

外海に設置した円筒状構造物の設計に関する一考察

中部電力KK 原子力部 渡辺一郎 阿知波文夫
 〃 原子力室 正会員 〇井上昭栄

まえがき

浜岡原子力発電所の冷却水取水塔の計画・設計の経緯およびその概要については、すでに報告した通りである。¹⁾ 同取水塔のような円筒状構造物は、単に取水塔としてのみならず、それらを組み合わせることにより、今後に予想される巨大な海洋構造物を構成する部材の基本形状の一つであると考えられる。そこで、同取水塔の設計を具体例として取り挙げつつ、円筒状構造物を外海に設置する場合の設計上の問題について、若干の考察を行ったものである。

1. 設計検討条件

対象とする円筒の外径(D)は、施工性・経済性等を考慮して、現段階においては30m程度を限度と考える。また、水深(h)については、圧入工法の限度深さが30m餘りであることが、現在の技術レベルにおいては、海底までの深さが20m辺を安全かつ経済的に施工できる限度と考える。ここで扱う構造物は、防波堤等と異なり、その使用期間中、損傷を受けることなく安定している必要があるので、検討の対象とする波高は有義波高($H_{1/2}$)の代りに、各水深・周期ごとの碎波波高(H_0)を採る。ただし、碎波衝撃力については浜岡取水塔の場合、構造物が水没するので作用しないという結果が報告されている。²⁾ したがって、ここでは考えない。さらに、波の周期(T)については、浜岡地点での観測結果から、 $T=5\sim 15\text{sec}$ の範囲にすべての波高の場合が含まれるので、この範囲について検討する。そのほか、海底勾配(i)は、浜岡地点の状況($i=1/50$)を参考にして、 $i<1/50$ とする。

2. 設計に採用する波の周期

海の波は不規則波であり、その周期は広い中に分布している。構造物の設計にどのような周期を採ればよいかわかることは、大切である。ところで、円筒に吹く波力は抵抗力(F_0)と質量力(F_M)の和として表わされるが、³⁾ その最大全波力(F_{Tmax})は、 $(F_0)_{max}$ と $(F_M)_{max}$ の大小関係($2(F_0)_{max} \leq (F_M)_{max}$)によって異なった関係式で表わされる。³⁾ また、最大全波力モーメントについても、同じような関係がある。すなわち、円筒外径が大きくなると、最大全波力(およびモーメント)は、抵抗力から質量力に支配されるようになる。そして、ここで扱う $5 \leq D \leq 30\text{m}$ の範囲では、最大全波力は、 $(F_T)_{max} = (F_M)_{max}$ で表わされ、最大全波力モーメントは

$(M_T)_{max} = (M_0)_{max} + \frac{(F_M)_{max}^2}{4(F_0)_{max}}$ で表わされることわかった。これらの関係式を用いて、水深と円筒外径をパラメーターとして、波の周期(T)と $(F_T)_{max}$ 、 $(M_T)_{max}$ の関係を調べた。その結果、最大全波力については、図-1に示すように、水深と円筒外径が決れば、その値が極大となる波の周期があることわかった。一方、最大波力モーメントは、水深、波の周期および円筒外径と比例関係にあることわかった

