

(68) P C 橋の診断における耐久設計手法の利用について

オリエンタル建設(株) 正会員 須田 勤
 オリエンタル建設(株) 正会員 ○杉田 篤彦
 オリエンタル建設(株) 正会員 武知 勉

1. はじめに

橋梁の寿命には、構造的な寿命と機能的な寿命の両面がある。機能的寿命については社会システム、生活状況の変化にともなうもので、その予測はなかなか難しい。しかし、構造的な寿命は、適切な設計・施工・維持管理を行い、正しい使われ方をすれば半永久的なものと思われる。いったん建設した橋梁も社会情勢の変化にともない、活荷重の増加が必要となったり、設計・施工上の配慮不足から損傷や劣化を生じることもある。その際、その都度非破壊試験を実施したのでは、莫大な費用と時間がかかる。

ある安全率をもって、非破壊試験などが必要かどうかのふり分けを行うために、本来、新規構造物に適用される『耐久設計』の手法を用い試算してみた。

この耐久設計の考え方は、設計段階において実際に使用される材料や実施される施工についてそれらの状態および状況を想定または考慮して設計されるものである。この手法を用いることにより、机上にて橋梁の診断を行って事前に補修・補強の判断が可能となればと考え、ポストテンション方式Tげた橋について、建設省標準設計(新旧断面)そして昭和初期の断面等を例にとり検討してみた。以下、2. 耐久設計、3. 橋梁の診断、4. P C 橋の耐久性ポイント、5. 耐久性向上へのアプローチについて述べる。

2. 耐久設計

土木学会の耐久性・耐久設計部会において「コンクリート構造物の耐久設計指針(案)¹⁾」が出されている。これは、1989年8月にコンクリートライブラリー60号²⁾で出された試案の改訂がなされたもので、当初に出された試案を土木工事技術の進歩にともない、各項目に修正・改訂が行われた。耐久設計について安全性設計(従来設計)と比較すると表-1の様になる。

表-1 耐久性に対する検討方法³⁾
 (安全性設計に対比して)

耐久性に対する検討	安全性に対する検討
耐久性評価式	耐力算定式
(塩分、凍結融解など)	(曲げ、せん断など)
環境外因の算定方法	断面力の算定方法
耐久性の照査方法	安全性の評価方法

従来、設計においては外力と耐力を定量的に評価し、それに基づいて照査し、安全性を確認している。耐久性については、外因と耐久性共に定量的に評価されていない。このことが、ともすれば耐久的でない構造物が出現する原因となっているとされ、耐久設計が必要とされてきている。

耐久設計ではコンクリート構造物の耐久性に対する検討は、部材各部において式(1)に示すように、耐久指数Tpが環境指数Sp以上であることを確かめることにより行っている。

$$T_p \geq S_p \quad \dots\dots\text{式(1)}$$

まず、環境指数Spについては、その構造物が設置される環境条件に関してその環境における劣化外力と劣化の程度を定量化したもので、式(2)に示すような式で求める。

$$S_p = S_0 + \sum(\Delta S_p) \quad \dots\dots\text{式(2)}$$

$$S_0 = 100 \sqrt{\frac{(t-10)}{40}} \quad \text{ただし } t \geq 10 \text{年} \quad \dots\dots\text{式(3)}$$

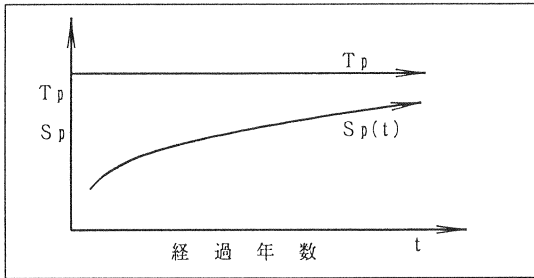


図-1 耐久指数と環境指数の関連性

ここで、 S_0 はコンクリート構造物の耐用期間がどの程度要求されるかによって違ってくるが、一般に50年間メンテナンスフリーとすれば、 $S_0=100$ としている。 S_0 は \sqrt{t} 則で表しており式(3)のようになる。

また、 ΔS_p については、表-2のように環境指数の増分値が設定されている。现阶段では、塩分の影響、凍結融解作用についてのみの増分であるが今後は更に中性化の影響、交通車両の影響(疲労など)についても検討され付加されていくと考えられる。

