

不規則波による潜堤の波高伝達率

井上雅夫*・島田広昭**・田中幸雄***

1. 緒 言

近年、海浜の多様な機能が見直され、特に、海水浴などの海洋性レクリエーションの需要に対応できること、また、砂浜そのものが防災面や環境面からも優れた機能をもっていることが高く評価されている。このようなことから、全国各地に人工海浜が計画あるいは造成されているが、その際、養浜土砂の流失を防止するために、離岸堤や突堤などの構造物が設置されることが多い。これらのなかでも、離岸潜堤は他のものに比較して消波効果が小さいことや堤内の水位上昇によって堤体が沈下するなどの欠点はあるものの¹⁾、景観の確保や海水交換による水質保全、さらには天端上水深を確保できることから利用上の長所もあり、今後は潜堤の需要がますます高まっていくものと思われる。

従来、潜堤の消波効果に関する研究は数多く行われているが、高山ら²⁾のものを除いてはそのほとんどが規則波によるものであり、潜堤の形状などの実験条件も各研究者ごとに異なっているため、従来の研究成果を直接相互に比較検討し、潜堤の波高伝達率に及ぼす波の不規則性の影響を明らかにすることは難しい。そのうえ、それぞれの実験における伝達波高の測定箇所についても、多いもので2～3点であり、しかもそれらの位置がそれぞれ異なっているため、実験結果にはかなりのばらつきがみられる。

このため本研究では、規則波と不規則波のいずれの場合についても、伝達波高の距離的な変化を詳細に測定し、特に不規則波の伝達特性を実験的に明らかにしようとした。

2. 実験装置および方法

実験は、長さ30m、幅0.7m、高さ1.0mの水平床片面一部ガラス張りの鋼製二次元水槽を用いて行った。水槽の一端には、電気油圧サーボ式ピストン型不規則波造波機、また、その背後および他端にはステラシート製消

波工が設置されている。潜堤の形状は直立堤とのり勾配が1:1の台形堤の2種類とし、それぞれ透過堤と不透過堤の場合について、いずれも堤体の中心が造波板より12.5mの位置になるように設置して実験を行った。なお、透過堤は直径14.5mmのガラス玉を用い、その空隙率は約40%である。実験条件は、波形勾配 H/L を0.023～0.046、相対天端上水深 R/H を0～4.38、相対天端幅 B/L を0.064～0.256の範囲とした。なお、 R は天端上水深、 B は天端幅である。不規則波のスペクトルは有義波周期 $T_{1/3}$ が0.93～1.25sのBretschneider・光易型である。波高の測定は、堤体沖側4.0mと堤体直後の2点に加えて、規則波の場合には堤体中心から岸側3波長のところまでの間の12点で、また、不規則波の場合には堤体中心から岸側に1.12m間隔の4地点で行った。

規則波の実験は各測点での波高をペン書オシロで記録し、反射波の影響の入らない連続3波を平均し、潜堤を通過する前後の波高比を波高伝達率 K_t とした。また、不規則波との比較を行う場合には潜堤設置前後の波高比を波高伝達率 K_t' とした。

不規則波の実験では、各測点での水位変動をデータレコーダに記録させ、マイコンを用いて入・反射波分離推定法により約2分間のデータから入射波高を求め、潜堤設置前後の有義波高比を波高伝達率 K_H とした。また、二、三の実験については、潜堤天端上での波の変形過程をビデオカメラで記録した。

3. 実験結果および考察

3.1 規則波による波高伝達率の距離的变化

規則波と不規則波の波高伝達率とを比較するために、まず規則波について実験を行った。

図一1は、規則波の波高伝達率の距離的变化を堤体形状ごとに示したものであり、縦軸は波高伝達率 K_t 、横軸は堤体中心からの距離 X と深海波長 L_0 との比 X/L_0 である。なお、この場合の実験条件は、周期 $T=1.0$ s、 $H_0/L_0=0.032$ 、 $R/H_0=0.8$ であり、(a) および (b) 図は B/L_0 がそれぞれ0.064 および0.256の場合である。これらによると、波高伝達率は距離的にかなり変化し、特

