

# 技術的特色をもつ プレストレストコンクリート鉄道橋の耐久性評価

宮本征夫

フェロー 博士(工学) 鉄建建設株式会社エンジニアリング本部(〒101-8366 東京都千代田区三崎町 2-5-3)

わが国のPC鉄道橋の歴史は、1954年に建設された旧国鉄信楽線(現信楽高原鉄道)第1大戸川橋梁に始まり、以来、線増、河川改修、都市内の鉄道立体交差、新幹線等のプロジェクトにおいて新技術に挑戦した建設が続きつぎと行われ今日に至っている。本論文は、今後ますます重要となってくる構造物の耐久性に着目し、これまでに建設された技術的特色を有するPC鉄道橋のうち、供用期間が20年以上の28橋梁を選び耐久性を評価したものである。28橋梁の目視観察結果をもとに、変状の種類、進行状態、補修の有無に基づく健全度ポイントという指標を用いて各橋梁の健全度を評価した。実橋梁の耐久性指標としての健全度ポイントは、土木学会の「コンクリート構造物の耐久設計指針(案)」による評価と概ね一致することが分かった。

**Key Words** : prestressed concrete, railway bridge, evaluation of durability, durability design, deterioration, repair and reinforcement

## 1. まえがき

プレストレストコンクリート鉄道橋(以下PC鉄道橋という)の耐久性評価が必要になるのは、新たにPC鉄道橋を設計する場合と既設PC鉄道橋の補修補強等の改良を行う場合に大別される。

現行の新設PC鉄道橋の設計における耐久性の検討は、耐久性全体に関する特別な検討調査を行なうのではなく、使用限界状態におけるひび割れの検討、かぶり、鋼材配置、PC鋼材定着部保護等の構造細目のチェックを個別に実施することで行っている。

一方、既設のPC鉄道橋の耐久性評価は、維持管理を担当する現場機関が補修・補強の必要性を判断する場合に、対象構造物のその時点における部分的な健全度調査を行っているのが実態である。既設橋梁について、現場機関が実施している調査は、多くの場合、外観の目視観察あるいは列車走行時のたわみ測定を行って当面の補修または補強の必要時期、方法の判断をするものである。

すなわち、上述の2つのケースとも、PC鉄道橋の将来にわたる耐久性の評価に基づく設計はなされていない。この理由としては、実際に供用されたPC鉄道橋の長期耐久性についての総合的な調査検討がなされた実例が少なく、そのため耐久性評価を的確に行う手法が確立できていないこと、現状では耐久性評価が実務上厳しく求められていないことが考えられる。

本論文は、近い将来、PC鉄道橋の耐久性評価をよ

り的確に行う必要が出てくる社会情勢に鑑み、実橋データに基づいてPC鉄道橋の耐久性評価を試みたものである。調査対象として、構造・材料・施工等の観点から技術的特色をもつ橋梁として建設されたPC鉄道橋のうち20年以上供用した28橋梁を選択して、同一人の目により目視検査を行い、検査結果をもとに橋梁の耐久性について筆者の技術的判断に基づく評価を試みた。目視検査による評価結果は、現在、耐久性の評価法として土木学会から提案されている「コンクリート構造物の耐久設計指針(案)」<sup>1)</sup>に従って耐久指数を算定し、環境条件から算定される環境指数を考慮して推定される耐久性によって検証した。

なお、本論文は、平成10年12月に東京大学に提出した学位請求論文の一部をまとめたものである。

## 2. 調査の概要

### (1) 橋梁の選定

調査対象橋梁を表-1<sup>2)~3)</sup>に示す。選定にあたりつぎの条件を考慮した。

- 1) 耐久性を検討するため、概ね20年以上なるべく長い期間供用した橋梁。
- 2) 鉄道におけるPC橋梁の草創期の代表的な橋梁(または橋梁群)。
- 3) 構造形式、使用材料、施工方法等、技術的に特色を有する橋梁。

表-1 調査対象橋梁

No.	橋梁名	建設年	注) 経年	環境条件	技術的特色
1	D橋梁	1954	44	温暖地平地	初の本格的PC鉄道橋、単線単純T形桁
2	Y上り線橋梁	1959	39	寒冷地	初期の単線単純T形桁
3	O高架橋	1959	39	温暖地平地	単線並列単純T形桁、関西地区初の大量施工
4	O1橋梁	1960	38	温暖地海岸部	活線における大量施工、単線単純箱形桁
5	H橋梁	1961	37	寒冷地	初期の単線単純下路桁
6	K橋梁	1961	37	寒冷地	3径間連続箱形桁、場所打固定式支保工架設
7	W橋梁	1962	36	寒冷地山地	3径間連続箱形桁、場所打片持ち架設
8	N高架橋	1962	36	温暖地平地	単線並列単純T形桁、関東地区初の大量施工
9	新幹線Y橋梁	1963	35	温暖地平地	東海道新幹線唯一の3径間連続箱形桁、レオンハルト工法
10	T橋梁	1963	35	寒冷地山地	初期のPCラーメン橋
11	K架道橋	1965	33	温暖地平地	初の軽量コンクリート桁、単線並列単純I形桁
12	A1橋梁	1965	33	温暖地平地	初の複線単純下路桁、全24連
13	S橋梁	1967	31	温暖地平地	反力分散支承をもつ5径間連続箱形桁
14	Y下り線橋梁	1969	29	寒冷地	3径間連続箱形桁、プレキャストブロック片持ち架設
15	新幹線H橋梁	1970	28	温暖地平地	3径間・2径間連続箱形桁、場所打固定式支保工架設
16	新幹線A1橋梁	1970	28	温暖地平地	5径間連続箱形桁、場所打片持ち架設
17	新幹線K1橋梁	1971	27	温暖地平地	3径間連続箱形桁、プレキャストブロック片持ち架設
18	新幹線Y橋梁	1971	27	温暖地平地	2径間連続箱形桁4連、レオンハルト工法
19	新幹線A2橋梁	1973	25	温暖地平地	高強度コンクリートI形桁
20	新幹線K2橋梁	1973	25	温暖地平地	4径間連続箱形桁、場所打片持ち架設
21	新幹線I架道橋	1973	25	温暖地平地	新幹線唯一の下路ワーレントラス
22	新幹線O橋梁	1974	24	温暖地平地	7径間連続箱形桁、場所打片持ち架設
23	新幹線N架道橋	1974	24	温暖地平地	3径間連続箱形桁、山陽新幹線の最長支間PC橋
24	新幹線O架道橋	1976	22	寒冷地	最長支間の単純下路桁橋、VSL工法
25	O2橋梁	1973	25	寒冷地	初の上路ハウトラス
26	A2橋梁	1975	23	寒冷地海岸部	上路ハウトラス5連
27	M橋梁	1977	21	寒冷地山地	初の連続下路ワーレントラス
28	O3橋梁	1979	19	寒冷地	初のPC斜張橋

