新技術評価事例(コンクリート構造)

- 合理化床版構造 -

平成19年 7月

(社)プレストレスト・コンクリート建設業協会

新技術評価事例(コンクリート構造) - 合理化床版構造

はじめに

近年、技術提案型の契約方法の導入や、公共工事費の縮減化が以前にも増して叫ばれており、 工期や工事費が縮減できる合理的な構造として新技術を用いた新たなコンクリート橋が採用されるようになってきている。

しかし、そのような新技術が提案されても、「道路橋示方書に示す要求性能を満足しているのかどうか」を技術的に評価しなければならず、何も分からずに設計を進め大きな問題に発展することや、検証方法が分からないために採用に踏切れないケースも生じている。また、新技術の設計では定性的な要求性能だけでなく、具体的な作用外力に対し、どのような変形が生じ各部材にどのような影響が生じるのかも関連して設計していかなければならない。そのため、新技術の採用には、高度な技術的判断が要求されることが多く、従来のみなし規定のように誰もが画一的に設計を行えるものでなくなる。

そこで、PC建協では最近のコンクリート橋における代表的な新技術を取り上げ、性能評価に関する技術資料をまとめた。本資料では、コスト縮減が可能で幅広い普及が期待される下記の構造について、技術評価の必要性の観点から道路橋示方書との関係を整理し、その着目要素と検証方法の考え方など技術評価の方向性を明確にして、それに基づく検証事例を示した。各新技術の紹介では「主な技術概要」、「技術評価の観点と方向性」、「検証事例」の3つの項目に分け、道路橋示方書の要求性能に対する課題や検証事例等を紹介している。

コンクリート橋における代表的な新技術の一覧

外ケーブル構造				
	広幅員一室箱桁構造			
合理化床版構造	リブ付き床版構造			
	ストラット付き床版構造			
プレキャスト桁場所打	丁ち接合構造(スプライスPC構造)			
新しい桁連結構造(!	 Jンクスラブ構造)			
合成床版を有する合品	成U桁構造(Uコンポ橋)			

本資料は、着色部の新技術を示す。

目 次

1. 総則	•••••	1
(1) 概	要	•
(2) 適	用の範囲	1
(3) 対	象とする床版構造 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	2
(4) 床	版構造の要求性能 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	2
2. 広幅	員一室構造 ······	F
	~	6
` '	· ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	8
` ,	道示における設計曲げモーメント算出式の	
., ~	適用範囲を超える場合の設計手法・・・・・・・	10
2)	に版支間が大きくなることに対する構造安全性、 ・	
<i>2) 1</i> /1	耐久性および使用性 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	12
3) 🖆	≧幅が広幅員となることに対する構造安全性、	12
3) =	耐久性および使用性 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	22
(3) 検	証事例	27
事例	3 次元FEMを用いた広幅員一室箱桁の荷重による	21
		20
= /□	1/H/3009FH/3/A	28
事例	床版の最小全厚の設定方法・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	31
o _ *	付き床版構告・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	0.0
		33
` ,	な技術概要 ····································	33
, ,	術評価の観点と方向性 ······	33
,	F版部材について ······	35
,	リブ部材について ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	47
را (3	リブと床版の接合部について ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	58
4) र	その他の構造	64
(3) 検	証事例	68
事例	3 次元 F E Mを用いた活荷重による断面力の算出方法 ・・・・	69
事例	リブの形状寸法と配置間隔の設定方法 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	72
事例	リブ本体の設計手法 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	76
事例	リブの配置が主桁応力へ及ぼす影響について確認する ・・・・	77

4. ストラット付き床版構造 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	79
(1) 主な技術概要 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	79
(2) 技術評価の観点と方向性 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	79
1) 床版	81
2) ストラット ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	89
3) ストラットと床版の接合部 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	94
(3) 検証事例	100
事例 3次元FEMを用いた活荷重による断面力の算出方法 ・・・・	101
事例 ストラット付き床版の輪荷重走行試験の事例 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	103
事例 ストラットの材料、形状の事例 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	105
事例 ストラットに発生する変動応力度 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	107
事例 ストラットの疲労耐久性の確認試験の事例	109
事例 ストラット接合部の支持構造の事例 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	110
事例 ストラット接合部の構造の事例 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	112
事例 ストラット接合部のコンクリート充填確認の事例 ・・・・・・・	114
5. 参考資料	115
(1) 道路橋示方書における床版構造の考え方 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	115
1-1) 床版の最小全厚について ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	115
1-2) 活荷重による床版の設計曲げモーメント ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	120
1-3) 鉄筋の許容応力度 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	129
1-4) 支間直角方向の設計 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	133
(2) 3次元FEM解析のモデル化等の比較検討 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	137
2-1) 検討概要 ·····	137
2-2) 検討条件	137
2-3) ソリッド要素とシェル要素の比較(解析モデルの検討) ・・・・	141
2-4) 橋軸方向のモデル長の検討(モデルの大きさに関する検討)・・・・	144
2-5) 支持条件による設計断面力の差の確認 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	146
2-6) 前輪荷重による設計断面力の差の確認 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	151
2-7) 連行載荷の影響 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	154
2-8) 割増係数の考え方について ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	164
参考文献 ••••••	166

合理化床版構造

1 総則

(1) 概要

床版は、活荷重を直接支持するとともにこれが繰返し載荷される部材であり、非常に過酷な 条件下に置かれた構造部材である。また、主桁と剛結された構造の場合は、床版としての機能 に加えて、主桁断面を構成する一部としての機能も有している重要な部材である。

我が国では、鋼橋、コンクリート橋とも古くからRC(鉄筋コンクリート)床版が採用されており、現在でも主として床版支間の小さい場合に用いられている。また、ひび割れ発生の防止や床版の長支間化を目的として、床版の支間方向にプレストレスを導入したPC床版は、昭和 30年代から昭和 40年代前半に採用が始まっており、最近の輪荷重走行試験などにより、その耐久性の高さが確認されている。

道路橋示方書では、はじめは鋼橋を対象として、昭和31年鋼道路橋設計示方書から本格的にコンクリート床版の設計規準が整備され始めた。また、コンクリート橋においては、鋼橋の規準をもとにして、主桁と床版の支持条件の違いなどを考慮し部分的に修正して規準が定められている。ところが昭和40年代に入って、当時の規準により建設されたRC床版に多くの損傷が認められた。そこでこれを期に、RC床版の損傷メカニズムに対する研究が進められ、その後、車輌重量や交通量の増大に伴い、最小床版厚の引き上げ、鉄筋許容値の引き下げ、設計断面力の割り増しなど順に設計規準が見直されて現在に至っている。

道路橋示方書の床版に対する基本的な要求性能は、設定された活荷重に対して、有害な変形が生じないことと疲労耐久性であり、これらが満足できればどのような床版構造でも採用可能である。しかしながら、例えばみなし規定である設計断面力の算出式は、床版支間長に対する適用範囲が定められており、これを超えるものは算出式を使用してよいという保証がなされていない。よって実際には、適用範囲を超えた長支間を有する床版などは、計画あるいは採用されにくいのが現状である。

本章は、コンクリート道路橋のコスト縮減および耐久性の向上を目的とした研究の一つとして、床版構造の合理化について検討を行い、道路橋示方書の床版に対する要求性能を明確にしたうえで、新しい床版構造が道路橋示方書と同等以上の性能を確保できるように、その検証方法の一例を示すものである。

(2) 適用の範囲

本ガイドラインは、主桁の主方向にプレストレスを導入したプレストレスコンクリート橋における床版のうち、床版支間方向にプレストレスを導入したプレストレストコンクリート床版(以下、PC床版)の設計に適用する。

(3) 対象とする床版構造

広幅員の床版を有する主桁断面について、従来構造の場合の例を図-1.1 に示す。図-1.2 は、 全幅 17.8m に対して床版支間が道路橋示方書の断面力算出式適用範囲内になるように設定した主桁断面であり、2 室箱桁となる。

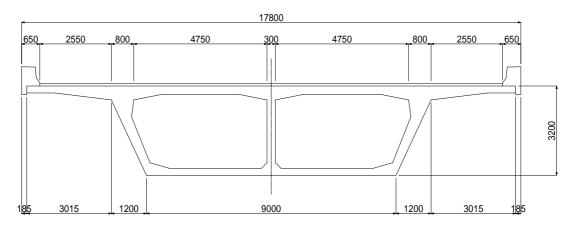


図-1.1 2 室箱桁 (道示算出式の適用範囲内に床版支間を設定した場合)

これに対して、最近コンクリート橋の新しい床版構造の事例として、下記に示す構造が試みられている。

活荷重断面力算出式の適用範囲を超えた長支間床版を有するPC箱桁

リブ、ストラット付き床版構造

これらの構造の主桁断面例を図-1.2~1.4 に示す。図-1.2 は、2 室箱桁の中ウェブを削除し床版支間を長くして 1 室箱桁としたものである(例は中間床版長 8.2m。適用範囲は 6m まで)。また、同じ 1 室箱桁の床版を水平のリブで支持したものが図-1.3 であり、張出し床版部をストラットによって支持したものが図-1.4 である。

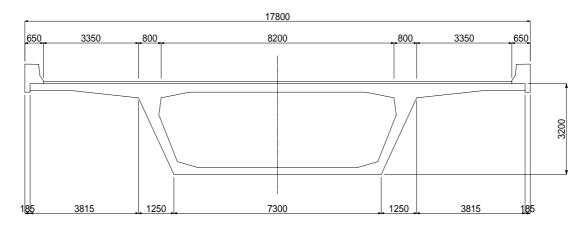


図-1.2 広幅員一室箱桁の例(道示算出式の適用範囲を超えた床版支間)

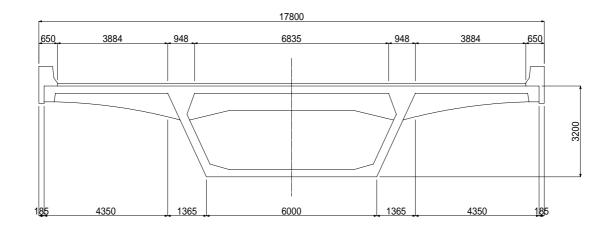


図-1.3 リブ付き床版箱桁の例

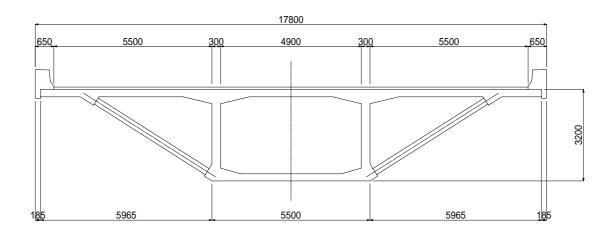


図-1.4 ストラット付き床版箱桁の例

これらの主桁断面にはいずれも以下に示す長所が挙げられる。

- ・ウェブ数を減らすこと、下床版幅を減らすことができ、上部工重量を低減できる。
- ・下床版幅を狭くすることができるため、橋脚幅を縮小できる。
- ・施工の煩雑なウェブを減らすことによる施工性の向上。

しかしながら、これらの床版構造は、道路橋示方書のみを準用して設計が可能かどうか不明確な項目が多い。よって、本ガイドラインでは、以下の3種類の床版構造を対象に、検討を行うものとする。

広幅員一室箱桁構造 リブ付き床版構造

ストラット付き床版構造

(4) 床版構造の要求性能

道路橋示方書 コンクリート橋編において、コンクリートの桁で支持された床版を適用対象 として、以下に示す要求性能が規定されている。

(道示 7.2 設計一般 より)

- (1) 床版の設計においては、直接支持する活荷重などの影響に対して安全なようにするほか、以下の 1)及び 2)の規定を満足するものとする。
 - 1) 活荷重等に対して、疲労耐久性を損なう有害な変形を生じないようにするものとする。
 - 2) 自動車の繰返し通行に対して、疲労耐久性が損なわれないようにするものとする。

この他、コンクリート構造物としての材料耐久性(道示 5.1) 維持管理の容易性および施工品質の確保(道示 1.5)に関する要求性能を考慮すると、コンクリート床版に対する要求性能は、表-1.1 のように整理でき、各々の要求性能に対して表-1.2 に示す検証項目が挙げられる。すなわち、表-1.2 に示す項目が適切に検証できれば、コンクリート床版の要求性能を満足できることとなり、新しい形式の床版構造でも採用が可能になるものと考えられる。

表-1.1 道示に規定される床版の要求性能項目

種別	性能項目、内容
構造の安全性	・耐荷力性能 直接支持する活荷重等の影響に対して安全な構造であること(道示 7.2)
耐久性(疲労)	・疲労耐久性 自動車の繰返し通行に対して疲労耐久性が損なわれない構造である こと(道示 7.2)
耐久性(経年劣化)	・材料耐久性 材料の経年的な劣化による影響を考慮すること(道示 5.1)
使用目的との適合性	活荷重に対して疲労耐久性を損なう有害な変形が生じない構造であること(道示 7.2)
維持管理の容易性	点検及び補修・復旧が容易である構造であること(道示 1.5)
施工品質の確保	所定の品質を確保できるようなコンクリートの施工方法であること (道示 1.5)

表-1.2 コンクリート床版の要求性能と検証項目

	床版の要求性能		11 4
種別	性能項目		祖 項
	・耐荷力性能	约斗坏番作用时免股本	曲げモーメントに対する応力度の照査
	直接支持する活荷重等の影響に対して安全	ᇝᆌᅄᆂᆘᄭᇄᆸ	せん断力に対する応力度の照査
	なは、人で、からにできませる。 かんしん ない はんしん はんしん しんしん ラン・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	60 日本书子 日年608米	曲げ耐荷力の照査
構造の安全性	(7:, (7:)	ጵ/이에 또TF HRGO/R.G	押抜きせん断耐荷力の照査
		张珍珠子并在 3 人一七年 4 年 8 8 8 米	主桁の一部として床版に作用する断面力に対する耐荷力を照査する
		信米角にの角が引なる。 こうじゅうゴオ形派 重	地震や風、車両の衝突等の水平荷重に対して耐荷力を有すること
		施工時の照査	各施工段階における応力度照査
	・疲労耐久性	損傷メカニズムの明確化	輪荷重走行試験による耐久性の確認(実績のある床版形式との相対比較)
馬名在(衛光)	自動車の繰り返し通行に対して疲労耐久性が起されなれた。様先のボット	也 后子 女语一十五十九 44 02 米	点検による維持管理と補修
	7)損なわれない梅戸でのること (道示 7.2)	損傷をも慮した門人住記宣	コンクリート床版の品質確保
まり前	1		コンクリート品質の確保
(簡件化分)	なれ() 落中的 なおたによる影響をも慮する にと (道示 5.1)	劣化による機能低下の防止	鉄筋のかぶり確保、PC鋼材の確実な防錆などを考慮した構造詳細
	活荷重に対して海労耐久性を損なう有害な	支持桁の構成部材や床版と主桁との接合構造に	荷重伝達機能の確保
本の景の人名の田野	な形が生じない構造であること (道を 7 2)		鉛直曲げ剛性の確保
Kanaca da ka		床版の有害な変形に対する照査	活荷重たわみの照査
		コンクリートのひび割れに対する影響照査	ひび割れ幅の照査
維持管理の容易性	点検及び補修・復旧が容易である構造である ること (道示 1.5)	床版下面のひび割れ損傷の進行度把握	点検要領の構築
	所定の 品質を 確保できる ようけ コンクニー	コンクリートの施工品質の確保	
施工品質の確保	1. 1. 1. 1. 1. 1. 1. 1. 1. 1. 1. 1. 1. 1	鉄筋の施工品質の確保	確立された施工法に準じた施工を行う
	(垣水 1.5)	P C鋼材の施工品質の確保	

2 広幅員一室箱桁構造

(1) 主な技術概要

道路橋示方書 コンクリート橋編において、コンクリートの桁で支持された床版を適用対象 として、以下に示す要求性能が規定されている。

道示 7.2.2より抜粋 (p.214)

7.2 設計一般

- (1) 床版の設計においては、直接支持する活荷重などの影響に対して安全なようにするほか、以下の1)及び2)の規定を満足するものとする。
 - 1)活荷重等に対して、疲労耐久性を損なう有害な変形を生じないようにするものとする。
 - 2)自動車の繰返し通行に対して、疲労耐久性が損なわれないようにするものとする。
- (2) 7.3 から 7.5 によるプレストレストコンクリート床版及び設計基準強度 24N/mm²以上のコンクリートを用いた鉄筋コンクリート床版は、(1)を満足するとみなしてよい。

上記(2)のみなし仕様は、「7.3 床版の厚さ」、「7.4 床版の設計曲げモーメント」、「7.5 構造細目」に示されており、これらを満足すれば(1)の要求性能を満足するとみなされる。 ここで、「7.4 床版の設計曲げモーメント」の道示の記述を以下に示す。

道示 7.4.1より抜粋(p.219)

7.4.1 一般

- (1) 床版の設計曲げモーメントは、支持形式、床版支間方向と車両進行方向、鋼材の配置 方向及び床版の形式を考慮して算出するものとする。
- (2) 辺長比が 1:2以上の床版で、7.4.2 及び 7.4.3 の規定による場合は、(1)を満足する とみなしてよい。

そして、「7.4.2 床版の設計曲げモーメント」(道示 p.220)において、T荷重による床版の単位幅あたりの設計曲げモーメント算出式が規定されている(表-2.1)。この算出式は、床版支間長に適用範囲を設けて定められており、P C箱桁の場合、連続版(中間床版)で 6m 以内、片持ち版(張出し床版)で 3m 以内である。従来のP C箱桁は、この適用範囲内で床版支間を設定し、表-2.1 の算出式を用いて設計曲げモーメントを算出するのが一般的であった。よって、例えば全幅 17.8m のように広幅員になっても、図-2.1 に示すような 2 室箱桁として計画すれば道示のみなし仕様を用いて設計を行うことが可能である。

本節で対象とする広幅員一室箱桁構造とは、上述の設計曲げモーメント算出式の適用範囲を 超える床版支間を有した構造である。全幅 17.8mの場合の一例を示すと、図-2.2 のように一室 箱桁構造とすることができる。しかしながらこの例では、中間床版の支間長が 8.2mとなり、 適用範囲 6mを超えたものとなる。

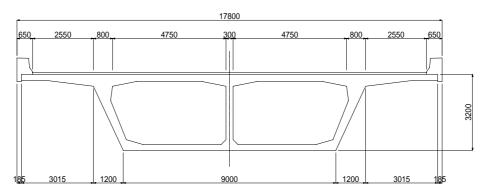


図-2.1 2室箱桁(道示断面力算出式の適用範囲内)

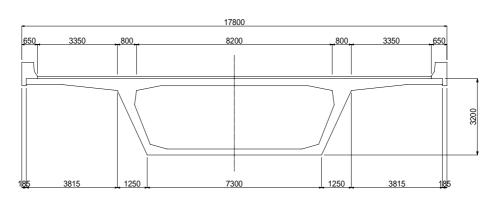


図-2.2 広幅員一室箱桁

表-2.1 道示 に規定される床版の設計曲げモーメント

表-7.4.1 T 荷重 (衝撃を含む) による床版の単位幅 (1 m) あたりの設計曲げモー メント (kN・m/m)

	<i>,,</i> ,						(KI 1117 III)
版	曲 げ モーメント	構		車両進行プ	方向に直角	車両進行方向に平行	
版の区分	モーメント の 種 類	造	銀げモーノン トの方向 適用範囲	支問方向	支 間 に 直角方向	支間方向	支 間 に 直角方向
単純版	支間曲げ	RC	0 ≤1≤ 4	+(0.121	+ (0.101	+ (0.221	+ (0.06)
版	モーメント	PC	0 ≤ l≤ 6	+0.07)P	+0.04)P	+0.08)P	+0.06)P
連	支間曲げ	RC	0 ≤ 1≤ 4	+(単純版	+ (単純版	+ (単純版	+(単純版
	モーメント	PC	0 ≤ 1≤ 6	の80%)	の80%)	の80%)	の80%)
	支点曲げ	RÇ	0 ≤1≤ 4	- (0.15 <i>i</i>		- (単純版	_
	モーメント	PC	0 ≤1≤ 6	+0.125)P		の80%)	
		RC	0 ≤ 1≤1.5	$-P \cdot l$			
片支点曲げ			0 ≤ 1≤1.5	1.301+0.25	_	-(0,71	
持モーメント	PC	1.5<≀≦3.0	-(0.6t -0.22)P		+0.22)P		
版	先端付近曲	RC	0 ≦1≦1.5		+ (0.15t		+ (0.16t
	曲 モーメント	PC	0 ≤1≤3.0		+0.13)P	_	+0.07)P

ここに、RC:鉄筋コンクリート床版

PC:プレストレストコンクリート床版

1 : 7.4.3に規定する T 荷重に対する床版の支間 (m) P : 共通編 2.2.2に示す T 荷重の片側荷重 (100kN)

(注) 床版支間の方向は、図-7.3.1による。

(2) 技術評価の観点と方向性

本節で取り扱う広幅員一室箱桁構造は、床版の支持形式等は従来のPC箱桁と同様である。 よって本構造の技術評価を行う場合、以下の3タイプの観点から考える必要がある。

- 1) 設計曲げモーメント算出式の適用支間を超える場合の設計手法
- 2) 床版支間が大きくなることに対する構造安全性、耐久性、使用性
- 3) 全幅が広幅員となることに対する構造安全性、耐久性、使用性 これらの観点から考えられる技術的課題と対応策を次項より記す。

表-2.2 広幅員一室箱桁構造の問題認識と対応策一覧

				日日日子 三十二十二十二十二十二十二十二十二十二十二十二十二十二十二十二十二十二十二十二			
技術評価の観点	着目する部位	対応する要求性能	頂目	可塑影響	联 空校	検証事例	華
道示の断面力算出式適用範囲を 超える場合の設計手法	床版	· 橋连安全性 · 疲労耐久性 · 使用目的との適合性	役計曲げモーメント算出式 の適用支間を超える場合の 设計手法	適用支間を超える場合、道示の算出式を用いた設計が適切で あるという保証に無いため、適用支間を超える場合の活荷量に よる設計曲げモーメントの算出方法が、設計手法上の課題とな る。	床版の支持条件を適切に再現できる3次元FEM解析を用いて、道示算出式設定時と同条件の活荷重を載荷し、断面力を算出する。	検証事例	
	床版	・構造安全性 ・疲労耐久性 ・使用目的との適合性	床版の最小厚	道示における最小全庫の算定式は、床板支間の関数として設定されているが、適用支間は定められていない。しかしながら最小全層は、各年代における実構造の損傷をもとに見重しが図られ、現行に至っていることを考慮すると、従来の床板支間にがり大きな床版支間に適用してよいかどうかは明確ではない。	適切な手法で算出された断面力をもとに床版に発生する応力 度を算出し、これを指標として最小厚を設定する。	検証事例	
	床版	・疲労耐久性・使用目的との適合性・	コンクリート応力度の許容値	道示における床版応力の許容値は、ひび割れにより損傷する のを防ぐために引張応力を生じせないにととしている。この規 定により設計されたこれまでのP C床版は、実橋においても高い 耐久性が確認されているが、床版支間が大きくなった場合に同 じ許容値で問題無いかどうかが課題となる。	床版支間が大きくなっても、適切な断面力算出と床版厚の設 を存えれま、指行道示の規定を準用してフルプレストレスに抑 えることされば、従来PC系版と同レベルの耐久性を確保で きるものと考えられる	道示の準用	
	床版	・疲労耐久性 ・使用目的との適合性	鉄筋応力度の許容値	鉄筋許容値についても床版支間が大きくなることで問題はない が課題となる。	適切な断面力算出と床版厚の設定を行えば、現行道示を準用すれば、従来PC床版と同等と見なせるものと考えられる。	道示の準用	
床版支間が従来より大きくなることに対する課題	床版	·疲労耐久性	疲労耐久性	・ 電示ではみなし仕様を規定し、それに準じた床板の設計により 疲労耐く性を担保しているのが多くの現状である。そしてり 作版については、実に、請何重を打球験においても高い場偶の報告はたれま でに無、また、請何重を行試験においても高い側の性が確認 されているしかしながら、床板を間がておまでの実績。却大き くなり、みなし仕様がそのまま準用できない場合の疲労耐久性 について、検証方法が課題となる。	断面力と床版厚を適切に設定し、床版応力度をフルプレストレ スに抑えでひび割れを発生させないようにすれば、遠示のみ なし仕様により設計された従来PC床版と同等レベルと考える D ことができる。	道示の準用 検証事例 広幅員一室箱桁 の検証事例	
	床版とウェブ の接合部		接合部の荷重伝達機能	床版とウェブの接合部であるハンチ部の応力度に問題は無い か。ハンチを大きくする必要は無いか。	//ンチ部の応力度は、上述のFE N解析による手法を用いれば直接確認できる。また、有害な引張応力が発生しないような//ノンチ寸法を設定する。		
	床版	・使用目的との適合性	鉛直曲げ剛性の確保	適切な床版厚の設置により確保できるが、上述同様最小厚の 設定法が課題となる。	適切な最小全厚を設定することにより、従来PC床版と同様の 鉛直曲げ剛性を確保できる。	検証事例	
	床版	-	活荷重によるたわみ	支間が大きくなった場合に問題は無いか,	FE M解析を用いて、活荷重によるたわみを確認する J体版支間が大きくなっても、コンクリート系床版は剛性が大きく、活荷重によるたわみは小さく(問題にならないものと考えられる)。		
	主桁	・使用目的との適合性 :	主桁の有効幅	道示算出式の適用支間内で構成されたPC箱桁であれば(例 えば全幅10mの一室箱桁)、全幅を有効幅としてもほぼ問題は ないが、床版支間が大きくなる場合は配慮が必要である。	道示を準用し、有効幅を設定する。または、FEM解析により、 精動方向応力分布を確認して設定する手法も考えられる。	道示の準用	
全幅が広幅員になることに対する —	主桁	・構造の安全性 ・使用目的との適合性	・プレストレスの伝達	主桁の有効幅同様、広幅員の場合は主方向プレストレスの伝達状況についても留意する必要がある	道示を準用する。またFEM解析により確認する手法も考えられる。	道示の準用	
課題	床版	・構造安全性 ・疲労耐久性 ・使用目的との適合性	末版横締めPC鋼材のプレ ストレス力	広橋員になるととに床路機締か網材長も長くなり、標準幅員 の場合と比べ摩擦によるプレストレスのロスが大きくなることが懸 念される。	実際の配置形状、長さを考慮して緊張力計算を行い、設計計 算に反映させる。	道示の準用	
	床版	・疲労耐久性・使用目的との適合性	段階施工を行う場合の打継目における温度応力	新旧打継者目に発生する収縮を拘束する引張応力が、広幅員 になると大きくなることが懸念される。	温度応力解析の実施により、必要であれば補強を行う。		

