

北進沢橋 (PRC中空床版橋) の計画・設計

檜山 義光*1・肥田 研一*2

1. まえがき

PRC 橋は、PC 鋼材によるプレストレスと鉄筋によって、ひびわれ幅をある値以下に制御したコンクリート橋であり、RC 橋や PC 橋に比べて耐久性、施工性、経済性の面でメリットがある。また、RC 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も十分に秘めている。そこで道路橋の分野においても今後 PRC 橋を普及していくことは社会的にも便益が大きいと言える。

しかし、道路橋の設計基準である「道路橋示方書」¹⁾(以下：道示)では、許容応力度法を設計の基本理念としており、プレストレスコンクリートについては、死荷重時フルプレストレス、設計荷重時においてもコンクリートのひびわれを許容しない PC 部材の概念しかない。一方、PRC 橋は、設計荷重時にある程度のひびわれ発生を許容し、設計手法も一般的には限界状態設計法に基づいて行われている。このため、PRC の概念が道示との関連から容易には受け入れにくい面があり、

PRC 道路橋を普及させるには、道示を基本としたうえで許容応力度法でも受け入れやすい PRC の設計手法の確立が急務となっている。

道示において PRC の設計のネックとなっている具体的な問題点は、部材のひびわれと疲労破壊に対して、コンクリートと鉄筋および PC 鋼材の応力度を許容応力度以下とすることによって間接的に照査を行っている点にある。したがって、道示に準じて PRC 部材を設計するにあたっては、曲げモーメントおよびせん断力の両方についてそれぞれ、ひびわれ幅の照査と疲労に対する照査の方法がポイントとなっている。

現在、日本道路公団では、これらの課題を整理して実用的設計手法および耐久設計の検討を行うため、(財)高速道路技術センター内に「PRC 道路橋の実用的設計法に関する調査検討委員会」^{2),3)}を設け審議を継続している。

今回は、場所打ちの PRC 橋に適した橋種として中空床版橋を抽出し、その適用支間、断面形状、設計方法等を検討し、その成果として「PRC 中空床版橋設計マニュアル(案)」を提案している。

標題の北進沢橋は、北海道横断自動車道清水～池田間 50 km のほぼ中央(図-1 参照)に位置する支間 22.6 m の PRC 単純中空床版橋であり、2 径間連続の長流

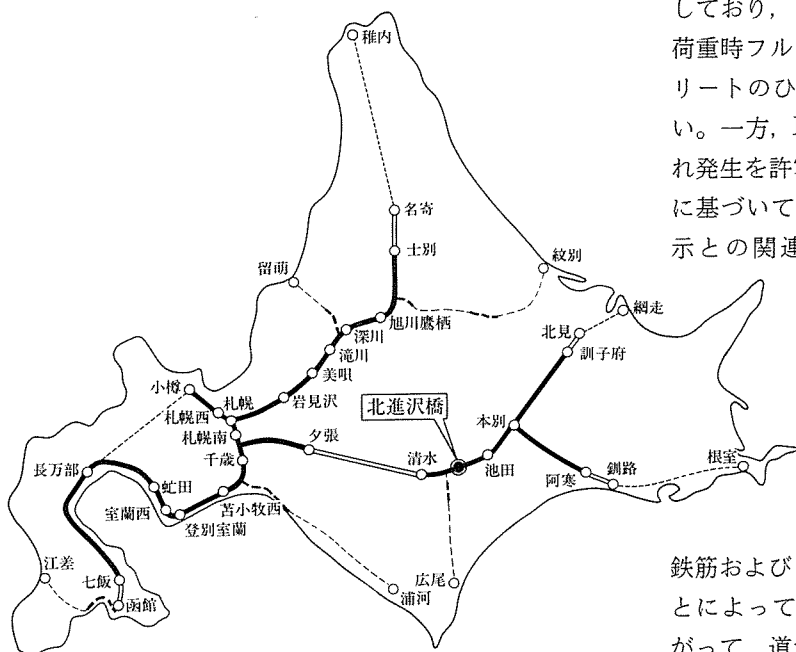
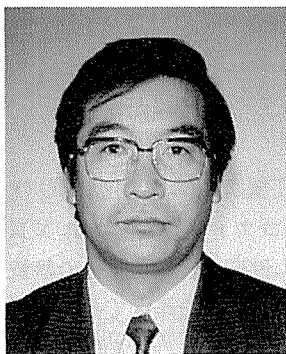
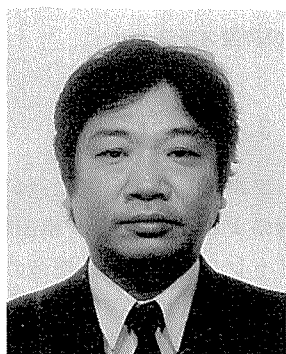


図-1 位置図



*1 Yoshimitsu HIYAMA
日本道路公団
札幌管理事務所副所長
(前：札幌建設局構造技術
課課長)



