

琉球大学学術リポジトリ

塩分及び防錆剤等がコンクリートの諸性質に及ぼす影響

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	http://hdl.handle.net/20.500.12000/17709

塩分及び防錆剤等がコンクリートの諸性質に及ぼす影響

具志幸昌* 和仁屋晴謙* 伊良波繁雄*

Effects of Salt and Corrosion Inhibitors on Concrete properties

Yukimasa GUSHI, Haruyoshi WANIYA, Shigeo IRAHA

Synopsis

The authors have performed a series of experiments on corrosion behavior of steel bars embedded in concrete. In these experiments many types of corrosion inhibitors and a variety of quantities of salt were added to concrete. The chemicals seemed to have influences on the physical behaviors and compressive strength of concrete. Although the measurements of strength and physical properties of concrete were not intended in these experiments and results obtained on those items were secondary minors, the authors have had much materials about them. So, some of them are to be described in the following.

- (1), Favorable effects of using commercial-made corrosion inhibitors on concrete strength were observed in the experiments.
- (2) The effects of salt contents in concrete on the 28th-day concrete strength were somewhat complex phenomenon. On the average adding salt into concrete caused a little lower strengths, there observed the minimum strength at the concentration of NaCl in concrete between 0.03% and 0.15%, then increasing tendency of strength could be seen until salt content increased to 0.25% which corresponded to the concentration of NaCl in sea-water mixing concrete. Thereafter the more NaCl concentration in the concrete, lower the strength ensured.
- (3) The effect of salt dosage in concrete mixing on slump value was small. But tendency that larger concentration caused less slump was observed.
- (4) The influence of the types of corrosion inhibitors on slump value was not significant in the analysis of variance except the one containing water-reducing agent.
- (5) It was found that water-cement ratio had most significant effect on slump value except the effect of unit water in concrete.
- (6) The less bleeding water was brought about as salt dosage become larger. But the salt content not more than the one resulted from using the ordinary sea-sand

would not so much effective.

(7) Some types of corrosion inhibitors seemed to be effective on bleeding behavior of concrete.

(8) On the dosage of salt in concrete or cement paste, the accelerating effect on setting could be observed.

(9) Most of the inhibitors used in the experiments had some compensating effects for the above of salt dosage.

1. まえがき

過去3ヶ年にわたり、コンクリート中の鉄筋の発錆実験を種々行ってきたが、その際コンクリート中に食塩や防錆剤を混入したり、ねりませ水の一部に海水を使用したりした。その結果、コンクリートの強度やブリージング性状に多小の影響がでていることが観測された。その結果をここに報告する。しかしながら、これらコンクリートの諸性質の測定を目的にして、上記実験を行ったわけではないので、得られた結果は必ずしも満足すべきものとなっていない。これら諸性質の測定を目標にした実験を別に企画すべきであると考えている。

2. 強度に対する影響

コンクリート中の鉄筋の腐食試験は大小合わせて6シリーズ行っており、その詳細については既に発表してある(1)。表-1~12にそれらの割りつけ表と諸データを示しておく。各実験はすべて実験計画法にもとづいており、因子や水準は上表の通りであるが、水準の実際の値はシリーズ毎に異なっている。実験は3ヶ年の間に不定時に行われており、各実験毎に材料・室温・湿度等が異なっている。そのせいもあって、塩分や防錆剤等のコンクリートに対する影響は必ずしも一致していない。コンクリートの圧縮強度はすべて28日強度であり、養生水槽の温度は室温とは関係なく、21℃±2℃の範囲内におさまっている。使用したセメントはシリーズ毎にブランドも異っており、強度も違っている。従って各実験シリーズの間の強度の絶対値等の比較は無意味である。以下、上にあげた各実験できらかになったことを説明していく。

(1) 水セメント比の影響

実験I, III, VIは水セメント比を色々変えてあるので、セメント比の強度に対する影響を知ることが

表-1 実験Iのわりつけとデータ

実験番号	要因記号					28日圧縮強さ			スランプ (cm)
	F: AB	C	D	E	(kg/cm ²)				
	水準								
1	1	1	1	1	363	388	-	11.5	
2	2	2	2	2	312	280	306	7.5	
3	3	2	1	3	271	280	280	8.5	
4	4	1	2	4	395	388	388	9.0	
5	3	1	3	2	393	390	391	8.5	
6	4	2	4	1	322	292	318	11.0	
7	1	2	3	4	302	299	307	12.0	
8	2	1	4	3	337	351	329	11.0	
9	3	3	2	1	186	234	197	10.0	
10	4	4	1	2	133	148	150	6.0	
11	1	4	2	3	176	180	163	6.0	
12	2	3	1	4	195	197	207	8.5	
13	1	3	4	2	199	224	222	7.5	
14	2	4	3	1	151	154	162	5.5	
15	3	4	4	4	153	130	135	6.5	
16	4	3	3	3	204	182	206	8.0	
17	7	2	2	2	248	231	223	15.5	
18	8	1	1	1	376	357	376	5.5	
19	5	1	2	4	401	401	401	10.0	
20	6	2	1	3	338	319	337	14.5	
21	5	2	4	1	328	337	319	9.5	
22	6	1	3	2	381	355	381	11.0	
23	7	1	4	3	385	424	412	9.0	
24	8	2	3	4	287	261	255	10.0	
25	5	4	1	2	143	146	138	6.5	
26	6	3	2	1	234	226	216	9.5	
27	7	3	1	4	228	232	201	11.0	
28	8	4	2	3	146	145	146	5.5	
29	7	4	3	1	177	204	188	4.0	
30	8	3	4	2	176	160	183	11.5	
31	5	3	3	3	218	209	193	9.0	
32	6	4	4	4	148	146	167	8.0	

