみられるので、同一の遊泳水域で大小さまざまな波高になるように、海岸構造物の配置などを考慮すべきである。

水質は交通の便を含めた地理的条件と並んで、海水浴場の良否を決定する重要な要素である。海水浴

場の水質基準は、COD：2 ppm
 以下、透視度：30 cm 以上、大腸
 菌群数：1,000 MPN/100 ml、
 油膜は肉眼で認めないこととされ
 ている。アンケート調査の結果に
 よると、透視度 X_p とその満足度
 W_p との間には、図-13に示す関
 係がある。なお、この場合の満足
 度は水質（水そのもの）に対して、
 「きれい」、「ややきれい」、「普

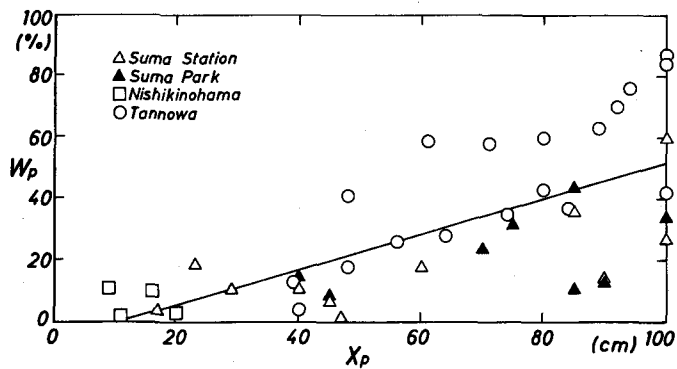


図-13 透視度に関する満足度

通」と答えた者の全調査者に対する百分率である。透視度の下限値である 30cm では 10% 程度の満足度しか得られず、水質に関する利用者の要求はきわめてきびしいことがわかる。したがって、水質については常時 100 cm 以上の透視度を確保すると同時に、遊泳水域内に浮遊物が流入したり、海藻などが発生しないような対策をあらかじめ講じておくべきである。

3.2 人工海浜の設計

海水浴場として利用される人工海浜の設計に際して重要な事項を人工海浜の建設技術マニュアル²²⁾に基づいて説明するとともに、利用者の立場からみたましい海浜条件^{26)～29)}について述べる。

人工海浜の諸施設の所要規模 A は次式によって算定することができる。

$$A = \frac{R \cdot n \cdot u}{P}, \quad n = rN \quad \dots\dots\dots (1)$$

ここに、 R ：所要原単位、 u ：利用率、 P ：回転率、 n ：日最大海浜利用者数、 r ：利用者の日集中度（特定の一日の総利用者数と年間総利用者数との比）、 N ：計画対象年間総利用者数である。このうち、人工海浜の基本施設である砂浜と遊泳水域についての所要原単位などは表-2 のようである。日集中度 r は近隣海岸の実績を参考として決定すればよいが、多くの海水浴場での調査結果によると、最多値は 0.025 ～ 0.05、最大値は 0.225 である。

海水浴場の規模を決定する際の重要な要素は利用率の高い砂浜の所要原単位であり、この値が海水浴

表-2 施設規模を算定するための諸数値
 （人工海浜の建設技術マニュアル²²⁾による）

	必要原単位 (利用密度)	利 用 率	回 転 率
砂 浜	4 ～ 14 ㎡ / 人 新全総 7 ㎡ / 人	100 %	1.0 ～ 1.5 回 / 日
遊 泳 水 域	3 ～ 15 ㎡ / 人	同時入場者の 20 ～ 50 %	1.0 ～ 1.5 回 / 日