- 1) 道示における設計曲げモーメント算出式の適用範囲を超える場合の設計手法
- 1-1) 床版の設計断面力の算出方法

関連する道示の規定

[道示 7.4.2]

(1) B活荷重で設計する橋においては、T荷重(衝撃を含む)による床版の単位幅(1m)あたりの設計曲げモーメントは、表-7.4.1 に示す式で算定するものとする。ただし、・・・・割り増し係数を乗じた値とする。

表-7.4.1 T荷重(衝撃を含む)による床版の単位幅(1m)あたりの設計曲げモーメント

版の	曲げ	+ 本)支間の 方向(注)	車	両進行力	方向に直角	車両進行力	う向に平行
区分	モーメントの 種 類	構造	曲角鯛	fモーメン トの方向	支間	間方向	支 間 に 直角方向	支間方向	支 間 に 直角方向
単純	支間曲け		0 1	4	+ (0.12/	+ (0.10/	+ (0.221	+ (0.061
版	モーメント	PC	0 1	6	+ (0.07)P	+ 0.04)P	+ 0.08)P	+ 0.06)P
連	支間曲け		0 1	4	+ (単純版	+ (単純版	+ (単純版	+ (単純版
続	モーメント	PC	0 1	6	(D80%)	Ø80%)	Ø80%)	Ø80%)
	支点曲け		0 1	4	- (0.15 <i>I</i>		- (単純版	
版	モーメント	PC	0 1	6	+ 0).125) <i>P</i>		の80%)	
		RC	0 1	1.5	-	$P \cdot I$			
片	支点曲け		0 1	1.5	1.30	1 + 0.25		- (0.71	_
持	モーメント	PC	1.5 < 1	3.0	,	0.6 <i>I</i> 0.22) <i>P</i>		+ 0.22)P	
版	先端付近曲 け	RC	0 1	1.5			+ (0.15/		+ (0.16/
	田 リモーメント	PC	0 1	3.0			+ 0.13)P		+ 0.07)P

ここに , RC : 鉄筋コンクリート床版

PC : プレストレストコンクリート床版

I: 7.4.3に規定するT荷重に対する床版の支間(m)P: 共通偏2.2.2に示すT荷重の片側荷重(100kN)

(注) 床版支間の方向は,図-7.3.1による。

技術的課題

本節で対象とする広幅員床版は、床版支間が表-7.4.1 の道示式の適用支間を超えるものである。この場合、道示の算出式を用いた設計が適切であるという保証は無いため、適用支間を超える場合の活荷重による設計曲げモーメントの算出方法が、設計手法上の課題である。

性能評価の対応策

床版の支持条件を適切に再現できるモデルを設定し、荷重条件を道示と同一にして理論値を 算出すれば、道示のみなし規定と同レベルの断面力が得られるものと考えられる。

【解説】

上述のように、道示の設計曲げモーメント算出式は、図-2.3 に示すモデルを用いて、図-2.4 のようにT荷重を載荷させて得た理論値から導かれている。よって、床版支間が大きくなっても、床版の支持条件を適切に再現できるモデルが設定できれば、道示と条件を合わせた荷重を載荷させることにより道示のみなし規定と同レベルの断面力が得られるものと考えられる。そして、支持条件を適切に再現できるモデルとして、例えば図-2.5 に示すような 3 次元 F E M解析が考えられる。

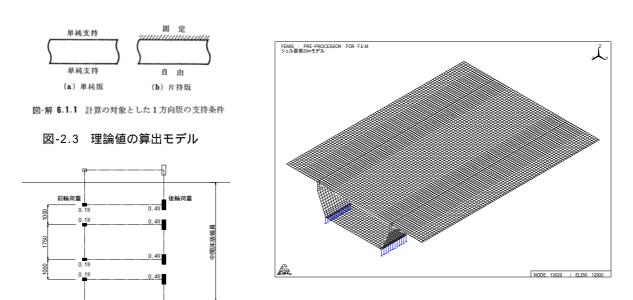


図-2.4 T荷重の載荷例

図-2.5 シェル要素によるFEM解析モデル

道示における設計曲げモーメント算出式は、昭和39年発刊の鋼道路橋設計示方書に最初に規定され、その後昭和53年に発刊された道示 コンクリート橋編においてPC床版の算出式が初めて設定された。これは、昭和48年道示 の算出式を基に、連続版6m以下、片持ち版3m以下を適用支間として設定されたものであり、床版支間がこの範囲内であれば、道示により保証されたみなし仕様の算出式を用いた断面力により設計を行って問題は無いものとされている。

道示の設計曲げモーメントの変遷については、5参考資料参照。

[検証事例 : 3次元FEM解析を用いた広幅員一室箱桁の活荷重による断面力算出]

- 2) 床版支間が大きくなることに対する構造安全性、耐久性および使用性
- 2-1) 床版の最小全厚

関連する道示の規定

[道示 7.3.2]

- (1) プレストレストコンクリート床版の厚さは,安全性,耐久性及び施工性を有するように決定するものとする。
- (3) 車道部分の床版の最小全厚は,次の規定によるものとする。なお,片持版の最小全厚とは,支持げたのウエブの前面における厚さをいう。
 - 1) 車道部分の床版の全厚は,いかなる部分も160mmを下まわらないものとする。
 - 2) 片持版の床版先端の厚さは,1)の規定のよるほか,表-7.3.1 の片持版の最小全厚の50%以上とするものとする。
 - 3) 床版の 1 方向のみにプレストレスを導入する場合の車道部分の最小全厚は,1)及び2)の規定によるほか,表-7.3.2 の値とするものとする。

表-7.3.2 床版の 1 方向のみにプレストレスを導入する場合の車道部分の最小全厚 (mm)

床版の支間の方向 プレストレ スを導入する方向	車両進行方向に直角	車両進行方向に平行
床版の支間の方向に平行	表-7.3.1の床版の支間の 方向が車両進行方向に直 角な場合の値の90%	表-7.3.1の床版の支間の 方向が車両進行方向に平 行な場合の値の65%
床版の支間の方向に直角	表-7.3.1の床版の支間の 方向が車両進行方向に直 角な場合の値	表-7.3.1の床版の支間の 方向が車両進行方向に平 行な場合の値

(柱)床版の支間の方向は図-7.3.1による。

技術的課題

道示における最小全厚の算定式は、床版支間の関数として設定されている。この算定式には 適用支間は定められていないが、大きな床版支間の場合に適用すると、床版厚が従来と比べ大 きくなり不合理な構造となる。よって床版支間が大きくなった場合の適切な最小全厚の設定が 課題となる。

性能評価の対応策

道示の最小厚は、床版の曲げ引張応力をある限度内に抑えるように規定されている。よって、 床版支間が大きい場合でも、床版の曲げ引張応力が従来床版と同等となる床版厚を設定し、これを最小全厚とする方法が考えられる。

【解説】

床版のコンクリートに生じる曲げ引張応力をある限界内におさえて、有害なひび割れ発生の危険をできるだけ少なくするために、鉄筋の許容応力度や床版の最小厚が規定されている。²⁻¹⁻¹⁾ 鉄筋コンクリート床版の最小全厚は、昭和 31 年の鋼道路橋設計示方書で初めて規定されたが、 昭和 40 年頃鉄筋コンクリート床版の損傷が問題となったため、規定の最小全厚が引き上げられている。その後も、設計活荷重の増加や交通量の増大に伴い、最小全厚の見直しが図られている。

道示の最小全厚の変遷および考え方については、5参考資料 参照。

床版の応力度を指標とした最小全厚を設定する方法として、以下の手順が考えられる。

適用支間内であれば、みなし仕様として規定された道示の算出式を用いた断面力と最小厚により設計された床版は、安全性、耐久性ともに保証されている。

これらを用いて、床版の曲げ応力度を算出し、これをひとつの指標とする。

適用支間を超える場合の床版の断面力を、前述の方法などを用いて適切に算出する。

の断面力を用いた床版の曲げ応力度が、 の応力度と同程度になるように床版厚を設定し、 これを最小厚とする。

[検証事例 :床版の最小厚の設定法]

[参考文献]

2-1-1) 石崎、松井: 2 主構 I 桁形式道路橋のR C 床版の最小厚規定について, 土木学会第50回年次学術講演会, 平成7年9月

2-2) コンクリート応力度の許容値

関連する道示の規定

[道示 3.2]

(2) プレストレストコンクリート構造に対するコンクリートの許容引張応力度は、表-3.2.3 の値とする。

また、従荷重及び従荷重に相当する特殊荷重を・・・・適切に定めなければならない。

表-3.2.3 プレストレストコンクリート構造に対する許容引張応力度(N/mm²)

応力度の	種類	コンクリートの設計基準強度	30	40	50	60
	1)プレストレ	ッシング直後	1.2	1.5	1.8	2.0
	2)活荷重及び	直及び衝撃以外の主荷重 0 0 0 3) 床版 0 0 0 ジュ 当す おけるセグメント継ぎ目 0 0 0	0			
曲げ引張 応力度	曲げ引張 応力度 主荷重及び主 荷重に相当す 4) プレキャストセグメント橋に 0 0	0	0	0		
		4) プレキャストセグメント橋に おけるセグメント継ぎ目	0	0	0	0
		5) その他の場合	1.2	1.5	1.8	2.0
6) 軸引引	長応力度		0	0	0	0

(2) 従来からプレストレストコンクリート構造は、部材断面にある程度の引張応力が生じることを許容し、6.5 に規定する引張鉄筋を配置することにより、じん性に富んだ部材を設計することにしている。ただし、ある程度プレストレスを多めに導入しておくことにより、ひび割れに対する安全度を高めるため許容引張応力度を小さめに定めている。

表-3.2.3 の 2) は、・・・・・である。また、表-3.2.3 の 3) は、床版がひび割れにより損傷するのを防ぐためにプレストレスの方向に引張応力を生じさせないための規定であり、床版を設計する場合の規定である。・・・・・・

技術的課題

床版支間が大きくなる場合、コンクリート応力度の許容値が従来通りで問題ないか、疑義となる点である。

性能評価の対応策

上述の 1-1)、2-1)による適切な断面力算出と床版厚の設定を行えば、現行道示の規定通り床版に引張応力を発生させないようにすれば、従来 P C 床版と同等の耐久性を確保できるものと考えられる。

【解説】

現行道示では、P C 床版においてプレストレスの導入方向に引張応力を発生させないよう規定することにより、床版にひび割れを発生させないようにし、高い耐久性を確保するためのみなし仕様としている。そしてこの規定により設計されたこれまでの P C 床版は、実橋においても高い耐久性が確認されている。よって、床版支間が大きくなっても、上述の 1-1)、2-1)による適切な断面力算出と床版厚の設定を行えば、現行道示の条件と同レベルとなり、フルプレストレスに抑えることにより従来 P C 床版と同等の耐久性を確保できるものと考えられる。

2-3) 鉄筋応力度の許容値

関連する道示の規定

[道示 3.3]

鉄筋コンクリート構造及びプレストレストコンクリート構造に対する鉄筋の許容応力度は、 直径 32mm 以下の鉄筋に対して表-3.3.1 の値とする。

	٦٢ ٥.٥.١	東大ののマンローロ コースト	U/) J/(2 (1/1	, ,	
応力]度,部材の種類	鉄筋の種類	SR235	SD295A SD295B	SD345
	1)活荷重および衝撃以	外の主荷重	80	100	100
引	2)荷重の組合せに衝 突荷重又は地震の 影響を考慮しない	一般の部材	140	180	180
張応	場合の許容応力度の基本値	床版及び支間長10m 以下の床版橋	SD295B 100 100 100 100 140 180 180 180 180 140		
力度	3)荷重の組合せに衝突を考慮する場合の許		140	180	200
	4)鉄筋の重ね継手長又場合の許容応力度の		140	180	200
5)日	E縮応力度		140	180	200

表-3.3.1 鉄筋の許容引張応力度(N/mm²)

2) 荷重の組合せに・・・・定めたものである。ここで,床版及び支間長 10m以下の床版橋の場合は,活荷重による応力変動幅が大きく,しかも繰返し荷重が多いことから,一般の部材に比べて非常に苛酷な荷重状態にさらされており,有害なひび割れが発生する可能性が高いと考えられる。さらに,このようなひび割れが荷重の繰返し載荷により大きくなり,コンクリートのはく離等に進展するのを避けるために,鉄筋の許容応力度を一般の部材に対して規定した値より低減した。さらにこの観点から,鉄筋コンクリート床版の鉄筋については,140N/mm²の許容応力度に対し 20N/mm²程度余裕を持たせるのが望ましい。

技術的課題

床版支間が大きくなった場合、現行道示の許容値で問題無いか、応力の余裕量をさらに大き くする必要は無いか、疑義となる点である。

性能評価の対応策

鉄筋の許容応力度についても 2-2)と同様に、上述の 1-1)、2-1)による適切な断面力算出と床版厚の設定を行えば、現行道示を準用することで従来 P C 床版と同等と見なせるものと考えられる。

【解説】

PC床版は、床版の支間方向にプレストレスが導入されるが、PC箱桁橋においては主桁方向、床版支間直角方向)にもプレストレスが導入されている。しかしながら床版支間直角方向の設計については、安全側に主方向のプレストレスを考慮せずにRC部材として設計を行っており、上述の鉄筋許容値を用いている。

我が国における鉄筋の許容値は、昭和初期から材料の引張強度と降伏点をもとに設定され、昭和 39 年に「鉄筋コンクリート用棒鋼」としてJIS化されたのをきっかけに、許容値も引き上げられ、

昭和 43 年には床版部材としての許容値が設定された。この際に繰返し荷重を受ける疲労部材としての考慮がなされ、許容値の低減が図られている。そして平成 2 年の道示において、さらなる床版の疲労損傷が考慮され、現行道示規定である「140N/mm²に対して 20N/mm²程度の余裕をもたせる」という考えが示された(5 参考資料 参照)。以下に、この許容応力度の値がどの程度の位置付けにあるか、ひび割れ幅の観点から確認を行う。

コンクリート標準示方書の表 7.4.1 に従い、一般の環境としてWa=0.005Cと考え、 sa=120 N/mm²とした場合のひび割れ幅を算出し、許容ひび割れ幅との比較を行う。

「コンクリート標準示方書」構造性能照査編 2002 2-3-1) の許容ひび割れ幅算出式

W = 1.1· k_1 · k_2 · k_3 × {4c+0.7(c_s -)} × [s_e / E_s + c_{sd}]···式(7.4.1)

k1 : 鋼材の表面形状がひび割れ幅に及ぼす影響係数 異形鉄筋 = 1.0

 k_2 : コンクリートの品質がひび割れ幅に及ぼす影響係数 $k_2 = \{15 / (fc' + 20)\} + 0.7$

fc': コンクリートの設計圧縮強度(N/mm²)

 k_3 : 引張鋼材の段数の影響を表す係数 $k_3 = 5(n+2)/(7n+8)$ 床版の場合 n=1.0

n : 引張鋼材の段数

c : 引張鋼材の純かぶり(mm)

cs : 鋼材の中心間隔(mm)

: 鋼材系(mm)

se:鋼材位置のコンクリート応力度が0の状態から鉄筋応力度の増加量(N/mm²)

Es : 鋼材の弾性係数(N/mm²) (2.0×10⁵)

 $' _{csd}$: コンクリートの収縮及びクリープ等によるひび割れ幅の増加を考慮するための数値 コンクリート示方書より (150×10^{-6})

この時、一般的な P C 箱桁で使用されるコンクリート f_{ck} = 40N/mm²、純かぶり \mathcal{C} =35mmと下記の条件で考え、鉄筋の引張応力度 s_e = 120N/mm²で制限した場合、ひび割れ幅は表-2.3 に示す値となる。

W Wa=0.005C C C_{S} k_1 k_3 case k_2 (mm) (mm) (mm) (N/mm^2) (mm) (mm) 0.9535 125 120 0.170 0.175 1 1.0 1.0 16 2 19 0.168 0.175 3 " " " 22 " 0.166 0.175

表-2.3 ひび割れ幅算出結果

表-2.3 より、床版鉄筋の許容値を s_e = 120N/mm²程度に制限すれば、「コンクリート標準示方書」に示される鋼材の腐食の進行を制御できるひび割れ幅以内とすることができ、耐久性上の問題は無いものと考えられる。

「参考文献]

2-3-1) 土木学会:「コンクリート標準示方書」構造性能照査編 2002 年制定

2-4) 床版の疲労耐久性

関連する道示の規定

[道示 3.2]

(2) プレストレストコンクリート構造に対するコンクリートの許容引張応力度は、表-3.2.3 の値とする。

また、従荷重及び従荷重に相当する特殊荷重を・・・・適切に定めなければならない。

表-3.2.3 プレストレストコンクリート構造に対する許容引張応力度(N/mm²)

応力度の	種類	コンクリートの設計基準強度	30	40	50	60
	1)プレストレ	・ッシング直後	1.2	1.5	1.8	2.0
曲げ引張 応力度 主荷重及び主	「衝撃以外の主荷重	0	0	0	0	
		プレストレッシング直後 1.2 1.5 1.8 括荷重及び衝撃以外の主荷重 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0	0			
	# 番 □ 知 4 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1		0	0	0	0
	0117M131	5) その他の場合	1.2	1.5	5 1.8 0 0 0 0 5 1.8	2.0
6) 軸引引	長応力度		0	0	0	0

[道示 3.3]

鉄筋コンクリート構造及びプレストレストコンクリート構造に対する鉄筋の許容応力度は, 直径 32mm 以下の鉄筋に対して表-3.3.1 の値とする。

表-3.3.1 鉄筋の許容引張応力度(N/mm²)

応力]度,部材の種類	鉄筋の種類	SR235	SD295A SD295B	SD345
	1)活荷重および衝撃以	外の主荷重	80	100	100
 引	2)荷重の組合せに衝 突荷重又は地震の 影響を考慮しない	一般の部材	140	180	180
引張応力	場合の許容応力度の基本値	床版及び支間長10m 以下の床版橋	140	140	140
力度	3)荷重の組合せに衝突を考慮する場合の許		140	180	200
	4)鉄筋の重ね継手長又場合の許容応力度の		140	180	200
5)日	E縮応力度		140	180	200

[道示 7.3]

- (3) 車道部分の床版の最小全厚は,・・・・・・・・・・・・・・。
 - 1) 車道部分の床版の全厚は ,・・・・・・・・・・・・・・・。
 - 2) 片持版の床版先端の厚さは, ……………。
 - 3) 床版の 1 方向のみにプレストレスを導入する場合の車道部分の最小全厚は ,・・・・表-7.3.2 の値とするものとする。

表-7.3.2 床版の1方向のみにプレストレスを導入する場合の車道部分の最小全厚

(mm)

床版の支間の方向 (注) プレストレ 車両進行方向に直角 車両進行方向に平行 スを導入する方向 表-7.3.1の床版の支間の 表-7.3.1の床版の支間の 床版の支間の方向に平行 方向が車両進行方向に直 方向が車両進行方向に平 角な場合の値の90% 行な場合の値の65% 表-7.3.1の床版の支間の 表-7.3.1の床版の支間の 床版の支間の方向に直角 方向が車両進行方向に直 方向が車両進行方向に平 行な場合の値 角な場合の値

(柱)床版の支間の方向は図-7.3.1による。

[道示 7.4]

(1) B活荷重で設計する橋においては、T荷重(衝撃を含む)による床版の単位幅(1m) あたりの設計曲げモーメントは、表-7.4.1に示す式で算定するものとする。ただし、・・・ 割り増し係数を乗じた値とする。

表-7.4.1 T荷重(衝撃を含む)による床版の単位幅(1m)あたりの設計曲げモーメント

							•
版の	曲げ	+##	床版の支間の 方向(注)	車両進行	方向に直角	車両進行フ	ち向に平行
区分	モーメント の 種 類	構造	曲げモーメン トの方が 適用範囲	支間方向	支 間 に 直角方向	支間方向	支 間 に 直角方向
単純版	支間曲げ	RC	0 / 4	+ (0.12/	+ (0.10/	+ (0.221	+ (0.06/
版	モーメント	PC	0 / 6	+ 0.07) P	+ 0.04)P	+ 0.08) P	+ 0.06)P
連	支間曲げ	RC	0 / 4	+ (単純版	+ (単純版	+ (単純版	+ (単純版
続	モーメント	PC	0 / 6	Ø80%)	の80%)	の80%)	の80%)
	支点曲げ	RC	0 / 4	- (0.15/		- (単純版	
版	モーメント	PC	0 1 6	+ 0.125)P		の80%)	
		RC	0 <i>I</i> 1.5	- P · 1			
片	支点曲げ		0 <i>I</i> 1.5	1.30/+0.25	_	- (0.71	
持	モーメント	PC	1.5 < I 3.0	- (0.6 <i>I</i> - 0.22) <i>P</i>		+ 0.22)P	
版	先端付近曲 げ	RC	0 / 1.5		+ (0.15/		+ (0.16/
	モーメント	PC	0 1 3.0		+ 0.13)P		+ 0.07)P

ここに , RC : 鉄筋コンクリート床版

PC : プレストレストコンクリート床版

I: 7.4.3に規定するT荷重に対する床版の支間(m)P: 共通偏2.2.2に示すT荷重の片側荷重(100kN)

(注) 床版支間の方向は, 図-7.3.1による。

技術的課題

床版支間がこれまでの実績より大きくなり、みなし仕様がそのまま準用できない場合の疲労 耐久性について、検証方法が課題となる。

性能評価の対応策

断面力と床版厚を適切に設定し、床版応力度をフルプレストレスに抑えてひび割れを発生させないようにすれば、道示のみなし仕様により設計された従来PC床版と同等レベルと考えることができる。すなわち、1-1)や 2-1)、2-2)、2-3) 等の手法による検証を行うことにより、疲労耐久性は確保できるものと考えられる。

【解説】

従来のコンクリート床版は、道示 7.3および7.4に示されるみなし規定を用いて床版厚の設定や断面力の算出を行い、道示 3.2および3.3の許容値に抑えるべく設計を行っているのが大半である。これらのみなし規定は、実橋のRC床版の損傷事例などをもとに改訂を重ねたものであり(5 参考資料 参照)、特にこれらみなし規定に準じて設計されたPC床版については、実橋においても著しい損傷の報告はこれまでに無く、また、輪荷重走行試験においても高い耐久性が確認されている2-4-1。コンクリート床版の破壊メカニズムは、複雑であり設計計算による疲労耐久性の照査は困難であるため、道示のみなし規定を用いることは床版の疲労耐久性を担保する一つの方法である。

床版の断面力算出において、道示のみなし規定の適用範囲を超える広幅員の支間を有する床版について、上述の 1-1)や 2-1)、2-2)、2-3)において性能評価の対応策や考え方を示した。これらの対応策を用いることにより、床版支間が大きい場合においても、従来のコンクリート床版を道示に

より設計を行う場合と同等レベルの床版と考えることができる。よって、1-1)や2-1)、2-2)、2-3) 等の手法による検証を行うことにより、疲労耐久性は確保できるものと考えられる。

[検証事例 : 3次元FEM解析を用いた広幅員一室箱桁の活荷重による断面力算出]

[検証事例 :床版の最小厚の設定法]

[参考文献]

2-4-1) 矢部、川畑、佐々木、内田、宮崎、西川:パーシャルプレストレスを導入したPC床版の輪荷重走行実験,土木学会第1回鋼橋床版シンポジウム,1998年11月

2-5) 使用目的との適合性

関連する道示の規定

[道示 3.2]

(2) プレストレストコンクリート構造に対するコンクリートの許容引張応力度は、表-3.2.3 の値とする。

また、従荷重及び従荷重に相当する特殊荷重を・・・・適切に定めなければならない。

表-3.2.3 プレストレストコンクリート構造に対する許容引張応力度(N/mm²)

				, ,	<u> </u>	1 30070
応力度の	種類	コンクリートの設計基準強度	30	40	50	60
	1)プレストレ	・ッシング直後	1.2	1.5	1.8	2.0
	2)活荷重及び	「衝撃以外の主荷重	0	0	0	0
曲げ引張 応力度		3) 床版	0	0	0	0
	主荷重及び主 荷重に相当す る特殊荷重	4) プレキャストセグメント橋に おけるセグメント継ぎ目	0	0	0	0
	0 13 /// 3 12	5) その他の場合	1.2	1.5	1.8	2.0
6) 軸引引	長応力度		0	0	0	0

