

(80) アネップ川橋 (PRC単純2主箱桁橋) のたわみ管理

日本道路公団 鈴木 隆
 同上 川尻 克利
 オリエンタル建設(株) 正会員 横山 俊夫
 同上 正会員 ○中島 豊茂

1. はじめに

本橋は、北海道横断自動車道のアネップ川橋内のP3～P4に架設される支間42.080mのPRC単純2主箱桁橋であり、PRC単純箱桁の道路橋としては我が国最大支間長を有するものである。本橋の設計では、活荷重比率の小さい道路橋にPRC構造を適用した結果、静荷重時においても支間中央主桁下縁に -30kgf/cm^2 の引張応力を発生させている。したがって、通常のPC桁と比較して主桁のたわみ変形が大きくなることが予想され、実施工でのたわみ管理について検討した。また、実橋におけるPRC部材の挙動に関してはデータの蓄積が少なく本橋において計測も行うことにした。

本稿では、PRC単純2主箱桁橋のたわみ管理について報告する。

2. 工事概要

本橋の構造図を図-1に示す。工事概要は以下のとおりである。

2.1 工事概要

工 事 名：北海道横断自動車道
 アネップ川他1橋(PC上部工)工事
 構造形式：PRC単純2主箱桁橋
 工 法：アンダーソン工法
 架設工法：固定支保工施工
 道路規格：第1種2級B規格($V=100\text{km/h}$)
 橋長・支間：42.000m(40.800m)
 有効幅員：10.000m
 平面線形： $R=\infty$
 勾 配：縦断3.0%($VCL=600\text{m}$)
 横断2.0%
 工 期：平成5年10月～平成6年12月



写真-1 施工写真

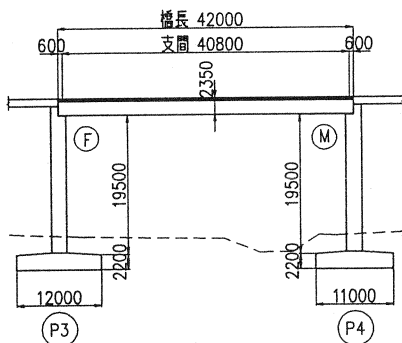
2.2 使用材料

コンクリート：設計基準強度： $\sigma_{ck}=350\text{kgf/cm}^2$
 弾性係数： $E_c=2.95 \times 10^5 \text{kgf/cm}^2$
 鉄 筋：SD345
 弾性係数： $E_s=2.1 \times 10^6 \text{kgf/cm}^2$
 PC鋼材：12A12.4(SWPR7A)
 弾性係数： $E_p=2.0 \times 10^6 \text{kgf/cm}^2$
 主要工事数量：表-1に示す。

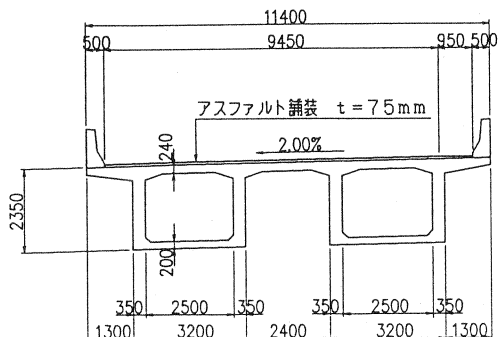
表-1 主要工事数量

種 別	仕 様	単 位	数 量
コンクリート	$\sigma_{ck}=350\text{kgf/cm}^2$	m^3	354
型 枠		m^2	1,379
PC鋼材	12A12.4mm	kgf	5,843
鉄 筋	SD345	t	64.765

側面図



断面図



鋼材配置図

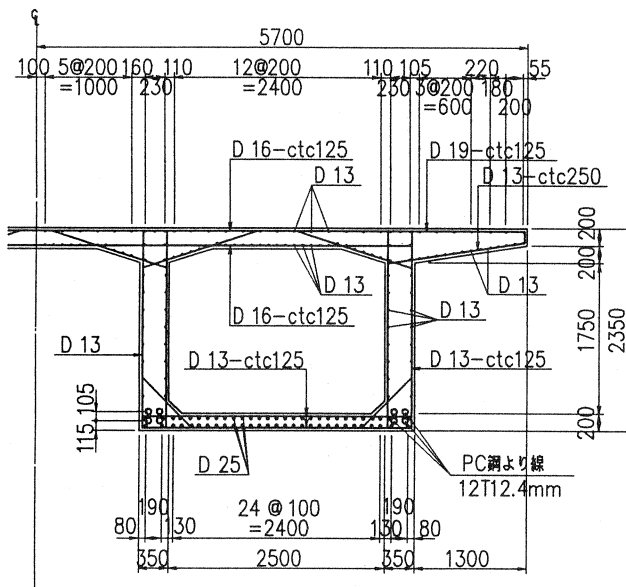


図-1 構造図

3. 設計

3.1 荷重

活荷重: B活荷重

衝撃係数: $i=20/(50+L)$ (T荷重)

