

## 4章 塩害の予測手法とその評価（上部構造における塩害対策の検討）

この章では、既往の研究や今回行った第2回塩害調査（2000年実施）のデータなどから、コンクリート中に塩分が浸透していく現象に着目した塩害予測手法について検討を行うとともに、S59 塩対指針（案）に示された上部構造の塩害対策についての再評価を行い、新たに塩害対策の提案を行った。

### 4.1 塩害対策

塩害は、塩分がコンクリート中に浸透することで鋼材が腐食し、その結果コンクリートにひび割れ・剥離が生じる現象であり、従来より以下に示すような対策が行われている。

#### （1）塩分の付着を少なくする方法

- 1）塩分の付着面積を少なくさせるような橋の構造、形状等に配慮する。
- 2）波しぶきが直接かからないように、架橋地点付近の岩礁や消波ブロックなどの形状・配置に配慮する。

#### （2）塩分の浸透を抑制する方法

- 1）かぶり厚の増加
- 2）コンクリートの塩分浸透抵抗性を高める材料の採用（高炉スラグ微粉末などの混和材など）
- 3）コンクリートの塩分浸透抵抗性を高める配合設計（水セメント比の低減）

#### （3）塩分の浸透を阻止する方法

- 1）環境の遮断（塩分の付着・浸透防止）（コンクリート塗装など）
- 2）防水処理（床版防水工など）

#### （4）鋼材の腐食抵抗性を向上させる方法

- 1）鋼材の防食加工（エポキシ樹脂塗装、ポリエチレン被覆など）
- 2）ステンレス鋼またはステンレスクラッド鋼等を用いる。
- 3）電気化学的防食（図-4.1に電気化学的防食のメカニズムを示す）

2章でも記述したように、鋼材腐食のメカニズムは塩化物イオンの付着により、鋼材表面の不導体被膜が破壊され、そこに酸素と水の付着によりアノード部カソード部という電位の高低差が生じ、電気化学反応が進行する。その腐食メカニズムを外部から電流（防食電流）を流すことにより、電位高低差を小さくし、鋼材の腐食を防止する方法である。

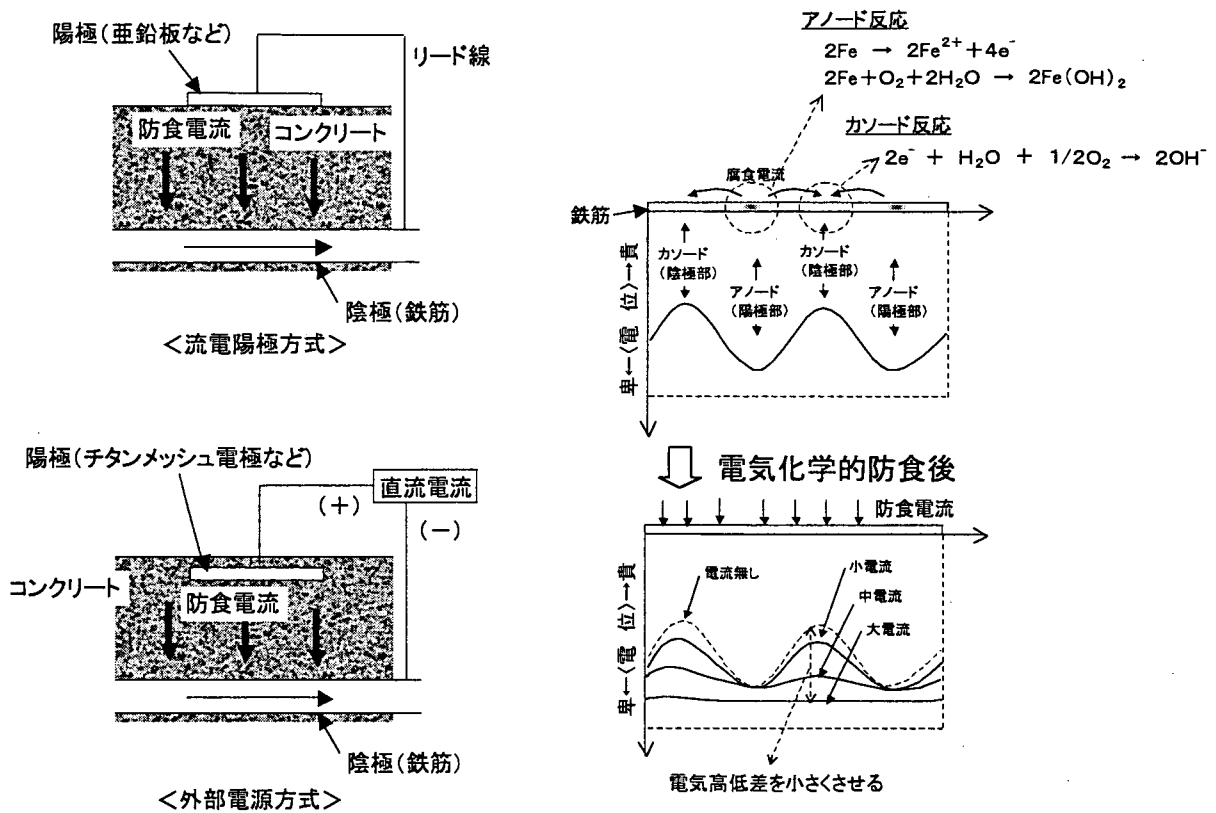


図-4.1 電気化学的防食のメカニズム

(5) コンクリート中の塩分を除去する方法 (電気化学的脱塩)

直流電流を通电し、コンクリート中の塩化物イオンを電気泳動させコンクリート外へ導く方法 (図-4.2 参照)

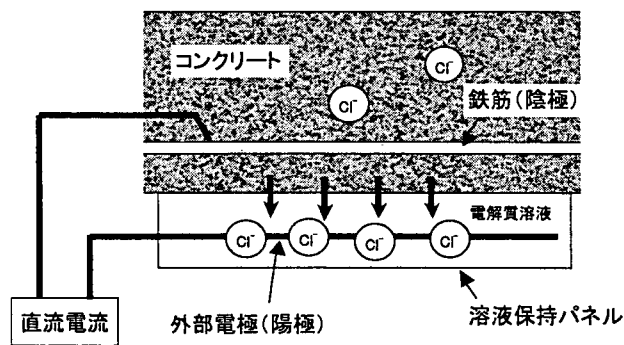


図-4.2 電気化学的脱塩のメカニズム

主な塩害対策は上記で挙げたように5つの項目に分類できる。

そのうち、(2) 以外の方法については、ここで着目しているような塩分浸透の過程を経年的に予測し、設計や対策工に反映する予測または評価手法の確立するという観点で扱うことは困難であり、本報告書では扱わない。

## 4.2 拡散理論による塩分浸透量の算出

### 4.2.1 塩分の拡散浸透機構<sup>4.1) 4.2)4.3)4.4)</sup>

塩分が実際のコンクリート中を浸透する現象は、細孔溶液中における濃度拡散による塩分の移動及び塩分の化学的固定あるいは吸着など様々な要因が複雑に絡み合った現象である。また飛沫帯などで乾湿が繰り返される環境ではコンクリート中の水分の移動に伴う拡散(移流拡散)も考えられ、塩分の浸透現象を濃度拡散のみで評価することは必ずしも適当とはいえない場合がある。しかし、橋梁部材に対して環境中の塩分が付着し、内部に浸透していく過程の評価は、一般には、濃度拡散のみに着目してフィックの第2法則として知られている拡散方程式を用いてある程度予測可能であることが明らかにされている<sup>4.4)</sup>。

本研究においても、飛来塩分の付着に起因する塩害予測式を、実態調査結果の分析から拡散理論に基づいて定式化する方法について検討した。

フィックの第2法則は以下の式(4.1)で表すことができる。

$$\frac{\partial C}{\partial t} = D_c \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} \quad \dots(4.1)$$



初期条件を  $C(x, 0) = 0$ 、境界条件を  $C(0, t) = C_0$  (塩分供給量、ここでは一定値) とすると、次の解が得られる。

$$C(x, t) = C_0 \left\{ 1 - \operatorname{erf} \left( \frac{x}{2\sqrt{D_c \cdot t}} \right) \right\} \quad \dots(4.2)$$

$C(x, t)$  : 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 ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )

$D_c$  : みかけの拡散係数 ( $\text{cm}^2/\text{sec}$ )

$C_0$  : コンクリート表面における塩化物イオン濃度 ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )

$$\text{誤差関数 } \operatorname{erf}(x) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^x e^{-t^2} dt$$

式(4.2)の初期条件としてコンクリート表面の塩化物量は常時一定としたが、この解析手法は必ずしも適切でないと言われている。しかし、コンクリート表面塩化物量を経時的に変化させた解析などには、種々のパラメータを設定する必要がある、現時点においてこれを行うだけの十分な情報が揃っていない等の理由から、ここでは式(4.2)を用いることとした。

なお、実際の試算では、以下に示す近似式を使うこととする<sup>4.5)</sup>。

$$1 - \operatorname{erf}(y) = 1 / (1 + 0.278393y + 0.230389y^2 + 0.000972y^3 + 0.078108y^4) \quad \dots(4.3)$$

#### 4.2.2 みかけの拡散係数 $D_c^{4.6)}$

コンクリートの配合における  $D_c$  への影響因子は、W/C、骨材量、空気量などが考えられるが、従来一般に使用されているコンクリートの範囲では、これらの中で W/C が  $D_c$  に及ぼす影響が最も大きいと考えられ、既往の研究でも  $D_c$  の推定式を W/C の関数で示す事例がある<sup>4.11) 4.12)</sup>。しかし現時点において、コンクリートに使用する骨材の材質、セメントの種類、空気量などの影響要因のすべてを考慮した拡散係数の評価式はまだ提案されていない状況である。

