

# 道路舗装の熱物性値同定と表面温度予測

Identification of thermal properties and forecast about surface temperature of pavements

## 1.背景・概要

近年、都市部においてヒートアイランド現象が顕著に現れている。その要因の一つに、コンクリートなどの人工物からの顕熱の増加が挙げられる。人工物の中でも道路舗装は都市の表面被覆に占める割合が大きく、その熱的影響は大きいと推測されるので、表面温度を予測することは意義がある。本研究では、道路舗装を単純な一次元半無限固体とみなし、熱伝導のステップ応答解析式を基礎式とし、重み係数法による時系列解法を用いて表面温度予測モデルを構築した。そして、そのモデルの精度を検証し、最後に、日射量推定へとモデルを応用していく。

## 2.物性値同定・モデル式

道路舗装の構成材料は、アスファルトや碎石、コンクリート、土壌などであり、これらの材料の熱物性値を文献から参照し、多層構造の非定常熱伝導方程式を解く方法もあるが、熱物性値の調整を行わないと表面温度予測値が実測値と合わないことも多いので、本研究では物性値を同定し、その物性値を表面温度予測に用いる。また図1のように、舗装を単層とみなし、代表となる物性値を求める。

同定は二段階で行う。第一種境界条件で温度伝導率を同定し、その値を用いて第三種境界条件で熱伝導率・熱伝達率を同定する。図2は境界条件を表す。

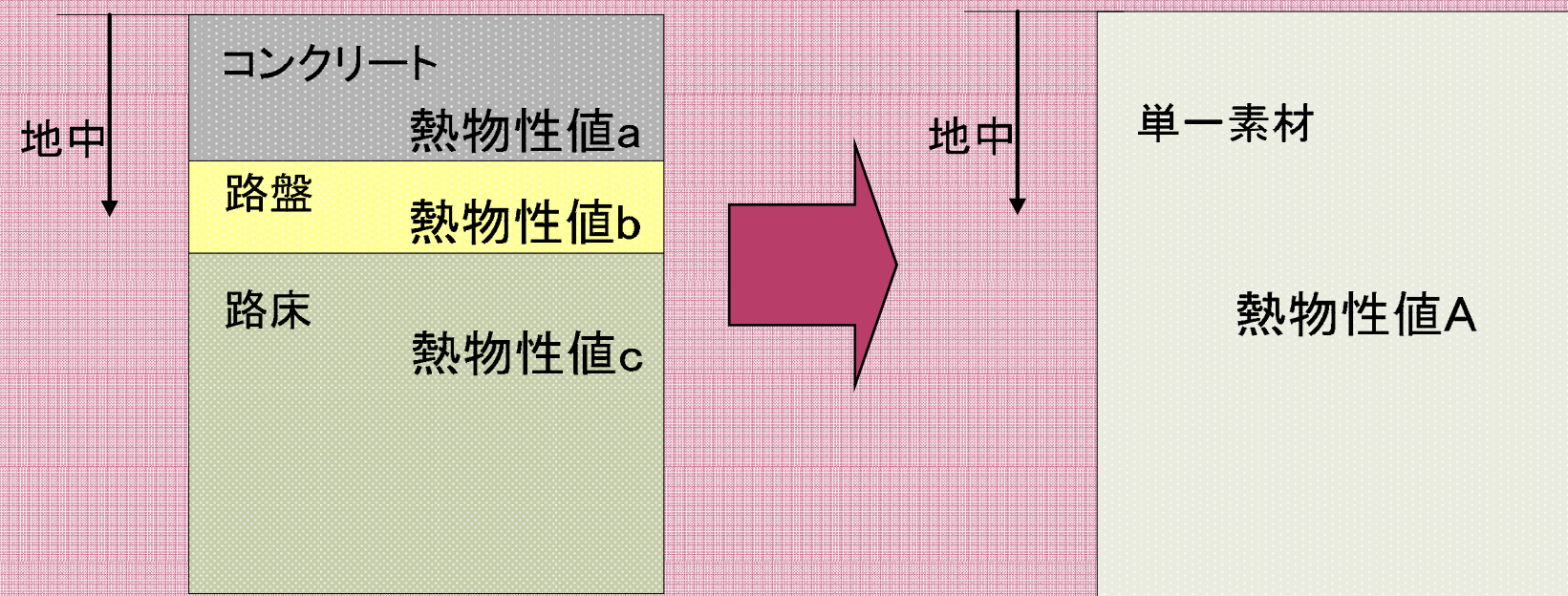
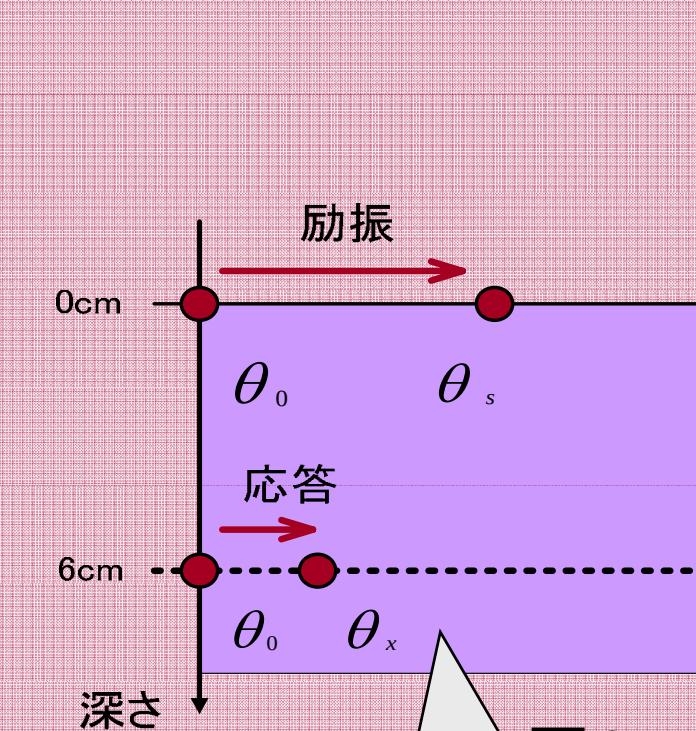


