

6. 防錆剤を塗布した鉄筋の屋外暴露実験

－その1 実験計画および初期データ－

Outdoor Exposure Test of Reinforcing Rod which Painted Rust Inhibitor

－ Part1 An Experimental Design and Early Data －

塩浜 圭治*¹ 井上 亮輔*² 立松 和彦*¹

要 旨

曲げ加工された鉄筋に4種類の防錆剤を塗布したものを都市部・山間部・海岸部の3箇所にて屋外暴露し、錆の進行を調査した。さらに引抜き試験を実施し、錆の進行に伴うコンクリートとの付着力変化を確認した。その結果、屋外暴露10ヶ月経過時点では、都市部・山間部・海岸部における錆は、ほぼ同状態で進行したが、引抜き試験によるコンクリートとの付着力では、防錆剤種別および錆進行状況によって有意な差が見られた。

キーワード：防錆剤／塗膜厚／屋外暴露実験／付着強度／引抜き試験

1. はじめに

鉄筋の防錆を目的として防錆剤を使用する機会は、建築および土木工事を問わず存在するが、一般的に防錆剤の性能としては、鉄筋の直線部に塗布された場合の結果が示されるにすぎず、曲げ加工部を含む鉄筋に対する防錆効果についての既往の技術データは十分とは言えない。

また、防錆剤の使用によるコンクリートと鉄筋の付着力に関するデータも十分に公開されているとは言えず、防錆剤の正しい使い分けが困難な状況である。

そのため、加工鉄筋に対する各防錆剤の効果および鉄筋とコンクリートとの付着性能を明確にすることを念頭に実験を実施した。

本報ではその1として、実験概要と防錆剤塗布時の塗膜厚、暴露10ヶ月までの錆進行状況、暴露3ヶ月時に実施したコンクリートとの付着強度を調べた引抜き試験の結果概要を報告する。

2. 試験概要

2.1 使用材料

暴露実験に用いた鉄筋は、SD345、D25の異形鉄筋である。メーカーとロットが同じ異形鉄筋をA、B、C、Dの4種の形状に加工したものを用いた。各試験体の加工形状および寸法と試験項目を表-1に示す。試験体AおよびBは曲げ加工を施し曲げ加工部の錆進行状況を調査した。試験体Dには、引抜き試験用のネジ切り加工を施した。

塗布する防錆剤は、同一メーカーの防錆剤で、標準防錆期間の異なる4種類を用いた。表-2に防錆剤の一覧を示す。

表-1 暴露鉄筋諸元

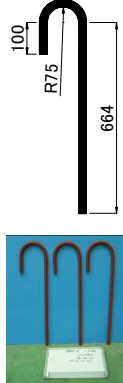
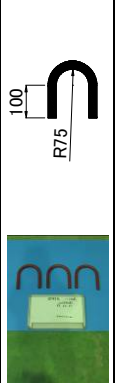
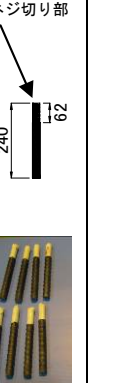
鉄筋諸元	SD345 D25			
試験体名称	A	B	C	D
試験体重量	約 4.2kg	約 2.1kg	約 0.6kg	約 0.8kg
試験体形状および寸法				
試験項目	錆進行状況	腐食減量	腐食減量	付着強度

表-2 防錆剤諸元

種別	(ア)	(イ)	(ウ)	(エ)
標準防錆期間	3～6ヶ月	6～12ヶ月	12～18ヶ月	2～3年
塗色	透明	透明	赤錆色	グレー
主成分	脂肪族系	脂肪族系	水性エポキシ樹脂	特殊変性エポキシ樹脂

*¹技術研究所環境・生産研究グループ *²大阪本店建築部技術グループ

2.2 屋外暴露試験の実施場所

屋外暴露試験を実施する場所は、①都市部（当社技術研究所屋上）、②山間部（当社機材センター内）、③海岸部（某コンクリートプラント敷地内）の3地点である。また、屋外暴露期間中の気象データの集計は気象庁発表のアメダスデータを使用した。屋外暴露試験場所およびアメダス観測地点一覧を表-3に示す。

