各種仕様のブラックパネル温度の測定

屋外での熱劣化環境の定量化 (その4)

OBSERVATIONS OF VARIOUS BLACK PANEL TEMPERATURE

Quantification of outdoor thermal degradation environment (Part 4)

富板 崇*, 檜野紀元**, 濱崎 仁***

Takashi TOMIITA, Norimoto KASHINO and Hitoshi HAMASAKI

Thermal degradation environment in outdoor exposure test is monitored by black panel temperature. Eleven types of black panel thermometers(BPT) and black standard thermometers(BST) including specified ones by JIS, ISO, ASTM and DIN were exposed at an angle of south/30 degrees in Tsukuba to be compared their thermal susceptibility with those of other thermometers. BPTs specified by JIS, ASTM and DIN are compatible, but BST/JIS(ISO) is higher than BST/DIN. As thermal degradation rate based on BPT insulated back-side is quite greater, an accelerated natural outdoor exposure test will be performed by using an insulated exposure rack.

Keywords: Black panel thermometer, Black standard thermometer, JIS, ISO, ASTM, DIN

ブラックパネル温度計, ブラックスタンダード温度計, JIS, ISO, ASTM, DIN

1. 序

建築材料の耐候性試験として「屋外ばくろ試験」や「人工促進劣化試験」があるが、これらの試験環境をモニターするため、ばくろされた試料の表面温度の指標として、「ブラックパネル温度計、BPT」が共通して用いられている。先に、ブラックパネルに熱電対を直付けしたもの、パネル裏面を断熱したもの、パネルに接するシース内に熱電対を入れたものを水平面・垂直面・南30°面にばくろして、その性能検定の結果について報告している^{1, 2)}。

ドイツでは、新しく開発された熱絶縁形の「ブラックスタンダード温度計、BST」が、DIN³⁾に規定されており、1994年に実験室光源による促進劣化試験のISO^{4, 5, 6, 7)}が発行された際に「ブラックスタンダード温度計」も採用された。その翻訳規格の「JIS K 7350-1, 2, 3, 4^{8, 9, 10, 11)}」が1995年に制定され、これを受けて、建築材料を対象とする「JIS A 1415¹²⁾」にも「ブラックスタンダード温度計」が1999年に取り入れられた。これまで国内では「ブラックパネル温度」で試験が管理されてきた経緯があり、『ブラックパネル温度とブラックスタンダード温度の相関を求めておく必要がある』と「JIS A 1415」に注がある。また、「JIS K 7350-1」の解説には、『キセノンアークランプ、カーボンアークランプ試験機を用いた促進暴露試験及び屋外暴露試験で、BSTとBPT

の相関関係を検討する予定』との記述がある。

「ブラックパネル温度計」は、試験機メーカー毎にその仕様が異なっている。そこで、これらの温度特性を比較するため、各種のブラックパネル温度計やブラックスタンダード温度計を、茨城県つくば市の建設省建築研究所に集め、南30°面にばくろして検討した。1999年6月に調査した限りにおいて、1995年以降、建設省建築研究所以外の国内の屋外ばくろ試験場では、BPTとBSTの比較は行われていない。本報告では「JIS K 7350-1」の解説を参考にして考察を行った。

2. 各種仕様のブラックパネル温度の測定

2. 1 ブラックパネル温度計の仕様

今回、11種類のブラックパネル温度計とブラックスタンダード温度計を使用した。主な仕様を表-1に、形状を図-1に示す。パネルの記号は、第1字は参照規格・光源・文献、第2字は形状・熱電対位置の略号を組み合わせた(JS, DS: BST)。うちJIS仕様のブラックパネル温度計は、シースの向きによって日射や風の作用に差があることを検討するため、横においた場合も含めた。DIN仕様のブラックスタンダード温度計は、熱電対の取付部の空隙が大きい。なお、接続するデータロガーに適合するよう、センサーは銅・コン

* ウェザリングワークショップ 工博

** 建設省建築研究所 部長・工博

*** 建設省建築研究所 研究員・工修

Weathering Workshop, Dr. Eng.

Director, Building Research Institute, Ministry of Construction, Dr. Eng.

