

# 海岸付近の飛塩量調査

浜田 純夫\*・日野 伸一\*・兼行 啓治\*

Salt Measurement in the Coastal Region

Sumio HAMADA, Shin-ichi HINO and Keiji KANEYUKI

## Abstract

Concrete bridges and structures near the ocean have been severely deteriorated due to sea salt in the atmosphere. Design guides of highway bridges near the ocean are prescribed by Japan Road Association. According to the design guide, bridges within 200 meters from the coast shall be taken a measure to meet the rules preventing corrosion of steel in concrete. This distance of 200 meters has been determined based on the bridge survey near the ocean. That is, deterioration is very rare for bridges located in the region more than 200 meters away from the coast.

The present study aims to obtain the relationship between salt quantity in the air and distance from the coast. Measurement of salt in the air was conducted on the coast of the Japan Sea in winter seasons. Salt was measured with gauze of 100 cm<sup>2</sup> in size.

As the result, salt in the air is inversely proportional to the distance from the coast, and is very little at distances more than 100 meters from the coast. Furthermore, salt is little at the height of 30 meters. A simple model was proposed for phenomenon of blowing salt particles in the atmosphere.

### 1. まえがき

コンクリート構造物の塩分による被害は最近に始まったものではない。海岸近くのコンクリート構造物は常にこの危険性をもたされている。過去においては、コンクリート構造物の塩害の原因は海砂にあるとされていた。しかし、海砂をよく調べると全く水洗されていない場合は別として、何らかの形で除塩されるため、海砂による被害は必ずしも大きいものではない。沖縄県材料試験所の昭和55年、56年の2年間の海砂の含塩分量の抜き取り調査によれば、平均して0.036%となっている。これは土木学会および建築学会の両方の規準を十分クリアしているものである。

しかし、コンクリートの外から浸入してくる塩分は日時とともに増大してゆくのである。この浸透量は当然コンクリート強度や表面処理により異なる。さらに、最も大きい要因は吹きつけられる塩分量と考えられる。塩分量の目安は、日本コンクリート工学協会「コンクリート構造物の防食指針(案)」<sup>1)</sup>では海中、飛沫帯、海上大気中に分けている。さらに、日本道路協会の「道路橋の塩害対策指針」<sup>2)</sup>によれば、海岸から200m以内

を対象にし、地域的には沖縄県と京都府以北の日本海沿岸としている。

すでに多くの調査からも明らかなように、最も厳しい状況にある沖縄県においても、30年以上経ってなお健全な橋梁も多くある。これは、やはり飛塩量に関係するところである。

この様な観点から、本研究では、飛塩の環境を調べる実験を行った。当然ながら、この飛塩量の主なファクターは気象条件、海象条件および地形条件と考えられる。ここでは、気象条件としては風速のみに注目した。位置は日本海に面している山口県豊浦郡小串海岸および長門市青海島とし、これらの地形が平坦部と30m程度の丘の上ということを利用した。飛塩の測定にはガーゼを用い、イオンメーターにより検出を行った。

### 2. 測定位置

飛塩量調査位置として冬期に北西の強い季節風を受ける日本海沿岸の豊浦郡小串海岸および長門市青海島を選んだ。小串海岸は500m近くの平坦地が存在することにより、また、青海島は急な高台があり、高さによる飛塩量の測定ができるからである。小串海岸では測定位置を2ヶ所選定した。これらの位置の図を Fig. 1 に示す。また、地形を Fig. 2 に示す。

