

水中トンネルの現状と課題

Developments in Submerged Floating Tunnels

芳村 仁*・高橋 喜**・三上 隆*

Jin. Yoshimura, Kiichi Takahashi and Takashi Mikami

In the case of very deep-water crossings, conventional bridges and tunnels are expensive. This has lead to the development of alternative concepts for crossings. The most significant concept at the time being is the submerged floating tunnels. This paper reviews the development of design and construction techniques for these tunnels up to the present day.

Key words : submerged floating tunnel, deep-water crossing

1. はじめに

我が国に於いては、人口・産業等を首都圏集中から地方へ分散する多極分散型国土の形成が大きな課題である一方、近年の国際化の進展による、海外との交通輸送の著しい増大への対応が求められている。このため、国内の島々や隣国との間を結ぶ、長距離の海峡横断のための施設の必要性が増々高まっていくものと思われる。このとき、従来より用いられている長大橋や海底トンネル等の渡海手段で対処しようとすれば、自然地形や地質に大きく影響され、特に深い海底を通るトンネルや、船舶航行を考慮したクリアランスの大きい橋梁では、本体の建設費もさることながら、アプローチのための費用も大きく、かつ工期も長くなることが予想される。

水中トンネルは、こういった従来の構造物の抱えている問題点を解決する新しい交通機関として、またパイプライン等の物流システム、海洋性レクリエーション施設等に応用できる非常に汎用性を持つ構造形式として、土地面積の少ない我が国はもちろん世界的にも今後の海洋開発の展開に不可欠な技術として注目されている。しかし、その実施例は無く、そのため、企画計画から設計・解析、維持管理や安全性に至るまで、多岐の分野にわたり未知の課題が残されていると思われる。

ここでは、以上に述べた観点から、既に先行している代表的な海外の3つの水中トンネルプロジェクトの研究動向を述べるとともに、水中トンネルの技術開発推進を目的として、1990年に北海道に関係する産・学・官の各機関が一体となって発足した(社)水中トンネル研究調査会の概要と、その中で水中トンネルの技術に関する研究の取組を紹介する。

2. 諸外国の水中トンネル研究の動向

ここでの内容は、水中トンネルに関する今後の技術課題の抽出・整理と解析手法の調査を目的に、3.で詳述する水中トンネル研究調査会の初年度(平成2年度)研究として行った、海外の3つのプロジェクト(メッシナ海峡連絡計画、ジブラルタル海峡連絡計画、ノルウェーフィヨルド横断計画)に対する文献調査結果¹⁾に基づいて記す。

1) メッシナ海峡連絡計画

イタリア本土の最南端部と狭い海峡を隔てた位置にあるシチリア島を結ぶメッシナ海峡連絡計画は、1955年に実現性調査を開始以来、長年にわたり検討が続けられてきた。1981年のメッシナ海峡公団の設立後は、国際コンパにより選定された複数のコンサルタントグループを中心に研究が進められている。しかし、ノルウェーやジブラルタルのように国際シンポジウムが開催されておらず、公表されている研究文献数も多くはない。これまでに提案された横断計画の中で、現況では橋梁案が最も実現性が高いものと思われる。

2) ジブラルタル海峡横断計画

スペインとモロッコを結ぶ海峡連絡計画は、ヨーロッパおよびアフリカ北部への経済的・社会的意義の大きいプロジェクトとして各国の注目を集めてきた。この構想は、1979年のスペイン、モロッコ両国間での協力協定締結以来、基礎的な地質調査をはじめとする実現性調査を皮切りに、これまで3回の国際シンポジウム等を通じて検討が重ねられてきている。現在までのところ、海峡横断の方式として橋梁案、フローティングブリッジ案、掘進トンネル案、水中トンネル案などが挙げられているが、これらの単独案よりも、この中のいくつかを位置、水深、要求機能等により複数組み合わせた複合案が主流になっているようである。このため、技術的な研究も、各々の構造の要素技術に至るまで、多岐にわたり平行して進められている。なお、ジブラルタル海峡連絡計画のもうひとつの特殊性は、その規模、水深のみならず軍事、宗教、経済など多方面にわたり、多大の影響を当該地域にあたえるという点であり、技術的側面にとどまらない検討が要求されている。