Researcher, Building Research Institute, Ministry of Construction, M. Eng.

表-1 ブラックパネル温度計 仕様

No.	記号	規格	対象光源	パネル材質	厚さ(mm)	熱電対の取付位置/特記仕様	適用
1	FP		紫外線蛍光灯	アルミ	1.0	表面ブロック空洞内	パネルの穴は センサー取付け用
2	BI		屋外太陽光	ステンレス	1.0	パネル裏面直付/裏面断熱	前報告 ¹⁾ の仕様を水密化
3	BR		屋外太陽光	ステンレス	1.0	パネル裏面直付	
4	BT		屋外太陽光	ステンレス	1.0	パネル表面直付	前報告 ¹⁾ と同一仕様
5	JS	JIS A 1415 JIS K 7350-1 ISO 4892	水冷キセノン カーボンアーク	ステンレス	0.5	パネル裏面直付/裏面熱絶縁	
6	AP	ASTM G26	水冷キセノン	ステンレス	1.0	6φシース内	
7	MB		メタルハライド	アルミブロック		ブロック溝内の3φシース内	
8	MP		メタルハライド	ステンレス	1.0	6φシース内	
9	JP	JIS A 1415 JIS B 7751 JIS K 7350-1	水冷キセノン カーボンアーク	ステンレス	1.0	3.5φシース内	前報告 ¹⁾ と同一仕様
9'	JH			ステンレス	1.0	3.5φシース内	No.9を横置き
10	DS	DIN 75202	空冷キセノン	ステンレス	0.5	パネル裏面直付/裏面熱絶縁	裏面プラスチック板の 空隙はNo.5より大きい (当初、自動車内装材の 試験用に開発された)
11	DP		空冷キセノン	ステンレス	0.5	パネル表面直付(ガラス繊維被覆)

図-1 ブラックパネル温度計の形状

スタンタン仕様としている。

2.2 ブラックパネル温度計のばくろ条件

これらのパネルは、南30°に設定したばくろ架台に取り付けて温度を毎10分間隔で測定して、データロガーを介して収録した。

No.1~9' は、1995年4月~1996年3月までの1年間のデータを解析した。この間、計測システムの点検などのため、1日に満たない短期の欠測は延べ7日だった。No.10, 11 は、1998年1~12月のデータを解析したが、システムトラブルや工事のため、1998年4月7日~5月20日、12月8~14日は長期にわたり欠測し、短期の欠測は延べ4日間であった。

本報では、屋外ばくろ試験場内で観測している、気温・風向風速

(地上高: 4m)・水平面全日射量(EKO MS-801)を参照している。

3. ブラックパネル温度の測定結果

平均・最高・最低温度は、終日毎10分値が得られた日のみを対象にして、表-2に示すような値が得られた。

温度別の観測回数のヒストグラムを、図-2に示す。裏面を断熱しているBIでは、かなり高温となることがある。

4. 考察

JIS仕様のブラックパネル温度計(JP)を、他のパネルとの比較

する際の基準パネルとする。その平均温度は、1995年4月～1996年3月では 16.5℃で、1998年1～12月では 16.7℃であり、観測期間が異なっている No.10, 11 のデータを他と比較することには特に問題とはならないと考えられる。

4. 1 ブラックパネル温度とブラックスタンダード温度の相関

図-3に、1年間に観測された、ブラックパネル温度とブラックスタンダード温度の相関を示す。ブラックパネル温度が高温時にはブラックスタンダード温度の方がより高温となるが、低温時には放射冷却や結露などの影響があるためか、ブラックスタンダード温度がブラックパネル温度より常に高温になるとは限らない。

図-4には、水平面日射量と「ブラックスタンダード温度とブラックパネル温度の差」の関係を示す。ブラックスタンダード温度計は熱容量が小さく熱絶縁されているために暖まりやすく、日射が強くなると、ブラックスタンダード温度とブラックパネル温度との差が大きくなる。

