

PC 連続 2 主版桁高架橋の設計・施工

—北郷・白石高架橋—

毛 戸 秀 幸*
津 田 輝 一**
大 西 敏 夫†
坂 保 共††

1. ま え が き

ここで報告する PC 2 主版桁橋は、橋軸方向に床版部分と一体の 2 本の剛な桁を有し、主桁間隔が広く、張出し部の大きな断面形状の PC 橋である。この構造形式は、1960 年代より西ドイツを中心に採用され始め、現在ヨーロッパでは高架橋に広く採用されているが、我が国では、1975 年に完成した首都高速道路 5 号線の高架橋の事例があるのみである。

日本道路公団では、道央自動車道札幌南 IC～札幌 IC

間 (7.3 km) の都市内連続高架区間 (6.1 km) において、1.5 km にわたり北郷高架橋、白石高架橋にこの構造形式を採用した。本高架橋は、1983 年から工事に着手し、合わせて実橋載荷試験を行い、1985 年 10 月に完成をみた。この結果、本形式の設計法を明確にするとともに、大型の移動式支保工による機械化施工の利点を最大限に活用し、大幅な工期短縮と気象条件の厳しい北海道において夏・冬通年施工を達成することができた。

ここでは、主に 2 主版桁橋の設計に際して行った検討結果と設計法の妥当性を検証するために行った実橋載荷

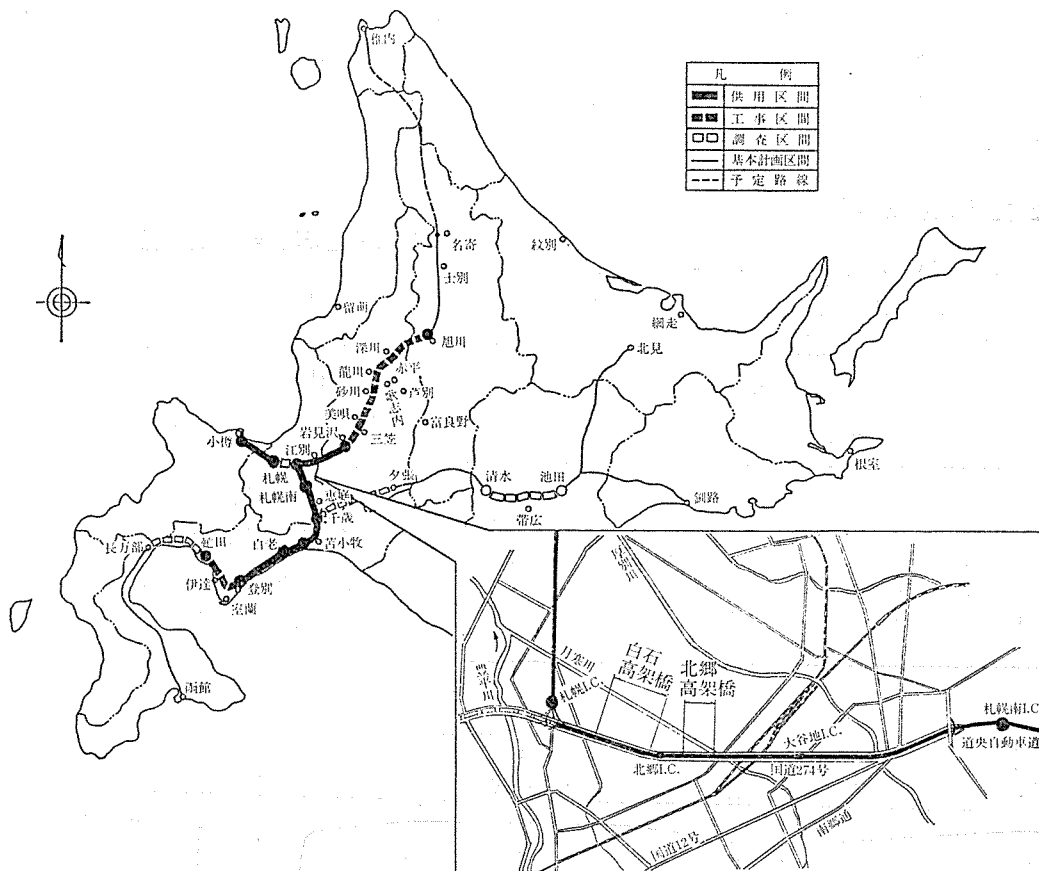
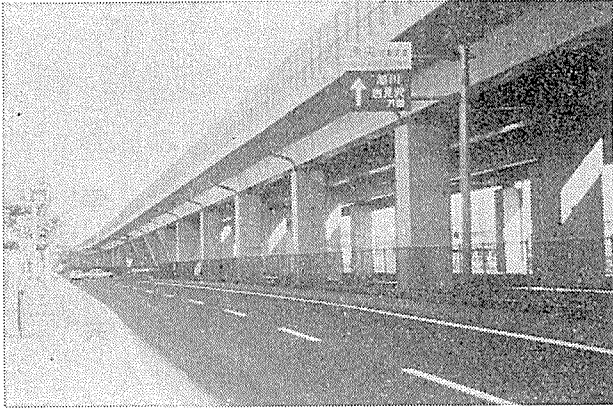


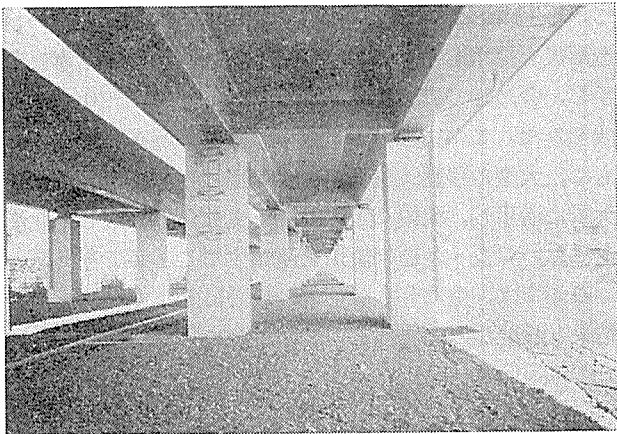
図-1 位置図

* 日本道路公団札幌建設局札幌工事事務所長 (現: 本社技術部構造技術課長) ** 日本道路公団札幌建設局構造技術課長
† 日本道路公団札幌建設局札幌工事事務所 †† 日本道路公団札幌建設局構造技術課

◇工事報告(投稿)◇



写真—1 完成(側面)



写真—2 完成(桁下)

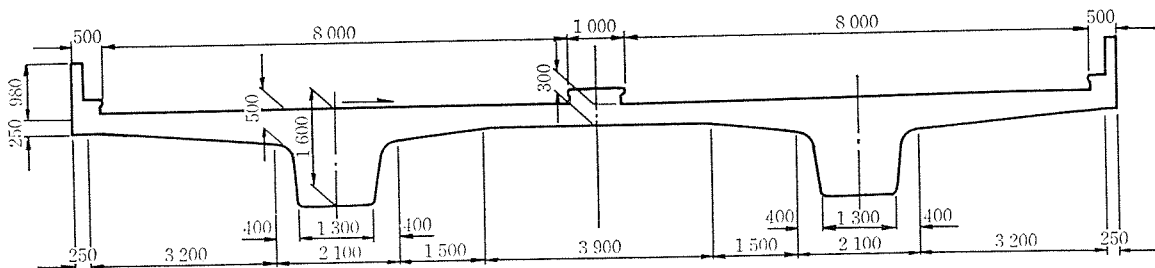
試験の結果について報告するものである。なお、写真—1、2 に完成状況を示す。

2. PC 2 主版桁橋の概要

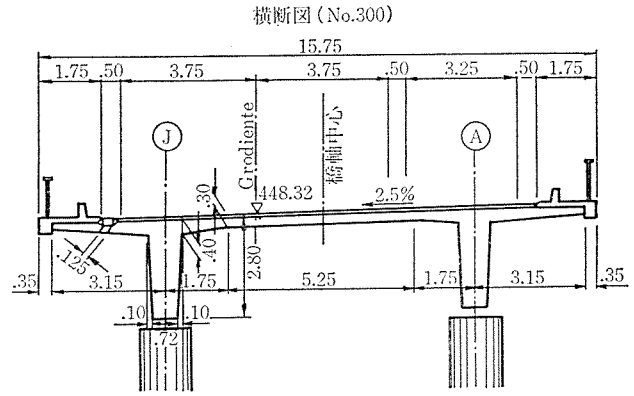
先に述べたとおり PC 2 主版桁橋は、きわめて単純な断面形状である。これまでの事例によると、横桁は端支点あるいは端支点と中間支点上しか設けられておらず、支間 25~50 m 程度の連続形式が採用されている。