注) 建設後から1998年までの供用年数

4) 東海道新幹線以前の単純T(I)形桁の大量施工例として、関西地区からO高架橋、関東地区からN高架橋を選定する。

それぞれの橋梁が置かれる環境条件としては、温暖地平地が16、温暖地海岸部が1、寒冷地・山地が10、寒冷地海岸部が1であり、各種の環境条件の橋梁が含まれている。

## (2) 調査方法

調査は、雑誌、工事誌、国鉄部内で行われた土木工事施工研究会記録等の文献による建設時データ、現場機関における変状の記録、現地における目視検査および写真撮影によって行った。

文献については、各橋梁ともそれぞれ特色を有するためすべての橋梁について公表文献があるが、その内容については必ずしも十分とは言えないものが多かった。たとえば、セメントの種類、コンクリートの配合

等が正確に残されていないケースである。さらに、耐久性を評価する上で必要となる施工時の詳細な情報、コンクリートの打込み方法、養生日数等不明なものが多かった。

現場機関における記録としては、「建造物検査記録簿」を参考にした。なお、ここで取り上げた橋梁では、個別検査の対象となった橋梁が数橋に限定されていたため、大多数の橋梁について現場機関が個別検査を行ってまとめる「建造物変状調査」を参考とすることはできなかった。

今回筆者が行った目視検査は、保守機関が行っている全般検査の方法に準じている。すなわち、変状の有無の確認、変状進行状態の把握を同一人の目で行った。目視検査の項目はつぎのとおりである<sup>35)</sup>。

- 1) ひび割れの状態
- 2) コンクリートの剥落、豆板(じゃんか)の状態
- 3) 鉄筋、PC鋼材の露出状態

表-2 構造形式別変状現象数

	ひび割れ	剥落・豆板	変色・遊離石灰	鋼材露出	経年劣化・凍害	排水不良・漏水	支承部	反り上がり	象数計A 変状現	橋梁数B	A/B
T (I) 形桁	3	3	4	2	1	3	4	1	21	6	3.5
箱形桁	9	6	14	9	7	2	6	0	53	15	3.5
下路桁	2	1	3	2	2	0	1	0	11	3	3.7
トラス	3	2	4	2	2	1	0	0	14	4	3.5
合計	17	12	25	15	12	6	11	1	99	28	3.5

注) ラーメン橋, 斜張橋は箱形桁に含めた。

- 4) 変色, 遊離石灰 (エフロレッセンス) の有無
- 5) 経年劣化, 凍害の状態
- 6) 排水および漏水の状態
- 7) 支承部の状態
- 8) 桁の反り上がりの異常

これらの調査結果は, 調査シートに記録して整理するとともに, 橋梁の各部位の写真を撮影し, これを検査データとして利用することとした。

### 3. 調査橋梁の耐久性評価

#### (1) 調査結果

##### a) 変状の総括

調査橋梁の構造形式別変状現象数を表-2に示す。表-2の検査項目は, 「建造物保守管理の標準-コンクリート構造-」<sup>35)</sup>に示される全般検査の項目である。

調査の結果, 各橋梁で観察された変状にはつぎの特色が認められた。

- 1) 変状現象としては, 変色・遊離石灰の析出が最も多く, ひび割れ, 鋼材露出がこれに続き, この3つの変状現象は調査 28 橋梁中の半数以上に観察された。参考文献 35)に示される対象変状項目 8 件のうち, 1 橋梁の発生変状数は, 平均して 3.5 件であり, 構造形式に大きな差は見られない (表-2)。
- 2) 変色・遊離石灰の析出は, 経年とともに一般的に現れる変状であり, 28 橋梁中 25 橋梁に見られた。遊離石灰は, コンクリート中のカルシウム分が水分と反応してカルシウム酸化物の形でコンクリートの表面に現れてくるものであるから, この物質が現れていることは, コンクリートに生じたひび割れを水分が移動しセメントの成分と反応したことを意味する。したがって, 析出量が多くなり進行するようだと耐久性への影響が出てくることが考えられる。しかしながら, D 橋梁 (No.1) をはじめ新幹線の大部分の連続箱形桁においても多少の遊離石灰が観察されており, 通常の場合,

遊離石灰が認められてもただちに耐久性に影響するわけではない。ただし, T 橋梁 (No.10) のように, 遊離石灰の析出量が多く, 進行性が考えられる場合には観察を続けその影響を把握する必要がある。

3) 排水不良・漏水は, その影響が経年とともに現れる変状要因である。排水不良は, O 高架橋 (No.3) および N 高架橋 (No.8) のように, 単線並列形式の T (I) 形桁の中埋め部で線路方向に排水樋が設けられている場合に多く観察された。この形式は, 複線桁が主流になるとともに使われなくなったので, 同様な事例が増えることはない。漏水現象は, T 形桁の場合は, プレキャスト部と場所打ち部の目地に発生し, 箱形桁の場合には, 桁本体部分と張出し橋側歩道や高欄地覆のあと打ち部の目地に現れる。これらの部分は施工の弱点であること, 雨水の通路部にあたることから, 漏水を起こしやすい箇所である。しかし, 30 年以上供用してもなお支障を生じていない橋梁もあることを考えると, 当初の施工の良否が経年とともに影響してきたと考えざるを得ない。調査した 3 橋の下路桁には, 排水不良, 漏水は見られなかった。

