

鉄道橋におけるPRC構造について

石橋 忠良*

1. まえがき

旧国鉄では、PRC構造として、RC構造にプレストレスを与えてひびわれ制御をしたものと、プレストレストコンクリート(PC)構造の引張応力度を大きく許容し鉄筋を併用してひびわれ制御したものの2つのタイプを用いていた。

RC桁のひびわれ制御としてのPRC桁は、スパン25mを超える付近からひびわれ幅が大きくなり過ぎるのを制御する目的で、東北新幹線、埼京線でのスパン30mの箱形桁に採用して以来、多く採用されてきている。

PC桁の許容引張応力度を大きくし、鉄筋でひびわれ制御する方式のPRC桁は、昭和57年に桜井線の「ボケラ橋」に導入して以来、東北新幹線、埼京線、函館本線等で、T形桁や箱形桁に採用されてきた。

これらの実績の下に昭和62年に「PRC桁設計指針(案)」¹⁾が国鉄構造物設計事務所にて作られ、これをJR各社とも引き継いでいる。プレストレストコンクリート構造の設計の現状は、ひびわれをほとんど生じさせないPC構造よりも、大多数はこのPRC構造で設計されている。現在までに100連程度の橋桁がPRC構造にて設計されている。



* Tadayoshi ISHIBASHI
東日本旅客鉄道(株)
東京工事事務所

2. PRC構造の現状

現在、示方書面からは、

- 1) ひびわれをほとんど生じないPC構造
- 2) ひびわれ幅を制御したPRC構造
- 3) ひびわれ幅の制御を外ケーブルを用いて行うRC構造(これもPRC構造と呼んでいる)
- 4) RC構造

の4つの構造を認めており、設計手法が示されている。

今まで、1)のひびわれをほとんど生じないPC構造として設計していたスパン25mを超える桁は、20~30m付近では2)および3)のPRC構造、30m以上ではほとんど2)のPRC構造として設計されている。接合部の応力度として引張を認めないブロック工法を採用する場合等、ごく限られた分野にのみ1)のPC構造が採用されている。

単純桁のみでなく、連続桁やラーメン構造にもPRC構造が採用されている(図-1)。

3. PRC構造の利点

3.1 そり

鉄道橋においては高速化、乗り心地などのため、レールの高さ調整は数mmのオーダーでなされている。新幹線の開業後、PC桁がクリープによりそり上がり、開業後数年間、軌道の修正工事をせざるを得なかった。また最近、開業後10年以上経過した東北・上越新幹線のPC桁上の軌道に上ぞりが生じており、高速化に支障となるかどうか議論がされている。このように既往のフルプレストレスに近いPC桁は、短期的にも長期的にも桁の変形を生じさせ、軌道に悪影響を与えることが問題とされてきた。

またPCの箱形桁のプレハブ製品を用いるPCR工法という路線下に道路や水路を施工する工法がある。この工法は、図-2に示すように、PC箱形桁をガイド金物で相互に連結しながら路線下に挿入し、下路桁のスラブ等にする工法である。このプレキャストの箱形桁もPC部材として設計されていた。この箱形桁も製作してから時間が経過するにつれ、クリープ等により「そり」が大

