

わが国における海岸波浪の地域特性

土屋 義人*・井上 雅夫**・芝野 照夫***

1. 緒 言

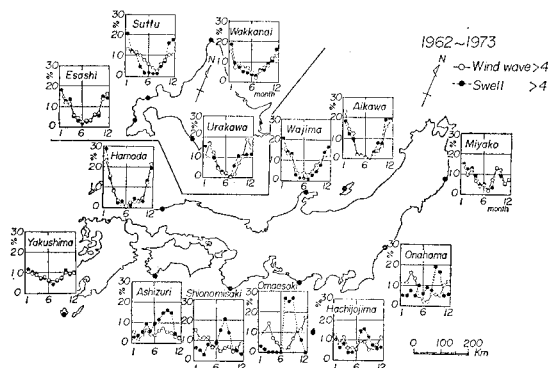
わが国の地理的条件から、沿岸波浪の地域特性は大きいものと思われる。海岸工学上、波浪の地域特性の究明は、海岸侵食をはじめ海岸・海洋構造物の設計施工などにおいて必須の課題である。

わが国では、運輸省をはじめ各機関において積極的な波浪観測が実施されており、その成果は高く評価されているが、水文諸量などと異なり、観測期間は必ずしも統計解析上十分ではない。したがって、本文では長期間にわたって観測された風浪・うねり階級の観測資料を用いて、わが国沿岸の高波浪の出現頻度の一般的特性を調べたのち、最近の運輸省などによる計器観測資料に基づいて、波浪の季節変化および極値統計などを調べて、波浪の地域特性を明らかにしようとするものである。

2. 波浪階級による波浪の地域分布

ここではまずわが国各地の気象観測所¹⁾において目視観測された結果から、波浪の地域特性を検討する。それは、測器による波浪観測ではないが、わが国の日本海および太平洋沿岸をほぼ網羅し、長期間の観測資料が得られているので、来襲波浪の地域特性を概括的に把握できると考えられる。なお、目視観測と波高計による観測結果とでは精度的な問題はあがるが、ほぼ対応することも知られている。

図一¹は風浪階級およびうねり階級4以上の来襲頻度とその季節変化の地域特性を示すものである。ただし、風浪階級4以上とは、波高約1m以上に対応しており、また、うねり階級4以上は波高2m以上で周期8sec以上とされている。これによれば、日本海沿岸では11月から3月までの冬春季節風時に高波浪の来襲頻度が高く、相川、輪島および浜田では、その期間の来襲頻度が年間の70%以上をも占めている。これに対して、夏期の頻度は非常に低く、ほとんど夏期に高波浪の来襲がないことを示している。一方、太平洋沿岸の各地では、冬



図一 目視観測による波浪の来襲頻度

期における風浪階級4以上の来襲頻度は低いが、とくに足摺、潮岬、御前崎および小名浜では夏期から秋期にかけての台風時に、うねり階級4以上の来襲頻度が高くなっている。さらに、これらの地域では冬春季節風時における風浪の来襲頻度も高く、高波浪の来襲頻度分布に2つのピークが現われ、年間を通じて高波浪が卓越する地域といえよう。

以上のように、わが国沿岸における波浪の地域分布の一般的特性を考慮して、以下に述べるような各地の波浪観測地点を選び、その観測結果から来襲波浪の統計的特性を検討して、わが国における海岸波浪の地域特性を明らかにすることになろう。

3. 波浪統計資料の考察

海岸波浪の地域特性を究明するためには、同じ観測水深に設置され、同一種類の測器で測定された観測資料で、しかも観測期間の長さも十分に長いものが望ましいことはいうまでもない。しかし、かような資料は現在のところ皆無といっても過言ではなく、そのためここでは、地域特性を論じるまえに、まず観測資料の統計年数と観測水深の影響を極値時系列法による極大波浪の確率波高を調べることによって検討する。