\*土木工学科

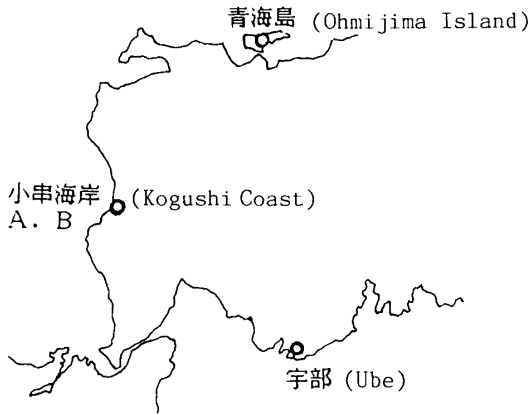
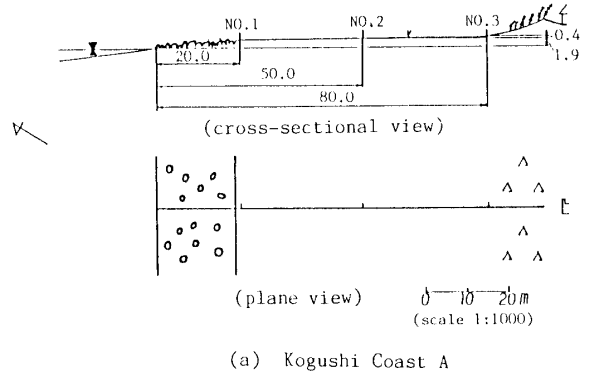
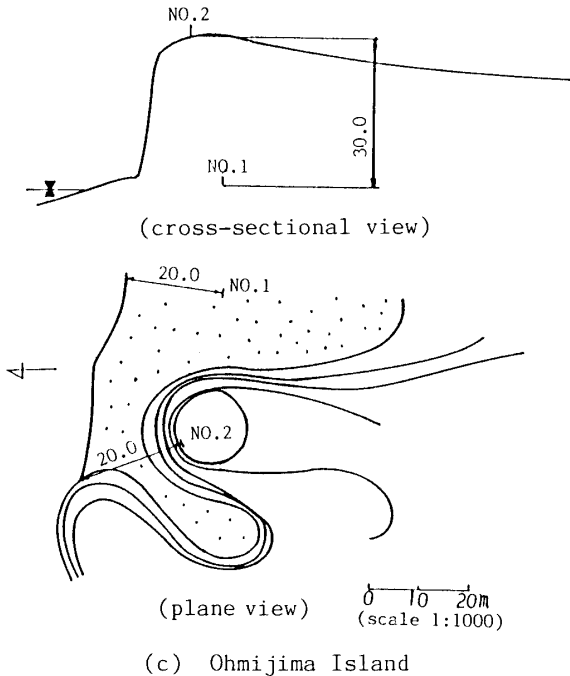


Fig. 1 Locations of Measurement

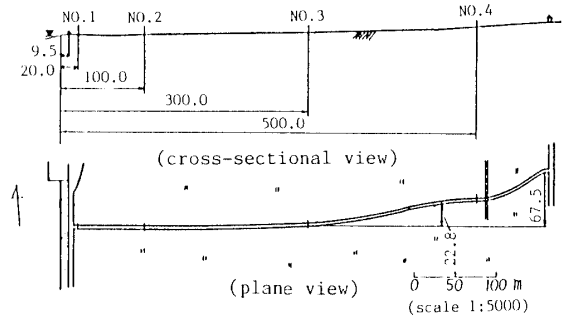


(a) Kogushi Coast A



(c) Ohmijima Island

Fig. 2 (c) Views of Measurement Location (Ohmijima Island)



(b) Kogushi Coast B

Fig. 2 (a),(b) Views of Measurement Locations (Kogushi Coasts)

これらの近くの測候所の風速および風向を Table 1 に示す<sup>3)</sup>。この気象は58年の平均である。風向はここでは最頻の方向を示す。というのは平均風向の考え方の存在が疑わしいことによるものである。測定は、最も風の強い12月と1月を選んだ。

Table 1 Climatic Table at Shimonoseki

| MONTH               | JAN | FEB | MAR | APR | MAY | JUN | JUL | AUG | SEP | OCT | NOV | DEC | ANN |
|---------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Wind velocity (m/s) | 5.2 | 4.8 | 4.6 | 4.6 | 4.8 | 4.1 | 4.3 | 4.4 | 3.8 | 3.8 | 4.4 | 4.8 | 4.5 |
| Standard deviation  | 0.9 | 0.4 | 0.4 | 0.5 | 0.6 | 0.4 | 0.5 | 0.7 | 0.3 | 0.3 | 0.4 | 0.6 | 0.2 |
| First direction     | WNW | WNW | ENE | E   | E   | E   | E   | E   | ENE | ENE | ENE | WNW | ENE |
| Percentage (%)      | 24  | 20  | 18  | 23  | 26  | 28  | 29  | 26  | 22  | 24  | 21  | 22  | 20  |
| Second direction    | NW  | ENE | WNW | ENE | ENE | ENE | ENE | ENE | E   | E   | E   | ENE | E   |
| Percentage (%)      | 16  | 18  | 17  | 23  | 23  | 21  | 19  | 21  | 20  | 17  | 16  | 17  | 20  |
| Third direction     | ENE | NW  | E   | WNW | WNW | WNW | WNW | WNW | NW  | WNW | WNW | E   | WNW |
| Percentage (%)      | 14  | 14  | 16  | 14  | 14  | 16  | 13  | 12  | 9   | 8   | 13  | 12  | 15  |

