組み立てた鉄筋の防錆に関する暴露試験

角 陸 純 一*

概 要 増築工事がある場合、あるいは工事が途中で中断する場合、組立途中の鉄筋を比較的長期間にわたり大気中にさらすことがあり、鉄筋の錆びが問題となる。そこで、市販の各種防錆材およびその他の防錆法について、千葉の流山と船橋、東京の砧、そして沖縄の4か所で2年間にわたる暴露試験を行い、鉄筋の錆びの発生状況について調べ、それぞれの効果を検討した。また、各種防錆材を塗布した鉄筋について付着試験を行い、付着性能への影響を調べた。

キーワード：鉄筋、錆び、防錆、付着

1. はじめに

建築工事では、増設工事（2期工事等）が予想される場合に梁やスラブ鉄筋を1期工事の躯体コンクリートから露出させた状態にすることがある。一方、アメリカのサブプライムローンに端を発する世界的な経済不況に日本も巻き込まれ、建築工事では工事途中で施工が中断する事態に陥るケースが生じている。工事が中断する場合、鉄筋コンクリート構造物では組み立て途中の柱、梁、壁、床等の鉄筋を大気中にさらすこともあるため、時間の経過とともに鉄筋に錆びが発生し、その錆びが進行する。

JASS 5では、鉄筋加工において損傷のある鉄筋は用いないと規定している。この損傷には過度な錆びを含み、構造設計で必要とする降伏点または耐力が不足することがあるので使用しないと解説している。組み立てた鉄筋を比較的長期間にわたり大気中にさらす場合、施工者や工事監理者は予想される期間内で過度な錆びが生じるかどうかを検討し、必要ならば防錆対策を講じる。しかしながら、コンクリート中の鉄筋の腐食に関しては数多くの試験が実施されているものの、大気中に暴露された鉄筋の腐食および防錆材の効果に関する試験データは少ない。

筆者は、大気中に暴露された鉄筋の腐食状況および市販されている鉄筋の防錆材の効果を検討するため、2年間にわたる鉄筋の暴露試験を実施したので、その結果について述べる。

2. 試験の概要

2.1 試験体の概要

暴露した鉄筋の経年による錆びの発生状況を調べるため、D25鉄筋に関してSD 345、SD 390、SD 490の3種類を試験要因とした。防錆方法としては、ポリ塩化ビニール製で熱で収縮するチューブ製品、亜鉛メッキ、ステンレス鉄筋の他にセメント系塗材（主成分はモルタル）としてA社のJ、HJ製品、樹脂系塗材（主成分は脂肪族

化合物と石油系溶剤）としてB社のK、HK、L、M製品、C社のN製品を選び暴露試験を行った。防錆材を塗布した鉄筋はSD 345鉄筋でD 13、D 25、D 38の3種類の径とした。塗り厚さに関して量や厚さによる管理は現場では難しいと考えられる。現場では防錆材を刷毛で塗ると考えられるため、刷毛塗りで1回塗りと2回塗りの2種類で塗厚を比較した。また、チューブ製品と亜鉛メッキはSD 345 D 25鉄筋を使用し、ステンレス鉄筋はD 25鉄筋、SD 345相当の鉄筋を使用した。

2.2 暴露試験の概要

JCIでは、コンクリート中の鋼材の腐食防食に関する研究を目的とした暴露試験場の規準を定めている¹⁾。区分Aの海水が接する飛沫帯から区分Dの内陸部まで幅広い暴露試験場を想定しているが、区分Cの海岸線に建築物を建設する場合には特殊な環境として設計時に検