表—1 PC 2 主版桁橋の例

橋名	スパン(標準)(m)	幅員(有効)(m)	桁高(m)	床版厚(m)	幅員スパン	桁高スパン
Hongbrücke Würgau	39.0	15.05	2.8	0.3	1/2.6	1/14
Talbrücke Sechshelden	47.65	15.8	2.8	0.3	1/3	1/17
Pont de Poiter	41.0	13.12	2.7	0.24	1/3.1	1/15
首都高速道路高架橋	25.0	18.0	1.6	0.30	1/1.4	1/16



図—3 首都高速道路高架橋の断面図



図—2 Hangbrücke Würgau の断面図

表—1、図—2 に代表的な事例の諸元と断面を示すが、幅員についても 15 m 程度と非常に大きく、我が国の標準的な PC 橋の断面と大分趣きを異にしている。

また、本形式は移動支保工あるいは可動支保工(ここでは移動式支保工と総称する)を用いた片押し施工が一般的に行われている。

本構造形式の理解の一助として、首都高速道路の事例¹⁾を簡単に紹介する。本橋は、総幅員 18.0 m、支間 25 m の 5 径間連続桁で、図—3 に示すとおり主桁間隔 7.5 m、主桁高 1.6 m で桁高比 1/16 の断面形状をしており、ヨーロッパにおける構造寸法に近い。また、主桁のせん断力に対しては、PC 鋼棒による鉛直締めを行っており、床版については、30 cm 厚とし横締め PC ケーブルを配置している。さらに、横桁は、端支点と中間支点にのみ配置している。

3. 北郷・白石高架橋の概要

当区間は、市街化された札幌市の北東部を通過し、本線の用地幅 25 m をはさんで日交通量 4 万台にも及ぶ一般国道 274 号(札幌新道)が併設されている。また、地盤は全体的に軟弱で支持層も深く、地表面下 30 m に達しているところもある。

このような条件のもとで、橋梁計画にあたっては、本形式と RC および PC 連続床版橋、PC および鋼連続桁橋について上下部工を含め総合的に比較検討を行った。この結果、PC 2 主版桁形式は使用材料も少なく、しかもきわめて単純な断面

形状であるため、大型の移動式支保工による機械化施工と組み合わせたとき、経済性はもとより施工性・安全性に優れるとともに、軽快な景観となるものと判断された。

本高架橋は、検討の結果、有効幅員 9.75 m に対し主桁間隔 5.4 m, 主桁高 1.7 m (桁高比約 1/15) の断面形状が最適となり、支間 24 m (北郷高架橋) および 27 m (白石高架橋) の 4 および 5 径間連続桁を基本構造としている。さらに構造細部においては、端支点と中間支点にのみ横桁を設置することとし、移動支保工による片押し施工の効率化と地震時における橋脚天端の相対変位の防止を図った。また、床版の PC 鋼材による横締めは必要となるものの、鉛直締めを必要としない主桁形状とした。

このように北郷・白石高架橋は、上下線分離構造としているため、これまでの事例に比べて主桁間隔が比較的狭い PC 2 主版桁橋といえる。北郷高架橋の断面図および側面図を図-4, 5 に示す。

4. 設 計

4.1 設計上の問題点

2 主版桁橋は、その構造特性に起因して次のような設計上の問題点が考えられ、設計にあたってはこれらを解明する必要がある。

- ① 主桁と床版との協同作用により主桁断面が構成されることから、主桁の設計にあたっては、床版の荷重分配効果を解明する必要がある。
- ② 床版は、主桁のたわみとねじりとの影響をうけて応力状態が異なるので、従来の版理論による解析のみでは不十分である。
- ③ 桁幅に対して版幅が広いので、桁としての有効幅あるいは軸方向力に対する有効幅を検討する必要がある。
- ④ 中間支点上横桁を設置しない場合は、橋軸方向および直角方向への影響を検討する必要がある。

本高架橋の設計にあたっては、これまでの研究成果を

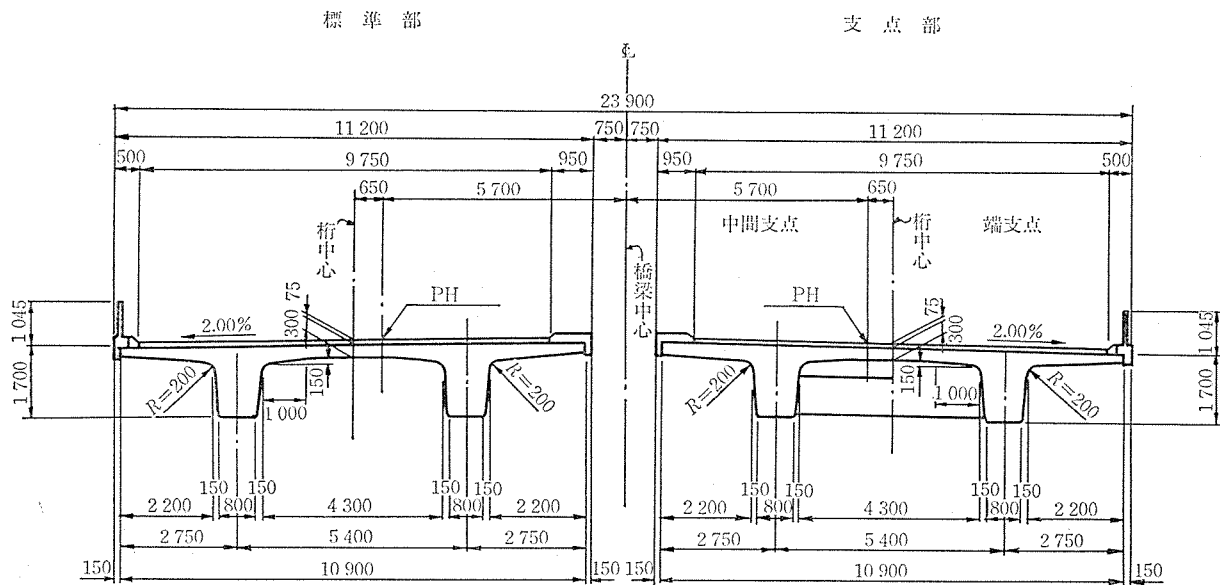


図-4 PC 2 主版桁橋断面図

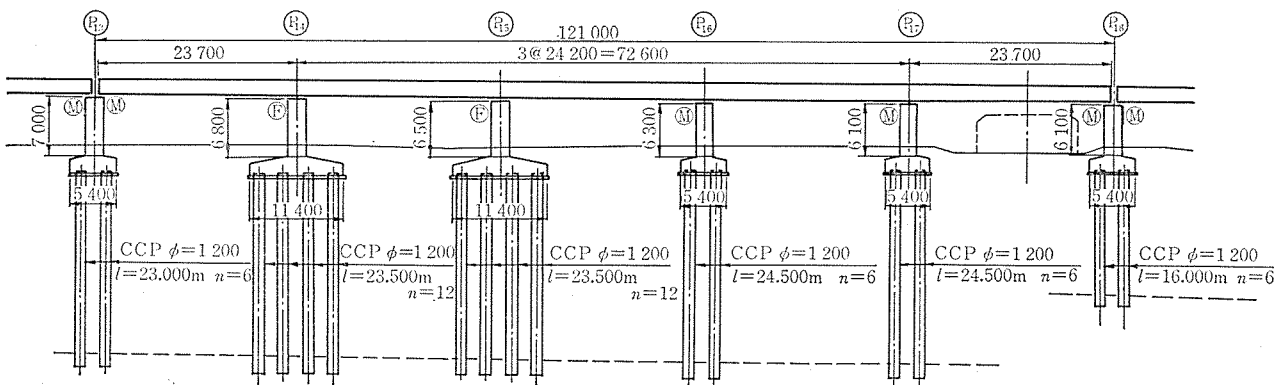


図-5 側 面 図 (北郷高架橋)

