

### 第3章 上部構造における塩害対策の検討

この章では、第2章で整理した今回（第3回塩害調査）の塩害実態データ（橋梁定期点検（近接目視）結果）を用いて、国総研資料No. 55と同様の方法により、塩害の地域区分別に、上部構造の塩害対策について検討を行った。

#### 3.1 今回（第3回塩害調査）の塩害実態データを用いた塩害対策の検討

塩化物イオンの侵入に伴う鋼材の腐食が懸念される地域内に建設されるコンクリート橋は、コンクリート橋が設置される環境、飛来する塩分、塩分の浸透度合い、コンクリートの品質、形状等を考慮し、設計で想定する期間における鋼材位置での塩化物イオン濃度が鋼材腐食発生限界濃度以下であることを確認することにより、安全性・使用目的との適合性を照査することが可能である。【道路橋示方書Ⅲコンクリート橋編(H14)より】

そこで、この章では、国総研資料No. 55と同様の方法を用いて、地域区分別に、供用年数と海岸線からの距離との関係において、鋼材位置における塩化物イオン濃度が鋼材腐食発生限界濃度となるように各種パラメータを設定した理論曲線（フィックの拡散方程式）と、第2章で整理した今回の塩害実態データ（橋梁定期点検（近接目視）結果）とを比較することによって、今回の塩害実態データと塩害被害の有無の関係が矛盾しない理論曲線（フィックの拡散方程式）を求め、その理論曲線（フィックの拡散方程式）により海岸線からの距離に対する必要かぶり厚を算出した。さらに、この必要かぶり厚を、既存の塩害対策と対比することにより、対策の見直しの必要性についても検討を行った。

但し、いずれのカテゴリーにあっても、塩害の実態データ数が限られるとともに、そのデータの分布が大きくばらついているため、理論曲線（フィックの拡散方程式）による<sup>しきいち</sup>閾値の評価には精度上の限界があることに注意が必要である。

なお、地域区分Aについては塩害実態データが入手できなかったことから、今回は地域区分B・Cのみを検討の対象とした。

### 3.1.1 理論曲線（フィックの拡散方程式）の設定から必要かぶり算出までの方法

図-3.1に、国総研資料No. 55に示された理論曲線（フィックの拡散方程式）の設定から必要かぶりを算出するまでのフローを示す。

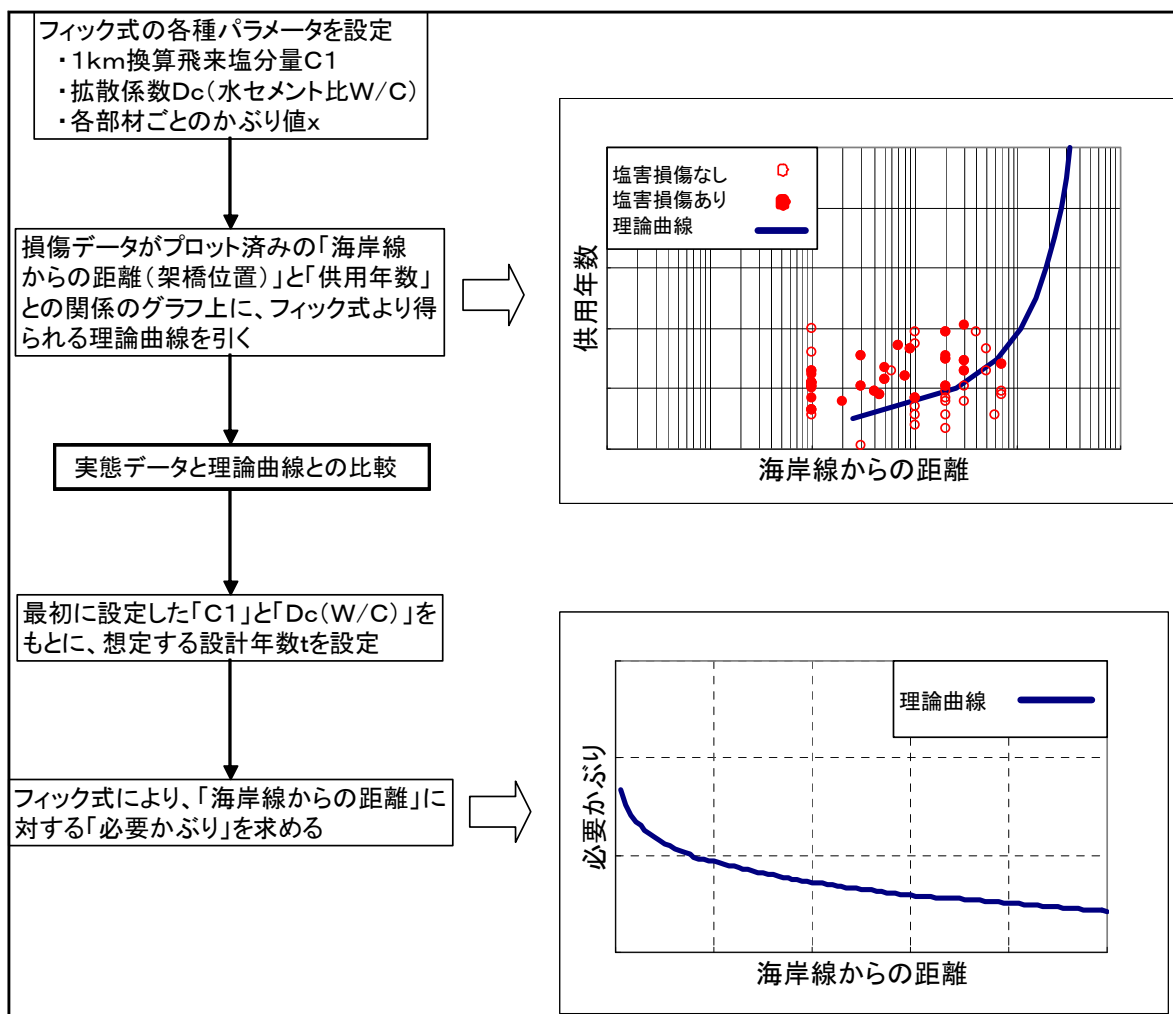


図-3.1 理論曲線（フィックの拡散方程式）の設定から必要かぶりを算出するまでのフロー

#### グラフの特徴

「海岸線からの距離」と「供用年数」との関係のグラフの特徴として、以下に示す。

- ①同じ強度（水セメント比）で 1km 換算飛来塩分量が増加すると、グラフ上の曲線は右ヘシフトする。
- ②上記①とは逆に、同じ 1km 換算飛来塩分量で水セメント比が減少すると、グラフ上の曲線は左ヘシフトする。これは、水セメント比が減少すると、一般には、コンクリートの密実性が上がり、結果として塩化物イオンが鋼材位置まで到達する時間が延びる、という関係が実態としても成立することが示される、ということである。

### 3.1.2 理論曲線(フィックの拡散方程式)および各種パラメータの設定

国総研資料No. 55に示されたフィックの拡散方程式および各種パラメータの設定方法を以下に示す。

#### (1) フィックの拡散方程式 <sup>3.1) 3.2) 3.3) 3.4) 3.5)</sup>

塩化物イオンの浸入を受けるコンクリート中において鋼材腐食が発生しないことを塩害に対する構造物の耐久性の限界状態とした場合、その耐久性の照査は、コンクリート中に侵入し鋼材位置に蓄積した塩化物イオン濃度を算出し、その値が鋼材腐食発生限界濃度以下であることを照査することと置き換えて考えることができる。<sup>3.3)</sup>

そこで、国総研資料No. 55では、フィックの第2法則から、下式により必要かぶりを算出することとした。

$$C(x, t) = C_0 \left\{ 1 - \operatorname{erf} \left( \frac{x}{2\sqrt{D_c \cdot t}} \right) \right\} < C_{lim} - C_{init}$$

$C(x, t)$  : 時間 $t$ (sec)経過した時点でのかぶり $x$ (cm)の位置での塩化物イオン量(kg/m<sup>3</sup>)

$D_c$  : 拡散係数(cm<sup>2</sup>/sec)

$C_0$  : コンクリート表面における塩化物イオン量(kg/m<sup>3</sup>)

$$C_0 = 1.2 \times C_{air}^{0.4} \quad (\text{NaCl換算の場合})$$

$$C_{air} = C_l \times d^{-0.6} \quad : \text{飛来塩分量(mdd)} \quad (\text{mdd} = \text{mg/dm}^2/\text{day})$$

$\operatorname{erf}(x)$  : 誤差関数

ここで、

$$C_{lim} : \text{腐食発生限界塩化物イオン量(kg/m}^3\text{)} = 1.2 \text{ kg/m}^3$$

$$C_{init} : \text{コンクリート中の初期塩化物イオン量(kg/m}^3\text{)} = 0.3 \text{ kg/m}^3$$

一般の鋼材の腐食発生限界塩化物イオン量 $C_{lim}$ は1.2kg/m<sup>3</sup>とされている。(国内でのコンクリート中の普通鋼材の腐食発生限界塩化物イオン量は一般に実験により得られた1.2～2.5kg/m<sup>3</sup><sup>3.7)</sup>と考えられている。これまでの既設橋の調査においても、1.2kg/m<sup>3</sup>以下では鋼材の腐食はほとんど見られず、2.5kg/m<sup>3</sup>を越えると鋼材の腐食が見られることが多い傾向にある。1.2～2.5kg/m<sup>3</sup>の範囲はグレーゾーンであり、かぶり厚に応じて酸素の供給量が異なるためではないかと考えられるが明確にはされていない。文献3.2)では、塩化物イオンの浸透による鋼材腐食の照査において腐食発生限界塩化物イオン量は1.2kg/m<sup>3</sup>としてよいとされている。)

初期塩化物イオン量 $C_{init}$ は、0.3kg/m<sup>3</sup>とした。(今回の検討では、道路橋示方書Ⅲコンクリート橋編(H14)でも示されている、フレッシュコンクリート中の塩化物イオン量の制限値までの塩化物イオン量の存在を前提として設定した。)

## (2) 拡散係数 $D_c$

拡散係数は、水セメント比 $W/C$ の関数である下式によるものとした。(詳細な内容については、文献3.5、文献3.6を参照されたい。)

$$D_c = (5 \times 10^{-7}) \times e^{-1.6(C/W)}$$

ただし、波や波しぶきを頻繁に受ける部材については、別途検討が必要である。

表-3.1に、かぶり算定時に想定する水セメント比 $W/C$  (%) を示す。<sup>3.5)</sup>

表-3.1 かぶり算定時に想定したコンクリートの $W/C$  (%)

| プレテン<br>ションPC<br>部材 | ポストテン<br>ションPC部<br>材 | 左記以外の<br>部材 (RC部<br>材) |
|---------------------|----------------------|------------------------|
| 36%                 | 43%                  | 50%                    |

## (3) コンクリート表面の塩化物イオン量 $C_o$

### ① 飛来塩分量

コンクリート表面の塩化物イオン量 $C_o$ の算定は、下式によるものとした。(詳細な内容については、文献3.1、文献3.5を参照されたい。)

$$C_o = 1.2 \cdot C_{air}^{0.4} \quad (\text{NaCl換算の場合})$$

$$C_{air} = C_1 \times d^{-0.6} \quad : \text{飛来塩分量 (mdd)、} \quad mdd = \text{mg/dm}^2/\text{day}$$

$C_1$  : 1km換算飛来塩分量 (mdd)

$d$  : 海岸線からの距離(km)

ただし、海上や海岸線で0kmの場合は  $d = 0.001\text{km}$  とした。

ここでいう飛来塩分量とは、1年間に10cm×10cmのステンレス板に付着した塩分量を測定日数で除した値とした。

### ② 地域区分BおよびCの1km換算飛来塩分量 $C_1$

飛来塩分量は、海岸線からの距離によって減衰する傾向があり、気象・海象の影響により地域特性があることから、ここでは地域区分毎に1km換算飛来塩分量 $C_1$ を設定することとした。なお、 $C_1$ については文献3.1)のデータを基に設定した。



表-3.2に、地域区分BおよびCの1km換算飛来塩分量 C1の設定値を示す。

表-3.2 1km換算飛来塩分量 C1の設定値

|        | 1km換算飛来塩分量C1 (mdd・NaCl) |                 | $\sigma$ |
|--------|-------------------------|-----------------|----------|
|        | 平均 (0 $\sigma$ )        | 平均 + 1 $\sigma$ |          |
| 地域区分 B | 0.92 [0.95]             | 2.51            | 0.44     |
| 地域区分 C | 0.11* [0.35]            | 0.44            | 0.61*    |

