

論文 各種仕様書における耐久性照査の変遷と特徴の把握

澁谷 亜香里*1・伊代田 岳史*2

要旨：コンクリート構造物が求められる性能は、使用目的や場所、構造物の機能によって異なり、設計は各構造物に適した仕様書を用いて行われている。照査項目や要求性能の設定は各仕様書を発行する学会や機関で決定されるが、内容及び改訂時期も異なる。しかしながら、材料の面から考慮すると、コンクリートの劣化メカニズムは同じであり、耐久性設計は同一の方法で整理することが望ましいと考える。本研究では、耐久性照査手法の統一的な整理を目的として、各仕様書の耐久性照査の手法における現状と変遷を把握、比較を行い、照査結果に特に依存する項目を整理し、その違いについて考察した。

キーワード：コンクリート構造物、示方書、仕様書、耐久性設計

1. はじめに

コンクリートは汎用性が高く、様々な構造物に使用され、社会に必要不可欠な存在である。使用目的や機能は、各コンクリート構造物で異なる。また、日本は島国である上、雪の降る地域から、亜熱帯気候の地域まで、気候や環境条件も同一ではない。要求される性能が異なり、各々に適した仕様書により、性能照査型の設計、施工、維持管理がなされているのである。

以前は、設定された仕様を選択する仕様規定型の設計がなされていたが、安全性、使用性、耐久性などを照査する性能照査型の設計に移行した。土木学会では、1997年に耐久性照査型のコンクリート標準示方書を制定し、2002年までに性能照査型に移行させた。性能照査型の設計は、仕様規定型に比べて、自由度が増すため、その場所により適した設計ができる。しかし一方で、設計の複雑化や要求性能の設定が難しいという欠点が存在する。仕様書は構造物の種類によって異なるものを使用しており、鉄道構造物には鉄道構造物等設計標準、道路橋には道路橋示方書、建築構造物には JASS5、原子力関連施設には JASS5n などが用いられている。

要求性能の設定も、構造物によって異なっている。構

造物の目的によって、考慮すべき外力や環境条件が異なることから、各仕様書を使用することは理解できるが、材料選択の面では、コンクリートの劣化メカニズムは同じであるため、同一の手法で劣化予測をすることが望ましいと考える。各仕様書において同一の劣化予測することで、新たな研究成果や報告がなされた際には、コンクリート構造物全般に関して、各仕様書に反映することが容易となる。また、近年環境負荷低減が議論されており、新材料が導入されてきている。今後、新材料に対応するためには、統一的な劣化予測が必要であると考えた。そこで、本研究では、各仕様書の耐久性照査の変遷と特徴の把握、比較を行い、傾向や係数を整理することとした。特に、鋼材腐食をもたらす中性化や塩化物イオン侵入の照査結果に影響する項目を整理し、耐久性照査の要求性能設定において、手法統一化の可能性を考察した。

2. 対象とした仕様書・指針

本研究で使用した仕様書と指針の略式名称、正式名称、対象制定年を表-1に示す。土木から示方書、道路橋、鉄道、港湾を、建築から JASS5、耐久設計指針を対象とした。

表-1 対象とした書籍一覧

分野	対象とした書籍名称		対象とした制定年
	略名	正式名称	
土木	示方書	コンクリート標準示方書 [施工編]	2002年
	示方書	コンクリート標準示方書 [設計編]	2007年, 2017年
	道路橋	道路橋示方書・同解説 コンクリート橋編	2002年, 2017年
	鉄道	鉄道構造物等設計標準・同解説 コンクリート構造物	1992年, 2004年
	港湾	港湾の施設の技術上の基準・同解説	2018年
建築	JASS5	建築工事標準仕様書・同解説 JASS5 鉄筋コンクリート工事	2009年, 2018年
	耐久設計指針	鉄筋コンクリート造建築物の耐久設計施工指針・同解説	2016年

*1 芝浦工業大学 工学部土木工学科 (学生会員)

*2 芝浦工業大学 工学部土木工学科 教授 博士(工学) (正会員)

