

V-6 金属被覆による耐食性向上に関する試験調査

研究予算：運営費交付金（道路整備勘定）

研究期間：平 13～平 17

担当チーム：新材料チーム

研究担当者：西崎 到、守屋 進

【要旨】

鋼構造物に重防食塗装を施しても部材角部などでは、塗膜厚不足などによって本来期待する塗膜の防食効果が得られないことがある。このような部位に耐食性に優れた金属被覆材を塗膜の上に貼り付けることで耐食性を確保することが期待できる。本研究は、鋼構造物塗膜の耐食性を確保することを目的に、塗膜にチタン箔と基材を一体化したチタン箔シートを適用する工法について耐食性および施工性を検討した。

過去に暴露した高耐食性テープの調査を行い、鋼構造物塗膜にチタン箔シートを適用するための検討課題を整理した。次にチタン箔シートの材料選定と塗装仕様の検討、チタン箔シート端部や損傷部の影響について検討した。その結果、塗膜にチタン箔シートを適用することで耐食性を確保できることが明らかとなった。この研究成果に基づいて、チタン箔シートによる重防食塗装の耐食性補強マニュアル(案)を作成した。

キーワード：重防食塗装、チタン箔、チタン箔シート、耐食性

1. はじめに

重防食塗装を施した鋼構造物塗膜でも部材角部などでは、塗膜厚不足などによって本来期待する塗膜の耐食性が得られないことがある。そのため、このような塗膜の弱点部における耐食性を確保することは、鋼構造物防食のライフサイクルコストを低減する観点から意義は大きい。そこで、耐食性に優れた金属箔を塗膜弱点部に被覆する手法について検討することとした。金属材料としては、優れた耐食性を有するチタンを検討した。本研究では、チタン箔を貼り付けた塗膜の耐食性を促進試験や暴露試験で検討した。また、施工性および端部や損傷部の影響について検討した。なお、チタン箔と塗膜に貼り付けるための材料(以下、基材)を一体化した材料をチタン箔シートと記述する。

2. 研究の流れ

研究のフローを図-1に示す。

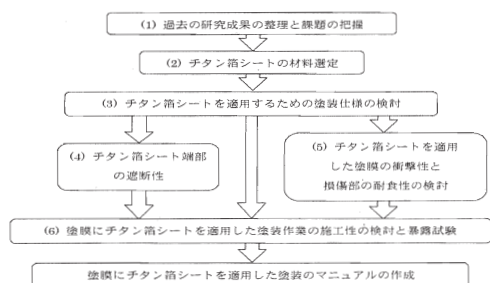


図-1 研究の流れ

3. 過去の研究成果の整理と課題の把握

3.1 概要

過去の研究において、各種金属箔をテープあるいは接着剤を用いて鋼材面に貼り付けた場合の耐食性の検討が行われており、暴露12年を経過した供試体が残されていた。この供試体を使用して、過去の研究成果の整理と課題の把握を行った。

3.2 試験体と調査項目

(1) 暴露環境

暴露試験は、平成5年から12年間 一般環境のつくば（茨城県つくば市）と、冬季の季節風による厳しい腐食環境の親不知（新潟県糸魚川市）で行われた。

(2) 試験体

試験体はH形鋼材(588×300×12×20、L:1600mm)を用いた。プラスト処理を施した試験体とプラスト処理/無機ジンクリッチペイントを施した試験体の表面に金属箔を貼り付けた。使用した金属箔はステンレス材(SUS447J1相当品)とチタン材(JIS H 4600 1種)の2種類である。ステンレス箔の厚さは0.07mmと0.1mm、チタン箔の厚さは0.1mmである。

金属箔貼り付け用の基材は、アクリル系接着剤とアクリルフォーム/アクリル接着テープ(厚さ0.8mm)、ブチルゴム/アクリル接着テープ(厚さ0.75mm)である。

表-1 に試験体の種類を図-2 に試験体の概要と金属箔の貼り付け図を示す。

表-1 試験体の種類

試験体	金属箔の貼り付け面の状況	金属箔の種類		暴露場所
		金属箔	基材の種類	
BT-S7	プラスト処理	SUS 0.07mm	アクリル系接着剤	一般環境 茨城県つくば市
BT-S1		SUS 0.1mm		
BT-TA		Ti 0.1mm	アクリルフォーム基材アクリル接着テープ	
BT-TB		Ti 0.1mm	ブチルゴム基材アクリル接着テープ	
BH-S7	プラスト処理	SUS 0.07mm	アクリル系接着剤	厳しい腐食環境 新潟県糸魚川市
BH-S1		SUS 0.1mm		
BH-TA		Ti 0.1mm	アクリルフォーム基材アクリル接着テープ	
BH-TB		Ti 0.1mm	ブチルゴム基材アクリル接着テープ	
ZH-S7	プラスト処理 無機ジンクリッチ ペイント	SUS 0.07mm	アクリル系接着剤	
ZH-S1		SUS 0.1mm		
ZH-TA		Ti 0.1mm	アクリルフォーム基材アクリル接着テープ	
ZH-TB		Ti 0.1mm	ブチルゴム基材アクリル接着テープ	

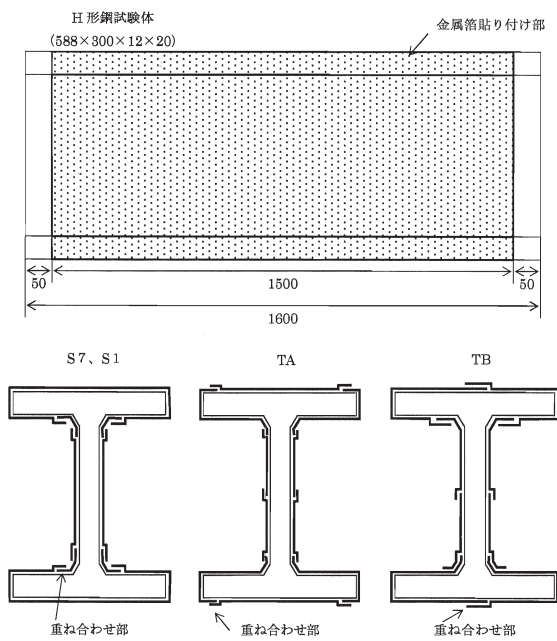


図-2 試験体の概要と金属箔の貼り付け図

(3) 調査項目

①金属箔の貼り付け作業

試験体製作時の金属箔の貼り付け作業性を 12 年前の報告書により確認した。

②外観観察

金属箔表面や端部の異常の有無を目視観察した。

③付着性試験

試験体に貼り付けた金属箔の付着性試験を行い、金属箔の付着性を調査した。

④解体調査

暴露 12 年経過後に試験体に貼り付けた金属箔を除去して、鋼材の腐食状況を調査した。

3.3 調査結果

(1) 金属箔の貼り付け作業

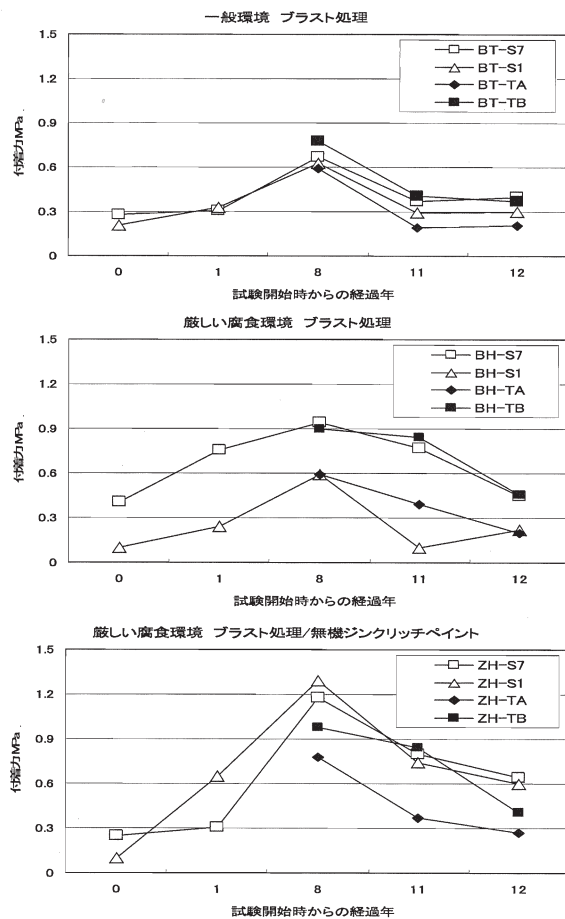
ステンレス箔は、チタン箔に比べて折り曲げ加工や曲面部への追従性が悪かった。チタン箔シートは、貼り付け作業性が悪く試験体表面にしわが生じた。

(2) 外観観察

暴露試験 12 年経過時の試験体の外観状況を調べた。金属箔端部から積層さびによる金属箔の浮きが生じていた。試験体製作時の作業時に記載されている初期状態からの金属箔の浮きやしわの変化は確認できなかった。チタン箔の表面には酸化被膜によると思われる変色が生じていた。

(3) 付着性試験

付着性試験の結果を図-3 に示す。上からつぐば暴露試験体、親不知に暴露したプラスト面に金属箔を貼り付けた試験体である。一番下は同環境の無機ジンクリッチペイント面に金属箔を貼り付けた試験体である。



基材テープを使用した試験体 (TA と TB) の初期と 1 年後の付着性試験は、テープが伸張し強度は確認されていない。付着力にばらつきは見られるが、

付着力の推移がほぼ同様であり、金属箔と基材の違いによる、付着性に差は見られなかった。

(4) 解体調査

暴露 12 年後の試験体の金属箔を除去して、鋼材の腐食状況を調査した。

親不知暴露試験体は、金属箔除去後の鋼材のさびが多かった。腹板とフランジのコーナー部における腐食が激しかった。また、無機ジंकリッチペイント面に金属箔を貼り付けたものは、白さびが見られた。これは無機ジंकリッチペイントが消耗したことによると思われる、ブラスト処理のみに金属箔を貼り付けた試験体に比べて、鋼材のさびは少なかった。

またブチルゴム基材アクリル接着テープ以外で金属箔を貼り付けた試験体では、金属箔端部で積層さびによる金属箔の浮き上がりが確認された。

0.1 mm のチタン箔をブチルゴム基材アクリル接着テープで貼り付けたものが最も防食性が高く、無機ジंकリッチペイント後に貼り付けることで、高い防食効果を発揮することを確認した。

3. 4 過去の研究成果の整理と課題の把握のまとめ

- ①金属箔を貼り付けることによって、鋼材の防食ができる。
- ②ステンレス箔よりもチタン箔のほうが、施工性がよく貼り付けた金属箔にしわなどは少ない。
- ③金属箔は、ブチルゴム基材アクリル接着テープを使用したものが優れていた。
- ④貼り付けた金属箔の端部、特に曲面に貼り付けた金属箔の端部で鋼材の腐食現象が多く見られた。

4. チタン箔シートの材料選定

過去の研究成果の整理と課題の把握結果から金属箔と基材との組み合わせが、防食上において重要であることが確認された。また、チタン箔が施工性に優れていることが分かった。このため、チタン箔を塗膜あるいは鋼材に貼り付けるための基材について検討した。

4. 1 チタン箔と基材の組合せによる鋼材との付着性の検討

チタン箔の厚さと基材の違いによる付着性を検討するために、ブラスト処理鋼材にチタン箔を貼り付けて促進試験を行った。

4. 1. 1 試験体概要と促進試験

(1) 試験体

試験体は、寸法 200×300×6 mm の SS400 鋼材を使用し、図-4 に示すようにチタン箔を貼り付けた。

そして表-2 に示す塗装仕様の塗装を施した。

塗装仕様 1-1 は、ブラスト処理後にチタン箔貼り付け部にチタン箔を貼り付け、塗装部（チタン箔貼り付け部以外）には、防食下地/下塗りを施した。塗装仕様 1-2 は、塗装仕様 1-1 と同様の作業を施した試験体の全面に中塗り/上塗りを施した。

チタン箔と基材の組合せを表-3 に示す。

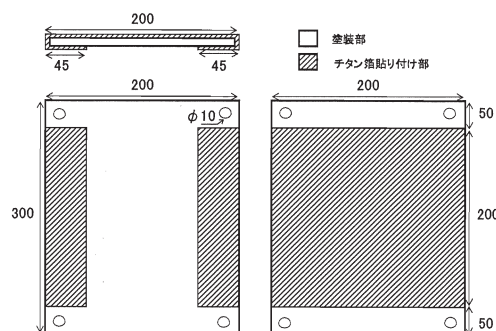


図-4 試験体概要図

表-2 塗装仕様（上側：1-1、下側：1-2）

塗装部	下地処理	防食下地	下塗り		中塗り		上塗り	
	チタン箔貼り付け部	ブラスト処理鋼 (Sa2.5)	無機ジंकリッチペイント 700g/㎡ 75 μm	ミストコート	エポキシ塗料下塗 300g/㎡ 60 μm	エポキシ塗料下塗 300g/㎡ 60 μm	ふっ素塗料用中塗 170g/㎡ 30 μm	ふっ素塗料上塗 140g/㎡ 25 μm
	チタン箔+基材							

表-3 試験体の水準

試験体	チタン箔厚さ	基材の種類	塗装仕様
10t-a-1	0.1mm	ブチルゴム基材アクリル接着剤テープ	1-1
10T-A		不織布基材アクリル接着剤テープ	
10T-B		速乾形エポキシ系接着剤	
10T-C		速乾形ウレタン系接着剤	
10T-D		超速乾形ウレタン系接着剤	
10T-E			1-2
5T-A	0.05mm	ブチルゴム基材アクリル接着剤テープ	
2T-A	0.02mm	ブチルゴム基材アクリル接着剤テープ	

(2) 促進試験

室温状態の水道水に浸漬する浸漬試験と、温度 30℃、湿度 90%RH の高湿試験を 120 日間行った。

4. 1. 2 調査項目

(1) 外観調査

チタン箔と塗膜の外観を目視観察した。

(2) 付着性試験

チタン箔を含めた塗膜の付着性試験を JIS K 5600-5-7 に準じて行った。

4. 1. 3 促進試験結果

(1) 外観調査

浸漬試験の結果、接着剤を使用した試験体 10T-C、10T-D および 10T-E は、チタン箔と鋼材の間に水の侵入が見られた（試験体 10T-D は 30 日後、試験体 10T-C と 10T-E は 120 日後）。一方、基材テープを使用した試験体では、いずれも外観上の変状が見られなかった。基材テープを使用した試験体は、接着剤を使用した試験体よりも付着性が優れていた。また、試験体 5T-A と 2T-A は、チタン箔が薄いため試験体製作時にチタン箔シートにシワが生じた。

なお、高湿試験では、いずれの試験体にも異状は見られなかった。

(2) 付着性試験

①チタン箔表面の塗膜の付着性への影響

チタン箔表面の塗膜の付着性への影響を表-4 に示す。10t-a-1 試験体は、全てチタン箔と基材テープの層間ではく離した。高湿試験 120 日の付着力の低下は、厳しい試験条件によってチタン箔と基材テープの付着力が低下した恐れも考えられる。

10t-a-1 試験体に中塗り/上塗りを施した 10T-A 試験体の高湿試験は、全てチタン箔と基材テープの層間ではく離しており、120 日でも付着力は安定していた。これより、チタン箔の表面から端部にかかるように塗装を施すことで、チタン箔と基材テープの端部から水分などの侵入を抑制して、チタン箔と基材テープの付着力の低下を抑えることが出来ると思われる。

表-4 チタン箔表面の塗膜の付着性への影響

試験/試験体	初期 0日			期間						
	1st	2nd	Aveg	5日	14日	30日	60日	90日	120日	
浸漬試験	10t-a-1	1.47 ③100%	1.27 ③100%	1.37 -	0.98 ③100%	1.76 ③100%	1.57 ③100%	1.47 ③100%	1.47 ③100%	
	10T-A	0.98 ③100%	0.78 ③100%	0.88 -	1.18 ③100%	1.08 ③100%	1.67 ③100%	1.57 ③100%	0.88 ②70%	0.69 ②95%
高湿試験	10t-a-1	1.47 ③100%	1.27 ③100%	1.37 -	1.76 ③100%	1.37 ③100%	1.37 ①100%	1.57 ③100%	0.98 ③100%	
	10T-A	0.98 ③100%	0.78 ③100%	0.88 -	1.27 ③100%	2.25 ③100%	1.57 ③100%	1.47 ③100%	1.27 ③100%	

表中の表示 上段:付着力 MPa 下段:破壊位置とその割合
破壊位置
①:治具接着用の接着剤層内の凝集破壊 ②:チタン箔と基材テープの層間はく離
③:治具用接着剤とチタン箔の層間はく離 ④:チタン箔と接着剤の層内の凝集破壊
⑤:塗膜とチタン箔の層間はく離 ⑥:基材テープ・接着剤と鋼材の層間はく離

また、浸漬試験 90 日以降の 10T-A 試験体は、付着力が低下した。これは、破壊位置が塗膜とチタン箔の層間ではく離していることから、チタン箔上に塗装した塗膜とチタン箔の付着性が低下したためと思われる。

②基材の付着性への影響

基材の付着性への影響を表-5 に示す。10T-B 試験体は、10T-A 試験体に比べて付着力が若干低く、破壊位置は全てチタン箔と基材テープの層間のはく離であった。

チタン箔を接着剤で貼り付けた 10T-C、10T-D、10T-E 試験体は、基材テープで貼り付けた 10T-A、10T-B 試験体に比べて付着力は大きい、付着力のばらつきも大きい。これは接着剤が均一な厚さでなかったことで、付着力に差がでたものと思われる。

外観調査では基材に接着剤を使用した試験体は水分の侵入が確認された。このことより基材に基材テープを使用した方が、安定した付着性を得られると思われる。

表-5 基材の付着性への影響

試験/試験体	初期 0日			期間						
	1st	2nd	Aveg	5日	14日	30日	60日	90日	120日	
浸漬試験	10T-A	0.98 ③100%	0.78 ③100%	0.88 -	1.18 ③100%	1.08 ③100%	1.67 ③100%	1.57 ③100%	0.88 ②70%	0.69 ②95%
	10T-B	0.59 ③100%	1.08 ③100%	0.83 -	1.27 ③100%	0.59 ③100%	0.88 ③100%	1.47 ③100%	0.78 ③100%	0.88 ③100%
高湿試験	10T-C	2.45 ③100%	2.16 ③100%	2.30 -	1.37 ③100%	2.45 ①95%	1.76 ②5%	1.57 ①100%	2.35 ①100%	1.47 ③100%
	10T-D	3.43 ③100%	3.43 ③100%	3.43 -	1.57 ③100%	0.88 ③100%	0.78 ③100%	1.27 ③100%	1.37 ③100%	0.49 ③100%
高湿試験	10T-E	3.43 ③100%	3.43 ③100%	3.43 -	2.65 ①100%	2.74 ①100%	1.96 ①100%	1.76 ①100%	1.96 ③100%	3.04 ③100%
	10T-A	0.98 ③100%	0.78 ③100%	0.88 -	1.27 ③100%	2.25 ③100%	1.57 ③100%	1.47 ③100%	1.27 ③100%	
高湿試験	10T-B	0.59 ③100%	1.08 ③100%	0.83 -	1.27 ③100%	0.98 ③80%	1.27 ③100%	1.08 ③100%	1.08 ③100%	0.88 ③100%
	10T-C	2.45 ③100%	2.16 ③100%	2.30 -	1.76 ③100%	1.37 ③100%	2.94 ①100%	1.67 ①100%	2.94 ①80%	1.47 ②20%
高湿試験	10T-D	3.43 ③100%	3.43 ③100%	3.43 -	1.96 ③100%	2.45 ②10%	2.74 ②20%	2.35 ②40%	1.37 ③100%	
	10T-E	3.43 ③100%	3.43 ③100%	3.43 -	2.45 ①100%	3.04 ①100%	2.94 ①100%	2.06 ①100%	3.23 ①95%	2.5% ②5%