*2 Kenichi HIDA
千代田コンサルタント(株)
構造設計部

表-1 単純中空床版橋の構造別断面の比較

	RC中空床版橋	PRC中空床版橋	PC中空床版橋
断	<p>支間 15.0m 桁高 0.85m</p>	<p>支間 15.0m 桁高 0.75m プレストレス導入度 $\lambda=0.41$</p>	
面	<p>工事費比率 $\alpha(\text{RC})=1.00$</p> <p>支間 18.0m 桁高 1.05m</p>	<p>工事費比率 $\alpha(\text{PRC}/\text{RC})=1.14$</p> <p>支間 20.0m 桁高 1.00m プレストレス導入度 $\lambda=0.40$</p>	<p>支間 20.0m 桁高 1.00m</p>
配筋	<p>工事費比率 $\alpha(\text{RC})=1.00$</p>	<p>工事費比率 $\alpha(\text{PRC}/\text{RC})=1.21$</p>	<p>工事費比率 $\alpha(\text{PC}/\text{PRC})=1.25$</p>
図		<p>支間 25.0m 桁高 1.25m プレストレス導入度 $\lambda=0.51$</p>	<p>支間 25.0m 桁高 1.25m</p>
		<p>工事費比率 $\alpha(\text{PRC})=1.00$</p>	<p>工事費比率 $\alpha(\text{PC}/\text{PRC})=1.16$</p>
施工性	<p>① 支間 18.0m では、D32 が 3 段にて Z 筋があるため施工性は悪い。</p> <p>② コンクリートの打設の施工性は、PRC、PC に比べ最も悪い。</p> <p>③ D32 であるため継手は、圧接となる。</p>	<p>① 鉄筋、PC 鋼材ともに 1 段ずつの配筋となり RC に比べ施工性は良い。</p> <p>② コンクリート打設の施工性は良い。</p> <p>③ D25 であるため継手は重ね継手となる。</p>	<p>① PC 鋼材 2 段、最小鉄筋 1 段の配置となり RC に比べ施工性は良い。</p> <p>② コンクリート打設の施工性は良い。</p>
構造的	<p>① 鉄筋量は死荷重時の応力度制限によって定まっている。</p> <p>② ひびわれ幅は死荷重時 0.20mm 設計荷重時 0.27mm と PRC に比べ大きなひびわれ幅となっている (支間 18.0m)。</p> <p>③ 終局荷重時安全率は 1.1 程度となり断面効率は良い。</p>	<p>① 鉄筋量、PC 鋼材量は終局荷重により定まる。</p> <p>② ひびわれ幅は死荷重時に 0.1mm、設計荷重時 0.2mm 程度となる。</p> <p>③ 終局荷重時安全率は 1.0 に近く、断面効率は良い。</p>	<p>① PC 鋼材量は設計荷重時のコンクリート応力度により定まる。</p> <p>② ひびわれは、発生しない。</p> <p>③ 終局荷重時安全率は 1.2 程度であり、断面効率は悪い。</p>

表-2 PRC, RC 中空床版橋上下部工の比較

P R C 中空床版橋			R C 中空床版橋			
側面図						
断面図						
配筋図	径間中央	中間支点	径間中央	中間支点		
工事費	上部工 1.24 下部工 0.92 上下部工 1.01		上部工 1.00 下部工 1.00 上下部工 1.00			
耐久性ポイント	項目	径間中央	中間支点	項目	径間中央	中間支点
	① ワークビリティ	-5	-5	① ワークビリティ	-4	-4
	② 堅硬性	12	12	② 堅硬性	5	5
	③ 単位水量	7	7	③ 単位水量	10	10
	④ 温度ひびわれ	3	3	④ 温度ひびわれ	3	3
	⑤ 曲げひびわれ	10	10	⑤ 曲げひびわれ	1	-3
	⑥ かぶり	6	12	⑥ かぶり	10	10
	⑦ 鉄筋の段数およびあき	5	5	⑦ 鉄筋の段数およびあき	4	4
	$\sum T_{P1}$ (①~⑦)	38	44	$\sum T_{P1}$ (①~⑦)	28	25
	その他 $\sum T_{P2}$	41	41	その他 $\sum T_{P2}$	41	41
$T_P = 50 + (\sum T_{P1} + \sum T_{P2})$	129	135	$T_P = 50 + (\sum T_{P1} + \sum T_{P2})$	119	116	

技内川橋とともに PRC 中空床版のモデル橋として採用されたものである。北進沢橋は、1992 年 5 月末に工事発注され、現在、「PRC 中空床版橋設計マニュアル(案)」に基づいて詳細設計を実施中である。

本文では、PRC 中空床版橋の計画・設計にあたり実施した一連の検討結果について報告する。

2. PC, RC, PRC 中空床版橋の比較

PRC 橋には、PC 橋と RC 橋の両者の特徴を生かしたメリットがあると考えられる。PRC のメリットについて、耐久性、施工性、経済性の面から具体的に把握するために単純中空床版橋にて試設計を実施した。表-1、表-2、図-2 は、試設計の結果をまとめたものであり、これらの図表から PRC のメリットとして以下の点があげられる。

(1) 施工性の向上

PRC 中空床版橋の支間 15.0~25.0 m の範囲では、表-1 に示すように、鋼材配置が鉄筋 1 段、PC 鋼材 1 段となり、RC、PC と比較して鋼材配置およびコンクリートの打設などの施工性は、明らかに向上すると思われる。