◇工事報告(投稿)◇

ふまえ、本高架橋の構造特性に適合すると考えられる各種解析理論を詳細に比較検討し設計方針を決定したものである。

4.2 解析手法の検討

(1) 2主版桁橋の解析理論

2主版桁橋形式は、荷重分配版としての床版と主桁が剛結しており、桁橋と版橋の双方の力学的性質を有する構造形式である。我が国においては新しい構造形式であるため、その設計法は確立されていない。また、外国においては数種の解析理論が発表されているが、格子桁、床版橋のように一般的な理論が定まっていないため、いくつかの設計手法が採用されている。

2主版桁橋の解析を目的として発表された理論の主なものとしては、次のようなものがある。

- ① 格子桁を拡張した Klemp の理論および横道の理論
- ② 版理論を拡張した Bechert の理論および Bieger の理論
- ③ 横桁のない多径間連続2主版桁の解析を目的とした Nötzold の理論

なお、首都高速道路の事例では、1/5 の模型実験の結果と各種理論との比較検討を行い、設計方針が決定されている。それによると、主桁は、Bieger 理論により、支間中央点の荷重分配率を求め、それを Anger 理論により桁理論に置きかえて設計を行っている。また、中間床版の橋軸直角方向は Bieger 理論、橋軸方向は道路橋示方書（以下道示という）の規定に従って設計するとともに、張出し床版においても道示により設計を行っている。

(2) 設計上の検討事項

本高架橋は、主桁間隔が比較的小さいことから、これまでの設計理論をそのまま適用することが妥当であるかどうか確認する必要があった。また、昭和 53 年に道示（コンクリート編）の改訂もなされており、本構造形式における適切な寸法諸元についても見直しをする必要があった。主桁の設計については、2主版桁橋の実用的解析理論である Bieger 理論と格子理論の比較を行うとともに、弾性法によるコンクリート構造物の立体解析を行う折板理論によって主桁フランジの有効幅についても検討を行った。また、床版の設計については Bieger 理論、折板理論および道示と比較した。さらに中間支点横桁の有無についても折板理論と格子理論によりその影響度を把握することとした。なお、参考のために各種理論について簡単に紹介しておく。

- ① Bieger 理論：1962 年西ドイツの Bieger 教授によって発表された 2 主版桁橋の解析理論で、床版に

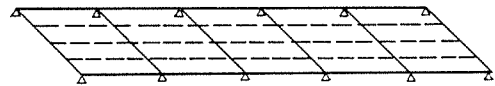
ついては計算された図表によって直接断面力が得られる。また、主桁については、分配係数により荷重分配を行い Anger 理論を適用することで断面力を算出することができる。

- ② Pucher 理論：版の辺比（長辺と短辺の比）および版縁の支承状態が異なる版について、版の中央点および支承縁の中央部における曲げモーメント、せん断力、ねじりモーメントの断面力を求めるための影響面を図で示し、外力による断面力の計算を載荷範囲の影響面の体積と荷重強度から容易に求められるようにした実用的計算法である。
- ③ 折板理論：力学的には、板の平面に直交する方向の荷重成分に対しては平板的な挙動を示し、他方板の平面に平行する方向の荷重成分に対しては壁板的な作用をする。解析方法は、弾性法による解法で J. Goldlerg, A. Scordelis 等によって展開された基本解に基づきコンクリート構造物の立体解析を行う。

(3) 検討結果

1) 主 桁

図-6 に示すように 2 主桁間に 3 本の仮想部材を設け、横方向は各径間を 10 分割した構造モデルの格子理論解析と Bieger 理論による解析結果を表-2 に示す。これによると、格子理論によるねじりモーメントは多少



---仮想主桁（ねじりモーメントの解析精度を上げるため設ける）

図-6 格子構造モデル図

表-2 主桁断面力の比較

			Bieger 理論	格子理論
曲げモーメント (支間中央)	静荷重	t・m %	70.8 100	71.5 101.0
	活荷重 (max)	t・m %	265.3 100	265.9 100.2
曲げモーメント (中間支点)	静荷重	t・m %	-97.9 100	-97.7 99.8
	活荷重 (min)	t・m %	-219.1 100	-228.9 104.5
せん断力 (中間支点)	静荷重	t %	24.7 100	27.0 109.3
	活荷重 (max)	t %	77.0 100	85.9 111.6
ねじりモーメント (中間支点)	静荷重	t・m %	— —	13.5 —
	活荷重 (max)	t・m %	33.4 100	30.4 79.2

表-3 主桁フランジの有効幅

	道示	折板理論 (桁自重)
側径間 4/10 l 点	1.000	0.923
中間支 点	0.695	0.688
中央径間支間中央	0.923	0.925

※ 全幅有効を 1.0 として、比率で表わす

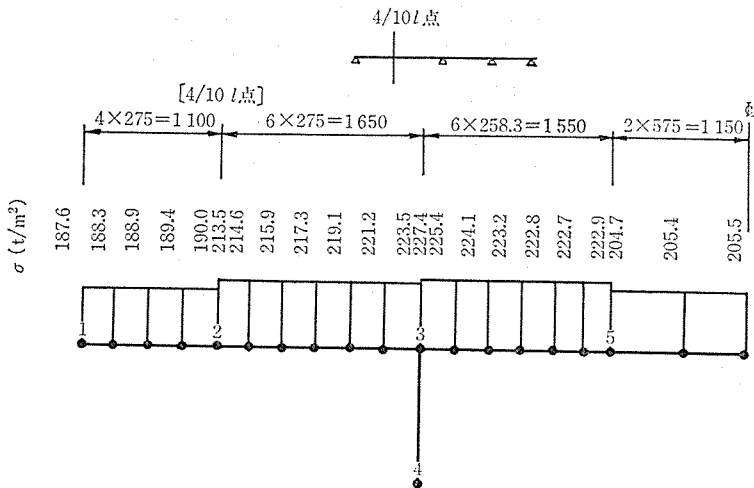


図-7 桁自重による主桁上縁の応力 (折板理論)

小さめになるものの、その他の断面力については非常に近似していることがわかる。

2) 主桁フランジの有効幅

折板理論による主桁フランジの応力分布を図-7に示す。また、主桁の各位置における有効幅について道示との比較結果を表-3に示すが、これによると両者は大差がない結果となっている。本高架橋においては、道示が多少小さめとなっているが、応力に及ぼす影響はわずかであるので、有効幅の算出は道示の規定によってよいものと考えられる。

3) 床版

i) 中間床版

床版は直接輪荷重が載荷し、過酷な条件で使用される部材である。しかも本形式の場合、中間床版は主桁のたわみとねじりによる影響を解析する必要がある。橋軸直角方向について、各種理論による解析結果を図-8に示すが、死荷重につ

いては、Bieger 理論の値が厳密解に近いと考えられる折板理論の値と良く一致した。また、活荷重については道示の値が十分安全側となった。なお、本形式は荷重載荷状態により床版中央に M_{min} 、床版固定端に M_{max} が生ずるが、これについては道示では求められないので Bieger 理論により求める必要がある。

橋軸方向について、折板理論による解析結果を表-4に示す。これによると、橋軸方向応力度と直角方向応力度の比率 M_x/M_y は 0.47~0.8 となる。一方、道示によると 0.8 であるので、道示により設計する場合は十分安全側となる。