表-1 暴露試験体の一覧

防錆の方法			鉄筋径		
			D 13	D 25	D 38
防錆材なし	SD 345			○	
	SD 390			○	
	SD 490			○	
防錆塗材 モルタル系	J 製品	1回塗り	○	○	○
		2回塗り	○	○	○
	HJ 製品	1回塗り	○	○	○
		2回塗り	○	○	○
	K 製品	1回塗り	○	○	○
		2回塗り	○	○	○
防錆塗材 樹脂系	HK 製品	1回塗り	○	○	○
		2回塗り	○	○	○
	L 製品	1回塗り	○	○	○
		2回塗り	○	○	○
	M 製品	1回塗り	○	○	○
		2回塗り	○	○	○
	N 製品	1回塗り	○	○	○
		2回塗り	○	○	○
その他の 防錆方法	チューブ			○	
	亜鉛メッキ			○	
	ステンレス			○	

* かどりく・じゅんいち／清水建設(株) 生産技術本部 品質管理部
グループ長（正会員）

討を行うので、一般的な建築物は区分Dに相当する環境で建設され则认为られる。今回の試験は、区分Dの中で海岸から離れている地域（千葉県流山市）、海岸から離れているが排気ガス等が多いと认为られる地域（東京都世田谷区）、海岸から比較的近い地域（千葉県船橋市）、海岸から比較的近く降雨も多い地域（沖縄）の4か所で行った（図-1）。

暴露試験では、防錆材を塗布した鉄筋および被覆鉄筋等を防錆材を塗布しない鉄筋とともに写真-1に示すように木製の台に立てて置き、最初の6か月間は1か月ごとに、以後9か月、12か月、18か月、24か月で錆びの発生状況を調べた。また、防錆材を塗布しない鉄筋については、暴露試験開始時と2年後に重量を計測した。

図-1 暴露試験場所

写真-1 暴露試験状況（沖縄）

3. 鉄筋の錆び状況

3.1 錆びの進行状況

防錆材を塗布しない鉄筋の錆び発生状況として、海岸から比較的近い船橋で暴露した鉄筋の錆び状況の変化を写真-2に示す。

錆びは、1か月目で横筋上を中心に発生する。これは、横筋上の黒皮が鉄筋を移動する際に傷つくためであると考えられる。2か月目には、錆びが節間の表面にも発生した。4か月目には節間の黒皮部分の面積が半分以下に

写真-2 錆びの進行状況

Exposure Test of Reinforcing Bars on Rust Inhibitor

By J. Kadoriku

Concrete Journal, Vol.47, No.12, pp.26~32, Dec. 2009

Synopsis Recently some construction of new buildings were interrupted by the depression. In such case many reinforcing bars are exposed in the air on the way to construction, and it is possible that their bars are covered with rust. This paper describes the results of exposure test on reinforcing bars which were exposed in the air. Tests carried out at four places for 2 years. Their places were Funabashi in Chiba, Nagareyama in Chiba, Setagaya in Tokyo, and Okinawa. We examined the states of rust on reinforcing bars, and the effect of some rust inhibitor.

Keywords : reinforcing bar, rust, rust inhibitor, bond

写真-3 錆びの発生状況の比較

なり、6か月目には黒皮の部分がほとんど見えない程度に錆びが進行した。1年目には全面に錆びが発生している状態であったが、2年目でも錆びの状況はあまり変化していない。

JCIでは、コンクリート中の鋼材の腐食評価方法の規程において、均一腐食と局部腐食を定義している²⁾が、2年目の鉄筋の錆び状況を見ると、不均一な凹凸や孔食は見られなく、JCIの定義する均一腐食の状況にあると考えられる。

3.2 錆び発生状態の地域比較

6か月目と1年目の錆び発生状況について、流山、世田谷、船橋、沖縄の比較を写真-3に示す。

海岸から離れた流山と世田谷では6か月目で錆びが発生している部分の面積は半分以下であり、1年目でも特に世田谷の場合、黒皮部分の面積がほぼ半分程度である。これに対して、比較的海岸に近い船橋では6か月目でほぼ全面にひび割れが発生し、1年目では黒皮が見えない状況である。沖縄では6か月目で若干黒皮が見える状態だが、1年目では全面に錆びが発生している。沖縄は琉球大学構内で、海岸からの距離は船橋ほど近くはないが、外洋に面しており、降雨や気温等の影響もあり、錆び

