

# 琉球大学学術リポジトリ

## コンクリート中の鉄筋の発錆実験 その7 ー実験5 防錆剤添加量が多い場合、その2ー

メタデータ	言語: 出版者: 琉球大学工学部 公開日: 2010-08-04 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 具志, 幸昌, 和仁屋, 晴謹, 伊良波, 繁雄, Gushi, Yukimasa, Waniya, Haruyoshi, Iraha, Shigeo メールアドレス: 所属:
URL	<a href="http://hdl.handle.net/20.500.12000/17689">http://hdl.handle.net/20.500.12000/17689</a>

コンクリート中の鉄筋の発錆実験 その7

—実験V、防錆剤添加量が多い場合、その2—

具志幸昌\* 和仁屋晴謙\* 伊良波繁雄\*

**Experimental Studies on Corrosion of Steel Bars in Concrete**

—Experiments V, In Case of Over-dosage

of Corrosion Inhibitors, 2—

Yukimasa GUSHI, Haruyoshi WANIYA, and Shigeo IRAHA

**Synopsis**

The paper is the 2nd report of the 5th series of experiments on corrosion tests of steel bars embedded in concrete specimens. The concrete of specimens in this series of experiments has contained salt and corrosion inhibitors, and its water-cement ratio is 50%. The cover concrete depth over steel bars is constant through all the specimens and 2cm. The experiments has been planned and undertaken in accordance with the L<sub>9</sub> (3<sup>4</sup>) Table of the Experimental Design. Salt concentration and dosage of corrosion inhibitor are main factors of the experiments, and their levels are 0.03, 0.15, and 0.75% of concrete by weight in salt concentration and two, three, and four times of the standard dosage of the maker specified in corrosion inhibitor content.

The main feature of this series of experiments is high dosage of corrosion inhibitor into concrete to clarify the effect of inhibitor under high salt concentration in concrete.

The following results are obtained at the time when one and half year has passed after embedding steel bars into concretes specimens.

1. Two times dosage of the inhibitor has been enough to inhibit corrosion of steel bars in the concrete which contain 0.03 and 0.15% of salt by weight.
2. Where salt content of concrete specimens amounts to as much as 0.75% by weight, the high dosages of inhibitor of this series of experiments could not restrain the rusting of steel bars, and almost steel bars in the specimens of 0.75% salt concentration have had some corrosion.
3. The effect due to differences of dosages of inhibitor are observed where the specimen concrete contain 0.75% salt by weight. The two

times dosage of inhibitor is most effective for inhibiting corrosion of steel bars, the three times dosage seemed to have adverse effect on corrosion inhibition.

4. The interaction of main factor effects between salt concentration in concrete and dosage of inhibitor has been established in this series of experiments, and we could not talk about the effect of inhibitors on corrosion protection without mentioning the salt concentration at the same time.

## 1. はじめに

本実験シリーズの供試体は1977年12月9日から20日までの間に製作されたものであり、本報告はその1ヶ月目と1ヶ年半目との発錆量測定結果及びそれに対する考察とである。本実験はコンクリート中の鉄筋の発錆実験シリーズの第5番目に位置するもので、特徴としては、防錆剤が非常に多いことがあげられる。コンクリート中の鉄筋の発錆実験は各所で行なわれており枚挙にいとまがないが（前報、琉球大学工学部紀要第18号、コンクリート中の鉄筋の発錆実験 その5の参考文献参照）、本実験のように、コンクリート中の塩分量が多く、また防錆剤添加量が多い場合は他にない。塩分量を多くしたのは、沖縄県内の鉄筋コンクリート構造物のコンクリート中の塩分量の実態調査<sup>1)</sup>にもとづいており、防錆剤添加量を多くしたのは、塩分量が多いコンクリートの中で、何とかして、鉄筋の腐食を防ぐ方法をみつけたいと云う考えにもとづいている。筆者等の過去の実験結果<sup>2)</sup>によると、コンクリート中に含まれる塩分量が多い場合、色々の鉄筋防錆措置、例えば水セメント比を小さくするとか、かぶりを厚くするとか、防錆剤を添加するとか云う措置を講じても、鉄筋の発錆を防止することはできず、鉄筋は材令がふえるにつれ、発錆面積を増大していった。