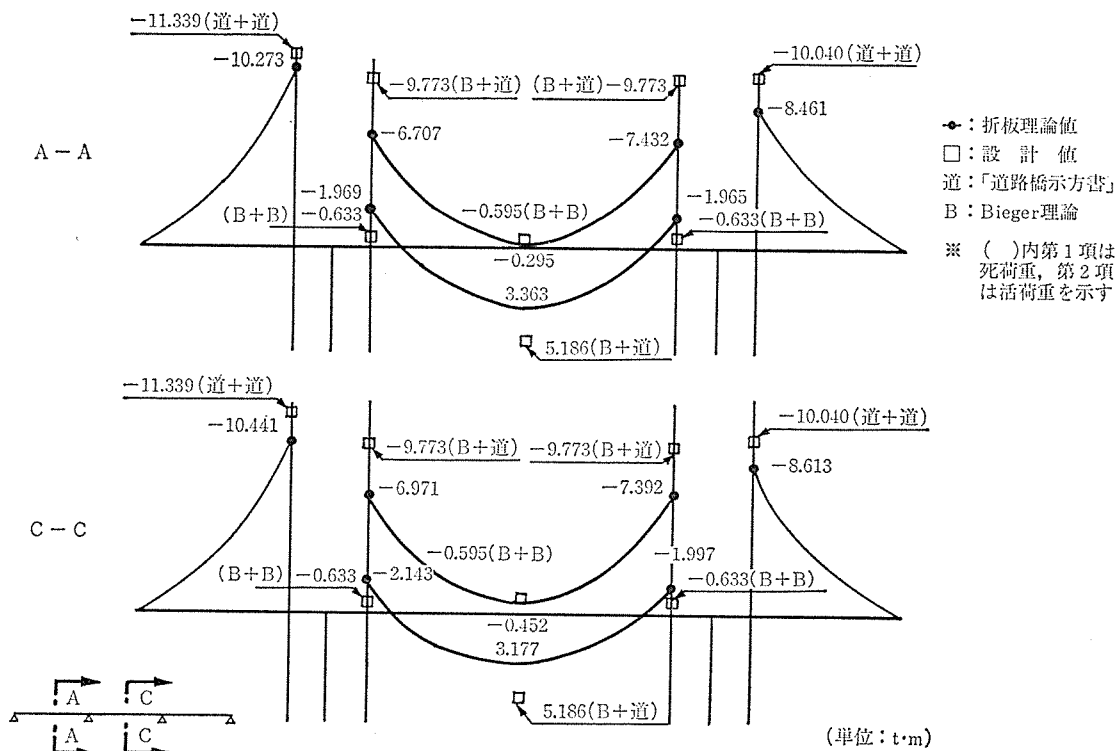


図-8 床版の曲げモーメント (設計荷重時)

◇工事報告(投稿)◇

ii) 張出し床版

張出し部の橋軸直角方向について、折板理論、Pucher理論および道示の値を図-9に示す。また、橋軸方向の床版下縁に生ずる引張応力度を表-5に示す。これらに

表-4 活荷重による橋軸方向応力(中間床版)

着目点	軸方向応力度 M_x (t/m ²)	直角方向応力度 M_y (t/m ²)	M_x/M_y (%)
中央径間支間中央	159.7	214.4	74.5
中間支点	85.3	182.6	46.7
側径間 4/10l	173.4	217.7	79.7

表-5 活荷重による橋軸方向応力(張出し床版)

着目点	橋軸方向応力度 (t/m ²)	
	折板理論	道示
中央径間支間中央	-80.0	-229
中間支点	-92.1	"
側径間 4/10l	-76.2	"

※ 軸荷重載荷位置における床版下縁応力を示す

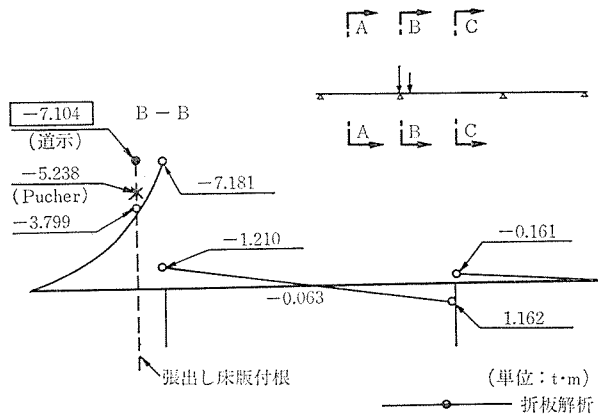


図-9 活荷重による床版の曲げモーメント(張出し部載荷)

よると、いずれも道示の値は十分安全側となっている。

4) 中間支点横桁の有無に関する検討

i) 床版に対する影響

横桁の有無による橋軸直角方向の床版の曲げモーメントを折板理論で比較した結果を図-10に示す。これによると横桁が無い場合は、張出し部の死荷重による影響で床版中央部の正の曲げモーメントが25%程度小さくなる。一方、床版付け根部の曲げモーメントは、多少大きくなっているが、その値は13%程度にとどまっている。

ロ) 主桁に対する影響

表-6 格子理論による主桁断面力

		格子理論			
		Case 1	Case 2	Case 3	
曲げモーメント (支間中央)	静荷重	t·m %	71.5 100	71.5 100	71.6 100
	活荷重 (max)	t·m %	265.9 100	267.0 100.4	267.3 100.5
曲げモーメント (中間支点)	静荷重	t·m %	-97.7 100	-97.9 100.2	-98.0 100.3
	活荷重 (min)	t·m %	-228.9 100	-233.8 102.1	-235.3 102.8
せん断力 (中間支点)	静荷重	t %	27.0 100	27.0 100	27.0 100
	活荷重 (max)	t %	85.9 100	86.9 101.2	87.2 101.5
ねじりモーメント (中間支点)	静荷重	t·m %	13.5 100	7.8 57.8	-0.6 -
	活荷重 (max)	t·m %	30.4 100	27.8 91.4	25.6 84.2

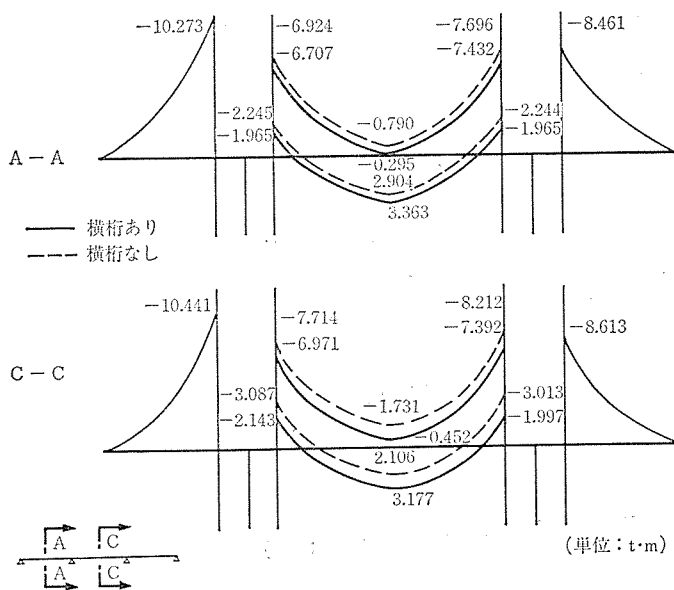


図-10 折板理論による床版の曲げモーメント(設計荷重時)

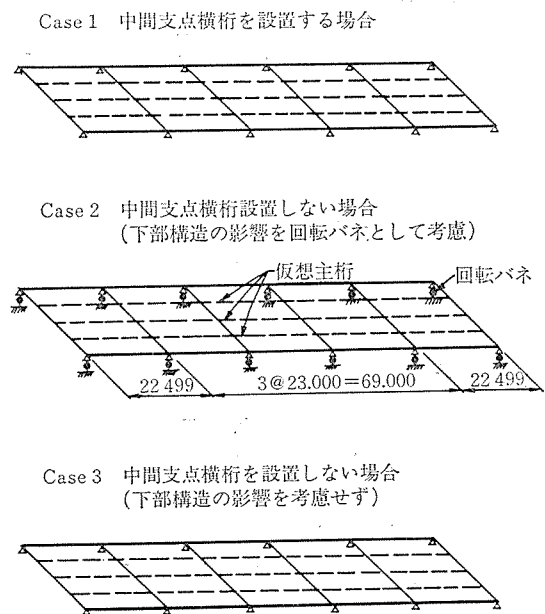


図-11 格子構造モデル図

プレストレストコンクリート

図-11 に示すような 3 種類の構造モデルを設定し、静荷重および活荷重 (TT-43) による主桁断面力の比較を行った結果を表-6 に示す。これによると、曲げモーメントおよびせん断力はほぼ同等とみなせるが、中間支点横桁の拘束により、横桁を配置した方がねじりモーメントが大きくなる。

