### 2. 試験方法

#### 2.1 概要

鋼部材の加熱方法としては、次の(1)から(3)に示す3つの方法とした。(1)と(2)から、火炎の影響の違いについて、(1)と(3)から火災の環境の違いについて、比較する。

#### (1) 開放型ガス炉加熱試験

ガスバーナーを熱源とし、供試体を水平に設置して片面から加熱する方法である。酸素が 常時供給される状態にあり、桁下空間が広い橋梁等を想定している。加熱した鋼板の表面は 炎に近い開放部位の炎側条件での評価に、裏側については炎に近い開放部位の反対側の条件 での評価に用いることを想定している。

### (2) 開放型ガス炉接炎試験

開放型ガス炉加熱試験と同様の装置を使用し、ガスバーナーから噴出する火炎が直接接す るように、供試体の位置をガスバーナーに近づけた状態で実施する方法である。開放型ガス 炉加熱試験と同様、酸素が常時供給される状態にあり、桁下空間が広い橋梁に直接炎が当た る場合を想定している。

#### (3) 電気炉加熱試験

電気炉を使用し、供試体を水平に設置し両面からの加熱方法である。塗膜に酸素が十分に は供給されない状況となるため、不完全燃焼が生じることが想定される。桁下空間が狭い橋 梁や箱桁内面など閉鎖空間条件での評価に用いることを想定している。

#### 2.2 供試体

#### 2. 2. 1 鋼板供試体

#### (1) 材質

鋼材の材質は、塗膜の燃焼試験結果に対しては直接影響しないと考えられる。本試験では、計 測温度と鋼材の熱影響の関係を明確にするために燃焼試験後の鋼板を用いて引張試験を実施する こととし、材質は橋梁用の主部材として広く使用されている SM490 材とした。本試験で使用し た SM490 材の検査証明書に記載されている規格、化学成分および引張試験結果を表 2.2.1 に示 す。

	化学成分 (%)					引張試験		
規格	С	Si	Mn	р	S	降伏点	引張強さ	伸び
	U	51	IVIII	T	D	(N/mm <sup>2</sup> )	(N/mm <sup>2</sup> )	(%)
JIS G3106 SM490A	0.16	0.34	1.42	0.01	0.001	404	545	27

表 2.2.1 使用鋼材の規格、化学成分および引張試験結果

(2) 寸法

① 開放型ガス炉加熱試験及び開放型ガス炉接炎試験用の鋼板供試体

鋼板供試体の板厚は、温度との関係を明確にするため供試体の中で場所ごとの温度差が大きく ならいこと、及び、加熱試験においても板厚形状が保持できることを考慮し、実橋の主部材で用 いられる最小厚である 9mm に統一した。

鋼板供試体の寸法については、加熱試験後の鋼板を用いて引張試験を実施するため、JIS 規格 の標準試験片が採取できる大きさとした。JIS Z 2241「金属材料引張試験方法」によれば、道路 橋示方書の SM490 材に対する引張試験片である 1A 号試験片は、図 2.2.1 に示す寸法である。し たがって、本試験では、 図 2.2.2 に示すように、JIS 試験片が 3 本採取可能な 300×500mm とし た。



					ajic <u>112</u> mm					
試験片の	幅	試験片の	平行部長さ	肩部の半径	厚さ					
種類	b <sub>a</sub>	原標点距離	$L_{e}$	R	a <sub>a</sub>					
		$L_{0}$								
18	40,±0.7	200	220 以上	25 以上	もとの厚さまま					
1B	25.±0.7	200	215 以上	25 以上	もとの厚さまま					
注記 ISO 6	注記 ISO 6892-1 では、試験片の原標点距離が 80 mm の試験片が規定されている。									

図 2.2.1 JIS における1A号引張試験片



図 2.2.2 1 A号試験片の採取位置 (単位:mm)

なお、加熱試験時に供試体端部が弱点となって塗膜の変状が先進することのないように、供試体のエッジ部は2R程度の面取りを行って、供試体端部の塗膜厚が薄くならないようにした。

#### 電気炉加熱試験用の鋼板供試体

加熱試験は、後述するように、内寸が幅 300mm×高さ 300mm×奥行き 600mm の電気炉を使 用して両面から加熱する試験である。加熱試験に用いる鋼板供試体の寸法は、接炎試験と同様の 板厚 9mm とし、大きさについては数種類の供試体を1度に試験できるよう 100×100mm とした。 また、開放型ガス炉加熱試験用の鋼板供試体同様に、鋼板のエッジ部は2Rの面取り処理を施し た。

### (3)塗装系

塗装は、試験によっては熱源側と非熱源側の熱影響の違いにも着目すること、橋梁では一般に 両面に塗装が施工されていることから、鋼板供試体の両面に同じ塗装を行うこととした。塗装系 の種類としては、鋼道路橋塗装便覧(平成2年6月、(社)日本道路協会)(以下「H2塗装便覧」 という。)及び鋼道路橋塗装・防食便覧(平成17年12月、(社)日本道路協会)(以下「H17塗装 便覧」という。)におけるA-1、A-2、B-1、C-1およびC-5の5種類とした。

H17 塗装便覧における、新設橋の外面塗装は、A塗装系及びB塗装系は対象外とされ、C-1 及びC-5塗装系のみである。しかしながら、表 2.2.2 に示すとおり、H2 塗装便覧ではA塗装系 は一般環境、B塗装系はやや厳しい腐食環境にて使用することが望ましいとされており、現在供 用している橋梁では上記塗装系を使用している橋梁は多数存在している。

本研究では、供用中の橋梁が被災した際の被害程度の推定に活用することを目的としていることから、現在一般的に用いられている塗装系のうち上記5種類を選定し、試験を実施する。

腐食環境分類	通常の場合	上塗りの色調を長期 間保持する場合
一般環境	A - 1, $A - 2$	A - 3, A - 4
やや厳しい腐食環境	B - 1	C - 3, C - 4
厳しい腐食環境	C-1, $C-2$	

表 2.2.2 外面用塗装系の適用分類(H2 塗装便覧より)

## それぞれの塗装系の仕様及び塗料名を表 2.2.3 に、各塗料の色彩を表 2.2.4 に示す。

塗装系	項目	塗料種類	塗料名 (関西ペイント(株))	塗料の色	目標膜厚 (µm)	合計目標 膜厚 <sub>(µm)</sub>
	素地調整		· ブラスト処理 (SIS Sa2.5)			
	下塗り(1)	シアナミド鉛さび止めペイント	SDシアナミドサビナイト	赤さび色	35	
A-1	下塗り(2)	シアナミド鉛さび止めペイント	SDシアナミドサビナイト	赤さび色	35	125
	中塗り	長油性フタル酸樹脂塗料中塗	SDマリンセーフティ 中塗	クリーム	30	125
	上塗り	長油性フタル酸樹脂塗料上塗	SDマリンセーフティ 上塗	クリーム	25	
	素地調整		ブラスト処理 (SIS Sa2.5)			
	下塗り(1)	シアナミド鉛さび止めペイント	SDシアナミドサビナイト	赤さび色	35	
	下塗り(2)	シアナミド鉛さび止めペイント	SDシアナミドサビナイト	赤さび色	35	
A-2	下塗り(3)	フェノール樹脂MIO塗料	フェロドールF34	ブリッジグレー	45	170
	中塗り	長油性フタル酸樹脂塗料中塗	SDマリンセーフティ 中塗	クリーム	30	
	上塗り	長油性フタル酸樹脂塗料上塗	SDマリンセーフティ 上塗	クリーム	25	
	素地調整		ブラスト処理 (SIS Sa2.5)			
	下塗り(1)	シアナミド鉛さび止めペイント	SDシアナミドサビナイト	赤さび色	35	
	下塗り(2)	シアナミド鉛さび止めペイント	SDシアナミドサビナイト	赤さび色	35	
B-1	下塗り(3)	フェノール樹脂MIO塗料	フェロドールF34	ブリッジグレー	45	180
	中塗り	塩化ゴム系塗料中塗	ラバテクト 中塗	淡彩	35	
	上塗り	塩化ゴム系塗料上塗	ラバテクト 上塗	クリーム	30	
	素地調整		ブラスト処理 (SIS Sa2.5)			
	下塗り(1)	無機ジンクリッチペイント	SDジンク1500A	グレー	75	
	ミストコート		エポリンプライマー(希釈)		-	
C-1	下塗り(2)	エポキシ樹脂塗料下塗	エポリンプライマー	ブラウン	60	240
	下塗り(3)	エポキシ樹脂MIO塗料	フェロドールEXP-34	ブリッジグレー	50	240
	中塗り	ポリウレタン樹脂塗料用中塗	セラテクトU 中塗	クリーム	30	
	上塗り	ポリウレタン樹脂塗料用上塗	セラテクトU 中塗	クリーム	25	
	素地調整		ブラスト処理 (SIS Sa2.5)			
	下塗り(1)	無機ジンクリッチペイント	SDジンク1500A	グレー	75	
C 5	ミストコート		エポリンプライマー(希釈)		-	
U-3	下塗り(2)	厚膜形エポキシ樹脂塗料下塗	エポリマリンHB(K)	赤さび色	120	250
	中塗り	ふっ素樹脂塗料用中塗	セラテクトF 中塗	クリーム	30	
	上塗り	ふっ素樹脂塗料用上塗	セラテクトF 上塗	クリーム	25	

# 表 2.2.3 塗装仕様一覧

A-1塗装系	A-2塗装系	B-1塗装系
<ul> <li>①下塗り(1):シアナミド鉛さび 止めペイント</li> <li>②下塗り(2):シアナミド鉛さび 止めペイント</li> <li>③中塗り:長油性フタル酸樹脂</li> <li>塗料中塗</li> <li>④上塗り:長油性フタル酸樹脂</li> </ul>	<ul> <li>① 下塗り(1):シアナミド鉛さび 止めペイント</li> <li>② 下塗り(2):シアナミド鉛さび 止めペイント</li> <li>③ 下塗り(3):フェノール樹脂M I O塗料</li> <li>④ 中塗り:長油性フタル酸樹脂</li> </ul>	<ul> <li>① 下塗り(1):シアナミド鉛 さび止めペイント</li> <li>② 下塗り(2):シアナミド鉛 さび止めペイント</li> <li>③ 下塗り(3):フェノール樹 脂M I O塗料</li> <li>④ 中塗り:塩化ゴム系塗料中</li> </ul>
塗料上塗	塗料中塗 ⑤上塗り:長油性フタル酸樹脂	塗 ⑤上塗り : 塩化ゴム系塗料上
		塗
C-1	C-5 塗袋糸	
<ul> <li>①</li> <li>こ下塗り(1):無機ジンクリッチペイント</li> <li>①</li> </ul>	<ol> <li>①</li> <li>①</li> <li>こ</li> <li>①</li> <li>下塗り(1) : 無機ジンクリッ チペイント</li> </ol>	
<ul> <li>②下塗り(2):エポキシ樹脂塗料 下塗</li> <li>③下塗り(3):エポキシ樹脂MI</li> <li>O塗料</li> <li>④中塗り:ポリウレタン樹脂塗 料用中塗</li> <li>⑤上塗り:ポリウレタン樹脂塗</li> <li>料用上塗</li> </ul>	<ul> <li>②下塗り(2):厚膜型エポキシ樹 脂塗料下塗</li> <li>③中塗り:ふっ素樹脂塗料用中</li> <li>④上塗り:ふっ素樹脂塗料用上</li> <li>塗</li> </ul>	