4) ひび割れ, 剥落・豆板, 鋼材露出は, コンクリートの施工不良の場合に多く見られる変状であり, およそ半数の橋梁に現れていた。3 項目のうちではひび割れが最も多かった。ひび割れは, 主桁ウェブのシース添い, 支承部桁端側面, 箱形桁内部隔壁隅角部, 箱形桁下面などに生じ, ひび割れ幅, ひび割れの方向, ひび割れの進行性などは異なる。

5) 経年劣化・寒冷地における凍害の変状は, 建造物の供用期間が長くなると現れる変状であり, 初期の施工不良の箇所に経年の作用が加わったもの, または排水工・防水工の不良に環境条件が作用したものと解釈できる。これらについては, 施工不良箇所をなくすこと, 凍害の原因となる排水方法を工夫することによって変状発生時期を遅らせることができるものである。

6) 支承部の変状は, 支承の鋼材腐食および可動支承が機能しないことにより桁端部コンクリートに発生す

るひび割れである。調査した橋梁のうち、単純T形桁の鋼製線支承はほとんど腐食していた。なお、連続箱形桁のローラ支承は、腐食が少なく、良好な維持管理が行われていた。現在使われているゴム支承の場合にはこの種の問題は見られない。

7) 調査橋梁のうち、桁の反り上がりが観察されたのはY上り線橋梁 (No.2) 1橋のみであった。反り上がり変状例は多くないものと考えられる。

#### b) 変状の進行と補修の有無

橋梁の変状を評価する上で重要な着目点に変状進行の有無がある。ここで対象とする変状項目としては、表-2に示す各項目のうち、時間の経過とともに定量的な判断をすることが容易なひび割れに絞って考えることとする。28橋梁のうちでは、O1橋梁 (No.4) の桁端支承部分のひび割れ、新幹線A2橋梁 (No.19) のウェブおよび下フランジ下面のひび割れ、および新幹線O架道橋 (No.24) の下床版および主桁上面の線路方向ひび割れである。これらのひび割れは、現時点でただちに耐力に影響するものとは考えられないが、状況によっては桁全体の健全度あるいは補強鋼材の腐食に影響する可能性があり、そのため耐久性の評価にあたっての注意事項と考えられる。

調査した28橋梁すべてに何らかの変状が生じており、ひび割れ、遊離石灰の滲出等一部の變状は進行の可能性があると分かった。発生した變状に対して、保守機関の判断によりその程度に応じて補修が行われている。無補修の橋梁は11橋、既補修の橋梁は17橋であった。補修した橋梁には供用年数の長短は影響していない。無補修の橋梁は、初期に施工された単純T形桁および人工軽量骨材を使った桁、一部の連続箱形桁および斜張橋、トラスである。プレキャスト部材を使用したトラス形式の桁に補修例が少ないこと以外には構造形式による顕著な差は見られない。

## (2) 耐久性評価

本節では、はじめに、目視検査結果に基づいて調査28橋梁の耐久性評価を試みた。つぎに、コンクリート構造物の耐久性に対する設計を行う場合の一般的な標準として、土木学会から出されている、「コンクリート構造物の耐久設計指針(案)」<sup>1)</sup>(以下指針(案)という)を適用して耐久指数を算出し、目視検査に基づく耐久性評価と指針(案)との比較検討を行った。

#### a) 検査結果に基づく各橋梁の耐久性評価と分類

土木学会の「コンクリート構造物の維持管理指針(案)」<sup>36)</sup>では、コンクリート構造物の劣化度の評価方法をつぎのように行うものとしている。すなわち、「劣化度の評価は、劣化の状況や劣化機構の進行程度が構造物の性能の低下にどの程度影響するかを、理論

的かつ定量的に評価することによってなされることが望ましい。しかしながら、そのような評価は困難であると考えられるので、一般には劣化の状況や劣化機構の進行程度に関するグレーディングによるとよい。」と同指針(案)解説に記されている。

そこで、本論文では、各橋梁の目視検査結果をもとに、耐久性への影響の度合いから判断される重要変状の程度(進行性を除く)、対象変状の進行性、補修の有無の3要因により、当該橋梁の健全度指標と見なすことができる健全度ポイントの考え方を提案する。目的は、従来保守機関が行ってきた第1次検査である全般検査における定性的な評価を定量化することである。これら3要因のうちの前2者は、文献35)および36)に示される健全度判定の基本となる要因である。第1の要因は、目視検査で観察された変状が構造物の機能に将来支障する性質(進行性を除く)ものであるかどうかを判定しようとするものである。第2の要因は、対象とした変状の進行性のみについてその可能性の有無を判定しようとするものである。すなわち、第1の要因と第2の要因を合わせて、当該橋梁に現れた検査時点の変状を評価できる。第3の要因は、過去における補修の有無を耐久性評価項目と見なして取り込んだものである。この理由は、補修によって機能回復をはかっても構造物には欠陥を生じたという変状の履歴が残るものであり、将来的には過去の変状が再発する可能性を否定できないこと、補修の良否の不確実性があることを考慮したものである。以上の理由により、著者はPC鉄道橋の耐久性をこれらの3つの要因により概略評価できると考えた。

健全度ポイントは、基本の持ち点数10ポイントから、各要因について今後の当該橋梁の耐久性に影響する度合いを著者の主観により判断し、影響が小さいと考えたものは1ポイント、これよりも明らかに影響が大きいと考えたものは2ポイントを減じていき、残りのポイント数をもってその値とした。たとえば、No.3のO高架橋の場合、プレキャストPC桁間の現場打ち間詰めコンクリート部とプレキャスト桁との境界部からの漏水痕が多く見られるので変状の程度の減点は-2、進行性はないと判断して0、一部に簡易なライニング補修がなされているので補修の有無の減点を-1とし、健全度ポイントは7と算定した。