表-2 実験Iの要因と水準

要 因		水 準			
		1	2	3	4
F	A 塩分量 (%)	名目上零	0.10	0.50	1.00
	B 環境因*	5 ふりかけ	6 半 浸	7 完 浸	8 塩分0.5%
C	水セメント比 (%)	40	50	60	70
D	防錆剤添加量	零	1/2 × (標準量)	標準量	2 倍量
E	かぶり厚 (cm)	1	2	3	5

* 環境因のうち、B₅, B₆, B₇はA₁に分類され、
B₈はA₃に分類される。

表-3 実験IIのわりつけと圧縮強さ

実験番号	要 因 記 号			28日圧縮強さ (kg/cm ²)		
	O	D	A			
	水 準					
1	1	1	1	197	211	199
2	1	2	2	185	191	187
3	1	3	3	173	162	167
4	2	1	2	192	197	196
5	2	2	3	167	163	160
6	2	3	1	173	180	184
7	3	1	3	189	183	200
8	3	2	1	158	171	172
9	3	3	2	202	195	205

注：水セメント比は65%

表-5 実験IIIのわりつけとデータ

実験番号	要 因 記 号					28日圧縮強さ kg/cm ²			ブリージング率 (%)	ブリージング継続時間 (分)	スランプ (cm)	室温 (℃)
	A	D	O	E	C							
	水 準											
1	1	1	1	1	1	354	352	353	—	—	7.0	—
2	1	1	2	2	2	278	290	297	5.68	210	11.5	—
3	1	2	1	2	2	320	313	315	6.32	240	10.0	22.5
4	1	2	2	1	1	354	350	351	—	—	9.5	—
5	1	3	1	1	2	273	272	260	—	—	11.5	—
6	1	3	2	2	1	352	353	351	3.16	210	11.5	22.0
7	1	4	1	2	1	326	346	335	1.67	180	9.0	25.5
8	1	4	2	1	2	276	274	275	8.86	210	13.5	22.0
9	2	1	1	2	1	348	348	351	2.95	180	11.5	20.5
10	2	1	2	1	2	278	255	243	9.01	180	14.5	22.0
11	2	2	1	1	2	293	296	291	—	—	12.5	—
12	2	2	2	2	1	352	350	353	2.25	180	8.5	22.5
13	2	3	1	2	2	256	255	258	3.95	180	10.5	26.0
14	2	3	2	1	1	349	349	341	1.68	150	9.0	26.5
15	2	4	1	1	1	304	305	302	1.48	180	9.5	25.5
16	2	4	2	2	2	273	266	270	6.26	210	11.5	22.0
17	3	1	1	1	2	303	276	279	12.05	180	13.5	20.5
18	3	1	2	2	1	343	345	353	—	—	8.5	—
19	3	2	1	2	1	349	351	352	2.26	180	11.0	22.0
20	3	2	2	1	2	278	269	274	—	—	9.5	—
21	3	3	1	1	1	350	350	351	1.97	210	10.5	22.0
22	3	3	2	2	2	291	298	292	—	—	12.5	—
23	3	4	1	2	2	280	269	280	3.60	210	10.5	22.0
24	3	4	2	1	1	349	351	351	—	—	10.0	—
25	4	1	1	2	2	215	205	208	2.98	180	14.0	25.5
26	4	1	2	1	1	318	315	321	1.15	180	10.5	—
27	4	2	1	1	1	336	325	319	—	—	8.0	—
28	4	2	2	2	2	266	280	277	11.73	210	13.5	20.5
29	4	3	1	2	1	310	313	334	—	—	9.0	—
30	4	3	2	1	2	253	257	263	—	—	9.5	—
31	4	4	1	1	2	236	226	239	—	—	10.0	—
32	4	4	2	2	1	350	353	351	1.38	210	12.0	21.5

表-4 実験IIの要因と水準

要 因		水 準		
		1	2	3
O	防錆剤の種類	O ₁	O ₂	O ₃
D	防錆剤添加量	1/2(標準量)	標準量	2倍標準量
A	塩分量(%)	0.05	0.20	0.80

表-6 実験IIIの要因と水準

要 因		1	2	3	4
A	塩分量(%)	0.01	0.05	0.25	1.25
D	防錆剤添加量	零	1/2(標準量)	標準量	2倍標準量
O	防錆剤の種類	O ₄	O ₅		
E	かぶり厚(cm)	2	5		
C	水セメント比(%)	50	65		

表-7 実験IVの圧縮強さ、ブリージング、スランパ

実験番号	要因記号		28日圧縮強さ (kg/cm ²)		ブリージング率 (%)	ブリージング継続時間 (分)	室温 (°C)	スランパ (cm)	
	A D	O							
	水準								
1	1	1	250	240	235	11.13	270	16.0	13.0
2	1	2	223	236	232	9.83	300	20.5	12.5
3	2	1	246	252	261	8.40	210	16.0	11.5
4	2	2	253	256	247	11.37	210	17.0	11.5
5	3	1	228	214	226	9.37	210	17.0	15.0
6	3	2	235	235	216	7.41	210	17.0	11.0
7	4	1	256	246	233	11.23	180	17.0	14.5
8	4	2	257	239	242	12.02	210	17.0	13.5

表-8 実験IVの要因と水準

要 因		水 準			
		1	2	3	4
O	防錆剤の種類	O ₆	O ₇	O ₈	O ₉
D	防錆剤の添加量	標準量	2倍標準量	-	-

表-9 実験Vのわりつけとデータ

実験番号	要因記号		28日圧縮強さ (kg/cm ²)		ブリージング率 (%)	ブリージング継続時間 (分)	室温 (°C)	スランパ (cm)*	
	A D	O							
	水準								
1	1	1	349	343	332	2.52	210	22.5	9.0
2	1	2	331	342	338	2.21	210	22.0	9.0
3	1	3	328	337	323	2.85	240	22.5	9.0
4	2	1	334	339	332	1.91	180	22.0	9.5
5	2	2	339	337	338	1.93	210	22.5	8.0
6	2	3	337	327	336	2.45	210	22.0	9.0
7	3	1	315	324	329	1.58	180	22.0	9.0
8	3	2	323	328	329	1.76	240	22.0	10.0
9	3	3	311	319	309	1.90	270	22.0	10.0