ただし、暴露実験や実構造物の調査結果によって、あらかじめコンクリート中の塩化物量分布が得られているような場合には、式(4.2)中のコンクリート表面の塩化物イオン濃度と拡散係数を変数とした近似解析を行って、コンクリート表面塩化物イオン濃度と拡散係数を、それぞれ見掛けの値として求め、この見掛けの拡散係数を予測値として用いることができるとされている。また、既往の実績や研究成果を参考として予測値を決定する場合に、その予測精度やコンクリートの品質の差異などを考慮して、適当な値を設定することができるとされている<sup>4.3)</sup>。

本報告書では取り扱う拡散係数に、過去、土研で調査・研究から得られた成果を適用している(詳細な内容については、「4.3.2 みかけの拡散係数 $D_c$ の設定」で記述する。)

#### 4.2.3 コンクリート表面の塩化物イオン量 $C_o^{4.6)}$

$C_o$  は、文献 4.10)4.2) において既に試案が示されている。但し、文献 4.10)では地域係数が考慮しており、文献 4.2)では地域差が考慮されていない。これまでのコンクリート橋の塩害による損傷状況<sup>4.13)</sup>から考えて、 $C_o$  が海岸線から遠くなるのに応じて減衰させるのは適切であると考えられ、要求する耐久性に応じて合理的に設計を行うためには、地域差も考慮する必要があると考えられる。

#### 4.3 フィックの拡散方程式の各種パラメータの設定

##### 4.3.1 鋼材腐食発生限界塩化物イオン量と初期塩分量<sup>4,5)</sup>

塩化物イオンの侵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に置き換えて考えることができる。<sup>4,3)</sup>

そこで試算では、式(4.2)より

$$C(x, t) = C_0 \left\{ 1 - \operatorname{erf} \left( \frac{x}{2\sqrt{D_c \cdot t}} \right) \right\} < C_{lim} - C_{init} \dots (4.4)$$

により、必要かぶりを求める。

ここで、

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

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

一般の鋼材の腐食発生限界塩化物イオン量  $C_{lim}$  は  $1.2\text{kg/m}^3$  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限界塩化物イオン量は一般に実験により得られた  $1.2 \sim 2.5\text{kg/m}^3$ <sup>4,7)</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、 $1.2\text{kg/m}^3$  以下では鋼材の腐食はほとんど見られず、 $2.5\text{kg/m}^3$  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。 $1.2 \sim 2.5\text{kg/m}^3$  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4.2)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限界塩化物イオン量は  $1.2\text{kg/m}^3$  としてよいとされている。)

初期塩化物イオン量  $C_{init}$  は、 $0.3\text{kg/m}^3$  とする。(道路橋示方書Ⅲコンクリート編でも示されている、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する。)

##### 4.3.2 みかけの拡散係数 $D_c$ の設定

拡散係数は水セメント比 W/C の関数である次式によるものとする(なお、詳細な内容については文献4.5、文献4.6を参照されたい。)

$$D_c = (5 \times 10^{-7}) \cdot e^{-1.6(C/W)} \dots (4.5) \quad (\text{ただし、波や波しぶきが頻繁に受ける部材については、別途検討が必要である。})$$

図-4.3に、式(4.5)によるコンクリートの水セメント比と塩分拡散係数の関係を示す。これは、早強セメントを用いたコンクリート供試体を3年間、沿岸部で屋外暴露したときの結果に基づいている。図中、式(4.5)とあわせて、他の機関で実施されたコンクリート供試体の沿岸部における暴露試験結果を示した。また、表-4.1に図-4.3に示したデータ<sup>4,3) 4,9)</sup>および式(4.5)の元データ(3年目のみ)<sup>4,8)</sup>を示す。なお、これらのデータには早強セメント以外のデータも含まれているが、セメントの種類による顕著な差はここで

は見られなかった。

先の「4.2.2 みかけの拡散係数  $D_c$ 」でも記述したが、現時点において水セメント比以外の例えばコンクリートに使用する骨材の性質、セメントの種類、空気量等についても考慮した拡散係数の評価式はまだ提案されてない状況である。従って、ポルトランドセメントを用い、骨材の物理的性質が、文献(4.2) に示された範囲にあるものを用いた場合についてのみ式(4.5)が適用可能であるとし、これ以外の材料を用いた場合は、別途試験を行って、拡散係数を求める必要がある。

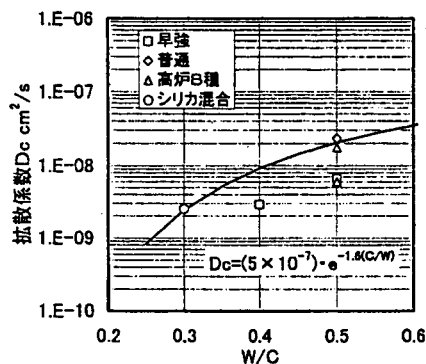


図-4.3 屋外暴露試験における $D_c$ と $W/C$ の関係

表-4.1 沿岸部における屋外暴露試験に基づく塩分拡散係数

文献	W/C (%)	$D_c$ ( $cm^2/sec$ )	備考
4.3)	40	2.9E-09	10年暴露(早強セメント)
	50	6.6E-09	10年暴露(早強セメント)
	50	6.0E-09	10年暴露(高炉B種セメント)
	30	2.5E-09	10年暴露(シリカフェーム混合セメント)
4.8)	25	1.2E-09	3年暴露(早強セメント)
	30	2.3E-09	3年暴露(早強セメント)
	40	1.1E-08	3年暴露(早強セメント)
	55	1.8E-08	3年暴露(早強セメント)
4.9)	50	2.3E-08	10年暴露(普通セメント)
	50	1.8E-08	10年暴露(高炉B種セメント)

表-4.2にかぶり算定時に想定する水セメント比  $W/C$  (%) を示す。<sup>4.5)</sup>

表-4.2 かぶり算定時に想定したコンクリートの $W/C$  (%)

プレテン ション PC 部材	ポストテン ション PC 部材	左記以外の 部材 (RC 部材)
36%	43%	50%

#### 4.3.3 コンクリート表面の塩化物イオン量 $C_o$ の設定

##### (1) 飛来塩分量

コンクリート表面の塩化物イオン量  $C_o$  の算定は以下の式(4.6)、(4.7)によるものとする(詳細な内容については、文献4.1、文献4.5を参照されたい。)

$$C_o = 1.2 \cdot C_{air}^{0.4} \quad (\text{NaCl 換算の場合}) \quad \dots (4.6)$$

$$C_{air} = C_1 \times d^{-0.6} : \text{飛来塩分量 (mdd)}, \quad mdd = \text{mg/dm}^2/\text{day} \cdots (4.7)$$

$C_1$  : 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  $d = 0.001\text{km}$  とする。

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であり、計測方法は土研式塩分捕集器<sup>41)</sup>を用いた測定を行った。式(4.7)のもととなったデータは、海に開けた平野部で測定した結果を用いており、約一ヶ月ごとに測定した 12 個のデータの平均値である。

全国的な飛来塩分量の分布の傾向を把握するため、図-4.4に 1984 年 12 月から 3 カ年に行った全国沿岸部 266 地点における 3 年間の年平均飛来塩分量を示す。ただし、調査期間が 1 年間の地点は 1 年間の平均値、2 年間の地点は 2 年間の平均値を示している。

塩害による劣化損傷が比較的多く発生している北海道、東北、北陸地方の日本海に面した地域および沖縄県では、飛来塩分量が比較的多い。一方、劣化損傷の発生が少ない太平洋に面した地域および中国地方、九州地方の日本海側に面した地域では飛来塩分量がほとんど 1.0mdd 未満であり、飛来塩分量が比較的小さい。

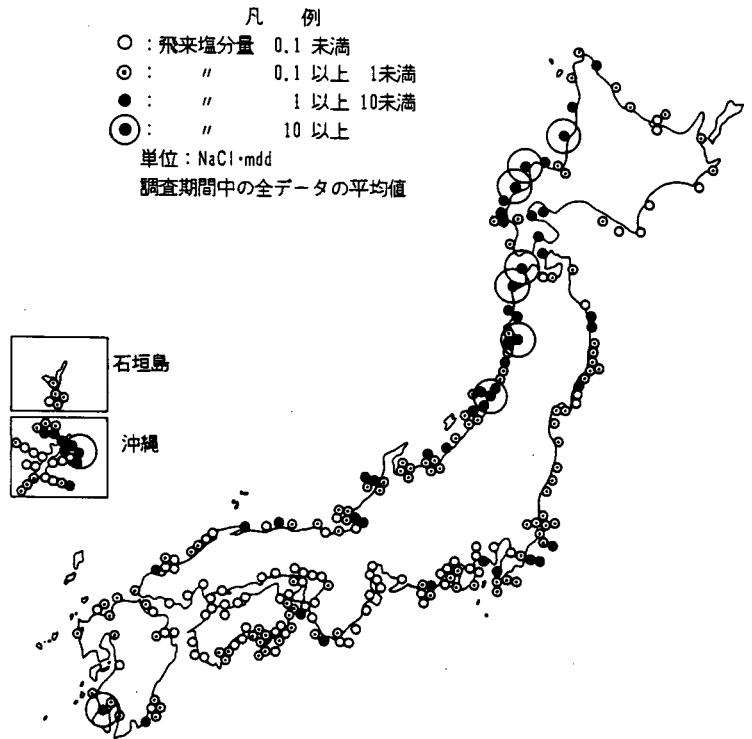


図-4.4 飛来塩分量の全国分布

(2) 各対策地域区分A～Cの1km換算飛来塩分量C1<sup>4,5)</sup>

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、ここでは地域区分ごとに1km換算飛来塩分量C1を設定することとした。なお、C1については文献4.1)のデータを基に設定することとした。