このプロジェクトの場合、トンネルの機能や路線、設計条件等について統一的な見解が未だ示されていないようであるが、条件が明示されている報告を例にとれば、最大潮流速 = 2m/sec (水深 30m)、波高 = 13.5m、波長 = 200m、周期 = 11.5sec、トンネル延長 = 5km および最大水深 = 270m である。同様に、水中トンネル構造についても、各種のアイデアが提示されているが、そのうち、構造概要が明示されているものを記せば、トンネル設置位置 = 水深下 30m、トンネル断面 = 幅 42.5m × 高さ 24.0m およびアンカーピッチ = 120m であり、トンネルエレメント長 120m でエレメント間には継手が設置される。

* 正会員 北海道大学工学部土木工学科 (060, 札幌市北区北 13 条西 8 丁目)

** 正会員 北海道開発局開発調整課

以下に当プロジェクトの研究内容および成果の概要を整理しておく。

- [1] 社会性、経済性および環境：ヨーロッパとアフリカ間の輸送状況に及ぼす影響度について、様々な機関や団体が検討を行っており、年間 150 万人の移動と 2000～3000 万トンの物流が期待できるとの結果が得られている一方、技術的な面での実現可能性は認めているものの、経済的には疑問との結論も出ている。環境面では、大西洋と地中海の海水交換への影響が懸念されている。
- [2] 調査：既に深浅測量を実施しており、現地の地形図ならびに地質図が作成されてる。
- [3] 材料：鋼材より強度、耐久性が優れるといわれ、軽量化と経済性が向上する熱硬化性レジンパイプとコンクリートとの複合材料が提案されている。
- [4] 設計および解析：構造形式が確定していないこともあり、構造解析や実験は、ノルウェーフィヨルド横断計画ほど活発には行われていない。特に当該地域はプレートとプレートの境界部にあたり、地震に対する対処が要求されているが、トンネル構造体の動的挙動については殆ど研究例がない。したがって、水中トンネルの実現に向けては、今後の研究に負うところが大きいものと思われる。
- [5] 維持管理と安全性：維持管理および安全性に関わる検討の多くは、航行船舶による水中トンネルへの衝突防護に関するものである。

3) ノルウェーフィヨルド横断計画

ノルウェーは、氷河によって生じた「フィヨルド」によって陸地に深く入り込んだ湾があり、両岸は切り立ち深い谷となっている。美しい景観をかもしだす一方で、その独特な地形や経済的理由から従来はフェリーによる間接的な横断が主で直接横断する手段が無かった。そのため、フィヨルドを横断するための様々な方法が考えられている。実際には、1966 年頃からフィヨルドに橋を架けるためのノルウェー政府道路局を主体に調査や研究が進められている。研究の成果はこれまで 1986、1990 年の二回開催されている The Symposium on Strait Crossings にほぼ集約されているものと考えられる。

ノルウェーのフィヨルドは水深がきわめて深いため、従来の橋梁や海底トンネルでは機能性・経済性の面で不適となる場合が多い。この意味で、水中トンネルは有望な解決策として注目されており、今後の実現可能性も高いものと思われる。水中トンネルは各所で計画があり、計画条件、構造概要とも画一的には論じられない。一般的には、現況のフェリー輸送に代わる直接的な交通手段として、2 車線の道路トンネルが主流であり、その設置水深は海面下 30m 程度である。ただし、トンネルの延長は、メッシナやジブラルタルに比べ短く、1000m から 2000m が多いようである。当プロジェクトの研究内容および成果の概要は以下の通りである。

