

論文

[2104] 鉄筋コンクリート床版の保温に関する研究

正会員 浜田純夫（山口大学工学部）

正会員 兼行啓治（山口大学工学部）

正会員○檀上和雄（八千代エゾ・コヤツグ(株)）

正会員 永田幹雄（宇部興産(株)）

1. はじめに

冬期におけるスリップ事故のほとんどが橋梁の上で発生している。路面に積雪があった場合、道路部は地熱により比較的早く融雪するのに対し、熱源の無い吹きさらしの橋梁部では融雪が遅く、ドライバーの一般的傾向として雪の残る橋梁上も、雪の無い道路部の速度のまま通行するために、橋梁上でスリップして交通事故の原因となる。またこのスリップ事故は相当の低温時よりも摂氏0℃近くの方が生じ易い。

以上のような状況から、橋梁の実用的な路面凍結防止法の開発を目的に研究を行った。路面の凍結防止法には種々あるが^{1) 3)}、本研究ではプレキャスト床版の温水による保温に着目した。これは、橋梁床版の保温に関してはプレキャスト床版が施工上、精度の点から有利であり、またプレキャスト床版の場合には軽量コンクリートも十分使用できるという理由からである。床版の保温に関しては軽量コンクリートの方が普通コンクリートより、熱伝導率が低く、熱保温性がよいので有利である。そこで、放熱作用の生ずる下面に軽量コンクリートを打設し、熱伝導のよい普通コンクリートを上面に打設して、軽量コンクリートを断熱材として利用することも可能である。本研究においては、強度が高く、従来の軽量骨材に比較して吸水率が著しく低い新たに開発された「石炭灰系軽骨材（造粒型骨材）」を使用しコンクリート中の埋設パイプに温水を流した場合の効果調べるために、実験室（20℃）内で実験を行った結果をまとめたものである。なお、保温床版中のパイプの径および配管方法など設計に寄与するために実橋床版に近いサイズの供試体を作り、さらに上部にアスファルトを打設して実験を行い、実橋に適用できるよう実験を試みた。

2. 実験

2.1 使用材料

実験に用いた材料は、ポルトランドセメント（比重3.12）、細骨材（北九州市若松・門司産海砂、比重2.57、FM2.74）、粗骨材（門司産、最大寸法20mm、比重2.73、FM6.59）、軽量骨材（比重1.36、FM6.60）、アスファルトコンクリート（ストレートアスファルト5.9%、骨材最大粒度13mm）である。またコンクリートの配合を表-1に示し、コンクリートの力学的性質を表-2に示す。

表-1 コンクリートの配合表

	W/C (%)	s/a (%)	1 m ³ 当たりの所要量(kg)						実測値	
			水	セメント	細骨材	粗骨材	303A	NO.70	スランジ [°]	空気
普通	55	44	162	294	794	1068	1176cc	2940cc	9.0cm	4.0%
軽量	50	44	165	330	778	521	1650cc	3300cc	7.5cm	4.2%

表-2 コンクリートの力学的性質

	圧縮試験 (kg/cm ²)	引張試験 (kg/cm ²)	曲げ試験 (kg/cm ²)
普通コンクリート	374.0	30.0	47.0
軽量コンクリート	414.0	30.2	49.4

2.2 熱伝導率試験

保温床版の熱伝導解析をするため、普通コンクリート、軽量コンクリート、およびアスファルトの熱伝導率を温度約17°C、35°Cに対して測定した。試験はJIS A 1412「保温材の熱伝導率測定方法(平板比較法)」に準じて行い、試験結果を図-1、2に示す。

2.3 供試体の熱電対の位置

供試体は、2シリーズ作製した。シリーズIでは、コンクリートだけの熱伝導の性状を調べる目的で比較的小型の供試体(500×500×200mm)とし、普通コンクリートと軽量コンクリートの2層構造で、軽量コンクリートの割合を変えて3タイプ打設した。

シリーズIIは、ほぼ実床版に近い供試体(900×2000×250mm)とした。コンクリートのタイプは、普通コンクリートのみ、軽量コンクリートのみ、および上部普通コンクリート・下部軽量コンクリートの2層構造の、3タイプでアスファルト舗装を施した。尚、パイプの内径は、シリーズIが10mm、シリーズIIが15mmである。

