

C・8 白老大橋の設計施工について

室蘭開発建設部 ○沢 口 二 朗
佐 藤 貞 志

ま え が き

白老大橋は、一般国道36号白老バイパスの白老川河口部に架橋された、橋長190.20 m、全巾員25.30 m、支間36.90 m、5径間を有するPC連結合成桁橋である。

本橋で採用したPC連結桁は、単純桁として架設されたPC桁の支点部桁突合せ区間を、RC構造で連結する型式であって、これにより、伸縮装置を省略し走行性の向上と地震時の落橋に対する耐震性の向上を計ったもので、主として昭和40年代より採用され、支間30 m未満の橋に多くの実績がある。

本橋は支間36.90 mを有し、PC連結桁としては我国における実績が今だなく、現在のところ我国最長の支間となるもので、その設計施工について報告するものである。

なお、下部工は昭和56年度に橋台2基、橋脚4基が完了している。

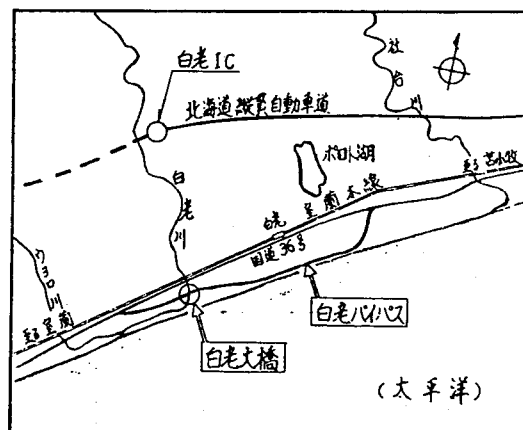


図-1 位置図

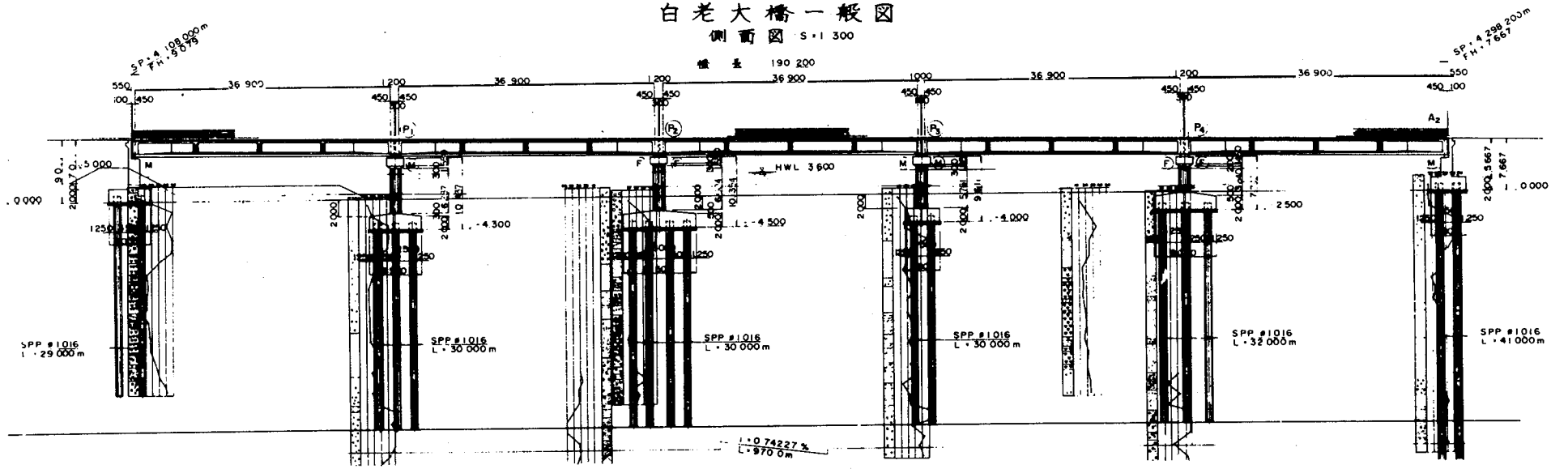
1. 橋梁概要及び設計条件

- 橋 種 : ポストテンション方式PC連結合成桁橋
等 級 : 一等橋 (TL-20)
橋 長 : 190.20 m (3 @ 36.90 + 1.20、2 @ 36.90 + 1.20)
巾 員 : (9.25 + 2.50) × 2 (ただし暫定2車線、上流側)
設計速度 : V = 80 km/H
設計震度 : Kh = 0.20
雪 荷 重 : なし
大型車交通量 : 2,000 台/日以上
衝撃係数 : $i = 20/50 + \ell$ (床版)、 $i = 10/25 + \ell$ (主桁、横桁)
- 下部工型式 : 壁式橋脚、逆T式橋台
基礎型式 : 鋼管杭 ($\phi = 1,016$ mm)

