

## 凍上対策のための鉄道路盤の実測地温挙動の熱伝導解析

鉄道建設・運輸施設整備支援機構 正 青木一二三，正 丸山 修  
 鉄道総合技術研究所 正 小島 謙一，正 松丸 貴樹  
 複合技術研究所 正 堀井 克己

### 1. はじめに

寒冷地に建設される鉄道路盤の合理的な凍上対策のために，東北新幹線七戸駅付近に試験路盤を構築し，路盤の地温測定を実施した<sup>1)</sup>．本解析は，凍上対策の設計法の確立のために，地温測定データから路盤の熱特性を推定し，試験路盤の熱伝導解析を行って路盤温度の解析法の適用性を検討したものである．

### 2. 測定地温データに基づく熱拡散係数の推定

図1に地温測定の配置断面図を示す．この測定結果から，コンクリート路盤と粒調砕石層の熱拡散係数を算定した．算定方法は桜井らの方法を適用した．この方法は地温が正弦波で変化するとき，表面近くで測定した2深度の日較差から熱拡散係数を求める方法である（詳細は桜井らの論文<sup>5)</sup>参照）．熱拡散係数の頻度分布を図2，3に示す（ $\kappa$ の単位： $\text{m}^2/\text{hr}$ ）．熱拡散係数の頻度分布は概ね対数正規分布であり，ばらつきが大きい．これは，地温の日較差が小さく，温度変化が理想的な正弦波でないことによると考えられる．

路盤材料や土の熱伝導率は室内試験で測定<sup>2), 3)</sup>しており，粒調砕石について室内試験に基づく設定値は，試験路盤最頻値から推定した値の約2分の1になる．本来，地盤の熱伝導率は密度，水分，温度など多くの影響を受けて複雑に変化するので，このような差が生じたものと考えられる．なお，コンクリートの熱拡散係数は，既往解析<sup>4)</sup>で設定している値とほぼ同じ値になった．

### 3. 試験路盤の地温解析

#### (1) 解析条件

試験路盤を対象にして熱伝導解析を実施した．解析方法は2次元 FEM 解析<sup>4)</sup>とした．解析領域はコンクリート路盤（厚さ 0.3m），粒調砕石層（厚さ 0.7m），ローム地盤から構成され，左右対称より左半分（水平方向に 20m，深さ方向に 10m）の領域とした．解析期間は測定を実施した約 150 日間とした．初期温度分布は気温の変化から求められる地温分布式を用いて算定した．境界条件は，解析領域の側方は断熱条件とし，上面の地表面は気温と路盤表面温度との相関関係を使って，また領域下面は深部実測地温の平均値 10.5 を与えた．解析に用いた熱定数を表1に示す．

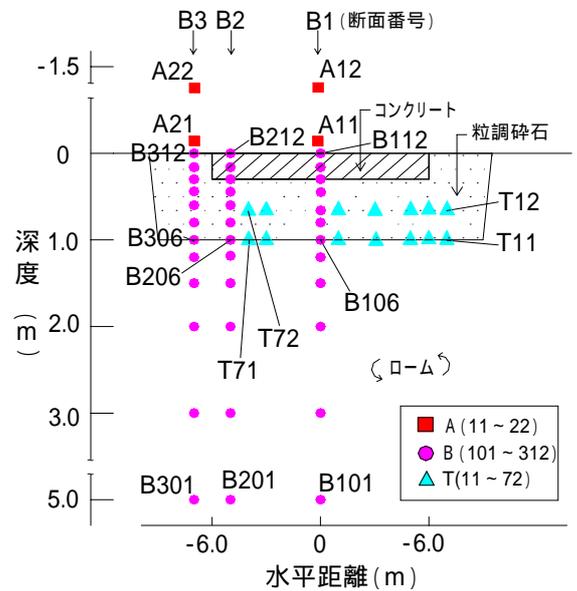


図1 地温測定計の配置断面図

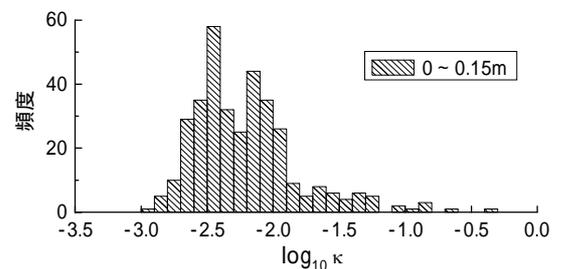


図2 熱拡散係数の頻度分布(コンクリート)

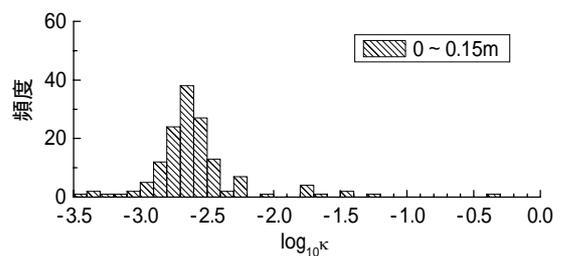


図3 熱拡散係数の頻度分布(粒調砕石)

キーワード：凍上，路盤，地温，FEM

連絡先：〒231-8315 横浜市中区本町 6-50-1・TEL.045-222-9082・FAX.045-222-9102

## (2) 解析結果

表1 熱定数

材料	密度 g/cm <sup>3</sup>	熱伝導係数 MJ/mday	熱容量 MJ/m <sup>3</sup>	熱拡散係数 m <sup>2</sup> /day
コンクリート	2.45	0.245	2.57	0.0955
粒調砕石	2.10	0.102	1.90	0.0538
ローム	1.67	0.0423	3.91	0.011

路盤中心断面 B1 の実測地温と計算地温の深度分布を図 4, 5 に, 中心から 7m 離れた断面 B3 の実測地温と計算地温の深度分布を図 6, 7 に示す. 地温は午前零時の値をプロットしている. 粒調砕石層が分布する深度 1m までの浅い部分の地温変化に着目すると, 実測地温

は, '04/12 ~ '05/2 の間は地温が低下し, '05/3/1 に地温分布の下限を形成し, '05/3 ~ '05/5 にかけて地温が上昇する傾向を示している. この傾向は計算でも再現されている.