パイプの位置および、熱電対の位置を図-3、4に示す。また、図中の番号は熱電対位置であり、パイプは供試体中央に埋設する。

2.4 加温実験方法

温水をビニールホースで送水し、供試体中のスチールパイプに流し、コンクリート及びアスファルトの温度を熱電対で計測した。同時に、入水温、出水温および外気温も計測した。

温水は、シリーズIの供試体に24時間、シリーズIIの供試体に48時間流し、温水を止めてからもそれぞれ同じ時間だけ計測し、冷えるときの温度も計測した。表-3に計

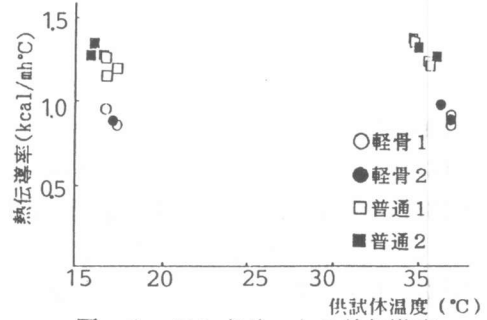


図-1 コンクリートの熱伝導率

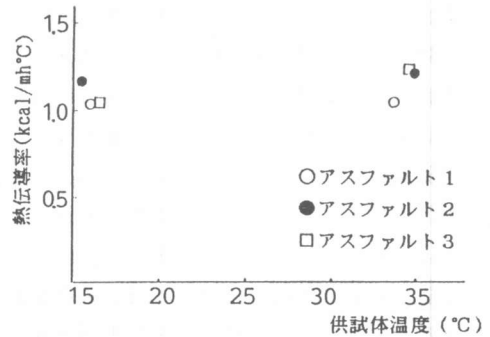


図-2 アスファルトの熱伝導率

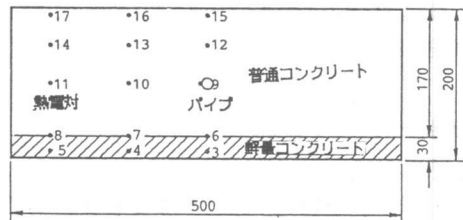


図-3 熱電対位置 (シリーズI)

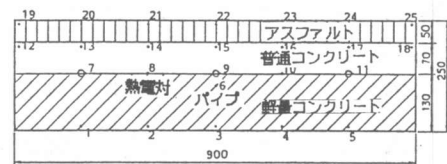


図-4 熱電対位置 (シリーズII)

測時間、温水温度、及び温水の流量を示す。

表 - 3 試験条件

	シリーズ I	シリーズ II
計測時間 (hr)	48(24)	96(48)
温水温度 (°C)	40	40 60
温水流量 (ℓ/min)	1	5 15

3. 結果および考察

2シリーズ(各3種類)の供試体を対象に行った熱電対による測定結果の一例を以下に示す。

(1) シリーズ I

図-5、6に40°Cの温水を1ℓ/min流した時の測点15と測点3での3タイプの比較を示す。パイプの位置および、熱電対の位置を図-3、4に示す。図中のL3、L6、L9はそれぞれ軽量コンクリート3cm、6cm、9cmの供試体であり、NN、NL、LLはそれぞれ普通コンクリートのみ、普通コンクリートと軽量コンクリートの2層構造、軽量コンクリートのみの供試体である。測点15では、L6、L9がL3より2°C程温度上昇が良く、測点3では、L3の温度が常に高い。これは、軽量コンクリートの熱伝導率が普通コンクリートより小さいため、軽量コンクリートの厚さが薄いL3がパイプの熱を下方によく伝えたため、L6、L9は下方に伝わりにくく上面温度が高くなった為であると考えられる。

図-7の解析モデルを用いた供試体L3の非定常熱伝導解析例を図-8に示す。
 4) 3) 尚、解析条件は表-4に示す通りである。実測値と計算値を比較してみると、測点15、16では、よく一致している。熱伝達率は、熱伝導率と違い、一定値を示すものではなく、風速が大きいほど大きい。一般にコンクリートの熱伝達率は次式で表わされる。⁵⁾

$$\alpha = 5 + 3.5w$$

ここに、 α : 熱伝達率(kcal/m²h°C)

w : 風速(m/s)