写真-4 錆びの鉄筋種別による比較

表-2 鉄筋の錆び発生による重量変化

	SD 345			SD 390			SD 490		
	鉄筋重量	変化	率%	鉄筋重量	変化	率%	鉄筋重量	変化	率%
1	1 879.5 g	3.3 g	0.18	1 893.9 g	1.7 g	0.09	1 895.8 g	3.6 g	0.19
2	1 865.7 g	3.2 g	0.17	1 890.8 g	2.0 g	0.11	1 893.0 g	3.6 g	0.19
3	1 865.2 g	3.9 g	0.21	1 892.9 g	2.1 g	0.11	1 891.7 g	3.8 g	0.20
4	1 864.0 g	3.1 g	0.17	1 895.7 g	1.7 g	0.09	1 893.4 g	3.5 g	0.18
5	1 869.9 g	2.8 g	0.15	1 893.8 g	1.5 g	0.08	1 891.3 g	3.6 g	0.19
	平均		0.18	平均		0.10	平均		0.19

の進行が若干船橋より早かったものと考えられる。

3.3 錆び発生状態の鉄筋種別による比較

1年目と2年目の錆び発生状況について、船橋での鉄筋種別による比較を写真-4に示す。

SD 345鉄筋が竹節鉄筋であるのに対し、SD 390鉄筋とSD 490鉄筋はネジ節鉄筋であるため比較が難しいが、SD 345鉄筋に比べ錆び発生状況の差異はほとんどないと思われる。

3.4 錆び発生による重量変化

表-2に沖縄で暴露試験を実施した防錆材を塗布していない鉄筋について試験前と2年経過後の重量変化とその変化割合を示す。

重量減少割合は、SD 345鉄筋で0.18%、SD 390鉄筋で0.10%、SD 490鉄筋で0.19%となった。

JIS G 3112では、鉄筋コンクリート用棒鋼の質量差としてD 16以上D 29未満では±5%と規定している。この値から判断すると、沖縄のように環境的に厳しいと考えられる地域においても錆び発生による鉄筋の重量減少はけた違いに小さく、2年程度の暴露であれば錆び発生による構造的な影響は無視できる程度と考えられる。

4. 防錆材の効果

4.1 モルタル系防錆材

モルタル系防錆材であるA社のJ製品について船橋での暴露試験結果を写真-5に示す。

(a) J製品 1回塗り 6か月

(b) J製品 1回塗り 1年

(c) J製品 1回塗り 2年

(d) J製品 2回塗り 6か月

(e) J製品 2回塗り 1年

(f) J製品 2回塗り 2年

写真-5 モルタル系防錆材 (J製品) 塗布鉄筋の錆び状況

(a) HJ製品 1回塗り 6か月

(b) HJ製品 1回塗り 1年

(c) HJ製品 1回塗り 2年

(d) HJ製品 2回塗り 6か月

(e) HJ製品 2回塗り 1年

(f) HJ製品 2回塗り 2年

写真-6 モルタル系防錆材 (HJ製品) 塗布鉄筋の錆び状況

1回塗りでは6カ月で錆びの発生が見られるのに対し、2回塗りでは6カ月で錆びの発生はほとんど見られない。したがって、本製品に関しては2回塗りが必要と考えられるが、2回塗りでも1年目には錆びが若干発生しており、2年目には錆びによると考えられる防錆材のひび割れも見られたので長期での防錆としては注意が必要で