断面 B1 と B3 を比較すると, 両断面とも殆ど同じ挙動であることが分かる. ただし, 地表面の温度は B1 断面では零度を下回っているが, 断面 B3 では下回ることが少ないのは積雪の影響である. なお, 日平均気温の最低は '05/2/2 に零下 6.6

であるが, 粒調砕石層下面の 1m 深度の地温は '05/3/15 に最低の 2.5 にしか達せず, 零度を下回らなかったことが分かる. ちなみに, 表面から深さ 1m までの間の地温の位相遅れは約 45 日である. 以上の結果より, 計算地温の分布は実測地温の分布によく適合しているといえる.

## 4. まとめ

七戸試験路盤の地温計測結果を用いて, 試験路盤のコンクリートや粒調砕石層の熱拡散係数を求めた. 算定した熱拡散係数は大きくばらつく結果となったが, その最頻値を用いて熱伝導係数を推定した. 次に, この値を使って熱伝導解析を実施し, 実測挙動をどれだけ再現できるかを検討した. この結果, 2次元熱伝導非常常解析による計算地温の深度分布は実測地温の深度分布をよく再現できることが分かった. この結果より, 寒冷地における凍上対策の検討に有用な結果を得た. なお, 観測期間中の気象状態は暖冬(凍結指数 F=197 days)であったので, 設計で想定している 100 年確率の凍結指数 (F=495 days) が生じる気象条件に対して別途解析を行う予定である.

## 参考文献

- 1)丸山・青木・野田・田村・小島: 鉄道路盤の凍上対策検討のための現地温度計測, 第 60 回土木学会年講, 2005.
- 2)小島・丸山・青木・野田・石塚: 室内試験によるロームと粘性土の熱伝導率の測定, 第 60 回土木学会年講, 2005.
- 3)石塚・小島・富永・丸山・青木・石山: 粒調砕石の熱伝導率の測定, 第 60 回土木学会年講, 2005.
- 4)青木・小島・丸山・堀井: 熱伝導解析を用いた鉄道路盤の凍結深さの評価, 第 41 回地盤工学研究発表会, 2006.
- 5)桜井・鮎田・佐渡: 寒冷地におかれたコンクリート構造物の深さ方向の温度分布に関する検討, セメント技報, Vol.41, pp.375-378, 1987.

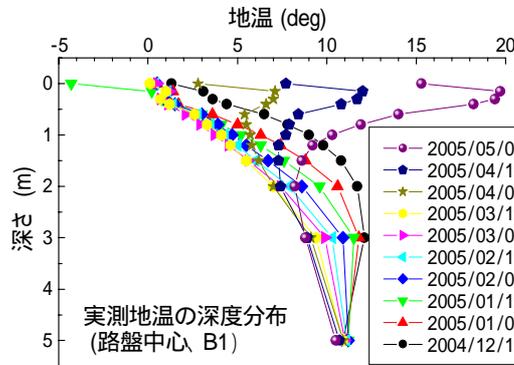


図4 実測地温の深度分布(B1)

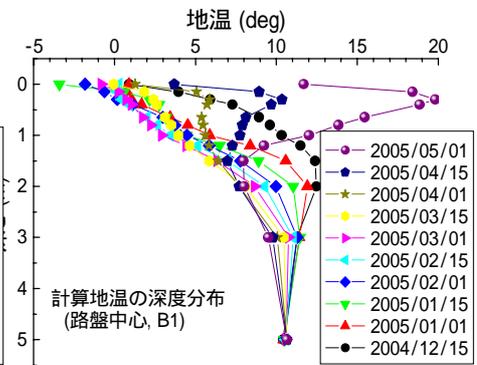


図5 計算地温の深度分布(B1)

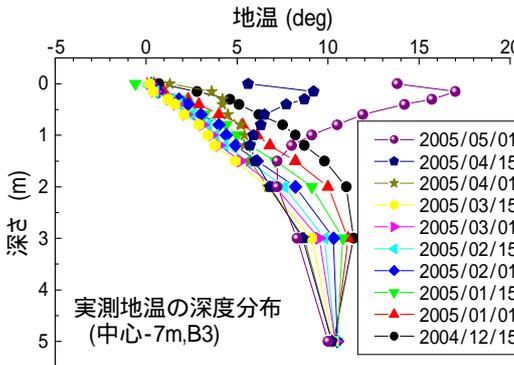


図6 実測地温の深度分布(B3)

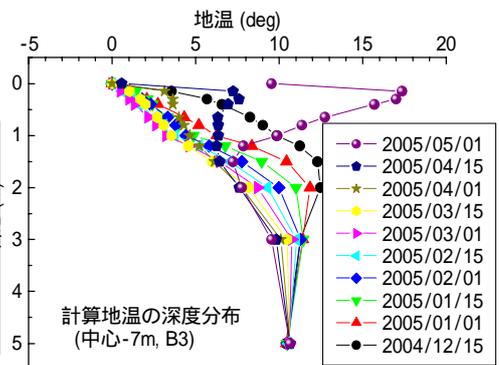


図7 計算地温の深度分布(B3)