

# 鋼床版橋下面での熱移動（観測と解析）

Heat Transfer Under Steel Deck Bridge

宮 本 重 信

## 要 旨

鋼床版橋下面での放射と対流の熱移動を、床版とUリブに放射率の異なる熱流束計や温度センサなどを設置することで計測した。その結果、桁高1.2m、桁間隔が2mで囲まれた鋼床版橋の床版下面で桁下の風速は床版下面に及ばなくて、その総合熱伝達は、建築の室内で推奨されている値に近くて、橋下の地盤や河川水温より外気温と床版の温度差に比例するとした方がよいことが分かった。

キーワード：鋼床版橋，床版，熱伝達率，放射，融雪，熱流速

## 1. はじめに

筆者らは、群杭効果を利用して夏の熱を地中に冬まで保存して融雪するシステムを福井と札幌で実験し、その効果を実証している。また、放熱管に沿った3次元の数値シミュレーションで、気象台の日原簿データなどを読み込んで集熱や融雪能力を見積もる汎用ソフトを開発している。

北陸では、橋面は凍結しやすく前後の坂道を含めて融雪需要が高く、基礎杭の熱交換杭兼用でコストも安く、更に放熱管を橋面に埋設しても水道ガス工事で撤去にはならないことから、橋面での無散水融雪が期待される。その数値シミュレーションでは、下面での熱収支の見積もりが必要になる。これまで鋼床版橋での凍結のシミュレーションと潜熱蓄熱封入による抑制の研究開発で、2m四方の模型を1.5mほど空中に浮かせての計測などを行ってきたが、実橋ではなく規模も小さかった。夏の熱を地中に保存しての融雪システムを幸橋で導入されることを考え、橋の下での熱移動を実測することにした。現在、幸橋では橋面に融雪用放熱管は設置されずに供用されているので、放熱管がない条件での計測となった。

## 2. 計測箇所の状況とセンサ設置

左岸堤防のり尻から約15mの高水敷上の鋼床版橋の下に、風速計や各種センサを写真-1に示すように設置した。なお、その鋼床版の下面は図-1に示すように、間隔2mで桁高1.2mの桁に囲まれている。

床版下とUリブに、それぞれ熱流センサ、金箔被

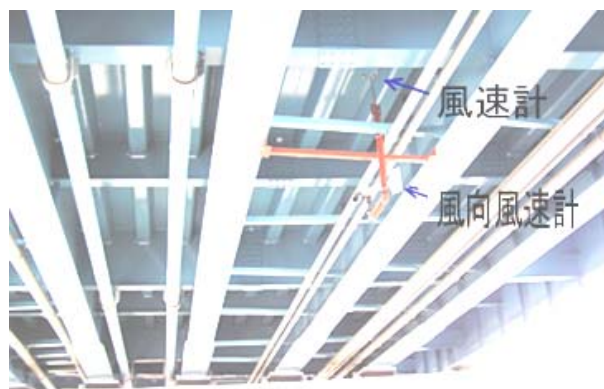


写真-1 計測箇所の状況と風速計の設置

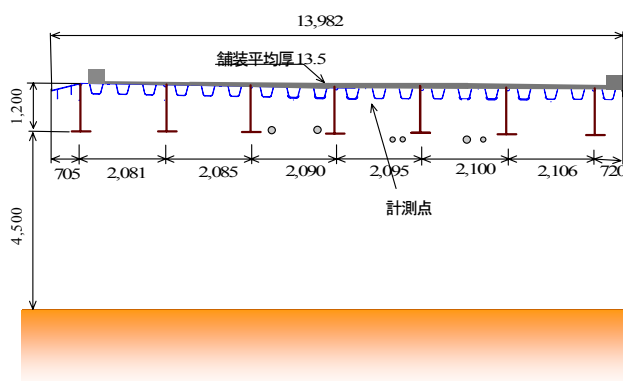


図-1 鋼床版橋構造とその周囲の断面

覆熱流束センサ、温度センサを各1点ずつ取り付けた（図-2）。ここで、橋の下であることから日中でも短波長放射は無視できるので、さらに金の射出率は0.018-0.035<sup>1)</sup>と小さいことから、金箔を被覆した熱流速計の値を対流熱流、金箔被覆によって熱流が小さくなる値は放射熱と推定できる。