3. 測定方法

空気中塩分の捕捉法には、液体を通過して空気から塩分を洗い出す方法、ガラス、プラスチック、金属などの表面に粒子を衝突させて採取する方法、ガーゼに付着させる方法などがある。一方、建設省の行う採塩法は金属箱を用いている<sup>4)</sup>。この方法は連続して長期になるものに有効と考えられる。

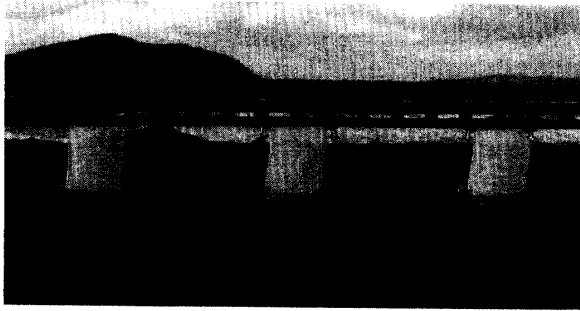


Photo. 1 Set up of Gauze

本研究においてはガーゼを用いた採塩法を採用した。多くの実施例があることと方法の容易さによるものである。ガーゼの大きさは、10cm×12cmであり、この有効面積は10cm×10cmとなっている。Photo. 1の様に固定した。過去の研究によれば、ガーゼの付着塩分量は風速2 m以上においては、ほぼ50%であるとの報告がある<sup>5)</sup>。建設省では金属箱に収集する方法を用いているが、これは長時間の塩分を捕捉するときには有効と考えられる。しかし、短時間では塩分量が微量となるため精度が落ちる。一方、ガーゼ法では、長期間では付着容量を越えるため、やはり精度が落ちる。

ガーゼに付着した塩分を抽出するため、常温の蒸留水にガーゼを24時間浸した。この塩分量を塩素イオンメーターで検出した。これは、0.00001%以上の濃度に対して有効とされているメーターである。

蒸留水量は200mlで、同温度の標準液で校正しながらCl<sup>-</sup>濃度を検出した。この検出量から1時間当り1 m<sup>2</sup>に飛遊する塩分量を算出する。

4. 実験結果および考察

4.1 予備実験

a) ガーゼの大きさ

ガーゼの大きさが一辺10cmおよび15cmの正方形の2種類について実験を行った。単位面積当りの採塩量を Table 2 に示す。いずれのガーゼにおいてもほぼ同程度の値を示している。この結果、10cm×10cmのガーゼを用いることとした。

b) 採塩時間

Table 2 Size Effect of Gauze

| Time of exposure (min.) \ Size of gauze | 15  | 30  | 60  | 120 | 240 | Average |
|---|-----|-----|-----|-----|-----|---------|
| 10×10 (cm <sup>2</sup> )                | 600 | 670 | 682 | 656 | 770 | 675     |
| 15×15 (cm <sup>2</sup> )                | 692 | 628 | 621 | 617 | 745 | 661     |

採塩時間と付着塩分量とがほぼ比例することは当然と考えられる。本実験においては、15分から4時間まで測定した。風速は、この間ほぼ一定で、8 m/s程度であった。この結果を Fig. 3 に示す。Fig. 3は、両者の関係がほぼ直線であることを示している。

