

論文

[1084] 寒冷地の既設 RC 橋梁構造物の劣化度調査

正会員○斎藤俊樹（東日本旅客鉄道株式会社東北工事事務所）

正会員 石橋忠良（東日本旅客鉄道株式会社東北工事事務所）

米内昭夫（東日本旅客鉄道株式会社東北工事事務所）

1. はじめに

RC 構造物の劣化現象というものが近年大きく取り上げられていることから、RC 構造物の劣化現象についても様々な研究がなされている。しかし、実土木構造物の劣化の系統的な調査についての報告は少ないのが現状である。本論文においては、寒冷地における既設の RC 鉄道橋梁構造物の劣化度調査を報告する。

2. 経年 RC 橋梁構造物の調査概要

今回の調査の対象とした構造物は、東北地区南部にある鉄道線区の RC 橋梁構造物である。調査は昭和63年に実施した。調査はほぼ全構造物を対象とする概略調査と一部を対象とする詳細調査に大別される。概略調査については目視による変状の種類、程度のおよその判定及び設計図書類の資料調査を行った。詳細調査につ

いては、構造物の部位別の劣化の状況、鉄筋かぶり厚及び腐食状況調査、中性化深さ、シュミットハンマーによるコンクリート強度調査である。鉄筋についてははつて調査した。鉄筋の腐食状況については目視による段階表示（表-1）に従って分類を行った。コンクリートの中性化深さは、フェノー

表-1 腐食状況の段階表示

程度	鉄筋の状況
A	錆が、ほとんど認められない。
B	部分的に点食を認める。
C	大部分が赤錆に覆われている。
D	亀裂、打継ぎなどに局所的な断面欠損あり。
E	層状の錆の膨張力により、かぶりコンクリートを持上げる。

ルフトレイン1% はつり及び鉄筋の測定位置
アルコール溶液を噴霧し、はつり箇所1箇所につき4箇所測定した値の平均値とした。この線区は寒冷地にあり凍害の影響が大きい。桁の部位による劣化状況の差異をみるため調査部位を図-1に示す位置とした。

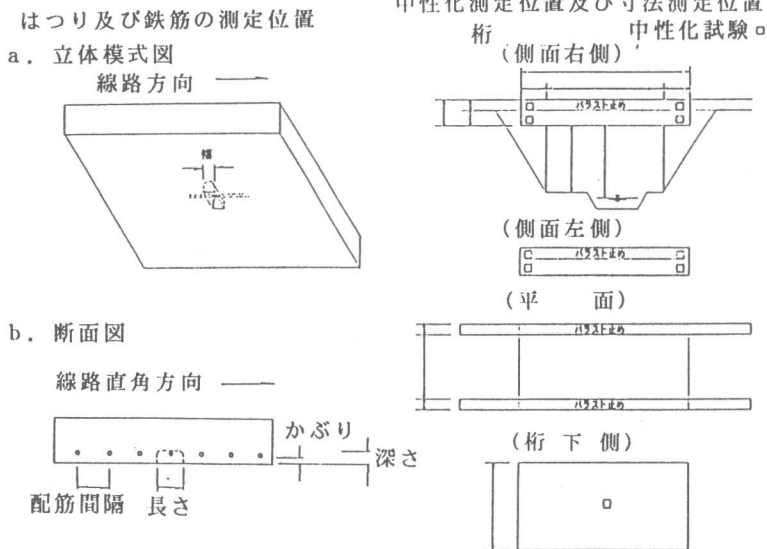


図-1 桁の調査部位

3. 概略調査

当線区のRC構造物は桁で179箇所、橋台・橋脚で94箇所の273箇所である。建設年度別の数量を表-2に、また桁については構造形式、支間別の数量を表-3、4に示す。

表-2 建設年度別数量

	M31 ~ M40	M41 ~ T5	T6 ~ T15	S1 ~ S10	S11 ~ S20	S21 ~ S30	S31 ~ S40	S41 ~ S50	S51 ~ S62	合計
けた	9 (0)	0 (0)	11 (3)	5 (2)	18 (16)	7 (1)	12 (3)	103 (4)	14 (0)	179 (29)
橋台 橋脚	29 (2)	2 (0)	3 (0)	1 (0)	1 (0)	0 (0)	12 (2)	44 (1)	2 (0)	94 (5)
計	38 (2)	2 (0)	14 (3)	6 (2)	19 (16)	7 (1)	24 (5)	147 (5)	16 (0)	273 (34)