沖縄県の場合、大きな河川がなく、海砂を使用せざるを得ない立場におかれており、また水事情も悪く、海砂の塩分を洗い落とすための洗砂装置を作っても、フルに利用できず、結局、海砂をそのまま、水洗いせずに使用している。このような状況が30年以上も続いてきた現在、沖縄県内の鉄筋コンクリート構造物は、建築物や土木構造物を問わず、塩害による被害が蔓延しており、事態は深刻なものになっている<sup>3)</sup>。現在、沖縄県内でこう云う事態が生じていると云う認識は深

まりつつあるが、その対策としては、防錆剤の使用が一部実施されているのと、県外産の川砂の使用、又は砕砂と海砂との混用が一部で実施されている他みるべきものがない。本実験は、沖縄県下の鉄筋コンクリート構造物の塩害防止の一方法として、防錆剤多量使用が有効な方法か否かを検討するために行ったものである。

## 2. 使用材料・供試体製作・実験計画

表題の事項については前報<sup>4)</sup>に詳しいのでその概要を述べるにとどめる。

まず、使用材料であるが、A社製の普通ポルトランドセメントの市販品を、3回にわけて購入したが、4週圧縮強度は $380\sim 395\text{ kg/cm}^2$ で、平均 $387\text{ kg/cm}^2$ である、細骨材は台湾産川砂で石灰岩の砕砂がまじっているが、粒度分布はよろしい。従って従来の実験に使ったコンクリートにくらべて、ブリージングは著しく少なく（表-1参照）、比重2.64、吸水率1.0%、粗粒率2.42である。粗骨材は沖縄本島北部の本部半島産出の硬質石灰岩碎石で、比重2.71、吸水率0.24%の優良な粗骨材である。混和剤は防錆剤以外は使用していない。防錆剤は市販品で、従来の実験<sup>5)</sup>で使用しているO<sub>1</sub>と云う記号で呼ばれているものである。コンクリート中に埋め込んだ鉄筋は、門扉に使用されている丸鋼で、SR24に属し、平均引張強度 $45.8\text{ kg/cm}^2$ である。 $\phi 19\text{ mm}$ 筋である。

コンクリートの配合は塩分量・防錆剤添加量を除いて、一定で、水セメント比は50%、スランプは10cmを目標としており、 $9.5\pm 0.5\text{ cm}$ の範囲内に収まっている。

供試体は20（幅）×30（長さ）×12（高さ）cmの直

\* 琉大理工学部記要工学篇，第8号，9号，12号，13号，14号

表-1 4週強度, スランプ, フリージング

実験番号	要因記号		4週の強さ (kg/cm <sup>2</sup> )			スランプ (cm)	フリージング率 (%)	フリージング継続時間 (分)	室温 (℃)
	A	D							
	水	準							
1	1	1	349	343	332	9.0	2.52	210	22.5
2	1	2	331	342	338	9.0	2.21	210	22.0
3	1	3	328	337	323	9.0	2.85	240	22.5
4	2	1	334	339	332	9.5	1.91	180	22.0
5	2	2	339	337	338	8.0	1.93	210	22.5
6	2	3	337	327	336	9.0	2.45	210	22.0
7	3	1	315	324	329	9.0	1.58	180	22.0
8	3	2	323	328	329	10.0	1.76	240	22.0
9	3	3	311	319	309	10.0	1.90	270	22.0

方方で、中に、20cmの長さに切断した鉄筋を3本5cm間隔に平行して並べてある。かぶり厚は一定で2cmである。鉄筋はワイヤーブラシ及び紙やすりで、黒皮をおとし、磨いてあるのを使用した。供試体の作り方等は既報<sup>2)</sup>を参照されたい。その他製作した供試体は7日間室内に保管した後、土木工学ビル屋上に移し、自然の風雨にさらした。その際、鉄筋に近い方の表面(製作時の上側)を上にしてある。