場の混雑の度合に影響を与える。

図-14は、砂浜の利用密度 Y と混み具合に関する満足度 W との関係である。なお、この場合の満足度は砂浜の混み具合に対して、「すいている」、「ややすいている」、「適当」と答えた者の全調査者に対する百分率である。これらによると、米国の基準である $13\text{m}^2/\text{人}$ では大都市近郊の海水浴場を対象としたものからは約70％、遠隔地のものを対象としたものからは約60％の満足度が得られるのに対し、わが国の最終目標値である $7\text{m}^2/\text{人}$ では、いずれも50％程度の満足度しか得られない。したがって、人工海浜の砂浜の所要原単位としては、少なくともわが国の最終目標値を確保すべきであろう。また、砂浜の混み具合に関する満足度 W と一日の総利用者数 X との関係を、砂浜面積が $19,000\text{m}^2$ （1982～84年の間）の淡輪海水浴場において調査した結果が図-15

である。これからも、砂浜面積が $20,000\text{m}^2$ 程度までの海水浴場については、砂浜の混み具合に関する満足度を推定することができる。

図-16は、砂浜面積 X_A とその満足度 W_A との関係である。なお、この場合の満足度は海水浴場の砂浜の広さに対して、「広い」、「やや広い」、「適当」と答えた者の全調査者に対する百分率である。これによると、 $10,000\text{m}^2$ で約60％、 $80,000\text{m}^2$ で約95％の満足度が得られることから、一つの海水浴場としては少なくとも $10,000\text{m}^2$ 以上の砂浜が必要である。

人工海浜の断面形状は図-17に示すように、浜幅、後浜天端高さおよび前浜勾配について規定され、浜幅は海浜の利用需要に応じて決定される。したがって、浜幅は式（1）から求めた砂浜面積を汀線延長で除せば決定されるが、利用者の行動範囲からは100m未満、一般には汀線から陸側へ50m程度が望まし

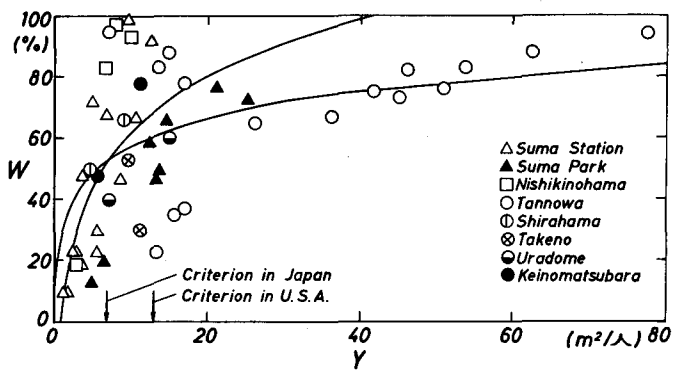


図-14 利用密度に関する満足度

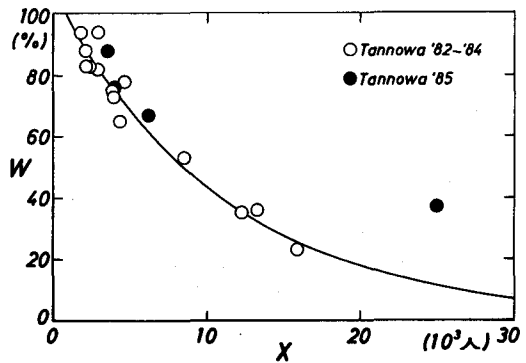


図-15 混み具合に関する満足度

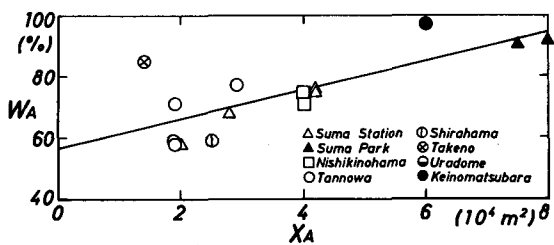
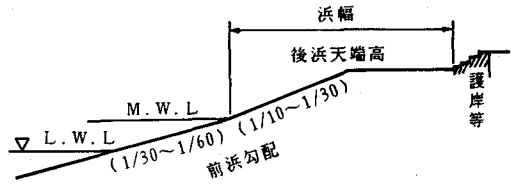


