

石川県における鉄筋コンクリートの塩害に関する実態調査と飛来塩分量に基づく考察

金沢工業大学大学院
金沢工業大学

工学研究科
環境・建築学部

学生会員
正会員

○毛利幸一

宮里心一

1. はじめに

近年、構造物のライフサイクルを考慮した維持管理が重要視されている。そのため、コンクリート構造物の劣化に関する研究・調査が多数行われている。ただし、耐久性問題は非常に複雑である。したがって、北陸地方において被害が顕著に見られる塩害についても、地域毎の環境条件を踏まえた設計・維持管理の方法は確立されていない。以上のことから本研究の目的では、多くの既存構造物の塩害データを収集・整理し、風向を考慮して考察を試みた。そのため、強い季節風の吹く石川県における厳しい環境条件下の約150箇所の既存鉄筋コンクリート構造物における塩害劣化・補修状況を調査した。さらにそれらを整理し調査結果を考察するため、飛来塩分量および塩分浸透量を実測した。これらの結果を取りまとめ、各地域の気象条件を踏まえた塩害照査方法を提案する。

2. 既存鉄筋コンクリート構造物調査

2.1 調査概要

能登半島の海岸近傍（200m以内）における150箇所の鉄筋コンクリート構造物について、目視やシュミットハンマー等を用いて調査を行った。表-1に調査の例を示す。さらに、調査結果に基づき劣化状況を5段階に評価した。表-2に劣化グレードの区分を示す。

2.2 調査結果

各地域の劣化グレードの頻度を図-1に示す。これによれば、能登半島西部のA地域とB地域および能登半島東部のC地域では、劣化程度は異なることが確認された。すなわち、同一県内においても劣化程度が異なることが確認された。この要因を考察するために、各地域において飛来塩分量と塩分浸透量を実測した。

3 考察のための実験

3.1 飛来塩分量の実験概要

各地域における飛来塩分量を測定するために、JIS Z 2381で規定されているガーゼ法に基づき実験を行った。また、[1]式¹⁾を用いて解析値も求めた。

$$C = \left(-2860/d^2 + 510/d + 1.64 \right) \times W \times \frac{1}{100} \quad [1]$$

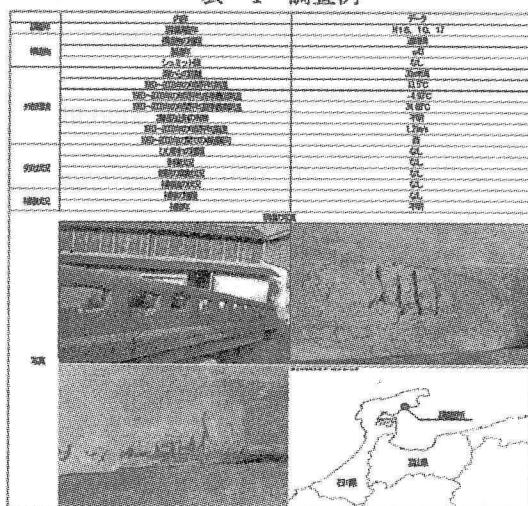
ここで、C：付着塩分量 (kg/m²)、d：汀線からの距離 (m)、W：面に垂直成分の一日の平均風速 (m/s)

