

I形鋼格子床版を用いた鋼2主桁橋の長支間床版の提案

Proposal of Long Span Slab that Consist of a Concrete Filled I-Grid Deck for Two Plate Steel Girder

山田忠信*、峯田敏宏**、高尾孝二***、坂田 豊****

Tadanobu YAMADA, Toshihiro MINEDA, Koji TAKAO and Yutaka SAKATA

- *工修 日本車輛製造（株）（〒475-0831 愛知県半田市 11-20）
- **日本車輛製造（株）（〒475-0831 愛知県半田市 11-20）
- ***工博 新日本技研（株）（〒105-0014 東京都港区芝 2-1-23）
- ****新日本製鐵（株）（〒100-004 東京都千代田区大手町 2-6-3）

This paper describes the economical long span slab with two steel plate girders. In the field of bridge engineering, two plate girder bridge is an economical structural system, because the load-caring works is simple, and this type of bridges have possibilities to realize good cost-performances, speedy construction. In recent years, the long span slab at two steel plate girders is used the pre-stressed concrete. But, the weight of the slab is large, it will have a problem concerning a design. Therefore, the aim of this study is to reduce the weight of slab, and, this study propose a floor system for a two plate girder that consist of a concrete-filled I-beam grid deck and H-beam

Key Words : two plate steel girders bridge concrete-filled I-beam grid deck floor system

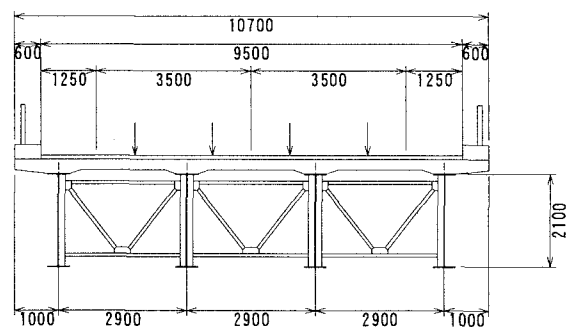
1. まえがき

近年、公共工事のコストを低減するために、新技術および新工法の開発が行われている。鋼橋では、鋼道路橋設計ガイドライン¹⁾により1部材1断面とするなど、主桁構造の合理化の実施や、ヨーロッパにおいて実績の多いプレストレストコンクリート（PC）床版を用いた床版支間が大きい2主桁橋の提案がなされている。

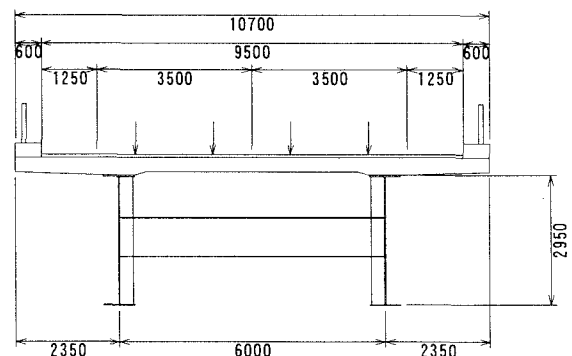
しかし、現行の道路橋示方書²⁾（以下、道示）による図-1(a)に示す鉄筋コンクリート（RC）床版の多主桁橋は床版支間の制約により主桁配置が決まり、主桁本数が多くなるため、主桁重量の軽減が難しくなる。また、図-1(b)に示すPC床版は、型枠の設置や、現場でのプレストレスングが必要になることと、床版厚が30~40cm程度必要になるために、死荷重が大きくなり、主桁重量と下部工反力が増大することにより、施工性と経済性の面で不利になることも考えられる。

そこで、本稿では、構造の合理化、現場施工の省力化、および、上・下部工構造のトータル工費の縮減を計ることを目的として、型枠が不要で、耐久性が高いI形鋼格子床版と製作費が低減できるH型鋼（ハイパービーム）を使用した縦桁と横桁とを組み合わせた床組システムを提案して、鋼2主桁橋の床版の長支間化を試みることにした（図-2、図-3）。本提案構造の特徴は、①床版支間など道示の規定を満たしていること、②ガイドラインによる合理化橋やPC床版2主桁橋に比較して床版厚を薄くすることができるため、下部工構造がハイピアー

