

PRC橋の耐久性に関する実態調査

プレストレストコンクリート建設業協会 正会員 ○古賀 友一郎
 国土交通省 国土技術政策総合研究所 工 修 玉越 隆 史
 国土交通省 国土技術政策総合研究所 七澤 利 明
 国土交通省 国土技術政策総合研究所 石尾 真 理

1. まえがき

近年鉄道橋や旧日本道路公団(以下 NEXCO とする)を中心に PRC 構造とされる橋梁が建設されている。一方、現在道路橋示方書では、PC 構造、RC 構造は規定されているが PRC 構造に関する具体的な規定は示されていない。PRC 構造は、コンクリート橋およびコンクリート部材の設計自由度の拡大や、設計・施工の合理化の可能性もあるため、今後の合理的な PRC 橋建設のためには、道路橋示方書への規定化を視野に入れた検討を行う必要がある。特に各種許容値の設定や構造細目、それらと長期耐久性との関係などを明らかにするための、既設橋梁実態調査を含む広範な検討が必要な状況である。

今回はこの検討の一環で行われた古い PRC 橋の実橋試験について報告を行う。

2. 実橋試験の目的

RC 構造と PC 構造は異なる設計理論により構築されている。すなわち RC 構造は、ひび割れを許容し鋼材とコンクリートのヤング係数比を実際の値とは違う $n=15$ というみなし値を使い、コンクリートの引張断面を無視することで、疲労やクリープ、終局荷重時にコンクリートの剛性が低下する影響などを全て盛り込んだ古典 RC 理論により設計される。一方 PC 構造は、ひび割れを許容せずコンクリートの全断面を有効として、ヤング係数比を比較的実状に近い値を使うが、その分終局荷重時、クリープの影響、疲労等について別途おのおの検討する比較的新しい理論より設計される。この2つの設計理論に対して PRC 構造は、ひび割れを許容するが、プレストレスを導入しひび割れの幅を制御する思想によっており、具体的設計は、ヤング係数については、実状に近い値を使い終局荷重、クリープ、疲労の影響を別途考慮し、ひび割れの発生する断面については、引張断面を無視する RC 理論により計算される。これに対していままでの PC 構造や RC 構造に適用されてきた構造細目や各種許容値の設定、それらと長期耐久性との関係の準用が合理的であるかが問題となる。

本試験の目的は、これら問題になるとと思われる項目の内、特に長期耐久性、腐食耐久性に関して、基準に反映させる事項についての課題や知見を得ることである。

3. 試験方法

3. 1 概要

ひび割れを許容し、そのひび割れが、長期間にどう進行するのか、疲労や腐食に対してどう挙動するのか、そしてそれらにより耐荷機構がどう変化するのかを明らかにすることを目的に、供用後約40年を経過した単純箱桁PRC橋(写真1)を対象に目視によるひび割れ調査、コア抜き試験等によるコンクリート物性調査、飛来塩分量調査、交通量調査、荷重車(200kN:対死荷重比17%)を使った載荷試験等を行った。

本橋は、現在NEXCOなどで建設されているPRC橋(プレストレスレベルは道示PC構造のおおよそ40~60%程度)とは異なり、道示のPC構造に対してプレストレスレベルが20%程度と非常に低い、RC構造に



写真1 調査対象橋梁

近い構造である。死荷重時においても支間中央断面で -4N/mm^2 (全断面有効とした仮想合成応力度) を越える大きな引張力を生じており、死荷重時のひび割れを許容する設計であったと考えられる。また供用25年後の1992年に塩害対策用の塗装がなされている。調査対象橋梁の概要を以下に示す。