[道示 7.3.2]

- (1) プレストレストコンクリート床版の厚さは,安全性,耐久性及び施工性を有するように決定するものとする。
- (3) 車道部分の床版の最小全厚は,次の規定によるものとする。なお,片持版の最小全厚とは,支持げたのウエブの前面における厚さをいう。
 - 1) 車道部分の床版の全厚は,いかなる部分も160mmを下まわらないものとする。
 - 2) 片持版の床版先端の厚さは,1)の規定のよるほか,表-7.3.1 の片持版の最小全厚の50%以上とするものとする。
 - 3) 床版の 1 方向のみにプレストレスを導入する場合の車道部分の最小全厚は,1)及び2)の規定によるほか,表-7.3.2 の値とするものとする。

表-7.3.2 床版の 1 方向のみにプレストレスを導入する場合の車道部分の最小全厚 (mm)

床版の支間の方向 プレストレ スを導入する方向	車両進行方向に直角	車両進行方向に平行
床版の支間の方向に平行		表-7.3.1の床版の支間の 方向が車両進行方向に平 行な場合の値の65%
床版の支間の方向に直角		表-7.3.1の床版の支間の 方向が車両進行方向に平 行な場合の値

(柱)床版の支間の方向は図-7.3.1による。

技術的課題

床版に対する使用目的との適合性については、次の3項目についての検証が必要となる。 接合部の荷重伝達機能

鉛直曲げ剛性の確保:最小全厚の確保

活荷重によるたわみ

性能評価の対応策

に対して

床版とウエブの接合部であるハンチ部の応力度を検証する。

に対して

適切な最小全厚を確保する。

に対して

床版支間が大きくなった場合の活荷重たわみを検証する。

【解説】

接合部の荷重伝達機能について

道示式の適用支間内であれば、現行道示の算出式を用いた断面力より応力度を算出し、道示の許容値以内(フルプレストレス)となるようにハンチ寸法を設定する。これに対して、適用支間を超えた場合の断面力算出方法が課題となるが、1-1)に示す FEM解析による手法を用いれば、ハンチ部の応力度を直接確認できる。床版支間が大きくなり、従来ハンチ寸法では発生応力度が厳しくなることも考えられるが、この場合は、応力度を抑えられる適切なハンチ寸法を設定することで対処する。

鉛直曲げ剛性の確保について

道示式の適用支間内であれば、現行道示の最小厚規定を満足することにより、鉛直曲げ剛性は確保される。これに対して、適用支間を超えた場合の最小厚規定が明確でないが、2-1)により、適切な最小全厚を設定することにより、従来PC床版と同等の鉛直曲げ剛性を確保できるものと考えられる。

活荷重によるたわみについて

コンクリート床版の活荷重によるたわみは小さく、従来の床版支間では問題とはならない。床版支間が大きくなった場合でも、1-1)に示す FEM解析を用いれば、活荷重によるたわみを確認することができる(床版支間が大きくなっても、コンクリート系床版は剛性が大きく、活荷重によるたわみは小さく問題にならないものと考えられる)。

[検証事例 :床版の最小厚の設定法]

- 3) 全幅が広幅員となることに対する構造安全性、耐久性および使用性
- 3-1) 主桁の有効幅

関連する道示の規定

[道示 4.2.2]

- (3) 曲げモーメントに対する圧縮フランジの片側有効幅は、式(4.2.1)により算出するものとする。
 - 1) 主げた、支点横げた(直接支持されたけた)

$$= 1/8 + b_s$$

ただし、連続版及び単純版の場合 I_o / 2 片持版の場合 I_c

(3) 図-解4.2.1 に示すように、圧縮フランジの軸方向圧縮応力度を、簡略的に一様に分布する ものとみなせる幅b が有効幅である。ここでは、表現を統一するために、片側有効幅 について 規定した。したがって、計算にあたっては、b = 2 + b_wの値が用いられる。・・・・・・・・・

技術的課題

床版支間が大きくなる場合は全幅も広幅員となる傾向があり、曲げモーメントに対する主桁の 有効幅に対して配慮が必要である。

性能評価の対応策

上述の1-1)に示すようなFEM解析を用いて有効幅を確認する。

【解説】

曲げモーメントが作用する部材では、せん断遅れ現象により軸方向圧縮応力度の分布は一様とならず、幅員が大きくなるに従って顕著となる。このため、道示 4.2.2(3)において曲げモーメントに対する圧縮フランジの有効幅の算出法が規定されている。

これまでの実績では、道示算出式の適用支間内で構成されたPC箱桁であれば(例えば全幅 10mの一室箱桁) 全幅を有効幅としてもほぼ問題ない。しかしながら床版支間が大きくなる場合は全幅も広幅員となる傾向があり、有効幅に対しての配慮が必要となる。

有効幅の算出は、道示 4.2.2(3)に従うことも考えられるが、道示算出式の適用範囲を超える支間の場合に、道示 4.2.2(3)の適用が妥当であるかは不明確である。よって、上述の 1-1)に示すような FEM解析を用いて有効幅を確認することが考えられる。FEMモデルに主桁自重などの当分布荷重を載荷させ、上床版に発生する橋軸方向応力度分布を確認することにより有効幅を設定することができる。

3-2) プレストレス力の伝達

関連する道示の規定

[道示 6.6.7 PC鋼材の定着]

- (1) 定着具の位置は、部材に所定のプレストレスを導入できるように、また、部材に有害なひび割れが生じないように選ぶものとする。
- (3) 部材の中間に定着具を設ける場合は、活荷重による応力変動の大きな点から十分離れた断面の断面図心に近い位置か、圧縮部のコンクリートに定着するのがよい。
- (1),(3) 定着具近くの断面では、・・・・・・・実験結果によるとほぼ 45°前後といわれているが、安全をみて tan =2/3 すなわち =33°40 とするのが望ましい。

技術的課題

主桁の有効幅同様、広幅員の場合は主方向プレストレスの伝達状況についても留意する必要がある。

性能評価の対応策

道示 6.6.7 に従い、プレストレスが有効となる断面までの距離を算出する。あるいは、FEM解析を用いて主桁断面内のプレストレス分布を確認する。

【解説】

広幅員一室箱桁において、ウエブ近傍のみにPC鋼材が定着される場合、定着部の近傍位置ではプレストレス力が有効に伝達されない区域が存在する。例えば、片持ち張出し架設における直近のプロック継目で、張出し床版長が長い場合の張出し先端付近、ウエブ間隔が広い場合の床版中央付近などである。

プレストレスが有効となる断面までの距離は、一般には、道示 6.6.7 に準じて算出すればよい。しかしながら、片持ち張出し架設の場合などでは、道示 6.6.7 により算出した距離が必要以上に長くなり、不合理な設計となる可能性がある(主桁上縁引張に対して上床版近傍に有効となればよく、道示 6.6.7 による算出値より短い)。また逆に、張出し床版が長い場合においては、ブロック継ぎ目において床版端部にプレストレスが分布しない可能性もある。よって、これらが懸念される場合は、FEM解析を用いてプレストレスによるせん断遅れ現象を確認し、実際の主桁断面内のプレストレス分布により有効となる距離を設定するか、あるいは直接応力度を検証する手法が考えられる。

外ケーブル構造 2 (1) 1-1)の項を参照。

3-3) 床版横締めPC鋼材のプレストレス力

関連する道示の規定

[道示 2.2 荷重]

[道示 2.2.4 プレストレス力]

[道示 2.2.4 プレストレス力]

- (5) プレストレッシング直後のプレストレス力は、PC鋼材の引張端に与えた引張力に、次の影響を考慮して算出する。
 - 1) コンクリートの弾性変形
 - 2) PC鋼材とシースの摩擦係数
 - 3) 定着具におけるセット

(5)

2) 摩擦による P C 鋼材引張力の減少は、・・・・・影響についても考慮する必要がある。 P C 鋼材とシースの摩擦の影響を考慮した P C 鋼材の引張力は、・・・・一般に P C 鋼材の図心線の角変化と P C 鋼材の長さを考慮して式(解 2.2.3)により算出することができる。

$$P_x = P_i \cdot e^{-(\mu + x)}$$

技術的課題

広幅員になるとともに床版横締め鋼材長も長くなる。このため、標準幅員の場合と比べ、摩擦による緊張力のロスが大きくなることが懸念される。

性能評価の対応策

道示 2.2.4 に準じて緊張力の算出を行う。摩擦による減少が大きくなる場合には、

【解説】

摩擦による減少が大きくなる場合には、以下の対処法が考えられる。

床版両端からの両引き緊張とする。

PC鋼材の容量を上げる。

PC鋼材の配置間隔を小さくする。

角変化ができるだけ小さくなるような形状を検討し、角変化による摩擦減少を小さくする。 これらの対応策について、以下の点に留意する必要がある。

の場合、配置間隔を小さくすると定着具の最小間隔を満足しない場合があるため、各定着工法に 応じた最小間隔を確認する必要がある。

の場合、緊張力のロスを小さくできても、プレストレスの偏心による応力度の効率が悪くなる可能性があり、留意を要する。

3-4) 段階施工を行う場合の打継目に対する留意点

関連する道示の規定

[道示 19.6]

- (7) 打継目
- 3) 打継目については、温度応力及び乾燥収縮によるひび割れが発生しないように考慮するものとする。
- (8) マスコンクリート

セメントの水和熱に起因する温度応力によりひび割れが懸念される場合は、材料、打込み方法、養生方法等について検討を行い、構造物の機能上有害となるひび割れの発生を防止するものとする。

- (7) 3) 打継目には、水和熱による温度応力、外気温の影響による温度応力、乾燥収縮等により ひび割れが生じるおそれがある。したがって、新旧コンクリートの温度差が小さくなるよう に施工しなければならない。また、打継目付近には、スターラップあるいは配力鉄筋等を他 の部分と比較して密に配置する等の処置を講じる必要がある。

なお、温度応力に関する具体的な制御手法については、「ひび割れ制御指針」(日本コンクリート工学協会、「コンクリート標準示方書施工編」(土木学会)を準用するとよい。

技術的課題

広幅員になると旧ブロック側の拘束力が大きくなり、新ブロック側の引張応力が大きくなることが懸念される。また、広幅員一室箱桁の場合、下床版幅も大きくなることが多くなる。下床版は、圧縮応力の厳しい断面では厚さが大きくなるため、打継ぎ目の温度応力がさらに大きくなる可能性があり、留意が必要である。

性能評価の対応策

温度応力解析を行い、適切な補強鉄筋を配置するのが対応策の一つとして考えられる。

【解説】

[コンクリート道路橋設計便覧 10.3.14 用心鉄筋]に打継目の補強方法として以下の記述がある。

[コンクリート道路橋設計便覧 10.3.14 用心鉄筋]

(2) 打継目付近の用心鉄筋

主桁を分割施工する場合や柱や壁を打ち継ぐ場合には、新旧コンクリートの温度差や乾燥収縮などの影響により、打継面に垂直なひび割れが新コンクリートに発生しやすいものである。このひび割れを有害でない程度に抑えるために打継面に平行な用心鉄筋を以下に示すように配置するのが望ましい。

1) 一段目の鉄筋は打継目にできるだけ近く 5cm~7.5cm 程度の位置に配置する。

- 2) 鉄筋は直径 13mm 以上の異形鉄筋を 10cm~15cm 程度以下の間隔で打継面から 50cm 程度までの範囲で配置する。
- 3) 打継面から 50cm 以内において、コンクリートの表面付近に配置する鉄筋量は、スターラップあるいは帯鉄筋と合計して部材の断面積の 0.2%以上とするのが望ましい。

標準的な幅員であれば、設計便覧に示されるように打継ぎ目から 50cm 程度の床版横方向鉄筋を密に配置することで十分対処可能である。しかしながら、広幅員になると旧ブロック側の拘束力が大きくなり、新ブロック側の引張応力が大きくなることが懸念される。また、下床版幅、下床版厚が大きい場合、マスコンクリートとなりセメントの水和熱に起因する温度応力によるひび割れが発生する可能性もある。よって、温度応力解析を行い、適切な補強鉄筋を配置することにより、ひび割れを制御するのが対応策のひとつとして考えられる。

温度応力解析は、実施工ステップや材例を考慮したFEMモデルによる逐次解析を行うとより厳密に引張応力を算出するのが可能となるが、コンクリートの配合、型枠、養生要領・期間などの入力条件により結果が異なるため、実施工に即した条件設定が重要である。

(3) 検証事例

上述した技術的課題と対応策に対して、解析等が伴うものについて、具体の検証事例を次項より 示す。

事例	3次元FEM解析を用いた広幅員一室箱桁の活荷重による断面力の算出方法
要求性能	構造の安全性,使用性,疲労耐久性 関連規定 道示 7.4.2
検証目的	道示断面力算出式の適用範囲を超える支間において、適切な床版設計断面力の算出方法を設定する。
検証手法	実験による検証・解析による検証・道路橋示方書の準用
検証方針	3 次元 FEM 解析により断面力を算出する。
検証内容	(1)検討対象主桁断面 15500 3250 850 連続版支間 7300 850 3250 上持ち版支間 図-2.6 検討対象主桁断面図 中間床版の支間長が7.3mであり、連続版の適用範囲 6.0m を超えている。 (2)解析モデル ・シェル要素による3次元FEM解析モデル 「プラスク 2005 700 700 721 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1

・板厚および剛域

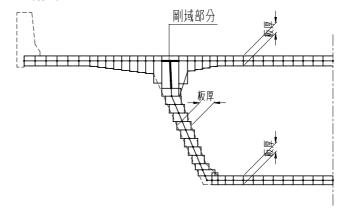


図-2.8 板厚および剛域の設定

要素の板厚は、各節点での板厚を平均したものとし、剛域は道示 14.2 に従い設定する。

(3) 活荷重の載荷方法

・活荷重強度 T荷重とする。 (一輪あたり P=100kN)

検証内容

・FEMモデルへの載荷方法 舗装厚と床版図心までの分布 を考慮する(図-2.9)

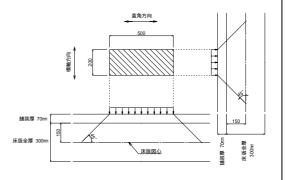
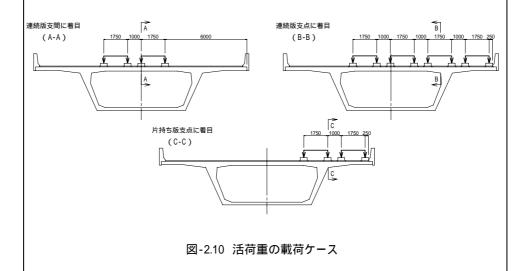


図-2.9 T荷重の分布

・活荷重の載荷ケース

道示に従い、橋軸方向には一列(FEMモデルの中央)、横方向には台数に制限がないものとして、各着目断面に最も不利になるようにT荷重を載荷する。



(4)断面力算出結果

断面力算出結果を表-2.4に示す。FEM解析によって得られた断面力に対して、道示 2.2.3に示される床版支間に応じた衝撃の影響を考慮し、さらに割増し係数を乗じて設計断面力とする。割増し係数は、モデル化や荷重載荷方法の差を考慮したものである(詳細は5参考資料を参照)。

表-2.4 断面力算出結果

検証内容

	単位	連続版支間	連続版支点	片持ち版支点
FEM解析より得た 曲げモーメント M1	kN• m/m	33.9	-89.2	-69.2
床版支間	æ	7.300	7.300	2.705
衝撃係数 i	1	0.349	0.349	0.379
割増し係数	-	1.2	1.2	1.2
設計曲げモーメント M = M1 × (1+i) ×	kN• m/m	54.9	-144.4	-114.6

FEM解析は、汎用性のある解析ツールが多く開発され、従来と比べ簡易に扱えるようになってきたものの、モデル化によって結果に差異が生じることもあり、十分留意する必要がある。以下に考えられる留意事項を列挙する。

モデルの種類

シェルモデルとソリッドモデルがあり、より実構造に近いのはソリッドモデルであるが、モデル作成に手間を要する。シェルモデルは、ソリッドモデルに比べモデル作成は容易であるが、部材間の結合条件などに留意が必要となる。

参考に当たっ ての注意点

メッシュ分割

メッシュの分割数、大きさなどに結果が左右される。適切で無駄のないメッシュ分割を行う必要がある。

モデルの長さ

道示算出式のモデルは無限長であるが、FEMモデルは、得られる解に問題の無い範囲で、できるだけ短いモデル長とするのが望ましい。

支持条件

PC箱桁をモデル化するため、下端の支持条件によっても得られる値が異なる可能性がある。

(これらの比較検討結果例については、5参考資料を参照)

連規定 道示 を超えた場合について 道路橋示方書 応力度により最小全厚 レスが導入されない割れは生じない 造とするため、ここで する場合の最小全厚 支間方向に平行 角 9×(3L+11)	の準用 を設定する。 た一方向 P C 、ただし、支
を超えた場合について、 が が が が は は が は な い で か は な い で が 導入 され な な い で が 導入 され な な い で あ ま に よ り 最 い な で あ ま も に よ に よ に よ に よ に よ に よ に よ に は ま に な に な に な に な に な に な に な に な に な に に な に な に な に な に な に な に な に な に な に な に な に な に に な に な に な に な に な に で は に な に で は に で は に で に に で は に に で に に に で に に に に に に に に に に に に に	の準用 を設定する。 た一方向 P C 、ただし、支
証 ・ 道路橋示方書 応力度により最小全厚 レストレスが導入されなひび割れは生じない。 造とするため、ここで、 する場合の最小全厚 支間方向に平行 角	の準用 を設定する。 た一方向 P C 。ただし、支
一 応力度により最小全厚だ力度により最小全厚だ レストレスが導入されない ないび割れは生じない 造とするため、ここで する場合の最小全厚 支間方向に平行	を設定する。 た一方向 P C , ただし、支
レストレスが導入され なひび割れは生じない。 造とするため、ここで。 する場合の最小全厚 支間方向に平行 角	た一方向 P C 、ただし、支
なひび割れは生じない。 造とするため、ここで。 する場合の最小全厚 支間方向に平行 角	、ただし、支
、活荷重による断面力 う。 6.0m および適用範囲外 モーメントとも道示式 を用いた場合においてと 力、応力度の試算	への 8.0m とす を延長して用
6.0 m 8.0 m	8.0 m
	(M: FEM × 1.2) 0.267 m ()
51.2 kN·m 67.2 kN·m	53.8 kN·m
0.01135 m ³ 0.01654 m ³	0.0126 m ³
-4.5 N/mm ² -4.1 N/mm ²	-4.5 N/mm ²
	6.0 m 8.0 m (M:道示) (M:道示) 0.261 m 0.315 m 51.2 kN·m 67.2 kN·m 0.01135 m³ 0.01654 m³

L=8.0mの場合、道示の最小厚規定に従えば31.5cm必要となる。ここで、L=8.0mのFEM解析値に対してコンクリート引張応力度をL=6.0mと同じとした場合の床版厚を求めると26.7cmとなり、最小厚規定を準用した場合より小さくなる(表-2.5の右端欄())。この算出方法による応力度はあくまで指標であるが、これを同等に抑えれば、道示と同等レベルの床版厚を確保できるものと考えられる。以上より、床版支間が大きくなっても、適切な断面力を設定できればコンクリート応力度を指標とした床版厚の設定が可能であると考えられる。 本項で算出する最小全厚とは、床版に有害なひび割れを発生させないような床版厚の最小値である。実際の床版厚の設定には、この最小全厚を確保するとともに、鋼材のかぶり・あき、床版横締め鋼材や主方向鋼材の外径および定着寸法、鉄筋の配置などを考慮して設定する必要がある。

3 リブ付き床版構造

(1) 主な技術概要

2 広幅員一室箱桁構造(1)に示すように,道路橋示方書 コンクリート橋編では,コンクリートのけたで支持された床版を適用対象として要求性能が規定されており,そのみなし仕様として活荷重による床版の設計曲げモーメント算出式が規定されている。この算出式は,長辺比が1:2以上の床版で,連続版の支点部では支持桁と床版が剛結された構造であり,連続版の支点部を除く計算式では等方性無限単純版と等方性無限片持版の支持条件を対象としている。そして,解析により得られた理論値に対し安全率を見込んだみなし仕様の設計曲げモーメント式としている。しかしながら,リブ付き床版構造は,図-3.1に示すように剛性の高い主桁ウエブで連続的に支持され,そしてウエブに直交する方向に一定間隔でリブを配置し床版を支持するため,床版の支持条件や主たる断面力が発生する方向や支間長が明確でなくなる。

<u>従って,本節で対象とするリブ付き床版構造は,道示による床版断面力算出時の前提となる支持条件が異なるものであり</u>,道示式をそのまま使用することに疑義が生じる。

また,リブ付き床版構造は広幅員となる傾向があるが,広幅員となることによる技術的課題に対しては 2 広幅員一室箱桁構造に準ずることとする。

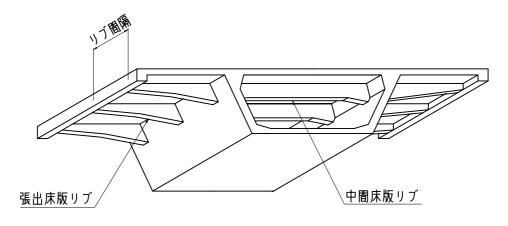


図-3.1 リブ付き床版箱桁の概要図

(2) 技術評価の観点と方向性

本節で取り扱うリブ付き床版構造は、床版の支持条件が通常のPC箱桁とは大きく異なる。 よって本構造の技術評価を行う場合,以下の3タイプの観点から考える必要がある。

床版の設計曲げモーメント算出式が道示式を適用出来ない場合の設計手法 床版の支持条件が異なることに対する構造安全性,耐久性,使用性 リブを配置することで生じる主桁の構成部材としての構造安全性,耐久性,使用性 これらの観点から考えられる床版,リブ,リブ接合部および主桁構成部材としての影響に ついて技術的課題とその対応策を次頁より記す。

3.1 リブ付き床版構造の問題掲載と対応策一覧

				表-3.1 リブ付き床液構造の回題部襲と対応等			
着目する部位	技術評価の観点	対応する要求性能	目航	問題認識	対応策	検証事例	垂
	遠示の断面力算 出式を適用できない場合の設計手法	·構造安全性 ·疲労耐久性 ·使用目的との適合	設計曲げモーメント等出式 設定時の支持条件が異なる 場合の設計手法	プタ配置した孫施橋造は、安井希件が過声式の部語条件と概なることや、主たる断面力が発生する方向や支 問長が明確でなくなることから、Listh 曲げモーメンドの算出手法が課題となる。	所能の支持条件を適切に再現できる3次元FEM解析を用いて、過元算出式協定時と同条件の活荷量を製荷 L. 節面力を算出する	検証事例	
		・構造安全性 ・疲労耐久性 ・使用目的との適合性	床版の最小厚	道示における最小金質の質定式は、採筋攻略の開設として設定されており、音年代における実績協の連絡をも、 とに発展しが超られ場でに至っている。しかしながら成米の来版と支持条件製なる場合の最小全層の設定が課 題となる。	通切な手法で算出された断面力をもに床板に発生する応力版を算出い、これを指揮として最小場を設定する [広編員 - 室幕所と同様]。	広幅員一室箱桁 の検証事例	
床		・疲労耐久性・使用目的との適合性	コンクリート応力度の許容値	遊示における系版な力の幹容値は、ひじ動れにより損傷するのを防ぐために引張の力を生じさせないことして いる。この程度により設計されたてれまでのケス版は、実備にあいても高い耐久性が確認されているが、系板支 持条件模なった場合に同じ符音で問題無いかどみが複盟となる。	床版支持条件が異なっても、適切な断面が算出と茶版層の設定を行えば、現行直示の規定を専用してフルブレストスに対えることさずれば、役米FC 茶版に同レベルの耐久性を確保できるものと考えられる[広橋員一室箱 析と回復].	道示の準用	
	床版の支持条件が従来と異なる ことに対する課題	・疲労耐久性・使用目的との適合性	鉄筋応力度の許容値	鉄筋許容値についても床板支持条件が異なることで問題はないか課題となる。	適切な新面が開出と係版庫の設定を行えば、現行道示を準用すれば、投茶PC保施と同等と見なせをものと考えられる(広橋員一覧報告と同様)。	議示の権用	
		·疲労耐久性	疲労耐久性	通示ではみなし仕種を規定し、それに乗じた原の18計により度が耐欠性を招移しているのが多くの現状である。そしてや「丘路については、実施において事じい機能の機能はよれまでに無く。また、輪の離産与打撃的においても高い軽次性が確認されている。しかしながら、尿板支針条件がでれまでの実験に関び、みなし仕機がその未来用できない場合の度外層が生について、機能が洗が課題なる。	断面かと茶版原を適切に設定し、茶版あ力度をフルプレストレスに抑えてひり割れを発生させない はうにずれば、道示のみなし仕載により設計された依装や「茶版と回等レベルと考えることができる [広福賞 一室前桁凸回 様】:	道示の準用 検証事例 広幅員一室箱桁 の検証事例	
			鉛直曲げ剛性の確保	当切な床筋弾の配置により確保できるが、上述同様観小弾の配別法が課題となる。	遊りな願う合理を設定することにより、従来りて疾死と同語の設置曲げ劉珠を書探できる。	広幅員一室箱桁 の検証事例	
		・使用目的との適合性	活荷重によるたわみ	支持条件が異なった場合に問題は無いか、	FEM製作を用いて、活躍層にあるためを確認する(床板支持条件が異なっても、コンツリート系床板は創性が大きく、活荷層によるたわみは小さく問題にならないものと考えられる)。		
	道示の断面力算出式を適用でき ない場合の設計手法	・構造安全性 ・疲労耐久性 ・使用目的との適合性	リブの構造・形状選定	リブの紀霊剛陽、形状・剛性の違いより來版に発生する断面力が大きく異なる。また、リブ直上とリブ間の床版店。 力度にも影響を以ぼすため、これらの選定が課題となる。	床版だ力をフルに抑えるとともに、リブ本体に有害なひび割れが発生しないような配置問題、形状を設定する。	検証事例	
<u>ו</u>		・構造安全性 ・疲労耐久性 ・使用目的との適合性	リブの設計断面力の算出方 法	リブ付き床版は、単純な箱桁ラーメン構造と見なすことが出来ないため、床板同様リプに生じる断面力の製出方 法が課題となる。	上述のFEM解析により輩出する.	検証事例	
3	床版の支持条件が従来と異なる ことに対する課題	・疲労耐久性 ・使用目的との適合性	リブに発生する応力度の制 限	R. Cの場合、終節な力度の件容値、最小核節量、最大核節後、間隔などが課題となる。 P. C. Oの場合、許容引張な力度をとの程度に該定するが体験型となる。	床版を支える楽部材としての順査を行う。	検証事例	
		・疲労耐久性	リブの疲労耐久性	リブによって床版を及える部封であることが独計の細菌条件であるため、床版に各行して破壊することを避ける。 べき部封と考えられる、そのため、リブゲ十分な疲労耐久性を有じているかの検証方法が瞬間となる。	プラの記憶開展、投資を指定して設定し、米められた断面かより部材のあり度を追示に示す特徴権内に抑え、有害なりも動作を発生されないようにすれば、追示のみなし仕機により設計された系統あより楽部材に関与レイルでするこのできるものと考えまれる。		
リプと床版		・構造安全性 ・疲労耐久性 ・使用目的との適合性	リブ接合部の構造	床版との一体化が図れる構造とする必要がある。	楽とスラブの投合となり、遠示に示される構造報目に挙ずる。	道示の準用	
の接合部		・・疲労耐久性・・使用目的との適合性	リブ接合部の応力度	発生応力腹の算出方法や補強方法が不明確である.	FEM解析により得た応力度をコンクリートに有筆なひび副れが発生しないレベルに抑え、ひび副れを制御する 終節を配置する。		
		・使用目的との適合性	主桁の有効幅	剛性の高いプグを上方向に参照研で配置されるため、主桁の特効幅の考え方に影響が生じないか、主方向の括 抗節面にリブが等しないかが接置として考えられる。	FEM解析の床版応力股を用いて、特効機を確認するとともに、リブの設置が主桁応力に改ぽす影響を確認する。	検証事例	
井	主桁を構成する一部材としての課 題	・構造の安全性 ・使用目的との適合性	・プレストレスの伝達	リブを配置することで生力向のブレストレス力が断面が向に分散する可能性も考えられ、その伝達の影響につい ても解談する必要がある。	FEM解析を用いて、リブの設置がプレストレス分布に及ぼす影響を確認する。	検証事例	
		· 構造安全性 · 疲労耐久性 · 使用目的との適合性	床版横締めPC鋼材のブレストレスカ	リンを記載することによって来版対面方向の指示部間が強みること、来版水面方向の著在遊形がリンにが来されることが最大されるため、顕像を繋げる。	FEMWH布を用いて、リブの投票が採売プレストレス分布に改算す影響を確認する。	検証事例	