採塩時間が長すぎると採塩容量を越えることがある

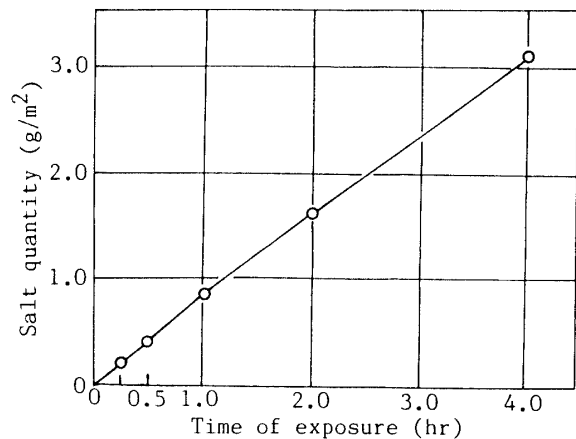


Fig. 3 Time Effect of Exposure

こと、また逆に短かすぎれば風速にムラが出てくることから、採塩時間を1時間とした。

c) 付着塩分検出法

塩分の検出法には一般に2つの方法が用いられている。1つはモールの銀滴定法で、5%クロム酸カリウムを加えた試料に0.1N硝酸銀溶液をビュレットで滴下して赤褐色の沈澱を生ずるまでの滴定量から塩素量を算定する。この方法は、微量の塩分量測定には適していない。もう1つの方法は、塩素イオンメーターを用いる方法である。2つの塩素イオン濃度が既知の標準液により検量線を作成し、この2つの間にある濃度の試料のイオン濃度を求め、これから塩素量を算定する。この方法は温度などかなり微妙な条件によりくることがある。しかし、微量量に対して相当精度がよい。

結果的には、塩素イオンメーターを用いることにした。

d) 採塩の地上からの高さ

地上からの高さにより、飛遊塩分量は幾分異なると

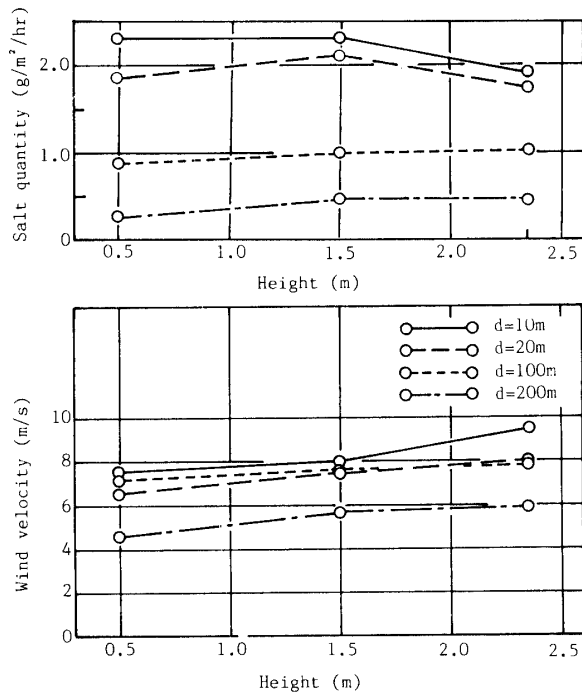


Fig. 4 Heights of Gauze from the Earth Surface

考えられる。その原因の一つは、測定可能な範囲内の高さにおいて地面に近い程、風速が小さいことが考えられる。例えば、Fig. 4に風速分布を示すが、2例ではあるが明らかに低い所程風速が小さい。

一方、これらの風速に伴う付着塩分量は地面に近い程小さくなることを示しているものの、必ずしも風速には比例していない。しかし、飛遊する塩分量はこれらの内に必ずしも大きい差異を示しているものではないので、本測定では1.5mの高さに定めることとする。

4.2 風速と飛塩量の関係

Fig. 5に海岸の汀線から20mの位置における飛塩量

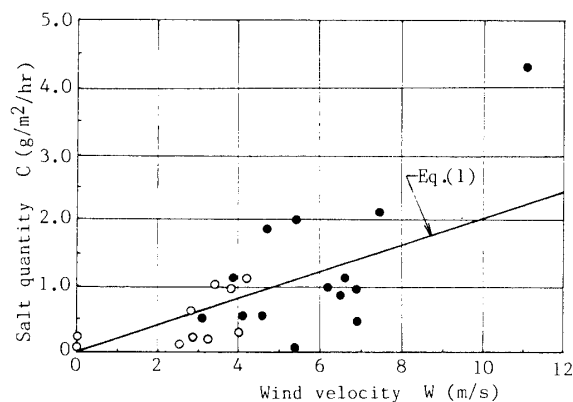


Fig. 5 Salt Quantity-Wind Velocity Relationship at 20 Meters Distance from the Coastline

