

# 海洋コンクリート構造物の防食指針(案) に関する一考察

海洋構造物委員会

## 総 論

〔1〕 海洋コンクリート構造物の規定に関しては、これまでも、昭和 52 年に土木学会より「海洋コンクリート構造物設計施工指針(案)」(以下、学会指針(案)と略記)が発行されている。

この中には周知のとおり、防食に関して、かぶり、塩分許容含有量、ひびわれ幅等が規定されている。コンクリート工学協会の「海洋コンクリート構造物の防食指針(案)」(以下、防食指針(案)と略記)は、学会指針(案)のかぶり、塩分許容含有量、ひびわれ幅等の規定よりかなり厳しい値を提案している。

両指針(案)の諸規定値の違いは、計画および設計に携わる者にとって混乱を招く恐れがあると思われる。

〔2〕 防食指針(案)は、当初(昭和 53 年)(鉄筋コンクリート構造物の劣化に関する研究委員会)として発足し、主として鉄筋コンクリート構造物に関して、調査、研究をされてきたものであり、プレストレストコンクリート構造物に対してまでは、面一的には適用し難いものであると思われる。

たとえば、プレストレストコンクリート部材(PC 部材)に使用するコンクリートは、一般の鉄筋コンクリート部材(RC 部材)に使用するコンクリートに比べて、次の点が異なる。

- ① 単位セメント量が多い
- ② 水セメント比が小さい
- ③ 強度が大である
- ④ 密実である

プレストレストコンクリート橋に関しては、数々の長大橋をはじめ、多くの PC 橋が海上もしくは、沿岸に建設された実績を持ち、これらの設計施工に関しては、従来慣用のスペックが用いられてきた。

我が国における PC 部材の設計は、ひびわれの発生を許容する RC 部材の設計とは異なり、許容応力度設計法によるいわゆるひびわれの発生を許さないⅠ種、Ⅱ種 PC で設計されるものが大半である。

したがって、PC 部材に対して、防食指針(案)を適

用させるとしても、防食指針(案)の規定は、限界状態設計法に基づいた、ひびわれを許容するⅢ種 PC についてのみ規定されるべきものと考えられる。

防食指針(案)の全体的な印象としては、マッシブかつ一般的なコンクリートに用いる構造物を対象としていると思われ、薄肉部材で、硬練り、かつ密実な高強度コンクリートを使用する PC 構造物の場合には別途の規定を定めるべきであると考えられる。

以下に、主な 5 項目にわけて具体的に述べていくこととする。

- 〔1〕 総 則
- 〔2〕 か ぶり
- 〔3〕 ひびわれ
- 〔4〕 塩 分 量
- 〔5〕 PC 鋼材および防食方法

## 〔1〕「第 1 章 総則」について

### (1) 「1.1 適用範囲」について

「(5) 参考規定」をみると、「対象とする構造物」は、次表のとおりである。

|                                                                                                        |                                                                        |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|
| 土 木 学 会<br>海洋コンクリート構造物<br>設計施工指針(案)                                                                    | 各種港湾施設、海底沈埋トンネル、海峽横断橋梁、海上浮上橋梁、海底貯油タンク、海底石油掘削基地、海上飛行場、海上発電所、海上工場、海上都市など |
| ACI 357 R-78<br>Guide for the Design<br>and Construction of<br>Fixed Offshore Con-<br>crete Structures | 基礎が海底床に固定され、海洋環境で供用される構造物<br>除く：棧橋、防波堤、船など                             |
| FIP/6/1<br>Recommendations for<br>the Design and Con-<br>struction of Concrete<br>Sea Structures       | 海洋環境で供用される構造物で、基礎が海底土に固定されるが、アンカー等で係留されて浮遊するもの<br>除く：棧橋、防波堤、船など        |

これに対して防食指針(案)は、

海洋石油生産プラットフォーム、海上空港、海上橋、その他大規模浮遊構造物。

を対象とし、さらに、対象としてはいないとしながらも

港湾、沿岸構造物の設計、施工の参考とすることができる。

となっている。

このため、ばく然としたイメージのまま、適用範囲が広がる恐れがある。

また、“船舶”を除外するののかもはっきりしていない。

したがって、防食指針（案）〔解説〕「（１）対象とする構造物」は現時点では研究段階のものも多いので、当面は次に示す考察案の範囲で考えておくのが自然であると思われる。

#### 〔原案〕

本指針は、環境の厳しい条件下において供用される大規模かつ重要な海洋コンクリート構造物、例えば、海洋石油生産プラットフォーム、海上空港、海上橋、その他大規模浮遊構造物などを対象とする。港湾、沿岸構造物は特に対象としてはいないが、本指針を港湾、沿岸構造物の設計、施工の参考とすることができるのであって、防食上の対策が必要との判断がなされた場合には、積極的に本指針を用いることが望まれる。なお、経済性等については各々の立場から十分に検討をする必要がある。

#### 〔考察案〕

本指針は、環境の厳しい条件下において供用される大規模かつ重要な海洋コンクリート構造物、例えば、海洋石油生産プラットフォーム、海上空港、その他大規模浮遊構造物などを対象とする。

## 〔２〕「３．２ かぶり」について

### （１）提 案

かぶりに対する防食指針（案）の規定値は、次のとおりである。

かぶりは防食の区分および施工条件を考慮して定める。かぶりの最小値は表 2 に示す値を標準とする。

表 2 最小かぶりの標準値（mm）

| 防食の区分 | 施工条件がよい場合 | 施工条件が悪い場合 |
|-------|-----------|-----------|
| A 種   | 100       | 125       |
| B 種   | 100       | 125       |
| C 種   | 75        | 100       |

この値は、各国の基準類、および各国の実験に基づく研究論文等（後述）と比較して非常に大きな値となっている。

鋼材の腐食（錆）を招く塩素の侵入に対しては、“かぶり”も重要な因子のひとつではあるが、数値として定める場合には、他の重要因子との関連を考慮のうえ定めるべきである。