今回の測定は、室内で行われたので風速を1m/sとして値を与えた。また、解析による3タイプの比較では、明確な差は生じなかった。

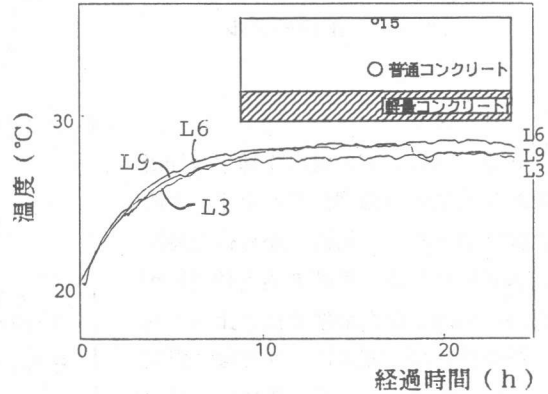


図-5 経過時間における上昇温度 (シリーズ I)

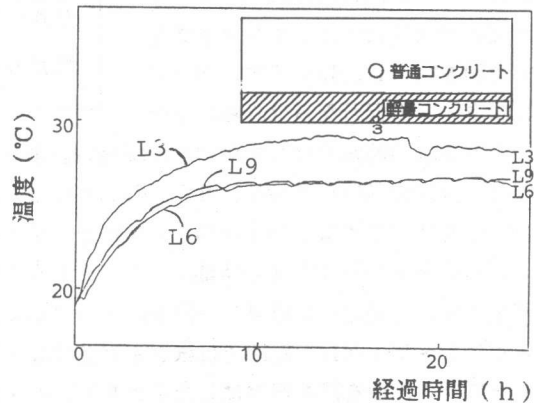


図-6 経過時間における上昇温度 (シリーズ I)

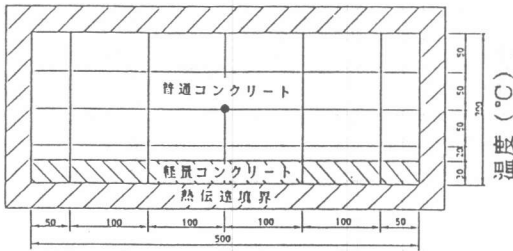
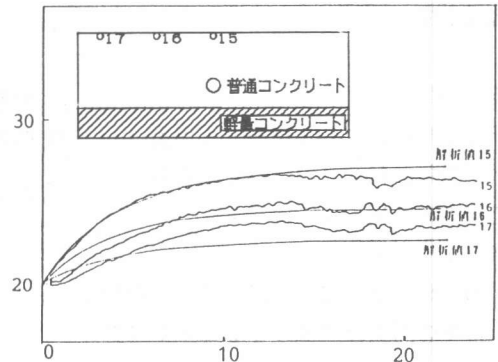


図-7 解析モデル



経過時間 (h)

図-8 経過時間における実測値と解析値との比較

(2) シリーズ II

図-9、10に40°Cの温水を10 l/min流したNN供試体の温度分布を示す。この供試体は温水を流し始めてから約15時間で定常状態になる。両端の測点19、25が側面からの熱伝達のため他の点と比べて約3°C程度低い、測点20~24では、温度分布29~30°Cで、ほぼ等分布になっている。

アスファルト表面の測点22とコンクリート下面の測点3に注目して3タイプを比較した図を図-11、12に示す。図-11からは3タイプの顕著な差はみられなかつたが、非定常の範囲ではわずかにNLが良い。また、図-12からはシリーズ I と同傾向の結果となり、温度の高い順にNN、NL、LLとなった。

温水温度を60°Cで流量を10 l/minとした図を、図-13に示す。NLが他のタイプよりアスファルト表面の温度が1~2°C高く軽量コンクリートを下部に打設した効果が現われた。

温水流量を変えて測定した結果の一例を図-14に示す。流量を15 l/minとすれば流量による差が出るが、5~10 l/minの範囲ではほとんど差はなかつた。

シリーズ II の側面を断熱境界にしたモデルで、パイプ間隔を10~50cmに変えてアスファルト表面の温度上昇を求めた結果を表-5に示す。表よりパイプ間隔は、30cm以下ではパイプ上とパイプ管上での差が1°C以内に抑えられ、それ以上になると急激に温度差が開くことがわかつた。また、これまでの実験で上部普通コンクリート・下部軽量コンクリートの2層構造とした方が普通コンクリートのみの供試体より表面の温度上昇がよいことがわかつたので、2層構造での一番有利な軽量コンクリートの厚さを求めるため、軽量コンクリートの厚さを2、4、6、8、10 cm の5通りにして非定常解析を行った結果を表-6に示す(温水温度40°C)。