また、施工性を図る目安として、図-2 に示すように、建設省土木工事積算基準歩掛⁴⁾を用いて PC 工、鉄筋工の総人員数の比較を RC、PRC、PC について行った。これはプレストレス導入度を変数として、各導入度ごとに PC 鋼材および鉄筋配置を仮定し、その数量をもとに歩掛と合わせて算出したものである。これによると、PRC の方が PC、RC に比べて総人員数は減じる傾向が表れている。

(2) 耐久性の向上

RC と PRC のひびわれ幅を比較してみると、PRC のひびわれ幅は RC のひびわれ幅に比べて死荷重時、死荷重時ともはるかに小さい。

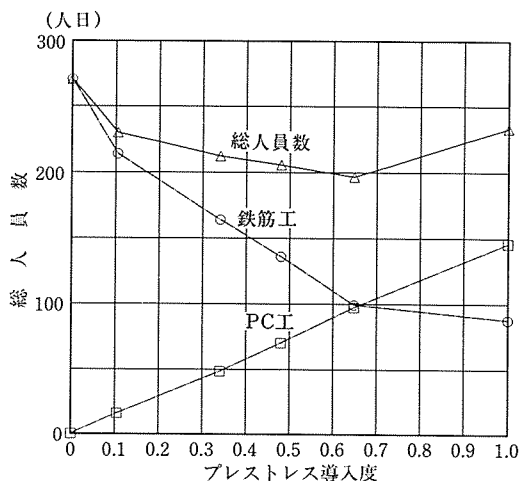


図-2 プレストレス導入度と鉄筋工、PC工の総人員数

また、表-2 に示す耐久性指数は、「コンクリート構造物の耐久性指針(試案)」⁵⁾により PRC、RC 中空床版の差が生じる項目を抽出し、その他の項目は同一であると仮定して算出したものである。表-2 に示すように、PRC は RC に比べ耐久性指数が高く、鋼材配置、コンクリート打設等の施工性が向上するとともに耐久性も向上する傾向が表れている。

(3) 経済性の向上

表-1 に示す工事比率から、支間 20 m 以下では RC が経済的に最も優れているが、鋼材配置を見ると支間 18 m の RC 中空床版橋で D 32 が 3 段配置となっており、鋼材配置に相当の無理がある。施工上から RC の適用限界は支間 18 m 以下と考えられる。

支間 20 m、25 m では、いずれも PRC の方が PC より経済的に優れた傾向が表れている。

表-2 では、下部工費も含めた RC、PRC の全体工事費について比較しており、上部工では PRC の方が 20 % 工事費増となるが、下部工を含めた全体工事費では大差ない結果となった。試算例は直接基礎の場合であるが、杭基礎を用いる場合は、一層 PRC が有利になるであろうことが容易に想定でき、RC 中空床版をより耐久性の高い PRC 橋に変更していく可能性が示唆される。

3. PRC 中空床版橋の設計

3.1 プレストレス導入度の設計

PRC 断面の設計においては、断面形状、プレストレス導入度、鉄筋量等の選定にかなりの自由度があり、個々の橋梁ごとに種々の要素を変化させて断面を決定していたのでは設計がきわめて煩雑かつ非効率である。そこで、これら不確定な要素をできるだけ減らすべく検討を行った。

プレストレス導入度と工事費および耐久性指数の関係を支間 20.0 m の単純中空床版橋について示したものが図-3 である。プレストレス導入度と工事費の関係では、図-3 に示すように導入度 0.4 付近にボトムが表れ

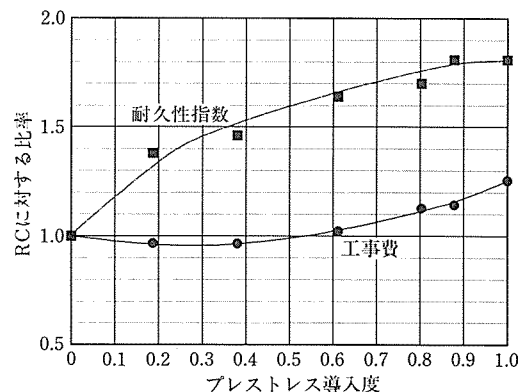


図-3 プレストレス導入度と工事費および耐久性指数

ているが、導入度 0.6 程度以下では工事費に大差がないことがわかる。次に、プレストレス導入度と耐久性の関係では、「コンクリート構造物の耐久設計指針(試案)」の耐久性指数を用いて検討した。支間 20 m の中空床版橋では、耐久性指数は RC が最も低く、プレストレス導入度が上がるに従って耐久性指数が向上する傾向にあり、支間 20 m では PC が最も耐久性が優れているという結果になった。

設計を簡便化するために、プレストレス導入度をあらかじめ設定しておくことも一つの方法であるが、以上の検討結果からもわかるとおり、プレストレス導入度を何らかのファクターにより一義的に定めることはかなり困難である。そこで、プレストレス導入度を意識せず PC