関連する重要因子としては、少なくとも

1. 単位セメント量またはコンクリート強度
2. 水セメント比
3. 部材厚

を考慮し、“かぶり”は、これらの関数とする方が自然であると思われる。

防食指針（案）にも水セメント比、単位セメント量に関する標準値が規定されているが、この値は主として鉄筋コンクリート（RC）に対してのものと思われる。プレストレストコンクリート（PC）の場合、水セメント比、単位セメント量とも、防食指針（案）の標準値を大幅に満足しており、PC に対しても、かぶりの値を画一的に定めることは、逆に腐食に対して悪い面もあり、さらに経済性に欠ける結果となる。

各国の基準類および諸研究から見うけられる限り、飛沫帯における PC のかぶりは 2 in (=51 mm≒50 mm) あれば良いと思われるが、日本における当問題に関する研究は未だ明確化されていないこと、施工上の許容されるべき誤差、および PC はそのほとんどが薄肉部材（ $t=50$  cm 以下）であること等を考慮して、設計上の値としては、当面学会指針（案）と同一の値として差しつかえないものと考ええる。

### （２）各国の規定

#### 1) 海洋コンクリート構造物のかぶりに関する公的規格

ここでは、かぶりの項のみ表示したが、他に、コンクリート強度、配合（単位セメント量、セメント比等）等の条件についても併記されている。

| 名 称     |      | 海洋コンクリート構造物設計施工指針案 (1977)                                                        | 港湾施設の技術上の基準<br>同解説 (1979)                                                                  | プレストレストコンクリート<br>ベース基準 (1975)                                                   | Guide for the Design and Construction of Fixed Offshore Concrete Structures (1978)            |                                                                                                                               |
|---------|------|----------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 制 定 機 関 |      | 土 木 学 会                                                                          | 日 本 港 湾 協 会                                                                                | 日 本 海 事 協 会                                                                     | ACI                                                                                           |                                                                                                                               |
| 適 用 範 囲 |      | 海洋コンクリート構造物の設計および施工に適用する。                                                        | 港湾施設を建設し、改良し、維持する場合に適用する。                                                                  | プレストレストコンクリートベースの船体材料の設計および施工に適用する。                                             | 鉄筋コンクリートおよびプレストレストコンクリート製固定式(重力式)海洋構造物の設計および施工に適用する。                                          |                                                                                                                               |
| 鋼材のかぶり  | 鉄筋   | 海上大気中<br>飛沫帯<br>海中                                                               | 5 cm 以上<br>7 cm 以上<br>5 cm 以上(水中コンクリートは 10 cm 以上)                                          | 50 mm 以上<br>70 mm 以上<br>50 mm 以上                                                | 船側および船底外周部 70 mm 以上<br>上記以外の部分 40 mm 以上                                                       | 1) 厚さ<br>注 1)<br>50 cm 以上の部材<br>50 mm 以上<br>65 mm 以上<br>50 mm 以上<br>2) 厚さ<br>50 cm 以下の部材<br>左記の値を用いる。やむを得ない場合は注2)の項目の最大値を用いる。 |
|         | PC鋼材 | 海上大気中<br>飛沫帯<br>海中                                                               | 責任技術者の判断による。                                                                               | プレストレストコンクリート設計施工指針(土木学会)による。                                                   | 船側および船底外周部 100 mm 以上<br>上記以外の部分 45 mm 以上                                                      | 75 mm 以上<br>90 mm 以上<br>75 mm 以上<br>注 2) の a), b), c) の最大値に 13 mm を加えたもの                                                      |
| 名 称     |      | Recommendation for the Design and Construction of Concrete Sea Structures (1977) | Rules and Regulations for the Construction and Classification of Offshore Platforms (1975) | Rules for the Design, Construction and Inspection of Offshore Structures (1977) | Guidelines the Design, Construction and Classification of Floating Concrete Structures (1978) |                                                                                                                               |
| 制 定 機 関 |      | FIP                                                                              | BV                                                                                         | DNV                                                                             | DNV                                                                                           |                                                                                                                               |
| 適 用 範 囲 |      | 海洋コンクリート構造物の設計および施工に適用する。                                                        | 鋼製およびコンクリート製沖合プラットフォームの施工および船級指定に適用する。                                                     | 鋼製およびコンクリート製海洋構造物に適用する。                                                         | 浮遊式コンクリート製構造物の設計・施工および船級指定に適用する。                                                              |                                                                                                                               |
| 鋼材のかぶり  | 鉄筋   | 海上大気中<br>飛沫帯<br>海中                                                               | 1) 壁厚 0.50 m 以上<br>75 mm 以上<br>2) 壁厚 0.50 m 以下<br>骨材最大寸法の 1.5 倍以上かつ最大鉄筋径の 1.5 倍以上          | 50 mm 以上<br>タイダル部として 65 mm 以上<br>50 mm 以上                                       | 40 mm 以下<br>50 mm 以上<br>50 mm 以上                                                              | さらに骨材最大寸法の 1.5 倍以上<br>25 mm 以上<br>40 mm 以上<br>25 mm 以上                                                                        |
|         | PC鋼材 | 海上大気中<br>飛沫帯<br>海中                                                               | 100 mm 以上<br>100 mm 以上<br>75 mm 以上                                                         | シースのかぶり 75 mm 以上                                                                | シースのかぶり 80 mm 以上<br>シースのかぶり 100 mm 以上<br>シースのかぶり 100 mm 以上                                    | シースのかぶり 50 mm 以上<br>シースのかぶり 80 mm 以上<br>シースのかぶり 50 mm 以上                                                                      |

※ 単位はメートル法に換算した。

(出典) コンクリート工学, Vol. 19, No. 3, MARCH

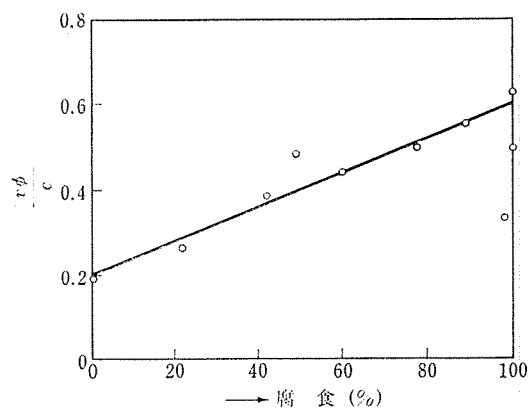
注 1) スターラップは厚さ 50 cm 以上の部材の場合の値から 13 mm を引いた値以上。