図1 舗装構造と熱物性値

■第一種境界条件  
(温度伝導率同定の場合)



〈モデル式〉

$$\frac{\theta_x - \theta_0}{\theta_s - \theta_0} = \operatorname{erfc}\left(\frac{x}{2\sqrt{at}}\right)$$

未知数は  $a$  のみ。  
よって、 $a$  を同定。

■第三種境界条件  
(熱伝導率・熱伝達率の同定、  
表面温度予測の場合)

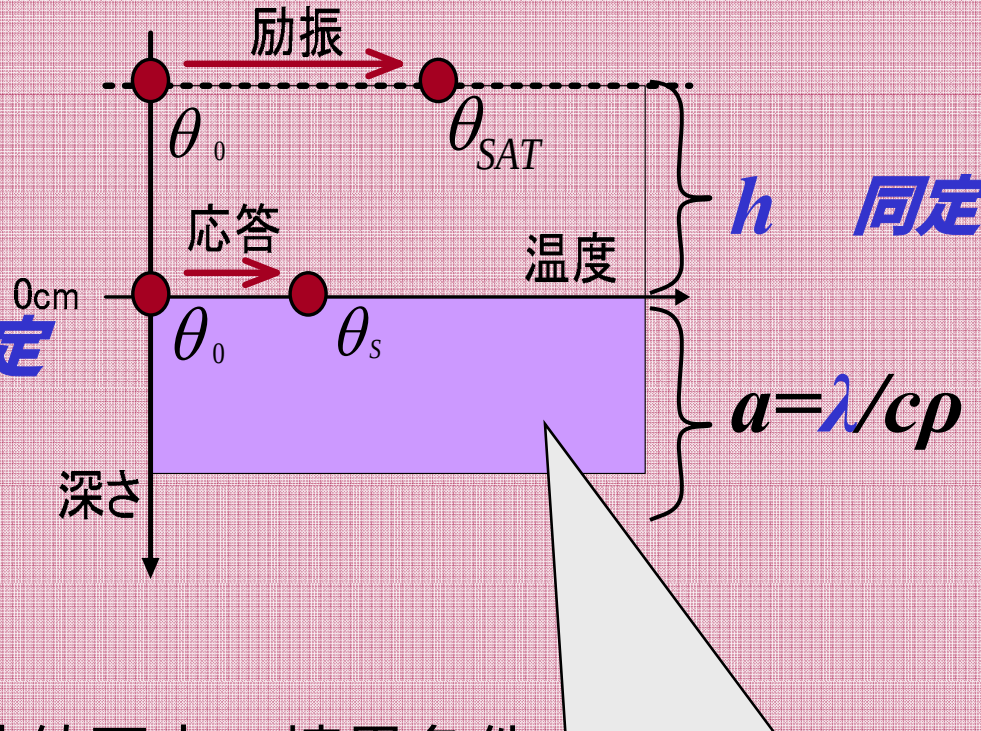


図2 熱物性値同定の境界条件

$$\frac{\theta_s - \theta_0}{\theta_{SAT} - \theta_0} = 1 - \operatorname{erfc}\left(\frac{h\sqrt{at}}{\lambda}\right) \cdot \exp\left(\frac{ah^2t}{\lambda^2}\right)$$

未知数は  $\lambda/h$  のみ。  
よって、 $\lambda/h$  を同定。

$\theta_0$ : 舗装の初期温度[°C]  
 $\theta_s$ : 舗装表面温度[°C]  
 $\theta_{SAT}$ : 相当外気温度[°C]  
 $h$ : 大気と舗装間の熱伝達率[W/m²/K]  
 $\lambda$ : 舗装の熱伝導率[W/m/K]  
 $\theta_x$ : 舗装内部温度[°C]  
 $a$ : 温度伝導率[m²/s]  
 $t$ : 時間[s]  
 $cp$ : 容積比熱[J/m³K]

## 3.実測データを用いた舗装温度予測

実測データを用いて、モデル式によって物性値を同定し、表面温度を予測する。図3は実験風景と舗装構造、図4は実測値と予測値の比較を表している。図4より、雨の日は誤差は大きくなることがわかる。しかし、期間全体のRMSEは0.9Kとなり、精度良く予測できている。

<実測概要>

コンクリート系舗装ブロックの暴露実験データを用いる。  
(ブロック寸法:縦20cm×横10cm×厚6cm、密度:1980kg/m³)

※測定間隔は10分で測定期間は2007/7/20～2007/8/31

表1 測定項目と測定機器

| 測定項目     | 測定機器                                |
|----------|-------------------------------------|
| ブロック表面温度 | T型熱電対 (φ0.3,自作)                     |
| ブロック裏面温度 | T型熱電対 (φ0.3,自作)                     |
| 全天日射量    | 精密全天日射計 (MS-801F,英弘精機製)             |
| 大気温湿度    | 温湿度計 (CS500, Campbell製)             |
| 風速       | 風向・風速計 (03101-5・03301-5, Campbell製) |
| 雨量       | 雨量計 (TE525MM-Lx,Campbell製)          |
| アルベド     | 長短波放射収支計 (MR40, 英弘精機製)              |