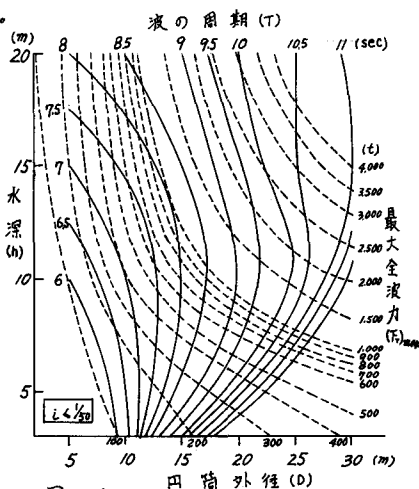


図-1

。したがって、円筒状構造物は、図-1で与えられる周期を用いて最大全波力を検討し、最大全波力モーメントについては、観測される最長の周期を用いて検討すればよい。

3. 円筒外径の評価

海中構造物は必ずしも重力式構造物として設計されるとは思われないが、その外径の大きさと構造物としての安定性の関係を調べるため、簡単な指標として、海底面における滑動安全率(f_s)、転倒安全率(f_e)、最大剪断力(T_{max})および軸方向端部応力(σ_c, σ_t)を求めた。円筒の天端高さは常に静水面上 $2m$ とし、その壁厚(t)は一定($t=2m$)の場合と、外径に対する比率が一定($t/D=0.1$)の場合について検討した。検討結果の一例は図-2に示す通りであって、構造物の安定性のほか、施工性、経済性という点から、水深に応じた適当な円筒外径が存在するようである。浜岡発電所の取水塔は、主として流入条件から外径 $D=16m$ を採用したが、図-2からも適当な大きさであると言える。

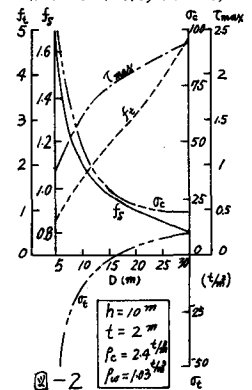


図-2

4. 水没型取水塔

水面付近の大きい波力を避けるため、取水塔を水面下に潜らせるかどうかは、最後まで議論が別れる点であった。水上型取水塔と水没型取水塔の略図を図-3に示す。構造物を水面下に没することにより、その安定性かどのように増すかを示すため、一例として $D=16m$ の場合の、円筒の高さと滑動安全率の変化を図-4に示す。同図から、浜岡発電所取水塔の場合、水没型は水上型に比し、滑動安全率が約1割増加する。また作用波力は約 $2/3$ となり、そのことは水理実験によっても裏付けられている²⁾。そして、構造物を水没型とする場合も、水深や外径に応じた適当な高さが存在するようである。

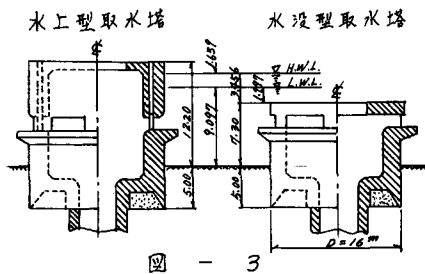


図-3

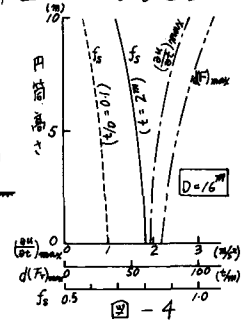


図-4

5. 問題点

以上の検討について、次の諸点が問題点として挙げられる。①振力係数(C_v)や度量力係数(C_m)を水深方向に同じ値にとっていること、および外径の増加による C_m の逆減、②複合構造物としての影響、③碎波等の衝撃力に対して、動的影響を含めた検討、④電算機による詳細な応力解析が必要なこと、そして、出来れば水理実験による確認が望ましい。

あとがき

海中構造物は、陸上構造物と異なり、設置海域の海象条件から決まる最も適した形状が存在するようと思われる。ここでは円筒状構造物を例にとり、簡単な検討を行ったものである。今後さらに、検討方法を工夫し、構造物形状を要する等して、この問題についての検討をつづける予定である。

参考文献

- 1) 渡辺一郎・井上昭栄；没頭原子力発電所冷却水取水塔の設計について、土木学会誌、昭和47年12月号(予定)
- 2) 中村宏・阿部宣行；外海の冷却水取水塔に作用する波力に関する検討、電研、水研報告、土木541、1972年2月
- 3) 土木学会；水理公式集、昭和46年改訂版 pp.522~523