各橋梁についての耐久性評価の判断基準と健全度ポイントを表-3に、健全度ポイントごとに分類した橋梁名を表-4に示す。ここで、表-3には環境指数(Sp)および耐久指数(Tp)の計算値、 $T_p/S_p$ の値も併せて示してある。環境指数および耐久指数は、指針(案)で定義される指数であり、これについては本節c)で述べる。また、表-4には同一の健全度ポイ

表-3 調査橋梁の耐久性評価結果

No	橋梁名	環境指数 S p	変状数	重要変状の程度	減点の進行	有無の減点	補修有無の減点	健全度ポイント	耐久指数 T p	T p / S p	主要変状
1	D橋梁	100	1	-1	0	0	9	105	1.05	遊離石灰	
2	Y上り線橋梁	130	4	-1	0	0	9	121	0.93	凍害	
3	O高架橋	100	6	-2	0	-1	7	98	0.98	排水不良による変色	
4	O1橋梁	130	5	-2	-2	-2	4	63	0.48	桁端支承部ひび割れ	
5	H橋梁	130	5	-2	-1	-2	5	106	0.82	経年劣化・鋼材錆び	
6	K橋梁	110	5	0	0	-2	8	105	0.95	隔壁隅角部ひび割れ	
7	W橋梁	130	5	-2	0	0	8	121	0.93	桁端支承部ひび割れ	
8	N高架橋	100	6	-2	0	-1	7	106	1.06	排水不良による変色	
9	新幹線Y橋梁	100	6	-2	0	-1	7	114	1.14	経年劣化・鋼材錆び	
10	T橋梁	120	5	-2	-1	-2	5	105	0.88	経年劣化・鋼材錆び	
11	K架道橋	100	1	-1	0	0	9	108	1.08	桁端支承部ひび割れ	
12	A1橋梁	100	2	-1	0	-1	8	119	1.19	桁端面遊離石灰	
13	S橋梁	100	6	-2	0	-1	7	102	1.02	鉄筋錆び	
14	Y下り線橋梁	130	3	-2	0	-1	7	111	0.85	経年劣化	
15	新幹線H橋梁	100	2	0	0	0	10	99	0.99	—	
16	新幹線A1橋梁	100	1	0	0	0	10	115	1.15	—	
17	新幹線K1橋梁	100	1	0	0	-1	9	125	1.25	—	
18	新幹線Y橋梁	100	1	0	0	-1	9	102	1.02	—	
19	新幹線A2橋梁	100	3	-2	-2	-2	4	132	1.32	桁下縁ひび割れ	
20	新幹線K2橋梁	100	3	-2	0	-1	7	81	0.81	桁下面ひび割れ	
21	新幹線I架道橋	100	2	-2	0	0	8	144	1.44	格点あと埋め部遊離石灰	
22	新幹線O橋梁	100	1	0	0	0	10	102	1.02	—	
23	新幹線N架道橋	100	4	-2	-1	-2	5	65	0.65	経年劣化・下面ひび割れ	
24	新幹線O架道橋	110	4	-2	-2	-2	4	93	0.85	主桁側面・床版下面ひび割れ	
25	O2橋梁	130	4	-2	0	0	8	146	1.12	格点部ひび割れ	
26	A2橋梁	160	5	-2	-1	-2	5	148	0.93	鉄筋錆び	
27	M橋梁	130	3	-2	0	0	8	135	1.04	格点部ひび割れ	
28	O3橋梁	130	5	-2	0	0	8	130	1.00	張出し床版ひび割れ	

ントとなった橋梁グループについて、目視検査結果から総合的に判断したグループ内の健全度順位を番号で示してある。

表-4に示すように、調査橋梁は健全度の程度によりさらに3つのグループに分類できると考えられる。第1のグループは、健全度ポイント8~10点のグループ(Aグループ)である。このグループにおいて減点が最も大きい健全度ポイント8点の場合、3つの要因のうち1要因のみが-2ポイントのケースまたは2要因が-1ポイントのケースである。健全度ポイント8点の橋梁は合計7橋あるが、今日に至る約20年以上の供用期間を通じ、全般検査のみで健全度が確認されている。すなわち、Aグループの橋梁は、良好な健全度が保たれており、引き続き省令に定められる2年に1回の全般検査を行うのみでよいと推測され、メンテナンスの必要はないと考えられるものである。第2のグループは、健全度ポイント6~7点のグループ(Bグループ)である。このグループにおける減点のケースは、

健全度ポイント7点の場合は、-1-1-1または-2-1、6点の場合は、-2-1-1または-2-2の合計4ケースである。すなわち、3要因すべてに減点各1点があるケース、-2の減点要因1つを含む2~3要因に減点があるケースである。3要因すべてに減点要因をもつこと、-2の減点要因と他の減点要因をもつということから、このグループの橋梁はAグループの橋梁よりも維持管理上注意を要すると判断したが、Bグループの橋梁は、平均的な(中程度)健全度が保たれているが、耐久性に影響する可能性がある変状を生じており、全般検査において変状箇所に着目して観察する必要があると考えられるものである。第3のグループは、健全度ポイント4~5点のグループ(Cグループ)である。このグループの減点のケースは、-2-2-2または-2-2-1の2ケースである。-2の減点要因を2つ以上もつということから、耐久性上注意を要するグループとした。現実これら各橋梁はすべて維持管理機関の手により個別検査が

