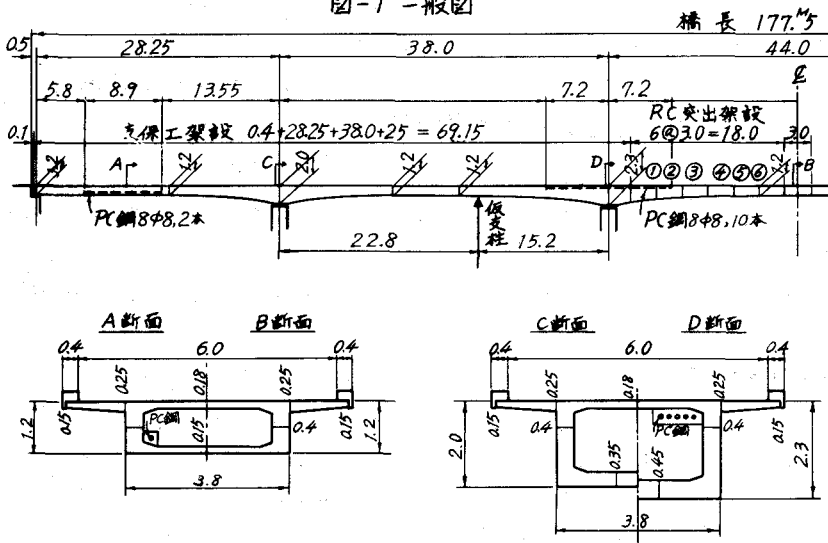


北海道大学工学部 正員 ○藤田 嘉夫  
 同上 学生員 角田与史雄  
 北海道土木部 正員 村田 孝雄  
 同上 正員 小山 義之

1. 紋別橋の概要 紋別橋は、本年度北海道帯広土木現業所管内、道道美成豊似停車場線大橋断地内、十勝紋別川に架設予定の本邦3番目のPRC橋で、図-1に示すようにスパン割  $28.25 + 38.0 + 44.0 + 38.0 + 28.25$  m、橋長 177.5 m、有効幅員 6.0 m の5径間連続桁橋である。その特徴とするところは、橋体の主体がRC構造で、施工において兩岸のそれぞれ2径間  $2 \times 68.15$  mは支保工による場所打ち施工とし、中央径間  $2 \times 18.0$  mは施工時の不降の出水を考慮してRC突出架設法を採用したこと、および設計においてRC断面としてのひびわれ安全度を検討して、架設中の一時的な死荷重に対しては仮支柱を設置して応力調整を行なうことにしたことおよび完成後の死荷重に対してはひびわれに対して必要となる区間に最小限のプレストレスを導入してPRC断面としたことである。

2. PRCの断面設計方法 PRCの設計方法についてはすでに文献<sup>1)2)</sup>で紹介されているとおりであるが、より一般化した設計方法の概略を述べる。まず最初に疲労を考慮した鉄筋許容応力度を用いて慣用の方法で断面設計を行なう。この段階はすでに紹介されているところと同様である。つぎにそのRC断面のひびわれげもメント  $M_0$  を算定して、基準とする許容ひびわれ幅に相当するげもメント  $\beta M_0$  を求める。これを基準にRC断面のひびわれ安全度の換算を行ない、所要の安全度が得られないときには次式により必要プレストレス量  $P$  を計算する。

図-1 一般図



$$\text{死荷重}(M_d)\text{に対し } P = \frac{f_d M_d - \beta M_{cr}}{f'_c + e} \quad (1), \quad \text{活荷重}(M_e)\text{に対し } P = \frac{f_e M_e + M_d - \beta M_{cr}}{f'_c + e} \quad (2)$$

ここで  $f_d$  および  $f_e$  はそれぞれ断面重心から圧縮核点およびPC鋼重心までの距離、 $f_d$  および  $f_e$  はそれぞれ死荷重および活荷重に対するひびわれ安全度である。Pとして(1)式と(2)式のいずれが大まかい方の値を使用することになるが、一般には(1)式による値の方が大まかい。このPの大きさは有効値であるから、PC鋼の断面積を決めるときにはプレストレス導入後に作用する死荷重、活荷重、コンクリートのフリーブ収縮、PC鋼のリラクセーション等の影響を考慮する必要がある。そして最後にPRC断面についてひびわれ曲げモーメント  $M_{cr}$  および破壊曲げモーメント  $M_B$  を計算して、それぞれの安全度を検討して断面設計を終るが、PRC断面のひびわれ安全度は十分安全側の値が得られるのでこれに対する換算は省略してもよい。RC断面の  $M_{cr}$ 、PRC断面の  $M_{cr}$  および  $M_B$  は塑性理論によってRCまたはPCの場合と同様に算定することができる。