[ ] 内数値は、参考値として文献 3.5) より引用したものである。

(※ただし、地域区分Cの C1は文献 3.1) に各地域毎に C1が設定されていたことから、再度

C地区全体の1km換算飛来塩分量の平均と標準偏差 $\sigma$ をとりなおしたものである。)

#### (4) かぶり厚

第2章で整理した塩害実態データ（橋梁定期点検（近接目視）結果）は、2006年度以前に竣工した橋梁であるため、以下のようにかぶり厚を設定した。

なお、「桁」については、1978年（昭和53年）に出された道路橋示方書Ⅲコンクリート橋編（S53）より、桁の最小かぶり厚がそれまでの20mm（プレテンション、ポストテンション、RC）から25mm（プレテンション）、35mm（ポストテンション、RC）に変更され、さらにS59塩対指針や道路橋示方書（H14）により、塩害対策区分に属する範囲内については最小かぶりの見直しがなされているが、今回の検討では表-3.3に示すように設定した。

表-3.3 かぶり厚 (mm)

|          | 桁      |             |
|----------|--------|-------------|
|          | ～1978年 | 1979年～2006年 |
| プレテンション  | 20     | 25          |
| ポストテンション | 20     | 35          |
| RC       | 20     | 35          |

### 3.1.3 地域区分Bにおける検討

図-3.1のフローのとおり、地域区分Bにおける各桁種（プレテンション桁、ポストテンション桁およびRC桁）毎に、供用年数と海岸線からの距離との関係において、3.1.2で設定した理論曲線（フィックの拡散方程式）と、第2章で整理した今回の塩害実態データ（橋梁定期点検（近接目視）結果）とを比較することによって、今回の塩害実態データと塩害被害の有無の関係が矛盾しない理論曲線（フィックの拡散方程式）を求め、その理論曲線（フィックの拡散方程式）により海岸線からの距離に対する必要かぶりを算出した。さらに、この必要かぶりを、既存の塩害対策と対比することにより、対策の見直しの必要性についても検討を行った。なお、3.1.2(3)②で設定した1km換算飛来塩分量には、地域毎にバラツキがあり、また想定した水セメント比、かぶり値にもバラツキが含まれていると考えられることから、理論曲線（フィックの拡散方程式）は、その分を考慮し文献3.1)で示されている1km換算飛来塩分量の標準偏差 $\sigma^*$ を用いて、 $0\sigma$ および $+1\sigma$ のときの2つの線を引き、検討を行った。

但し、いずれのカテゴリーにあっても、塩害の実態データ数が限られるとともに、そのデータの分布が大きくばらついているため、理論曲線（フィックの拡散方程式）による閾値<sup>しきい値</sup>の評価には精度上の限界がある、ことに注意が必要である。

表-3.4に、3.1.2で設定した各種設定条件を総括したものを示す。

表-3.4 地域区分Bにおける理論曲線（フィックの拡散方程式）の各種パラメータの設定値

| パラメータ                            |          | 設定値                                  |             |
|----------------------------------|----------|--------------------------------------|-------------|
|                                  |          | 桁                                    |             |
|                                  |          | ～1978年                               | 1979年～2006年 |
| かぶり（x）                           | プレテンション  | 20mm                                 | 25mm        |
|                                  | ポストテンション | 20mm                                 | 35mm        |
|                                  | RC       | 20mm                                 | 35mm        |
| 水セメント比<br>（W/C）                  | プレテンション  | 36% [50N相当]                          |             |
|                                  | ポストテンション | 43% [40N相当]                          |             |
|                                  | RC       | 50%（55%）[30N相当]                      |             |
| 1km換算飛来塩分量（C1）<br>（値はNaCl換算したもの） |          | 0.92mdd、 $\sigma = 0.44^*$ （0.95mdd） |             |
| 想定する供用年数（t）                      |          | 100年                                 |             |

（ ）内については参考値として示すこととする。

## (1) プレテンション方式T桁橋

### ①地域区分Bにおける「供用年数」と「海岸線からの距離」の関係（竣工年度：～1978年）

理論曲線（フィックの拡散方程式）と今回の塩害実態データ（橋梁定期点検（近接目視）結果）とを比較した結果、図-3.2に示すように、塩害被害ありの実態データが鋼材腐食発生限界塩化物イオン濃度を示す理論曲線C1（平均値：0 $\sigma$ ）より上側の地点（供用年数が長い橋）にあるものの、今回の塩害実態データは、理論曲線C1（平均値：0 $\sigma$ ）による塩害被害の有無の関係とは矛盾しない結果となっている。なお、海岸線付近や海岸線から100mの地点では、供用後30～40年前後の橋において、塩害被害なしと塩害被害ありの実態データが混在している。

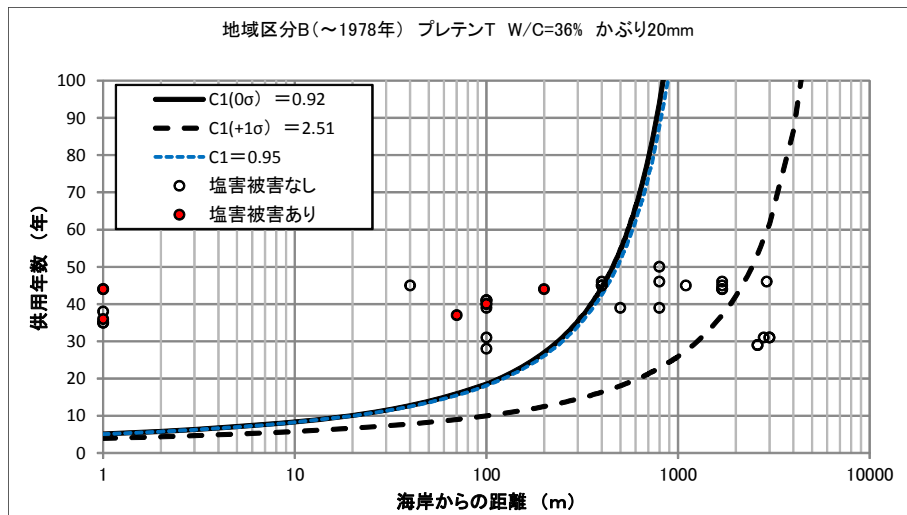


図-3.2 塩害実態データ（今回調査）と理論曲線との関係（～1978年）

図-3.3は、図-3.2に国総研資料No. 55の塩害実態データ（第2回塩害調査）を併記したものである。図-3.3に示すように、国総研資料No. 55の塩害実態データは、今回の塩害実態データと概ね近い分布傾向にあり、理論曲線C1（平均値：0 $\sigma$ ）によって塩害被害の有無の関係が概ね区分できる結果となっている。

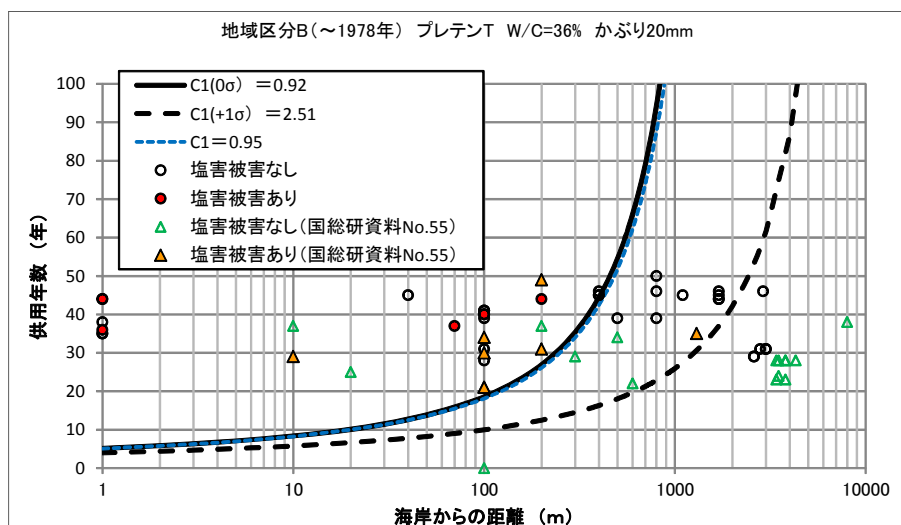


図-3.3 塩害実態データ（今回調査、国総研資料No. 55）と理論曲線との関係（～1978年）

②地域区分Bにおける「供用年数」と「海岸線からの距離」の関係（竣工年度：1979年～2006年）

図-3.4に示すように、今回の塩害実態データは、鋼材腐食発生限界塩化物イオン濃度を示す理論曲線C1（平均値： $0\sigma$ ）による塩害被害の有無の関係とは矛盾しない結果となっている。

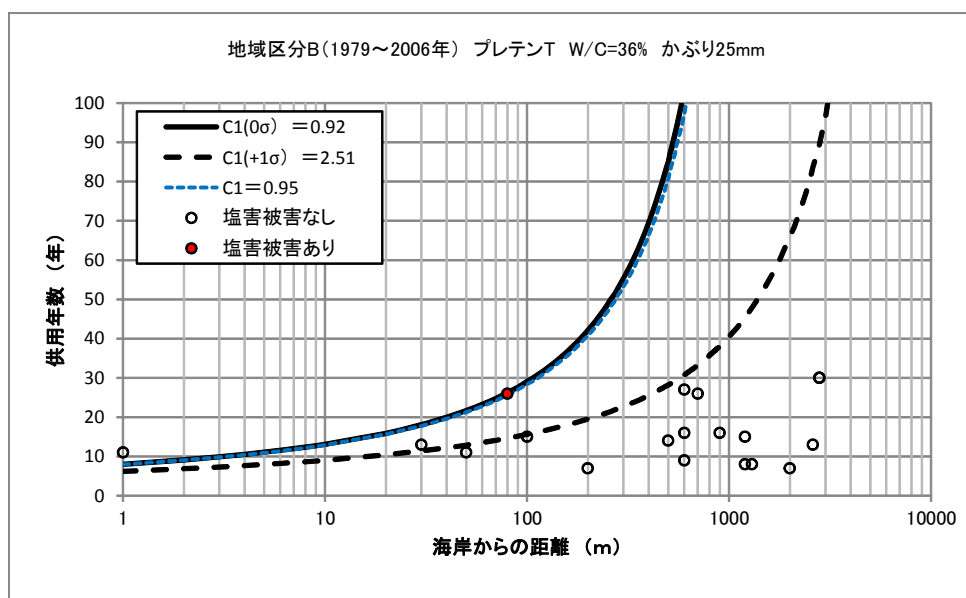


図-3.4 塩害実態データ（今回調査）と理論曲線との関係（1979年～2006年）

図-3.5は、図-3.4に国総研資料No. 55（第2回塩害調査）の塩害実態データを併記したものである。図-3.5に示すように、国総研資料No. 55の塩害実態データは、今回の塩害実態データと概ね近い分布傾向にあるが、1 km換算飛来塩分量にバラツキを考慮した理論曲線C1（+ $1\sigma$ ）による塩害被害の有無の関係と矛盾しない結果となっている。

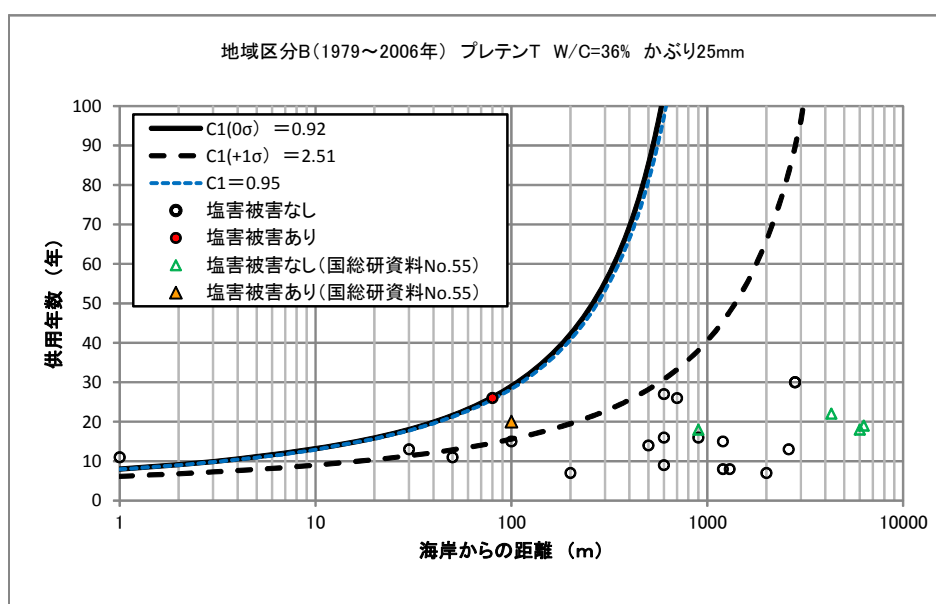


図-3.5 塩害実態データ（今回調査、国総研資料No. 55）と理論曲線との関係（1979年～2006年）

### ③地域区分Bにおける「海岸線からの距離」と「必要かぶり」との関係

①及び②の結果から、理論曲線C1（平均値： $0\sigma$ ）と1km換算飛来塩分量にバラツキを考慮した理論曲線C1（ $+1\sigma$ ）の2本の線を用いて、図-3.6に示すように、海岸線からの距離に対する対策区分別の必要かぶり厚を、海岸線からの距離の閾値を同じ（S：0～0.1km、I：0.1～0.3km、II：0.3～0.5km、III：0.5～0.7km）とした上で、道路橋示方書（H14）の設定時と同様の考え方で設定すると、道路示方書（H14）の最小かぶり厚を変更する必要があるとまでは言えない結果となった。