$i=10/(25+L)$ (L荷重)

設計水平震度: $Kh=0.25$

温度変化: $T=\pm 25^{\circ}\text{C}$

終局荷重作用時の荷重係数:

1.3 (死荷重) + 2.5 (活荷重+衝撃)

1.0 (死荷重) + 2.5 (活荷重+衝撃)

1.7 (死荷重+活荷重+衝撃)

3.2 設計の基本方針

「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3)平成5年3月)」を基本に、現行の道路橋示方書の体系を基に設計を行った。又、道路橋示方書では直接的にひびわれを許容するPC部材(PRC部材)の概念がないため、ひびわれ幅の照査方法及び疲労に対する照査方法については、「コンクリート標準示方書 平成3年版」以下「標準示方書」に準拠した。

本橋の設計に際し配慮した点を以下にまとめる。

- 1) 主鉄筋は、施工上可能な最大鉄筋量として下床版にD25-2段(c t c 100)を配置する。
- 2) 許容曲げひびわれ幅は、鋼材の腐食に対する環境区分を一般の環境とし、 $w_a=0.005c=0.24\text{mm}$ とした。
- 3) 設計荷重作用時におけるPC鋼材の許容引張応力度は、 $0.7\sigma_{pu}=122.5\text{kgf/cm}^2$ とした。
- 4) 疲労荷重は、TT-43荷重1台を格子モデルに載荷し、算出した。
- 5) せん断補強鋼材の引張応力度の照査における鉄筋の許容引張応力度は、 $\sigma_s=1200\text{kgf/cm}^2$ とした。

曲げモーメントに対する検討のフローチャートを図-2に、せん断力に対する検討のフローチャートを図-3示す。

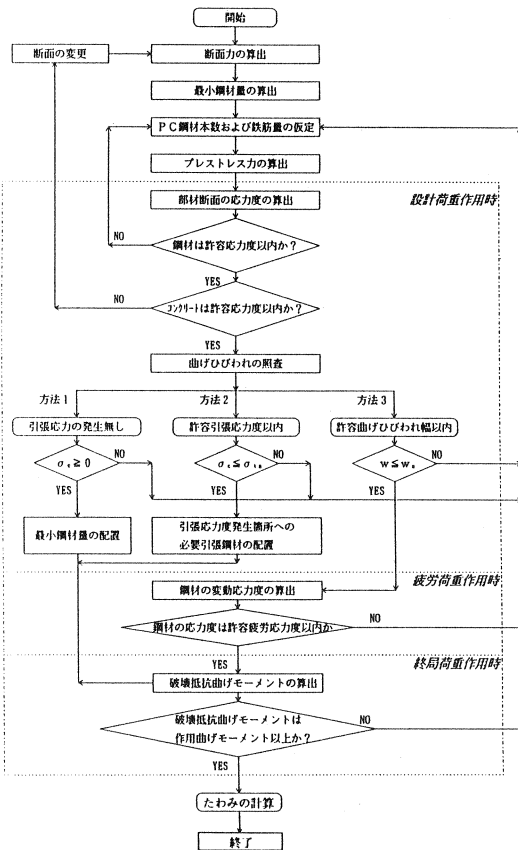


図-2 曲げモーメントに対するフローチャート

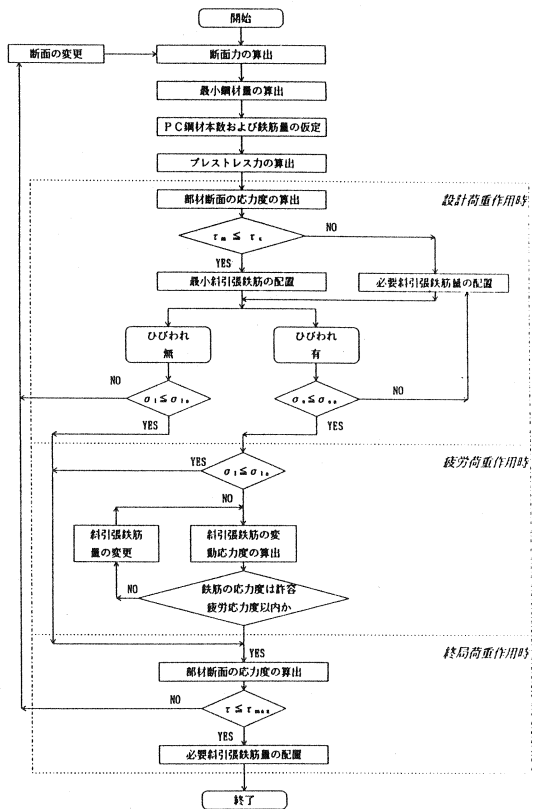


図-3 せん断力に対するフローチャート

3.3 設計結果

以下に主な主方向の設計結果をまとめる。(表-2、表-3を参照)