注 2) a) 骨材最大寸法の 1.5 倍 b) 鉄筋最大寸法の 1.5 倍 c) 20 mm 以上

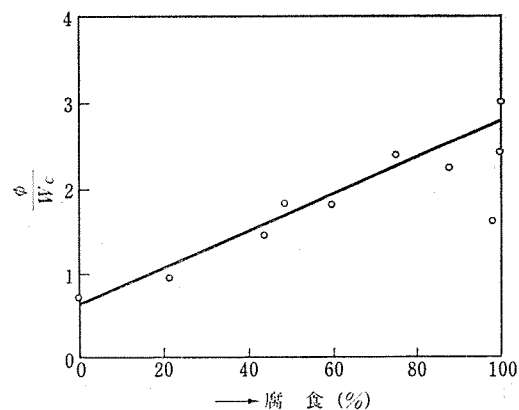
## 2) コンクリート橋の耐久性に関するかぶりの各国基準

| 基準<br>項目   | AASHTO (1977)                                                                                                                            | ACI 343 R (1977)                                                                                                                                            | CEB-FIP CODE (1978)                                                                                                       |
|------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 最小かぶり (mm) | (PC 構造物の場合)<br>PC 鋼材と主筋 38 mm<br>床版の上段筋 38 "<br>" (除氷剤使用) 51 "<br>床版の下段筋 25 "<br>スターラップ 25 "<br>ただし、海水や海水しぶきにさらされる場合には、かぶりをもっと厚くする必要がある。 | ・土や風雨にさらされる場合<br>主筋 51 mm<br>スターラップ 38 "<br>・コンクリート床版の場合<br>上段筋 51 mm<br>下段筋 25 "<br>ただし、海洋や腐食しやすい環境下では、かぶりを厚くする必要がある、コンクリートの緻密性、透水性を考慮したり、防食工を講じたりする必要がある。 | ・特に腐食に敏感な鋼材(熱処理したもの、常に高い応力をうけているもの)は〔付表-1〕の値とし、さらに鉄筋径以上、最大粗骨材寸法 +5 mm 以上とする。<br>・腐食に敏感でない鋼材に対しては〔付表-1〕の値より 10 mm 小さくしてよい。 |
| 基準<br>項目   | FRENCH CODE(1973)                                                                                                                        | BS 5400, Part 4 (1978)                                                                                                                                      | DIN 4227, Part 1 (1979)                                                                                                   |
| 最小かぶり (mm) | ・鉄筋<br>侵食環境 40 mm<br>一般屋外 30 "<br>・PC 鋼材<br>侵食環境 50 mm<br>一般 { 40 mm<br>1/2 シース径                                                         | (RC の場合)<br>〔付表-4〕参照<br>(PC の場合)<br>・プレテン用 PC 鋼材は〔付表-4〕を適用すること。<br>・ボステン用シースのかぶりは 50 mm 以上とする。                                                              | 腐食環境(例えば、除氷剤使用、海水による侵食)の鉄筋かぶり<br>・場所打ちコンクリート<br>一般部材 35 mm<br>スラブ、壁状部材 30 "<br>・プレキャスト部材 30 "                             |

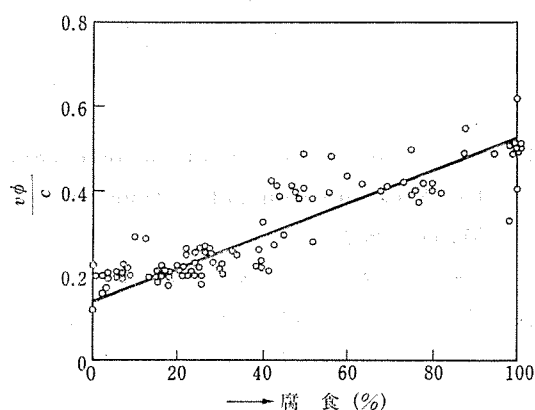




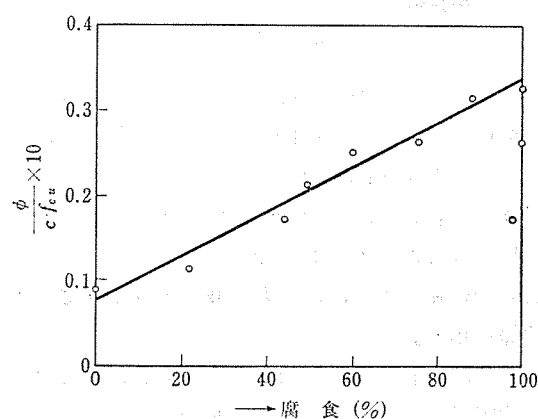
図—1 「水セメント比, 鉄筋径, かぶり」の関数としての腐食  
(Houston et al-1972)



図—3 「鉄筋径, 単位セメント量, かぶり」の関数としての腐食 (図—1 と同一データ)



図—2 「水セメント比, 鉄筋径, かぶり」の関数としての腐食  
(Houston et al-1972 からの2年間曝露の全データ)



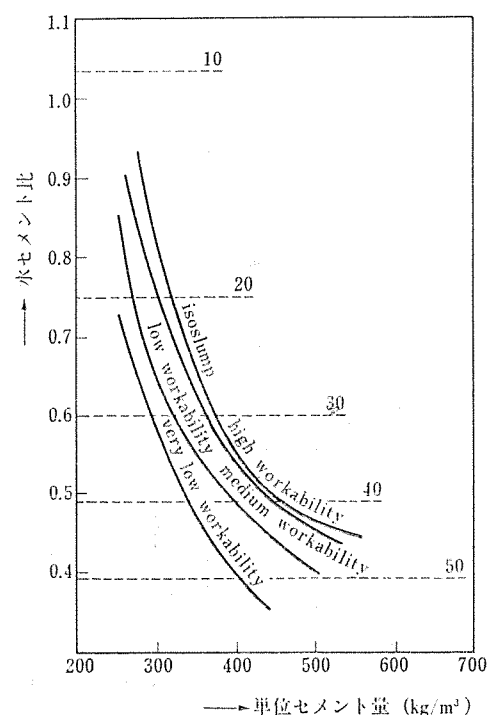
図—4 「鉄筋径, かぶり, 強度」の関数としての腐食 (図—1 と同一データ)