- [1] 社会性、経済性および環境：フェリーと水中トンネルのプロジェクトに対して地域に与える影響、時間的価値、誘発交通量、開発の観点からコスト検討され、建設コストを償還するための料金についての考えかたが議論されている。環境問題としては建設に伴う侵食が海水の状態を変化させることによる漁業への影響等が問題とされている。
- [2] 調査：地質調査の作業は大別して地質図の作成、反射波を利用した音響学的地質調査、屈折地震波調査、ボーリングの 4 項目について行っている。
- [3] 材料：海洋環境におけるコンクリートの耐久性について研究を行っている。それによれば、鉄筋の腐食やコンクリートの凍結融解作用による損傷等に抵抗するためには海水に対するコンクリートの透過性を極力小さくする必要があり、水と（セメント＋シリカフェューム）比（ $= W/(c+s)$ ）の値を小さくする必要性を述べている。
- [4] 設計および解析：構造物の設計に用いる外力は、概ね極地風、潮流、波浪、内部波が主要なテーマとなっており、数値解析と水理模型実験を併用して研究が行われている。数値解析の手法は FEM、境界積分法、ストリップ法等を用いて規則波および不規則波に対して周波数応答解析を行っている。水理模型実験は 2 次元及び 3 次元水理実験を大型水槽を用いて行っており、規則波、不規則波、衝撃波を作用させ構造物の変位、応力等を周波数応答解析を行っている。実験結果から衝撃波法が実験手法として合理的であることが述べられている。水中トンネルの固定方法としてグラウトアンカーを例に地盤への伝達能力、形式最小幅に於ける荷重の分散方法などが検討されている。また、特異な例としては水中トンネルをアンカーなしで固定する方法なども提案されている。
- [5] 維持管理および安全性：ノルウェーのトンネルに関する統計、事故に関する調査、トンネル内異常通報、安全性評価、対策等に関する統計について報告されている。またトンネル内の換気をモニターする流速測定装置についても報告されている。安全対策として道路トンネル内覆工に対する実規模火災テスト、電子機器による監視、制御および管制、安全設備などについて検討している。

これらのプロジェクト例はいずれも現在の建設技術のポテンシャルで十分実現可能であると考えられるが、次のような要素技術の開発を押し進めることにより、実現が促進されるものと思われる。すなわち、調査段階では自然条件・環境条件の把握・予測技術の開発、計画段階では経済波及効果と最適な事業化の予測シミュレーション技術の開発、建設後の環境予測シミュレーション手法の確立、施工段階では施工システムの開発、材料に関しては、高強度・軽量・高耐久性コンクリートの開発、維持管理に関しては、構造物の防災・避難手法とシステムの確立、また設計段階では動揺・係留等の動的構造解析手法の確立などが挙げられる。いずれにせよ、水中トンネルは我々にとって未経験の構造物であり、船舶や地盤に固定された構造物とはかなりの部分で差異があることを念頭におく必要があり、特に以下の点に留意すべきと考えられる。

- [1] 動揺や安定性が使用上の大きな制約になる。
- [2] 構造物の総合的な安全性の評価を行うには、動揺・係留力・強度等がお互いに関連し合ったものとして取り扱う必要があり、外力・運動等の非線形性も適切にしかも全体の中でバランス良く考慮されなければならない。
- [3] 我が国のような地震多発地帯では、海震の影響を明らかにする必要がある。

3. 水中トンネル研究調査会

1990 年、北海道に水中トンネル研究調査が発足し、5 年計画で水中トンネル技術の開発が実施されている。ここでは紙数の関係

上、調査会の概要とこれまでの研究の取組みを述べる。

1) 設立目的および研究体制

北海道は幾つかの離島を抱えるほかに噴火湾のバイパス構想があり、さらに近年では特に北方四島やサハリンとの交流がクローズアップされている。これらの地域間の交流、物資流通等を今後一層図る上で、水中トンネルを応用した施設整備が検討、具体化されることは、国際的見地からも経済的、社会的、文化的な面にもたらす影響が非常に大きく、地域への波及効果は著しいと思われる。

このような背景のもとに、水中トンネル研究調査会は、北海道大学、室蘭工業大学、北海道開発局と民間会社 30 数社からなる産・官・学の研究体制で、水中トンネルの技術開発の推進と今後国内外への水中トンネル構造の情報発信基地としての役割を担っていくことを目的に、1990 年 5 月に発足した。

調査会では、運営委員会と 7 研究小委員会からなる技術委員会が連携をとりながら、5 年間で以下のような内容の研究・調査を行うことにした。表-1 に各研究小委員会の研究概要と研究項目を示す。

全体研究開発スケジュールは、初年度（平成 2 年度）は水中トンネル技術に関する文献収集と整理、水中トンネルの基本形状の設定およびそれに対する予備実験を行い、2 年度（平成 3 年度）～4 年度（平成 5 年度）では初年度で抽出された技術検討課題に対する解析的・実験的研究を推進し、最終年度（平成 6 年度）ではケーススタディを行いマニュアルを作成する予定である。研究開発にあたっては、小委員会相互に密接に関連する技術検討課題が数多く存在するため、各小委員会相互の協力を得ながら総合的に取り組んでいる。