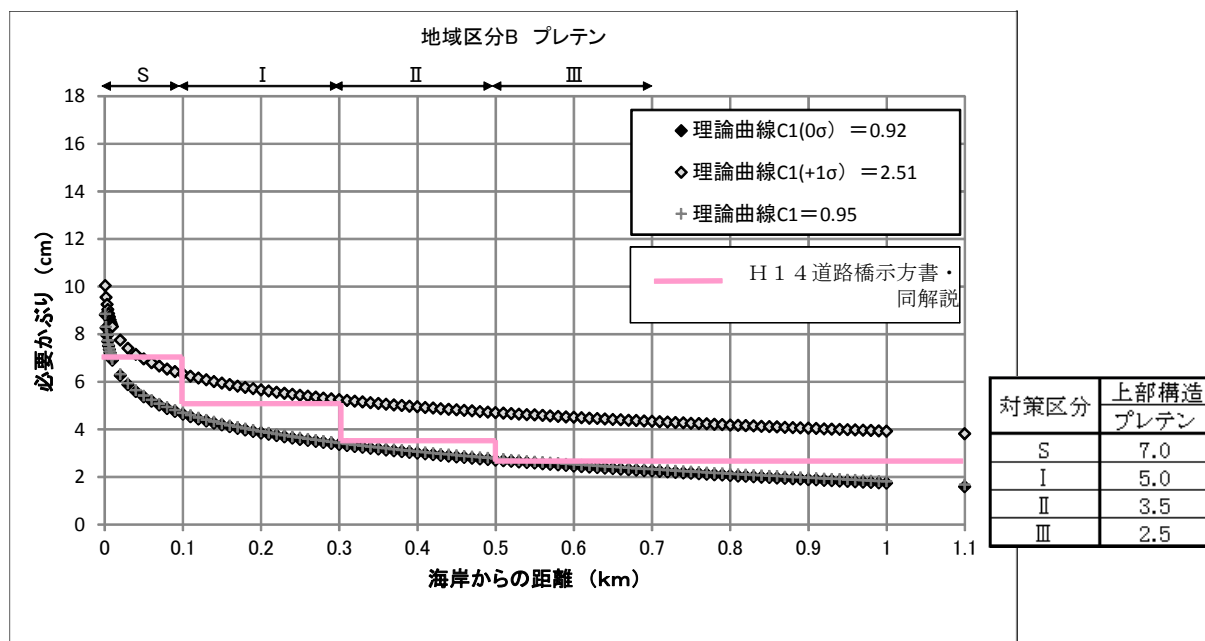


図-3.6 （今回調査）地域区分B：「海岸線からの距離」と「必要かぶり」との関係

## (2) ポストテンション方式T桁橋

### ①地域区分Bにおける「供用年数」と「海岸線からの距離」の関係（竣工年度：～1978年）

理論曲線（フィックの拡散方程式）と今回の塩害実態データ（橋梁定期点検（近接目視）結果）とを比較した結果、図-3.7に示すように、塩害被害ありの実態データが理論曲線C1（平均値： $0\sigma$ ）より上側の地点（供用年数が長い橋）にあるものの、今回の塩害実態データは、理論曲線C1（平均値： $0\sigma$ ）による塩害被害の有無の関係とは矛盾しない結果となっている。なお、海岸線から80～100mの範囲では、供用後40年前後の橋において、塩害被害なしと塩害被害ありの実態データが混在している。

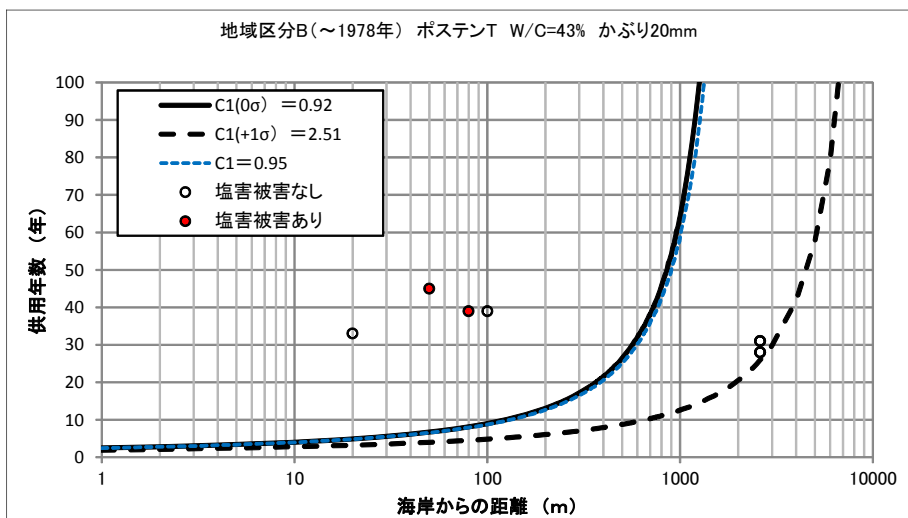


図-3.7 塩害実態データ（今回調査）と理論曲線との関係（～1978年）

これに対し、図-3.8は、図-3.7に国総研資料No. 55（第2回塩害調査）の塩害実態データを併記したものであるが、図-3.8に示すように、国総研資料No. 55の塩害実態データは、今回の塩害実態データと概ね近い分布傾向にあり、理論曲線C1（平均値： $0\sigma$ ）によって塩害被害の有無の関係が概ね区分できる結果となっている。

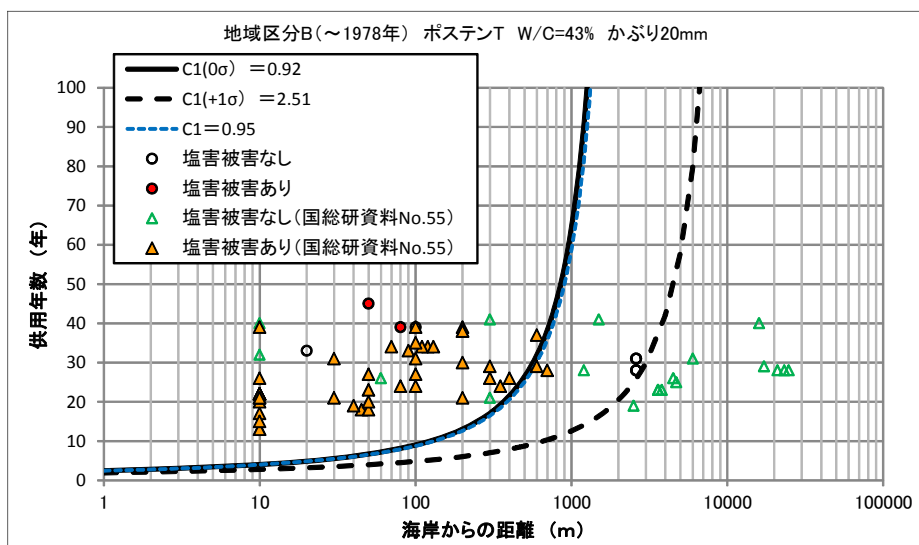


図-3.8 塩害実態データ（今回調査、国総研資料No. 55）と理論曲線との関係（～1978年）

②地域区分Bにおける「供用年数」と「海岸線からの距離」の関係（竣工年度：1979年～2006年）

図-3.9 に示すように、今回の塩害実態データには塩害被害ありの実態データが無い。しかし、塩害被害なしの実態データは、1 km換算飛来塩分量にバラツキを考慮した理論曲線C1 (+1σ) によって塩害被害の有無の関係が概ね区分できる結果となっている。

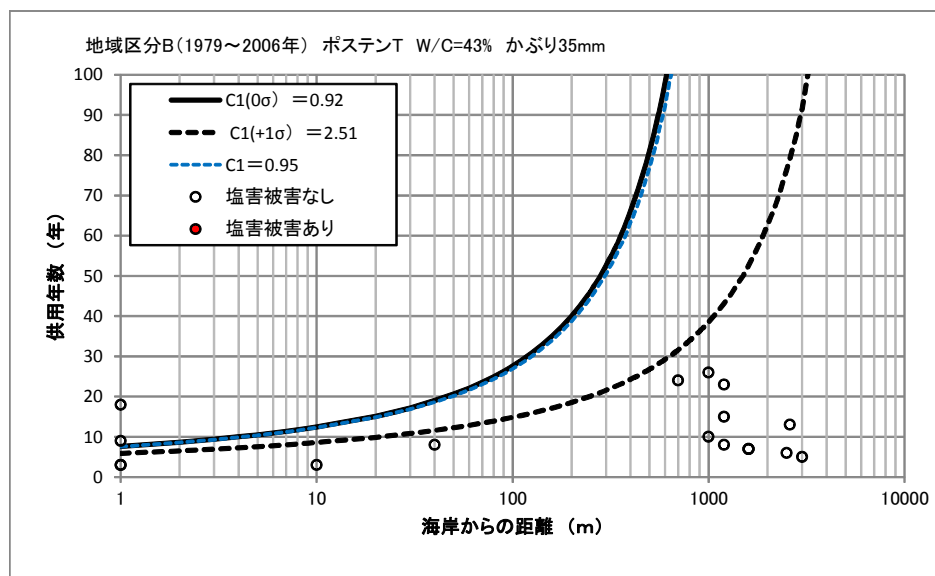


図-3.9 塩害実態データ（今回調査）と理論曲線との関係（1979年～2006年）

図-3.10は、図-3.9 に国総研資料No. 55（第2回塩害調査）の塩害実態データを併記したものである。図-3.10に示すように、国総研資料No. 55の塩害実態データは、1 km換算飛来塩分量にバラツキを考慮した理論曲線C1 (+1σ) によって塩害被害の有無の関係が概ね区分できる結果となっている。

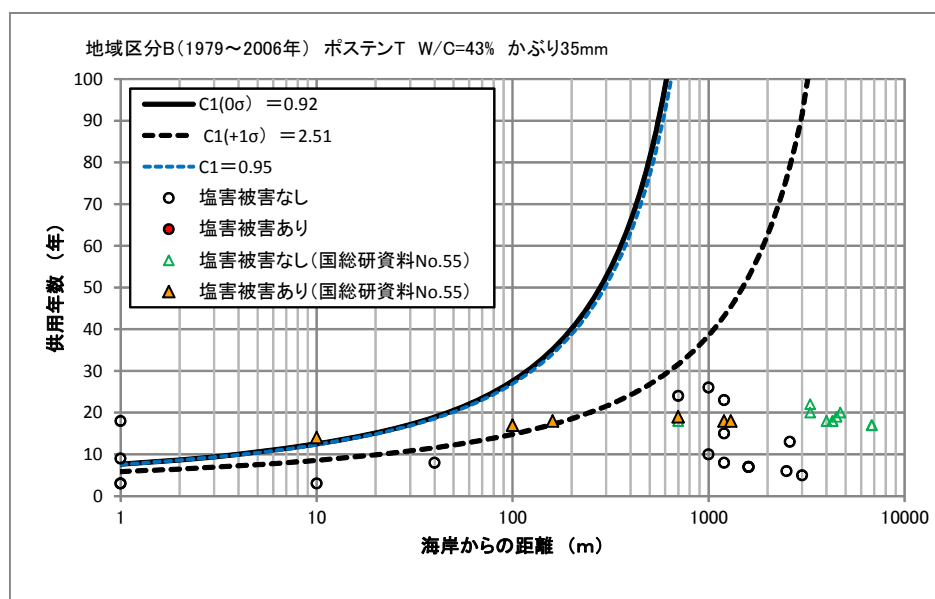


図-3.10 塩害実態データ（今回調査、国総研資料No. 55）と理論曲線との関係（1979年～2006年）

### ③地域区分Bにおける「海岸線からの距離」と「必要かぶり」との関係

①及び②の結果から、理論曲線C1（平均値： $0\sigma$ ）と1km換算飛来塩分量にバラツキを考慮した理論曲線C1（ $+1\sigma$ ）の2本の線を用いて、図-3.11に示すように、海岸線からの距離に対する対策区分別の必要かぶり厚を、海岸線からの距離の閾値を同じ（S：0～0.1km、I：0.1～0.3km、II：0.3～0.5km、III：0.5～0.7km）とした上で、道路橋示方書（H14）の設定時と同様の考え方で設定すると、道路示方書（H14）の最小かぶり厚を変更する必要があるとまでは言えない結果となった。