4.3 設計方針

以上の検討結果をふまえ、本高架橋においては次のように設計方針を決定した。

(1) 荷重

1) 床版

床版の設計に用いる活荷重は、TT-43 荷重および T-20 荷重のうちいずれか大きいものとする。また、床版の合成応力度は、フルプレストレスとする。

2) 主桁

主桁の設計に用いる活荷重は、TT-43 荷重とする。また、設計荷重時における主桁上縁の合成曲げ応力度は、フルプレストレスとする。

(2) 材料強度および許容応力度

本高架橋は、設計基準強度 350 kg/cm^2 のコンクリートを使用するものとする。また、鋼材とコンクリートの材料強度および許容応力度は道示による。

(3) 床版の設計

1) 中間床版

i) 橋軸直角方向

① 死荷重による曲げモーメントは、Bieger 理論で算定する。

② 活荷重による各位置の曲げモーメントは表-7 による。なお、図-12 に Bieger 理論による影響線を示す。

ii) 橋軸方向

橋軸方向の曲げモーメントは、道示に準ずる。

2) 張出し床版

設計に用いる曲げモーメントは、橋軸直角方向、橋軸方向とも道示に準ずる。

(4) 主桁の設計

1) 主桁自重およびプレストレスによる 2 次力

本高架橋は、移動式支保工による分割施工を行うため、弾性解による不静定力のほかに各施工段階毎にクリープ等の影響を考慮して断面力を

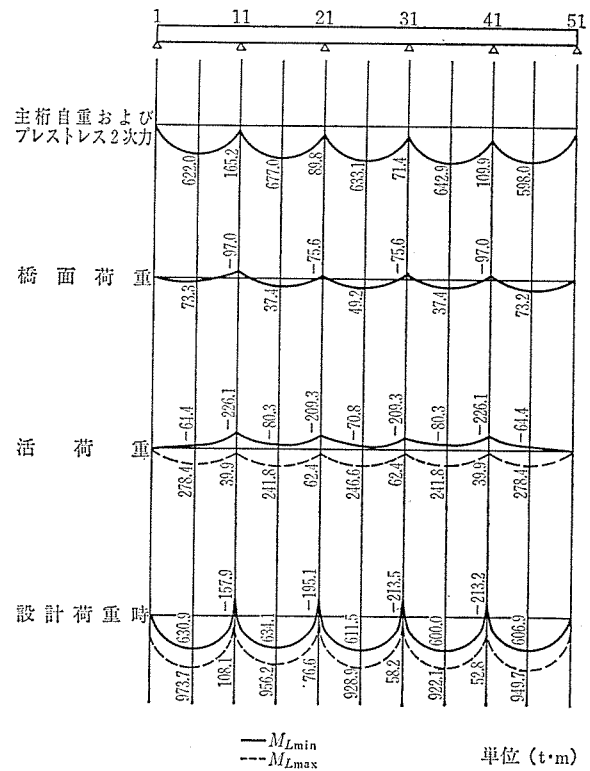


図-13 各荷重および設計荷重時の曲げモーメント図 (北郷高架橋)

表-7 活荷重による曲げモーメントの算定 (中間床版)

位置	M_{max}	M_{min}
床版中央	道示に準ずる	Bieger 理論
床版固定端	Bieger 理論	道示に準ずる

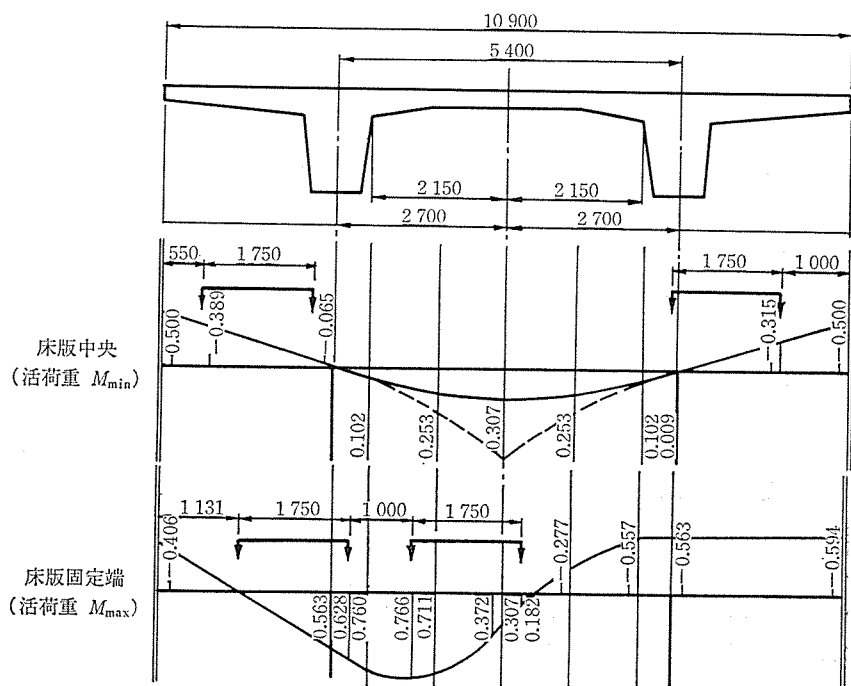


図-12 Bieger 理論による影響線

◇工事報告(投稿)◇

算定する。

2) 橋面荷重および活荷重による断面力

図-6 に示す構造モデルで格子理論により断面力を算定する。

3) フランジの有効幅

曲げモーメントに対する有効幅および軸方向力に対する有効幅とも道示に準ずるものとする。また、不静定力算定に用いるフランジの有効幅は全幅とする。

なお、北郷高架橋の実曲げモーメントを 図-13 に示す。

5. 施 工

5.1 機械化施工

本高架橋の施工には移動式支保工を採用し、北郷高架橋 530 m、白石高架橋 950 m を1 径間毎の分割施工により行った。移動式支保工の採用により次の点においてその効果が発揮された。

① 急速施工と安全、確実なる施工が可能であった。

高度に機械化された支保工と型枠を用いたことにより、支保工の変形、耐力の信頼度が高く安全で確実な施工管理が可能であった。1 径間 24 m を 12 日間程度、1 径間 27 m では 14 日間程度で施工が可能であり、他の工法と比較して施工速度が数倍早く、大幅な全体工期の短縮が図られた。

② 桁下空間の条件に左右されずに施工が可能であった。

桁下の地盤条件、交通等の条件に左右されることなく施工が可能であった。

③ 気象条件に左右されにくく、工程、品質管理が容易であった。

屋根および養生設備があり、いわば移動式工場といえ、各作業がサイクル化されたため良好な工程管理、品質管理を行うことができた。また、厳寒期においても施工が可能であった。

④ 労務の省力化が図られた。

機械化による労務の省力化と各作業のサイクル化、単純化により、一定数の労務者の安定雇用につながり、労務者の熟練度も早く、また安全設備が完備されているので作業の安全が確保された。

5.2 冬期施工

北海道は本州と比較すれば冬期間が長く気象条件が厳しいことから、冬期間の産業活動の停滞をもたらしている。建設工事においても例外ではなく、夏・冬通年施工を行うことの意義は非常に大きいものがある。