* 正会員 工博 関西大学教授 工学部土木工学科

** 正会員 関西大学助手 工学部土木工学科

*** 学生会員 関西大学大学院 工学研究科

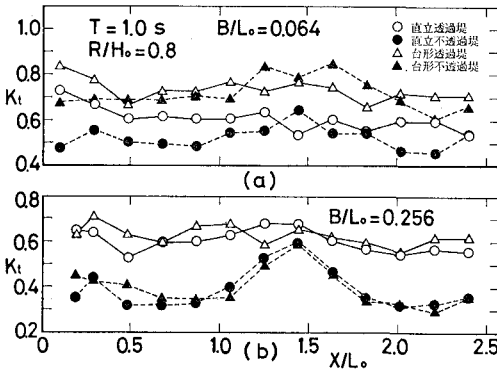


図-1 波高伝達率の距離の変化

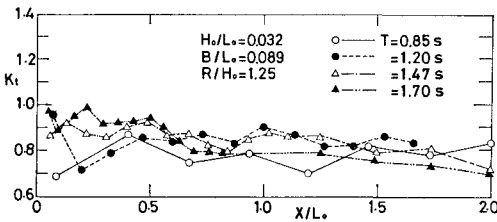


図-2 波高伝達率の周期特性

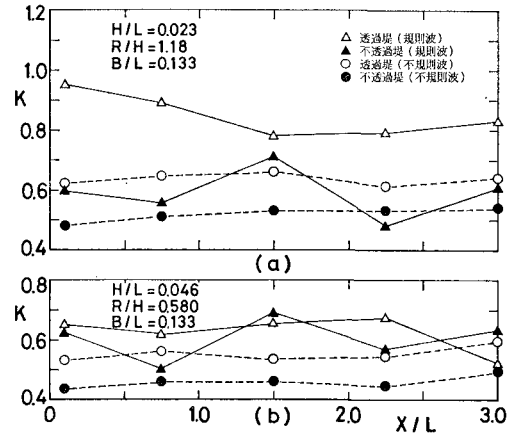


図-3 規則波と不規則波の波高伝達率の比較

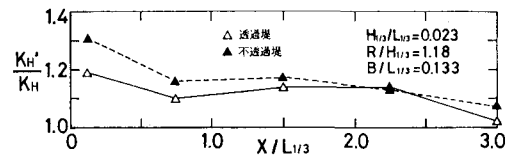


図-4 不規則波の波高伝達率の比較

に不透過堤では伝達率の極大値が出現し、この傾向は天端幅が広いほど明確である。また、その出現位置は周期が1.0 sの場合には、いずれの堤体形状でも X/L_0 がほぼ1.5程度である。ただ、このような伝達率の極大値は不透過堤のすべての場合にみられるのではなく、天端上水深にも関係するようである。

図-2は、波高伝達率の周期特性であり、 $H_0/L_0 = 0.032$, $B/L_0 = 0.089$, $R/H_0 = 1.25$ の台形不透過堤による伝達率の距離の変化であるが、いずれもかなり複雑に変化し、周期が長いほど伝達率の極大値は潜堤に近い位置で現れるようである。このように、規則波の波高伝達率は距離的にかなり変動し、特に不透過堤では実験を行ったすべての場合ではないが、伝達率の極大値が出現する場合があることが明らかになった。したがって、規則波によって不透過堤の波高伝達率を議論する際には、こうした影響を十分に検討する必要がある。

3.2 規則波と不規則波の波高伝達率の比較

図-3は台形堤について規則波と不規則波の波高伝達率を比較したものであり、(a)および(b)図は H/L がそれぞれ0.023および0.046のものである。なお、不規則波の場合の諸元は有義波のものであり、波高伝達率は規則波では K_t 、不規則波では K_H である。これらの図によると、いずれの波形勾配についても同じ堤体であれば、不規則波による波高伝達率は規則波によるものよりもほとんどの測定箇所小さくなっている。また、規則

波の波高伝達率は前述したように距離的にかなり変動しているが、不規則波のものはほぼ一定値を示している。

図-4は、 $H_{1/3}/L_{1/3} = 0.023$ で、 $R/H_{1/3} = 1.18$, $B/L_{1/3} = 0.133$ の台形堤について、多重反射系の記録から求めた伝達率 K_H' と入・反射波分離推定法によって求めた伝達率 K_H との関係調べたものであり、縦軸は両者の比である。これによると、透過堤と不透過堤のいずれの場合にも、多重反射系の記録から求めた伝達率のほうが最大で30%程度大きく、この傾向は $X/L_{1/3}$ が小さいほど、また透過堤よりも不透過堤のほうが著しい。

