

国鉄 横越 正会員 佐藤 勉

1. はじめに

コンクリート構造物の補修を検討する場合、構造物の劣化状態を判断して、適切な処置を講じる必要がある。しかし、この場合、構造物の劣化状態を判断する方法として、客観的な方法によることが難しいため、一般には技術者の判断によっているのが現状である。

本研究は、コンクリート構造物のひびわれ補修の限界を定める方法として、既存のコンクリート橋のひびわれかぶり、経年号とコンクリート中の鉄筋の腐食状態を調査し、鉄筋の腐食に及ぼす各要因の寄与度を求め、経年に応じた補修を検討を要する各要因の限界を定めることを目的としたものである。また、鉄道橋において、列車荷重・荷重時のひびわれ幅の増加量を測定しており、その測定結果についても述べるものとする。

2. 調査及び分析方法

鉄筋の腐食に及ぼす各要因の分析を行うため、鉄筋コンクリート橋（鉄道橋）の調査を実施した。調査橋梁は29橋で、うち丁形断面単純桁23橋、箱形断面単純桁4橋、ラーメン高架橋2橋である。調査項目及び方法は、表-1に示すとおりである。

鉄筋の腐食状況は、ひびわれ発生位置においてコンクリートを研り、目視により観察し、その腐食程度を表-1に示すⅠ～Ⅳのランクに従って分類している。鉄筋の腐食に関する分析では、表-1の4ランクに分類したもののうち、Ⅰ及びⅡを「錆びていない」、Ⅲ及びⅣを「錆びている」として2群に分け、判別分析を行った。なお、判別分析に用いる変数は、表-1中の鉄筋の腐食に影響の大きいと想定されるひびわれ幅（ w ）、かぶり（ c ）、コンクリート中性化深さ（ Y ）の3要因とした。また、分析は部材（はり、スラブ）と経年により表-2に示す3ケースについて各々100個のデータを使用して行った。各分析に用いたデータの範囲は、表-2に示すとおりである。

表-1 調査項目及び方法

調 査 項 目	調 査 位 置 及 び 方 法
ひびわれ分布 ひびわれ長 ひびわれ幅	桁スパンの 1/2, 1/4 点における下縁及び腹部のひびわれ（巾0.05mm以上）を対象
コンクリート中性化深さ	桁下縁での最大ひびわれ部を対象（フェノールフタレイン1%溶液を使用）
鉄筋のかぶり	中性化測定位置において、主鉄筋・スタースラップのかぶり
鉄筋の腐食状況	中性化測定位置において、鉄筋の発錆状況を目視により観察し、その程度をⅠ～Ⅳに分類 Ⅰ …… 発錆がない Ⅱ …… 斑点又は部分的な赤錆がある Ⅲ …… 全体に赤錆がある Ⅳ …… 黒錆又は浮き錆で断面欠損がある

3. 分析結果及び考察

判別分析結果を表-3、4に示す。分析は、3変数（ひびわれ幅、かぶり、コンクリート中性化深さ）を表-3に示す4通りの組合せについて計算を行っている。得られた判別関数は、 $Z > 0$ で「錆びていない」、 $Z < 0$ で「錆びている」として判別されるものである。また、表-4は、2群の判別効率（Mahalanobis D^2 ）を示したものである。表-3、4より、次の事柄が考察できる。

(1) 経年10～40年の比較的新しい橋梁においては、ひびわれ幅（ w ）と鉄筋のかぶり（ c ）が鉄筋の腐食に大きく関与する。（ F 値より、十分判別関数がある）と判断できる。なお、表-4は危険率1%水準の F 値を示している。）

(2) 経年40～60年の橋梁においては、はり・スラブの両

表-2 統計処理に用いたデータの範囲

部材及び 経年	橋梁数	データ数	ひびわれ幅 mm	かぶり mm	中性化深さ mm
はり 10～40年	24橋	100	0～2.4	8～110	0～56
はり 40～60年	5	100	0～2.0	8～63	0～65
スラブ 40～60年	5	100	0～0.9	7～102	14～66

⑤とも、かぶり(C)と中性化深さ(Y)の組合せでのF値が高く、
 経年したコンクリートの中性化が
 鉄筋の腐食に影響を与えるものと思
 われる。

表-3 分析結果 (判別関数 B・F値)