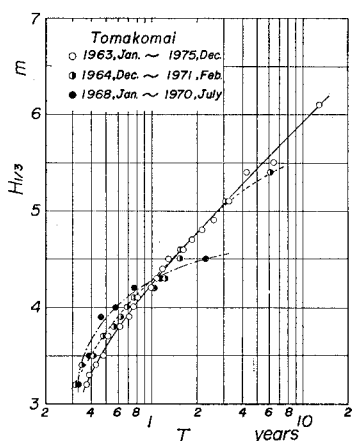
3.1 統計年数の影響

ここで対象とした統計期間は、直江津港：'64年12月～'71年2月（6年3ヵ月）、金沢港：'66年1月～'67年

* 正会員 工博 京都大学教授 防災研究所

** 正会員 工博 関西大学教授 工学部土木工学科

*** 正会員 京都大学助手 防災研究所



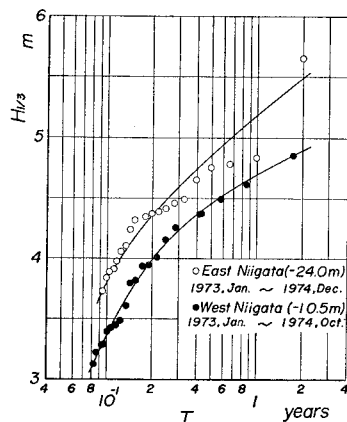
図—2 確率波高に及ぼす統計年数の影響

12月(2年), 苫小牧港: '63年1月~'75年12月(13年), 小名浜港: '58年4月~'65年3月(7年)および潮岬: '68年1月~'70年7月(2年7カ月)であり, 最も長いもので13年, 短いものは2年である。ここでは, これら統計年数の違いによる極大波浪の確率波高における差異を, 最も統計年数が長く, 測得率もほぼ100%に近い苫小牧港の資料について検討した。

図—2は, 苫小牧港の全統計期間, すなわち13年の場合のほかに, 直江津港と潮岬の統計期間に相当した6年3カ月と2年7カ月の場合について, 極大波浪の確率波高を求めた。なお, 極大波高としては波高3.00m以上を対象とした。これによると, 確率波高は, 再現期間が約1年より短かいときには統計年数が短かいほど大きい, 1年より長いときには, 逆に小さくなる傾向がみられるが, 統計期間が6年3カ月と13年の場合の確率波高の再現期間曲線はかなりよく一致している。また, 1年確率波高はどの統計年数の再現期間曲線からも, 4.2~4.3m程度である。このことから, 統計年数は長い方が望ましいことはいうまでもないが, たとえば1年確率波高を求めるためには, 2~3年の統計年数であっても, その推定が一応可能であることを示している。なお, 合田²⁾は統計資料としては3年間の最短であり, 5年間以上が望ましいとしている。

3.2 観測水深の影響

一般に, 極大波浪の確率波高に及ぼす観測水深の影響はかなり大きいといわれている³⁾。これは波高が波高計の設置水深によって碎波による制約を受けるためであるが, その影響だけをとり出して調べることは困難である。ここで対象とした統計資料の観測水深は, 直江津港: 11.5m, 金沢港: 10.0m, 苫小牧港: 13.0m, 小名浜港: 10.5m および潮岬: 15.0mであり, 各観測水深間には最大約5mの違いがある。これらの水深の相違によって, どの程度極大波浪の確率波高が異なるかを検討した。



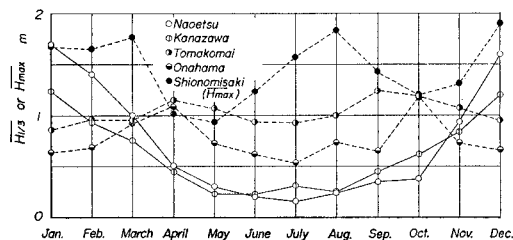
図—3 確率波高に及ぼす観測水深の影響

図—3は, 新潟東港(観測水深: 24.2m)と西港(同: 10.5m)の極大波浪の確率波高を示したものである。これらの観測地点は約15km離れているだけであり, いずれも超音波式波高計で観測されたものである。また, 統計期間は東港については'73年1月~'74年12月, 西港では'73年1月~'74年10月であり, 有効統計年数はそれぞれ1.99年および1.73年である。したがって, 図—3は, 観測水深の影響だけを一応取り出したものといえよう。これによると, 水深が約2倍の東港の確率波高は, 西港のそれに比較して約10%大きく, 当然のことながら, 再現期間が長くなるほどその差は大きくなる傾向がみられる。しかし, 統計資料が十分でないため, 水深の小さい西港の場合でさえ, その影響によって再現期間が長くなっても確率波高が一定値にはならない。このように, ここで対象とする統計資料には観測水深の影響が含まれることは不可避であり, したがって4.で議論する地域特性にも, こうした水深の影響が多かれ少なかれ含まれていることになる。