図-16 砂浜面積に関する満足度

い。後浜の天端高さと前浜勾配は波を主とする外力の作用によっておのずと決定される。しかし、海浜の安定を保つためには、海浜上をししば波が遡上することを避けなければならない。このため、後浜の天端高さは原則として、*M. W. L.* 上、年2～3回程度の再現確率を有する荒天時の有義波の遡上高さ程度とし、その勾配はほぼ水平としている。なお、実測した遡上高さ *R* のばらつきの上部25%の値は次式で与えられる。



図－17 人工海浜の断面諸元
(人工海浜の建設技術マニュアルによる²²⁾)

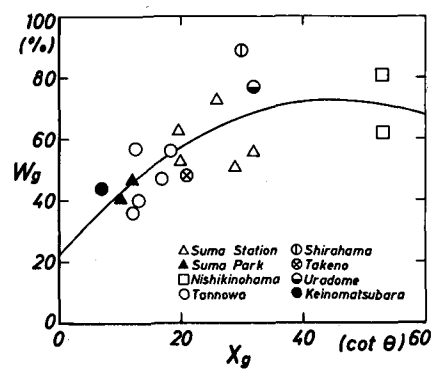
$$\left. \begin{aligned} \frac{R}{H_0} &\div (52 \frac{H_0}{L_0})^{-2.7} & \frac{H_0}{L_0} &\geq 0.013 \\ \frac{R}{H_0} &\div 8.25 (\frac{H_0}{L_0})^{-0.461} & \frac{H_0}{L_0} &\leq 0.013 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (2)$$

前浜勾配は造成された海浜が安定すると予想される勾配よりやや急勾配とし、その勾配としては次式で表わされる実測値がある。

$$\left. \begin{aligned} \tan \beta &= (\frac{1}{1.37} \cdot \frac{d_{50}}{H_0})^{0.158} & \frac{d_{50}}{H_0} &\geq 2.4 \times 10^{-4} \\ \tan \beta &= (376.6 \cdot \frac{d_{50}}{H_0})^{0.7856} & \frac{d_{50}}{H_0} &< 2.4 \times 10^{-4} \end{aligned} \right\} \dots\dots (3)$$

ここに、 $\tan \beta$ は静水面上の遡上高さまでの浜勾配、 d_{50} は養浜砂の中央粒径である。

海水浴場として利用する場合には、特に汀線から水深約2mまでの遊泳水域の海底勾配が重要である。図－18は、海底勾配 X_g とその満足度 W_g との関係である。なお、この場合の満足度は海底勾配に対して、「適当」と答えた者の全調査者に対する百分率である。これによると、海底勾配が1/15より緩くなれば、50%以上の満足度が得られ、最適勾配は1/45で満足度は73%になる。また、勾配が1/50よりも緩やかになると、満足度は若干低下するようであり、利用者にとって望ましい海底勾配は1/30～1/50程度であろう。



図－18 海底勾配に関する満足度

人工海浜の平面形状、特に初期汀線の平面形は外かく施設の配置と外力の特性によって定まる造成後の汀線に近い形状とし、その推定には過去の実施事例、水理模型実験、数値モデルによる計算、既存の推定公式などを用いて総合的に判断するように示されている。なお、造成後における汀線変化量を小さくするためには、新しい汀線を当初のものに平行にすればよいが、もともと砂浜がない場合には卓越波向を考慮