- 1) 部材断面におけるPC鋼材と下床版主鉄筋の主鋼材は、曲げ破壊耐力の照査により決定しており、曲げ破壊安全度は、 $1.017(\geq 1.000)$ となっている。破壊抵抗曲げモーメントにおける鉄筋とPC鋼材の受け持つ比率は概ね 鉄筋:PC鋼材=0.43:0.57となっている。
- 2) PC鋼材量は、12A12.4mm(SWPR7A)が16ケーブル(1ウェブ当たり4ケーブル)となった。これは、通常のPC部材の設計と比較すると、約1/2の鋼材量である。
- 3) 曲げひびわれの検討において、許容ひびわれ幅 $w_a=0.24\text{mm}$ に対し、設計曲げひびわれ幅 $w=0.18\text{mm}$ となり許容値を満足する。また疲労に対する照査は、活荷重による鋼材の変動応力が極めて小さいため問題とならない。
- 4) せん断力に対する検討は、設計荷重作用時、終局荷重作用時、疲労荷重作用時ともに許容値を満足している。

参考として表-4に、全断面有効とした場合の支間中央における曲げ合成応力度を示す。

表-2 曲げモーメントに対する設計結果(支間中央)

		単 位	支間中央
鋼材引張 応 力 度	鉄 筋	静荷重時	kgf/cm ² 589
		設 計 時	" 1538
		許 容 値	" $\sigma_s \leq 1800$
	PC鋼材	静荷重時	kgf/mm ² 111
		設 計 時	" 119
		許 容 値	" $\sigma_p \leq 122.5$
曲 げ ひびわれ幅	静 荷 重 時	mm	0.07
	設 計 時	"	0.18
	許 容 値	"	$w_a \leq 0.24$
曲 げ 破 壊 安 全 度			1.02
疲 勞 荷 重 時 変 動 応 力 度	鉄 筋	kgf/cm ²	216
	PC鋼材	kgf/mm ²	2.2

表-3 せん断力に対する設計結果(支点部)

		単 位	支 点
設計荷重作用時	応力度	kgf/cm ²	454
鉄筋応力度	許容値	"	$\sigma_s \leq 1200$
終局荷重作用時	応力度	"	28
平均せん断応力度	許容値	"	$\tau \leq 47$
疲労荷重作用時	応力度	"	6
斜引張応力度	許容値	"	$\sigma \leq 9.0$

表-4 全断面有効とした場合の合成応力度

単位: kgf/cm²

	応 力 度	許 容 値
プレストレス導入直後	上 縁	50.7
	下 縁	-6.3
静荷重作用時	上 縁	65.1
	下 縁	-29.8
設計荷重作用時	上 縁	(90.8)
	下 縁	(-64.4)
		$\sigma_{ck} \leq 160.0$
		$\sigma_{ck} \leq 125.0$
		$(\sigma_{ck} \leq 125.0)$

4. たわみについて

4.1 たわみの検討

本橋は、静荷重作用時においても支間中央主桁下縁に -30kgf/cm^2 の引張応力を発生させている。この為、通常のPC桁と比較して主桁のたわみ変形が大きくなることが予想された。本橋においては、たわみ変形が大きくなることにより施工上問題となる可能性があった。施工上は、静荷重作用時の設計たわみ等を考慮し主桁底版の上越し計画を行うが、たわみが大きいためしゅん功時において、計画高の施工基準を満足しない可能性があった。そこで、たわみについては、ひびわれ発生による影響やクリープによる長期たわみの推定も含め、検討をおこなった。

たわみ量の算出は、以下に示す3ケースについて行った。

- 1) 全断面有効(PC鋼材+主鉄筋換算断面)の剛性を用いて弾性理論により求める。
クリープによるたわみは、クリープ係数を道路橋示方書にしたがって算出して、持続荷重である死荷重+プレストレスたわみにクリープ係数を乗じ計算した。
- 2) 曲げひびわれによる剛性低下を考慮して弾性理論により求める。これは、「標準示方書」及び「鉄道構造物等設計標準・同解説 コンクリート構造物」を参照した。

剛性低下を考慮した換算断面二次モーメントは、次式より算出した。

$$I_e = \left(\frac{M_{crd}}{M_{dmax}} \right)^3 I_g + \left(1 - \left(\frac{M_{crd}}{M_{dmax}} \right)^3 \right) I_{cr} \leq I_g$$