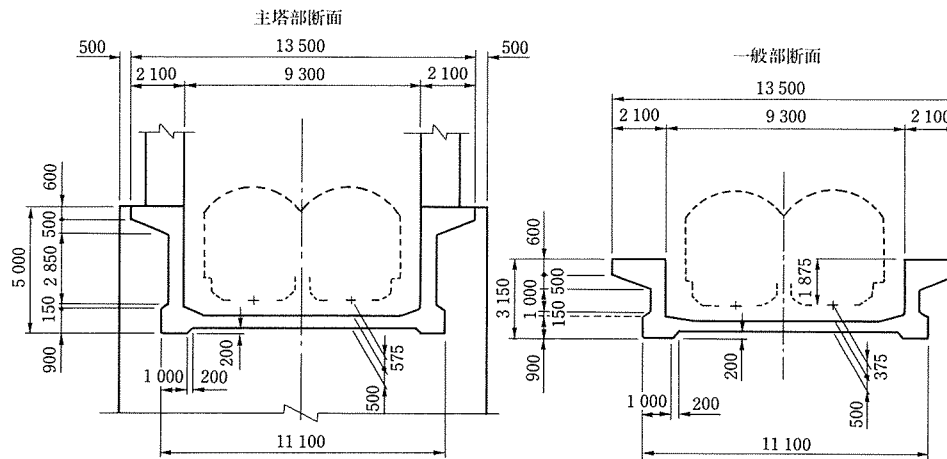
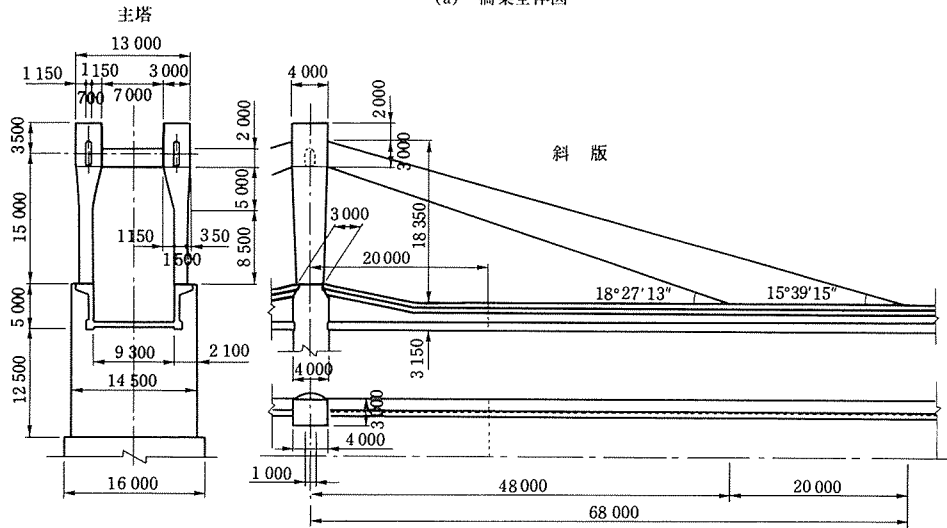
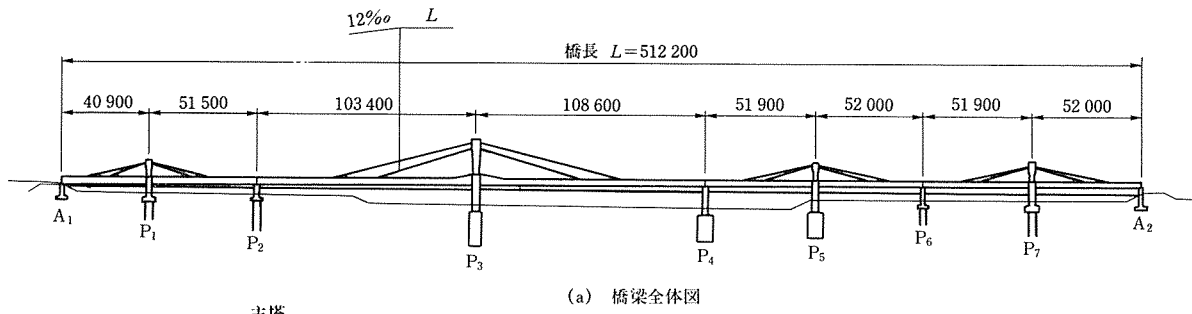


図-1 PRC 構造で設計した名取川橋梁

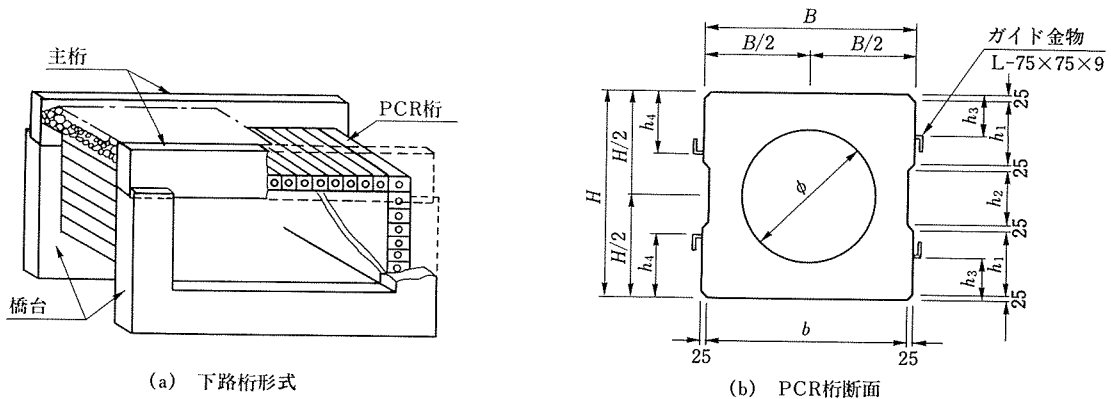


図-2 PCR 工法

きくなり、挿入時にガイド金物がせり合って挿入がうまくいかないとか、ガイド金物付近のコンクリートにひびわれが生じる等のトラブルが時々生じていた。

このように、橋桁やプレキャスト製品のPC部材の多くが、既往の設計では「そり」による問題に悩まされていた。これら「そり」に悩まされる構造にPRC構造を採用することにより「そり」を少なくして問題を解決することが可能となった。