図-5は、多重反射系での結果ではあるが、 $T_{1/3} = 1.2$ s, $H_{1/3}/L_{1/3} = 0.032$, $B/L_{1/3} = 0.089$ の場合について、(a)図に各代表波から求めた不規則波の波高伝達率、(b)図に同じ条件の規則波のものを示した。なお、図中の数字は波高伝達率の最大値および最小値の現れる X/L であり、図は上から R/H が0, 0.556および1.25のものである。これによると、いずれの天端上水深でも、堤体形状が同じであれば波高伝達率の最大値と最小値との差は $H_{\max}$ から求めたもののがもっとも大きく、ついで $H_{1/10}$, $H_{1/3}$, H_{mean} の順に小さくなるようである。すなわち、代表波法によって取り扱う波数が少なくなるほど、同じ堤体形状についての波高伝達率の最大値と最小値との差が著しくなるようである。さらに、不規則波と規則波の波高伝達率を比較すると、全般に規則波より不規則波のほうが波高伝達率は小さく、同じ堤体形状での最大

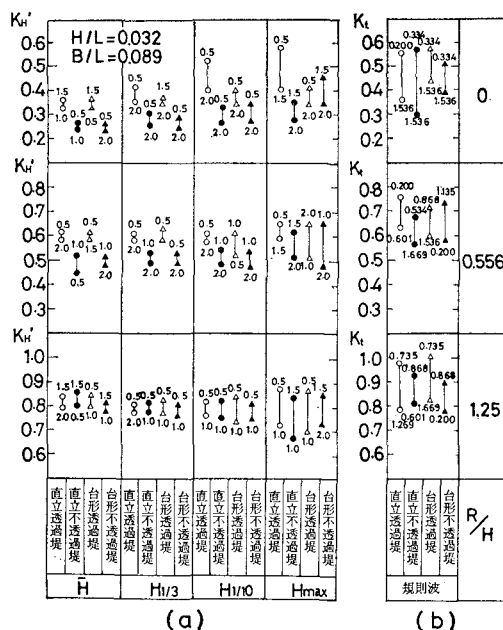


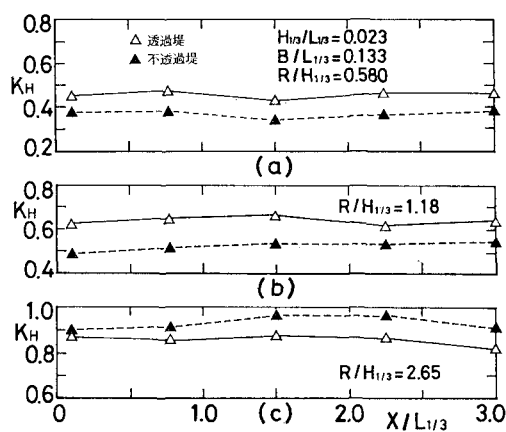
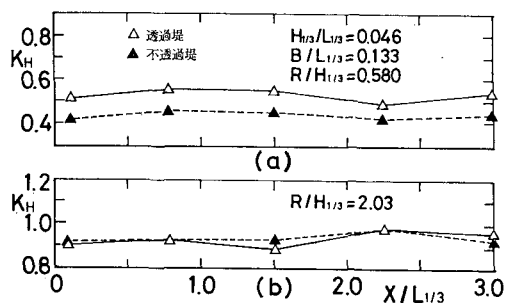
図-5 不規則波の波高伝達率

値と最小値との差も小さいようである。このように多重反射系での結果であっても、不規則波を代表波法で取り扱った場合の波高伝達率は規則波によるものよりも小さい。この原因としては、波高伝達率を求める際に対象とした波の違い、すなわち規則波ではまったく同じ波を対象としているのに対し、不規則波では必ずしもそうではないことやその対象とした波数の違いによるものと思われる。

3.3 波高伝達率に及ぼす潜堤の透過性の影響

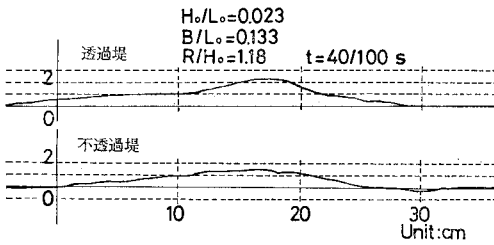
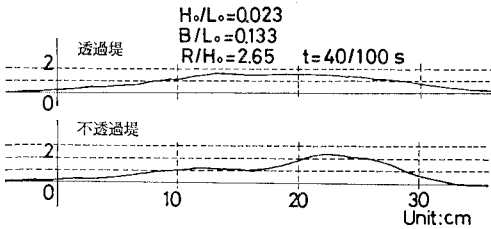
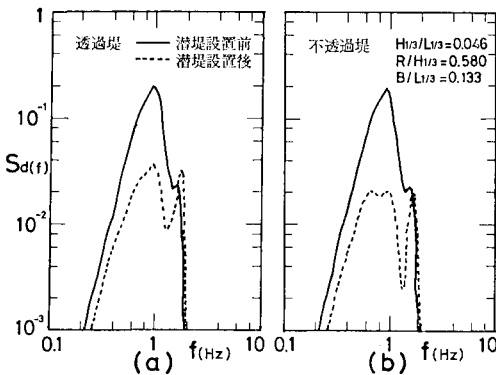
ここでは波高伝達率に及ぼす潜堤の透過性の影響を台形堤の場合について検討する。図-6 および 7 は、 $H_{1/3}/L_{1/3}$ が 0.023 と 0.046 の場合の不規則波の波高伝達率を透過性の有無ごとに示したものであり、縦軸は波高伝達率 K_H 、横軸は相対距離 $X/L_{1/3}$ である。これらの場合も、不規則波の波高伝達率は、規則波の場合とは異なり、いずれもその距離的な変動はほとんどみられない。また、図-6 の波形勾配が小さい場合には、 $R/H_{1/3}$ が大きくなると透過堤と不透過堤の波高伝達率の大小関係が逆転しており、波高伝達率に及ぼす相対天端上水深の影響が堤体の透過性の違いによって異なることがわかる。