注：水セメント比は50%、単位水量197kg/m³、防錆剤はO₁

* 2乃至3回の測定値の平均値を0.5cmきざみで丸めてある。

表-10 実験Vの要因と水準

要 因		水 準		
		1	2	3
A	塩分量(%)	0.03	0.15	0.75
D	防錆剤添加量*	2倍量	3倍量	4倍量

* 標準量に対する割合

表-11 実験VIのわりつけとデータ

実験番号	実験順序	要因記号					スランパ (cm)	ブリージング率 (%)	ブリージング継続時間 (分)	強度** (kg/cm ²)	気温 (°C)	湿度 (%)
		A	D	C	O	O						
		水準										
1	1	1	1	1	1	11.0	12.01	300	322	16.5	78	
2	13	1	1	2	2	10.5	22.58	270	216	16.0	77	
3	16	1	2	1	2	7.5	11.46	360	348	21.0	84	
4	7	1	2	2	1	12.0	17.93	240	207	21.0	80	
5	14	2	1	1	1	11.0	9.28	300	302	16.0	77	
6	9	2	1	2	2	12.5	22.39	300	239	21.0	80	
7	11	2	2	1	2	10.0	17.19	360	308	16.0	77	
8	15	2	2	2	1	9.5	14.13	270	208	21.0	84	
9	6	3	1	1	1	11.0	11.63	270	337	18.5	74	
10	18	3	1	2	2	9.5	20.33	300	232	16.0	70	
11	17	3	2	1	2	8.0	9.64	360	318	21.0	84	
12	5	3	2	2	1	12.0	22.52	270	247	18.5	74	
13	2	4	1	1	1	10.5	11.02	300	353	16.5	78	
14	10	4	1	2	2	10.5	25.50	300	240	21.0	80	
15	8	4	2	1	2	9.0	17.94	360	359	21.0	80	
16	12	4	2	2	1	13.0	19.26	240	191	16.0	77	
11'	3	3	2	1	2	14.0	18.64	420	353	16.5	78	
10'	4	3	1	2	2	17.0	20.26	300	220	18.5	74	
19	1	0	1	0	0	10.5	7.33	330	331	16.0	70	
20	1	0	2	0	0	10.0	19.11	270	222	16.0	70	

* 単位水量のわずかな差による補正は行ってある。
 ** 水セメント比のわずかな差による補正は行ってある。

表-12 実験Ⅵの要因と水準

要 因	水 準			
	1	2	3	4
A 塩分量(%)	0.033	0.067	0.100	0.133
C 水セメント比(%)	55	70		
D 防錆剤添加量	標準量	2倍標準量		
O 防錆剤種類	O ₁	O ₃		

できる。当然のことながら、水セメント比の水準が異なる時は、強度は大きく違い、水セメント比の強度に対する影響は圧倒的に大きい。圧縮強度は水セメント比によってきまり、他の因子の強度に対する影響はごく小さい。分散分析では常に1%以下の危険率で有意であり、平均値差の検定でも一部1%台であるが、大半は0.1%以下の危険率で水セメント比の水準差による強度差は有意となる。寄与率の面からも、実験Ⅰ前半部95.8%、同後半部91.8%、同全体で92.8%、実験Ⅲで75.1%、実験Ⅵで87.9%である。また残りの寄与は殆どが誤差部分に属する。

(2) 防錆剤の種類の影響

実験Ⅱは市販防錆剤3種を使用しており、水セメント比は一定で、塩分量や防錆剤量等の要因は夫々3水準である。分散分析の結果は一応5%以下の危険率で防錆剤の種類に対する影響は有意となっている。平均値をくらべてみると、防錆剤O₁とO₃とは強度に殆ど差がなく、O₂は2者にくらべて幾分か強度が低い。平均値差のt-検定でも、O₁、O₃グループとO₂との間に5%以下の危険率で有意差が成立する。しかしながら、実験Ⅱの他の要因である塩分量と防錆剤添加量との強度に対する影響がずっと大きく(分散分析で1%台、寄与率では防錆剤種類が3.4%で、防錆剤添加量40.0%、塩分量30.7%)、くり返し数も少ないので、上記結果を結論とすることはさし控えておく。実際の平均強度もO₁が186kg/cm²、O₂が179kg/cm²、O₃が186kg/cm²と差は小さく、同一水セメント比の強度としては、誤差の範囲内と考えてもよい程度の差である。さらにO₂とO₃については、他の条件は一切同じで、ただ防錆剤の種類だけが異なる供試体も作ってある(表-13参照)。これによると、O₃が有利な場合とO₂が有利な場合とが夫々1件づつあり、殆ど差がない場合が

表-13 実験Ⅱの圧縮強さ (実験計画法以外のデータ)

対照実験番号	要因・水準			28日 圧縮強さ (kg/cm ²)		
	O	D	A			
9	2	3	2	183	175	194
7	2	1	3	195	201	185
8	2	2	1	188	177	185

1件ある。従って実験Ⅱからは、市販防錆剤の種類が強度に及ぼす影響はあるが、小さく、実際上問題にする程のことはないとしておくのが適当である。

実験Ⅲは市販されてない防錆剤2種(メーカー提供)を使用し、他の実験因子としては水セメント比2水準、防錆剤添加量4水準(無添加を含めて)、塩分量4水準がおりこまれている32実験から成る。ここでも防錆剤の種類が圧縮強度に及ぼす影響は有意と出ている。分散分析では5%以下の、平均値差の検定では1%以下の危険率で有意である。しかしながら実際の平均値は水セメント比50%でO₄は331kg/cm²、O₅は351kg/cm²、無添加の場合は343kg/cm²であり、水セメント比65%ではO₄、O₅共に274kg/cm²、無添加261kg/cm²(塩分量1.25%の場合を除くと278kg/cm²)となっており、無添加の場合とそれ程の差はない。この程度の差は場合によっては誤差の範囲内に入るとも考えられる。寄与率をみると、水セメント比75.1%、塩分量9.1%、防錆剤量2.6%にくらべて、防錆剤の種類は0.5%と格段に小さい。従って、防錆剤の種類が強度に及ぼす影響は小さいと結論できる。結局、実験Ⅲでも防錆剤の種類によっては、無添加の場合よりも強度を高めたり、低めたりすることはあるが、その程度は小さく、実用上支障のない程度であると言える。