と風速の関係を示す。各地点における両者の関係は異なるものの、およそ比例しているものと考えられる。20mの地点においてもなお、波高や碎波による影響が含まれることにより、このような差異が生じたものであろう。これらの関係を最小二乗法を用いて表わすと、飛塩量 C(g/m<sup>2</sup>/hr)は次のようになる。

$$C = 0.20W \quad \text{---(1)}$$

ここで、Wは、風速 (m/sec)である。

なお、20mの位置を基準にしたのは、汀線に近すぎると大粒の粒子の多すぎることの、遠すぎれば絶対値が小さくなることの弊害を除くためである。

4.3 汀線からの距離と飛塩量の関係

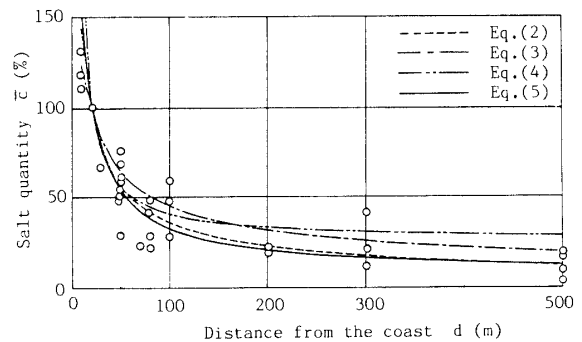


Fig. 6 Salt Quantity-Distance Relationships

汀線からの距離と飛塩量との関係を Fig. 6に示す。ただし、飛塩量は汀線から20mの位置での量との割合で示している。Fig. 6から明らかな様に、ほぼ100mまでは直線的に低下してゆき、100mをすぎると20mの位置の1/5以下に減少し、ほぼ一定となる。これは、空气中塩分が飛遊せず地面に落ちてゆくものと考えられる。

各々の飛塩量と20mの位置での飛塩量との比を20m塩分比( $\bar{C}$ )と定義し、汀線からの距離をd(m)としたとき、 $\bar{C}$ とdの関係を次の式で与えた。これらの式の係数はいずれも実験値から得られたデータを最小二乗法を用いて求めたものである。

$$\bar{C} = 100 \cdot (20/d)^{0.64} \quad \text{---(2)}$$

$$\bar{C} = 447/\sqrt{d} \quad \text{---(3)}$$

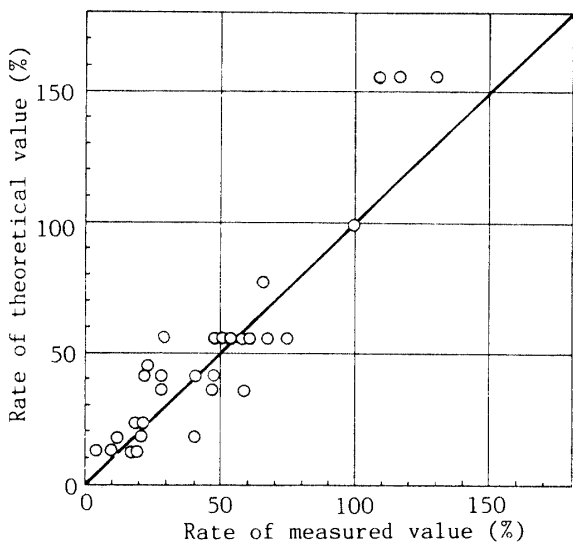
$$\bar{C} = 1490/d + 25.6 \quad \text{---(4)}$$

$$\bar{C} = -14300/d^2 + 2550/d + 8.2 \quad \text{---(5)}$$

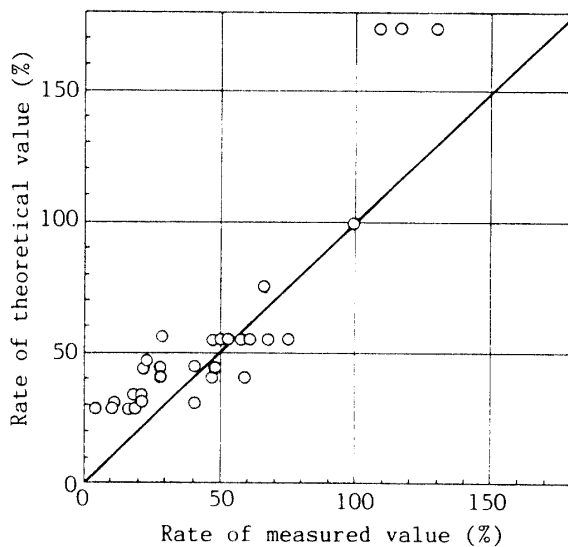
式(2)~(5)の理論値と実測値の整合性をみるために、Fig. 7に理論値と実測値の比較を示す。この図からも判明する様に、また、図中の分散値からもわかる様に式(5)が最も適している。