表-2 耐久性照査項目比較 (□：計算 ○：表読み取り △：記載あり ×：記載なし)

項目		示方書			道路橋		鉄道		港湾	JASS5		耐久設計指針
		2002	2007	2017	2012	2018	1992	2004	2018	2009	2018	2016
鋼材腐食	中性化	□	□	□	△	△	×	□	□	○	○	○
	塩化物イオン侵入	□	□	□	○	○	△	□	□	○	□	○
	ひび割れ	□	□	□	×	△	□	□	□	□	□	○
	水分浸透	△	△	□	△	△	×	×	×	△	△	×
コンクリート劣化	凍害	□	□	□	△	△	△	□	△	□	□	○
	化学的侵食	□	□	□	△	△	×	○	△	△	△	○

表-3 各仕様書，指針の変遷

年	事象	示方書	道路橋	鉄道	港湾	JASS5	耐久設計指針
1991							発刊
1992				発刊			
1993						改定	
1994			改訂		改訂		
1995	兵庫県南部地震						
1996		改訂：耐久性	改訂				
1997						改定：新技術	
1999		改訂：耐久性照査化			改訂		
2001			改訂：性能規定化				
2002		改訂					
2003						改定	
2004	新潟県中越地震			改訂			指針案 発刊
2007		改訂：耐久性照査が 施工編から設計編へ			性能 規定化		
2009						改定：環境配慮	
2011	東北地方太平洋沖地震						
2012		改訂	改訂		改訂		
2013					改訂		
2014					改訂		
2015						改定	
2016							改定
2017		改訂	改訂 長寿命化				
2018					改訂	改定	

3. 各仕様書・指針の比較

3.1 仕様書の変遷把握および耐久性照査項目比較

耐久性照査の項目を仕様書ごとに整理し比較した。表-2に示すように、□は式を用いての照査、○は表から条件に合う設計値を読み取る場合、△は文章での記載のみで具体的な値は示されていない場合、×は記載がない場合とした。

特徴として、示方書は式中心であるのに対して、道路橋は計算で求める項目は存在せず、文章の記載と表の読み取りのみである。また、示方書を参考に制定された港

湾や鉄道は、示方書が改訂されたのを受けて、改訂する機会が多い。改訂年はばらつきがあるが、改訂内容は、時期によりコンセプトが類似している。1990年代後半は、兵庫県南部地震を受けての耐震設計の見直しと耐久性照査型への移行がなされ、2000年代には、耐久性照査の式や係数の見直し、2010年代は環境配慮や維持管理を見据えた設計が重要視されるようになった。

次に、各仕様書で改訂の際に大きく変更した項目に焦点をおき、歴史的背景も踏まえて整理する。改訂年や主な改訂内容を表-3に示す。

(1) 示方書

近年の改定で最も大きく変更された点は、2017年の水分浸透による鋼材腐食の照査の追加である。近年、維持管理が重要視され、維持管理を見据えた設計が求められている。降水や漏水、結露の鋼材腐食への影響が懸念されていたことから、2017年の改訂では、降水を対象として照査式を示している。

(2) 道路橋

耐久性を考察する設計は、2001年に性能規定型として改訂された。他の仕様書が性能照査型と移行していた時期であったが、現在も条件に合う規定を選択する規定型で耐久性設計がなされている。2017年改訂では、維持管理を見据えた設計手法が求められ、長寿命化を実現するため、設計供用年数を100年とした。

(3) 鉄道

2004年の改訂で性能照査型へ移行し、内容が大きく変化した。耐久性設計は、2002年制定の示方書を参考に作

成されたため、2002年の示方書と類似した項目である。

(4) 港湾

示方書を参考として照査式が示されており、鋼材腐食についての照査項目は、示方書と類似している。示方書と同様に式によって照査する。

(5) JASS5

示方書の耐久性照査は、コンクリート構造物の代表的な劣化現象として、鋼材腐食とコンクリート劣化と大きく二つに分類されているが、JASS5では、劣化作用で分類され、それぞれ考慮すべき点が記述されている。一般的な劣化作用として、構造体コンクリートの温度および含水率に影響を及ぼす環境条件、ならびに空気中の二酸化炭素濃度を考慮し、特殊な劣化作用として、海水の作用、凍結融解作用を考慮している。近年では、長寿命化と高強度化が求められ、1997年に大きく改定された後、2009年に、環境配慮や特殊コンクリートの充実に重点を置き改定された。また、JASS5は仕様規定型であり標準