4. 海岸波浪の地域特性

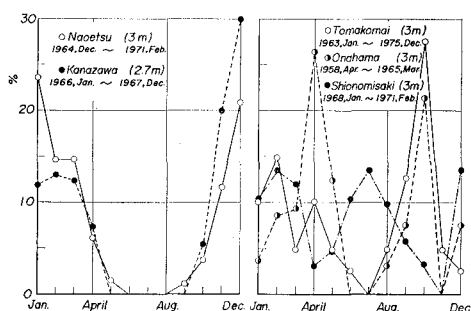
4.1 波浪特性の季節変化

図—4は, 月平均有義波高(潮岬は最大波高)の季節変化を示したものである。これによると, 日本沿岸の波浪状況は3つに大別される。すなわち, 第1は日本海沿岸の直江津港と金沢港の場合であり, 冬期風浪が卓越す



図—4 月平均有義(最大)波高の季節変化

るために、月平均有義波高の極大値は12月～1月に現われ、その値は1.2～1.7 mに及ぶが、5月～8月はほとんど静穏で、季節変化がきわめて著しい。第2は北海道や東北地方の太平洋に面した苫小牧港と小名浜港の場合であり、いずれも4月と10月に平均有義波高が1.1～1.2 m程度に及ぶ極大値が現われ、7月には0.5～0.9 m程度の極小となり、日本海沿岸のような著しい季節変化はみられない。第3には潮岬の場合であって、この場合には測得率の高い最大波高を対象としているため、波高の定量的な議論を直接することはできないが、月平均最大波高の極大値は年2回、すなわち冬期風浪による12～3月と台風の波による9月に顕著に現われ、春秋は比較的静穏である。



図—5 極大波浪の出現率の季節変化

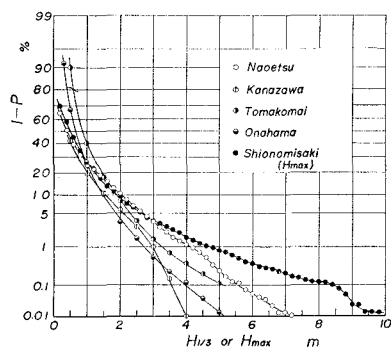
以上は、波浪状況をすべての統計資料の平均値で表した季節変化であるが、図—5には、異常波浪の出現率から、その季節変化を示した。すなわち、異常波浪としてその極大波高が3.0 m（金沢港は2.7 m）以上のものを対象として、その出現率を示した。なお、極大波高の抽出に際しては、観測値の統計的独立性を考慮するために、自己相関係数を計算し、それらの結果を参照して一つの異常波浪時における極大波高を選ぶことにした。図—5によると、日本海沿岸の冬期の極大波高の出現率はきわめて高く、直江津および金沢港の季節変化は、図—1に示した相川および輪島のそれにきわめてよく一致している。また、苫小牧港および小名浜港の出現率は、それぞれ2月と10月および4月と10月に極大値を示し、これらの結果も図—1の浦河や小名浜の結果と多少のずれはあるが、よく似た傾向を示す。さらに、潮岬については12月～2月と8月に極大値を示し、図—1および3の結果と一致している。

以上のように、波浪状況の季節変化については、日本海沿岸では冬期風浪が非常に卓越するのに対し、西日本の太平洋沿岸では冬期風浪のほかに台風の影響が大きく、北日本の太平洋沿岸では、他の地域に比較してあまり顕著な季節変化はみられないことがわかる。

