

塩害橋梁への非破壊調査法の適用性に関する検討

国土交通省 中国地方整備局 中国技術事務所 小川 純二
(株) 荒谷建設コンサルタント 正会員 ○川本 篤志
(株) 荒谷建設コンサルタント 非会員 小川 健一
中外テクノス(株) 正会員 小出 達治

1.はじめに

コンクリート構造物は、メンテナンスフリーと考えられ、永久構造物と考えられていた。しかし、近年発生したコンクリート塊の崩落事故などにより、コンクリート構造物の信頼性および管理者の維持管理体制が社会的に注目を浴びている。一般に、コンクリート橋の劣化原因には、塩害、アルカリ骨材反応、中性化等がある。そこで、本調査では、既設橋の現状把握を目的とし、中国地方の既設コンクリート橋の飛来塩分を主要因とする塩害による劣化に視点をあて、その調査方法として表-1 に示す従来調査方法と非破壊調査方法を実施し、従来調査法による変状、含有塩分量、中性化深さ等の調査結果に対して、電気化学的調査方法や超音波によるコンクリート伝播速度等の非破壊調査方法がどこまでコンクリートの劣化状態を検知できるか確認することを主目的として行った。対象橋梁は、山陰地域、山陽地域でそれぞれ2橋ずつ、計4橋であり、橋種は、RCT桁、プレテンT桁、ポステンT桁である。以下に調査結果を報告する。

2.塩害調査概要

本調査は、調査対象橋梁に対して表-1 に示す従来調査方法と非破壊調査方法を各橋梁で3箇所ずつ（ランクⅠ、ランクⅡ、ランクⅢ）調査している。ここに、ランクⅠは健全部、ランクⅡはひび割れ部、ランクⅢは剥離・鉄筋露出部を表すものである。そして、損傷度は表-2～表-5^{1) 2) 3)} を使用して評価した。ここに示す損傷度は、Ⅰ：鋼材が腐食していると考えてよい状態、Ⅱ：鋼材が腐食している可能性が高い、Ⅲ：鋼材の腐食がはじまっていると考えてよい状態、Ⅳ：健全な状態を示すものである。

3.調査結果および現状評価

調査結果は、表-6 のとおりである。表-6 によれば、コンクリート表面の損傷状態は、調査箇所選定時のラ

表-1 調査方法一覧表

従来調査方法	非破壊調査方法
①目視による変状調査	①レーダによるかぶり深さ
②打音法による浮き、膨れ調査	②コンクリート表面の含水率
③鉄筋はつり調査、中性化深さ	③コンクリートの伝播速度
④小径コア採取りによる含有塩分量、 中性化深さ、水セメント比の推定	④自然電位
⑤ガーゼ法による付着塩分量	⑤分極抵抗（交流法）
	⑥コンクリートの抵抗率

表-2 損傷度の判定¹⁾

調査方法	自然電位 E(mV)	分極抵抗法 (直流法) Rp(kΩ・cm ²)	全塩化物質 Cl(kg/m ³)	中性化深さ ⁽¹⁾ Xc	ひびわれ深さ ^{(1) (2)} d
Ⅰ	-350≧E	Rp≦40	Cl≧2.5	Xc≧かぶり	—
Ⅱ	-250≧E>-350		2.5>Cl≧1.2 ただし かぶり≦40mm	かぶり>Xc≧1.2かぶり ただし かぶり≦40mm	d≧かぶり
Ⅲ	-150≧E>-250	40<Rp≦60	1.2>Cl≧0.3	かぶり>Xc≧1/2かぶり ただし かぶり≦40mm	かぶり>d≧1/2かぶり
Ⅳ	E>-150	Rp>60	0.3>Cl	1/2かぶり>Xc	1/2かぶり>d

注) (1) : これらの値は、鉄筋のかぶりとの相対値で決めるためこのような表現とした。
(2) : ひび割れ深さに関する指標は、過剰な塩害環境(表3のA区分)にのみ用いる。

表-3 地域区分¹⁾

地域区分	地域
A	海上部および海岸線から100mまでの地域、沖縄県および融雪剤（塩化カルシウム）が散布される地域
B	A以外の地域のうち、海岸線から100m～500mの地域
C	A,B以外の地域