2) 初年度と 2 年度の研究経過

(1) 初年度（平成 2 年度）

文献調査：国内外の既往技術を調査検討し、文献収集・抄録等を作成した。2. で述べた海外の水中トンネルプロジェクトに関する調査および水中トンネル計画を推進していく上で必要と思われる技術課題のうち、各小委員会に係わるものを調査した。成果はそれぞれ、「共通文献調査報告書」¹⁾および「平成 2 年度各小委員会報告書」²⁾の中に収められている。

モデル地区および水中トンネルの基本形状等の設定：水中トンネル建設のモデル地区には種々の海象に関する研究・調査のデータが

表-1 各小委員会の研究概要と研究項目

研究小委員会	研究概要	項目
構造	水圧や内部からの荷重のほか波浪、潮流、地震等の外力条件に対する水中トンネル構造の静・動力学的解析手法の確立とシミュレーション解析を行い、トンネルの最適形状を開発検討する。	(1) モデル設定 (2) 文献調査 (3) 試設計 (4) 技術課題抽出検討 (5) 数値シミュレーション解析 (6) 構造検討 (7) 基本設計・まとめ
流体力	海象データにより函体にかかる波浪や海流等の条件を推定し、水理模型実験を実施して構造物の動的挙動を把握し、最適な係留システムの検討を行う。	(1) 海象調査 (2) 流体力評価 (3) 制御技術の開発 (4) 2 次元・3 次元実験 (5) ケーススタディ・まとめ
材料	構造物を構成する各種の部材について、強度、耐久性、止水性等に対する試験研究を行い、さらに使用材料として重要な高性能コンクリート、金属材料、FRP 系材料等の新素材の開発、適用性を検討する。	(1) 高性能コンクリート (2) 防食 (3) FRP 等構造材料 (4) 函体相互の継手（止水材料） (5) 係留材 (6) まとめ
施工	施工法について、既存施工技術での適応性を探りつつ、既存技術で不十分なものについては新しい施工技術の研究・開発を行い、施工システムの検討を行う。	(1) 施工技術調査 (2) 施工システム (3) 施工技術開発 (4) まとめ
維持管理環境	平常時・異常時における水中トンネル内の安定性、快適性を維持するためのシステムおよび、水中トンネルが外部環境に与える影響について検討する。	(1) 内部環境維持 (2) 外部環境への影響 (3) 異常時の安定性 (4) まとめ
事業化	事業化に向けての課題の抽出構造化の調査を行い、解決策の策定および需要推計、ならびにネックとなる法令、制度の調査研究を行う。	(1) 事業化の課題抽出・構造化 (2) 地域社会に及ぼす影響調査 (3) 利用動向と需要推進 (4) 社会・経済的便益推計 (5) 法令・制度 (6) まとめ
海底土質	海底地盤特性の調査を行うとともに、海底地滑り、液状化等に対する地盤の安定性やアンカーの引き抜き抵抗に関する検討を、地盤一構造の連成系の立場から行う。	(1) 海底地盤調査（法） (2) 基礎の設計 (3) 海底地盤の安定性 (4) アンカーの引き抜き抵抗 (5) 地震動 (6) まとめ

豊富に蓄積されている噴火湾を選び、室蘭―砂原間の直線 30km にルートを設定した（図－1 参照）。最大水深は約 100m である。

水中トンネルの技術開発には、多くの検討課題が存在し、しかも数多くのパラメータにより複雑な関連しあっているため、各課題を独立に研究していくことが難しい。このため、各小委員会に共通の基本形状を試設計レベルで定め、五か年の研究の中で適宜修正を加えながら、最終形状を求めることにした。このような理由により、図－2 に示すトンネル用途を鉄道・道路案と道路専用案の 2 タイプにし、係留索は、TLP 等の使用実績を基に、直径 70～100cm 程度の中空高張力鋼材を想定し、その配置形状は相異なる 3 タイプを取り上げた（図－3）。またトンネルは海水面からトンネル天端まで 30m の位置に設置し、係留索の間隔はトンネル軸方向に 50m ビッチで配置するものと仮定した。さらに、モデル地区の波浪条件として、再限期間 100 年の値を用いることにし、波高 $H_{max}=18.6m$ 、周期 $T_{1/3} = 13.0sec$ に設定し、潮流は $v=60cm/sec$ とした。

(2) 2 年度（平成 3 年度）

各小委員会の 2 年度の研究項目および検討内容を表－2 に示す。得られた成果の幾つかは、当シンポジウムにて公表予定^{3,4)}であり、他の成果は別の機会にて発表予定である。