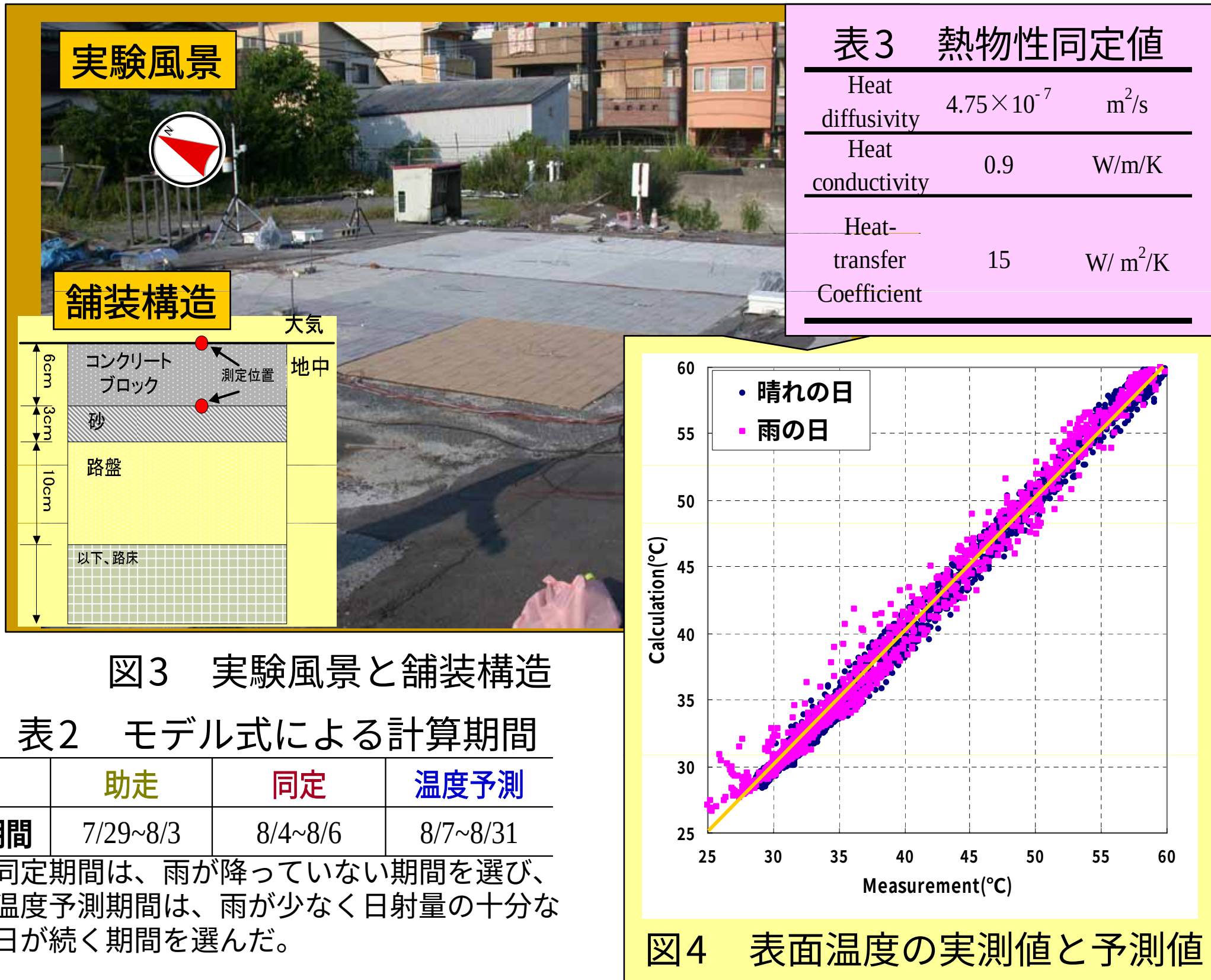


図3 実験風景と舗装構造

表2 モデル式による計算期間

|    | 助走       | 同定      | 温度予測     |
|----|----------|---------|----------|
| 期間 | 7/29~8/3 | 8/4~8/6 | 8/7~8/31 |

※同定期間は、雨が降っていない期間を選び、  
温度予測期間は、雨が少なく日射量の十分な  
日が続く期間を選んだ。

図4 表面温度の実測値と予測値

## 4.日射量の逆推定

モデル式を応用し、日射量を逆推定する。  
モデル式を重み係数法による時系列温度応答として表すと以下ようになる。(添え字nは時点を表す。)

$$\theta_{s,n} - \theta_0 = \sum_{k=0}^{\infty} \phi_k \cdot (\theta_{SAT,n-k} - \theta_0)$$
$$\theta_{SAT,n} - \theta_0 = \frac{(\theta_{s,n} - \theta_0) - \sum_{k=1}^{\infty} \phi_k \cdot (\theta_{SAT,n-k} - \theta_0)}{\phi_0}$$

変形

上のように式変形すれば、n時点の相当外気温度を求めることができ、さらに以下の式を用いればn時点の日射量も求まる。

$$J_{s,n} = \frac{(\theta_{SAT,n} - \theta_0) \cdot h + J_{noc,n}}{1.0 - r}$$

よって、  
表面温度から日射量を推定できる。  
図5は日射量の実測値と予測値を表したものである。計算期間は8/7から8/31までで、期間全体でのRMSEは40[W/m²]となり、精度良く推定できていることがわかる。