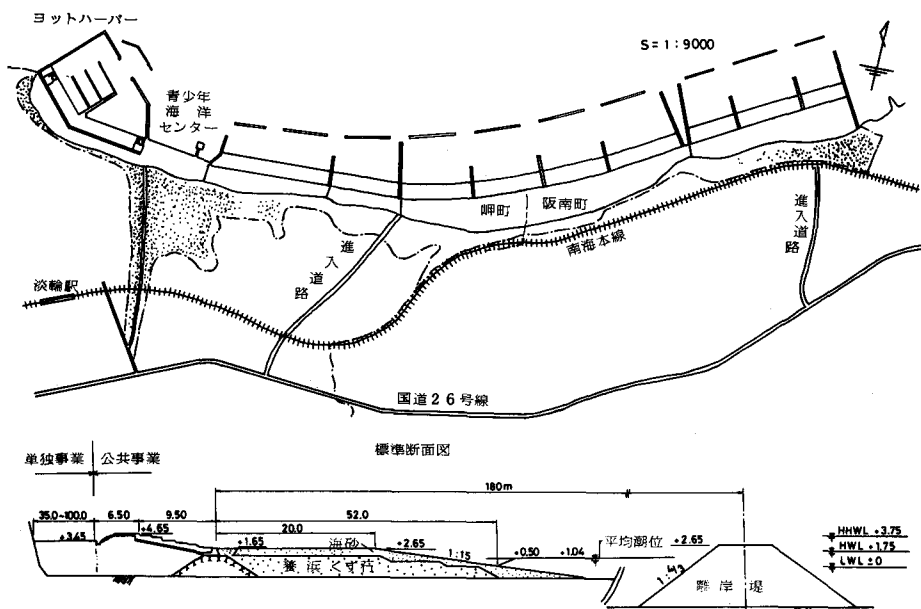


図-20 淡輪，箱作海水浴場の計画概要（大阪府³¹⁾による）

として、 $A = 300\,000\text{ m}^2$ となる。汀線延長は淡輪港から下荘漁港までの2,000mであるから、海浜幅は海浜面積をこの延長で除して150mとした。遊泳水域の面積 A_w は、 $R = 3\text{ m}^2/\text{人}$ 、 $r = 0.1$ 、 $N = 500,000$ 人とすれば、 $A_w = 150,000\text{ m}^2$ となるが、水浴率（水泳者と全利用者の比）を1/3とし、さらに、海底勾配1/25で水深1mまでの範囲を有効面積とすれば、この場合の汀線延長も2,000mとなる。

図-20は、この人工海浜計画の概要である。砂浜は全長2kmにわたり、平均干潮面（ $L.W.L. + 0.5\text{ m}$ ）時に約50mの幅が確保できるように、護岸から20mの部分は水平とし、それより沖側の勾配は1/15である。養浜のベッドとして粒径が5～20cm程度の大きなくず石を使用し、その上に平均粒径が1.8mmの砂を約1mの厚さで敷き均らした。離岸堤の設置水深は-4.0～-5.0mとかなり深い。これは利用者に開放感を与えるとともに、遊泳水域内の水質保全のためである。このため、汀線から離岸堤までの距離は約130mであり、1万人が同時に利用したとしても、利用密度は $26\text{ m}^2/\text{人}$ である。

離岸堤の構造は水質保全のため、消波ブロックで被覆した捨石堤とし、一基の長さは2～6波長以下の100mと150mの二種類である。その天端高さは景観を考慮して、 $L.W.L. + 2.65\text{ m}$ でかなり低い。

突堤は海水浴場の両端にだけ設置し、砂の流出を防ぐため不透過性のものである。砂浜の背後には緩傾斜の階段式護岸を設け、高潮時に背後地が浸水しないように、その天端高さは $L.W.L. + 4.65\text{ m}$ となっている。

表-3は、1982年から1986年までの各年の利用状況であり、1985年までは淡輪地区のものである。これによると、年間総利用者数、1日平均および最大利用者数などは毎年着実に増加し、特に、総利用者数は5年間で3.2倍にもなっている。1986年実績で砂浜の整備率は60%程度であるにもかかわらず、

表－３ 利用状況の経年変化

年	1982	1983	1984	1985	1986(淡輪)	1986(箱作)
総利用者数(人)	124,147	156,638	249,314	268,430	204,490	193,988
晴天日数(日)	38	51	59	60	43	43
1日平均利用者数(人/日)	3,267	3,071	4,226	4,474	3,352	3,180
1日最大利用者数(人/日)	13,250	15,958	22,542	25,190	27,790	16,000
2時間以内の利用者数(%)	85	85	89	83	83	—
最多利用目的(%)	日光浴(29)	日光浴(34)	日光浴(38)	日光浴(45)	日光浴(43)	—