表中の表示 上段:付着力 MPa 下段:破壊位置とその割合
破壊位置
①:治具接着用の接着剤層内の凝集破壊 ②:チタン箔と基材テープの層間はく離
③:治具用接着剤とチタン箔の層間はく離 ④:チタン箔と接着剤の層内の凝集破壊
⑤:塗膜とチタン箔の層間はく離 ⑥:基材テープ・接着剤と鋼材の層間はく離

③チタン箔の厚さの付着性への影響

チタン箔の厚さの付着性への影響を表-6 に示す。チタン箔は厚さ 0.1 mm と 0.05 mm、0.02 mm を使用した。

10T-A と 5T-A、2T-A 試験体を比べると、5T-A 試験体の付着力が最も低く、塗膜とチタン箔の層間ではく離するものがほとんどであった。これは、チタン箔表面に塗付した塗膜とチタン箔との付着性に問題があったために起きたと思われる。この現象が起きた明確な原因はわからないが、5T-A と 2T-A 試験体の製作時に出来たしわの影響が考えられる。

表-6 チタン箔の厚さの付着性への影響

試験/試験体	期間										
	初期 0日			5日	14日	30日	60日	90日	120日		
	1st	2nd	Aveg								
浸漬試験	10T-A	0.98 ③100%	0.78 ③100%	0.88 -	1.18 ③100%	1.08 ③100%	1.67 ③100%	1.57 ①100%	0.88 ②70%	0.69 ①30%	0.69 ②95%
	5T-A	0.49 ②100%	0.78 ②100%	0.64 -	1.67 ③100%	2.06 ②70%	2.96 ①30%	0.69 ②90%	0.59 ①10%	0.49 ①20%	0.29 ②100%
	2T-A	0.78 ③100%	0.69 ③100%	0.74 -	1.18 ③100%	1.37 ③100%	0.98 ③100%	1.57 ③100%	1.37 ③100%	1.67 ③100%	1.67 ③100%
高温試験	10T-A	0.98 ③100%	0.78 ③100%	0.88 -	-	1.27 ③100%	2.25 ③100%	1.57 ③100%	1.47 ③100%	1.27 ③100%	1.27 ③100%
	5T-A	0.49 ②100%	0.78 ②100%	0.64 -	-	1.67 ③100%	1.27 ③100%	0.78 ③100%	1.18 ③100%	0.88 ②98%	
	2T-A	0.78 ③100%	0.69 ③100%	0.74 -	-	0.98 ③100%	1.37 ③100%	1.08 ③100%	1.18 ③100%	0.78 ②100%	

備考
 表中の表示 上段:付着力 MPa 下段:破壊位置とその割合
 破壊位置
 ①: 治具接着用の接着剤層内の凝集破壊 ③: チタン箔と基材テープの層間はく離
 ②: 治具用接着剤とチタン箔の層間はく離 チタン箔と接着剤の層内の凝集破壊
 ④: 基材テープ:接着剤と鋼材の層間はく離

4.2 チタン箔の厚さと基材テープの種類による施工性の検討

これまでの検討結果より、チタン箔貼り付け用の基材にテープを使用することで、良好な付着性を示すことが確認された。そこで、チタン箔と基材テープを一体化したチタン箔シートを製作し、施工性におよぼす影響からチタン箔の厚さと基材テープの種類について検討した。

4.2.1 試験体と施工仕様の概要

(1) 試験体概要

試験には朝霧材料観測施設の実大桁試験体を使用して、桁下フランジ部と桁端部、添接部の3つの部位を対象に部分的にチタン箔シートを貼り付けた。

図-5に実大桁橋試験体を示す。

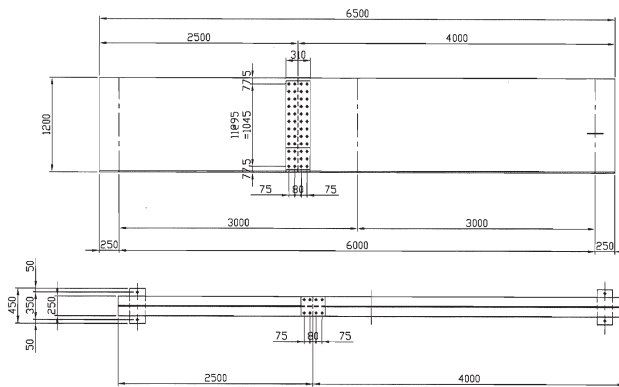


図-5 実大桁試験体

(2) 施工内容

チタン箔シートの種類を表-7に、塗装仕様を表-8に示す。塗装仕様2-1は、不陸調整後に下塗りを行ってからチタン箔シートを貼り付ける仕様であり、同2-2は、不陸調整後に下塗りを行う前にチ

タン箔シートを貼り付ける仕様である。チタン箔表面は、面粗ししてから中塗りを施した。

表-7 チタン箔シート

チタン箔シート 記号	厚さ	チタン箔厚さ (JIS H 4600)	構成材料	
			基材テープの種類と厚さ	
TS-1	0.85mm	0.1 mm	ブチルゴム基材アクリル接着剤テープ 0.75mm	
TS-2	0.27mm		不織布基材アクリル接着剤テープ 0.17mm	
TS-3	0.80mm	0.05 mm	ブチルゴム基材アクリル接着剤テープ 0.75mm	

表-8 塗装仕様(上側:2-1、下側2-2)

塗装部	下地処理	プライマー	不陸調整	下塗り		(チタン箔)	中塗り	上塗り
				変性エポキシ塗料下塗り	超厚膜形エポキシ塗料			
チタン箔貼り付け部	3種クレン(旧塗膜)	変性エポキシ塗料下塗り 240g/m ²	超厚膜形エポキシ塗料 1000g/m ²	変性エポキシ塗料下塗り 240g/m ²	変性エポキシ塗料下塗り 240g/m ²	チタン箔シート 0.85mm	ふっ素塗料用中塗り 140g/m ²	ふっ素塗料上塗り 120g/m ²
チタン箔貼り付け部	3種クレン(旧塗膜)	変性エポキシ塗料下塗り 240g/m ²	超厚膜形エポキシ塗料 1000g/m ²	変性エポキシ塗料下塗り 240g/m ²	変性エポキシ塗料下塗り 240g/m ²	チタン箔シート 0.85mm	ふっ素塗料用中塗り 140g/m ²	ふっ素塗料上塗り 120g/m ²

①桁下フランジ部

図-6に桁下フランジ部の施工範囲を示す。腹板から下フランジ全体を巻き込むように3ヶ所(F-1~F-3)でチタン箔シートの貼り付けを実施した。チタン箔シートは、F-1とF-2がTS-1、F-3がTS-2を使用した。(表-9参照)

表-9 桁下フランジの施工の内容

F-1	チタン箔シート		塗装仕様	施工面積
	TS-1	0.3×0.9 m 1枚		
F-2	TS-1	0.3×0.9 m 1枚	2-1	0.27 m ²
F-3	TS-2	0.3×0.9 m 1枚		2-2

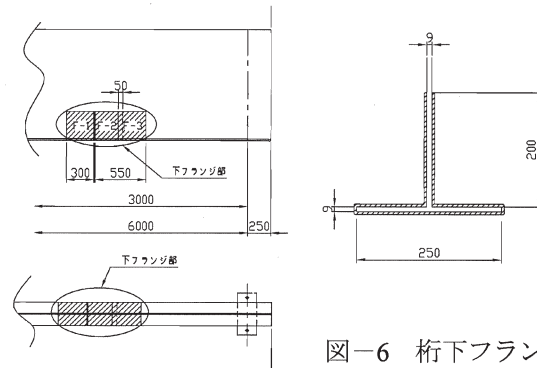


図-6 桁下フランジ部の施工範囲

②桁端部

桁端部に使用したチタン箔シートは、表-10に示すTS-1を、図-7に示すように実際の桁端部での作

業環境を考慮して、桁端部から 100 mm の場所にコンクリート橋台を想定して、遮へい板を仮設した状態で作業した。

表-10 桁端部の施工の内容

	チタン箔シート	塗装仕様	施工面積	
C-1	TS-1	0.2×0.4 m 1枚	2-1	0.08 m ²
C-2		0.3×0.4 m 1枚	2-2	0.12 m ²

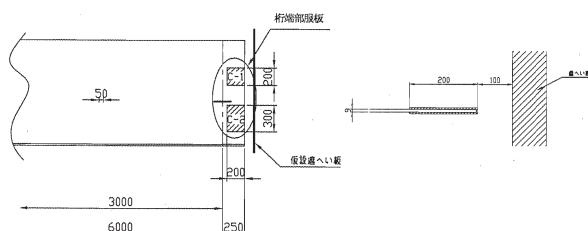


図-7 桁端部の施工範囲

③ 添接部

添接部の施工の内容を表-11 に、施工範囲を図-8 に示す。

表-11 添接部の施工の内容

	チタン箔シート	塗装仕様	施工面積	
T-1/T-2	TS-3	2-1	0.1935 m ² (合計)	
T-3/T-4				0.2×0.08 m 2枚
T-5				0.15×0.33 m 1枚
T-6/T-7	2-2	0.1745 m ² (合計)		
T-8/T-9			0.15×0.3 m 2枚	
T-10			0.2×0.08 m 2枚	
T-11/T-12			0.15×0.25 m 1枚	

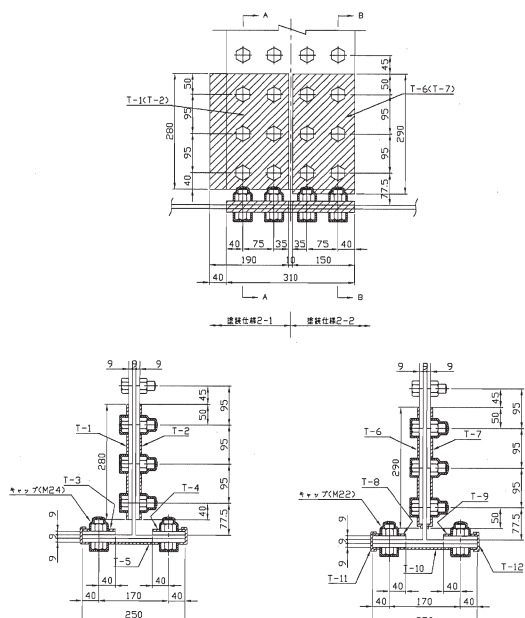


図-8 添接部の施工範囲

添接部に使用したチタン箔シートは、TS-3 である。添接部は添接板やボルト・ナットが多く複雑な形状をしているため、12枚のチタン箔シートで貼り合わせた。また、ボルト・ナット部ではチタン箔シートをカッターで切り抜いて貼り付けた。

4. 2. 2 調査項目

(1) 作業性調査

作業時間を測定し、チタン箔シートの貼り付け部とチタン箔シートの種類の違いによる作業性と作業時間を確認した。

(2) 外観調査

施工後の状況を目視で確認した。

(3) 付着性試験

施工後の各部位のチタン箔シートを含めた塗膜の付着性を確認した。

4. 2. 3 調査結果

(1) 作業性調査

各試験部の作業時間と施工能率を表-12 に示す。

表-12 作業記録

施工仕様	施工部位	桁下フランジ部			桁端部		添接部	
		F-1	F-2	F-3	C-1	C-2	T-1~5	T-6~12
チタン箔シート	TS-1				TS-1		TS-3	
	TS-2				TS-2		TS-3	
塗装仕様	2-1				2-1		2-1	
	2-2				2-2		2-2	
作業内容	施工面積 (m ²)	0.27	0.27	0.27	0.08	0.12	0.1935	0.1745
	チタン箔シート 貼り付け作業時間 (分) (施工能率:分/0.1m ²)	7	5.5	9	3.5	3.5	13	12
		2.6	2	3.3	4.4	2.9	6.7	6.9

① 基材テープの違い

桁下フランジ部ではチタン箔シートを 2 種類貼り付けた。その結果、不織布基材アクリル接着剤テープを使用した TS-2 に比べて、ブチルゴム基材アクリル接着テープを使用した TS-1 のチタン箔シートの方が作業性は若干良好であった。

② チタン箔の厚さ

添接部では 0.05 mm のチタン箔を使用した TS-3 のチタン箔シートで施工した。厚さ 0.1 mm のチタン箔を使用した桁下フランジと桁端部に比べて施工能率が悪い。これは添接部で貼り付けたチタン箔シートの量が多く、複雑な形状をしているため施工に時間を費やしたためである。

③ チタン箔の貼り付け部位

チタン箔シートの貼り付け作業において、チタン箔の厚さがおよぼす影響は確認されなかった。しかし、厚さ 0.05 mm のチタン箔を使用した方が、チタン箔シートの折り曲げ加工は行い易かったと思われる。

桁端部では、桁下フランジ部に比較して、単位面

積あたりの貼り付け作業性は多少劣った。しかし、本試験においては明確な差は見られず、添接部以外の部位では作業性に大きな差は見られないといえる。

桁下フランジ部と桁端部に比較して、添接部は複雑な形状をしており、ボルト・ナットに合わせて貼り付ける必要があるため、同一面積の作業に2倍程度の時間がかかった。本試験ではチタン箔シートは最大で6箇所ボルト・ナット部用の穴あけ加工をしたもので貼り付けたが、実橋では添接部のボルト・ナットはそれ以上あるため、1回で貼り付ける範囲や方法も検討する必要がある。

(2) 外観調査

①表面の気泡の巻き込み

外観観察を行った結果、微量の気泡の巻き込みを確認した。これは、チタン箔と基材テープとの貼り合せを手作業で行った際に、気泡を巻き込んだものと思われる。また、チタン箔シートを試験体に貼り付ける時点でもわずかに気泡を巻き込んでいると思われる。気泡はチタン箔の厚さと基材テープの種類による違いは見られなかった。チタン箔と基材テープとの貼り合せ加工時にできた気泡の巻き込みによるものであれば、チタン箔シートの施工を工場加工で行うことによってかなり改善されると思われる。

②チタン箔シート端部と重ね合わせ部

チタン箔シートは厚みが1mm程度あるため、チタン箔シート貼り付け部の境界は段差が確認できた。また、チタン箔シートの重ね合わせ部(F2とF3)でも重ね合わせ範囲が確認できた。ただし、ある程度接近して観察しなければこれらの境界は確認しにくいと思われる。

(3) 付着性試験

付着性試験の結果を表-13に示す。基材テープやチタン箔の厚さ、塗装仕様の違いによって付着力に差はなく、破壊位置も同じであった。また、施工部位での付着力に大きな差はなく、チタン箔シートの加工と貼り付けは全て同じように行うことができたといえる。

表-13 付着性試験結果

施工仕様 部位	桁下フランジ部			桁端部		添接部	
	P-1	P-2	F-3	C-1	C-2	T-1~5	T-6~12
	TS-1		TS-2	TS-1		TS-3	
2-1	2-2		2-1	2-2	2-1	2-2	
桁外側 腹板	0.69 MPa チ/基層間	0.78 MPa チ/基層間	0.88 MPa チ/基層間	1.08 MPa チ/基層間	0.69 MPa チ/基層間	0.98 MPa チ/基層間	0.69 MPa チ/基層間
桁内側 腹板	-	-	-	0.98 MPa チ/基層間	0.78 MPa チ/基層間	-	-
桁下フランジ 下面	0.88 MPa チ/基層間	0.88 MPa チ/基層間	1.08 MPa チ/基層間	0.78 MPa チ/基層間	0.98 MPa チ/基層間	1.27 MPa チ/基層間	1.47 MPa 中/チ層間

破壊位置 チ/基層間:チタン箔と基材テープの層間でなく離
中/チ層間:中塗り塗膜とチタン箔の層間でなく離

4.3 チタン箔の厚さの違いによる衝撃性の検討

チタン箔を鋼材面に貼り付ける場合、打ち傷などによりチタン箔シートが損傷することが懸念される。そこでチタン箔を貼り付けるために適したブチルゴム基材アクリル接着テープ(厚さ0.75mm)に厚さの異なるチタン箔を貼り付けて、チタン箔の厚さの違いによる耐衝撃性の変化を検討する。

4.3.1 衝撃試験方法

(1) 振子式衝撃試験

衝撃試験は独自に考案した振子式衝撃試験で実施した。衝撃の撃芯はアングルヘッドと鋼球ヘッドとし、図-9に示す衝撃試験用治具を用いて行った。表-14に撃芯と衝撃高さを示す。

表-14 撃芯と衝撃高さ

	質量 (バーを含む)	衝撃高さ (試験面と撃芯までの高さ)	試験箇所
アングルヘッド (L50×50×6)	1183.11 g	11cm, 22cm, 33cm, 44cm	下フランジエッジ部
鋼球ヘッド (JIS K 5600)	2195.91 g		桁腹板(腹板)

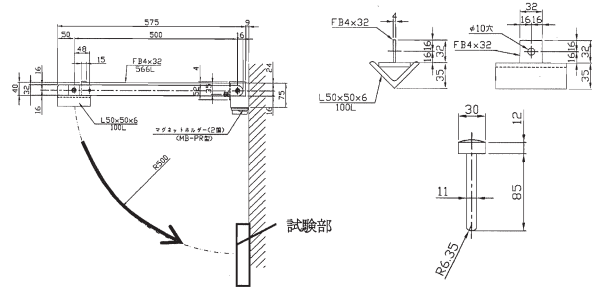


図-9 衝撃試験用治具

(2) 試験体

試験は、図-5の朝霧材料観測施設の実大桁試験体で行った。試験箇所は、下フランジのエッジ部と桁腹板である。下フランジのエッジ部はアングルヘッド、桁腹板は鋼球ヘッドで衝撃試験を実施した。チタン箔シートは、ブチルゴム基材アクリル接着テープ(厚さ0.75mm)を基材に用いた。チタン箔は、厚さ0.02、0.05、0.1mmの材料を用いた。

4.3.2 調査方法

実大桁橋試験体の既設塗膜面にチタン箔シート(100×100mm)を貼り付け、衝撃試験用治具により所定の衝撃力を与えた。そして、目視によってチタン箔シートの損傷程度を確認した。

4.3.3 調査結果

衝撃試験跡の状況を表-15に示す。多少のばらつきは見られるが、チタン箔の厚みを増すことによ

て、チタン箔に貫通孔ができにくくなり耐衝撃性が向上していると思われる。エッジ部に比べて腹板で行った試験の方が、チタン箔に貫通孔ができ易くなっているが、これはヘッドの形状と重量の違いによるものと思われる。

表-15 衝撃跡の状況

試験箇所	撃芯種類	チタン箔厚みmm	衝撃高さ			
			11cm	22cm	33cm	44cm
下フランジ エッジ部	アングルヘッド (1183.11g)	なし	×	×	×	×
		0.02	×	×	×	×
		0.05	○ × ○	× ○ ○	○ × ×	× × × ×
		0.1	○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○	○ ○ × × ×
腹板	鋼球ヘッド (2195.91g)	なし	△	×	×	×
		0.02	×	×	×	×
		0.05	×	×	×	×
		0.1	○	×	×	×

評価 チタン箔シートなし △:試験の跡はあるが鋼材面は確認できない、×:鋼材面が見える
チタン箔シート貼り付け部 ○:チタン箔に貫通孔がない、×:チタン箔に貫通孔がある

チタン箔の厚さによる影響を比較すると、0.1 mmのチタン箔が最も耐衝撃性が高かった。衝撃高さ 33 cmの下フランジのエッジ部での試験結果を見ると、チタン箔 0.05 mmは2/3の確率で貫通孔が出来たのに対し、チタン箔 0.1 mmでは5回行った試験の全てで良好であった。

本試験では、必要な耐衝撃性の絶対値を示すことが出来ないため、チタン箔の厚さは0.1 mmを妥当とし、特に損傷が加わり易い部位での適用が想定される場合は、チタン箔の厚さを増すことで、耐衝撃性を向上することが可能である。

4.4 チタン箔シートの材料選定のまとめ

チタン箔を塗膜に適用するために最も適したチタン箔シートの組み合わせを検討した結果、厚さ 0.1 mmのチタン箔と0.75 mmのブチルゴム基材アクリル接着テープを使用したものが、付着性と施工性において良好であった。