さらに、図-7 の波形勾配が大きい場合についても、 $R/H_{1/3}$ が大きくなると逆転はしていないものの透過堤と不透過堤の波高伝達率はほぼ同じ値になっている。したがって、この場合にもさらに天端上水深を大きくすると、両者の波高伝達率の大小関係は逆転するものと推察される。なお、これらのことは規則波についても同様で

図-6 透過堤と不透過堤の波高伝達率
($H_{1/3}/L_{1/3}=0.023$)図-7 透過堤と不透過堤の波高伝達率
($H_{1/3}/L_{1/3}=0.046$)

である。

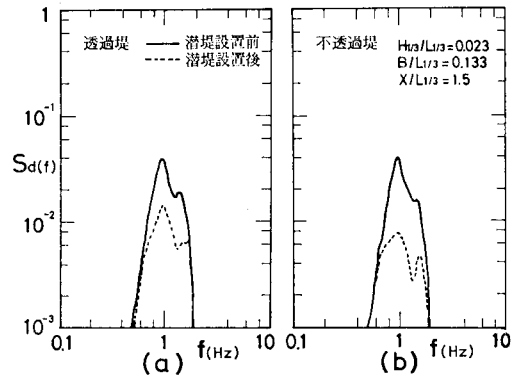
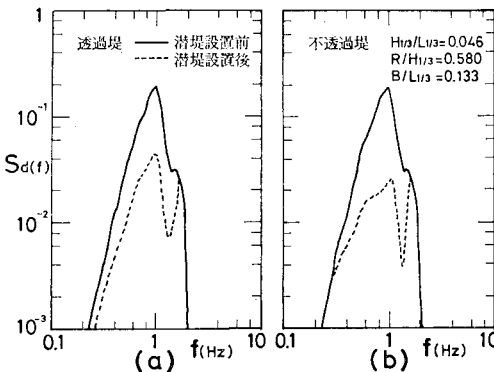
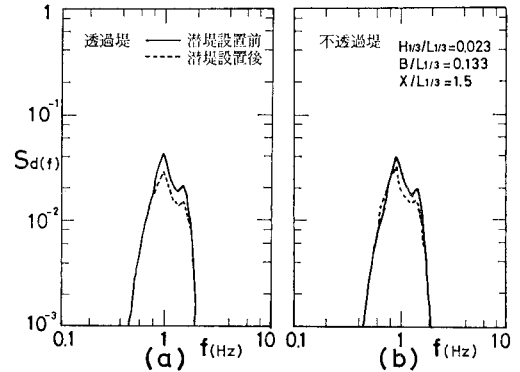
このように、天端上水深が小さい場合には不透過堤のほうが、また、天端上水深が大きい場合には透過堤のほうが波高伝達率が小さくなるが、この原因を究明するために、これらと同じ条件の規則波を用いて潜堤天端上の空間波形を検討したものが図-8 および 9 である。これらは造波後 15 波目のものであり、それぞれの図の上図と下図は透過堤と不透過堤の場合である。なお、いずれも原点は潜堤の沖側ののり肩を通る鉛直線と静水面との交点であり、その点を水面がゼロアップしてから 40/100 s 後のものである。図-8 は天端上水深が小さい $R/H_0=1.18$ の場合であり、この図ではあまり明確ではないが、上図の透過堤では碎波はしておらず、下図の不透過堤では碎波している。このことから、不透過堤では碎波による波高減衰が著しいため、波高伝達率も小さくなり、逆に、透過堤では潜堤によって碎波する直前で波高が大きくなり、それがそのまま通過していくため波高伝達率が大きくなるようである。しかし、図-9 の天端上水深が大きい $R/H_0=2.65$ の場合は、いずれも碎波はしていないが、下図の不透過堤では碎波する直前の波高の大きな

