

外壁下地鋼材とドリルねじ接合部の耐久性に関する研究

—外壁固定部の耐食性向上による安全対策—

萩原 裕久 (東日本旅客鉄道株式会社 大宮支社)
 岸元 孝之 / 久保 康弘 (東日本旅客鉄道株式会社 構造技術センター)
 城倉 貴史 (日本製鉄株式会社 建材開発技術部)
 中島 一浩 (株式会社ロブテックスファスニングシステム 企画開発部)

1. はじめに

新幹線駅舎の多くは建設後約40年が経過し、老朽化が進んでいる。外壁の仕上材やその下地鋼材 (以下、下地材) の劣化が懸念されるため、一部の駅で外壁仕上材を撤去し、下地材の腐食状況を調査した。

その結果、屋根のかかっている範囲や、図1に示す屋根端部側から雨が吹き込む範囲では、下地材の腐食が認められた。特に外壁仕上材を接合する図2に示すドリルねじの接触部において腐食が進行していた。

下地材の腐食を防ぐためには、壁内部への浸水を防ぐ必要があるが、仕上げ材を貫通して取り付けるドリルねじ部は、表面シーリング材の劣化等により浸水の可能性があり完全な止水対策が難しいと

いう課題がある。

そこで、本研究では腐食の進行しやすいねじ周りに着目し、様々な下地材、ドリルねじの中から耐食性に優れ、接合部の強度が保たれるような組み合わせを把握すること目的とし、各種試験を行った。

2. 耐食性試験

2-1. 試験方法

2-1-1. 複合サイクル試験

耐食性を確認する試験体として、下地材に使用されること多い鋼材 (表1のA~C) と、比較材として同表Dのステンレス鋼材を選定した。また、ドリルねじは、現在流通している製品の中から同表a~eを選定した。

耐食性の試験方法は、JIS H 8502 (め

っきの耐食性試験方法) により、図3の中性塩水噴霧試験機で塩水噴霧35°C (2時間) →乾燥60°C (4時間) →湿潤(2時間)を1サイクルとする複合サイクル試験 (以下、CCT) とした。試験体は図4のように、下地材にドリルねじをねじの中間付近まで打ち込んだ。試験体は約70度傾斜させ、ドリルねじの頭部が上面に向くように試験機内に設置した。その他、ねじ単体の耐食性を確認するために、図5のように厚さ2mmの樹脂板にドリルねじを打ち込み、同様に試験機内に設置した。

2-1-2. 腐食減量測定方法

CCT200サイクル後の鋼板及びドリルねじの鋼素地の腐食量を比較するため、以下方法により腐食減量率を算出した。

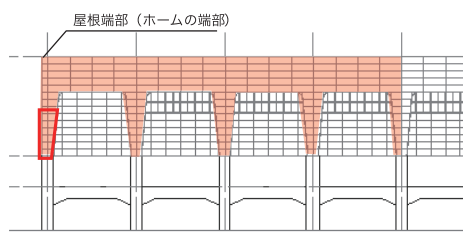


図1 駅舎立面図

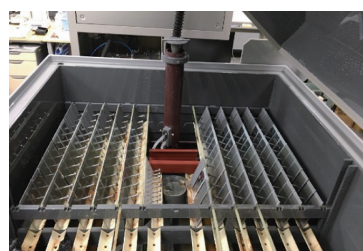


図3 中性塩水噴霧サイクル試験機内部

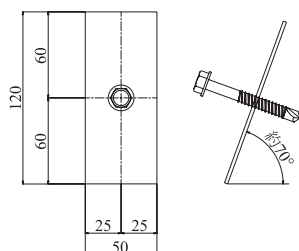


図4 鋼材+ドリルねじ試験体



図2 ドリルねじと下地材の接触部腐食状況



図5 樹脂板+ドリルねじ試験体

表1 試験に用いた下地材とドリルねじの仕様

下地材の鋼材	材質	板厚 (mm)	表面処理または表面仕上げ		膜厚 (実測) μm
			JIS規格番号	JIS規格名称	
A	SS400	2.3	JIS K 5674	鉛・クロムフリーさび止めペイント	61
B			JIS H 8641	熔融亜鉛めっき (HDZ55)	119
C	SGMH400	2.0	JIS G 3323	熔融亜鉛-アルミニウム-マグネシウム合金めっき鋼板及び鋼帯 (K27)	27
D	SUS304		JIS G 4305	冷間圧延ステンレス鋼板 (SUS304/仕上げ2B)	—