構造となる場合には、有利な上部工構造になること、③将来、床版の打ち替えが必要になった場合に、供用しながら部分的に施工ができる構造であることである。本報



(a) ガイドライン仕様多主桁橋



(b) PC床版2主桁橋

図-1 鋼橋I断面プレートガーダーの断面形

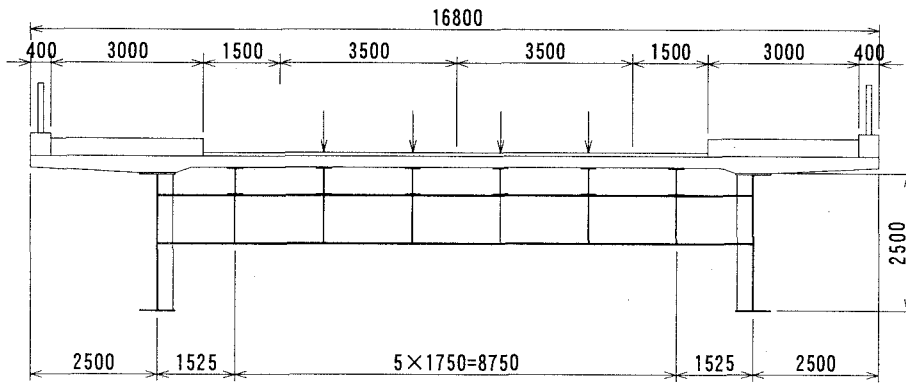


図-2 床組システムを有する I 形鋼格子床版 (歩道付き)

縦桁および横桁からなる格子桁で弾性的に支持する文献 3) をもとにした解析方法によっている。この方法によると、支持桁の剛性の影響を容易に評価でき、実状に合った床版の曲げモーメントを計算することができる。解析の基礎式および解析解は文献 3) によることにし、ここでは、解析上の仮定を次に示す。

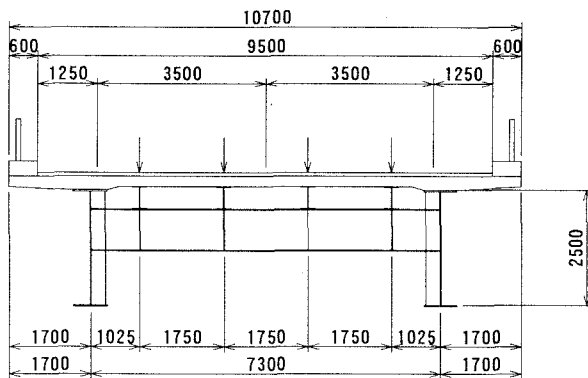


図-3 床組システムを有する I 形鋼格子床版

告では、まず、支持桁の変形を考慮した床版の解析について述べ、図-1 の 4 主桁形式の床版について、床版の曲げモーメントをこの解析方法で計算し、道示により計算したものと比較を行い、支持桁の剛性の影響について考察する。次に、現場施工の省力化が計れる I 形鋼格子床版の特徴について述べる。最後に、I 形鋼格子床版の長支間化を計った本提案形式について数値計算を行った結果を示し、本提案形式の構造の特性について報告する。

- ①床版を支持する桁は単純支持直交格子桁とし、支持桁のねじり剛性は無視する。
- ②床版は I 形鋼格子床版を扱うので直交異方性版とする。
- ③床版は主桁の支承線位置で前幅にわたって単純支持され、これと直交する他の相対する 2 辺は自由縁とする。また、主桁および縦桁位置においては弾性的にそれらにより線支持されているものとし、横桁には直接支持されない。
- ④主桁と床版の接点は上下方向には一体として挙動し、橋軸方向には移動自由、橋軸直角方向にはヒンジ結合とする。

このように、床版を弾性体として扱った理由は計算の簡便さのみでなく、床版の機能から考えて有害なひび割れが発生しないことを前提にしたためである。また、現行の道示においても引張り縁の応力度がコンクリートの引張り強度を上回らないように床版厚さを設定した経緯がある。さらに、コンクリート床版は他の部材と異なり過酷な荷重状態にあることから、床版の