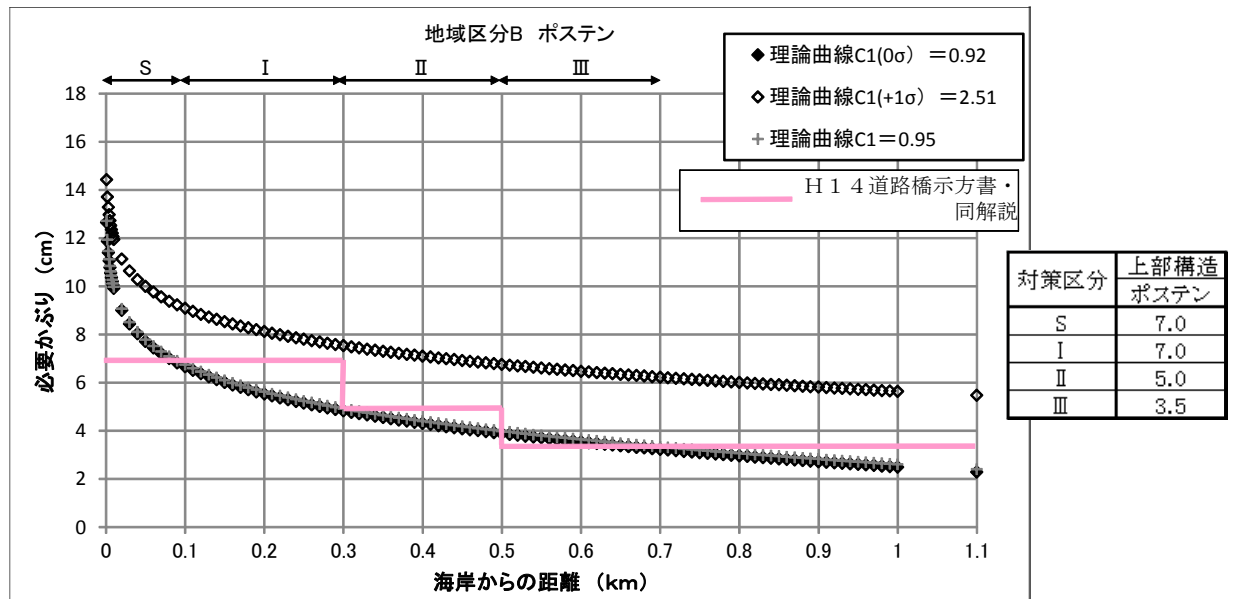


図-3.11 （今回調査）地域区分B：「海岸線からの距離」と「必要かぶり」との関係



### (3) RCT桁橋

#### ①地域区分Bにおける「供用年数」と「海岸線からの距離」の関係（竣工年度：～1978年）

理論曲線（フィックの拡散方程式）と今回の塩害実態データ（橋梁定期点検（近接目視）結果）とを比較した結果、図-3.12に示すように、塩害被害ありの実態データが理論曲線C1（平均値： $0\sigma$ ）より上側の地点（供用年数が長い橋）にあるものの、今回の塩害実態データは、理論曲線C1（平均値： $0\sigma$ ）による塩害被害の有無の関係とは矛盾しない結果となっている。なお、海岸線付近や海岸線から200mの地点では、供用後40～55年前後の橋において、塩害被害なしと塩害被害ありの実態データが混在している。

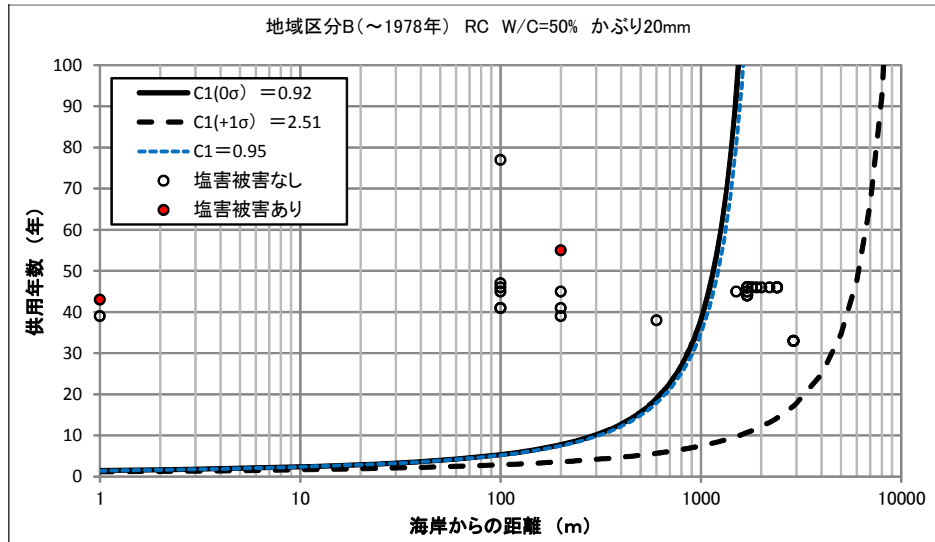


図-3.12 塩害実態データ（今回調査）と理論曲線との関係（～1978年）

図-3.13は、図-3.12に国総研資料No. 55の塩害実態データ（第2回塩害調査）を併記したものである。図-3.13に示すように、国総研資料No. 55の塩害実態データは、今回の実態データと概ね近い分布傾向にあり、理論曲線C1（平均値： $0\sigma$ ）による塩害被害の有無の関係とは矛盾しない結果となっている。

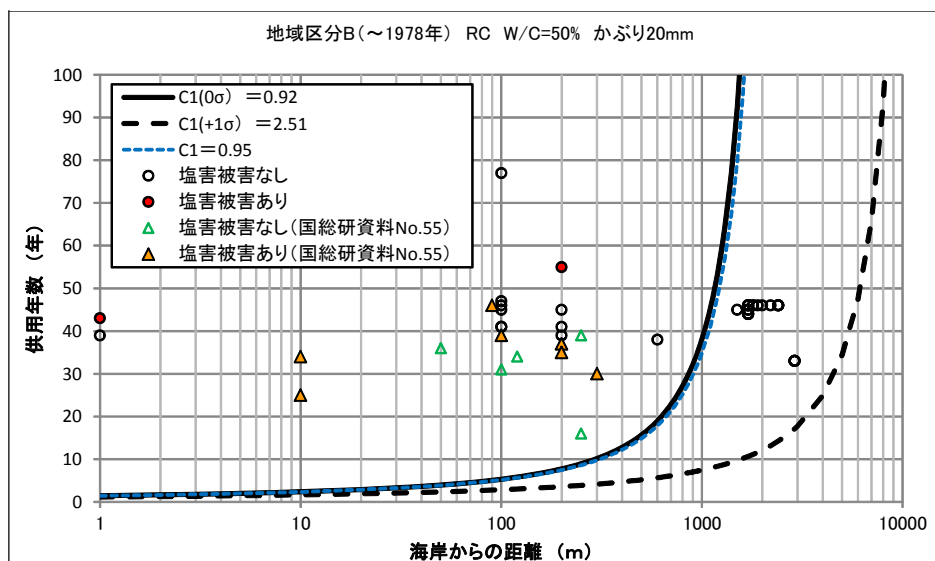


図-3.13 塩害実態データ（今回調査、国総研資料No. 55）と理論曲線との関係（～1978年）

## ②地域区分Bにおける「供用年数」と「海岸線からの距離」の関係（竣工年度：1979年～2006年）

図-3.14に示すように、今回の塩害実態データには塩害被害ありの実態データが無い。しかし、塩害被害なしの実態データは、理論曲線C1（平均値：0 $\sigma$ ）によって塩害被害の有無の関係が概ね区分できる結果となっている。

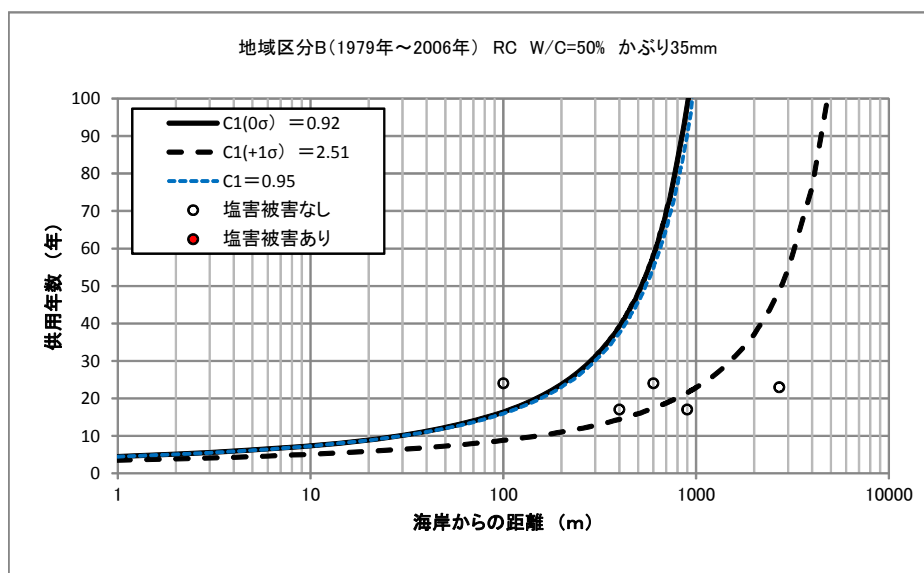


図-3.14 塩害実態データ（今回調査）と理論曲線との関係（1979年～2006年）

図-3.15は、図-3.14に国総研資料No. 55（第2回塩害調査）の塩害実態データを併記したものである。図-3.15に示すように、国総研資料No. 55の塩害実態データには塩害被害ありの実態データが無いが、塩害被害なしの実態データ（国総研資料No. 55）は、今回の塩害実態データと概ね近い分布傾向にあり、理論曲線C1（平均値：0 $\sigma$ ）による塩害被害の有無の関係とは矛盾しない結果となっている。

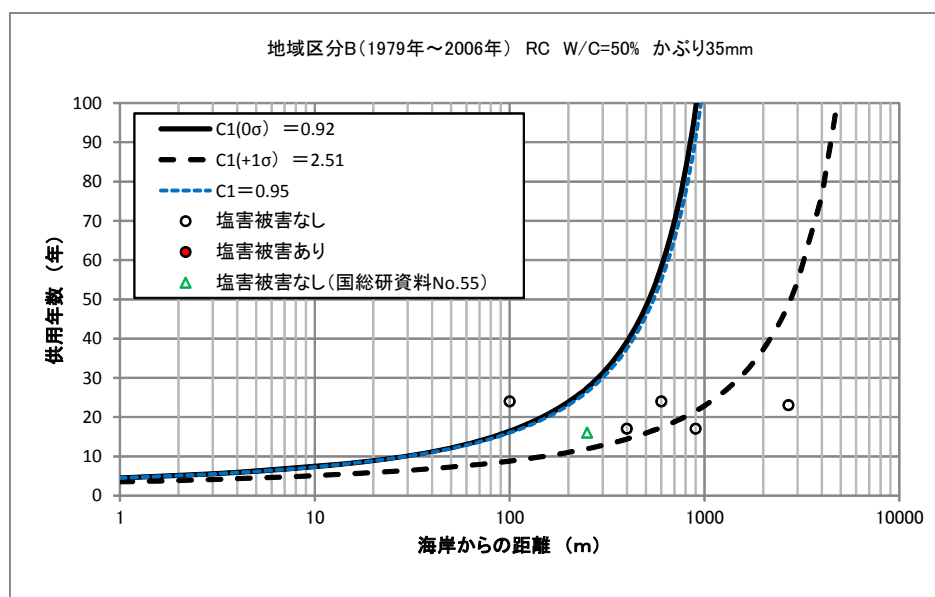


図-3.15 塩害実態データ（今回調査、国総研資料No. 55）と理論曲線との関係（1979年～2006年）

### ③地域区分Bにおける「海岸線からの距離」と「必要かぶり」との関係

①及び②の結果から、理論曲線C1（平均値： $0\sigma$ ）と1km換算飛来塩分量にバラツキを考慮した理論曲線C1（ $+1\sigma$ ）の2本の線を用いて、図-3.16に示すように、海岸線からの距離に対する対策区分別の必要かぶり厚を、海岸線からの距離の閾値を同じ（S：0～0.1km、I：0.1～0.3km、II：0.3～0.5km、III：0.5～0.7km）とした上で、道路橋示方書（H14）の設定時と同様の考え方で設定すると、道路示方書（H14）の最小かぶり厚を変更する必要があるとまでは言えない結果となった。