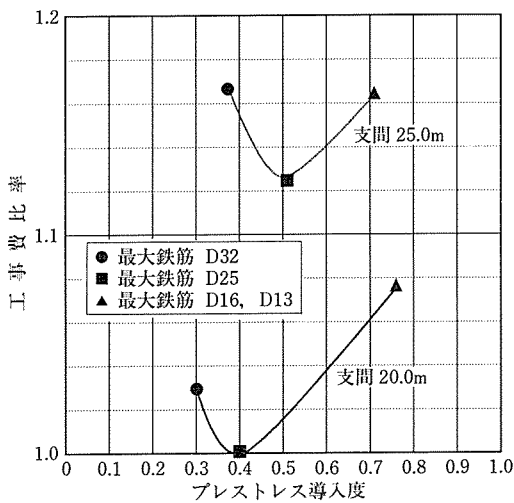


図-4 支間桁高比および最大鉄筋量と工事費

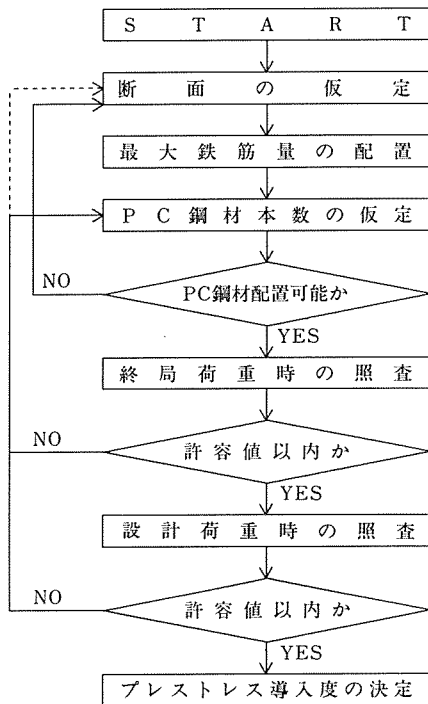


図-5 PRC 中空床版橋プレストレス導入度設定のフローチャート

鋼材量を決定する方法として以下のものを提案した。

- ① まず、コンクリートの打設性能および耐久性能が良好でかつ施工可能な最大鉄筋径、最小間隔から定まる最大鉄筋量を配置する。PRC 中空床版橋の場合、最大鉄筋量は、D 25 ctc 100-1 段とした(図-4 参照)。
- ② 次に PC 鋼材量は、終局荷重作用時、設計荷重作用時の種々の許容値を満足するように最小本数を定める。許容値と比較して断面力に余裕がある場合には、鉄筋量で微調整を行う。この結果としてプレストレス導入度が決定される。中空床版橋の PC 鋼材量は、一般的に終局荷重作用時の安全率から決まることが多い。

以上のように、PRC 中空床版橋のプレストレス導入度は、コンクリートの打設性能を損なわない配置可能な最大鉄筋量より、図-5 に示すプレストレス導入度設定のフローチャートに従って、一義的に決定され、かつ、耐久性の良い構造物の設計が可能となる。

3.2 全死荷重作用時の照査

道示では、RC 部材は、死荷重作用時の応力を制限することにより間接的にひびわれ制御を行っている。また、「PRC 道路橋設計要領(案)」⁶⁾(表-6, 7 参照)では、全死荷重作用時に PC 鋼材、鉄筋の増加応力度が 1 000 kgf/cm², 1 200 kgf/cm² の許容値以下であることを確かめることになっている。

支間 20.0 m の中空床版橋でのプレストレス導入度を変化させた場合の各照査項目の安全率を図-6 に示

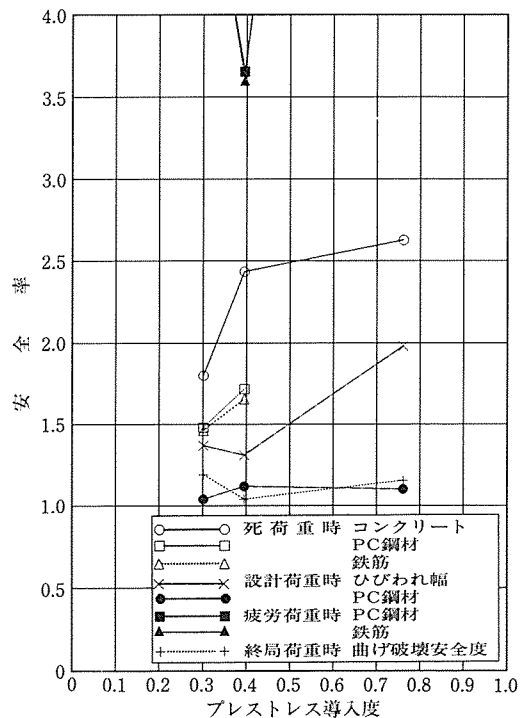


図-6 各照査項目の安全率(支間 20.0 m)

す。死荷重作用時の PC 鋼材、鉄筋応力度は、許容ひびわれ幅の安全率を上回っている。このことは、「PRC 道路橋設計要領（案）」に示されている死荷重作用時の鉄筋、PC 鋼材応力度の照査では決定されず、活荷重作用時の許容ひびわれ幅の方が断面の決定要素になるといえる。

したがって、全死荷重作用時に PC 鋼材、鉄筋の増加応力度の照査は行わないこととし、活荷重作用時の許容ひびわれ幅の照査にてのみ行うものとした。

3.3 活荷重作用時のひびわれ幅の照査

(1) ひびわれ幅の照査式

道示では、許容応力度にて間接的にひびわれ幅等の制限を行うため、ひびわれ幅の照査に関する概念が規定されていない。このため、ひびわれ幅は「コンクリート標準示方書」⁷⁾に準じ直接照査することとした。「コンクリート標準示方書」では、表-3 に示すように許容ひびわれ幅を定めている。PRC 中空床版橋の支間中央部のひびわれ幅は一般の環境に使用されるものとして、下記に示す照査式を用いる。