3.2 経済性

経済性は、割高なPC鋼材量を減らし、鉄筋に一部をおきかえることとなるため、フルプレストレスに近いものよりPRC構造は有利である。

4. PRC構造の設計方法について

PRC構造の設計については、既施工のものはほとんど昭和62年の「PRC桁設計指針(案)」に基づいて行われている。

平成3年に「コンクリート構造物設計法に関する委員会報告書」²⁾が出された。これは限界状態設計法による鉄道構造物設計標準のモデルコードである。各鉄道会社はこれに基づき各社ごとに設計示様書を作成することになっている。この中にプレストレストコンクリートの使用限界状態の検討で、PC構造、PRC構造に区分され検討方法が示されている。

ここでは、上記の2つの示方書の、主として内ケーブル方式のPRC桁の設計の考え方について概要を紹介する。

4.1 PRC桁設計指針(案)の概要

付着あるPCケーブルを使用した場合、PC鋼材も含めて断面の平面保持が成り立つものとし、ひびわれのない状態では全断面有効とし、ひびわれ発生後はコンクリート断面の引張領域を無視するものとしている。

各限界状態の検討項目を表-1に、計算の一般的順序を図-3に示す。

(1) 終局限界状態の検討

今までのPC部材の破壊耐力の検討と同様に、破壊耐力を求めて、断面力との比較を行う。鋼材の強度は降伏強度を用いて破壊耐力を算定する。

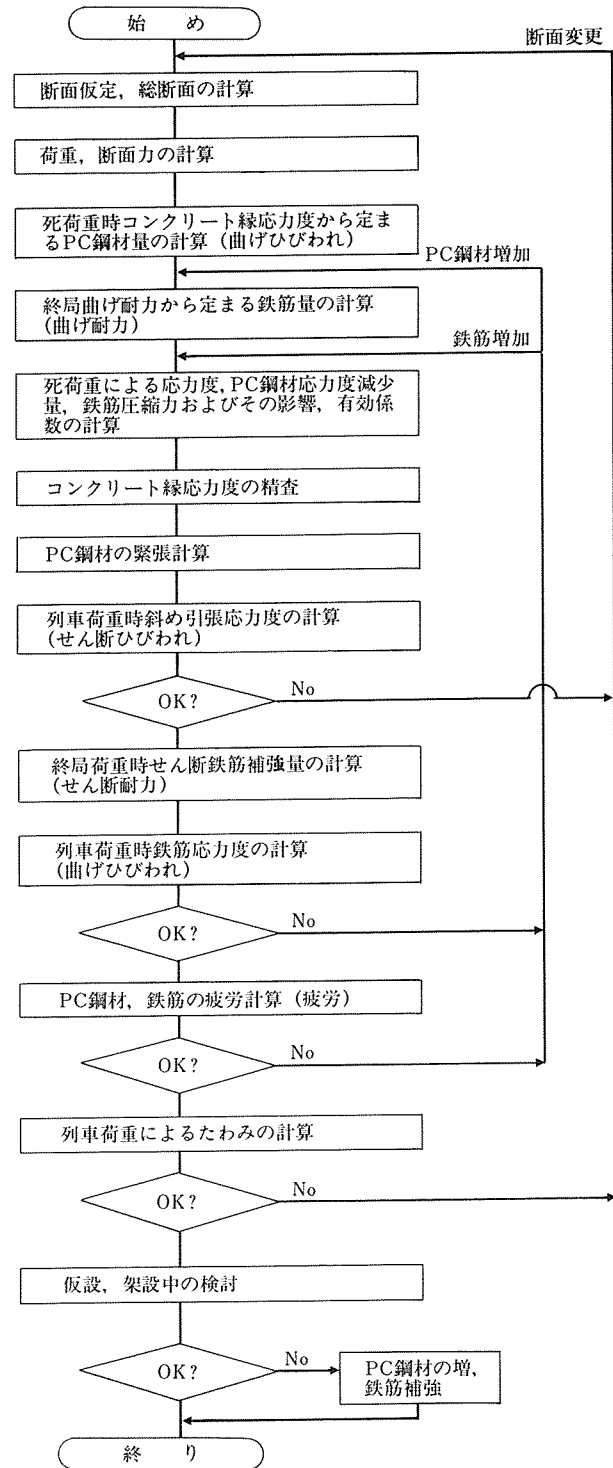


図-3 PRC桁の一般的設計手順

表-1 各限界状態の検討項目

検討項目	荷重	検討内容
終局限界状態 ①曲げ破壊 ②せん断破壊	$1.7 \times (\text{死荷重} + \text{列車荷重} + \text{衝撃} + \text{遠心})$	耐力 > 設計断面力
使用限界状態 ①曲げひびわれ	永久荷重作用時 $\text{永久荷重} + \kappa \cdot \text{列車荷重}$	コンクリートの縁応力度を許容値以下とする ひびわれ幅を許容値以下とする
②せん断ひびわれ	永久荷重 + 列車荷重	斜め引張応力度を許容値以下とする
疲労限界状態	列車荷重	応力度の大きさ、繰返し回数

(2) 使用限界状態の検討

ひびわれ、たわみ、変形の検討が必要だが、ひびわれについてのみ紹介する。

(a) 曲げひびわれの検討

死荷重時には全断面有効としてコンクリートの縁引張応力度を表-2の値以下とする。これはひびわれ発生材齢を遅らし、ひびわれ幅が乾燥収縮等のために大きくなり過ぎないことを考えたものである。

表-2 コンクリート縁引張応力度の制限値
(単位: kg/cm²)

設計基準強度	300	400	500	600	800
縁引張応力度制限値	17	21	24	27	33

列車荷重作用時のひびわれ幅の検討は、土木学会「コンクリート標準示方書」に準じて行う。ただし、この場合の荷重の列車荷重に乗ずる係数 κ として 0.2 を用いている。

(b) せん断ひびわれの検討