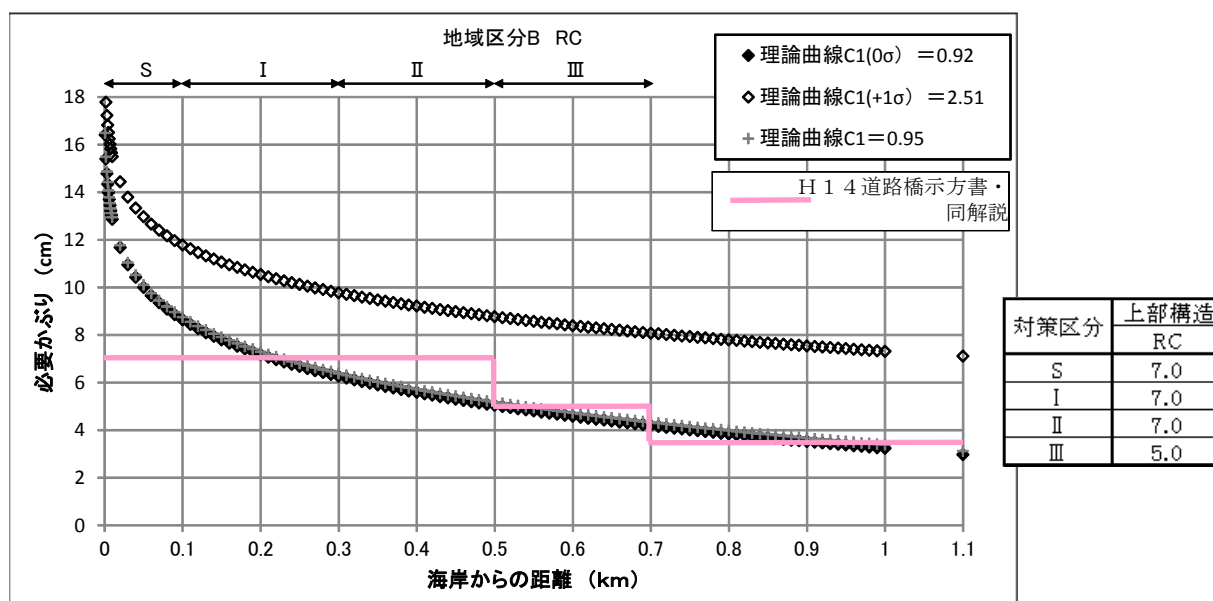


図-3.16 （今回調査）地域区分B：「海岸線からの距離」と「必要かぶり」との関係

### 3.1.4 地域区分Cにおける検討

図-3.1のフローのとおり、地域区分Cにおける各桁種（プレテンション桁、ポストテンション桁およびRC桁）毎に、供用年数と海岸線からの距離との関係において、3.1.2で設定した理論曲線（フィックの拡散方程式）と、第2章で整理した今回の塩害実態データ（橋梁定期点検（近接目視）結果）とを比較することによって、今回の塩害実態データと塩害被害の有無の関係が矛盾しない理論曲線（フィックの拡散方程式）を求め、その理論曲線（フィックの拡散方程式）により海岸線からの距離に対する必要かぶりを算出した。さらに、この必要かぶりを、既存の塩害対策と対比することにより、対策の見直しの必要性についても検討を行った。

なお、3.1.2(3)②で設定した1km換算飛来塩分量には、地域毎にバラツキがあり、また想定した水セメント比、かぶり値にもバラツキが含まれていると考えられることから、理論曲線（フィックの拡散方程式）は、その分を考慮し文献3.1)で示されている1km換算飛来塩分量の標準偏差 $\sigma^*$ を用いて、 $0\sigma$ および $+1\sigma$ のときの2つの線を引き、検討を行った。

但し、いずれのカテゴリーにあっても、塩害の実態データ数が限られるとともに、そのデータの分布が大きくばらついているため、理論曲線（フィックの拡散方程式）による<sup>しきいち</sup>閾値の評価には精度上の限界があることに注意が必要である。

表-3.5に、3.1.2で設定した各種設定条件を総括したものを示す。

表-3.5 地域区分Cにおける理論曲線（フィックの拡散方程式）の各種パラメータの設定値

| パラメータ                            |          | 設定値                                  |             |
|----------------------------------|----------|--------------------------------------|-------------|
|                                  |          | 桁                                    |             |
|                                  |          | ～1978年                               | 1979年～2006年 |
| かぶり（x）                           | プレテンション  | 20mm                                 | 25mm        |
|                                  | ポストテンション | 20mm                                 | 35mm        |
|                                  | RC       | 20mm                                 | 35mm        |
| 水セメント比<br>（W/C）                  | プレテンション  | 36% [50N相当]                          |             |
|                                  | ポストテンション | 43% [40N相当]                          |             |
|                                  | RC       | 50%（55%）[30N相当]                      |             |
| 1km換算飛来塩分量（C1）<br>（値はNaCl換算したもの） |          | 0.11mdd、 $\sigma = 0.61^*$ （0.35mdd） |             |
| 想定する供用年数（t）                      |          | 100年                                 |             |

（ ）内については参考値として示すこととする。

## (1) プレテンション方式T桁橋

### ①地域区分Cにおける「供用年数」と「海岸線からの距離」の関係（竣工年度：～1978年）

理論曲線（フィックの拡散方程式）と今回の塩害実態データ（橋梁定期点検（近接目視）結果）とを比較した結果、図-3.17に示すように、海岸線付近を除いて、塩害被害ありの実態データが、鋼材腐食発生限界塩化物イオン濃度を示す理論曲線C1（平均値： $0\sigma$ ）と1km換算飛来塩分量にバラツキを考慮した理論曲線C1（ $+1\sigma$ ）との間に概ね位置しているものの、今回の塩害実態データは、理論曲線C1（ $+1\sigma$ ）によって塩害被害の有無の関係が概ね区分できる結果となっている。なお、海岸線付近や海岸線から100m付近の地点では、供用後30～70年前後の橋において、塩害被害なしと塩害被害ありの実態データが混在している。

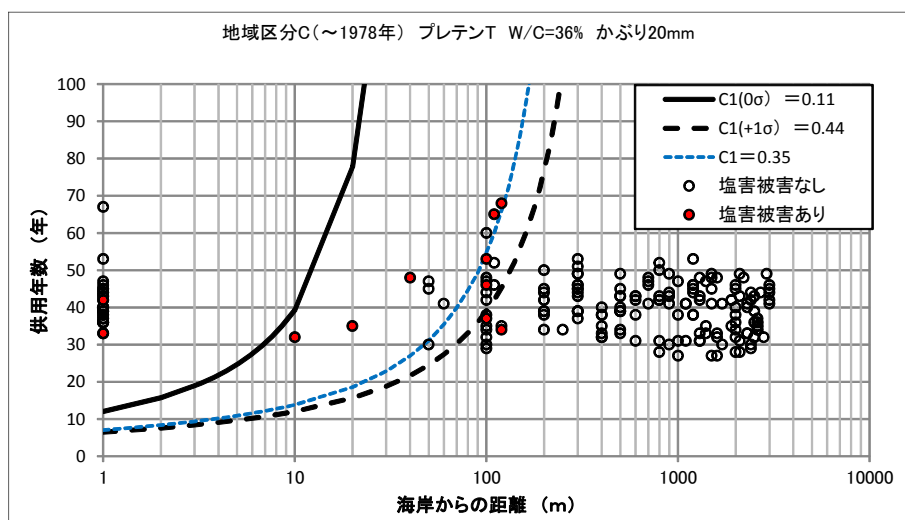


図-3.17 塩害実態データ（今回調査）と理論曲線との関係（～1978年）

図-3.18は、図-3.17に国総研資料No. 55の塩害実態データ（第2回塩害調査）を併記したものである。図-3.18に示すように、国総研資料No. 55の塩害実態データは、今回の塩害実態データと海岸線付近を除いて概ね近い分布傾向にあり、理論曲線C1（ $+1\sigma$ ）による塩害被害の有無の関係とは矛盾しない結果となっている。

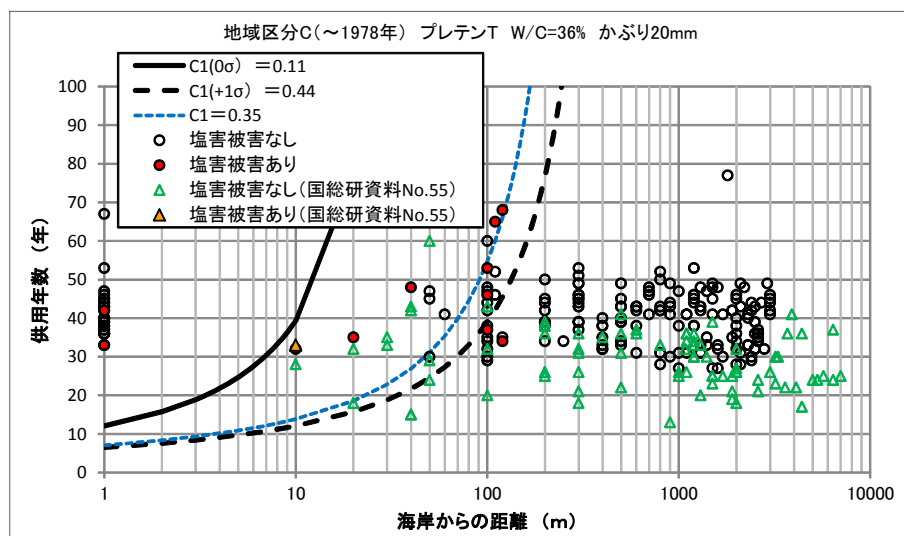


図-3.18 塩害実態データ（今回調査、国総研資料No. 55）と理論曲線との関係（～1978年）

## ②地域区分Cにおける「供用年数」と「海岸線からの距離」の関係（竣工年度：1979年～2006年）

図-3.19に示すように、塩害被害ありの今回の塩害実態データが、鋼材腐食発生限界塩化物イオン濃度を示す理論曲線C1（平均値： $0\sigma$ ）と1km換算飛来塩分量にバラツキを考慮した理論曲線C1（ $+1\sigma$ ）の間に位置しているものの、今回の塩害実態データは、理論曲線C1（ $+1\sigma$ ）による塩害被害の有無の関係とは矛盾しない結果となっている。

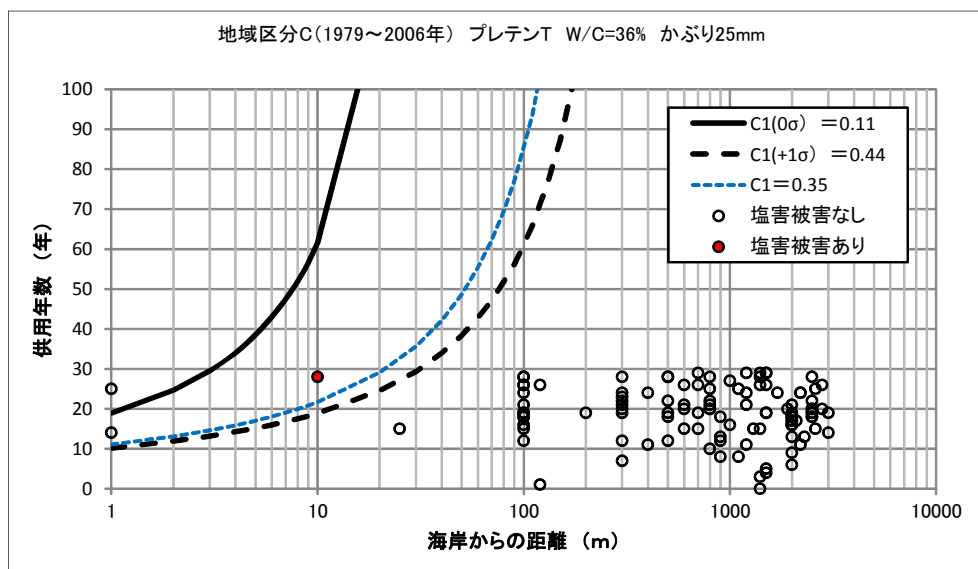


図-3.19 塩害実態データ（今回調査）と理論曲線との関係（1979年～2006年）

図-3.20は、図-3.19に国総研資料No. 55（第2回塩害調査）の塩害実態データを併記したものである。図-3.20に示すように、国総研資料No. 55の塩害実態データには塩害被害ありの実態データが無いが、今回の塩害実態データと概ね近い分布傾向にあり、理論曲線C1（ $+1\sigma$ ）による塩害被害の有無の関係とは矛盾しない結果となっている。