表-4 中性化による鋼材腐食の照査式と係数一覧

示方書			鉄道		港湾	耐久性設計指針		
	2002	2017	2004		2017	2016		
	$\gamma_i * y_d / y_{lim} \leq 1.0$		$y_d \leq y_{lim}$		示方書 2017年版 参考	C ≤ 鉄筋が腐食し始めるときの中性化深さ		
構造物 係数	γ_i 1.0 1.1(重要構造物)	γ_i 1.0~1.1	—	—		—	—	—
鋼材腐食 発生限界 深さ	y_{lim} 設計かぶり — 中性化残り (10~25mm)	y_{lim} かぶり — 施工誤差 — 中性化残り (10~25mm)	中性化 深さ 制限値	y_{lim} かぶり — 施工誤差 — 中性化残り (10~25mm)		鉄筋が 腐食し始め るときの 中性化深さ	①湿潤・乾湿繰返し環境 =かぶり厚さ ②乾燥環境 =かぶり厚さ+20mm まで	
中性化 深さの 設計値	y_d $=\gamma_{cb} * \alpha_d \sqrt{t}$	y_d $=\gamma_{cb} * \alpha_d \sqrt{t}$	中性化 深さ 推定値	y_g $=\gamma_{cb} * \alpha_g \sqrt{t}$		平均中性化 深さ	C $=A\sqrt{t}$	
中性化 速度係数 設計値	α_d $=\alpha_k \beta_c \gamma_c$	α_d $=\alpha_k \beta_c \gamma_c$	中性化 速度係数 推定値	α_g $=\alpha_k \beta_c \gamma_c$		中性化 速度係数	A $=k \cdot \alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \alpha_3 \cdot \beta_1 \cdot \beta_2 \cdot \beta_3$	
中性化 速度係数 特性値	α_k $\gamma_p * \alpha_p / \alpha_k \leq 1.0$ をみたく α_k (α_p : 予測値)	α_k =予測値 α_p	中性化 速度係数 特性値	α_k $=\gamma_p * \alpha_p$ ($\gamma_p=1.0\sim1.3$)		中性化 速度に 関する係数	k 17.2	
$\alpha_p = -3.57 + 9.0 * W/B_c$ ($W/B_c = W/(C_p + k * A_d)$) ($k=0$ (フライアッシュ), 0.7 (高炉スラグ微粉末))								
環境作用 の程度を 表す係数	β_c 1.6 (土中・水中 1.0)	β_c 1.6	環境の 影響の 程度を 表す係数	C_i 1.6 (土中・水中 1.0)		環境	β_1 気温による係数 β_2 水分の影響による係数 β_3 CO ₂ 濃度による係数	
コンクリ ートの 材料係数	γ_c 1.0(上部 1.3)	γ_c 1.0(上部 1.3)	コンクリ ートの 材料係数	γ_{cl} 1.0(上部 1.3)		材料	α_1 コンクリートの種類による係数 α_2 セメント種類による係数 α_3 調合(水セメント比)による係数	

方策を示すことが重要視されている。耐久性確保の一連の方策は、耐久設計指針を参考にするとよいとしている。

(6) 耐久設計指針

耐久設計指針では、性能検証型一般設計法または標準仕様選択型設計法のそれぞれの方針が示されている。したがって、式を用いての照査と表の読み取りが両者存在する。また、現在の耐久設計指針は、1991年発行の「高耐久性鉄筋コンクリート造設計・施工指針(案)・同解説」の改定版という位置づけである。