実験Ⅳでは、水セメント比・塩分量共に一定で、防錆剤4種類(1種のみは市販品)、防錆剤添加量2水準の8実験より成る。水セメント比が一定なので、防錆剤の種類が強度に及ぼす影響は大きく、有意となっている。分散分析では1%以下の危険率で、平均値差の検定では表-14に示してあるように0.1%及び1.0%以下の危険率で夫々有意となっている。また寄与率も57.6%と大きい。

実験ⅥはL₁₆直交表による16実験から成り、市販防錆剤2種(前出のO₁とO₃)、水セメント比・防錆剤添加量も2水準、塩分量のみ4水準である(表-12)。分散分析の結果は10%以下の危険率でも有意とはならない。

表-14 強度の平均値差の検定
(実験Ⅳ, 防錆剤の種類)

O_6	O_7	O_8	O_9
236.0	252.5	225.7	245.5
16.5**	26.8***	19.8***	
	7.0		
10.3*			
			9.5*

- *** 0.1%以下の危険率で有意
- ** 1% " "
- * 5% " "
- ・ 10% " "

O_3 の平均値は283 kg/cm², O_1 は271 kg/cm²で、 O_3 の方が僅かに大きい。水セメント比別に分けて比較してみてもいずれも O_3 の方が高い。しかし強度差は5 kg/cm²と18 kg/cm²とであり、t-検定の結果も有意差はない。 O_1 は実験Ⅱと同じ製品であるが、 O_3 は実験Ⅱに使用したものと違い、今回のものは減水剤が添加されており、単位水量を10 kg程 O_1 の配合より減少させてある。

以上、実験Ⅱ, Ⅲ, Ⅳ, Ⅵを通じての結論は、防錆剤の種類はコンクリートの圧縮強度に影響を及ぼし、無添加の場合より、強度を高めたり、低めたりするが、水セメント比や塩分量の影響にくらべて小さい。市販防錆剤については特にそう云う傾向が強く、実際の使用に当っては、強度への影響を考慮するに及ばないと考えられる。

(3) 防錆剤添加量の影響

実験Ⅰに使用した防錆剤は1種で O_1 であるが、防錆剤量が強度に及ぼす影響は標準量の2倍量迄の添加ならば小さくて、無視できる程度のものである。実験Ⅰ全体の解析では、分散分析・平均値差の検定共に、有意となっていない。寄与率も零以下である。傾向としては防錆剤添加により、強度は僅かばかり増加するようである。しかし無添加の場合と最大の差がでた標準量添加の場合でも、平均3 kg/cm²大きいだけで、実験誤差の範囲内である。

実験Ⅰを前半部・後半部に分けて解析してみても、ほぼ同じ傾向で、いずれも無添加の場合より強度が増大するが差は殆どない。

添加量の多少が強度に及ぼす影響は小さく、 $\frac{1}{2}$ 量(標準量に対して)から2倍量までの添加では、ある時は標準量が一番大きくなり、ある時は $\frac{1}{2}$ 量、またある時

は2倍量添加が強度を最大にすると言う結果がえられている。従って、実験Ⅰでは、防錆剤 O_1 の添加により、強度は減少することはないが、増加も殆どないと結論できる。

実験Ⅱでは、防錆剤添加量は3水準で、無添加の場合はないので、添加により強度がふえるか否かは検することができない。実験Ⅱの場合は水セメント比が一定なので、防錆剤添加量の影響は大きくており、寄与率で39.7%にも達している。塩分量の影響よりも大きい。分散分析では1%以下の危険率で、平均値差の検定では0.1から1%以下の危険率で有意となっている(表-15参照)。 $\frac{1}{2}$ 添加量が最も強度上有利で、次いで2倍量、標準量の順になっている。しかし塩分量や防錆剤の種類の影響も同時にうけており、塩分量の多少や、防錆剤の種類によっては上記順序は違ってくる。結局、実験Ⅱでは防錆剤添加量の多少は強度に影響を及ぼし、統計解析によっても有意な結果となっている。強度にとって、添加量が多い方がよいか、少ない方がよいかは防錆剤の種類によって異なるということになる。

表-15 強度の平均値差の検定(実験Ⅱ, 防錆剤量)

D_1	D_2	D_3
196.0	172.7	182.3
23.3***	9.7**	
	13.7***	

実験Ⅲでは2種類の防錆剤を使用している。防錆剤添加量の強度に対する影響は分散分析では1%以下の危険率で有意となっている。 $\frac{1}{2}$ 添加量が強度に対し最も有利で、次いで標準量、無添加、2倍量の順になっている(表-16参照)が、後3者の差は小さく、防錆剤の種類によって、強度順位も違ってくる。傾向から判断して、2倍量以上の防錆剤の添加は好ましくないようである。

表-16 強度の平均値差の検定(実験Ⅲ, 防錆剤量)

D_1	D_2	D_3	D_4
301.2	317.3	305.7	299.5
16.1***	11.6**	6.2	
	17.8***		
4.5			
			1.7

実験Ⅳは実験Ⅱと同じく、水セメント比が一定なので、防錆剤量の強度に対する影響は大きく出ると考えていたが、事実は逆で、標準量と2倍量とでは強度に差がないと言っている。分散分析や平均値差の検定でも有意とはならず、実際の強度も平均で、 241 kg/cm^2 と 239 kg/cm^2 で差がない。これは標準量が有利な防錆剤と2倍量が有利なものとは夫々1種づつあり、あとの2者は殆ど差がないからである。いずれにしても、防錆剤の多少による強度差は実験Ⅳでは生じていない。