① 許容ひびわれ幅 ω_a

$$\omega_a = 0.005 c \dots\dots\dots (1)$$

ここに、

ω_a : 許容ひびわれ幅 (cm)

c : かぶり (cm)

② ひびわれ幅算定式

$$\omega = K_1 \{4c + 0.7(C_0 - \phi)\} \cdot \left(\frac{\sigma_{se}}{E_s} + \epsilon_y \right) \dots (2)$$

ここに、

K_1 : 鉄筋の付着性状の影響を表す定数 ($K_1=1.0$)

C_0 : 鉄筋の中心間隔 (cm)

c : 鉄筋のかぶり (cm)

E_s : 鉄筋のヤング係数 (kgf/cm²)

ϕ : 鉄筋直径 (cm)

σ_{se} : 鉄筋応力度の増加量 (kgf/cm²)

ϵ_y : コンクリートのクリープ、乾燥収縮によるひびわれ幅の増加を考慮するための数値。

$$(\epsilon_y = 150 \times 10^{-6})$$

③ ひびわれ幅算定に用いる断面力

$$M_e = \gamma_{fp} \cdot M_p + \gamma_{fr} \cdot M_r \dots\dots\dots (3)$$

ここに、

M_e : 設計断面力

M_p : 持続荷重による断面力 (一般には全死荷重)

M_r : 変動荷重による断面力 (一般には活荷重)

γ_{fp} : 持続荷重の荷重係数 (設計荷重作用時のひびわれ幅の照査では 1.0)

γ_{fr} : 変動荷重の荷重係数

なお、ひびわれ幅算定に用いる断面力の持続荷重に関する荷重係数 γ_{fr} は、橋種ごとに交通量、大型車混入率から設定すべきである。しかし、高速道路での交通量および自動車荷重のデータが不足しており、 γ_{fr} を交通量などに関し定めると設計が複雑になり、図-6 に示すように単純桁では $\gamma_{fr}=1.0$ としても許容ひびわれ幅 0.005 c を満足する。したがって、変動荷重の荷重係数は、安全性を考慮し γ_{fr} を 1.0 とした。

(2) ϵ_y について

ひびわれ幅の算出式 (2) では、コンクリートのクリープ、乾燥収縮による影響を考慮する数値 ϵ_y (一般に $\epsilon_y = 150 \times 10^{-6}$) を考え、ひびわれ幅を算出している。

しかし、コンクリートのクリープ、乾燥収縮による影響は鋼材の増加応力度 (σ_{se}) にも影響するため、通常コンクリートのクリープ、乾燥収縮による鋼材応力度の変化量 ($\Delta\sigma$) を求め鋼材の増加応力度を算定する。このため、ひびわれ幅の算定に ϵ_y を考慮するとコンクリートのクリープ、乾燥収縮による影響を、二重に考えたこととなる。

コンクリートのクリープ、乾燥収縮による影響は、ひびわれ幅の算定および鋼材応力度のどちらか片方に考慮すればよく、両方に考慮する必要はない。

コンクリートのクリープ、乾燥収縮による影響を考慮する方法として以下の 2 通りが考えられる。

① コンクリートのクリープ、乾燥収縮の影響を鋼材応力度の変化量 ($\Delta\sigma$) を求め鋼材の増加応力度にて考慮し、ひびわれ幅を求める。

$$\Delta\sigma \text{ を考慮, } \epsilon_y = 0$$

② コンクリートのクリープ、乾燥収縮の影響をひびわれ幅の算定にて考慮し、ひびわれ幅を求める。

$$\Delta\sigma = 0, \epsilon_y = 150 \times 10^{-6}$$

単純桁 (支間長 20.0 m, プレストレス導入度 $\lambda=0.40$) において、①と②の方法によるひびわれ幅の比較を行ったところ、コンクリートのクリープ、乾燥収縮の影響を鋼材の増加応力度にて考慮する①の場合では $\omega=0.21$ mm となる。また、コンクリートのクリープ、乾燥収縮の影響をひびわれ幅の算定にて考慮する②の場合では $\omega=0.22$ mm となり、①と②の方法によるひびわれ幅にほとんど差がない結果となっている。

通常 PRC 部材の設計では、コンクリートのクリープ、乾燥収縮の影響を鋼材の増加応力度にて考慮し、ひびわれ幅を算定する①の方法が使用されている。しか

表-3 許容ひびわれ幅 ω_a (cm)

鋼材の種類	鋼材の腐食に対する環境条件		
	一般の環境	腐食性環境	特に厳しい腐食性環境
異形鉄筋・普通丸鋼	0.005 c	0.004 c	0.0035 c
P C 鋼材	0.004 c	-	-

し、以上の結果は、コンクリートのクリープ、乾燥収縮の影響をひびわれ幅算定式にて考慮する②の方法でひびわれ幅の算定を行えば、複雑なコンクリートのクリープ、乾燥収縮の影響を考えずに導入プレストレスによる断面力で求めることができ、PRC 部材を RC の設計手法と同等にできる可能性があることを意味している。