図-5には、風速（パネルの地上高：1m を考慮し、放物線則により換算）と「ブラックスタンダード温度とブラックパネル温度の差」の関係を示すが、あまりはっきりした関係は認められない。そこで、気温の影響を除去するために、前報²⁾で提案した「パネル温度と気温の温度差」の比（「温度差比」と定義する）で整理する。図-6に、基準パネル温度と気温の差が 5℃以上となる場合の、ブラックスタンダード温度の温度差比の頻度を示す。また図-7には、温度差比に対する風速の影響を示す。風速が大きいと温度差比も大きくなる傾向が顕れている。これは JIS 仕様のブラックパネル温

表-2 ブラックパネル温度の年間平均・最高・最低値

No.	記号	観測期間	パネル温度 (℃)		
			平均値	最高値	最低値
1	FP	95.04～96.03	16.5	58.6	-10.7
2	BI	95.04～96.03	19.3	81.0	-13.0
3	BR	95.04～96.03	16.9	63.5	-11.1
4	BT	95.04～96.03	16.9	63.7	-11.2
		98.01～98.12	16.9	63.5	-10.5
5	JS	95.04～96.03	17.5	66.9	-11.3
6	AP	95.04～96.03	16.7	64.0	-11.1
		98.01～98.12	16.9	63.6	-10.3
7	MB	95.04～96.03	16.1	55.3	-10.2
8	MP	95.04～96.03	16.1	58.9	-10.5
9	JP	95.04～96.03	16.5	63.4	-11.0
		98.01～98.12	16.7	61.9	-10.2
9'	JH	95.04～96.03	16.6	65.0	-11.1
10	DS	98.01～98.12	16.9	57.9	-9.6
11	DP	98.01～98.12	16.8	61.7	-10.2

度計では、シース内に熱電対があり、前々報¹⁾で指摘したように、暖められたパネルからシースに熱が伝わる際に、風速が大きいと熱が逃げやすいためと思われる。

建築仕上材料などの屋外ばくろ試験を行う際、例えばコンクリート下地などで熱容量が相当に大きい場合、暖まりにくく冷めにくいので、ブラックパネル温度、ブラックスタンダード温度ともに、実際の試料温度の指標とはならないと思われる。

図-2 ブラックパネル温度の年間観測頻度

図-3 ブラックパネル温度 (BPT) と
ブラックスタンダード温度 (BST) の相関

図-4 ブラックスタンダード温度 (BST) と
ブラックパネル温度 (BPT) の差に対する
日射の影響

4. 2 温度差比による整理

各パネルの温度特性を比較するため、基準パネル(JP)を基準パネルの温度が気温より 5℃以上高温となる場合の温度差比を求め、その平均と標準偏差を表-3に整理する。これによれば、裏面が断熱されている BI が最も高温となっており、次が JS となり、DIN 仕様のブラックスタンダードパネルとはかなり特性が異なることが分かる。JIS と DIN でこれだけの差があることは注意しなければならない。その次に高温となる傾向があるのは、BT、BR で、これらは熱電対の位置が違っているが、その差はわずかである。次に基準パネル温度より高温傾向となるのは、AP、DP で、基準パネルも含めてこれらはキセノンウェザーメーターの試験環境の温度管理に参照されていることから、仮に試験装置内雰囲気温度が45℃とすると、ブラックパネル温度: 63℃では、1℃程度の差があることになる。JH も高温傾向となる。基準パネル温度より低温となる傾向は、FP、MP、MB に認められるが、これは、光源の波長分布が紫外線領域に多いということと関連があるためと考えられる。