(a) 2回塗り D13 1年

(b) 2回塗り D38 1年

(c) 2回塗り D13 2年

(d) 2回塗り D38 2年

写真-7 HJ製品の鉄筋径による錆び状況の比較

ある。

写真-6にはA社のより高性能なモルタル系防錆材HJ製品について暴露試験結果を示す。

1回塗りでは1年目ではJ製品とあまり差異は見られなく、6か月目で錆びが生じている。2回塗りでは、2年目でも錆びの発生は少ない。

以上より、モルタル系防錆材を使用する場合、J製品では2回塗りをして半年、HJ製品では2回塗りをして1年程度は錆びを防ぐことができるものと思われる。

写真-7にはHJ製品2回塗りについて鉄筋径による比較を示す。細径の方が節間に防錆材を厚く塗っている傾向があるが、錆びの状況にはほとんど差異は見られない。

4.2 樹脂系防錆材

樹脂系防錆材としてB社のK製品とHK製品の船橋での暴露試験結果を写真-8と写真-9に示す。

K製品は6か月目で錆びが発生しているが、塗り厚さによる差異は見られない。1年目さらに2年目と1回塗りでは錆びが若干進展しているが、2回塗りではほとんど錆びの進展は見られない。初期の錆びは塗る前に鉄筋表面に存在していた水分によるものと考えられ、塗り厚が大きいと外部からの水分と酸素の供給がないため錆びの進展が抑えられるものと考えられる。K製品では2回塗りを行うと、初期に若干の錆びの発生が見られるものの2年目でも錆びの進展を防ぐことができるものと思われる。

HK製品では、6か月目で横節上に若干の錆びが生じているが、K製品に比べると錆びは目立たない。2年目でも横節間に錆びの進展はほとんど見られず、塗り厚による差異も見られない。

写真-10にはB社のL製品の船橋での暴露試験結果を示す。

L製品は1回塗りの場合、6か月目でほとんど目立たない程度の点錆びが数か所生じ、1年目でそれらが目立

(a) K 製品 1 回塗り 6 か月

(b) K 製品 2 回塗り 6 か月

(c) K 製品 1 回塗り 1 年

(d) K 製品 2 回塗り 1 年

(e) K 製品 1 回塗り 2 年

(f) K 製品 2 回塗り 2 年

写真-8 樹脂系防錆材 (K 製品) 塗布鉄筋の錆び状況

(a) L 製品 1 回塗り 6 か月

(b) L 製品 2 回塗り 6 か月

(c) L 製品 1 回塗り 1 年

(d) L 製品 2 回塗り 1 年

(e) L 製品 1 回塗り 2 年

(f) L 製品 2 回塗り 2 年

写真-10 樹脂系防錆材 (L 製品) 塗布鉄筋の錆び状況

(a) HK 製品 1 回塗り 6 か月

(b) HK 製品 2 回塗り 6 か月

(c) HK 製品 1 回塗り 1 年

(d) HK 製品 2 回塗り 1 年

(e) HK 製品 1 回塗り 2 年

(f) HK 製品 2 回塗り 2 年

写真-9 樹脂系防錆材 (HK 製品) 塗布鉄筋の錆び状況

(a) M 製品 1 回塗り 1 年

(b) M 製品 2 回塗り 1 年

(c) M 製品 1 回塗り 2 年

(d) M 製品 2 回塗り 2 年

写真-11 樹脂系防錆材 (M 製品) 塗布鉄筋の錆び状況

立たない程度に錆びの発生を防ぐことができるものと思われる。

写真-11 には B 社の M 製品の船橋での暴露試験結果を示すが、M 製品は 1 回塗りの 2 年目でも錆びの発生はほとんど見られず、1 回塗りでも 2 年程度の期間は錆びの発生を防ぐことができるものと思われる。

写真-12 には C 社の N 製品の船橋での暴露試験結果を示す。1 回塗りでは、1 年目で数か所錆びの発生が見られるが、2 回塗りでは 2 年目でも錆びは発生していない。

以上より、N 製品では 2 回塗りにより 2 年程度は錆びの発生を防ぐことができるものと考えられる。

つ程度に拡大している。2 年目では横節上横節間に錆びが進展している。2 回塗りでは 6 か月目では錆びはほとんど見られず、1 年目に横節上にかすかに錆びの発生が見られるが、2 年目でも錆びの進展は見られない。