3.4 曲げ疲労に対する照査方法の検討

疲労の検討は、一般に湿潤状態にあるコンクリートや軽量コンクリートなど特別な場合を除けば、応力振幅の大きい引張鉄筋および PC 鋼材についてのみ行えばよいと考えられている。このため、PRC 中空床版橋の鉄筋、PC 鋼材に対して、TT-43 荷重を疲労荷重とし、高速道路の繰返し回数を「プレレストコンクリート部材の設計法に関する調査報告書（その 2）」⁸⁾を参考に設定した。繰返し回数より設計疲労強度を求め、TT-43 荷重を疲労荷重とした応力振幅と比較することによって、疲労について照査をした。

TT-43 荷重の繰返し回数は、交通量の最も多い東名高速道路静岡付近の値とし、支間 20.0 m の PRC 単純中空床版橋にて検討を行った。なお、検討は標準的な支間桁高比 1/20 に加え、一般的に中空床版橋では適用しない支間桁高比 1/30 についても参考のため検討を行った。

耐用年数を 50 年とした TT-43 疲労荷重の変動応力度は、表-4 に示すように支間桁高比 1/20 では PC 鋼材で 2.32 kgf/mm²、鉄筋で 2.78 kgf/mm² と疲労に対して 3.0 以上の安全率を有している。また、中空床版橋では適用しない支間桁高比 1/30 でも疲労に対して十分な安全性を持っていることがわかる。

設計耐用年数による設計疲労強度の変化は、表-5 に示すように 50 年から 100 年としてもさほど変化なく、

表-4 変動荷重と疲労に対する安全率

	桁高 1.00 m (1/20)		桁高 0.20 m (1/30)	
	PC 鋼材	鉄筋	PC 鋼材	鉄筋
変動応力度 (kgf/mm ²)	2.32	2.78	2.73	3.52
設計疲労強度 (kgf/mm ²)	7.41	12.6	8.10	13.8
安全率	3.20	4.52	2.96	3.91

表-5 設計耐用年数と安全率

繰返し回数 (×10)	設計耐用年数 (年)	P C 鋼材 (変動応力度 2.31 kgf/mm ²)		鉄筋 (変動応力度 2.78 kgf/mm ²)	
		設計疲労強度 (kgf/mm ²)	安全率	設計疲労強度 (kgf/mm ²)	安全率
43.7	50	7.41	3.21	12.6	4.53
87.4	100	6.68	2.89	12.1	4.35
1 000	1 140	4.72	2.04	10.6	3.81
10 000	11 400	3.35	1.45	9.22	3.32

- ・耐用年数 50 年 (TT-43 等価繰返し回数 4 370 万回)
- ・安全率 = 設計疲労強度 / 変動応力度

変動応力度に対する安全率がごくわずかに低下するだけである。また、PC 鋼材を例にとると、設計耐用年数の約 11 000 年に相当する 10×10⁹ 万回の繰返し回数においても安全率は 1.4 程度である。したがって、通常考えられる数 100 年のオーダーでの設計耐用年数では、PRC 中空床版橋は疲労破壊に対して高い安全性を有していると考えられ、特殊ケースでない限り疲労は問題とならないと思われる。

3.5 せん断力に対する照査方法の検討

PRC 中空床版橋のせん断補強鉄筋量は、終局荷重用時にて決定される傾向にあり、終局荷重用時の必要鉄筋量にて設計荷重用時のせん断ひびわれの照査の許容応力度を十分満足する。しかし、せん断ひびわれは、曲げひびわれに比べて構造物に大きな影響を及ぼすことが懸念されるため、PRC 中空床版の斜め引張応力度とウェブ幅の検討を、単純桁（支間長 20.0 m）について行った。

中空床版橋のウェブ幅と斜め引張応力度の関係は、図-7 に示すように極めてウェブ幅が薄い場合は道示の斜め引張応力度の許容値 9 kgf/cm² を超えるが、標準的な断面であるウェブ幅 3.0~3.5 m 程度では、4 kgf/cm² 前後となっており、十分に許容値を満足している。これは、単純桁のせん断力の照査断面位置はひびわれ発生曲げモーメントが生じていない範囲にあり、PC と同じとなるためである。したがって、PRC 中空床版橋では、特殊な断面以外は、斜め引張応力度が問題となることはない想定される。

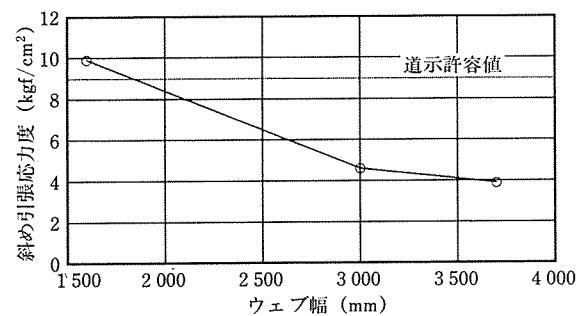


図-7 ウェブ幅と斜め引張応力度

以上のことから、PRC 中空床版橋では、せん断ひびわれは、曲げひびわれと同様に設計荷重作用時のひびわれ幅にて制限する。しかし、せん断ひびわれ幅の算定方法および許容せん断ひびわれ幅が現状では明らかでないため、「PRC 道路橋設計要領（案）」に準じて、設計荷重作用時のせん断補強鉄筋の応力度（1 200 kgf/cm²）