表－2 各小委員会の研究項目と検討内容（平成 3 年度）

研究小委員会	検討内容
構造	(1) 試設計：前年度（平成 2 年度）に実施した波浪に対する動揺検討に引き続き、水中トンネル全般にわたる構造的な特徴を把握するため、試設計を行った。すなわち、地震や船舶衝突の影響等も加味して基本的な動特性に関する検討を行ったほか、トンネル軸方向および軸直角方向の断面部材の検討や、流体力研究小委員会から提案された比重の低減の可能性についても検討を加えた。試設計における主な検討項目は、時系列解析手法の検討（係留索の非線形性や不規則波の外力を想定した）、水平・鉛直方向の地震動下の挙動の把握、および船舶衝突時の検討（衝突の可能性や衝突後のトンネルの挙動）およびトンネル軸方向部材・トンネル軸直角方向部材の検討である。 (2) 技術課題の抽出・検討および構造検討：試設計や流体実験等を通じて出てきた各種の課題や、今後の水中トンネルの研究に必要と思われる問題点を抽出し、検討を行った。主な検討課題は荷重分類と安定性の検証水準、変位等許容値の設定、地震時流体力の評価、およびケーブルの配置・種類・定着方法の検討である。
流体力	(1) 2 次元水理実験：図－3 に示された 3 つの係留方式に対して、トンネル比重、トンネル径、係留角度、周期および波高をパラメータとする規則波による実験（Froude 相似則：1/62.16）を実施し、係留索の動的特性の検討を行った。 (2) トンネルに作用する流体力の評価：(1) の実験結果に基づき、流体力評価に一般的に用いられる Morison 式に現れる係数の算定を試み、また境界要素法により求められた流体力と実験値の比較検討を行った。
材料	(1) 暴露試験：水中トンネルを構成する材料の海水中およびスプラッシュゾーンにおける暴露試験の実施計画を作成し、暴露試験用の架台の沈設および取付けを行った。 (2) 室内試験：暴露試験に使用する材料についての基礎資料を得るために、室内試験を実施した。 (3) 係留材：係留材に関する文献調査、各種工法による試設計および比較検討を行った。
施工	(1) 関連施工技術の把握：前年度行った水中トンネル施工に関する既存技術の文献調査に基づき、技術の適用可能性を見いだすべく沈埋トンネル、TLP を中心に胴体製作、仮置、曳航、沈設等の 7 工種ごとにその技術把握を行った。 (2) 施工法の概略検討：構造研究小委員会で検討している水中トンネルの形状、断面、設置水深等の前提条件より基本的施工フローを作成し、各工種別に施工の概略検討を行った。 (3) 当該海域自然条件の調査整理：噴火湾の湾口中央部における施工制約条件を見いだす目的で、当該海域の波浪特性の推定を室蘭港、白老港の波浪観測データおよび湾口潮流を考慮し、各波高レンジ毎の月別出現頻度を整理した。 (4) 施工上の制約条件の整理：施工関連機械の現状と適応性について各工種ごとに調査し、その中から予想される主要な作業船舶の作業限界を整理した。
維持管理環境	(1) 事例調査：トンネル内の防災対策として、道路・鉄道トンネルの防災対策を調査し、水中トンネルにおける基本的な防災対策の検討を行った。 (2) 地域社会環境のシミュレーション：噴火湾沿岸地域の市町村の調査により、社会環境図の作成の基礎的なデータ収集を行った。これらのデータをもとに地域ダイナミックモデルを作成し、得られたパイロットモデルにより、想定されるインパクトについてシナリオの作成を行い、シミュレーションを試みた。 (3) 換気設備の検討：横流式換気および縦流式換気方式について、必要換気量の試算を行い、換気施設設置計画の検討を行った。
事業化	(1) 噴火湾ルートおよび周辺地域の現地調査：現地調査から得られた水中トンネルに関する課題や意見を層別し、KJ 法により構造化図で整理した。 (2) 稚内・利尻・礼文現地調査：離島の利便性を評価し離島交通のあるべき姿を明らかにするために、地理的条件や人口規模の他に島内機能に関するものと、周辺環境に関する条件を加味した分類指標により、評価を試みた。 (3) 国際交通網のヒアリング調査：水中トンネルの国際間ルートとして考えられる稚内～サハリン州について、稚内地域での現地調査および考えられるルートでの水中トンネルの利用法等について、ヒアリングを実施した。
海底土質	(1) 海底地盤調査計画：特に大水深下で広範囲にわたる海底地形や土層構成を調査するための広域探査技術あるいはサウンディング・サンプリング技術を中心に適用範囲、調査精度などについての現状を調査した。 (2) 基礎の安定解析：洗掘、斜面安定など海底地盤そのものの安定解析および基礎構造物の安定解析について現状で最適と思われる解析手法をとりまとめた。 (3) 解析プログラムの現状調査：基礎の安定解析プログラムに関するアンケート調査実施し、プログラムの主たる機能、特徴、入出力などをとりまとめた。 (4) 基礎の概略検討：基礎の概略規模やモデル地盤・荷重規模に適した基礎形式を把握するため、基礎の概略設計を実施した。 (5) 地震活動：噴火湾の海底地盤や地震活動に関する既存資料調査を実施し、モデル地盤を対象に 1 次元動的応答解析を行い海底面における応答加速度の試算を試みた