また、チタン箔を適用する部位の状況に応じて複雑な形状部では、チタン箔の厚さを0.1 mmより薄くして折り曲げ加工をさらにし易くし、貼り付け面に追従し易くする。また、損傷を受け易い部位では、チタン箔の厚さを0.1 mmより増すことで、耐衝撃性を向上させることができる。添接部のチタン箔シート貼り付けは、腹板やフランジに比べて施工性が悪いことが確認された。

また、チタン箔の端部に塗付した塗膜がチタン箔と基材テープの端部から水分などの侵入を抑制してチタン箔と基材テープの付着性の低下を抑える傾向にあることが確認された。しかしチタン箔表面に塗付された塗膜とチタン箔との付着性が低下したもの

も確認された。

5. チタン箔シートを適用する塗装仕様の検討

これまでの研究成果で、0.1 mmのチタン箔とブチルゴム基材アクリル接着テープ（厚さ：0.75 mm）の組み合わせからなるチタン箔シートは付着性と施工性が良好であることを確認された。また、チタン箔シートの表面、端部に塗装を施すことで、チタン箔シートの付着性を維持することが確認された。

しかし、選定したチタン箔シートと塗膜との付着性が十分に把握されていない。そこで、チタン箔シートと貼り付け面、チタン箔シートとチタン箔表面との付着性のよい塗装仕様を検討した。

5.1 促進試験による付着性の検討

チタン箔シートとチタン箔シートを貼り付ける面の塗装仕様が及ぼすチタン箔シートの付着性を促進試験で検討した。

5.1.1 促進試験と試験体概要

(1) 促進試験

4.1 章の促進試験と同様の浸漬試験と高温試験を行った。

(2) 試験体概要

試験体は、4.1 章と同じ平板試験体（図-4 参照）とH形鋼試験体（294×200×8×12 mm、L：300 mm、SS400 鋼材）を使用した。H形鋼試験体は図-10に示すようにフランジのエッジ部を、チタン箔貼り付け部として各塗装仕様に従って塗装あるいはチタン箔シート貼り付けを行った。使用したチタン箔シートを表-16に、塗装仕様を表-17に示す。

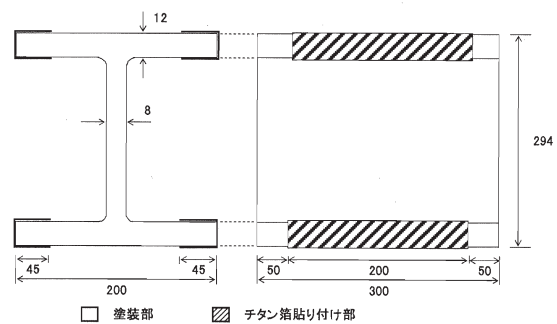


図-10 H形鋼材試験体概要図

チタン箔表面は2方向に面粗しを施してから中塗り塗料を塗付した。塗装仕様 1-1、1-2 は重防食塗装系、2-1、2-2 は一般塗装系あるいは既設構造物の塗替え塗装を想定した塗装仕様とした。チタン箔シートを貼り付ける部分をチタン箔貼り付け部、それ以

外を塗装部として、合わせて1つの塗装仕様とした。

また、試験体を表-18に示す。浸漬試験と高温試験は同じ試験体水準で行った。

表-16 チタン箔シート

構成	種類 規格	厚さ (mm)
チタン箔	チタン箔 JIS H 4600	0.1
基材テープ	ブチルゴム基材アクリル接着テープ	0.75

表-17 塗装仕様

(上側から 1-1、1-2、2-1、2-2)

塗装部	下地処理	防食下地	下塗り	下塗り	中塗り	上塗り	
チタン箔 貼り付け部	ブラスト 処理鋼 (Sa2.5)	無機ジソク リッチ ペイント 700g/㎡ 75μm	エポキシ 塗料下塗り 300g/㎡ 60μm	エポキシ 塗料下塗り 300g/㎡ 60μm	ふっ素 塗料用 中塗り 170g/㎡ 30μm	ふっ素 塗料 上塗り 140g/㎡ 25μm	
			チタン箔シート 0.85mm				
塗装部	ブラスト 処理鋼 (Sa2.5)	無機ジソク リッチ ペイント 700g/㎡ 75μm	エポキシ 塗料下塗り 300g/㎡ 60μm	エポキシ 塗料下塗り 300g/㎡ 60μm	ふっ素 塗料用 中塗り 170g/㎡ 30μm	ふっ素 塗料 上塗り 140g/㎡ 25μm	
チタン箔 貼り付け部			チタン箔シート 0.85mm				
塗装部	下地処理	プライマー	不陸調整	下塗り	下塗り	中塗り	上塗り
チタン箔 貼り付け部	3種 ケレン (旧塗膜)	変性 エポキシ 塗料下塗り 240g/㎡	超厚膜形 エポキシ 塗料 1000g/㎡	変性 エポキシ 塗料下塗り 240g/㎡	変性 エポキシ 塗料下塗り 240g/㎡	チタン箔 シート 0.85mm	ふっ素 塗料用 中塗り 140g/㎡ ふっ素 塗料 上塗り 120g/㎡
塗装部	下地処理	プライマー	不陸調整	下塗り	下塗り	中塗り	上塗り
チタン箔 貼り付け部	3種 ケレン (旧塗膜)	変性 エポキシ 塗料下塗り 240g/㎡	超厚膜形 エポキシ 塗料 1000g/㎡	変性 エポキシ 塗料下塗り 240g/㎡	変性 エポキシ 塗料下塗り 240g/㎡	チタン箔シート 0.85mm	ふっ素 塗料用 中塗り 140g/㎡ ふっ素 塗料 上塗り 120g/㎡

表-18 試験体一覧

試験体	チタン箔厚さ	基材テープ	塗装仕様	試験体
P1-1	0.1mm	ブチルゴム基材 アクリル接着剤 テープ 0.75mm	1-1	平板鋼
P1-2			1-2	
H1-1			1-1	H形鋼
H1-2			1-2	
H2-1			2-1	
H2-2			2-2	

5. 1. 2 調査項目

(1) 外観調査

チタン箔シートと塗膜の異常を目視観察した。

(2) 付着性試験

チタン箔シートを含めた塗膜の付着性試験を JIS K 5600-5-7 に準じて行った。

5. 1. 3 調査結果

(1) 外観調査

浸漬、高温試験とも14日、30日、60日、90日に外観調査を行ったが、チタン箔端部に浮きと水の浸

入は見られず、外観上の異常は確認されなかった。

(2) 付着性試験

①ブラスト処理面と防食下地面との付着性の検討

図-11 にブラスト処理面と防食下地面との付着性の検討結果を示す。塗装仕様 1-1 (ミストコート/チタン箔シート貼り付け) と塗装仕様 1-2 (ブラスト処理/チタン箔シート貼り付け) を比較すると、付着性に大きな差は見られなかった。しかし、浸漬試験の60日経過時のみ H1-1 の付着力が低下した。その破壊位置は基材テープと塗膜ではなく離であった。

これは、3章の結果と同様にフランジのエッジ部のような曲面部ではチタン箔シートは付着しにくいいため、チタン箔シートが塗装面からはく離して付着性が低下したと思われる。このことよりブラスト後、に防食下地/ミストコート後にチタン箔シートを貼り付けるほうが、防食における信頼性を高めることができる。

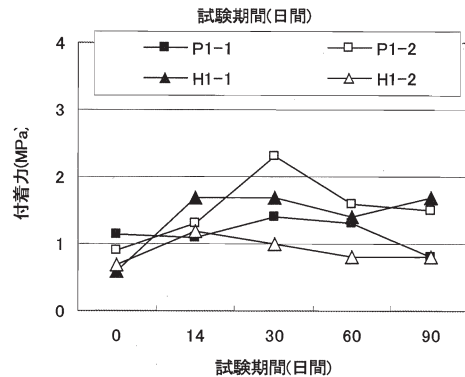
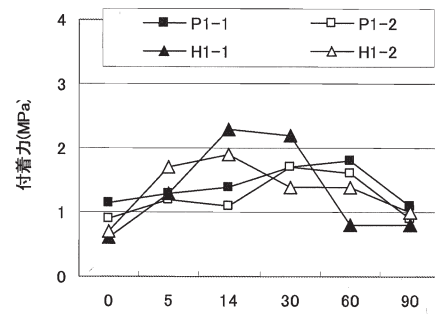


図-11 ブラスト処理面と防食下地面との付着性 (上側：浸漬試験、下側：高温試験)

②下塗り面と不陸調整面との付着性の検討

図-12 に下塗り面と不陸調整面との付着性の検討結果を示す。2-1 試験体 (不陸調整/下塗り/チタン箔シート貼り付け) と 2-2 試験体 (不陸調整/チタン箔シート貼り付け) を比較すると、付着力と破壊位置に差は見られず、同等の付着性が得られた。

不陸調整後にチタン箔シートを貼り付けても付着

性に問題はなく、チタン箔シートは下塗り塗料の代わりとして適用することが可能である。

③塗装系の比較

図-11、12 より、塗装系 1-1、1-2 と 2-1、2-2 を比較すると、塗装系 1-1、1-2 の方が付着力に若干のばらつきが見られるが、付着性に大きな差は確認されなかった。

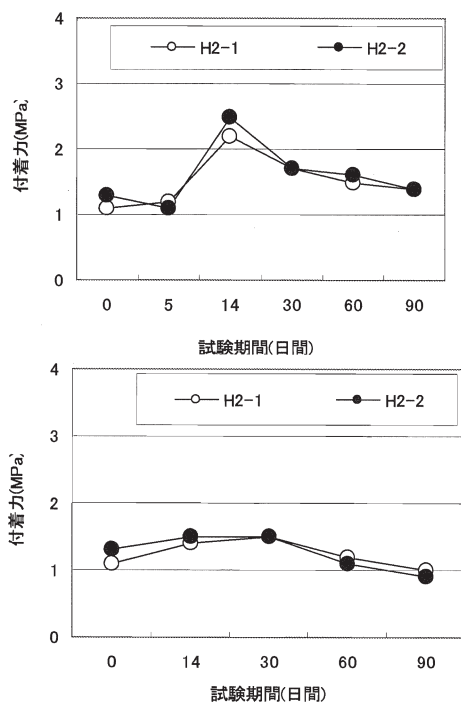


図-12 下塗り面と不陸調整面との付着性
(上側：浸漬試験、下側：高湿試験)

5.2 チタン箔シートの付着性に及ぼす貼り付け面の塗装仕様と作業条件

チタン箔シートを塗膜に適用するにあたり、チタン箔シート貼り付け面の下地処理、不陸調整、塗装仕様や作業条件が付着性に与える影響を検討した。

付着性試験は、温度と湿度を設定した恒温恒湿室内に試験片を設置して、チタン箔シートの付着力を建築研究所式引張試験機で測定した。検討項目は、塗装仕様とチタン箔シートの貼り付け時の温度と湿度、チタン箔シート貼り付け後の時間変化である。

5.2.1 試験体概要

(1) 試験体概要

試験体は、新規鋼材(80×200×9mm)と、自然環境下に12年間暴露した腐食鋼材(80×200×12mm)を使用した。チタン箔シートは表-16と同じであり、塗装仕様は表-19に示す下地処理/下塗り塗装を施し、3種類の材料によって不陸調整を行った。試験

水準を表-20に示す。

表-19 塗装仕様

塗装仕様	下地処理	下塗り	不陸調整
I	Sa2.5	エポキシ塗料 下塗り60μm	—
II			超厚膜形エポキシ樹脂塗料
III	St3		エポキシ樹脂系パテ材
IV			エポキシ樹脂接着剤
V			—
VI			超厚膜形エポキシ樹脂塗料
VI	St2	—	—

表-20 試験水準(上側：新規鋼材、下側：腐食鋼材)

試験体No.	塗装仕様	治具貼り付け時		治具貼り付け後の付着力の時間変化				
		湿度 %RH	温度 °C					
N-1	I	50	20	24時間				
N-2		70						
N-3		80						
N-4		90						
N-5		—*			0			
N-6		40						
N-7		60						
N-8		50			20	5分		
N-9			30分					
N-10			1時間					
N-11			3時間					
N-12			6時間					
N-13		48時間						
試験体No.	塗装仕様	塗膜の養生時間 不陸調整材の 硬化時間	治具貼り付け時		治具貼り付け後の付着力の時間変化			
			湿度 %RH	温度 °C				
C-1	III	24時間	50	20	24時間			
C-2	II							
C-3	VI							
C-4	I							
C-5	IV							
C-5'	V	24時間	50	20				
C-6	6時間							
C-7	12時間							
C-8	48時間							
C-9	24時間					50	20	70
C-10								80
C-11								90
C-12								—*
C-13		40						
C-14	60							
C-15	24時間	50	20	5分				
C-16				30分				
C-17				1時間				
C-18				3時間				
C-19				6時間				
C-20				48時間				

* 1：管理せず

5.2.2 試験方法と調査項目

(1) 試験方法

試験は、付着試験用の治具(付着面 40×40 mm)に、チタン箔表面を面粗ししたチタン箔シートをエポキシ樹脂系接着剤で接着してから、治具の大きさに整形した。次に、各作業環境に設定した恒温恒湿室内に試験体を設置し、試験体の表面温度が試験条件温度±2°Cになったところで、試験室内で加工した治具を3つ試験体に貼り付けた。そして、試験条

件の時間が経過したところで、試験室内で建研式付着試験機によって付着試験を実施した。

(2) 調査項目

付着性試験によって、チタン箔シートと塗膜の付着強度を確認し、そのときの破壊位置を調査する。

5. 2. 3 結果

(1) 塗装仕様

① 下地処理の程度

図-13 に下地処理の程度と付着強度の関係を示す。腐食鋼材試験体の方が新規鋼材試験体よりチタン箔シートの付着強度が高い。これは不陸調整を行ったことによって付着性が向上したものと思われる。下地処理の程度 St.2 は、破壊位置が基材テープの層内での破壊であったが、その他は全て基材テープと塗膜の層間での破壊であった。

腐食鋼材試験体における下地処理の程度の違いと付着強度の関係は、多少の差は確認されるがチタン箔シートの付着強度に大きな差はなかった。

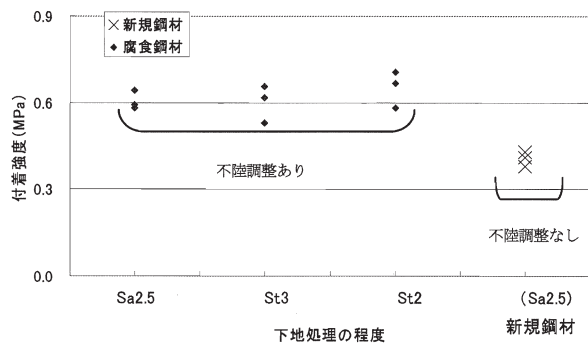


図-13 下地処理の程度と付着強度の関係

② 不陸調整した材料

図-14 に不陸調整した材料の種類と付着強度の関係を示す。破壊位置は、基材テープと塗膜の層間が最も多かった。不陸調整なしの試験体の付着強度が最も低い値になった。

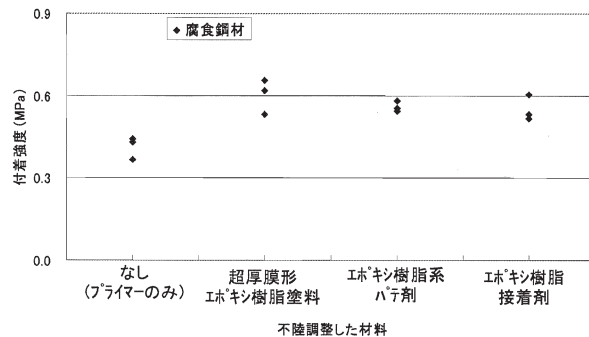


図-14 不陸調整した材料の種類と付着強度の関係

不陸調整をすることによって、付着強度が増加すると思われる。また、不陸調整を行った材料による付着強度の違いは、材料の種類によって多少の違いはあるが大きな差はなかった。このことより、不陸調整を行う材料の種類に関わらず、不陸調整を行うことでチタン箔シートの付着性が向上した。

③ 超厚膜形エポキシ樹脂塗料の養生時間

表-21 に養生時間と指触によって確認した塗膜の状態を示す。未硬化であった養生6時間でチタン箔シートを貼り付けた試験体の付着強度が最も高かった。付着強度は養生24時間で降で横ばいになり、養生48時間では強度のバラツキが小さくなった。

表-21 養生時間と塗膜の状況

養生時間	塗膜の状況 (20℃、50%)
6時間	表面が多少乾いた状態
12時間	表面が乾いた状態
24時間	爪を立てても、表面に跡が付かない状態
48時間	//

図-15 に超厚膜形エポキシ樹脂塗料の養生時間と付着強度の関係を示す。超厚膜形エポキシ樹脂塗料を塗付後24時間経過(養生時間24時間)してから、チタン箔シートを貼り付けることでチタン箔シートの付着強度も安定し、付着性も確保できた。

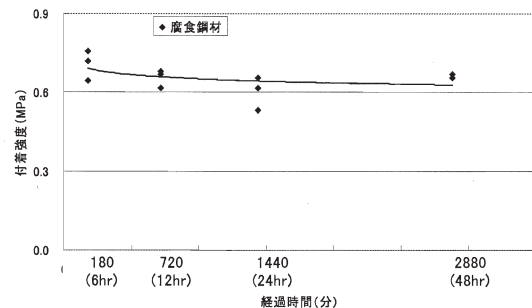


図-15 超厚膜形エポキシ樹脂塗料の養生時間と付着強度の関係

(2) チタン箔シート貼り付け時の湿度

新規鋼材試験体は、破壊位置は全て基材テープと塗膜の層間で破壊した。また、チタン箔シートの付着強度は湿度70%の試験体を最大として、上に凸の放物線状に推移している。

腐食鋼材試験体は、新規鋼材試験体と同様に湿度70%での付着強度が最も大きく、上に凸の放物線状に推移している。また、どの湿度においても新規鋼材試験体に比べおよそ0.20MPa高い付着強度を示し

ている。これは、不陸調整を行ったことによって付着性が向上したと思われる。

図-16に示すように、湿度50%RHと70%RHの場合は、基材テープと塗膜の層間と基材テープの層内での破壊であった。湿度80%RHと90%RHの場合は、全て基材テープと塗膜の層間で破壊している。これより湿度80%RHを境に破壊位置が変化していることが確認されるため、湿度80%RH以上ではチタン箔シートの付着性に注意する必要がある。

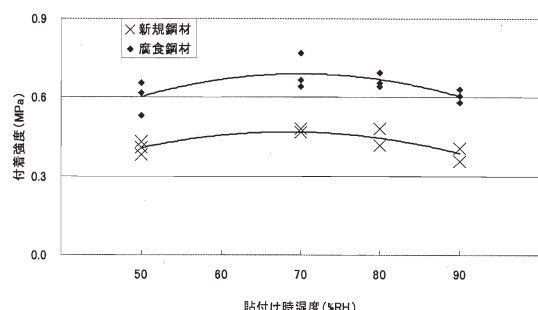


図-16 チタン箔シート貼り付け時の湿度と付着強度の関係

(3) チタン箔シート貼り付け時の温度

図-17に示すように、新規鋼材試験体のチタン箔シートの付着強度は高温になるに従って低下している。また、温度60℃の試験体の破壊位置は、チタン箔と基材テープの層間での破壊が見られ、その他の試験体は全て基材テープと塗膜の層間で破壊した。

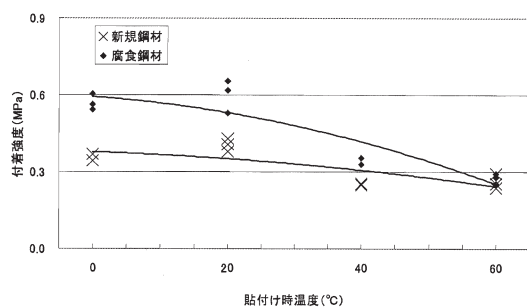


図-17 チタン箔シート貼り付け時の温度と付着強度の関係

腐食鋼材試験体も新規鋼材試験体と同様に、高温になるに従ってチタン箔シートの付着強度が低下した。また、同一温度におけるチタン箔シートの付着強度は、新規鋼材試験体に比べ腐食鋼材試験体の方が大きい。しかし、温度が上昇するに従って差は小さくなった。このことから、チタン箔シートは、高