または,  $\phi/(c \times W_c)$  ( $W_c$  は単位セメント量) でも良い。Neville は 1963 年に  $\phi/(c \times f_{cu})$  ( $f_{cu}$  は立方体強度) として表わしている。

水セメント比, 単位セメント量, 強度は, 若干異なっているが, 概ね同一種のパラメーターと見なされる。耐久性に対しては, 強度よりは水セメント比が関連性大である。

腐食には間隙が良くない。Power によれば, 水セメント比が 0.4 以上は, 海洋構造物には良くない。

一方, 水セメント比よりも強度の方が大切との考えもある。Schiessl (1975) は 図—6 に見られるごとく, 腐食速度はコンクリート強度とかかぶりの関数であると唱えている。ただし, 円筒強度が  $60 \text{ N/mm}^2$  ( $612 \text{ kgf/cm}^2$ ) 以上ならばあまり関係ない。



図—5 種々の因子による相互作用

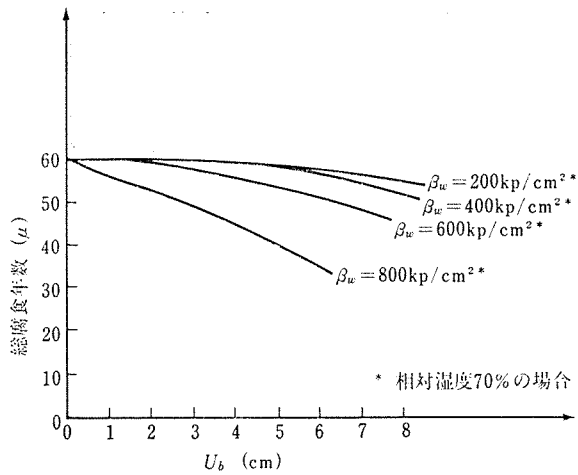


図-6 〔コンクリート強度とかぶり〕の関数としての腐食率

(Schiessl-1975)

したがって、通常の強度範囲ならば、水セメント比は腐食の進行に対し、大なる関係にはないと推論される。

種々の因子の定量的分析はできていないし、実在構造物の経験から言えば、配合の代表的標示は、強度や水セメント比よりは単位セメント量である。

これらの理由により、図-7 に単位セメント量とかぶりの関係を示す。

要するに、今日までの主なデータからは、腐食に対する決定的因子は、水セメント比、単位セメント量、コンクリート強度のいずれかであるとは定量化できない。

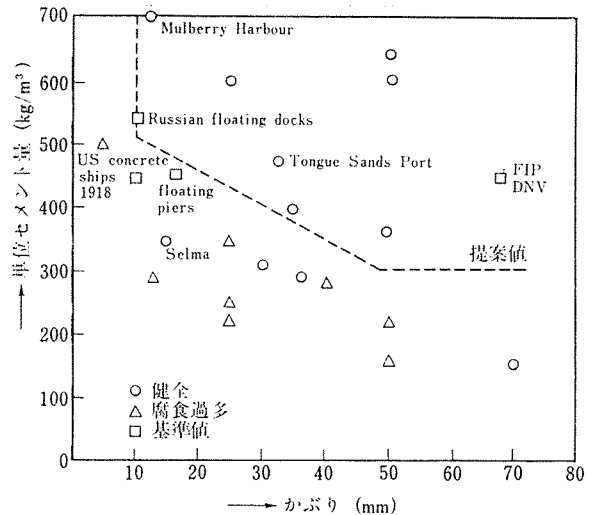


図-7 海洋環境における実例

しかし、現行のかぶりに対する指針は過大な値を与えていて、もっとかぶりを小さくできると思われる。重要なことは、数量化できない施工の良否も大きな関係があるようである。

## 2) FIP. Cover to Steel Reinforcement for Floating Concrete Structure

March, 1982

### 2.4.4 鉄筋の長期防食のための最小かぶり

時間の関数としての塩素侵入深さが、以下に述べる4種類のコンクリートについて求められている。

#### 塩 素 濃 度

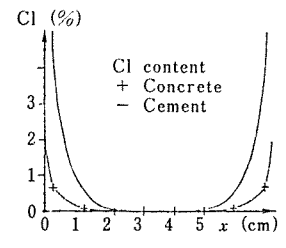
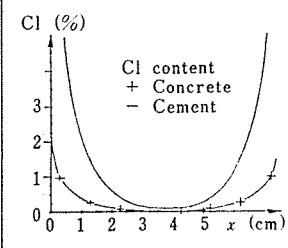
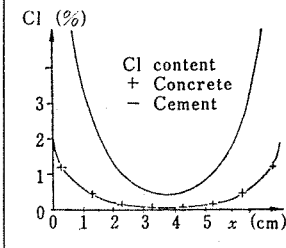
|                                         |              |       |                                                                          |                                                                          |                                                                          |
|-----------------------------------------|--------------|-------|--------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|
| コンクリート単位重量                              |              | kg/m³ | 1750                                                                     | 2250                                                                     | 2300                                                                     |
| 単位セメント量                                 |              | "     | 610                                                                      | 350                                                                      | 400                                                                      |
| 水セメント比                                  |              | "     | 0.45                                                                     | 0.6                                                                      | 0.45                                                                     |
| 外 部<br>コンクリート中<br>内 部                   | 部塩素量         | %     | 2.7                                                                      | 8.0                                                                      | 2.5                                                                      |
|                                         | "            | "     | 0.05                                                                     | 0.04                                                                     | 0.0                                                                      |
|                                         | "            | "     | 0.05                                                                     | 0.01                                                                     | 2.5                                                                      |
| 圧 力 差<br>部 材 厚<br>コンクリート材令              | kp/cm²       |       | 0                                                                        | 0                                                                        | 0                                                                        |
|                                         | cm           |       | 7.5                                                                      | 7.5                                                                      | 7.5                                                                      |
|                                         | 年            |       | 60                                                                       | 1.43                                                                     | 10                                                                       |
| 塩素侵入<br>深 さ                             | 塩素濃度<br>0.2% | cm    | 4.0                                                                      | 6.9                                                                      | 0.2                                                                      |
|                                         | 塩素濃度<br>0.4% | cm    | 2.8                                                                      | 3.2                                                                      | 0.2                                                                      |
| * SELMA<br>米国で建造された<br>船令60年のRC船<br>の船名 |              |       | Cl (%)<br>Cl content<br>+ Concrete<br>- Cement<br>• Test values<br>SELMA | Cl (%)<br>Cl content<br>+ Concrete<br>- Cement<br>• Test values<br>LIT.9 | Cl (%)<br>Cl content<br>+ Concrete<br>- Cement<br>• Test values<br>LIT.8 |
|                                         |              |       |                                                                          |                                                                          |                                                                          |
|                                         |              |       | 図-3                                                                      | 図-4                                                                      | 図-5                                                                      |