ドリルねじ	材質	ねじ径 (mm)	表面処理		膜厚 (製品規格) μm
			JIS規格	処理内容	
a	SWCH18A	6.0 (JIS B 1124)	JIS B 1124	電気亜鉛めっき Ep-Fe/Zn5CM1	5
b			亜鉛・珪素系複合被膜/焼付塗装	8	
c			亜鉛・エポキシ樹脂複合被膜/焼付塗装	12	
d			亜鉛ニッケル合金めっき+合金コーティング+無機系コーティング	9	
e	SUS410		パシベート処理	—	

(1) 鋼板素地の腐食減量率

1) CCT200サイクル後の各鋼板（試験体3体）の腐食状態を目視で確認し、3体のうち腐食状態が中間レベルの鋼板を1枚選定する。

2) その鋼板を中性除錆剤に15時間浸漬し、鋼板表面のめっきや塗膜及び錆を除去した後、電子天秤で「CCT後の鋼板素地重量」を測定する。……①

3) CCT前の各鋼板を上記2)と同様の方法でめっき及び塗膜を除去した後、「CCT前の鋼板素地重量」を測定する。……②

4) 以下の式により、鋼板素地の腐食減量率 (%) を求めた。

$$\text{鋼板素地の腐食減量率 (\%)} = \frac{\{(\text{②}-\text{①})/\text{②}\} \times 100}{}$$

(2) ドリルねじの鋼素地腐食減量率

すべてのドリルねじについて、上記2)～4)と同様の方法でドリルねじの鋼素地腐食減量率を求めた。

鋼板及びすべてのドリルねじで赤錆が確認された。

(3) 鋼板Bと各ドリルねじ

鋼板の赤錆の発生は少なく、ドリルねじも鋼板Aのドリルねじに比べ赤錆の発生が少なかった。

(4) 鋼板Cと各ドリルねじ

表2の赤枠に示すように、各ドリルねじの腐食が少なく、特にドリルねじb、cはドリルねじ単体及び鋼板A、B、Dで確認されたような著しい赤錆の発生はなかった。また青丸で示すドリルねじdと鋼板の接触部は、鋼板Bのドリルねじよりも鋼板Cのドリルねじの方が赤錆が少なかった。

(5) 鋼板Dと各ドリルねじ

ドリルねじa、b、c、eにおいて著しい赤錆が発生し、また鋼板表面にドリルねじからの流れ錆による赤錆が確認された。このうちドリルねじdのみが発錆が少な

く、異種金属接触腐食の発生を抑制する絶縁性が保たれていた可能性がある。

2-2-2. 鋼板素地の腐食減量率

CCT200サイクル後の鋼板の鋼板素地の腐食減量率の測定結果を図6に示す。

(1) 鋼板A

鋼板Aの鋼板素地の腐食減量率は約30%に達していた。一般に、鋼材板厚の10%が腐食した時点で鋼材が耐用限界に達したとされている¹⁾。

単純に鋼板素地の腐食減量率が板厚減少量と同じであると考えた場合、鋼板Aの鋼板素地の腐食減量率は耐用限界である10%を大幅に超えており、今回の試験体の中では最も耐食性が劣る結果となった。鋼板Aの防錆仕様は、JIS K 5674の鉛・クロムフリーさび止めペイント2回塗り（膜厚60μm以上）であるが、この防錆仕様では十分な防錆効果はなく、この上に中塗り、

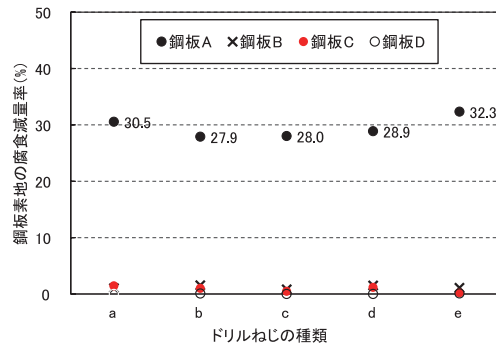


図6 CCT200サイクル後の各鋼板の鋼板素地の腐食減量率

2-2. 試験結果

2-2-1. 外観観察結果

CCT200サイクル後の外観（ねじ先端側）を表2に示す。各試験体の腐食状況は以下の通りとなった。

(1) ドリルねじ単体

ドリルねじd以外は著しい赤錆が確認された。

(2) 鋼板Aと各ドリルねじ

表2 CCT200サイクル後の試験体外観写真

CCT200 サイクル後		ドリルねじ				
		a	b	c	d	e
ドリルねじ単体						
鋼板	A さび止め ペイント					
	B 溶融亜鉛 めっき					
	C 高耐食 めっき					
	D SUS304					