温になるとチタン箔シートの付着強度が低下し、チタン箔シートの付着性が悪化する傾向が確認された。

(4) チタン箔シート貼り付け後の付着性の時間変化

図-18に示すように、新規鋼材試験体では、チタン箔シート貼り付けから付着試験までの時間(以下、経過時間)が長いほど付着強度が増加している。破壊位置は、全て基材テープと塗膜との層間であった。

腐食鋼材試験体では新規鋼材試験体と同様に、経過時間が長いほど付着強度が増加している。また、経過時間が24時間以上で、腐食鋼材試験体は新規鋼材試験体に比べておよそ0.2MPa大きな値を示した。この2つの試験体は、経過時間が長くなるに従い付着強度の差が大きくなっている。これは、不陸調整を行ったことによって付着性の向上とチタン箔シート貼り付けからの時間の増加により付着性が向上したと思われる。

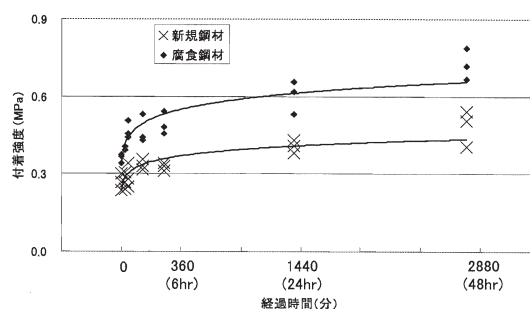


図-18 チタン箔シート貼り付け後の付着性の時間変化と付着強度の関係

5.3 チタン箔シートとチタン箔表面に塗付した塗膜との付着性の検討

これまでの試験で、チタン箔シートとチタン箔表面の塗膜との付着性が低下するものが見られた。そこで、チタン箔シートとチタン箔表面の塗膜との付着性の向上を目的に、チタン箔表面の塗装仕様を検討した。検討する項目は、チタン用プライマーとチタン箔表面の面粗しの有無である。

5.3.1 促進試験と試験体概要

(1) 促進試験

4.1章の促進試験と同様の浸漬試験と高温試験を行った。

(2) 試験体概要

試験体は、表-22に示す塗装仕様にしたがって、チタン箔シートの貼り付けと塗装を施した。試験に使用する試験体を図-19に示す。使用したチタン箔

シートは表-16と同様である。

表-22 塗装仕様

	下地処理	防食下地		下塗り	下塗り	チタン用プライマー	中塗り	上塗り
塗装部	プラスト処理鋼 (Sa2.5)	無機ジンクリッチペイント 700g/㎡	ミストコート	エポキシ塗料下塗り 300g/㎡	エポキシ塗料下塗り 300g/㎡	—	ふっ素塗料用中塗り 170g/㎡	ふっ素塗料上塗り 140g/㎡
チタン箔貼り付け部		75μm		チタン箔シート 0.85mm		チタン用プライマー 30μm	30μm	25μm

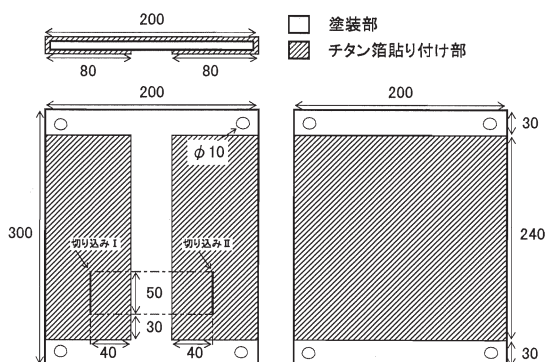


図-19 試験体概要

表-23 試験水準

試験体	チタン用プライマー	面粗し程度
T-2	なし	2方向
T-0		無処理
A-2	エポキシ樹脂プライマーA	2方向
A-1		1方向
A-0		無処理
B-2	エポキシ樹脂プライマーB	2方向
B-1		1方向
B-0		無処理
ME-2	変性エポキシ樹脂塗料	2方向
ME-1		1方向
ME-0		無処理

チタン箔表面は、縦横の2方向と1方向、無処理の3種類の面粗し程度を設定した。また、チタン箔表面には、非鉄金属面用プライマーのエポキシ樹脂プライマーAとエポキシ樹脂プライマーB、一般下塗り塗料である変性エポキシ樹脂塗料の3種類の塗料をチタン用プライマーとして用いた。

チタン箔シートを貼り付けた部分に、鉄素地まで達するように長さ50mmの切れ込みを入れた。

浸漬試験と高温試験は同様の試験水準による試験体を設けた。試験体は、チタン用プライマーの種類と面粗し程度の違いで試験水準を設定した。試験水準を表-23に示す。

5.3.2 調査項目

(1) 外観調査

チタン箔シートや塗膜、切れ込み部の異常を目視

観察した。調査終了後、チタン箔シートを除去して切り込み下の状況を確認した。

(2) 付着性試験

付着性試験(JIS K 5600-5-7)を行って、チタン箔シートを含めた塗膜の付着力と破壊位置を調べた。付着性試験は、以下の2つの方法で行った。

①試験i：試験体に付着試験用の治具をエポキシ樹脂接着剤で接着し、治具の大きさ(40×40mm)で鋼材面までチタン箔シートを含めた塗膜を切断して付着性試験を行った。

②試験ii：試験i後の塗膜あるいはチタン箔の付いた状態の試験用の治具を、別途用意したエポキシ樹脂塗料を塗付した平板鋼材面にエポキシ樹脂接着剤で接着して付着性試験を行った。

5.3.3 調査結果

(1) 外観調査

①塗膜外観

浸漬期間5ヶ月のチタン箔表面にプライマーを塗付していない試験体T-2、T-0のみに塗膜のふくれ(φ1mm程度)が見られた。チタン箔表面の塗膜との良好な付着性を確保するためには、チタン箔表面にプライマーを塗付する必要がある。

②切り込み部の調査

浸漬試験と高温試験後の試験体の切り込み部には、さびやさび汁はなく、塗膜やチタン箔シートのはがれなども確認されなかった。また浸漬試験で2年5ヶ月経過した試験体においても、切り込み部のチタン箔除去後に鋼材のさびは確認されず健全であった。

(2) 付着性試験

①試験i(試験体のチタン箔シートを含めた塗膜の付着性試験)

付着性試験の結果を表-24に示し、破壊位置を図-20に示す。付着性試験を行ったほとんどの破壊位置は、チタン箔と基材テープの層間での破壊であり、チタン箔表面に塗付したプライマー、チタン箔表面の面粗し程度の違いによる付着性の影響を確認することは出来なかった。

初期の付着力にばらつきが見られるが、30日以降では、試験時期ごとに付着力と破壊位置はほぼ同様であった。浸漬試験1年経過の付着力がその他の時期に比べて低いのは、試験時期が夏季で気温の影響を受けたために基材テープの付着性が若干低下したためであると思われる。

また、2年5ヶ月間の浸漬試験においても、付着力の低下と破壊位置の変化は見られず、付着性の低

下はないと言える。

②試験 ii (試験 i 後の試験用治具に残ったチタン箔を含む塗膜の付着性試験)

付着性試験の結果を表-25 に示し、破壊位置について図-21 に示す。ほとんどの破壊位置は、治具用接着剤の層内と層間で破壊した。

しかし浸漬試験の2年5ヶ月経過の付着性試験で

は、プライマーなし(T)と変性エポキシ樹脂塗料を塗付した試験体(ME)でチタン箔表面からの破壊が多かった。

またチタン箔表面の面粗し程度の多い方が、チタン箔表面のプライマー(あるいは中塗り)で破壊した割合が多く、チタン箔とチタン箔表面の塗膜との付着性が良いと思われる。

表-24 試験 i の結果(上側：浸漬試験、下側：高湿試験)

	初期 0日		30日		60日		90日		150日		1年		2年5ヶ月	
	MPa	破壊位置	MPa	破壊位置	MPa	破壊位置	MPa	破壊位置	MPa	破壊位置	MPa	破壊位置	MPa	破壊位置
T-2	0.53	③:100%	0.63	③:100%	0.62	③:100%	0.71	③:100%	0.64	③:100%	0.36	②:100%	0.53	③:100%
T-0	0.39	①:100%	0.63	③:100%	0.59	③:100%	0.59	③:100%	0.53	③:100%	0.32	①:20%、②:80%	0.48	②:40%、③:60%
A-2	0.48	③:100%	0.62	③:100%	0.62	③:100%	0.69	③:100%	0.58	③:100%	0.42	③:100%	0.57	③:100%
A-1	0.29	①:100%	0.59	③:100%	0.59	③:100%	0.53	③:100%	0.56	③:100%	0.44	③:100%	0.74	③:100%
A-0	0.33	③:100%	0.58	③:100%	0.52	③:100%	0.68	③:100%	0.63	③:100%	0.42	③:100%	0.57	③:100%
B-2	0.46	①:100%	0.56	③:100%	0.62	③:100%	0.68	③:100%	0.66	③:100%	0.44	③:100%	0.59	③:100%
B-1	0.31	①:100%	0.62	③:100%	0.57	③:100%	0.71	③:100%	0.61	③:100%	0.44	③:100%	0.66	③:100%
B-0	0.53	③:100%	0.61	③:100%	0.59	③:100%	0.64	③:100%	0.67	③:100%	0.44	③:100%	0.66	③:100%
ME-2	0.51	③:100%	0.64	③:100%	0.69	③:100%	0.66	③:100%	0.66	③:100%	0.43	③:100%	0.66	③:100%
ME-1	0.68	③:100%	0.68	③:100%	0.62	③:100%	0.77	③:100%	0.67	③:100%	0.42	③:100%	0.61	③:100%
ME-0	0.44	①:100%	0.61	③:100%	0.58	③:100%	0.73	③:100%	0.61	③:100%	0.47	③:100%	0.66	③:100%

	初期 0日		30日		60日		90日		150日	
	MPa	破壊位置	MPa	破壊位置	MPa	破壊位置	MPa	破壊位置	MPa	破壊位置
T-2	0.42	③:100%	0.58	③:100%	0.54	③:100%	0.69	③:100%	0.64	③:100%
T-0	0.51	③:100%	0.61	③:100%	0.54	③:100%	0.71	③:100%	0.71	③:100%
A-2	0.56	③:100%	0.54	③:100%	0.47	③:100%	0.66	③:100%	0.71	③:100%
A-1	0.59	③:100%	0.58	③:100%	0.53	③:100%	0.66	③:100%	0.66	③:100%
A-0	0.43	③:100%	0.61	③:100%	0.52	③:100%	0.67	③:100%	0.64	③:100%
B-2	0.46	③:100%	0.57	③:100%	0.47	③:100%	0.64	③:100%	0.65	③:100%
B-1	0.26	①:100%	0.58	③:100%	0.56	③:100%	0.68	③:100%	0.63	③:100%
B-0	0.51	③:100%	0.64	③:100%	0.52	③:100%	0.73	③:100%	0.72	③:100%
ME-2	0.72	③:100%	0.69	③:100%	0.59	③:100%	0.67	③:100%	0.72	③:100%
ME-1	0.64	③:100%	0.57	③:100%	0.61	③:100%	0.68	③:100%	0.64	③:100%
ME-0	0.76	③:100%	0.63	③:100%	0.67	③:100%	0.74	③:100%	0.67	③:100%

表-25 試験 ii の結果(上側：浸漬試験、下側：高湿試験)

	初期 0日		30日		60日		90日		150日		2年5ヶ月	
	MPa	破壊位置	MPa	破壊位置	MPa	破壊位置	MPa	破壊位置	MPa	破壊位置	MPa	破壊位置
T-2	0.59	①:20%、②:80%	0.16	①:100%	1.66	①:100%	1.93	①:100%	2.77	①:100%	2.99	①:60%、②:40%
T-0	0.39	①:75%、②:25%	0.16	①:100%	1.91	①:40%、②:60%	1.89	①:90%、②:10%	2.39	①:100%	1.18	①:10%、②:90%
A-2	0.37	①:60%、②:40%	0.25	①:100%	1.76	①:100%	1.31	①:100%	2.25	①:100%	2.66	①:100%
A-1	0.27	①:90%、②:10%	0.77	①:100%	1.53	①:90%、③:10%	1.19	①:100%	2.72	①:100%	3.38	①:10%、③:90%
A-0	0.72	①:10%、②:20%、③:70%	0.11	①:100%	1.29	①:100%	0.73	①:100%	2.90	①:100%	2.72	①:100%
B-2	0.61	①:10%、②:85%、③:5%	0.63	①:100%	2.23	①:100%	1.42	①:100%	2.25	①:100%	2.84	①:100%
B-1	0.34	①:70%、②:25%、③:5%	1.06	①:100%	2.52	①:100%	2.13	①:100%	1.67	①:100%	2.69	①:85%、③:15%
B-0	0.23	①:90%、②:7%、③:3%	0.88	①:100%	2.10	①:100%	2.94	①:100%	2.29	①:100%	3.03	①:97%、③:3%
ME-2	0.47	①:10%、②:20%、③:70%	0.08	①:100%	3.66	①:10%、③:90%	1.52	①:100%	1.94	①:100%	2.83	①:4%、③:96%
ME-1	0.08	①:100%	0.14	①:100%	2.85	①:70%、③:30%	1.66	①:30%、③:70%	1.37	①:100%	2.49	①:3%、③:97%
ME-0	0.54	①:10%、②:10%、③:80%	0.13	①:100%	3.58	①:50%、③:50%	1.59	①:20%、③:80%	2.16	①:100%	2.49	①:1%、③:99%

	初期 0日		30日		60日		90日		150日	
	MPa	破壊位置	MPa	破壊位置	MPa	破壊位置	MPa	破壊位置	MPa	破壊位置
T-2	0.44	①:60%、②:40%	0.83	①:100%	3.06	①:100%	1.26	①:100%	1.37	①:100%
T-0	0.29	①:80%、②:20%	0.15	①:100%	1.23	①:100%	2.28	①:100%	1.85	①:100%
A-2	0.29	①:90%、②:10%	1.16	①:100%	2.57	①:100%	3.31	①:100%	1.66	①:100%
A-1	0.26	①:85%、②:15%	1.48	①:100%	4.46	①:100%	1.83	①:100%	2.82	①:100%
A-0	0.32	①:95%、②:5%	0.13	①:100%	3.71	①:100%	1.96	①:100%	2.99	①:100%
B-2	0.51	①:50%、②:30%、③:20%	0.18	①:100%	2.59	①:100%	1.62	①:100%	1.35	①:100%
B-1	0.56	①:40%、②:55%、③:5%	0.08	①:100%	4.29	①:100%	1.24	①:100%	1.44	①:100%
B-0	0.31	①:90%、②:8%、③:2%	0.89	①:100%	1.34	①:100%	1.45	①:100%	1.28	①:100%
ME-2	0.34	①:10%、②:40%、③:50%	0.10	①:100%	2.06	①:60%、③:40%	1.08	①:100%	2.08	①:20%、③:80%
ME-1	0.24	①:90%、③:10%	0.08	①:100%	2.31	①:100%	1.21	①:100%	2.09	①:100%
ME-0	0.19	①:90%、②:7%、③:3%	0.29	①:100%	1.53	①:100%	1.94	①:97%、③:3%	1.28	①:100%

試験 i で①治具用接着剤の層内・層間で破壊した試験体は、試験部に残った塗膜をチタン箔と基材テープの層間から強制的にはく離する。そして付着試験用の治具と試験体から強制的にはく離したチタン箔とチタン箔上層に塗付された塗膜をエポキシ樹脂塗装銅板にエポキシ樹脂接着剤で接着して付着性試験を行った。

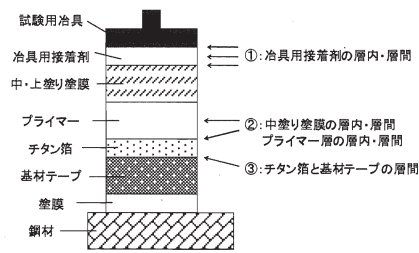


図-20 試験 i の破壊位置

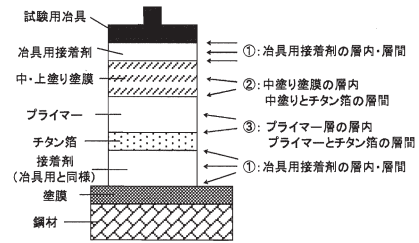


図-21 試験 ii の破壊位置

5.4 チタン箔シートを適用する塗装仕様の検討のまとめ

本章ではブチルゴム基材アクリル接着テープを基材としたチタン箔シートを塗膜に適用するため、チタン箔シートを含んだ塗装仕様を検討し、以下の事項を確認した。

- ①重防食塗装系へ適用する場合は、ブラスト後に防食下地/ミストコート面にチタン箔シートを貼り付けるほうが、付着性と耐食性において良好である。
- ②一般塗装系へ適用する場合は、不陸調整後にチタン箔シートを貼り付けても付着性には問題なく、チタン箔シートは下塗り塗料の代わりとして適用することが可能である。
- ③下地処理がおよぼす付着性の影響は確認されず、腐食鋼材においては、不陸調整後にチタン箔シートを貼り付けることで、良好な付着性が得られた。
- ④湿度 80%RH 以上、高温時ではチタン箔シートの付着性が低下する傾向にあった。
- ⑤チタン箔表面に非鉄金属面用エポキシ樹脂プライマーを塗付することで、良好な付着性が得られた。また、チタン箔表面を面粗しすることで、チタン箔と塗膜との付着性が向上した。

6. チタン箔シート端部の腐食因子遮断性の検討

3章の結果より、貼り付けた金属箔の端部での鋼材のさびが大きな課題であることが分かった。このことからチタン箔シートにおいても、同様に端部が防食上の弱点になることが考えられる。そこでチタン箔シート端部から浸入する水分や酸素、塩化物イ

オンのような腐食因子の遮断性を確認し、チタン箔シート端部における腐食因子の遮断対策を検討した。

6.1 平面部に貼り付けたチタン箔シート端部の遮断性の検討

チタン箔シート端部における水分や酸素、塩化物イオンのような腐食因子の遮断性を確認するため、塩水噴霧促進試験によって以下の事項を確認した。

- ①塗装面に貼り付けたチタン箔シート端部（以下、塗膜/チタン箔端部）の遮断性
- ②チタン箔に貼り付けたチタン箔シート端部（以下、チタン箔/チタン箔端部）の遮断性

6.1.1 促進試験と試験体概要

(1) 促進試験

試験は複合サイクル促進試験を実施した。試験期間を 1,000、2,000、3,000 時間と設定して、図-22 に示す条件で実施した。

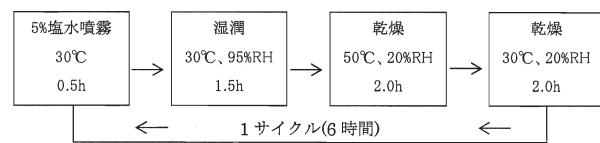


図-22 複合サイクル促進試験条件

(2) 試験体

平板鋼材（SS400、70×150×6mm）を用いて2種類の試験体を製作した。どちらの試験体も平板鋼材をブラスト処理後にエポキシ樹脂塗料を 30μm 塗付した。次に図-23 に示すように、塗膜を除去して鋼材面を露出し、塗装塗り残し部とした。

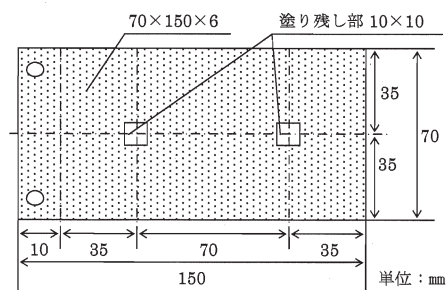


図-23 試験体の寸法と塗り残し部

①塗膜/チタン箔端部の検討用試験体

図-23 の塗装塗り残し部を設けた平板鋼材に、図-24 に示すように、塗り残し部が隠れるようにチタン箔シートを貼り付けた。試験体に貼り付けたチタン箔シートは表-16 と同様である。貼り付けるチタン箔シートは 20×20 mm と 30×30 mm とし、塗膜との付着長さが 5 mm と 10 mm とした。また 1 箇所はチタ