図-6～図-8（下表中）に作用時間の関数としてのコンクリート中の塩素含有量の分布を示す。図-9～図-11（下表中）に1リットル当たり25グラムの塩素を含む海水について、また種々の単位セメント量の違いによ

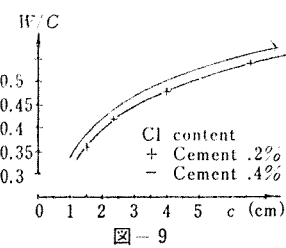
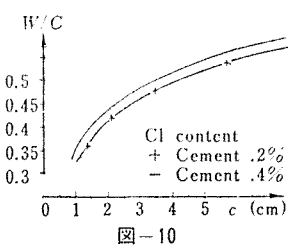
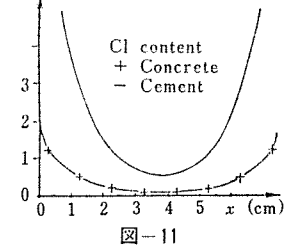
る塩素侵入深さに及ぼす水セメント比の影響を示す。

これらの図から水セメント比が上がるほど、単位セメント量が減るほど、塩素侵入深さは、常に大きくなることが明らかである。

塩 素 濃 度

|                                 |              |                             |                                                                                               |                                                                                                |                                                                                                 |
|---------------------------------|--------------|-----------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|
| コンクリート単位重量<br>単位セメント量<br>水セメント比 |              | kg/m <sup>3</sup><br>"<br>" | 2 300<br>400<br>0.45                                                                          | 2 300<br>400<br>0.45                                                                           | 2 300<br>400<br>0.45                                                                            |
| 外<br>部<br>内                     | 部塩素量         | %                           | 2.5                                                                                           | 2.5                                                                                            | 2.5                                                                                             |
|                                 | コンクリート中      | "                           | 0.0                                                                                           | 0.0                                                                                            | 0.0                                                                                             |
|                                 | 部            | "                           | 2.5                                                                                           | 2.5                                                                                            | 2.5                                                                                             |
| 圧<br>部<br>コンクリート材令              | 力 差          | kp/cm <sup>2</sup>          | 0                                                                                             | 0                                                                                              | 0                                                                                               |
|                                 | 材 厚          | cm                          | 7.5                                                                                           | 7.5                                                                                            | 7.5                                                                                             |
|                                 | 年            | 年                           | 2.5                                                                                           | 50                                                                                             | 50                                                                                              |
| 塩素侵入<br>深 さ                     | 塩素濃度<br>0.2% | cm                          | 1.7                                                                                           | 2.7                                                                                            | 7.5                                                                                             |
|                                 | 塩素濃度<br>0.4% | cm                          | 1.3                                                                                           | 2.2                                                                                            | 7.5                                                                                             |
|                                 |              |                             |  <p>図-6</p> |  <p>図-7</p> |  <p>図-8</p> |

塩 素 濃 度

|                                 |              |                             |                                                                                                |                                                                                                  |                                                                                                   |
|---------------------------------|--------------|-----------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|
| コンクリート単位重量<br>単位セメント量<br>水セメント比 |              | kg/m <sup>3</sup><br>"<br>" | 2 300<br>300                                                                                   | 2 300<br>400                                                                                     | 2 300<br>400<br>0.5                                                                               |
| 外<br>部<br>内                     | 部塩素量         | %                           | 2.5                                                                                            | 2.5                                                                                              | 2.5                                                                                               |
|                                 | コンクリート中      | "                           | 0.0                                                                                            | 0.0                                                                                              | 0.0                                                                                               |
|                                 | 部            | "                           |                                                                                                |                                                                                                  | 2.5                                                                                               |
| 圧<br>部<br>コンクリート材令              | 力 差          | kp/cm <sup>2</sup>          | 0                                                                                              | 0                                                                                                | 3.75                                                                                              |
|                                 | 材 厚          | cm                          | 20                                                                                             | 20                                                                                               | 7.5                                                                                               |
|                                 | 年            | 年                           | 25                                                                                             | 25                                                                                               | 2.5                                                                                               |
| 塩素侵入<br>深 さ                     | 塩素濃度<br>0.2% | cm                          |                                                                                                |                                                                                                  | 7.5                                                                                               |
|                                 | 塩素濃度<br>0.4% | cm                          |                                                                                                |                                                                                                  | 7.5                                                                                               |
|                                 |              |                             |  <p>図-9</p> |  <p>図-10</p> |  <p>図-11</p> |

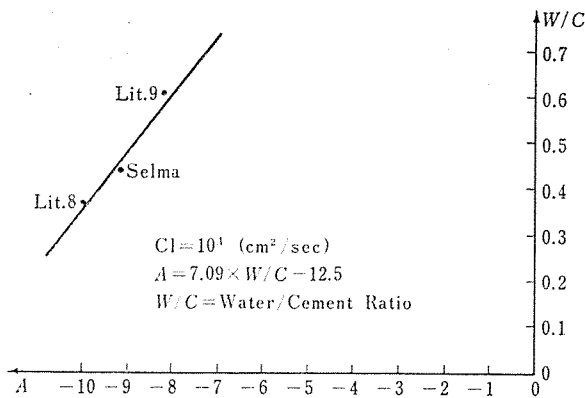


図-12 参考文献 8,9 および特別測定による塩素伝播係数

塩素分布に及ぼす水圧の影響は小さい。図-12 に示された例では、1 センチメートル厚さ当りの圧力勾配が、0.5 バール (0.51 kgf/cm<sup>2</sup>) であれば、塩素侵入深さの増加は、25 年間で 5% 以下である。

