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5　－防錆剤添加量が多い場合（実験5）　その1－

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, 晴讙, 伊良波, 繁雄, Gushi, Yukimasa, Waniya, Haruyoshi, Iraha, Shigeo
	メールアドレス:
	所属:
URL	http://hdl.handle.net/20.500.12000/17707

コンクリート中の鉄筋の発錆実験　その5
―防錆剤添加量が多い場合（実験V）　その1―

具志幸昌*　和仁屋晴讙*　伊良波繁雄*

Experimental Studies on Corrosion of Steel Bars in Concrete, V
–In Case of Over-dosage of Corrosion Inhibitors (Experiment V), I–

Yukimasa GUSHI, Haruyoshi WANIYA, Shigeo IRAHA

Synopsis

There has been said that the more salt in concrete needs the more dosage of inhibitors in concrete to prevent steels from corrosion. In Okinawa Prefectures, the reinforced concrete structures contain too much quantity of salt in their body concrete, and the serious damages of the structures due to steel corrosion have been prevailing overall the Prefecture.

In this series of experiments, over-dosed corrosion inhibitor is contained in concrete to prevent steels from rusting.

The experimental factors are salt content and dosage of inhibitor in concrete, and the levels of the former are 0.05, 0.15 and 0.75% of salt by weight of concrete and the levels of latter are two, three and four times as much as standard dosage of inhibitor which the makers specify. The experiments have been done in accordance with so-called "Experimental Design".

The two-times-dosage of inhibitor is quite enough to inhibite the corrosion of steels in the concrete containing salt as much as 0.75% by weight. Three-and four-times-dosages are sufficient for preventing steels in the concrete containing as much as 0.15% salt from rusting. But the dosages couldn't inhibite the corrosion of steels in the concrete with 0.75% salt contained.

This result seems to be quite strange, but it is concluded as in Experiments I that "when there are contained much salt (for instance, over 0.50% by weight of concrete in experiments I), the more inhibitor exists, the more corrosion of steels results"

受付：1979年4月28日

*琉球大学工学部土木工学科

Up to 9 month after embedding steels in concrete, an two-times-dosage of inhibitor seems to be quite enough for preventing steels in the concrete with 0.75% salt from rusting. The water cement ratio of 50 % may contribute to the above result.

1．はじめに

防錆効果のある化学物質（亜硝酸ソーダーやクロム酸カリ等）や市販防錆剤を使った場合の防錆効果や，それらの使用がコンクリートの性質に及ぼす影響については色々と研究され，発表されている[11～21]※。筆者も防錆剤の効果を含めて，コンクリート中の鉄筋の防錆方法について一連の研究を行ってきており，一定の成果を収めている[22～29]。一方，沖縄県下の実在鉄筋コンクリート構造物の調査[30～44]によれば，海砂やその他の源泉から由来する食塩分が多量にコンクリート中に入りこみ，鉄筋を腐食させ，構造物に多大の損害を与えている。鉄筋コンクリート構造物の塩害は沖縄県下に慢延している。実在構造物のコンクリート中の塩分量は驚くべき程の量に達しており[26, 30～34, 37～43]，その様な高い塩分量に対しては，筆者のこれまでの研究によれば，通常の防錆措置（水セメント比を小さくする，かぶりを厚くする，防錆剤を使用する等をさす。海砂を洗って塩分を除去することは含まない）では効果があがらないことが判明している。今の所，海砂を洗って塩分量をさげるか，外部から塩分が硬化後のコンクリートに入りこまぬような措置を講じる以外方法はないように思われる。