近年北海道においても徐々に冬期施工の例も増えてはきているが、橋梁上部工の施工例はいまだ少なく、特に

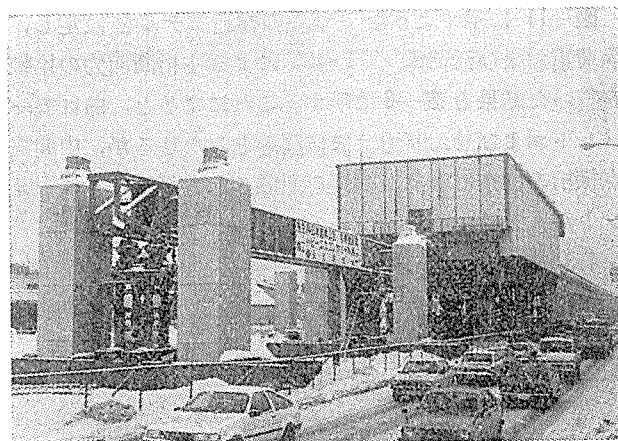


写真-3 移動式支保工施工 (冬期)

PC 橋においては打設されたコンクリートについて早期の強度発現と高強度を要求することから、品質管理を行ううえで難しい面もあり施工例は一段と少ない。

本高架橋においては、生コンクリートの温度、新旧コンクリートの温度差、打設方法およびコンクリートの養生等冬期施工にともなう種々の問題点の解明に積極的に取り組み、施工上の問題点を明らかにし、その対策を検討し実施したものである。

6. 実橋載荷試験

6.1 試験概要

設計方針の妥当性と構造形式の連続性を確認するために、30 t トラック 4 台による実橋載荷試験を実施したものである。主桁については、連続性状、荷重分配、フランジの有効幅、主桁の回転変位を把握するため測定値が最大となるように荷重を載荷し、桁のたわみとひずみ(応力分布)を測定した。また床版については、中間部および張出し部のたわみおよびひずみを測定した。さらに中間支点横桁の応力を測定し格子理論との比較を行うこととした。なお、首都高速道路における実橋載荷試験の結果を参考にして、コンクリート製壁式防護柵の施工前に載荷試験を行った。今回行った載荷ケースを表-8



写真-4 実橋載荷試験

表-8 測定項目と載荷位置の関係

載荷位置	測定項目	載荷位置	測定項目	載荷位置	測定項目
Case 1 	①連続性状の検討 ②有効幅の検討	Case 4 	①連続性状の検討	Case 7 	①主桁の回転検討
Case 2 	①連続性状の検討 ②中間床版の検討	Case 5 	①連続性状の検討	Case 8 	①張出し床版の検討
Case 3 	①荷重分配の検討 ②中間床版の検討	Case 6 	①荷重分配の検討	Case 9 	①支点上床版の検討
Case 10 (20t) 	①中間床版の検討			Case 11 (20t) 	①張出し床版の検討

に示す。

6.2 試験結果

(1) コンクリートの弾性係数

コンクリートの弾性係数は、現場養生した供試体における材令 28 日と実橋載荷試験の材令のものを 2 回測定し、理論計算に際しては $E=3.7 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$ を用いることとした。

(2) 主 桁

1) 主桁の連続性状

対称荷重 (Case 1, 2) を支間中央に載荷し、主桁のたわみ分布を図-14 に、各理論値との比較を表-9 に示す。図-14 によると 1/2l 点で平均 14% 低く測定されているが、たわみ分布は格子理論に近似している。また、表-10 に主桁応力の実測値と各理論値の対比を示す。表-10 によれば、応力についても格子理論はたわみ測定値と同様良く一致し、測定値に対して平均 12% 程度大きな値を示している。

これらの結果、本橋は連続桁として正常な連続性状を示すとともに、応力においても十分に格子理論を適用できることが確認された。

2) 荷重分配

非対称荷重 (Case 3, 7) を 1 主桁上へ載荷し、主桁のたわみおよび主桁応力を測定した各理論値を表-11, 12 に示す。

これらによると、非対称荷重時の荷重分配はたわみ測

表-9 中央径間対称荷重時たわみ比較

(単位: mm)

		主桁 I		主桁 II	
		1/2l 点	3/10l 点	1/2l 点	3/10l 点
Case 1	測定値	1.43	1.18	1.48	1.11
	理論値				
	格子理論	1.72	1.33	1.72	1.33
	Bieger 理論	1.74	1.34	1.74	1.34
	折板理論	1.37	1.05	1.36	1.05
Case 2	測定値	2.50	2.16	2.60	2.14
	理論値				
	格子理論	2.91	2.37	2.91	2.37
	Bieger 理論	2.94	2.40	2.94	2.40
	折板理論	2.28	1.87	2.29	1.88

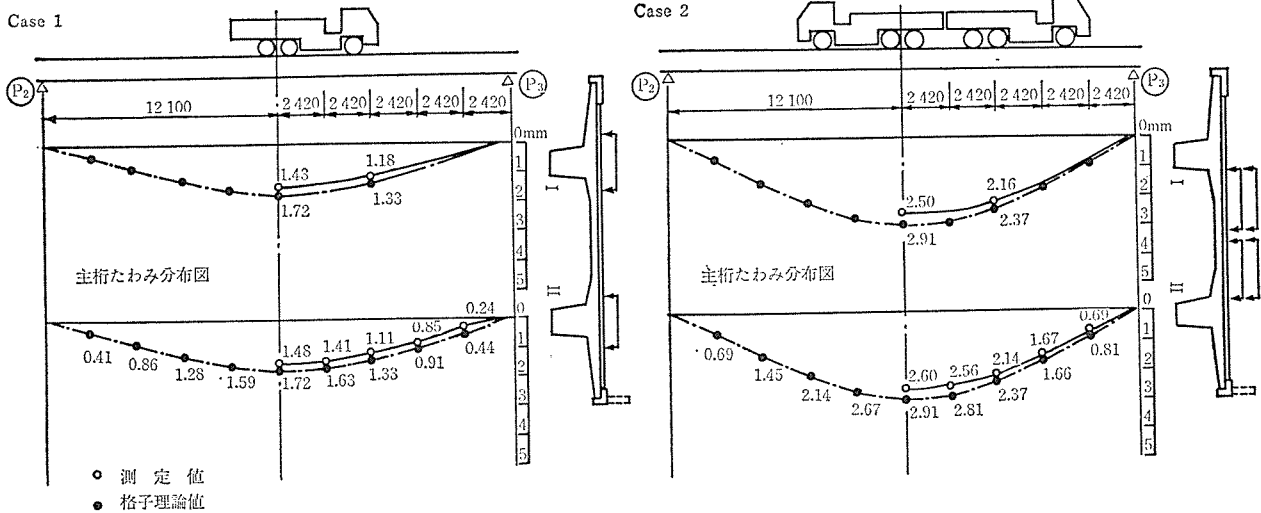
定値より中央径間の支間中央で約 72%, 側径間の支間中央で約 70% となる。一方、主桁応力によれば、上下縁のバラツキはあるものの平均するとたわみ測定結果と同じとなる。また、各理論値と比較すると折板理論が実測値に近く、次に Bieger 理論、格子理論の順となっているが、各理論値間の差は平均して 3% と小さい。

したがって、測定値は格子理論と比較して 4% 程度の相違にとどまっており、格子理論が十分適用できることが確認された。

(3) 有効幅

主桁上に荷重を載荷した時のひずみ測定値より求めた有効幅と各理論値との対比を表-13 に示す。

これによると、測定値より求めた有効幅は折板理論と良く一致しているが、道示の値はこれより 6% 程度小



図—14 中央径間対称荷重時たわみ

表—10 対称荷重時主桁応力(中央径間)

		Case 1 (単位: kg/cm ²)						
		主桁 I			主桁 II			
		1/2 l 点	3/10 l 点	中間支点	1/2 l 点	3/10 l 点	中間支点	
上	測定値	5.9	3.3	-2.6	5.6	2.6	-2.6	
	理論値	格子理論	6.8	3.4	-4.0	6.8	3.8	-4.0
		Bieger理論	6.8	3.9	-4.0	6.8	3.9	-4.0
		折板理論	5.0	2.9	-3.2	4.9	2.8	-3.2
下	測定値	-16.7	-9.3	—	-18.9	—	10.0	
	理論値	格子理論	-18.2	-10.3	9.6	-18.2	-10.3	9.6
		Bieger理論	-18.1	-10.2	9.7	-18.1	-10.2	9.7
		折板理論	-14.6	-8.1	7.2	-14.6	-8.1	7.2