式(1)と式(5)から、汀線からの距離及び風速と飛塩

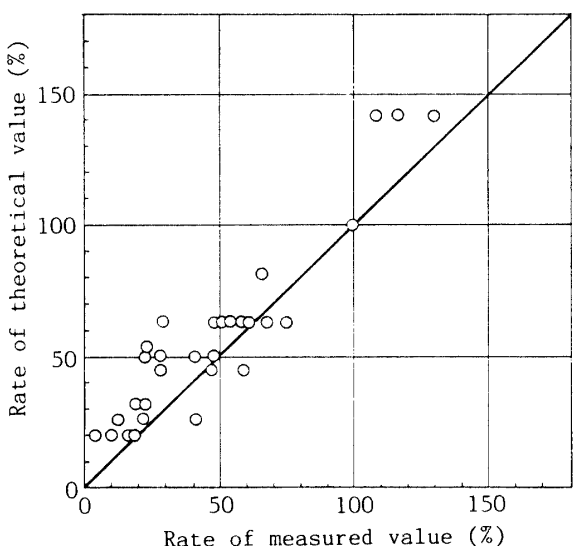
量との関係は次式で与えられることになる。



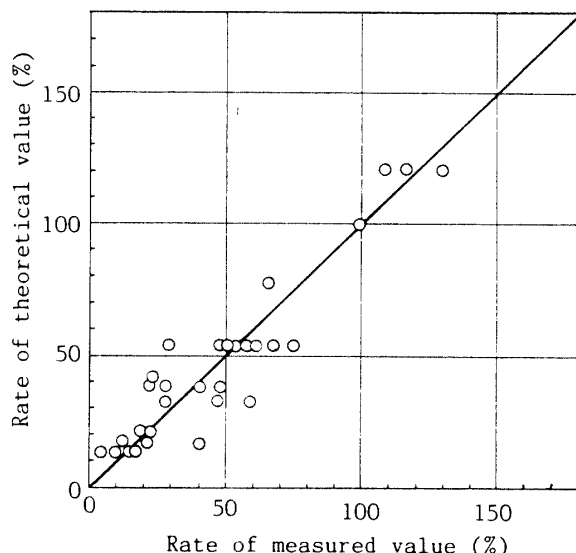
(a) Eq.(2)



(c) Eq.(4)



(b) Eq.(3)



(d) Eq.(5)

Fig. 7 (a),(b) Relationships between Theoretical and Measured Values

Fig. 7 (c),(d) Relationships between Theoretical and Measured Values

$$C = 0.20 \cdot (-14300/d^2 + 2550/d + 8.2)W \quad \text{---(6)}$$

なお、この式はあくまで平地で海拔2~3m程度の低地におけるものである。

一方、各地における飛塩量と20m塩分比をFig. 8に示す<sup>5)~7)</sup>。本実測結果とよく類似していることが判明した。ただし、泡瀬(沖縄)および十里塚が異なるのは、地形によるものと考えられる。

以上の結果から判明する様に海岸付近の飛塩量はあくまで汀線からの距離100m以内が問題となり、それを越えると急激に小さくなる。また、100m以内では海

塩粒子は比較的大粒なのに対し、100m以上になると小さくなるのは、それが沖合で発生した微細塩粒子の浮遊によるものと考えられる<sup>8)</sup>。

#### 4.4 海拔と飛塩量の関係

長門市青海島の標高30mの位置で飛塩量を測定した。Fig. 9に飛塩量と風速を示す。1.5mと30mの高さで風速はほとんど変わらないにもかかわらず、飛塩量に大きい差がある。これは大粒の海塩粒子が30mの位置には達せず、エアロゾルとなっている微細塩粒子の