図-8 潜堤天端上での空間波形 ($R/H_0=1.18$)図-9 潜堤天端上での空間波形 ($R/H_0=2.65$)図-10 スペクトルの変化 ($X/L_{1/3}=0$)

波に変形しているため、透過堤よりも波高伝達率は大きくなるものと思われる。このように、潜堤の波高伝達率には、堤体の沖側のり面や天端の透過性が非常に影響するようで、これらのことは、不規則波についても同様の傾向があるものと思われる。

3.4 潜堤によるスペクトルの変化

図-10~11は、 $H_{1/3}/L_{1/3}=0.046$ で、 $R/H_{1/3}=0.580$ 、 $B/L_{1/3}=0.133$ の台形堤の場合について、潜堤設置前後のスペクトルを比較したもので、実線は潜堤設置前、破線は設置後のものである。各図の(a)は透過堤、(b)は不透過堤についてのものである。図-10は潜堤直後の $X/L_{1/3}=0$ のものであり、透過堤と不透過堤のいずれの場合も潜堤の設置によって、1.5 Hzより低周波側、特に中心周波数近傍でのスペクトル密度の低下が著しい。しかし、中心周波数よりも高周波側の1.5~2.0 Hzでは逆に増大し、特に潜堤の設置前にはあまり顕著でなかったスペクトルのピークが明瞭に現れている。図-11は、図-10と同じ条件で $X/L_{1/3}=1.5$ のものである。これによると、透過堤と不透過堤のいずれについても、 $X/L_{1/3}=0$ でみられたように中心周波数よりも高周波側

図-12 スペクトルの変化 ($R/H_{1/3}=1.18$)図-11 スペクトルの変化 ($X/L_{1/3}=1.5$)図-13 スペクトルの変化 ($R/H_{1/3}=2.65$)

で潜堤設置後のスペクトル密度が設置前のものよりも増大するような傾向はみられない。

図—12 および 13 は、 $H_{1/8}/L_{1/8}=0.023$ で、 $B/L_{1/8}=0.133$ の台形堤で $R/H_{1/8}$ がそれぞれ 1.18 および 2.65 の場合のスペクトルを示した。なお、いずれも $X/L_{1/8}=1.5$ のものである。図—12 の天端上水深が小さい場合のものをみると、潜堤設置後のスペクトル密度の減衰は透過堤よりも不透過堤のほうが大きくなっている。これに対して、図—13 の天端上水深が大きい場合には潜堤設置後のスペクトル密度の減衰はいずれの堤体においても大差はみられないが、透過堤のほうが若干大きいようである。これらの結果は当然のことながら、図—6 および 7 に示した結果にも対応している。

4. 結 語

以上、本論文での結果を要約するとつぎのようである。

- 1) 規則波の波高伝達率は距離的にかなり変化し、特に不透過堤では伝達率の極大値が出現する場合がある。
- 2) 有義波で求めた不規則波の波高伝達率は、規則波の場合と異なり、伝達波高を測定した位置によってほとんど変化することなく、ほぼ一定値を示し、同じ条件下の規則波で求めたものよりも小さい。また、他の代表波から求めた波高伝達率も有義波のものとほぼ同じ傾向を

示す。

- 3) 規則波でも不規則波の場合でも、波高伝達率に及ぼす潜堤の透過性の影響については、相対天端上水深が関係し、天端上水深が小さい場合には不透過堤のほうが、また、大きい場合には透過堤のほうが波高伝達率は小さい。

- 4) 潜堤の設置によって、特に中心周波数近傍でのスペクトル密度の低下が著しい。また、透過堤と不透過堤のいずれの場合についても、潜堤の設置によって中心周波数よりも高周波側に設置前にはあまり顕著でなかったスペクトルのピークが明確に現れる。

最後に、本研究を遂行するにあたり、実験や図面作成に対して熱心に助力してくれた関西大学大学院 殿最浩司君ならびに当時関西大学学生 浦辺浩二、岡部正信、松浦慎治、井出信夫、山本和広、和田博明、立野和則、藤村博文の諸君に感謝の意を表する。

参 考 文 献

- 1) 本間 仁・堀川清司：潜堤に関する研究(Ⅱ)一沈下機構ならびに維持一、第6回海岸工学講演会講演集，pp. 114～120，1959.
- 2) 高山知司・永井紀彦・関口忠志：広天端幅潜堤の波浪低減効果に関する不規則波実験，第32回海岸工学講演会論文集，pp. 545～549，1985.