

委員会報告

「鉄筋コンクリート構造物の耐久性設計法研究委員会報告」

—鉄筋コンクリート構造物の耐久性設計に関する考え方の概要—

幹事 遠藤 達巳 (電力中央研究所)

1. 委員会活動の概要

構造物は、適切な安全性、機能性および耐久性を有し、かつ経済的でなければならない。近年、コンクリート構造物の耐久性の劣化が顕在化してきており、耐久性を考慮した適切な設計法の必要性が叫ばれている。このような状況に鑑み、これに対処するため、土木・建築の分野にとらわれず、広くコンクリート構造物一般に対して適用可能な耐久性向上のための方策を検討することを目的として、「コンクリート構造物の耐久性設計法研究委員会」を、1989年7月に発足させた。

コンクリート構造物の耐久性に関する基礎研究は日本コンクリート工学協会をはじめとして、各方面・機関で精力的に実施されており、その成果が報告されてきている。具体的な耐久性設計法として土木学会より「コンクリート構造物の耐久設計指針(試案)」が刊行された。一方建築分野でも「鉄筋コンクリート造建築物の耐久設計・施工指針・同解説」、「建築物の耐久計画に関する考え方」が刊行されている。

本委員会では、これら既往の研究成果を総合化し、合理的な設計法の体系にとりまとめることを目標として、2年間にわたる活動を行ってきた。最終成果として「鉄筋コンクリート構造物の耐久性設計に関する考え方」(以下「考え方」と略)をとりまとめ、講習会を開催するに至った。

本報告では、上記「考え方」の主な内容についてその概要を紹介することとする。

【委員会の構成】

<委員長> 二羽淳一郎

<幹事> 遠藤達巳, 前田詔一

<委員> 阿部道彦, 池田博之, 井上和政, 枝広英俊, 笠井 浩, 角陸純一, 川瀬清孝, 國島正彦, 佐藤 勉, 中山 等, 早川光敬, 林 静雄, 深井 悟, 増井直樹, 宮川豊章, 安田 登, 渡辺泰充

2. 「考え方」作成の経緯

2.1 既往の指針類の調査検討

本委員会では、土木分野と建築分野でそれぞれ示されている、土木学会「コンクリート構造物の耐久設計指針(試案)」および(財)国土開発技術センター・建築物耐久性向上技術普及委員会編「鉄筋コンクリート造建築物の耐久設計・施工指針・同解説」の二つの指針を取り上げて、比較検討することから作業を開始した。土木学会「コンクリート構造物の耐久設計指針(試案)」の特徴は、耐力などの構造物の安全性に対する検討と同様な手法により耐久設計を行うところにある。「鉄筋コンクリート造建築物の耐久設計・施工指針・同解説」では、耐用年数区分と、設計劣化外力および地域区分を考慮して、設計・施工仕様標準が定められている。

2.2 既往の指針類の適用上の問題点

上記の2つの指針の内容を検討した結果、以下のような問題点が指摘された。

(1) 土木分野「コンクリート構造物の耐久設計指針（試案）」

- ① 建築構造物への適用が困難（50年メンテナンスフリーは厳しすぎる）
- ② 全ての構造物をメンテナンスフリーとすることは非現実的である。
- ③ 劣化機構（塩分腐食，中性化）が考慮しにくい。
- ④ 検討手法に関して以下のような不十分な点がある。
 - ・ 環境係数（劣化外力）の設定根拠が明確でない。
 - ・ 評点方式における各ポイントの根拠および検証事例を示す必要がある。
 - ・ 点数付けで方向を操作できるので，スコア的な取扱いに問題がある。

(2) 「鉄筋コンクリート造建築物の耐久設計・施工指針・同解説」

- ① 仕様の規定であり，該当する規定を全て満足する必要がある。
- ② 劣化要因の重み付けがなされていない。
- ③ 塩害に関する環境条件の違いの評価が不十分であるか。
- ④ かなり劣化が進行した状態を設計対象としているが，十分な補修ができるかが問題である。

3. 「考え方」の特徴と構成

3.1 「考え方」の基本

「考え方」の作成にあたって基本とした事項あるいは特徴を以下に列挙する。

① 土木・建築のコンクリート構造物に共通に適用できること。

これまでは，両分野で共通の耐久性設計法に関する指針あるいは考え方を示したものがなく，最初のたたき台となるべく「考え方」を作成した。

② 新規に建造する鉄筋コンクリート構造物を対象とした総合的な耐久設計とする。

これから建造される耐久性が要求される構造物の合理的で，かつ，ある程度簡便な設計体系となることを心がけた。その際，土木学会「耐久設計指針（試案）」と同様に，材料，設計および施工を総合的に考慮できる体系とする。

