

## 本州四国連絡道路におけるコンクリート構造物の現況と評価

本州四国連絡高速道路株式会社 正会員 ○森脇 正生  
 本州四国連絡高速道路株式会社 正会員 酒井 和吉  
 本州四国連絡高速道路株式会社 正会員 大藤 時秀  
 (株)ブリッジ・エンジニアリング 正会員 籠池 利弘

### 1. 概要

本州四国連絡道路(以下「本四道路」)のコンクリート構造物については、1999年から健全性を把握するため非破壊検査を開始し、2011年に検査対象としているコンクリート構造物の非破壊検査が1巡したので結果をとりまとめた。

また、特定のPC橋梁上部工についても、劣化傾向を把握するため、中性化深さ及び塩化物イオン濃度の測定を過去3回実施しており、その結果についてもあわせて報告する。

### 2. コンクリート構造物の維持管理方針

本四道路における海峡部橋梁の架橋地点は、海水飛沫や飛来塩分の影響を強く受ける海峡部に位置するため、構造物は厳しい塩害環境下にある。このため、海峡部橋梁のコンクリート構造物については、予防保全により耐用年数200年の長寿命化を図るとともに、ライフサイクルコストの低減を図ることとしている。

また、海峡部橋梁のPC取付高架橋や陸上部橋梁についても、本四道路としての一体的な機能を確保するため、海峡部橋梁と同様に非破壊検査及び劣化予測を基本とした予防保全に取り組んでいる。コンクリート構造物の維持管理手順を図-1に示す。

### 3. 非破壊検査及び劣化予測

#### 3-1 非破壊検査の調査頻度と調査項目

本四3ルートの中橋梁276橋中186橋(海峡部34橋、陸上部152橋)について、海岸部からの距離によって地域区分を3区分し、調査頻度は、最も環境の厳しい海上部及び海岸部から100mまでの地域の場合、5~10年としている。

調査項目は、鉄筋のかぶり(電磁波反射法)、塩化物イオン濃度(電位差滴定法)、中性化深さ(フェノールフタレイン法)、鋼材腐食(自然電位)とし、損傷度(表-1)を判定する。

#### 3-2 劣化予測

##### (1) 塩化物イオン濃度

塩害の劣化予測は、調査結果から得られた塩化物イオン濃度分布に基づき、表面塩化物イオン濃度と見かけの拡散係数を算出し、フィックの拡散方程式(式(1)<sup>1), 2)</sup>により塩化物イオンの浸透予測を行う。

##### (2) 中性化深さ

中性化深さの劣化予測は、調査結果から得られた中性化深さと調査時点における経過年数から、中性化速度係数 $a$ を算出する。

予測式は $\sqrt{t}$ 則による(式(2)<sup>1), 2)</sup>。

$$c(x, t) = \gamma_{cl} \cdot \left[ c_0 \left( 1 - \operatorname{erf} \frac{x}{2\sqrt{D \cdot t}} \right) + c_i \right] \quad (1)$$

$$X_c = a\sqrt{t} \quad (2)$$

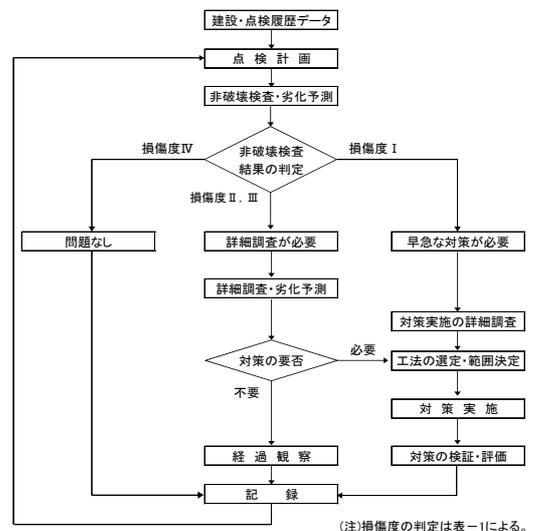


図-1 コンクリート構造物の維持管理

表-1 非破壊検査結果の判定基準

損傷度	塩化物イオン濃度 $C_l$ (kg/m <sup>3</sup> )	中性化深さ $X_c$ (mm)	鋼材腐食 (自然電位) $E$ (mV)	想定される状況
I	$C_l \geq 2.5$	$X_c \geq$ かぶり	$-350 \geq E$	コンクリート中の鋼材が腐食していると考え てよい状態。速やかに詳細調査の実施を検討 する必要がある段階
II	$2.5 > C_l \geq 1.2$	かぶり $> X_c \geq 1/2$ かぶり (ただし、かぶり $< 40$ mm)	$-250 \geq E > -350$	コンクリート中の鋼材が腐食している可能性 が高いと考えられる状態。詳細調査を行って 状況を把握することが望ましい段階
III	$1.2 > C_l \geq 0.3$	かぶり $> X_c \geq 1/2$ かぶり (ただし、かぶり $\geq 40$ mm)	$-150 \geq E > -250$	場合によっては鋼材の腐食が始まっていると 考えられる状態。構造物の重要度、維持管理 レベルに応じて詳細調査を実施することが望 ましい段階
IV	$0.3 > C_l$	$1/2$ かぶり $> X_c$	$E > -150$	これまでの知見からすると、コンクリート中 の鋼材の腐食は生じていないと考えるのが妥 当な状態。当面は、通常の基本点検を主体と した管理で十分であると考えられる段階

キーワード コンクリート, 維持管理, 非破壊検査, 塩化物イオン濃度, 中性化深さ, 劣化予測  
 連絡先 〒651-0088 神戸市中央区小野柄通4-1-22 アーバンエース三宮ビル TEL 078-291-1000(代)