### 3) Prevention of Damages in Bridges

The 9th International Congress of the FIP  
Stockholm, June 6~10, 1982, Vol. I  
by Fritz Leonhardt, Germany

#### 3. 設計面での損傷防止

3.3 多くの基準はかぶりを 40~50 mm として、鉄筋径や位置にかかわらず規定しているが、これは凍結防止や塩撒き対策には良いが、かぶりが厚すぎると逆効果を生ずることもある。というのは、ひびわれ幅はかぶり厚さに比例して増え、幅広いクラックは内部深く侵透して、コンクリート被覆効果を減じる。

大きなかぶりは、橋脚、橋台、ウェブおよび鉄筋径が 30 mm より大きな場合の、垂直なコンクリート表面には良い。

しかしながら、太径鉄筋を用いる時には、ボンド効果で横断方向引張力を生じるため、コンクリート剥離防止用ワイヤーメッシュを用いる必要がある。

#### 4) 耐用年数 100 年, 30 年, 20 年における中性化深さ

コンクリート工学ハンドブック 岸谷孝一氏

この研究は、コンクリートの中性化速度に関するもので、水セメント比により決定されるとしている。中性化速度式は実験により導かれた。

中性化速度式

$$W \leq 60\%; t = \frac{7.2}{R^2(4.6W - 1.76)^2} x^2$$

$$W > 60\%; t = \frac{0.3 \times (1.15 + 3W)}{R^2(W - 0.25)^2} x^2$$

ここに、 $t$ : 中性化年数

$R$ : 中性化率 1.2 と仮定

W: 水セメント比 W/C

$x$ : 中性化深さ cm

中性化深さから求めた最小かぶり厚さ (cm)

| W/C        | 0.65 | 0.60 | 0.54 | 0.50 | 0.44 | 0.40 |
|------------|------|------|------|------|------|------|
| 耐用年数 100 年 | 4.98 | 4.46 | 3.24 | 2.41 | 1.18 | 0.36 |
| " 30 年     | 2.73 | 2.45 | 1.77 | 1.32 | 0.65 | 0.20 |
| " 20 年     | 2.23 | 2.00 | 1.45 | 1.08 | 0.53 | 0.16 |

(ただし、 $t$  を耐用年数とした)

### 〔3〕「3.3 ひびわれ」について

防食指針 (案) と他規定値とを比較すると、次表のとおりである。

| 防食指針(案)         | ( ) 内海上打設時                                         |                                                          |                                                                                        |
|-----------------|----------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|
|                 | 荷重頻度                                               | RC                                                       | PC                                                                                     |
| A. 飛沫帯          | まれ<br>しばしば                                         | 0.2 mm<br>(0.15)<br>0.05 mm<br>(0.05)                    | 0.2 mm<br>(0.15)<br>$\sigma_c = 0$                                                     |
| B. 海上大気中        | まれ<br>しばしば                                         | $\sigma_s \leq 0.8 \sigma_y$<br>(0.2)<br>0.1 mm<br>(0.1) | $\sigma_s \leq 0.8 \sigma_y$<br>(0.2)<br>$\sigma_c = 0$                                |
| C. 海中           | まれ<br>しばしば                                         | $\sigma_s \leq 0.8 \sigma_y$<br>0.1 mm                   | $\sigma_s \leq 0.8 \sigma_y$<br>0.1 mm                                                 |
| 土木学会            | A, B 感潮部あるいは<br>海面上に位置する部材 0.15 mm<br>C 海面下 0.2 mm |                                                          |                                                                                        |
| FIP/6/1         |                                                    | RC<br>0.3 mm,<br>かぶりの<br>0.004 倍                         | PC<br>0.2 mm,<br>$\frac{1}{2} \sigma_s$<br>$\Delta \sigma_p \leq \frac{1}{2} \sigma_s$ |
|                 | 極限環境+最大載荷重<br>極限環境+最小載荷重                           | $\sigma_s \leq 0.8 \sigma_y$                             | $\sigma_s \leq 0.8 \sigma_y$                                                           |
| ACI 308R<br>-78 | 段 階                                                | 荷 重                                                      | $\Delta \sigma_p$ kg/cm <sup>2</sup> $\sigma_s$ kg/cm <sup>2</sup>                     |
|                 | 施工中: 施工中のクラックが完成構造物に有害な場合                          | 施工中のすべての荷重                                               | 1300 1600                                                                              |
|                 | 施工中: 施工中のクラックが完成構造物に有害でない場合                        | "                                                        | 1300 2100 か 0.6 $\sigma_y$ のうち小さい方                                                     |
|                 | 施工中                                                | 輸送, 据付け時におけるすべての荷重                                       | 1300 1600                                                                              |
|                 | 海洋                                                 | 死活荷重+月 1 回の割でくり返される環境要因による荷重                             | 750 1200                                                                               |
|                 | 海洋                                                 | 死活荷重+過酷環境要因による荷重                                         | 0.8 $\sigma_y$                                                                         |

防食指針（案）は他規定の2～3倍の厳しさであるが、かぶりを大きく規定しているため、実際はさらに厳しくなる。

〔解説〕（2）で  $\sigma_s = 2000 \text{ kg/cm}^2$  とひびわれ幅 0.2 mm が対応するとなっているが、かぶりを 100 mm とするならば、0.3 mm ぐらいとなる（etc 150 鉄筋と考える）。

$$a_{cr} = 123 \text{ mm}$$

$$w > 2.3 \times 123 \text{ mm} \times \frac{2000 \text{ kg/cm}^2}{2 \times 10^6} = 0.28 \text{ mm}$$

