

建設省土木研究所 正会員 ○木村 美知秋
 今田 徹
 水谷 敏 則

まえがき

長大な水底道路トンネルの場合、トンネルの中間に建設される換気所は水中に建設されることになる。この換気所の構造形式としては、大別して盛土等による人工島の中に設ける方法（人工島方式）、および換気所自体を水中に露出して設ける方法（水中換気塔方式）が考えられる。前者の人工島方式による場合には、水深が深くなるにつれて人工島の規模が大きくなるために建設費が増大し、また水域における軟質地盤上に人工島を建設することになり、地盤の沈下、地震時の安定確保など技術的にも難しい問題を伴うことになる。そこで、人工島方式によるこれらの問題を打開する一方法として、水中換気塔方式に着目し、その構造細目の設計、および模型による載荷実験等を行なってきたが土木工学の分野としては新しい設計理念に基く水中換気塔の構造形式を開発し、実現の見通しを得たのでここに成果の概要を報告する。

1. 水中換気塔の構造形式の検討

水中に露出して建設される水中換気塔は、波力、潮流力、地震力等の外力の他に、船舶の衝突による影響を受ける可能性がある。特に船舶の衝突についてはその発生確立はきわめて小さいものの衝突による外力は著しく大きい。一旦衝突事故が発生すると水中換気塔は大きい損害を被り、場合によればトンネル内に海水が浸入するなど被害は甚大なものとなることが予想される。したがって水中換気塔の構造形式を設計するにあたっては、船舶の衝突事故に対していかなる対策を講じるかということが重要な要件の一つとなる。この対策における基本的な考え方から、水中換気塔の構造形式はつぎの二つに分類することができよう。

- ① 耐力形水中換気塔——ケーソン、あるいは沈埋工法等によって建設される水中換気塔本体、およびその周囲に設置する防衝工を、船舶の衝突に対して十分に耐えられる剛性を有する構造とする方法。
- ② 回避形水中換気塔——図-1に示すように、水底換気所から突出させた鋼製、又はRC製水中換気管の基部付近に設けた破断継手が船舶の衝突力により破壊して、水底換気所、および水底トンネル本体には一定限度以上の外力は作用しない構造とする方法。

以上の水中換気塔の構造形式を比較検討した結果、前者の耐力形水中換気塔を数十万トンの船舶の衝突力に耐える構造とするには、経済性、および施工技術などの点から自ずと限界があり著しい困難を伴う。また、衝突した船舶側においても大きな破壊を発生して、二次災害を引き起こす危険性を有している。また、後者の水中換気塔は破断継手の破壊機構を明確にして、破断継手が破壊される際の保安対策を講じることにより、以下に述べるように、現時点においては最も可能性の高い構造形式にすることができると判断された。

2. 鋼製水中換気管の設計の基本的な考え方

鋼製水中換気管（以下水中換気管）の設計において、その要となるのは破断継手部の耐力と破壊機構である。破断継手は、まず波力、潮流力、地震力等の自然外力に対して十分に安全な強度がえられるように設計しなければならない。そして、破断継手の構造が決定されると、破断継手が破壊される時の荷重強度、すなわち最大耐力が決まる。この最大耐力は、水中換気管への船舶の衝突によりこれ以上の荷重が作用した場合でも、破断継手が破壊

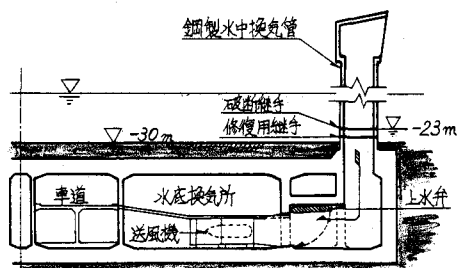


図-1 回避形鋼製水中換気塔

されることにより破壊継ぎより下部に位置する水底換気所、およびトンネル本体には最大耐力以上の荷重は伝達しないことを保証するものである。すなわち、水底換気所の設計を行なう際、破壊継ぎの最大耐力に相当する荷重を外荷重の上限として処理できるものであり、この構造方式の最も大きい特徴である。

3. 破壊継ぎの破壊機構、および最大耐力の検討

前述したように、破壊継ぎの最大耐力の大きさは水中換気塔構造の設計の要となるものであるが、破壊継ぎの大変形状態における継ぎの耐力は的確に算定する手法がないのが現状である。このため、図-2の破壊継ぎの例について模型による荷重実験を行なうことにより、継ぎの破壊機構と最大耐力の算定方法について検討した。