2. 床版の解析

2.2 解析上の仮定

本来、床版を支持する主げたと床版は作用荷重に対して一体となって抵抗しているものであるが、道示に基づく設計では異なった荷重体系のもとで各々独立に計算されている。この場合、床版の設計曲げモーメント式は 2 辺単純支持の無限帯状版に集中荷重が作用したときの解に施工誤差などの余裕を 2 割程度見込んで定められたものであり、支持桁の変形の影響は特に考慮されていない。このことは、設計の簡便化を計る立場からは十分に評価できるが、支持桁の剛性が異なっていたり、床版に比べて、支持桁の剛性が低い場合は、支持桁の不等沈下によって、付加曲げモーメントが生じる。

本稿の床版設計曲げモーメントの算出は、道示で用いられている無限帯状板モデルによらずに、図-4 に示すような相対する 2 辺が単純支持された長方形版を主桁、

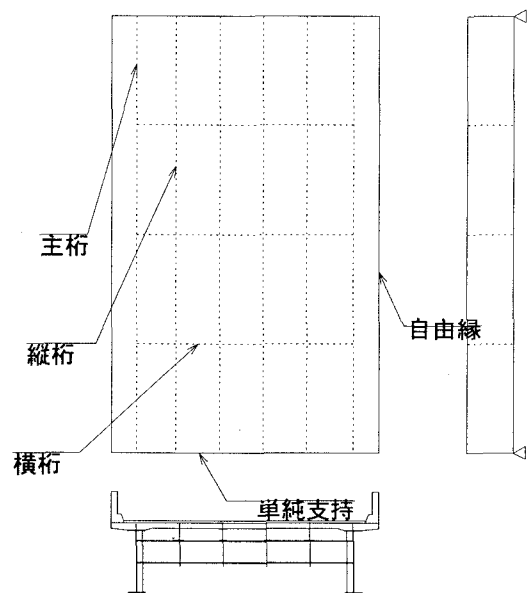


図-4 床版解析モデル

耐久性をも考慮して弾性体として扱える範囲で設計されるべきであると考えられる。

2.2 床版設計曲げモーメントについての考察

図-1(a)に示す4主桁形式の床版の曲げモーメントを前述の解析方法で計算し、支持桁の剛性の影響について考察する。荷重の載荷位置と着目点は図-5に示す通りとする。なお、活荷重による衝撃係数は道示の最大値をもちいて $I=0.4$ を採用する。

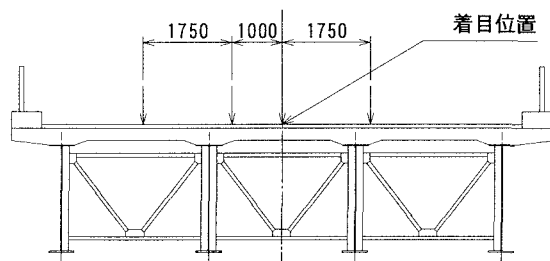


図-5 荷重の載荷位置と着目点

(1) 主桁支間長と床版曲げモーメントの関係

主桁の支間は3種類とし、主桁の曲げ剛性はたわみ制限の $L^2/20000$ となるように設定する。横桁は支間中央に1本の配置として、格子剛度 $Z=20$ となるように曲げ剛性を設定する。輪荷重は旧道示のT-20を想定し、 $P=8.0t$ とする。床版厚には道示の割り増し係数を適用しないことにした。これは、昭和30年代後半に建設された床版の発生応力レベルを確認することを目的にしたためである。

表-1 主桁支間長と床版の曲げモーメントの関係

	主鉄筋方向		配力鉄筋方向		
	曲げモーメント	版縁応力	曲げモーメント	版縁応力	
	$M_x(t\cdot m/m)$	$\sigma_x(kg/m^2)$	$M_y(t\cdot m/m)$	$\sigma_y(kg/m^2)$	
道路標示方書	2.675	40.1	2.112	31.7	
主桁支間(m)	20.0	2.795	41.9	2.884	43.3
	30.0	2.883	43.2	2.610	39.2
	40.0	2.916	43.7	2.447	36.7