表-3 屋外暴露試験場所およびアメダス観測地点一覧

暴露試験場所	住 所	使用したアメダス観測所名
都市部	大阪府高槻市大塚町	枚方
山間部	奈良県奈良市蘭生町	針
海岸部	大阪府堺市	堺

2.3 試験体作製

試験体には鉄筋加工業者の工場で作成した鉄筋を使用した。防錆剤塗布前にアセトンにて脱脂を行った。防錆剤の塗布は全てハケ塗りで行った。防錆剤塗布状況を写真-1に示す。試験体Dの引抜き試験用のネジ切り加工部はブチルテープにてサビ防止養生を施した。

防錆剤塗布前後の全試験体の重量測定を実施した。試験体C、Dについては試験体長さの測定を実施した。防錆剤塗布後に、膜厚計にて塗膜厚の測定を実施した。また、鉄筋表面のミルスケール(黒錆)を評価するためにステンレス円盤(φ10cm)に防錆剤を塗布したものを塗膜厚測定の基礎データ用として作製した。

2.4 防錆剤の塗膜厚

防錆剤を塗布し乾燥後、塗膜厚を測定した。測定には、デュアルタイプ膜厚計 LX-300C(ケット科学研究所製)を使用した。測点は各試験体ともフシ部・フシ間部で各5点、端部(切断面)2点とした。試験体における塗膜厚測定位置を図-1に示す。なお、塗膜厚測定の基礎データ用

ステンレス円盤では、中心を含めた6点を測定した。鉄筋表面にはミルスケールが存在するため、無塗布鉄筋を用いミルスケール厚さを計算で求めた。

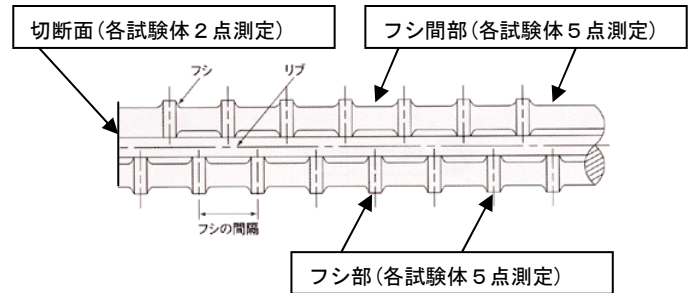


図-1 塗膜厚測定位置

2.5 屋外暴露方法

屋外暴露方法としては、単管を使用した架台を設置し、試験体AおよびBはフック部を利用して架台に引っ掛け、試験体CおよびDは屋外用タイラップを使用し、同架台に吊り下げた。単管にはスポンジとビニールテープを巻き、試験体AおよびBの接触部の影響を少なくした。屋外暴露状況を写真-2に示す。

暴露架台は、試料が日陰等日射のバラつきを受けないように東西南面周囲の構造物からは隔離を取り設置した。海岸部での暴露位置は、海面から高さ約2.0m、水平距離約4.0mの地点である。ただし外海に面しておらず、海側には低木が植えられているため、通常時の潮風の影響はあまり強くない。都市部での暴露位置は交通量の多い幹線道路に面している2階建て建物の屋上であり、風の影響はやや強い。山間部での暴露位置は車両交通等の影響は少なく、風通しは良い。



(1) 試験体A・B



(2) 試験体C・D

写真-1 防錆剤塗布状況



(1) 屋外暴露全景（山間部）



(2) タイラップ使用状況

写真-2 屋外暴露状況

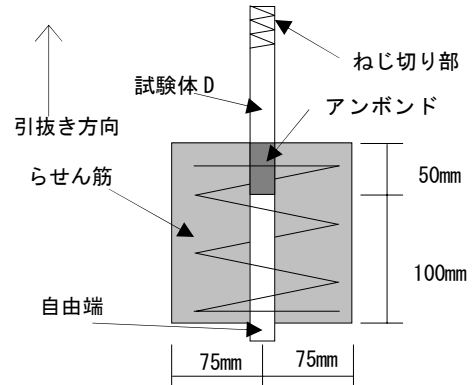


図-2 試験体概要図



写真-3 引抜き試験状況

2.6 引抜き試験による付着強度試験

引抜き試験による付着強度試験の概要を表-4に示す。コンクリート（24-15-20N）の配合を表-5に示す。試験体概要を図-2に示す。試験方法は、日本コンクリート工学会『JCI-SND1：硬化コンクリートの引抜き試験方法(試案)』および建材試験センター『JSTM C 2101：引抜き試験による鉄筋とコンクリートとの付着強さ試験方法』を参考にした。試験は屋外暴露無し(防錆剤塗布のみ)を初期値とし、3ヶ月間屋外暴露したものと比較した。引抜き試験状況を写真-3に示す。

