

ボスポラス海峡横断鉄道トンネル建設工事における沈設時の函体挙動に関する実験的検討

大成建設（株）	正会員	○本田	隆英
大成建設（株）	正会員	織田	幸伸
大成建設（株）	正会員	上野	成三
大成建設（株）	フェロー会員	八重田	義博
大成建設（株）	正会員	伊藤	一教

1. 目的

現在、トルコのボスポラス海峡にて全長 1.4 km の沈埋トンネルを施工中である。トレンチ周辺の流況は非常に複雑であることから、沈設時におけるトレンチ周辺の函体挙動を事前に把握しておくが、施工上必要とされた。そこで本研究では、沈設時の函体挙動に関する水理模型実験を実施し、トレンチ周辺での函体挙動特性およびその周辺の流況特性について検討した。

2. 実験方法

図 1 に示すように、トレンチ（幅 87.3 m、深さ 14.2 m）に函体（幅 15.3 m、高さ 8.6 m、水中重量 44 kN/m）を 4 種類の高さに配置し、定常流（平均流速 $U = 1.0, 1.3, 2.1$ m/s）を作用させた。トレンチ外の水深は 43 m、模型縮尺は 1/80 である。図 1 は抗力計測時の状況であり、吊下げワイヤーおよび抗力計測ワイヤーにより函体を支持して、ロードセルにより函体に働く抗力を計測した。流況計測時は、函体を水路壁面に固定して、函体周辺の流況を電磁流速計により計測した。函体沈設挙動の確認は、抗力計測ワイヤーを取外し、吊下げワイヤーのウインチ操作により函体を降下させながら、挙動を観察した。

3. 結果および考察

図 2 に函体がトレンチに進入する際の周辺の流況を示す。函体下側に回りこむ流れや函体背後における流れの停滞、トレンチ内の上流側に発生する時計回りの循環渦などの流況特性が明確に捉えられた。これらの特性は、流速によらず一様に確認されている。また図 2 (a) と (b) を比較すると、函体がトレンチに進入することにより、函体下側に回り込む流れの流速が顕著に小さくなることが分かる。図 3 には、函体を設置しない場合のトレンチ中央における流速鉛直分布を示す。流速の大きさに関わらずトレンチ内では流速が低減し、トレンチの底面付近では循環流による逆向きの弱い流れが発生していることが分かる。

別途実施した鉛直一様流中における抗力計測実験から、函体の抗力係数として 1.5 を取得した。同値と図 3 で取得した流速鉛直分布から函体に働く抗力を推定し、実測結果とともに図 4 に示す。流速分布が鉛直方向に変化する場合についても、函体の推定抗力はトレンチ底面から上方にかけて実測値と良く対応しており、トレンチの内外に関わらず函体中心部の流速により抗力を精度良く推定できることが示された。

次に、推定抗力および函体の水中重量から、函体の水平変位を算出したものを、函体挙動確認実験で得られた函体変位の実測値とあわせて図 5 に示す。 $U = 1.0$ m/s に着目すると推定値と実測値は良く一致しており、トレンチ内における流速および抗力の減少にともな