表-6を見る限り軽量コンクリートの厚さを変えた解析ではほとんど差はでなかつたが、非定常の範囲では、わずかに軽量コンクリートを入れた方が有利であつた。

表-4 計算因子および水準

計算因子	水準
外気温 (°C)	20
普通コンクリートの熱伝導率 (kcal/mh°C)	1.22
軽量コンクリートの熱伝導率 (kcal/mh°C)	0.85
普通コンクリートの比熱 (kcal/kg°C)	0.21
軽量コンクリートの比熱 (kcal/kg°C)	0.41
普通コンクリートの密度 (kg/m ³)	2.1 × 10 ³
軽量コンクリートの密度 (kg/m ³)	1.7 × 10 ³
普通コンクリートの熱伝達率 (kcal/m ² h°C)	8.5
軽量コンクリートの熱伝達率 (kcal/m ² h°C)	13.6

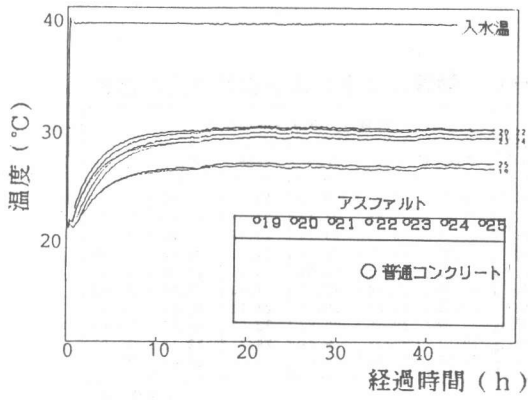


図-9 経過時間における上昇温度
(シリーズII)

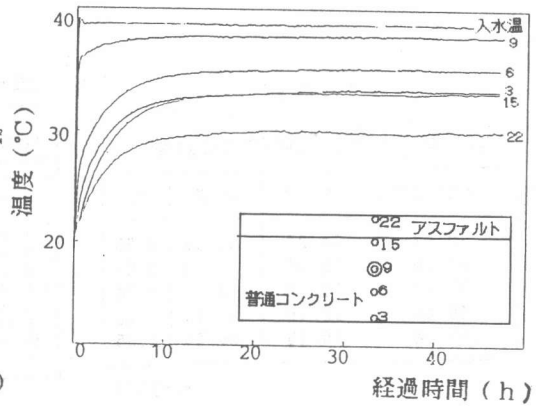


図-10 経過時間における上昇温度
(シリーズII)

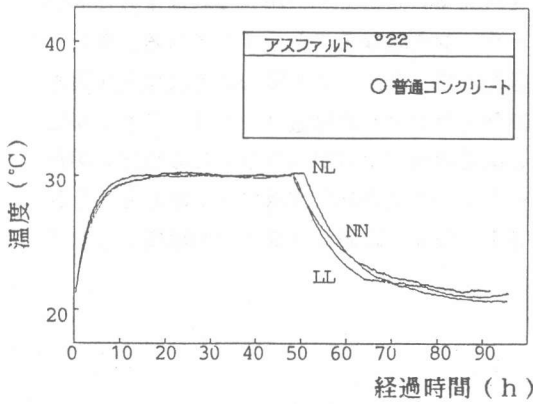


図-11 3タイプの比較
(シリーズII)

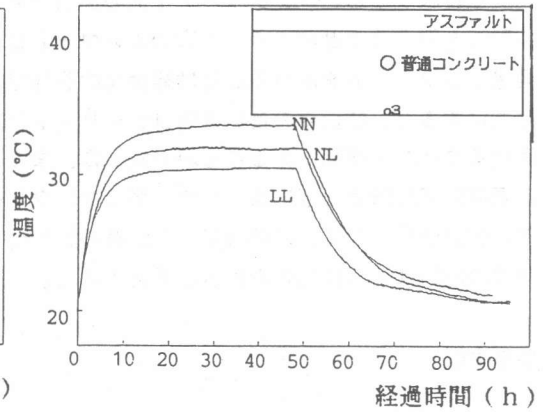


図-12 3タイプの比較
(シリーズII)