表-4 引抜き試験概要

	初期値試験	3ヶ月暴露試験体
試料	D25、鉛直筋、部材D	
らせん筋	D6、 $\phi 130 \times @40 \times L120$	
試験体寸法	150mm角	
試料コンクリート	24-15-20	
試験体養生	室内封緘(材齢28日脱型)	
参考(圧縮強度)	33.7N/mm^2	
載荷速度	30kN/min以下	
加圧板孔径	40mm	
測定事項	自由端滑り量0.002D(=0.05mm)時の付着応力を求める	

表-5 コンクリート配合表

W/C	s/a	単位量 (kg/m^3)			
(%)	(%)	セメント	水	細骨材	粗骨材
57	44.6	321	183	774	994

3. 試験結果

3.1 屋外暴露試験場所の気象条件

屋外暴露実験を開始した2010年10月から2011年8月までの気象データ集計を表-6に示す。平均湿度についてはアメダスデータではなく大阪、奈良観測所のデータを参考として示した。

山間部における平均気温は他2地点より約4℃低く、最高気温、最低気温ともに同じ傾向を示した。3地点中最低気温は山間部で-10.2℃を、最高気温は都市部で37.2℃を記録した。降雨日数、降水量共に山間部が最も多かったが、降水量の差は降雨日数の差ほど大きくなかった。平均日照時間は山間部が約1時間短い。平均湿度（参考データ）では、3地点での大きな差は見られなかった。

表-6 屋外暴露場所気象データ一覧

屋外暴露箇所	平均気温 (最高) (℃)	降雨日数 (日)	降水量合計 (mm)	平均日照時間 (h)	平均湿度 (参考) (m/s)
都市部	15.4(37.2)	117	1290.5	5.4	62.1
山間部	11.5(33.1)	132	1349.5	4.7	70.6
海岸部	15.9(36.7)	105	1267.5	5.6	62.1

3.2 防錆剤塗膜厚測定結果

防錆剤塗布後に実施した塗膜厚基礎データ用ステンレス板および試験体各位置での防錆剤塗膜厚測定結果および、その標準偏差を表-7に示す。平均ミルスケール厚さは切断面(82点平均)では $7.3\mu\text{m}$ 、フシ部(205点平均)では $39.7\mu\text{m}$ 、フシ間部(205点平均)では $39.3\mu\text{m}$ であった。試験体での測定値から上記ミルスケール厚さを減じたものを塗膜厚とした。

今回の防錆剤塗布作業は、ハケ塗りで実施したが、主成分が脂肪族系(溶剤系)である防錆剤(ア)および(イ)では、粘性も低く、塗布作業は容易であった。塗膜厚のばらつきを示す標準偏差では $1.61\mu\text{m}$ から $6.71\mu\text{m}$ となった。しかし、防錆剤(ア)および(イ)と比較し、粘性が強いエポキシ系を主成分とする防錆剤(ウ)および(エ)では、異形鉄筋のフシ部角や切断面端部等形状変化部における塗膜の残留とともに重ね塗り等の影響により、塗膜厚測定値がばらつく結果となった。防錆剤(ウ)および(エ)での塗膜厚標準偏差は $8.10\mu\text{m}$ から $36.91\mu\text{m}$ となり、防錆剤(ア)および(イ)と比較して大きいものとなった。また、塗膜厚基礎データ用ステンレス板では板状の平滑な面への塗布であり、傾向としては同様であったが、異形鉄筋ほどの差は見られなかった。



写真-4 暴露場所ごとの錆進行状況比較写真
(試験体 B、防錆剤無塗布)

3.3 屋外暴露試験による錆進行状況

屋外暴露開始から約140日(約4.5ヶ月)および約300日(約10ヶ月)経過時に、錆進行状況確認を実施した。曲げ加工部および切断面において無塗布、防錆剤(ア)、防錆剤(イ)では錆が発生したが、防錆剤(ウ)および(エ)では大きな錆は発生しなかった。また、防錆剤(ア)、(イ)ではミルスケールのある直線部においても暴露期間の経過と共に錆が発生した。全体的な錆の進行度合いは防錆剤の標準防錆期間に準ずるものとなった。写真-4に暴露場所ごとの錆進行状況および比較写真の例を、写真-5に防錆剤ごとの錆進行状況および比較写真の例を示す。