ン箔シートのみとし、もう1箇所はチタン箔シート端部にエポキシ樹脂塗料を塗付してシールした。

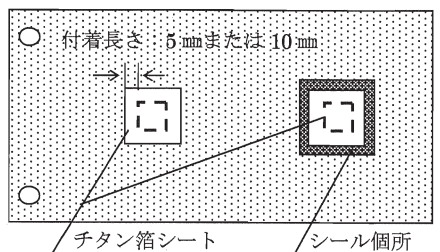


図-24 塗膜/チタン箔端部の検討用試験体

②チタン箔/チタン箔端部の検討用の試験体

図-23の塗装塗り残し部を設けた平板鋼材に、図-25に示すように、塗り残し部で2枚のチタン箔シートを重ね合わせるように貼り付けた。チタン箔シートの重ね合わせ長さは、5mmと10mmになるようにした。また、チタン箔シート端部にエポキシ樹脂塗料を塗付してシールした。

試験体は、重ね合わせ部が上向きになるように促進試験機内に設置した。

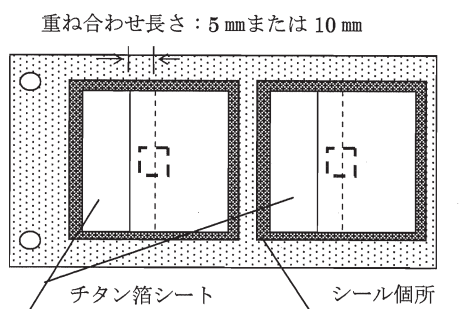


図-25 チタン箔/チタン箔端部の検討用試験体

6. 1. 2 調査方法

目視による外観調査により促進試験後のチタン箔シートの異常を確認した。またチタン箔シートを除去して塗膜塗り残し部の腐食状況を確認した。

6. 1. 3 調査結果

(1) 塗膜とチタン箔端部の検討

3,000時間の試験においても、チタン箔シートに異常は確認されなかった。また、チタン箔シートを除去して塗膜塗り残し部の腐食状況を確認したが、いずれの試験体もさびは確認されなかった。塗膜塗り残し部に腐食が確認されなかったことから、塗膜とチタン箔シートの付着長さが5mmの場合であっても塗膜塗り残し部まで水分や酸素などの腐食因子の侵

入を遮断していると思われる。

このことから塗膜とチタン箔シートの付着長さを5mm以上設けることによって遮断性を確保できることが明らかとなった。

(2) チタン箔とチタン箔端部の検討

塗膜/チタン箔端部の検討と同様に、試験後のチタン箔シートに異常は確認されなかった。また、チタン箔シートを除去して塗膜塗り残し部の腐食状況を確認したが、いずれの試験体においても腐食は確認されなかった。

塗膜塗り残し部に腐食が確認されなかったことから、チタン箔とチタン箔シートの重ね合わせ長さが5mmの場合であっても塗膜塗り残し部まで水分や酸素などの腐食因子の侵入を遮断していると思われる。

このことから、チタン箔とチタン箔シートの重ね合わせ長さを5mm以上設けることによって、遮断性を確保できる。

6. 2 曲面部に貼り付けたチタン箔シート端部の遮断性の検討

これまでの研究結果(第3章)より、I形桁のような腹板とフランジのコーナー部やフランジのエッジ部でさびの発生が確認された。これは金属箔と貼り付け面との間にすき間が生じやすいためであると思われ、チタン箔シートにおいても同様に防食上の弱点になることが考えられる。そこで曲面部に貼り付けたチタン箔シート端部の腐食因子の遮断性を確認し、その対策を検討した。

6. 2. 1 促進試験と試験体概要

(1) 促進試験

試験はJIS K 5600-7-1に従って塩水噴霧促進試験を2000時間実施した。

(2) 試験体概要

逆T字形に鋼材を溶接して試験体(89×80×9×9、L200mm)を作成し、チタン箔シート(355×140×0.85mm)貼り付け、あるいは塗装を施した。試験体の寸法と設置概要を図-26に示す。チタン箔シートの重ね合わせを行った側面を側面1、試験機内に上側になるように傾けた端部を端部2とする。

試験体に貼り付けたチタン箔シートは表-16と同様である。試験体に塗付した塗装仕様を表-26に示す。チタン用プライマーは貼り付けたチタン箔シートの表面に塗付した。また、下塗りはチタン箔シート貼り付け部以外の部分にエポキシ塗料下塗を2回塗付した。

試験体の仕様を表-27に示し、曲面部に貼り付け

チタン箔シート端部で処理法を次に示す。

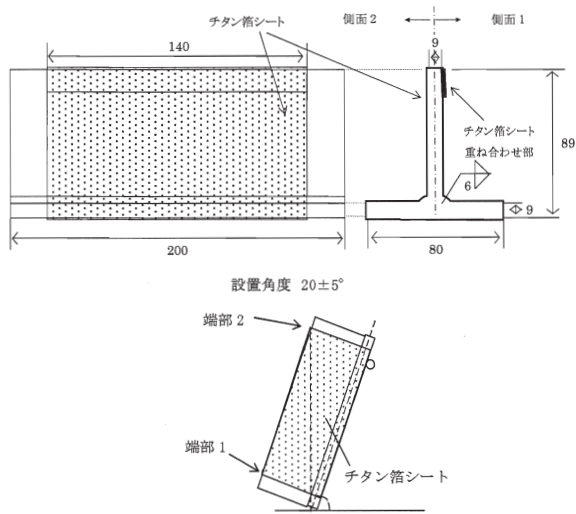


図-26 試験体の寸法と設置概要

表-26 塗装仕様

	下地処理	防食下地	ミストコート	チタン箔シート	チタン用プライマー	下塗り
I						
II	プラスト処理 Sa2.5 SS400	無機ジंक リッチペイント 700g/m ² 75 μm	ミスト コート	チタン箔 シート 0.85mm		
III				チタン用 プライマー 30 μm	エポキシ塗料 下塗り 300g/m ² 60 μm	エポキシ塗料 下塗り 300g/m ² 60 μm

表-27 試験体の仕様

試験体	塗装仕様	端部のシーリング		溶接ビードの不陸調整	数量(体)	試験期間(hr)
		端部1	端部2			
No.1	II	なし		なし	2	1,000/2,000
No.2	I	i	ii			
No.3	III	なし				
No.4	III	i	ii			
No.5	II	なし		有り	3	300/600/1,000
No.6	I	i		なし		
No.7	I	なし				

①溶接ビードの不陸調整

溶接ビードの不陸調整の方法を図-27に示す。チタン箔シート貼り付け前に、溶接ビード部にエポキシ樹脂系パテ材を塗り付けて不陸調整を行った。施工長さは50mmとした。

②チタン箔シート端部のシーリング

チタン箔シート端部をエポキシ樹脂系パテ剤でシーリングを行った。仕様を表-28に、概要図を図-28に示す。

表-28 シーリングの仕様

記号	シーリング箇所
i	試験体のコーナー部のチタン箔シート端部のみエポキシ樹脂系パテを塗り付けた。
ii	チタン箔シート端部にエポキシ樹脂系パテ材を塗り付けた。

③下塗り塗装の範囲

塗装仕様IIIの下塗り塗装は、端部1と端部2とでチタン箔シート端部に塗り重ねる範囲を変えた。端部1では溶接ビード部のみに、端部2では全てのチタン箔シート端部で塗り重ねを行った。塗装範囲を図-29に示す。

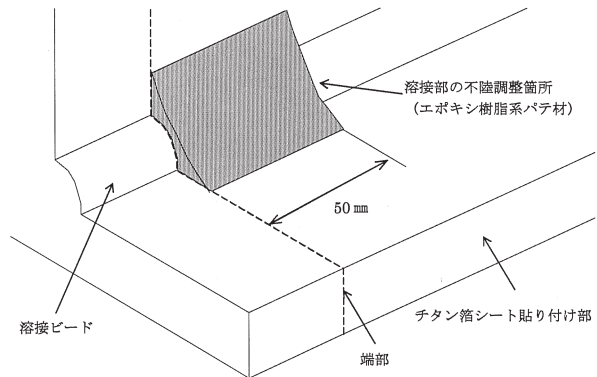


図-27 溶接ビードの不陸調整

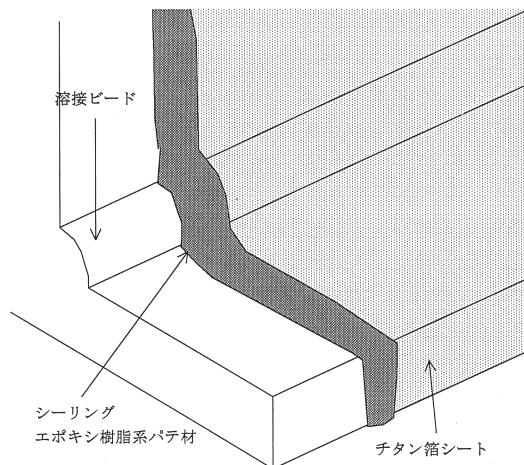
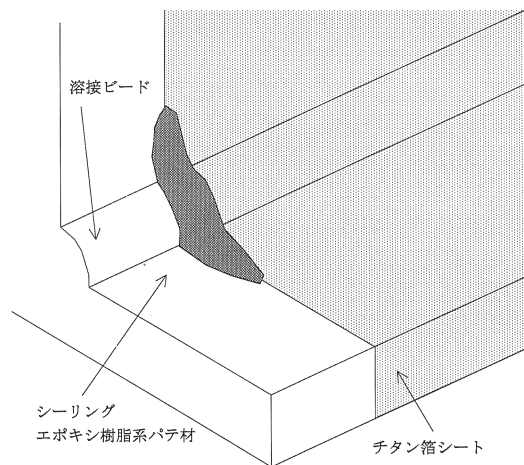


図-28 シーリングの概要(上:仕様 i、下:仕様 ii)

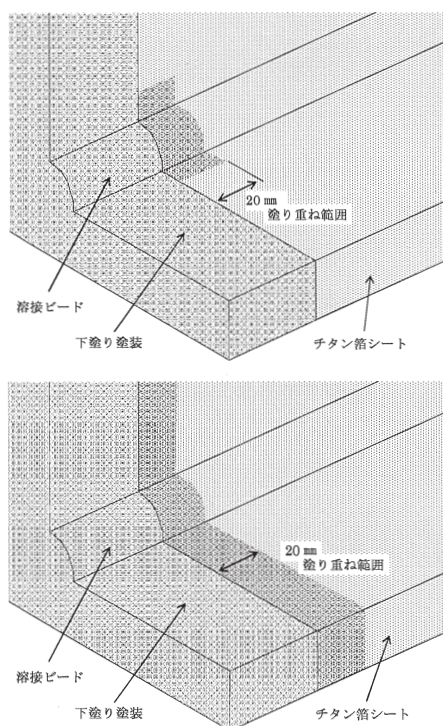


図-29 下塗りの範囲(上：端部1、下：端部2)

6. 2. 2 調査項目

調査は目視観察によって、塗膜あるはチタン箔シートの異常を確認した。また、チタン箔シートを除去して、チタン箔シート貼り付け部に水分や塗膜の異常、鋼材のさびなどを調査して腐食因子の侵入起点を確認した。

6. 2. 3 調査結果

(1) 試験後の外観

塗装仕様Ⅰの試験体 No.2、No.6、No.7はチタン箔シート貼り付け部以外で鋼材にさびが発生し、チタン箔表面にさび汁の跡が見られた。試験期間が増すごとに激しくさびが発生していたが、チタン箔シートやシーリング部のはがれなどは見られなかった。

また、塗装仕様ⅡとⅢでは、鋼材のさびやさび汁あるいは塗膜やチタン箔シートのはがれなどは見られなかった。チタン箔シート端部にも、塗膜やシーリングのはがれは見られなかった。

(2) チタン箔シート除去後のチタン箔シート貼り付け部の状況

①試験体 No.1

溶接ビード部とエッジ部から水分が浸入していたが、塗膜と鋼材には異常は確認されなかった。また、溶接ビード部は、チタン箔シート除去後に付着していた基材テープが他の部位に比べて少なかった。

試験期間2,000時間は、侵入した水分が多かった。

②試験体 No.2

端部1(チタン箔シート端部の全周をシーリングしていない)は、フランジのエッジやコーナーから水分が浸入し、溶接ビード部などで鋼材面の湿りとさびが見られた。端部2(チタン箔シート端部の全周シーリングを行った)から水分などが侵入したと思われる形跡は見られなかった。

溶接ビード部や下フランジのエッジ付近は、チタン箔シート除去後に付着していた基材テープが他の部位に比べて少なかった。その上、基材テープの付着がない部分で、鋼材面の湿りやさびが見られた。

③試験体 No.3

試験期間2,000時間の試験体でも、チタン箔シート除去後に水分は見られず、塗膜の異常も確認されなかった。溶接ビード部と下フランジのエッジ付近は、チタン箔シート除去後に付着していた基材テープが他の部位に比べて少なかった。

④試験体 No.4

試験体 No.3と同様に試験期間2,000時間の試験体でも、チタン箔シート除去後には水分は見られず、塗膜の異常も確認されなかった。またチタン箔シート端部に塗り付けたシーリングは健全であった。

溶接ビード部と下フランジのエッジ付近は、チタン箔シート除去後に付着していた基材テープが他の部位に比べて少なかった。

⑤試験体 No.5

フランジ上面とエッジ部、溶接ビードの不陸調整箇所が起点になったと思われる水分の浸入が見られ、フランジ上面に水が溜まっていた。しかし塗膜や鋼材には異常は確認されなかった。水分の浸入状況は試験体 No.1 とほぼ同様であった。溶接ビードの不陸調整箇所とフランジ上面は、チタン箔シート除去後に付着していた基材テープが少なかった。

⑥試験体 No.6

試験期間300と600時間は、エッジ部に塗り付けたシーリングが起点になったと思われる水分の浸入が見られた。1,000時間は溶接ビード部に塗り付けたシーリングでも起点になったと思われる水分の浸入が見られた。チタン箔シート端部に塗り付けたシーリングを除去すると、点さびが確認された。

溶接ビード部やエッジ、フランジはチタン箔シートと鋼材の間に水分が溜まり、さびが見られた。溶接ビード部と下フランジのエッジ付近は、チタン箔シート除去後に付着していた基材テープが他の部位に比べて少なかった。試験期間1,000時間で試験

体 No.6 と No.2 を比較すると、水分が確認された部位はほぼ同様であるが、さびの状況は No.6 は軽度であった。〔試験体 No.2 の端部 1 (チタン箔シート端部全周のシーリングを行っていない)と比較すると、さびの状況は軽度であった。〕

⑦試験体 No.7

溶接ビード部と下フランジ、側面 2 の腹板上側は、チタン箔シート除去後に付着していた基材テープが少なかった。とくに溶接ビード部は付着していた基材テープがなかった。

チタン箔シート端部から水分が浸入し、基材テープが付着していない部分で水分やさびが見られた。特に溶接ビード部のさびは、他の部位に比べて色が濃く、硬いさびであった。鋼材のさびの状況は、試験期間が増すごとに進行した。

同じ試験期間の No.2、No.6 の試験体に比べても、鋼材の腐食が進行していた。

6.3 チタン箔シート端部の腐食因子遮断性のまとめ

チタン箔シート端部の腐食因子遮断性について検討した結果、以下のことが明らかとなった。

①平面部に貼り付けたチタン箔シート端部の腐食因子の遮断性について

塗装面に貼り付けたチタン箔シート端部、チタン箔表面に貼り付けたチタン箔シート端部（重ね合わせを想定）とも、限界の貼り付け長さは確認されなかった。貼り付け長さと重ね合わせ長さは、十分余裕を持つことでチタン箔シート端部からの腐食因子の遮断性効果を高めることができる。

②曲面部に貼り付けたチタン箔シート端部の腐食因子の遮断性について

チタン箔シート端部で塗装などの対策を行ってないものは、腹板とフランジのコーナー部やフランジのエッジ部のチタン箔シート端部から水分の侵入が見られた。また、コーナー部と溶接ビード部ではチタン箔シートが付着しにくい場合があり、これらでは、侵入した水分などが溜まりやすかった。

曲面部に貼り付けたチタン箔シート端部を塗装することによって腐食因子の侵入を遮断することができる。またパテ材でチタン箔シート端部をシールすることでより遮断性を高めることができる。

7. チタン箔シートを適用した塗膜の耐衝撃性と損傷部からの遮断性の検討

チタン箔シートを塗膜に適用することによって防

食性を高めると同時に、外力による衝撃に対する補強効果が期待できる。そこでこれまで検討された塗装仕様について、チタン箔シートを適用した塗膜の耐衝撃性を検討し、促進試験による衝撃傷や切り込み傷の腐食状況を確認した。

7.1 チタン箔シートを適用した塗膜の耐衝撃性と衝撃傷の耐食性の検討

7.1.1 衝撃試験と試験体概要

(1) 衝撃試験

試験は、デュポン式衝撃試験と単管パイプによる衝撃試験の 2 種類の衝撃試験を実施した。

①デュポン式衝撃試験

試験は JIS K 5600 5-3 に従った。与えた衝撃力の条件を表-29 に示す

表-29 与えた衝撃力の条件

	衝撃力 (g-m)													
	25	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500	600	700	1000
おもり (g)	500													1,000
高さ (cm)	5	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	60	70	100

②単管パイプによる衝撃試験

単管パイプによる衝撃試験は、図-30 のように試験体を設置し、単管パイプ（外径 48.6 mm×肉厚 2.4 mm×長さ 0.5m、2.73kgf/m）を指定角度（30° 60° 90°）から落下させた。

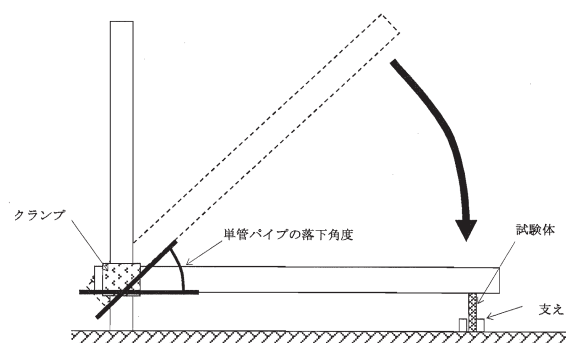


図-30 単管パイプによる衝撃試験概要図

(2) 試験体概要

試験体は、平板鋼材（SS400、200×300×6mm）に、図-31 に示す塗装あるいはチタン箔シートを貼り付けた。試験体の塗装仕様は表-22 と同様であり、貼り付けたチタン箔シートは表-30 に示す。チタン箔の厚さを変えて、4 種類のチタン箔シートを用いて試験を実施した。

試験体の平面はデュポン式による衝撃試験、エッ

ジでは単管パイプによる衝撃試験を実施した。また衝撃試験後、試験体片側の平面に鋼材に達するまで切り込みを設けた。

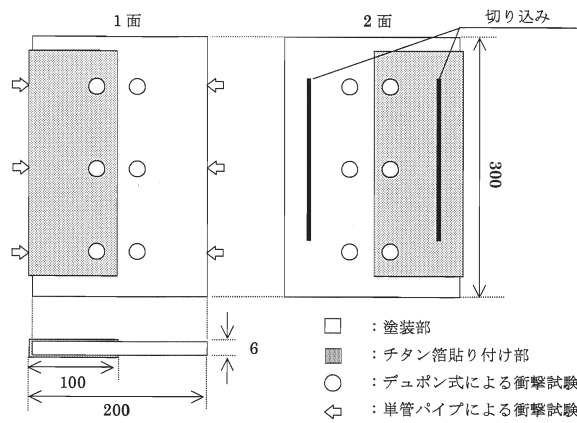


図-31 試験体の寸法

表-30 チタン箔シート

構成	種類 規格	厚さ (mm)
チタン箔	チタン箔 JIS H 4600	0.02、0.05、0.1、0.2
基材テープ	ブチルゴム基材アクリル接着テープ	0.75

