

## (41) PRC道路橋の実用的設計法の確立

日本道路公団	賛助会員	○鈴木 隆
住友建設㈱	正会員	滝 慎一郎
オリエンタル建設㈱	正会員	中島 豊茂
㈱富士ビー・エス	正会員	佐々木 健

### 1. はじめに

PRC部材は、PC鋼材によるプレストレスと鉄筋により補強されたコンクリート部材で、従来のPCとRCの両者の特徴を生かすことにより合理的かつ経済的な設計が可能となる。またPRC橋はRC橋やPC橋に比べて耐久性、施工性及び経済性の面で利点がある上、コンクリート橋の施工に際し、従来困難であった種々の問題を克服できる可能性を多分に有している。しかしわが国では、建築や鉄道橋の分野ではPRCがある程度普及しているものの、道路橋の分野では設計法が未確立なこともあり施工例は常磐自動車道中郷ランプ橋等、数橋にとどまっている。

このたびJH札幌建設局は、北海道横断自動車道 清水～池田間にPRC橋を3橋計画し、4年間にわたりPRC道路橋の設計法の確立に向けて取り組んできた。本文は実用的な設計マニュアルが整備されたPRC中空床版橋と単純箱桁橋について、具体的設計例を交えながら紹介するものである。

### 2. PRC道路橋設計マニュアルについて

PRCはひびわれ発生を許容するPC構造であり、設計方法の基本が限界状態設計法であるため、部材のひびわれと疲労に関しては直接照査が行われる。一方、道路橋示方書(以下、「道示」と略す)ではPCにおけるひびわれ発生を許容しておらず、疲労に関しても許容応力度法により、設計荷重作用時の鉄筋とPC鋼材の応力度を許容応力度以下とすることで間接的に照査されるという相違がある。

よってPRC道路橋の設計法を確立するには、道示に規定されていないこれらの照査方法をどう規定するかがポイントとなる。

PRC道路橋設計マニュアルは、以上の点も含め、一読すれば誰にでも容易にPRC橋が設計できるよう道示をベースに実用的に整備された。ここでは、その設計マニュアルの特徴を述べることにする。

#### ① 疲労の照査

疲労の照査は、疲労荷重作用時に鉄筋及びPC鋼材の変動応力度が、それぞれの許容疲労応力度以内に収まるかどうかの照査であり、許容疲労応力度の算出式についてはコンクリート標準示方書に準拠した。

なお中空床版橋及び単純箱桁橋については、後述のとおり鋼材の変動応力度が小さく問題にはならないため、設計マニュアルでは疲労荷重作用時の照査は省略してよいものとした。

#### ② ひびわれの照査

PRC橋で発生する曲げひびわれ幅の照査についても、コンクリート標準示方書に準じた。なお許容曲げひび割れ幅は、腐食に対する環境条件に応じ3種類の規定がある。設計マニュアルでは、連続桁の中間支点部の桁上縁でのひびわれも許容し、許容ひび割れ幅は特に厳しい腐食性環境の値を用いることとした。

一方せん断ひびわれに関しては、その幅を直接算出する方法が確立されていないため、斜引張鉄筋の応力度により間接的に照査することとした。

#### ③ PC鋼材の許容応力度

道示では、設計荷重作用時におけるPC鋼材の許容応力度が $0.6\sigma_{pu}$ であるのに対し、PRC橋では $0.7\sigma_{pu}$ とした。これは従来の許容応力度法では照査しなかった疲労に対する照査を行うことにより、PC鋼材の応力度の挙動が明確になったこと、及び疲労試験結果においても充分安全性が確認されたことによるもの

である。

④ 鉄筋量の配置

中空床版橋及び箱桁橋における、曲げモーメントに対する設計フローチャートを図1に示す。鋼材配置については、コンクリート打設が容易でかつ施工可能な最大鉄筋径、最小間隔から定まる鉄筋量を主鉄筋として配置し、その上で必要PC鋼材本数を決定することとした。具体的には鉄筋径は重ね継手が可能なD25とし、配置間隔は100mmとした。

これは試算の結果、プレストレス導入度(フルプレストレスに対する実際に導入されたプレストレス力の比率)を0.4~0.6付近で変化させても経済性にはあまり敏感でないことから、施工性の確保とひびわれ分散による耐久性向上の観点から鉄筋量を定めたものである。