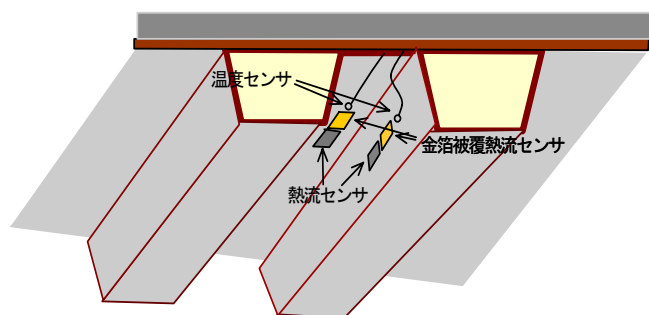


図-2 温度センサ、熱流計の設置状況

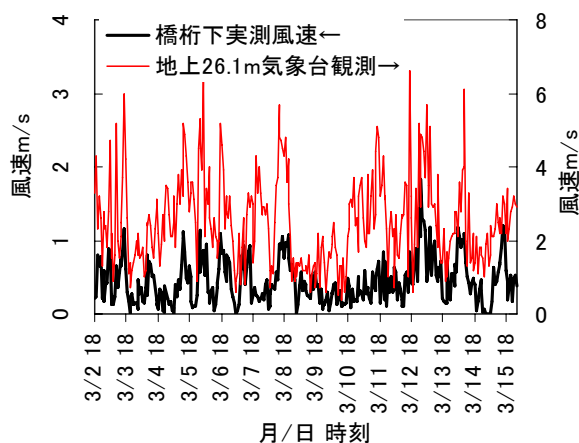


図-3 橋桁下と地上26.1mの風速

### 3. 計測結果とその解析

風速値や熱流値は変化が激しいので、全ての計測値を1時間の移動平均で整理した。

桁下に位置する風向風速計は図-3に示すような約2m/sまでの風速が観測されたが、桁に囲まれていることで、床版真下の3杯式風速計の値は期間中観測限界の0.5m/s以下であった。図-3には、観測値から約500mの福井地方気象台の地上26.1mの風速を参考までに記した。

床版下での熱流束値、床版と気温の温度差、床版と地面（橋下の地表面5cm下）温度差の変化を図-4に示す。図-4で、放射熱と対流熱は、その量は異なるが、位相は見られない。また、地温と床版温度の差の土の切り変わり時点は熱流の土切り変わりと位相ズレを生じるが、床版温度と気温の差は熱流とでズレが見られない。図-5に示す床版下面温度、Uリブの側面温度は、図-4の地温に比べて気温に近い温度変化であることが分かる。これらから、熱流を見積もるのに、地盤温度を用いると位相のズレが

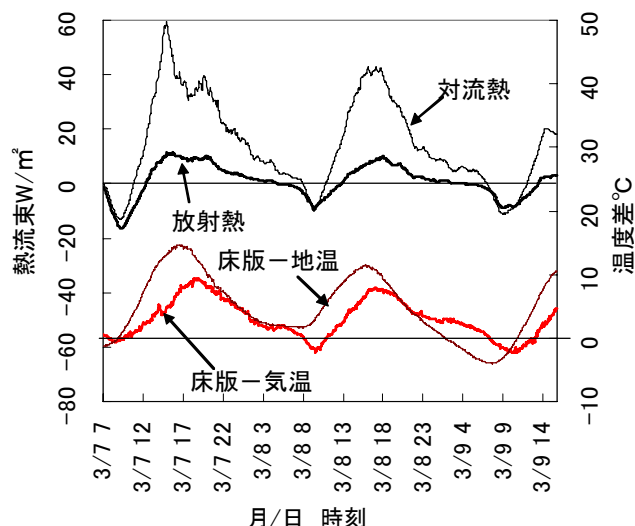


図-4 床版と気温、地温の温度差と床版からの下面への熱流束

生じるのは、床版は地盤だけでなくUリブや桁からの放射を受けていることによると考えられる。また地温は地盤の拡散等で遅れが生じ深さ約5cmの位置の温度であることで、更に位相差が大きくなると考えられる。