せん断ひびわれについては、列車荷重載荷時にもせん断ひびわれがほとんど生じないよう斜め引張応力度を表-3の値以下としている。

表-3 斜め引張応力度の制限値
(単位: kg/cm²)

設計基準強度	300	400	500	600	800
斜め引張応力度	17	21	24	27	33
斜め引張応力度 (ねじり考慮の場合)	22	27	32	36	43

(3) 疲労限界状態の検討

鋼材、コンクリートについて検討する。

その他、コンクリートの軸圧縮応力度の制限値として、死荷重作用時に設計基準強度の 40% としている。

4.2 コンクリート構造物設計標準に関する委員会報告書

各限界状態の検討項目を表-4に示す。

(1) 終局限界状態の検討

設計断面力 S_d の設計断面耐力 R_d に対する比に構造物係数 r_i を乗じた値が 1 以下であることを確かめる。設計断面力および設計断面耐力は土木学会標準示方書に

準じて、各安全係数を用いて算定する。

(2) 使用限界状態の検討

ひびわれに関する項目のみ以下に紹介する。

(a) 曲げひびわれ

死荷重時には全断面有効としてコンクリートの縁応力度を表-5の値以下とする。理由は 4.1 と同様である。

表-5 部材寸法の影響を考慮した設計曲げ強度 ($\gamma=1.0$)
(単位: kgf/cm²)

部材の断面高さ (m)	設計基準強度 f_{ck}' (kgf/cm ²)	240	270	300	400	500
0.25		35	38	40	49	57
0.5		28	30	32	39	45
1.0		22	24	25	31	36
2.0以上		17	19	20	24	28

またひびわれ発生後の表面ひびわれ幅の算定を次式にて行えることを示し、必要に応じ検討するものとしている。

$$w_2 = k_1 \{4c + 0.7(C_s - \phi)\} [\sigma_{se} / E_s + \epsilon'_b]$$

k_1 : 鋼材の付着性状の影響を表す定数

c : 対象鋼材のかぶり (cm)

C_s : 鋼材の中心間隔 (cm)

ϕ : 鋼材径 (cm)

σ_{se} : 鋼材応力度の増加量 (kgf/cm²)

E_s : 鋼材のヤング係数 (kgf/cm²)

ϵ'_b : コンクリートの乾燥収縮等による表面ひびわれ幅の増加を考慮するための数値で、ひびわれ発生材齢を考慮して定めた推奨値を表-6に示す。

表-6 ϵ'_b の推奨値

ひびわれ発生材令	$\epsilon'_b (\times 10)$	備考
30日	450	RC構造の桁または梁などのように、自重の作用により曲げひびわれが発生する部材
100日	350	外ケーブル方式によるPRC構造の桁などのように永久荷重の作用により曲げひびわれが発生する部材
200日以上	300	内ケーブル方式によるPRC構造の桁、ラーメン高架橋の柱部材などのように、変動荷重の作用により曲げひびわれが発生する部材