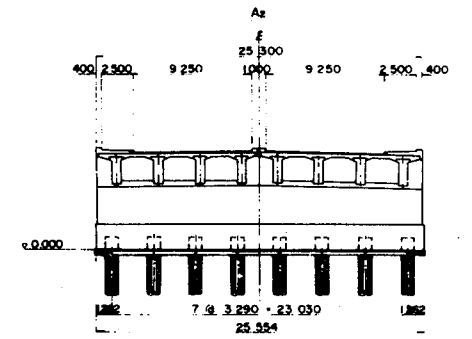
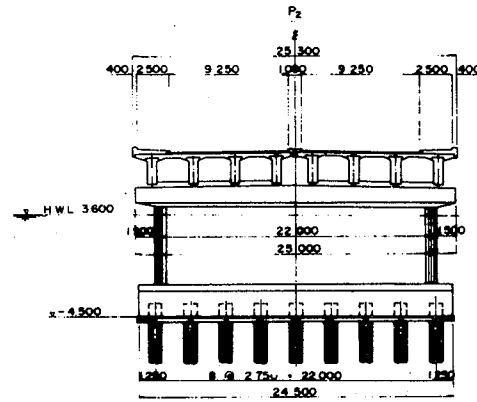
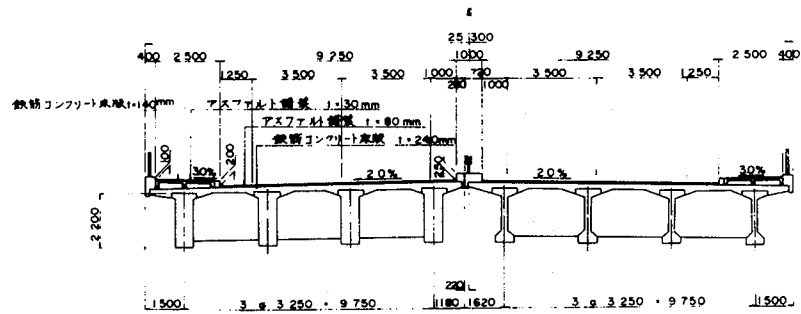
(さわぐち じろう)(さとう さだし)

白老大橋一般図

側面図 S・1 300



断面図 S・1 100



図一 2 白老大橋一般図

2 材料強度および許容応力度

表-1 コンクリート

	主 桁	場 所 打 ち	
		横桁、床版	地覆、歩道
設 計 基 準 強 度	400 kg/cm ²	300 kg/cm ²	210 kg/cm ²
プレストレス導入時圧縮強度	325 "	255 "	-
許容曲げ圧縮応力度	プレストレス導入時	190 "	-
	設計荷重時	140 "	-
設容曲げ引張応力度	プレストレス導入時	0 "	-
	死荷重作用時	0 "	-
	設計荷重時	0 "	-
許容斜引張応力度	設計荷重時	8 "	-
許容せん断応力度	設計荷重時	4.5 "	-
	終局荷重時	53 "	-
粗 骨 材 最 大 寸 法	25 mm	25 mm	25 mm

表-2 PC鋼材

	縦 締	横 締
	12-φ12.4 mm	12-φ7 mm
引 張 強 度	175 kg/mm ²	155 kg/mm ²
降 伏 点 応 力 度	150 "	135 "
許 容 引 張 応 力 度	緊張作業時	121.5 "
	プレストレス導入時	108.5 "
	設計荷重時	93 "

表-3 鉄 筋

		S D 3 0
降 伏 点 応 力 度		3000 kg/cm ²
許 容 引 張 応 力 度	主 桁	1800 "
	床 版	1400 "