表-4.3 1km換算飛来塩分量C1の設定値

地域区分	1km換算飛来塩分量C1 (mdd・NaCl)	$\sigma$
A	0.24 [0.95]	0.76
B	0.92 [0.95]	0.44
C	0.11 * [0.35]	0.61 *

[ ] 内数値は、参考値として文献4.5)より引用したものである。

(※ただし、地域区分CのC1は文献4.1)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。)

4.3.4 対象とする塩害データ

今回の塩害調査で得られたデータの中で対象とする塩害データは3章でも記述したように損傷部位(桁下面・桁側面・床版下面等)の判断が比較的容易であったT桁橋を対象とする。なお、T桁橋で”床版下面”に損傷有というのが、床版下面のことなのか、上フランジ下面のことなのか判断し難いため、”床版下面”にのみ損傷有というデータは扱わないこととする。

4.3.5 かぶり厚xの設定

S59 塩対指針(案)が通達された1984年以前に架設された橋梁を対象に以下のようにかぶり厚を設定する(付属資料-4参照)。

なお、「桁」については1978年に出された「道路橋示方書Ⅲコンクリート橋編」の中で桁の最小かぶり厚をそれまでの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)に変更されたことから表-4.4に示すようにした。

表-4.4 想定したかぶり厚 (mm)

	桁	
	～1978年	1979年～1984年
プレテンション	20	25
ポストテンション	20	35
RC	20	35



#### 4.4 拡散理論による必要かぶりの算出

##### 4.4.1 必要かぶり算出するまでの流れ

4.3で設定した基本条件をもとに、実際に地域区分 A ～Cまでの塩害実態データをフィックの拡散方程式により検証し、必要かぶりを算出する。なお、必要かぶり算出するまでの全体の流れを図-4.5に示す。

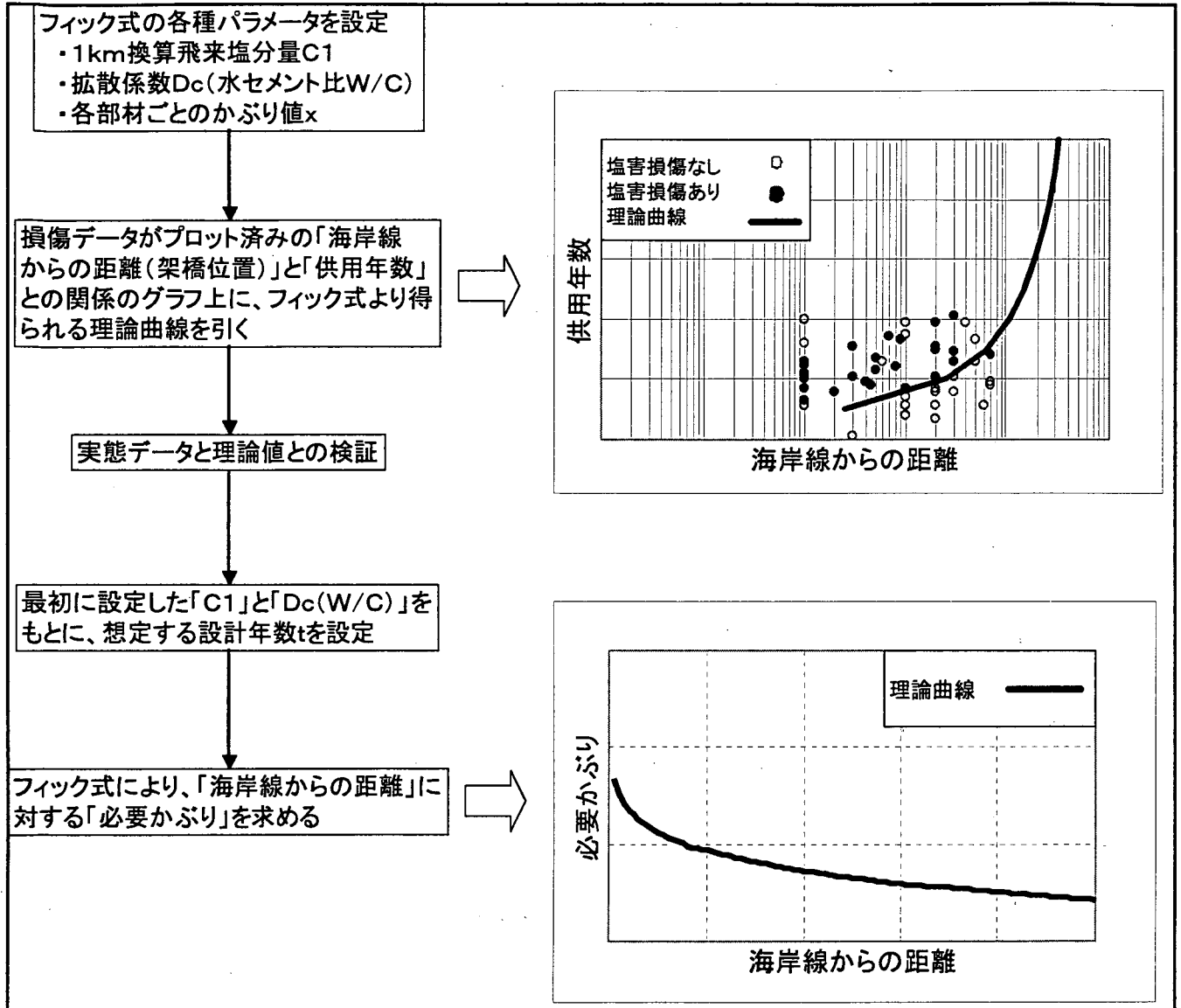


図-4.5 フィックの拡散方程式による必要かぶり算出までの流れ

##### ○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、言い換えれば、コンクリートの水密性が上がると塩化物イオンが鋼材位置まで到達する時間が延びることである。

#### 4.4.2 地域区分Aの検証

表-4.5に4.3で設定した各種設定条件を総括したものを示す。

表-4.5 地域区分Aにおける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～ 1984 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 (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) (値は NaCl 換算したもの)		0.24mdd、 $\sigma = 0.76^*$	(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

※ 設定した 1 km換算飛来塩分量には、各地域毎によりバラツキがあり、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、その分を考慮し文献4.1) で示されている 1 km換算飛来塩分量の標準偏差 $\sigma$ を用いて、 $0\sigma$ 及び $+1\sigma$ のときの2つの線を引き、検討することとした。