ドリルねじの赤錆が他の鋼板に比べて少ない

上塗り用塗料を組み合わせることで初めて十分な機能を発揮されると言われている²⁾。今回の試験結果はそれを裏付けるものとなった。

(2) 鋼板B、C

鋼板B、Cの鋼板素地の腐食減量率は1~2%であり、鋼板素地の腐食はほとんど進行していなかった。これは、めっきの犠牲防食が働き、鋼板素地を保護したためであると考えられる。特に、鋼板Cのめっき層は亜鉛-アルミニウム-マグネシウム合金めっきから成り、表面に形成される緻密な腐食生成物が保護皮膜の役割を果たすことにより、亜鉛めっきの約4倍の耐食性を有している³⁾。

(3) 鋼板D

鋼板Dの鋼板素地の腐食減量率は1%以下であった。これは、ステンレス鋼板表面の不動態皮膜による防錆効果と言える。

なお、SUS304は耐食性に優れるが、ドリルねじの締結時に発生する摩擦熱によってドリルねじの先端が軟化して打込みが難しいなど、導入には課題がある。

以上の結果より、耐食性の高い下地材としては、今回の試験条件では鋼板Bまたは鋼板Cとするのが良いと言える。ただし、鋼板Bの溶融亜鉛めっきを厚くするには母材も厚くする必要がある。

2-2-3. ドリルねじの鋼素地腐食減量率

ドリルねじの鋼素地腐食減量率の測定結果を図7に、除錆後のドリルねじの外観写真を表3に示す。

(1) 鋼板A、Dのドリルねじ

鋼板A、Dのドリルねじの鋼素地腐食減量率は、鋼板B、Cよりも多くなった。特に、ドリルねじa、b、cの鋼素地腐食減量率は20%を超え、ねじ山も鋼板との接触部以外はほとんど消失していた。一方、ドリルねじdの鋼素地腐食減量率は5%未満であり、ねじ山の多くが残存していた。また、ドリルねじeの鋼素地腐食減量率は6~7%であった。

(2) 鋼板B、Cのドリルねじ

鋼板B、Cのドリルねじの鋼素地腐食減量率は鋼板A、Dや後述のドリルねじ単体と比べ少なく、ねじ山の多くが残存していた。これはめっきの犠牲防食がドリルねじにも働いたためと思われる。特に鋼板Cに打

ち込まれた各ドリルねじの鋼素地腐食減量率は、すべての鋼板の中で最小であった。

図8にCCT200サイクル後のドリルねじbのねじ先端側の外観写真を示す。鋼板C以外の鋼板のドリルねじには赤錆が発生していたが、鋼板Cのドリルねじには赤錆はほとんど確認されなかった。これは亜鉛めっきより高い耐食性を有する亜鉛-アルミニウム-マグネシウム合金めっきの成分が犠牲防食作用によりドリルねじを覆い、ドリルねじの腐食を抑制したと考えられる。このことは、仮にドリルねじが打ち込まれる際にドリルねじ表面に損傷があっても、鋼板Cでは犠牲防食作用によりねじ山が保護されることを示唆している。

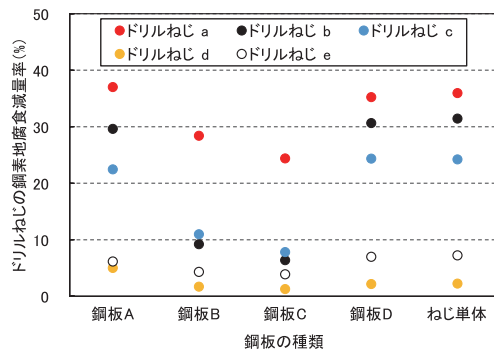


図7 CCT200サイクル後のドリルねじの鋼素地腐食減量率

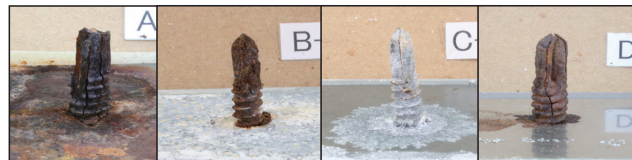


図8 各鋼板におけるドリルねじbの外観写真

表3 ドリルねじの外観写真 (%の数値はドリルねじの鋼素地腐食減量率を示す)

