

フード構造物への日射影響に関する研究

東海旅客鉄道（株） 正会員 ○市川嘉一 有田貴司 石井啓稔 大森洋志
ジェイアール東海コンサルタンツ（株） 岡島広樹 安部明裕 渥美浩和

1. はじめに

当社は、東海道新幹線による大動脈輸送を2重系化するため、2027年の開業を目標に超電導リニア方式（超電導磁気浮上式鉄道）による中央新幹線の建設を進めており、環境保全対策（沿線騒音等）については防音壁や防音防災フード（断面がトンネル断面と同じ形状であり、コンクリート製で製作することで車両から生じる走行音が外部に漏れるのを遮断する構造物）を計画している。屋外に設置されるフード構造物については、日射により温度上昇が考えられるが、その熱的性質を定量的に把握し、構造物の温度を予測する技術を確立することは設計、維持管理を行っていくうえで非常に有用であるが、実構造物で実測した事例が少ない。

本稿では、山梨リニア実験線（以下、実験線）に敷設されているフード構造物において、日射量やコンクリート内外壁面の温度等を実測した。さらに温度予測技術の確立を目指し、一次元熱伝導方程式に基づく数値計算によりフードの熱物性値に関するパラメータスタディの結果を報告する。

2. 実験線フード構造物での実測

実験線のフード構造物を用いた測定項目を図-1に示す。測定日時は2018年8月14日6時～18時であり、1分間隔でデータを取得した。天候は概ね晴れ（ときどき曇り）であり、測定時に列車は走行していない。

外気平均放射温度 Tr [°C]はグローブ球温度 Tg [°C]などの実測値から式(1)、全天日射量 qs [W/m²]は式(2)を用いて求めた。

$$Tr = \{(Tg + 273)^4 + 2.5 \times 10^8 v^{0.6} (Tg - Ta) / \alpha_r\}^{0.25} - 273 \quad (1)$$

$$qs = \sigma (Tr + 273)^4 \quad (2)$$

ここに、 Ta ：外気温度[°C] v ：風速[m/s]、 α_r ：放射率(グレーに着色のため0.7に設定)、 σ ：ステファン=ボルツマン定数(=5.67×10⁻⁸[W/m²K])

グローブ温度計は球形であるため測定した平均放射温度は日陰側と日向側の平均値を表していると考えられるが、コンクリート壁面の測定点が日向側にあることから平均放射温度 Tr を日向側の放射温度 Tr' に補正することとした。日陰側の温度は外気温度と同じ Ta 、日向側の温度は Tr' 、その平均を $Tr = (Ta + Tr')/2$ とすると $Tr' = 2Tr - Ta$ となる。また、グローブ球温度計のレスポンスが遅いことを考慮し、計算では Tg は60分遅い時刻の値を用いた。

全天日射量 qs について、全て実測値を用いて式(1)、(2)で計算した結果と、外気温度と外気風速についてはアメダス値(甲府気象台)を用いて計算した結果を図-2に示す。夏季快晴時における正午の全天日射量は1,000[W/m²]程度と言われており、外気温度と外気風速にアメダス値を用いた計算値は概ね整合しているが、全て実測値を用いた算出値は6割ほどの値となった。この要因については、外気温度と外気風速の実測値をそれぞれ図-3、図-4にアメダス値とともに示すが、外気温度の実測値は(とくに午前中に)アメダス値より高い値、外気風速の実測値

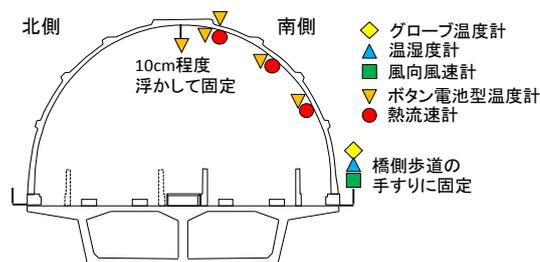


図-1 実験線フード構造物での計測項目

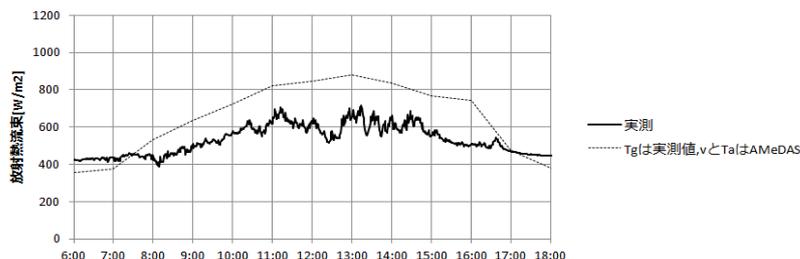


図-2 全天日射量

キーワード：、フード構造物、日射量、対流熱伝達速度

は全期間でかなり小さい値を示しているため、これらの計測機器を設置した場所(橋側歩道上)が適切でなかった可能性が高い。このため、対流熱伝達速度における外気温度と外気風速についてはアメダス値を用いることとした。