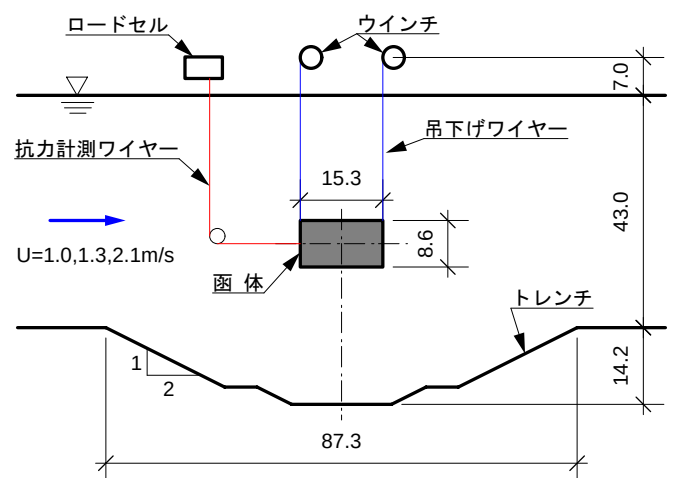


図 1 函体およびトレンチの断面形状（単位，m）

キーワード 沈埋トンネル，トレンチ，抗力，動揺，カルマン渦

連絡先 〒245-0051 神奈川県横浜市戸塚区名瀬町 344-1 大成建設技術センター TEL045-814-7234

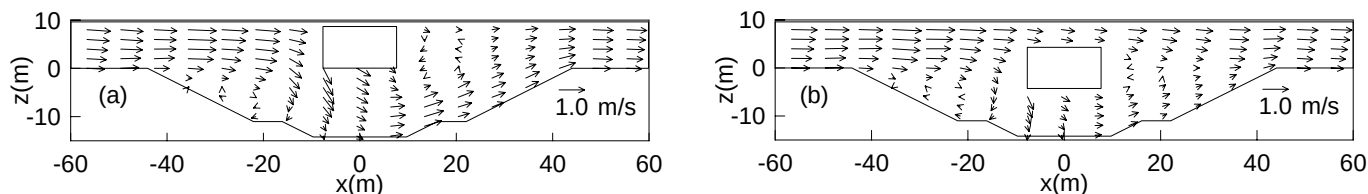
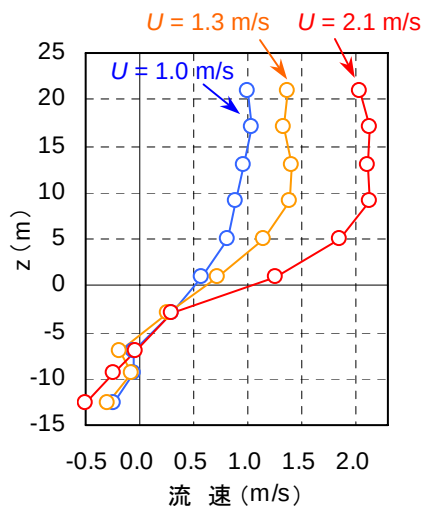
図2 トレンチ周辺の流速分布 ($U = 1.0 \text{ m/s}$)

図3 流速鉛直分布

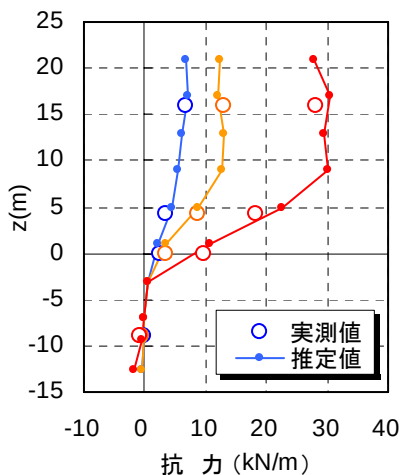


図4 抗力鉛直分布

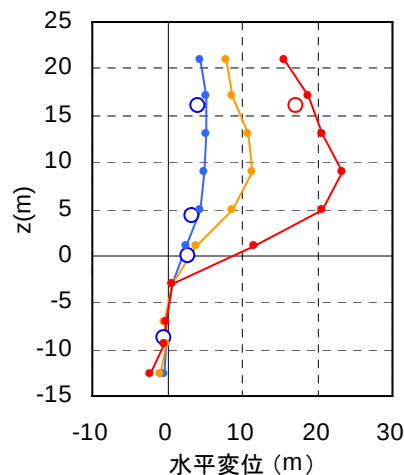


図5 函体の水平変位

って函体変位は小さくなることが確認された。これより、トレンチ進入前に函体に比較的大きな水平変位が発生していても、函体がトレンチに進入すれば、函体変位は急激に小さくなり、函体はトレンチ法面に衝突することなく沈設可能であることが示された。ただし、 $U = 2.1 \text{ m/s}$ のケースについては、トレンチから函体下側に強い流れが作用するため函体がトレンチ下流へ 40 m 以上流され、水理実験では推定結果を大きく上回る函体水平変位が確認された。また、吊下げワイヤーのウインチ操作により函体をトレンチ内に引き戻すことは不可能であった。

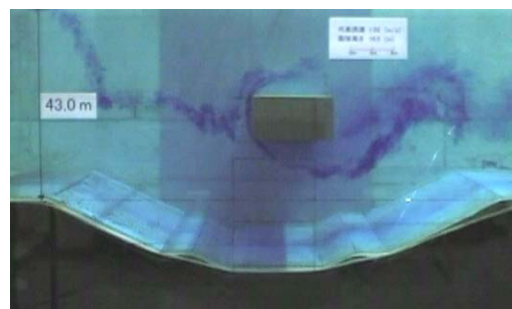
函体沈設挙動の確認実験においては、函体背後にカルマン渦が発生し（写真1）、函体に最大 2 m （両振幅）、周期 45 s 程度の水平動揺が発生した。この動揺は $U = 2.1 \text{ m/s}$ で函体がトレンチに進入する前にのみ発生し、 $U = 1.0, 1.3 \text{ m/s}$ や函体がトレンチ内に位置する場合では顕著な動揺は見られなかった。カルマン渦による励起動揺周期 T_w は、 D : 函体の高さ、 S : ストローハル数とすると、次式により求められる。

$$T_w = \frac{D}{SU} \quad (1)$$

上式に $U = 2.14 \text{ m/s}$, $D = 8.6 \text{ m}$, $S = 0.08$ ($B/D = 2$ とした; B : 函体の流れ方向の長さ) を代入すると、 $T_w = 51.2 \text{ s}$ が得られる。函体の動揺周期（約 45 s ）がカルマン渦による励起動揺周期 $T_w = 51.2 \text{ s}$ とほぼ一致していることから、この動揺はカルマン渦による動揺であると考えられる。

4. 結 論

水理模型実験により、沈設時の函体挙動とその原因について解明した。函体には、流速によって大きな変位やカルマン渦による動揺が発生するものの、函体がトレンチ内に進入すれば流体力による作用が急激に減少し、変位および動揺はほとんど発生しないことが確認された。

写真1 カルマン渦の発生 ($U = 2.1 \text{ m/s}$)