前述のように、水セメント比(50%)と、かぶり厚(2cm)は一定にしてあるので、実験計画上的変量は、コンクリート中の塩分量と防錆剤添加量とである。塩分含有量が少ない供試体は近海より採取した海水(分析による食塩分は3.16%)で塩分を間に合わせ、塩分量が多い場合は食塩をつけ加えた(ねりませ水は海水)。塩分量水準は3で、0.03, 0.15, 0.75% (いずれも、配合時コンクリート重量に対する値で、海砂換算すると数値は約3倍となる)である。防錆剤添加量も3水準で、メーカー規定量の2, 3, 4倍である、以上の要因・水準を実験計画法のL<sub>9</sub>(3<sup>4</sup>)表にわりつけてある。その様子は表-1を参照されたい。

### 3. 実験結果と考察

#### 3.1 強度・フリージング・スランプ

表-1には供試体製作時に測定したコンクリートの種々の性質を記してある。この結果の解析については別報<sup>3)</sup>にのべてあるので、おもだった事項を指摘するとどめておく。まずコンクリートの圧縮強度であるが、

大体において、従来から、琉大土木工学科コンクリート工学教室で得られている値に近い値が得られている。塩分量がふえるに従い強度は減少しており、特にA<sub>3</sub>水準(0.75%)のとき、強度の減少は大きく、統計解析の上でも有意とでている。防錆剤添加量の強度に対する影響は塩分量にくらべて小さいが、防錆剤量がふえるに従い、強度の減少が認められ、統計解析上も有意となっている。しかし、これは、防錆剤添加量がメーカー規定量の2倍から4倍までと多い場合であるから、前の実験シリーズでは、市販防錆剤の添加量は2倍量までなら、強度に殆ど影響がないと云う結果がでている<sup>4)</sup>。実験番号9の供試体のコンクリートは、塩分量・防錆剤添加量ともに強度に対し、最悪の条件なので、強度の減少はやや著しい。

スランプに対する塩分量や防錆剤添加量の有意な影響はみられない。他の実験シリーズでも同じ傾向である。本実験では塩分量水準A<sub>3</sub>の場合、スランプ値は他の水準よりやや大きくなっているが、実験誤差の範囲内にある。

フリージング率に対する防錆剤添加量の影響はかなりみとめられ、添加量がふえるに従い、フリージング率は増大しており、分散分析上でも1%以下の危険率で有意性がみとめられている。特に4倍量のときはフリージングの増加は著しい。フリージング継続時間でも同じことが成立している。しかし、この結果は防錆剤添加量が標準量の2倍から4倍と異常に多い場合のことで、普通使用される添加量では、問題がない<sup>5)</sup>。フリージング率に対する塩分量の影響も顕著で、本実験では塩分量がふえるに従い、フリージング率は減少している。統計解析上でも1%から10%以下の危険率で有意差ありと言うことになっている。本実験では塩分量の各水準間の実際の塩分量差が大きいので、塩分量による影響がはっきりとでている。他の実験シリーズでは、塩分量が海水練り程度まではフリージング率に大差はないと云う実験結果がえられている<sup>6)</sup>。フリージング継続時間ではA<sub>3</sub>>A<sub>1</sub>>A<sub>2</sub>と云う結果になっているが、統計解析上の有意性はみとめられていない。

#### 3.2 発錆試験

1ヶ年半までの発錆面積測定結果を表-2に示す。また表-3は要因水準別の発錆面積合計値を材令順に

表-2 発錆面積 (×10<sup>-1</sup>cm<sup>2</sup>)