以上述べた気温と床版温度の差が床版下の放射熱でも位相が少ないことは、床版下は床版周囲の桁と橋下地盤などの温度を外気温とした黒体の天空で覆われると見なすことを可能にする。建築物では、日射や長波長放射が小さい時には、建物外壁を外気温と同じ温度の黒体の天空が覆うとして仮定しているが<sup>2)</sup>、日射や長波長放射が小さい床版下でも同じ取り扱いが妥当であることが今回の実測からも分かる。

次に、橋面下が地盤でなく河川である場合を想定し、河川水温を幸橋で計測したので、その結果を気温と橋下地盤5cmの温度を含めて図-6に示した。この地点での河川の水温は、山間部で地下水として出てから流れ着くまでの河川での熱収支と流水の熱容量で決まるが<sup>3)</sup>、空気温度（気温）に比べて河川水は熱容量が大きいので、大きな変動がない。河川水は、橋下の深さ5cmの地盤温度に比べると日射や長波長放射を受けることから、その変動は図-6に示すように、気温と深さ5cmの地盤温度の中間にある。更に、その温度変化は、熱量があることから気温に比べて地盤温度に近い位相を有していることが図-6から分かる。このことから、河川上での床版下

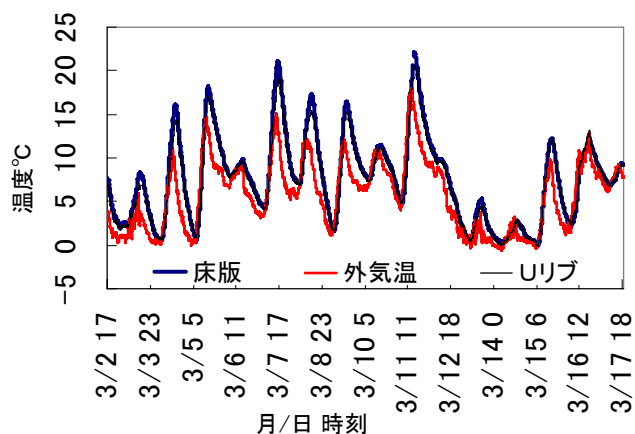


図-5 床版温度、Uリブ温度、気温の変化

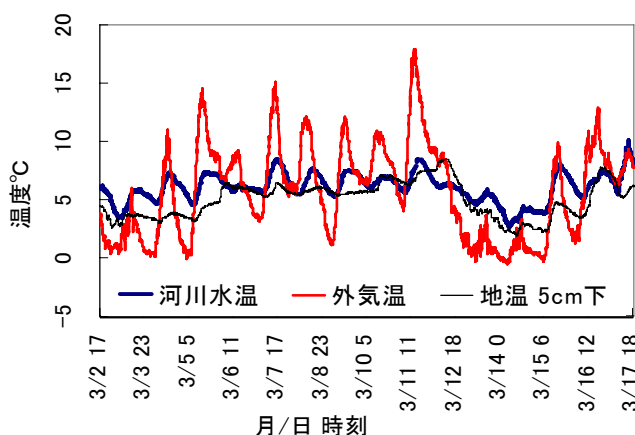


図-6 河川水温、気温、地盤温度の変化

の熱移動を扱うに際しても、地盤部同様に、河川水温と床版との温度差から熱量を求めるよりは気温と床版の温度差で熱量を求める方が適正だとなる。

このように外気温で放射も対流も見積もれるならば、設計実務は随分と容易になる。更に、気温を用いることができれば、対流と放射の両方の熱流をまとめて総合熱伝達率として扱うことができる。

対流熱伝達率は風速に依存するので、熱流を床版温度と気温差で除した値と風速値を散布図で示して相関を求めたが、相関は得られなかった。これは、床版下の風速計が期間中のほとんどで計測不能となるほど小さい値であることによると考えられる。

そこで、下面床版の温度と気温の差を横軸に、放射と対流の総合熱流である金箔被覆のない熱流束値を縦軸に、その散布を図-7に示した。図-7では、対流は熱流が上向きでは下向きに比べて大きな熱伝達率となるので、温度差0℃で区分して、散布図