以上より、L 製品では 2 回塗りでも 2 年程度の期間は目

(a) N製品1回塗り1年

(b) N製品2回塗り1年

(a) N製品1回塗り1年

(b) N製品2回塗り1年

写真-12 樹脂系防錆材 (N製品) 塗布鉄筋の錆び状況

(a) 塩ビチューブ被覆1年

(b) 塩ビチューブ被覆2年

写真-13 塩ビチューブ被覆鉄筋の錆び状況

5. その他の防錆材の効果

5.1 塩ビチューブ被覆

ポリ塩化ビニール製のチューブを鉄筋にかぶせた鉄筋の船橋での1年目と2年目の錆び状況を写真-13に示す。

1年目でうっすらと錆びの発生が見られるが、2年目では錆びの発生が見られるものとほとんど見られないものがある。つまり、チューブを鉄筋に被せた後に熱湯をかけることによりチューブが収縮して鉄筋に密着するため、水や空気の侵入がなく、2年目でもチューブに破れがなければ錆びは発生しないと考えられる。ただし、チューブをかぶせる際に鉄筋が若干でも濡れていると若干の錆びが発生する恐れがあるので作業時には注意が必要である。また、1年以上チューブを大気中にさらすと劣化のためにチューブが破れる恐れが高くなるので注意する必要がある。

5.2 亜鉛メッキ鉄筋

亜鉛メッキ鉄筋の船橋での暴露試験結果を1年目と2年目について写真-14に示す。

(a) 亜鉛メッキ1年

(b) 亜鉛メッキ2年

写真-14 亜鉛メッキ鉄筋の錆び状況

(a) ステンレス鉄筋1年

(b) ステンレス鉄筋2年

写真-15 ステンレス鉄筋の錆び状況

亜鉛メッキした鉄筋は2年経過した時点でも錆びの発生は見られない。これは、いずれの場所でも同様であった。亜鉛メッキ鉄筋はコスト面で問題となるが、防錆材としては効果が高いといえる。

5.3 ステンレス鉄筋

ステンレス鉄筋の船橋での暴露試験結果を写真-15に示す。

1年目で錆びが見られるが、このような錆びは1、2か月でも見られる。また、2年経過した時点でも生じた錆びの進展がほとんど見られない。これより、ステンレス鉄筋に見られた錆びは近くの錆びた鉄筋の錆びが付着したもらい錆びとも考えられる。ステンレス鉄筋は防錆効果が高いといえるが、現状では一般鉄筋に比べコストが問題となる。

6. 付着試験

6.1 試験概要

各種防錆材を塗った鉄筋について付着性能への影響を調べるため、標準引き抜き付着試験を行った。試験体は日本建築学会の「鉄筋コンクリート終局強度設計に関する資料」に示された各種の標準引き抜き付着試験案³⁾の中から載荷側のコンクリートへの影響を除くことができると考えられる建材試験センター案を採用し、15 cm 角のコンクリートに D 25 鉄筋を埋め込んだもので、載荷時の影響を防ぐため、鉄筋の上部 5 センチ部分は粘土を塗りアンボンド部とした。また、十分な拘束条件での付着性能を検討するため、JCI 試験体案を参考に同じ形状でらせん筋補強した試験体を作製した。検討要因は暴露試験で使用した塗るタイプの防錆材について刷毛塗りの1回塗りと2回塗りで、防錆材を塗った鉄筋以外に3.1の写真-2に示す6か月程度の錆びの発生している鉄筋も検討要因に加えた。

試験は、試験体が破壊するまで単調な引張載荷を

写真-16 付着試験体製作状況

図-2 付着試験体

(a) 無筋試験体

(b) らせん筋試験体

写真-17 付着試験体破壊状況

行った。

6.2 試験結果

無筋試験体はすべてコンクリート表面に付着ひび割れが生じると同時に割裂破壊を生じた。らせん筋補強試験体は付着ひび割れが生じた後も荷重は増加し、最終的には鉄筋が抜けて破壊した。写真-17に破壊状況を示す。