3.2 環境配慮についての比較

日本では、1997年に京都議定書がCOP3で採択、2005年に発効され、2000年代から社会的に地球温暖化などの

環境問題が認識され、二酸化炭素の削減といった環境配慮の考えが広まった。土木では、徐々に環境配慮に対して検討されており、2017年版示方書では、要求性能のひとつとして環境性が示されているが、具体的な配慮方法は記載されていない。要求性能として照査する方法は、2005年発行の「コンクリート構造物の環境性能照査指針(試案)」¹³⁾に示されている。性能照査型となっているが、示方書には導入されていない。

建築分野では、2000年に建築関連5団体が「地球環境・建築憲章」を制定したのをはじめとして、持続可能な循環型社会の実現に向けて早い段階から環境負荷低減を検討した。JASS5にも環境配慮の項目があり、配慮事項を

表-5 塩化物イオン侵入による鋼材腐食の照査式と係数一覧

	示方書		鉄道		港湾		耐久設計指針	
	2002	2017	2004	2017	2016			
照査式	$\gamma_i \frac{C_d}{C_{lim}} \leq 1.0$	$\gamma_i \frac{C_d}{C_{lim}} \leq 1.0$	$C_g \leq C_{lim}$	$\gamma_i \frac{C_d}{C_{lim}} \leq 1.0$	$CI \leq 0.6$			
構造物係数	γ_i 1.0 1.1(重要構造物)	γ_i 1.0 1.1(重要構造物)	-	γ_i 1.0 1.1(重要構造物)	-	-	-	-
鋼材腐食発生 限界塩化物 イオン濃度	C_{lim} 1.2 kg/m ³	C_{lim} =3.0(W/C)+3.4 (OPC)	C_{lim} 1.2 kg/m ³	C_{lim} 2.0 kg/m ³	限界 塩化物 イオン量	0.6 kg/m ³ (試験で決定 できない場合)		
鋼材位置に おける 塩化物イオン 濃度	C_d = $\gamma_{cl} * C_0$ $\left(1 - \text{erf}\left(\frac{0.1 * C_d}{2\sqrt{D_p * t}}\right)\right)$	C_d = $\gamma_{cl} * C_0$ $\left(1 - \text{erf}\left(\frac{0.1 * C_d}{2\sqrt{D_p * t}}\right)\right)$ + C_i	C_g ① 海水中 及び干満体 ② ①以外 式が異なる	C_d = $\gamma_{cl} * C_0$ $\left(1 - \text{erf}\left(\frac{0.1 * C_d}{2\sqrt{D_p * t}}\right)\right)$ + C_i	鉄筋位置に おける 塩化物 イオン量	CI	= $(C_0 - C_{init})$ $\left(1 - \text{erf}\left(\frac{x}{2\sqrt{D_p * t}}\right)\right)$ + C_{init}	
コンクリート 表面塩化物 イオン濃度	C_0 表読み取り	C_0 表読み取り	C_0 ①のみに適用 13kg/m ³	C_0 =-6.0x+15.1 (x: 海水面からの 距離)	コンクリート 表面の 塩化物 イオン量	C_0	= $a * b * C_y / L$ ※	
初期 塩化物イオン 濃度	-	-	C_i 0.3kg/m ³	C_i 0.3 kg/m ³	初期塩化物 イオン量	C_{init}	測定値	
C_d, C_g の 安全係数	γ_{cl} 1.3(高流動 1.1)	γ_{cl} 1.3(高流動 1.1)	γ_{cl1} 1.0	γ_{cl} 1.3 1.1(高精度)	※ C_y : 年間の飛来塩分イオン量 (kg/m ² /年) (測定値)			
C_i の安全係数	-	-	γ_{cl2} 1.0	-	a: コンクリートに浸透する割合 b: 定常状態の割増し L: 暴露開始後1年間での 塩化物イオン浸透深さ(m)			
設計拡散係数	D_d = $\gamma_c * D_k$ + $\left(\frac{w}{T}\right) \left(\frac{w}{w_a}\right)^2 * D_0$	D_d = $\gamma_c * D_k + \lambda * \left(\frac{w}{T}\right) * D_0$ ($\lambda=1.5$)	D_d = $\gamma_c * D_k$ + $3 \left(\frac{w}{T}\right) \left(\frac{w}{w_{min}}\right)^2 * D_0$	D_d = $\gamma_c * D_k$ + $\lambda * \left(\frac{w}{T}\right) * D_0$ ($\lambda=1.5$)				
拡散係数の 特性値 (OPC)	D_k $\log_{10} D_p = -3.9(W/C)^2$ + $7.2(W/C) - 2.5$	D_k $\log_{10} D_k$ = $3.0(W/C) - 1.8$	D_k $\log_{10} D_p = -3.9(W/C)$ + $7.2(W/C) - 0.5$ $D_k = 1.2 * D_p$	D_k $\log_{10} D_k$ = $3.4(W/C) - 1.9$	見かけの 拡散係数	D_p	$\log_{10} D_p$ = $3.0(W/C) - 1.8$	
ひび割れの 影響定数	D_0 200 cm ² /年	D_0 400 cm ² /年	D_0 200 cm ² /年	D_0 400 cm ² /年	-	-	-	