筆者は現実に存在する海砂の高塩分量[45]に対し適応できる防錆方法はないかと考え，その一つの方法として，防錆剤の大量使用を考えついたわけである。筆者の今迄の研究では，防錆剤の使用はメーカー推奨標準量の2倍量（以下，単に2倍量と呼ぶ）までで，0.05%までの塩分量（これは配合時のコンクリート重量に対するもので，以下，特にことわらない限り，こう云う表現をする）に対しては，他の適切な防錆措置と併用することによって，鉄筋の発錆を有効に抑制できるし，0.10%の塩分量に対しても，2倍量の防錆剤使用は，或程度の発錆はさけられないにしても，顕著な防錆効果が認められている[20, 25, 46]　それ以上の塩分量に対しては，防錆効果は認められても発錆量は多く，2年を出でずして，鉄筋の発錆のため，コンクリートは破壊され，鉄筋に沿う亀裂が生じている場合が多い。また，コンクリート中の塩分が0.5%以上になると，2倍量までの防錆剤の使用なら，防錆剤量が多い程発錆量も多いと云う逆効果現象も一部にみとめられている[20, 29, 46]。これは一部で指摘されているように，防錆剤の使用量が少くても多くても効果がない[47]とか，塩分量にくらべて防錆剤の使用量が少ない時は，局部的な発錆をかえって刺激する[48]とか云われていることに対応する現象であろう。

2．実験計画・供試体製作

本実験では1，で述べた事実をふまえて，防錆剤量はメーカー標準量の2倍量，3倍量，4倍量とし，塩分量は0.03%，0.15%，0.75%の3水準づつとした。実験計画法の直交表L_9（3^4）を用いて，上記2因子をわりつけてある。わりつけの様子および，3ヶ月，6ヶ月，9ヶ月の鉄筋の発錆面積の測定結果は表－1にかかげてある。因子とその水準の内容については表－2に一括して示してある。水セメント比は50%一種でスランプは10cmを目標とした。配合は表－3に示してある通りである。

使用材料のうち，セメントは市販品で普通ポルトランドセメントである。使用の都度購入し，比重試験と強度試験を行った。比重は3.16で4週圧縮強さは380～395kg/cm²，平均387kg/cm²であった。細骨材は沖縄県下で一部使われている台湾産の川砂である。石灰岩の砕砂がまじっている。ブリージングは少ないので，従来の沖縄県産の海砂にくらべ，粒度分布はかなりよいものと思われる。実験Ⅰ，Ⅱで使用した海砂にくらべ比重・吸水量も格段にすぐれている。主な性質を表－4に示しておく。粗骨材は沖縄本島北部の本部半島産出の硬質石灰岩砕石を使用した。粗骨材としては全国レベルでみても良質の方に属する。主な性質を表－5に示す。防錆剤以外の混和材料は使ってない。防錆剤

※単に筆者が手入できた文献のうち、主だったものだけを挙げてある。

表－1　わりつけ及び発錆面積データー(実験Ⅴ)

実験番号	実験順序	列番 (1)要A	(2)因D	データー（発錆面積，×10⁻¹ cm²） 3ヶ月			Σ	6ヶ月			Σ	9ヶ月			Σ	28日強度
1	5	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	341
2	9	1	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	337
3	4	1	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	329
4	8	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	335
5	6	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	338
6	2	2	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	333
7	7	3	1	14	1	3	18	0	0	0	0	0	0	0	0	323
8	3	3	2	62	93	33	188	132	79	50	261	25	74	97	196	320
9	1	3	3	63	11	18	92	37	23	10	70	42	32	22	96	313
		Σ					298				331				292	

$w/c=50\%$　かぶり＝2cm

表－2　因子および水準(実験Ⅴ)

因子	因子記号	水準 1	2	3
塩分量*	A	0.03%	0.15%	0.75%
防錆剤量**	D	2倍量	3倍量	4倍量

注　*　配合時のコンクリート重量に対する値
　　**　メーカ推奨標準量に対する値

表－3　配合表（実験Ⅴ）

粗骨材の最大寸法(mm)	スランプの範囲(cm)	空気量の範囲(%)	水セメント比(%)	細骨材率(%)	単位量(kg/m³) 水 W	セメント C	細骨材 S	粗骨材 G	混和剤(防錆剤)(ℓ/m³)
20	10±1	1.5	50	40.4	197	394	712	1080	6～12