		Case 2 (単位: kg/cm ²)						
		主桁 I			主桁 II			
		1/2 l 点	3/10 l 点	中間支点	1/2 l 点	3/10 l 点	中間支点	
上	測定値	8.5	7.4	-5.9	7.8	7.4	-5.6	
	理論値	格子理論	10.2	8.2	-7.4	10.2	8.2	-7.4
		Bieger理論	10.2	8.1	-7.5	10.2	8.1	-7.5
		折板理論	8.4	6.9	-6.0	8.4	7.0	-5.7
下	測定値	-24.4	-19.6	—	-28.5	—	22.0	
	理論値	格子理論	-27.3	-22.0	18.0	-27.3	-22.0	18.0
		Bieger理論	-27.2	-21.8	18.2	-27.2	-21.8	18.2
		折板理論	-21.5	-17.2	13.2	-21.6	-17.3	13.3

表—11 主桁たわみによる分配率(中央径間)
1/2 l 点

		Case 3			Case 7		
		主桁 I (mm)	主桁 II (mm)	分配率	主桁 I (mm)	主桁 II (mm)	分配率
測定値		1.43	3.73	0.277 : 0.723	0.43	2.12	0.167 : 0.831
理論値	格子理論	1.44	4.37	0.248 : 0.752	0.39	2.52	0.134 : 0.866
	Bieger理論	1.50	4.39	0.255 : 0.745	0.40	2.55	0.136 : 0.864
	折板理論	1.22	3.24	0.274 : 0.726	0.35	1.32	0.161 : 0.839

表-12 主桁応力による分配率 (中央径間)
1/2l 点

		Case 8			Case 10			
		主桁 I (mm)	主桁 II (mm)	分配率	主桁 I (mm)	主桁 II (mm)	分配率	
上	測定値	5.6	11.5	0.327 : 0.673	2.2	6.3	0.259 : 0.741	
	理論値	格子理論	4.7	15.7	0.230 : 0.770	1.1	9.0	0.109 : 0.891
		Bieger理論	5.2	15.1	0.255 : 0.745	1.4	8.8	0.137 : 0.863
緑	折板理論	4.5	11.5	0.281 : 0.719	1.4	6.9	0.169 : 0.831	
下	測定値	-12.2	-42.6	0.223 : 0.777	-3.0	-24.4	0.109 : 0.891	
	理論値	格子理論	-12.5	-42.2	0.229 : 0.771	-3.0	-24.4	0.109 : 0.891
		Bieger理論	-13.9	-40.5	0.256 : 0.744	-3.7	-23.5	0.138 : 0.864
緑	折板理論	-10.7	-31.2	0.255 : 0.745	-2.8	-17.5	0.138 : 0.862	

くなっている。しかし、有効幅が応力に及ぼす影響はわずかであると考えられるので、道示に従って有効幅を算定しても問題はないものと考えられる。

(4) 主桁の回転

中央径間の支間中央に偏心荷重を載荷した時のたわみ測定値を図-15に示す。この値より、主桁 I, II の回転角を算出し各理論値と比較した結果を表-14に示す。

これによると、わずかに、主桁の回転が認められ、測定値は折板理論値に近く、格子理論値は多少小さめ、Bieger理論値は多少大きめの値となっている。

(5) 中間床版

1) 橋軸直角方向

各載荷荷重による橋軸直角方向のたわみ分布を図-16に示す。偏心荷重を載荷した場合には、主桁の回転とたわみ差が生じており、両張出し床版に載荷した場合には、中間床版が主桁の回転により浮き上がる現象が認められる。このことより、中間床版応力が主桁の回転およびたわみ差の影響をうけることが良く理解できる。

つぎに、各載荷状態における床版下縁応力の橋軸直角分布を図-17に示す。これによると、折板理論とBieger理論は測定値と良く一致しており、主桁の回転およびたわみ差により支間中央部に負のモーメント、固定端部に正のモーメントが生じている。

表-13 主桁の有効幅 (中央径間)
1/2l 点 (単位: m)

		Case 1			Case 3		
		内側幅	張出し側幅	全幅	内側幅	張出し側幅	全幅
測定値		1.997	1.682	4.779	1.707	1.981	4.788
	理論値	折板理論	1.896	1.856	4.852	1.695	1.943
	道示	1.965	2.015	5.080	1.965	2.015	5.080

表-14 主桁回転角の比較
偏心荷重時 (単位: 度)

		Case 7		Case 3	
		ϕ I	ϕ II	ϕ I	ϕ II
測定値		0.00917	0.02445	0.02521	0.02215
理論値	格子理論	0.00692	0.03079	0.02001	0.02246
	Bieger理論	0.01236	0.03656	0.02883	0.02786
	折板理論	0.00936	0.02387	0.02086	0.02009