表-4 各限界状態の検討項目

検討項目	荷重	検討内容
終局限界状態 ①曲げ破壊 ②せん断破壊	$1.1 \times \text{死荷重}_1 + 1.2 \times \text{死荷重}_2 + 1.1 \times (\text{列車荷重} + \text{衝撃} + \text{遠心})$	$(1.0 \sim 1.2) \times \text{設計断面力} \leq \text{設計断面耐力}$
使用限界状態 ①曲げひびわれ	永久荷重	コンクリートの縁応力度を許容値以下とする 表面ひびわれ幅を許容値以下とする
	永久荷重 + κ · 列車荷重	鋼材の腐食に対するひびわれ幅の制限値以下にひびわれ幅をする
②せん断ひびわれ	永久荷重	斜め引張応力度を許容値以下とする
疲労限界状態	列車荷重	応力度の大きさ、繰返し回数

表-7 PRC 部材におけるコンクリートの斜め引張応力度の制限値
(単位: kgf/cm²)

荷重の組合せ	設計基準強度 f_{ck} (kgf/cm ²)						
	240	270	300	400	500	600	800
内ケーブル方式: 永久荷重作用時	19	20	22	27	32	32	32
外ケーブル方式: 部材自重作用時							

これは実橋の表面ひびわれ幅の調査より、ひびわれ幅が、ひびわれ発生後の乾燥収縮等の影響を大きくうけることを考えて定めたものである。

このほか鋼材の腐食に対するひびわれ幅の検討は土木学会標準示方書に準じて行う。

(b) せん断ひびわれ

一般に永久荷重作用時にコンクリートの設計引張強度以下に、斜め引張応力度を制限するのが良いとしている(表-7)。

(3) 疲労限界状態

他の示方書と同様の考え方で鋼材、コンクリートの検討方法を示している。

その他、コンクリートの圧縮応力度は、永久荷重作用時に設計圧縮強度の40%以下としているのは同様である。

5. 今後の展望

JR 各社のプレストレスト構造は、すでに大部分PRC構造を採用しており、特に変形性状の面から優れているため今後ともこの傾向は続いてゆくと思われる。

設計上は耐力、疲労の2つの限界状態についてはほぼ設計方法は確立されていて、安全性の心配はないと考えられる。

ひびわれの検討についても、ひびわれ幅の算定手法^{2)~4)}、ひびわれと鋼材腐食の検討方法について、RC構造、PRC構造に共通の統一的な設計方法が示されている。せん断ひびわれ等を含めると必ずしもひびわれの検討方法が十分に確立されたとは言えないが、ひびわれは安全性については致命的な条件ではなく、生じてからの対応も十分可能である。徐々に設計手法の精度を高めてゆけば良いと考えている。

PRC桁の応力度算定において、鉄筋の拘束の影響を考慮する場合には、コンクリート乾燥収縮度やクリープ係数に無筋コンクリートとしての値を用いる必要がある。この乾燥収縮度やクリープ係数については、わが国での研究成果の方が実橋や供試体の測定に適合性が良いという結果が得られている⁵⁾。またひびわれ発生後のひびわれ幅に対しても乾燥収縮の影響は大きい。この乾燥収縮、クリープの設計用値について、阪田らの提案式^{6),7)}を基本に定めることを考えている。

設計面ではこのように問題点も解決されてきており、示方書も整備されたことにより、今までのPC構造は性能面で多くの良さをもつPRC構造に大部分が移ってゆくものと思われる。

参 考 文 献

- 1) 日本国有鉄道構造物設計事務所：PRC けた設計指針(案)，昭和62年2月
- 2) 財団法人鉄道総合技術研究所：コンクリート構造物設計標準に関する委員会報告書，平成3年3月
- 3) 石橋忠良，齊藤啓一，津吉 毅：コンクリート表面の曲げひびわれ幅に対する乾燥収縮の影響についての一考察，コンクリート工学年次論文報告集，13-1，1991
- 4) 石橋，齊藤，津吉，大場，末広：RC梁の曲げひびわれ性状に及ぼすひびわれ発生材令の影響，構造工学論文集，Vol. 37 A，pp. 1309-1318，1991.3
- 5) 岩田，石橋，齊藤，大西：PRC桁の応力度算定手法について，コンクリート工学年次論文報告集，Vol. 14，No. 2，1992
- 6) 阪田憲次，綾野克紀：コンクリートの乾燥収縮ひずみ予測式の提案，第43回セメント技術講演集，pp. 338-343
- 7) 阪田憲次，池田 清：コンクリートのクリープの予測に関する研究，土木学会論文報告集，第340号，1983.12

【1992年8月4日受付】