表－4　細骨材の性質

名称	比重	吸水量(%)	粗粒率	粗度、通過百分率，ふるい目の開き(mm) 5	2.5	1.2	0.6	0.3	0.15	Ⅲ
台湾産川砂	2.64	1.00	2.42	100	92	74	53	31	14	0

は市販品で実験Ⅰと同じものである。標準量とあるのは，海砂に対してメーカーが指定してある量である。混練水は沖縄本島の知念半島沖で採取した海水を主として使い，海水中の食塩分を3.16%と考え，不足分を粗製塩（専売公社発売品）で補った。海水中の食塩分はCl^-イオンの化学分析結果から推定したものである。なお，粗製塩の分析表を表－6に示しておく。

コンクリートの混練は全材料を投入してから3分間行った。防錆剤は計量後，混練用水の一部とまぜておいてから，ミキサーに投入してある。

供試体の大きさは20（幅）×12（高さ）×30(長さ)cmの直方体で，実験Ⅰ，Ⅱと同じ大きさである。鉄筋は20cmの長さに切ったものを平行に3本並べて配置し，所定のかぶり（2cm）を保つためには，鋼材で作った定規を使った。鉄筋は19mmの丸鋼でSR 24に属する。引張強さは45.8kg/cm²である。黒皮をワイヤーブラシでおとして，紙ヤスリで仕上げたものを使用してある。供試体は実験Ⅰ，Ⅱと全く同じなので，その他の点については既報[23], [25]を参照してほしい。

供試体は製作後1週間は室内に放置し，その後，土木工学ビル屋上に移し，製作時の上側（鉄筋のある側）を上にして，自然放置した。

表－5　粗骨材の性質

名称	最大寸法(mm)	比重	吸水量(%)	単位重量(kg/m³)	すりへり減量(%)	粗粒率	粒度，通過百分率 ふるい目の開き(mm) 25	20	15	10	5	2.5	Ⅲ
本部砕石	20	2.71	0.24	1,600	21.9	6.51	100	95	83	49	4	1	0

表－6　粗製塩の分析結果

イオン名	Cl^-	Na^+	Mg^{++}	K^+	SO_4^{--}	CO_3^{--}
%	60.3	39.5	0.02	0.02	0.10	0.05

3．実験結果と考察

3ヶ月目，6ヶ月目，9ヶ月目に鉄筋をとり出して，錆面積を測定した。各実験番号毎に3個の供試体から1本づつとり出し，合計3本の鉄筋について測定してある。3ヶ月と6ヶ月とは同一供試体であり，9ヶ月は別の新しい供試体である。供試体のとり出し方は勿論，乱数表を使っての任意抽出であるが，供試体からの鉄筋のとり出し順序は最初の時は端に位置するもの（つまり3ヶ月と9ヶ月がこれに相当する）をとり出し，次は中央のものをとり出した。とり出した後は供試体と同一水セメント比のモルタル（この場合は50%）で補修した後，元の放置場所に戻しておいた。

表－1をみてすぐ判る様に，防錆剤の防錆効果は十分に発揮されていて，零が並んでいる。塩分量水準1と2（0.03%と0.15%）までは防錆剤の各水準とも，防錆効果十分で，9ヶ月に至るも，全然発錆がみられない。

塩分量水準3（0.75%）では様子がかなり違って，どの防錆剤量水準でも発錆がみられる。しかし，防錆剤量によって，防錆効果には大きな差がある。防錆剤が一番少ない水準1つまり（2倍量）のときは3ヶ月でごく微量（最大発錆面積率 1.2%）の発錆をみただけで，6ヶ月，9ヶ月目の試料は全然発錆がない。つまり，0.75%の塩分に対し，D_1（2倍量）は有効に発錆を抑制しているわけである。これに対して，防錆剤量の多い水準2（3倍量）と3（4倍量）とでは，かなりの発錆が3ヶ月からみられ，漸増のかたちで9ヶ月に至っていることがうかがえる。特にD_2 は最大発錆面積率は11.0%に達するものがあり，防錆効果はみとめられない。しかしこの供試体はかぶりコンクリートに何等かの欠陥があったのかも知れない。D_2 水準での3ヶ月と9ヶ月での最大発錆面積率は夫々 7.8%と 8.1%とであり，水セメント比が大きければ発錆量はもっと多くなっていたと思われる。この様な現象は逆効果（塩分量が多い時，防錆剤量を多く加えた方が，発錆面積が大きくなる現象をさす）と呼んでいるが，実験Ⅰの塩分量水準A_4(1.0%) でも類似な現象がみられた[23), 25), 16)]。