部材厚 50 cm 以上の場合で、PC 鋼材のかぶりの規定値が同じである FIP/6/1 と防食指針（案）とを比べてみると、次のとおりである。

|       | 防 食 指 針 (案) |                              | FIP/6/1                                          |
|-------|-------------|------------------------------|--------------------------------------------------|
| 飛 沫 帯 | ま れ         | 0.2                          | $0.3, \sigma_s \leq 0.8 \sigma_y$                |
|       | しばしば        | de*                          | $0.2, \Delta \sigma_p \leq \frac{1}{2} \sigma_s$ |
| 海上大気中 | ま れ         | $\sigma_s \leq 0.8 \sigma_y$ | $0.3, \sigma_s \leq 0.8 \sigma_y$                |
|       | しばしば        | de*                          | $0.2, \Delta \sigma_p \leq \frac{1}{2} \sigma_s$ |
| 海 中   | ま れ         | $\sigma_s \leq 0.8 \sigma_y$ | $0.3, \sigma_s \leq 0.8 \sigma_y$                |
|       | しばしば        | 0.1                          | $0.2, \Delta \sigma_p \leq \frac{1}{2} \sigma_s$ |

\* de=decompression の略で部材引張線応力が0の状態である。

防食指針（案）は RC 部材に対する規定と解釈しているが、PC 部材に対しても言及しているとするならば、以下のことが言える。

RC 部材はいったん発生したひびわれは復元しないのに対し、PC 部材は荷重を除去すれば復元する性質を有している。

言いかえれば、RC 部材と PC 部材を同列において、同程度のひびわれが発生したとしても、鋼材の発錆に関しては、その進行度は、PC 部材の方が、かなり有利な状況にあると言える。

したがって、ひびわれ幅の規定値としては、PC 部材に対しての値は、RC 部材と比較して、むしろ大きい方が自然になっていると考える。

しかしながら、RC 部材に対しての有利性を数値化することは、現段階では困難であるので、当面は RC 部材と同一の数値としておくのが妥当であり、decompression とする必要はないと思われる。

#### 〔4〕「塩分量」について

##### （1） $0.5 \text{ kg/m}^3$ (Cl<sup>-</sup>重量換算比) の根拠について

防食指針（案）の規定値は、次のとおりである。

##### 3.4.1 基 本

（3） コンクリート中の塩分量は練り混ぜ時において、コンクリート量に対して  $0.5 \text{ kg/m}^3$  (Cl<sup>-</sup>重量換算比) 以下としなければならない。

この規定は、コンクリート中の全塩化物量の総和が  $0.5 \text{ kg/m}^3$  以下ならば、コンクリートの防食上安全であることを意味していると思われる。

そうであるならば個々の材料で規定している値(後述)をコンクリート中の全塩化物量の総和が  $0.5 \text{ kg/m}^3$  以下という範囲内で各許容値を変化させるようにした方が自然であると考えられる(後出塩分量計算例参照)。

##### （2） 骨材について

骨材に関する防食指針（案）の規定値は、次のとおりである。

##### 3.4.2.2 骨 材

（2） 細骨材に含まれる塩分の許容限度は、細骨材の絶乾重量に対し、NaCl に換算して、一般の鉄筋コンクリート構造物に用いるコンクリートでは 0.04 % 以下、プレテンション部材で主構造に用いるコンクリートまたはポストテンション部材の PC グラウトでは 0.02 % 以下とする。

防食指針（案）は、あくまでも RC 部材に対する規定と解釈しているが、PC 部材に対しても言及しているとするならば、本文に規定されているもの以外の PC 部材(たとえばポストテンション部材など)についての記述がなく、関連規定にしたがうのかどうか不明である。

また、一般の鉄筋コンクリート構造物用のコンクリートでは 0.04 % 以下とした根拠については、海砂を細骨材として使用した場合(西日本地区では通常使用)、塩分量を 0.04 % 以下とするには現状では大変困難(時間、設備、費用などの面)であり、本規定は実情にそぐわないと思われる。現状は、無塩砂と混合し、なおかつスプリンクラー、雨水による除塩を行っているが、それでも 0.04 % 以下とするには多大の困難を伴い、その例はまれである。

したがって、前にも述べたように、コンクリート中の

## 報 告

塩分量の総和で規定する方向が望ましいと考える。

具体的には後述の塩分量計算例の総括表に示すように、全塩化物量  $0.5 \text{ kg/m}^3$  以下を条件に  $0.08\%$  (NaCl 換算) 程度とし、混和剤を  $20\%$  ( $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  換算) 程度とする。または、水に塩化物を含まず、無塩混和剤を使用した場合は、 $0.1$  以下 (NaCl 換算) とするなど考えられる。

さらに、プレテンション部材で主構造に用いるコンクリートまたはポストテンション部材の PC グラウトでは  $0.02\%$  以下とした根拠については、土木学会「プレストレストコンクリート標準示方書」では  $0.03\%$  以下と規定されており、 $0.02\%$  としても、どの程度コンクリートの防食に対して効果があるのか定かではないと思われる。

### (3) 混和剤について

混和剤に対する防食指針(案)の規定は、次のとおりである。

#### 3.4.2.4 混 和 剤

(2) 成分に  $40\%$  以上の塩化カルシウム ( $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  重量換算比) を含んでいる混和剤を使用してはならない。

この中で、 $40\%$  以下の塩化カルシウム ( $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  重量換算比) とした根拠については、現在、無塩混和剤(減水剤)が使用されてきていることなどを考慮し、前述のごとくトータルでの規定とするのが良策であると考ええる。

### (4) 全般について

各材料の規定量の換算基準が  $\text{Cl}^-$ 、NaCl、 $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  と統一されていず、塩化物総量計算や、相互の比較がしにくいので、単なる慣例であるのならば、統一(例えば  $\text{Cl}^-$ )する方向が望ましい。

#### (参 考)

#### 塩分量 計算例

#### 1. 配 合

配合は港湾構造物の実施例を用いて、次の示方配合とした。

- 1) 水セメント比  $W/C=37\%$
- 2) 細骨材率  $S/a=39.5\%$
- 3) 配合(単位体積重量 ( $\text{kg/m}^3$ ))  
セメント ( $C$ )= $479 \text{ kg/m}^3$