(備考) 床版支間 : $L=2.90(m)$
 床版厚 : $d=3L+11=19.7 \rightarrow 20(cm)$
 道示曲げモーメント : $M_x=(0.12L+0.07)*8.0*0.8$
 $M_y=(0.10L+0.04)*8.0*0.8$
 版縁応力 : $\sigma = 6M/d^2$

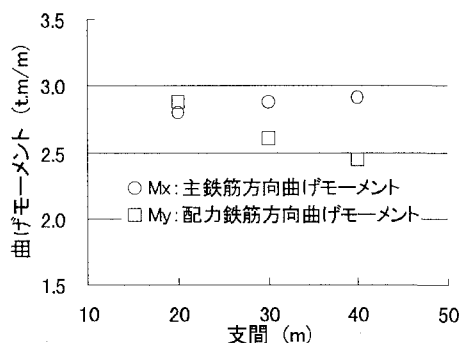


図-6 主桁支間長と床版曲げモーメントの関係

表-2 床版厚と床版の曲げモーメントの関係

	主鉄筋方向		配力鉄筋方向		
	曲げモーメント	版縁応力	曲げモーメント	版縁応力	
	$M_x(t\cdot m/m)$	$\sigma_x(kg/m^2)$	$M_y(t\cdot m/m)$	$\sigma_y(kg/m^2)$	
道路標示方書	3.344		2.640		
床版厚(cm)	20.0	3.604	54.1	3.264	49.0
	21.0	3.691	50.2	3.390	46.1
	22.0	3.776	46.8	3.527	43.7
	23.0	3.858	43.8	3.675	41.7
	24.0	3.937	41.0	3.834	39.9
	25.0	4.012	38.5	4.004	38.4

(備考) 床版支間 : $L=2.90(m)$
 主桁支間 30(m) 格子剛度 $Z=20$
 道示曲げモーメント : $M_x=(0.12L+0.07)*10.0*0.8$
 $M_y=(0.10L+0.04)*10.0*0.8$
 版縁応力 : $\sigma = 6M/d^2$

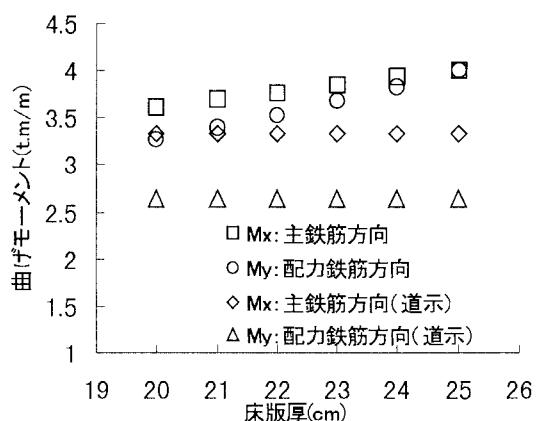


図-7 床版厚と床版曲げモーメントの関係

解析結果を表-1 および図-6 に示す。支持げたの変形を考慮すると、支間の短い場合ほど、支持桁の剛性が低いため、床版の発生曲げモーメントが大きくなることからわかる。また、コンクリートの引張り縁応力に着目すると、道示の値を上回る結果となる。特に、支持桁の剛性が低い場合は配力鉄筋方向の曲げモーメントが大きくなる結果となった。このことは、支持桁の剛性が低いと橋軸直角方向に床版下面のクラックが先行して発生することになると考えられる。

したがって、実状にあった床版に発生する曲げモーメントを算出し、床版厚を適切に設定することが重要になると考えられる。

(2) 床版厚と床版曲げモーメントの関係

床版厚を変化させたときの床版の曲げモーメントを前述の解析方法により計算する。輪荷重は現行の道示で設計された床版の応力状態を把握するためにT-25を想定して $P=10.0t$ とする。この場合、床版の剛性の影響を確認することを目的とするので、支持桁の条件は同じとする。解析結果を表-2 および図-7 に示す。道示では、無限単純支持版をもとにしているため、床版厚に関わらず曲げモーメントは一定値となる。しかし、床版厚を大