実験Ⅴは防錆剤は市販品O₁1種のみで、その添加量は標準量の2倍・3倍・4倍と変化させてあり、防錆剤添加量の非常に多い場合である。水セメント比は一定であるが、塩分量は3水準となっており、この塩分量の寄与率は57.7%であるのに対し、防錆剤量の寄与率は8.1%と小さい。分散分析及び平均値差の検定結果はいずれも5%台有意となっている。2倍以上では添加量が多い程強度は小さくなっている。これは実験ⅠやⅡの結果からの傾向と一致しているし、防錆剤の種類は異なるが実験Ⅲの結果とも一致している。また外国の実験例とも傾向が同じである⁸⁾。

実験Ⅵでは防錆剤添加量の水準はメーカー標準量とその倍量である。実験計画が防錆能力検出を目的としているため、防錆剤添加量の大小が強度に及ぼす影響をうまく検出できてない。分散分析等からも有意な結果はでておらず、傾向として、標準量添加>無添加>2倍量添加、と云うことが成立つようである。

まとめとしては次のようになる。アノード型単一化合物から成る防錆剤は強度を減少させると云う報告⁹⁾と多少増加させると云う報告¹⁰⁾があるが、市販防錆剤については、本実験シリーズの結果からは、標準量までの添加なら、幾分か強度を増進させる傾向があり、他所の報告¹⁰⁾と一致する。防錆剤量をさらにふやして2倍量程度にすると、強度はやや減少し、無添加の場合を上廻ったり、下回ったりする。それ以上市販防錆剤をふやすことは、強度は減少し、好ましくない。その他の防錆剤についても2倍量位までの添加なら、強度上、それ程差はでてこない。

(4) 塩分量の影響

実験Ⅰでは0.01% (名目上零)、1.0%、0.5%、0.1%の順で、名目上零の場合が強度が一番大きい。分散分析では5%以下の危険率で有意となっている。平均値差の検定では、最大の名目上零の場合と、最小0.1

%との間に5%以下の危険率で有意差ありとなっている。

実験Ⅱでは0.2%、0.05%、0.8%の順で0.2%の場合が最も大きい。分散分析では1%以下の危険率で、平均値差の検定では0.1%ないし1.0%以下の危険率で有意となっている。寄与率も30.7%と大きい。水セメント比が一定のためである。

実験Ⅲでも、塩分量増加にともない、一旦上昇してから下降している。分散分析では1%以下の危険率で、平均値差の検定では1%以下又は0.1%以下の危険率で有意となっている。また塩分量の強度変動に対する寄与率は9.1%である。塩分量0.01%、0.25%、0.05%、1.25%の順で0.01%の場合が強度は最も大きい。

実験Ⅴでは0.03%、0.15%、0.75%の順で塩分量がふえるに従い、強度は減少している。分散分析では1%以下の危険率で有意となり、平均値差検定では、0.03%と0.15%との間では殆ど強度差がないが、それらと0.75%の間では0.1%以下の危険率で有意差ありとなっている(表-17参照)。

表-17 強度の平均値差の検定(実験Ⅴ, 塩分量の影響)

A ₁	A ₂	A ₃
335.9	335.4	318.6
0.4		16.9**
17.3***		

実験Ⅵでは塩分量各水準間の塩分の差が小さいので、他の実験シリーズとは違って、塩分量の大小が強度に及ぼす影響は小さく、有意となっていない。傾向としては、塩分量がふえるに従い、一旦減少してから上昇しており、他のシリーズの傾向に一致している。塩分量0.133%の時強度は最大で、以下0.10%、0.033%、0.067%の順となっている。

以上をまとめると、次のようになる。

塩分量がコンクリートの圧縮強度に及ぼす影響は複雑で、上記各シリーズの実験が、そのことを直接目標としておらず、強度に及ぼす他の因子の影響もからみあっており、すっきりしない面もある。28日強度は大体において、無塩状態が最も高く、塩分量がごく少ない間は強度はあまり変化がないが、0.03%から0.15%の間で極小値をとる様である。その後、塩分量が増加するにつれ、強度は増加し、0.20~0.25%位で極大値となる。以後塩分がふえるにつれ、強度は急減する。海水練りにした場合、コンクリートの塩分量は0.25%

前後となり、極大値の附近であるが、無塩の場合と同じ位か、少し低い位の値であり、他所の研究結果⁹⁾・¹⁰⁾・¹⁹⁾の大部分とはほぼ一致している。

(5) まとめ

防錆剤の種類によって強度に対する影響は異なるが、標準量までの添加ならば、無添加の場合よりも強度を幾分か上昇させることが多い。その様な防錆剤が市販されていると言えよう。メーカー指定量の2倍量までの添加であれば、強度上有害とならない場合が多いが、それ以上添加すると有害となる。特に塩分量が多い時(0.5%以上、混練時にこの様な大きい塩分量になることは普通ない)に、防錆剤を多く加えることは有害である。

塩分量の強度に対する影響は前項で述べた通り、初期強度は別にして、28日強度に対しては、殆どの場合有害である。塩分量が無塩状態から増えるに従い強度は一旦減少してから増加する。海水練りコンクリートの塩分濃度附近(0.20~0.25%)で極大となるが、無塩の場合より低い。しかし、その際防錆剤の添加量が適当であると、無塩の場合より高くなることもある。塩分量と防錆剤添加量との強度に対する相互作用もみとめられる。

3. スランプに対する影響

実験Ⅵを除き、各シリーズの実験毎に配合の単位水量と単位粗骨材量とは一定にしてある。表面水量の差による水量の補正は実験日毎に行っているため、単位水量のばらつきはごく僅かである。それでもカバーできない単位水量によるスランプへの影響は最小二乗法によって補正してある。なお、スランプ値は2乃至3回の測定値を0.5cm単位に丸めてあるものである。