表-4 分極抵抗（交流法）の判定基準²⁾

損傷度	分極抵抗測定値 Rct (kΩ・cm ²)	腐食速度推定値			腐食速度の判定
		腐食電流密度 Icorr (μA/cm ²)	腐食損失量 (mg/cm ² /年)	浸食速度 (浸食深さ) PDY (mm/年)	
Ⅰ	26未満	1より大	9.1より大	0.0116より大	激しい、高い腐食速度
Ⅱ	26以上52未満	0.5以上1以下	4.6以上9.1以下	0.0058以上0.0116以下	中～高程度の腐食速度
Ⅲ	52以上130以下	0.2以上0.5未満	1.8以上4.6未満	0.0023以上0.0058未満	低～中程度の腐食速度
Ⅳ	130より大	0.2未満	1.8未満	0.0023未満	不動態状態（腐食なし）または極めて低い腐食速度

表-5 コンクリート比抵抗の判定基準³⁾

損傷度	Cavalier and Vassie		Taylor Woodrow Res.Lab.		武若および小林	
	比抵抗の範囲	腐食性	比抵抗の範囲	腐食性	比抵抗の範囲	腐食性
Ⅰ	<5,000	確実	<5,000	非常に大	<5,000	大きい
Ⅱ	5,000～12,000	危険性あり	5,000～10,000	大きい	5,000～10,000	不確定
Ⅲ			10,000～20,000	小さい		
Ⅳ	>12,000	微候なし	>20,000	なし	>10,000	小さい

注) 測定方法はいずれも4点電極法（Wenner法）による。（単位：Ω・cm）

※着色色部は判定に使用した指標を示す。

ンク付けのとおりであるが、非破壊調査の自然電位においては、-250mVvsCSE 以下の電位がほとんどの箇所で確認されているが、その他の分極抵抗、コンクリート抵抗率の結果はばらつきの大きいものとなっている。次に、従来調査方法によれば、山陰地域と山陽地域で顕著な違いが確認され、山陰地方では、コンクリート表面の付着塩分量が山陽地方の約 10 倍以上確認され、鉄筋位置での含有塩分量も $1.2\text{kg}/\text{m}^3$ 以上が確認された。また、山陽地方では、付着塩分量及び鉄筋位置の含有塩分量は少ないが、中性化深さは大きいという結果が得られた。この他、コンクリートの伝播特性では、一般的に言われる健全な状態のコンクリートの伝播速度 $4000\sim 4500\text{m/s}$ に対し、表-6 のような結果が得られた。この結果を表-2～表-5 の評価指標により評価した場合、ばらつきが大きく一律な評価を行うことはできなかった。これは、それぞれの調査方法で設定されている評価基準であるため、異なる調査方法での横並びというものが行われていないためである。そこで、今回の評価では、すべての調査のうち、最も厳しい評価をしたものを評価の代表値とすることとした。そして、今回の調査を通じて、従来調査方法と電気化学的調査方法のうち自然電位による評価が良く一

致していることが理解できた。また、その他電気化学的な調査方法に関しては、損傷箇所、腐食環境を特定するには有効な調査方法であり、コンクリート伝播特性は、コンクリートの性状を把握するのに有効であることが理解できた。

4.まとめ

本調査により、含有塩分量などの定量的な評価は、従来調査法以外には現状では考えられないが、劣化レベルや劣化範囲の特定には、非破壊試験方法が有効であることが明らかとなった。また、現在個別に提案されている評価基準もこのような同一サンプルに対する調査結果が蓄積さえることにより、一律な評価が可能となると考える。

【参考文献】

- 1) 建設省土木研究所材料施工部コンクリート研究室、日本構造物診断技術協会：コンクリート構造物の健全度診断技術の開発に関する共同研究報告ーコンクリート構造物の健全度診断マニュアル（案）ー，平成 10 年 3 月。
- 2) 横田 優：検査機器，携帯型鉄筋腐食診断装置 S R I -CMーII の開発，検査技術，2001.3.
- 3) 社団法人日本コンクリート工業会：コンクリート診断技術 '01，2000.1.