$\phi$ : 重み係数  $J_s$ : 日射量[W/m²]  
 $J_{noc}$ : 夜間放射量[W/m²]  
 $r$ : 舗装の反射率

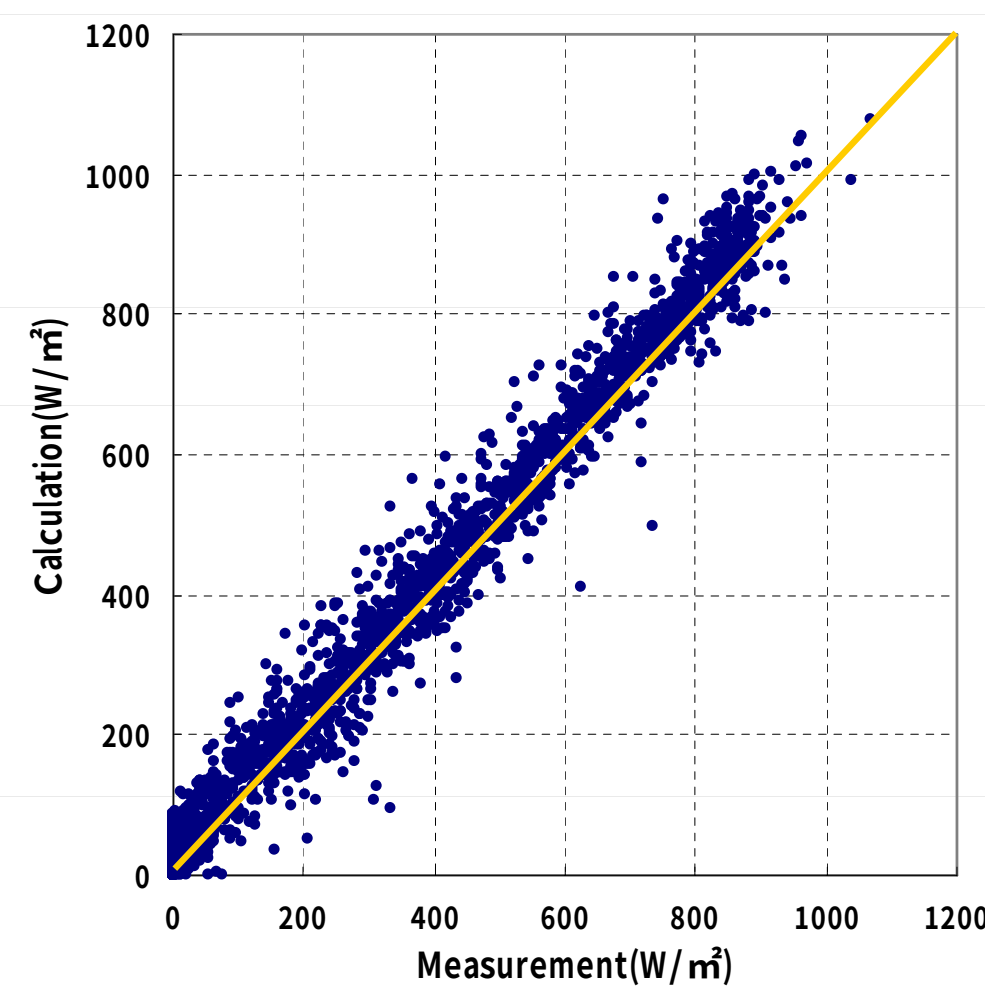


図5 日射量の実測値と予測値

## 5.結論

- ・多層構造を単純な半無限体と仮定したが、舗装表面温度は 1 (K) 程度のRMSEの範囲で予測できることがわかった。
- ・予測モデルを応用し、全天日射量の逆推定を試みた結果、日射量は40 (W/m²) 程度のRMSEの範囲で推定できることがわかった。

\*Osaka City University

\*\*Pacific Consultants Co.Ltd

Yohhei KITAJIMA\*, Masatoshi NISHIOKA\*, Masaki NAKAO\*, Minako NABESHIMA\*, Toshihiro HAMADA\*\*