にてせん断ひびわれの照査を行うものとした。

4. PRC 中空床版橋設計マニュアル（案）

3.1 から 3.5 に述べた検討結果を踏まえて、表-6、表-7 に示す「PRC 中空床版橋設計マニュアル（案）」として提案した。表には、道示等の他の設計基準も併記し

表-6 PRC 中空床版橋と各種基準の比較表（曲げモーメントに対する検討）

項 目	道 路 橋 示 方 書 平成 2 年 2 月 日本道路協会	コンクリート標準示方書 平成 3 年 土 木 学 会	PRC 道路橋設計要領(案) 昭和 61 年 2 月 高速道路調査会	PRC 中空床版橋設計 マニュアル(案)	
ヤ ン グ 係 数	鉄 筋 2 100 000 kgf/cm ² PC 鋼 材 2 000 000 kgf/cm ² コンクリート 295 000 kgf/cm ²	鉄 筋 2 100 000 kgf/cm ² PC 鋼 材 2 000 000 kgf/cm ² コンクリート 295 000 kgf/cm ²	道路橋示方書と同じ	道路橋示方書に準ずる 鉄 筋 2 100 000 kgf/cm ² PC 鋼 材 2 000 000 kgf/cm ² コンクリート 295 000 kgf/cm ²	
応 力 度 の 検 討	最大緊張力 0.80 σ_{pu} , 0.90 σ_{py} 緊張直後 0.70 σ_{pu} , 0.85 σ_{py} そ の 他 0.60 σ_{pu} , 0.75 σ_{py}	最大緊張力 0.80 σ_{pu} , 0.90 σ_{py} 緊張直後 0.70 σ_{pu} , 0.85 σ_{py} 使用限界状態 0.70 σ_{pu} (限界値)	最大緊張力 0.80 σ_{pu} , 0.90 σ_{py} 緊張直後 0.70 σ_{pu} , 0.85 σ_{py} 死 活 荷 重 0.60 σ_{pu} , 0.75 σ_{py}	コンクリート標準示方書に準ずる。 最大緊張力 0.80 σ_{pu} , 0.90 σ_{py} 緊張直後 0.70 σ_{pu} , 0.85 σ_{py} 死 活 荷 重 0.70 σ_{pu} , 0.85 σ_{py}	
	コンクリートの曲げ圧縮応力度の制限値 (σ_{ck} =350 kgf/cm ²)	プレストレッシング直後 170 kgf/cm ² 設計荷重作用時 135 kgf/cm ²	プレストレッシング直後 曲 げ 圧 縮 205 kgf/cm ² 軸 圧 縮 175 kgf/cm ² 全死荷重作用時 140 kgf/cm ²	プレストレッシング直後 175 kgf/cm ² 全死荷重作用時 140 kgf/cm ²	PRC 道路橋設計要領(案)に準ずる。 プレストレッシング直後 175 kgf/cm ² 全死荷重作用時 140 kgf/cm ²
使 用 限 界 状 態	鋼材応力度増加量	-	ひびわれ幅の検討を省略できる場合の永久荷重による応力度増加量 異形鉄筋 1 200 kgf/cm ² PC 鋼材 1 000 kgf/cm ²	全死荷重作用時の許容増加量 異形鉄筋 1 200 kgf/cm ² PC 鋼材 1 000 kgf/cm ²	
	ひびわれ幅の検討	PC：コンクリート引張応力度を制限してひびわれを許容しない RC：鉄筋の応力度を制限してひびわれを制御	許容ひびわれ幅 異形鉄筋・一般環境 0.005 c (c：かぶり)	許容ひびわれ幅 異形鉄筋・一般環境 0.005 c (c：かぶり)	コンクリート標準示方書に準ずる。 許容ひびわれ幅 異形鉄筋・一般環境 0.005 c (c：かぶり) 変動荷重に係る荷重係数は、当面 1.0 とした。
疲 勞 状 態	鋼材と鉄筋の変動応力の照査	-	設計疲労強度の設計変動応力に対する比が構造物係数以上であることを確認する。	疲労荷重による変動応力が、設計疲労強度以下であることを確認する。	
終 局 限 界 状 態	応力～ひずみ曲線	Ⅲ. 2.4.4 で規定	道路橋示方書と同じ	道路橋示方書と同じ	道路橋示方書に準ずる
	断面力の算出	①1.3×死荷重+2.5 ×(活荷重+衝撃) ②1.0×死荷重+2.5 ×(活荷重+衝撃) ③1.7×(死荷重 +活荷重+衝撃)	荷重係数、荷重修正係数、荷重組合せ係数および構造解析係数を考慮して設計断面力 S_d を算出。	道路橋示方書と同じ	道路橋示方書に準ずる ①1.3×死荷重+2.5 ×(活荷重+衝撃) ②1.0×死荷重+2.5 ×(活荷重+衝撃) ③1.7×(死荷重 +活荷重+衝撃)
	断面破壊の安全性の検討	Ⅲ. 2.4.4 で抵抗曲げモーメントを算出し断面力と比較	部材係数と材料係数を考慮した設計断面耐力 R_d を算出し、 R_d/S_d が構造物係数以上となるように設計する。	道路橋示方書と同じ	道路橋示方書に準ずる Ⅲ. 2.4.4 で抵抗曲げモーメントを算出し断面力と比較