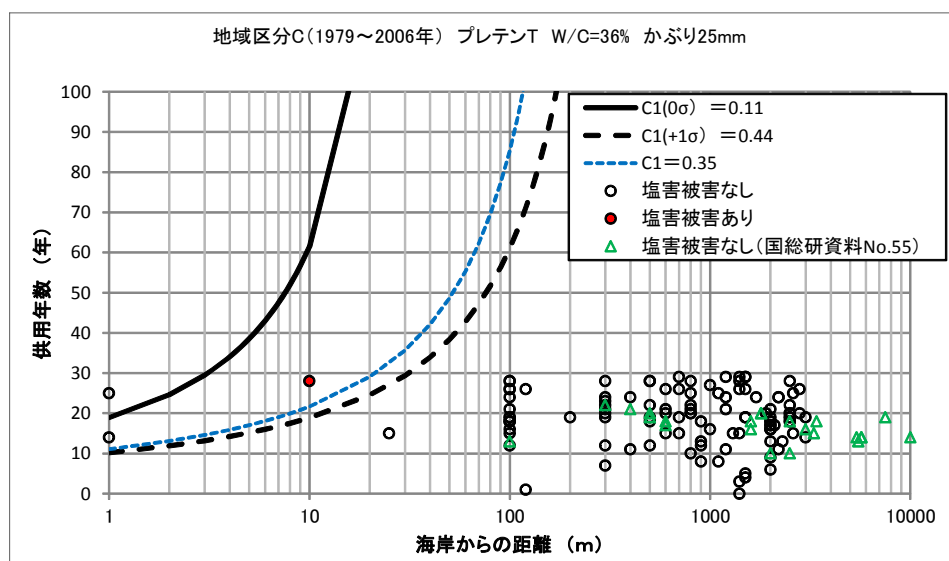


図-3.20 塩害実態データ（今回調査、国総研資料No. 55）と理論曲線との関係（1979年～2006年）

### ③地域区分Cにおける「海岸線からの距離」と「必要かぶり」との関係

①及び②の結果から、理論曲線C 1（平均値：0 $\sigma$ ）と1km換算飛来塩分量にバラツキを考慮した理論曲線C 1（+1 $\sigma$ ）の2本の線を用いて、図-3.21に示すように、海岸線からの距離に対する対策区分別の必要かぶり厚を、海岸線からの距離の閾値を同じ（S：0～0.02km、I：0.02～0.05km、II：0.05～0.1km、III：0.1～0.2km）とした上で、道路橋示方書（H14）の設定時と同様の考え方で設定すると、道路示方書（H14）の最小かぶり厚を変更する必要があるとまでは言えない結果となった。

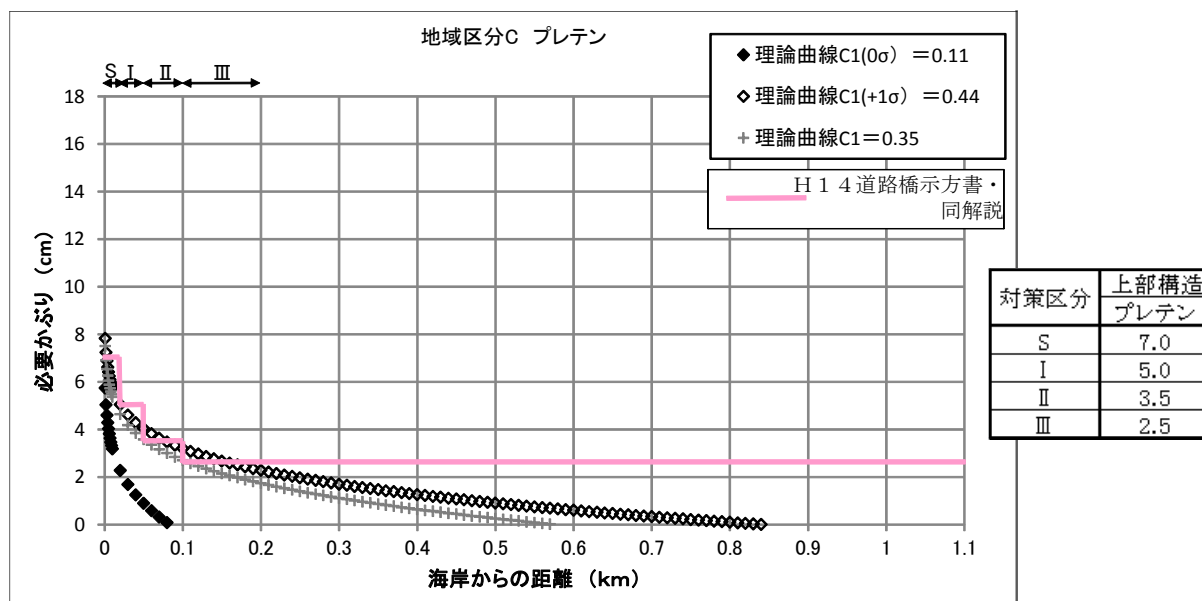


図-3.21 （今回調査）地域区分C：「海岸線からの距離」と「必要かぶり」との関係

## (2) ポストテンション方式T桁橋

### ①地域区分Cにおける「供用年数」と「海岸線からの距離」の関係（竣工年度：～1978年）

理論曲線（フィックの拡散方程式）と今回の塩害実態データ（橋梁定期点検（近接目視）結果）とを比較した結果、図-3.22に示すように、海岸線付近を除いて、塩害被害ありの実態データが、鋼材腐食発生限界塩化物イオン濃度を示す理論曲線C1（平均値： $0\sigma$ ）と1km換算飛来塩分量にバラツキを考慮した理論曲線C1（ $+1\sigma$ ）との間に概ね位置しているものの、今回の実態データは、理論曲線C1（ $+1\sigma$ ）によって塩害被害の有無の関係が概ね区分できる結果となっている。なお、海岸線から1000m付近までの範囲では、供用後30～50年前後の橋に、塩害被害なしと塩害被害ありの実態データが混在している。

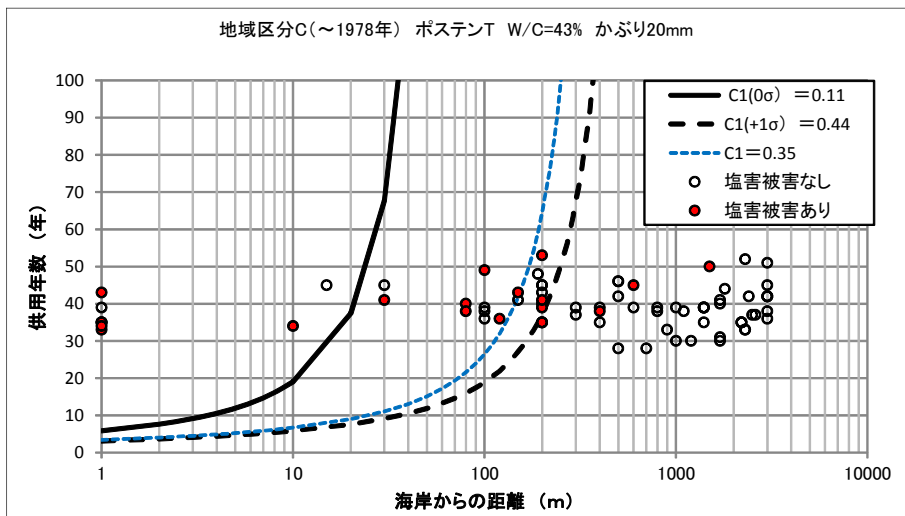


図-3.22 塩害実態データ（今回調査）と理論曲線との関係（～1978年）

図-3.23は、図-3.22に国総研資料No. 55（第2回塩害調査）の塩害実態データを併記したものであるが、図-3.23に示すように、国総研資料No. 55の塩害実態データは、今回の塩害実態データと海岸線付近を除いて概ね近い分布傾向にあり、理論曲線C1（ $+1\sigma$ ）によって塩害被害の有無の関係が概ね区分できる結果となっている。

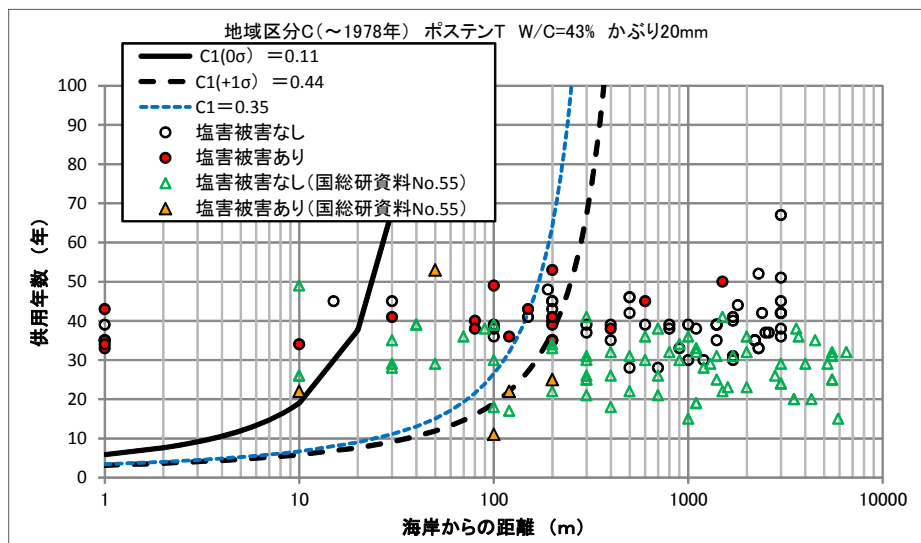


図-3.23 塩害実態データ（今回調査、国総研資料No. 55）と理論曲線との関係（～1978年）



## ②地域区分Cにおける「供用年数」と「海岸線からの距離」の関係（竣工年度：1979年～2006年）

図-3.24に示すように、今回の塩害実態データは、一部に理論曲線C1（ $+1\sigma$ ）より下側の地点（供用期間の短い橋）で塩害被害（写真-3.1）が見られるものの、原因として補修方法の不良によって再劣化した可能性も考えられることから、理論曲線C1（ $0\sigma$ ）による塩害被害の有無の関係とは矛盾しない結果となっている。なお、海岸線付近では、供用後20～30年前後の橋に、塩害被害なしと塩害被害ありの実態データが混在している。

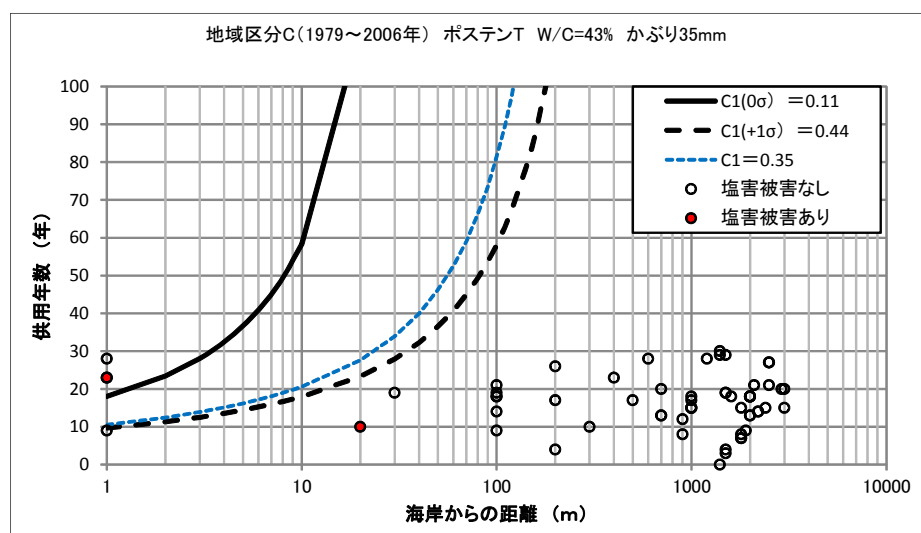


図-3.24 塩害実態データ（今回調査）と理論曲線との関係（1979年～2006年）

図-3.25は、図-3.24に国総研資料No. 55（第2回塩害調査）の塩害実態データを併記したものである。図-3.25に示すように、国総研資料No. 55の塩害実態データは、今回の塩害実態データと概ね近い分布傾向にあり、一部に理論曲線C1（ $+1\sigma$ ）より下側の地点（供用期間の短い橋）で塩害被害が見られるものの、理論曲線C1（ $+1\sigma$ ）による塩害被害の有無の関係とは矛盾しない結果となっている。