③ 劣化現象は鉄筋の腐食に限定し，限界状態を鉄筋の腐食の発生にする。

コンクリート構造物の劣化現象は，中性化，強度低下，表面劣化，鋼材の腐食，ひびわれ，漏水および大たわみなどが挙げられるが，本「考え方」においては，鉄筋の腐食のみに限定した。将来的には，これらの複合した劣化現象を考慮するのが望ましいと思われる。また，理想的には照査の限界状態としては，鉄筋の腐食の発生では過剰に安全側であり，異常なひびわれなどを誘発する有害な鉄筋腐食の発生あるいはかぶりコンクリートの部分的剥離等の状態にすべきと思われる。しかし，このような理想的な限界状態に設定するほどには現状における研究が進展しておらず，また，有害な鉄筋腐食が生じた場合の補修についても研究が不十分であることから，安全側の設定ではあるが現時点で最適と思われる鉄筋の腐食の発生を限界状態とした。

④ 設計耐用期間の概念を設定したこと（維持・管理を間接的に評価可能）。

詳細は後述するが，構造物の耐久性設計においては，時間は重要な要素であり，設計耐用期間を設定し，この期間中の耐久性の検討方法を示すこととした。この耐用期間を構造物の供用期間と違えることも特徴のひとつである。

⑤ 具体的かつ定量的な耐久性照査のための検討式を提案したこと。

詳細は後述するが，最も鉄筋の腐食に大きな影響を与え，かつ，直感的に理解し易い物理量である鉄筋のかぶり厚により照査する方法を提案している。

⑥「考え方」の適用システムの提示。

コンクリート構造物の耐久性を確保するためには、誰がどの段階でどのようにこの「考え方」を適用し保証するか、また、耐久性向上方策のためのコストを誰が負担するのかを明確にしておくことが必要であると考え、理想的な「考え方」の適用システムを提示した。

3. 2 「考え方」の検討の流れと構成

図1に、「考え方」における耐久性設計の流れと構成を示した。「考え方」は7章からなっており、設計の流れにそってまとめている。

〔1章 考え方の基本〕：前述した「考

え方」の基本を示している。

〔2章 適用範囲〕：耐久性設計を行う

かどうかの基準を提示した(4.1参照)。

〔3章 設計耐用期間〕：設計耐用期間

の設定方法を示している(4.2参照)。

〔4章 構造物の基本仕様〕：(4.3参照)