次に耐久指数については、コンクリート構造物が保持する耐久性能を設計、材料、施工における要因をもとに式(4)より算出し、定量化したものである。

$$T_p = 30 + \sum T_p(I, J) \dots \dots \text{式(4)}$$

ここに、 $T_p(I, J)$ は、構造物の耐久性に関する要因の影響を定量的に評価した耐久性ポイントであって表-3のように項目に分けて規定している。

また各項目について設計図、施工計画書より照査を行い、耐久性ポイントを算出する。通常の場合には0点となり、良い場合にはプラス悪い場合にはマイナスとなるように設定されている。耐久指数と環境指数の関連性を示すと図-1のようになる。

3. 橋梁の診断

既設橋に対する照査検討するものに『車両大型化に対する既設橋梁の補修・補強に関する調査研究』⁴⁾の報告書がある。これは、既設橋梁に荷重改定後の活荷重が載荷した時の橋梁の耐力照査を行うものである。各照査段階においてある安全率をもってその安全性を確認し、補強の必要性の判定を行うものである。図-2にその照査フローを示す。

表-2 環境指数の増分値

環境条件	ΔS_p
塩分の影響が大きい	10~70
凍結融解作用が著しい	10~50

表-3 耐久性ポイント $T_p(I, J)$

I	J	項目	$T_p(I, J)$
1	【設計作業・部材の形状・補強材の種類・補強材の詳細・設計図】		
	1	設計主任技術者	6~2
	2	部材の形状・寸法	$T_p(5, 1)$ で考慮
	3	かぶり	30~30
	4	防錆した補強材	$T_p(1, 3)$ で考慮
	5	補強材の段数及びあき	15~35
	6	用心鉄筋	10~0
	7	打継目	0~25
8	設計図	0~35	
2	【設計ひびわれ】		
	1	設計ひび割れ指数	10~20
3	【特別な型枠防護工】		
	1	特別な型枠	5~0
4	【コンクリート材料】		
	1	セメント	10~0
	2	骨材の吸水率	8~10
	3	骨材の粒度	0~-5
5	【コンクリート】		
	1	充てん性	35~30
	2	堅硬性	20~15
	3	単位水量	10~25
	4	塩化物含有量	5~30
6	【コンクリート工】		
	1	施工主任技術者	18~-5
	2	受入れ	5~-5
	3	運搬・打込み・締固め	20~45
	4	表面仕上げ・養生	8~40
5	打継ぎ目の施工	$T_p(1, 7)$ を修正	
7	【鉄筋工・型枠・支保工】		
	1	鉄筋加工	5~0
	2	鉄筋の組立	5~20
	3	型枠工	10~15
8	【PC工の補足事項】		
	1	技術者の経験・資格	4~-5
	2	グラウトの品質	5~0
	3	後埋めコンクリートの品質	0~-5
4	グラウトの施工方法	0~-5	
耐久性ポイント : $\sum T_p(I, J)$			337~-437