表-2に昭和41~50年の数量が多いのは当時、複線化工事が進められたためである。また、明治40年以前の数量については無筋コンクリートあるいはレンガ造を含んでいる。PC構造物についてはすべて昭和41年以降の複線

表-3 桁種別数量 (箇所)

RC単純桁	RCラーメン	PC桁	その他	合計
86 (27)	69 (2)	7 (0)	17 (0)	179 (29)

表-4 桁支間別数量 (箇所)

3m未満	3~5m	5~10m	10m以上	合計
108 (22)	39 (5)	19 (2)	13 (0)	179 (29)

() は詳細調査箇所数である

化工事の際に建設されたものである。外観調査による変状程度の割合について図-2に示す。また、凍害との関連性を見るため標高250m以上にある橋梁を山間部とし、それ以外を平地部として同様に示す。その際に構造物が大量につくられた昭和41年以降と以前を区分して表した。この表からは次のことが分かる。

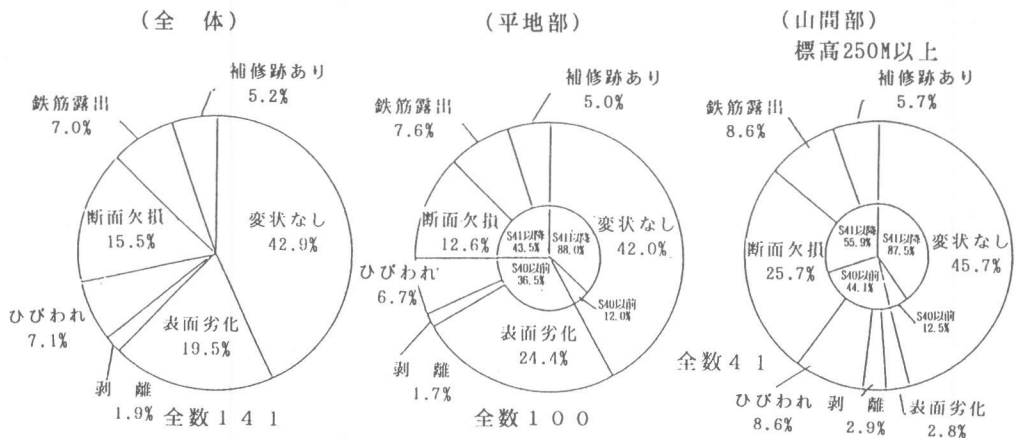


図2 外観調査による変状程度の割合

(1) 全体の6割がなんらかの形で変状を示している。変状の状態である表面劣化、剝離、ひびわれ、断面欠損、鉄筋露出の原因はほとんど凍害によるものと考えられる。変状は時系列的には表面劣化、剝離・ひびわれ、断面欠損、鉄筋露出の順で進んでいくと考えられる。

(2) 凍害の指標として標高で区分して見た結果、変状の割合では平地部と山間部ではあまり違いはない。しかし、変状の内訳をみた場合山間部の変状の程度が断面欠損の割合が多いことなど劣化が進んでいることがわかる。変状の割合があまり変わらない原因として山間部の構造物が昭和40年以降の比較的新しいものが多いことが考えられる。

(3) 建設年度で区分して見た場合、昭和40年以前では変状のある構造物の数量は変状のないものに対して山間部及び平地部とも4～5倍程度で大差ない。一方、昭和40年以降の新しい構造物に着目した場合、変状を示す構造物の割合が山間部の方が多いことがわかる。(2)とあわせて考えると標高が