3. 2 橋梁諸元

- ◇竣工年度：1967年 ◇活荷重：TL-14 ◇幅員：6.8m(全幅員)
- ◇橋長：177.5m=0.5+27.8+0.9+(37.55+44.0+37.55)+0.9+27.8+0.5
- ◇構造形式：PRC単径間箱桁+PC3径間連続箱桁+PRC単径間箱桁
- ◇使用材料：コンクリート $\sigma_{ck}=360\text{kgf/cm}^2$ 鉄筋 SD390 D32 n=67本(支間中央)
PC鋼材 16φ8(有効張力58t/本) n=6本(支間中央)
- ◇死荷重時支間中央合成応力度(全断面有効)：上縁 6.12N/mm^2 下縁 -4.29N/mm^2
- ◇死荷重時支間中央 RC計算結果： $\sigma_c=7.0\text{N/mm}^2$ $\sigma_s=93.1\text{N/mm}^2$

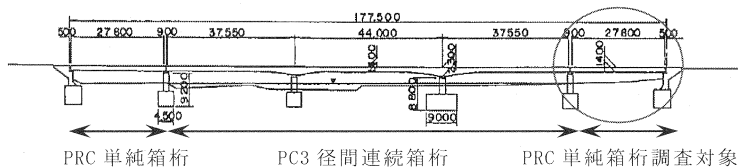


図1 橋梁全体一般図

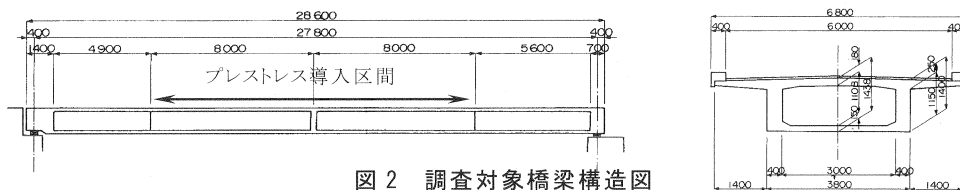


図2 調査対象橋梁構造図

4. 試験・調査結果

4. 1 劣化状況調査

ひび割れ状況を図2に示す。桁外面は塗装上からの目視観察結果である。ひび割れ幅は、径間中央部約10m区間に14本程度0.15~0.20mmのひび割れが生じているが、それ以外はほぼ0.1mm前後の幅で問題となる大きさではないと考えられる。しかしひび割れ総数と、曲げひび割れと考えられるもので、設計(RC計算)で想定される中立軸付近まで目視で確認出来るものがあること、斜めひび割れは部材を貫通しているものも確認され、ひび割れ高さは曲げひび割れより広範にわたっていたことに疑義が生じた。

なお、当該PRC橋と同年代のRC桁橋、RC床版橋のひび割れ状況を確認したところ、ひび割れ密度

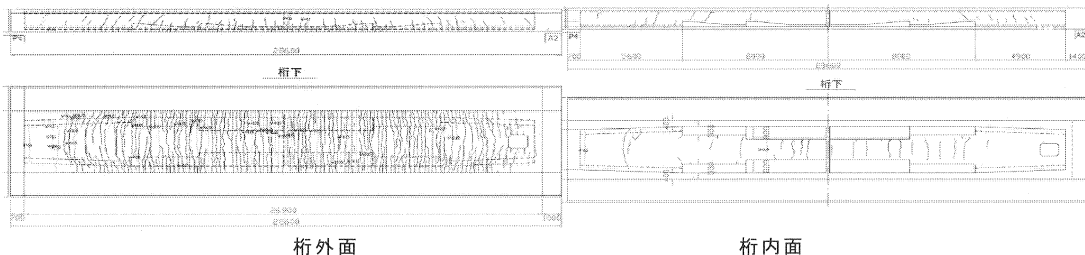


図3 ひび割れ発生状況図

は異なるが、ひび割れ進展状況については同様の性状が観察された。

4. 2 コンクリート物性値

1) 圧縮強度と静弾性係数

試験結果を表1に示す。参考に隣接するPC桁部分より採取したコア試験値も併記する。これらはともに横桁近傍の下床版より採取した。強度、静弾性係数とも設計値と比較して非常に高い値を示している。また水セメント比はかなり低い。PRC桁部は配筋の関係からコア径がφ50であったため骨材の影響を受け、大きめの値となったことも考えられるが、基本的に良質なコンクリートが打設されており、経年による顕著な劣化は無かったと考えられる。