表-4 調査橋梁の健全度分類

健全度グループ	健全度ポイント	橋梁名とグループ内の健全度順位
A (良好)	10	①新幹線 A1 橋梁 ②新幹線 O 橋梁 ③新幹線 H 橋梁
	9	①新幹線 K1 橋梁 ②新幹線 Y 橋梁 ③K 架道橋 ④Y 上り線橋梁 ⑤D 橋梁
	8	①K 橋梁 ②W 橋梁 ③A1 橋梁 ④O3 橋梁 ⑤新幹線 I 架道橋 ⑥M 橋梁 ⑦O2 橋梁
B (中程度)	7	①新幹線 Y 橋梁 ②新幹線 K2 橋梁 ③S 橋梁 ④Y 下り線橋梁 ⑤N 高架橋 ⑥O 高架橋
	6	該当なし
C (不良)	5	①H 橋梁 ②T 橋梁 ③A2 橋梁 ④新幹線 N 架道橋
	4	①新幹線 O 架道橋 ②新幹線 A2 橋梁 ③O1 橋梁

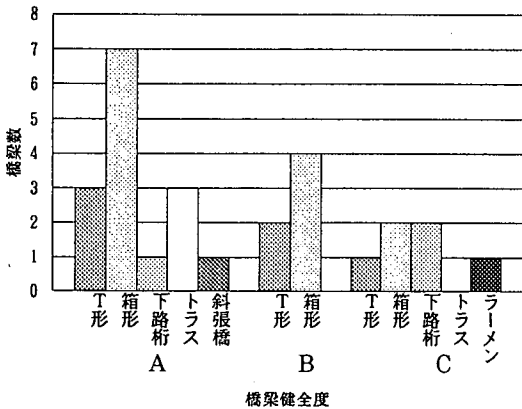


図-1 構造形式別の橋梁健全度

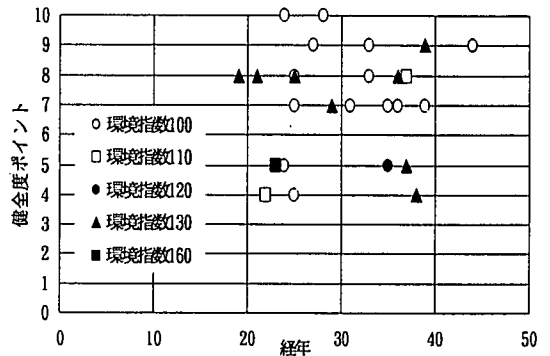


図-2 健全度ポイントと経年との関係

行われ、検査結果に基づき補修されている。変状進行の可能性もある。そのため、このグループの橋梁は、現時点で直ちに機能および耐力に影響するものではないが、放置すると影響が出てくることが考えられる。そこで、当面、変状箇所に着目した半年に1回程度の定期観察を続けて、必要な場合には個別に検査を行い補修の措置を講ずる必要があると考えられるものである。

図-1は、各健全度グループに属する橋梁の数を構造形式別に示したものである。調査橋梁の中では、T形桁、箱形桁の約半数がAグループ、A、B両グループでは、T形桁と箱形桁は全体の8割以上を占めている。トラスは4橋中3橋がAグループ、下路桁は3橋中2橋がCグループとなっている。調査橋梁数が少ないので必ずしも正確ではないが、調査橋梁については、T形桁および箱形桁は一般に良好な健全性が得られていると言える。また、トラスは、プレキャスト部材を多く使用しており、プレキャスト部に問題はないが場所打ちの目地部に欠陥が出やすい。下路桁は断面形状が複雑であること、下床版の鋼材（主ケーブル、横締めおよび鉛直締めPC鋼材、鉄筋）が輻輳しているこ

とから、施工が容易でなく、変状を生じやすい構造形式であると考えられる。

b) 健全度ポイントと建設後の経過年数の関係

図-2は、健全度ポイントと橋梁建設後の経過年数との関係を示したものである。ここで、同じ環境指数の地点に位置する橋梁は同一の記号で示してある。図-2によると、一般的に、経年により健全度ポイントが低下する傾向は得られていない。この理由は、現時点の供用年数が短いことによると考えられ、とくに、環境指数100の標準的な環境条件の地点に施工された橋梁の場合には、経年の影響は認められない。しかしながら、厳しい環境条件の地点に施工された橋梁については、経年40年近くで健全度ポイントが低くなっているものが存在する。これらの橋梁では施工時のコンクリートの締固め不良、かぶり不足といった初期欠陥が原因で生じた鋼材錆びやじゃんかか、経年および環境の作用で進行あるいは劣化度を増しているものと考えられる。以上のことから、今回調査した経年30年～40年程度のPC鉄道橋については、通常的环境条件では供用年数の経過とともに現れる中性化等の経年劣化の変状は観察されないが、厳しい環境条件の地点に架