表-4 諸 定 数

コンクリートのヤング係数	主 桁	E _c	3.5 × 10 ⁵ kg/cm ²
	横桁・床版	E _c	3.0 × 10 ⁵ "
コンクリートのクリープ係数	主 桁	φ	2.6
	横桁・床版	φ	2.8
コンクリートの乾燥収縮度	主 桁	ε _s	20 × 10 ⁻⁵
	横桁・床版	ε _s	20 × 10 ⁻⁵
PC鋼材のヤング係数		E _p	2.0 × 10 ⁶ kg/cm ²
PC鋼材のレラクセーション	P. C 鋼線	r	5%
	P. C 鋼棒	r	3%

3. 白老大橋の型式選定について

合成桁の連結方式には、支点上の構造により、鉄筋コンクリートとするものを連結桁、PC構造によるものを連続桁と称している。

開発局橋梁実施要領設計編によれば、PC連結桁橋は支間28m以下に採用するのを原則としているが、本橋においてはそれを遥かに超えている。

そこで、連結桁と、連続桁を比較検討してみると次のようなことがいえる。

① 施工性

連結桁は床版自体が鉄筋コンクリート構造であり連結部の施工は容易である。それに比べ連続桁は、2点仮支承から1点本支承への置き換え、および中間支点上の床版にプレストレスを導入するため、床版底面形状が複雑となりケーブル緊張作業などからみても連結桁より劣っているといえる。

② 構造性

1点支承でPC構造とした連続桁は構造体として、不明確な点が少なく完全連続構造である。これに比べ連結桁は、支点上が鉄筋コンクリートで、全体としてPC構造とRC構造の複合構造となっていることから、支点上の剛性、2点支承のバネ定数の変化など不明確な点が残されている。これらをカバーするため設計値に安全側の係数を掛けるなど不利な面もあるが構造体としては、単純桁としての照査を行って結合部になんらかの障害が生じても構造的には安定している。

③ 経済性

連結桁は、支承工および横組工で不利となり、連続桁は床版工で不利となる。全体的には概算ではあるが連結桁が、橋面1㎡当り換算で2,000円程度安価となり連結桁が有利となった。以上の結果を踏まえ、本橋においては、長支間で施工例がないなど多少の問題は残されているが、連結桁を採用した。

4. 支承の選定について

PC連結構造は、橋脚上の主桁は2点支承となる、2点支承の間隔は本橋の場合1.20mで支間長は36.90mである。このような支間比では橋脚上の支承のバネ定数により反力は大きく変動し、主桁の断面力も少なからず変化する、このため支承構造およびバネ定数の決定は重要な意味を持つものである。図-3、4にバネ定数の変化による曲げモーメントと反力の変化を示した。バネ定数は表-5の3ケースを考慮した。

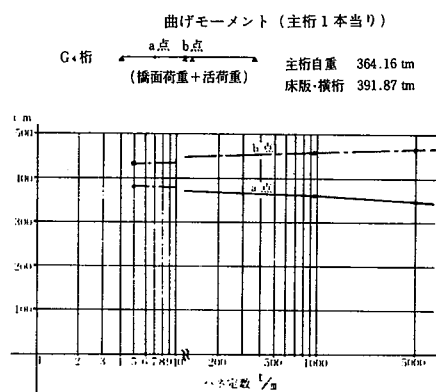
この結果によると、曲げモーメントについてはバネ定数の変化による影響は非常に小さい、しかし支点反力は、バネ定数が大きくなると橋脚上の反力は急に大きくなる。その変化量を比べてみると、 $K = 5,000 \text{ t/cm}$ は $K = 1,000 \text{ t/cm}$ に対して40%の増加となり、変化量としては相当大きなものである。

支承のバネ定数は、ゴム沓では支承便覧などでその算定式が決められており、設計バネ定数は、 $1,200 \text{ t/cm}$ の値が標準となっている。BP沓については、今のところはっきりしたバネ値は示されていないが、 $2,500 \sim 5,000 \text{ t/cm}$ 程度という値が出されているが、設計値としては不安がある。

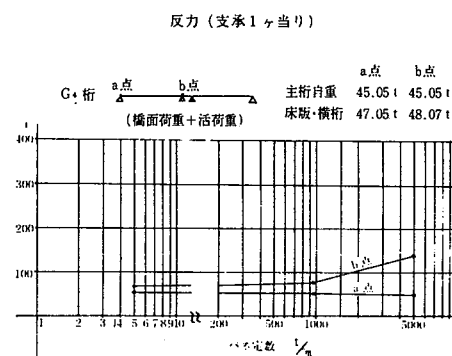
ゴム沓とした場合、バネ定数が $1,200 \text{ t/cm}$ で設計できること、また B P 沓よりはバネ値について研究されていること、連結桁に使用する支承は、ゴム沓を標準とする点を考慮し、本橋はゴム沓（リング沓）を採用した。