変数	はり 10~40年		はり 40~60年		スラブ 40~60年	
	判別関数	F値	判別関数	F値	判別関数	F値
W C Y	$Z = -0.12W + 0.00073C + 0.00026Y - 0.016$	23.30	$Z = -0.0027W + 0.00052C - 0.00051Y - 0.012$	5.92	$Z = -0.028W + 0.00072C - 0.0011Y + 0.0022$	7.43
W C	$Z = -0.11W + 0.00072C - 0.015$ ①式	23.92	$Z = -0.0028W + 0.00051C - 0.022$ ②式	4.77	$Z = -0.044W + 0.00038C - 0.0084$	5.79
W Y	$Z = -0.009W + 0.00028Y + 0.0047$	3.63	$Z = -0.0043W - 0.00051Y + 0.011$	4.48	$Z = -0.043W - 0.00016Y + 0.013$	3.97
C Y	$Z = 0.0003C + 0.00004Y - 0.022$	25.04	$Z = 0.0004C - 0.0002Y - 0.011$ ③式	8.83	$Z = 0.00018C - 0.0002Y - 0.0012$ ④式	10.11

③)分析したケースとも、ひびわれ幅(W)と中性化深さ(Y)の組合せのF値が最も小さく、かぶり(C)を含んで分析すれば有効であるから、腐食の進行にかぶりが大きな影響をもつものと思われる。

表-4 F検定 (1%)

3変数	$F(3.97; 0.01) = 3.99$
2変数	$F(2.98; 0.01) = 4.83$

4. 最小かぶり

鉄筋のかぶりが、鉄筋の腐食に最も影響を与えることを分析結果から知ることができ、表-3中の①式、②式において、ひびわれ幅(W)を0とした場合の判別関数 $Z=0$ とするかぶり (C_{min}) は、

経年10~40年 はり ①式より $0.00072C_{min} = 0.015$ $C_{min} \div 20\text{mm}$
 経年40~60年 はり ②式より $0.00051C_{min} = 0.022$ $C_{min} \div 45\text{mm}$
 となり、耐用年数の長い構造物にあっては、かぶりを十分確保する必要があることが分析結果から知ることができる。

表-5 Z判別関数率 (D%)

変数	はり 10~40年	はり 40~60年	スラブ 40~60年
W C Y	2.90	0.79	1.45
W C	2.78	0.42	0.74
W Y	0.20	0.39	0.43
C Y	2.08	0.78	1.30

5. ひびわれ幅の制限

表-3中の判別関数において、F値の最も高い①式において、 $Z=0$ とすると、経年10~40年のはりにおけるひびわれ幅の制限値 (W_{lim}) は、

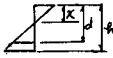
経年10~40年 はり ①式より $W_{lim} \div 0.0065C - 0.14$ として、かぶり(C)の関数として表わすことができる。

表-6 列車荷重によるひびわれ幅の増加量

No.	実測ひびわれ幅 死荷重時	実測ひびわれ幅 列車荷重時	E_s	l_s	$\frac{E_s}{d \cdot X}$	計算値 W_{cal}
1	0.30 (mm)	0.019 (mm)	72 (kN)	20 (cm)	1.15	0.017 (mm)
2	0.36	0.028	100	30	1.07	0.032
3	0.30	0.021	86	20	1.07	0.018

6. コンクリートの中性化深さの制限

表-3中の経年40~60年のはり・スラブの判別関数において、F値の高い③式、④式で、 $Z=0$ とすると、コンクリートの中性化深さの制限値 (Y_{lim}) は、経年40~60年 はり ③式より $Y_{lim} \div C - 20$ 、スラブ ④式より $Y_{lim} \div C$ として、かぶり(C)の関数として表わすことができる。

補正ひびわれ; $W_{cal} = E_s l_s \frac{d-X}{d \cdot X}$


7. 列車荷重によるひびわれ幅の増加

表-6に鉄道橋3連について、実測した列車荷重載荷時のひびわれ幅の増加量と実測鉄筋ひずみの増加量より計算したひびわれ幅の増加量の計算値 (W_{cal}) を示す。表-6より、計算値と実測値はほぼ一致しており、列車荷重によるひびわれ幅の増加量は、鉄筋ひずみの増加量 (E_s) にひびわれ肉隔 (l_s) を乗じることによって表わすことができるものと思われる。また、今回の測定値より、鉄道橋において死荷重時のひびわれ幅に対し、約10%以下のひびわれ幅の増加量であるため、列車荷重によるひびわれが耐久性に与える影響は少ないものと考えられる。

8. おわりに

ひびわれ性状及び鉄筋の腐食に関して調査資料を主として分析を試みたが、耐久的な構造物の設計・維持には、耐用年数に応じたかぶりの検討を行うこと、また、ひびわれ幅やコンクリートの中性化率についても構造物の設計・補修の検討に際しての判断基準として、今回の分析結果を利用できるものと考えられる。

最後に、本研究に対して昭和59年度 当田研究奨励金が授与されたことを深く感謝いたします。