3.2 塩分浸透量の実験概要

図-2に示すモルタル供試体を一年間にわたり暴露し、塩分浸透量を測定した。なおモルタルの水セメント比は50%であり、四つの角柱を組み合わせ一体化した。

したがって、「海側」・「陸側」・「海側から見て右側」・「海

表-1 調査例



調査例	名前	住所
1	田中	石川県羽咋市
2	山本	石川県羽咋市
3	佐藤	石川県羽咋市
4	松井	石川県羽咋市
5	鈴木	石川県羽咋市
6	高橋	石川県羽咋市
7	伊藤	石川県羽咋市
8	大庭	石川県羽咋市
9	小林	石川県羽咋市
10	鈴木	石川県羽咋市
11	高橋	石川県羽咋市
12	伊藤	石川県羽咋市
13	大庭	石川県羽咋市
14	小林	石川県羽咋市
15	鈴木	石川県羽咋市
16	高橋	石川県羽咋市
17	伊藤	石川県羽咋市
18	大庭	石川県羽咋市
19	小林	石川県羽咋市
20	鈴木	石川県羽咋市
21	高橋	石川県羽咋市
22	伊藤	石川県羽咋市
23	大庭	石川県羽咋市
24	小林	石川県羽咋市
25	鈴木	石川県羽咋市
26	高橋	石川県羽咋市
27	伊藤	石川県羽咋市
28	大庭	石川県羽咋市
29	小林	石川県羽咋市
30	鈴木	石川県羽咋市
31	高橋	石川県羽咋市
32	伊藤	石川県羽咋市
33	大庭	石川県羽咋市
34	小林	石川県羽咋市
35	鈴木	石川県羽咋市
36	高橋	石川県羽咋市
37	伊藤	石川県羽咋市
38	大庭	石川県羽咋市
39	小林	石川県羽咋市
40	鈴木	石川県羽咋市
41	高橋	石川県羽咋市
42	伊藤	石川県羽咋市
43	大庭	石川県羽咋市
44	小林	石川県羽咋市
45	鈴木	石川県羽咋市
46	高橋	石川県羽咋市
47	伊藤	石川県羽咋市
48	大庭	石川県羽咋市
49	小林	石川県羽咋市
50	鈴木	石川県羽咋市
51	高橋	石川県羽咋市
52	伊藤	石川県羽咋市
53	大庭	石川県羽咋市
54	小林	石川県羽咋市
55	鈴木	石川県羽咋市
56	高橋	石川県羽咋市
57	伊藤	石川県羽咋市
58	大庭	石川県羽咋市
59	小林	石川県羽咋市
60	鈴木	石川県羽咋市
61	高橋	石川県羽咋市
62	伊藤	石川県羽咋市
63	大庭	石川県羽咋市
64	小林	石川県羽咋市
65	鈴木	石川県羽咋市
66	高橋	石川県羽咋市
67	伊藤	石川県羽咋市
68	大庭	石川県羽咋市
69	小林	石川県羽咋市
70	鈴木	石川県羽咋市
71	高橋	石川県羽咋市
72	伊藤	石川県羽咋市
73	大庭	石川県羽咋市
74	小林	石川県羽咋市
75	鈴木	石川県羽咋市
76	高橋	石川県羽咋市
77	伊藤	石川県羽咋市
78	大庭	石川県羽咋市
79	小林	石川県羽咋市
80	鈴木	石川県羽咋市
81	高橋	石川県羽咋市
82	伊藤	石川県羽咋市
83	大庭	石川県羽咋市
84	小林	石川県羽咋市
85	鈴木	石川県羽咋市
86	高橋	石川県羽咋市
87	伊藤	石川県羽咋市
88	大庭	石川県羽咋市
89	小林	石川県羽咋市
90	鈴木	石川県羽咋市
91	高橋	石川県羽咋市
92	伊藤	石川県羽咋市
93	大庭	石川県羽咋市
94	小林	石川県羽咋市
95	鈴木	石川県羽咋市
96	高橋	石川県羽咋市
97	伊藤	石川県羽咋市
98	大庭	石川県羽咋市
99	小林	石川県羽咋市
100	鈴木	石川県羽咋市
101	高橋	石川県羽咋市
102	伊藤	石川県羽咋市
103	大庭	石川県羽咋市
104	小林	石川県羽咋市
105	鈴木	石川県羽咋市
106	高橋	石川県羽咋市
107	伊藤	石川県羽咋市
108	大庭	石川県羽咋市
109	小林	石川県羽咋市
110	鈴木	石川県羽咋市
111	高橋	石川県羽咋市
112	伊藤	石川県羽咋市
113	大庭	石川県羽咋市
114	小林	石川県羽咋市
115	鈴木	石川県羽咋市
116	高橋	石川県羽咋市
117	伊藤	石川県羽咋市
118	大庭	石川県羽咋市
119	小林	石川県羽咋市
120	鈴木	石川県羽咋市
121	高橋	石川県羽咋市
122	伊藤	石川県羽咋市
123	大庭	石川県羽咋市
124	小林	石川県羽咋市
125	鈴木	石川県羽咋市
126	高橋	石川県羽咋市
127	伊藤	石川県羽咋市
128	大庭	石川県羽咋市
129	小林	石川県羽咋市
130	鈴木	石川県羽咋市
131	高橋	石川県羽咋市
132	伊藤	石川県羽咋市
133	大庭	石川県羽咋市
134	小林	石川県羽咋市
135	鈴木	石川県羽咋市
136	高橋	石川県羽咋市
137	伊藤	石川県羽咋市
138	大庭	石川県羽咋市
139	小林	石川県羽咋市
140	鈴木	石川県羽咋市
141	高橋	石川県羽咋市
142	伊藤	石川県羽咋市
143	大庭	石川県羽咋市
144	小林	石川県羽咋市
145	鈴木	石川県羽咋市
146	高橋	石川県羽咋市
147	伊藤	石川県羽咋市
148	大庭	石川県羽咋市
149	小林	石川県羽咋市
150	鈴木	石川県羽咋市