図-5 ブラックスタンダード温度 (BST) と
ブラックパネル温度 (BPT) の差に対する
風速の影響

図-6 ブラックスタンダード温度 (BST) と気温の差と、
ブラックパネル温度 (BPT) と気温の差の比の頻度

図-7 ブラックスタンダード温度 (BST) と気温の差と、
ブラックパネル温度 (BPT) と気温の差の比に対する
風速の影響

表-3 各ブラックパネル温度と気温の差と、
基準ブラックパネル温度 (JP) と気温の差の比

No.	記号	観測期間	温度差比	
			平均値	±標準偏差
1	FP	95.04~96.03	0.923	± 0.125
2	BI	95.04~96.03	1.938	± 0.316
3	BR	95.04~96.03	1.122	± 0.125
4	BT	95.04~96.03	1.127	± 0.115
		98.01~98.12	1.106	± 0.103
5	JS	95.04~96.03	1.347	± 0.205
6	AP	95.04~96.03	1.068	± 0.093
		98.01~98.12	1.060	± 0.084
7	MB	95.04~96.03	0.852	± 0.120
8	MP	95.04~96.03	0.892	± 0.076
9	JP	95.04~96.03	1 (基準)	
		98.01~98.12	1 (基準)	
9'	JH	95.04~96.03	1.031	± 0.084
10	DS	98.01~98.12	0.992	± 0.118
11	DP	98.01~98.12	1.023	± 0.102

基準ブラックパネル温度 (JP) と気温の差が 5℃以上
観測回数: 95.04~96.03 で 13126;
98.01~98.12 で 10040

4. 3 熱劣化量による比較

「パネル温度が 30℃の時、熱劣化速度は 20℃の場合の 2倍 (活性化エネルギー: 51.2 KJ/mol/K)」という熱劣化特性を仮定し、各パネル温度の毎10分観測値で熱劣化量を計算して、特性変化量を基準パネルと比較した。この結果を表-4に示す。高温となる傾向があるパネルでは熱劣化量も大きく、「温度差比」によって整理したものと、その順は全く同じとなった。AP, DP, JP の差は数パーセントであり、人工促進劣化試験そのものの再現性や精度からすれば、これは許容範囲と考えて差し支えない。

裏面を断熱した BI では、劣化が速くなる。反射板を用いた集

表-4 ブラックパネル温度に基づく熱劣化量の比較

No.	記号	観測期間	熱劣化量の比率
1	FP	95.04~96.03	0.957
2	BI	95.04~96.03	1.728
3	BR	95.04~96.03	1.069
4	BT	95.04~96.03	1.069
		98.01~98.12	1.050
5	JS	95.04~96.03	1.191
6	AP	95.04~96.03	1.041
		98.01~98.12	1.032
7	MB	95.04~96.03	0.912
8	MP	95.04~96.03	0.939
9	JP	95.04~96.03	1 (基準)
		98.01~98.12	1 (基準)
9'	JH	95.04~96.03	1.018
10	DS	98.01~98.12	0.994
11	DP	98.01~98.12	1.011

10℃の温度上昇で、熱劣化速度が 2倍になると仮定
(熱劣化の活性化エネルギー: 51.2 KJ/mol/K)

光ばくろ架台ほどではないが、「屋外での促進劣化試験方法」として、裏面を断熱することは有効と思われる。

4. 4 人工促進劣化試験におけるブラックパネル温度

「JIS A 1415」には、人工促進劣化試験の設定条件として、ブラックパネル温度: 63±3℃という基準が設定されている。今回、ブラックパネル温度を屋外で測定したところ、JIS 仕様のブラックパネル温度は夏期の正午前後に 60℃以上となる (表-5を参照)。この「ブラックパネル温度: 63℃」の根拠は、海外の規格に合わせたものと思われるが、実際の屋外ばくろ試験で観測される最高温度という意味もある。

また、ブラックスタンダード温度がブラックパネル温度より 3℃ほど高温となった。これは、今後、人工促進劣化試験を管理する際の目安となろう。

表-5 基準ブラックパネル温度 (JP) が 60℃以上となった日時と、その平均温度

観測日時 (年/月/日, 時:分)		
95/07/25, 10:50	95/07/26, 13:10	95/07/28, 11:30
95/08/01, 12:00	95/08/04, 10:50	95/08/04, 12:10
95/08/09, 12:30	95/08/16, 12:20	95/08/19, 12:00
95/08/20, 12:00	95/08/21, 12:10	95/08/26, 12:40
98/07/09, 13:00	98/08/03, 13:20	98/09/09, 12:30
98/09/16, 13:40	98/09/17, 11:50	