# 表 2.2.4 鋼板供試体における各塗料の色彩

(4) 塗装色

上塗り塗料の色彩について、文献 2.1) を利用し、平成 9~14 年度の道路管理者ごとの上塗り 件数を比較した。表 2.2.5、表 2.2.6 に、管理者別、色別、年度別の内訳を示す。

図 2.2.3~2.2.5 に管理者別年度別の上塗り塗料の数量変動を示す。管理者ごとに上塗り塗料の 色彩の割合は異なるものの、概ね多い色彩としては、緑系、青系、クリーム色系で、地方自治体 では赤系も多い。

一方、文献2.2)~2.4)によると、上塗り塗料を青系(緑系も同様)とした場合、400℃までの変色の状況が判別しにくい状態となると考えられる。また、薄い色の青系、緑系については、 塗料メーカーにより変退色に違いが認められるとされていることから、顔料の違いが結果に現れ る可能性がある。

これらのことから、鋼橋における上塗り塗装の色彩として広く用いられている色であることと、 上塗りの燃焼状況の変化(黒色化、炭化、灰化)が400℃程度まででも比較的把握しやすいこと を踏まえて、「クリーム系」(日本塗料工業会標準色:F22-90Dとする)に統一することとした。 参考に、管理者別の橋梁上塗り塗装の色別件数を、表に示した。

管理者	国土交通省	公団・公社	地方自治体
塗装件数合計(件)	1037	544	401

表 2.2.5 塗装件数集計数

			上塗り色の適用件数							
		赤系	緑系	グレー系	青系	クリーム系	茶系	その他	計	
	H14	4	19	6	37	19	2	3	90	
	H13	18	32	18	36	30	6	6	146	
	H12	11	29	14	27	21	2	4	108	
国交省	H11	14	82	6	46	48	11	4	211	
	H10	13	84	15	42	58	10	11	233	
	H9	15	102	13	65	40	14	-	249	
	合計	75	348	72	253	216	45	28	1037	
	H14	1	8	4	6	12		4	35	
	H13	7	19	13	7	31		6	83	
	H12	4	14	13	6	25		3	65	
公団·公社	H11	2	38	12	17	30		2	101	
	H10	5	39	16	8	47	1	1	117	
	H9	12	42	10	14	65	-	-	143	
	合計	31	160	68	58	210	1	16	544	
	H14	15	21	8	27	18	17	4	110	
	H13	35	29	13	46	19	10	9	161	
地方自治体	H12	26	20	17	39	15	6	7	130	
	H11	-	-	-	-	-	-	-		
	승計	76	70	38	112	52	33	20	401	

表 2.2.6 橋梁上塗り塗装色別件数(管理者別)



図 2.2.3 管理者別年度別橋梁上塗り塗装色別件数



図 2.2.4 橋梁上塗り塗装色別割合

図 2.2.5 道路管理者ごとの橋梁

上塗り塗装色別割合

(H9~H14 年度 自治体は H12~H14 年度)
 (H9~H14 年度 自治体は H12~H14 年度)
 注:ここで、文献 2.1)において調査対象としていた機関は次のとおりである.なお、今回の集計上、沖縄総合

事務局については国交省という区分で整理した.

国交省:8地方整備局、北海道開発局、沖縄総合事務局 公団・公社(当時):日本道路公団、首都高速道路公団、阪神高速道路公団、本州・四国連絡橋公団、 名古屋高速道路公社、福岡・北九州高速道路公社 地方自治体:地方庁 (5)乾燥条件

塗装して間もない供試体と供用から数年が経過した撤去橋梁部材では、塗膜の燃焼性状が異な る可能性がある。燃焼性状が異なる原因として、塗装して間もない塗膜では、塗料中に残留溶剤 が存在すること、紫外線劣化を受けていないこと、塗膜間の付着力が低下していないことなどが 考えられる。

このため、実際に経年劣化した塗膜を模擬した供試体を作製するためには、長期間の屋外暴露 等が必要である。本研究では、基礎的な調査として、表 2.2.7 に示す間隔で上塗りまでを塗装し た後、1 箇月の間屋外暴露を行うこととした。なお、表における各層の塗装後の最低養生期間は、 H2 塗装便覧および H17 塗装便覧において示されている各塗装系の最低塗装間隔である。

供試体の屋外暴露は、文献 2.5)を参考に、供試体の位置が高さ 500mm 以上で45°の暴露角 度となるような暴露台を南向きに設置して行った。供試体作成後の屋外暴露状況を、写真 2.2.1 に示す。

なお、塗装中の溶剤等が完全に抜けて安定するには数ヶ月の乾燥を要する。そのため、一部の 塗装板は本報告書の実験には供さず、1年以上の自然暴露の後、同様の試験を行う予定としてい る。



写真 2.2.1 屋外暴露状況

塗装系	区分	塗料種類	塗装後の最低養生期間					
	下塗り(1)	シアナミド鉛さび止めペイント	48時間室内乾燥					
	下塗り(2)	シアナミド鉛さび止めペイント	48時間室内乾燥					
A-1	中塗り	長油性フタル酸樹脂塗料中塗	48時間室内乾燥					
	上塗り	長油性フタル酸樹脂塗料上塗	48時間室内乾燥					
		1箇月間の屋外暴露						
	下塗り(1)	シアナミド鉛さび止めペイント	48時間室内乾燥					
	下塗り(2)	シアナミド鉛さび止めペイント	48時間室内乾燥					
A 2	下塗り(3)	フェノール樹脂MIO塗料	48時間室内乾燥					
A-2	中塗り	長油性フタル酸樹脂塗料中塗	48時間室内乾燥					
	上塗り	長油性フタル酸樹脂塗料上塗	48時間室内乾燥					
		1箇月間の屋外暴露						
	下塗り(1)	シアナミド鉛さび止めペイント	48時間室内乾燥					
	下塗り(2)	シアナミド鉛さび止めペイント	48時間室内乾燥					
R 1	下塗り(3)	フェノール樹脂MIO塗料	48時間室内乾燥					
D-1	中塗り	塩化ゴム系塗料中塗	24時間室内乾燥					
	上塗り	塩化ゴム系塗料上塗	24時間室内乾燥					
		1箇月間の屋外暴露						
	下塗り(1)	無機ジンクリッチペイント	48時間室内乾燥					
	ミストコート		24時間室内乾燥					
	下塗り(2)	エポキシ樹脂塗料下塗	24時間室内乾燥					
C-1	下塗り(3)	エポキシ樹脂MIO塗料	48時間室内乾燥					
	中塗り	ポリウレタン樹脂塗料用中塗	24時間室内乾燥					
	上塗り	ポリウレタン樹脂塗料用上塗	24時間室内乾燥					
		1箇月間の屋外暴露						
	下塗り(1)	無機ジンクリッチペイント	48時間室内乾燥					
	ミストコート		24時間室内乾燥					
C-5	下塗り(2)	厚膜形エポキシ樹脂塗料下塗	48時間室内乾燥					
0-5	中塗り	ふっ素樹脂塗料用中塗	24時間室内乾燥					
	上塗り	ふっ素樹脂塗料用上塗	24時間室内乾燥					
	1箇月間の屋外暴露							

表 2.2.7 塗装間隔および乾燥条件

### (6) 各供試体の膜厚測定結果

鋼板供試体の作成にあたり、各層の塗装段階で測定した膜厚の測定結果を表 2.2.8(1)~(5)及 び図 2.2.6(1)~(6)に示す。なお、同表に示した膜厚の測定値は、電磁式の塗膜厚計を用いて、 開放型ガス炉加熱試験及び開放型ガス炉接炎試験用の供試体は12箇所、電気炉加熱試験用の供 試体は6箇所測定した結果の平均値である。また、各層の膜厚は当該層までの塗膜を含む累積値 である。ここで、標準膜厚とは、鋼道路橋塗装・防食便覧<sup>2.6)</sup>の目標膜厚における当該層までの膜 厚を示している。

表 2.2.8(1) 鋼板供試体の作成時膜厚測定結果 (A-1塗装系) [単位:µm]

A-1塗装系		下塗り(1)	下塗り(2)	中塗り	上塗り
	標準膜厚	35	70	100	125
試験方法	実施温度				
	200°C	33	98	140	196
	300°C	34	96	144	195
開放型ガス炉	400°C	23	102	145	201
加熱·接炎試験用	500°C	33	92	131	195
$(300 \times 500 \times 9$ mm)	600°C	23	90	136	191
	700°C	33	95	138	202
	接炎	35	99	145	210
	200°C	29	85	138	190
	300°C	31	91	129	184
電気炉	400°C	26	85	142	192
川款託映用 (100×100×9mm)	500°C	28	99	150	211
(100//100//0100)	600°C	33	97	141	198
	700°C	28	79	117	178

表 2.2.8(2) 鋼板供試体の作成時膜厚測定結果(A-2塗装系) [単位:µm]

A-2塗装系		下塗り(1)	下塗り(2)	下塗り(3)	中塗り	上塗り
	標準膜厚	35	70	115	145	170
試験方法	実施温度					
	200°C	38	102	198	234	288
	300°C	29	87	180	210	266
開放型ガス炉	400°C	35	95	191	232	283
加熱·接炎試験用	500°C	26	91	183	230	275
$(300 \times 500 \times 9$ mm)	600°C	27	86	184	224	274
	700°C	30	88	183	218	272
	接炎	32	79	186	228	272
	200°C	26	86	202	214	265
	300°C	26	73	200	215	250
電気炉	400°C	26	92	205	210	254
	500°C	28	84	194	204	250
(100.100.00000)	600°C	25	84	200	205	253
	700℃	22	68	174	188	239

B-1塗装系		下塗り(1)	下塗り(2)	下塗り(3)	中塗り	上塗り
	標準膜厚	35	70	115	150	180
試験方法	実施温度					
	200°C	26	84	167	222	270
	300°C	29	86	171	208	272
開放型ガス炉	400°C	27	83	182	218	271
加熱・接炎試験用	500°C	30	84	184	207	277
$(300 \times 500 \times 9$ mm)	600°C	30	92	186	224	284
	700°C	31	92	176	237	304
	接炎	36	97	168	217	297
	200°C	30	76	189	242	294
-	300°C	29	89	212	233	291
電気炉	400°C	27	76	188	222	281
<sup>川</sup> 恐武駛用 (100×100×9mm)	500°C	25	75	170	196	247
(100.100/000000)	600°C	26	71	172	211	260
	700°C	24	76	171	202	248

表 2.2.8(3) 鋼板供試体の作成時膜厚測定結果(B-1塗装系) [単位:µm]

C-1塗装系		下塗り(1)	下塗り(2)	下塗り(3)	中塗り	上塗り
	標準膜厚	75	135	185	215	240
試験方法	実施温度					
	200°C	79	210	278	354	400
開放型ガス	300°C	71	182	247	298	338
炉	400°C	73	181	249	320	370
加烈・ 送炎 試験田	500°C	72	184	251	314	365
(300×500	600°C	78	223	291	351	401
$\times 9$ mm)	700°C	73	180	249	315	360
	接炎	82	200	260	329	380
	200°C	78	208	295	348	384
雷気炉	300°C	85	204	287	349	386
加熱試験用	400°C	85	209	291	361	395
(100×100	500°C	82	209	301	384	411
$\times 9$ mm)	600°C	81	210	301	373	405
	700°C	83	206	281	363	402

表 2.2.8(4) 鋼板供試体の作成時膜厚測定結果(C-1 塗装系) [単位:μm]