表—5 計画バネ定数

ケース	バネ定数(t/cm)	備 考
1	5	非常に小さい値として入れたケース
2	960	ゴム沓の標準的なバネ値 $1,200 \text{ t/cm}$ の80%としたケース
3	5,000	B. P 沓を想定したケース



図—3 バネ定数による曲げモーメントの変化



図—4 バネ定数による支点反力の変化

5. 連結桁を採用するに当り特に配慮した点

① 単純桁としての照査について

連結桁としての問題点である連結部に不測の事態が発生した場合においても、橋梁としての安全度が確保されていること、また多少のクラックが生じて、路面走行に制限を加えずに余裕を持って補修に当たれることを含めて、単純桁としての応力照査を行った。

本橋は海岸部にあり、桁はフルプレストレスで設計しているが、この照査の場合、パーシャルプレストレスで計算している。

② 支点上連結鉄筋応力度の余裕について

連結部は鉄筋コンクリートとして設計したが、この場合の鉄筋応力度は『日本道路公団試験所報告—PC連結桁の載荷試験』の実験解析結果によると、主桁部と剛性の大きい横桁部との境界より少し桁に入った位置に高応力が発生し、その大きさは格子桁理論による応力の1.5倍程度となっていることから、鉄筋の許容応力度を $1,800 / 1.5 = 1,200 \text{ kg/cm}^2$ 程度に押えた。

③ 主桁の橋軸方向鉄筋の補強について

連結桁は、主桁と横桁の剛性差が大きく、応力集中など設計上不測の応力が生じ易いことを考慮し連結部支点上附近は、橋軸方向鉄筋を計算量の2倍程度増量した。

(参考—道示コンクリート橋編P—227)

④ 床版のハンチ

桁部と横桁部の断面の急変を緩和するため床版にハンチを設けた。

その高さは図-5に示すように、上フランジの付根高さとし、勾配は1:5とした。

- ⑤ 連結部の横桁のプレストレス導入について、連結部の横桁には、橋軸方向に横桁断面に対して 5 kg/cm^2 、および橋軸直角方向には横桁断面に対して 12 kg/cm^2 のプレストレスを導入し連結部の一体化を計った。