(1) プレテンション方式 T 桁橋

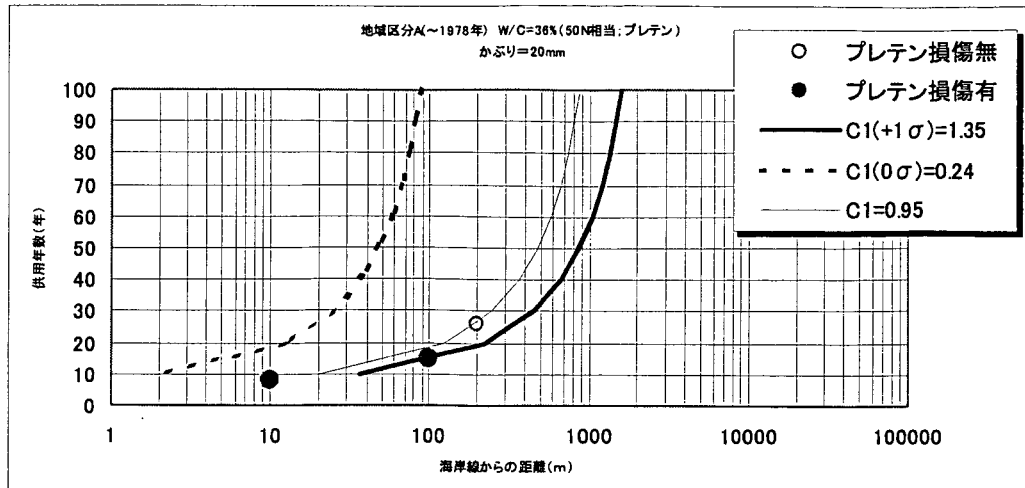


図-4.6 「供用年数」と「海岸線からの距離」の関係（～1978年）

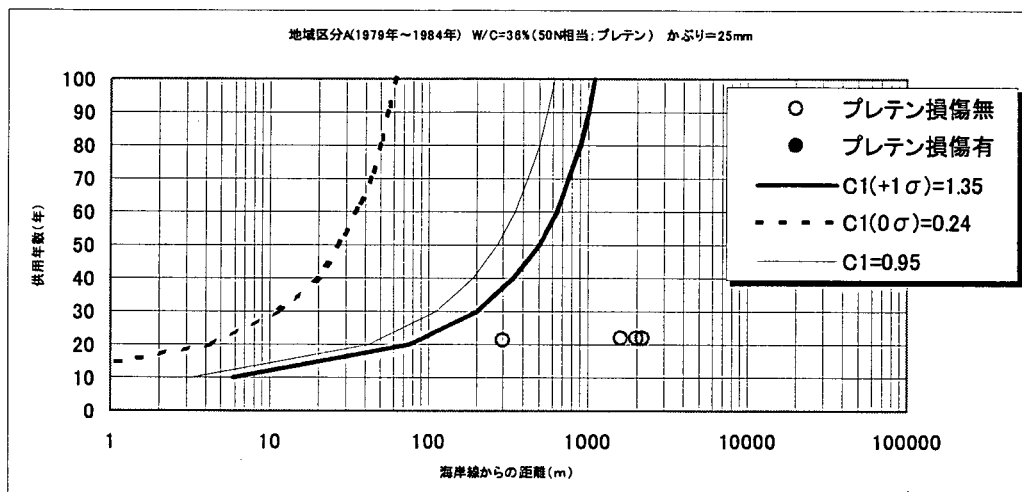


図-4.7 「供用年数」と「海岸線からの距離」の関係（1979年～1984年）

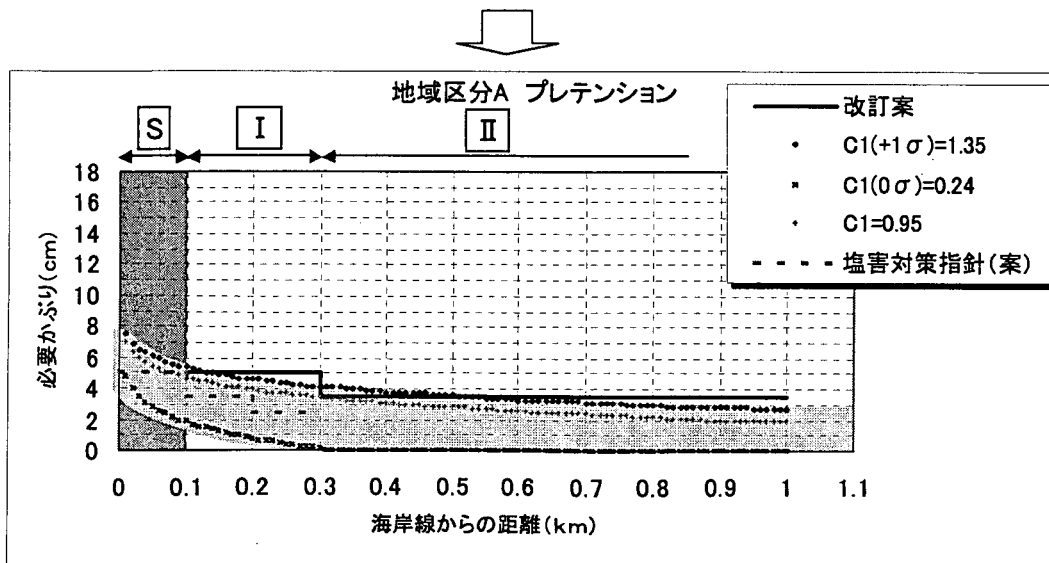


図-4.8 「必要かぶり」と「海岸線からの距離」の関係

(2) ポストテンション方式T桁橋

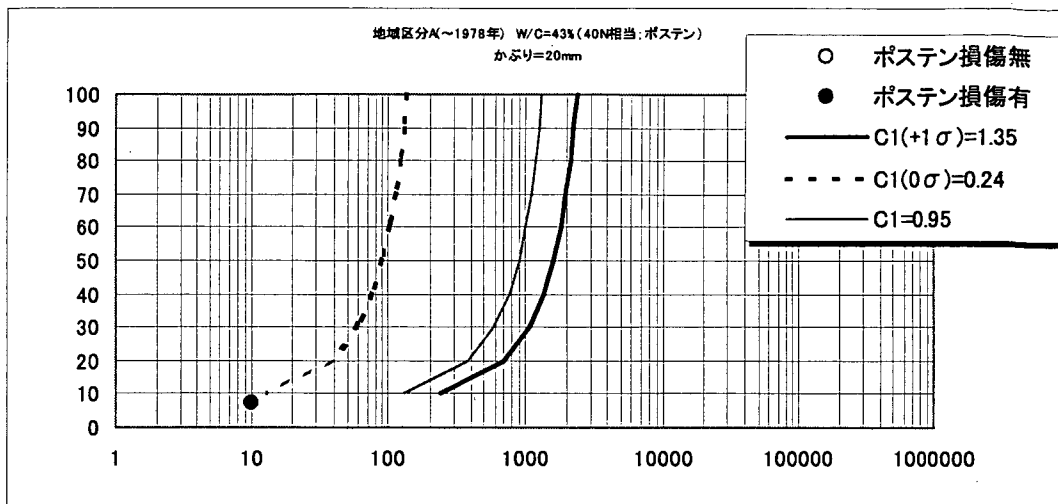


図-4.9 「供用年数」と「海岸線からの距離」の関係 (～1978年)

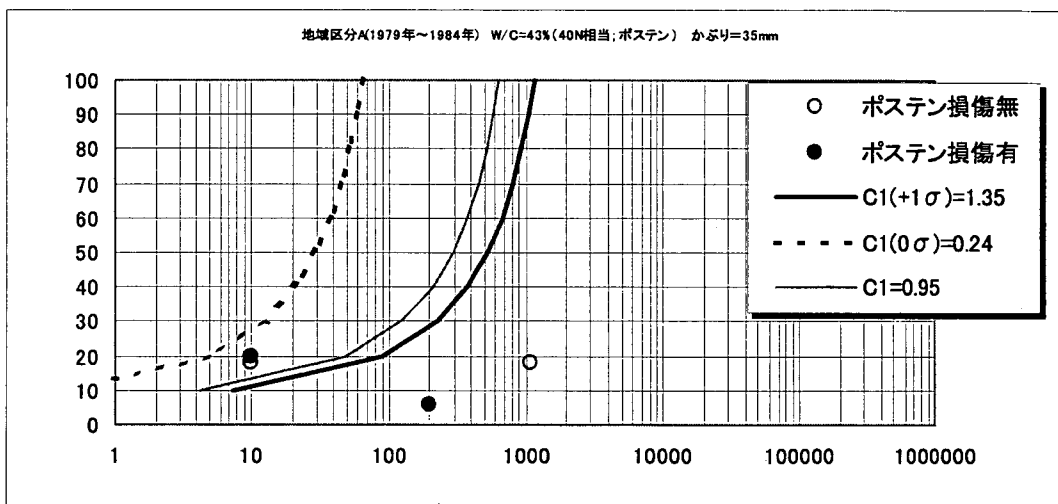


図-4.10 「供用年数」と「海岸線からの距離」の関係 (1979～1984年)

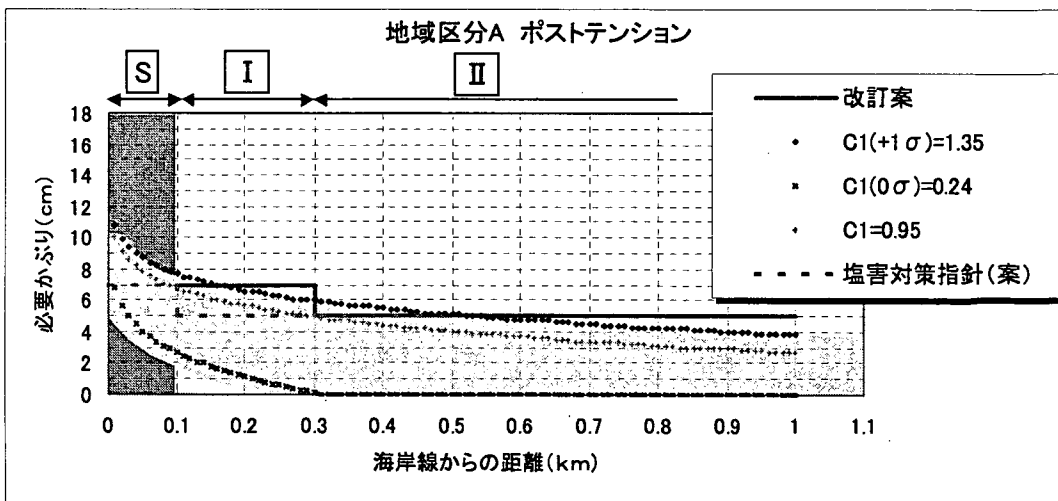


図-4.11 「必要かぶり」と「海岸線からの距離」の関係

(3) RCT 桁橋

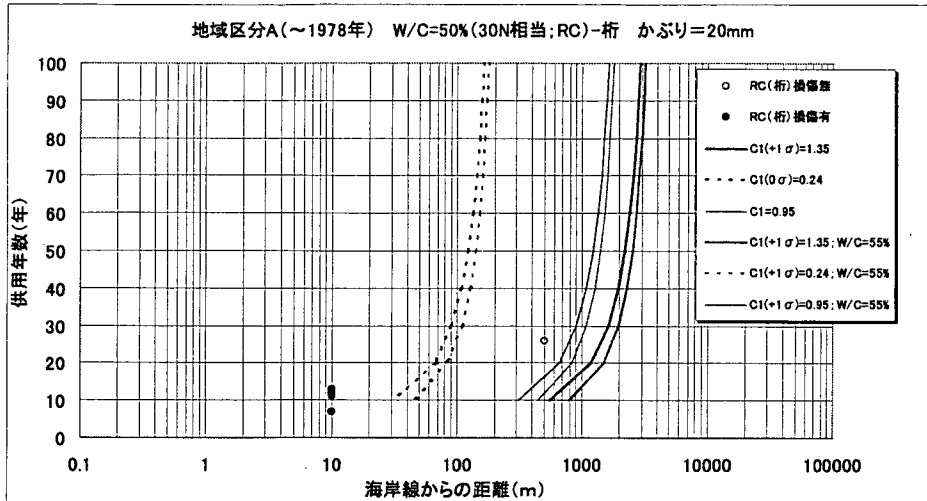


図-4.12 「供用年数」と「海岸線からの距離」の関係 (~1978年)