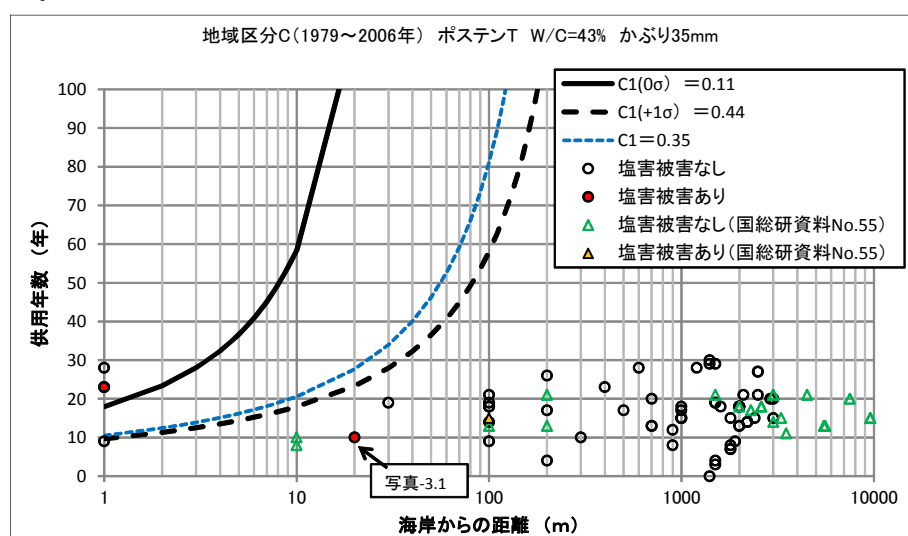


図-3.25 塩害実態データ（今回調査、国総研資料No. 55）と理論曲線との関係（1979年～2006年）

### ③地域区分Cにおける「海岸線からの距離」と「必要かぶり」との関係

①及び②の結果から、理論曲線C 1（平均値：0  $\sigma$ ）と1 km換算飛来塩分量にバラツキを考慮した理論曲線C 1（+1  $\sigma$ ）の2本の線を用いて、図-3.26に示すように、海岸線からの距離に対する対策区分別の必要かぶり厚を、海岸線からの距離の閾値を同じ（S：0～0.02km、I：0.02～0.05km、II：0.05～0.1km、III：0.1～0.2km）とした上で、道路橋示方書（H14）の設定時と同様の考え方で設定すると、道路示方書（H14）の最小かぶり厚を変更する必要があるとまでは言えない結果となった。

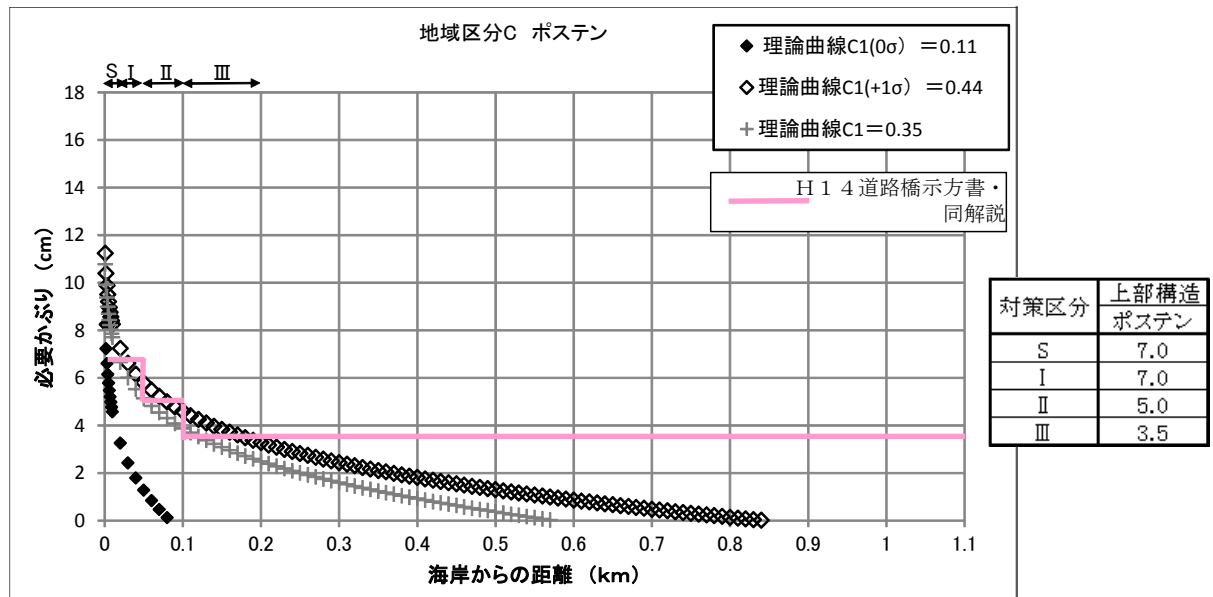


図-3.26 （今回調査）地域区分C：「海岸線からの距離」と「必要かぶり」との関係

## 参 考

### 塩害による損傷が発生した理論曲線より供用年数が短いP C 上部工の概要

地域区分Cにおいて、1979年以降に竣工した橋梁のうち、理論曲線（フィックの拡散方程式）による評価では塩害に至ると推定される供用年数よりも短い橋（図-3.25に図示）でありながら、塩害による損傷が発生したP C 上部工の概要を以下に示す。

（損傷の概要）P C 桁に、錆汁、うき、コンクリート剥離・鉄筋露出が発生している。（写真-3.1）

ただし、外面被覆塗装箇所にも損傷が発生していることから、当時の補修方法の不良によって再劣化した可能性も考えられる。

（所在地）九州地方

（橋 種）P C ポストテンション方式T桁橋

（竣工年度）1993年度

（塩害地域区分）C－（S）

（海岸線からの距離）0.02km



全 景



桁下状況（写真右側は、桁下を外面被覆塗装済み）



主桁下端に、錆汁、コンクリートのうきが発生  
（外面被覆塗装箇所）



横桁下端に、錆汁、コンクリート剥離・鉄筋露出が発生  
（外面被覆塗装箇所）

写真-3.1 塩害による損傷が発生した理論曲線より供用年数が短いP C 上部工の損傷写真

### (3) RCT桁橋

#### ①地域区分Cにおける「供用年数」と「海岸線からの距離」の関係（竣工年度：～1978年）

理論曲線（フィックの拡散方程式）と今回の塩害実態データ（橋梁定期点検（近接目視）結果）とを比較した結果、図-3.27に示すように、海岸線付近を除いて、塩害被害ありの実態データが、鋼材腐食発生限界塩化物イオン濃度を示す理論曲線C1（平均値： $0\sigma$ ）と1km換算飛来塩分量にバラツキを考慮した理論曲線C1（ $+1\sigma$ ）との間に概ね位置しているものの、今回の塩害実態データは、理論曲線C1（ $+1\sigma$ ）によって塩害被害の有無の関係が概ね区分できる結果となっている。なお、海岸線付近や海岸線から100mの地点では、供用後30～75年前後の橋に、塩害被害なしと塩害被害ありの実態データが混在している。

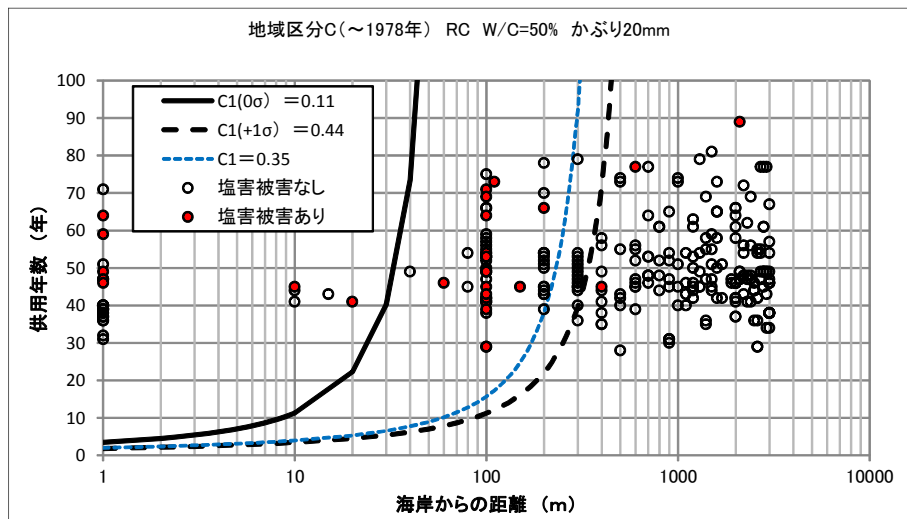


図-3.27 塩害実態データ（今回調査）と理論曲線との関係（～1978年）

図-3.28は、図-3.27に国総研資料No. 55の塩害実態データ（第2回塩害調査）を併記したものである。図-3.28に示すように、国総研資料No. 55の塩害実態データは、今回の塩害実態データと海岸線付近を除いて概ね近い分布傾向にあり、理論曲線C1（ $+1\sigma$ ）によって塩害被害の有無の関係が概ね区分できる結果となっている。

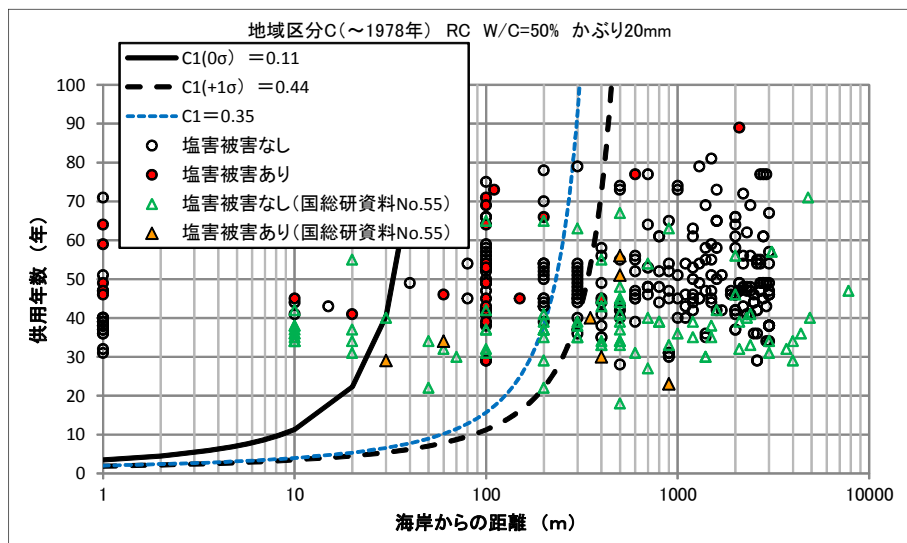


図-3.28 塩害実態データ（今回調査、国総研資料No. 55）と理論曲線との関係（～1978年）

## ②地域区分Cにおける「供用年数」と「海岸線からの距離」の関係（竣工年度：1979年～2006年）

図-3.29に示すように、今回の塩害実態データには塩害被害ありの実態データが無い。しかし、塩害被害なしの実態データは、理論曲線C1（+1 $\sigma$ ）による塩害被害の有無の関係とは矛盾しない結果となっている。