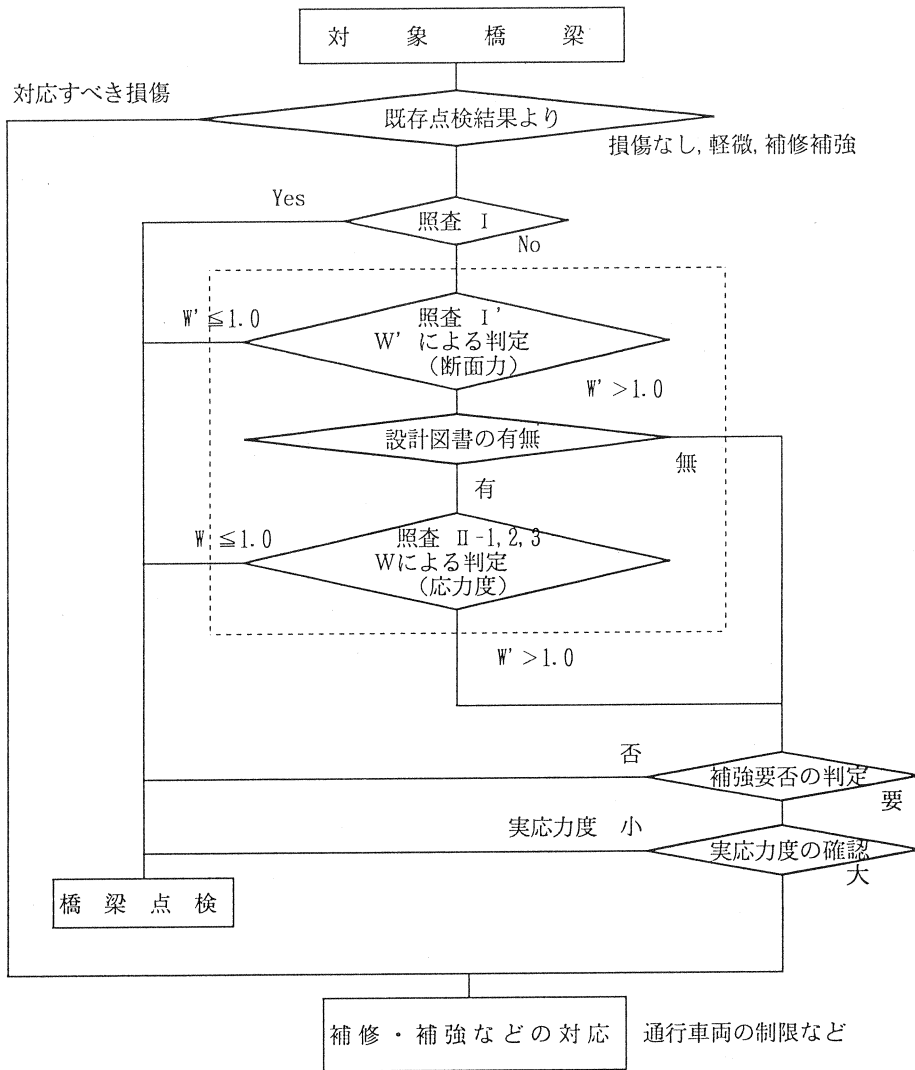


図-2 既設橋梁の主けた照査フロー

ここで、各照査段階の判定内容は次のようになっている。

- 照査 I --- 一般竣工図書から抽出した橋梁諸元を基に断面力レベルで耐荷力判定を行う。
- 照査 II-1, 2 --- 竣工図と設計計算書を基に断面力応力度レベルで判定を行う。
- 照査 II-3 --- 照査用し荷重(レーン荷重)による応力度を算定し、この応力度レベルで耐荷力判定を行う。

この中で各照査レベルで照査し、最終的な実応力度レベルでどうかを調べ、供用に対して補修・補強が必要となるのか、また通行車両の制限などを判定する。

最終的な判定となる実応力度の照査までに机上にて断面力、応力度の段階で検討を行い、車両の大型化に対する既設橋梁の診断を行っている。

4. PC橋の耐久性ポイントとその評価

今回ポストテンション方式のTげた橋（建設省標準設計（新・旧断面）、標準設計制定以前のTげた）の主げたに着目して耐久設計による耐久性評価により比較を行い、さらに既設橋梁の診断手法を取り入れて新活荷重における安全性との関連から既設橋梁の総合的な耐久性について評価を行う。耐久設計より算出された各けたの耐久性ポイントを表-4に示す。この内標準設計以前のTげたは、昭和32年に施工されたポストテンション方式Tげた道路である。現在の交通量の増加ならびに車両の大型化にともなって37年の供用期間を終え、撤去されることとなった。

この結果から耐久性ポイントの比較を行うとポストTげたの<新・旧>の断面による大きな違いは、断面形状である。断面形状がスマートになったため、コンクリートの充てん性が良くなるということで評価ポイントがアップしている。若干、同一支間においては、新断面のけた高が高くなり、コンクリート打設時の自由落下高さが高くなるため、材料分離などの問題から評価が下がる。さらに新断面はけた高によりケーブルの配置が、内部振動機を入れにくくする配置となるため、耐久設計においては十分考慮する必要がある。全体的に<新・旧>断面を比較すると大きな差がないが、個々に見るとポイントがアップし、全体では耐久性ポイントの向上が見られる。

表-4 けた種類毎の耐久性ポイント

項目	ポストテンTけた		制定前Tけた
	(旧断面)	(新断面)	
設計作業・部材形状			
補強材の種類	-7	-6	-19
補強材の詳細・設計図			
設計曲げひび割れ	0	0	0
特別な型枠・防護工	5	5	5
コンクリート材料	0	0	-1
コンクリート	22	25	9
コンクリート工	27	26	9
鉄筋工・型枠工・支保工	20	20	15
PC工の補足事項	9	9	-5
ポイントの合計	76	79	13
耐久性ポイント	106	109	43

37年経過した橋については、次のようなことがいえる。施工技術がこの橋梁が施工された当時は最新の技術であっても現時点でのPC技術の評価のもとではごく当然の技術として評価するため耐久性ポイントも低くなることである。例えば、グラウト工についてであるが、施工された当時にはノンブリージングタイプのグラウト材料、混和剤は開発されておらず、したがってその評価は下がる。しかし施工された当時においてもグラウトの重要性の認識は、撤去解体時に確認したグラウトの充てん度が良好であったことより現在と同じように重要であったことがうかがえられる。さらに、技術者のレベルも現在の様な資格制度が確立されておらず、この点においても評価を下げている結果となっている。