表－7　分散分析の結果(実験Ⅴ)

因子＼材令	3ヶ月	6ヶ月	9ヶ月
A	**	**	**
D	*	**	**
A×D	*	**	**

** 1%以下の危険率で有意
* 5%以下の危険率で有意

分散分析の結果は表－7に示してあるが，因子Aの影響は3ヶ月，6ヶ月，9ヶ月共に1%以下の危険率で有意であり，塩分量の多小が発錆に及ぼす影響の大きさを示してくれており，従来の実験と同一の傾向である。防錆剤量Dの影響も3ヶ月が5%台の有意で，他の6ヶ月，9ヶ月では1%以下の危険率で有意になっており，防錆剤量の多少も発錆量の多少に大きな影響ありとなっている。この傾向は従来の実験では，多因子多水準実験であることと，塩分量との複雑なからみあいから分散分析上ではあまりはっきりとはでてこなかったことである。本実験でも，AとDとの交互作用はDと同程度に大きいので，Dの影響を論じるときは，やはり，塩分量を同時に考慮しなくてはならない。

表－8　平均値差の検定結果(実験Ⅴ)

因子＼材令	3ヶ月	6ヶ月	9ヶ月
A_1～A_2	小	小	小
A_1～A_3	* * *	* * *	* * *
A_2～A_3	* * *	* * *	* * *
D_1～D_2	* *	* * *	* *
D_1～D_3	小	小	○
D_2～D_3	小	* *	○

* * *　0.1%以下の危険率で有意
* *　1%以下の　〃　〃
○　10%以下の　〃　〃

水準間の平均値差検定結果は表－8の通りで，因子Aでは，発錆しているA_3 水準と，発錆のみられない他の水準A_1，A_2との間に，3ヶ月以来9ヶ月に至るま

で終始一貫して 0.1%台の有意性が検出されている。これは2倍量以上の防錆剤添加の効果のため，0.15%までの塩分量では発錆が生じないためである。防錆剤量Dの各水準間の平均発錆面積の有意性はAより小さく，D_1～D_3間，D_2～D_3間は有意性が成立したり，しなかったりである。これは塩分量との複雑なからみあいのためである。

4．む す び

防錆剤を標準量の2倍量以上を添加することは0.15%の塩分量までは有効であり，発錆を抑止できる。もちろん，水セメント比を50%以下にとり，かぶり等にも気を配る必要はある。0.75%と云う高い塩分量（これは，海砂起原の塩分だけでは到底達成できない高い塩分量で，硬化後，波しぶきや海水に直接接触することによって実現される塩分量である）に対しても，2倍量の防錆剤の添加は有効である。これは実験Ⅰの結果(3)，(4)と矛盾するようにみえるが，実験Ⅰでも，水セメント比を50%以下，かぶりを2cm以上にして，防錆剤を2倍量添加した時は塩分量が 0.5%以下の時，発錆が有効に抑制されている。0.75%塩分量の時，防錆剤を2倍量以上添加することは，実験ⅠのA_4水準((1.0%）に対するD_4（2倍量)と同じように逆効果現象がおこり，好ましくない。ただし，3倍量の時よりも，4倍量の添加は発錆面積は減少しているので，5倍及至6倍添加すれば，0.75%の塩分量に対し，鉄筋の発錆を有効に阻止できるかも知れないと云う可能性は残されている。

また，0.75%塩分量に対し，防錆剤量3倍量および4倍量添加した時の発錆面積の推移（表－1）をみると，発錆は3ヶ月以来9ヶ月まで，それ程ふえていない。この程度の発錆面積は水セメント比が50%以下で，かぶりが十分厚い時は，許容できる発錆量で，コンクリートにひびわれ発生のおそれは，今の所ない。今後の推移に注目したい。