⑤ 施工性を重視した構造細目

PRC橋には、PC橋やRC橋に比べて鋼材本数が減少する分、施工性が向上する利点がある。この利点を重視し、設計マニュアルには以下の細目を設けた。

- 内部振動機挿入を考慮して鋼材のあきは60mm以上とした。またスターラップ筋の径やシース径及び鉄筋のかぶりを考慮し、中空床版橋ではボイド間のあきを、箱桁橋ではウェブ厚をそれぞれ350mm以上とした。
- 中空床版橋では、ボイド下面の鉄筋も主鉄筋として作用することを考慮し、ボイド下面のかぶりは150mm以上とした。
- 単純箱桁橋については、内型わくの組み立て解体等の施工性を考慮し、ウェブ厚を支点部で拡幅せず橋軸方向に一定とした。

3. 単純中空床版橋の設計

設計マニュアルに基づいたPRC単純中空床版橋の設計例を示す。本橋は橋長22.6mの北進沢橋である。

① 床版断面形状

主版高は1.15mを採用した。この場合支間長との比は1/19となり、PCとRCのほぼ中間となった。主版幅は幅員との関係から9.65mとした。またボイドのかぶりを上下ともに150mm確保するためボイド径は850mmとし、本数は7本となった。

② 鋼材配置

設計マニュアルにない、主鉄筋はD25を100mmピッチで1段、計91本配置した。PC鋼材は、水平方向のあきを60mm以上、鉄筋との鉛直方向のあきも40mm以上確保した。PC鋼材の種類は、本数が少なく1段配

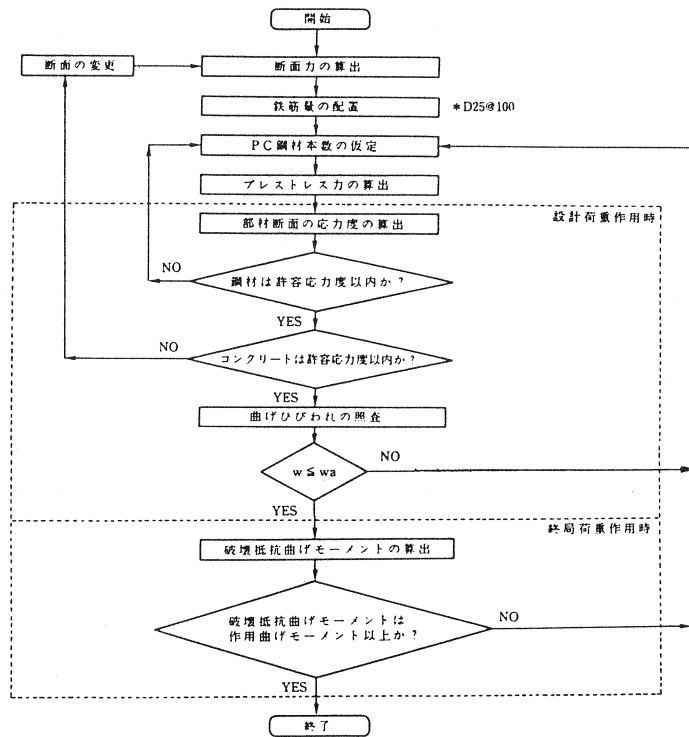


図1 曲げモーメントに対する検討フローチャート

置で済む12T12.4mmを採用し、1ウェブ当たり2本とした。支間中央での配置を図2に示す。

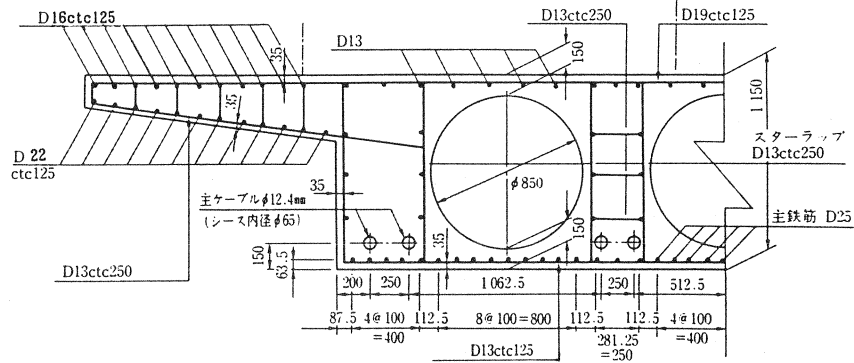


図2 北進沢橋の鋼材配置(支間中央)

③検討結果

曲げに対する設計荷重作用時及び終局荷重作用時における検討結果を表1に示す。疲労荷重作用時の照査は、設計マニュアルにもあるように省略した。

せん断力については、設計荷重作用時におけるせん断ひびわれを許容するものとして照査したが、斜引張鉄筋の負担するせん断力が負となり、斜引張鉄筋応力度の照査は不要となった。終局荷重作用時の支点付近でのコンクリートせん断応力度も12.9kgf/cmとなり、許容値の46kgf/cmを充分下回る結果となった。