実験 順序	実験 番号	わりつけ		材										令											
		要 因		3 ヶ 月			6 ヶ 月			9 ヶ 月			1 ヶ 年			1 ヶ 年 半									
		A	D	合計			合計			合計			合計			合計									
5	1	1	1																						
9	2	1	2																						
4	3	1	3																						
8	4	2	1																						
6	5	2	2																						
2	6	2	3																						
7	7	3	1	14	1	3	18							25	7	3	57	22	13	0	35				
3	8	3	2	62	93	33	188	132	79	50	261	25	74	97	196	87	73	86	463	90	111	98	299		
1	9	3	3	63	11	18	92	37	23	10	70	42	32	22	96	120	15	40	276	44	99	60	203		
合 計							298				331				292				796			638			537

注. 数字記入なきは発錆面積零 \* 6本の鉄筋の発錆面積の和、( )はその1/2

表-3 水準別発錆面積の和の推移 (×10<sup>-1</sup>cm<sup>2</sup>)

材令 水準	3ヶ月	6ヶ月	9ヶ月	1ヶ年	1ヶ年半
D <sub>1</sub>	18	0	0	29	35
D <sub>2</sub>	188	261	196	231	299
D <sub>3</sub>	92	70	96	138	203
A <sub>3</sub>	298	331	292	398	537

表-4 統計的解析の結果

	分 散 分 析				
	3ヶ月	6ヶ月	9ヶ月	1ヶ年	1ヶ年半
A	**	**	**	**	**
D	*	**	**	**	**
A×D	*	**	**	**	**
平 均 値 差 の 検 定					
A <sub>1</sub> ~A <sub>2</sub>	小	小	小	小	小
A <sub>1</sub> ~A <sub>3</sub>	***	***	***	***	***
A <sub>2</sub> ~A <sub>3</sub>	***	***	***	***	***
D <sub>1</sub> ~D <sub>2</sub>	**	**	**	**	**
D <sub>1</sub> ~D <sub>3</sub>	小	小	○	*	**
D <sub>2</sub> ~D <sub>3</sub>	小	**	○	○	*

○ 10%以下の危険率で有意  
 \* 5% " "  
 \*\* 1% " "  
 \*\*\* 0.1% " "

示してある。大体9ヶ月目を除いて、発錆している各実験番号の供試体は材令の経過と共に順調に発錆面積が増加していることが判る。9ヶ月目で発錆面積が減少しているのは、3・6ヶ月目と供試体が異なるためであろう。

分散分析の有意性検定結果を表-4に示す。塩分量、防錆剤添加量、及びそれらの交互作用A×D共に1%以下の危険率で有意な影響ありとなっている。このことは、塩分量・防錆剤添加量共に、鉄筋の発錆に大きな影響力をもつが、両者の交互作用も大きいので、塩分量水準に応じて、防錆剤の防錆効果を評価せよと云うことを意味している。

塩分量について考えると、水準1・2では発錆している鉄筋は1ヶ年半まで1本もない。このことは塩分量0.15%まで、コンクリート中に許容できると云うことではなく、防錆剤をメーカー規定量の2倍以上添加すれば、塩分を0.15%まで含むコンクリート中で鉄筋の発錆を抑制できると云うことなのである。ただし実験I<sup>7)</sup>(塩分量0.1%), 実験II<sup>7)</sup>(0.05%), 実験III<sup>8)</sup>(0.05%但し微量の発錆のみ), 実験IV<sup>9)</sup>及び実験VI<sup>9)</sup>(0.10%少量の発錆のみ)では発錆が生じているので、状況によっては塩分量0.15%以下でも発錆がおりうるわけである。本実験での水セメントが50%と小さいことが、同じような塩分環境で鉄筋を腐食させない、大きな原因であると考えている。その他、スランプが10cm以下でフリージングも各実験シリーズを通じて本実験

が極端に少なかったことも、大いに作用していると思われる。コンクリート中の鉄筋の発錆に対して塩分量が支配的因子であることは、他の実験シリーズと同じであり、そのことは寄与率の推移表(表-5)に示されている。

表-5 寄与率の推移(%)