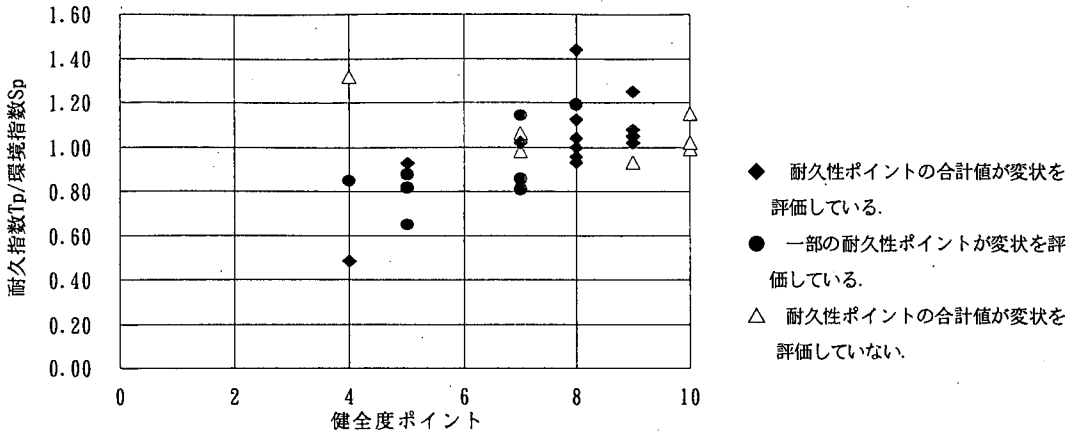


図-3 健全度ポイントと $T_p/S_p$ の関係

設された一部の橋梁では初期の施工欠陥があると、経年により劣化が進むと考えることができる。

c) 土木学会「コンクリート構造物の耐久設計指針(案)」による検討

土木学会の「コンクリート構造物の耐久設計指針(案)」<sup>1)</sup>は、1989年に出された「コンクリート構造物の耐久設計指針(試案)」<sup>37), 38), 39)</sup>を1995年に改訂したものである。この指針(案)の特徴は、構造物の安全性に対する検討と同様な手法により耐久設計を行うところにある。すなわち、環境指数と耐久指数の大きさを比較して、部材各部の耐久性を照査するものである。環境指数は、構造物が置かれる環境条件、要求されるメンテナンスフリーの期間を考慮して定める。50年間メンテナンスフリーなコンクリート構造物を建造することを目標とする場合には、標準的な環境条件における環境指数を100としている。また、一般の場合より厳しい環境条件下にある構造物では、指針(案)に、塩分の影響、凍結融解の影響に応じて10~70の環境指数の増分を考慮することが規定されている。一方、耐久指数は、設計、材料、施工に関わる種々の要因をもとにして耐久性ポイントを計算し、耐久性ポイントの合計値に30ポイントを加えて算出される。

指針(案)は、新設構造物の耐久設計を行うことを目的として作られており、既設のPC構造物を評価することの妥当性に疑問点もあったが、学会レベルでPC構造物を定量的に評価できる唯一の基準であり、また、設計施工のデータが多く残る場合には既設のPC構造物であっても耐久指数を算出することが可能であったのでこれによって評価することとした。

耐久性ポイントの算出にあたっては、建設工事誌、国鉄部内の土木工事施工研究会記録、各種雑誌、竣工図面をもとにしたが、図面寸法、施工当時の材料、施工方法等不明な点も多くあり、それらについては類似構造物の設計施工例を参考にして類推した。検討断面

は、T形桁、箱形桁、下路桁については主桁、ラーメンについては径間部、斜張橋については斜材、トラスについては下弦材とした。

表-3に示した調査28橋梁の耐久指数の内訳を総覧すると、値に大きな変動がみられるのは、 $T_p(1, J)$ (設計作業・部材の形状・補強材の種類・補強材の詳細・設計図の詳細)、 $T_p(5, J)$ (コンクリート)、 $T_p(6, J)$ (コンクリート工)の3項目である。その他の項目である、 $T_p(2, J)$ (設計ひび割れ)、 $T_p(3, J)$ (特別な型枠、表面防護工)、 $T_p(4, J)$ (コンクリート材料)、 $T_p(7, J)$ (鉄筋工・型枠工・支保工)、 $T_p(8, J)$ (PC工の補足事項)については、各橋梁間で大きな差は認められなかった。

調査28橋梁について、表-3に示した健全度ポイントと(耐久指数)/(環境指数)( $T_p/S_p$ )の関係を示すと、図-3のとおりである。

図-3より、ばらつきがみられるものの、全体として $T_p/S_p$ が大きくなるとともに、健全度ポイントも大きくなる傾向がうかがわれる。同図において、指針(案)による耐久性ポイントが変状実態を評価しているかどうかの観点から記号を分けて示した。これによると、28橋梁中21橋梁について、指針(案)による耐久性ポイントが変状実態を概ね評価していると考えられる。指針(案)が変状の実態をほぼ正当に評価しているのは、かぶり不足が原因で鉄筋錆びまたはひび割れを生じているケース4橋(No. 9, 13, 20, 24)、設計に関わるポイントが関係しているケース1橋(No. 10)、コンクリートに関わるポイントが関係しているケース2橋(No. 14, 23)、設計とコンクリートに関わるポイントが関係してくるケース1橋(No. 4)、耐久性ポイント全体の大小が関係しているケース13橋の合計21橋梁である。また、指針(案)により変状を評価できなかったのは、指針(案)で排水工の評価がなされていないケース3橋(No. 2, 3, 8)、計算された耐久性ポイント

が小さく、指針(案)で良好な設計施工の評価をできていないケース3橋(No.15, 18, 22), 計算された耐久性ポイントは大きい健全度が低下しているケース1橋(No.19)の合計7橋梁である。

表-3および図-3による考察の結果、指針(案)はPC鉄道橋の耐久性を概ね評価できることを示唆している。しかし、実構造物の設計に指針(案)を適用していくには、構造形式の違い、人的な影響の評価の程度、永久荷重による曲げひび割れ幅が0の場合の耐久性ポイント30点の加点の妥当性、耐久指数計算時の定数項30点の妥当性、環境指数の算定根拠等、検証を加えるべき課題も多い。したがって、今後、指針(案)をもとにして耐久性を照査する設計を実務に取り入れていくには、さらに実橋梁のデータの積み上げを行い、評価精度を上げていくことが大切と考えられる。

#### 4. まとめ

20年以上供用したPC橋のうち技術的特色を有する28橋を選び、目視検査を行い、その耐久性の評価を試みた。また、その評価結果と土木学会の「コンクリート構造物耐久設計指針(案)」との関係を比較検討した。調査橋梁の内訳は、T形桁6橋、箱形桁13橋、下路桁3橋、トラス4橋、ラーメン1橋、斜張橋1橋である。橋梁位置の環境条件は、温暖地平地が16橋、温暖地海岸部が1橋、寒冷地・山地が10橋、寒冷地海岸部が1橋である。すなわち、形式および環境条件としては各種のものを含んでいる。