2) 中性化と塩分含有量

試験結果を表2に示す。

中性化はウェブ(海側)ひび割れ部(写真2)、健全部とも11mm弱、主桁下面、張出し床版下面では1mm前後と低い値である。いずれの箇所でも最外縁鋼材まで20mm以上を残している。ひび割れ有無による差は見られない。塩分含有量はいずれの箇所においても、鋼材腐食発生の指標である1.2kg/m³を下回っており、調査した範囲では鋼材の腐食も見られなかった。ひび割れの有無による塩分含有量差は見られるが、EPMAによるひび割れ部からの塩分拡散は確認出来なかった。飛来塩分量は、1ヶ月の短期間採取値で土研資料3175号より推定される塩分量より多い値となったが、塩害の影響を受けるレベルではない。海からの風は夏が多く、引き続き計測が必要である。

4. 3 交通量調査

昭和52年～平成11年までのセンサデータと当該橋梁調査中にBWINによる連続4日間の交通量自動計測結果から、日交通量は多いときでも1700台/日、今年1月の実測期間では170台/日と非常に少ない交通量であった。しかしいずれの調査でも大型車混入率は高く40%前後であった。特に今回の調査では30tを越えると思われる重交通車両が4日間で120台程度観測された。計測中の実際の交通車両も大型車が目立っていた。

4. 4 載荷試験

荷重車載荷時の中央断面ひずみ分布図を図5に示す。ひずみの計測は径間中央に生じている顕著なひびわれ発生箇所において、図4に示す丸印位置で、引張領域についてはスターラップ配力筋、および主鉄筋、圧縮領域ではコンクリートのひずみを計測した。実測値は多少のばらつきがありひび割れの影響等を受けていると考えられるものの、ほぼ線形を示しており平面保持が成り立っている。建設当初よりひび割れが発生していたと考えられるが、200kNの荷重車による実測ひずみは、RC理論による計算値(点線)に対して勾配が立っており、全断面有効とした解析値(一点鎖線)に勾配に近い。これは、ひび割れを生じているもののまだ引張縁のコンクリートが有る程度の引張力を負担していること、また地覆等が圧縮力を分担していることによると考察される。

表1 コンクリート物性値

位置	コア径 mm	長さ mm	一軸圧縮 強度N/mm ²	静弾性係数 kN/mm ²	w/c %
設計値	—	—	36.0	29.8	—
PRC主桁下面	50	100	85.1	44.7	33.1
PC主桁下面	80	160	68.8	33.6	39.0

表2 中性化 塩分含有量

調査位置	塗装	中性化深さ mm	塩分含有量 kg/m ³	備考
主桁下面	有り	1.1	—	
ウェブ側面	有り	10.2	0.7	ひび割れ部
ウェブ側面	有り	10.9	0.48	
張出し床版	有り	0	0.53	下面
	—	—	0.76	上面
PC主桁下面	無し	10.5	—	

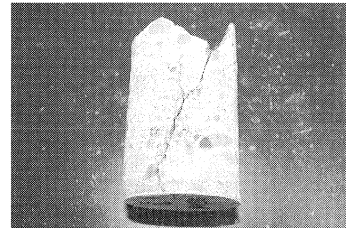


写真2 ウェブひび割れ部より採取したコア

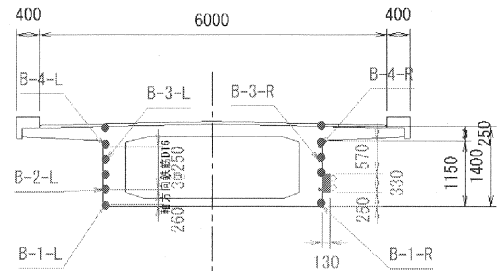


図4 支間中央断面におけるひずみ計測位置

荷重車による桁のたわみの実測値と線形計算値を図6に示す。たわみの計測は、荷重車をほぼ径間中央に停止させ、桁下橋軸方向におおよそ3m間隔で設置した変位計により行った。荷重車は複数回径間中央に停止し、都度計測を行い、その値が毎回ほぼ同値を示していることを確認した。線形計算によるたわみの算出は、断面性能として、鉄筋・PC鋼材を考慮した換算断面を使用し、地覆も考慮している。ヤング係数値はPC桁部より採取したコア値を採用した。