実験Ⅰ、Ⅲ、Ⅵでは水セメント比のスランプに対する影響が有意とでている。実験Ⅰでは水セメント比70%の時スランプ値が3~5cm低くなっており、他の水セメント比の場合にくらべて1%台または5%台の有意差がでている。水セメント比の影響と言うよりも、ペースト量が原因かも知れない。実験ⅠとⅢとでは他の因子の影響は有意となっていない。実験Ⅵでは水セメント比の他に防錆剤の種類の影響が有意となっている。しかし、この場合、防錆剤O₃は減水作用をもち、単位水量を減らしてあるので、防錆剤の種類によるスランプへの影響を考慮するのは不都合である。

実験ⅣとⅤとでは有意な因子は一つもないが、実験Ⅳでの防錆剤の種類によるスランプの平均値差は最大2.5cmに達する。

実験Ⅱは欠測値が多いため、分散分析はしてないが、塩分量と防錆剤の種類とによる影響は割合と大きい。しかし、実験Ⅱの場合、実施日の影響が最も大きいようである。

以上より判断すると、単位水量一定の場合、スランプに対し有意な影響を与える因子は水セメント比だけである。防錆剤の種類によっては或程度スランプに影響を与えるようである。市販防錆剤の中には減水剤を配してあるもの(O₃)もあり、その場合はスランプは勿論ふえる。塩分量の影響は全実験を通じて小さく、有意な影響を及ぼしてない。傾向として、僅かに実験Ⅰで、塩分量がふえるに従い、スランプが減少していることがうかがえる。

4. ブリージングに対する影響

実験Ⅲは表-5をみて判る通り、32実験のうち20実験しかブリージングを測定していないので、分散分析等の統計的解析はできない。不十分な試料で、わかった事は水セメント比の影響が格段に強いことである。単位水量・単位粗骨材量一定の配合なので、水セメント比が大きいものはペースト量が少ない、つまり貧配合である。富配合のコンクリートのブリージングは貧配合のそれよりも少ないことは成書²⁰⁾に指摘されている通りである。その他の傾向は温度条件等も一定でないこともあって、確言できないが、表-18より判断すると、塩分量が増加するとブリージングは減少する傾向にあり、防錆剤量がふえるとブリージングが減少するものとあまり変化がないものがある。これは防錆剤の種類によりブリージング傾向に差があると言うことにもなる。ブリージング継続時間については、ブリージングの多い水セメント比の大きい場合がやや長くなる傾向がみとめられる(表-19)以外ははっきりしたことはつかめてない。

実験Ⅳは水セメント比と塩分量が一定であり、室温も16.5℃程度にはほぼ一定に保たれている。ブリージングに対する防錆剤の種類の影響は表-7からはうかがえるが、分散分析では有意とはしていない。くり返し数が不足である。防錆剤量はメーカー標準量とその2倍量であるが、2倍にしたためにブリージングが増加

表-18 プリージング率(実験III)(%)

水セメント比		C ₁ =50%		C ₂ =65%	
防錆剤の種類		O ₄	O ₅	O ₄	O ₅
防 錆 剤 添 加 量	D ₁	塩分量			
		A ₁	2.95	1.15	5.68
		A ₂			9.01
		A ₃			12.05
	A ₄	2.98			
	D ₂	A ₁	2.26	2.25	6.32
		A ₂			11.73
		A ₃			
		A ₄			
	D ₃	A ₁	1.97	3.16	3.95
		A ₂			1.68
		A ₃			
A ₄					
D ₄	A ₁	1.68	1.38	8.86	
	A ₂			6.26	
	A ₃			3.60	
	A ₄				

表-19 プリージング継続時間(分)(実験III)

水セメント比		C ₁ =50%		C ₂ =65%	
防錆剤の種類		O ₄	O ₅	O ₄	O ₅
防 錆 剤 添 加 量	D ₁	塩分量			
		A ₁	180	180	210
		A ₂			180
		A ₃			
	A ₄				
	D ₂	A ₁	180	180	240
		A ₂			210
		A ₃			
		A ₄			
	D ₃	A ₁	210	210	180
		A ₂			150
		A ₃			
A ₄					
D ₄	A ₁	180	210	210	
	A ₂			210	
	A ₃				
	A ₄				

した場合2件, 減少した場合2件で, 防錆剤の種類により, 防錆剤添加量の影響は異なる傾向がある。プリージング継続時間はO₆を除いてほぼ一定で大差がない。O₆はプリージング継続時間を著しく延長させる。

凝結時間も同じ傾向である。O₆とO₉とは添加量を2倍量にすると僅かに継続時間を延長させ、O₇とO₈とは変化がない。

実験Vは水セメント比(配合も)が一定で, 塩分量が3水準で, 防錆剤添加量は2倍量以上多く加えた場合である。分散分析の結果は塩分量は1%以下の危険率で, 防錆剤量は5%以下の危険率で有意となっている。塩分量が増加するにつれて, プリージングは減少し, 実験IIIの傾向に一致している。A₁(0.03%)とA₂(0.15%)との間には5%以下の, A₁とA₃(0.75%)との間には1%以下のA₂とA₃との間では10%以下の危険率で平均値に有意差が成立している。防錆剤(O₁)添加量は3倍量の時, プリージング率が最小になっているが, 2倍量の時と大差がない。4倍量になると, プリージング率は急増する(表-20)。プリージング継続時間もほぼ同じ傾向で, 塩分量・防錆剤添加量がふえるに従い, 長くなる(表-21)。

実験IVとVとは同じ骨材・セメントを使っているが, プリージング率に大差がある。これは水セメント

表-20 プリージング率の2元表(%)(実験V)

塩分量 \ 防錆剤添加量	D ₁	D ₂	D ₃	合計
A ₁	2.52	2.21	2.85	7.58
A ₂	1.91	1.93	2.45	6.30
A ₃	1.58	1.76	1.90	5.24
合計	6.02	5.90	7.20	