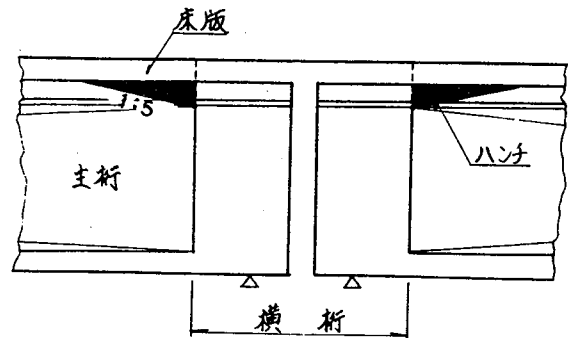


図-5 床版のハンチ

7. 上部工の施行について

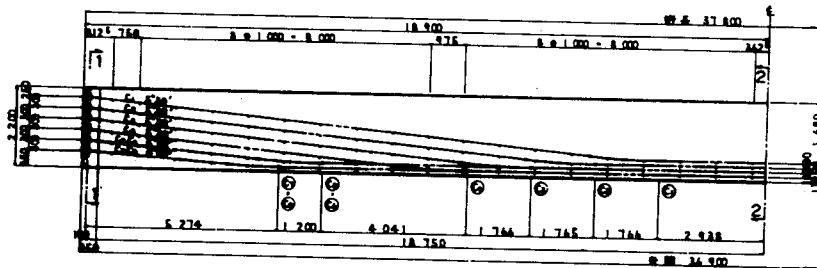


図-6 主桁側面図およびPC鋼線配置図

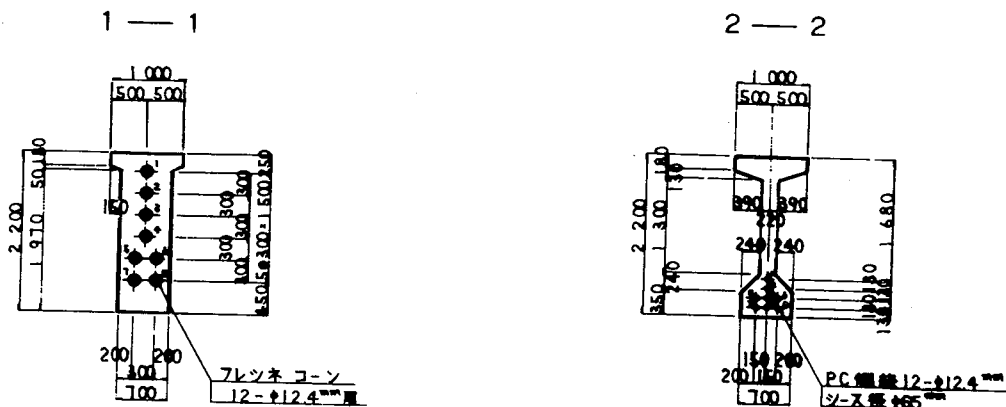


図-7 主桁断面図

① 主桁断面

本橋の主桁は、河川条件および道路計画高から、桁高 2.20 m となった。これは支間の $1/16.8$ となり、通常の支間比、 $1/16.5$ と比較して標準的な桁高といえるが、桁間隔が 3.25 m と広く横方向剛性を高めるために、いく分下フランジを大きくした。

② 施工順序および工程管理

PC連結合成桁橋の一般的な施工順序は、図-8のとおりである。

また、本橋の場合の設計時点で考慮した施工工程日数と実際の施工工程日数を、表-6に示した。合成桁は、主桁自重の割に床版自重など死荷重が大きく、主桁製作時で下フランジに生じる応力度はコンクリートの許容値に近くなっている。このためクリープによるキャンバーがどんどん進行していく。また主桁断面図を見てもわかるとおり、上フランジ巾がT桁断面に比べて小さく、横方向剛性が小さいため、横組を行なわないで長期間放置するのは耐震上非常に危険である。以上のことから施工工程の遅れは、いろいろと問題を含んでいるので、工程管理には特に配慮する必要がある。

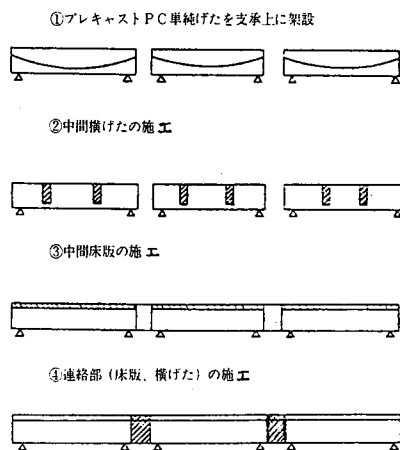


図-8 施行順序図

表-6 施工工程日数

施工の工程	設計時の経過時間	実施工程の経過時間
主桁の製作	0 (日)	0 (日)
架 設		
中間部(横桁・床版)の施工	60 (日)	75 (日)
連結部(横桁・床版)の施工	90 (日)	100 (日)
橋面工施工	120 (日)	120 (日)
活荷重およびその他の荷重	∞	∞

③ 架設工法

本橋で採用した架設工法は引出し(手延)工法のうちの抱込式架設工法によった。

この工法は2本のエレクションガーダー上を走行できる吊り装置で、PC桁を吊り下げ、吊り装置の自走によりPC桁を架設径間まで運搬する。

架設径間における桁の横移動は、エレクションガーダーの横移動、あるいは横取り設備によって行なわれるが、本橋は後者によった。

ちなみに、本橋の主桁自重は102tである。

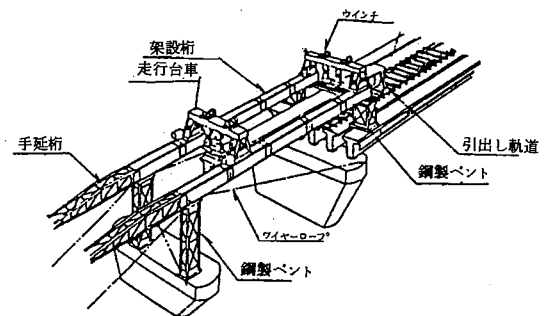


図-9 架設装置

④ 緊張管理および主桁のたわみ

緊張管理は、あらかじめ試験緊張を行いそれにもとずき管理した。

これによれば、見かけのヤング係数(E_p)は、 1.92×10^6 となり、 E_p の標準偏差を2%考慮し、引き止め線のための E_p は 1.88×10^6 とした。また摩擦係数(μ)は平均0.12となり比較的小さな値となった。この理由は桁長に対して桁高が小さく、PC鋼線が直線的であったためと思われる。