表 2.2.8(5)	鋼板供試体の作	成時膜厚測定結果	(C-5塗装)	系) [単位:μm]
			· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	

C-5塗装系		下塗り(1)	下塗り(2)	中塗り	上塗り
	標準膜厚	75	135	215	240
試験方法	実施温度				
	200°C	80	278	355	394
	300°C	76	257	324	356
	400°C	87	290	366	392
問わ刑ガフ	500°C	79	255	329	362
開放空ルへ	600°C	67	243	316	348
加熱・接炎	700°C	70	279	351	387
試験用	接炎	74	232	312	351
$(300 \times 500)$	500℃-1分	82	269	356	400
~ 9mm)	500℃-5分	70	256	329	366
	500℃-15分	75	258	335	372
	500℃-30分	71	234	305	335
	500℃-60分	80	261	354	383
	200°C	96	337	411	441
電気炉	300°C	95	333	413	442
加熱試験用	400°C	84	315	382	413
$(100 \times 100)$	500°C	78	287	364	388
imes9mm)	600°C	81	309	377	409
	700°C	76	301	378	414



図 2.2.6(3) 鋼板供試体の作成時膜厚測定合計(B-1塗装系) [単位:µm]



図 2.2.6(6) 鋼板供試体の作成時膜厚測定合計(C-5塗装系) [単位: μm]

### (7) 各供試体における試験前の付着性試験

燃焼や受熱によって、塗膜では膨れや剥がれなど、塗膜の各層間の付着性状が変化したことに よる変状が生じると考えられる。そのため、原位置での簡便な試験方法の一つとして外観性状に よる判定を補完できる可能性がある、塗膜の付着性試験を実施した。

文献 2.7) によれば、塗膜の耐熱温度として表 2.2.9 の値が示されている。なお、ここに示さ れている耐熱温度とは、外観上(つや、色など)の多少の変化はあっても、短期では致命的な欠 陥に結びつかないと考えられる程度の温度とされている。

表 2.2.9 からは、本試験において使用する中塗りや上塗りの耐熱温度は 100℃前後である.例 えば 200~300℃程度の比較的低い温度帯で加熱試験を実施し、塗膜の燃焼状況に外観上大きな変 化は見られないような場合においても、加熱試験前よりも塗膜の劣化は進行している可能性があ る。このような場合の塗膜の健全度を評価する上で、1つの指標として塗膜の付着性が有効とな る可能性があると考えられる。

塗料名	耐熱温度℃
フタル酸樹脂塗料(中塗り、上塗り)	80°C
油性系さび止め塗料(下塗り)	80°C
塩化ゴム系塗料(中塗り、上塗り)	70°C
ポリウレタン樹脂塗料(中塗り、上塗り)	130°C
ふっ素樹脂塗料(中塗り、上塗り)	130°C
エポキシ系塗料	130°C
無機ジンクリッチペイント	400°C

表 2.2.9 各種塗膜の耐熱温度

以上から、本試験では、試験前の付着性の確認および試験前後での付着性の低下を把握することを目的として、付着性試験を実施することとした。

JIS 付着性試験としては、次の2つの試験方法の規定がある。

① JIS K 5600-5-6:1999

塗装一般試験方法 -第5部:塗膜の機械的性質-第6節:付着性(クロスカット法)

② JIS K 5600-5-7:1999

塗装一般試験方法 -第5部:塗膜の機械的性質-第7節:付着性(プルオフ法)

これら2種類の付着性試験については、現地での実施を前提として考えると、JIS K 5600-5-6:1999に規定された付着性 (クロスカット法) が最も簡便な方法であると考えられるが、 この JIS 規格では、塗膜厚が 250 µ m までしか評価を想定していないことから、鋼構造物塗膜調 査マニュアル JSS IV 03-2006 ((社)日本鋼構造協会)では、「厚膜の塗装系や無機ジンクリッチ ペイントを含む塗装系での評価を考慮すると、膜厚の限度のない JIS K 5400 8.5:1990 に基づい た試験方法が適している」とされている。よって、塗膜厚がどのくらいが規定されるかを示す、 付着性試験については、JIS K 5400 8.5:1990 に基づいて実施することとした。以下に、JIS K 5400 8.5:1990 に基づくクロスカット法による付着性試験の調査方法を示す。



写真 2.2.7 使用機器

2) 測定方法

①切り込み用ガイドを用いて素地に達する切込みを縦横4本ずつ入れる.
 ②切り込み部にセロハンテープを消しゴムなどでこすり、テープを十分に貼り付ける.
 ③テープの一端を図 2.2.7 に示すように 90°程度の角度で勢いよく引きはがす.
 ④②→③の操作を再度繰り返し評価基準と照合する.



3) 留意点

- ①塗膜表面に白亜化(チョーキング)が生じている場合は、必ず測定方法④を遵守する。
   ②JIS K 5400 8.5.2-1990 では、90°の方向に引っ張ることが規定されている。この場合、 せん断破壊が弱められる傾向にあるが、繰り返しのばらつきが小さいことが多い。なお、
   塗膜のせん断破壊をより厳しい条件にするには、45°の方向にセロハンテープを引っ張 る。ただし、この方法の測定結果はばらつきが大きい。
- ③この試験は、湿度が高かったり、表面が結露している場合は適切な評価を行うことがで きないので注意する。

④碁盤目の幅は、5mm間隔とする。

⑤カッターナイフで塗膜に切り込みを入れるとき、劣化塗膜がはく離する場合がある。こ のような場合、セロハンテープによる強制はく離を省略しても良い。

4) 記録事項

①評価基準は、表 2.2.10 に示すはく離状態と評価基準・評価点による。 ②はく離を起こしている塗膜層とその比率を記録する。

評価点 (RN)	0	1	2	3
			퐳	はく離面積 50%以上
JSS IV03-1993	3	2	1	0

表 2.2.10 クロスカット法による付着性試験の評価点 (JIS K 5600-5-6:1999)

以上の方法により実施した、鋼板供試体に対する加熱試験前の付着性試験の結果を表 2.2.11 に 示す。なお、加熱試験前の付着性試験は、電気炉加熱試験の予備として準備した鋼板供試体を使 用して実施した。

クロスカット法による付着性試験の結果、作成した鋼板供試体の加熱試験前における付着性は、 全ての塗装系で十分な付着力を有していることが確認された。

塗装系	試験結果	はく離状況	評価点(RN)
A-1		中塗りと下塗りの間でわずかにはく離 した箇所が認められる	0
A-2		各塗膜層間ではく離は生じていない	0
В—1		中塗りとMIO塗料との間でわずかに はく離した箇所が認められる	0
C – 1		各塗膜層間ではく離は生じていない	0
C — 5		各塗膜層間ではく離は生じていない	0

表 2.2.11 加熱試験前における鋼板供試体の付着性試験結果

## 2. 2. 2 撤去橋供試体

### (1) 撤去橋梁部材および供試体の作成方法

開放型ガス炉加熱試験及び電気炉加熱試験では、前節の鋼板供試体に加えて撤去された道路橋 からの切り出し部材に対しても実施した。対象の撤去橋梁一覧を、表 2.2.12 に示す。

供試体no.	塗装年	塗装仕様	塗装色	供用時の環 境等
1	1968 (昭和43)	<ul> <li>下) エポキシ樹脂</li> <li>中)塩化ゴム系</li> <li>上)塩化ゴム系</li> <li>大日本塗料(株)</li> <li>色彩K9-502</li> </ul>		冬季は凍結 するため融 雪剤散布
2	1967 1990.9 塗替え: 1967	当初 下) 鉛系さび止め1 種 中、外) 長油性フタ ル酸樹脂 大日本塗料(株) ■塗替 色彩P33-141 下) 亜鉛化鉛さび止 めペイント1種化 中、外) ポリウレタ ン樹脂		河川上。冬 季は凍結す るため融雪 剤散布
3	昭和59年6 月 塗替え1995 年3月	<ul> <li>■塗替</li> <li>下) 鉛系さび止め塗</li> <li>料 (塗料名:シアナ</li> <li>ミドヘルゴン)</li> <li>中、外)長油系フタ</li> <li>ル酸樹脂塗料(塗料</li> <li>名:CRペイント)</li> <li>日本ペイント(株)</li> <li>色彩赤</li> </ul>		下横構であ るたの影響は 少ない

表 2.2.12 撤去橋梁一覧(1/2)

供試体no.	塗装年	塗装仕様	塗装色	供用時の環 境等
4	昭和47年3月 開通 塗替え: 昭和58年3月	不明 (A1orA2)		河川上。冬 季は凍結す るため融雪 剤散布
5I(I桁) 5B(箱桁)	不明	色彩赤		拡幅部の橋 梁 箱桁部と鈑 桁部があ る。
6	不明	不明		河川橋 塩害地域で はない。
7	昭和37年完 成	不明		積雪有り

表 2.2.12 撤去橋梁一覧(2/2)

撤去橋供試体の加工は、各既設道路橋の撤去部材から、ガス切断やプラズマ切断等によって 600 ×600mm 程度の鋼板を採取し、その鋼板から前節の鋼板供試体と同様の寸法(開放型ガス炉加熱 試験用:300×500mm、電気炉加熱試験用:100×100mm)に切断した。なお、試験用の寸法に 切断するにあたっては、採取時の熱影響部を除くため採取鋼板の中央部を残し、切断時の熱によ る塗膜の変質を防止するため、鋸切断で鋼板が高温にならないようにした。

また、試験用の寸法に切断した供試体は、試験中に端部の塗装が弱点となることのないように、 エッジ部を面取りした後、端部を 5~10mm 程度の幅で塗装して補強した。補強用の塗料には、 表 2.2.3 に示した、A-1 塗装系の下塗り塗料であるシアナミド鉛ペイントを使用した供試体片 完成後の状況を、図 2.2.8 に示す。



図 2.2.8 撤去橋供試体完成後の例(電気炉加熱試験用)

## (2)供試体作成後の色彩

前述の方法により作製した各撤去橋供試体の一例(電気炉加熱試験用に作製した供試体のうちの1体)を表 2.2.13 に示す。その他の供試体の試験前の状況については、試験結果の章で示す。





### (3) 各供試体の膜厚測定結果

### ①電磁塗膜厚計による各供試体の総膜厚の測定

撤去橋供試体作成後の膜厚測定結果(総膜厚)を表2.2.14に示す。なお、同表に示した膜厚の 測定値は、電磁式の塗膜厚計を用いて、開放型ガス炉加熱試験及び開放型ガス炉接炎試験用の供 試体は12箇所、電気炉加熱試験用の供試体は6箇所測定した結果の平均値である。また、撤去

橋供試体は、上面と下面で塗装系の異なる供試体があるため、両面の膜厚を示している。

なお、No.3 および No.5B は、箱断面であったことから表面と裏面で塗装系が異なる。被災の 際には外面用塗装系側に火元があることが通常であることから、開放型ガス炉加熱試験では熱源 側が面1となるように設置した。