高いほうが凍害による劣化がより早く進行すると思われることができる。

図-3に変状の程度を3段階に区分して建設年度別の変状の比率を示す。経年とともに変状の程度が進んでいくことがわかる。

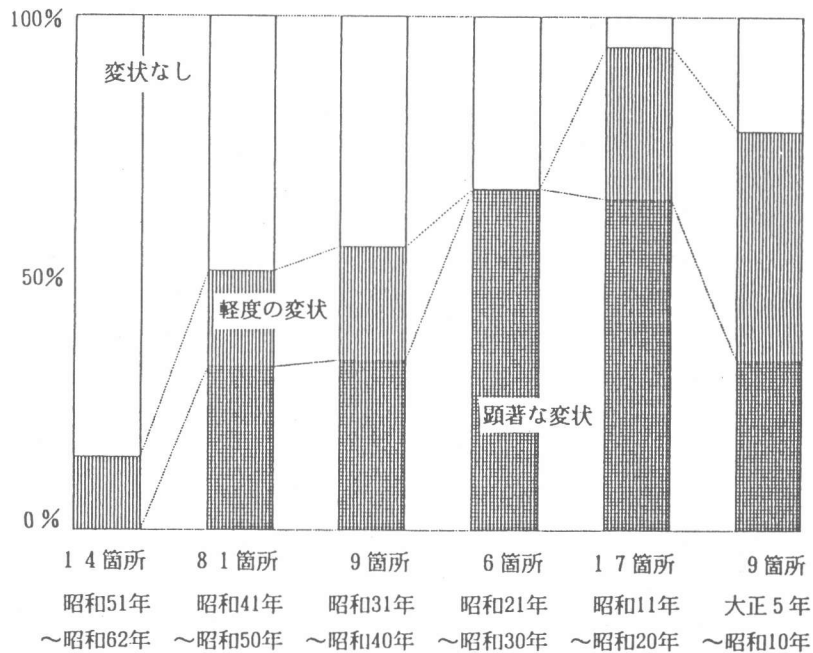


図-3 経年と変状比率

4. 詳細調査結果

詳細調査の対象としては最も典型的なスラブ桁タイプを中心として選定した。30箇所の桁を対象に調査した。以下、各調査項目毎の調査結果を示す。

(1) 部位別の劣化状況

調査した桁は建設後ほとんど数十年経過しているため何らかの変状をしめしている。桁側面については凍害によるコンクリート表面の劣化、剝離、はなはだしいものは鉄筋が露出しているものも見られた。桁側面の中でも上部の隅角部、下部では排水のたまりやすい橋台と接する部位、桁の下部の隅角部の劣化が著しい。一方、桁下面については凍害による劣化はみられないが、橋軸方向のクラック、あるいはクラックに伴う漏水がみられるものもある。また、一部の桁ではコンクリートの剝離、鉄筋のかぶり薄いところは鉄筋の腐食が見られる。標高との関係では、標高の高いところほど桁側面のコンクリートの剝離が多いようである。

(2) 鉄筋調査

今回の鉄筋の調査箇所は桁下面中央に限定した。その理由として比較しやすいこと及び桁裏の主鉄筋が耐荷力という点では最も重要だからである。鉄筋かぶりの設計値は建設年度の古い桁については明らかではないが、純かぶりで概ね30mm程度と考えられる。なお、鉄筋調査箇所では同時に中性化深さを測定している。調査結果については図-4に示す。かぶりは平均値こそ約30mmであるが最大

60mm最小10mmと非常にばらつきが大きい。鉄筋の腐食状況については健全なものが多く、腐食が見られるものについてもその程度は最も軽度な段階である。鉄筋調査箇所の中性化は平均で9mm程度である。いくつかの桁において数十mm程度進行したのも見られるが、ほとんどは10mm以下におさまっている。中性化深さの進行と鉄筋の腐食との関係について図-5に示す。中性化が鉄筋位置に達したものは腐食していることがわかる。全体としては建設後50年以上たつ構造物を含むわりに中性化の進行もあまり急速でなく鉄筋腐食はあまり進まず健全な状態にあると言える。

(3) 中性化深さ

中性化深さについては桁の両側面4箇所ずつ8箇所と桁下面の1箇所計9箇所測定している。桁側面の測定データが上部4箇所、下部4箇所が同一の桁ではだいたい同じ値を示すので、けた下面、桁側面上部、桁側面下部の3ブロックにわけて集計をおこなった。ブロック毎の中性化深さは桁下面で9mm、桁側面上部で4.8mm、桁側面下部で1.8mmであり部位によって明確な差が現れている。同一のコンクリートで部位毎に中性化の進行が異なるのは環境条件の影響によるものと考えられる。桁の側面は雨水の影響を直接受けまた日照も直接受けることから凍結融解の繰り返しが多く、桁下面と比べた場合、コンクリート表面の劣化、剥離が著しい。さらに同じ側面でも上部のほうがより水がたまり易いことから、劣化の程度は一般に大きい。従って桁側面におけ