〔5章 耐久性に対する検討〕：本「考

え方」の主要な部分であり、図に示す

ように、等価かぶり厚さ C と劣化深さ

C_{de} を比較することにより、具体的な

照査を行う。この章では、その方法を

詳細に規定している。

〔6章 凍害に対する要求仕様〕：基本

的には、寒冷地で凍結融解作用を受け

る危険性がある構造物のみ凍害に対す

る要求仕様を満足させなければならない

こととした。凍害に対する劣化なら

びに中性化・塩害との相互作用を定

量化することが困難であることなどの理

由により、凍害に対する検討方法を具体的

に提案することができなかった。そのため、

ひとつの考え方として、凍害を受けるお

それのある地域におけるコンクリート

構造物に対しては、凍害が生じない

だけの抵抗性能をかぶりコンクリート

に賦与することが第1と考え、それに

必要な要求仕様を規定するにとどめた。

〔7章 適用システム〕：4. 8 参照

〔巻末資料 I-資料〕：「考え方」の設定

根拠となる既往の研究成果の調査・

検討結果などをまとめて、「考え方」

本文の付録として、巻末に掲載して

いる。その内容は、「既往の耐久

性設計法」、「耐久性の検討に用

いる照査式について」、「中性化

に係わる係数 A_n について」、「

塩害に係わる係数 A_{cl} について

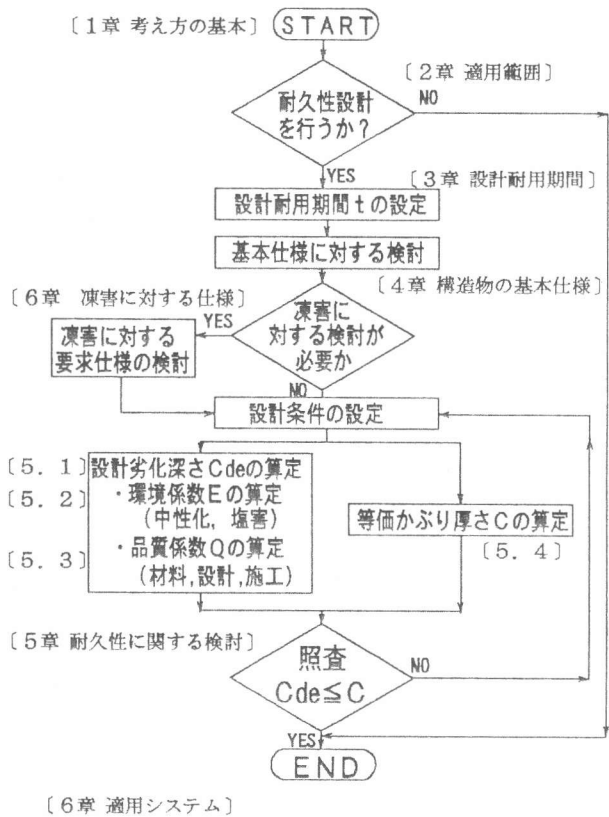


図1 耐久性設計の流れと「考え方」の構成

由により、凍害に対する検討方法を具体的に提案することができなかった。そのため、ひとつの考え方として、凍害を受けるおそれのある地域におけるコンクリート構造物に対しては、凍害が生じないだけの抵抗性能をかぶりコンクリートに賦与することが第1と考え、それに必要な要求仕様を規定するにとどめた。

〔7章 適用システム〕：4. 8 参照

〔巻末資料 I-資料〕：「考え方」の設定

根拠となる既往の研究成果の調査・

検討結果などをまとめて、「考え方」

本文の付録として、巻末に掲載して

いる。その内容は、「既往の耐久

性設計法」、「耐久性の検討に用

いる照査式について」、「中性化

に係わる係数 A_n について」、「

塩害に係わる係数 A_{cl} について

、「設計・施工による品質係数」

、「凍結融解作用を受けるコン

クリートに対する要求仕様」

、「かぶり厚さに関する提案」

〔巻末資料 II-適用例〕：本「考え方」の検討方法の理解を助けることを目的として、土木分

野ならびに建築分野の代表的な5つの形式の構造物についての適用例を巻末に示している。

4. 「鉄筋コンクリート構造物の耐久性設計に関する考え方」の概要

4. 1 適用範囲（2章）

「この考え方は、全ての鉄筋コンクリート構造物に対して、適切な日常点検を行うことを前提として適用する。」と定めた。一部の仕上げ材を含むものの、基本的には打放しコンクリート部材を対象としており、設備等を含めた建築物全体の耐久性を考える場合には不十分であるところもあるが、躯体コンクリートのほとんどに適用可能である。ダム等の無筋コンクリートについては、対象としている劣化現象が鉄筋の腐食であり、対象外とした。また、ここでいう適切な日常点検とは、年2回程度を標準として構造物の管理者が行うもので、ひびわれ、浮き、剥落、汚れ、漏水および変形等の項目について目視によって調べるものを指している。

仮設構造物のように供用期間が短く耐久性が要求されない構造物は、「考え方」を適用する必要がないことを、また、電気防食のような特殊な方法を用いる場合や防食鉄筋を用いる場合は定量的な評価が困難であることなどから、「考え方」を適用できないことを示している。

4. 2 設計耐用期間（3章）

（1）耐久性に関する設計耐用期間と供用期間

竣工時において保有している耐久性のレベルは、時間の経過とともに低下していくと考えられ、時間が大きな要素となる。また、多種の構造物を適用範囲とするためには、一律の耐用期間とすることは不合理である。そのため、本「考え方」では「鉄筋コンクリート構造物の耐久設計のための設計耐用期間」という概念を新たに設定した。一般に想定されている構造物の供用期間は、地震荷重の再現期間、設計荷重の最大値や疲労荷重の繰返し回数など、いわゆる強度設計の際に用いられるものであり、「考え方」での設計耐用年数とは異なることに注意しなければならない。一般には、設計耐用期間は供用期間よりも短く設定することが可能である。また、限界状態が鉄筋の腐食の発生という非常に安全側の設定となっていることに留意して、設計耐用期間を設定しなければならない。

（2）設計耐用期間の設定

設計耐用期間は以下の項目を総合的に勘案して設定する必要がある。

- ① 構造物の規模、種類、重要度
- ② 供用期間

構造物は、社会資本、企業財産あるいは個人資産となるものなど様々な性格を有しており、種類、規模、重要度、供用期間が異なる構造物では、耐久性に問題が生じた場合の社会的影響もおのずと異なると考えられる。建築物では、機能が重視されるので、50年を超える長い設計耐用期間を設定する必要がある場合が多い。土木構造物では、50年がひとつの目安となり得る。

また、国家的プロジェクトに関連する構造物、破壊によって人命などに重大な危険を及ぼす構造物などは、長い設計耐用期間を設定する必要がある。以上のことから、設計耐用期間を設定する際の目安を表1に示す。