表1 北進沢橋の曲げに対する検討

検討項目		単位	計算値	許容値
合成応力度	プレ導入直後	上縁	kgf/cm <sup>2</sup> 38.4	160
		下縁	kgf/cm <sup>2</sup> 4.4	
	死荷重時	上縁	kgf/cm <sup>2</sup> 49.6	125
		下縁	kgf/cm <sup>2</sup> -11.4	
設計荷重時	上縁	kgf/cm <sup>2</sup> 75.2	125	
	下縁	kgf/cm <sup>2</sup> -39.2		
設計荷重作用時	鋼材引張応力度	鉄筋 kgf/cm <sup>2</sup>	1180.2	1800
		P C kgf/cm <sup>2</sup>	104.7	122.5
	曲げひびわれ幅	mm	0.15	0.25
終局荷重作用時	曲げ破壊安全度		1.254	1.00

4. 連続中空床版橋の設計

次にP R C 2径間連続中空床版橋の設計例を示す。本橋は橋長57.4mの長流枝内川橋である。

① 床版断面形状

主版高は経済比較より1.25mを採用し、支間長との比は約1/23となった。主版幅は総幅員と張出し長の関係から8.8mとした。

またボイドのかぶりの関係から、ボイド径は950mmとし、本数は6本となった。

② 鋼材配置

支間中央における主鉄筋はD25を100mmピッチで1段、計82本配置した(図3)。また連続橋であるため、中間支点上縁部についても同様の主鉄筋を1段、計102本配置した(図4)。

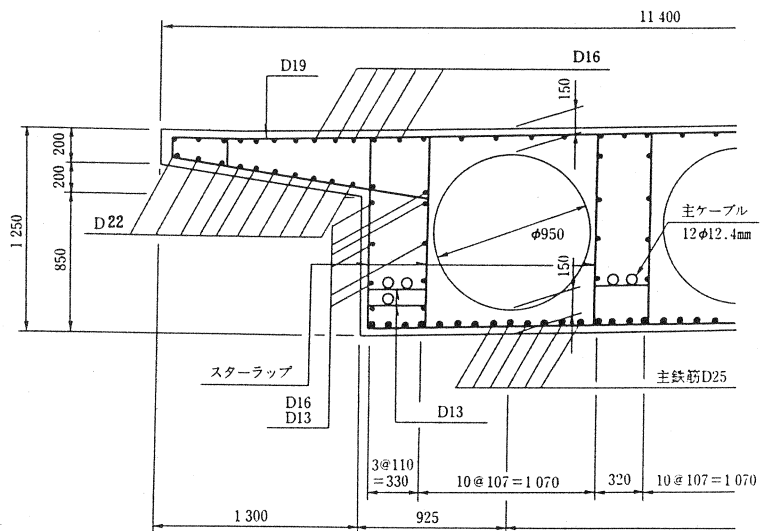


図3 長流枝内川橋の鋼材配置(支間中央)

PC鋼材は12T12.4mmを採用し、水平及び鉛直方向での所定のあきを確保した上で、計18本すなわち1ウェブ当たり2～3本ずつ配置した。

③ 検討結果

曲げに対する検討結果を表2に示す。本橋のような連続橋の場合は、支点部の条件で設計が決まり、支間中央での応力度や曲げひびわれ幅には比較的余裕が生じていることがわかる。本橋は、支点部の設計荷重作用時における曲げひびわれ幅で設計が決められている。

一方中間支点付近における、せん断及びねじりに対する検討結果を表3に示す。設計荷重作用時でのせん断力に対するコンクリートの斜引張応力度が許容値以下であるため、せん断ひびわれは生じないことになる。

また曲げ、せん断のいずれの場合でも、疲労荷重作用時における鉄筋及びPC鋼材の変動応力度の試算値は、充分余裕があることがわかる。

なお本橋は、支点上縁部の曲げひびわれを許容しており、ひびわれ部分からの水の侵入及び床版の劣化を防ぐために橋面防水工を施すこととした。試算の結果、通常のPCによる設計と比較して本設計は工費が8%減となるため、防水工を施しても充分に経済的である。