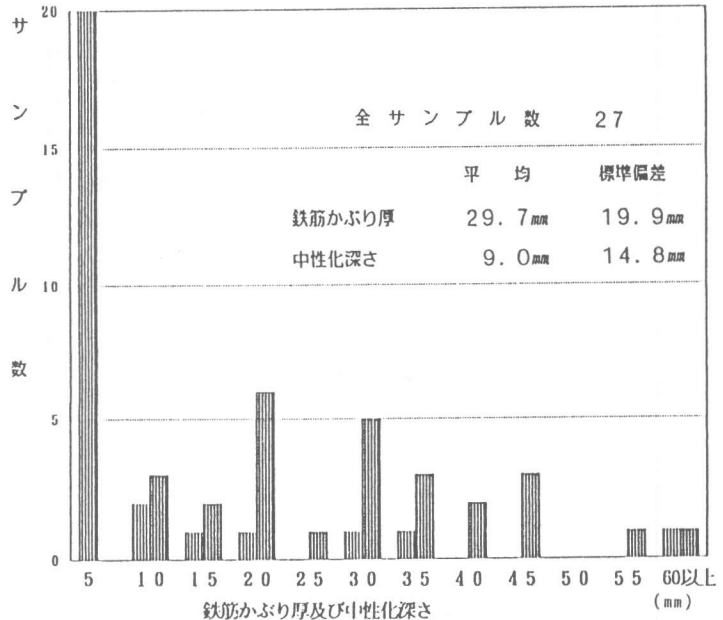


図-4 鉄筋かぶり厚、中性化深さ

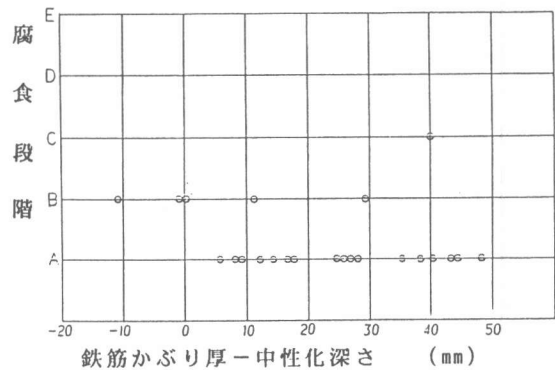


図-5 中性化深さ、鉄筋かぶりと腐食段階

る中性化深さの差は表面の劣化度合いの程度の差を示していると考えられる。一方、凍結融解の影響を比較的受けない桁下面については、コンクリート表面は極めて健全であるので中性化が進む原因としては桁側面にくらべ常に乾燥していることが考えられる。特に調査箇所が中央部であるのでその影響は顕著であると考えられる。

さらに、昭和12～14年に建設された桁に限定すると桁下面で11.8mm、桁側面上部で6.3mm、桁側面下部で2.1mmである。この値を基に中性化速度についての白山式¹⁾を適用する。

$$t = \alpha \beta \gamma \delta \varepsilon 5000 C^2 / (x - 38)^2$$

ここに t : Cまで中性化する期間

x : 水セメント比 (%)

C : 中性化深さ (cm)

α 、 β 、 γ 、 δ 、 ε : 係数

骨材・混和剤による係数 $\alpha = 1$ 、セメントによる係数 $\beta = 1$ 、施工程度による係数 $\gamma = 1$ 、仕上げによる係数 $\delta = 1$ (仕上げなし)、室内外などによる係数 $\varepsilon = 1.3$ (地方) とする。

当時のコンクリートの配合については資料がないので水セメント比を55%と仮定すると調査時点での中性化深さは15.1mmと計算される。また、水セメント比を50%と仮定すると調査時点での中性化深さは10.7mmと計算される。この値と比較すると桁下面は概ね近い値であるが他の部位については全般に中性化の進行が遅いと考えられる。この速度比を室内外などによる係数 ε で補正するとすれば最も中性化の遅い桁側面下部で $\varepsilon = 30$ 程度、凍結融解の影響を大きく受ける桁側面上部で $\varepsilon = 5$ 程度の値となる。

(4) シュミットハンマーによるコンクリート強度

シュミットハンマーによるコンクリート強度についても中性化深さと同様に3ブロックに分けて集計をおこなった。尚、シュミットハンマーによる測定値は日本材料学会の式によってコンクリートの圧縮強度に換算した。ブロック毎の圧縮強度は桁下面 486kgf/cm²、桁側面上部で 319kgf/cm²、桁側面下部で 360kgf/cm²であり中性化深さと同じく部位による差が明確である。尚、桁下面における強度はシュミットハンマーの打点方向が鉛直上方となるので、その影響について補正を行った値である。圧縮強度の部位による差は凍結融解による劣化の差をそのままあらわしていると考えられる。圧縮強度の頻度をブロック別にあらわしたものを図-6に示す。