4. 非破壊検査結果

4-1 中性化深さ

下部工の測定結果を図-2に示す。バラツキが大きい原因は構造物の品質の影響によるほか、φ30mmドリル孔を利用して測定していることからコア法に比べて測定精度が落ちるためと考えられる。図中にコンクリート標準

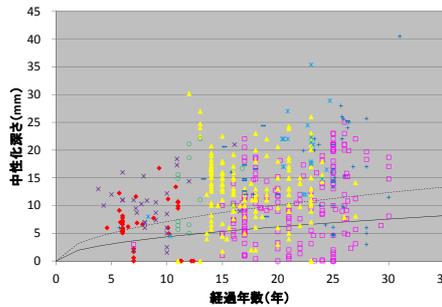
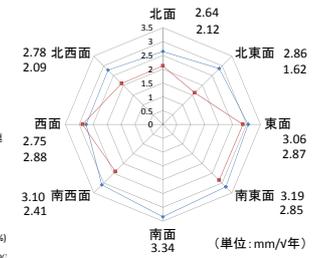


図-2 中性化深さ(下部工)



雨水の影響	中性化速度係数(mm/√年)
雨水が当たらない	2.96
雨水が当たる	2.63

図-3 方角・雨水の影響による中性化速度係数の傾向

示方書のW/Cによる中性化予測結果(施工実績を考慮してW/C=55%とした)を示すが、これに比べて中性化の進行が速い傾向が見られる。進行が速い原因としては、瀬戸内地方では降雨量が少ないことが考えられる。また、中性化速度係数は、南面の方が北面に比べて30%程度大きく、雨水が当たる面よりも当たらない面の方が全体で約10%、北面においては30%程度大きい結果(図-3)となった。

4-2 塩化物イオン濃度

表面付近のデータを除く最も小さいデータを内在塩化物イオンとして整理した(図-4)。本四公団では1984年に共通仕様書が改訂され、細骨材中の塩化物総量規制が実施されたが、1983年以前に施工された区間では初期含有塩化物イオン濃度の平均値が0.73 kg/m<sup>3</sup>であるのに対し、1984年以降に施工された区間の平均値は0.27 kg/m<sup>3</sup>と低く、塩化物総量規制の影響が大きいことがわかる。

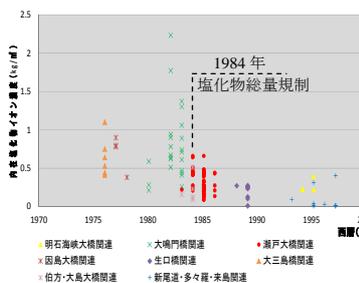


図-4 内在塩化物イオン濃度と建設年

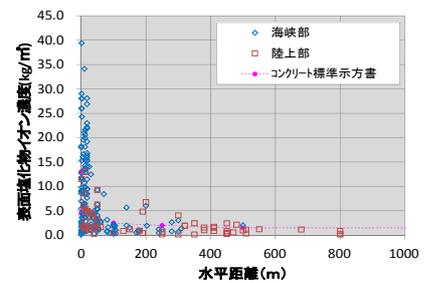


図-5 海岸からの水平距離と表面塩化物イオン濃度

次に海岸からの水平距離と表面塩化物イオン濃度の関係を図-5に示す。表面塩化物イオン濃度は水平距離と大きく関係しており、海岸からの距離が50m以下の橋梁では、多量の塩分が付着しているのが分かる。

5. PC 橋梁上部工

PC 橋梁 3 橋を対象に、これまで 2001・2006・2011 年度の 3 回にわたり調査を実施した。表-2 に与島高架橋の劣化予測結果を示す。

中性化深さは、3 橋全てに進展傾向が見られ、また劣化予測から約 50~100 年後に中性化残り限界を超えるという結果になった。また、10 年間の塩化物イオン浸入量は、腐食環境により異なるが、浸入深さは表面から 20~40mm までであり、前回調査からの進展は見られず、劣化予測でも対策は不要という結果となった。

表-2 劣化予測結果(与島高架橋)

調査場所	打設	調査	経過(年)	平均深さ(mm)	中性化				塩化物イオンの浸透					
					a(mm/√年)	200年後限界到達(年)	Co(kg/m³)	D(cm²/年)	Ci(kg/m³)	200年後限界到達(年)				
											2006	2011	2006	2011
YB5P 側桁	西面	1986	上	2001	15	36.8	0.968	13.7	149	1.287	0.326	—	0.962	2868
			2006	20	37.0	0.514	7.3	544	1.477	0.282	—	1.075	429	
			2011	25	37.0	1.860	26.3	42	0.575	0.194	0.247	0.635	—	
			下	2001	15	36.8	0.904	12.8	170	1.596	0.199	—	1.085	341
			2006	20	37.0	0.291	4.4	1704	2.582	0.129	—	1.564	100	
			2011	25	37.0	1.740	24.6	48	0.383	0.512	0.136	0.441	—	

6. まとめ

約 10 年間にわたり実施されたコンクリート非破壊検査結果の整理を行い有用な結果が得られた。海峡部橋梁は、腐食環境が厳しいことから、今後も現行どおりの測定頻度で、陸上部橋梁については、劣化予測結果によって測定頻度を見直し、非破壊検査を継続して実施することとしている。

PC 橋梁上部工については、塩化物イオン濃度に関してはほぼ問題なしという結論が得られたが、中性化の進行が予想より早いという結果が得られたことから、5 年後も調査を実施して検証していく必要があると考えている。

参考文献

- 1) (社)土木学会：2007年制定、コンクリート標準示方書〔維持管理編〕、平成20年3月
- 2) (社)土木学会：2007年版 コンクリート標準示方書 改訂資料、平成20年3月