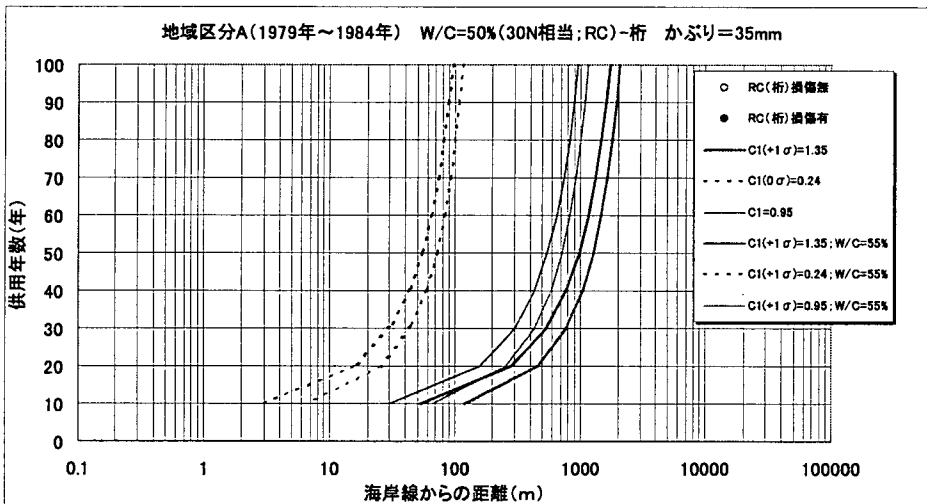


図-4.13 「供用年数」と「海岸線からの距離」の関係 (1979~1984年)

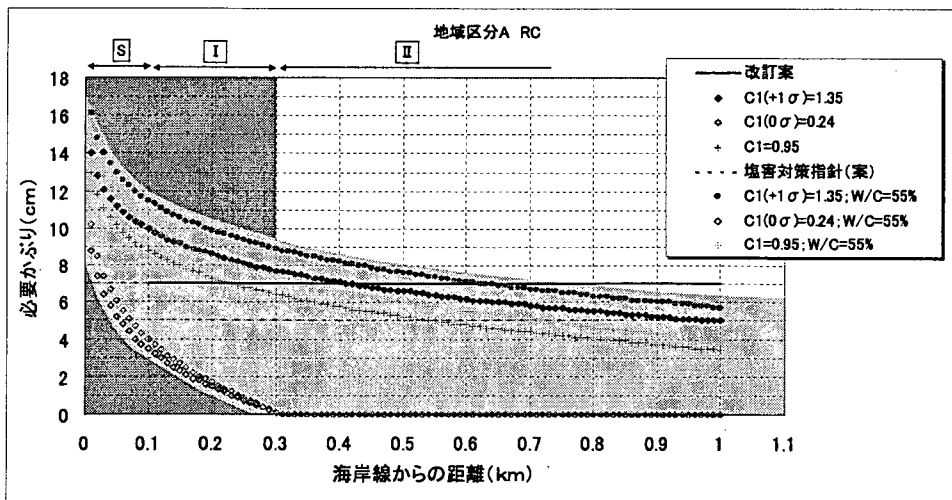


図-4.14 「必要かぶり」と「海岸線からの距離」の関係

#### 4.4.3 地域区分Bの検証

表-4.6に4.3で設定した各種設定条件を総括したものを示す。

表-4.6 地域区分Bにおける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～ 1984 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 (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) (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。

※ 設定した 1 km換算飛来塩分量には、各地域毎によりバラツキがあり、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、その分を考慮し文献 4.1) で示されている 1 km換算飛来塩分量の標準偏差 $\sigma$ を用いて、 $0\sigma$ 及び $+1\sigma$ のときの2つの線を引き、検討することとした。

(1) プレテンション方式T桁橋

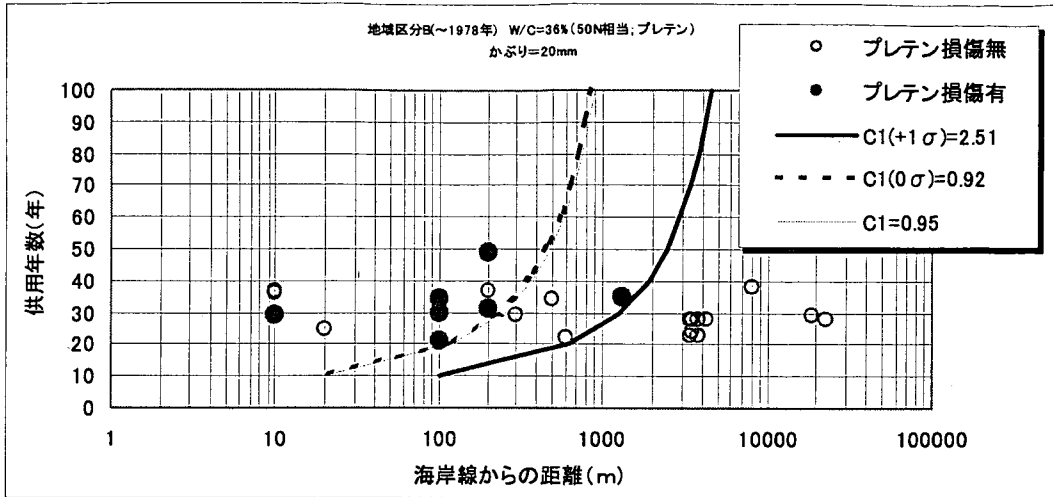


図-4.15 「供用年数」と「海岸線からの距離」の関係 (～1978年)

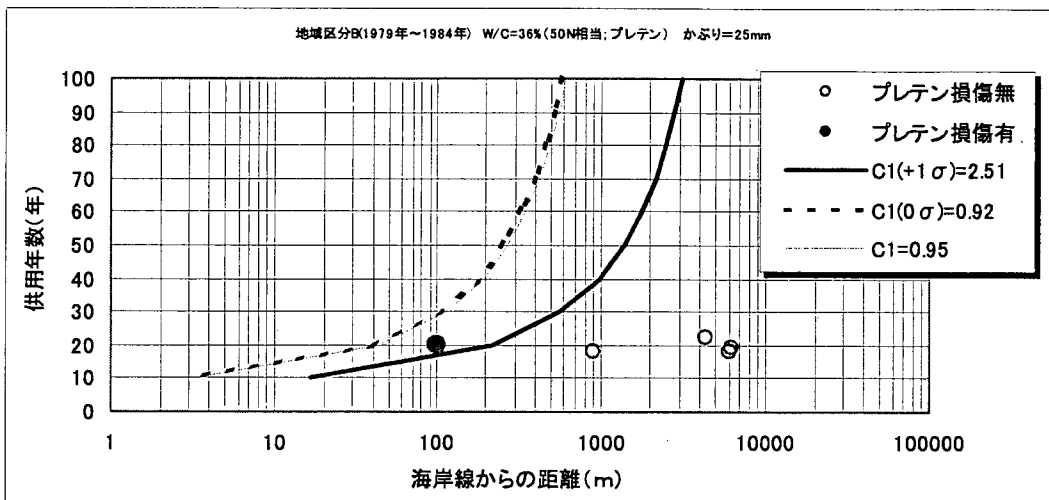


図-4.16 「供用年数」と「海岸線からの距離」の関係 (1979～1984年)

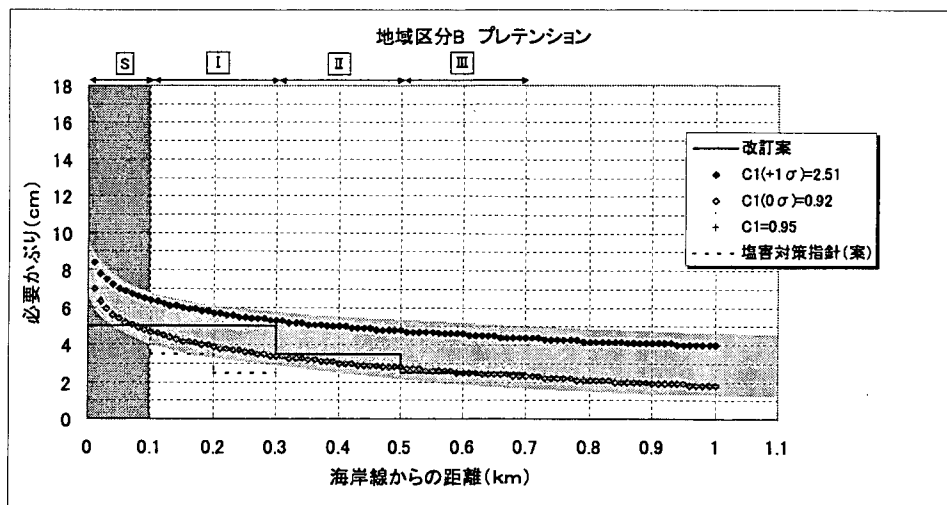


図-4.17 「必要かぶり」と「海岸線からの距離」の関係

(2) ポストテンション方式T桁橋

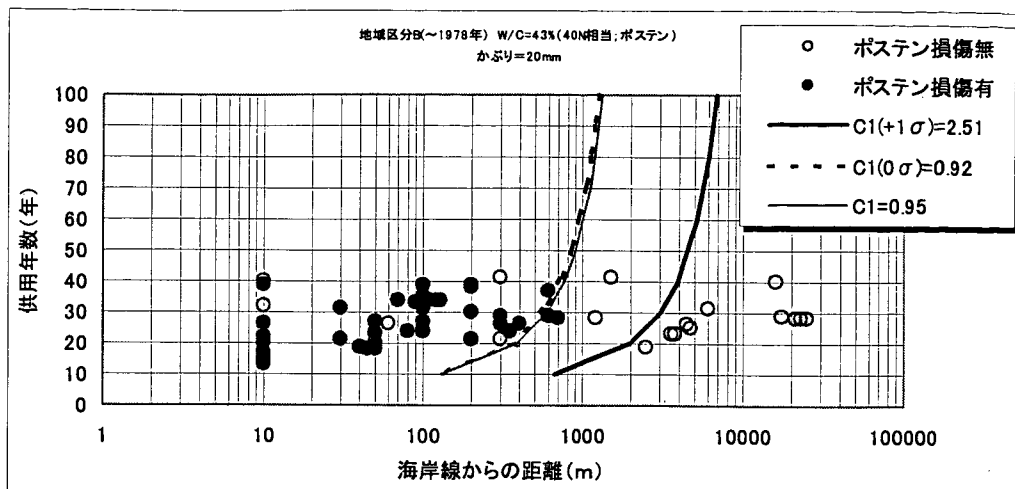


図-4.18 「供用年数」と「海岸線からの距離」の関係 (～1978年)