		ドリルねじ					
		a	b	c	d	e	
CCT前	除錆剤浸漬前						
	除錆剤浸漬後						
CCT200 サイクル後	ねじ単体	36.0%	31.4%	24.2%	2.2%	7.2%	
	鋼板	A さび止め ペイント	37.0%	29.6%	22.4%	4.9%	6.1%
		B 溶融亜鉛 めっき	28.4%	9.2%	11.0%	1.7%	4.3%
		C 高耐食 めっき	24.4%	6.4%	7.8%	1.2%	3.9%
		D SUS304	35.2%	30.6%	24.3%	2.1%	7.0%

(3) ドリルねじ単体

ドリルねじ単体の鋼素地腐食減量率は、鋼板A、Dのドリルねじと同様の傾向を示した。

以上の結果より、ドリルねじdの鋼素地腐食減量率はいずれの鋼板に対しても5%未満であり、優れた耐食性を有していることが分かった。

3. 引張耐力試験

3-1. 試験方法

CCT100・200サイクル終了後、除錆せずに万能試験機で引張耐力を測定した。実験は図9のように、治具にドリルねじ試験片を設置し、ドリルねじ頭部を万能試験機(SHIMADZU製UH-200kNXR)で引張載荷を行った。載荷速度は10mm/minとした。

3-2. 引張試験結果

引張試験後の試験片は、ドリルねじが鋼板から引抜ける破壊性状であったが、鋼板が面外方向に変形し明確な降伏点が現れないため、本稿では、ドリルねじ接合部の降伏引張耐力を試験における最大荷重の70%と定義した⁴⁾。

また、ドリルねじ接合部の短期許容引張耐力は、鋼板の板厚が2.3mm、ドリルねじ径が6.0mmの場合は2.32kNである⁵⁾。図10から図13に、CCT前、100サイクル後、200サイクル後の降伏引張耐力(3体の平均値)と短期許容引張耐力2.32kNを示す。

図10に示す鋼板Aの場合、すべてのドリルねじで引張耐力の低下が認められ、

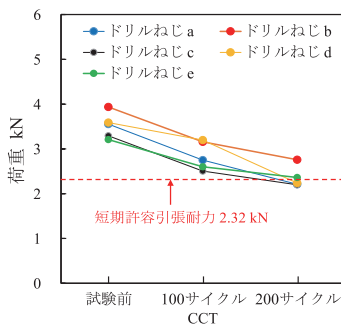


図10 鋼板Aの引張試験結果

CCT200サイクル後には、短期許容引張耐力よりも小さくなるケースがあった。

一方、図11、図12の鋼板B、Cは、著しい引張耐力の低下は認められなかった。

図13の鋼板Dも同様に引張耐力の低下は認められなかった。なお、鋼板Dは規格により板厚が2.0mmのためその他の鋼板より引張耐力が小さい。

図14に示すCCT200サイクル後の引張耐力保持率{(200サイクル/試験前)×100}は、鋼板Aの場合、62%から74%であり、他の鋼板と比べて著しく引張耐力が低下している。

鋼板及びドリルねじの耐食性は、ドリルねじ接合部の引張耐力に影響を及ぼすことが分かった。

4. まとめ

本研究で明らかになった耐食性試験結果及び引張耐力試験結果のマトリックスを表4に示す。鋼板素地の腐食減量率及びドリルねじの鋼素地腐食減量率は、それぞれ5%、10%を閾値とし、引張耐力保持率は95%、90%を閾値として判定を行った。また鋼板とドリルねじの外観は、赤錆の有無による評価とした。その結果、下地材には鋼板C (JIS G 3323/溶融亜鉛-アルミニウム-マグネシウム合金めっき鋼板) を、ドリルねじはd (亜鉛ニッケル合金めっき+合金コーティング+無機系コーティング) を用いた組み合わせが、今回の試験条件の中では最適と考えられる。なお、今回の試験では、鋼板Cは日本製鉄