水 ( $W$ )= $177 \text{ kg/m}^3$

細骨材 ( $S$ )= $649 \text{ kg/m}^3$

粗骨材 ( $G$ )= $1041 \text{ kg/m}^3$

混和剤 ( $A$ )= $1.2 \text{ kg/m}^3$  (セメント量の  $0.25\%$ )

#### 4) 塩分量

上記使用材料のうち、次に示す材料に防食指針(案)の許容値の塩分が含まれていると仮定する。

(1) 水： $\text{Cl}^-$  重量換算比で  $200 \text{ ppm}$

(2) 細骨材：絶乾重量に対し NaCl 換算で  $0.04\%$

(3) 混和剤： $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  換算で  $40\%$

これらの材料を使用したコンクリート中の塩分量は、 $\text{Cl}^-$  換算で  $0.5 \text{ kg/m}^3$  以下とするよう規定している。

#### 2. コンクリート $1 \text{ m}^3$ 当りの塩分量

##### 1) 水に含まれている $\text{Cl}^-$ 量

$$177 \times 0.0002 = 0.035 \text{ kg/m}^3$$

##### 2) 細骨材に含まれている $\text{Cl}^-$ 量

配合重量は表乾重量となっているので、吸水量を  $3\%$  と仮定して絶乾重量とする。

NaCl 換算で ( $0.04\%$ )

$$649 \times (1.00 \times 0.03) \times 0.0004 = 0.252 \text{ kg/m}^3$$

$\text{Cl}^-$  換算で

$$0.252 \times 0.607 = 0.153 \text{ kg/m}^3$$

ただし、NaCl $\rightarrow$ Cl 換算率は次の値とした。

$$\frac{\text{Cl}}{\text{NaCl}} = \frac{35.5}{58.5} = 0.607$$

##### 3) 混和剤に含まれている $\text{Cl}^-$ 量

$\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  換算で ( $40\%$ )

$$1.2 \times 0.40 = 0.480 \text{ kg/m}^3$$

$\text{Cl}^-$  換算で

$$0.480 \times 0.483 = 0.232 \text{ kg/m}^3$$

ただし、 $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Cl}$  換算率は次の値とした。

$$\frac{\text{Cl}_2}{\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}} = \frac{71.0}{147.1} = 0.483$$

##### 4) コンクリート $1 \text{ m}^3$ 当りの全塩分量 ( $\text{Cl}^-$ 重量換算)

$$0.035 + 0.153 + 0.232 = 0.420 \text{ kg/m}^3$$

$$< 0.5 \text{ kg/m}^3$$

##### 5) 総括表

次頁に表にして示す。

(コンクリート 1 m<sup>3</sup> 当り)

| 配 合     |                               | W(177 kg/m <sup>3</sup> )               | S(649kg/m <sup>3</sup> )     | A(1.2 kg/m <sup>3</sup> )                                    | 合 計 (kg/m <sup>3</sup> )                |
|---------|-------------------------------|-----------------------------------------|------------------------------|--------------------------------------------------------------|-----------------------------------------|
| 換 算 基 準 |                               | Cl <sup>-</sup> 換算 (kg/m <sup>3</sup> ) | NaCl 換算 (kg/m <sup>3</sup> ) | CaCl <sub>2</sub> ・2 H <sub>2</sub> O換算 (kg/m <sup>3</sup> ) | Cl <sup>-</sup> 換算 (kg/m <sup>3</sup> ) |
| 1       | 許 容 値<br>(Cl <sup>-</sup> 値換) | 200 ppm<br>0.035                        | 0.04%<br>0.153               | 40%<br>0.232                                                 | 0.5 kg/m <sup>3</sup><br>>0.420         |
| 2       | S→0.10%                       | 200 ppm<br>0.035                        | 0.10%<br>0.382               | 40%<br>0.232                                                 | 0.5 kg/m <sup>3</sup><br>>0.649         |
| 3       | S→0.10%<br>A→20%              | 200 ppm<br>0.035                        | 0.10%<br>0.382               | 20%<br>0.116                                                 | 0.5 kg/m <sup>3</sup><br>>0.533         |
| 4       | S→0.08%<br>A→20%              | 200 ppm<br>0.035                        | 0.08%<br>0.306               | 20%<br>0.116                                                 | 0.5 kg/m <sup>3</sup><br>>0.457         |
| 5       | S→0.10%<br>W→0<br>A→0         | 0<br>0                                  | 0.10%<br>0.382               | 0<br>0                                                       | 0.5 kg/m <sup>3</sup><br>>0.382         |

(塩分量の計算値はすべて Cl<sup>-</sup> 換算)

## 〔 5 〕 PC 鋼材および防食方法について

## (1) 「3.4.2.5 鋼材」について

p. 20 に次の記述がある。

## (2) 定着部について

常時緊張して使用される PC 鋼材は、緊張により分子配列が局部的に乱れているので、

この記述中「分子配列」という用語は鋼材関係者間では用いず「原子配列」と呼ばならわしている。また、原子配列であるならば、PC 鋼材は冷間引抜き材であり、引抜き時点から原子配列は乱れており、取り立てて緊張時を持ち出すことはないと思われる。ただし、歪みは緊張により増加する。

したがって原文を次のように訂正した方が正確である  
と考える。

常時緊張して使用される PC 鋼材は、緊張により原子配列のひずみが増加しているので……

## (2) 「4.2 防食方法の選定」について

「(2) 防食方法の選定」の項の解説文中(p. 29, 1~2 行)に、

エポキシ樹脂塗装鉄筋の実績があまり多くなく推定による評価がなされている。

という記述があるが、「(1) 第2種防食法に含まれる防食方法の種類と特徴」の中の「①エポキシ樹脂塗装鉄筋」の解説文では、

エポキシ樹脂塗装鉄筋に関するこれまでの試験結果を総合すると、海中、海上大気中および飛沫帯のいずれの環境下においても十分な防食効果が期待でき、また、コンクリートのかぶりの大小およびひびわれの有無にかかわらず適用できると考えられる。

と述べており、両記述の間に矛盾を感じざるを得ない。

統一性に欠けた記述は混乱を招くと思われるので、再考をお願いしたい。

【昭和 58 年 3 月 14 日受付】