総利用者数は計画値の80%にも達し、年々活発に利用されていることがわかる。このため、海水浴場内で利用者のもっとも多い区域の利用密度は1986年では4.6㎡/人程度にすぎない。また、いずれの年の利用者もその80%以上は、海水浴場までの所要時間が2時間以内の大阪府南部地域の人に限定されている。さらに、海水浴場の利用目的は、いずれの年も砂浜での日光浴が水泳を上まわりもっとも多いことから、人工海水浴場においても、まず砂浜の整備拡張をはかるべきであろう。

表－４は、各年の淡輪地区における海浜条件などに対する利用者意識である。なお、1985年については、同年に拡張された新設区域と1982年に開設された既設区域とに分けて示した。

表－４ 利用者意識の経年変化

年	底 質 (％)												砂 浜 の 汚 れ 具 合 (％)					砂 自 体 の 色 (％)				
	海 に つ い て						浜 に つ い て						(％)					(％)				
	中央粒径(㎜)	細かい	やや細かい	適当	やや粗い	粗い	中央粒径(㎜)	細かい	やや細かい	適当	やや粗い	粗い	きれい	ややきれい	普通	やや汚い	汚い	白っぽい	やや白っぽい	適当	やや黒っぽい	黒っぽい
1982	1.40	2	4	50	24	20	1.15	2	4	42	28	4	38	21	26	9	6	—	—	—	—	—
1983	1.46	3	5	46	27	19	1.29	1	2	36	33	28	14	20	30	21	15	16	28	44	10	2
1984	1.05	6	5	43	25	21	0.88	3	4	40	30	23	25	25	33	10	7	21	25	42	8	4
1985(既設)	1.50	4	5	44	24	23	1.33	2	3	35	27	33	13	24	29	19	15	22	29	40	8	1
1985(新設)	1.37	6	8	55	17	14	1.04	3	2	48	20	27	31	29	24	8	8	45	21	31	3	0
1986	1.29	4	4	48	17	27	1.71	2	1	37	25	35	10	17	30	20	23	16	17	55	9	3

年	海 浜 勾 配 (％)												水 質 (％)											
	海 に つ い て						浜 に つ い て						水 自 体 に つ い て					浮 遊 物 に つ い て						
	勾 配	緩い	やや 緩い	適当	やや 急	急	勾 配	緩い	やや 緩い	適当	やや 急	急	きれい	やや きれい	普通	やや 汚い	汚い	ない	少 ない	やや 少 ない	普通	やや 多 い	多 い	
1982	1/12.5	6	8	57	23	6	1/ 7.9	7	9	73	9	2	10	12	25	28	25	—	—	—	—	—	—	
1983	1/13.2	4	9	40	33	14	1/ 8.8	8	8	77	6	1	2	6	14	35	40	7	29	—	21	25	18	
1984	1/12.2	2	6	36	35	21	1/ 9.1	6	6	80	6	2	25	25	28	12	10	13	28	13	20	18	8	
1985 (既設)	1/16.9	4	7	47	24	18	1/10.8	5	6	79	7	3	16	20	25	19	20	4	13	6	13	23	41	
1985 (新設)	1/18.3	7	7	56	18	12	1/11.0	4	7	87	2	0	30	30	21	9	10	6	20	11	13	28	22	
1986	1/13.3	4	5	49	23	19	1/12.2	5	5	85	3	2	9	13	22	23	23	4	12	10	18	21	35	

まず、砂浜の勾配については、いずれの年も約 1/10 であるが、利用者の満足度は 70 % 以上であり、かなり高い。しかし、海底勾配はいずれの年も 1/10 よりも緩いにもかかわらず、その満足度は砂浜に対するものに比べると低く、開設時の 1982 年と 1985 年の新設区域だけで満足度が 50 % 以上になっている。計画勾配は水深が 1m 以浅では 1/25、それより沖側では 1/15 となっているが、アンケート調査の結果などを考慮すると、少なくとも計画値の 1/25、できれば図-18 に示した最適勾配 1/45 を維持すべきである。