ひびわれ安全度を検討する場合に基準とするひびわれ幅については、CEBが決めたRCに関する Recommendation<sup>3)</sup> では一般室内の場合  $0.3 \text{ mm}$ 、一般戸外の場合  $0.2 \text{ mm}$ 、特に厳しい環境条件の場合  $0.1 \text{ mm}$ 、また北海道土木技術会の果樹鉄筋指針<sup>4)</sup> では一般の場合  $0.2 \text{ mm}$  に対し安全率 1.4 としている。この基準ひびわれ幅に相当する曲げモーメント  $\beta M_{cr}$  については、北大橋道研究室で行なった多くの実験結果から基準ひびわれ幅  $0.1 \text{ mm}$  および  $0.2 \text{ mm}$  に相当するRC断面の曲げモーメント  $M_{a1}$  および  $M_{a2}$  をかなり低目に見積っても  $M_{a1} = 1.4 M_{cr}$  および  $M_{a2} = 2.0 M_{cr}$  としている<sup>5)</sup>。

**3. 設計条件** 荷重: 活荷重 TL-14, 雪荷重  $100 \text{ kg/m}^2$ , 地震 水平震度 0.2, 鉛直震度 0.1, コンクリートのフリーブ係数 最終値 2.5 主筋閉合後 1.9, 収縮率 最終値  $13 \times 10^{-5}$  主筋閉合後  $10 \times 10^{-5}$  コンクリート: 設計強度  $f_{28} = 360 \text{ kg/cm}^2$ , 許容応力度 曲げ  $360/3 = 120 \text{ kg/cm}^2$  圧縮  $360/2.5 = 144 \text{ kg/cm}^2$  鉄筋: SD40 または SD50, 許容応力度 動荷重による応力度が静荷重による応力度の2倍以下の場合 主鉄筋中  $22 \text{ mm}$  に対し  $2100 \text{ kg/cm}^2$ , その他の鉄筋中  $13 \sim 19 \text{ mm}$  に対し  $2400 \text{ kg/cm}^2$ , 2倍を越える場合 それぞれに対し  $1800 \text{ kg/cm}^2$  および  $2000 \text{ kg/cm}^2$  PC鋼: 中  $8 \text{ mm}$ , 引張強度  $155 \text{ kg/mm}^2$ , 降伏点  $135 \text{ kg/mm}^2$  コンクリートの弾性塑性諸元: ヤング係数  $E_c = 324 \text{ t/cm}^2$ , ヤング係数比  $n = 6.5$ , 曲げ圧縮極限ひずみ  $\epsilon_{cp} = 276 \times 10^{-5}$ , 引張強度  $\sigma_{cb} = 32 \text{ kg/cm}^2$ , 曲げ引張極限ひずみ  $\epsilon_{ct} = 25.7 \times 10^{-5}$  ひびわれ安全度: 架設時の死荷重に対し  $M_{a1}$  を基準に 1.1 以上, 完成後の死荷重(雪, フリーブを含む)に対し  $M_{a1}$  を基準に 1.3 以上, 活荷重に対し  $M_{a2}$  を基準に 1.4 以上 破壊安全度: 全荷重の組合せに対し  $M_B$  を基準に  $2.0/\alpha$  以上 ( $\alpha$  は許容応力度の割増し率)

**4. RC断面としてのひびわれに対する換算** 本橋は中央径間的主筋閉合前後で構造系が変わり、このためコンクリートのフリーブによる不静定力が生ずる。この影響も考慮して主筋閉合の前後とも不利な組合せに対して慣用計算により断面設計を行なった。

図-2 は慣用計算によって決めたRC断面のひびわれ曲げモーメント  $M_{a1}$  と架設時の死荷重および完成後の死荷重, 雪, フリーブ等の静荷重による曲げモーメントにそれぞれに対する安全度を表し

た値とを比較した

ものである。図より架設時の死荷重に対しては仮保工除去時にオ2径間の正モーメントに対し断面は～1/7で安全度が一時不足するが、中央径間の突出架設が進むにつれてオ2径間の死荷重モーメントは漸減し、オ④ブロック打設時にはいずれの径間においても余裕ができること、また完成後の雪、フリープを含んだ死荷重に対してはオ1径間の正モーメントに対し断面は～1/4およびオ2橋脚上の負モーメントに対し断面19～21で安全度が不足することかわかる。これより架設時に作用する一時的な死荷重に対してはオ2径間の点16の位置に仮支柱を設けて応力調整を、また完成後の死荷重に対してはオ1径間の8.9mの区間と、オ2橋脚上の14.4mの区間にプレストレス導入を行なうことにした。