表-6 調査結果一覧表

検 査 名	山 陰 地 方						山 陽 地 方					
	宮 島 橋			長 和 瀬 大 橋			矢 野 川 橋			神 代 橋		
観 査 ヶ 所	ランクⅠ	ランクⅡ	ランクⅢ	ランクⅠ	ランクⅡ	ランクⅢ	ランクⅠ	ランクⅡ	ランクⅢ	ランクⅠ	ランクⅡ	ランクⅢ
目視によるランク付け	進展期	進展期	進展期	加速期前期	加速期前期	加速期前期	加速期後期	加速期前期	加速期前期	進展期	進展期	潜伏期
a)電位形極の変化												
①ひび割れ	なし	なし	なし	なし	なし	なし	あり	あり	あり	なし	なし	なし
②コンクリート表面変化	顕著	微小	微小	顕著	顕著	顕著	顕著	軽微	なし	顕著	顕著	なし
③はくり	なし	あり*	なし	なし	あり*	あり*	あり	なし	なし	なし	なし	なし
④鉄筋露出	なし	あり*	なし	なし	あり*	あり*	あり	なし	なし	なし	なし	なし
b)電気化学的挙動												
自然電位によるランク付け	損傷度Ⅰ	損傷度Ⅰ	損傷度Ⅱ	損傷度Ⅰ	損傷度Ⅱ	損傷度Ⅱ	損傷度Ⅱ	損傷度Ⅱ	損傷度Ⅱ	損傷度Ⅱ	損傷度Ⅰ	損傷度Ⅳ
①自然電位 min (mV vs CSE)	-441.6	-372.2	-267	-367.1	-332.6	-254.8	-255	-339.6	-258.4	-270.3	-464.4	-63.3
分極抵抗によるランク付け	損傷度Ⅰ	損傷度Ⅰ	損傷度Ⅳ	損傷度Ⅰ	損傷度Ⅲ	損傷度Ⅲ	損傷度Ⅳ	損傷度Ⅳ	損傷度Ⅳ	損傷度Ⅳ	損傷度Ⅲ	損傷度Ⅳ
①分極抵抗 min ($k\Omega \cdot cm^2$)	10.1	26未満	217	26未満	68.7	112	198	168	273	235	53.1	207
コンクリート抵抗率によるランク付け	損傷度Ⅲ	損傷度Ⅳ	損傷度Ⅳ	損傷度Ⅳ	損傷度Ⅳ	損傷度Ⅳ	損傷度Ⅳ	損傷度Ⅲ	損傷度Ⅳ	損傷度Ⅳ	損傷度Ⅲ	損傷度Ⅳ
①コンクリート抵抗率 (F/R) ($10^{-4} \Omega \cdot cm$)	11.2	44.9	36.4	53.2	62	41.5	28.5	13.5	30.5	22.2	14.4	61.5
c)塩化物濃度分布	損傷度Ⅰ	損傷度Ⅱ	損傷度Ⅰ	損傷度Ⅱ	損傷度Ⅱ	損傷度Ⅰ	損傷度Ⅲ	損傷度Ⅳ	損傷度Ⅳ	損傷度Ⅲ	損傷度Ⅲ	損傷度Ⅳ
①かぶり (mm)	22	27	22	23	21	22	12	25	24	32	31	38
②鉄筋調査 (1m×1m部)	主鉄筋			—			表面に点錆			健全		
	配筋筋			健全			表面に点錆			健全		
③含有塩分量 (鉄筋位置) (kg/m^3)	4.41	1.72	6.92	1.61	2.1	3.22	0.37	0.29	0.22	1.19	1.61	0.11
④飛来塩分量 (mm) (統計資料から)	4.136	4.136	1.136	4.136	4.136	1.136	0.743	0.713	0.743	7.766	7.766	7.766
⑤付着塩分量 (mg)	53	23	49	27	8.7	15	0.94	1.2	1.6	2.7	1.8	1.9
d)コンクリートの伝播特性												
①伝播速度 (m/s)	標準部			1860			4012			4162		
	低湿部			4650～4390			3720～3290			2709～1853		
②中性化によるランク付け	損傷度Ⅳ	損傷度Ⅳ	損傷度Ⅳ	損傷度Ⅳ	損傷度Ⅳ	損傷度Ⅳ	損傷度Ⅲ	損傷度Ⅰ	損傷度Ⅰ	損傷度Ⅳ	損傷度Ⅳ	損傷度Ⅳ
e)中性化												
①中性化深度 (mm)	5.6	0	4.1	1.5	4.6	0.4	21.9	26	38.6	4.9	8.6	10.8

* : ① ③ ⑤ 調査点の叩き調査により叩き落とされた箇所