きくすると、床版の剛性に対して支持桁の剛性が相対的に小さくなるので、床版の曲げモーメントが大きくなる。したがって、床版厚を増すことで必ずしも耐久性が高くなるとはいえないと考えられる。しかしながら、現行の道示の床版厚の割り増し係数 $k=1.25$ を考慮すると、図-1(a)の床版支間では床版厚は 25.0cm ($d=1.25 \times 20.0$)になる。計算結果では床版厚 20.0cm に比較して曲げモーメントが増加しているが、床版の縁応力は低減された結果になっているので、床版厚の割り増しは妥当であると考えられる。

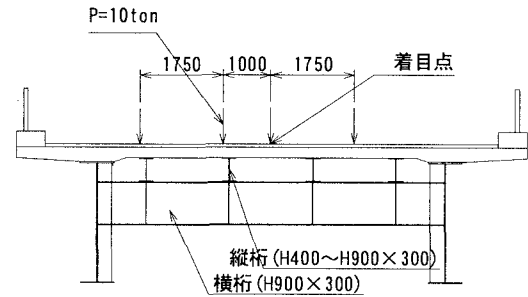


図-9 活荷重載荷

3. I形鋼格子床版の特徴

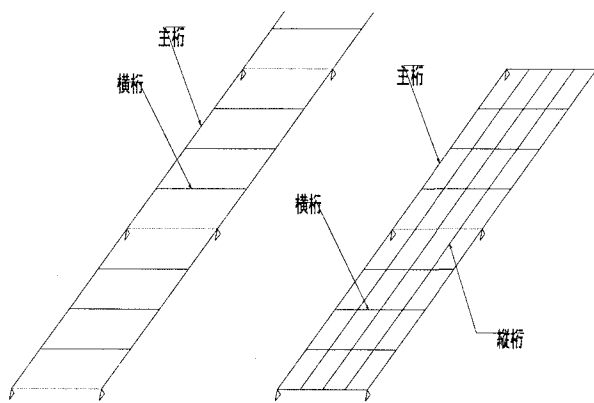
次に、I形鋼格子床版の特徴についてまとめると次のようになる。

- ① I形鋼格子床版の各パネルは工場で作製され、I形鋼自体が支保工や作業足場の役割を果たすので、仮設作業が削減でき、鉄筋コンクリート床版に比較して工期を2分の1以下に短縮できる。
- ② I形鋼格子床版はコンクリート打設前であっても、それ自体の剛性が高いので作業車が通行でき、作業性が向上する。
- ③ 床版厚を薄くすることができ、死荷重の軽減がはかれる。
- ④ 路面線形が拡幅したり曲線であっても対応ができる。
このように、I形鋼格子床版は現場施工の省力化を計ることができる床版であるといえる。

4. 主桁および床組の設計

主桁および床組の断面力と変形の算出は、平面骨組にモデル化した格子解析による。図-8 に示すように、主桁部材を対象にした解析は全径間モデルとする。床組を対象とした解析は部分径間モデルとし、床組の設計に主桁の変形および床組自体の荷重分配も考慮できるようにした。

5847



(a)主桁モデル (b)床組モデル
図-8 主桁解析モデル (縦桁3本の場合)