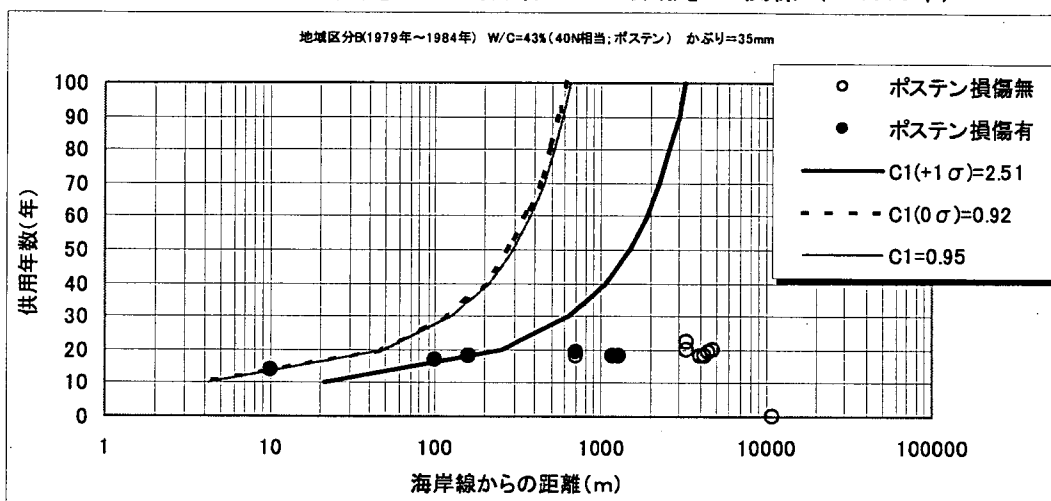


図-4.19 「供用年数」と「海岸線からの距離」の関係 (1979～1984年)

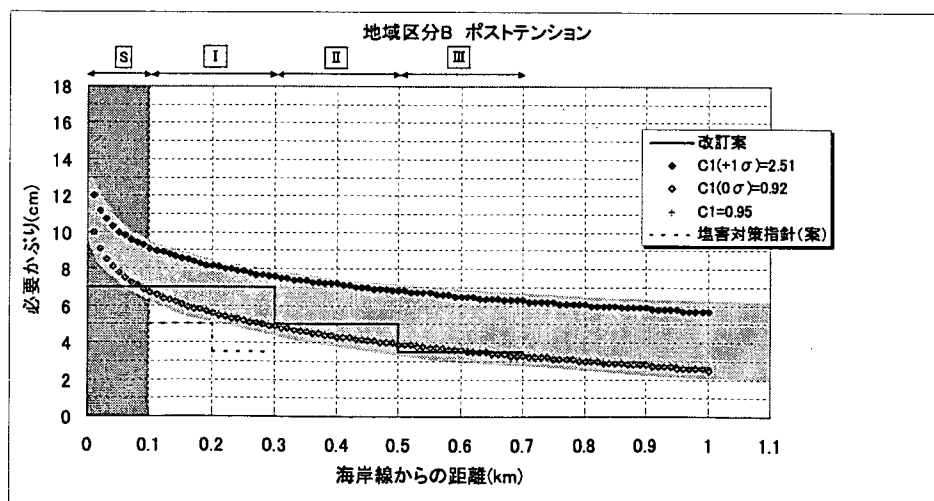


図-4.20 「必要かぶり」と「海岸線からの距離」の関係



(3) RCT 桁橋

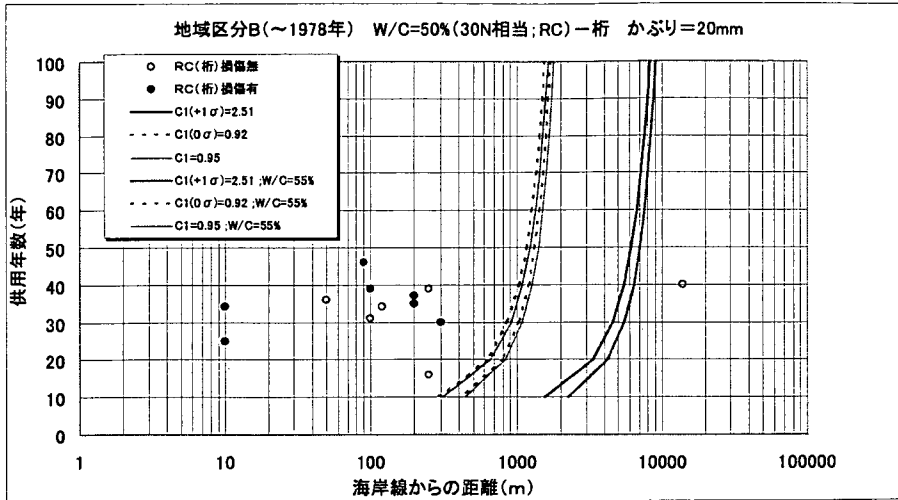


図-4.21 「供用年数」と「海岸線からの距離」の関係（～1978年）

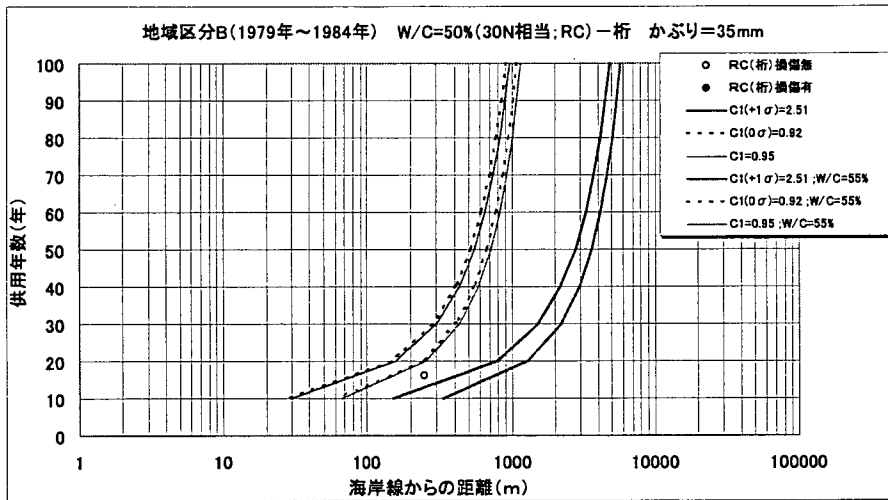


図-4.22 「供用年数」と「海岸線からの距離」の関係（1979～1984年）

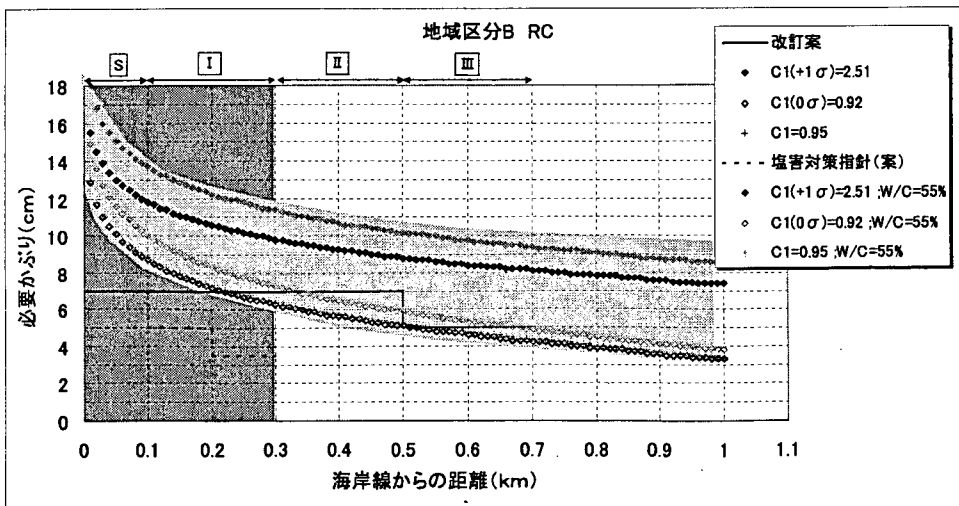


図-4.23 「必要かぶり」と「海岸線からの距離」の関係

#### 4.4.4 地域区分Cの検証

表-4.7に4.3で設定した各種設定条件を総括したものを示す。

表-4.7 地域区分Cにおける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～ 1984 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 (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) (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。

※ 設定した 1 km換算飛来塩分量には、各地域毎によりバラツキがあり、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、その分を考慮し文献4.1) で示されている 1 km換算飛来塩分量の標準偏差 $\sigma$ を用いて、 $0\sigma$ 及び $+1\sigma$ のときの2つの線を引き、検討することとした。