7. 1. 2 調査項目

(1) 外観観察

衝撃試験を行った個所を目視によって調査し、塗膜あるいはチタン箔シートのはがれや破れなどの損傷を確認した。

(2) 海水環境浸漬による腐食の確認

図-31 に海水環境へ浸漬状況を示す。

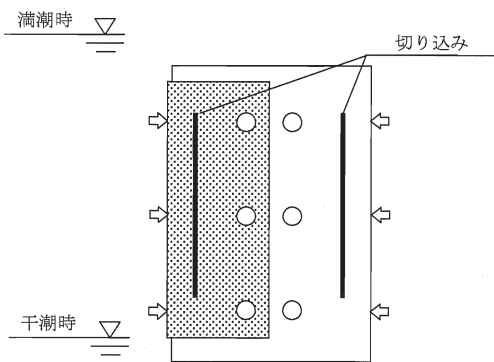


図-32 海水浸漬試験状況

衝撃試験を行った個所の損傷度合いを詳細に確認するため、および衝撃傷からの腐食状況を確認するために衝撃試験後の試験体を東京湾内の海水に浸漬した。期間は3ヶ月間とし、海水浸漬と乾湿を6時間ごとに繰り返した。また衝撃試験後に設けた切り

込みの腐食状況も確認した。

(3) 塗膜抵抗の測定

衝撃試験を行った個所でチタン箔シートを含めた塗膜の抵抗を測定した。測定は、衝撃試験実施後と海水浸漬試験実施後に行った。

7. 1. 3 調査結果

(1) 外観観察

①デュポン式衝撃試験

衝撃試験後のチタン箔の貫通孔の有無を表-31 に示す。表中の○は貫通孔なし、×は貫通孔ありである。また、チタン箔の厚みとチタン箔に貫通孔が開かない限界の衝撃力の関係を図-33 に示す。チタン箔の厚みが増すことで、貫通孔ができる時の衝撃力が増加し、チタン箔の厚みと耐衝撃性の関係は比例関係にあるといえる。

表-31 衝撃試験によるチタン箔の貫通孔の有無

試験体 No.	チタン箔 厚みmm	衝撃力 (g·m)														
		25	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500	600	700	1000	
1	0.02	○	○	○	×	×	×	×								
2	0.05			○	○	○	×	×	×							
3	0.1					○	○	○	×	×	×	×				
4	0.2						○			○	○	○	○	○	×	
5	0.1					○	○	○	×	×	×	×				
6	0.1					○	○	○	×	×	×	×				

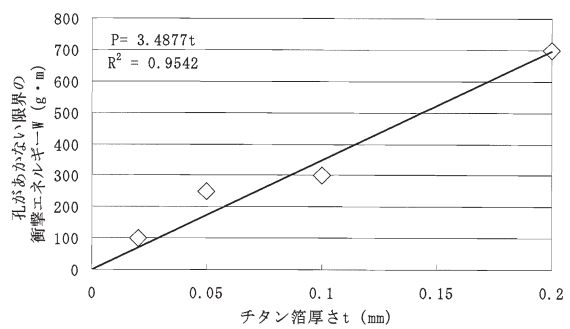


図-33 チタン箔の厚みと貫通孔の開かない限界衝撃力の関係

②単管パイプによる衝撃試験

表-32 に衝撃試験後のチタン箔の貫通孔を示す。表中の○は貫通孔なし、×は貫通孔ありである。エッジ部でも同様に、チタン箔の厚みが増すことで、貫通孔発生時の衝撃力が増加した。

表-32 衝撃試験によるチタン箔の貫通孔の有無

試験体 No.	チタン箔 厚みmm	単管パイプの落下角度		
		30°	60°	90°
1	0.02	×	×	×
2	0.05	×	×	×
3	0.1	○	×	×
4	0.2	○	○	○
5	0.1	○	×	×
6	0.1	○	×	×

(2) 海水浸漬による腐食の確認

①デュポン式衝撃試験箇所での腐食の確認

デュポン式衝撃試験の結果を表-33 と表-34 に示す。浸漬1ヶ月で、試験体No.6 は引き上げ、その他の試験体は3ヶ月で引き上げた。

表中の○は腐食無し、×は腐食ありである。また、網掛け部分は、衝撃試験でチタン箔に貫通孔が見られたものである。試験体の平面部では、衝撃試験によってチタン箔に貫通孔ができてチタン箔シート貼り付け部にさびは確認されなかった。しかし、塗装部では、試験体 No.4 の衝撃力を 1,000g・m 加えたものでさびが確認された。

表-33 チタン箔シート貼り付け部の腐食の有無

試験体 No.	チタン箔 厚みmm	衝撃力 (g・m)													
		25	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500	600	700	1000
1	0.02	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
2	0.05			○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
3	0.1					○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
4	0.2					○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
5	0.1					○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
6	0.1					○	○	○	○	○	○	○	○	○	○

表-34 塗装部の腐食の有無

試験体 No.	衝撃力 (g・m)													
	25	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500	600	700	1000
1	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
2			○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
3					○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
4					○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
5					○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
6					○	○	○	○	○	○	○	○	○	○

②単管パイプによる衝撃試験の腐食の確認

単管パイプによる衝撃試験の結果を表-35 に示す。浸漬1ヶ月で、試験体No.6 は引き上げ、その他の試験体は3ヶ月で引き上げた。

表中の○は腐食無し、×は腐食ありである。また、変色箇所は、衝撃試験でチタン箔に貫通孔が見られたものである。試験体エッジ部でも、衝撃試験によってチタン箔に貫通孔ができてチタン箔シート貼り付け部にさびは確認されなかった。塗装部では、単管パイプの落下角度を 60° と 90° にしたもので

さびが確認された。

表-35 エッジ部の腐食の有無

試験体 No.	チタン箔 厚みmm	単管パイプの落下角度					
		30°		60°		90°	
		チタン箔シート 貼り付け部	塗装部	チタン箔シート 貼り付け部	塗装部	チタン箔シート 貼り付け部	塗装部
1	0.02	○	○	○	○	○	×
2	0.05	○	○	○	×	○	×
3	0.1	○	○	○	×	○	×
4	0.2	○	○	○	×	○	×
5	0.1	○	○	○	×	○	×
6	0.1	○	○	○	○	○	○

③切り込み傷部の腐食の確認

試験体の平面部に設けた切り込み傷部の腐食の有無を表-36 に示す。浸漬1ヶ月で、試験体No.6 は引き上げ、その他の試験体は3ヶ月で引き上げた。表中の○は腐食無し、×は腐食ありである。

また表中の*1では、さびが確認された。しかしこれは、切り込み傷を設ける際の、カッターの刃の破片が腐食したものであり、塗装部からは腐食ではなかった。

表-36 切り込み傷部の腐食の有無

試験体 No.	チタン箔 厚みmm	切り込み傷	
		チタン箔シート貼り付け部	塗装部
1	0.02	○	○
2	0.05	○	○
3	0.1	○	○
4	0.2	○*1	○
5	0.1	○	○
6	0.1	○	○

(3) 塗膜抵抗の測定

衝撃試験後に衝撃部の塗膜抵抗を測定した。チタン箔シートの耐衝撃性を評価する場合、外観からの目視観察では困難な場合があるため、定量的な評価方法として塗膜抵抗測定を実施した。しかし、チタン箔シート貼り付け部および塗装部の衝撃試験による傷部の塗膜抵抗測定値と耐衝撃性の関係は明確には認められなかった。

7.2 チタン箔シートを適用した塗膜の切り込み傷の耐食性の検討

塗膜にチタン箔シートを適用した場合、チタン箔シート貼り付け部の損傷から腐食因子の侵入が考えられるため、損傷部における腐食因子の遮断性あるいは耐食性の検討が必要である。また、前章の試験では、切り込み傷からの腐食の状況を確認できなかった。そこで再度、切り込み傷からの腐食の状況を確認するとともに、腐食した鋼材を使用して、同様に腐食の状況を確認した。

7. 2. 1 試験方法

(1) 促進試験

促進試験は、6.1.1の複合サイクル促進試験と同様である。試験期間は、1,000、2,000、3,000時間とした。

(2) 試験体

試験体には、新規鋼材（70×150×3.2 SS400）と5%の塩化ナトリウム水溶液を1日に1回噴霧し、4週間自然環境下で暴露した腐食鋼材（70×150×6 SS400）を用いた。鋼材面の下地処理を3種類設けて、塗装あるいはチタン箔シートの貼り付けを行った。使用したチタン箔シートは表-16と同様であり、塗装仕様は表-37に示す。

塗装あるいはチタン箔シートの貼り付けを行った試験体は、図-34に示すように鋼材にまで達するように切り込み傷を入れた。

促進試験機には、チタン箔シートを貼り付けた部分が上側にくるように設置した。

表-37 塗装仕様

	下地処理	プライマー	不塗調整	下塗り	下塗り	チタン用プライマー	中塗り	上塗り
塗装部	試験体による Sa2.5 St3 St2	変性エポキシ塗料下塗り 240g/㎡ 60μm	超厚膜形エポキシ塗料	変性エポキシ塗料下塗り 240g/㎡ 60μm	変性エポキシ塗料下塗り 240g/㎡ 60μm	-	ふっ素塗料用中塗り 170g/㎡ 30μm	ふっ素塗料上塗り 140g/㎡ 25μm
チタン箔貼り付け部				チタン箔シート0.85mm		チタン用プライマー 30μm		

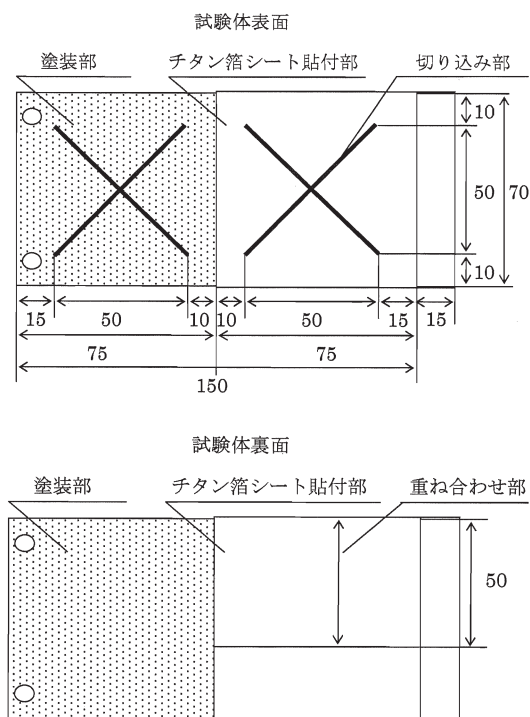


図-34 試験体概要

7. 2. 2 調査項目

(1) 下地処理後の残留塩分量測定

下地処理の鋼材表面の残留塩分量を測定して、塩分量の違いによる切り込み傷からの腐食因子の遮断性を確認するための材料とした。

(2) 外観観察

試験後の試験体を目視によって確認し、塗膜とチタン箔シートの異常を確認した。

(3) 塗膜とチタン箔シート除去後の状況確認

試験後試験体の塗膜とチタン箔シートを除去して、鋼材の腐食を確認し、さびとさび幅を測定した。ここで、さび幅とはチタン箔シートあるいは塗膜を除去し、切り込み部に発生したさびの幅を測定したものである。最大さび幅、最小さび幅を測定した。図-35に示す。

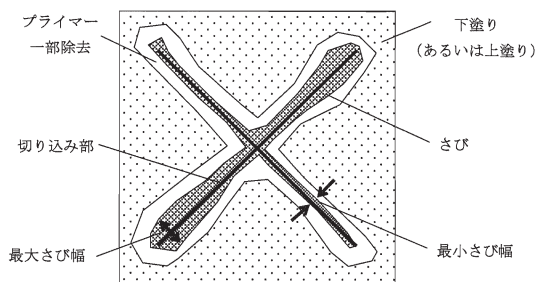


図-35 さび幅

7. 2. 3 調査結果

(1) 下地処理後の残留塩分量測定

下地処理後の鋼材表面の残留塩分量測定結果を表-38に示す。また表中の一番下に、下地処理前の腐食鋼材の測定結果を示す。

残留塩分の測定結果は、Sa2.5の下地処理を行った新規鋼材は0.0 mg/㎡であった。無処理の腐食鋼材は684.0 mg/㎡であった。Sa2.5の下地処理を行った場合が127.0 mg/㎡であり、St.3およびSt.2はほとんど除去されていないことが確認できる。この結果は、以降の測定項目を検討する上での材料とする。

表-38 鋼材面の残留塩分量

使用鋼材	下地処理	塩分量 mg/㎡		
		測定点1	測定点2	平均
新規鋼材	Sa2.5	0	0	0
	無処理	162.9	90.3	127
腐食鋼材	St.3	702	650	611
	St2	680	647	664
	無処理	714	653	684

(2) 外観観察

①塗装部とチタン箔貼り付け部の比較

試験期間が大きくなるにつれて切り込み傷から流れ出たさび汁の量が増加し、塗装部でさびや塗膜のふくれが多く見られた。またどの試験体でも、塗装部の切り込み傷から流れ出たさび汁に比べ、チタン箔シート貼り付け部の切り込み傷のさび汁の量が少なかった。

②新規鋼材と腐食鋼材の比較

下地処理 Sa2.5 の新規鋼材試験体と腐食鋼材試験体を比較すると、新規鋼材試験体 2,000 時間の塗装部は、同試験時間の腐食鋼材試験体に比べてさび汁の量が若干多い。しかし、試験期間が大きくなるほどさび汁の量が増加した。

また、新規鋼材と腐食鋼材の残留塩分量の違いから、試験後の試験体のさび汁や塗膜のふくれについて比較すると、2 つの試験体の状況はほぼ同様であり、残留塩分量の差による違いは確認されなかった。

③腐食鋼材の下地処理の違いによる比較

試験期間 1,000 時間と 2,000 時間のチタン箔貼り付け部では、下地処理の違いによる影響は見られない。塗装部では下地処理 Sa2.5 に比べ、下地処理 St.3 と St.2 は流れ出たさび汁が多い。

試験期間 3,000 時間のチタン箔貼り付け部では、下地処理 Sa2.5 の試験体にさび汁などの異常は確認されなかった。下地処理 St.3 と St.2 の試験体は多少のさび汁が確認された。塗装部は切り込み傷からのさび汁や塗膜のふくれが全ての試験体で見られた。

(3) 塗膜とチタン箔シート除去後の状況確認

①塗装部とチタン箔貼り付け部の比較

塗装面に残ったチタン箔シートの基材テープを強制的に除去したが十分に密着していた。試験期間が大きくなるにつれて切り込み傷から発生したさび（さび幅）の量が増加している。チタン箔シート貼り付け部は、塗装部に比べて切り込み傷からのさび（さび幅）が小さく、チタン箔シートを貼り付けることによって耐食性が向上した。

②新規鋼材と腐食鋼材の比較

下地処理 Sa2.5 の新規鋼材試験体と腐食鋼材試験体を比較すると、塗装部では腐食鋼材試験体の方がさび（さび幅）が多いことが確認できる。新規鋼材試験体 3,000 時間のチタン箔シート貼り付け部においては、同試験時間の腐食鋼材試験体に比べてさび（さび幅）が多いことが確認できる。腐食した鋼材に、下地処理 Sa2.5 を施して塗装した面にチタン箔

シートを適用することによって、新規鋼材に適用したものとほぼ同等の耐食性が得られた。

③腐食鋼材の下地処理の違いによる比較

下地処理 Sa2.5 では、3000 時間においても切り込み傷からのさびやさび幅は小さかった。下地処理 St.3 では 3000 時間、下地処理 St.2 では 1000 時間でさびが全面に達した。下地処理 Sa2.5 および St.3 程度でさびを除去できれば、チタン箔シートは傷部からの防食性も塗装部に比較して優位である。ただし、下地処理 St.3 では、傷部からの耐久性が劣った。下地処理 St.2 では、傷などの欠陥が起点となって早期にチタン箔シートがはく離するなどの危険が伴う。

7.3 チタン箔シートを適用した塗膜の耐衝撃性と損傷部からの遮断性の検討のまとめ

本章で、チタン箔シートを塗膜に適用した場合の外力に対する衝撃性と、衝撃傷のような損傷部からの耐食性を確認し、次の事項を確認した。

①チタン箔シートを適用した塗膜の耐衝撃性

チタン箔シートのみによる衝撃試験と同様に、チタン箔の厚さを増すことで耐衝撃性が向上し、チタン箔シートを含めた塗膜の受ける損傷が小さくなり、鋼材の腐食も起こりにくくなった。

②衝撃による損傷と切り込み傷の耐食性について

切り込み傷に比べて塗膜に広範囲な影響が加わる衝撃による損傷は、重防食塗装系でも鋼材の腐食が確認された。しかし、チタン箔シートを適用することで鋼材の腐食は見られず、高い耐食性を示した。

③下地処理と塩分量がおよぼす耐食性の影響

チタン箔シートと塗膜の除去後の腐食状況は、下地処理 Sa2.5 が最も腐食が少なく、次に St.3、St.2 の順に腐食の状況が悪化した。腐食鋼材では、下地処理 Sa2.5 を行うことが最良である。

下地処理 Sa2.5 を施した新規鋼材と腐食鋼材には、腐食鋼材の方が鋼材面に残った塩分量が多かったが、チタン箔シートと塗膜除去後の腐食の状況はほぼ同等であった。チタン箔シートを適用した塗膜の切り込み傷では、腐食鋼材であっても Sa2.5 程度の下地処理を施してあれば、新規鋼材を使用した場合の切り込み傷の腐食状況に近く、同等の耐食性を示した。

8. 塗膜にチタン箔シートを適用した塗装作業の施工性の検討と暴露試験

これまでの成果を踏まえ、塗膜にチタン箔シートを適用し、その施工性を検討した。また、施工した試験体を暴露して、耐食性と耐久性を確認した。

8. 1 一般環境に設置された実大桁試験体を使用した検討

大面積でより実施工に近い状態における施工性を確認するため、朝霧材料観測施設の実大桁橋試験体を使用して、塗膜にチタン箔シートを適用した塗装の施工性を確認した。また塗膜にチタン箔シートを適用することによる耐食性の確認と、チタン箔シート端部から侵入する腐食因子の遮断性を確認した。

8. 1. 1 試験体概要と施工内容

(1) 試験体

試験体は、朝霧材料観測施設の実大桁橋試験体を使用した。施工範囲は桁下フランジを中心に添接板も含めて行い、桁下フランジ部ではチタン箔シートの貼り付け方法を変えた。

使用したチタン箔シートは表-16に、塗装仕様は表-39に示す。

表-39 塗装仕様

	下地処理	プライマー	不陸調整	下塗り	下塗り	チタン用 プライマー	中塗り	上塗り
塗装部	旧塗膜 (St.2程度)	変性 エポキシ 塗料下塗り 240g/m ²	超厚膜形 エポキシ 塗料 1000g/m ²	変性 エポキシ 塗料下塗り 240g/m ²	変性 エポキシ 塗料下塗り 240g/m ²	-	ふっ素 塗料用 中塗り 140g/m ²	ふっ素 塗料 上塗り 120g/m ²
チタン箔 貼り付け部				チタン箔シート		チタン用 プライマー 30μm		

主な施工内容を以下に示す。

①下地処理

下地処理は塗装仕様を示すように St.2 程度とし、ワイヤーカップブラシで既設塗膜表面を処理した。

②超厚膜形エポキシ塗料塗付

プライマー塗付後、塗装面の凹凸の激しい部分を中心に超厚膜形エポキシ塗料を塗付した。

③溶接ビードの不陸調整

チタン箔シートの貼り付け作業前に、溶接ビードの不陸調整を行った。チタン箔シートと同様の基材テープを、溶接ビード部に合わせて貼り付けた。(図-36 参照)