参 考 文 献

1）　狩野春一，他5名：海砂の鉄筋コンクリート工事への利用に関する研究(その1)，(その3)，(その4)，日本建築学会論文報告集第54号，pp. 21～24，29～32，33～36，1956年9月．

2）　狩野・大島・仕入：鉄筋コンクリート用骨材としての海砂の使用について，日本建築学会論文報告集第63号，pp 161～164，1959年10月。

3）　大島・仕入・羽倉：鉄筋コンクリートの $CaCl_2$ 混和による鉄筋の発錆に関する研究，日本建築学会論文報告集第 103号，p. 47，1964年10月。

4）　ＡＣＩ　212 委員会：コンクリート用混和材料（2），コンクリートジャーナル，Vol. 3，No. 2，pp. 30～35，1965年2月。

5）　岸谷孝一：塩素イオンが鉄筋の腐食におよぼす影響とリグニンスルフォン酸カルシウムの防食効果に関する研究，日本建築学会学術講演梗概集（関東），pp. 27～28，1970年9月

6）　岸谷孝一：コンクリート中の鉄筋の腐食ー塩素イオンとリグニン系混和剤の防食効果ー，セメントコンクリート，No. 289，pp. 22～30，1971年3月。

7）　岸谷孝一，他1人：コンクリート混和剤の効果判定についての考察（海砂をコンクリートに用いる場合に関連して)，日本建築学会学術講演梗概集（九州)，pp. 5～6，1972年10月。

8）　岸谷考一：鉄筋コンクリート構造物における鉄筋の腐食について，コンクリートジャーナル，Vol. 12，No. 2，pp. 1～16，1974年2月。

9）　中村修吾，他1人：塩分を含むコンクリート中の鉄筋の発錆に関する研究，コンクリートジャーナル，Vol. 13，No. 1，pp. 19～29，1975年1月。

10）　成田・森永：コンクリート中の中性化および鉄筋の発錆に関する研究(その7)，日本建築学会学術講演梗概集(関東)，pp. 67～68，1975年10月。

11）　川村満紀，他2名：海水使用モルタル中の鉄筋の発錆に関する実験的研究，セメント技術年報XXIX，pp. 238～241，1975年，同上XXX，pp. 400～403，1976年。

12）　Griffin, D. F.：Corrosion Inhibitors for Reinforced Concrete, ACI Publication SP－49 Corrosion of Metals in Concretes, pp. 95～102, American Concrete Institute, 1975年。