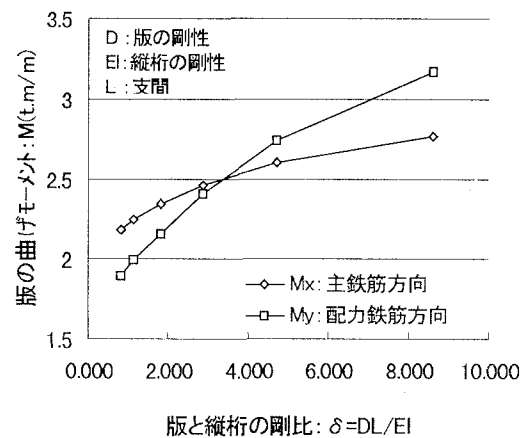


図-10 縦桁と床版曲げモーメントの関係

5. 数値計算例

ここでは、提案した床組で支持された長支間のI形鋼格子床版の特性について、数値計算を行い考察する。

表-3 載荷位置と床版曲げモーメント

床版厚		mm	200	許容値
主部材方向	サイズ			I-150
	ピッチ	mm	150	
	死荷重	t.m/m	0.818	
	活荷重	t.m/m	3.144	
	コンクリート応力度	kg/cm ²	38	80
	主部材応力度	kg/cm ²	1033	1400
配力鉄筋方向	鉄筋		D16	
	ピッチ	mm	125(250)	
	活荷重	t.m/m	2.409	
	コンクリート応力度	kg/cm ²	48	80
	鉄筋応力度	kg/cm ²	1097	1400
	版縁応力度	kg/cm ²	36	40

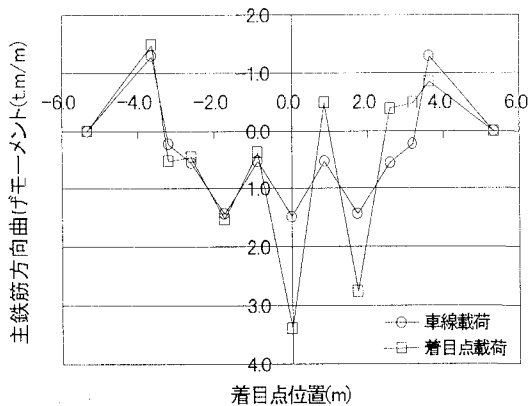
この場合、床版の橋軸直角方向(Dx)と橋軸方向(Dy)の剛性の比はコンクリートのひび割れ前で考えて $Dx/Dy=1.5$ とする。

5.1 縦桁の剛性の影響

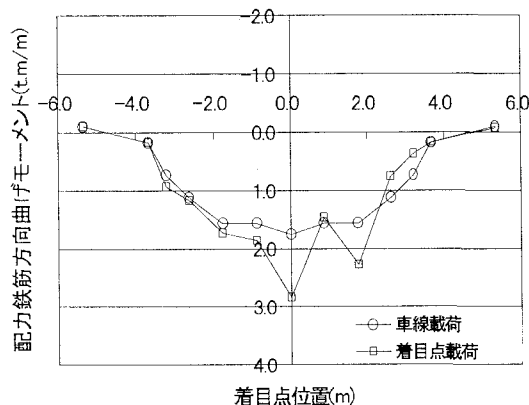
図-10には、図-9の荷重状態における着目点の床版の曲げモーメントと縦桁の剛性の関係を示してある。この図のように、縦桁の剛性を変化させ、床版の曲げモーメント量をコントロールすることが可能となる。したがって、I形鋼格子床版の厚さを一定とし、主桁間隔の変化には、

表-4 荷重位置と床版曲げモーメント

着目点位置 X(m)	主鉄筋方向曲げモーメント		配力鉄筋方向曲げモーメント			
	車線載荷 M1(t·m/m)	着目点載荷 M2(t·m/m)	M1/M2	車線載荷 M1(t·m/m)	着目点載荷 M2(t·m/m)	M1/M2
-5.350	0.000	0.000	---	-0.103	-0.101	1.02
-3.650	-1.301	-1.497	0.87	0.166	0.183	0.91
-3.200	0.230	0.518	0.44	0.738	0.922	0.80
-2.625	0.547	0.453	1.21	1.118	1.175	0.95
-1.750	1.429	1.533	0.93	1.562	1.724	0.91
-0.875	0.521	0.385	1.35	1.571	1.848	0.85
0.000	1.479	3.399	0.44	1.753	2.826	0.62
0.875	0.521	-0.493	-1.06	1.571	1.463	1.07
1.750	1.429	2.758	0.52	1.562	2.260	0.69
2.625	0.547	-0.396	-1.38	1.118	0.752	1.49
3.200	0.230	-0.474	-0.49	0.738	0.374	1.97
3.650	-1.301	-0.837	1.55	0.166	0.177	0.94
5.350	0.000	0.000	---	-0.103	-0.062	1.66