3. パラメータスタディ

フード外壁面が受ける実質的な放射熱流束 $qr[W/m^2]$ については、全天日射量から再放射量を差し引くことで式(3)を用いて求めた。フード外壁側の対流熱伝達速度 $qc[W/m^2]$ 、フード内壁側の対流熱伝達速度 $qc0[W/m^2]$ については、それぞれ式(4)、式(5)を用いて求めることができる。

$$qr = \sigma\{(Tr' + 273)^4 - (Tw + 273)^4\} \quad (3)$$

$$qc = hc(Ta - Tw) \quad (4)$$

$$qc0 = hc0(Ta0 - Tw0) \quad (5)$$

ここに、 Tw : フード外壁面温度 $[^{\circ}C]$ 、 $Tw0$: フード内壁面温度 $[^{\circ}C]$ 、 $Ta0$: フード内気温 $[^{\circ}C]$ である。これら式(3)~(5)およびフード(約20cm厚)内の非定常1次元熱伝導式を用いてパラメータスタディを実施した。具体的には算出されるフード内外壁面の温度 $Tw0$ 、 Tw を図-5のように実測値と合わせこんで、フード内外壁における対流熱伝達率をそれぞれ $hc0=6[W/m^2/s]$ 、 $hc=8[W/m^2/s]$ 、さらに熱拡散率を $8 \times 10^{-7}[m^2/s]$ と同定した。

また、フード内壁側の対流熱流束の解析値と実測値(温度実測値から式(5)から算出したものと熱流計の測定値、負がフード内への伝熱を表す)を図-6に示す。解析値と2つの実測値がおおむね一致していることがわかる。なお全天日射量が最大となる13時から壁体内の伝熱により約3時間のタイムラグを経て16時頃がピークとなり、このとき $34[W/m^2]$ であり、全天日射量の最大値(約 $1,000[W/m^2]$)のわずか数%であることが分かった。

4. まとめ

実物のフード構造物において日射量や内外壁面の温度、坑内への入射熱量などの計測データを取得するとともに、数値計算による温度予測技術確立のためのパラメータスタディを実施し、坑内への対流熱流束を比較的精度よく予測できることが分かった。

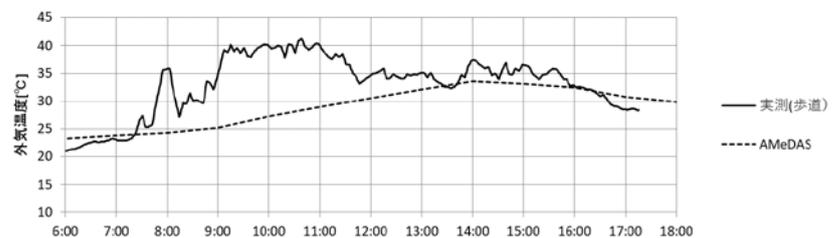


図-3 外気温度の実測値とアメダス値

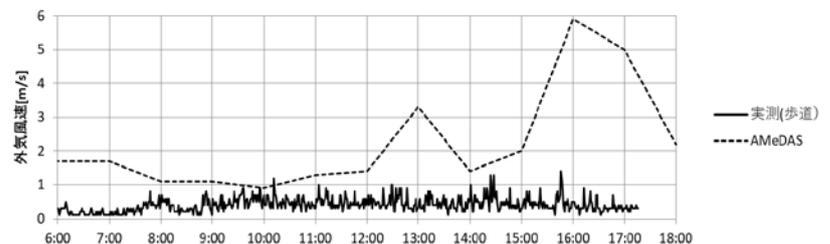


図-4 外気風速の実測値とアメダス値

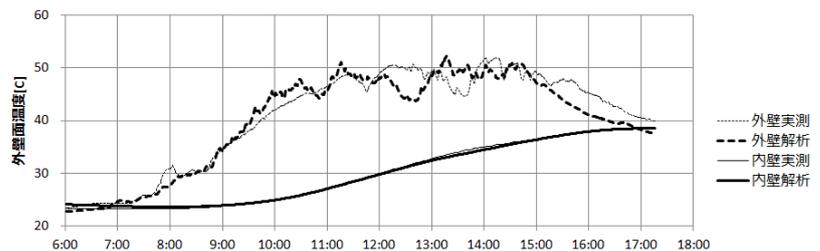


図-5 フード外壁面及び内壁面温度の解析値と実測値

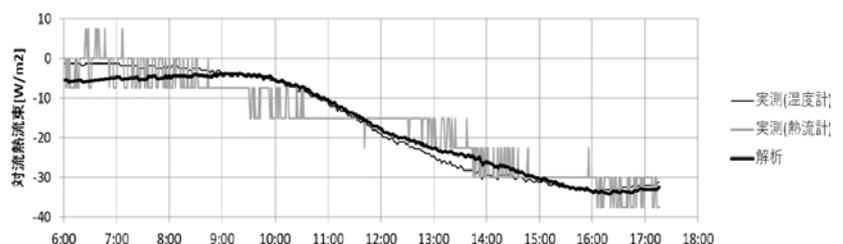


図-6 フード内壁面における対流熱流束の解析値と実測値