表1 設計耐用期間の目安

構 造 物 の 種 類	設計耐用期間
特に高い耐久性を要する土木、建築構造物	100年
一般の土木、建築構造物	50年
耐用年数が短くてもよい建築構造物	30年

- ③ 維持管理のレベル

設計耐用期間は、維持管理のレベルに応じて設定され、想定する供用期間とは一致しない場合がある。図2に示すように、同じ供用期間であっても、維持管理のレベルによって、異なる設計耐用期間を設定することが可能になる。メンテナンスフリーとする場合は、供用期間と設計耐用期間は同じになるが、定期的な点検を行い、必要に応じた補修・補強を行う場合は、供用期間より短い設計耐用期間を設定することが可能になる。しかし、維持管理が将来にわたって確実になされる場合もあれば、そうでない場合も考えられるので、安易な補修・補強の前提は避けるのが望ましい。

④補修・補強および部材の交換の
難易度

補修・補強を前提として設計耐用期間を設定する場合、技術的に見て効果のある補修・補強が可能であるのか、その難易度はどうかを考慮する必要がある。図2に示すように、計画的な補修・補強を行うならば、設計耐用期間を短くすることが可能であるが、その難易度を考慮する必要がある。

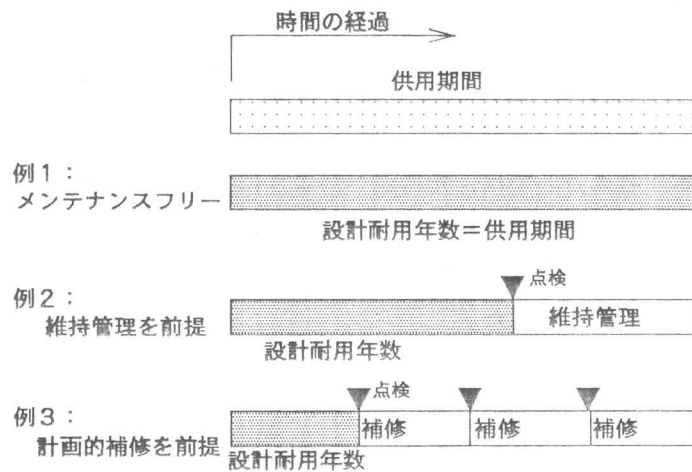


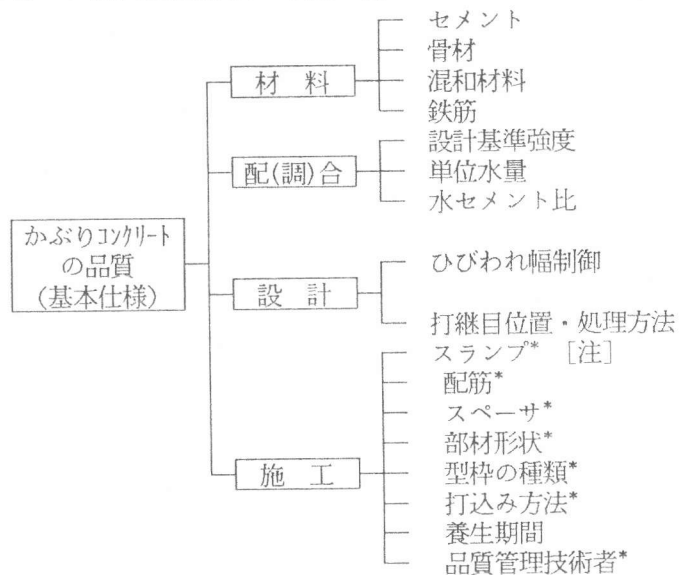
図2 設計耐用期間の設定の例

⑤経済性

耐久性設計においては、建設費および維持管理費等を考慮したライフサイクルコストを考える必要がある。すなわち、建設費のみで耐久性を供用期間中保持させようとするか、供用期間よりも短い設計耐用期間を設定し、その後については必要に応じて補修を行うようにするかを決定するには、建設費と維持管理の費用も見込んだライフサイクルコストとしての経済性の比較検討が必要である。本「考え方」では、耐用期間中に耐久性が確保されるかどうかを検討する方法のみを示しており、ライフサイクルコストを踏まえた経済性に対する検討は含んでいない。将来は、このような総合的な経済性の検討を含んだ耐久性設計法の確立が望まれるところである。

4.3 構造物の基本仕様（4章）

本「考え方」においては、設計耐用年数、環境条件およびコンクリートの品質等を考慮した定量的な耐久性の検討に先立ち、「基本仕様」を満足していることを確認しておく段階を設けた。この基本仕様を定めることにより、材料、設計および施工の中の特定の要素のみを偏重したアンバランスな形の設計は許さないこととした。基本仕様は、一般の環境条件下に設けられる鉄筋コンクリート構造物の必要最小限の耐久性を確保するために必要とされる材料、設計、施工に関する仕様であり、基本