このように、主桁の回転およびたわみ差による曲げモーメントへの影響を Bieger 理論等により求める必要があるといえる。

2) 橋軸方向

中間床版に最大応力が生じるように載荷した (Case 2) 場合の橋軸方向応力を図-18に示す。

これによると、床版の応力は橋軸直角方向と異なり上下縁の大きさが極端に異なっているが、これは橋軸方向

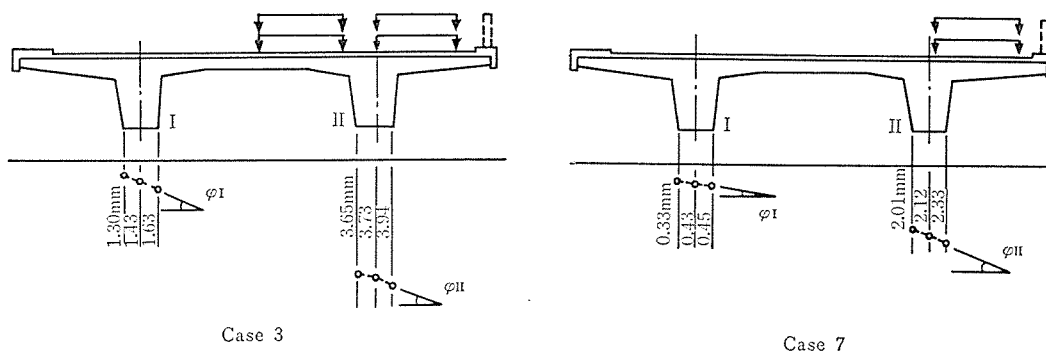
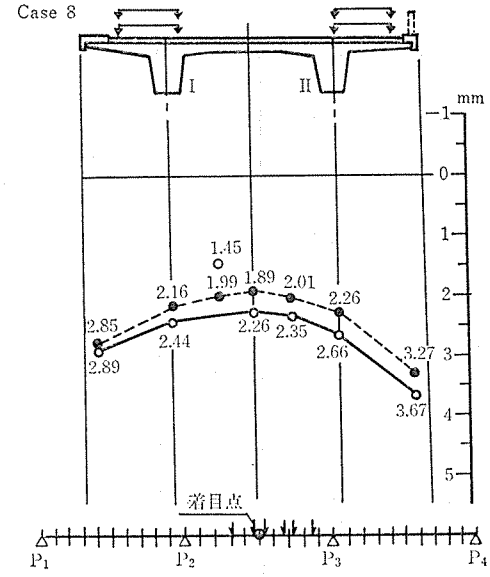
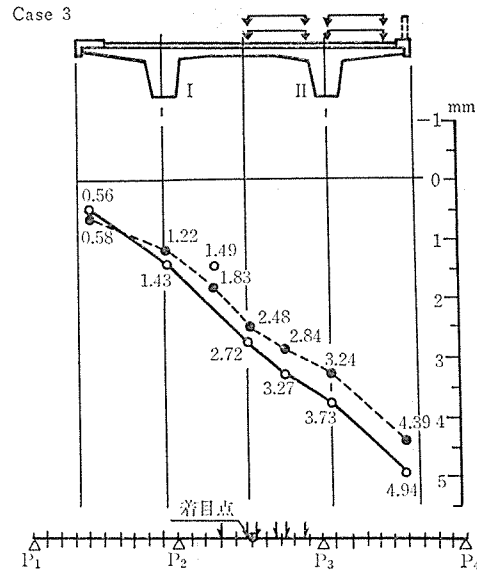
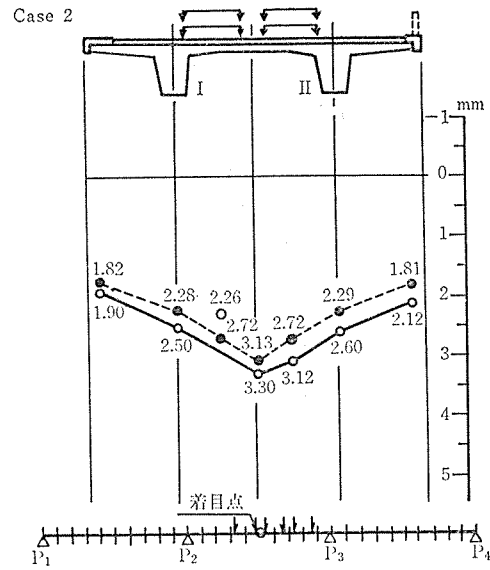
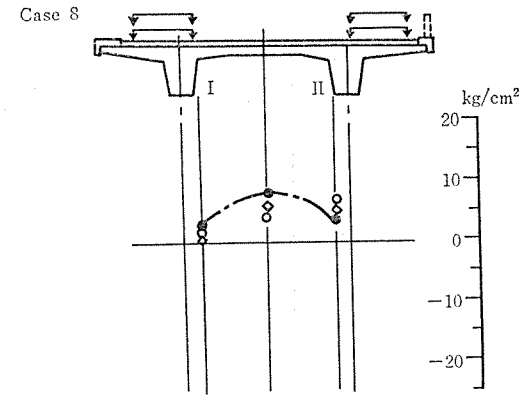
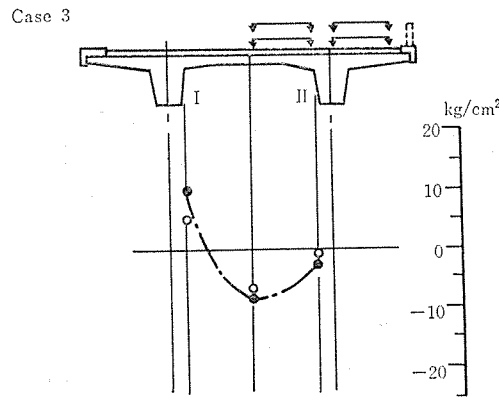
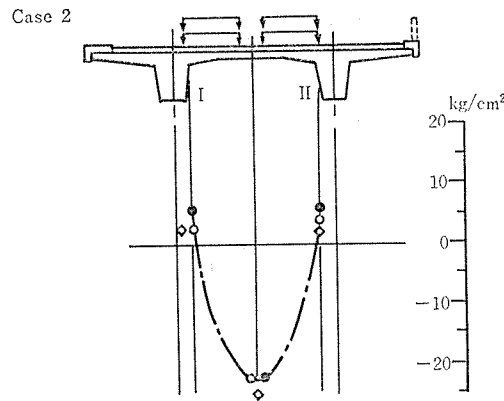


図-15 主桁の回転変位測定値



○ 測定値
● 折板理論値

図-16 橋軸直角たわみ分布



○ 測定値
● Biege理論値
◇ 折板理論値

図-17 中間床版応力図

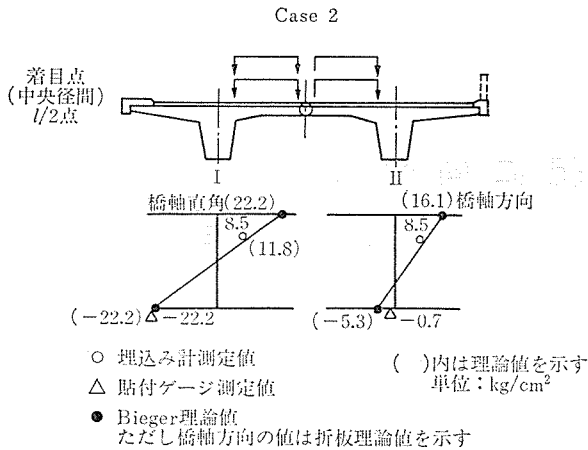


図-18 中間床版応力(支間中央)

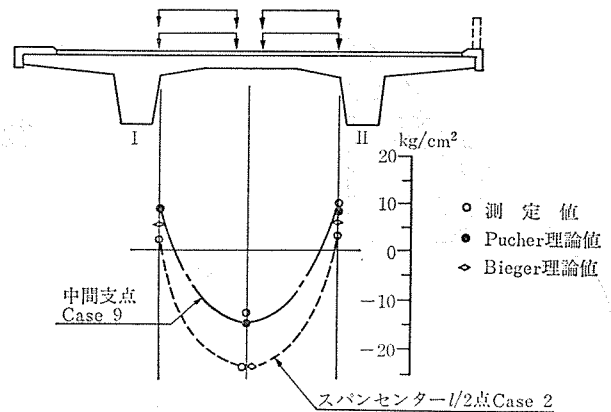


図-19 中間床版下縁応力

の桁としての応力と輪荷重による床版の応力が合成された結果であると考えられる。

(6) 中間支点上床版

中間支点上の中間床版に対称荷重 (Case 9) を載荷した時の 1/2 点の床版下縁応力を 図-19 に示す。

これによると、中間支点では桁の沈下が拘束され、また横桁により桁の回転も拘束されて両端固定版に近い構造となるため Pucher 理論が実測値と良く一致する。一方、1/2 点は主桁のたわみ回転の影響をうけていることが良くわかる。

(7) 張出し床版

張出し床版に載荷した (Case 8, 11) 場合のひずみ測定値による固定端応力と各理論値を 表-15 に示す。

これによると、固定端応力の I 桁側は先行施工した中央分離帯の地覆の影響により多少安全側となっていると考えられるが、II 桁側はほぼ理論値に近い値である。

設計にあたり、あらかじめ Pucher 理論、折板理論および道示を比較して安全側の道示により設計を行っているが、上記の結果より張出し床版は十分な安全を有していると判断される。

7. あとがき

我が国では PC 橋の新しい構造形式である PC 連続 2 主版桁高架橋の設計、施工および実橋載荷試験について報告したが、本高架橋の経験により幅員が比較的狭い PC 2 主版桁橋については、4.3 に述べた設計法を用い

表-15 張出し床版固定端応力

中央径間 1/2 点 (単位: kg/cm²)

		Case 8		Case 11		
		上 縁	下 縁	上 縁	下 縁	
I 桁側	測 定 値	-4.4	3.0	-2.6	1.1	
	理 論 値	Pucher 理論	-5.7	6.7	-3.3	3.9
	折板理論	-5.5	5.9	-3.3	3.5	
II 桁側	測 定 値	-6.3	6.3	-4.1	3.3	
	理 論 値	Pucher 理論	-7.5	8.7	-4.4	5.1
	折板理論	-7.6	8.2	-4.6	4.9	

れば十分な安全性を確保でき、かつ経済的な橋梁とすることができると考えられる。また、大型移動式支保工による機械化施工の利点を最大限に活用し、気象条件の厳しい北海道の厳冬期を克服して通年保工を行ったことなど、本高架橋で得られた経験が今後同形式の高架橋の設計・施工に参考になれば幸いである。

最後に本高架橋の設計および施工にあたり、多大な御指導、御尽力をいただいた関係者の方々にこの誌面をお借りし深く感謝いたします。

参 考 文 献

- 1) 前田 稚:「連続 2 ウェブ版ゲタ橋 (1),(2),(3) 橋梁と基礎, Vol. 10, No. 3, No. 4, No. 5, 1976
- 2) 齊藤, 青木, 工藤:「PC 連続 2 主版げた橋の設計と施工」土木施工, Vol 26, No. 6, 1985
- 3) 齊藤:「プレストレストコンクリート技術協会講習会テキスト」1984

【昭和 61 年 2 月 21 日受付】