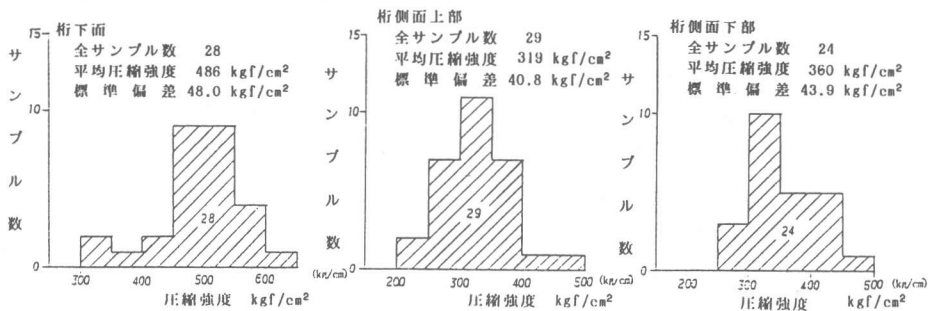


図-6 シュミットハンマーによる圧縮強度

(5) 経年の差による影響

(3) (4) から部位を限定して比較すれば中性化深さ、あるいはシュミットハンマーによるコンクリート強度でその桁の劣化の度合を評価することができそうである。部位別の中性化深さと経年について図-7に示す。はっきりはしていないが部位別に比較すると経年とともに中性化が進行する傾向が同

われるが経年以外の要素によるばらつきが大きい。平均的には(3)で述べたように桁下面の中性化速度を1とすれば桁側面上部で0.5、桁側面下部で0.2~0.3程度である。ばらつく原因として、現実には桁ごとに材料、施工条件がことなるためと考えられる。

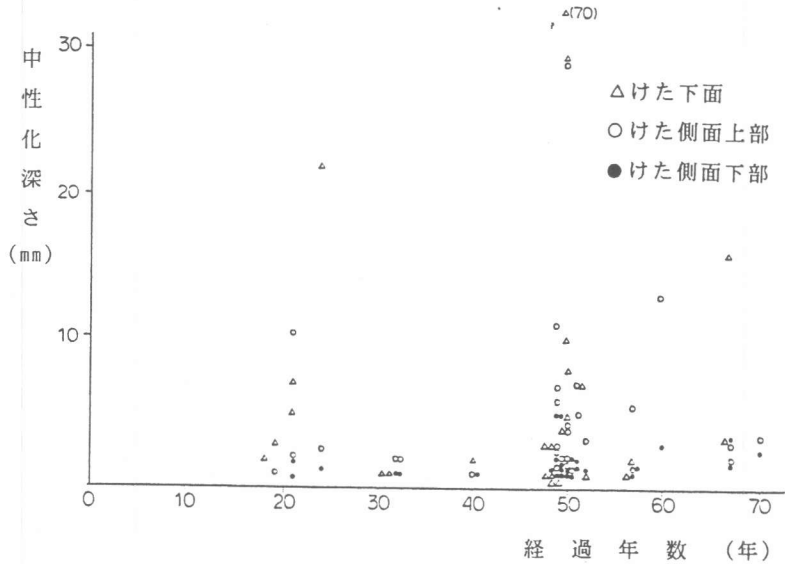


図7 経過年数と中性化深さ

4. 考察

概略調査結果及び詳細調査結果をまとめると。

- (1) 東南北部の当線区のRC構造物の主たる変状の原因は凍害であること。
- (2) 同じ地域でも変状の程度は標高の高い構造物程著しいこと。
- (3) 凍害の影響を大きく受けるのは主として桁側面である。下面については凍害による変状は少ない。
- (4) 鉄筋のかぶりについてはばらつきが大きい。中性化が鉄筋位置に達している場合は鉄筋の腐食がみられる。
- (5) 中性化の進行は同じ桁でも雨水のかからない桁下面が最も早い。一方、桁側面は桁下面の半分以下しか中性化は進まない。同じ桁側面では凍害による劣化の進んでいる部位の方が中性化は進んでいる。中性化の速度式を適用する場合、例えば白山式を用いる場合は桁の部位によって ϵ を補正する必要がある。桁側面下部については ϵ を30程度、凍害の影響の大きい桁側面下部については ϵ を5程度とればよいと考えられる。
- (6) シュミットハンマーの測定値から桁側面のほうが桁下面にくらべ強度が小さいのは凍害による劣化の影響と考えられる。

(参考文献)

[1] 日本建築学会：コンクリートの調合設計・調合管理・品質検査指針案・同解説p82-6, 1987