[注]：標準仕様，他は基本要求仕様

図3 基本仕様を規定した項目

要求仕様と標準仕様に分けられる。

基本仕様は、必ず遵守すべき仕様であり、耐久性の検討に用いられている現行の各規準、示方書等に示されている仕様の下限もしくはその近傍の値を採用している。全ての項目について、このような最小限の要求仕様が定められるのが理想ではあるが、①仕様の下限値を定める根拠が不明確、②定量的評価が困難、③施工において、要求仕様を定めるより、柔軟に対応できる目安を定めるのが現実的である等の理由により、現行の各規準の平均値程度を参考に定めた標準仕様を設定した。基本仕様を規定した項目を図3に示した。

4. 4 耐久性の照査方法 (5章)

(1) 照査法の原則

本「考え方」では、先に述べたように、かぶり厚さによって耐久性に対する検討を行うこととした。具体的には、鉄筋コンクリート構造物のかぶり厚さをもとに定められる等価かぶり厚さ C と劣化深さ C_{de} について、以下の式が満足される場合、耐用期間中は耐久性を維持していると考えることとした。

$$C_{de} \leq C$$

これは、耐用期間中の劣化作用がかぶりコンクリートの範囲内で収まれば、鉄筋腐食が生じる可能性は低く、耐久性が損なわれることはないことに基づいている。

非常に複雑な鉄筋コンクリート構造物の劣化現象あるいは耐久性を、このようにかぶり厚さという単一の数値で検討することは大胆であることは否めない。しかし、実務設計において、具体的でかつ理解し易いかぶり厚さによる検討は直感的にも分かりやすく、設計段階で考慮し易いことは大きな利点であると考えた。耐久性を向上させるためにこのかぶり厚さを増加させることが最も有効な手段であるが、ただかぶり厚さを大きくすればよいということを意味しているわけではない。かぶり以外の材料、設計および施工に係わる各種要因を劣化深さ C_{de} の算定の際に考慮することで、総合的な耐久性の評価が可能であると考えた。

(2) 劣化深さ C_{de} の算定

劣化深さ C_{de} は、中性化によるものと、塩害によるものに分けて以下の2式を用いて算出することとした。それぞれの相互作用は考慮せず、独立しており、それぞれについて等価かぶり厚さ C と比較・検討することになる。この式の採用が、「考え方」の最も大きな特徴のひとつである。

$$\text{中性化による劣化深さ} : C_{de, n} = A_n \cdot \frac{E_n}{Q_n Q_{DC}} \sqrt{t}$$

$$\text{塩害による劣化深さ} : C_{de, cl} = A_{cl} \cdot \frac{E_{cl}}{Q_{cl} Q_{DC}} \sqrt{t}$$

ここに、 C_{de} : 劣化深さ (添字 n, cl は、それぞれ中性化、塩害関連)
 A : 係数 (同上), 中性化: 0.4, 塩害: 1.3
 E_n : 中性化に係わる環境係数 (劣化外力の大きさ)
 E_{cl} : 塩害に係わる環境係数 (劣化外力の大きさ)
 Q_n : 中性化に係わる品質係数
 Q_{cl} : 塩害に係わる品質係数
 Q_{DC} : 設計・施工に係わる品質係数 (中性化, 塩害共通)
 t : 設計で考慮する耐用期間

いずれの場合も、劣化の進行が拡散現象と考えることができ、劣化深さ C_{de} が \sqrt{t} に比例するとした。その上で、環境係数 E を品質係数 Q で除したもので劣化深さの速度を定めることと

した。環境係数 E が大きければ劣化を促進することとなり、逆に、品質係数 Q が大きければ劣化を抑制するように抵抗側として働く。両者の速度係数を、このように単純に表せるものではないが、実務設計上簡便でかつ理解し易い式の形になることを重視して、この基本形に合致するように各係数の定量化作業を行った。この照査式で考慮した因子を図4に示した。

A_n, A_{cl} は、既往の調査結果等に基づき、多数の試計算を行い決定した。

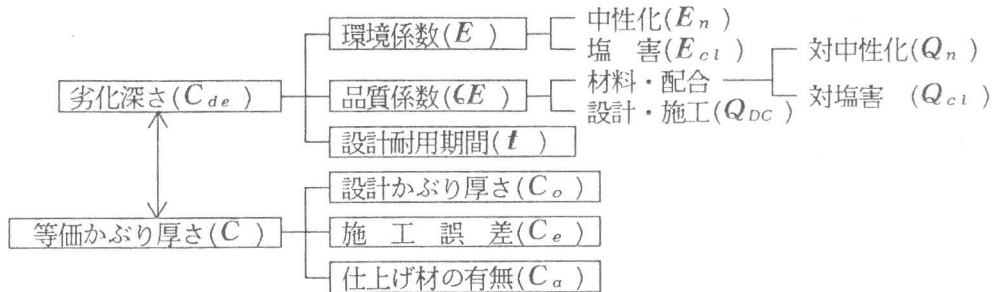


図4 照査式において考慮される因子

4.5 環境の影響の考慮方法 (環境係数) (5.2)