供試体 No.	名称*	面 1	面 2	供試体 No.	名称*	面 1	面 2
	G-1	143	171		G-1	289	313
	G-2	146	179		D-1	284	316
	D-1	116	172	ET	D-2	311	317
1	D-2	146	161	1 G(細紀ない)	D-3	285	279
	D-3	149	175	【亚門亚又11] 日日)	D-4	277	316
	D-4	124	171		D-5	307	324
	D-5	128	162		D-6	197	272
	D-6	133	201		G-1	231	275
	G-1	152	202		D-1	237	268
	D-1	131	202	ΓD	D-2	180	286
	D-2	136	188	3 B (網路标弧)	D-3	207	326
2	D-3	131	211	(到时有日代)百))	D-4	261	261
	D-4	129	216		D—5	204	254
	D-5	123	195		D-6	231	273
	D-6	149	197		G-1	223	221
	D-1	18	406	C	G-2	205	231
	D-2	25	379		D-1	224	235
9	D-3	23	358		D-2	214	237
0	D-4	20	341	0	D-3	191	230
	D-5	21	322		D-4	218	228
	D-6	21	341		D-5	206	248
	G-1	213	187		D-6	202	230
	G-2	212	182		G—1	357	344
	D-1	226	191		G-2	351	346
4	D-2	205	224		D-1	383	344
4	D-3	211	178	7	D-2	392	360
	D-4	215	210	1	D-3	401	328
	D-5	205	166		D-4	353	319
	D-6		198		D-5	323	399
					D-6	197	306

表 2.2.14 各供試体の膜厚測定結果 [単位:µm]

※ 供試体名称における G は開放型ガス炉加熱試験用の供試体を示し、D は電気炉加熱試験用の 供試体を示す。 面1及び面2の膜厚を比較した結果を図 2.2.10 に、本研究で対象としている塗装系の「H4 塗装便覧」及び「H17 塗装便覧」おける目標膜厚(総厚)を表 2.2.15 に示す。撤去橋供試体3の面1は、箱桁内部に位置しており、プライマーのみ塗布されているとみられる。その他の供試体については面1も面2も同程度の膜厚であった。また、撤去橋供試体1,2,4は、A-1塗装系クラスの膜厚を満たしており、撤去橋供試体5B,6は、A-2塗装系クラス、その他の供試体についてはC-1及びC-5塗装系クラスの膜厚を有していた。なお、図2.2.9中の赤線は、表 2.2.15の目標膜厚の値を示したものである。



図 2.2.9 面1と面2の膜厚分布

A-1 塗装系	125
A-2 塗装系	170
B-1 塗装系	180
C-1 塗装系	240
C-5 塗装系	240

表 2.2.15 目標膜厚[単位:μm]

### ②マイクロスコープを用いた各供試体の塗膜構成の確認

既設供試体の塗膜構成を確認するために、供試体作製時の端材を使用して、マイクロスコープ を用いた構成塗膜の各層膜厚を測定した。測定方法の手順を次に示す。

- i)端材に直径 2mm、深さ約 2mm の穴をドリルであける。(削孔時に塗膜が破損しないよう、 注意してあける。)
- ii) 削孔した箇所を、45°の面取りビットを使用して面取りする。(図 2.2.10 参照)
- iii) 切り屑をエアコンプレッサー等で除去する。
- iv)マイクロスコープで削孔部を拡大(倍率:約200倍)した写真を撮影し、マイクロスコー プの付属ソフトで画像の塗膜層ごとの距離を計測して各塗膜の厚さとする。(図2.2.11参 照)



図 2.2.10 削孔および面取り状況



図 2.2.11 マイクロスコープによる膜厚測定状況

以上の手法により各既設供試体の各層膜厚を測定した結果を、表 2.2.16に示す。

供試体	面1(下面)	面 2 (上面)
1	下塗り     : 63 µ m       中・上塗り     : 43 µ m       合計     : 106 µ m	・       L0 r05mm         L.0.05mm       L.0.047mm         ・       L.0.047mm
2	Teldxx/戻/字計】: 124~149 μ m         L 0.036mm         L 20 (2)         L 38 μ m         中塗り       29 μ m         上塗り       36 μ m         合計       : 174 μ m         【電磁膜厚厚計】: 123~152 μ m	下塗り(1):78μm         下塗り(2):52μm         中塗り:50μm         上2005mm         上005mm         L005mm
3	No.3の面1はプライマーのみと考えられ、 画像から膜厚が識別困難であるため、マイ クロスコープによる膜厚測定は実施でき なかった。	下塗り     : 159 µ m       中塗り     : 153 µ m       上塗り     : 68 µ m       合計     : 380 µ m       【電磁膜厚計】: 322~406 µ m

表 2.2.16 構成膜厚の測定結果(1)

供試体 No.	面1 (下面)	面 2 (上面)
4	下塗り(1):86µm         下塗り(2):64µm         中・上塗り:115µm         合計:265µm         【電磁膜厚計】:205~226µm	下塗り(1):69 µ m         下塗り(2):78 µ m         中・上塗り:44 µ m         合計:191 µ m         【電磁膜厚計】:166~224 µ m
5 I	下塗り       : 120 µm         中塗り(1)       : 50 µm         中塗り(2)       : 47 µm         中塗り(3)       : 53 µm         中塗り(4)       : 53 µm         上塗り       : 44 µm         合計       : 367 µm         【電磁膜厚計】: 197~311 µm	下塗り       : $104 \mu$ m         中塗り(1)       : $33 \mu$ m         中塗り(2)       : $23 \mu$ m         中塗り(3)       : $37 \mu$ m         中塗り(4)       : $60 \mu$ m         上塗り       : $40 \mu$ m         合計       : $297 \mu$ m         【電磁膜厚計】: $272 \sim 324 \mu$ m
5 B	下塗り(1):182μm         【電磁膜厚計】:180~261μm	下塗り : 111 $\mu$ m 中塗り (1) : 27 $\mu$ m 中塗り (2) : 40 $\mu$ m 中塗り (3) : 90 $\mu$ m 中塗り (4) : 55 $\mu$ m 上塗り : 42 $\mu$ m 合計 : 365 $\mu$ m 【電磁膜厚計】: 254~326 $\mu$ m

## 表 2.2.16 構成膜厚の測定結果(2)

供試体 No.	面1(下面)	面 2 (上面)
6	F塗り         : 107 μ m           中塗り         : 67 μ m	L0.067mm           L0.068mm           L0.076mm           L0.076mm
	上望り : 40μm 合計 : 222μm 【電磁膜厚計】: 191~224μm	ユニック このμm 合計 : 297μm 【電磁膜厚計】: 221~248μm
7	Lu 2020 Lu 060mm Lu 060mm Lu 060mm Lu 060mm Lu 060mm Lu 060mm	10.053mm 1.0053mm 1.0053mm 1.0053mm 1.0021mm
	下塗り : $102 \mu$ m 中塗り(1) : $50 \mu$ m 中途り(2) : $87 \mu$ m	下塗り : 95μm 中塗り(1) : 71μm 中塗り(2) : 77μm
	中塗り(3): $23 \mu m$ 中塗り(4): $44 \mu m$ 中塗り(5): $50 \mu m$	中塗り(3): $53 \mu$ m 中塗り(4): $41 \mu$ m 中塗り(5): $53 \mu$ m
	上塗り : $32 \mu m$ 合計 : $388 \mu m$ 【電磁膜厚計】: $197 \sim 401 \mu m$	上塗り : 21μm 合計 : 411μm 【電磁膜厚計】: 306~399μm

# 表 2.2.16 構成膜厚の測定結果 (3)

## (4) 各供試体における加熱試験前の健全度評価

鋼板供試体と同様に、加熱試験前の塗膜の付着性を確認するために実施した、既設供試体に対 する付着性試験の結果を表 2.2.17 に示す。なお、加熱試験前の付着性試験は、マイクロスコー プによる膜厚構成の確認の場合と同様に、供試体作製時の端材を使用した。

供 試 体 No.	試験結果	はく離状況	評価
			点
1 (面1)		<ul> <li>・各塗膜層間ではく離は生じて いない。</li> </ul>	0
1 (面2)		・各塗膜層間ではく離は生じて いない。	0
2 (面1)		<ul> <li>・中塗りと下塗りの間で一部は く離が生じている。</li> <li>・全体的なはく離面積は10%未 満である。</li> </ul>	0
2 (面 2 )		・中塗りと下塗りの間で一部は く離が生じている。 ・全体的なはく離面積は 10%未 満である。	0

表 2.2.17 加熱試験前の既設道路橋供試体における付着性試験結果(1)

供試体 No.	試験結果	はく離状況	評価点
3 (面1)		<ul> <li>・各塗膜層間ではく離は生じていない。</li> <li>(塗装はプライマーのみ)</li> </ul>	0
3 (面 2 )		<ul> <li>・中塗りと下塗りの間が大部分ではく離している。</li> <li>・中塗り及び上塗りは、カットの時点で剥がれた。</li> </ul>	3
4 (面1)		<ul> <li>・カット部で中塗りと下塗りとの間では く離が生じている。</li> <li>・カット部の間でははく離が生じていない。</li> </ul>	2
4 (面 2 )		<ul> <li>・カット部で中塗りと下塗りとの間では く離が生じているが、カット部の間で ははく離が生じていない。</li> <li>・はく離面積は、面1より大きい。</li> </ul>	2
5 I (面1)		<ul> <li>・中塗りと下塗りとの間で全体的なはく 離が生じている。</li> <li>・中塗り及び上塗りが、カットの時点で 剥がれた。</li> <li>・また、カット部では下塗りと素地との 間でもはく離が生じている。</li> </ul>	3

|--|

供試体 No.	試験結果	はく離状況	評価点
5 I (面2)		<ul> <li>・中塗りと下塗りとの間で全体的なはく 離が生じている。</li> <li>・中塗り及び上塗りが、カットの時点で 剥がれた。</li> <li>・カット部では下塗りと素地との間でも はく離が生じている。</li> </ul>	3
5B (面1)		・各塗膜層間ではく離は生じていない。	0
5B (面2)	6	<ul> <li>・中塗りと下塗りとの間で全体的なはく 離が生じている。</li> <li>・中塗り及び上塗りは、カットの時点で 剥がれた。</li> <li>・カット部では下塗りと素地との間でも はく離が生じている。</li> </ul>	3
6 (面1)		<ul> <li>・カット部で中塗りと下塗りとの間では く離が生じている。</li> <li>・カット部の間でははく離が生じていな い箇所もある。</li> <li>・はく離面積は 50%程度である</li> </ul>	2
6 (面2)		<ul> <li>・カット部で中塗りと下塗りとの間では く離が生じている。</li> <li>・カット部の間でははく離が生じていない。</li> <li>・はく離面積は、30%程度で、面1より小さい。</li> </ul>	1

表 2.2.17  加熱試験則の既設追路檣供試体における付着性試験#
------------------------------------

供試体 No.	試験結果	はく離状況	評価点
7 (面1)		<ul> <li>・中塗りと下塗りとの間の大部分ではく離 が生じている。</li> <li>・カット部の間では、中・上塗りが残って いる箇所もある。</li> <li>・上塗りと中塗りの間は、カットしていな い部分でもセロハンテープによる強制は く離のみではく離している。</li> <li>・カット部では下塗りと素地との間でもは く離が生じている。</li> </ul>	3
7 (面2)		<ul> <li>・上塗りと中塗りの間は、カットしていない部分でもセロハンテープによる強制はく離のみではく離している。</li> <li>・カット部の間では、中・上塗りがほとんど残っている。</li> <li>・中塗りと下塗りとのはく離面積は面1より小さい。</li> <li>・カット部では下塗りと素地との間でもはく離が生じている。</li> </ul>	3

表 2.2.17 加熱試験前の既設道路橋供試体における付着性試験結果(4)

既設供試体における加熱試験前の付着試験結果による健全度の評価をまとめて表 2.2.18 に、電磁膜厚計とマイクロスコープで測定した膜厚の関係を付着評価点ごとに整理したものを図 2.2.13 に示す。両者は概ね一致しており、既設橋から採取した塗膜厚と構成の推定は、ドリル削 孔断面の計測によってもある程度正確に行えるものと考えられる。適正な膜厚よりも過大と思われる供試体については、付着も悪い傾向となっていた。

供試体No.			1	2	2	Ę	}	2	4	5	δI	5	В	(	3	,	7
面		1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
評価点		0	0	0	0	0	3	2	2	3	3	0	3	2	1	3	3
付着性		0	0	0	0	())	×	$\bigtriangleup$	$\triangle$	×	×	())	×	$\triangle$	0	×	×
電磁 膜厚計	最小 膜厚	124	161	123	188	-	322	205	166	197	272	180	254	191	221	197	346
	最大 膜厚	149	281	152	216	-	406	226	224	311	324	261	326	224	248	401	399
マイクロ スコープ		106	152	174	216	-	380	265	191	367	297	182	365	222	297	388	399

表 2.2.18 既設道路橋供試体における加熱試験前の付着性試験結果一覧

注: No.3-面 2 は、プライマーのみであり、No.5B 面 1 は箱桁の内面塗装である.



