

ボスポラス海峡横断鉄道トンネル建設工事における流況解析とその予測について

大成建設（株）技術センター	正会員	○織田 幸伸
大成建設（株）国際支店	正会員	伊藤 一教
大成建設（株）技術センター	正会員	上野 成三
大成建設（株）国際支店	正会員	小山 文男
（株）パシフィックコンサルタンツインターナショナル		栄枝 秀樹

1. はじめに

現在、イスタンブールの中心部を東西に結ぶ鉄道専用トンネルを施工中であり、このうちボスポラス海峡を横断する部分を沈埋トンネルで施工する（図1参照）。トンネルの最深部は約60mとなり、世界最深の沈埋トンネルプロジェクトとなる。ボスポラス海峡は黒海とマルマラ海をつなぐ長さ約30kmの海峡であり、黒海からマルマラ海へと流れる表層流と、マルマラ海から黒海へと逆流する底層流による2層流となっていることが知られている。表層の流れは最大4ktを超え、沈埋トンネルの施工においては、流況を正確に把握することが重要となる。

本研究の目的は、設計及び施工計画のために流況構造を解明すること、および沈埋函設置時の流況を予測することであり、図2に示す3つの技術要素で構成される。なお、各技術の詳細については別の機会に報告し、ここでは各技術の概要とこれら要素技術がどのような関係にあるかについて述べる。

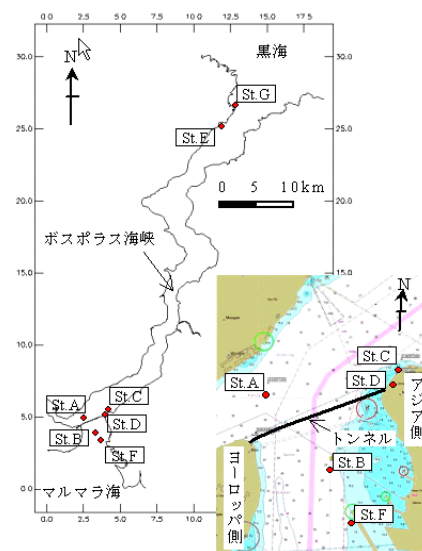


図1 トンネル位置と観測点

2. 要素技術の概要と各要素技術の関係

1) 流況・気象モニタリング

図1に示す様に、定点観測として、トンネルライン周辺の流況を海底設置型の ADCP により St. A～C の3点で、海峡両端の水位、水温等を St. D, E で、風速、気圧の気象データを St. F, G で連続計測している。また、トンネルライン上の断面流速分布を船舶搭載型の ADCP で1.5ヶ月に1回計測している。

図3～5に観測結果の一例を示す。観測期間はトンネル沈設開始までの1年間であり、その後は後述する流況予測のためのオンラインモニタリングを行う。図3では、気圧の移動により風速が大きくなると、南北両端の水位差が大きくなり、それに応じて流速が大きくなっている状況が読み取れる。図4、5はそれぞれ、St. A～Cの流速鉛直分布、トンネルライン上の流速断面分布であり、上層の南流、底層の北流の様子が計測されている。

2) 数値シミュレーション

数値シミュレーションは、ボスポラス海峡全体を対象とし、ほぼ図1と同じ範囲を計算対象とした。主な計算は、流況構造の解明と後述する内挿関数の算出を目的としたパラメータスタディであり、

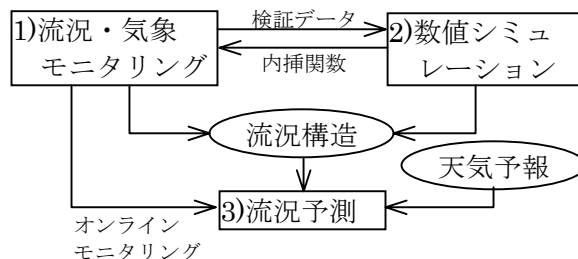


図2 各要素技術の関係

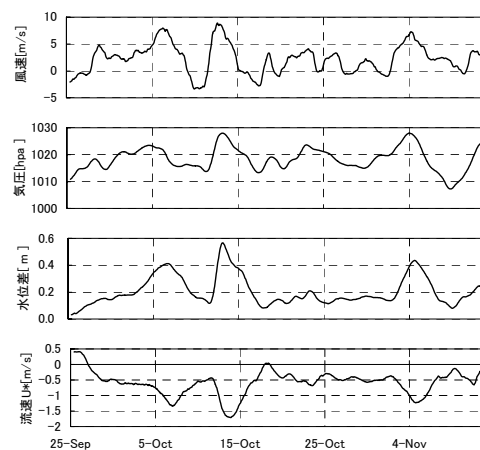


図3 観測結果の時系列

キーワード ボスポラス海峡、沈埋トンネル、流況解析、流況予測

連絡先 〒245-0051 神奈川県横浜市戸塚区名瀬町344-1 大成建設（株）技術センター TEL 045-814-7234

現地の実際の現象をそのまま再現するものではない。境界条件として、観測結果を参考に南北両端の塩分、温度の鉛直分布をステップ分布で与え、また両端の水位差を-10cm~80cmに変化させながら流況シミュレーションを行った。図6、7は南北両端の水位差を15cmとした時の計算結果であるが、海峡内の塩分境界層や、表層の南流、底層の北流の発生が計算結果に現れている。図7と図5を比較すると分布形状はよく一致し、計算結果の妥当性が検証された。