4.2 高波浪の来襲頻度

(1) 定時観測値による出現頻度

図—6は、定時観測値から各港における波高出現率を正規確率紙にプロットし、波高の分布状態を示したものである。これによると、太平洋沿岸の苫小牧港と小名浜港の波高分布は類似の傾向を示しているが、日本海沿岸の直江津港と金沢港のそれはあまり似た傾向を示していない。これは金沢港の統計年数が2年間であることや観測水深が10 mで最も浅いためであろう。なお、潮岬については最大波高を対象としているので、かなり分布形状も他のものと異なっている。また、この図から、確率波高を推定することは、観測値が必ずしも統計的に独立でないことや、1日の観測回数によってその結果が異なることなどのために妥当ではないが、後述の方法による推定値との比較の意味で、観測回数が1日12回に統一されている4地点について1年確率有義（最大）波高を求めると、直江津港：6.5 m、金沢港：3.9 m、小名浜港：4.8 m および潮岬：9.1 m（最大波高）となった。



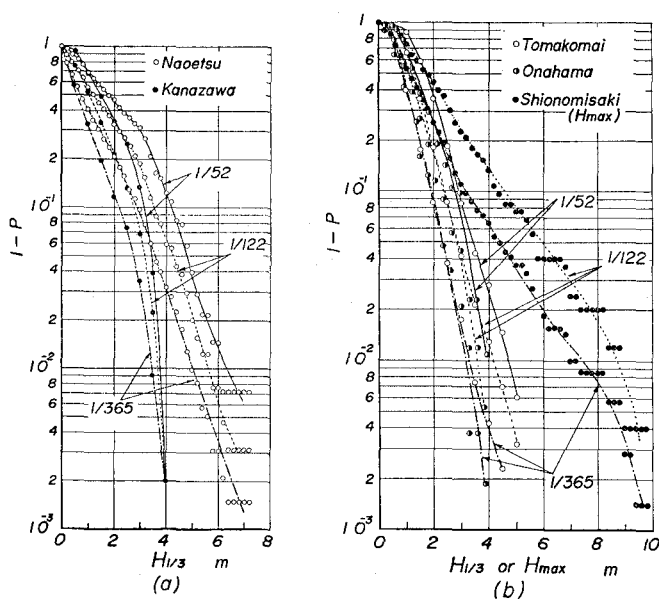
図—6 定時観測値による波高出現率

(2) 期間内最大波浪による出現確率

期間内最大値として、まず日最大波、自己相関係数の計算結果から統計値の独立性が成立すると考えられる期間を3日とみなして3日最大波および週最大波を選び、それらの確率波高の推定を行った。なお、潮岬については資料が不十分であるために週最大波からの推定は行っていない。図—7は、それぞれの最大波の超過出現率を日本海と太平洋沿岸とに分けて示したものであり、それぞれの期間内最大値から求めた1年確率有義（最大）波高を示すと、表—1のようである。これによって、前述した3つの方法による最大波の推定値を比較すると、資料の抽出間隔が長いほど確率波高はわずかながら小さくなるようである。しかし、その違いはあまり大きくなく、3日最大波による値を基準にすれば、その差は±10%以内である。

(3) 極大波浪による出現確率

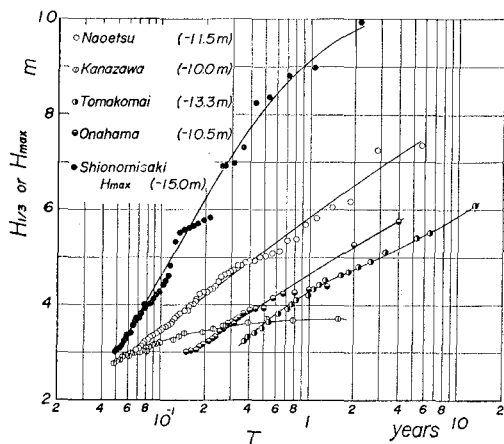
図—8は、極大波高を3.0 m（金沢港は2.7 m）とし、



図—7 期間内最大値の超過出現確率

表—1 期間内最大値から求めた1年確率有義(最大)波高
(単位: m)

	日最大波による値	3日最大波による値	週最大波による値
直江津港	6.20	5.80	5.60
金沢港	3.85	3.75	3.70
苫小牧港	4.35	4.30	4.15
小名浜港	3.70	3.70	3.65
潮岬(最大波)	9.10	8.90	—