検討の結果つぎのことが分かった。

- 1) 目視検査では、調査橋梁すべてに種類と程度はそれぞれ異なるが変状が観察された。変状の種類としては、変色・遊離石灰の析出が最も多く、ひび割れ、鋼材露出がこれに続いた。これらの3種類の變状は、全橋梁中の半数以上に観察された。1橋梁における発生變状数は、構造形式には関係なく平均して3.5件である。
- 2) 調査全橋梁のうち、既補修が17橋あった。補修の有無と建設後の経過年数との間にはとくに関係は認められなかった。すなわち、PC鉄道橋では建設後の経年の長短にかかわらず何らかの変状が発生しており、變状の種類と程度によっては早い時期から補修も行われている。
- 3) 検査結果に基づいて調査橋梁の耐久性の評価を行い、健全度ポイントという健全度評価指標を提案し、これに基づいて、健全度が良好であり当面メンテナンスを必要としないAグループ、通常の点検でよいBグループ、監視を続け場合によっては補修を必要とする

Cグループの3グループに分類した。これらのグループの間には構造形式別の明瞭な差は見られないが、トラス橋はAグループに多く、下路桁はCグループに多いこと、I形桁および箱形桁は、A、B、Cの3グループに混在していることが分かった。

4) 健全度ポイントと橋梁建設後の経過年数との間には明らかな関連性は認められなかった。すなわち、経年が約20年から40年のPC鉄道橋の場合、その健全度は、時間経過による影響よりも、その他の要因、すなわち、施工時の欠陥、コンクリート材料の不良、支承の機能不全といったものに左右されるものと考えられる。なお、厳しい環境条件に置かれた一部の橋梁では、初期の設計施工の欠陥が原因のひび割れ等の變状が環境作用により進行したと考えられる傾向が認められた。

5) 指針(案)によって各橋梁についての耐久性ポイントを計算した。各橋梁の耐久性ポイントに大きな変動が見られるのは、設計作業・部材の形状・補強材の種類・補強材の詳細・設計図の詳細、コンクリートの品質、コンクリート工の3項目である。28橋梁のうち21橋梁について、指針(案)の耐久性ポイントが実橋梁の變状実態を評価していることが分かった。

6) 指針(案)によって、各橋梁についての耐久性ポイントを計算し、(耐久指数)/(環境指数)( $T_p/S_p$ )と健全度ポイントとの関係を調べた。その結果、 $T_p/S_p$ が大きいほど健全度ポイントが大きく、逆に $T_p/S_p$ が小さいほど健全度ポイントが小さくなる傾向がみられた。すなわち、指針(案)によりPC橋の耐久性を概ね評価することが可能であることが分かった。

7) 技術的特色を有するPC鉄道橋の耐久性をつぎのように総括することができる。すなわち、調査橋梁には、耐荷力上の問題はみられなかったが、すべての橋梁に何らかの変状が観察される。これらの變状の種類と程度、變状の進行性、補修の有無によって、各橋梁の健全度を定め、メンテナンス不要のグループ、通常観察でよいグループ、定期観察要注意グループの3つに分類評価できる。

謝辞：論文のまとめにあたり、とくに、実橋梁の目視観察結果に基づく耐久性の評価方法について適切なお助言を賜った、高知工科大学副学長(前東京大学大学院教授)岡村甫博士に心から感謝をいたします。また、耐久性評価法全般について相談にのっていただいた(財)鉄道総合技術研究所 佐藤 勉博士およびジェイアール西日本コンサルタンツ(株) 北後征雄氏にお礼申し上げます。さらに、実橋梁の耐久性評価のため、土木学会「コンクリート構造物の耐久設計指針(案)」を適用するに際し、データの整理にご協力いただいた