ここに、 M_{crd} : 断面に曲げひびわれが発生する限界の曲げモーメント

M_{dmax} : 設計曲げモーメントの最大値

I_g : 全断面有効の断面二次モーメント

I_{cr} : 中立軸以下のコンクリート部分を除いた断面二次モーメント

- 2) クリープとひびわれ効果を考慮した弾塑性FEM解析を行い50年後のたわみを推測した。解析は、日本電子計算株式会社所有の『DIANA』を使用した。

解析条件としては、PC鋼材と主鉄筋の断面抵抗を考慮している。又、たわみ計算には、クリープによる塑性変形と、ひびわれによる剛性低下を考えている。

クリープは、時間依存の構造物の挙動を解析するために、本解析では図-4に示すMaxwell chain粘弾性モデルを用いた。弾性係数Eおよび緩和時間 λ のパラメータは、CEB/FIP Model Code 1990より算出した。

ひびわれ発生後のコンクリートの応力-ひずみの関係は、図-5に示すとおり、ひびわれ発生後もコンクリートに引張応力を分担させ、ひずみの増加に伴い、コンクリートの引張応力はゆるやかに減少すると考える引張硬化曲線を設定した。

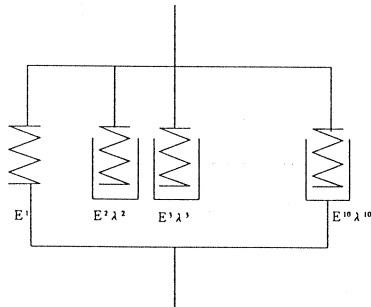


図-4 Maxwell Chain粘弾性モデル

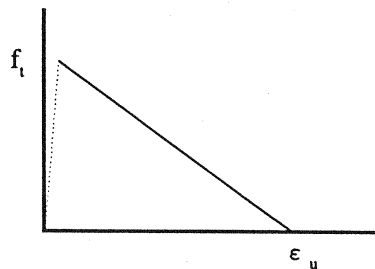


図-5 引張硬化曲線

4.2 検討結果

ひびわれ発生の影響によるたわみの増加は、全断面有効の剛性を用いて計算した場合の約2割増と推定される。

本橋を通常のPC部材として、静荷重作用時のたわみを試算すると10mm程度となる。これに対しPRC部材として設計を行うと、静荷重作用時のたわみは、全断面有効のひびわれ発生がない場合で74mm、ひびわれ発生がある場合で92mmとなり、本橋のたわみは高速道路の、平坦性、走行性の確保の上からも無視できないと思われ、施工上のたわみ管理は、重要な要素となる。

4.2 施工上のたわみ管理

施工は、支間中央付近に支柱を設けた支柱式固定支保工施工である。(写真-1)コンクリート打設はポンプ車にて行い、ウェブ、下床版と上床版を2回に分けて行った。

上越し量については、設計上のたわみに加え、支柱の変位、枠組支保工の変位、架設トラスのたわみ、分割施工によるたわみを考慮して、支間中央で120mmとした。

分割施工によるたわみとは、ウェブ、下床版と上床版を2回に分けて打設することにより、2回目打設による上床版の降下温度と、すでに15日前に打設終了しているウェブ、下床版の温度差により、上床版が短縮することにより発生するたわみである。

表-5 たわみ量の検討

	全断面有効	標準示方書	D I A N A
死 荷 重	45.2	55.6	46.8
プレストレス	-23.8	-29.3	-24.3
ク リ ー プ	52.8	64.9	
活 荷 重	15.0	18.4	
静荷重作用時	74.2	91.2	91.6
設計荷重作用時	89.2	109.6	

5. 計測

PRC部材の長期挙動に関しては、実橋におけるデータの蓄積が少ないため本橋において計測を行った。

測定項目は、①たわみ②曲率③コンクリート応力④コンクリートひずみ⑤鉄筋応力⑥乾燥収縮ひずみ⑦コンクリート温度である。

本橋は、平成6年7月に概ね完成に至ったが、計測は平成6年6月より開始したため現時点では十分なデータ、結果が得られていないのが現状である。計測結果の詳細については、今後の機会に紹介できればと考えている。

6. あとがき

本文では、PRC橋の特にたわみについて概要を紹介したが、今後のPRC橋の設計・施工の一助となれば幸いである。

最後に本橋の計測にあたり多大な御指導、ご協力を頂いた宇都宮大学工学部佐藤良一助教授ならびに設計・施工に御尽力を頂いた関係各位に紙上をお借りして感謝の意を表する次第です。

参考文献

- 1)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3)
財団法人 高速道路技術センター 平成5年3月
- 2)コンクリート標準示方書〔設計編〕 土木学会 平成3年版
- 3)鉄道構造物等設計標準・同解説 コンクリート構造物 鉄道総合技術研究所 平成4年10月