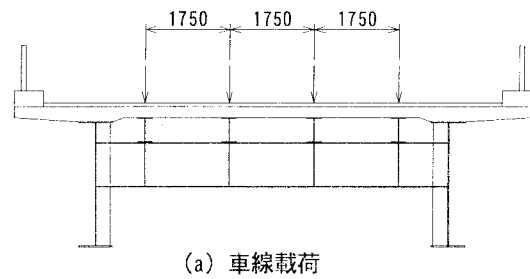


(a)主鉄筋方向曲げモーメント

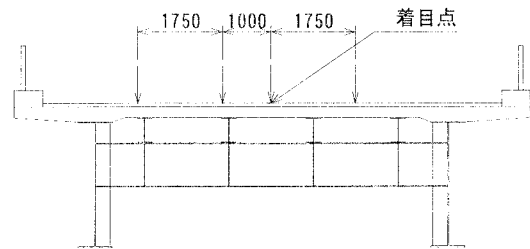


(b)配力鉄筋方向曲げモーメント

図-12 荷重位置と床版曲げモーメント



(a) 車線載荷



(b) 着目点載荷

図-11 車線構成を考慮した活荷重載荷

縦桁のサイズで対応することができる。これにより、I形鋼格子床版のコスト低減が計れると考えられる。

表-3には、縦桁に H500×300 を用いた場合の床版の応力照査結果を示す。I形鋼のサイズを I-150 にすることを前提に、コンクリートのかぶり厚さから床版厚は 200mm とする。また、配力鉄筋方向については、活荷重に対して、版の縁応力を照査するようにし、床版の耐久性の向上を計るように考えた。この上限値としては、道示の床版厚の決めた経緯をもとに、 $40\text{kg}/\text{cm}^2$ 程度に設定した。

5.2 縦桁の配置

床版の設計曲げモーメントは車線の配置に関係なく、発生曲げモーメントが最大になるように荷重の載荷位置を考えて算出される。本提案形式の場合、縦桁を任意の位置に配置できるため、車線構成を考慮して、縦桁の位置を決定すれば発生曲げモーメントの低減を計ることが可能となる。そこで、図-11に示す2種類の荷重について解析を行い、発生曲げモーメント量について考察を行う。

解析結果を表-4と図-12に示す。この結果から、最大発生位置で比較すると5割程度低減されることがわかる。したがって、最大曲げモーメントが生じる活荷重載荷状態で床版を設計しておけば、実際の車両の走行状態では低い応力レベルになるため、床版の耐久性が向上することになると考えられる。

5.3 主桁と床版の取り付け部の応力

少主桁化および床組の簡略化にともない、主桁と床版の取り付け部には、橋軸直角方向の曲げモーメントが生じ、設計上無視できないものになると考えられる。そこで、横桁位置の断面を取り出した床版、横桁および主

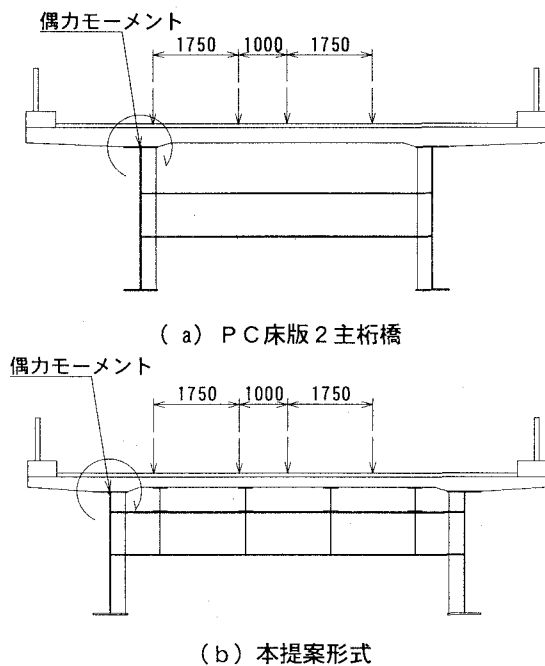


図-13 着目点と荷重載荷図

桁腹版からなるラーメン構造をモデル化して、図-13の荷重に対して、主桁と床版の取り付け部の応力解析を行う。また、PC床版2主桁橋との比較も行う。

解析結果を図-14に示す。本提案形式では、横桁で床版を支持しているのので、床版の応力が軽減しているかわりに、横桁の応力が大きくなっていることがわかる。しかし、主桁と床版の取り付け部の応力は、ほとんど発生していない結果となっているため、床版と主桁の取り付け部の疲労強度は向上すると考えられる。しかし、主桁と横桁の接合部の疲労問題には検討を要する。