- 1) 床版部材について
- 1-1) 道示における設計曲げモーメント算出式の適用出来ないことに対する課題
- 1-1-1) リブで支持された床版の設計断面力の算出方法

関連する道示の規定

[道示 7.4 床版の設計曲げモーメント]

[道示 7.4.2 床版の設計曲げモーメント]

(1) B活荷重で設計する橋においては, T荷重(衝撃を含む)による床版の単位幅(1m) あたりの設計曲げモーメントは,表-7.4.1に示す式で算定するものとする。ただし,・・・・ 割り増し係数を乗じた値とする。

表-7.4.1 T荷重(衝撃を含む)による床版の単位幅(1m)あたりの設計曲げモーメント (kN·m/m)

版の	曲げ	抽	1	7)支間の 方向(注)	車両進行フ	方向に直角	車両進行フ	方向に平行
区分	モーメントの 種 類	構造	適用範	\	fモーメン トの方向	支間方向	支 間 に 直角方向	支間方向	支間に 直角方向
単純	支間曲げ	RC	0	1	4	+ (0.12]	+ (0.10/	+ (0.221	+ (0.06/
版	モーメント	PC	0	1	6	+ 0.07)P	+0.04)P	+ 0.08) P	+ 0.06)P
連	支間曲げ	RC	0	I	4	+(単純版	+ (単純版	+ (単純版	+ (単純版
続	モーメント	PC	0	1	6	თ80%)	の80%)	Ø80%)	の80%)
	支点曲げ	RC	0	1	4	- (0.15 <i>1</i>	_	- (単純版	
版	モーメント	PC	0	1	6	+ 0.125)P		の80%)	
		RC	0	1	1.5	- P · 1			
片	支点曲げ		0	1	1.5	1.30/ + 0.25	_	- (0.71	_
持	モーメント	PC	1.5	<]	3.0	- (0.6 <i>I</i> - 0.22) <i>P</i>		+ 0.22) P	
版	先端付近曲 げ	RC	0	1	1.5		+ (0.15/		+ (0.16/
	モーメント	PC	0	1	3.0		+ 0.13) P	_	+ 0.07)P

ここに, RC: 鉄筋コンクリート床版

PC : プレストレストコンクリート床版

1 : 7.4.3に規定するT荷重に対する床版の支間(m)

P : 共通偏2.2.2に示すT荷重の片側荷重(100kN)

(注) 床版支間の方向は, 図-7.3.1による。

(1) 表-7.4.1 は , 表中の床版支間の範囲内で適用できるT荷重による設計曲げモーメントの計算式を示したものである。ここで<u>連続版の支点曲げモーメントについては , 支持げたの拘束条件がコンクリート橋と鋼橋では異なるため ,この影響を考慮している。</u>表-7.4.1 の連続版・・・・・設計曲げモーメントは表-7.4.1 によるものとしてよい。

技術的課題

リブ付き床版構造は,支持条件が道示式の前提条件と異なることや,主たる断面力が発生する方向や支間長が明確でなくなることから,床版の支持条件に応じた設計曲げモーメントの算出手法が設計手法上の課題となる。

性能評価の対応策

床版支持条件が異なっても、床版の支持条件を適切に再現できるモデルを設定し、荷重条件を同一にして理論値を算出すれば、道示のみなし仕様と同レベルの断面力が得られるものと考えられる。

【解説】

支持条件を適切に再現できるモデルとして,図-3.2に示すような3次元FEM解析が考えられる。3次元FEM解析は,実構造を忠実に再現できるモデルである反面,モデル化によって結果が異なることがあり,十分留意する必要がある。ここでは,リブ付き床版構造に特化した留意事項について以下に列挙する。

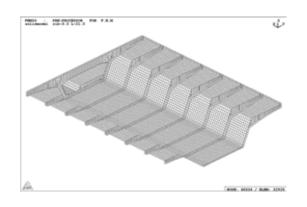


図-3.2 3次元 F E M 解析モデルの例

モデルの種類

リブ付き床版箱桁橋の解析モデルは,図-3.3 に示すようにソリッドモデルとシェルモデルが考えられる。ソリッドモデルは,実構造を忠実に再現でき,解析精度は高い手法と判断されるが,モデル作成に手間を要する。逆にシェルモデルは,ソリッドモデルに比べればモデル作成は容易であるが,部材間の結合条件やリブ部材をどのようにモデル化するのかなどに留意する必要がある。また,リブ材をシェル要素にすることによって,線支持となるため床版の断面力がリブ直上で過大に評価される。従って,上記の懸念される課題を取り除き,床版やリブそして接合部への応力度を適切に評価出来るモデルとしては,ソリッドモデルが適していると考えられる。1-1-1, 1-1-2, 1-1-3)

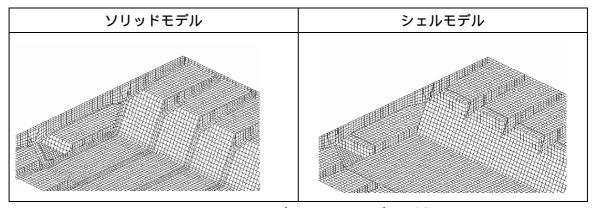


図-3.3 ソリッドモデルとシェルモデルの例

その他

メッシュ分割,モデル長の長さ,支持条件等の留意点は2 広幅員一室箱桁構造 に準ずる。

【検証事例 : 3次元FEM解析を用いたリブ付き床版の活荷重による断面力の算出方法**】**

[参考文献]

- 1-1-1) 岩立,藤島,横山,中山:第二東名高速道路 大平高架橋 ~ リブ付き床版の設計~,プレストレストコンクリート技術協会第 10 回シンポジウム論文集(2000 年 10 月)
- 1-1-2) 黒岩,後藤,多田,梅田:瀬戸川橋の設計・施工について,プレストレストコンクリート技術協会第 10 回シンポジウム論文集(2000 年 10 月)
- 1-1-3) 川除,鈴木,徳川,菅野:常滑高架橋の設計・施工,プレストレストコンクリート技術協会第 14 回シンポジウム論文集(2005 年 11 月)

1-2) 床版の支持条件が従来と異なることに対する課題

1-2-1) 床版の最小全厚

関連する道示の規定

[道示 7.3 床版の厚さ]

[道示 7.3.2 プレストレストコンクリート床版]

- (1) プレストレストコンクリート床版の厚さは,安全性,耐久性及び施工性を有するように決定するものとする。
- (2) (3)および(4)による場合は,(1)を満足するとみなしてよい。
- (3) 車道部分の床版の最小全厚は,次の規定によるものとする。なお,片持版の最小全厚とは,支持げたのウエブの前面における厚さをいう。
 - 1) 車道部分の床版の全厚は,いかなる部分も160mmを下まわらないものとする。
 - 2) 片持版の床版先端の厚さは ,1)の規定のよるほか ,表-7.3.1 の片持版の最小全厚の 50% 以上とするものとする。
 - 3) 床版の 1 方向のみにプレストレスを導入する場合の車道部分の最小全厚は , 1) 及び 2) の規定によるほか , 表-7.3.2 の値とするものとする。

表-7.3.2 床版の1方向のみにプレストレスを導入する場合の車道部分の最小全厚(mm)

床版の支間の方向 プレストレ (注) スを導入する方向	車両進行方向に直角	車両進行方向に平行
床版の支間に方向に平行	表-7.3.1の床版の支間の 方向が車両進行方向に直 角な場合の値の90%	表-7.3.1の床版の支間の 方向が車両進行方向に平 行な場合の値の65%
床版の支間に方向に直角	表-7.3.1の床版の支間の 方向が車両進行方向に直 角な場合の値	表-7.3.1の床版の支間の 方向が車両進行方向に平 行な場合の値

(注) 床版の支間の方向は図-7.3.1による。

(1) プレストレストコンクリート床版の最小全厚の決定にあたっては,鉄筋コンクリートと同様,実際の挙動を反映できる輪荷重走行試験及び解析により安全性を照査することが望ましい。しかし,プレストレストコンクリート床版は一般的に鉄筋コンクリート床版に比べて疲労耐久性を有するため,疲労耐久性のみみ着目すると,最小全厚をかなり小さくすることが可能と判断してしまうおそれがある。

この結果,最小全厚を極端に薄くしてしまうと,・・・・・二次応力の発生が考えられる。 また,・・・・クリープ乾燥収縮の影響を受けやすくなる。したがって,・・・・これらを 考慮しなければならない。

リブによって支持された床版構造は,支持条件が道示の前提条件と異なることや,主たる断面 力が発生する方向や支間長が明確でないため,床版支持条件が異なる場合の最小全厚の設定が課 題となる。

性能評価の対応策

2 広幅員一室箱桁 同様,道示の最小厚が,床版の曲げ引張応力を抑えるように規定されていることから,床版の応力度を指標として,床版厚を設定する方法が考えられる(2 広幅員一室箱桁 2-1)の章を参照。

[検証事例: 広幅員一室箱桁の検証事例: 床版の最小全厚の設定方法]

1-2-2) 床版のコンクリート応力度の許容値

関連する道示の規定

[道示 3.2 コンクリートの許容応力度]

(2) プレストレストコンクリート構造に対するコンクリートの許容引張応力度は ,表-3.2.3 の値とする。

また、従荷重及び従荷重に相当する特殊荷重を・・・・適切に定めなければならない。

応力度の	—————————————————————————————————————	コンクリートの設計基準強度	30	40	50	60
	1)プレストレ	ッシング直後	1.2	1.5	1.8	2.0
	2)活荷重及ひ	「衝撃以外の主荷重	0	0	0	0
曲げ引張 応力度	主荷重及び主 荷重に相当す る特殊荷重	3) 床版	0	0	0	0
		4) プレキャストセグメント橋に おけるセグメント継ぎ目	0	0	0	0
		5) その他の場合	1.2	1.5	1.8	2.0
6) 軸引引	6) 軸引張応力度			0	0	0

表-3.2.3 プレストレストコンクリート構造に対する許容引張応力度(N/mm²)

(2) 従来のプレストレストコンクリート構造は,部材断面にある程度の引張応力が生じることを 許容し,6.5 に規定する引張鉄筋を配置することにより,じん性に富んだ部材を設計することに している。ただし,ある程度プレストレスを多めに導入しておくことにより,ひび割れに対す る安全度を高めるため許容引張応力度を小さめに定めている。

表-3.2.3 の 2)は,・・・・である。また,<u>表-3.2.3 の 3)は,床版がひび割れにより損傷するのを防ぐためにプレストレスの方向に引張応力を生じさせないための規定であり,床版を設</u>計する場合の規定である。また,・・・・・・用いなければならない。

技術的課題

リブによって支持された床版構造は,支持条件が道示の前提条件と異なることや,主たる断面力が発生する方向や支間長が明確でないため,床版支持条件が異なる場合のコンクリート応力度の許容値設定が課題となる。

性能評価の対応策

床版支持条件が異なった場合でも,1-1-1),1-2-1)による適切な断面力算出と床版厚の設定を行い,現行道示の規定を準用してフルプレストレスに抑えることとすれば,従来PC床版と同レベルの耐久性を確保できるものと考えられる。

【解説】

P C 床版においてプレストレスの導入方向に引張応力を発生させないよう規定することにより, 床版にひび割れを発生させないようにし,高い耐久性を確保するためのみなし仕様としている。したがって,床版支持条件が異なった場合でも,フルプレストレスに抑えることで,従来P C 床版と同レベルの耐久性を確保できるものと考えられる。

1-2-3) 床版の鉄筋応力度の許容値

関連する道示の規定

[道示 3.3 鉄筋の許容応力度]

鉄筋コンクリート構造及びプレストレストコンクリート構造に対する鉄筋の許容応力度は,直径 32mm 以下の鉄筋に対して表-3.3.1 の値とする。

応力]度,部材の種類	鉄筋の種類	SR235	SD295A SD295B	SD345
	1)活荷重および衝撃以	外の主荷重	80	100	100
引	2)荷重の組合せに衝 突荷重又は地震の 影響を考慮しない	一般の部材	140	180	180
張応	場合の許容応力度 の基本値	床版及び支間長10m 以下の床版橋	140	140	140
力度	3)荷重の組合せに衝突を考慮する場合の許		140	180	200
	4)鉄筋の重ね継手長又場合の許容応力度の	140	180	200	
5)日	E縮応力度		140	180	200

表-3.3.1 鉄筋の許容引張応力度(N/mm²)

2) 荷重の組合せに衝突又は地震の影響を考慮しない場合の許容応力度は,・・・・・定めたものである。ここで,床版及び支間長 10m以下の床版橋の場合は,活荷重による応力変動幅が大きく,しかも繰返し荷重が多いことから,一般の部材に比べて非常に苛酷な荷重状態にさらされており,有害なひび割れが発生する可能性が高いと考えられる。さらに,このようなひび割れが荷重の繰返し載荷により大きくなり,コンクリートのはく離等に進展するのを避けるために,鉄筋の許容応力度を一般の部材に対して規定した値より低減した。さらにこの観点から,鉄筋コンクリート床版の鉄筋については,140N/mm²の許容応力度に対し 20N/mm²程度余裕を持たせるのが望ましい。

技術的課題

リブによって支持された床版構造は,支持条件が道示の前提条件と異なることや,主たる断面力が発生する方向や支間長が明確でないため,床版支持条件が異なる場合の鉄筋応力度の許容値設定が課題となる。

性能評価の対応策

鉄筋の許容応力度についても,1-2-2)と同様に,1-1-1),1-2-1)による適切な断面力算出と床版厚の設定を行い,現行道示に示す鉄筋の許容応力度の値を準用すれば,従来PC床版と同等と見なせるものと考えられる。

1-2-4) 疲労耐久性

関連する道示の規定

[道示 7.2 設計一般]

- (1) 床版の設計においては,直接支持する活荷重等の影響に対して安全なようにするほか,以下の1),2)の規定を満足するものとする。
 - 1) 荷重等に対して,疲労耐久性を損なう有害な変形を生じないようにするものとする。
 - 2) 自動車等の繰返し通行に対して,疲労耐久性が損なわれないようにする。
- (2) 7.3 から 7.5 によるプレストレストコンクリート床版及び設計基準強度 24N/mm²以上のコンクリートを用いた鉄筋コンクリート床版は,(1)を満足するとみなしてよい。
- (1) 床版が直接支持する活荷重等の影響に対する安全性は,床版の基本的な性能であり,これを満足する他,特に大型の自動車の繰返し通行に対して耐久性を損なわないようにするものとした。

床版の活荷重等の・・・・考慮する必要がある。

床版の有害な変形は,疲労耐久性に大きな影響を及ぼすコンクリート部材のひび割れの発生 等のおそれがある。したがって,疲労耐久性を損なうような有害な変形を生じないようにする 必要がある。

鉄筋コンクリート床版の・・・・経緯をたどる。

以上のように, <u>コンクリートを主体とする床版の破壊メカニズムは, 複雑であり設計計算による疲労耐久性の照査は困難であるが, 鉄筋の許容応力度の低減や床版厚の増加, 床版支間の</u>制限や・・・・・をすることが必要である

- (2) プレストレストコンクリート床版及び設計基準強度 24N/mm²以上のコンクリートを用いた鉄筋コンクリート床版で,・・・・・。これは,最小全厚を満足し,7.4による設計曲げモーメントにより床版を設計する場合は,活荷重によるせん断破壊に対して十分安全であるため,一般にせん断力に対する検討を省略できるものとしたものである。しかし,施工時に大きな荷重を受ける場合等では,十分な検討をすることが望ましい。
 - (2)に示す 道示 7.3 から 7.5 の題目のみ以下に示す。

7.3 床版厚さ	7.3.1	鉄筋コンクリート床版
7.3 体似字C	7.3.2	プレストレストコンクリート床版
	7.4.1	一般
7.4 床版の設計曲げモーメント	7.4.2	床版設計曲げモーメント
	7.4.3	床版の支間
	7.5.1	床版と支持げたの結合
7.5.排洗师口	7.5.2	鉄筋の種類及び配筋
7.5 構造細目	7.5.3	PC鋼材の配置
	7.5.4	片持版端部及び横げた上の床版

リブによって支持された床版構造は,支持条件が道示の前提条件と異なるため,床版厚を変化させた場合に大型の自動車による影響,たわみおよび振動の変形による二次応力の発生が懸念される。よって,これまでのみなし仕様がそのまま準用できない場合,疲労耐久性についてその検証方法が課題となる。

性能評価の対応策

1-1-1), 1-2-1) ~ 1-2-3) による適切な断面力算出手法,床版の最小全厚,コンクリートおよび鉄筋の許容応力度の検証を行うことにより,疲労耐久性は確保できるものと考えられる。

【解説】

コンクリート床版の破壊メカニズムは,複雑であり設計計算による疲労耐久性の照査は困難である。断面力と床版厚を適切に設定し,床版応力度をフルプレストレスに抑えてひび割れを発生させないようにすれば,道示のみなし仕様により設計された従来PC床版と同等レベルと考えることができる。よって,道示 7.2(2)のみなし仕様に準じた床版の設計により,疲労耐久性を担保しているのが多くの現状である。

これらみなし仕様に準じて設計された床版の中でもPC床版については,実橋においても著しい 損傷の報告はこれまでに無く,また,輪荷重走行試験においても高い耐久性が確認されている。

[検証事例 : 3次元FEM解析を用いたリブ付き床版の活荷重による断面力の算出方法]

[広幅員一室箱桁の検証事例 : 床版の最小全厚の設定方法]

1-2-5) 使用目的と適合性(鉛直曲げ剛性の確保,活荷重のたわみ)

関連する道示の規定

[道示 7.2 設計一般]

- (1) 床版の設計においては,直接支持する活荷重等の影響に対して安全なようにするほか, 以下の1),2)の規定を満足するものとする。
 - 1) 荷重等に対して,疲労耐久性を損なう有害な変形を生じないようにするものとする。
 - 2) 自動車等の繰返し通行に対して,疲労耐久性が損なわれないようにする。
- (2) 7.3 から 7.5 によるプレストレストコンクリート床版及び設計基準強度 24N/mm²以上のコンクリートを用いた鉄筋コンクリート床版は,(1)を満足するとみなしてよい。
- (1) 床版が直接支持する活荷重等の影響に対する安全性は,床版の基本的な性能であり,これを満足する他,特に大型の自動車の繰返し通行に対して耐久性を損なわないようにするものとした。

床版の活荷重等の・・・・考慮する必要がある。

床版の有害な変形は,疲労耐久性に大きな影響を及ぼすコンクリート部材のひび割れの発生 等のおそれがある。したがって,疲労耐久性を損なうような有害な変形を生じないようにする 必要がある。

鉄筋コンクリート床版の・・・・経緯をたどる。

以上のように,<u>コンクリートを主体とする床版の破壊メカニズムは,複雑であり設計計算による疲労耐久性の照査は困難であるが,鉄筋の許容応力度の低減や床版厚の増加,床版支間の</u>制限や・・・・・をすることが必要である

(2) プレストレストコンクリート床版及び設計基準強度 24N/mm²以上のコンクリートを用いた 鉄筋コンクリート床版で,・・・・・。これは,最小全厚を満足し,7.4による設計曲げモーメ ントにより床版を設計する場合は,活荷重によるせん断破壊に対して十分安全であるため,一 般にせん断力に対する検討を省略できるものとしたものである。しかし,施工時に大きな荷重 を受ける場合等では,十分な検討をすることが望ましい。

[道示 7.3. 床版厚さ]

[道示 7.3.2 プレストレストコンクリート床版]

- (1) プレストレストコンクリート床版の厚さは,安全性,耐久性および施工性を有するように決定するものとする。
- (2) (3)及び(4)による場合は,(1)を満足するとみなしてよい。
- (3) 床版部分の床版最小厚は,次の規定によるものとする。なお,・・・・・・。
 - 1) 車道部分の床版の全厚は,いかなる部分も160mmを下まわらないものとする。
 - 3) 床版の方向のみにプレストレスを導入する場合の車道部分の最小全厚は 1)及び 2)の規定によるほか,表-7.3.2の値とするものとする。

床版の支間の方向 プレストレスを 導入する方向	車両進行方向に直角	車両進行方向に平行				
床版の支間に方向に平行	表-7.3.1 の床版の支間の方 向が車両進行方向に直角な 場合の値の 90%	表-7.3.1 の床版の支間の方 向が車両進行方向に平行な 場合の値の 65%				
床版の支間に方向に直角	表-7.3.1 の床版の支間の方 向が車両進行方向に直角な 場合の値	表-7.3.1 の床版の支間の方 向が車両進行方向に平行な 場合の値				

表-7.3.2 床版の1方向のみにプレストレスを導入する場合の車道部分の最小全厚

(1) プレストレストコンクリート床版の最小厚さの決定に当たっては,・・・・実際の挙動を反映出来る輪荷重走行試験及び解析により安全性を確認することが望ましい。しかし,プレストレストコンクリート床版は一般的に鉄筋コンクリート床版に比べて疲労耐久性を有するため,疲労耐久性のみに着目すると,最小全厚をかなり小さくすることが可能と判断するおそれが生じてしまうおそれがある。

「道示 7.4 床版の設計曲げモーメント]

「道示 7.4.1 一 般]

- (1) 床版の設計曲げモーメントは,支持形式,床版支間方向と車両進行方向,鋼材の配置方向及び床版の形式を考慮して算出するものとする。
- (2) 辺長比が 1:2以上の床版で 7.4.2 及び 7.4.3 の規定による場合は,(1)を満足するとみなしてよい。
- (2) 従来の2方向性版といわれていた辺長比1:2未満の床版についてはその実例が少ないことから,適用の範囲を辺長比1:2以上のいわゆる1方向版について規定した。

リブによって支持された床版構造は,支持条件が道示の前提条件と異なるため,リブと床版, リブとウエブとの接合部の荷重伝達機構を確保するための補強方法,鉛直曲げ剛性が確保できる 床版の最小全厚の設定方法,および活荷重のたわみ量の確認が課題となる。

性能評価の対応策

1-2-1)による適切な最小全厚を設定することにより、従来PC床版と同様の鉛直曲げ剛性を確保できる。また、接合部の荷重伝達機能、鉛直曲げ剛性の確保、活荷重によるたわみ等の検証を行うことにより、使用目的との適合性は確保できるものと考えられる。