図 2.2.13 評価点ごとの膜厚の関係

以上のことから、各供試体については表 2.2.19のように位置づけ、試験を実施する。

供試 体	途装 年	記録	想定 塗装系	膜厚(μm) (目標膜厚)	性状	付着
1	44	(下)エポキシ樹脂 (中)塩化ゴム系 (上)塩化ゴム系	B1 系(上塗りが塩 化ゴム系のため。)	124~281 (B1 系 180 )	紫外線等経年 劣化による減 肉あり	各塗装間で剥離なし
2	旧 23 新 22	(下)鉛系1種 (中)(上)長油性 フタル酸樹脂	A1 系	123~216 (A1 系 125)	11	中塗りと下塗りの間 で <u>一部</u> 剥離あり
3	旧 11 新 17	(下)鉛系1種 (中)(上)長油性 フタル酸樹脂	A1 系	322~406 (A1 系 125)	]]	中塗りと下塗りの間 の大部分で剥離あり
4	旧 11 新 29	不明	旧 A1 系(下塗りに 鉛丹錆止めが使用 されているため)	$166 \sim 226$	厚塗り	中塗りと下塗りの間 で剥離あり
5I	39	不明	旧 A1 系(下塗りに 鉛丹錆止め) 姉族注り A1 相当な	197~324	中塗りの回数 が4回と多い	中・上塗りはカット 時点で剥がれた。 中塗りと下塗りで全 体的な剥離あり
5B (外側)	39	不明	重ねて塗装	$254 \sim 326$	箱桁 中塗りの回数 が4回と多い	11
6	32	不明	A1 系	191~248	紫外線等経年 劣化による減 肉あり	中塗りと下塗りの間 で剥離あり
7	49	不明	旧 A1 系(下塗りに 鉛丹錆止め) 補修塗り A1 相当を 重ねて塗装	197~401	中塗りの回数 が5回と多い	中・上塗りはセロハンテー プで剥がれる 中塗りと下塗りの間 の大部分で剥離あり

表 2.2.19 各供試体の位置づけ

## 2.2.3 供試体数量の合計

開放型ガス炉加熱試験及び開放型ガス炉接炎試験および加熱試験における供試体の数量を、表 2.2.20にまとめて示す。なお、それぞれの供試体の割り振りについては、次章の試験方法で示す こととする。

供試体種類 塗装系		開放型ガス炉 加熱試験用 [300×500mm] (枚)	開放型ガス炉 接炎試験用 [300×500mm] (枚)	電気炉 加熱試験用 [100×100mm] (枚)
	A-1	6	1	6
	A-2	6	1	6
鋼板供試体	B-1	6	1	6
	C-1	6	1	6
	C-5	11	1	6
小	計	35	5	30
	No.1	2	_	6
	No.2	1	_	6
	No.3	_		6
町乱供きけ	No.4	2	_	6
既設供試体	No.5-I 桁	1	_	6
	No.5-箱桁	1	_	6
	No.6	2		6
	No.7	2	_	6
小	計	11	_	48
合	計	46	5	78

表 2.2.20 供試体数量の合計

#### 2.3 火災曲線

建築構造物やトンネル構造物などでは、設計対象の構造物に対する加熱温度・時間関係として、 図 2.3.1 に示す火災曲線を用いて耐火性能を決定する手法が用いられる。

建築火災では、大きく初期火災、成長期、盛期火災、減衰期に区別される<sup>2.)</sup>。初期火災では 火勢はそれほど強くなく、成長期に入ると爆発的な燃焼の拡大が起こり、火炎室内の温度は急 激に上昇する。盛期火災で可燃物の大半を燃焼させ、次第に火災温度が降下を始める減衰期に 至り鎮火する。建築構造物を想定した火災曲線には、ISO834に規定される標準加熱温度曲線

(Standard Time-Temperature Carve on ISO<sup>2.9)</sup>、以下「ISO 曲線」という。)がある。日本 国内では、2000年に行われた建築基準法の性能規定の導入において、耐火建築物が満たすべき 性能を「屋内での発生が予見される火災に対して火災終了まで耐えること」とされ、耐火構造 が満たすべき要件(非損傷性、遮炎性、遮熱性)の判定方法が数値でもって定量化された中で、 屋内火災の継続時間の算定方法、耐火性能検証法<sup>2.10)</sup>(平成 12年建設省告示)として規定され ている。このとき、屋内火災における出火から盛期火災に至る火災温度は ISO 曲線と概ね一致 することが確認されている。

トンネル火災は車両火災に起因するため、ガソリンやその他の車載物(有毒ガスを出すもの が多い。)が燃焼する場合が多い。さらに、トンネル内はその構造上密閉性が高いため、一度大 きな火災が発生すると、熱気がトンネル内部にこもるため、密閉性の低い建築火災とは温度上 昇過程が大きく異なっている。建築火災と違って火災発生後急激な温度上昇が起こり、燃焼物 の量が限られているため最高温度の保持時間が短い特徴がある。道路トンネル火災を想定した 火災曲線としては、図 2.3.1 のうち、RABT 曲線<sup>2.11)</sup>(ドイツ)、RWS 曲線<sup>2.12)</sup>(オランダ) がある。トンネルにおける火災曲線は、トンネル構造自体が火災による熱により損傷を受ける ことを防ぐために設置される耐火壁の設計に用いられる。国内においては、東京港臨海道路ト ンネル及び第二航路トンネルなどの都市部のシールドトンネルや沈埋トンネルで耐火設計され ている。これらの多くは RABT 曲線が採用されている<sup>2.13)</sup>。ただし、トンネルの構造や断面形 状・寸法などによって火災時の温度分布特性が異なるため、各々のトンネルの特徴等に応じた 火災曲線が設定されている。

橋梁における火災曲線においても、想定する出火原因や出火状況に応じて火災温度は異なり、 鋼板の最大受熱温度や昇温速度は異なるため、建築構造物やトンネル構造物の火災曲線をその まま橋梁に適用することはできない。例えば、首都高5号池袋線でタンクローリーが横転し炎 上したことによる火災では、最高到達温度1200℃、火災継続時間は5時間と推定されている。 これは、RABT曲線、又は化石燃料や化学物質など燃焼温度が1100℃で昇温速度が早いHC 曲線<sup>2,14)</sup>の想定により近い状況であったと考えられる。また、桁下の不法占用者による失火な どが原因の場合には、それほど急激な温度上昇を示さず、火災区画(火災に曝される区間。延焼 を防ぐような部材で囲まれた建物内の空間)全体に火災が拡がった場合を推定している ISO の ような比較的緩やかな温度上昇となるものと想定できる。

本研究では、橋梁下で起こりうる種々の出火原因のうち、失火や不審火によって生じる火災 を想定し、建築構造物にみられるような比較的緩やかな温度上昇となるような火災を想定した。 そのため、ISOの火災曲線に準じて温度上昇が緩やかになるように点火後25~30分程度で目 標温度に到達するように実施した。


RWS:オランダのトンネルに対する火災曲線 2.12)

RABT:ドイツのトンネルに対する火災曲線(日本のトンネル設計においても用いられている)2.11)

HC: EUの設計規準ユーロコードにおける油火災を想定した火災曲線 2.13)

ISO: ISO における建築物に対する標準火災曲線(Standard Time-Temperature Carve on ISO)<sup>2.10)</sup> EX: ユーロコードにおける開口部からの噴出火炎に対する外壁の耐火設計用曲線(開空間での火災)<sup>2.13)</sup>

図 2.3.1 代表的な耐火設計曲線

### 2. 4 試験方法

試験は、図 2.4.1 に示すような、橋梁下で起こりうる種々の出火原因のうち、失火や不審火 によって鋼多主桁橋のウェブ間や、鋼箱桁橋の下フランジ直下で生じる火災を想定している。

加熱方法としては、写真2.4.1に示す熱源にガスバーナー等を用いる開放型ガス炉加熱試験、 開放型ガス炉接炎試験及び電気炉を用いた電気炉加熱試験とした。

なお、これらの試験においては、供試体が基準温度に達した後その温度を保持する時間を統 ーする必要があるため、30分を目安にゆっくりと基準温度まで加熱した後、保持時間を30分 間とすることとした。これは、橋梁下で火災が生じた場合、火災発生から消防車が到着して鎮 火するまでに少なくとも30分程度を要するものと考えられることと、また、橋梁のような開 放空間では、30分未満で消火されるような場合、大きな被災には至らない可能性が考えられる こと、3.1章(開放型ガス炉加熱試験結果(時間をパラメータとした試験))において保持時 間の影響について検討した結果、30分以上の保持時間では塗膜の変状に大きな差異が認められ なかったためである。

また、試験後の冷却条件としては供試体を炉外で自然冷却することとし、消火時の放水によ る急冷の影響などについては考慮しないこととした。

これらの試験の特徴を表 2.4.1 に示す。



(a) 多主桁橋における火災(b) 箱桁橋の下フランジ直下における火災図 2.4.1 想定する火災



(a) 開放型ガス炉加熱・接炎試験

(b) 電気炉加熱試験

写真 2.4.1 試験方法

試験名	熱源	空気の供	加熱方向	試験(	の特徴	対応すると想定され	
		給				る実火災	時の状況
開放型ガ	ガスバー	取込口、	供試体の	加熱温度	酸素を常	桁下空間	炎に直接
ス炉加熱	ナー	排出口あ	片側	の管理が	時供給。	など広い	当たらな
試験		り		困難	完全燃焼	橋梁など	<b>V</b> 1
開放型ガ					に近い。		炎に直接
ス炉接炎							当たる
試験							
電気炉加	電気炉	密閉	供試体の	高精度の	不完全燃	桁下空間	炎に直接
熱試験			両面	制御可能	焼が生じ	が狭い、	当たらな
					る。	箱桁橋な	い
						ど	

表 2.4.1 各試験の特徴

# 2.4.1 開放型ガス炉加熱試験

### (1) 試験装置

開放型ガス炉加熱試験は、図 2.4.2に示すように、ガスバーナーを用いた試験装置で供試体の片面から加熱する。熱源となるガスバーナーには、ガス消費量が 20.5kW のリングバーナー (バーナー径 345mm)を用いた。使用するガスは LP ガス(容量:8kg)とし、圧力調整器を介 してガスホースでバーナーに取り付けた。また、ガスバーナーからの熱が効率よく鋼板供試体 に与えられるように、試験装置の周囲を耐火レンガで囲い、この炉体の下部には空気の取り込 み口を設けた。さらに、燃焼中の鋼板下面の状況が観察できるように、のぞき窓(耐熱温度 700℃) を取り付けた。本文では、これらの装置を総称して、開放型ガス炉とする。開放型ガス炉に使 用した各機器・資材の仕様を表 2.4.2 に示す。