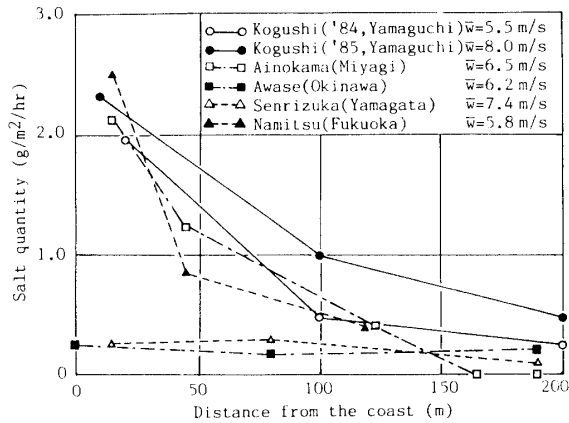


Fig. 8 Salt Measurement at Other Places

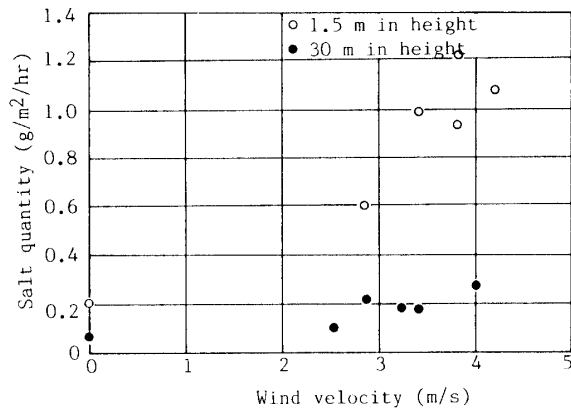


Fig. 9 Height Effect of Salt Quantity

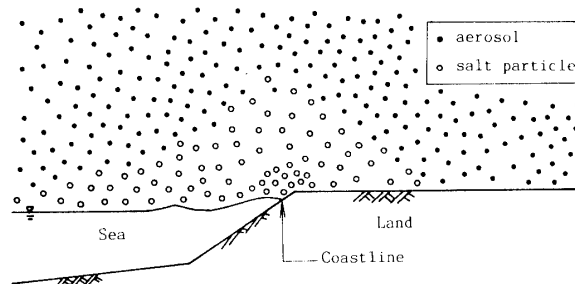


Fig. 10 Model of Salt Diversion the Coastal Region

みが舞い上がっていることによるものであろう。30mの位置における飛塩量は、式(5)から推定すれば水平距離の100m以上に相当している。

4.3及び4.4節から、飛塩の様子についておよそFig. 10の様な仮説が設けられる。

### 5. むすび

我国は海に囲まれ、多大な地域において構造物が塩分を受けている。受ける塩分量が大きいのは道路協会の道路橋の塩害対策指針の様に、現在の段階では200m以内とされてきた。しかし、測定結果からもわかる様に100m以上海岸から離れていれば、それ程多くの塩分は飛来しないことが判明した。

また、高さについては未だに十分測定できていないが、大粒子塩分の舞い上がる高さを測定することが望ましい。少なくとも30mの高さには達していないことが判明した。

なお、これらの測定はあくまで風速が10m/s以下の範囲である。台風時の様に特に強い風を受ける時の飛塩量については今後なお、検討の余地が残されている。

### 謝 辞

この測定は山口大学土木工学科土木構造学講座の教官、学生で行った。中でも58年度は小路圭介君（現）若築建設）、59年度は佐竹章宏君が卒業研究として行ったものである。真冬の寒い中、学生諸君の測定は極めて困難をきたした。ここに心を込め深謝する。

### 参 考 文 献

- 1) 日本コンクリート工学協会：海洋コンクリート構造物の防食指針(案)，技報堂，(1983)
- 2) 日本道路協会：道路橋の塩害対策指針(案)・同解説，(1984)
- 3) 気象庁：日本気候表(その2)，(1982)
- 4) 建設省土木研究所：飛来塩分量全国調査(I)，土木研究所資料(1985)
- 5) 幸喜善福他：海岸附近の塩分量について(I)，日林九支研究論文集，No.22(1968)
- 6) 末勝海：海岸砂防土に関する基礎的研究，九大農学部演習林報告43，(1968)
- 7) 内田茂男：海岸における空中塩分の測定について，治山事業参考資料，No.2(1950)
- 8) K. Hama, : Measurement of Sea Salt Particles on the coast under moderate wind, Papers in Meteorology and geophysics, 21, (1970)

(昭和60年10月15日 受理)