底質の粒径については、計画値は平均粒径が 1.80 mm であり、各年とも実測値はこの値よりも小さい。しかし、利用者の 30 ~ 60 % は「粗い」、「やや粗い」と答えている。特に、海底のものに比べて砂浜のものに対する満足度は低く、利用者の立場からすれば、中央粒径を 0.5 mm 程度にして、その満足度を 60 % 程度に向上させるべきであろう。

底質の色については、ほぼ各年とも約 40 % の満足度が得られているが、1985 年の新設区域では 31 % であり、「白っぽい」が 45 % である。これは利用者が既設区域のものと比較して答えたためと考えられる。

砂浜の汚れ具合については、開設時 1982 年と 1985 年の新設区域とで「きれい」と答えた利用者が多い。

水質については、各年の調査日の条件によってかなり変化するため、明確な経年変化はみられないが、1985 年の既設区域では海藻の異常繁殖のため、浮遊物がきわめて多くなっている。

以上のように、維持、管理に対してかなり配慮している人工海水浴場においても、開設後数年を経過してくると、砂浜の汚れや水質の悪化がみられ、利用者の満足度は低下しているようである。したがって、利用者にとって望ましい条件を満たした海水浴場の造成と同時に、その維持、管理がきわめて重要である。

4. あとがき

防災、利用、環境保全機能のいずれにも秀れた特性をもつ人工海浜がわが国においても実際に造成されるようになってきたことはきわめて好ましい傾向である。しかし、こうした人工海浜にも問題がないわけではない。すなわち、人工海浜に使用される養浜砂は消波ブロックなどとは異なり、わずかな波浪や流れによって流失しやすく、その維持には相当の経費が必要であると言われている。さらに施工時には、人工海浜の造成地や養浜砂の採集地周辺で、一時的ではあるにせよ海水が汚濁されたり、生態系が乱される可能性がある。しかし、1960 年代の高度成長期以来、失った自然海浜を取り戻していくためには、現在のところ人工海浜が考えられる唯一の方法であると言っても過言ではあるまい。今後、これらの欠点を克服しつつ、できるだけ自然海浜に近い海浜を創り出すことが海岸工学に課せられた一つの大きな課題であろう。

参 考 文 献

- 1) 環境庁編：環境白書，昭和56年版， pp. 27～31， 1981.
- 2) 熊谷 清：海洋性レクリエーション開発にむけて，海岸，26号， pp. 130～138， 1986.
- 3) 佐藤昭二・寺尾 健・田中則男：人工海浜の建設，土木学会誌， Vol. 65-2， pp. 9～17， 1980.
- 4) 石原藤次郎・岩垣雄一・樺木 亨：養浜の波高減衰効果に関する実験的研究，京都大学防災研究所年報，第5号A， pp. 296～305， 1962.
- 5) 樺木 亨：人工海浜の波高及び越波量の低減効果について，波浪制御構造物の防災機能向上に関する研究，文部省科学研究費研究成果報告書， pp. 57～63， 1986.
- 6) 田中則男・小笠原 昭・小山内英雄：養浜工に関する研究（その1），港湾技研資料，No 260， pp. 1～86， 1977.
- 7) 岩垣雄一：人工養浜，土木建設，第18巻，第3号， pp. 12～19， 1970.
- 8) 田中則男：砂浜の防災機能と安定機構，みなとの防災，第78号， pp. 8～16， 1983.
- 9) 宇多高明・山本幸次：養浜による打ち上げ高減少効果，土木学会第39回年講概要集，第2部， pp. 343～344， 1984.
- 10) 井上雅夫・菊岡 敏：越波量におよぼす堤防前面地形の影響，第19回海講論文集， pp. 283～288， 1972.
- 11) 井上泰正・樺木 亨・出口一郎・朴 相吉：人工リーフ上の規則波による越波量推定モデルについて，昭和62年度土木学会関西支部年講概要， pp. II-86-1～2， 1987.
- 12) 岩垣雄一・土屋義人・井上雅夫：海岸堤防の越波防止に関する二，三の問題，京都大学防災研究所年報，第7号， pp. 387～399， 1964.
- 13) 井上雅夫：海岸堤防の越波に関する基礎的研究，京都大学学位論文， pp. 84～86， 1973.
- 14) 島田広昭・井上雅夫：海岸堤防の越波量におよぼす海底勾配の影響，工学と技術（関西大学工学会誌），Vol 7-2， pp. 30～37， 1980.
- 15) 富永正照・佐久間 襄：海岸堤防の越波について，第15回海講講演集， pp. 277～281， 1968.
- 16) 合田良実・岸良安治・神山 豊：不規則波による防波護岸の越波流量に関する実験的研究，運輸省港湾技研報告，第14巻，第4号， pp. 1～44， 1976.
- 17) 井上雅夫・柳瀬勝久：養浜による越波防止効果，第32回海講論文集， pp. 470～474， 1985.
- 18) 井上雅夫・岩垣雄一・土屋義人：海岸堤防の越波防止効果に関する二，三の問題，京都大学防災研究所年報，第14号B， pp. 361～372， 1971.
- 19) 服部典節・佐藤昭二：前面に遊歩道を持つ海浜護岸について，運輸省港湾技研報告，第12巻，第3号， pp. 71～98， 1973.
- 20) 入江 功・加藤一正・栗山善昭・村上裕幸・田中則男：人工海浜における地形特性について，第33回海講論文集， pp. 297～301， 1986.