(1) 中性化に係わる環境係数 E_n

中性化に係わる環境条件としては、温度、湿度および炭酸ガス濃度が挙げられる。これらの影響を考慮して、表2のように中性化に係わる環境係数 E_n を定めた。

表2 中性化に係わる環境係数 E_n

区分	環境係数 E_n	
屋外	I	0.8
	II	1.0
	III	1.2
	IV	1.4
屋内	1.0 (全国共通)	

注：都市部・屋外については上記の1.15倍

- i) 地域区分の設定：①中性化速度は温度に比例して大きくなること、相対湿度が40～50%の付近で、中性化速度が最大になるという既往の研究成果に基づいて、全国主要80地点の中性化速度を算出し、日本全国をIからIVの4区分にグレーディングした。
- ii) 都市部の補正：都市部の炭酸ガス濃度が、周辺部の1.3倍程度であるとの調査結果から、中性化速度は炭酸ガス濃度の平方根に比例すると考え、 E_n は1.15倍することとした。
- iii) 屋内と屋外の区別：屋外については、[中性化深さ=劣化深さ]として、以上のように環境係数を定めた。屋内の場合は、屋外と比べ炭酸ガス濃度は高く、湿度が低いため、中性化速度は屋外よりかなり早くなる。しかし、屋内では湿度が低いため鉄筋の腐食は急激に生じず、中性化深さが鉄筋位置より20～30mm程度超えた時点から始まっている。このことを考慮して、[中性化深さ-20mm=劣化深さ]と考え、 $E_n = 1.0$ と低減させた。

(2) 塩害に係わる環境係数 E_{cl}

塩害に係わる環境係数 E_{cl} は、

- ・ 海岸からの距離と初期塩化物イオン量により決まる基本環境係数 (E_d)
 - ・ 環境条件(年平均気温, 乾湿繰返し, ぬれ時間, 海風比率)考慮した地域毎の補正係数 (E_e)
- の積 ($E_{cl} = E_d \times E_e$) として求める。

i) 基本環境係数 (E_d)

塩化物イオンの拡散がFickの法則に従うとして、塩化物イオンが放物線分布であると仮定すると、かぶり L は以下のように表される。

$$L = a\sqrt{D_c} (1 - \sqrt{CL_0 / CL_0}) \sqrt{t_p}$$

ここに、 D_0 : 拡散係数, CL_0^* : 発錆限界塩化物イオン濃度, CL_0 : 表面塩化物イオン濃度, t_p : L において塩化物イオン濃度が CL_0^* に達する時間

基本環境係数 E_d は $(1 - \sqrt{CL_0^*/CL_0})$ と比例すると考え、以下の仮定の元に計算を行い、 E_d を設定した (図5 参照)。

〔仮定1〕飛来塩化物イオン量は海岸からの距離の関数で表される。(既往の調査結果)

〔仮定2〕コンクリートの表面塩化物イオン量 CL_0 は、既往の飛来塩化物イオン量との関係式を用いて換算する。

〔仮定3〕発錆限界塩化物イオン量を、 $CL_0^* = 1.2 \text{ kg/m}^2$ とする。

〔仮定4〕初期塩化物イオンは、0.6, 0.3, 0.1 kg/m^3 以下の3種類を設定する。

〔仮定5〕飛沫帯は、初期塩化物イオン量に無関係に最も厳しい環境と設定した。

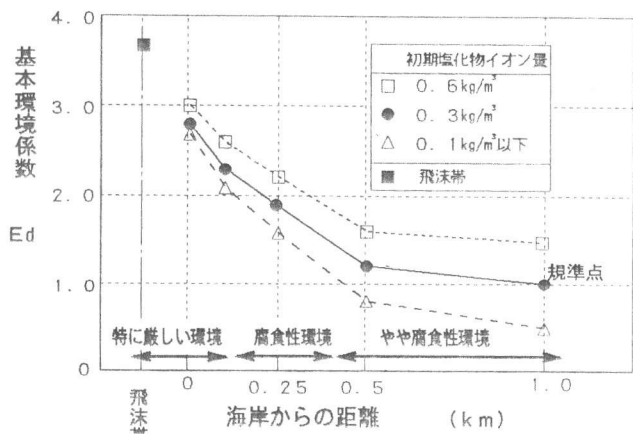


図5 基本環境係数と海岸からの距離の関係

ii) 環境条件を考慮した地域毎の補正係数 (E_e)

表3 環境条件による補正係数

既往の調査研究などによると、年平均気温が高いほど、乾湿繰返し、ぬれ時間および海風比率が大きいほど、塩害に対して厳しい環境であることが報告されている。そこで、表3に示すように、それぞれの影響を係数で表し、全国の主要な都市でのそれぞれの実測値を元に、4因子の積で E_e を求めた。本編では、この結果もとにゾーニングした日本地図を提示している。