熱源から供試体までの距離を調整するための設置治具を製作し、目標とする基準温度ごとに 鋼板供試体の位置を上下することができるようにした。



図 2.4.2 試験装置の概要

資機材		仕様
リングバーナー		メーカー:(株)タチバナ製作所 型番:P-110 全長:870mm バーナー径:345mm ガス消費量:20.5kW 高さ:82mm 重量:20kg
耐火レンガ		メーカー : 品川白煉瓦(株) 寸法 : 114×65×230mm
LPガス	REPTI RELEPTION	容量:8kg
一般家庭用圧力調整器 (高性能単段調整器)		メーカー:矢崎総業(株) 型番:R5A-HF 入口圧力:0.07~1.56MPa 出口圧力:2.3~3.3kPa
工業用圧力調整器		メーカー:(株)千代田精機 型番:RP-70 (プロパン用) 入口圧力:2.0MPa以下 出口圧力:最大 0.2MPa
耐熱ガラス		耐熱温度:700℃

表 2.4.2 開放型ガス炉における資機材の仕様

開放型ガス炉加熱試験に先立って実施した予備試験で決定した、基本的な開放型ガス炉の構造(500℃を例とする。)を図 2.4.3 に示す。その他の各温度帯に対する炉体の構造は後述する。



(a) 炉体の形状 (500℃の場合)



(b) 炉体の詳細構成

図 2.4.3 開放型ガス炉の基本形状

図2.4.3(b)の□枠で示したとおり、炉内の熱気の排出口となる最上段の位置および蓋の耐火 レンガの配置は、後述する鋼板の受熱温度を制御する際に大きく影響する。したがって、本試 験におけるこれらの位置での耐火レンガの配置は、目標とする基準温度ごとに変化させず、配 置方法を統一条件として試験を実施することとした。具体的な配置形状は、図2.4.3に示した とおり、最上段では鋼板供試体の長辺側を塞いで短辺側から排気するように耐火レンガを配置 し、鋼板上面からの放熱の影響を小さくするために供試体の周辺を囲むように蓋をすることと した。開放型ガス炉の外観を写真2.4.2に示す。



(a)炉体の形状

(b)ガスバーナー設置状況



(c)耐熱ガラスからの観察状況 写真 2.4.2 開放型ガス炉の外観

# (2)供試体温度の測定位置および基準温度

供試体の温度は、Kタイプの熱電対によって管理した。温度測定箇所は、図2.4.3に示すと おり、鋼板供試体の加熱面(下面)と非加熱面(上面)においてそれぞれ中央部と端部の計4箇所 とした。鋼板供試体における熱電対の設置方法は、塗膜を10mm角程度削った鋼板の素地に熱電 対の先端をステンレス箔で覆い、点溶接することで固定した。また、試験中の供試体の加熱温 度を把握するために、供試体近傍(10mmの位置)の加熱温度も測定した。

なお、本試験において測定する温度の合計5箇所のうち、開放型ガス炉加熱試験において目 標とする基準温度として管理する測定位置は、加熱面(下面)の中央に設置した熱電対とした。 温度計測位置および温度計測項目に対する計測システムの概要を、図2.4.4に示す。

熱電対設置時のアースは、鋼板の縁の塗膜を削って設置した。



図 2.4.3 温度計測位置〔単位:mm〕



図 2.4.4 温度計測システムの概要

(3) 試験パラメータ

### ①供試体の受熱温度をパラメータとする試験

供試体の受熱温度をパラメータとする開放型ガス炉加熱試験は、表 2.4.3 に示すように、鋼板供試体については5種類の塗装系に対して200℃、300℃、400℃、500℃、600℃および700℃の計6段階の基準温度とした。

また、撤去橋供試体については、表 2.4.4 に示すように、8 種類の供試体のうち、全ての供 試体に対して基準温度を 400℃とした試験を実施した。さらに、開放型ガス炉加熱試験用の供 試体を 2 枚作製したものについては、通常どおり 700℃の試験を実施し、供試体を 1 枚しか作 成できなかったものについては、400℃で試験を実施した供試体の塗膜状況を写真撮影した後 に、再度 700℃の試験を実施することとした。ここで、撤去橋供試体の基準温度を 400℃およ び 700℃としたのは、燃焼状況に差異の生じる温度で実施することと、火災を受けた鋼橋にお いて高力ボルトによる添接部が 400℃程度で機能の低下が生じ 1.23<sup>)</sup>、鋼桁が 700℃程度で強度 低下が生じる 1.22<sup>)</sup>ことを踏まえて決定したものである。

2.							
基準	鋼板供試体 塗装系						
温度	A - 1	A - 2	B - 1	C - 1	C - 5		
200°C	0	0	0	0	0		
300°C	0	0	0	0	0		
400°C	0	0	0	0	0		
500°C	0	0	0	0	0		
600°C	0	$\bigcirc$	$\bigcirc$	$\bigcirc$	$\bigcirc$		
700°C	0	0	0	0	0		

表 2.4.3 開放型ガス炉加熱試験①の供試体一覧(鋼板供試体)

注:基準温度は、供試体の加熱面(下面)中央の温度である。

表 2.4.4 開放型ガス炉加熱試験①の供試体一覧(撤去橋供試体)

基準	撤去橋部材 供試体 No.							
温度	1	2	3	4	5 I	5 B	6	7
400°C	0	0	0	0	0	0	0	0
$700^{\circ} C^{st_1}$	0		0	0			0	0
700℃(参考)※2		0			0	0		

※ 1)通常どおり基準温度を700℃として実施するもの

※ 2) 400℃で実施した後、写真撮影して、再度 700℃で実施するもの

※ 基準温度は、供試体の加熱面(下面)中央の温度である。

# ②受熱温度の保持時間をパラメータとする試験

塗膜の燃焼性状は、鋼板が受熱温度に達してからどれだけの間、その温度を受け続けたかに よっても変化すると考えられる。そこで、供試体が基準温度に達してからの保持時間をパラメ ータとした試験を行った。この試験は、表 2.4.5 に示すように、鋼板供試体の C-5 塗装系に対 して受熱温度 500℃での保持時間を、1 分、5 分、15 分、30 分、60 分の 5 段階としたものであ る。

	塗装系: C-5						
基準	保持時間						
血皮	1分	5分	15 分	30分	60分		
500°C	0	0	0	0	0		

表 2.4.5 接炎試験②の供試体一覧

注:基準温度は、供試体の加熱面(下面)中央の温度である。

### (4)温度制御方法

開放型ガス炉は、図 2.4.6 に示すように、①ガスバーナーから供試体の距離、②LP ガスの出 ロ圧力、③ガスバーナーの火力(コックの開放量)および④供試体と炉体との隙間(熱気排出 ロの大きさ)が温度制御の影響因子となる。これらの因子のうち、④供試体と炉体との隙間は 同一条件とし、設定温度ごとに①及び②を予備試験により決定することとした。



図 2.4.6 開放型ガス炉における温度コントロールの影響因子

各基準温度に対する温度制御の方法及び温度一時間曲線を図 2.4.7 に示す。同図には、既往の設計火災曲線の一つである ISO の標準温度-時間曲線も併せて示す。

試験時の加熱勾配について、本試験において想定している桁下での不法占用者の失火による 火災では、比較的緩やかな火災温度の上昇であり、火災温度曲線としては ISO の標準温度-時間 曲線のような曲線となると考えられる。

また同図より、加熱時は鋼板下面が上面よりも温度が高く、消火直後から鋼板上面及び下面 の温度は同じとなる。よって、加熱時の下面は、炎の輻射熱を計測している可能性がある。よ って、鋼板の真の受熱温度は上面であることが考えられる。

具体的な加熱方曲線を図 2.4.7(1)~(6)に示す。図 2.4.6 中の③ガスバーナーの火力(コックの開放量)を調整して加熱 30 分程度で基準温度になるようにする。その後 30 分程度同じ温度を保持し、ガスを切り、炉体を解体することで自然に温度が下がるようにした。各基準温度に対する開放型ガス炉に設置する供試体とガスバーナーの火口との距離の関係を表 2.4.6 に示す。



図 2.4.7(1) 開放型ガス炉加熱試験の予備試験結果(200℃)



図 2.4.7(2) 開放型ガス炉加熱試験の予備試験結果(300℃)



図 2.4.7(3) 開放型ガス炉加熱試験の予備試験結果(400℃)



図 2.4.7(4) 開放型ガス炉加熱試験の予備試験結果(500℃)



図 2.4.7(5) 開放型ガス炉加熱試験の予備試験結果(600℃)



図 2.4.7(6) 開放型ガス炉加熱試験の予備試験結果(700℃)

基準温度	供試体の位置と炎の高さの関係	温度制御項目
200°C		<ul> <li>①基準高さ</li> <li>373mm</li> <li>②圧力調整器</li> <li>一般家庭用圧力調整器</li> <li>③バーナーコック</li> <li>内側:閉</li> <li>中央:全開</li> <li>外側:閉</li> </ul>
300°C		<ol> <li>①基準高さ</li> <li>308mm</li> <li>②圧力調整器</li> <li>一般家庭用圧力調整器</li> <li>③バーナーコック</li> <li>内側:全開</li> <li>中央:全開</li> <li>外側:閉</li> </ol>
400°C		<ul> <li>①基準高さ</li> <li>308mm</li> <li>②圧力調整器</li> <li>一般家庭用圧力調整器</li> <li>③バーナーコック</li> <li>内側:全開</li> <li>中央:全開</li> <li>外側:全</li> </ul>

表 2.4.6 各基準温度に対する開放型ガス炉の調整方法(1/2)

※基準高さは、バーナー火口から鋼板下面までの距離とする。

基準温度	供試体の位置と炎の高さの関係	温度制御項目
500°C		<ul> <li>①基準高さ</li> <li>243mm</li> <li>②圧力調整器</li> <li>一般家庭用圧力調整器</li> <li>③バーナーコック</li> <li>内側:全開</li> <li>中央:全開</li> <li>外側:全開</li> </ul>
600°C		<ol> <li>①基準高さ</li> <li>113mm</li> <li>②圧力調整器</li> <li>一般家庭用圧力調整器</li> <li>③バーナーコック</li> <li>内側:全開</li> <li>中央:全開</li> <li>外側:全開</li> </ol>
700°C		<ol> <li>①基準高さ</li> <li>178mm</li> <li>②圧力調整器</li> <li>工業用圧力調整器</li> <li>③バーナーコック</li> <li>内側:全開</li> <li>中央:全開</li> <li>外側:半開</li> </ol>

表 2.4.6 各基準温度に対する開放型ガス炉の調整方法 (1/2)

※基準高さは、バーナー火口から鋼板下面までの距離とする。

# (5) 開放型ガス炉加熱試験の手順

開放型ガス炉加熱試験の手順は、次のとおである。

- ① 予備試験で得られた位置に供試体を設置する。
- 加熱を開始する。
- ③ 鋼板の加熱面が基準温度に到達後、30分間受熱温度を保持する(後述 3.1 章参照)。