3) 流況予測

沈埋函の沈設は、函体をドックから曳航してから48時間の連続作業となる。また、係留システム等の沈設設備は3m/sの流速で設計されている。したがって、48時間の流況予測により流速3m/s以下となることを確認した後、沈設作業開始の最終判断を行う。また、沈設作業船のアンカーの設置位置を調整するためにも、流況を予測する必要がある。これらの目的のため、前述したオンラインモニタリングの結果と天気予報からトンネルライン上の流況予測を行う。図8は、風速と水位、水位と流速の関係の一例であるが、これらの関係を用いることにより、天気予報の風況予報値から流況の予測を行うことが可能となる。図8から分かるように、水位差と流速の相関はきわめて高く、水位差と風速、潮汐等の関係を今後の長期観測から明らかにすることにより、精度の高い予測モデルを構築することが出来る。

4) 各要素技術の関係

以上の各要素技術の関係を図2に示す。モニタリングにおいて、トンネルラインの断面流速分布は1.5ヶ月毎の不連続なデータとしてしか得られない。しかし、これらが最大流速等の特徴的な流況状況を捉えらるゝは限らず、施工計画、設計のためには断面分布の連続データが必要である。そこで、数値シミュレーションの結果をもとに、St. A~Cの鉛直流速分布からトンネルライン上の流速断面分布を算出するための内挿関数を求めた。これにより、St. A~Cの連続データから断面流速分布の時系列データを算出することが出来る。また、数値シミュレーションに関しては、モニタリングにより得られた観測結果をもとに、境界条件の妥当性を検証している。次に、モニタリング及びシミュレーションの結果をもとに、風と水位、水位と流速、境界面深さ等の流況構造や応答特性を明らかにし、流況予測モデルを構築する。流況予測のインプットは、上述のモニタリング地点もしくはそれに準ずる地点におけるオンラインモニタリングの結果と天気予報の風況予測値であり、モニタリング結果をもとに算出した全体流況を初期条件として、風況予測値、潮汐、季節変化のモニタリング結果から流況の変化を予測し、24時間以上の流況予測を行う。

3. おわりに

ボスボラス海峡の沈埋トンネル施工にあたり、流況に関わる3つの要素技術の概要とそれらの関係について述べた。現在、数値シミュレーションについてはほぼ終了しており、モニタリングは連続観測を継続中である。今後、これらのデータをもとに流況予測モデルを構築する予定である。

参考文献

1) 織田幸伸, 伊藤一教, 高山百合子, 上野成三, 栄枝秀樹: ボスボラス海峡横断鉄道トンネル建設工事の施工支援ツールとしての3次元流動シミュレーション, 第30回海洋開発シンポジウム, 投稿中。

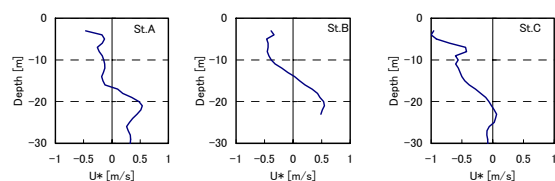


図4 流速の鉛直分布

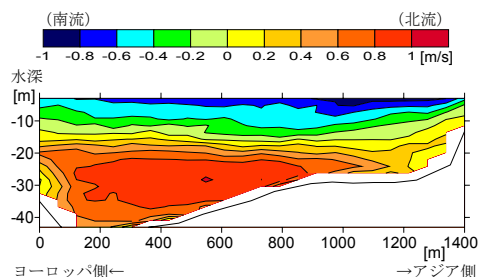


図5 流速の断面分布

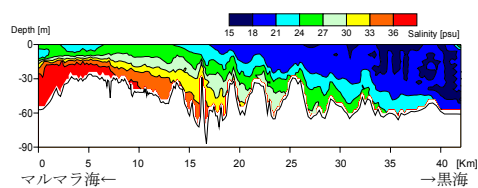


図6 塩分の縦断面分布

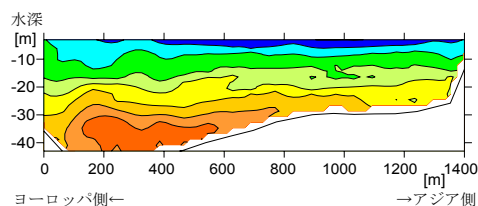


図7 流速の断面分布

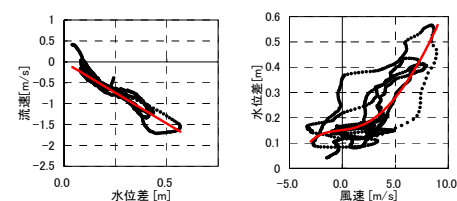


図8 風速-水位差-流速の関係