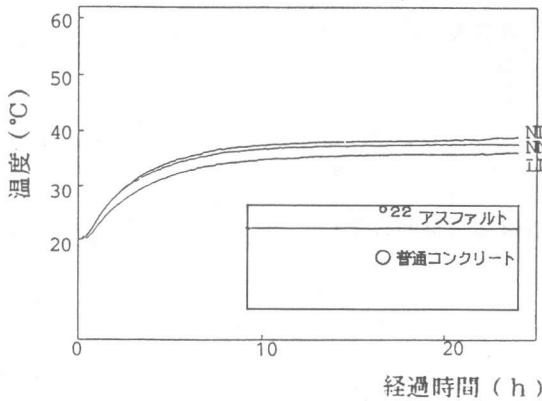


図-13 経過時間による上昇温度
(シリーズII)

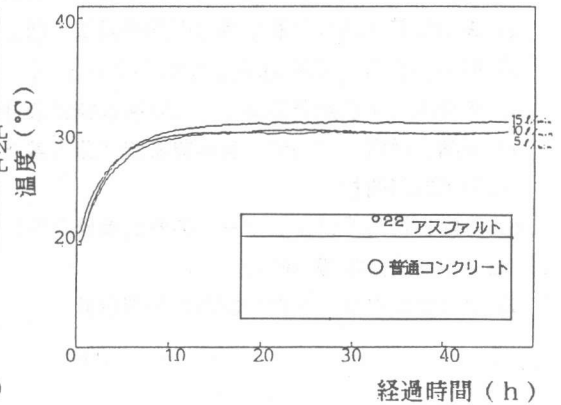


図-14 流量による比較
(シリーズII)

表-5 パイプ間隔による比較

パイプ間隔	パイプ上	中間	差
10 cm	34.27	34.19	0.08
20 cm	32.53	32.32	0.21
30 cm	31.18	30.24	0.94
40 cm	30.40	28.14	2.26
50 cm	30.10	26.25	3.85

(単位 °C)

表-6 軽骨に厚さによる表面温度の比較

経過時間 hour min	軽量コンクリートの厚さ					
	0 cm	2 cm	4 cm	6 cm	8 cm	10 cm
55	20.21	20.24	20.23	20.21	20.19	20.17
1 2	21.43	21.48	21.47	21.43	21.39	21.33
3 22	23.17	23.26	23.24	23.15	23.05	22.92
4 58	24.94	25.00	24.98	24.88	24.74	24.58
6 53	26.29	26.31	26.29	26.16	25.99	25.78
9 10	27.65	27.60	27.57	27.43	27.25	27.03
11 56	28.49	28.24	28.35	28.21	28.03	27.81
15 15	29.27	29.35	29.07	28.95	28.80	28.60
19 14	29.61	29.31	29.36	29.26	29.13	28.97
24 0	29.95	29.80	29.67	29.59	29.49	29.36

(単位 °C)

4. 結論

融雪を目的とした保温床版の開発について次のようなことが判明した。下部に軽量コンクリートを打設すると、コンクリート下面の温度上昇を抑えることができたが、これは下方に向かう熱流を抑えることができ、効率のよいロードヒーティングとなることを示している。床版に軽量コンクリートを用いることは軽量化の意味で理想的であるが、本実験のように保温床版を目的にすると、熱伝導の良い普通コンクリートと断熱を目的とした軽量コンクリートを2層に用いることが、適切であることがわかった。また、実橋の様に下方が吹きさらしの状態の場合の温度降下を防ぐときには、下層の軽量コンクリートがさらに有効に作用するものと考えられる。配管設計として、径15mmで、1m長の管につき1 l/min、路面から深さ12cm程度であれば、融雪の目的は十分は達せられると考えられる。

参考文献

- 1) 道路除雪ハンドブック
- 2) 防雪ハンドブック
- 3) 久保、茶谷他「雪寒地域における橋梁の雪対策」 橋梁と基礎 76-2
- 4) 矢川元基「流れと熱伝導の有限要素法入門」 培風館
- 5) 西川、北山「図解 伝熱工学の学び方」 オーム社
- 6) 千輝淳二「伝熱計算法」 工学図書株式会社
- 7) 下関、藤沼「PC-9801 有限要素法/非定常熱応力プログラミング」
日刊工業新聞社
- 8) 竹内、柳内「コンクリートの熱的境界条件に関する実験的研究」
セメント技術年報 昭62
- 9) マスコンクリートのひびわれ制御指針