表－3 平成4年度の各小委員会の研究テーマ

研究小委員会	研究テーマ
構造	(1) 3次元数値解析：トンネルジョイント部の特性も踏まえた、入射角を有する規則波、地震波および不規則波による3次元動揺検討を行う。また鉛直方向動揺特性の改善に関する検討を行う。 (2) 波浪による振動解析結果の可視化（CG化）：トンネル利用者の立場から、波浪や地震作用を受けたときの様子をCG化するための、基礎的調査検討を行う。 (3) 構造検討：換気塔部、トンネル本体部およびジョイント部、係留索および係留索取付部など、3次元的な影響を持つ各部の構造検討を行う。 (4) 技術課題の検討：トンネル利用者の心理面・生理面および安全面検討のための基礎調査として、変位等許容値の設定に関する研究を行う。
流体力	(1) 海象調査：海象調査は水中トンネルの作用外力の基本的項目について調査を行い、マニュアル作成の資料収集と整理を行う。検討事項としては波浪、津波、潮流に対して行い、施工時、常時、異常時の考え方についてまとめる。 (2) 流体力数値解析と制御技術の研究：トンネル形状が変化した場合の作用波力と係留力に対する数値シミュレーションによる予測技術の確立を行う。 (3) 2次元水理本実験：係留索の「スラック」発生原因の究明を主目的に超音波式変位計を用いて水中トンネルの微小変位を測定するとともに、波圧計による作用外力の測定を行う。
材料	(1) 水中トンネル材料暴露試験：海水中における各種防食法、防水法、コンクリート、FRP、継ぎ手材についての性能評価およびGFRP、AFRP、CFRP等新しい補強材に関する実験研究を目的に、これらの海水中およびスプラッシュゾーンにおける暴露試験を行う。 (2) 防食法の経済比較、トンネル本体のハイブリッドの構成方法に関する研究を行う。 (3) 係留材に関する検討：TLPに採用されている係留材の試設計による調査研究を行う。
施工	(1) 既存施工技術での適応性検討：函体製作から基礎構築、曳航、沈設、係留索取付け、函体接合等各工種ごとの施工検討を行う。 (2) 施工上の重要課題の抽出：施工検討の中から各工種ごとに重要課題を抽出し、問題点の整理を行う。また問題点の解決方法についても調査研究する。 (3) 新しい施工技術開発テーマの模索：構造研究小委員会による水中トンネル構造の提示を受け、将来建設可能にするための開発テーマの模索を行う。
維持管理環境	(1) 安全設備の検討：防災施設、安全施設、避難施設等のシステム、設置位置、規模等を明らかにし、これらの施設のトンネル断面内における占有状況を検討する。 (2) 環境シミュレーション：水中トンネル建設に伴う自然環境、社会環境の変化について噴火湾をモデルにシミュレーションを実施する。 (3) 換気設備の検討：電気集塵機を設定した場合の設備仕様、付帯設備を明らかにし、換気塔についてその仕様を明らかにする。
事業化	(1) 水中トンネルの優位性の評価：水中トンネルと橋梁、海底トンネル、沈埋トンネル等、他工法との比較検討を行い、水中トンネルの優位性、必然性の評価を行う。 (2) 経済効果予測のための資料調査：事業予測を行うための類似施設に於けるコスト予測資料の調査を行う。 (3) 対象地域ヒアリング調査：水中トンネルの社会的効果を計測するために、対象地域でのヒアリングを主体とする調査を実施する。
海底土質	(1) 地震動の研究：噴火湾を対象にし地震危険度解析による設計加速度の検討および断層モデルを用いた人工地震波を作成する。さらに、上下動地震波の特性を調査し適切な設計加速度を設定する。 (2) 基礎の基本設計：沖積、洪積層地盤を対象とした杭式基礎と凝灰岩地盤を対象としたアンカー式基礎の基本設計を行う。 (3) 基礎の安定解析手法の研究：波浪、地震による過剰間隙水圧を考慮したすべり解析を行う。