【解説】

床版が直接支持する活荷重等の影響に対する安全性は,床版の基本的な性能であり,これを満足する他,とくに大型の自動車の繰り返し通行に対して耐久性を損なわないようにするものとした。 道示 7.2 では,プレストレストコンクリート床版及び設計基準強度が24N/mm²以上のコンクリートを用いた鉄筋コンクリート床版で,道示 7.3 に規定する床版の厚さを満足し,道示 7.4 による設計曲げモーメントにより床版を設計する場合は,活荷重によるせん断破壊に対して十分安全であるとしている。

これらみなし仕様に準じて設計された床版の中でもPC床版については,実橋においても著しい 損傷の報告はこれまでに無く,また,輪荷重走行試験においても高い耐久性が確認されている。

また,以下の性能評価の対応策を検証することにより,使用目的との適合性は確保できるものと考えられる。

接合部の荷重伝達機能

床版とリブ,床版とウエブ,そしてリブとウエブの接合部の応力度は,1-1-1)に示すFEM解析による手法を用いれば,直接その応力度を確認できる。リブから伝達される断面力によりウエブ等への応力度の影響も考えられるが,ウエブ厚さの見直しや補強リブの設置により対処することによって荷重伝達機能が確保出来る。

鉛直曲げ剛性の確保

1-2-1)により,適切な最小全厚を設定することにより,従来PC床版と同様の鉛直曲げ剛性を確保できる。また,リブ部材のひび割れによって床版全体の鉛直曲げ剛性が低下することも考えられるが,解析によりリブの応力度を制御し,有害なひび割れが発生しないことを確認できればよい。

活荷重によるたわみ

1-1-1)に示す F E M解析を用いて,活荷重によるたわみを確認する。(床版支間が大きくなってもリブで支えられたコンクリート床版は剛性が大きく,活荷重によるたわみは小さいため,問題にならない程度と考えられる)

[広幅員一室箱桁の検証事例:床版の最小全厚の設定方法]

- 2) リブ部材について
- 2-1) 道示における設計曲げモーメント算出式の適用出来ないことに対する課題
- 2-1-1) リブの構造・形状選定

関連する道示の規定

[道示 6.3 構造及び部材寸法]

- (1) ウエブ,横げた及び隔壁の厚さは,鉄筋,PC鋼材(シースを含む)及びPC鋼材の 定着具が無理なく配置でき,所定のかぶりが十分にとれるものとする。また,コンクリートの打込みが困難とならないようにするものとする。
- (2) 部材の接合部等応力が集中しやすい部位は,応力の伝達が円滑に行われる形状とするものとする。
- (3) (4)及び(5)による場合は(1)を,(6)及び(7)による場合は(2)を満足するとみなしてよい。
- (4) ウエブの厚さは表-6.3.1の値以上とする。

表-6.3.1 ウエブの最小厚さ (mm)

けたの種類	ウエブ最小厚さ
場所打ち鉄筋コンクリートげた	250
場所打ちプレストレストコンクリートげた	140
プレキャストげた	130

- (5) 横げた及び隔壁の最小厚さは 200mm とするものとする。
- (6) ウエブ及びフランジの厚さを変化させる場合には ,1/5 よりゆるい傾斜とすることが望ましい。
- (7) 部材の部材等の応力等が集中しやすい部位には,ハンチを設けるものとする。
- (7) ラーメン部材の接合部や、検査、配管のための開口部等の応力集中を引き起こすと予想される箇所には、ハンチ部を設けることを原則とする。

また,箱げた等で,ウエブとフランジの厚さが大きく異なるような場合は,その接合部付近に,温度変化,乾燥収縮,クリープ等により,ひび割れが発生することがあるので,相互に接合する部材の厚さが著しく不均等にならないように,部材間の厚さのつり合いについても注意する必要がある。

[道示 7.5 構造細目]

[道示 7.5.1 床版と支持げたの結合]

- (1) 床版と支持げたとの結合部は,応力が円滑に伝わるような構造とするものとする。
- (2) (3)から(5)による場合は,(1)を満足するとみなしてよい。
- (3) 床版には,支持げた上でハンチを設けるものとする。
- (4) 床版のハンチの傾斜は,1:3よりゆるやかにするのが望ましい。1:3よりきつい場合は,図-7.5.1に示すように1:3までの厚さを床版として有効な断面とみなすものとする。

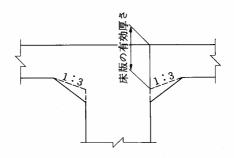


図-7.5.1 ハンチ部の床版の有効高さ

- (5) ハンチには,その内側に沿って鉄筋を配置することを原則とするものとする。ハンチに沿う鉄筋の直径は13mm以上とする。(図-6.6.6 参照)
- (3) 床版のハンチは,床版と支持げたに応力をなめらかに伝えるために設けるものである。

技術的課題

リブは梁部材として床版を支持し,床版と共に荷重を支える構造のため,リブの配置間隔,そして配置形状・剛性の違いよって床版に発生する断面力が大きく異なると考えられる。また,床版支間方向にリブ直上とリブ間の床版応力度に違いも生じてくる。よって,その配置形状をどのように選定していくのかが課題となる。

性能評価の対応策

リブは梁部材として床版を支持し,床版と共に荷重を支持する構造であり,そのリブの配置間隔,配置形状・剛性の違いよって,床版の断面力が大きく異なる。リブの配置間隔およびリブの形状寸法(部材幅,部材高さ)を適切に設定する必要がある。

【解説】

リブの配置間隔およびリブの形状寸法(部材幅,部材高さ)を設定する際の検討項目として,以下が考えられる。

- ・ 床版に発生する応力度を 1-2-2) , 1-2-3) に示す程度に抑える。
- ・ リブ直上とリブ間の床版応力度に大きな差が生じないよう,同等程度に抑える。
- ・ リブ自体にも有害なひび割れが発生しないように所定の応力度に抑えるか,鉄筋により補強 する。
- ・ リブからウエブ等に伝達される応力度を有害なひび割れが発生しないように所定の応力度に 抑える。

また,リブ付き床版は,床版に作用する荷重がリブを介してウエブにも伝達されるためウエブに も大きな断面力が伝達されることから,図-3.4のような支持構造が考えられる。²⁻¹⁻¹⁾

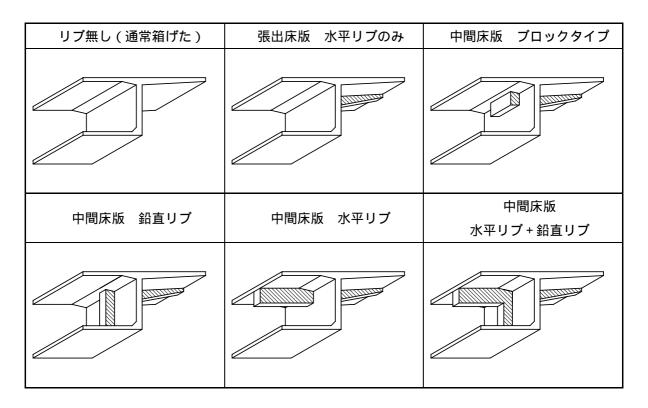


図-3.4 リブ支持構造の事例

実際に施工された橋梁として,図-3.5 に示すように床版支間内の補強リブや,ウエブ内側に補強リブを設置した事例がある。2-1-1),2-1-2),2-1-3),2-1-4)

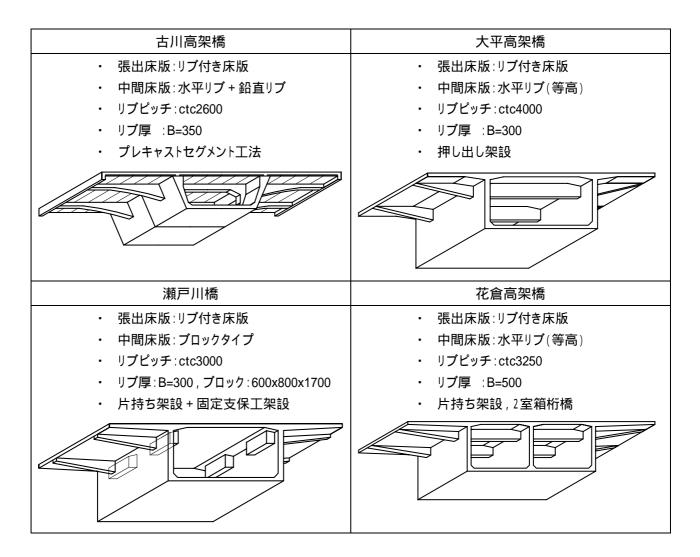


図-3.5 実橋におけるリブ構造の事例

[検証事例 : リブの形状寸法の設定方法]

[参考文献]

- 2-1-1) 岩立,藤島,横山,中山:第二東名高速道路 大平高架橋 ~ リブ付き床版の設計~,プレストレストコンクリート技術協会第 10 回シンポジウム論文集(2000 年 10 月)
- 2-1-2) 黒岩,後藤,多田,梅田:瀬戸川橋の設計・施工について,プレストレストコンクリート技術協会第10回シンポジウム論文集(2000年10月)
- 2-1-3) 池田,太田,室田,春日:古川高架橋(工場製プレキャスト)の設計,プレストレストコンク リート技術協会第 10 回シンポジウム論文集(2000 年 10 月)
- 2-1-4) 中塚,青木,千国,油野:リブ付き床版構造を採用したPC箱桁橋の設計 -第二東名高速道路 花倉高架橋(下り),プレストレストコンクリート技術協会第 15 回シンポジウム論文集(2006 年 10 月)

2-2) 床版の支持条件が従来と異なることに対する課題

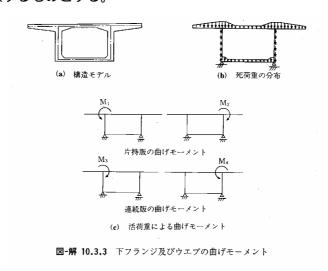
2-2-1) リブの設計断面力の算出方法

関連する道示の規定

[道示 10.3 構造解析]

- (4) 横方向の設計
 - 1) 下フランジ及びウエブの断面力は,箱げたをウエブ及び上下フランジにより構成されるラーメン構造とみなしてよい。
 - 2) 傾斜ウエブ及び補強リブを有する箱げた橋における下フランジ及びウエブの断面力は,ウエブの傾斜及び補強リブの影響を考慮して求めてよい。
- (4) 1) <u>下フランジ及びウエブの断面力は,図-解10.3.3 に示すように,橋軸方向に1mの奥行きを有する箱形ラーメン構造にモデル化して算出しても,実用上十分な精度の解が得られるので,一般にこの方法によって求めてよい。</u>

<u>この場合</u>,活荷重による曲げモーメントは,上フランジについては,表-7.4.1により求めるものとする。また,ウエブ及び下フランジについては,・・・・最も不利となる組合せを考慮するものとする。また,上フランジにプレストレスを導入する場合は,プレストレス力による不静定力の影響を考慮するものとする。



技術的課題

リブの配置間隔,配置形状・剛性の違いよって,床版及びリブに生じる断面力が大きく異なる。さらにウエブや下床版にもリブからの断面力の影響を受けることから,単純な箱桁ラーメン構造と見なすことが出来ない。よって,リブに生じる断面力も床版同様にその算出方法が設計上の課題となる。

性能評価の対応策

リブの配置・形状が異なっても,リブを適切に再現できるモデルを設定し,荷重条件を同一にして理論値を算出すれば,床版部材と同様にリブ部材に発生する断面力を直接確認することが出来る。

【解説】

リブ配置,リブ形状,床版の支持条件,そして各部材との結合条件を適切に再現できるモデルとして,図-3.6に示すような3次元FEM解析が考えられる。

3次元FEM解析は,実構造を忠実に再現で きるモデルである反面,モデル化によって結果 が異なることがあり,十分留意する必要がある。

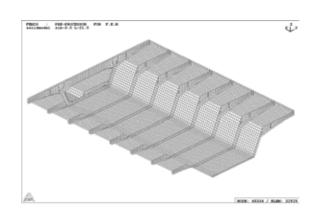


図-3.6 3次元 F E M解析モデルの例

[検証事例:3次元FEM解析を用いたリブ付き床版の活荷重による断面力の算出方法]

2-2-2) リプに発生する発生応力度の制限

関連する道示の規定

[道示 3.2 コンクリートの許容応力度]

(2) プレストレストコンクリート構造に対するコンクリートの許容引張応力度は ,表-3.2.3 の値とする。

また、従荷重及び従荷重に相当する特殊荷重を・・・・適切に定めなければならない。

表-3.2.3 プレストレストコンクリート構造に対する許容引張応力度(N/mm²)

応力度の種類	類	コンクリートの設計基準強度	30	40	50	60
	1) プレストレッ	シング直後	1.2	1.5	1.8	2.0
	2) 活荷重及ひ	衝撃以外の主荷重	0	0	0	0
曲げ引張	主荷重及び	3)床版	0	0	0	0
応力度	主荷重に相当する特殊	4) プレキャストセグメント橋 におけるセグメントの継ぎ目	0	0	0	0
	荷重	5) その他の場合	1.2	1.5	1.8	2.0
6) 軸引張応	力度		0	0	0	0

「道示 3.3 鉄筋の許容応力度]

鉄筋コンクリート構造及びプレストレストコンクリート構造に対する鉄筋の許容応力度は,直径 32mm 以下の鉄筋に対して表-3.3.1 の値となる。

表-3.3.1 鉄筋の許容応力度(N/mm²)

応力度、部材の種類		鉄筋の種類	SR235	SD295A SD295B	SD345
1) 活荷	重及ぶ衝撃以外の)主荷重	80	100	100
2) 活荷i 引 突荷	重の組合せに衝 重又は地震の影	一般部材	140	180	180
応 許容	考慮しない場合の 応力度の基本値	床版及び支間長10m 以下の床版橋	140	140	140
	の組合わせに衝突 慮する場合の許容	荷重又は地震の影響 応力度の基本値	140	180	200
	の重ね継ぎ手長又 の鉄筋応力度の基	は定着長を算出する 基本値	140	180	200
5) 圧縮応力度			140	180	200

[道示 4.1 総則]

- (1) 部材の照査は,(2)の規定にしたがって断面力を算出し,4.2 から 4.6 の規定にしたがって行うものとする。
- (1) 従来,荷重に対する部材の設計計算は,安全度を確保できる部材断面及び必要鋼材量を算出する規定となっていた。これに対して,本改訂では,部材が荷重に対して所要の性能を有するか否かの照査を行うという規定に定めている。すなわち,曲げモーメント,軸方向力,せん断力,ねじりモーメントといった断面力に対して,設計荷重作用時には2.2(2)に規定する荷重の組合せにより部材断面に生じる鉄筋やコンクリートの応力度が許容応力度以下であることを照査することにより,また,終局荷重作用時には2.2.(3)に規定する荷重組合せにより部材断面に作用する設計断面力が断面耐力以下であることを照査することにより,所要の性能を満足するものとみなせるとしたものである。

ここで,設計荷重作用時の照査は,鉄筋コンクリート構造及びプレストレストコンクリート構造に応じて,表-解 4.1.1 に示すようにコンクリート応力度,鉄筋応力度等の項目に対して行う。また,終局荷重作用時の照査は,全ての部材の構造区分について,表-解 4.1.1 に示す項目に対して行う。

荷重状態及び	が断面力の種類	鉄筋コンクリート構造	プレストレストコンクリート構造
設計荷重作 用 時	曲げモーメ ント か か が が が が り り し り り り り り り り り り り り り り	コンクリート縁応力度 許容圧縮応力度 軸方向鉄筋応力度 許容圧縮,引張応力度 許容圧縮,引張応力度 斜引張鉄筋応力度 許容引張応力度 (コンクリートせん断応力度 負担せん断応力度)	P C 鋼材応力度 許容引張応力度 (軸方向鉄筋応力度 許容引張応力度) コンクリート斜引張応力度
終局荷重	曲げモーメ ント又は軸 方向力	設計断面力 断面耐力(私	皮壊抵抗曲げモーメント)
作用時	せん断力又 はねじりモ ーメント		ートの圧壊に対する断面耐力 皮壊に対する断面耐力

表-解 4.1.1 コンクリート上部構造の荷重に対する構造部材の主な照査項目

[道示 7.2 設計一般]

- (1) 床版の設計においては,直接支持する活荷重等の影響に対して安全なようにするほか, 以下の1),2)の規定を満足するものとする。
 - 1) 荷重等に対して,疲労耐久性を損なう有害な変形を生じないようにするものとする。
 - 2) 自動車等の繰返し通行に対して,疲労耐久性が損なわれないようにする。
- (2) 7.3 から 7.5 によるプレストレストコンクリート床版及び設計基準強度 24N/mm²以上のコンクリートを用いた鉄筋コンクリート床版は,(1)を満足するとみなしてよい。

道示でも「梁部材」と「床版部材」ではその許容値の設定が異なるように,リブに発生するコンクリート応力度をどの部材の制限値に準じ,どの程度に制御するのかが課題となる。

リブの構造種別	リブに発生する応力度の課題
D.C.提进	鉄筋引張応力はどの部材の制限値に準じるのか
RC構造	鉄筋量等の構造細目もどの部材の制限値に準じるのか
P C 構造	引張応力度をどの部材の制限値に準じるのか。

そして,曲げに対する検討だけでなく,せん断に対する補強方法も道示の梁部材としての設計 手法に準じても問題ないか課題となる。

性能評価の対応策

リブは,床版を支える梁部材と考えられるため,道示に示す梁部材の曲げ応力度の許容値以内に抑えられればよいと考えられる。また,せん断力に対する補強方法も道示に示す梁部材として適切に取り扱うことで,性能が確保されると考えられる。

【解説】

道路橋示方書の関連する記述として、以下の内容を準用する方法も考えられる。

[道示 3.2 (2)プレストレストコンクリートの許容引張応力度]では

道示における P C 床版の許容応力度はフルプレストレスであり,床版がひび割れにより損傷するのを防ぐためにプレストレスの方向に引張応力を生じさせないこととしている。そのため,リプを P C 床版部材として取り扱う場合の許容応引張力度は 1-2-2) に準じることとなるが,P C 梁として考えた場合,その他部材と考えられることからコンクリートの許容引張応力度は,道示表-3.2.3 に示す値となる。

[道示 3.3 鉄筋の許容引張応力度]では

リブをRC構造とした場合の筋の許容曲げ引張応力度は,道示 表-3.3.1 準じる。この時一般部材の sa=180N/mm²に準じるか,それとも床版の一部と考え sa=140N/mm²の許容応力度に対し 20N/mm²程度余裕を持たせるのが望ましいか選定する必要がある。

[道示 7.2 設計一般]では

道示での通常 P C 床版では,7.3 に規定する床版の厚さを満足し,7.4 の規定による設計曲げモーメントにより床版を設計する場合は,せん断力に対する照査を省略できるとしている。

これらの内容を理解した上で、適切な許容値の設定を行う必要がある。

[検証事例:リブ本体の設計手法]

2-2-3) リブの疲労耐久性

関連する道示の規定

|[道示 4.2 曲げモーメント又は軸方向力が作用する部材の照査]

「道示 4.2.1 一般]

- (1) 曲げモーメント又は軸方向力が作用する部材の設計荷重作用時の照査は,4.2.3の規定により行うものとする。
- (2) 曲げモーメント又は軸方向力が作用する部材の終局荷重作用時の照査は,4.2.4の規定により行うものとする。

「道示 4.3 せん断力が作用する部材の照査]

[道示 4.3.1 一般]

- (1) せん断力が作用する部材の設計荷重作用時の照査は,4.3.3の規定により行うものとする。
- (2) せん断力が作用する部材の終局荷重作用時の照査は,4.3.4の規定により行うものとする。

[道示 6.3 構造及び部材寸法]

- (1) ウエブ,横げた及び隔壁の厚さは,鉄筋,PC鋼材(シースを含む)及びPC鋼材の 定着具が無理なく配置でき,所定のかぶりが十分にとれるものとする。また,コンクリートの打込みが困難とならないようにするものとする。
- (2) 部材の接合部等応力が集中しやすい部位は,応力の伝達が円滑に行われる形状とするものとする。

[道示 6.4 最小鋼材量]

- (1) 部材には,所要のじん性を確保する鋼材を配置するものとする。
- (2) 部材には,乾燥収縮や温度勾配等により,有害なひび割れが発生しないように鋼材を配置するものとする。
- (3) 各部材の鋼材は,4章の規定に基づき設計計算上必要とされる鋼材を配置する。

[道示 6.5 プレストレストコンクリート構造の引張鉄筋]

(1) プレストレストコンクリート構造では,計算上想定しないひび割れが生じた場合でも, その幅の拡大や集中を防ぐとともに,所要のじん性を確保するものとする。

[道示 7.2 設計一般]

- (1) 床版の設計においては,直接支持する活荷重等の影響に対して安全なようにするほか, 以下の1),2)の規定を満足するものとする。
 - 1) 荷重等に対して,疲労耐久性を損なう有害な変形を生じないようにするものとする。
 - 2) 自動車等の繰返し通行に対して,疲労耐久性が損なわれないようにする。
- (2) 7.3から7.5によるプレストレストコンクリート床版及び設計基準強度24N/mm²以上のコンクリートを用いた鉄筋コンクリート床版は,(1)を満足するとみなしてよい。

技術的課題

リブ付き床版は,リブによって床版を直接支持する部材であることや,将来の取り替えが困難であることから,耐久性に十分配慮する必要がある。また,床版を支える部材であることが前提条件であるため,床版に先行して破壊することを避けるべき部材と考えられる。そのため,十分な疲労耐久性を有しているかの検証方法が課題となる。

性能評価の対応策

リブ付き床版は,リブによって床版を支える部材であることが設計の前提条件であることから,床版より先にリブが先行して破壊しない構造が必要となる。リブに発生する応力度を床版応力度程度に抑えることによって,リブ付き床版の疲労耐久性は確保出来るものと考えられる。

【解説】

リブは,配置間隔とリブ形状を適切に設定し,求められた断面力より,部材の応力度を道示に示す許容値内に抑え,有害なひび割れを発生させないようにすれば,道示のみなし仕様により設計された床版および梁部材と同等レベルと考えられる。

道路橋示方書の関連する記述として、以下の内容を準用する方法も考えられる。

床版部材の一部と考えた場合 「道示 7.2 設計一般]

コンクリート床版の破壊メカニズムは複雑であり設計計算による疲労耐久性の照査は困難であるため,道示 7.2(2)のみなし仕様に準じた床版の設計に準じることにより,疲労耐久性を担保していると言う考え方ができる。

床版を支える梁部材として考えた場合[道示 4.2,4.3]

床版を支える梁部材としての記述は特に定められていないため、[道示 4.2,4.3]に従って部材の照査を行い、構造細目[道示 6.3~6.6]に示す規定に従うことで、梁部材としての疲労耐久性を担保すると言う考え方ができる。

- 3) リブと床版の接合部について
- 3-1) 床版の支持条件が従来と異なることに対する課題
- 3-1-1) リブ接合部の構造

関連する道示の規定

[道示 7.5 構造細目]

[道示 7.5.1 床版と支持げたの結合]

- (1) 床版と支持げたとの結合部は,応力が円滑に伝わるような構造とするものとする。
- (2) (3)から(5)による場合は,(1)を満足するとみなしてよい。
- (3) 床版には,支持げた上でハンチを設けるものとする。
- (4) 床版のハンチの傾斜は,1:3よりゆるやかにするのが望ましい。1:3よりきつい場合は,図-7.5.1に示すように1:3までの厚さを床版として有効な断面とみなすものとする。

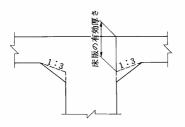


図-7.5.1 ハンチ部の床版の有効高さ

(5) ハンチには,その内側に沿って鉄筋を配置することを原則とするものとする。ハンチに沿う鉄筋の直径は13mm以上とする。(図-6.6.6 参照)

[道示 11.3 けたと床版の結合]

- (1) けたと床版間のずれ止めは、結合面に生じるせん断力に対して安全となるようにするものとする。
- (2) (3)から(8)による場合は,(1)を満足するとみなしてよい。
- (5) けたと床版の結合面におけるせん断応力度は,式(11.3.2)により算出するものとする。 なお,けたと床版の温度差の影響によるせん断応力度は,必要に応じて考慮するもの とする。

$$b = S \cdot Q / b \cdot I \cdots \vec{\mathbf{x}} (11.3.2)$$

- (6) ずれ止め鉄筋の直径は,13mm以上とするものとする。
- (7) ずれ止め鉄筋の中心間隔は 100mm 以上,かつ 500mm 以下とするものとする。
- (8) ずれ止め鉄筋の鉄筋量は,けたと床版の結合面の面積の 0.2%以上とするものとする。 なお,プレキャストげたのスターラップやフランジの鉄筋等をずれ止めとみなしても よい。

リブは,床版を支える梁部材であり,リブ接合部は床版との一体化が図れる構造である必要がある。よって,リブ接合部は「梁とスラブ」との接合部位と考え,道示に規定されたその構造細目に準じても問題ないか課題となる。

性能評価の対応策

接合部には局部的な応力を発生させないように、その接合構造には配慮した設計が必要である。

【解説】

リブ接合部は、「リブと床版」、「リブとウエブ」に分けられる。

リブと床版の接合部は,基本的には「梁とスラブ」の接合となるため,道示 7.5.1 及び 道示 11.3 に示すけたと床版の結合の規定に準用することと,道示 6.3~6.6 に示す構造細目の規定の準用することによって,一体化していると見なしてもよいと考えられる。