保持時間をパラメータとした試験の場合は、目標温度に到達後、所定の保持時間まで加熱する。

④ 所定の保持時間経過後、ガスバーナーを消火し炉外で自然冷却させる。

なお、試験結果に対する整理項目の概要は、次のとおりである。

- 供試体温度と加熱温度の経時変化
- ② 試験中の燃焼状況
- ③ 試験終了後の写真撮影、燃焼状況に対する所見、残存塗膜厚の測定

# 2.4.2 開放型ガス炉接炎試験

# (1) 試験装置

試験装置は、開放型ガス炉加熱試験と同様とする。

開放型ガス炉加熱試験の場合、供試体はガスバーナーの火炎を直接受けず、火炎からの熱気 で温度上昇する。しかしながら、実際の火災においては、部材が火炎に直接曝されるような条 件下で塗膜が燃焼する場合も考えられる。そこで、ガスバーナーの火炎が接する位置に供試体 を設置する接炎試験を実施した。本試験における炉体の概要を図 2.4.8 に示す。





図 2.4.8 開放型ガス炉接炎試験における供試体の設置位置

# (2) 供試体温度の測定位置および基準温度

供試体温度の測定位置は、開放型ガス炉加熱試験と同様とした。なお、供試体加熱面中央の温度は 650~700℃程度であった。

### (3) 試験パラメータ

本試験では、表 2.4.7 に示すように、鋼板供試体の5 塗装系各1枚ずつに対して実施した。 なお、本試験における計測項目は、開放型ガス炉加熱試験と同等である。

五	2. I. I [7]]	人主 / / / /	这个正确人。>>	DV FVF 5			
		塗装系					
	A - 1	A - 2	B - 1	C - 1	C - 5		
接炎試験 (60分間)	0	0	0	0	0		

表 9 4 7	開放型ガス炉接炎試験の供試体一	暫
12 4.4.1	而成主, 2 / / / / / / / / / / / / / / / / / /	見

#### (4) 温度制御方法

温度制御は、ガスバーナーから供試体までの距離が近く、基準温度を設定して制御することが困難であるため、試験時間を開放型ガス炉加熱試験と同じとし、図 2.4.9 に示すとおり、 60 分間加熱することとした。



図 2.4.9 炉内温度と供試体各部の温度の関係

# (5) 開放型ガス炉接炎試験の手順

開放型ガス炉加熱試験の手順は、次のとおりである。 ①設置位置に供試体を設置する。

②加熱を開始する。

③過熱開始から、60分間保持する

④所定の保持時間経過後、ガスバーナーを消火し炉外で自然冷却させる。

なお、試験結果に対する整理項目の概要は、次のとおりである。

・供試体温度と加熱温度の経時変化

・試験中の燃焼状況

・試験終了後の写真撮影、燃焼状況に対する所見、残存塗膜厚の測定

# 2. 4. 3 電気炉加熱試験

## (1) 試験装置

電気炉加熱試験で使用する電気炉は、各温度条件下における試験を各塗装系に対して一度に 実施するため、図 2.4.10 に示すように、内寸が幅 300mm×高さ 300mm×奥行き 600mm の比較的 大容量のものを使用した。



電気炉の仕様				
メーカー	東洋科学産業			
最高使用温度	900°C			
炉内サイズ	300 × 300 × 600mm			
電源	200V			
加熱面	5面加熱(上下左右と前面)			
ヒーター素材	カンタル線			

図 2.4.10 電気炉の外観

### (2) 温度測定項目

加熱試験における温度の測定項目は炉内温度のみとし、この炉内温度を基準温度とした。た だし、予備試験において電気炉前面ののぞき窓から熱電対を配線して、炉内温度と供試体の温 度関係や炉内温度分布のばらつきを予め把握しておくこととした。なお、炉内温度は、炉内温 度制御用の熱電対と同じ K 熱電対を用いて、制御用の熱電対接続位置で分岐させてデータロガ ーで記録した。

#### (3) 加熱方法

供試体を加熱するときの加熱曲線(加熱勾配)は、接炎試験と統一することが望ましいものの、 電気炉の性能上、接炎試験よりも非常に緩やかな加熱曲線となる。したがって、電気炉を用い た加熱試験では、予め炉内温度を目標とする温度まで上昇させた状態で供試体を炉内に設置す ることとした。

また、供試体は、両面加熱で炉内に対して水平に設置できる治具を製作し、その治具に複数 枚の供試体を設置して試験を実施した。

#### (4) 試験パラメータ

電気炉加熱試験における試験パラメータは、表 2.4.9 及び 2.4.10 に示すように、鋼板供試体 の5種類の塗装系及び撤去橋供試体の8種類の供試体に対して、それぞれ 200℃~700℃の6 段階の基準温度と。同表における基準温度は、前述のとおり電気炉の炉内温度とした。なお、 後述 3.5の検討により、炉内温度の保持時間は、炉内温度が供試体設置後、再び基準温度に到 達してから 30 分間とした。

基準	鋼板供試体 塗装系						
温度	A - 1	A - 2	B-1	C - 1	C - 5		
200°C	0	0	0	0	0		
300°C	0	0	0	0	0		
400°C	0	0	0	0	0		
500°C	0	0	0	0	0		
600°C	0	0	0	0	0		
700℃	0	0	0	0	0		

表 2.4.8 電気炉加熱試験の供試体一覧(鋼板供試体)

注:基準温度は、電気炉の炉内温度である。

表 2.4.9 電気炉加熱試験の供試体一覧(撤去橋供試体)

基準	撤去橋供試体 No.							
温 度	1	2	3	4	5 I	5 B	6	7
200°C	0	$\bigcirc$	0	$\bigcirc$	0	$\bigcirc$	0	$\bigcirc$
300°C	0	0	0	0	0	0	0	0
400°C	0	0	0	0	0	0	0	0
500°C	0	0	0	0	0	0	0	0
600°C	0	0	0	0	0	0	0	0
700°C	0	0	0	0	0	0	0	0

注:基準温度は、電気炉の炉内温度である。

# (5) 電気炉加熱試験の手順

加熱試験の手順は、次のとおりである。

- ① 炉内温度を基準温度まで上昇させる。
- ② 炉内温度が基準温度に達したら、扉を開放して供試体を設置する(設置治具とともに)。
   → 扉を開放することにより、50℃程度炉内温度が低下する。
- ③ 再度、炉内温度を基準温度まで上昇させる。
- ④ 炉内温度が基準温度に到達後、その温度を 30 分間保持する。(後述 3.5 章参照)
- ⑤ 30 分経過後、加熱を終了し、供試体を炉外で自然冷却する。

なお、試験結果における整理項目の概要は、次のとおりである。

- 炉内温度の経時変化
- ② 試験終了後の写真撮影、燃焼状況に対する所見、残存塗膜厚の測定

### (6)予備試験

電気炉加熱試験に先立ち、次を把握する予備試験を実施した。

- ① 炉内温度の昇温速度、基準温度の保持性能
- ② 供試体を複数枚設置して一度に試験を実施した場合の炉内温度のばらつき
- ③供試体設置のタイミング(予め炉内に設置した場合と基準温度到達後に設置した場合の 違い)

### ① 炉内温度の昇温速度、基準温度の保持性能

200~700℃の各基準温度に対する炉内温度と予備供試体の表面温度を測定した結果を、図 2.4.10に示す。なお、同表における▼印は、炉内に供試体を設置した時間を示している。

今回使用する電気炉の昇温速度は、基準温度に達するまでに 30~60 分間程度を要する緩や かな上昇であった。また、基準温度到達後、最大で 10℃程度の炉内温度の変化が認められたも のの、炉内温度の大幅な温度変化は生じないことが確認できた。











②炉内温度のばらつき(受熱温度のばらつき)

電気炉加熱試験において複数枚の供試体を一度に実施する場合の、200℃および700℃で加熱 したときの無塗装供試体6体の表面温度のばらつきと炉内温度の関係を、図2.4.11及び2.4.12 に示す。なお、同図では、冷却時に、No.1~3は炉外で冷却し、No.4~6は炉内で冷却(扉は開 放)した結果も示している。

200℃加熱の場合(図2.4.11)、電気炉の最も奥に設置した供試体①、④が10℃程度低く、その他の供試体温度は同等であった。この試験結果に基づき、図2.4.12に示した700℃の試験では供試体を炉内の中心付近に設置させた。この結果、供試体の温度のばらつきはほぼなくなった。以上から、加熱試験においては、供試体を電気炉の中央付近に設置することで、複数の供試体を一括で試験しても供試体受熱温度のばらつきはほとんど生じないものと考えられた。





	炉内			供試体No.			
	温度	1	2	3	4	5	6
	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)
到達時	200	129	133	143	128	135	141
終了時	201	183	195	196	182	194	197

図 2.4.11 炉内温度と供試体温度の関係(200℃)





	炉内	供試体No.					
	温度	1	2	3	4	5	6
	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)
到達時	697	672	684	672	672	680	674
終了時	699	688	686	674	679	684	675

図 2.4.12 炉内温度分布と供試体温度の関係(700℃)

# ② 供試体設置のタイミング

200、500、700℃の塗装供試体において、予め炉内に設置した場合と基準温度到達後に設置 した場合の表面温度を比較した結果を図 2.4.13 に示す。なお、同図では、加熱開始前から供試 体を設置した場合を CASE-1、炉内温度が基準温度に到達した後に供試体を設置した場合を CASE-2 として示している。









CASE-1

CASE-2

※ CASE-1:予め供試体を設置して加熱した場合
 CASE-2:基準温度到達後に供試体を設置して加熱した場合
 図 2.4.13 供試体設置のタイミングに関する検討(1)











CASE-1

CASE-2





CASE-1



※ CASE-1:予め供試体を設置して加熱した場合
 CASE-2:基準温度到達後に供試体を設置して加熱した場合
 図 2.4.13 供試体設置のタイミングに関する検討(3)

200℃および 300℃の場合の供試体の温度履歴は、CASE-1 と CASE-2 で同様である。しか し、700℃では、CASE-2 の場合、CASE-1 と比較して供試体が急激な温度上昇を示している。 ただし、CASE-1 の場合、炉内温度を 700℃まで上昇させるのに 70 分を要することから、実際 に火災を受ける場合と比較して非常に緩やかな加熱となる。したがって、CASE-2 の方が実現 象に近い温度上昇と考えられることから、本試験においては炉内温度が目標温度に到達してか ら供試体を設置する CASE-2 による方法とした。

### 2. 4. 4 写真記録取得方法

(1) 概要

現地照合用として正確な対比を可能とするためには、撮影条件をできるだけ一致させるとと もに、特に判定に大きく影響する色調について正確に対比できることが極めて重要である。ま た、今後の事例の追加によっても本研究と共通して活用可能なように、異なる照明条件下にお ける写真撮影に対して色調を統一する必要がある。そこで、本試験におけるデジタルカメラ撮 影時の色調調整方法について検討した。

デジタルカメラによる写真撮影時の色調調整において、最も基本的な調整方法はホワイトバ ランスの調整である。写真撮影時の色調は、照明の種類によって最も影響を受けるため、その 照明下におけるホワイトバランスを調整して、基準である白色(グレー)を白色(グレー)と認識さ せることによって、色調を調整することができる。また、デジタルカメラによって撮影された 写真の色調は、厳密にはカメラやレンズの種類や組み合わせによっても異なり、これらの色調 の調整は専用の道具を使用して修正することとなる。

そこで、本試験における写真撮影は、「Color Checker Passport (x-rite 社製)®」(以下「カラ ーチェッカー」という。)を使用して色調の調整することにより、色見本作成時の色調を統一す ることとした。ここで、カラーチェッカーは、図 2.4.14 に示すように、(a)ホワイトバランス ターゲット、(b)カラーチェッカークラシックおよび(c)クリエイティブ補正ターゲットの3種 類の写真用ターゲットから構成されている。