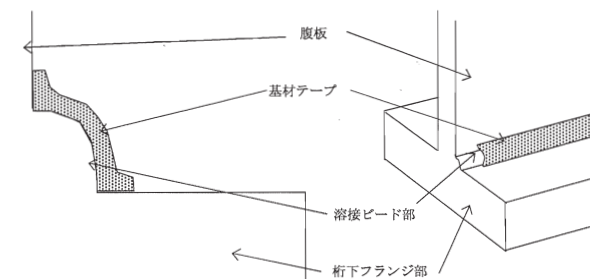


図-36 溶接ビードの不陸調整

溶接ビード部の不陸調整は、北および南側桁の内側と外側に、チタン箔シート貼り付け部の東側端部からリブにかけておよそ 2.5m の長さで行った。

④チタン箔シートの貼り付け

貼り付け作業前に、施工範囲の罫書きをした。添接板に貼り付けるチタン箔シートのボルト・ナットにあたる部分は、工場加工で穴あけ加工した。

また、貼り付ける部材の形状に合わせてチタン箔シートのはく離紙にあらかじめ切れ目を入れて、貼り付け面の形状に合わせて折り曲げながら、はく離紙をはがして貼り付けた。貼り付け作業は、丸みをおびた先端のヘラを使用し、場合によっては現場でカッターなどの切断工具を用いて加工した。

桁下フランジ部に貼り付けたチタン箔シートは、北側と南側で寸法をかえた。チタン箔シートを表-40に、貼り付け範囲を図-37と図-38に示す。

表-40 貼り付けたチタン箔シートの概要

	チタン箔シートの寸法	チタン箔シートの使用量
北側桁	360 × 1,810 2枚	3.7m ²
	360 × 1,980 2枚	
	360 × 1,310 2枚	
南側桁	360 × 710 17枚	4.35m ²

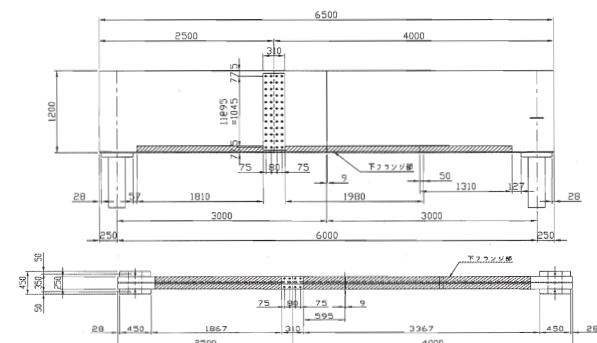


図-37 北側桁のチタン箔シート貼り付け範囲

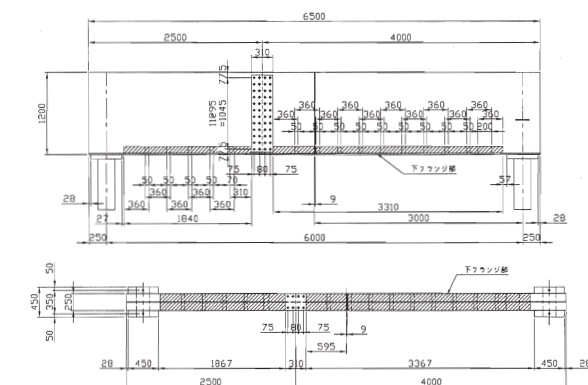


図-38 南側桁のチタン箔シート貼り付け範囲

チタン箔シートの重ね合わせ長さを 50 mm 以上とし、リブ周辺部はカッターなどで加工を施した。

添接板の形状とチタン箔シートの貼り付け範囲を図-39 と図-40 に示す。また、工場加工を施したチタン箔シートの形状を図-41 に示す。

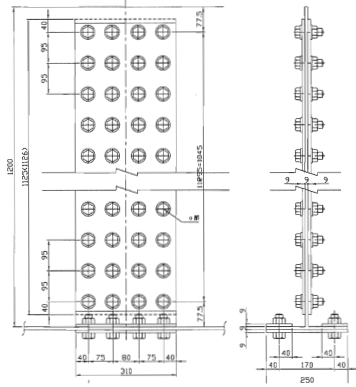


図-39 添接部の寸法

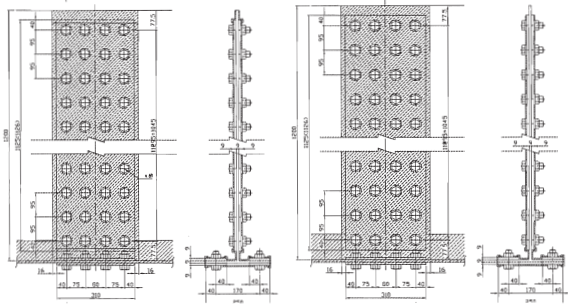


図-40 添接部のチタン箔シート貼り付け範囲
(左側：北側桁、右側：南側桁)

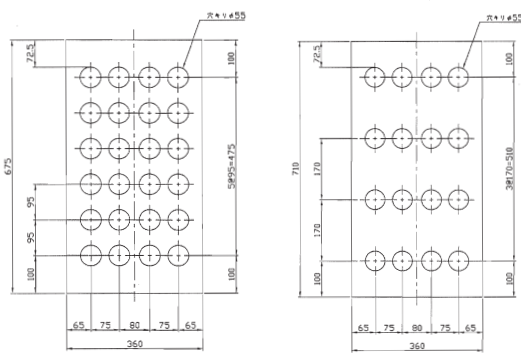


図-41 工場加工したチタン箔シートの寸法
(左側：複板用、右側：桁下フランジ用)

⑤チタン箔の面粗し

チタン箔シート貼り付け後に、マジックロンを使用してチタン箔表面を面粗しをした。

⑥チタン箔シート端部のシーリング

試験体の腹板とフランジの境にあるコーナー部とリブ周辺に貼り付けたチタン箔シート端部 (図-41 参照) に、エポキシ樹脂系パテ剤を指で塗り付けた。

チタン箔シート端部のシーリングは、北側桁の内側と外側に施した。リブ周辺部のシーリングは、北側桁内側リブと南側桁外側リブに施した。

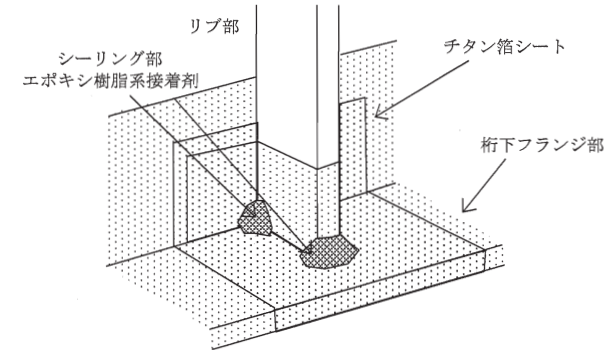
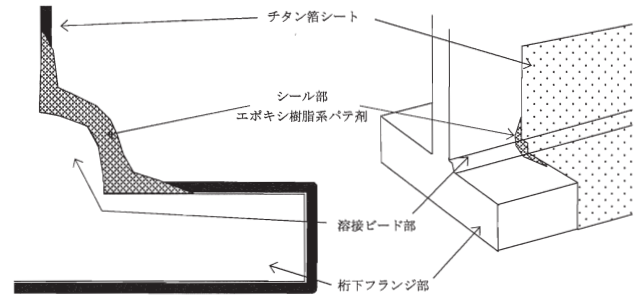


図-42 チタン箔シート端部のシーリング
(上側：コーナー部、下側：リブ周辺部)

⑦チタン用プライマー塗付

チタン箔の表面にチタン用プライマーを塗付した。

⑧下塗り塗付

チタン箔シート貼り付け部以外に下塗りを施した。下塗り塗料がチタン箔シート端部に塗り重なるように塗付した。(図-43 参照)

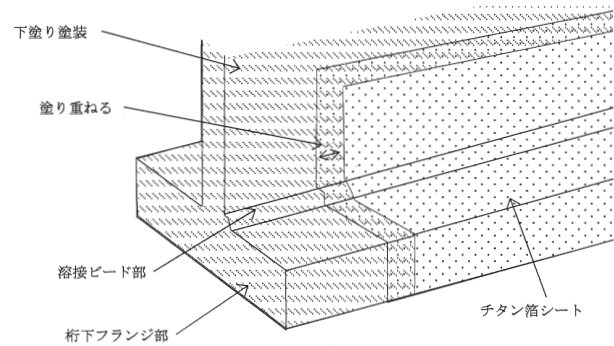


図-43 下塗り塗装の範囲

⑨中・上塗り塗付

全施工部に中塗り、上塗りを施した。チタン箔シート端部は、はけによって先行塗装を行った。

8. 1. 2 調査項目

(1) 試験体施工時の測定項目

①作業時間の記録

各作業に要した作業時間を記録した。

②外観観察

試験体施工時の状況を目視によって確認した。

(2) 追跡調査時の測定項目

①外観観察

施工後のチタン箔シートのめくれやチタン箔シート端部の塗膜のわれをはけでほこりを除去しながら目視で確認した。

②附着性試験

施工からおおよそ1年経過した時点でのチタン箔シートを含めた塗膜の附着性を確認した。試験を行う箇所は、両側の桁下フランジと腹板で、建築研究所式引張試験機を用いて行った。

8. 1. 3 結果

(1) 試験体施工時の測定項目

①作業時間の記録

作業時間の記録を表-41に示す。また施工能率を図-44にまとめた。次に、チタン箔シートの貼り付け作業の施工能率を図-45に示す。溶接ビード部の不陸調整作業は、各部位のチタン箔シート貼り付け作業に含めた。

表-41 作業時間の記録

作業内容	施工部位	施工時間(分)	作業人数(名)	施工面積(m ²)
下地処理	全施工部	96	1	11.6
プライマー塗装	全施工部	133	1	11.6
不陸調整	全施工部	52	1	11.6
チタン箔シート貼り付け	南側桁下フランジ	88	2	3.38
	北側桁下フランジ	76	2	3.6
	添接部とその周辺	265	2	1.83
チタン箔シート端部のシーリング	リブ周辺	42	1	1.3
チタン箔表面の面粗し	フランジ・リブ周辺	数分	1	-
チタン用プライマー	チタン箔シート貼り付け部	60	1	10.2
下塗り塗装1回目	チタン箔シート貼り付け部以外	45	1	10.2
下塗り塗装2回目	チタン箔シート貼り付け部以外	54	1	1.4
中塗り塗装	チタン箔シート貼り付け部以外	98	1	1.4
上塗り塗装	全施工部	66	1	11.6
	全施工部	71	1	11.6

施工方法を検討しながら作業を行ったこともあり、チタン箔シートに関する作業の能率が塗装作業に比

べて劣った。塗装作業とは、プライマーや不陸調整、チタン用プライマー塗付などの塗装作業である。チタン箔シートに関する作業とはチタン箔シート貼り付け、チタン箔シート端部のシーリング、チタン箔表面の面粗し作業である。また、チタン箔シートの貼り付けた部位では、添接板とその周辺の施工で施工性が最も劣っていた。

桁下フランジでは、南側桁のチタン箔シート貼り付けに比べて、北側は若干施工性が良好であった。

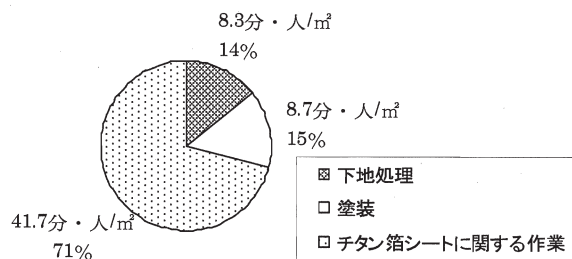


図-44 施工能率

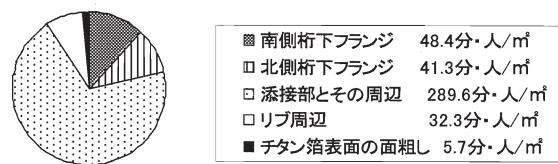


図-45 施工部ごとの施工能率

貼り付け方法をかえた北側と南側の桁下フランジの施工範囲と使用したチタン箔シートの量を表-42に示す。南側桁は北側桁に比べ小さい寸法のチタン箔シートを使用したため、折り曲げ加工などのハンドリングが良好であった。しかし、重ね合わせ箇所が多かったためにロス率が高い。

貼り付けるチタン箔シートの寸法は、施工性と歩留まりを留意する必要がある。

表-42 チタン箔シートの施工範囲と使用量

部位	施工範囲	チタン箔シート使用量	ロス率
北側桁	3.38m ²	3.7m ²	9%
南側桁	3.68m ²	4.35m ²	18%

チタン箔シート貼り付け作業は、貼り付け範囲の罫書きを行うことでスムーズに、かつ手作業によって折り曲げや貼り付け作業が容易にできることを確認した。しかし添接部は、複雑な形状部にチタン箔シートを貼り付ける必要があり、施工性が悪化した。

また、溶接ビードの不陸調整とチタン箔シート端部のシーリングに問題なく、良好に施工できることを確認した。

②外観観察

腹板に貼り付けたチタン箔シートに浮きや端部のはがれは確認されなかったが、シワがいくつか見られた。添接板ではチタン箔シートの全体にシワが発生し、チタン箔シートの端部にはめくれが生じた箇所も存在した。

チタン箔シートは厚みが1mm程度あるため、上塗り塗装完了後の外観でも、一般塗装部とチタン箔シート貼り付け部の境界は段差が確認できる。また、チタン箔シートの重ね合わせ部でも重ね合わせ範囲が明確に認められる。また、チタン箔シートを貼り付けた部分と塗装のみの部分との境に塗膜のわれなどは確認されなかった

(2) 追跡調査

施工は前年の11月に行い、追跡調査は10ヶ月経過後の翌年の8月に行った。

①外観観察

両側桁下フランジでは、施工時にできたチタン箔シートのシワ以外の異常は確認されず、チタン箔シート端部のめくれなどもなく健全な状態であった。

また、エポキシ樹脂系パテ剤で行ったコーナー部のシーリングに、はがれやわれなどは見られず、健全であった。チタン箔シートの重ね合わせ部に出来た段差にほこりが溜まっていた。重ね合わせを行った個所の全てに見られ、外側の桁で、ほこりの溜まる量が多かった。

添接部とその周辺部では、施工時にできたチタン箔シートのシワが見られる。チタン箔シート端部のめくれは、塗膜のわれがないことから、進行はないといえる。

リブ周辺にほこりが溜まっているものの、チタン箔シートめくれなどの異常は見られなかった。また、エポキシ樹脂系パテ剤で行ったシーリングのはがれやわれは確認されず、健全であると思われる

塗膜表面にわれや浮きは見られず、健全であると思われる。またチタン箔シート端部の塗膜にわれなどの異常は見られなかった。

②付着性試験

付着性試験の結果を表-43に示す。多少のばらつきがあるが付着力に差はなく、チタン箔シートの貼り付けは同様に行われたと思われる。また、破断位置も全てチタン箔と基材テープの層間ではく離した。

試験用治具の付着時は、26.0℃で75%RHであった。付着性試験時は、25.0℃、70%RHであった。

表-43 付着性試験の結果

		北側桁		南側桁					
		桁外側	桁内側	桁外側	桁内側				
桁下フランジ	上面	1	0.51 MPa	1	-	1	0.52 MPa	1	-
		2	0.48 MPa	2	-	2	0.58 MPa	2	-
		3	0.51 MPa	3	-	3	0.56 MPa	3	-
桁下フランジ	下面	1	-	1	-	1	0.44 MPa	1	-
		2	-	2	-	2	0.58 MPa	2	-
		3	-	3	-	3	0.52 MPa	3	-
腹板		1	-	1	-	1	0.56 MPa	1	-
		2	-	2	-	2	0.53 MPa	2	-
		3	-	3	-	3	0.57 MPa	3	-

8.2 厳しい腐食環境に設置され腐食したH形鋼試験体を用いた検討

本試験では、鋼材が激しく腐食した既設構造物を想定し、北陸材料観測施設にプラスト処理と無機ジンクリッチペイントされ、12年間暴露されたH形鋼材を試験体を使用した。そして塗膜にチタン箔シートを適用した場合の塗装作業の施工性を確認した。

また、パテ剤による不陸調整とチタン箔シート端部の処理の作業についても作業性を確認した。

腐食が進行した鋼材の塗膜にチタン箔シートを適用した場合の防食性と耐久性を確認した。

8.2.1 試験体概要と施工内容

(1) 試験体

試験体は、12年間暴露されていたH形鋼材(588×300×12×20、L:1600)を用いた。試験体は下地処理を変えて、塗装あるいはチタン箔シートを貼り付けた。使用したチタン箔シートは表-16に、塗装仕様は表-44に示す。試験体No.1は下地処理をSt2、No.2はSt3とした。

表-44 塗装仕様

	下地処理	プライマー	不陸調整	下塗り	下塗り	チタン用プライマー	中塗り	上塗り
塗装部	腐食鋼材面	変性エポキシ塗料下塗 240g/㎡	超厚膜形エポキシ塗料 1000g/㎡	変性エポキシ塗料下塗 240g/㎡	変性エポキシ塗料下塗 240g/㎡	-	ふっ素塗料用中塗 140g/㎡	ふっ素塗料上塗 120g/㎡
チタン箔貼り付け部	St3 St2			チタン箔シート		チタン用プライマー 30μm		

(2) 施工内容

主な施工内容を以下に示す。

①下地処理

下地処理は、塗装仕様を示すようにSt.2程度とSt.3程度の2種類とした。St.3程度では動力工具と手工具によって作業した。孔食などの凹部の硬いさびを

ハンマーでできる限り除去した。

②水洗い（鋼材面の塩分量測定）

図-46に示すように試験体を2等分して、試験体の半面をたわしで水洗いした。その後、試験体表面を乾拭きした。水洗い前後の鋼材表面の塩分量を測定した。

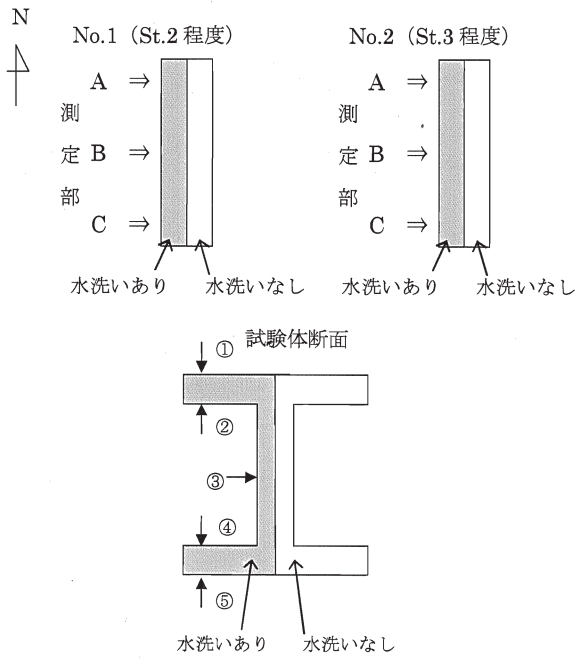


図-46 水洗いの範囲と塩分量測定位置

③エポキシ樹脂パテ材による不陸調整

試験体の上フランジと腹板のコーナー部に、エポキシ樹脂パテ材によって不陸調整を行った。試験体 No.1 はプライマー塗付後に、試験体 No.2 は超厚膜形エポキシ塗料による不陸調整の後に行った。不陸調整を行う箇所を、図-47に示す

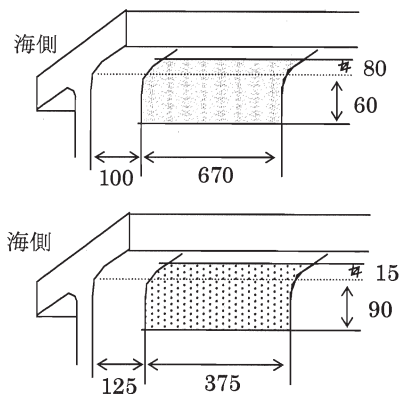


図-47 パテ材による不陸調整範囲
(上側：試験体 No.1、下側：試験体 No.2)

④チタン箔シートの面粗しと貼り付け

チタン箔表面をマジックロンによって面粗した。その後チタン箔シートを貼り付けた。チタン箔シートは図-48に示すように試験体に貼り付けた。チタン箔シートの貼り付け順番を①から⑥とした。