また,リブとウエブの接合部は,張出床版リブからの力の伝達によって,ウエブにその断面力が 伝達し,ウエブ内側に局部的な大きな引張応力度が作用する可能性があるため,「リブと床版」の 接合と同様に,その接合構造には配慮した設計が必要である。床版支間内の補強リブや,ウエブ内 側に補強リブを設置した事例(2-1-1)参照)もあるため,それらを参考にするとよい。

3-1-2) リブ接合部の応力度

関連する道示の規定

[道示 3.3 鉄筋の許容応力度]

鉄筋コンクリート構造及びプレストレストコンクリート構造に対する鉄筋の許容応力度は,直径 32mm 以下の鉄筋に対して表-3.3.1 の値となる。

鉄筋の種類 応力度、部材の種類		SR235	SD295A SD295B	SD345
引張応力度	1) 活荷重及ぶ衝撃以外の主荷重	80	100	100
	2) 活荷重の組合せに衝 突荷重又は地震の影響を考慮しない場合の 許容応力度の基本値以下の床版橋	140	180	180
		140	140	140
	3) 荷重の組合わせに衝突荷重又は地震の影響 を考慮する場合の許容応力度の基本値	140	180	200
	4) 鉄筋の重ね継ぎ手長又は定着長を算出する 場合の鉄筋応力度の基本値	140	180	200
5) 圧縮応力度		140	180	200

表-3.3.1 鉄筋の許容応力度(N/mm²)

[道示 7.5 構造細目]

[道示 7.5.1 床版と支持げたの結合]

- (1) 床版と支持げたとの結合部は,応力が円滑に伝わるような構造とするものとする。
- (2) (3)から(5)による場合は,(1)を満足するとみなしてよい。
- (3) 床版には,支持げた上でハンチを設けるものとする。
- (4) 床版のハンチの傾斜は,1:3よりゆるやかにするのが望ましい。1:3よりきつい場合は,図-7.5.1に示すように1:3までの厚さを床版として有効な断面とみなすものとする。

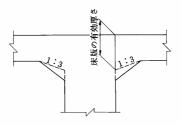


図-7.5.1 ハンチ部の床版の有効高さ

(5) ハンチには,その内側に沿って鉄筋を配置することを原則とするものとする。ハンチに沿う鉄筋の直径は13mm以上とする。(図-6.6.6 参照)

リブと床版, そしてリブとウエブ部における接合部では, リブからの伝達される断面力によって局部的な引張応力度が発生するおそれがある。しかしながら, 発生応力度の算出方法や補強方法が不明確であり, 課題となる。

性能評価の対応策

リブと床版,そして特にリブとウエブ部における接合部では,局部的な引張応力度が発生するおそれがある。従って,FEM解析によってコンクリートに有害なひび割れが発生しない応力度に抑え,ひび割れを制御する鉄筋を配置する事によって,道示で要求している接合部の耐久性を確保できるものと考えられる。

【解説】

リブと床版の接合部は,局部的な引張応力が発生しないように,道示 7.5.1 床版と支持げたの結合を参照すると共に 道示 6.3~6.6 に示す構造細目の規定の準用する。

そして,リブの結合に発生する鉄筋応力度の制限値は,以下の内容を準用する方法も考えられる。 [道示 3.3 表-3.3.1]

リブ接合部は通常RC構造となるため,鉄筋応力度を道示 表-3.3.1 に示す許容応力度以内に抑える。この時,リブ接合部の鉄筋引張応力度は,道示 表-3.3.1 に示す一般部材の sa=180N/mm² に準じるか,それとも床版の一部と考え sa=140N/mm²の許容応力度に対し 20N/mm²程度余裕を持たせるか選定する必要がある。

3-1-3) リブ接合部の疲労耐久性

関連する道示の規定

[道示 6.3 構造及び部材寸法]

- (1) ウエブ,横げた及び隔壁の厚さは,鉄筋,PC鋼材(シースを含む)及びPC鋼材の 定着具が無理なく配置でき,所定のかぶりが十分にとれるものとする。また,コンクリートの打込みが困難とならないようにするものとする。
- (2) 部材の接合部等応力が集中しやすい部位は、応力の伝達が円滑に行われる形状とするものとする。

[道示 6.4 最小鋼材量]

- (1) 部材には,所要のじん性を確保する鋼材を配置するものとする。
- (2) 部材には、乾燥収縮や温度勾配等により、有害なひび割れが発生しないように鋼材を配置するものとする。
- (3) 各部材の鋼材は,4章の規定に基づき設計計算上必要とされる鋼材を配置する。

|「道示 7.2 設計一般]

- (1) 床版の設計においては,直接支持する活荷重等の影響に対して安全なようにするほか,以下の1),2)の規定を満足するものとする。
 - 1) 荷重等に対して,疲労耐久性を損なう有害な変形を生じないようにするものとする。
 - 2) 自動車等の繰返し通行に対して,疲労耐久性が損なわれないようにする。
- (2) 7.3 から 7.5 によるプレストレストコンクリート床版及び設計基準強度 24N/mm²以上のコンクリートを用いた鉄筋コンクリート床版は,(1)を満足するとみなしてよい。

[道示 11.3 けたと床版の結合]

- (1) けたと床版間のずれ止めは,結合面に生じるせん断力に対して安全となるようにするものとする。
- (2) (3)から(8)による場合は,(1)を満足するとみなしてよい。
- (5) けたと床版の結合面におけるせん断応力度は,式(11.3.2)により算出するものとする。 なお,けたと床版の温度差の影響によるせん断応力度は,必要に応じて考慮するものと する。

$$b = S \cdot Q / b \cdot I \cdots \vec{3}(11.3.2)$$

- (6) ずれ止め鉄筋の直径は,13mm 以上とするものとする。
- (7) ずれ止め鉄筋の中心間隔は 100mm 以上,かつ 500mm 以下とするものとする。
- (8) ずれ止め鉄筋の鉄筋量は,けたと床版の結合面の面積の0.2%以上とするものとする。なお,プレキャストげたのスターラップやフランジの鉄筋等をずれ止めとみなしてもよい。

リブ接合部は,リブにより床版を直接支持する部材であるため,耐久性に十分配慮する必要がある。どのような検証によって,十分な疲労耐久性を有していると言えるのかが課題となる。

性能評価の対応策

床版を支えるリブ接合部に発生する鉄筋の引張応力度は,床版部材と同等な考え方をすることで疲労耐久性を確保出来ると考えられる。

【解説】

リブ接合部は,リブにより床版を支持する接合部材であるため,耐久性に十分配慮する必要がある。道示では,直接,輪荷重の影響を受ける床版の応力度を,通常の部材とは異なる許容値に制限することで,疲労耐久性を確保している。同じように考えれば,床版を支えるリブ自体の許容値も床版に準じた値で抑えることで疲労耐久性を確保出来ると考えられる。

道路橋示方書の関連する記述として、以下の内容を準用する方法も考えられる。

[道示 3.3])

リブ接合部の鉄筋の許容引張応力度を床版鉄筋の許容応力度に制御する。

「道示 6.3~6.6 ,11.3]

道示 6.3~6.6 に示す構造細目の規定に従うこと,また,道示 11.3 に示すけたと床版の結合 の規定に従う。

- 4) その他の構造
- 4-1) リブを配置することで生じる主桁の構成部材としての課題
- 4-1-1) 主桁の有効幅

関連する道示の規定

[道示 4.2 曲げモーメント又は軸方向力が作用する部材の照査]

[道示 4.2.2 有効断面]

- (3) 曲げモーメントに対する圧縮フランジの片側有効幅は,式(4.2.1)により算出するものとする。
 - 1) 主げた(直接支持されたけた)

$$= L/8 + bs$$

ただし,連続版及び単純版の場合 *Lb/2* 式(4.2.1)

- (4) 軸方向力に対する圧縮フランジの片側有効幅は,式(4.2.2)により算出するものとする。
 - 1) 主げた(直接支持されたけた)

連続版及び単純版の場合 = Lb/2 式(4.2.2) 片持ち版の場合 = Lc

技術的課題

リブ付き床版構造は,剛性の高いリブが主方向に等間隔で配置されるため,主桁の圧縮フランジ有効幅の考え方に影響が生じないかが課題として考えられる。

性能評価の対応策

3次元FEMモデルを使用し、床版の曲げ応力度の影響範囲を検討することによって、リブの設置が主桁応力に及ぼす影響を検証する。

【解説】

リブ付き床版は,剛性の高いリブが主方向に等間隔で配置されているため,

主桁の有効幅の考え方に影響が生じないか

主方向の抵抗断面にリブが寄与しないか

が課題として考えられる。

リブ付き床版とした場合の主桁の有効幅は道示では特に定められていないが,リブを配置することによって一般に張出し床版長が長くなることから,通常のPC箱桁橋と同様に,道示4.2.2を準用する方法が考えられる。この時,リブの配置間隔,剛性の影響も主桁の有効断面に影響する事が懸念されるため,そのモデル化には留意する必要がある。

[検証事例:リブの配置が主桁応力へ及ぼす影響について]

4-1-2) プレストレス力の伝達

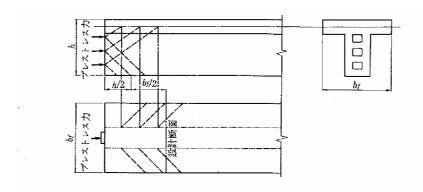
関連する道示の規定

[道示 6.6 鋼材の配置]

[道示 6.6.7 PC鋼材の定着]

- (1) 定着具の位置は,部材の所定のプレストレスを導入できるように,また,部材に有害なひび割れが生じないように選ぶものとする。
- (2) (3)から(5)による場合は,(1)を満足するものとみなしてよい。
- (3) 部材の中間に定着具を設ける場合は,活荷重による応力変動の大きな点から十分離れた断面の断面図心に近い位置か,圧縮部のコンクリートに定着するのがよい。
- (4) 定着具は、けたのウエブに設けるものとする。ただし、やむを得ず上フランジ、下フランジ又はウエブ側面に沿わせて定着する場合は、6.6.8の規定により補強するものとする。
- (5) 数多くの定着具を同一断面に配置する場合は、定着具の数、引張力の大きさ、各定着 具の必要最小間隔等を考慮して、定着部のコンクリートの断面形状及び寸法を定めるも のとする。
- (1),(3) 定着部近くの断面では,・・・・・ = 33°40 とするのが望ましい。

したがって,図-解 6.6.11 に示すような・・・・定着角度等により異なる。一般には,数本あるいはそれ以上のPC鋼材が定着されることが多く,プレストレス力の広がりは互いに重なり合うほか,定着具の大きさ及びウエブ厚等によって変化する。これらを考慮して,定着位置からプレストレスが有効に作用する断面までの距離は(h+bf)/2としてよい。(図-解 6.6.12)



ここに、 h:けた高 (mm)
by:上フランジ幅 (mm) .

図-解6.6.12 数本でPC鋼材が定着される場合の設計断面

リブを配置することで主方向のプレストレス力が断面方向に分散する可能性も考えられ, その伝達の影響についても確認する必要がある。

性能評価の対応策

広幅員を有する主桁形状であっても 3次元FEMモデルを使用し,プレストレスの影響範囲を解析することによって,プレストレス伝達効果を検証する。

【解説】

リブ付き床版とした場合,リブを配置することによって一般に張出し床版長が長くなるが,プレストレスが主桁へ影響する有効範囲は,通常PC箱桁橋と同様に道示 6.6.7 を準用する方法が考えられる。

また,3次元FEM解析を実施することによって,リブ設置によるプレストレスの主方向への影響も直接確認することもできる。

[検証事例:リブの配置が主桁応力へ及ぼす影響について]

4-1-3) 床版横締め P C 鋼材のプレストレスカ

関連する道示の規定

[道示 2.2 荷重]

[道示 2.2.4 プレストレスカ]

- (1) 構造物にプレストレスを導入する場合には,これを適切に考慮するものとする。
- (2) プレストレス力は、プレストレッシング直後のプレストレス力及び有効プレストイレス 力に区分して、それぞれ適切に考慮するものとする。
- (5) プレストレッシング直後のプレストレス力は, PC鋼材の引張端に与えた張力に,次の影響を考慮して算出する。
 - 1) コンクリートの弾性変形
 - 2) PC鋼材とシースとの摩擦
 - 3) 定着具におけるセット
- (6) 有効プレストレス力は,(5)の規定により算出するプレストレッシング直後のプレストレス力に,次の影響を考慮して算出する。
 - 1) コンクリートのクリープ この場合に考慮する持続荷重は,プレストレッシング直後のプレストレス力及び死荷重
 - 2) コンクリートの乾燥収縮
 - 3) PC鋼材のレラクセーション

技術的課題

リブを配置することによって床版支間方向の抵抗断面が増えること,床版支間方向の弾性 変形がリブに拘束されることが考えられる。よって横締めプレストレスによる床版応力度の 算出に留意する必要がある。

性能評価の対応策

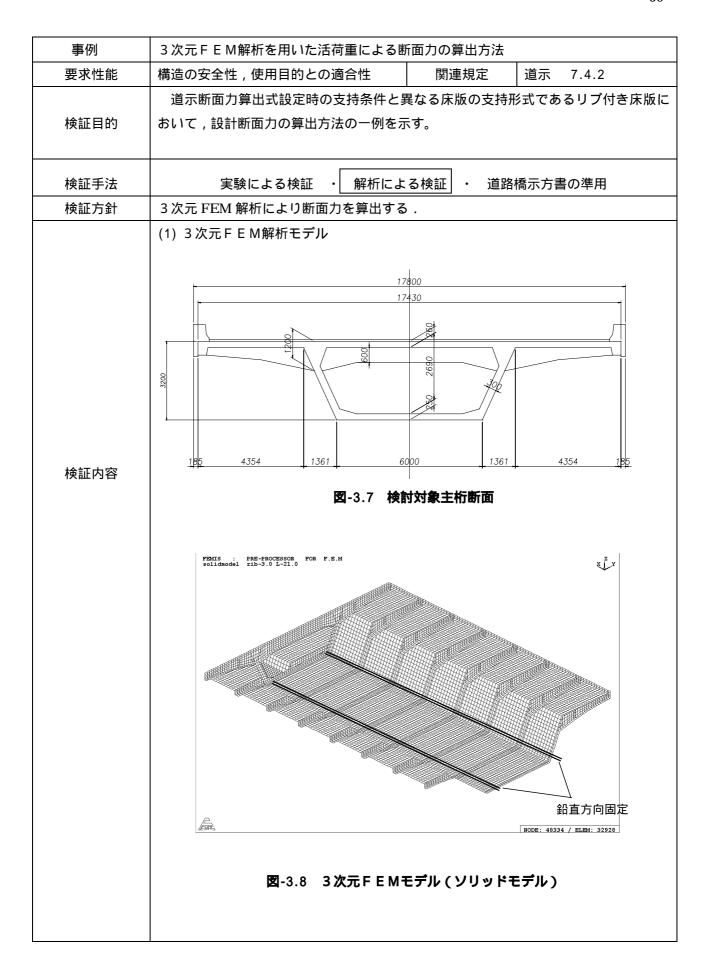
リブの設置による床版プレストレスの影響や拘束効果の確認は,4-1-1),4-1-2) と同様に3次元FEMモデルを使用し,床版支間方向にプレストレスを導入しその影響を解析することによって,その関与の度合いを確認出来る。

【解説】

リブ付き床版とした場合,リブがどの程度,床版横締めプレストレスに影響を及ぼすのか,道示では特に定められていない。しかし,リブも床版部材断面の一部と考え,通常の箱桁橋と同様に,道示 2.2.4 に準用してプレストレスを計算する方法が一般的である。

(3)検証事例

上述した技術的課題と対応策に対して,解析等を伴うものについて,具体の検証事例を 事項より示す。



(2)活荷重の載荷方法

- · 各着目断面に対して最も不利になるように T 荷重を載荷させる.
- ・舗装厚内での45度分布を考慮した荷重を床版上面に作用させる.
- ・T荷重をリブ間とリブ直上の断面に載荷するケースをそれぞれ行う.

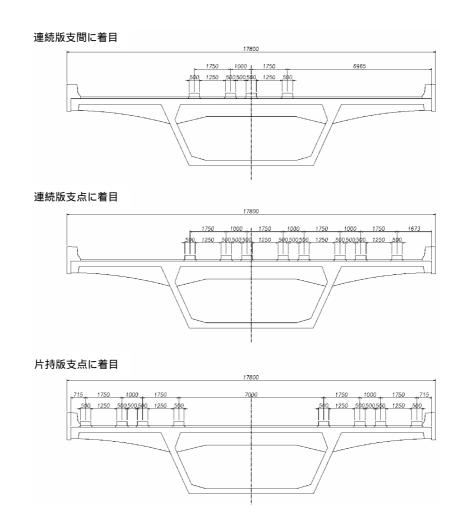


図-3.9 活荷重載荷方法

(3)床版応力度算出結果

表-3.2 床版応力度算出結果

連続版支間

連続版支点

片持ち版支点

リブ上		N/mm2
	床	版
	上縁	下縁
自重	-0.01	0.08
橋面	-0.52	0.02
床版横締め	4.73	3.78
活荷重	2.54	-0.29
死荷重時	4.20	3.88
設計荷重時	6.74	3.58

リブ上		
	床	版
	上縁	下縁
自重	-0.62	-0.15
橋面	-0.45	-0.06
床版横締め	4.43	3.44
活荷重	-2.27	-0.47
死荷重時	3.36	3.23
設計荷重時	1.09	2.76

リプ上 N/mm2								
	床版							
	上縁	下縁						
自重	-0.95	-0.04						
橋面	-1.04	-0.01						
床版横締め	5.09	3.41						
活荷重	-2.78	-0.07						
死荷重時	3.10	3.36						
設計荷重時	0.32	3.30						

リブ間	ブ間 N/mm2						
	床	版					
	上縁	下縁					
自重	0.02	0.25					
橋面	-0.53	0.01					
プレストレス	3.80	3.02					
床版横締め	6.33	5.03					
活荷重	3.21	-2.28					
死荷重時	5.82	5.29					
設計荷重時	9.03	3.01					

リブ間		N/mm2
	床	版
	上縁	下縁
自重	-0.69	0.19
橋面	-0.52	-0.13
プレストレス	3.60	3.87
床版横締め	6.00	6.45
活荷重	-3.79	3.89
死荷重時	4.79	6.51
設計荷重時	1.00	10.40

リブ間		N/mm2				
	床	版				
	上緣 下緣					
自重	-1.04	0.66				
橋面	-1.10	0.49				
プレストレス	4.08	3.55				
床版横締め	6.80	5.91				
活荷重	-4.57	4.88				
死荷重時	4.66	7.06				
設計荷重時	0.09	11.95				

- ・ 活荷重による応力度は,衝撃の影響および割り増し係数1.2を考慮している。
- ・ 床版応力がフルプレストレスになるように床版横締め間隔を設定する。

FEM解析は,汎用性のある解析ツールが多く開発され,従来と比べ簡易に扱えるようになってきたものの,モデル化によって結果に差異が生じることもあり,十分留意する必要がある。以下に考えられる留意事項を列挙する。

モデルの種類

シェルモデルとソリッドモデルがあり,より実構造に近いのはソリッドモデルであるが,モデル作成に手間を要する。シェルモデルは,ソリッドモデルに比べモデル作成は容易であるが,部材間の結合条件などに留意が必要となる。

メッシュ分割

参考にあたって の注意点

メッシュの分割数 , 大きさなどに結果が左右される。適切で無駄のないメッシュ分割 を行う必要がある。

モデルの長さ

道示算出式のモデルは無限長であるが、FEMモデルは、得られる解に問題の無い範囲で、できるだけ短いモデル長とするのが望ましい。

支持条件

P C 箱桁をモデル化するため,下端の支持条件によっても得られる値が異なる可能性がある。

活荷重載荷方法

リブ直上とリブ間では床版断面力が異なるため,着目する位置によって橋軸方向の載荷位置も変化させる必要がある。

検証内容	25 066 000 13 066 6 000
	リプ形状・配置間隔の検討を3次元FEM解析により行う.決定項目としては,プの間隔・高さ・厚さの3要素とした.まず,各要素の最適な範囲を絞込み,その囲の中から最適な形状を経済性,施工性より決定した.図-3.10に検討対象の主桁断形状を,図-3.11に検討手順と決定された要素を示す.なお,前提条件としてリブは出しブロック毎に1箇所とし,プロック長は横締めPC鋼材の等倍とした.
検証方針	3次元 FEM 解析を用いて主桁応力へ及ぼす影響を確認する。
検証手法	実験による検証・解析による検証・ 道路橋示方書の準用
	発生する断面力が大きく異なると考えられる。また,リブ直上とリブ間の床版応力 にも違いも生じる。
	を支える構造のため,リブの配置間隔,配置形状および剛性の違いによって,床版
検証目的	現在の道示では,リブ付き床版に関する記述は無く,リブ間隔,リブ形状につい の規定は無い。しかしながら,リブは梁部材として床版を支持し,床版とともに荷
女术注比	構造の安全性,使用目的との適合性関連規定
要求性能	

図-3.11 床版リブ形状・間隔の決定手順

・ 最適リブ間隔の検討

リブ間隔を 1.0m~4.0m まで 0.25m 間隔で変化させ (リブ厚 300mm,リブ高 1000mm で固定),各々の必要横締め鋼材間隔を算出した.そして,コンクリート,型枠,鉄筋,横締め鋼材にて経済比較を行った結果,リブ間隔は 3.00m~3.50m が経済的となった.

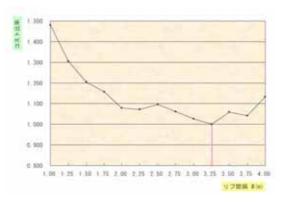


図-3.12 リブ間隔 - コスト比

・ 最適張出し床版リブ高・リブ厚さの検討

リブ厚 300mm,500mmの2ケースにて各々リブ高を変化させ,横締め鋼材間隔を算出し,同様に経済比較により最適なリブ高を算出した.リブ厚 300mmの場合はリブ高 1300~1500mm,リブ厚 500mmの場合はリブ高 1100mm~1300mmが経済的であった.

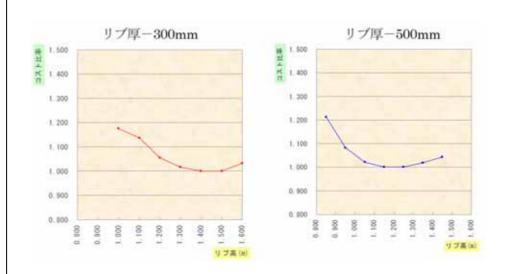


図-3.13 リプ高 - コスト比

・ 中間床版リブ形状の選定

中間床版リブ形状は,ウェブに発生する鉛直方向引張応力度がひび割れ幅制限値以下となるようにし,かつウェブの鉛直応力度を考慮した斜引張応力度が制限値に収まるように決定した.検討の結果,張出し床版リブ厚 300mm の場合,中間床版リブは張出し床版リブに比べて高さで 100mm,厚さで 200mm アップした.500mm の場合は,高さのみ 200mm アップする結果となった.両者を経済性・施工性より比較した結果,リブ厚は 500mm とした.

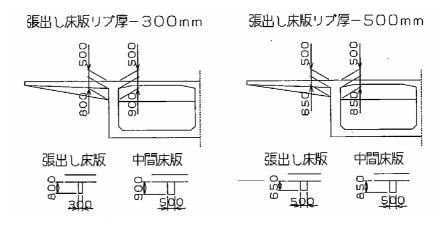


図-3.14 リブ形状の比較

・ リブ形状・横締め間隔の決定

ここまでの検討の結果,リブ厚は 500mm に決定され,リブ高は 1100mm~1300mm,リブ間隔は 3.00m~3.50m の範囲に絞り込めた.横締め間隔は,絞り込んだリブ高・リブ間隔の範囲内で組み合わせを選定し決定した.すなわち,まず,横締め間隔を500mm から 50mm 単位で広くし,それぞれの横締め間隔において,横締め間隔の等倍となるリブ間隔を仮定した.次に,各横締め間隔で床版の曲げ応力度照査を行い,最小となるリブ高を算出し,そのリブ高が絞り込んだ範囲にあるものを抽出した結果,下表に示す 5 ケースが選定できた.最後に,この 5 ケースにて経済比較を行った結果,ケースとが同値で低コストとなったため,張出し施工時のブロック割より最適な形状としてに決定された.