(d) 使用例

図 2.4.14 カラーチェッカーの概要

### (a) ホワイトバランスターゲット

撮影場所の照明下においてマニュアルでホワイトバランスの調整を行うためのターゲットで あり、JPEG と RAW の両方で使用することができきる。

### (b) カラーチェッカークラシック

基本的には RAW 形式で撮影した画像の色調を微調整するためのターゲットであり、業界標準の 24 パッチが配置されている。

# (c) クリエイティブ補正ターゲット

スペクトルパッチを配置し、ホワイトバランスの調整や露光の検証などを行うためのターゲットで、カラーチェッカークラシックとともに使用して RAW 形式で撮影した画像を調整する ことができる。

塗膜損傷見本撮影時および被災橋梁の塗膜損傷状況撮影時の色調統一手法を決定するために、 上記のカラーチェッカーによる色調調整結果を比較した。

### (2)加熱試験後の撮影方法

### 1) 撮影時の統一条件

図 2.4.15 に試験後の供試体撮影の際の概要を示す。使用する機器と、設定を以下に示す。

使用するカメラ: OLYMPUS PEN Lite (E-PL1) [マイクロフォーサーズ規格準拠レンズ交 換式カメラ]

使用するレンズ: ED 14-42mm f3.5-5.6L (35mm 判換算 28-84mm 相当)

撮影範囲:約550×750mm

焦点距離:18mm(撮影対象:電気炉加熱試験の供試体)

14mm(撮影対象:開放型ガス炉加熱試験の供試体)

- 絞り(F値):5.6
- シャッター速度:1/(80~)125秒
- 感度(ISO):200
- フラッシュ:なし
- 照明:ビデオライト (ハロゲンランプ 500W)
- 保存形式:RAW+JPG (JPG のサイズは最大サイズに設定する)



図 2.4.15 試験後の供試体撮影概要

### 2) 色調調整結果の比較

1) に示した照明条件下において、カメラのオート機能で撮影した場合とカラーチェッカー を用いて色調調整した場合の比較を表 2.4.12 に示す。なお、この比較検討には、ホワイトバラ ンスターゲットを使用して色温度の調整のみを行った場合についても示す。撮影対象は、電気 炉加熱試験の予備試験に用いた供試体(A-1 塗装系)の加熱前と 700℃で加熱した後の鋼板と した。

表 2.4.12 から、次のことがわかる。

- オートで撮影した場合、光源であるビデオライト(ハロゲンランプ)の影響が大きくでており、全体的にオレンジがかった色合いとなる。
- ② オート撮影の場合、絞り値(F 値)やシャッタースピードが撮影対象の色調によって変化す るため、画像の明るさなどが一定の条件とならない。
- ③ ホワイトバランスターゲットを使用して色温度の調整を行うことで、オート撮影の場合と 比較して、実際の色調に近づく。
- ④ カラーチェッカーを使用した場合、特に 700℃で加熱した供試体の燃焼状況において、より実際の色調に近くなっており、燃焼状況のコンストラストもはっきりとしている。

以上から、被災温度推定用塗膜損傷見本集の作成においては、カラーチェッカーを使用する ことにより、少なくとも写真撮影時の色調については正確な対比が可能であると考えられる。

### 3) 色調調整手順

色調の調整手順は、次のとおりである。

	撮影対象およびカメラをセット し、照明を点灯する。	
2	撮影時の照明条件下で、ホワイト バランスターゲットを用いて色温度 の調整を行う。	

3	撮影対象と同じ位置にカラーチェ ッカークラシックをセットして撮影 する。	

<\$					
5	カラーチェッカークラシックを撮 影した RAW データを、Adobe Photoshop®を用いて拡張子を DNG に変換する。(使用するカメラによっ て RAW データの拡張子が異なるた め)				
6	カラーチェッカークラシックの付 属ソフトを使用して、⑤で変換した DNG 画像をプロファイリングする。 これにより、色調調整用のカメラキ ャリブレーションファイルが作成さ れる。				
1	Adobe Photoshop®を用いて、対象 物を撮影した RAW データに⑥のカ メラキャリブレーションを適用す る。				

	表 2.4.12 比較結果一覧	
撮影対象	加熱前の鋼板	700℃加熱後の鋼板
オート	13	
	ISO 200,18mm,f/5.6,1/160 秒 オートホワイトバランス	ISO 200,18mm,f/4.5,1/100 秒 オートホワイトバランス
ホワイトバランス ターゲット 使用	ISO 200,18mm,f/5.6,1/125 秒	ISO 200,18mm,f/ 5.6,1/125 秒
カラーチェッカー 使用	ほび 200,18mm,f/5.6,1/125 秒	ISO 200,18mm,f/ 5.6,1/125 秒
#### (3) 被災現場の撮影方法

予め(2)の方法で撮影された見本との対比により、被災温度を推定するための、被災現場 における塗膜損傷状況のデジタル画像データの撮影方法を、次に示す。

#### ① 使用機器

- カメラ:絞り、シャッター速度、感度などをマニュアルで設定できる。 RAW形式で画像を保存することができる。
- 三 脚:桁下等の暗所では、フラッシュなしで撮影する場合、一般的にはシャッター速度 を長めにする。その場合、カメラを固定するなど、手ぶれが生じないよう配慮する 必要がある。
- 照 明:桁下の暗所において、フラッシュなしでも損傷箇所が撮影できる十分な明るさを 供給できる照明(ビデオライトまたは投光器など)を使用する。
- カラーチャート: Color Checker® Passport (x-rite 社) またはこれに準ずるもの。
- 撮影の範囲

Color Checker<sup>®</sup> (60×90mm)が画像全体の 1/10 以上を占めていなければ画像読み込み時に正 しく色調調整できない。一般に、画像を4:3比で撮影すると、被災箇所撮影時の最大範囲 は「600×800mm」となる。

なお、開放型ガス炉加熱試験結果の写真撮影を550×750mm程度の範囲で行っているため、 600×800mmで撮影した場合、塗膜損傷見本として撮影された画像と同じ大きさで比較する ことができる。図 2.4.16 に開放型ガス炉加熱試験後の供試体の撮影範囲の例を示す。



図 2.4.16 開放型ガス炉加熱試験後の供試体の撮影範囲

#### ③ 撮影時のカメラ設定および照明条件

撮影時のカメラ設定および照明条件は、対照の被災箇所の写真が適切な明るさとなるよう に設定する必要がある。これは、Color Checker®を含む被災箇所の写真が正しく露光されてい ない場合、色調調整時に Color Checker®を認識できないためである。また、被災箇所ごとに 異なる露光で撮影すると、色調調整を行っても明るさが異なり、被災状況の比較が困難とな るため、各被災箇所のカメラ設定および照明条件は統一することが望ましい。

## ④ 撮影方法

Color Checker®を利用した被災現場での写真撮影手順を次に示す。

- (i) カメラおよび照明をセットする。
- (ii) 撮影時のカメラ設定および照明条件下でホワイトバランスの調整を行う。
  ※ Color Checker® Passport を使用する場合は、付属しているホワイトバランスター ゲットが利用できる。
- (iii) Color Checker®をレンズに対して水平になるようにセットして、被災箇所を撮影する。
  ※ 撮影画像の露光が適切であるか、また、Color Checker®を正しく認識できるかどうかを現地で確認することが望ましい。

現場において、多くの被災箇所・範囲で撮影する場合、被災箇所ごとにカメラ及び照明 を設置し、撮影範範囲(600×800mm)を調整することは、多大な作業時間を要すると考え られる。そこで、現地において速やかに同一の照明条件で撮影するため、図 2.4.17 に示す 治具を使用すると効率的である。

撮影箇所を移動しても同じ撮影範囲で、かつ、同じ光源の強さの元で写真を撮影するこ とが可能である。なお、撮影箇所が狭隘部で上記のような撮影範囲を確保できない場合は、 撮影範囲を小さくして撮影することも考えられる。



図 2.4.17 撮影用治具案

⑤ 照合方法

撮影後の色調調整処理手順については、付属資料2(鋼部材の被災温度推定標本の撮影方法(案)に示す。

# 2.5 加熱試験後の鋼板の引張試験

## (1) 試験片採取位置および試験方法

開放型ガス炉加熱試験を実施した鋼板供試体(300×500mm)の各基準温度に対する鋼材の 力学特性を把握するため、図 2.5.1 に示すように、JIS Z 2241 に示されている 1A 号試験片(試 験片幅:40mm)を3体採取して引張試験を実施した。引張試験は、JIS Z 2241「金属材料引 張試験方法」に準拠して実施した。計測項目は、載荷荷重とひずみとし、応力・ひずみ曲線、弾 性係数、降伏点、引張強さ、伸び等の結果を整理するとともに、破断面の写真撮影を行った。



図 2.5.1 試験片採取位置

## (2) 試験片採取の対象供試体および試験数量

引張試験には、0節に示した開放型ガス炉加熱試験の予備試験で実施した供試体を用いた。 供試体の条件を、表 2.5.2 に示す。

供試体の数量は、加熱前の供試体と開放型ガス炉加熱試験の各基準温度につき1体とし図 2.5.1のとおり、7体の供試体から各3片を採取した。

	基準	試験片数量
	温度	(片)
	加熱前	3
	$200^\circ C$	3
	300°C	3
	400°C	3
	$500^{\circ}\mathrm{C}$	3
	600°C	3
	700°C	3
	合計	21

表 2.5.2 加熱試験後の引張試験の数量

【参考文献】

- 2.1) 鋼道路橋塗装工事実態調査報告書、発行(社)日本橋梁·鋼構造塗装技術協会
- 2.2) 火災の被災橋梁の点検マニュアル(案)、国土交通省中部地方整備局名古屋国道事務所 管理第二課
- 2.3) 鋼橋の火災時点検マニュアル(案)、首都高速道路公団 東京保全部
- 2.4) 鉄桁部材の耐火性実験について、東海旅客鉄道(株)、平成16年土木学会全国大会
- 2.5) 大気暴露試験ハンドブック,(財)日本ウエザリングテストセンター,H19
- 2.6) 鋼道路橋塗装·防食便覧,(社)日本道路協会, 2012.12
- 2.7) 日本ペイント株式会社 技術資料 DS.No.020-90-03
- 2.8) 建築物の総合防火設計法 第4巻 耐火設計法,日本建築センター,1989.4
- 2.9) 建設省告示 1433 号、1996.6.1.
- 2.10) ISO834-1 : 1999 Fire-resistance test- Elements of building construction –Part1 : General requirements, International Organization for Standardization
- 2.11) FORSCHUNGSGESELLSCHAFT FUR STRASSEN UND VERKEHRSWESEN : Richtlinien fur die Ausstattung und den Betrieb von Strassentunnneln RABT, Ausgabe 1985
- 2.12) Report concerning on an investigation into the behavior of a cocrete slab protected by coating of PROMATECT- H Plates of 25mm in thickness upon heating according to a curve prescribed by the "Rijks water staat" in the Netherlands, TNO Report B-85-191 (E), May 1985.
- 2.13) 大野皓一郎他: 沈埋トンネルの耐火設計と施工~東京港第二航路海底トンネル,トンネルと地下,2002
- 2.14) Eurocode 1 : Basis of Design and Actions on Structures, Part 2.2 : Actions on Structures Exposed to Fire, Draft, February 1993.