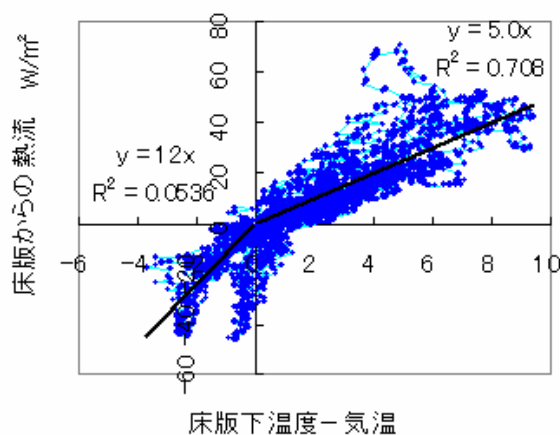


図-7 床版の下面の熱伝達率の推定

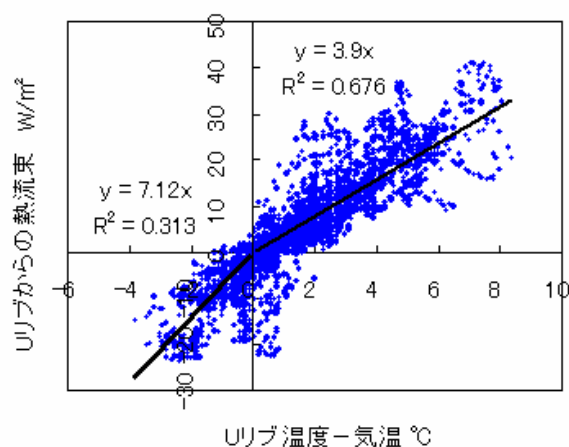


図-8 Uリブ側面の熱伝達率の推定

の勾配で示される総合熱伝達率を求めた。床版から下に向けての熱流となる温度差が0℃以上では、総合熱伝達率は5となり、上向きでのそれは12となった。なお、上向きの値は、測定日によってバラツキが生じている。

Uリブについて同じように整理したものが図-8で、上向き熱伝達率は3.9、下向きは7.1となった。なお、建築の室内は鉛直面として熱流の上向き下向きを区分して熱伝達率を求めているが、鋼床版橋のUリブは床版の下で約30cmごとに設置されていることから、上向き下向きで区分することが実際に近いと考えた。

上向きの値は、床版同様に下向きに比べバラツキが大きく今後再計測が必要と思われた。ただし、融雪や凍結抑制での運転の時間帯は下向きの熱伝達であることから、その上向きの熱伝達率の重要性はそれほどでもない。

表-1 総合熱伝達率（建築室内実用値との比較）

区分		建築室内の実用値		今回の実測からの値
		鈴井修一, 池田哲朗, 新田勝通: 建築環境工学Ⅱ, pp.38,2002.3	日本建築学会: 建築環境光学用教材環境編 pp.50,1995.2.	
床版 (水平面)	熱流下向き	7	6	5
	熱流上向き	12	10	12
Uリブ (鉛直面)	床版熱流下向き	8	8	3.9
	床版熱流上向き			7.1
		単位: W/(m <sup>2</sup> ・K)		

これらの総合熱伝達率を建築の室内で推奨されている値と比較すると、表-1を得る。この比較から、総じて今回の実験から得られた値は建築室内の値に比べやや小さくなっているが、よく一致していることが分かる。ただし、床版が上向き熱流となる際の隣接Uリブ（鉛直面）の総合熱伝達率は、建築室内の値が $8W/(m \cdot K)$ であるのに比べて今回の実測からの推測値は $3.9W/(m \cdot K)$ と著しく小さい値となっている。

#### 4. まとめ

桁高1.2mで桁間隔が2mで囲まれた鋼床版橋の床版下面の総合熱伝達率は、橋下の地盤や河川水の温度と床版温度の差から求めるより、外気温を用いた方が精度よく求められる。また、桁下の風速は桁下まで及ばないことから、その総合熱伝達率は建築の室内での総合熱伝達率として推奨されている値とよく一致した。

本研究には、NEDOからの省エネルギーの基盤先端研究の成果普及促進費を得た。記して謝辞とする。

#### 参考文献

- 1) J. R. ホールマン著, 平田賢監訳, 伝熱工学<下>, pp. 504, 1982.
- 2) 田中俊六, 武田仁, 足立哲夫, 土屋喬雄: 最新建築環境工学改訂2版, pp. 188, 197
- 3) 新井正: 地域分析のための熱・水収支分子学, 2004. 2. 20