次に既設橋梁の新活荷重に対する照査を行う。標準設計以前のポストTげた道路橋の設計は昭和31年の示方書に基づいて設計された2等橋である。当時の設計計算書は残されておらず、唯一残されていた図面をもとに各荷重に対して再度設計計算を行った。結果は表-5の通りである。

この結果からでは、活荷重の変更によってこの橋梁は対応できないと判断できる。

しかしながら構造物の設計において、構造物には設計上考慮されていない余裕を持っていること、必ずしも設計荷重と現状の交通荷重が一致しないことから対象となる橋梁すべてが対応できないとは断言できない。

表-5 活荷重による主げた応力度の比較 (Kg/cm²)

		TL-14		B活荷重		許容値
		上縁	下縁	上縁	下縁	
死荷重	桁自重	42.9	-77.7	42.9	-77.7	
	橋面荷重	17.5	-31.1	17.5	-31.1	
	その他	5.1	-9.2	5.1	-9.2	
活荷重		32.5	-59.1	60.1	-109.4	
プレストレス	有効プレ	-31.0	164.7	-31.0	164.7	
合成応力度	静荷重時	29.4	55.9	29.4	55.9	0< <140
	設計荷重時	67.0	-12.4	94.6	-62.7	-15< <140

そのために活荷重の変更による既設橋梁の安全性の照査をすべての橋梁について行うか、また対象橋梁が車両の大型化に対応出来るかどうかを判定する必要がある。この判定には、先に述べた「既設橋梁の診断」から照査検討することが出来る。

表-6に「既設橋梁の診断」において照査した結果を示す。

この結果から、道路構造令の改訂により道路幅員などの不整合な部分があるが、レーン荷重の照査の状況では、必ずしも対応できないとは判断できず、また補強の必要性はないと考えられる。

5. 耐久性向上へのアプローチ

現状における設計施工の中で耐久性ポイントをアップさせる要因となるものを各項目について整理すると図-3のようになり、これに基づいて耐久性ポイントを再度計算すると表-7となる。

求められた耐久性ポイントに対して、現況の耐久設計をもとに得られたポイントから逆算して耐用年数を割り出した。この結果、標準設計以前のポスTげたはおよそ20年の耐用年数となったが、当時の施工技術レベルを評価し、得られた耐用年数を2倍とすると施工された時点で40年程度の耐久年数が潜在していたと考えられる。標準設計制定以前のポスTげた橋は37年間供用されており、この評価においては寿命をまっとうしたと言える。

表-6 耐荷力照査結果

	照 査 I			照 査 I'		
	照 査 係 数			照 査 係 数		
曲 げ	α	S	K	α/S	K	W'
	1.748	1.08	1.399	1.157		1.007
				(≥ 1.000)		(≥ 1.000)
せん断	β	S	K	α/S	K	W'
	1.627	1.08	1.399	1.077		0.978
				(≥ 1.000)		(≤ 1.000)

表-7 耐久性ポイントの再計算

項 目	ポステンTけた		制定前Tけた
	旧断面	新断面	
設計作業・部材形状 補強材の種類	-7 (-2)	-6 (-1)	-19 (-14)
補強材の詳細・設計図	0 (0)	0 (0)	0 (0)
設計曲げひび割れ 特別な型枠・防護工	5 (5)	5 (5)	5 (5)
コンクリート材料	0 (0)	0 (0)	-1 (0)
コンクリート	22 (45)	25 (47)	9 (24)
コンクリート工	27 (0)	26 (0)	9 (19)
鉄筋工・型枠工・支保工	20 (25)	20 (25)	15 (20)
P C工の補足事項	9 (9)	9 (9)	-5 (0)
ポイントの合計	76 (82)	79 (85)	13 (54)
耐久性ポイント	106 (112)	109 (115)	43 (84)
想定耐用年数	55 (60)	58 (63)	17 (38)