13）　工藤・伊部：海砂使用鉄筋コンクリートに用いる防錆剤，セメントコンクリート，No. 350，pp. 28～37，1976年4月。

14）　工藤・伊部：塩化物を含む鉄筋コンクリート中の鉄筋の腐食と防錆(第2報)，小野田研究報告，第28巻第1冊，第95号，1976年。

15)　戸川一夫，他２名：海砂コンクリートの鉄筋の発錆と環境条件，セメント技術年報 XXXI，pp. 418～420，1977年。
16)　新材料新工法委員会：鉄筋コンクリート用防錆剤〝パリック〟，コンクリート工学，Vol. 15，No. 1，pp. 128～132，1977年１月。
17)　Rosenberg, A. M. & J. M. Gaidis：A Corrosion Inhibitor Formulated with Calcium Nitrite for use in Reinforced Concrete, ASTM STP 629, Chloride Corrosion of Steel in Concrete, pp. 89～99，1977年。
18)　岸谷孝一，他２名：海砂使用による鉄筋の腐食に関する研究，日本建築学会学術講演梗概集（中国），pp. 439～440，1977年10月。
19)　吉田・西林・堀部：鉄筋の腐食に関する一実験，土木学会第32回年次学術講演会概要集第５部，pp. 263～264，1977年10月
20)　豊福・細田：含有塩分による鉄筋の発錆に関する試験，土木学会第33回年次学術講演会概要集第５部，pp. 39～40，1978年９月。
21)　武若・小林：コンクリート中の鉄筋の腐食促進試験に関する一提案，土木学会第33回年次学術講演会概要集第５部，pp. 33～34，1978年９月。
22)　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。
23)　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１～３ヶ月と６ヶ月時～，琉球大学理工学部紀要工学篇第15号，pp. 23～56，1978年３月。
24)　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)，土木学会第33回年次学術講演会概要集第５部，pp. 35～36，1978年９月。
25)　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２～９ヶ月および１ヶ年時点～，琉球大学理工学部紀要工学篇第16号，pp. １～41，1978年９月。
26)　具志幸昌・沖縄地区における被害状況（特集二海砂とコンクリート），コンクリートジャーナル，Vol. 12，No. 10，pp. 61～65。
31)　岸谷孝一：那覇市における小・中学校校舎の被害状況，コンクリートジャーナル，Vol. 12，No. 10 pp66～71，1974年10月。
32)　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２～，琉球大学理工学部紀要工学篇第８号，pp. 65～93，1975年３月。
33)　小林清周：沖縄のＲＣ造の腐食について，鉛と亜鉛，第72号，pp. １～７，1976年７月。
34)　具志・和仁屋・伊良波：宮古島の鉄筋コンクリート造校舎の耐久性調査，琉球大学理工学部紀要工学篇第12号，pp. ９～53，1976年９月。
35)　具志・和仁屋・伊良波：沖縄における鉄筋コンクリート造校舎の耐久性調査（その１，宮古島），日本建築学会大会学術講演梗概集(東海)，pp. 153 ～154 1976年10月。
36)　具志・和仁屋・伊良波：沖縄における鉄筋コンクリート造校舎の耐久性調査（その２，沖縄本島北部３村），日本建築学会九州支部研究報告第23号，pp. 69～72，1977年２月。
37)　具志・和仁屋・伊良波：那覇市内中学校の鉄筋コンクリート造校舎の耐久性調査，琉球大学理工学部紀要工学篇第13号，pp. 25～85，1977年３月。
38)　具志・和仁屋・伊良波：沖縄本島北部３村の鉄筋コンクリート造校舎の耐久性，琉球大学理工学部紀要工学篇第13号，pp. 87～145，1977年３月。
39)　具志・和仁屋・伊良波：石垣島の鉄筋コンクリート造校舎の耐久性，琉球大学理工学部紀要工学篇第13号，pp. 147～201，1977年３月。
40)　具志幸昌：沖縄県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。
41)　具志・和仁屋・伊良波：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３，西表島～，琉球大学理工学部紀要工学篇第14号，pp. 11～29，1977年９月。
42)　具志・和仁屋・伊良波：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４～，琉球大学理工学部紀要工学篇第14号，pp. 31～53，1977年９月。
43)　具志・和仁屋・伊良波：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５，若狭市営住宅～，琉球大学理工学部紀要工学篇第14号，pp. 55～97，1977年９月。
44)　森永繁，他２名：コンクリートの中性化および鉄筋の発錆に関する研究（その10，沖縄におけるＲＣ構造物の被害調査），日本建築学会大会学術講演梗概集（中国），pp. 441～442，1972年10月。

45)　沖縄県建設材料試験所：試験年報　昭和49年度，pp. 21～22；同　昭和50年度，p. 81；同　昭和51年度，pp. 60～81，p. 106：同　昭和52年度，pp. 25～28，

46)　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3～1年半と2ヶ年時点，その1（実験Ⅰ）～，琉球大学理工学部紀要工学篇第17号，pp. 23～47，1979年3月。

47)　Verbeck, G. J. ：Mechanism of Corrosion of Steel in Concrete, Corrosion of Metals in Concrete, ACI Publication SP－49, pp. 21～28, 1975。

48)　Gjφrv, O. E：Control of steel Corrosion in Concrete Sea Structures, Corrosion of Metals in Concrete, ACI Publication SP－49, pp. 1～9, 1975。