表-2 劣化グレード

グレード	実構造物例	腐食状況			
		はく落	錆汁	ひび割れ	鉄筋腐食
A		多量	多量	多量	多量
B		少量	多量	多量	多量
C		無	少量	少量	少量
D		無	無	少量	少量
E		無	無	無	無

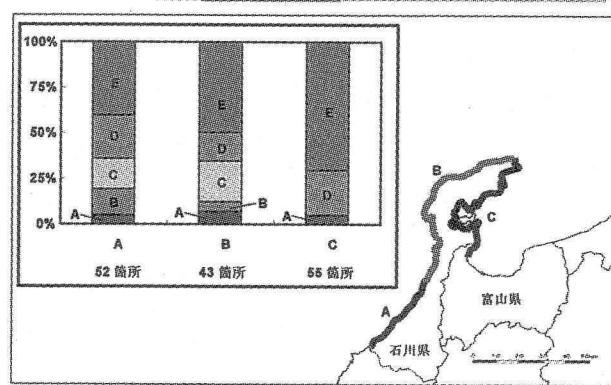


図-1 劣化グレードの頻度

側から見て左側」の4方向の塩分浸透量を測定できる。

3.3 実験結果

図-3に飛来塩分量の実験結果を示す。この結果より、C地域<B地域=A地域の順に、飛来塩分量が増加していることが確認できた。図-4に塩分浸透量の結果を示す。この結果より、C地域<B地域<A地域の順に、塩分浸透量が増加していることが確認できた。

これらの結果から各地域において塩害環境が異なっていることが確認できた。

3.4 考察

上記の要因は、海から吹く風の影響を受けるためと考えられた。よって、各地域の風条件を図-5の通りに調査した。

この図によれば、A地域とB地域では、海風が卓越していることが認められる。したがって飛来塩分量が多く、塩害劣化が速かったと考えられた。一方、C地域では、陸風が卓越していることが認められる。したがって、飛来塩分量が少なく、塩害劣化が遅かったと考えられた。

4. 地域を考慮した塩害照査方法の提案

近傍の地域においても半島などでは風向が異なるため、塩害劣化は異なることが分かった。以上を踏まえ、鉄筋コンクリートの塩害照査時における表面塩分量について、地域性を考慮することを試みた。[2]式を用いて、各地域の飛来塩分量を踏まえ、表面塩分量を算出し、コンクリート内部の移動量を[3]式に示すフィックの法則に基づき算定した。その結果を図-6に示す。

$$C_w = C_o \times \frac{\text{調査箇所における一年間の飛来塩分量}}{\text{日本全国における一年間の平均飛来塩分量}} \quad [2]$$