(株)のZAM®を、またドリルねじdの表面処理は(株)ロブテックスファスニングシステムのカエラー®LBFSを用いた。

本研究では、外壁下地鋼材とドリルねじ接合部の耐久性向上について実験的に検討を行い、その特性を明らかにしたが、外壁の耐用年数やコスト及び施工条件なども考慮し、本研究で得られた知見を参考に、下地材とドリルねじの最適な選定を検討したい。

参考文献

- (財)国土開発技術研究センター：鉄骨造建築物の耐久性向上技術、技報堂出版、P75、1986年6月
- 日本建築学会：鉄骨工事技術指針・工事現場施工編、P307、2018年1月
- 清水剛、吉崎布貴男、三吉泰史、安藤敦司：日新製鋼技術、No85、P15、2004年
- 日本建築学会：鋼構造許容応力度設計規準、P48、2019年
- 一般社団法人日本鉄鋼連盟：薄板軽量形鋼造建築物設計の手引き第2版、P189、2014年3月

「ZAM」は、日本製鉄(株)の登録商標です。

「カエラー」は(株)日本ラスパートの登録商標です。

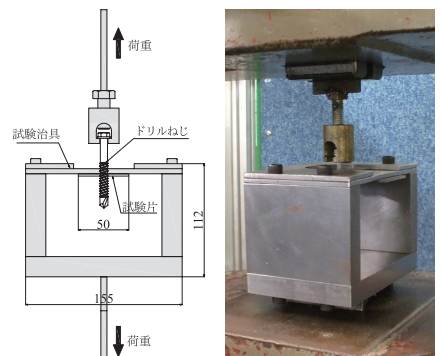


図9 引張試験方法

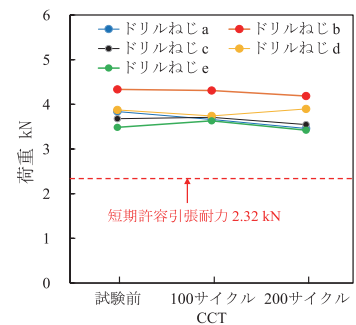


図12 鋼板Cの引張試験結果

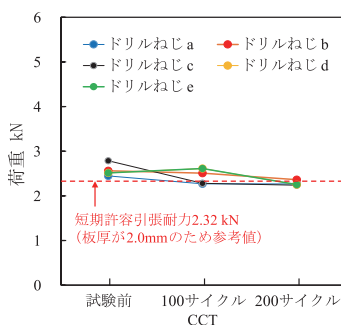


図13 鋼板Dの引張試験結果

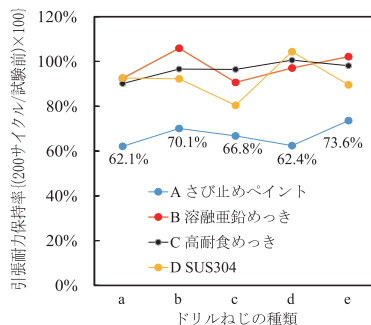


図14 引張耐力保持率

表4 外壁接合部の耐食性と耐力

鋼板	評価項目	ドリルねじ					
		a	b	c	d	e	
A	耐食性	鋼板*	×	×	×	×	×
		ドリルねじ**	×	×	×	●	△
	外観***	鋼板	×	×	×	×	×
B	耐食性	鋼板	●	●	●	●	●
		ドリルねじ	×	△	×	●	●
	外観	鋼板	●	●	●	●	●
C	耐食性	鋼板	●	●	●	●	●
		ドリルねじ	×	△	△	●	●
	外観	鋼板	●	●	●	●	●
D	耐食性	鋼板	●	●	●	●	●
		ドリルねじ	×	×	×	●	△
	外観	鋼板	△	△	△	●	△
引張耐力****		鋼板	△	△	×	●	×

*鋼板素地の腐食減量率 ●5%未満 △5%以上10%未満 ×10%以上
**ドリルねじの鋼素地腐食減量率 ●5%未満 △5%以上10%未満 ×10%以上
***外観 ●白錆または軽微な赤錆 △赤錆あり ×激しい赤錆
****引張耐力保持率 ●95%以上 △95%未満90%以上 ×90%未満