要因 \ 材令	3ヶ月	6ヶ月	9ヶ月	1ヶ年	1ヶ年半
A	41.51	31.91	38.36	48.27	59.80
D	8.23	15.06	11.60	8.65	10.58
A×D	16.45	30.13	23.19	17.31	21.16
e(誤差)	33.81	22.91	26.85	25.77	8.46

A×Dの交互作用が存在することは、今迄の実験シリーズでも推論された重要な事項であったが、本実験で、はっきりと数字的に示され、かなり大きいことが判明している。しかし、発錆に対する塩分量の寄与はA×Dの交互作用よりはるかに大きいことも同時に示されていることに注目したい(表-5)。また塩分量の発錆に対する寄与が材令の進行と共に増大していることに注目すべきである。これは塩分量水準A<sub>3</sub>での発錆が材令と共に増大しているからであろう。

防錆剤添加量の発錆に対する影響は3ヶ月以後1年半に至るまで分散分析の結果十分認められているが、塩分量にくらべると影響力は小さく、A×Dの交互作用にくらべても終始一貫して小さい。その原因の一つは、防錆剤添加量がメーカー規定値の2倍から4倍までと、多量添加部分に偏しているからであろう。無添加の場合等があれば、もう少し寄与率は大きくなったのではなからうか。先述のように、防錆剤の添加効果は塩分量水準A<sub>1</sub>、A<sub>2</sub>では差がみられず、いずれも、防錆剤としての役割を十分果している。防錆剤添加量の多少の効果は塩分量水準A<sub>3</sub>(0.75%)の時にのみ現われており、いずれの添加量水準も、鉄筋の発錆を防止するのに十分でない。3ヶ月から1年半に至るまで、終始一貫して、最も添加量の少ないD<sub>1</sub>水準(2倍量)のとき、鉄筋の発錆は最少で、次いでD<sub>3</sub>(4倍量)のときが少なく、D<sub>2</sub>のとき、最も多い。0.75%(海砂換算、2.54%)と云う塩分量は海岸近くの構造物にしばしば測定される値であるが、この様な多量の塩分量のとき、D<sub>1</sub>(メーカー規定量の2倍量)がかなり有効に作用することが明らかになったことは、本実験の一つの収穫である。しかしながら、実験Iでは水セメント

比が大きい場合、2倍量の添加で多量の発錆がみられており(塩分量0.50%のとき)<sup>2)</sup>、実験IIでも塩分量0.80%のとき逆効果(防錆剤を多く加える程発錆も多い)現象も指摘されている<sup>7)</sup>ので、0.75%の塩分のとき、防錆剤添加量D<sub>3</sub>が発錆を常に有効に抑制するとは結論できない。

A<sub>3</sub>水準では防錆剤添加量D<sub>2</sub>(メーカー規定量の3倍量)では不十分で、この段階までは防錆剤添加量に関して発錆抑制作用には逆効果現象がみられる、D<sub>4</sub>にすると、やや効果がみとめられてきて、D<sub>2</sub>の時よりも発錆量は3ヶ月以来1年半に至るまで少ない。しかし、D<sub>1</sub>水準にくらべてかなり多く、この傾向は材令の経過と共に強く現われてきている(表-3)。本実験の傾向や、実験I、II等を参照すると、0.75%と云う多量の塩分量に対しては、防錆剤添加量はメーカー規定量の3倍量附近が最も不利で、2倍量はかなり抑制効果がみられ、5~6倍量添加すれば、また発錆をかなり抑制できるのではないかと思われる。しかし、後者の場合、強度やブリージング等、コンクリートの諸性質に悪影響が予想されることは、本報告の前半で述べた通りである。