係数	年平均気温(°C)	乾湿繰返し回数(/年)	ぬれ時間(hr/年)	海風比率(%)
0.9	~10	~5	~3200	~10
1.0	10~20	6~9	~3800	10~29
1.1	20~	10~	3800~	30~

既往の調査研究などによると、年平均気温が高いほど、乾湿繰返し、ぬれ時間および海風比率が大きいほど、塩害に対して厳しい環境であることが報告されている。そこで、表3に示すように、それぞれの影響を係数で表し、全国の主要な都市でのそれぞれの実測値を元に、4因子の積で E_e を求めた。本編では、この結果もとにゾーニングした日本地図を提示している。

4.6 コンクリートの品質の考慮方法 (品質係数) (5.3)

(1) 材料・配(調)合による品質係数 (Q_n, Q_{cl})

Q_n, Q_{cl} は、水セメント比 ($Q_{w/c}$)、セメントの種類 (Q_c) および骨材の種類 (Q_a) を考慮して以下の式で求めることとしている。

$$\text{中性化} : Q_n = Q_{w/c} \cdot Q_c \cdot Q_a$$

$$\text{塩害} : Q_{cl} = Q_{w/c} \cdot Q_c$$

i) 水セメント比: 本照査法の中で最もかぶりコンクリートの品質に大きな影響を与える因子であり、中性化と塩害で共通した以下の式で品質係数を算定することとした。

$$Q_{w/c} = 5.67 \times 10^{-4} / \sqrt{\exp(11.5 \times W/C - 21.85)}$$

これは、既往の研究では、コンクリートの拡散係数 D_c を、 $D_c = \exp\{11.5 \times (W/C) - 21.85\}$ としており、 $Q = b / \sqrt{D_c}$ であることを勘案し、 $W/C = 0.6$ で標準値 1.0 となるように、係数を定めた。 $Q_{w/c}$ は、 $W/C = 0.4, 0.5, 0.6, 0.7$ でそれぞれ 3.16, 1.78, 1.0, 0.56 となる。

ii) セメントの種類: 高炉セメントあるいはフライアッシュセメントを使用したコンクリートの

中性化速度は、普通ポルトランドセメントに比べ速いと一般に言われている。しかし、養生条件によってはその差は小さくなることが報告されており、既往の中性化速度式より、セメントの種類による差を小さく設定した。塩害については、高炉スラグおよびフライアッシュを使用した場合は、中性化とは逆に、塩分の浸透が抑制され、品質は向上することが知られている。これらの既往の研究成果を踏まえ、表4のように品質係数を定めた。

iii) 骨材の種類：中性化の場合のみ、最も影響の大きいと思われる軽量骨材の影響のみを考慮することとした。軽量骨材を用いた場合、空隙が多くなり中性化速度は速くなるため、粗骨材のみを軽量骨材にした場合は、0.8、細骨材も軽量とした場合は0.65とした。

表4 セメントの種類による品質係数 (Q_c)

セメントの種類	中性化の場合	塩害の場合
普通ポルトランド	1.0	1.0
早強ポルトランド	1.0	1.0
高炉セメント	0.8	1.2
フライアッシュセメント	0.8	1.2

(2) 設計・施工による品質係数 (Q_{bc})

かぶりコンクリートの品質に影響を与えると考えられる設計・施工に係わる因子は、非常に多岐にわたっている。それらを全て、品質係数により定量的に評価するのが望ましいが、研究が定量評価できるまでに至っていないのが現状である。そこで、影響因子の中でも影響の大きく、かつ、定量化が比較的容易と思われる以下の4因子を考慮して品質係数を設定した。

i) ひびわれ幅：「ひびわれ幅を0.2mm以下あるいは温度ひびわれ指数を1.2以上とする場合には、修正係数としてQを1.2倍してよい。」と規定した。これは、ひびわれ幅を0.2mm程度に制限した場合、0.3~0.4mmにした場合に比べて、中性化深さは70~80%程度になるというデータなどに基づいている。また、温度ひびわれ指数の1.2以上にした場合、ひびわれ幅は0.2mm以下となるので、上記のような設定とした。

ii) 打継ぎ目の処理方法：打継ぎ目は中性化および塩分浸透に対しては、大きな欠点となることは明白である。そのため、打継ぎ目の表面処理方法については、非常に良好な処理をしたとしても、品質係数の修正係数は1.0とし、それよりも手をかけない処理方法については、0.7~0.9とし、品質の低下を考慮できるようにした。

iii) 特殊な型枠の使用：透水型枠を用いた場合は、中性化深さ、塩分浸透深さおおよそ40~50%低減することが実験で確認されている。ここでは、現場で実構造物に適用した場合の施工精度、各種透水型枠の性能の差異等を考慮して安全側にQ=1.2とした。

iv) 養生期間：コンクリートへのガス、水分および塩化物イオンなどの浸透および拡散には、コンクリート中の空隙が大きな影響を与える。この空隙は、養生期間を長くすることにより小さくなり、密実なコンクリートとなる。ここでは、直接的に養生期間をパラメータとするのではなく、脱型時の圧縮強度を用いて評価することとした。養生期間が2~4日である通常のコンクリートにおいては、脱型時の強度は100kgf/cm²程度であり、その倍の200kgf/cm²の場合は、中性化速度が20%低下することから、品質係数を1.2とした。