表-3と表-4に付着試験結果を示すが、試験体は各要因について5体あり、それぞれの最大荷重を平均し、さらに母材（防錆材を塗ってない鉄筋）の結果に対する比率で示している。

錆びが生じた鉄筋では、いずれの場合も母材鉄筋より最大荷重が若干増加している。均一錆びが生じた程度であれば、製造直後の黒皮に覆われた鉄筋よりも錆びた鉄筋の方が付着性能が増すと考えられる。

防錆材を塗った鉄筋では、いずれの場合も塗らない場合よりも最大荷重が低下しており、要因によっては逆の場合もあるが、刷毛2回塗りの方が低下率も大きい傾向が見られる。これより、防錆材を塗った場合には付着性能が低下するものといえる。試験体数が少ないため、定量的な評価は難しいが、土木学会ではエポキシ被覆鉄筋で0.85倍の付着性能を評価しており¹⁾、この程度の付着

表-3 付着試験結果（無筋）

要因	母材	錆び	J 1 回	J 2 回
比率	1.00	1.02	0.96	0.87
要因	HJ 1 回	HJ 2 回	K 1 回	K 2 回
比率	0.91	0.80	0.77	0.90
要因	HK 1 回	HK 2 回	L 1 回	L 2 回
比率	0.91	0.81	0.81	0.86
要因	M 1 回	M 2 回	N 1 回	N 2 回
比率	0.86	0.86	0.77	0.68

表-4 付着試験結果（らせん筋）

要因	母材	錆び	J 1 回	J 2 回
比率	1.00	1.02	0.95	0.89
要因	HJ 1 回	HJ 2 回	K 1 回	K 2 回
比率	0.88	0.96	0.95	0.88
要因	HK 1 回	HK 2 回	L 1 回	L 2 回
比率	0.92	0.89	0.97	0.95
要因	M 1 回	M 2 回	N 1 回	N 2 回
比率	0.96	0.97	0.88	0.78

性能の低下を見ておく必要があるものと思われる。

7. ま と め

鉄筋の暴露試験を行った結果、錆びの発生には海岸からの距離が影響すること、錆びの発生が最も激しい沖縄で2年経過した後も重量変化は0.2%以下であり、断面欠損は構造的に問題とならないことがわかった。また、各種防錆方法について防錆効果がわかった。

8. あとがき

鉄筋の錆びについて2年程度の暴露では構造的に問題となるほどの断面欠損はしないことがわかった。しかしながら、我が国では美観上の観点から、また錆びた鉄筋をそのままコンクリート中に打設することの耐久性に対する不安があるため、長期間鉄筋を大気中にさらす場合にはなんらかの防錆対策が必要と考える設計者が多い。そのような状況で長期間組み立てた鉄筋を大気中にさらす場合に本試験結果は参考となるものと考えられる。

最後に、暴露試験に際し多大なご協力を頂いた琉球大学工学部の山川教授および研究室の学生の皆様に心から謝意を表します。また、防錆材を提供頂いた恒和化学工業(株)、(株)ノックス、エレホン化成工業(株)に心から謝意を表します。

参 考 文 献

- (財)日本コンクリート工学協会：コンクリート構造物の腐食・防食に関する試験方法ならびに規準（案），JCI-SC7 コンクリート供試体の暴露試験場の環境区分に関する規準
- (財)日本コンクリート工学協会：コンクリート構造物の腐食・防食に関する試験方法ならびに規準（案），JCI-SC1 コンクリート中の鋼材の腐食評価方法
- (財)日本建築学会：鉄筋コンクリート終局強度設計に関する資料，pp.43～46，1987年9月
- (財)土木学会：コンクリートライブラリー 112 エポキシ樹脂塗装鉄筋を用いる鉄筋コンクリートの設計施工指針，p.7，2003年11月