表-3.	3	検討ケース	Z
~ ·	•	12017 7	•

Case	横締間隔	リブ間隔	リブ高	コスト比
1	550mm	3300mm	1150mm	1.000
2	600	3000	1150	0. 996
3	650	3250	1250	0. 964
4	700	3500	1300	0. 964
(5)	750	3000	1300	0. 982

3次元立体 F E M解析では,道示式では評価出来ないリブ付き床版の効果を確認出来る。しかし,広幅員一室箱桁とは異なりリブ直上とリブ間では断面力の発生が異なるため,リブに発生する断面力にも着目した活荷重載荷方法を検討するする必要がある。

また,下記の留意事項も含めながら形状を決定する必要がある。

施工性

リブ間隔は,床版だけの設計に着目するのではなく,片持架設のブロック割りやコンクリートの打ち込みやすさなど,施工性と関連しながら計画を進める必要がある。

リブ間隔の設定

参考にあたって の注意点

リブ間隔が小さいと施工性に劣り、床版の合理的設計が出来ない。またリブ間隔が 大きすぎるとリブ及び床版に大きな断面力が発生し、橋軸方向にも支配的な断面力が発 生する場合もある。従って、床版およびリブに発生する応力度バランスを考慮しながら 計画を進める必要がある。

中間床版リブ形状の決定

2-1-1)の解説に示す様に,中間床版リブ形状はさまざまな形状が考えられる。過去の事例を参考にするなど,その形状決定には留意する必要がある。

【参考文献】

(3) - -1) 中塚,青木,千国,油野:リブ付き床版構造を採用したPC箱桁橋の設計 -第二東名高速道路 花倉高架橋(下り),プレストレストコンクリート技術協会第 15 回シンポジウム論文集(2006 年 10月)

要求性能 構造の安全性,使用目的との適合性 関連規定 検証事例 同様,リブ付き床版におけるリブ本体の断面力算出方法に明確な規定がない。 検証手法 実験による検証 ・ 解析による検証 ・ 道路橋示方書の準用	事例	リブ本体の		<u> </u>								
検証事例 同様 , リブ付き床版におけるリブ本体の断面力算出方法に明確な規定がない。 検証手法 実験による検証・解析による検証・ 道路橋示方書の準用 検証方針 3 次元FEM解析を用いた断面力 (応力度) よりリブの設計を行う。 検証事例 に示す 3 次元FEM解析を用いて , リブに発生する応力度を直接検証する。荷重条件等は検証事例 の床版の設計事例と同じである。	要求性能	構造の安全は	性,使用	目的との	 D適合性	関	連規定					
検証手法 実験による検証 ・ 解析による検証 ・ 道路橋示方書の準用 検証方針 3次元FEM解析を用いた断面力(応力度)よりリブの設計を行う。 検証専例 に示す 3 次元FEM解析を用いて、リブに発生する応力度を直接検証する。 荷重条件等は検証事例 の床版の設計事例と同じである。 サブ	冶証目的											
検証手法 実験による検証 ・ 解析による検証 ・ 道路橋示方書の準用 検証内容 3次元FEM解析を用いた断面力(応力度)よりリプの設計を行う。 検証専例 に示す 3次元FEM解析を用いて、リプに発生する応力度を直接検証する。荷重条件等は検証事例 の床版の設計事例と同じである。 表・3.4 床版応力度計算結果 連続版支周	18.00.00											
検証方針 3次元FEM解析を用いた断面力(応力度)よりリブの設計を行う。 検証事例 に示す 3 次元FEM解析を用いて,リブに発生する応力度を直接検証する。荷重条件等は検証事例 の床版の設計事例と同じである。 表-3.4 床版応力度計算結果 連続版支点		ない。	ない。									
検証方針 3次元FEM解析を用いた断面力(応力度)よりリブの設計を行う。 検証事例 に示す 3 次元FEM解析を用いて,リブに発生する応力度を直接検証する。荷重条件等は検証事例 の床版の設計事例と同じである。												
検証方針 3次元FEM解析を用いた断面力(応力度)よりリブの設計を行う。 検証事例 に示す 3次元FEM解析を用いて,リブに発生する応力度を直接検証する。荷重条件等は検証事例 の床版の設計事例と同じである。												
検証事例 に示す 3 次元 F E M 解析を用いて , リブに発生する応力度を直接検証する。 荷重条件等は検証事例 の床版の設計事例と同じである。	検証手法	j	ミ験によ	る検証	解析によ	る検証	・道	路橋示方書(の準用			
表-3.4 床版応力度計算結果 連続版支間 大/mm2 リブ上 N/mm2 リブ上 N/mm2 リブ上 N/mm2 上線 下線 自重 0.08 0.36 橋面 0.02 1.21 床版機締め 3.78 1.63 活商重 -0.29 -4.51 飛放機締め 3.78 1.63 活商重 -0.29 -4.51 飛放機締め 3.34 0.24 揺所衛車時 3.88 3.20 設計荷重時 3.58 -1.31 振放機締め 3.78 1.63 法商重 -0.47 4.94 採債	検証方針	3 次元 F E I	M解析を	用いたと	新面力(応力原	き)より	リブの説	計を行う。				
表-3.4 床版応力度計算結果 連続版支間 大/mm2 リブ上 N/mm2 リブ上 N/mm2 リブ上 N/mm2 上線 下線 自重 0.08 0.36 橋面 0.02 1.21 床版機締め 3.78 1.63 活商重 -0.29 -4.51 飛放機締め 3.78 1.63 活商重 -0.29 -4.51 飛放機締め 3.34 0.24 揺所衛車時 3.88 3.20 設計荷重時 3.58 -1.31 振放機締め 3.78 1.63 法商重 -0.47 4.94 採債	検証内容	検証事例	に示す	 ト3 次元 I	F E M解析をJ	 用いて .	リブに著	発生する応力	度を直接	接検証す		
表-3.4 床版応力度計算結果 連続版支点 片持ち版支点 リブ上 N/mm2 リブ リブ リブ	17,12131					•				×1// 1111		
連続版支閥 連続版支点 片持ち版支点 リプナ N/mm2 リプナ リプナ 上線 下線 日重 0.08 0.36 橋面 0.02 1.21 床版横締め 3.78 1.63 活荷重 -0.29 -4.51 死荷重時 3.88 3.20 設計荷重時 3.58 -1.31 別計の重時 2.76 6.22 記計の重時 3.30 8.32 上記の例は , リプを P C 構造として引張応力度を許容値以内 (c > -1.5N/mm2) に 抑えた例である。 本例で示した解析事例はあくまでも一例であり、リプの構造種別(P C か R C か) リプに発生する応力度の制限値等を考慮の上、解析を実施する必要がある。		る。刊里示	Tਚlo∜	ᄬᄬ		1 37 171 C) 5 0				
連続版支閥 連続版支点 片持ち版支点 リプナ N/mm2 リプナ リプナ 上線 下線 日重 0.08 0.36 橋面 0.02 1.21 床版横締め 3.78 1.63 活荷重 -0.29 -4.51 死荷重時 3.88 3.20 設計荷重時 3.58 -1.31 別計の重時 2.76 6.22 記計の重時 3.30 8.32 上記の例は , リプを P C 構造として引張応力度を許容値以内 (c > -1.5N/mm2) に 抑えた例である。 本例で示した解析事例はあくまでも一例であり、リプの構造種別(P C か R C か) リプに発生する応力度の制限値等を考慮の上、解析を実施する必要がある。												
少プ上 N/mm2 リプ上 N/mm2 リプ上 N/mm2 自重 0.08 0.36 標面 0.08 0.38 0.02 1.21 医機構締め 3.44 0.24 医院機締め 3.44 0.24 医院機締め 3.44 0.24 医院機締め 3.41 0.24 医院機締め 3.41 0.24 医院機締め 3.41 0.24 医院機師め 3.23 1.28 設計荷重時 3.36 1.88 設計荷重時 3.30 8.32 上記の例は、リプをPC構造として引張応力度を許容値以内(c>-1.5N/mm2)に抑えた例である。 参考にあたっての注意点 検証事例:3次元FEM解析を用いた床版の活荷重による断面力の算出方法		1 T T T T T T T T T T T T T T T T T T T				応力度	計算結果		_			
中央		連続版支間 			連続版支点			片持ち版支	点			
中央		リブ上		N/mm2	リブ上		N/mm2	リブ上		N/mm2		
自重			IJ			IJ		<u>-i-i-</u>	IJ	ブ		
横面 0.02 1.21 床版横締め 3.78 1.63 活荷重 -0.29 -4.51 死荷重時 3.88 3.20 設計荷重時 3.58 -1.31 短計荷重時 3.58 -1.31 振版横締め 3.44 0.24			上縁	下縁		上縁	下縁		上縁	下縁		
床版横締め 3.78 1.63 床版横締め 3.44 0.24 床版横締め 3.41 -2.48												
活荷重 -0.29 -4.51 死荷重時 3.88 3.20 設計荷重時 3.58 -1.31												
死荷重時 3.88 3.20 死荷重時 3.23 1.28 死荷重時 3.36 1.88 設計荷重時 3.58 -1.31 ・1.31 ・2.76 6.22 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・		-										
設計荷重時 3.58 -1.31 設計荷重時 2.76 6.22 設計荷重時 3.30 8.32 上記の例は , リブを P C 構造として引張応力度を許容値以内 (c > -1.5N/mm2) に 抑えた例である。												
抑えた例である。 本例で示した解析事例はあくまでも一例であり、リブの構造種別(PCかRCか)、 リブに発生する応力度の制限値等を考慮の上、解析を実施する必要がある。 参考にあたって の注意点 検証事例 : 3 次元FEM解析を用いた床版の活荷重による断面力の算出方法												
抑えた例である。 本例で示した解析事例はあくまでも一例であり、リブの構造種別(PCかRCか)、 リブに発生する応力度の制限値等を考慮の上、解析を実施する必要がある。 参考にあたって の注意点 検証事例 : 3次元FEM解析を用いた床版の活荷重による断面力の算出方法						I				<u>.</u>		
抑えた例である。 本例で示した解析事例はあくまでも一例であり、リブの構造種別(PCかRCか) リブに発生する応力度の制限値等を考慮の上、解析を実施する必要がある。 参考にあたって の注意点 検証事例 : 3次元FEM解析を用いた床版の活荷重による断面力の算出方法												
本例で示した解析事例はあくまでも一例であり、リブの構造種別(PCかRCか)、 リブに発生する応力度の制限値等を考慮の上、解析を実施する必要がある。 参考にあたって の注意点 検証事例 : 3 次元FEM解析を用いた床版の活荷重による断面力の算出方法		上記の例	は,リフ	ブをPCホ	構造として引き	脹応力度	を許容値	直以内(c	> -1.5N/	'mm2)に		
リプに発生する応力度の制限値等を考慮の上、解析を実施する必要がある。 参考にあたって の注意点 検証事例 : 3 次元 F E M解析を用いた床版の活荷重による断面力の算出方法		抑えた例では	ある。									
リプに発生する応力度の制限値等を考慮の上、解析を実施する必要がある。 参考にあたって の注意点 検証事例 : 3 次元 F E M解析を用いた床版の活荷重による断面力の算出方法												
リプに発生する応力度の制限値等を考慮の上、解析を実施する必要がある。 参考にあたって の注意点 検証事例 : 3 次元 F E M解析を用いた床版の活荷重による断面力の算出方法		本例で示	した解析	事例はね	 あくまでもー(引であり			PCかR	こか)		
参考にあたって の注意点 検証事例 : 3次元 F E M解析を用いた床版の活荷重による断面力の算出方法								·				
の注意点 検証事例 : 3次元FEM解析を用いた床版の活荷重による断面力の算出方法		リリノに発生	9 句心/.	ルタの利利	R 胆守を考慮(ノエ、 脌	がで表別	99 の必安か	ග වං			
	参考にあたって											
の注意点に同じ	の注意点	検証事例	:3岁	元FEN	/I解析を用いた	た床版の	活荷重に	よる断面力	の算出方	法		
· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·		の注意点に「	司じ									

事例	リブの配置が主桁応力へ及ぼす影響について確認する									
要求性能	構造の安全性,使用目的との適合性関連規定									
検証目的	リブ付き床版構造は,剛性の高いリブが主方向に等間隔で配置されるため,主桁の									
	設計における抵抗断面の考え方を検証する。									
検証手法	実験による検証・ 解析による検証・ 道路橋示方書の準用									
検証方針	3 次元 F E M解析を用いて主桁応力へ及ぼす影響を確認する。									
検証内容	下記のFEMモデルを用いて,自重およびプレストレスによる応力度を,棒解析に									
	よる値と比較を行う。									

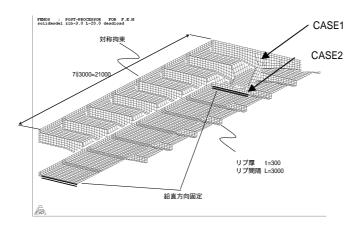


図-3.15 3次元FEMモデル

プレストレスは導入直後応力度を用い節点に集中荷重として載荷

CASE1・・・上縁から 500mm

CASE2・・・下床版厚中心

pt= 1035.0 N/mm2

AP = 1664.4 mm2 (12S15.2)

P = 1722654 N

FEM解析と棒解析による橋軸方向応力度(x)の比較を次項に示す。

主方向応力度は,自重,プレストレスとも棒解析とほぼ同様の値を示しており,リブの配置が主桁応力に及ぼす影響は少ないと判断できる。よって,リブ付き床版箱桁の主方向の設計には,リブを考慮しない断面性能を用いて問題はないものと考えられる。



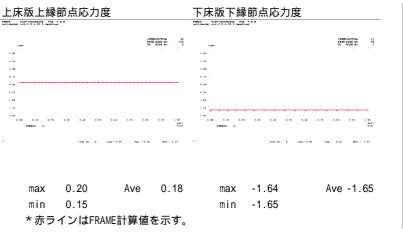


図-3.16 FEM解析比較結果

参考にあたって の注意点 本例で示した解析事例はあくまでも一例であり、PC鋼材定着位置、エッジビームの有無や張出床版長の影響が予想される形状については、適宜設定する必要がある。

また、検証事例 に示した解析モデルとは支承支持条件が異なるため注意が必要となる。

4 ストラット付き床版構造

(1) 主な技術概要

2 広幅員一室箱桁構造(1)に示すように,道路橋示方書 コンクリート橋編において, コンクリートのけたで支持された床版を適用対象として要求性能が規定されており,そのみなし仕様として,活荷重による床版の設計曲げモーメント算出式が規定されている。この算出式は,長辺比が1:2以上の床版で,連続版の支点部では支持桁と床版が剛結された構造とし,連続版の支点部を除く計算式では等方性無限単純版と等方性無限片持版の支持条件を対象としており,解析により得られた理論値に対し安全率を見込んだみなし仕様で算出されている。しかしながら,ストラット付き床版構造は,図-4.1に示すように主桁ウェブとストラットにより床版を支持する構造のため,従来構造の床版の支持条件や主たる断面力が発生する方向や支間長が明確でなくなる。

本節で対象とするストラット付き床版構造は 道示による床版断面力算出時の前提となる支持条件が異なるものであり、道示式をそのまま使用することに疑義が生じる。

ストラット付き床版構造は広幅員となる傾向があるが、広幅員となることによる技術的課題に対しては2広幅員一室箱桁構造に準ずることとする。

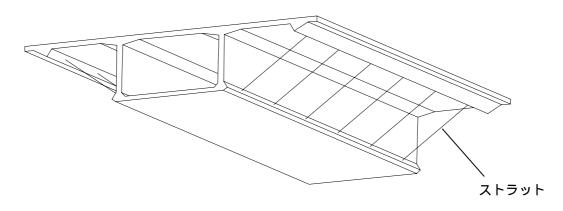


図-4.1 ストラット付き床版箱桁の概要図

(2) 技術評価の観点と方向性

本節で取り扱うストラット付き床版構造は、床版の支持条件が通常のPC箱桁とは大きく 異なる。よって本構造の技術評価を行う場合、以下の2タイプの観点から考える必要がある。

床版の設計曲げモーメント算出式が道示式を適用出来ない場合の設計手法

床版の支持条件が異なることに対する構造安全性,耐久性,使用性

これらの観点から考えられる床版、ストラットおよびストラット接合部の技術的課題について以下に記す。

表-4.1 ストラット付き床版構造の問題解離と対応策一覧

	爺														
	検証事例	検証事例	広幅員一室箱桁 の検証事例	道示の準用	道示の準用	検証事例 検証事例 広幅員一室箱桁 の検証事例			検証事例	検証事例		検証事例、	検証事例		検証事例、、、
5.第一篇	対応策	东版の支持条件を進切に再現できる3次元 F M 解析を用いて、遊ぶ難出式設定時と同条件の活荷置を繋符し、断面力を指出する。また、ストラッ支制機能によっては、開結合かどと結合が開催では1場合がある。このような場合は、剛・ピン両方の結合条件で解析を行い、厳しけ方の断面力を用いて設計することが考えられる。	適切な手法で顕出された断面力をもとに床版に発生する応力度を算出い、これを指揮として融小原を設定する (広橋員一堂指托と同様)。	床版及お条件が異なっても、連切な断面が算出と床版層のNB立を行えば、現行道示の検定を専用してフルブレストレスに対えることですれば、従来FC 床版と同レベルの耐久性を確保できるものと考えられる「広橋島一室油竹と回帳」、	適切な都面分算出し床版場の設定を行えば、現行道示を専用すれば、従来PC床版と同等と見なせをものと考えられる[広橋員一室箱杯と回答))	断面力と床施摩を適切に設定し、床筋の力度をフルプレストレスに抑えてひび割れを発生させないようにすれ ば、追示のみなし仕様により設計された位米PC床版と同等レベルと考えることができる[広橋 興一室前行]回 様).	造りな最小金厚を設定することにより、役米PC系版と回答の部置曲げ創性を書保できる。	FEM解析を用いて、活荷量によるためみを細部する(床版支持条件が異なっても、コンクリード系成版は剛性が 大きく、活体量によるたわみは小さく問題にならないものと考えられる)。	原版の7をフルに同えるとともに、ストラット配置間隔、形状を設定する。 調製の場合は防錆対策、コンクリート製の場合は多化対策等を検討する。	上述のFE M解析により算出する。	床版を送える柱部材としての原動を行う。	ストラットの配置開展上が状を進りに設定し、求められた断面力より部封の応力度を追示に示す許容値内に抑え、有害なりど対象を発生を発生し、まかられた断面力より部封の応引まれた、所あまり計算時代明等 大学 有主なりだすることができるものに考えられる。 ただし、ストラットの応力変動権を確認する必要ある。この他、特許置 走行試験を実施し、疲労耐久性を確認した事例もある。	楽起みイプやエッシゲ <i>ームらイブが</i> 考えられる。突起タイプは系版に対じて点芸特となり、ストラッド重上における 上峰引張のフか億头になることが鑑念される。これに対してエッジビームタイプは、系統を縁支持とすることは、 系版のフは様和されるが、エッジビームに引張のフが発生するため、顕常を要する。	ストラットの解集力の開開は、伝統に発生する応力によって定まるが、ストラット開発力を(することで経済性や 施工性は向上するが、示版に発生する応力は大きでなるため、所版に過失は特徴が必要とならない範囲とする 必要がある。また、フロック施工を行うなと施工方法も開展を設定する上で考慮するべき事項である。	ストラリ接合部はすべての存棄状態で引張の力を発生させないことで商い銀学所分性を有すると考えられる。 このから、原で大の試験による前的投資試験を行い、銀労耐公性を確認いた事的もある。また、軸圧縮の力 の変動無を確認する必要がある。
表-4.1 ストラット行き床放棄造の司艦影響と対応策	問題認識の	トラットにて床筋を支持した床筋構造は、支持条件が追示式の前提条件と異なることや、主たる断面力が発生 F&方向や支限長が明確でなくなることから、設計曲げモーメンドの算出手法が課題となる。	道示における 観小金厚の解放式は、廃版支配の觀散として認定されており、音年代における実績の通信をも とに意じが図られ現行に至っている。しかしながら従来の来版と支持条件製なる場合の優小金厚の設定が課 題となる。	道示における系版の力の幹容値は、ひび繋れたとが損傷するの条約ぐために引張の力を生じさせないこととして 1.16。この発定により設計されたこれまでのP.16系成主 実権においてもの・例久性が確認されているが、系版支持条件模なった単丘に同じ許容価で問題無いかどかが課題となる。	 鉄筋群容値についても床版支持条件が異なることで問題はないか課題となる。	道示ではみない仕様を規定し、それに率いた反応の協計により級労耐公性を担保しているのが多くの現状であ あ、モレモアのに成この1には、実施にあいて考め、制御のの機能におまでに無く。また、輪荷圏車行は接に のまた馬(時久性が確認されている。しかんなが。 反応を非常体がされまでの実績と異なり、みない仕様がそ のまま専用できない場合の優労耐久性について、検証方法が保護しなる。	適切な保務等の投票により確保できるが、上述の保護小等の投資法が課題となる。	支持条件が異なった場合に隠匿は無いか。	ストラットの配置側隔、形状・脚性の道しより床版に発生する断面力が大きく異なる。また、ストラットの好料とし て、網製、コンジリート製などの実績があるが、それぞれの得失、脚間事項に顕微し、選定する必要がある。	ストラッけき形成は、単純な副付ラーメン構造と見なすことが出来ないため、保施同様ストラットに生じる断面力 の興出方法が課題となる。	ストラットは圧縮部材となる場合が多いため、応力度のみならず、庭屈に対する検討も必要となる。また、接合方 活たよっては、引張の力を発生させないように配慮することも必要となる。	ストラットによって原版を支える部材であることが28村の前提条件であるため、序版に先行して破壊することを選 けるべき部材と考えられる。そのため、ストラッドが十分な総が耐久性を有しているかの検証方法が課題となる。] 床版を適切に支持し、床版に過失な引張応力が発生しないような構造とする必要がある。	ストラップ支持位置の設定には、尿板に発生する正負の曲げモーメントのパランス、ストラットの取付け角度、排水、 まずの取付け位置との収合いなどに留意する必要がある。	ストラット接合部の優労耐入、ストラットほの 1800年 ストラットにより孫家を維持支持する部 村であるため、耐久性に十分配慮する必要がある。 たって、これらが十分な意が耐久性を有しているかの検証が充分が難能なる。 特に、ストラッド下端と土桁の接合性 部は、補強終節が多く能置されているため、コンクリートの確実な充壌が重要なる。
	頂目	2計曲げモーメント算出式 2.定時の支持条件が異なる 8合の設計手法	末版の最小厚	コンクリート応力度の許容値	気筋応力度の許容値	派 	鉛直曲げ剛性の確保	と	(トラットの材料・形状選定	・トラットの設計断面力の算 1方法	ストラットに発生する応力度 の制限	ストラットの疲労耐久性	、トラット接合部の支持構造	(トラットの支持位置	大原会部の疲労耐久。
	対応する要求性能	·構造安全性 ·疲労耐久性 ·使用目的との適合性 ^排	·梅造安全性 ·疲労耐久性 ·使用目的との適合性	・疲労耐久性・使用目的との適合性	・疲労耐久性 ・使用目的との適合性	·疲労耐久性		・使用目的との適合性	・構造安全性 ・疲労耐久性 ・使用目的との適合性	・構造安全性 ・疲労耐久性 ・使用目的との適合性	・疲労耐久性 ・使用目的との適合性	·疲労耐久性	・構造安全性 ・疲労耐久性 ・使用目的との適合性	・構造安全性 ・疲労耐久性 ・使用目的との適合性	・構造安全性 ・疲労耐久性 ・使用目的との適合性
	技術評価の観点	道示の断面力算 出式を適用できない場合の設計 手法							道示の断面力算出式を適用できな1 1場合の設計手法		床版の支持条件が従来と異なる ことに対する課題			床版の支持条件が従来と異なる ことに対する課題	
	着目する部位		受 後 (代)							i i r	1			ストラットと床版の接合部	

1)床版

- 1-1) 道示における設計曲げモーメント算出式の適用範囲を超える場合の設計手法
- 1-1-1) ストラットで支持された床版の設計断面力の算出方法

関連する道示の規定

[道示 7.4 床版の設計曲げモーメント]

[道示 7.4.2 床版の設計曲げモーメント]

(1) B活荷重で設計する橋においては,T荷重(衝撃を含む)による床版の単位幅(1m) あたりの設計曲げモーメントは,表-7.4.1に示す式で算定するものとする。ただし,・・・・割り増し係数を乗じた値とする。

表-7.4.1 T荷重(衝撃を含む)による床版の単位幅(1m)あたりの設計曲げモーメント (kN·m/m)

版	曲げ	+#		仮の支間の 方向(注)	車両進行7	方向に直角	車両進行7	う向に平行
の区分	モーメントの 種 類	構造	適用範囲	トの方向	支間方向	支 間 に 直角方向	支間方向	支 間 に 直角方向
単純版	支間曲げ	RC	0	<i>l</i> 4	+ (0.12/	+ (0.10/	+ (0.221	+ (0.06/
版	モーメント	PC	0	<i>l</i> 6	+ 0.07)P	+ 0.04)P	+ 0.08)P	+ 0.06)P
連	支間曲げ	RC	0	<i>l</i> 4	+ (単純版	+ (単純版	+ (単純版	+ (単純版
続	モーメント	PC	0	<i>l</i> 6	の80%)	の80%)	の80%)	の80%)
	支点曲げ	RC	0	<i>l</i> 4	- (0.15 <i>I</i>		- (単純版	
版	モーメント	PC	0	<i>l</i> 6	+ 0.125)P		の80%)	
		RC	0 /	1.5	- P · 1			
片	支点曲げ		0 /	1.5	1.30/ + 0.25		- (0.71	
持	モーメント	PC	1.5 <	<i>I</i> 3.0	- (0.6 <i>I</i> - 0.22) <i>P</i>		+ 0.22)P	
版	先端付近曲 げ	RC	0 1	1.5		+ (0.15/		+ (0.16/
	モーメント	PC	0 /	3.0]	+ 0.13)P		+ 0.07)P

ここに , RC : 鉄筋コンクリート床版

PC : プレストレストコンクリート床版

I : 7.4.3に規定するT荷重に対する床版の支間(m) P : 共通偏2.2.2に示すT荷重の片側荷重(100kN)

(注) 床版支間の方向は, 図-7.3.1による。

(1) 表-7.4.1は,表中の床版支間の範囲内で適用できるT荷重による設計曲げモーメントの計算式を示したものである。ここで連続版の支点曲げモーメントについては,支持げたの拘束条件がコンクリート橋と鋼橋では異なるため,この影響を考慮している。表-7.4.1の連続版の支点部を除く計算式は,等方性無限単純版と等方性無限片持版を対象に,平成2年道路橋示方書まで用いられてきたT-20荷重に衝撃の影響を考慮して載荷し,解析により得られた理論値に対して10~20%の安全をみた計算式に基づいている。この余裕量は,解析を行ったときの仮定と実際の構造との違いや床版を施工するときに生じる床版厚や配筋の誤差等を考慮したものである。・・・・・