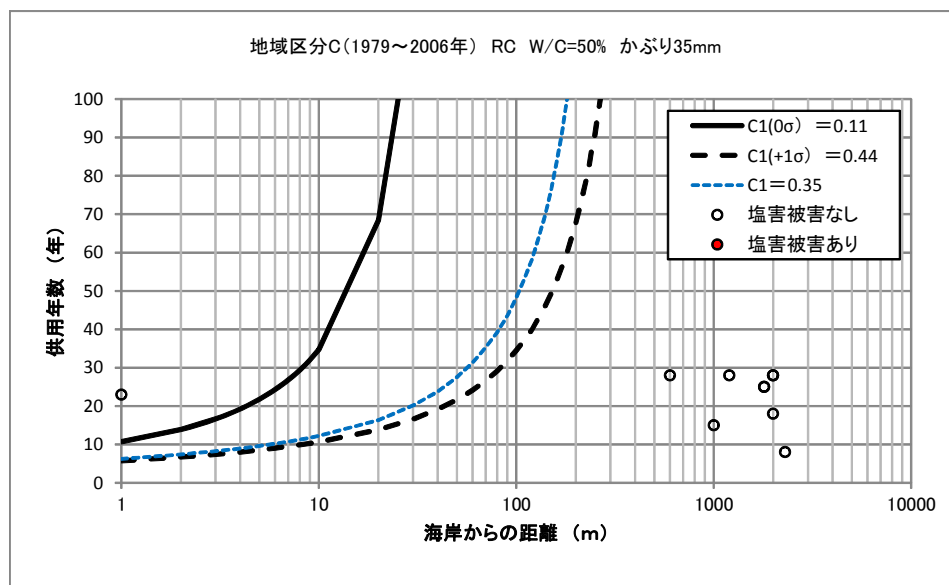


図-3.29 塩害実態データ（今回調査）と理論曲線との関係（1979年～2006年）

図-3.30、図-3.29に国総研資料No. 55（第2回塩害調査）の塩害実態データを併記したものである。図-3.30に示すように、国総研資料No. 55の塩害実態データには塩害被害ありの実態データが無いが、塩害被害なしの実態データ（国総研資料No. 55）は、今回の塩害実態データと概ね近い分布傾向にあり、理論曲線C1（+1 $\sigma$ ）による塩害被害の有無の関係とは矛盾しない結果となっている。

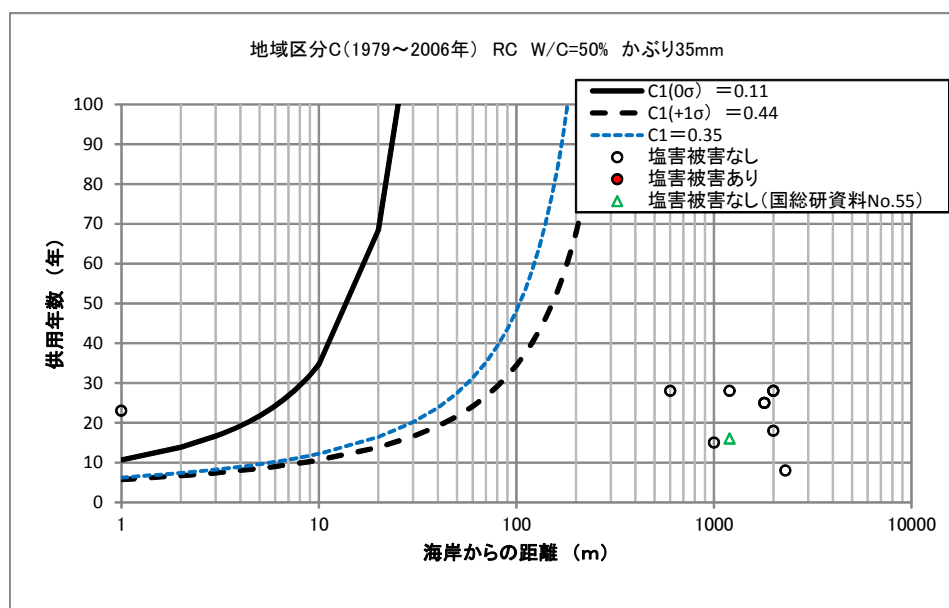


図-3.30 塩害実態データ（今回調査、国総研資料No. 55）と理論曲線との関係（1979年～2006年）

### ③地域区分Cにおける「海岸線からの距離」と「必要かぶり」との関係

①及び②の結果から、理論曲線C 1（平均値：0  $\sigma$ ）と1 km換算飛来塩分量にバラツキを考慮した理論曲線C 1（+1  $\sigma$ ）の2本の線を用いて、図-3.31に示すように、海岸線からの距離に対する対策区分別の必要かぶり厚を、海岸線からの距離の閾値を同じ（S：0～0.02km、I：0.02～0.05km、II：0.05～0.1km、III：0.1～0.2km）とした上で、道路橋示方書（H14）の設定時と同様の考え方で設定すると、道路示方書（H14）の最小かぶり厚を変更する必要があるとまでは言えない結果となった。

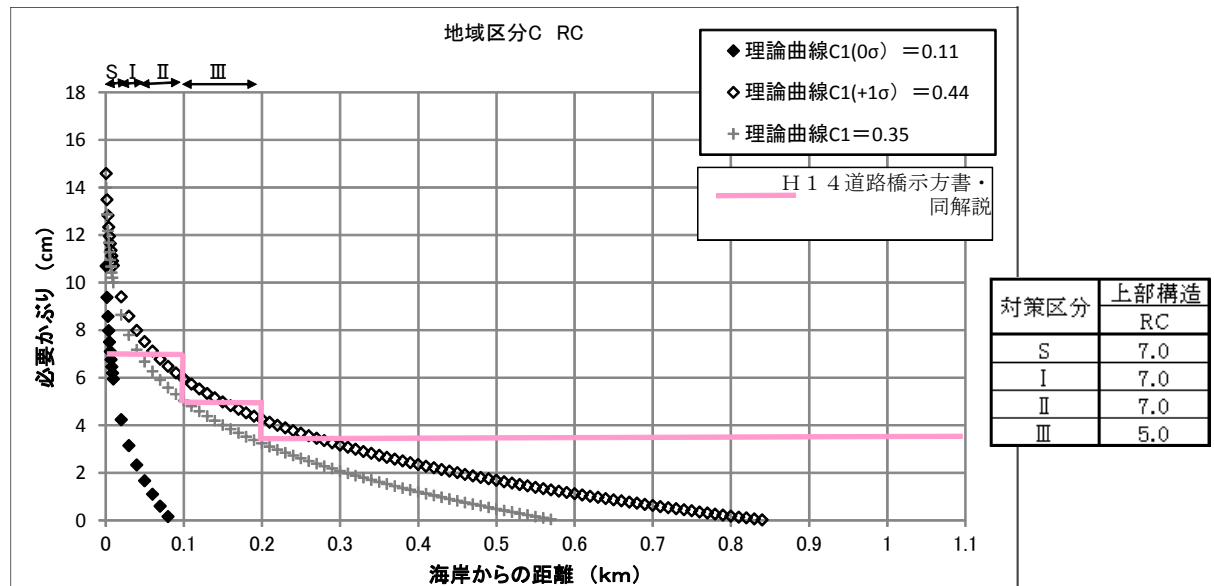


図-3.31 （今回調査）地域区分C：「海岸線からの距離」と「必要かぶり」との関係

### 3.1.5 地域区分B・Cにおける上部構造の塩害対策

3.1.3および3.1.4では、国総研資料No. 55と同様の方法を用いて、地域区分別に、供用年数と海岸線からの距離との関係において、鋼材位置における塩化物イオン濃度が鋼材腐食発生限界濃度となるように各種パラメータを設定した理論曲線（フィックの拡散方程式）と、第2章で整理した今回の塩害実態データ（橋梁定期点検（近接目視）結果）とを比較することによって、今回の塩害実態データと塩害被害の有無の関係が矛盾しない理論曲線（フィックの拡散方程式）を求め、その理論曲線（フィックの拡散方程式）により海岸線からの距離に対する必要かぶりを算出した。

表-3.6、3.7に、3.1.3および3.1.4で得られた地域区分BおよびCにおける対策区分別の必要かぶり厚を示す。ただし、図-3.6、3.11、3.16、3.21、3.26、3.31に示すように、地域区分BおよびCの対策区分S、対策区分I（RCT桁のみ）の範囲内における必要かぶり厚は7.0cmを超えており、また、写真-3.1に示す地域区分C（対策区分S）におけるPCポストテンション方式T桁橋では実際に塩害による損傷が発生しているため、少なくともこれらの範囲内においては塗装鉄筋またはコンクリート塗装等の他対策との併用が必要と考えられる。

表-3.6 地域区分B：今回の検討結果の必要かぶり厚（cm）

| 対策区分 | 上部構造 |       |     |
|------|------|-------|-----|
|      | プレテン | ポストテン | RC  |
| S    | 7.0  | 7.0   | 7.0 |
| I    | 5.0  | 7.0   | 7.0 |
| II   | 3.5  | 5.0   | 7.0 |
| III  | 2.5  | 3.5   | 5.0 |

表-3.7 地域区分C：今回の検討結果の必要かぶり厚（cm）

| 対策区分 | 上部構造 |       |     |
|------|------|-------|-----|
|      | プレテン | ポストテン | RC  |
| S    | 7.0  | 7.0   | 7.0 |
| I    | 5.0  | 7.0   | 7.0 |
| II   | 3.5  | 5.0   | 7.0 |
| III  | 2.5  | 3.5   | 5.0 |

### 3.2 上部構造における塩害対策見直しの必要性

表-3.8に道路橋示方書Ⅲコンクリート橋編（H14）に規定されている塩害の影響による最小かぶり厚を、表-3.9に同対策区分を示す。

図-3.6、3.11、3.16、3.21、3.26、3.31に示すとおり、今回の塩害実態データ（橋梁定期点検（近接目視）結果）と塩害被害の有無の関係が矛盾しない理論曲線C1（平均値：0 $\sigma$ ）と1km換算飛来塩分量にバラツキを考慮した理論曲線C1（+1 $\sigma$ ）の2本の線を用いて、海岸線からの距離に対する対策区分別の必要かぶり厚を、海岸線からの距離の<sup>しきいち</sup>閾値を同じ（表-3.9を参照）とした上で、道路橋示方書Ⅲコンクリート橋編（H14）の設定時と同様の考え方で設定すると、道路示方書Ⅲコンクリート橋編（H14）の最小かぶり厚を変更する必要があるとまでは言えない結果となった。（今回求めた表-3.6、3.7に示す対策区



分別の必要かぶり厚は、結果的に表-3.8と同じ値。ただし、対策区分Sおよび対策区分I（RCT桁のみ）の範囲内については、塗装鉄筋またはコンクリート塗装等の他対策との併用が必要。）

このことから、少なくとも、国総研資料No. 55と同様の方法により、理論曲線（フィックの拡散方程式）と、第2章で整理した今回の塩害実態データ（橋梁定期点検（近接）結果）および国総研資料No. 55の塩害実態データ（第2回塩害調査）とを比較した検討結果からは、表-3.8、3.9に示す道路橋示方書Ⅲコンクリート橋編（H14）の地域区分BおよびCにおける対策区分および最小かぶり厚を見直す必要性は見られなかった。

表-3.8 道路橋示方書Ⅲコンクリート橋編（H14）：塩害の影響による最小かぶり厚（cm）

| 対策区分 | 上部構造                       |                          |                     |
|------|----------------------------|--------------------------|---------------------|
|      | (1)工場で製作されるプレストレストコンクリート構造 | (2)(1)以外のプレストレストコンクリート構造 | (3)(2)以外の鉄筋コンクリート構造 |
| S    | 7.0(塗装鉄筋またはコンクリート塗装を併用)    |                          |                     |
| I    | 5.0                        | 7.0                      |                     |
| II   | 3.5                        | 5.0                      | 7.0                 |
| III  | 2.5(構造細目による)               | 3.5(構造細目による)             | 5.0                 |

表-3.9 道路橋示方書Ⅲコンクリート橋編（H14）：対策区分

| 地域区分 | 地域             | 海岸線からの距離          | 塩害の影響度合いと対策区分 |        |
|------|----------------|-------------------|---------------|--------|
|      |                |                   | 対策区分          | 影響度合い  |
| A    | 沖縄県            | 海上部および海岸線から100mまで | S             | 影響が激しい |
|      |                | 100mをこえて300mまで    | I             | 影響を受ける |
|      |                | 上記以外の範囲           | II            |        |
| B    | 北海道、東北、北陸の日本海側 | 海上部および海岸線から100mまで | S             | 影響が激しい |
|      |                | 100mをこえて300mまで    | I             | 影響を受ける |
|      |                | 300mをこえて500mまで    | II            |        |
|      |                | 500mをこえて700mまで    | III           |        |
| C    | 上記以外の地域        | 海上部および海岸線から20mまで  | S             | 影響が激しい |
|      |                | 20mをこえて50mまで      | I             | 影響を受ける |
|      |                | 50mをこえて100mまで     | II            |        |
|      |                | 100mをこえて200mまで    | III           |        |