#### 4. むすび

1ヶ年半までの実験結果によると、防錆剤を多量に添加して、コンクリート中の鉄筋の防錆効果を向上させようとする試みは、あまりうまくいかないと思われる。他の実験シリーズを参照して、塩分がコンクリート中に存在する場合、メーカー推奨量の2倍以上加えても、防錆効果はあがらない。塩分量によっては、多量に防錆剤を加えると、かえって発錆を刺激すると云う結果がえられている。コンクリート中の塩分量0.20%位までは、防錆剤をメーカー規定量の2倍又はそれ以上加えれば(勿論、水セメント比や単位水量を小さくとり、注意深く施工することが必要だが)発錆を抑制又は少量にとどめることができるようである。塩分量が0.50%以上になると、防錆剤をメーカー規定量の2倍又はそれ以上加えることは有害である。塩分量が0.20~0.50%の場合、防錆剤を3~4倍量加えた場合、どんな効果があがるかは、本実験や他のシリーズの実験からは、わからない。

海岸やその附近に位置して、波しぶきや海風に運ばれる塩分のために、コンクリート中の塩分量が硬化後

増加するような構造物に対しては、既存構造物の塩分量から判断してみて、防錆剤を規定量またはそれ以上加えた方がよいか、或は加えない方がよいかは、環境によって違ってくる。

### 参 考 文 献

1. 具志幸昌： 沖縄における鉄筋コンクリート構造物の耐久性，セメント・コンクリート No.363, pp. 5～12, 1977年 5月
  2. 具志・和仁屋・伊良波： コンクリート中の鉄筋の発錆実験 その1, その2, その3, 琉球大学理工学部紀要工学篇, 第15号 pp. 23～56 (1978年 3月), 第16号 pp. 1～41 (1978年 9月), 第17号 pp. 23～47 (1979年 3月)
  3. 具志・和仁屋・伊良波： コンクリート中の鉄筋の発錆実験 (その1), 日本建築学会中国・九州支部研究報告第4号, pp. 17～20, 1978年 2月
  4. 具志・和仁屋・伊良波： コンクリート中の鉄筋の発錆実験 (その2), 土木学会年次学術講演会概要集第5部, pp. 35～36, 1978年 9月
  5. 具志・和仁屋・伊良波： コンクリート中の鉄筋の発錆実験 その5, 琉球大学工学部紀要第18号, pp. 53～59, 1979年 9月
  6. 具志・和仁屋・伊良波： 塩分および防錆剤等がコンクリートの諸性質に及ぼす影響, 琉球大学工学部紀要第18号, pp. 25～36, 1979年 9月
  7. 具志・和仁屋・伊良波： コンクリート中の鉄筋の発錆実験 (実験II), 土木学会第34回年次学術講演会講演概要集第5部, pp. 29～30, 1979年10月
  8. 和仁屋・具志・田野： コンクリート中の鉄筋の発錆実験 (その4), 昭和53年度土木学会西部支部研究発表会講演集, pp. 313～314, 1979年 2月
  9. 具志・和仁屋・伊良波： コンクリート中の鉄筋の発錆実験 その6, 琉球大学工学部紀要第19号 (投稿中), 1980年 3月 (予定)
- 琉球大学工学部紀要第18号 (1979年11月) 追補  
「コンクリート中の鉄筋の発錆実験 その5」の参考文献のうち, 文献番号27) から30) までが脱落していましたので追補します。また, 26) は文献名が30) と入れ替ってましたので修正致します。(紀要18号58頁)
- 26) 具志幸昌：沖縄におけるコンクリート構造物調査報告書, 日本コンクリート会議・海砂に関する調査研究委員会, 1973年 7月
  - 27) 岸谷考一：沖縄県における鉄筋コンクリート造校舎の鉄筋腐食調査, 日本建築学会学術講演梗概集 (東北), pp. 221～222, 1973年10月
  - 28) 具志幸昌：沖縄の鉄筋コンクリート構造物の耐久性～現況調査と考察, その1～, 琉球大学理工学部紀要工学篇第7号, pp. 19～61, 1974年 3月
  - 29) 具志幸昌：沖縄における鉄筋コンクリート橋の変状調査, セメント・コンクリート, No.328, pp. 20～25, 1974年 6月
  - 30) 具志幸昌：沖縄地区における被害状況 (特集＝海砂とコンクリート), コンクリートジャーナル, V Vol. 12, No.10, pp. 61～65, 1974年10月