示している。また、環境に配慮した工事のあり方を「鉄筋コンクリート造建築物の環境配慮施工指針(案)・同解説」¹⁴⁾に示している。環境性の照査ではなく、材料の選定など、環境に配慮した設計を可能にしている。

環境配慮が重要視されたことで、材料面では混和材や新材料の利用が多くなり、耐久性照査の係数の決定が複雑化したとされる。

4. 照査式, 係数比較

耐久性照査項目の比較において、式を用いて照査する仕様書・指針を抽出し、照査式と係数の比較を試みた。仕様書では、示方書 2002 年版, 2017 年版, 鉄道 2004 年版, 港湾 2017 年版を用いた。示方書は最新版に加えて、鉄道との比較のため、2002 年版も対象とした。また、土木と建築での比較のため、耐久設計指針の 5 章性能検証型一般設計法を用いた。耐久設計指針の仕上材を施す場合はのぞいている。

4.1 中性化による鋼材腐食

表-4 に各仕様書と指針の中性化による鋼材腐食の照査手法の比較を示す。港湾は、コンクリート標準示方書 [設計編] を参考にすることができる⁹⁾と表記されており、示方書 2017 年版と同一である。また、鉄道では、示方書 2002 年版と構造物係数の扱いが異なるのみで、値に影響を与えるような違いはなかった。

(1) 環境作用に関する係数

示方書の 2002 年版から 2017 年版で異なる点は、環境作用の程度を表す係数である。2002 年版では、乾燥の程度によって値が異なるが、2017 年版では、環境によらず 1.6 の一定値としている。2017 年版において、中性化に加えて、水の浸透における鋼材腐食に対する照査が加えられたため、乾燥しにくい環境は、水の浸透において考慮していると考えられる。また、耐久設計指針は、他の土木の仕様書と式や係数が大きく異なり、係数が細かく分かれている。表-4 に示したように、耐久設計指針の係数の α はコンクリートの材料および調合、 β は環境条件を考慮している。実際の条件で係数が大きく異なると考えられる。

(2) 中性化速度係数の設計値(推定値)

高炉スラグ微粉末を使用したコンクリートについて、中性化速度係数の設計値(推定値)を各仕様書・指針で比較した。材料の特性のみを考慮した特性値で整理をすることが好ましいが、耐久設計指針では中性化速度係数を環境作用と材料特性の両者を同時に考慮しているため、中性化速度係数の設計値(推定値)で比較をする。土木分野の各仕様書は、一致した照査内容であるため、環境作用による係数 β_e を 1.6, 材料係数 γ_e を 1.0 と設定する。耐久設計指針の環境についての係数は地域に依存するた