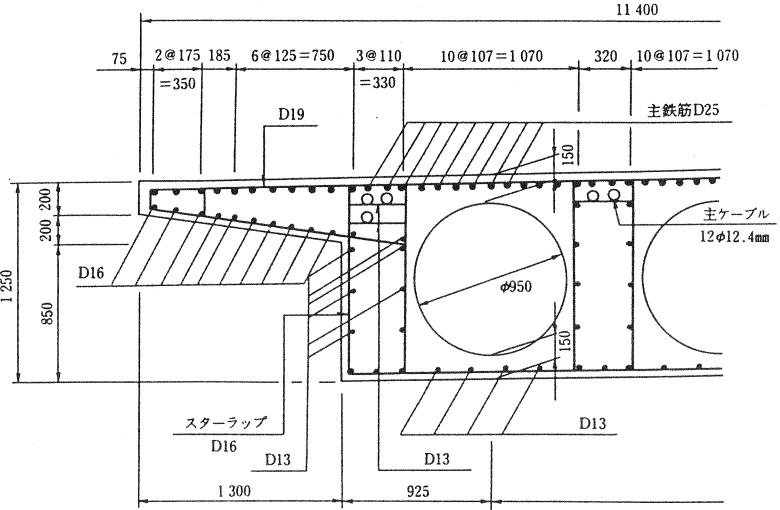


図4 長流枝内川橋の鋼材配置（中間支点上）

表2 長流枝内川橋の曲げに対する検討

検討箇所			支点部		支間中央	
検討項目	単位	計算値	許容値	計算値	許容値	
合成応力度	プレ導入直後	上縁	-8.5	160	43.4	160
		下縁	45.8		10.7	
	死荷重時	上縁	-24.2	125	52.2	125
		下縁	62.2		-4.1	
設計荷重時	上縁	-43.7	125	80.0	125	
	下縁	84.9		-34.2		
設計荷重作用時	鋼材引張応力度	鉄筋	1149.8	1800	985.5	1800
		PC	105.9	122.5	104.7	122.5
	曲げひびわれ幅	mm	0.16	0.20	0.12	0.24
終局荷重作用時	曲げ破壊安全度		1.16	1.00	1.31	1.00
疲労荷重作用時 (試算値)	変動応力	鉄筋	233	930	396	930
		PC鋼材	2.1	7.5	2.5	7.5

表3 長流枝内川橋のせん断・ねじりに対する検討

検討項目	単位	計算値	許容値	
設計荷重作用時	斜引張応力度	せん断	8.9	9.0
		ねじり	0.9	9.0
	せん断+ねじり	11.0	12.0	
鉄筋応力度	せん断	202.8	1200.0	
	ねじり	286.4	1200.0	
終局時	平均せん断応力度	せん断	23.6	47.0
		ねじり	10.6	47.0
	せん断+ねじり	34.2	47.0	
疲労時	斜引張応力度	せん断	6.8	9.0
	変動応力度	せん断 (試算)	390.0	930

5. 単純箱桁橋の設計

最後に単純箱桁橋の設計例を示す。今回設計したのはアネップ川橋のPRC1径間分42.0mである。

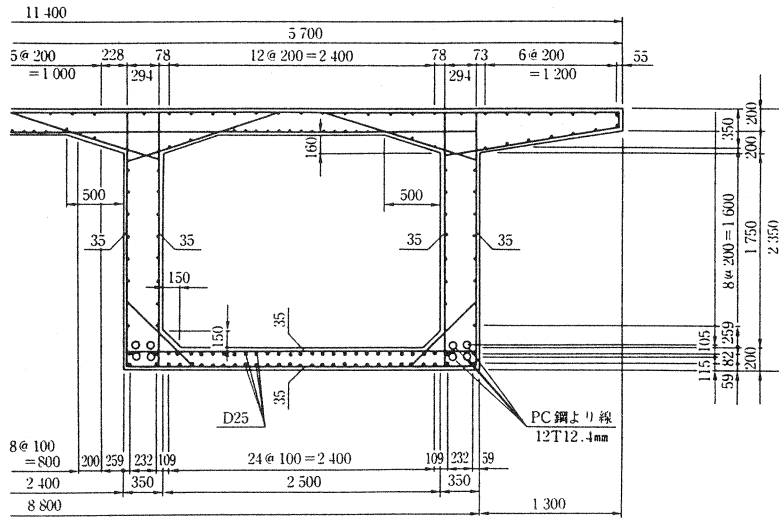


図5 アネップ川橋の鋼材配置(支間中央)

① 主桁断面形状

桁高は経済比較より2.35mを採用し、支間長との比は約1/17となった。また2主箱桁であることと張出し長の関係からウェブ間隔は2.4~2.5 mとなり、上床版厚は24cmとした。ウェブ厚は設計マニュアルより、350mmとし、下床版厚はPC鋼材と横方向鉄筋との関係から20cmとした。