図—8 極値時系列法による確率波高

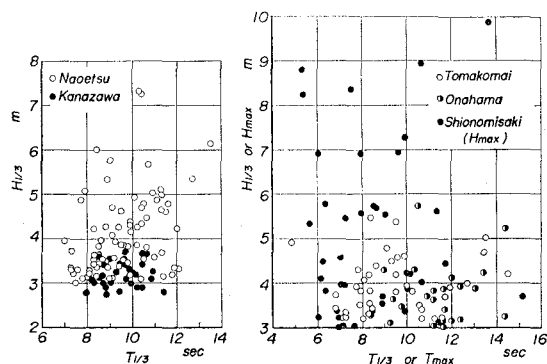
それ以上の波高の波を対象として、極値時系列法によって極大波浪の出現確率を求めたものである。なお、計算に際しての統計年数としては、極大波高の季節変化を考慮した有効統計年数を用いた。これによると、確率波高の再現期間曲線は金沢港のものを除いて同じような傾向を示している。金沢港の場合には、再現期間による確率

波高の変化はあまりない。このことは、地域特性のほかに前述した統計年数や観測水深の影響も含まれているものと考えられる。とくに、統計年数については、図—2の統計年数がもっとも短い2年7カ月の場合の再現期間曲線の傾向と似ていることは興味深い。また図—8から、1年確率有義(最大)波高を求めると、直江津港: 5.80 m, 金沢港: 3.90 m, 苫小牧港: 4.25 m, 小名浜港: 4.60 m および潮岬: 9.10 m (最大波)であり、これらの値は、測得率の低い小名浜港を除いて、(2)で述べた値とほぼ一致する。また図—3から、新潟東および西港の1年確率波高を求めると、それぞれ約 5.1 m および 4.7 m であり、これらのことを合せ考えると、高橋らも指摘するように、一般に日本海沿岸の方が太平洋沿岸よりも確率波高が大きいようである。これらの特性は、その利用目的によるけれども、さらに Draper や合田が行っているように、波向別または波高別の出現確率として整理すべきであろう。

(4) 極大波浪の周期特性

以上は極大波浪の確率波高を各種の推定方法によって求めたが、最後にそれらの周期特性について述べよう。

図—9は、(3)の解析に際して抽出した極



図—9 極大波浪の波高と周期との関係

大波浪の波高と周期との関係である。とくに、波高の季節変化については、日本海と太平洋沿岸での地域特性が明確に現われていたが、周期特性については、一般に波高の増大とともに周期も長くなるような傾向がみられないこともないが、全体的には非常に資料のばらつきが大きく、両者の関係はあまり明確でない。ただし、日本海沿岸の波高が 3~4 m の波については、金沢港の波の周期が直江津港のものよりやや長く、太平洋沿岸の波高が

4~5 m のものについては、小名浜港の波の周期が苫小牧港のものよりもやや長い傾向がみられる。

ご協力いただいた関西大学水工学研究室の諸氏に感謝する次第である。

5. 結 語

以上、わが国沿岸における波浪の地域特性を調べたが、日本海および太平洋沿岸における波浪の季節変化、確率波浪の特性を見出すことができた。波浪の観測期間の長短によって、波浪の極値統計に対してはなお検討すべき点も少なくないが、今後さらに研究していくつもりである。

最後に、本研究は文部省科学研究費自然災害特別研究による研究成果の一部であることを明記するとともに、

参 考 文 献

- 1) 気象庁：気象庁海洋観測資料，No. 31~54，1963~1974.
- 2) 合田良実：波浪の統計的性質とその応用，1975年度水工学に関する夏期研修会講義集，土木学会水理委員会，pp. B-1-1~B-1-29，1975.
- 3) 合田良実：波浪統計に関する二、三の考察，運輸省港湾技研資料，No. 39，pp. 239-255，1967.
- 4) 高橋智晴・広瀬宗一・佐々木徹也・副島 毅：波浪観測データ処理の一例，第23回海岸工学講演会論文集，pp. 334-339，1976.