4.7 等価かぶり厚さの算定 (5.4)

等価かぶり厚さCは、図6にその模式図を示したように、構造物の設計かぶり厚さから、施工時における鉄筋のかぶり厚さの施工誤差により低減した値、さらにコンクリート表面に各種仕上げ材を施した場合の相当かぶり厚を加算した次式により算出する。

$$C = C_0 - C_e + C_a$$

ここに、 C_0 : 設計かぶり厚、

C_e : 施工誤差による修正値、

C_a : 表面仕上げ材による加算値

i) 施工誤差による修正値 C_e : 鉄筋のかぶり厚さは、施工時の型枠・鉄筋の加工組立の誤差、打設時の鉄筋の移動によってばらつきが生じる。建築学会「鉄筋コンクリート造配筋指針・同解説」によると、かぶりの許容値は部位によ

って異なるが、10~20mmの範囲にある。しかし、より耐久的な構造物を設計しようとする場合、施工誤差もおのずと小さくなると考え、修正値を10mmに設定した。また、既往の調査結果で、適切なスペーサーの使用により、施工誤差が小さくなること明らかになっており、その修正値を5mmまで低減してよいこととした。

ii) 表面仕上げ材の評価 : 表面仕上げ材には、モルタル、タイル、石張りの無機系、樹脂、ゴム、ポリマーなどの塗装材系のものなど多数あり、中性化および塩分浸透抑制効果は実証されている。本「考え方」では、これらの効果をかぶり厚さに換算することとした。具体的な換算法については詳細には言及せず、精神条項のみを示すに止めた。

塗装材の場合はその劣化は避けられず、初期性能の保持期間は良好な施工を行った場合でも、8~10年程度であると思われる。そのため、それより長い構造物の設計耐用期間を設定する場合には、適切なメンテナンスが必要条件となる。

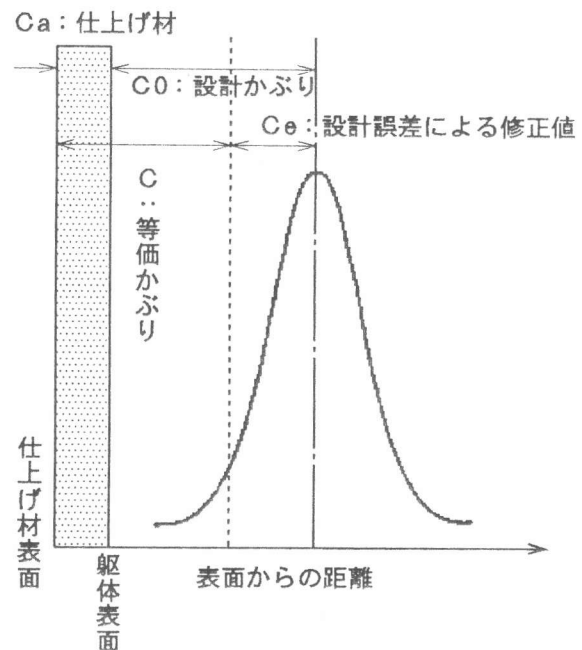


図6 等価かぶり厚さの模式図

4. 8 適用システム (7章)

コンクリート構造物の耐久性を確保するためには、よりよい検討方法を用いるだけでなく、それをどのように実際の受注・発注システムに組み込んでいくかが重要である。そこで、現在行われている工事の実施形態を参考にして、耐久設計に必要な設定および作業を、誰が、どういう手段で行うかをまとめて、具体的な「考え方」の適用方法を提案した。その際、3つの方法に分け、それぞれについて発注者、設計者、施工者あるいは工事監理者の責任の範囲および作成する書類などを明確に設定した。

5. あとがき

紹介してきた「考え方」は、これまでにないユニークなものとなっており、耐久的な構造物を建造するための設計方法のたたき台となり得ると信じている。現在の研究レベルが十分でないことや、委員会での検討時間が短期間で不十分なため、結論づけるまでには至らなかったいくつかの内容も残されている。今後の研究成果を踏まえ、会員各位からの忌憚のないご意見・ご批判をいただき、今後も見直しを継続し、後世に誇れる構造物を合理的に設計できる方法が確立されることを望むものである。