(1) プレテンション方式T桁橋

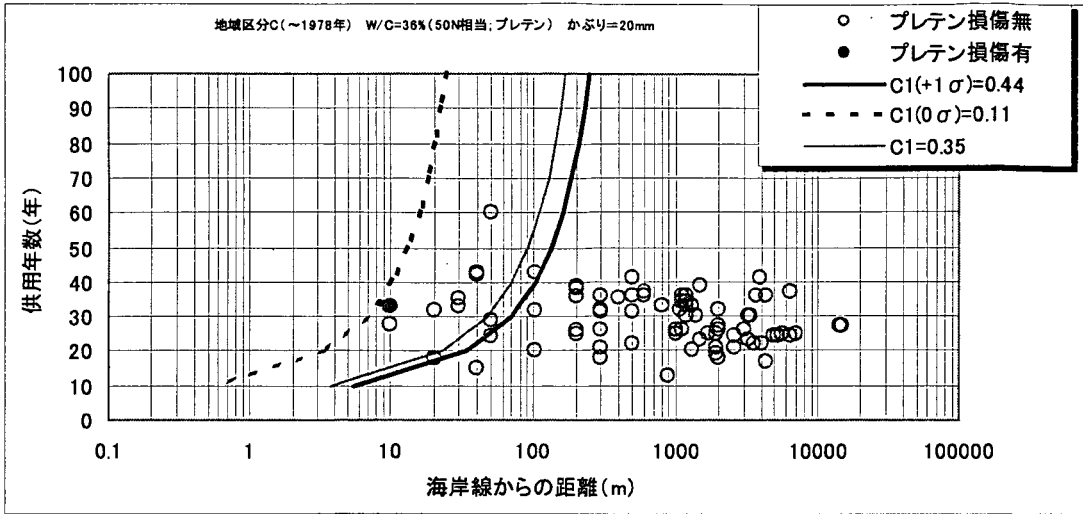


図-4.24 「供用年数」と「海岸線からの距離」の関係 (~1978年)

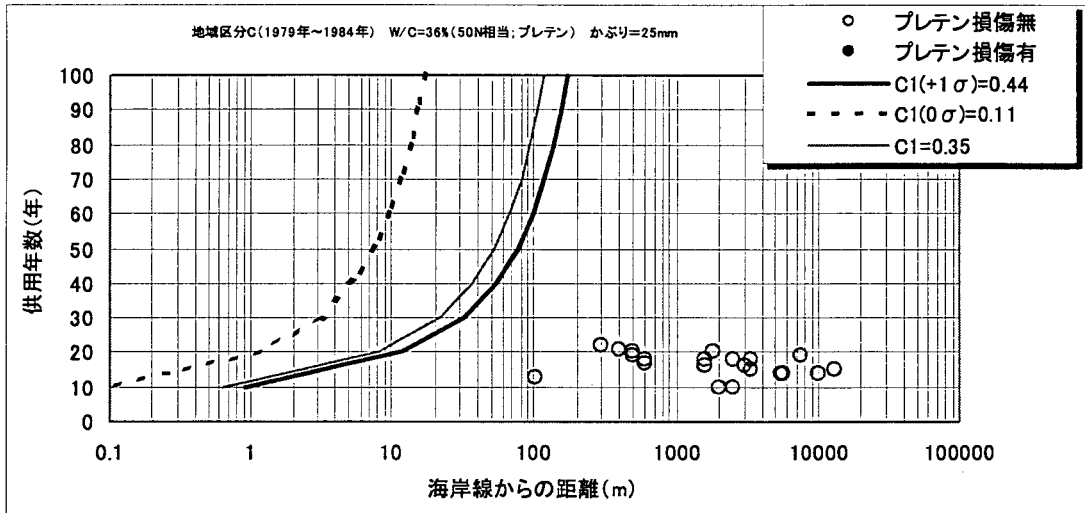


図-4.25 「供用年数」と「海岸線からの距離」の関係 (1979~1984年)

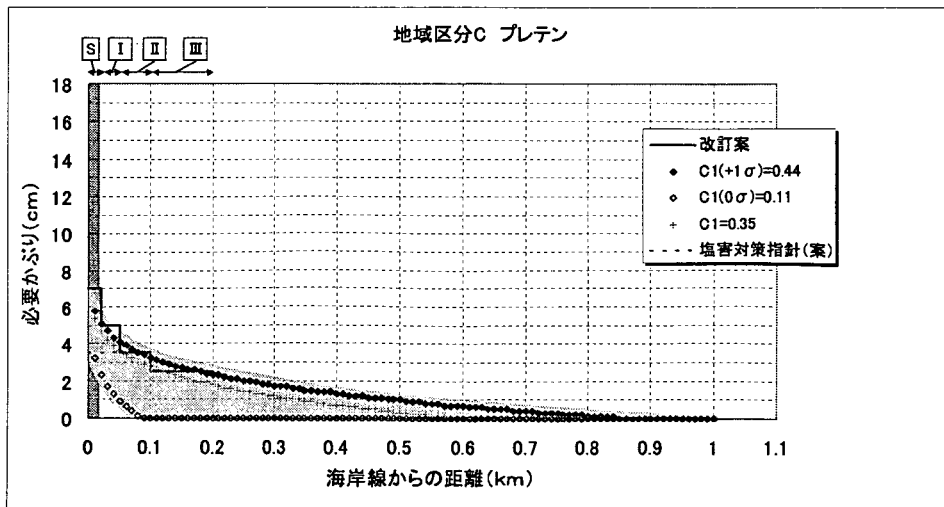


図-4.26 「必要かぶり」と「海岸線からの距離」の関係

(2) ポストテンション方式T桁橋

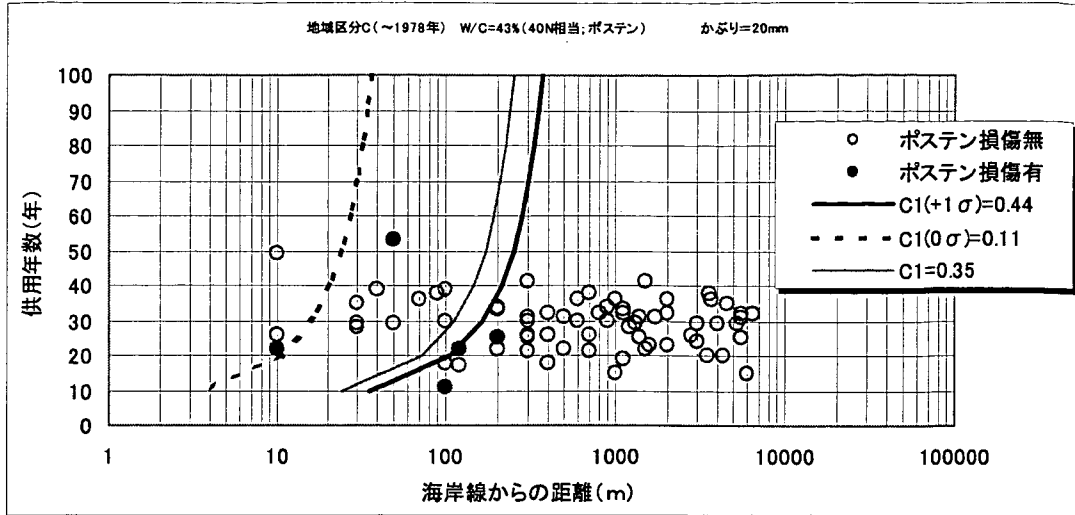


図-4.27 「供用年数」と「海岸線からの距離」の関係 (~1978年)

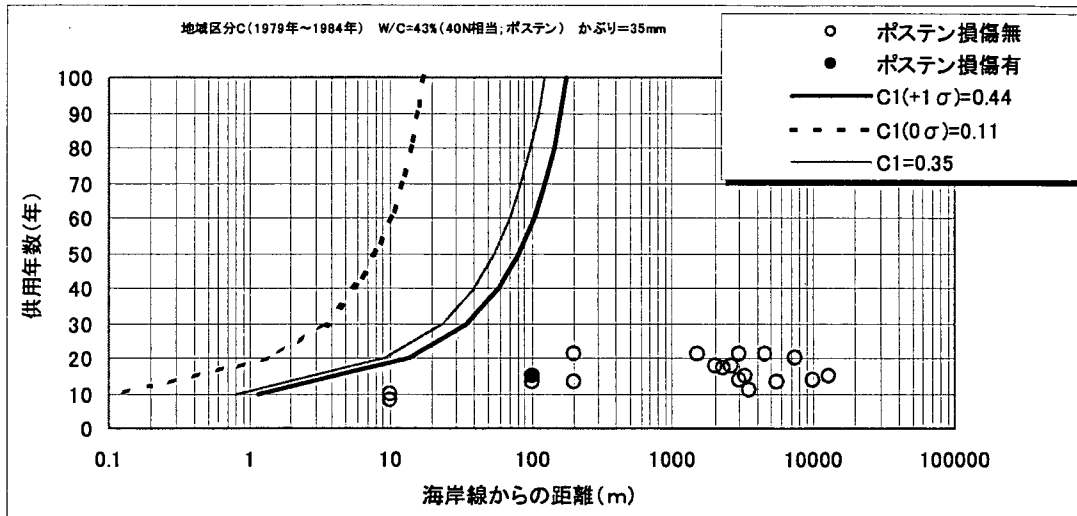


図-4.28 「供用年数」と「海岸線からの距離」の関係 (1979~1984年)