表-7 塗膜厚測定結果

試料	防錆剤	平均値 (μm)	標準偏差 (μm)	試料	防錆剤	フシ部(μm)		フシ間部(μm)		端部(μm)	
						平均値	標準偏差	平均値	標準偏差	平均値	標準偏差
塗膜厚基礎データ用 ステンレス板	ア 1層	0.9	0.22	部材A・B・C・D平均 (測定部位ごとのミル スケール厚減算値)	ア 1層	0.4	3.70	1.1	3.81	1.7	2.09
	ア 2層	2.2	1.15		ア 2層	3.3	4.26	4.5	4.67	2.1	1.61
	イ 1層	5.0	1.38		イ 1層	5.8	6.01	7.9	4.77	7.5	6.06
	イ 2層	8.0	1.41		イ 2層	8.2	6.71	7.9	4.88	8.0	5.21
	ウ 1層	15.2	4.54		ウ 1層	19.0	11.46	15.0	9.15	36.3	24.21
(18点平均)	ウ 2層	23.7	8.80		ウ 2層	48.0	19.27	39.4	14.69	48.5	36.91
	エ 1層	10.9	5.04		エ 1層	25.2	18.48	18.1	8.10	24.9	10.72
	エ 2層	34.5	4.22		エ 2層	39.0	15.82	29.5	13.25	39.0	18.38

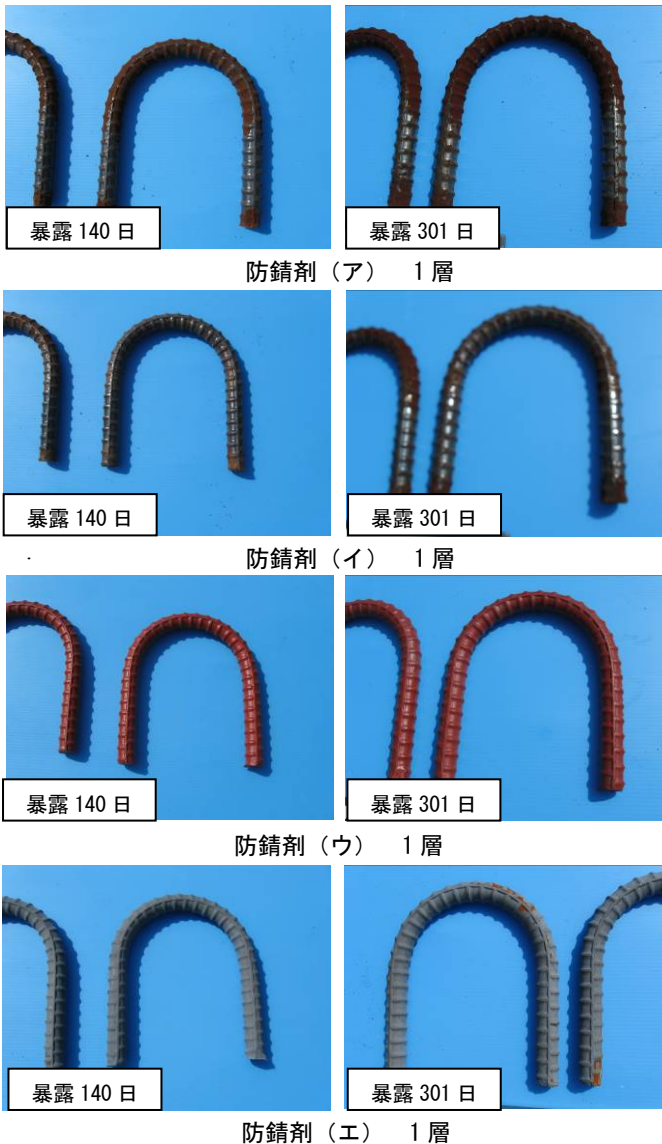


写真-5 防錆剤ごとの錆進行状況比較写真
(試験体 B 暴露場所 (海岸部))