図-2 ひびわれに対する検討

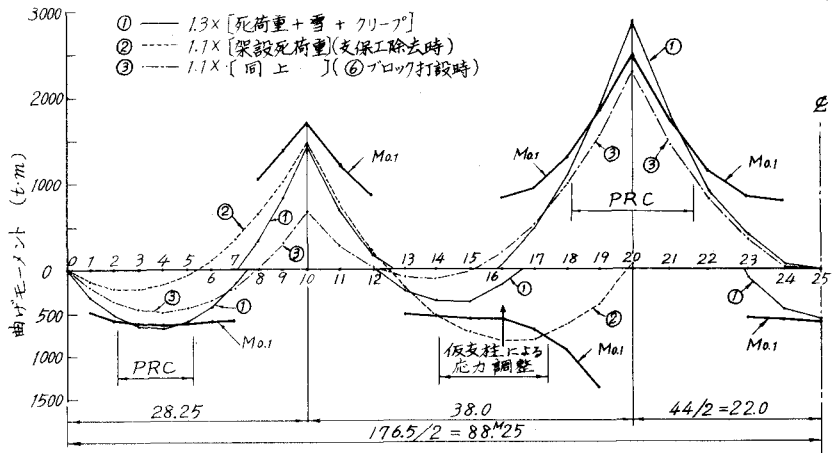
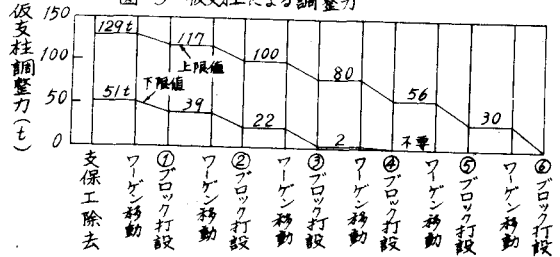


図-3 仮支柱による調整力



### 5. 仮支柱による応力調整およびPRC断面の設計

架設中に仮支柱によって与える調整力の大きさは、オ2径間の正モーメントに対して所要のひびわれ安全度が得られるように下限値を、またオ1径間の正モーメントに対して所要のひびわれ安全度を保ち、かつオ2径間に慣用設計に用いた負モーメントよりも大きいモーメントが生じないように上限値を定めた。この算定に用いたひびわれ安全度は余裕をとって設計基準の1.1以上をとりとした。突出し架設の進行に伴う調整力の変化状況は図-3に示すとおりで、図よりオ④ブロックのコンクリート打設後は仮支柱を除去してよいことがわかる。

つぎに完成後の雪、フリープを含む死荷重に対して必要となるプレストレス量 $P$ は(1)式よりオ1径間の点4の正モーメントに対し50.5t、オ2橋脚上の点20の負モーメントに対し299.0tを得る。これに対しレオバテールS33(898)を使用、オ1径間で2本、オ2橋脚上で10本を図-1に示したように断面ボックス内に配置して、導入直後で断面 $\times$ に65t、断面20に350tのプレストレスを与えることとした。

### 6. 破壊安全度

慣用断面計算に用いた荷重のもっとも不利な組合せは死荷重+活荷重+雪荷重+フリープの状態であって、正の最大モーメントはオ1、オ2および中央径間でそれぞれ点4の801.7t $\cdot$ m、点15の564.1t $\cdot$ mおよび点25の774.1t $\cdot$ m、負の最大モーメントはオ1橋脚上

点 10 の 1502.8 m および オ 2 橋脚 点 20 の 2697.9 m である。これに対し SDC 40,  $\phi 32$  mm の鉄筋をオ 1, オ 2 および中央径間それぞれ 5 本, 38 本および 5 本, 鉄筋比にして 0.547%, 0.394% および 0.525% を, オ 1, オ 2 橋脚上それぞれ 54 本および 84 本, 鉄筋比にして 0.594% および 0.798% を使用した。主要断面の破壊安全度は表-1 に示すとおりで, いずれも設計条件を満足している。

6. たわみ たわみは, 架設時の死荷重  $d_1$  によるたわみ, 主桁閉合前の  $d_1$  によるフリーアタワみ, 主桁閉合後の死荷重  $d_2$  による弾性たわみ,  $d_2$  によるフリーアタワみ,  $d_1$  による主桁閉合後のフリーアタワみ, 雪荷重によるたわみおよび活荷重によるたわみに分類できる。主桁閉合前架設中のフリーアタワみは施工期間によつて大きい影響を及ぼるので計算を省略したが, その他のたわみ量は図-4 および表-2 に示した。表-2 において, 活荷重による最大たわみはオ 1, オ 2 および中央径間それぞれ  $1/2600$ ,  $1/2400$  および  $1/1900$  となる。