② 鋼材配置

主鉄筋はD25を100mmピッチで2段とし、計116本配置した。PC鋼材は12T12.4mmを採用し、所定のあきを確認した上で計16本、すなわち1ウェブ当たり2列ずつ4本配置とした。支間中央での配置を図5に示す。

③ 検討結果

支間中央での曲げに対する検討結果を表4に示す。箱桁橋の場合、設計荷重作用時ではなく終局荷重作用時の曲げ破壊安全度の方で設計が決まっているのが特徴である。

次に支点付近でのせん断力及びねじりに対する検討結果を表5に示す。設計荷重作用時のせん断力に対するコンクリートの斜引張応力度が許容値を超えるため、本橋ではせん断ひびわれが発生する。しかしこの場

表4 アネップ川橋の曲げに対する検討

検討項目		単位	計算値	許容値
合成応力度	プレ導入直後	上縁	kgf/cm <sup>2</sup> 50.7	160
		下縁	kgf/cm <sup>2</sup> -6.3	
	死荷重時	上縁	kgf/cm <sup>2</sup> 65.1	125
		下縁	kgf/cm <sup>2</sup> -29.8	
	設計荷重時	上縁	kgf/cm <sup>2</sup> 90.8	125
		下縁	kgf/cm <sup>2</sup> -64.4	
設計荷重作用時	鋼材引張	kgf/cm <sup>2</sup> 1537.7	1800	
	鉄筋応力度	kgf/cm <sup>2</sup> 119.4	122.5	
	PC	kgf/cm <sup>2</sup> 0.18	0.24	
終局荷重作用時	曲げひびわれ幅	mm	1.017	1.00
疲労荷重作用時(試算値)	変動鉄筋	kgf/cm <sup>2</sup> 216.1	930	
	PC鋼材	kgf/cm <sup>2</sup> 2.22	7.5	

表5 アネップ川橋のせん断・ねじりに対する検討

検討項目		単位	計算値	許容値
設計荷重作用時	斜引張応力度	せん断	kgf/cm <sup>2</sup> 10.2	9.0
		ねじり	kgf/cm <sup>2</sup> 0.2	9.0
	せん断+ねじり		kgf/cm <sup>2</sup> 11.7	12.0
	鉄筋応力度	せん断	kgf/cm <sup>2</sup> 454.4	1200.0
ねじり		kgf/cm <sup>2</sup> 345.4	1200.0	
終局時	平均せん断応力度	せん断	kgf/cm <sup>2</sup> 28.2	47.0
		ねじり	kgf/cm <sup>2</sup> 4.2	47.0
		せん断+ねじり	kgf/cm <sup>2</sup> 32.3	47.0
疲労時	斜引張応力度	せん断	kgf/cm <sup>2</sup> 6.3	9.0
	変動応力度	せん断(試算)	kgf/cm <sup>2</sup> 52.8	930

合でも応力超過は若干程度であり、斜引張鉄筋応力度には充分余裕があるため、設計マニュアルに従い支点部のウェブの拡幅等は特に行わないこととした。なお支点部のスターラップは、D19を125mmピッチで配置した。

また本橋での疲労荷重作用時の鋼材の変動応力の試算でも、曲げ、せん断力の両方の場合について相当の余裕が生じていることがわかった。

## 6. まとめ

以上PRC道路橋設計マニュアルの特徴と、それに基づいた設計例について述べてきた。これによりPRC中空床版橋、単純箱桁橋及び二主版桁橋に関しては、具体的な設計手法がほぼ確立されたことになる。PRC橋よりも経済的で、かつRC橋よりも施工性や終局時の安全性に優れるPRC橋が設計されることは、今後の高速道路橋を考える上で非常に有用であり、今回のマニュアルを参考に全国的に普及していくことを願ってやまないものである。

将来は、クリープや弾性短縮減少による連続ラーメン橋の多径間化や、張出し架設の箱桁橋への適用等、PRC橋の発展に向けてさらに進んでいきたいと考えている。

## 7. 参考文献

- 1) (社)日本道路協会. 道路橋示方書・同解説Ⅲコンクリート橋編. 平成6年2月
- 2) 土木学会. コンクリート橋標準示方書. 1991年
- 3) 日本道路公団. 設計要領第二集. 第7編橋梁上部構造. 平成2年7月
- 4) (財)高速道路技術センター. 北海道横断自動車道(清水～池田)PRC道路橋の実用的設計法に関する調査検討(その4)報告書. 平成6年3月