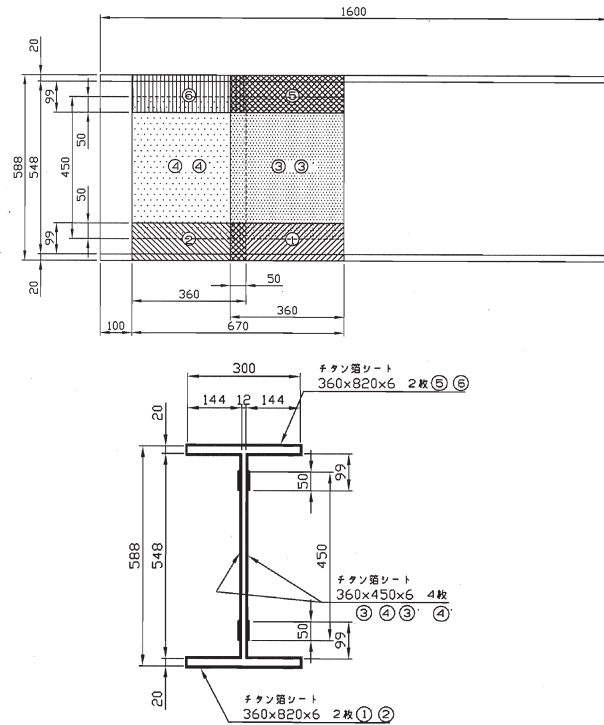


図-48 チタン箔シートの貼り付け

⑤チタン箔シート端部のシーリング

試験体 No.2 のチタン箔シート貼り付け後に、チタン箔シート端部にエポキシ樹脂系パテ剤を塗り付けてシーリングした。シーリングした範囲を図-49に示す。

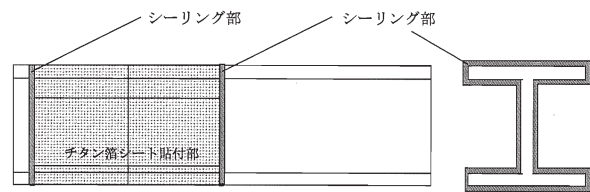


図-49 チタン箔シート端部のシーリング

⑥チタン用プライマー

貼り付けたチタン箔シートのチタン箔表面に、チタン用のプライマーを塗付した。

⑦下塗り塗装

チタン箔シート貼り付け部以外に、下塗り塗料を塗付した。チタン箔シート端部に下塗り塗料がかかるように塗付した。

⑧中塗り、上塗り塗装

試験体の全面に、中塗りと上塗りを塗付した。

8. 2. 2 調査項目

(1) 試験体施工後の調査項目

①作業時間の記録

各作業に要した作業時間を記録した。

②外観観察

試験体施工時の状況を目視によって確認した。

③鋼材表面の塩分量測定

下地処理後の鋼材表面の塩分量を、水洗いの前後で測定した。

④付着性試験

試験体施工時のチタン箔シートを含めた塗膜の付着性を建築研究所式引張試験機で確認した。

(2) 追跡調査の測定項目

①外観観察

試験体施工時の状況を目視によって確認した。

②付着性試験

試験体施工時のチタン箔シートを含めた塗膜の付着性を建築研究所式引張試験機で確認した。

8. 2. 3 調査結果

(1) 試験体施工後の測定項目

①作業時間の記録

作業時間の記録を表-45に示す。厳しい腐食環境に暴露した鋼材を使用したために、下地処理作業に時間を費やした。

表-45 作業時間の記録

作業内容	施工部位	施工時間(分)	作業人数(名)	施工面積(m ²)	
下地処理	全施工部	600	2	7.4	
プライマー塗装	全施工部	69	2	7.4	
不陸調整塗装	全施工部	69	2	7.4	
チタン箔シート 貼り付け	No.2	下フランジ 南部	10	2	0.28
		下フランジ 北部	8	2	0.28
		腹板 (シート4枚分)	8	2	0.54
		上フランジ 南部	7	2	0.28
	No.1	上フランジ 北部	7	2	0.28
		下フランジ 南部	7	2	0.28
		下フランジ 北部	7	2	0.28
		腹板 (シート4枚分)	8	2	0.54
		上フランジ 南部	11	2	0.28
		上フランジ 北部	6	2	0.28
チタン用プライマー	チタン箔シート 貼り付け部	72	1	3.3	
下塗り塗装 1回目	チタン箔シート 貼り付け部以外	78	1	4.1	
下塗り塗装 2回目	チタン箔シート 貼り付け部以外	47	2	4.1	
中塗り塗装	全施工部	121	1	7.4	
上塗り塗装	全施工部	97	2	7.4	

チタン箔シート貼り付け作業は容易に行うことができた。不陸調整塗装だけでは凹部を埋めることができなかったが、エポキシ樹脂パテ剤による不陸調整では凹部を埋めることは可能であった。チタン箔シート端部のシーリングは、作業に問題はなかった。

試験体の施工に要した作業時間とその作業能率を、下地処理と塗装、チタン箔シートに関する作業に分けて図-50に示す。塗装とチタン箔シートに関する作業では、施工範囲が小さかったこともありチタン箔シートに関する作業のほうが短時間であった。

作業能率においても、下地処理の作業能率が悪く塗装とチタン箔シートに関する作業においては、塗装の方が作業能率は良くなった。

図中の塗装とは、プライマーや不陸調整、チタン用プライマー塗付であり、チタン箔シートに関する作業とは、チタン箔シート貼り付けや面粗し、端部のシーリングである。

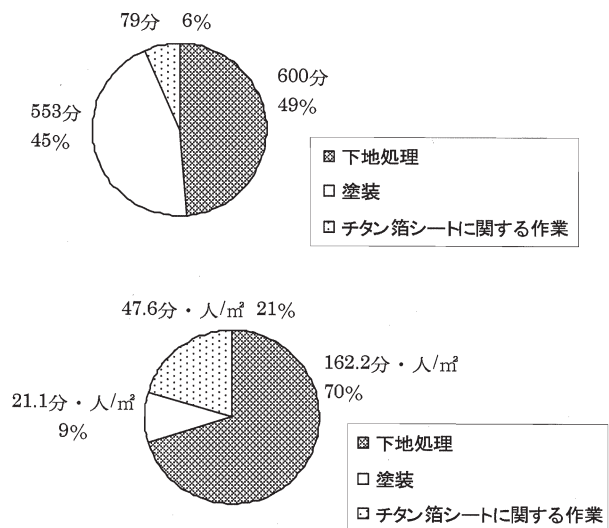


図-50 作業時間と作業能率
(上側：作業時間、下側：作業能率)

エポキシ樹脂パテ材による不陸調整では、孔食などの凹部にパテ剤が埋まり不陸調整作業を行うには問題はなかった。しかし、材料の硬化時間や粘性などの違いで施工性が悪化することも考えられる。

チタン箔シートの貼り付けは、試験体の形状に合わせて折り曲げを施しながら良好に行えた。また、チタン箔シート端部のシーリングは、手作業で容易に行えた。

②外観観察

2つの試験体のチタン箔シート貼り付け部には、

チタン箔シートにシワは確認されなかった。チタン箔シートの重ね合わせ部に多少の浮きが見られた。

塗膜表面にわれや浮きは見られず、チタン箔シート端部の塗膜にもわれなどは見られなかった。

③鋼材表面の塩分量測定

どちらの試験体においてもフランジ下面では、塩分量が大きかった。水洗いを1回することによって、塩分量を大きく低下させることが出来た。

表-46 鋼材表面の塩分量測定結果
(上側：試験体 No.1、下側：試験体 No.2)

測定位置	塩分量 mg/m ²					
	A地点		B地点		C地点	
	水洗い前	水洗い後	水洗い前	水洗い後	水洗い前	水洗い後
①	4.4	0	12.2	0	2.4	0.7
②	5.7	2.1	19.8	10.6	18.6	5.9
③	21.9	1.8	15.1	1.2	6.6	0.2
④	22.7	1.2	20.9	3.5	24.7	1
⑤	868	82.1	681	58	375	55.1

測定位置	塩分量 mg/m ²					
	A地点		B地点		C地点	
	水洗い前	水洗い後	水洗い前	水洗い後	水洗い前	水洗い後
①	2.9	5.2	12.2	4.9	15.6	5.1
②	211	39.3	152	44.1	93.4	37.4
③	22.7	7.3	22.8	6.2	65.6	10.5
④	10.2	5.2	0	3.4	0	0
⑤	24.2	4.4	7.1	0	9.1	0

④ 付着性試験

試験体施工から1週間後の付着性試験の結果を表-47に示す。下地処理の違いと鋼材表面の塩分量が及ぼす付着性の影響は、確認されなかった。

表-47 付着性試験結果
(上側：試験体 No.1、下側：試験体 No.2)

下地処理:St.2	チタン箔シート貼り付け部		塗装部		
	水洗いあり	水洗いなし	水洗いあり	水洗いなし	
上フランジ	上面	0.67 MPa 層間	0.59 MPa 層間	-	1.62 MPa 素地
	下面	-	-	-	-
腹板	-	-	-	-	-
下フランジ	上面	-	-	-	-
	下面	0.16 MPa 接着	0.20 MPa 接着	-	0.34 MPa 接着

下地処理:St.3	チタン箔シート貼り付け部		塗装部		
	水洗いあり	水洗いなし	水洗いあり	水洗いなし	
上フランジ	上面	0.67 MPa 層間	0.54 MPa 層間	1.49 MPa 接着	1.39 MPa 接着
	下面	0.32 MPa 接着	0.23 MPa 接着	-	0.54 MPa 素地
腹板	-	0.69 MPa 層間	-	-	
下フランジ	上面	-	-	-	-
	下面	-	-	-	-

チタン箔シート貼り付け部と塗装部は、フランジの上面にくらべ下面の方が付着力は低い。

表中の記載の接着とは、試験用治具と治具接着用

の接着剤との層間での破壊、素地は素地面からのはく離、層間とは基材テープと超厚膜エポキシ塗料、チタン箔と基材テープ、超厚膜エポキシ塗料とプライマーとの層間ではく離したものである。

(2) 追跡調査の測定項目

施工は前年11月に行い、追跡調査は10ヵ月後の翌年の8月に行った。

①外観観察

下地処理 St.2 を施した試験体 No.1 のチタン箔シート貼り付け部と塗装部は、欠陥によるチタン箔シートおよび塗膜のはがれや浮きは確認されず健全であった。試験体施工時に付着性試験を行った試験箇所でも、さび汁などは見られず健全であった。

下地処理 St.3 を施した試験体 No.2 のチタン箔シート貼り付け部は、試験体施工時の付着性試験を行った箇所(水洗いを行った上フランジ下面)からさび汁が確認された。これは付着性試験時につけた切り込み箇所を、試験後に貼り付けたチタン箔シートで覆うことが出来ずに、そこから水分が浸入して起きたものと思われる。

さび汁発生箇所は、さびやさび汁をサンドペーパーで除去して、試験実施箇所と切り込み部を十分覆うことの出来るチタン箔シートを新たに貼り付けた。

塗装部には欠陥による塗膜のはがれや浮きは確認されず健全であった。

②付着性試験

付着性試験の結果を表-48に示す。表中の破壊位置は、前記と同様である。治具貼り付け時は、34.0℃、60%RHであり、試験時は32.0℃、62%RHであった。

表-48 付着性試験の結果
(上側：試験体 No.1、下側：試験体 No.2)

下地処理:St.2	チタン箔シート貼り付け部		塗装部		
	水洗いあり	水洗いなし	水洗いあり	水洗いなし	
上フランジ	上面	0.46 MPa 層間	0.38 MPa 層間	-	1.40 MPa 素地
	下面	-	-	-	-
腹板	-	-	-	-	-
下フランジ	上面	-	-	-	-
	下面	0.19 MPa 層間	-	-	-

下地処理:St.3	チタン箔シート貼り付け部		塗装部		
	水洗いあり	水洗いなし	水洗いあり	水洗いなし	
上フランジ	上面	0.44 MPa 層間	-	-	2.69 MPa 接着
	下面	-	-	-	-
腹板	-	-	-	-	-
下フランジ	上面	-	-	-	-
	下面	-	-	-	-

試験体施工時と追跡調査時で付着力に多少の差が見られる。施工時は冬、追跡調査は夏に実施したために、試験時の温度あるいは湿度によって付着力に違いが出たと思われる(図-17参照)。

下地処理の違いと鋼材表面の塩分量がおよぼす付着性の影響は、本試験では確認されなかった。

8.3 塗膜にチタン箔シートを適用した塗装作業の施工性の検討と暴露試験のまとめ

腹板やフランジ部でのチタン箔シート貼り付け作業は、施工後の外観もチタン箔シートのしわなどは少なく良好で、施工性も問題なかった。

しかし、添接板とその周辺は、腹板やフランジなどに比べて施工性が悪く、施工後の外観もチタン箔シートのしわや端部のめくれなどが発生していた。

塗装によるチタン箔シート端部のシーリング(端部からの腐食因子の遮断対策)は、一般的な塗装作業と同様に問題なく行うことが可能である。パテ剤によるシーリングは、施工範囲によっては施工に時間を要する場合がある。そこでシーリングは、コーナー部に貼り付けたチタン箔シート端部など重要な部位に重点的に施工する。使用するパテの材料特性などに注意する必要がある。

試験施工後の追跡調査では、チタン箔シートの異常や鋼材のさびなどは見られず、良好であった。また、施工時に損傷したチタン箔シート部の補修箇所においても、異常は確認されず、補修内容も問題なかった。

添接部などに貼り付けるチタン箔シートを工場加工することは、現場での施工性や切断面のきれいさなどから有効である。しかし、加工品質に十分注意する必要がある

9. 研究成果のまとめ

鋼構造物の長寿命化とライフサイクルコストの低減のためのひとつの方法として、チタン箔を鋼構造物の防食材料として使用する工法を取り上げ鋼構造物塗膜にチタン箔を適用するための技術的検討を実施した。以下に試験結果の概要をまとめた。

(1) チタン箔シートの材料選定

付着性と施工性、衝撃性を検討した結果、厚さ0.1mmのチタン箔(JIS H 4600 1種)に厚さ0.75mmのブチルゴム基材アクリル接着テープを一体化したチタン箔シートが最も良好であった。また外力による損傷が想定される部位へ適用する場合は、チタン箔の厚さを0.1mm以上にし、複雑な形状の部位へ適用する場

合は、チタン箔の厚さを0.1mm以下にすると良い。

(2) チタン箔シートを適用するための塗装仕様

重防食塗装系を主としてチタン箔シートを適用する塗装仕様を検討した。検討は、主に付着性試験によって行い、チタン箔シートを貼り付ける面の塗装仕様とチタン箔表面の塗装仕様に分けて進めた。その結果、表-49に示す塗装仕様がチタン箔シートの適用に適していることがわかった。

孔食がありチタン箔シート貼り付け面に凹凸がある場合は、不陸調整を行うことでチタン箔シートの付着性が向上した。またチタン箔シートの付着性は、湿度80%RH以上、あるいは高温時に低下する恐れがあることもわかった。

表-49 塗装仕様

塗装部	下地処理	防食下地	ミストコート	下塗り		中塗り	上塗り
				下塗り塗料 540g/m ² 120μm	チタン箔 シート	中塗り塗料 170g/m ² 30μm	上塗り塗料 120g/m ² 25μm
チタン箔 貼り付け部	ブラスト 処理 Sa2.5	ジंक リッチ ペイント 600g/m ² 75μm	下塗り 塗料 160g/m ²	チタン箔 シート	チタン用 プライマー 30μm		

(3) チタン箔シート端部の遮断性の検討

促進試験によって、チタン箔シート端部における腐食因子の遮断性を確認した。その結果、平面部にチタン箔シートを貼り付けた場合は、腐食因子の侵入が見られず、重ね合わせの付着長さを5mm以上とれば、十分な遮断性があることがわかった。

曲面部にチタン箔シートを貼り付けた場合は、試験体のコーナー部とエッジ部に貼り付けたチタン箔シート端部から腐食因子が侵入する。この対策としてチタン箔シート端部に塗装すると、腐食因子の侵入は防止できた。また、同チタン箔シート端部にパテ材によるシーリングを行うことでも、腐食因子の侵入を抑制することが出来た。

(4) チタン箔シートを適用した塗膜の衝撃性と損傷部の耐食性の検討

衝撃試験によって衝撃性を検討した結果、チタン箔の厚さを大きくすることで、チタン箔に貫通孔が出来にくくなりチタン箔シートを含む塗膜の耐衝撃性が向上できた。

衝撃による損傷部と切り込み傷による損傷部の耐食性を促進試験によって確認した。その結果、切り込み傷による損傷に比べて衝撃による損傷部は、腐食しやすいことがわかった。

チタン箔シートを適用した塗膜の切り込み傷による損傷は、腐食した鋼材であっても下地処理をSa2.5

程度施すことで、腐食していない鋼材のそれと同等の耐食性を示した。

(5) 塗膜にチタン箔シートを適用した塗装作業の施工性の検討と暴露試験

施工性を確認するために大型試験体と腐食鋼材試験体に施工を行った。その結果、腹板やフランジなどでは良好に施工を行えた。しかし、添接部では、チタン箔シートにしわなどが生じた。

また、施工した試験体を暴露させチタン箔シートを適用した塗膜の耐久性を確認した。チタン箔シート、塗膜とも異常は見られず良好であった。チタン箔シート端部に施したパテ材によるシーリングも異常は見られず良好であった。

以上の研究成果として、チタン箔シートによる重防食塗装の耐食性補強マニュアル(案)をまとめた。

以下にマニュアルの目次を示す。

1. 総則
 - 1.1 適用範囲
 - 1.2 用語
2. チタン箔シートの重防食塗膜への適用
 - 2.1 適用の基本
 - 2.2 チタン箔シート
 - 2.3 チタン箔シートを適用した防食設計
 - 2.4 新設塗装への適用
 - 2.5 既設橋梁の塗替塗装への適用
3. 施工及び施工管理
 - 3.1 新設橋梁への施工
 - 3.1.1 施工手順
 - 3.1.2 工場での施工
 - 3.1.3 現場施工
 - 3.1.4 その他
 - 3.2 既設橋梁への施工
 - 3.2.1 塗装仕様と施工手順
 - 3.2.2 施工
 - 3.3 施工管理
 - 3.3.1 品質管理
 - 3.3.2 施工管理
4. 維持管理
 - 4.1 一般
 - 4.2 点検種類
 - 4.3 点検結果の記録
 - 4.4 点検結果の評価
 - 4.5 応急処置

5. チタン箔シートの補修

- 5.1 一般
- 5.2 補修作業
 - 5.2.1 施工手順
 - 5.2.2 施工
- 5.3 施工管理

今後、チタン箔シートが実際に鋼構造物防食に広く適用され、この技術が鋼構造物防食の LCC 削減に大きく寄与することを希望する。

参考文献

- 1) (社)日本道路協会：鋼道路橋塗装・防食便覧、2005.12
- 2) 小倉義雄、守屋進：鋼橋の金属被覆による耐食性向上に関する検討、(社)日本道路協会、第 25 回日本道路会議、2003.10
- 3) 小倉義雄、守屋進：チタン箔塗膜弱点部の補強に関する検討、(社)日本鋼構造協会、第 26 回鉄鋼塗装討論会、2003.10
- 4) 船山嘉実、木下和宏：チタン箔粘着による鋼構造物防食法の開発、(社)日本チタン協会、チタン Vol.51 No.3、2003.7
- 5) 小倉義雄、守屋進：チタン箔に高耐候性塗料を被覆した重防食仕様に関する検討、(社)日本防錆技術協会、第 24 回防錆防食技術発表大会、2004.7
- 6) 守屋進、小倉義雄：チタン箔による塗膜弱点部の補強に関する検討、(社)腐食防食協会、第 51 回材料と環境討論会、2004.9
- 6) 守屋進：チタン箔と塗装とを用いた橋梁防食に関する検討、(社)日本道路協会、第 26 回日本道路会議、2005.10