#### 7. 単位橋面積当りの材料

単位橋面積当りのコンクリート量, 鉄筋量および PC 鋼量を表-3 に示す。表には PRC 橋として最初に架設された北海道開発局の上姫川橋の場合も参考に示したが, 上姫川橋ではいづれ安全度の検討は  $M_{pr}$  を基準に行なっている。

せん断に対する計算および床版の設計については, 上姫川橋の場合<sup>\*)</sup>と同様であるので説明を省略する。

#### 参考文献

- 1) 横道・林: PRC 工法について, 土木学会オ 19 会年次学術講演会, 昭. 39. 5.
- 2) 横道: PRC について, プレストレストコンクリート 6 巻 6 号, 昭. 39. 12.
- 3) Recommendations for an International Code of Practice for Reinforced Concrete, ACI and CCA, London.
- 4) 北海道土木技術会: 異形棒鋼を用いた鉄筋コンクリートの設計および施工指針, 昭. 40. 12.
- 5) 横道, 藤田: 異形鉄筋の静的および疲労強度, 土木学会コンクリートイブリー 14 号, 昭. 40. 12.
- 6) 横道・外崎: 上姫川橋 (PRC) の設計および施工について, プレストレストコンクリート 7 巻 5 号, 昭. 40. 10.

表-1 主要断面の破壊安全度  $f_b$

| Pt.             | 4     | 10     | 15    | 20     | 25    |
|-----------------|-------|--------|-------|--------|-------|
| 断面              | PRC   | RC     | RC    | PRC    | RC    |
| $M_T$ (tm)      | 801.7 | 1502.8 | 564.1 | 2697.9 | 774.1 |
| $M_B$ (tm)      | 210.9 | 368.3  | 149.9 | 735.9  | 193.1 |
| $f_b = M_B/M_T$ | 2.62  | 2.41   | 2.66  | 2.73   | 2.50  |

$M_B$ : 破壊曲げモーメント,  $M_T$ : 最大曲げモーメント  
(死荷重+活荷重+雪+クリープ)

図-4 たわみ

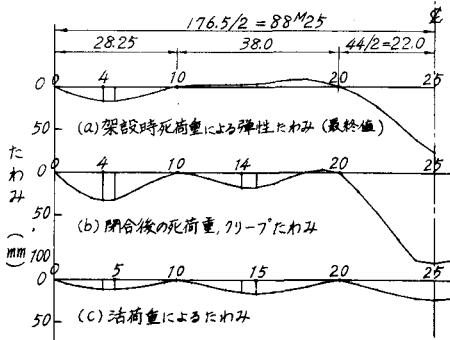


表-2 主要点におけるたわみ  $\delta$  (mm)

| Pt.                                               | 4     | 5     | 14    | 15    | 25     |
|---------------------------------------------------|-------|-------|-------|-------|--------|
| 架設時 (最終ロック打設時)                                    |       |       |       |       |        |
| 死荷重 $d_1$ による弾性たわみ $\delta_{d1}$                  | 17.30 | 17.07 | -2.11 | -4.01 | 76.60  |
| 閉合後                                               |       |       |       |       |        |
| 死荷重 $d_2$ による弾性たわみ $\delta_{d2}$                  | 2.65  | 2.49  | 1.07  | 1.05  | 6.22   |
| $d_1$ によるクリープたわみ $\delta_{dcp}$                   | 25.77 | 24.66 | 15.23 | 15.06 | 87.12  |
| $d_2$ によるクリープたわみ $\delta_{dcp}$                   | 5.04  | 4.73  | 2.03  | 2.00  | 11.82  |
| 計 ( $\delta_{d2} + \delta_{dcp} + \delta_{dcp}$ ) | 33.46 | 31.88 | 18.33 | 18.11 | 105.16 |
| 雪荷重によるたわみ $\delta_s$                              | 1.15  | 1.08  | 0.47  | 0.46  | 2.71   |
| 活荷重によるたわみ $\delta_L$                              | 10.42 | 10.76 | 14.73 | 15.88 | 23.53  |

表-3 単位橋面積当りの材料

|        | 本 橋                            | 上姫川橋 <sup>*)</sup>                 |
|--------|--------------------------------|------------------------------------|
| コンクリート | 0.560 m <sup>3</sup>           | 0.651 m <sup>3</sup>               |
| 鉄筋     | 127 kg                         | 179 kg                             |
| PC 鋼   | 0.99 kg                        | 2.64 kg                            |
| 備考     | 2 等橋<br>5 径間連続箱桁<br>最大スパン 44 m | 1 等橋<br>変断面トランジション箱桁<br>最大スパン 48 m |

<sup>\*)</sup> 橋柱材料を除く