5.4 各床版形式の比較検討

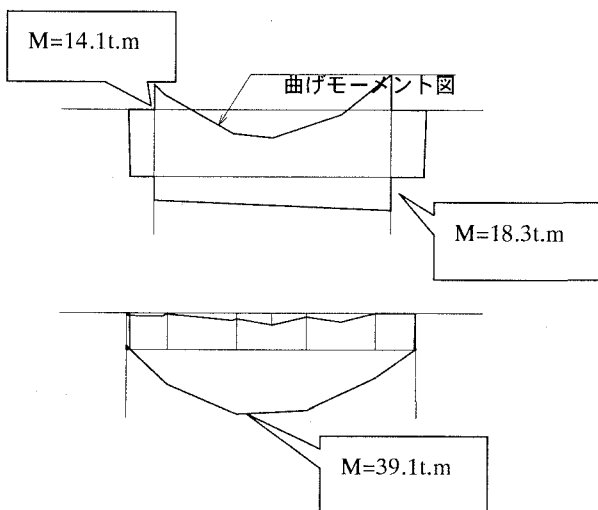


図-14 解析結果

図-1 および図-3 に示す各床版形式の橋梁について、鋼重および死荷重を試算した。表-5 に示すように、本提案形式は、他の形式に比較して死荷重の軽減が計れる結果となり、下部工構造も含めた合理的な設計が計られると考えられる。

表-5 各床版形式の比較検討結果

		ガイヤン	PC床版	提案形式
橋長	(m)	200.0 (4×50m)		
総幅員	(m)	10.5		
有効幅員	(m)	9.5		
横桁間隔	(m)	5.0		
床版厚	(mm)	250	320	200
桁鋼重	主桁	405.1	261.3	209.0
	横桁	59.3	92.0	92.0
	横構/縦桁	29.6		96.1
	小計(ton)	494.0	353.3	397.1
	ton/m ²	0.260	0.186	0.209
床版工死荷重	床版	1443.8	1848.0	1224.3
死荷重合計	合計	1937.8	2201.3	1621.4

6. まとめ

本報告では、I形鋼格子床版と床組とを組み合わせ、鋼2主桁橋の床版の長支間化を試みた。今回の数値計算により、確認した本提案形式の特性を以下に示す。

- ◆ 床版を支持する縦桁の剛性を変化させることで床版に生じる曲げモーメント量をコントロールすることができるため、合理的な床版の設計が可能となる。
- ◆ 縦桁位置を車線を考慮した輪荷重位置に合わせることで、床版の耐久性を向上させることができる。
- ◆ 本提案形式の床版は、その厚さを薄くできるため、下部工構造を含めて合理的な設計が計れる。

今後の課題としては

- ◆ 床組部材の疲労問題
- ◆ 主桁、横桁および縦桁の剛性などをパラメータとし、床版の曲げモーメントの定式化
- ◆ 曲線橋、斜橋および拡幅橋への対応

などがあるが、上・下部工構造を含めた施工コストの削減を計るためには、本提案の床版形式は有効な構造になると考えられる。

7. 参考文献

- [1] 建設省：鋼道路橋設計ガイドライン（案）（1996）
- [2] 日本道路協会：道路橋示方書・同解説、II鋼橋編（1996）
- [3] 高尾孝二：鋼道路橋鉄筋コンクリート床版の設計曲げモーメント、橋梁と基礎（1985.3）
- [4] 日本橋梁建設協会：I形鋼格子床版設計・施工の手引き（案）（1994.9）