表-21 プリージング継続時間(分)(実験V)

塩分量 \ 防錆剤添加量	D ₁	D ₂	D ₃	合計
A ₁	210	210	240	660
A ₂	180	210	210	600
A ₃	180	240	270	690
合計	570	660	720	

比或は配合の貧富の影響の現われである。実験IIIでも同じ傾向がでている。実験IVでは水セメント比65%, 単位水量 195ℓ, 単位セメント量 300kgであり, 平均プリージング率 10.10%となっている。これに対し実験Vでは水セメント比50%, 単位水量 197ℓ, 単位セメント量 394kgで, 平均プリージング率は2.12%である。

実験VIの結果は表-22と23とにまとめてある。プリージング率および継続時間に有意な影響を及ぼす因子

は、水セメント比と防錆剤の種類とである。率および継続時間を示す数値が大きいのは、使用した骨材の粒度が悪いせいである。ブリージング率は水セメント比の小さい55%の方が小さい。これは他のシリーズの実験結果と一致している。継続時間の方は、実験Ⅲとは逆に、水セメント比が小さい方が長くなっている。防錆剤の種類の影響は率に対しては5%以下の危険率で、継続時間については1%以下の危険率で有意となっており、いずれもO₃の方が大きい。O₃を含む配合では単位水量が10ℓ程O₁のそれより少なく、スランプもO₃の方がほんの僅か小さい。従って、O₃はO₁よりも、ブリージングを増大させ、その継続時間を延長させる傾向をもつと言ってよからう。防錆剤添加量のブリージングに対する影響は実験Ⅵでは殆どみられない。塩分量の影響も有意とはでていない。これは実験Ⅴと違い、塩分量の各水準の実際の値の差が小さいためであろう。率・継続時間共に圧縮強度と同様な傾向をもち、圧縮強度が小さい方が、率・継続時間共に大きくなる傾向がみられる。

表-22 ブリージング率の平均値(実験Ⅵ)

要因 水準	A	C	D	O
1	16.00	12.52	16.84	14.72
2	15.75	20.58	16.26	18.38
3	16.03			
4	18.43			

表-23 ブリージング継続時間の平均値(分)(実験Ⅵ)

要因 水準	A	C	D	O
1	292.5	326.25	292.5	273.75
2	307.5	273.75	307.5	326.25
3	300.0			
4	300.0			

以上まとめると次のようになる。

1) 単位水量又はスランプが一定の場合、水セメント比が大きい程(或は貧配合ほど)、ブリージング量は多くなる。継続時間については、水セメント比が大きくなると、僅かに長くなる場合と、或程度短縮される場合とがあって、はっきりしない。

2) 塩分量が増加するにつれてブリージング率は減少する有意な傾向がみられる。但し、塩分量が0.13

%までの少ない範囲では塩分量が増加するにともないブリージングが増大する場合もある。しかし、統計的に有意とはなっていない。海水練り程度の塩分量(配合時のコンクリート重量に対して0.25%位)までは大差がない。従って、普通海砂使用によってコンクリート中にもちこまれる塩分量の程度では、ブリージング量そのものはいして影響はうけないと考えてよい。ブリージング継続時間は塩分量の増減との間にはっきりした傾向はつかめていない。

3) 防錆剤の種類の影響はブリージング率及び継続時間に対する影響はみとめられ、有意差が存在する場合がある。しかし、個々の防錆剤によって影響の程度は違うとしか述べられない。凝結遅延作用がある防錆剤は継続時間を当然のことながら長くする。

4) 防錆剤添加量の大小がブリージング率やその継続時間に及ぼす影響は小さいが、添加量が増えると両者共に増大する傾向もみられる。但し、メーカー標準量の2倍量までなら大差はないと考えてよろしい。

5. 凝結時間に及ぼす影響

一部の防錆剤についてはセメントペーストを使って凝結に及ぼす影響をしらべた。凝結試験の方法はJIS

R 5201に準拠した。標準軟度を得るための水量のきめ方は、塩分量・防錆剤量共に零の純セメントペーストに対して行い、その水量を塩分や防錆剤を添加した場合にそのまま使った。塩分量はセメント重量の0.1%に限定し、防錆剤量は水セメント比60%、単位水量197ℓの場合のコンクリートに添加する量をセメント重量で換算して、比例的に定めた。水準1はメーカー標準量の場合に相当し、水準2はその2倍量に対応している。凝結試験は塩分・防錆剤無添加の場合を必ず各防錆剤配合毎に並行して同時に行ってある。実験結果は表-24に示す。

表-24 凝結試験結果

防錆剤類	防錆剤量水準	水量 (cm)	室温 (°C)	湿度 (%)	水温 (°C)	塩分量・防錆剤なし		塩分0.1%防錆剤添加	
						始発 (分)	終結 (分)	始発 (分)	終結 (分)
添加せず	—	124	24.5	86	24.0	200 199	312 293	153 152	223 286
O ₁	1	126	21.5	75	22.0	228 220	302 301	87 96	270 279
	2	122	19.0	74	22.0	173 171	257 261	162 160	293 302
O ₆	1	124	24.0	87	24.5	201 182	284 279	259 247	335 299
	2	120	20.5	75	23.0	247 217	309 304	376 492	495 590
	2	117	20.0	79	21.0	196 216	289 289	441 430	553 497
O ₅	1	120	22.0	80	23.0	218 146	285 268	122 162	235 215
	1	118	19.5	84	21.0	200 189	300 294	190 201	269 283
	2	120	19.5	74	20.0	176 171	264 264	141 131	243 238
O ₇	1	122	21.5	85	22.0	188 186	296 297	160 158	244 252
	2	123	22.0	80	22.5	158 172	247 235	155 122	244 240
O ₈	1	121	22.0	80	23.0	199 203	280 290	171 180	245 254
	2	122	22.0	80	22.0	162 162	269 259	177 174	257 233
O ₉ (O ₁₁)	1	124	22.5	85	24.5	154 192	285 289	184 176	260 253
		119	21.0	84	22.5	199 191	288 274	210 210	271 271
	2	122	18.0	68	21.0	179 165	267 260	176 233	253 299
		119	19.5	60	19.0	207 207	298 307	244 244	329 325