No.	記号	観測期間	観測回数	平均温度 (℃)
1	FP	95.04~96.03	12	56.8
2	BI	95.04~96.03	12	78.3
3	BR	95.04~96.03	12	62.2
4	BT	95.04~96.03	12	62.4
		98.01~98.12	5	61.7
5	JS	95.04~96.03	12	64.3
6	AP	95.04~96.03	12	62.5
		98.01~98.12	5	61.6
7	MB	95.04~96.03	12	53.1
8	MP	95.04~96.03	12	57.1
9	JP	95.04~96.03	12	61.2
		98.01~98.12	5	60.5
9'	JH	95.04~96.03	12	62.1
10	DS	98.01~98.12	5	56.4
11	DP	98.01~98.12	5	60.0

5. 結論

各種ブラックパネル温度の、屋外環境における測定結果から、次のような結論が導かれる。

- 1) JIS, ASTM, DIN 仕様のブラックパネル温度計では、顕著な温度特性の差は認められない。これらは、人工促進劣化試験の温度環境の指標として、共通に使用可能と思われる。
- 2) ブラックスタンダード温度計では、JIS(ISO) 仕様のものは、DIN 仕様のものと比べ、高温となる傾向がある。これを用いる場合は、この点に留意しなければならない。
- 3) 紫外線蛍光灯やメタルハライドランプを用いる人工促進劣化試験機用のブラックパネル温度計は、JIS 仕様のブラックパネル

温度より低温となる。

- 4) 裏面を断熱することにより、ばくろ試料の温度が高くなり、熱劣化を促進させることができる。

謝辞

今回の報告で用いたブラックパネル温度計を入手するため、人工促進劣化試験機メーカー・代理店のご協力をいただきました。また、J. Boxhammer 博士には、格別のご好意を賜りました。ここに厚く謝意を表します。

参考文献

- 1) 富板 崇：ブラックパネル温度に基づく熱劣化予想マップ，屋外での熱劣化環境の定量化（その1），日本建築学会構造系論文報告集 第395号，pp.13～20，昭和64年1月
- 2) 富板 崇：方位・角度別のブラック・ホワイトパネル温度の測定，屋外での熱劣化環境の定量化（その3），日本建築学会構造系論文報告集 第404号，pp.7～14，1989年10月
- 3) DIN 75202-1988, Bestimmung der Lichtechtheit von Werkstoffen der Kraftfahrzeug-Innenausstattung mit Xenonbogenlicht
- 4) ISO 4892-1:1994, Plastics- Methods of exposure to laboratory light sources, Part 1:General guidance
- 5) ISO 4892-2:1994, Plastics- Methods of exposure to laboratory light sources, Part 2:Xenon- arc sources

- 6) ISO 4892-3:1994, Plastics- Methods of exposure to laboratory light sources, Part 3:Fluorescent sources
- 7) ISO 4892-4:1994, Plastics- Methods of exposure to laboratory light sources, Part 4:Open- flame carbon- arc sources
- 8) JIS K 7350-1-1995, プラスチック—実験室光源による暴露試験方法 第1部：通則
- 9) JIS K 7350-2-1995, プラスチック—実験室光源による暴露試験方法 第2部：キセノンアーク光源
- 10) JIS K 7350-3-1995, プラスチック—実験室光源による暴露試験方法 第3部：紫外線蛍光ランプ
- 11) JIS K 7350-4-1995, プラスチック—実験室光源による暴露試験方法 第4部：オープンフレームカーボンアークランプ
- 12) JIS A 1415-1999, 高分子系建築材料の実験室光源による暴露試験方法
- 13) ASTM G23-96, Standard Practice for Operation Light-Exposure Apparatus(Carbon- Arc Type) With and Without Water for Exposure of Nonmetallic Materials
- 14) ASTM G26-96, Standard Practice for Operation Light-Exposure Apparatus(Xenon- Arc Type) With and Without Water for Exposure of Nonmetallic Materials
- 15) ISO 4582:1998, Plastics- Determination of changes in colour and variations after exposure to daylight under glass, natural weathering or laboratory light sources
- 16) JIS B 7751-1990, 紫外線カーボンアーク灯式耐光性及び耐候性試験機

(1999年7月21日原稿受理，1999年12月9日採用決定)