表-7 PRC 中空床版橋と各種基準の比較表（せん断力に対する検討）

項 目		道 路 橋 示 方 書 平成2年2月 日本道路協会	コンクリート標準示方書 平成3年 土木学会	PRC 道路橋設計要領(案) 昭和61年2月 高速道路調査会	PRC 中空床版橋設計 マニュアル(案)
使用 限界 状態	せん断ひびわれの検討	設計荷重作用に斜めひびわれを生じないように斜め引張応力度で制限。	永久荷重作用時のせん断補強鉄筋の応力度が下記の数値より下回る場合は、詳細な検討を行わなくてもよい。 異形鉄筋・一般環境 1 200 kgf/cm ²	全活荷重作用時に生じるせん断補強鉄筋の応力度が下記の値より小さいことを確認する。 異形鉄筋 1 200 kgf/cm ²	PRC 道路橋設計要領(案)に準ずる全荷重作用時に生じるせん断補強鉄筋の応力度が下記の値より小さいことを確認する。 異形鉄筋 1 200 kgf/cm ²
疲労 状態	鉄筋の変動応力の照査	-	設計疲労強度の設計変動応力に対する比が構造物係数以上であることを確認する。	-	-
終 局 限 界 状 態	断 面 力 の 算 出	①1.3×死荷重+2.5 ×(活荷重+衝撃) ②1.0×死荷重+2.5 ×(活荷重+衝撃) ③1.7×(死荷重 +活荷重+衝撃)	荷重係数、荷重修正係数、荷重組合係数および構造解析係数を考慮して設計断面力Sを算出。	道路橋示方書と同じ	道路橋示方書に準ずる。 ①1.3×死荷重+2.5 ×(活荷重+衝撃) ②1.0×死荷重+2.5 ×(活荷重+衝撃) ③1.7×(死荷重 +活荷重+衝撃)
	断面破壊の検討	① ウェブの斜め圧縮破壊に対する安全性は終局荷重作用時のコンクリートの平均せん断応力の最大値で照査する(46 kgf/cm ² 以下)。 ② ウェブの斜め引張破壊に対する安全性は、設計荷重作用の平均せん断応力が許容値(5 kgf/cm ²)を超える場合、終局荷重作用時に斜め引張鉄筋量を算出し、その安全性を確保する(コンクリートの負担するせん断力では、部材有効高さならびに軸方向鉄筋の効果が考慮されていない)。	① ウェブ斜め圧縮破壊耐力を次式で照査する。 $V_{wcd}=f_{wdc} \cdot b_w \cdot d / \gamma_b$ ② せん断耐力は次式による。 $V_{ydc}=V_{cd}+V_{sd}+V_{ped}$ V_{cd} : コンクリート負担分 V_{sd} : せん断補強鋼材負担分 V_{ped} : PC 鋼材の逆せん断成分	道路橋示方書と同じ	道路橋示方書に準ずる。 ① ウェブの斜め圧縮破壊に対する安全性は終局荷重作用時のコンクリートの平均せん断応力の最大値で照査する(46 kgf/cm ²)。 ② ウェブの斜め引張破壊に対する安全性は、設計荷重作用時の平均せん断応力が許容値(5 kgf/cm ²)を超える場合、終局荷重作用時に斜め引張鉄筋量を算出しその安全性を確保する(コンクリートの負担するせん断力では、部材有効高さならびに軸方向鉄筋の効果が考慮されていない)。

て示した。

5. あとがき

PRC 中空床版橋について種々の検討結果を述べてきたが、PRC 橋は、RC、PC の特徴を生かした優れた構造形式であり、施工性、耐久性、経済性にメリットがあることが確認できた。さらに、PRC 橋の設計手法も道示を基本とした形でも確立がされる可能性が高いと考えられ、前出の「PRC 道路橋の実用的設計法に関する調査検討委員会」にて「PRC 道路橋設計マニュアル(案)」としてまとめられる予定である。

また、当委員会では、PRC 橋の設計手法に留まらず、PC 鋼材の緊張管理方法、PC 鋼材の防錆方法等の施工方法の省力化に関する検討を継続する予定である。これから一連の検討結果については、また別の機会に報告したいと考えている。

参 考 文 献

- 1) 道路橋示方書・同解説, 社団法人日本道路協会, 平成2年2月
- 2) PRC 道路橋の実用的設計法に関する調査検討報告書, (財) 高速道路技術センター, 平成3年3月
- 3) PRC 道路橋の実用的設計法に関する調査検討報告書(その2), (財) 高速道路技術センター, 平成4年3月
- 4) 建設省土木工事積算基準 平成3年度版, 土木工事積算研究会
- 5) コンクリート構造物の耐久設計指針(試案), 土木学会, 平成元年8月
- 6) プレストレストコンクリート部材の設計法に関する調査研究報告書(その3), (財) 高速道路調査会, 昭和61年2月
- 7) コンクリート標準示方書, 土木学会, 平成3年
- 8) プレストレストコンクリート部材の設計法に関する調査研究報告書(その2), (財) 高速道路調査会, 昭和60年3月

【1992年9月8日受付】