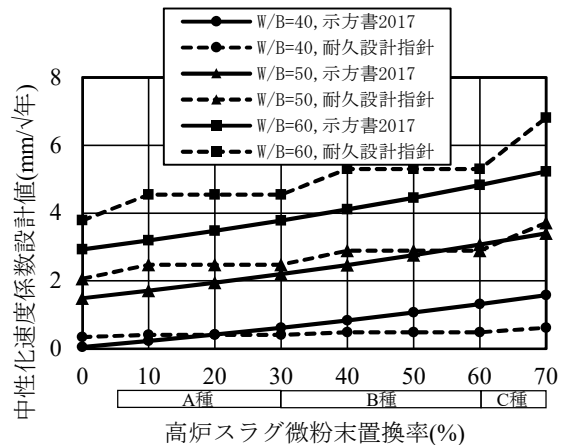


図-1 中性化速度係数設計値の比較

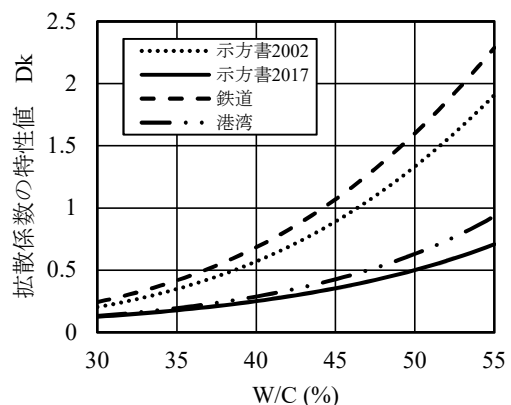


図-2 拡散係数の特性値 (OPC)

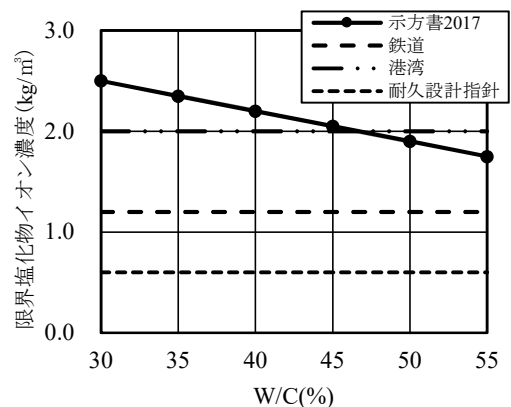


図-3 鋼材腐食発生限界塩化物イオン濃度 (OPC)

め、東京を対象とし、 β は全て 1 とした。高炉スラグ微粉末の置換率で整理した中性化速度係数の設計値(推定値)の結果を図-1 に示す。水セメント比が 50% の場合は、高炉セメント B 種, C 種では示方書と耐久性指針でおおよそ等しい値を示しているが、水セメント比 40% の場合、高炉スラグ微粉末が高置換になるほど違いが大きいが明らかとなった。水セメント比 60% の場合では、示方書よりも耐久設計指針が大きい値を示した。また、高炉スラグ微粉末置換率 0% (普通ポルトランドセメント) の場合、水セメント比が大きくなるほど、示方書と

耐久設計指針での差が大きくなることが明らかとなった。中性化速度係数は、同一のコンクリート、環境条件であれば、等しくなるべきであるが、示方書と耐久設計指針では異なっており、中性化速度係数の計算式を決定する際の実験方法や対象物が異なっているためと考えられる。

(3) 鋼材腐食発生限界深さ

土木と建築の大きな相違点は、中性化による鋼材腐食の限界深さである。土木では、中性化残りの 10mm を考慮するが、建築では、基本としてかぶり厚さが鉄筋の腐食し始める深さであり、屋内ではかぶり厚さより 20mm 奥に達したところとしている。

4.2 塩化物イオンの侵入による鋼材腐食

表-5 に各仕様書の塩化物イオンの侵入による鋼材腐食の照査手法の比較を示す。

(1) コンクリート表面における塩化物イオン濃度

鉄道では、鋼材位置における塩化物イオン濃度（表-5 ①、②）を求める際、海水中や干満帯に位置する構造物のコンクリート表面における塩化物イオン濃度を一定としている。一方で、海水中や干満帯以外に位置する構造物は、コンクリート表面における塩化物イオン濃度が経時的に変化することを考慮し、式(1)で鋼材位置の塩化物イオン濃度の推定値を求めている。鉄道以外の仕様書では、コンクリート表面の塩化物イオン濃度を一定として計算している。港湾は、照査式や手法は示方書を参考に制定されているが、より海水に近い構造物を対象としているため、コンクリート表面の塩化物イオン濃度は、海水面からの距離を考慮している。耐久設計指針のコンクリートの表面の塩化物イオン量は、実際の対象場所での測定値を用いて計算するため、データの有効性が重要であると考えられる。