ここで、 C_w : 表面塩化物イオン含有量(kg/m^3)、 C_o : 現在、示方書に示されている表面塩化物イオン含有量の標準値(kg/m^3)。

$$C(x, t) = C_w \cdot \left(1 - erf \left(\frac{x}{2\sqrt{D \cdot t}} \right) \right) \quad [3]$$

ここで、 $C(x, t)$: 深さ x (cm)、時刻 t (年)における塩分濃度(kg/m^3)、 D : 塩分量の見かけの拡散係数($\text{cm}^2/\text{年}$)、 erf : 誤差関数。

これによると、A・B地域では、かぶり5cmの深さにおいて発錆塩分量($1.2\text{kg}/\text{m}^3$)を超えていることが確認できる。一方、C地域では、かぶり5cmの深さにおいても発錆塩分量を超えていないことが確認できた。このことは、実構造物調査結果からも裏付けられた。

5. 結論

塩害劣化は地域性を有することが確認された。すなわち、風向(海風、陸風)が異なれば、限られた半島内でも塩害劣化程度は異なることが確認できた。したがって今後、地域の環境条件を考慮して耐久性設計手法を考慮すべきである。

【謝辞】科学研究補助金(No.16360225、代表丸山久一教授)の一部として行った。

【参考文献】1) 浜田純夫ほか: 海岸付近の飛来塩分調査とコンクリートに浸透する塩分、第8回コンクリート工学講演会論文集、pp. 81-84、1986.

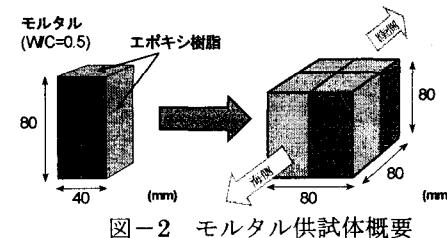


図-2 モルタル供試体概要

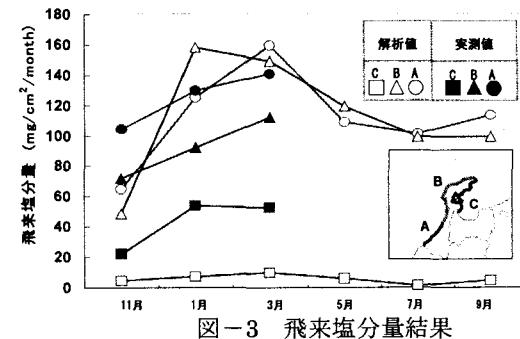


図-3 飛来塩分量結果

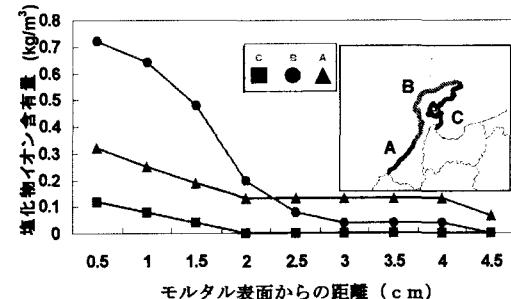


図-4 塩分浸透量結果

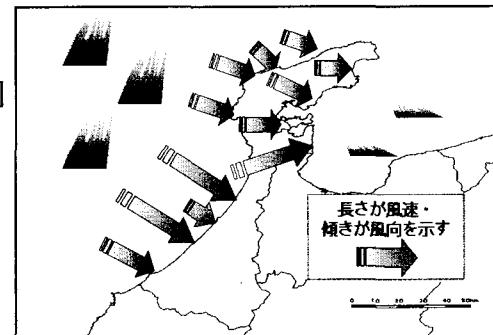


図-5 風条件

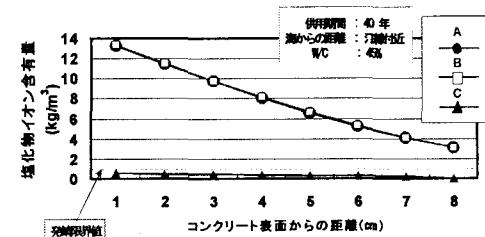


図-6 照査法による浸透量結果