たわみのオーダーが2mm前後と小さいため、精緻な考察は出来ないと考えるが、径間中央たわみの実測値が計算値に対して、大きな値となっていないことから、現状ではひび割れや鉄筋の付着低下等による桁全体としての剛性低下は生じていないことが確認された。

5. まとめと今後の課題

調査の結果、かなり多くのひび割れが観察され、それらのうち建設当初より生じているひび割れもあると考えられるが、ひび割れが生じた状態で40年経過した現在でも顕著な中性化の進行や、塩化物含有量の増大等は確認されず、鋼材の腐食もとくに認められないことから、本橋の環境および、今回のひび割れ性状では、腐食耐久性についての大きな問題は無いと考えられた。載荷試験による径間中央ひび割れ発生断面のひずみ分布は、引張り断面を無視したRC理論値よりはひずみ勾配が立っていることと、荷重車による桁たわみの実測値が、線形計算によるたわみ値より小さいことから、桁全体として剛性の低下は生じておらず、現状でのひび割れ状況では、コンクリートの圧縮断面と引張鉄筋が設計計算で想定している状態から大きな乖離は無く、コンクリートや鉄筋に過度の応力が発生する状況ではないことが確認された。一方、ひび割れ性状について、その幅は想定されるものであったが、ひび割れの数や曲げひび割れにおいて、中立軸付近まで進展していたことについて、同年代のRC橋でも同様の性状が確認されたものの、今後これらのひび割れがさらに進展し、設計で想定している圧縮断面を侵す状態が生じ得ないか等について不明な点が残った。

今後はこれら不明な点について基準に反映させる知見を得るために、荷重との関係やひび割れのこれからの推移についてさらに検討を進める必要があると考える。

国総研では、PC、PRC、RCの複数供試体を作製し、繰り返し荷重による主鉄筋の付着劣化とひび割れの進展および耐力力の変化について検討を行う予定である。

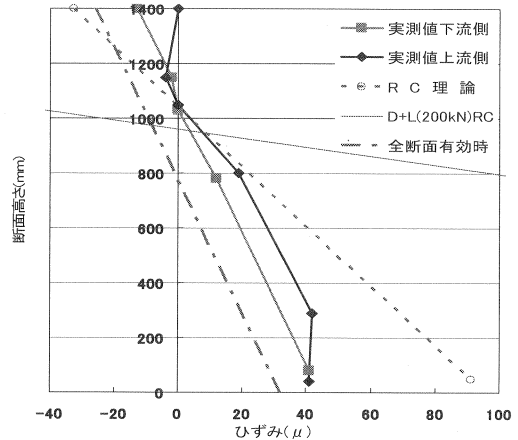


図5 200kN 載荷時 径間中央断面ひずみ

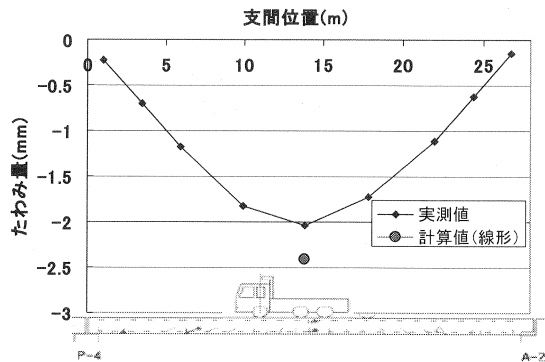


図6 荷重車 200kN による桁たわみ