$$C_g = \gamma_{cl1} S \sqrt{t} \left[\exp \left\{ -\frac{(c-c_e)^2}{4D_d t} \right\} - \frac{(c-c_e) \sqrt{\pi}}{2\sqrt{D_d t}} \left\{ 1 - \operatorname{erf} \left(\frac{c-c_e}{2\sqrt{D_d t}} \right) \right\} \right] + \gamma_{cl2} C_i \quad (1)$$

(2) 拡散係数の特性値

拡散係数の特性値は、図-2 に示す通り、示方書 2002 年版と鉄道は厳しい条件になっており、示方書の改訂により、拡散係数が改められたことが明らかである。港湾は示方書に比べて大きい値を設定している。耐久設計指針の拡散係数の特性値は、2017 年版示方書と等しい。

(3) 鋼材腐食発生限界塩化物イオン濃度

2017 版示方書は、水セメント比によって限界発生塩化物イオン濃度が異なる。他の仕様書・指針は、一定の値を設定している。図-3 に示すように港湾と示方書が限界イオン濃度を高く設定していることが明らかとなった。

5. まとめ

- (1) 耐久性照査に用いられる劣化因子の侵入に関する係数は、同一の環境条件における同一のコンクリートで等しくなるべきであるが、現状では仕様書ごとに異なる。
- (2) 係数の値や設計値の決定が異なる手法で行われ、限界値の設定も異なるが、両者異なることで同じ照査結果になる可能性があり、照査結果が異なると一概にはいえない。
- (3) 材料の特性を考慮した係数と環境作用を考慮した係数を同一段階で設計値に組み込む手法は、変更や比較が難しく、問題であると考えられる。
- (4) 耐久性照査の過程での相違点や傾向が明らかとなったが、劣化予測値を求める手法の統一化には多くの検討が必要である。

参考文献

- 1) 土木学会：[2017 年制定] コンクリート標準示方書 [設計編]，pp.148-234，2018.3
- 2) 土木学会：[2007 年制定] コンクリート標準示方書 [設計編]，pp.54-320，2008.3
- 3) 土木学会：[2002 年制定] コンクリート標準示方書 [施工編]，pp.54-320，2002.3
- 4) 日本道路協会：道路橋示方書（Ⅰ共通編・Ⅲコンクリート橋編）・同解説，pp.177-191，2017.11
- 5) 日本道路協会：道路橋示方書（Ⅰ共通編・Ⅲコンクリート橋編）・同解説，pp.174-179，2012.3
- 6) 鉄道総合技術研究所：鉄道構造物等設計標準・同解説 コンクリート構造物，pp.197-215，2004.4
- 7) 鉄道総合技術研究所：鉄道構造物等設計標準・同解説 コンクリート構造物，pp.111-308，1992.11
- 8) 日本港湾協会：港湾の施設の技術上の基準・同解説，pp.595-602，2018.5
- 9) 日本建築学会：建築工事標準仕様書・同解説 5 鉄筋コンクリート工事，pp.148-155，2009.2
- 10) 日本建築学会：建築工事標準仕様書・同解説 5 鉄筋コンクリート工事，pp.197-209，2018.7
- 11) 土木学会：2018 年版コンクリート標準示方書 改訂資料，pp.123-128，2018.10
- 12) 日本建築学会：鉄筋コンクリート造建築物の耐久設計施工指針・同解説，pp.98-159，2016.7
- 13) 土木学会：コンクリート構造物の環境性能照査指針（試案），コンクリートライブラリー125，pp.1-51，2005.11
- 14) 日本建築学会：鉄筋コンクリート造建築物の環境配慮施工指針（案）・同解説，pp.1-32，2008.9