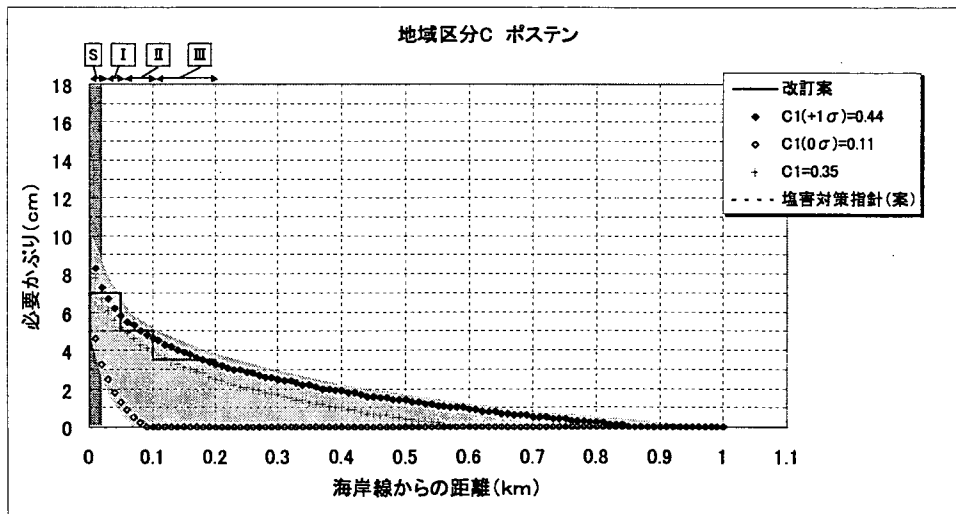


図-4.29 「必要かぶり」と「海岸線からの距離」の関係

(3) RCT 桁橋

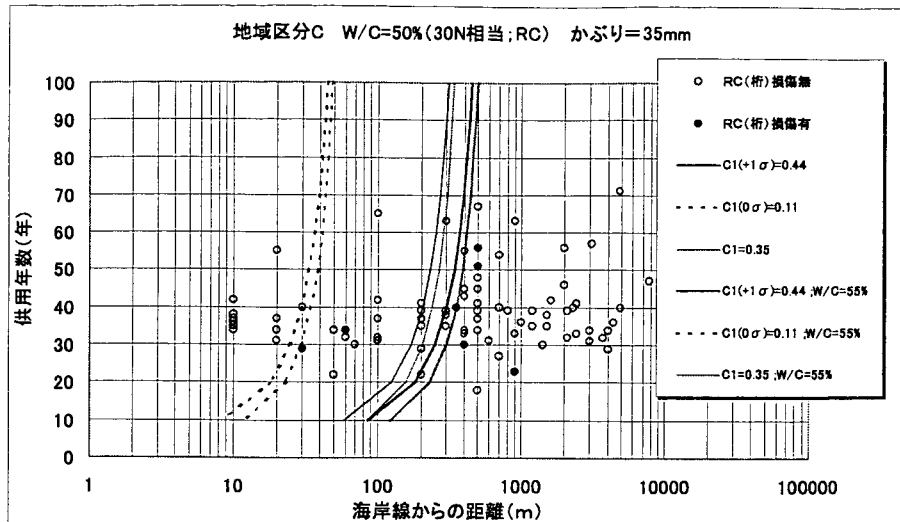


図-4.30 「供用年数」と「海岸線からの距離」の関係 (~1978年)

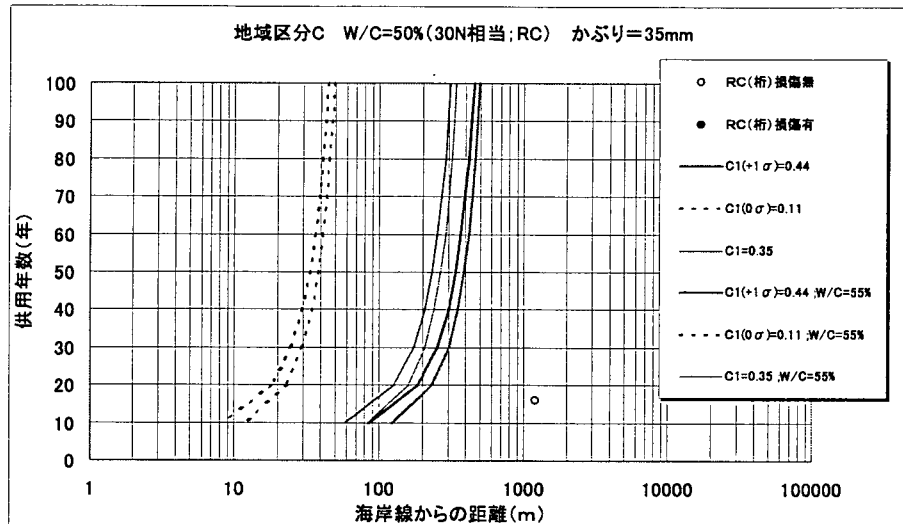


図-4.31 「供用年数」と「海岸線からの距離」の関係 (1979~1984年)

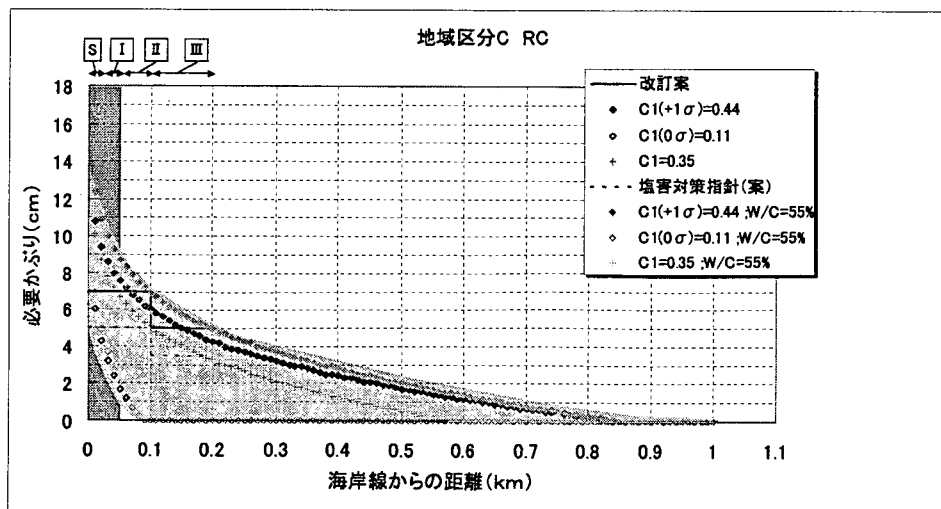


図-4.32 「必要かぶり」と「海岸線からの距離」の関係

## 4.5 評価・検討

### 4.5.1 検証結果

地域区分A～Cのいずれにおいても、拡散式による「供用年数」と「海岸線からの距離」の関係は、1km換算飛来塩分量に対してバラツキを+1σ程度の幅をもって評価した場合に実際の損傷データが概ね説明できる。過去土木研究所より提案されている飛来塩分量、拡散係数を用いた拡散式は概ね妥当であると考えられる。

この結果より、「必要かぶり」と「海岸線からの距離」の検討において、C1(0σ)のときとバラツキ分を考慮したC1(+1σ)のときのかぶりの曲線を2本引き、その範囲内にほぼ収まるように必要かぶりを設定した。その結果、S59 塩対指針(案)で規定されているかぶり厚では、いずれも設計の目標期間として100年を考えたとき、必ずしも充分ではないことがわかる。

### 4.5.2 上部構造におけるかぶり厚と対策区分

表-4.8に S59 塩対指針(案)で規定されている最小かぶり厚、表-4.9に今回の検証で得られた最小かぶり厚、表-4.10に現在の道路橋示方書Ⅲ(H14.3)で規定されている最小かぶり厚を、表-4.11に今回の検証結果\*で得られた対策区分と S59 塩対指針(案)で規定されている対策区分を示す。

(※道路橋示方書Ⅲ(H14.3)と同じ)

表-4.8 S59塩対指針(案)の最小かぶり値(cm)

対策区分	上部構造		
	床板下面、 地覆・高欄	け た プレテンション方式 によるプレキャスト PCげた	左記以外 のけた
I	5.0	5.0	7.0
II	4.0	3.5	5.0
III	3.0	2.5	3.5

表-4.9 今回の検討結果の最小かぶり値(cm)

対策区分	上部構造		
	プレテン	ポステン	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-4.10 道路橋示方書Ⅲ(H14.3)の最小かぶり値(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-4.11 今回の検証結果とS59塩対指針（案）の対策区分の比較

地域区分			今回の 検証結果	塩害対策 指針(案)
	地域	海岸線からの距離	対策区分	対策区分
A	沖縄県	海上部及び海岸線から100mまで	S	I
		100mをこえて300mまで	I	/
		上記以外の範囲	II	
B	北海道、東北、北 陸の日本海側	海上部及び海岸線から100mまで	S	I
		100mをこえて300m(200m)まで	I	II
		300m(200m)をこえて500m(300m)まで	II	III
		500mをこえて700mまで	III	/
C	上記以外の地域	海上部及び海岸線から20mまで(海上	S	I
		20m(海岸線)をこえて50m(100m)まで	I	II
		50m(100m)をこえて100m(200m)まで	II	III
		100mをこえて200mまで	III	/

(海岸線からの距離の括弧内は S59 塩対指針（案）の規定値)

地域区分 A・B (C) については海岸線から 100 m (20 m) までのかぶり厚は、図-4.8、4.11、4.14、4.17、4.20、4.23、4.26、4.29、4.32のグラフを見ても明らかなように 10 cm～15 cm程度までとなっているが、計算上の必要かぶり度で構造物をつくるとコンクリート構造物の重量が大きくなり、無筋コンクリート部分が増えることにより、乾燥収縮によるひび割れも懸念されるため、海岸線から 100 m (20 m) までおよび RC の対策区分 1 の塩害対策は、かぶりに加えて塗装鉄筋もしくはコンクリート塗装等の別途対策の併用が必要であると考えられる。