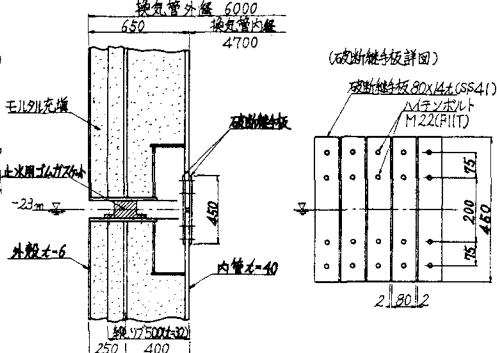


図-2 破壊継ぎ

船舶の衝突力が水面付近において作用する場合、水面下23mに設けた破壊継ぎは、曲げモーメントを主体とした荷重によって破壊されると考えられる。そして、曲げモーメントの作用直後、すなわち船舶の衝突直後における破壊継ぎは弾性挙動を示すが、船舶の進行に伴い圧縮域の破壊継ぎ板は座屈を起こす。しかし、座屈による変形は水中換気管によって拘束されるため、一定量以上は増大しない。次いで引張域における破壊継ぎの伸びだけが著述することになり、やがては破壊継ぎのほぼ全域が引張力により降伏応力度に達した状態となる。なお、図-1、および図-2に示す破壊継ぎの例について最大応力状態を生じさせる曲げモーメントを計算すると約3,000 ton・mとなる。この曲げモーメントを水面位置において作用する水平力に置き換えると、1,470 tonとなり、この水平力は、例えば重量約480トンの船舶が速度6 m/secで水中換気管に衝突した場合の力に相当すると考えられる。

また、船舶の衝突力が破壊継ぎの近くに作用した場合、破壊継ぎにはせん断が支配的に作用すると考えられる。せん断力を受けて図-2の破壊継ぎ板が破壊する場合、その破壊機構は継ぎ板の位置によって異なり、継ぎ板の面と直角にせん断力が作用した場合の面外せん断、継ぎ板の面と平行にせん断力が作用した場合の面内せん断、およびこれらの中間にある破壊継ぎ板は、面内せん断力と面外せん断力とを組み合わせた荷重により破壊される。なお、これらのせん断力は破壊継ぎ板(20cm)の両端に作用するものであるため、面外せん断力が作用した場合には引張力によって破壊し、面内せん断が作用した場合には継ぎ板内に生じる曲げモーメントによって破壊されると考えられる。以上の仮定のもとに破壊継ぎのせん断力による最大耐力を求めると、約6,200 tonとなる。

4. 保安施設の検討

鋼製水中換気管の破壊継ぎの最大耐力は、水底に在る換気所に与える影響を極力抑えるため、最小限のものとなる。このため、中、小船舶の衝突力によっても、換気管が重大な損傷、変形などを受ける危険性は十分に考えられる。これに対処するためには回避式の換気塔といえども最低限の防衛工が必要であると考えられる。また、危険船舶の接近を事前に感知して、それに応じた対策を講じ得る設備や体制を整えておく必要がある。(図-3)

参考文献

1) 今田徹、水谷敏則、木村美知秋：水底トンネルの水中換気塔構造に関する検討、土木技術資料Vol.21.No1 Jan.1979

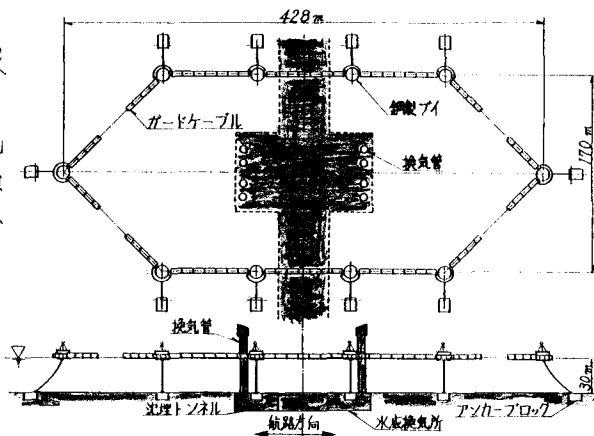


図-3 防衛工の例