- 21) 砂村継夫：養浜工法，砂浜決壊の防止工法とその適用性に関する研究，文部省科学研究費研究成果報告書， pp. 75～91， 1984.
- 22) 運輸省港湾局：人工海浜の建設技術マニュアル， pp. 1～112， 1979.
- 23) 農林水産省構造改善局，同水産庁，運輸省港湾局，建設省河川局：自然海浜保全整備計画指針（案），自然海浜保全整備計画調査報告書， pp. 1.1～3.24， 1981.
- 24) 堀川清司・佐々木民雄・五十嵐 元：海洋性レクリエーションとその環境，第19回海講論文集， pp. 83～91， 1972.
- 25) 佐々木民雄・堀田新太郎・五十嵐 元・久保田 進：海洋性レクリエーションに関する研究（第2報），第21回海講論文集， pp. 471～476， 1974.
- 26) 井上雅夫・島田広昭：海水浴場に関する海岸工学的研究（第2報），第29回海講論文集， pp. 633～637， 1982.
- 27) 井上雅夫・島田広昭：海水浴場に関する海岸工学的研究（第3報），第30回海講論文集， pp. 603～607， 1983.
- 28) 井上雅夫・島田広昭：人工海浜によって造成された海水浴場の追跡調査，第33回海講論文集， pp. 631～635， 1986.
- 29) 島田広昭・井上雅夫：海水浴場に関する海岸工学的研究，工学と技術（関西大学工学会誌）， Vol. 8-4， pp. 62～66， 1986.
- 30) 榎木 亨・出口一郎：特性の異なる2つの海岸に施工された人工養浜砂の挙動について，第32回海講論文集， pp. 420～424， 1985.
- 31) 大阪府：淡輪，箱作地区海岸環境整備計画.

補 遺

1987年3月に海岸保全施設築造基準が改訂され，人工海浜の基準が新しく設けられた。それによると，その設計に当たっては，背後の堤防，護岸と一体となった防災機能，海浜の安定性，海浜の利用等を考慮して，基本断面，養浜材料流出防止施設の種類等を決定するように定められている。また，設計条件は潮位，波，海底および海浜地形，流れおよび漂砂，海浜の利用などを考慮することになっている。断面形状はその防災上の機能，波浪条件および底質特性，海浜の利用状況などを考慮して決定し，初期汀線形状は養浜材料流出防止施設の配置，波などの外力により定まる造成後の汀線に近い形状にしておくものとされている。さらに，養浜材料の材質は海浜の安定性，周辺環境におよぼす影響，供給可能量などを考慮して決めることにしている。