⑤ 主桁のたわみ

主桁の計算上のたわみを表-7に示した。

プレストレス導入時の38.4mmは実際上も38mmとなり計算値と合致したが、クリープによる4~60日の42mm強の数値は実際の20mm程度から見ると大きな値となっている。

本橋においては計画高の管理の面から、主桁製作時において、主桁底面型枠を主桁中心で45mm下げて施工した。

表-7 たわみの合計

荷重種	組合せ	④断面 δ (mm)	⑤断面 δ (mm)
(1) 直後のプレストレス		-74.0	-74.0
(2) 主桁自重		35.6	35.7
(3) 場所打コンクリート		31.4	31.4
(4) 換面荷重		3.9	0.7
(5) 活荷重		5.9	4.3
(6) 2次応力差		0.2	0.2
(7) クリープ係数差		-6.8	-6.8
(8) 乾燥収縮差		-0.1	0.0
(9) 71-75日差		2.9	0.7
(10) ク 4 ^日 ~60 ^日		-42.2	-42.1
(11) リ 60 ^日 ~90 ^日		-0.1	-0.1
(12) 1 90 ^日 ~120 ^日		-1.4	-1.4
(13) プ 120 ^日 ~∞		-3.1	-7.4
プレストレス導入時	(4)-(1)(2)	-38.4	-38.3
場所打打設時	(5)-(4)(3)(10)	-49.2	-49.0
主桁運送時	(6)-(5)(1)	-49.9	-49.7
死荷重作用時	(7)-(6)(4)(12)	-47.4	-50.4
2次応力差	(8)-(7)(6)(7)(8)(9)(13)	-54.9	-63.7
設計荷重作用時	(9)-(8)(5)	-49.0	-59.4

あ と が き

以上、白老大橋の設計施工のあらましを述べてきた。

今回、長支間の連結桁の実績がなく、また実際の構造物の挙動などの研究が少なく、設計上の仮定条件が不明確なところがあり、連結桁とするか、連続桁とするか選択に迷ったところである。

今後の課題として、実橋においての載荷試験を行い、連結部の曲げモーメントが連結構造として、どのように作用するのか、また接近した2点支承の支承反力ならびに桁への影響度はどうなのか、などを解明する必要があると思われる。本橋においてもそれを踏まえ、昭和58年度、土木試験所に依頼して実橋載荷試験を行う予定である。

白老バイパスの関連改良工事も着々と進行しており、昭和58年度秋には暫定2車線が完成し、白老インターチェンジまでの北海道縦貫自動車道と併せて供用を開始する予定である。

最後に、本橋の設計施工にあたり、御指導、御協力をいただいた、日本建設コンサルタント(株)オリエンタルコンクリート(株)その他関係各位に厚く感謝する次第である。

参考文献およびP C連結桁に関する文献

- 1) P Cプレテンション桁橋の連結構造に関する研究報告書：財団法人高速道路調査会 (S47年)
- 2) P Cポストテンション合成桁橋の連結構造に関する調査研究報告書：財団法人高速道路調査会 (S48年)
- 3) 大阪堺線延伸工区プレテンション連結方式桁橋の連結部耐力試験報告書：阪神高速道路公団 (S50年)
- 4) ポストテンション連結方式合成桁橋の連結部耐力試験報告書：阪神高速道路公団 (S51年)
- 5) 小田原・厚本道路(2期)工事、金目川橋P C連結桁に関する試験：日本道路公団 (S51年)
- 6) P C連結桁設計基準(案)に関する研究報告書：阪神高速道路公団 (S52年)
- 7) 設計要領、第2集：日本道路公団 (S55年)
- 8) P C連結桁の載荷試験：日本道路公団試験所
- 9) ゴム支承材(リング沓)の圧縮繰返し疲労試験：土木技術
- 10) ゴム支承の経年変化と静的特性：日本ゴム協会 (S56年)