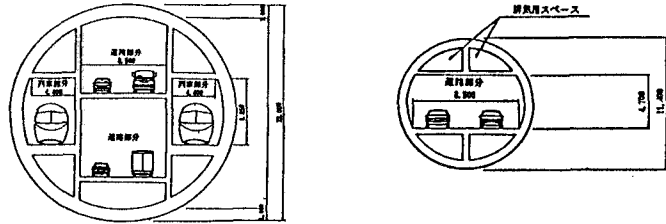
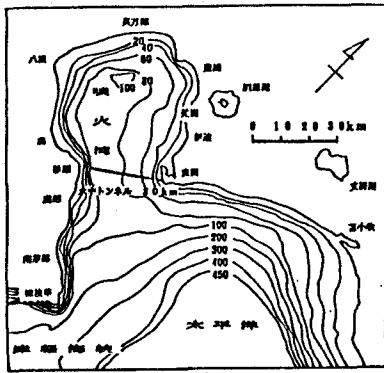


図-2 トンネル断面図

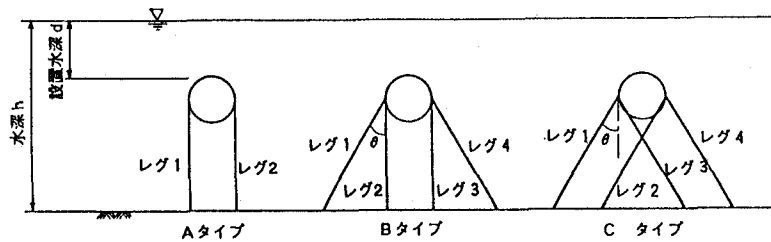


圖-3 係留索形狀

3) 3年度(平成4年度)の研究テーマ

今年度の各委員会の研究テーマは表-3の通りである。

4. むすび

本稿は、水中トンネル技術に対する諸外国の研究動向と、道内に発足した（社）水中トンネル研究調査会の概要およびその中での水中トンネル技術開発に関する取組み方を述べたものである。水中トンネルは、今後の海洋開発の展開に不可欠な技術として世界的にも注目されているが、実施例ではなく、解析手法の確立や安全性の評価などをはじめとして解決しなければならない問題も数多く残されており、調査会での研究成果への期待は大きいと言える。研究は官・学の委員ならびに参加各社会員のご支援のもとに遂行されており、ここに記して謝意を表するとともに、以下に参加 34 社を紹介する。

伊藤組土建、岩倉建設、大林組、オリエンタルコンサルタンツ、鹿島建設、熊谷組、鴻池組、五洋建設、清水建設、新日本製鉄、大成建設、竹中土木、田中組、地崎工業、東亜建設工業、東洋建設、戸田建設、飛鳥建設、西松建設、日本鋼管、日本国土開発、間組、原田建設工業、菱中建設、日立造船、北旺建設、北海道開発コンサルタント、北海道機械開発、北海道電力、北興工業、前田建設工業、三井建設、横河ブリッジ。

参考文献

- 1) 水中トンネル研究調査会 (1991), 共通文献調査報告書
- 2) 水中トンネル研究調査会 (1991), 各小委員会報告書
- 3) 蟹江他 (1992), 波浪作用下の水中トンネルの解析的研究, 第 17 回海洋開発シンポジウム
- 4) 国栖他 (1992), 波浪作用下の水中トンネルの挙動に関する実験的研究, 第 17 回海洋開発シンポジウム
- 5) 蟹江他 (1991), 波浪作用を受ける水中トンネルの動的挙動について, トンネル工学研究発表会論文・報告書 (第 1 巻)