() 内は、耐久性向上を考えた場合
50年メンテナンスの環境指数 : Sp = 1 0 0

- ① 設計作業について
 - ・部材形状寸法 --- 複雑な断面形状は避ける.
 - ・設計図に打継目を明示する.
 - ・かぶりをわかりやすく示す (図-4 参照).
- ② 型枠
 - ・鋼製のものを使用する.
- ③ コンクリート材料
 - ・配合設計に合った材料骨材を選定する.
- ④ コンクリート
 - ・ワーカブルなコンクリートを使用 (スランプ20cm)
 - ・水セメント比、単位水量を極力少なくする.
- ⑤ コンクリート工
 - ・施工技術者の向上
 - ・打設作業者の耐久性への意識向上
 - ・表面仕上げ、養生
 - ・打継目の施工方法
- ⑥ 鉄筋工
 - ・現寸法による鉄筋加工、結束線の処理
- ⑦ P C工の補足事項
 - ・後埋めコンクリートの品質 (膨張コンクリート)
 - ・グラウトの施工方法及び品質

図-3 耐久性ポイントアップの項目

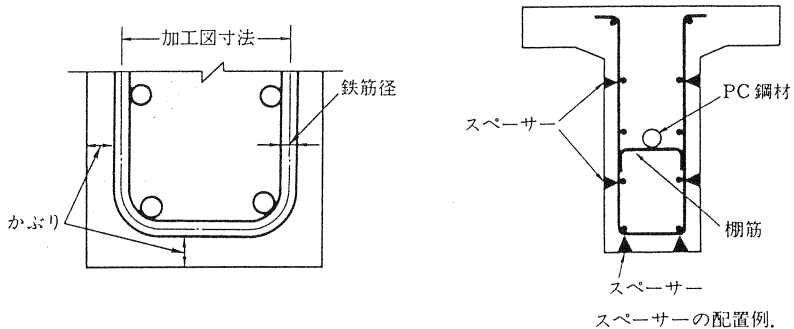


図-4 設計図におけるかぶりの明示⁵⁾

6. まとめ

既設橋梁の耐久度の経年変化の概念は、図-5に示すようであると考えられる。ある時点でのその構造物の保有する余命を決定することは困難ではあるが、その余命を決められれば維持管理に貢献できる。

PC橋の診断において、現在多くの手法が取り入れられているが、確立されたものが無く未だ模索中であると思われる。

本稿では、ある例を取り上げて、PC橋の診断手法のひとつとして耐久設計の手法から判断できないものかと検討した。既設PC橋梁の耐久性ポイントの評価し、また活荷重に対する評価を行った。活荷重の変更による照査では、机上の判断ではどちらも言えないが、耐久設計からの逆算による耐久年数から判断するとそのけたは、寿命をまっとうしていると考えられ、橋梁として架け換え時期にあったことが再確認された。

一つの事例でしかないが、既設橋梁の診断に耐久設計の手法の利用が有効であると考えられる。耐久設計は、あくまで新設構造物の耐久性性能を検討するものであり、荷重による疲労やコンクリートの中酸化など疲労設計の考え方や経年劣化の定量的な評価まで考慮されてはいない。今後、劣化要因となるものの環境指数の増分や耐久性ポイントの項目などすべてについて評価検討がなされれば、既設構造物の耐久性診断や寿命予測の評価が十分に可能になると考える。

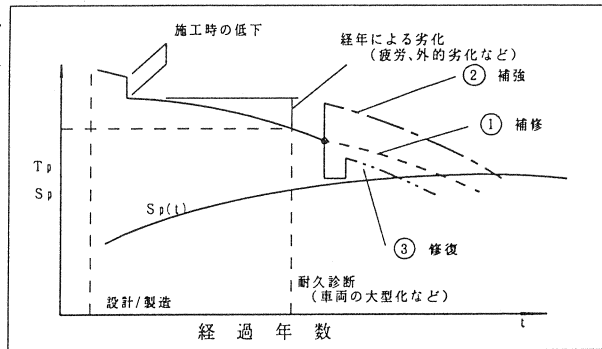


図-5 耐久性の概念

車両の大型化、経年劣化などによる補修補強にともなう既設橋梁の診断は、これからも数多くあり得ることである。今後さらに他のケースについてもデータ等の収集を行って研究を続けていきたい。

参考文献

- 1) 土木学会：耐久性耐久設計部会：コンクリート構造物の耐久設計の考え方、コンクリートマガジン-79号、1994年7月
- 2) 土木学会：コンクリート構造物の耐久設計指針(試案)、コンクリートマガジン、第65号、1989年8月
- 3) 岡村 甫：コンクリート構造物の耐久性設計の考え方 -土木構造物の場合-、コンクリート工学、Vol.26, No.11, 1988年11月
- 4) 財団法人、首都高速道路技術センター：車両大型化に対する既設橋梁の補修・補強に関する調査研究報告、平成6年2月
- 5) 中部セメントコンクリート研究会プレストレストコンクリート建設業協会：実例で見るPC橋の耐久性向上技術、理工学社、1992年11月