東日本旅客鉄道(株) 古谷時春氏, 岩佐高吉氏, 櫛谷浩之氏にお礼申し上げます。

#### 参考文献

- 1) 土木学会: コンクリート構造物の耐久設計指針(案), コンクリートライブラリ, 第82号, 1995. 11.
- 2) 仁杉 巖: 支間30mのプレストレストコンクリート鉄道橋(信楽線第一大戸川橋梁)の設計, 施工及びこれに関連して行った実験研究の報告, 土木学会論文集, No.27, pp. 1-56, 1955. 7.
- 3) 斎藤貞男: 奥羽本線富根〜二ツ井間米代川橋りょう改良工事, 第27回土木工事施工研究会記録, pp. 205-235, 日本国有鉄道, 1960. 2.
- 4) 堀内義朗: 大阪環状線PCけた製作架設, 第27回土木工事施工研究会記録, pp. 245-272, 日本国有鉄道, 1960. 2.
- 5) 野口 功: 小丸川PC桁の設計ならびに製作, プレストレストコンクリート, Vol. 2, No.3, pp. 26-31, 1960. 6.
- 6) 鶴谷久二: 羽咋川橋りょう(下路式PCけた設計経緯と施工), 第28回土木工事施工研究会記録, pp. 284-293, 日本国有鉄道, 1961. 2.
- 7) 大八木武雄: 東北本線鬼怒川橋りょうPC桁製作架設について, 第29回土木工事施工研究会記録, pp. 211-230, 日本国有鉄道, 1962. 2.
- 8) 山本 強: 横黒線鷺ノ巣川橋りょうディビダーク工法について, 第30回土木工事施工研究会記録, pp. 50-91, 日本国有鉄道, 1963. 2.
- 9) 広川慶三, 大木久夫: 根岸線PC桁施工について, プレストレストコンクリート, Vol. 4, No.5, pp. 38-42, 1962. 10.
- 10) 大橋一隆, 黒崎 護: レオンハルト工法で施工した新幹線矢作川橋りょう(上), 鉄道土木, Vol. 6, No.5, pp. 15-18, 1964. 5.
- 11) 大橋一隆, 黒崎 護: レオンハルト工法で施工した新幹線矢作川橋りょう(下), 鉄道土木, Vol. 6, No.6, pp. 53-56, 1964. 6.
- 12) 日本国有鉄道信濃川工事局: 上越線第8利根川橋りょう工事誌, 1968. 10.
- 13) 町田富士夫, 宮坂慶男: 軽量高強度コンクリートの施工について, 第33回土木工事施工研究会記録, pp. 125-151, 日本国有鉄道, 1966. 6.
- 14) 斎藤正幸: 複線式長大下路PCけたの製作架設(東北本線荒川橋梁), 鉄道土木, Vol. 8, No.10, pp. 6-10, 1966. 10.
- 15) 本岡和雄: 瀬田川橋りょうディビダーク工法設計施工について, 第34回土木工事施工研究会記録, pp. 94-103, 日本国有鉄道, 1967. 2.
- 16) 長崎光男: 米代川橋りょう上部構造の施工について, 第37回土木工事施工研究会記録, pp. 234-251, 日本国有鉄道, 1970. 2.
- 17) 中村諦二, 鳥居興彦, 水島修治: 山陽新幹線百間川橋梁の設計および施工, プレストレストコンクリート, Vol. 13, No.1, pp. 32-37, 1971. 2.
- 18) 中村諦二, 増永防夫: 旭川橋梁の設計・施工ー山陽新幹線ー, プレストレストコンクリート, Vol. 12, No.5, pp. 26-34, 1970. 9.
- 19) 今木甚一郎: 加古川橋りょう(プレキャストブロックカンチレバー工法)について, 第38回土木工事施工研究会記録, pp. 57-70, 日本国有鉄道, 1971. 2.
- 20) 坂本真一, 小原忠幸, 小野邦光: 山陽新幹線吉井川橋梁の設計と施工, プレストレストコンクリート, Vol. 13, No.2, pp. 12-18, 1971. 4.
- 21) 町田富士夫, 中原繁則, 広瀬卓蔵, 久門田 環, 宮坂慶男, 石川秀昭: 高強度コンクリートを用いたPC桁の設計・施工(1), プレストレストコンクリート, Vol. 16, No.4, pp. 30-36, 1974. 8.
- 22) 町田富士夫, 中原繁則, 広瀬卓蔵, 久門田 環, 宮坂慶男, 石川秀昭, 橋田敏之: 高強度コンクリートを用いたPC桁の設計・施工(2), プレストレストコンクリート, Vol. 16, No.5, pp. 36-45, 1974. 10.
- 23) 宮坂慶男, 小須田紀元: 山陽新幹線におけるPC連続橋梁の設計, 構造物設計資料, No.33, pp. 4-10, 1973. 3.
- 24) 長大PC橋りょう研究会: 長大PC橋りょう施工の問題と対策, 日本国有鉄道広島新幹線工事局, 1973. 11.
- 25) 町田富士夫, 宮坂慶男, 小須田紀元, 小林栄次郎: 岩鼻PCトラスの設計と施工(1)設計編, プレストレストコンクリート, Vol. 17, No.3, pp. 40-55, 1975. 6.
- 26) 町田富士夫, 山本忠夫, 末続 蒼, 福本善一: 岩鼻PCトラスの設計と施工(2)施工編, プレストレストコンクリート, Vol. 17, No.4, pp. 4-14, 1975. 8.
- 27) 日本国有鉄道広島新幹線工事局: 山陽新幹線工事誌大門・小瀬川間, pp. 430-462(太田川橋りょう), 1975. 3.
- 28) 高藤 寛, 可児正人, 池田 尚, 渡辺克己, 縫島健一: 山陽新幹線太田川橋梁の設計施工について, プレストレストコンクリート, Vol. 15, No.5, pp. 26-34, 1973. 10.
- 29) 本田修一, 大石辰雄, 宮坂慶男, 片山伸雄: 山陽新幹線錦町架道橋の設計施工, プレストレストコンクリート, Vol. 17, No.4, pp. 34-42, 1975. 8.
- 30) 小林明夫, 村上淳也, 高藤 寛: 長大PC下路鉄道橋の施工(東北新幹線第二丘里架道橋), プレストレストコンクリート, Vol. 19, No.5, pp. 22-28, 1977. 10.
- 31) 日本鉄道建設公団: 三陸鉄道久慈線・盛線工事誌, pp. 171-179(小本川橋りょう), pp. 180-188(榎木沢橋りょう), pp. 189-195(太田名部橋りょう), pp. 203-217(安家川橋りょう), 1985. 3.
- 32) 田村栄二郎: 上路式PCトラスの施工ー久慈線安家川橋りょうー, 鉄道土木, Vol. 17, No.9, pp. 17-20, 1975. 9.
- 33) 沢野耕二, 岩崎 徹, 野々村政一: 久慈線榎木沢橋りょうの設計と施工, 構造物設計資料, No.53, pp. 22-27, 1978. 3.

- 34) 沢野耕二, 小林哲久:久慈線小本川PC斜張橋について, プレストレストコンクリート, Vol. 20, No.4, pp. 10-16, 1978. 8. 土木構造物の場合-, コンクリート工学, Vol. 26, No.11, pp. 11-14, 1988. 11.
- 35) 鉄道総合技術研究所:土木建造物保守管理の標準(案) 同解説-コンクリート構造-, 1987. 4. 38) 國島正彦:密実なコンクリート構造物を実現する設計・施工法に関する研究, 東京大学学位論文, 1988. 10.
- 36) 土木学会:コンクリート構造物の維持管理指針(案), コンクリート・ライブラリー, 第81号, 1995. 10. 39) 土木学会:コンクリート構造物の耐久設計指針(試案), コンクリート・ライブラリー, 第65号, 1989. 8.
- 37) 岡村 甫:コンクリート構造物の耐久性設計の考え方 - (1999. 5. 27 受付)

## EVALUATION OF THE DURABILITY OF TECHNICALLY CHARACTERISTIC PRESTRESSED CONCRETE RAILWAY BRIDGES

Yukio MIYAMOTO

Prestressed concrete railway bridges (PCR bridges) cross rivers, roads and railways. As many PCR bridges have been constructed, the problems of durability such as deterioration of concrete and reinforcing steel bars will come to the fore after this type of bridge has been in operation for a long time.

This paper describes the evaluation of the durability of 28 technically characteristic PCR bridges operated for more than 20 years. The author evaluated the degree of durability by visual observation using the durability point proposed by the author in accordance with the "Proposed recommendation on durability design for concrete structures" published by JSCE.