まず塩分添加によって、凝結が早くなることは十分認められ、他所の結果^{9), 12)~13), 21), 22)}と一致する。その塩分が存在する時に防錆剤を添加すると、一般に凝結はおそくなる。つまり防錆剤は海砂使用によって早くなる凝結を遅延させ、丁度塩分が存在しない時の程度に凝結時間を調整する作用をもつ。勿論この凝結遅延作用は防錆剤によって程度が異なり、著しく凝結をおくらせるものも存在するが、これは市販品でない。この防錆剤を除き、防錆剤添加量多少の影響はあまり大きくはない。2倍量使用すると、凝結時間は少し長くなるのが一般に認められる。

6. むすび

海砂使用や海水練りを行った場合、凝結が早くなり、7日迄の初期強度の増加やスランプの減少等が報告されている^{9), 12)~13)}。また防錆剤を使用した時も強度の減少や流動性の減少等が指摘されている場合もあるし¹⁴⁾、強度の増加や凝結の変化等を述べてあるものもある^{9)~10)}。本報告はコンクリート中に食塩分が存在する場合や、防錆剤が使用された時のコンクリートの強度や、まだ固まらない性質について、筆者が行った実験や結果を報告してある。既往の報告の大部分と一致しているが、一部そうでない部分もある。

市販防錆剤についていえば、メーカー規定量の2倍量までなら、強度やワーカビリティ、フリージング性状等について悪影響はないようである。むしろその様な防錆剤が市販されているのであろう。強度については若干の増強と、凝結やワーカビリティの面では若干の改善がみられる。ただフリージング量を僅かではあるが増加させる傾向をもつものもあるようである。

本報告の中で、塩分量が非常に多い場合の結果が報告されているが、これはコンクリート中の埋込み鉄筋の防錆と云うことが主目的のためそうなのであり、現実のコンクリートでは、混練時の塩分量では0.25% (配合時のコンクリート重量に対する割合で、ほぼ海水練りの時の塩分量に相当) くらいが最大値であろう。従って、その程度までの塩分量なら、凝結が早くなり、28日強度で若干の減少がみられる以外に実害はなさそうである。また市販防錆剤はこれら塩分入りコンクリートの欠点を改善するように作用する。

まえがきの所で述べたように、食塩や防錆剤の存在がコンクリートの諸性質に及ぼす影響を測定することが、本報告の諸実験シリーズの目的ではなかったので、得られた結果については不十分のそしりをまぬかれないと思っている。これらの諸性質の解明については他日を期したいと考えている。

参考文献

- 1) 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
- 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——3ヶ月時と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
- 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
- 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），土木学会第33回年次学術講演会講演概要集第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3），昭和53年度土木学会西部支部研究発表会講演集，pp.311～312，1979年2月
- 6) 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
- 7) 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年半および2ヶ年時点——その1——，琉球大学理工学部紀要工学篇第17号，pp.23～47，1979年3月
- 8) Craig, R.J. & L. E. Wood: Effectiveness of Corrosion Inhibitors and Their Influence on the Physical Properties of Portland Cement Mortars, Highway Research Record, No.328, pp.77～88, 1970
- 9) 狩野春一，岸谷孝一，他4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5），建築学会論文報告集第54号，pp.37～40，1956年9月
- 10) 新材料新工法委員会：鉄筋コンクリート用防錆剤バリック，コンクリート工学，Vol.15, No.1, pp.128～132，1977年1月
- 11) Rosenberg, A.M., & J.M. Caidis: A Corrosion Inhibitor Formulated with Calcium Nitrite for use in Reinforced Concrete, Chloride Corrosion of Steel in Concrete, ASTM STP 629, pp.89～99, ASTM, 1977,
- 12) 池部緑：各種セメントの淡水，海水練り比較試験，セメントコンクリート，No.146, pp.16～22，1959年4月
- 13) 明石外世樹，他3名：海水モルタルの性状に関する基礎的研究，セメント技術年報 XIX, pp.233～236 1965年，
- 14) 仕入豊和：骨材および練り混ぜ水の新しい問題，第31回コンクリート講習会テキスト，pp.44～64，セメント協会，1972年
- 15) 柳場重正，他2名：海水を利用したコンクリートの諸性質について，土木学会第28回年次学術講演会概要集第5部，pp.207～208，1973年10月
- 16) 川村・山田：練り混ぜ水としての海水使用について，セメント技術年報 XXVIII, pp.180～185，1974年
- 17) 柳場重正，他2名：海水を利用したコンクリートの諸性質について，土木学会第29回年次学術講演会概要集第5部，pp.97～98，1974年10月
- 18) 児玉和己，他4名：海水を使用した場合の鉄筋の発錆とコンクリートの諸性質に及ぼす影響，鉄筋コンクリートにおける塩化物の影響に関するシンポジウム発表報文集，pp.9～12，日本コンクリート会議，1975年3月
- 19) 依田彰彦：海水，海砂，海砂利を用いたモルタルならびにコンクリートについての一実験例，鉄筋コンクリートにおける塩化物の影響に関するシンポジウム発表報文集，pp.13～16，日本コンクリート会議，1975年3月
- 20) Neville, A.M.: Properties of Concrete, p.201, John Wiley & Sons, 1963
- 21) 石川達夫，他2名：コンクリート用細骨材としての海砂の問題点，コンクリートジャーナル，pp.93～103，1973年10月
- 22) 児玉・御所窪：練り混ぜ水中の不純物がモルタルおよびコンクリートの諸性質におよぼす影響，コンクリートジャーナル，pp.12～27，1978年11月