3.4 付着強度試験結果

試験結果概要を表-8 および図-3、図-4 に示す。自由端滑り量が 0.002D(0.05mm)時の荷重値をもとに付着強度を求めた。

初期値試験では、防錆剤を塗ることによる付着強度への影響を調べたが、防錆剤塗布により最大 36%の付着強度の低下が見られた。

3ヶ月の暴露によって、防錆剤無塗布鉄筋では、付着強度は 23%低下した。暴露による付着強度の低下は防錆剤塗布試験体でも見られ、その低下率は最大 63%となった。

防錆剤 (エ) では初期値および 3ヶ月暴露試験体共に無塗布試験体より付着強度は高い結果となった。これは、防錆剤 (エ) の成分中に亜鉛が含まれていることによるものと推察される。

表-8 付着強度試験結果 単位: N/mm²

	初期値	3ヶ月暴露	低下率(%)
無塗布	5.3	4.1	-23
防錆剤(ア)1層	4.0	1.5	-63
防錆剤(ア)2層	3.5	2.8	-20
防錆剤(イ)1層	3.7	1.9	-49
防錆剤(イ)2層	4.4	3.0	-32
防錆剤(ウ)1層	3.4	2.2	-35
防錆剤(ウ)2層	3.7	2.5	-32
防錆剤(エ)1層	6.1	5.1	-16
防錆剤(エ)2層	5.4	5.8	7

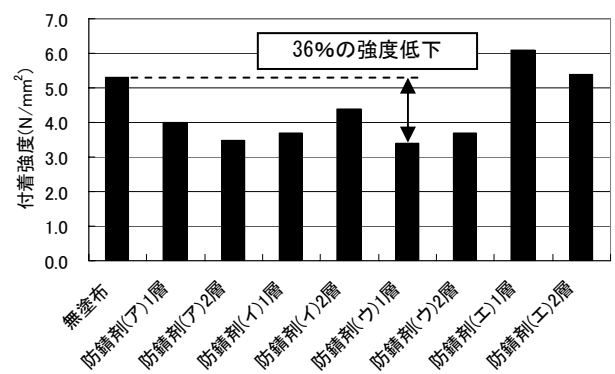


図-3 初期値 (暴露なし) での付着強度比較

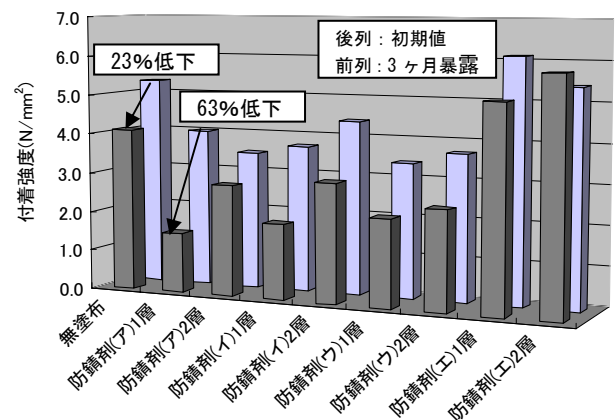


図-4 初期値および3ヶ月暴露の付着強度比較

4. まとめ

今回の実験の範囲では、以下の結果が得られた。

- 1) 防錆剤の主成分が脂肪族系(溶剤系)である防錆剤 (ア)および(イ)では塗布作業は容易であり、塗膜厚の標準偏差も比較的小さいが、エポキシ系を主成分とする防錆剤(ウ)および(エ)では、粘性がやや強いいため塗膜厚は防錆剤(ア)および(イ)よりもばらつきが大きい。

- 2) 屋外暴露により、曲げ加工や切断によって鉄筋表面のミルスケールが剥落した箇所ほど錆が進行する傾向が見られた。
- 3) 暴露期間 10 ヶ月時点では、暴露場所の違いによる錆進行状況に明確な差は見られなかった。
- 4) 防錆剤の標準防錆期間は、大まかに防錆に対する効果を表しており、錆の進行もこれに準ずるものであった。
- 5) 防錆剤を塗布した鉄筋のコンクリートとの付着強度は、成分に亜鉛を含む特殊変性エポキシ樹脂の防錆剤を除き、初期値および 3 ヶ月暴露試験体共に無塗布の鉄筋よりも低下した。防錆剤の種別によって付着強度の低下幅には差が見られた。

屋外暴露実験は現状継続中である。今後も観察を続け、データを充実させていきたい。

[謝 辞]

屋外暴露試験にあたり、試験体の暴露場所を提供していただいた関係各位に感謝します。