技術的課題

ストラット付き床版は,床版の支持条件が道示式設定時の前提条件と異なる。また,主たる 断面力が発生する方向や支間長が明確でない。このため,本構造の床版の支持条件に応じた設 計曲げモーメントの算出方法について検証が必要である。

性能評価の対応策

床版の支持条件を適切に再現できるモデルを設定し、荷重条件を同一にして理論値を算出すれば、道示のみなし仕様と同レベルの断面力が得られるものと考えられる。

支持条件を適切に再現できるモデルとして,図-4.2に示すような3次元FEM解析が考えられる。FEM解析のモデル化等に関する留意点は,2 広幅員一室箱桁の章にて述べた。ここでは,ストラット付き床版構造に特化した留意事項について以下に列挙する。

モデルの種類

ストラット部材のモデル化は,ソリッド要素と バー要素が考えられる。バー要素はソリッド要素に比べ,モデル作成や寸法の変更が容易である。両者を比較すると,床版との接合部をソリッド要素で忠実にモデル化すれば,バー要素を用いても床版やストラットに発生する応力度はソリッド要素を用いた場合と大差は無いものと考えられる。

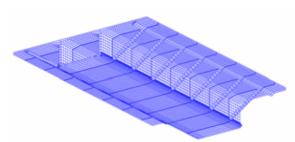


図-4.2 3次元FEM解析モデルの例

支持条件

ストラットは,コンクリート製,鋼製などの事例があり,コンクリート床版との接合には,材料や施工法に応じた構造が採用される。接合方法によっては,床版との結合が剛結合とピン結合の中間程度で解析モデルの結合条件評価が困難となる場合もある。このような場合には,剛結合とピン結合の両方で解析を行い,厳しい方の断面力を用いて設計を行う方法もある。

[検証事例 : 3次元FEM解析を用いたストラット付き床版の活荷重による断面力の算出方法]

1-2) 床版の支持条件が従来と異なることに対する課題

1-2-1) 床版の最小全厚

関連する道示の規定

[道示 7.3 床版の厚さ]

[道示 7.3.2 プレストレストコンクリート床版]

- (1) プレストレストコンクリート床版の厚さは,安全性,耐久性及び施工性を有するように決定するものとする。
- (2) (3)および(4)による場合は,(1)を満足するとみなしてよい。
- (3) 車道部分の床版の最小全厚は,次の規定によるものとする。なお,片持版の最小全厚とは,支持げたのウエブの前面における厚さをいう。
 - 1) 車道部分の床版の全厚は,いかなる部分も160mmを下まわらないものとする。
 - 2) 片持版の床版先端の厚さは,1)の規定のよるほか,表-7.3.1の片持版の最小全厚の50%以上とするものとする。
 - 3) 床版の1方向のみにプレストレスを導入する場合の車道部分の最小全厚は,1)及び2) の規定によるほか,表-7.3.2の値とするものとする。

表-7.3.2 床版の1方向のみにプレストレスを導入する場合の車道部分の最小全厚

(mm)

床版の支間の方向 プレストレ (注) スを導入する方向	車両進行方向に直角	車両進行方向に平行
ンで会化する月日	まっている古紙の土田の	まっこ4の広場の土間の
		表-7.3.1の床版の支間の
床版の支間に方向に平行	方向が車両進行方向に直	方向が車両進行方向に平
	角な場合の値の90%	行な場合の値の65%
	表-7.3.1の床版の支間の	表-7.3.1の床版の支間の
床版の支間に方向に直角	方向が車両進行方向に直	方向が車両進行方向に平
	角な場合の値	行な場合の値

- (注) 床版の支間の方向は図-7.3.1による。
- (4) 歩道部分の床版の最小全厚は140mmとするものとする。
- (1) プレストレストコンクリート床版の最小全厚の決定にあたっては,鉄筋コンクリートと同様,実際の挙動を反映できる輪荷重走行試験及び解析により安全性を照査することが望ましい。しかし,プレストレストコンクリート床版は一般的に鉄筋コンクリート床版に比べて疲労耐久性を有するため,疲労耐久性のみに着目すると,最小全厚をかなり小さくすることが可能と判断してしまうおそれがある。

この結果,最小全厚を極端に薄くしてしまうと,大型の自動車による影響,たわみ及び振動の変形による二次応力の発生が考えられる。また,プレストレストコンクリートの材料のばらつき及び施工条件により,クリープ乾燥収縮の影響を受けやすくなる。したがって,プレストレストコンクリート床版の最小全厚の決定にあたっては,これらを考慮しなければならない。 技術的課題

ストラットに支持された張出し床版は,支持条件が道示の前提条件と異なることや,主たる 断面力が発生する方向や支間長が明確でないため,床版支持条件が異なる場合の最小全厚の設 定について検証が必要である。

性能評価の対応策

2 広幅員一室箱桁同様,道示の最小厚が,床版の曲げ引張応力を抑えるように規定されていることから,床版の応力度を指標として,床版厚を設定する方法が考えられる(2 広幅員一室箱桁の章を参照)。

床版のコンクリートに生じる曲げ引張応力をある限界内におさえて,有害なひび割れ発生の危険をできるだけ少なくするために,鉄筋の許容応力度や床版の最小厚が規定されている。

鉄筋コンクリート床版の最小全厚は、昭和31年の鋼道路橋設計示方書で初めて規定されたが、昭和40年頃鉄筋コンクリート床版の損傷が問題となったため、規定の最小全厚が引き上げられている。その後も、設計活荷重の増加や交通量の増大に伴い、最小全厚の見直しが図られている。道示の最小全厚の変遷および考え方については、5 参考資料 参照。

床版の応力度を指標とした最小全厚を設定する方法として、以下の手順が考えられる。

適用支間内であれば,みなし仕様として規定された道示の算出式を用いた断面力と最小厚により設計された床版は,安全性,耐久性ともに保証されている。

これらを用いて,床版の曲げ応力度を算出し,これをひとつの指標とする。

適用支間を超える場合の床版の断面力を,前述の方法などを用いて適切に算出する。

の断面力を用いた床版の曲げ応力度が, の応力度と同程度になるように床版厚を設定し,これを最小厚とする。

[広幅員一室箱桁の検証事例:床版の最小全厚の設定方法]

1-2-2)床版のコンクリート応力度の許容値

関連する道示の規定

[道示 3.2 コンクリートの許容応力度]

(2) プレストレストコンクリート構造に対するコンクリートの許容引張応力度は,表-3.2.3の値とする。

また、従荷重及び従荷重に相当する特殊荷重を・・・・適切に定めなければならない。

表-3.2.3 プレ	ノストレス	トコンクリー	ト構造に対す	「る許容引張応力度(N/mm²))
------------	-------	--------	--------	------------------	---

応力度の	—————————————————————————————————————	コンクリートの設計基準強度	30	40	50	60
	1) プレストレッシング直後			1.5	1.8	2.0
	2)活荷重及び衝撃以外の主荷重		0	0	0	0
曲げ引張 応力度	主荷重及び主 荷重に相当す る特殊荷重	3) 床版	0	0	0	0
			0	0	0	0
		5) その他の場合	1.2	1.5	1.8	2.0
6) 軸引引	6) 軸引張応力度			0	0	0

(2) 従来のプレストレストコンクリート構造は、部材断面にある程度の引張応力が生じることを許容し、6.5に規定する引張鉄筋を配置することにより、じん性に富んだ部材を設計することにしている。ただし、ある程度プレストレスを多めに導入しておくことにより、ひび割れに対する安全度を高めるため許容引張応力度を小さめに定めている。

表-3.2.3の2)は,持続的に作用する荷重に対してコンクリートのひび割れを防ぐため,コンクリートに引張応力を生じないこととしたものである。また,表-3.2.3の3)は,床版がひび割れにより損傷するのを防ぐためにプレストレスの方向に引張応力を生じさせないための規定であり,床版を設計する場合の規定である。また,・・・・・・

技術的課題

ストラットに支持された張出し床版は,支持条件が道示の前提条件と異なることや,主たる 断面力が発生する方向や支間長が明確でないため,床版支持条件が異なる場合のコンクリート 応力度の許容値の設定について検証が必要である。

性能評価の対応策

道路橋示方書の前提と相違しているかどうかを検証することで,従来PC床版と同等の性能を有することを確認して道路橋示方書の規定を準用できるか判断する。

【解説】

PC床版においてプレストレスの導入方向に引張応力を発生させないよう規定することにより,床版にひび割れを発生させないようにし,高い耐久性を確保するためのみなし仕様としている。よって,床版支持条件が異なった場合でも,1-1-1),1-2-1)による適切な断面力算出と床版厚の設定を行えば,現行道示の規定を準用してフルプレストレスに抑えることとすれば,従来PC床版と同レベルの耐久性を確保できるものと考えられる。

1-2-3) 床版の鉄筋応力度の許容値

関連する道示の規定

[道示 3.3 鉄筋の許容応力度]

鉄筋コンクリート構造及びプレストレストコンクリート構造に対する鉄筋の許容応力度は,直径32mm以下の鉄筋に対して表-3.3.1の値とする。

(17 mm) 文(17 mm)					
鉄筋の種類 応力度,部材の種類			SR235	SD295A SD295B	SD345
	1)活荷重および衝撃以	80	100	100	
引張応力度	2)荷重の組合せに衝 突荷重又は地震の 影響を考慮しない	一般の部材	140	180	180
	場合の許容応力度の基本値	床版及び支間長10m 以下の床版橋	140	140	140
	3)荷重の組合せに衝突を考慮する場合の許	140	180	200	
	4)鉄筋の重ね継手長又場合の許容応力度の	140	180	200	
5)日	5)圧縮応力度			180	200

表-3.3.1 鉄筋の許容引張応力度(N/mm²)

2) 荷重の組合せに衝突又は地震の影響を考慮しない場合の許容応力度は,3.1(3)の規定により許容応力度を割増すが,その時の基本となる値を示したものである。この値は,荷重の繰返し載荷によりコンクリートのひび割れが拡大し有害なひび割れにならないこと,従荷重および従荷重に相当する特殊荷重が作用した場合でも有害なひび割れが発生しないこと等から定めたものである。ここで,床版及び支間長10m以下の床版橋の場合は,活荷重による応力変動幅が大きく,しかも繰返し荷重が多いことから,一般の部材に比べて非常に苛酷な荷重状態にさらされており,有害なひび割れが発生する可能性が高いと考えられる。さらに,このようなひび割れが荷重の繰返し載荷により大きくなり,コンクリートのはく離等に進展するのを避けるために,鉄筋の許容応力度を一般の部材に対して規定した値より低減した。さらにこの観点から,鉄筋コンクリート床版の鉄筋については,140N/mm²の許容応力度に対し20N/mm²程度余裕を持たせるのが望ましい。

技術的課題

ストラットに支持された張出し床版は,支持条件が道示の前提条件と異なることや,主たる 断面力が発生する方向や支間長が明確でないため,床版支持条件が異なる場合の鉄筋応力度の 許容値の設定について検証が必要である。

性能評価の対応策

道路橋示方書の前提と相違しているかどうかを検証することで,従来PC床版と同等の性能 を有することを確認して道路橋示方書の規定を準用できるか判断する。

【解説】

鉄筋の許容応力度についても、1-2-1)コンクリート応力度の許容値と同様に、1-1-1)、1-2-1)による適切な断面力算出と床版厚の設定を行えば、現行道示を準用すれば、従来PC床版と同等と見なせるものと考えられる。

1-2-4) 床版の疲労耐久性

関連する道示の規定

[道示 7.2 設計一般]

- (1) 床版の設計においては,直接支持する活荷重の影響に対して安全なようにするほか, 以下の1)及び2)の規定を満足するものとする。
- 1) 活荷重等に対して,疲労耐久性を損なう有害な変形を生じないようにするものとする。
- 2) 自動車の繰返し通行に対して、疲労耐久性が損なわれないようにするものとする。 鉄筋コンクリート構造及びプレストレストコンクリート構造に対する鉄筋の許容応力度 は、直径32mm以下の鉄筋に対して表-3.3.1の値とする。
- (1) 床版が直接支持する活荷重等の影響に対する安全性は,床版の基本的な性能であり,これを満足する他,とくに大型の自動車の繰返し通行に対して耐久性を損なわないようにするものとする。・・・・・・・

床版の有害な変形は,疲労耐久性に大きな影響を及ぼすコンクリート部材のひび割れの発生 等のおそれがある。したがって,疲労耐久性を損なうような有害な変形を生じないようにする 必要がある。・・・・・・

技術的課題

ストラットに支持された張出し床版は,支持条件が道示の前提条件と異なるため,床版厚を変化させた場合,大型の自動車による影響,たわみおよび振動の変形による二次応力の発生が懸念される。よって,これまでの,みなし仕様がそのまま準用できない場合,疲労耐久性について,その検証が必要である。

性能評価の対応策

道路橋示方書の前提と相違しているかどうかを検証することで,従来PC床版と同等の性能 を有することを確認して道路橋示方書の規定を準用できるか判断する。

【解説】

断面力と床版厚を適切に設定し,床版応力度をフルプレストレスに抑えてひび割れを発生させないようにすれば,現行道示のみなし仕様により設計された従来PC床版と同等レベルと考えることができる。従来PC床版は,実績と輪荷重走行試験による耐久性の高さは既に確認されており,1-1-1),1-2-1)~1-2-3)による適切な断面力算出手法,床版の最小全厚,コンクリートおよび鉄筋の許容応力度の検証を行うことにより,疲労耐久性は確保できるものと考えられる。また,ストラット付き床版については,輪荷重走行試験を実施して疲労耐久性を確認した事例もある1-2-1。

[検証事例 : 3次元FEM解析を用いたストラット付き床版の活荷重による断面力の算出方法]

[検証事例 : ストラット付き床版の輪荷重走行試験の事例] [広幅員一室箱桁の検証事例 : 床版の最小全厚の設定方法]

[参考文献]

1-2-1) 長谷,本間,宮越,川崎,新井:橋軸方向施工目地を有するストラット付張出し床版の移動 輪荷重走行疲労試験(第二東名高速道路 内牧高架橋),土木学会第3回道路床版シンポジ ウム講演論文集,2003.6 1-2-5) 使用目的と適合性(鉛直曲げ剛性の確保,活荷重のたわみ)

関連する道示の規定

[道示 7.2 設計一般]

- (1) 床版の設計においては,直接支持する活荷重の影響に対して安全なようにするほか, 以下の1)及び2)の規定を満足するものとする。
- 1) 活荷重等に対して,疲労耐久性を損なう有害な変形を生じないようにするものとする。
- 2) 自動車の繰返し通行に対して,疲労耐久性が損なわれないようにするものとする。 鉄筋コンクリート構造及びプレストレストコンクリート構造に対する鉄筋の許容応力度 は,直径32mm以下の鉄筋に対して表-3.3.1の値とする。
- (2) 7.3から7.5によるプレストレストコンクリート床版及び設計基準強度24N/mm²以上のコンクリートを用いた鉄筋コンクリート床版は,(1)を満足するとみなしてよい。
- (1) 床版が直接支持する活荷重等の影響に対する安全性は,床版の基本的な性能であり,これを満足する他,とくに大型の自動車の繰返し通行に対して耐久性を損なわないようにするものとする。・・・・・・

床版の有害な変形は,疲労耐久性に大きな影響を及ぼすコンクリート部材のひび割れの発生 等のおそれがある。したがって,疲労耐久性を損なうような有害な変形を生じないようにする 必要がある。・・・・・・

(2) プレストレストコンクリート床版及び設計基準強度が24N/mm²以上のコンクリートを用いた鉄筋コンクリート床版で,7.3に規定する床版の厚さを満足し,7.4の規定による設計曲げモーメントにより床版を設計する場合は,せん断に対する照査を省略できることとした。これは,最小全厚を満足し,7.4の規定による設計曲げモーメントにより床版を設計する場合は,活荷重によるせん断破壊に対して十分安全であるため,一般にせん断力に対する検討を省略できるものとした。しかし,施工時に大きな荷重を受ける場合等では,十分な検討をすることが望ましい。

技術的課題

ストラットに支持された張出し床版は,支持条件および床版支間が従来の床版と異なるため, 鉛直曲げ剛性が確保できる床版の最小全厚の設定方法,および,従来のコンクリート床版では 問題とならない範囲であることが明白である活荷重のたわみ算出方法の検証が必要である。 性能評価の対応策

道路橋示方書の前提と相違しているかどうかを検証することで,従来PC床版と同等の性能 を有することを確認して道路橋示方書の規定を準用できるか判断する。

【解説】

1-2-1)による適切な最小全厚を設定することにより,従来PC床版と同様の鉛直曲げ剛性を確保できる。

床版の曲げモーメントを評価する3次元FEM解析を用いて,活荷重によるたわみを確認する (床版支間が大きくなっても,ストラットで支えられたコンクリート床版は剛性が大きく,活荷 重によるたわみは小さく問題にならないものと考えられる)。

[検証事例 :3次元FEM解析を用いたストラット付き床版の活荷重による断面力の算出方法] [広幅員一室箱桁の検証事例 :床版の最小全厚の設定方法]

2) ストラット

- 2-1) 道示の断面力算出方法を適用できない場合の設計法
- 2-1-1) ストラットの材料・形状選定

関連する道示の規定

[道示 19.4 材料]

[道示 19.4.1 一般]

- (1) 材料は,設計図等にて指示されたものを使用しなければならない。
- (2) 材料は,所定の特性や品質を確保しているものでなければならない。
- (1) コンクリート構造物においては,材料そのものの品質が耐久性に大きく影響する。したがって,設計図等で指示されたものを使用しなければならない。
- (2) コンクリート橋を構成する材料は,所定の特性や品質を確保していることが確認されたものでなければならない。新たに開発された新材料を使用する際は,適切な試験,検査により,要求される性能を満足していることを十分に確認した上で使用しなければならない。 は存的課題

ストラットの材料は,鋼製やとコンクリート製の実績があるが,鋼製ストラットは,将来において塗装の塗り替え作業が困難であるため防錆対策の検証が必要となり,コンクリート製ストラットは,施工時の荷役設備,将来のコンクリートの劣化および剥落防止の検証が必要である。 性能評価の対応策

ストラットの材質は,コンクリート製や鋼製などが考えられる。コンクリート製の場合,材料劣化および剥落防止に留意する必要があり,鋼製の場合,防錆対策に留意する必要がある。

【解説】

ストラットの材料および形状の実績は, 図-4.3に示す鋼製の角型,コンクリート製の角型および丸型がある。

材質は,防錆および剥落防止対策のため 炭素繊維コンクリートやFRP製の外套管 を使用した事例もある。また,接合部の耐 久性向上のため,コンクリート製ストラッ トに水切りスリットを設けた事例²⁻¹⁻¹⁾や,鋼 管ストラットに水切りリングを溶接した事 例²⁻¹⁻²⁾もある。

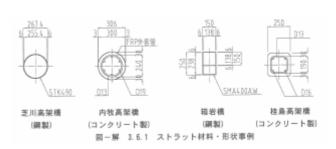


図-4.3 ストラットの材料および形状の例

[検証事例 :ストラットの材料,形状の事例]

[参考文献]

- 2-1-1)小宇佐,南山,干村,加邊,藤木,八木:第二名神高速道路錐ヶ瀧橋(上り線)の施工,橋 梁と基礎Vol.41,2007.03
- 2-1-2) 岡田,香川,管,深谷: 宍原第一高架橋の設計・施工,第12回プレストレストコンクリート の発展に関するシンポジウム,2003.10

- 2-2)床版の支持条件が従来と異なることに対する課題
- 2-2-1) ストラットの設計断面力の算出方法

関連する道示の規定

[道示 10.3 構造解析]

- (4) 横方向の設計
- 下フランジ及びウエブの断面力は ,箱げたをウエブ及び上下フランジにより構成され るラーメン構造とみなしてよい。
- (4) 1) 下フランジ及びウエブの断面力は、図-解10.3.3に示すように、橋軸方向に1mの奥行 きを有する箱形ラーメン構造にモデル化して算出しても、実用上十分な精度の解が得られるの で、一般にこの方法によって求めてよい。

この場合,活荷重による曲げモーメントは,上フランジについては,表-7.4.1により求める ものとする。また、ウエブ及び下フランジについては、・・・・最も不利となる組合せを考 慮するものとする。また,上フランジにプレストレスを導入する場合は,プレストレス力によ る不静定力の影響を考慮するものとする。

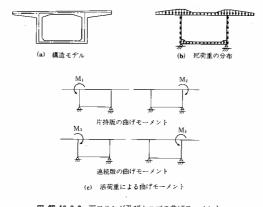


図-解 10.3.3 下フランジ及びウエブの曲げモーメント

技術的課題

ストラットによりウエブや下床版も影響を受けるため,単純な箱桁ラーメン構造と見なすこ とが出来ない。また、ストラット接合部の構造がストラットの断面力に影響するため、床版同 様にストラット部材の設計断面力算出方法が、設計手法上の検証が必要である。

性能評価の対応策

床版の支持条件を適切に再現できるモデルを設定し、荷重条件を同一にして理論値を算出す ればよいと考えられる。

【解説】

支持条件を適切に再現できるモデルとして,1-1-1)に示すような3次元FEM解析が考えられ る。そして, FEM解析による手法を用いることで, ストラットの設計断面力, 応力度は直接確 認することができる。

[検証事例 :3次元FEM解析を用いたストラット付き床版の活荷重による断面力の算出方法]

2-2-2) ストラットに発生する応力度の制限

関連する道示の規定

[道示 4.1 総則]

- (1) 部材の照査は,(2)の規定にしたがって断面力を算出し,4.2から4.6の規定にしたがって行うものとする。
- (1) 従来,荷重に対する部材の設計計算は,安全度を確保できる部材断面及び必要鋼材量を算出する規定となっていた。これに対して,本改訂では,部材が荷重に対して所要の性能を有するか否かの照査を行うという規定に定めている。すなわち,曲げモーメント,軸方向力,せん断力,ねじりモーメントといった断面力に対して,設計荷重作用時には2.2(2)に規定する荷重の組合せにより部材断面に生じる鉄筋やコンクリートの応力度が許容応力度以下であることを照査することにより,また,終局荷重作用時には2.2.(3)に規定する荷重組合せにより部材断面に作用する設計断面力が断面耐力以下であることを照査することにより,所要の性能を満足するものとみなせるとしたものである。

ここで,設計荷重作用時の照査は,鉄筋コンクリート構造及びプレストレストコンクリート構造に応じて,表-解 4.1.1に示すようにコンクリート応力度,鉄筋応力度等の項目に対して行う。また,終局荷重作用時の照査は,全ての部材の構造区分について,表-解 4.1.1に示す項目に対して行う。

表-解 4.1.1 コンクリート上部構造の荷重に対する構造部材の主な照査項目

荷重状態及び	び断面力の種類	鉄筋コンクリート構造	プレストレストコンクリート構造		
設計荷重作 用 時	曲げモスカ アウカ カリント カリント	コンクリート縁応力度 許容圧縮応力度 軸方向鉄筋応力度 許容圧縮,引張応力度 斜引張鉄筋応力度 許容引張応力度 (コンクリートせん断応力度 負担せん断応力度)	P C 鋼材応力度 許容引張応力度 (軸方向鉄筋応力度 許容引張応力度) コンクリート斜引張応力度		
終局荷重	曲げモーメ ント又は軸 方向力	設計断面力 断面耐力(码	皮壊抵抗曲げモーメント)		
作用時	せん断力又 はねじりモ ーメント	設計断面力 ウエブコンクリートの圧壊に対する断面耐力 設計断面力 斜引張破壊に対する断面耐力			

技術的課題

ストラット部材は,主として圧縮部材となる場合が多いため,座屈に対する検討も必要となる。また,接合方法によっては,引張応力を発生させないように配置することも必要となり, ストラットに発生する応力の制限に対する検証が必要である。

性能評価の対応策

ストラット部材を,床版を支える柱部材として照査を行う。

2-2-3) ストラットの疲労耐久性

関連する道示の規定

[道示 5.1 一般]

コンクリート部材の設計にあたっては,経年的な劣化による影響を考慮するものとする。

コンクリート橋の設計にあたっては,経年劣化に対して十分な耐久性が保持できるように配慮しなければならない。とくに,コンクリートの劣化,鉄筋の腐食等に伴う損傷により,所要の性能が損なわれないように耐久性の検討を行うものとする。

コンクリート部材の・・・・設計することが重要である。

なお,本章では,・・・・・検討することが望ましい。

また,疲労に対する検討は,一般にコンクリート橋として問題となった事例が少ないことから,4章の規定にしたがって部材の照査を行うことにより,一般的には疲労の検討を省略できるものとしている。しかし,これまでに実績のない構造や斜張橋等の活荷重等による疲労の影響が懸念される場合は,適切にこれを考慮しなければならない。

技術的課題

ストラットは,床版を直接支持する部材であることや,将来の維持管理が困難であることから,耐久性に十分配慮する必要がある。また,床版を支える部材であることが前提条件であるため,床版に先行して破壊することを避けるべき部材と考えられる。そのため,十分な疲労耐久性を有しているかの検証が必要である。

性能評価の対応策

ストラット本体は,軸圧縮力が卓越する部材であるため,軸圧縮力の変動レベルをチェック することで疲労耐久性を確認できると考えられる。

ストラット本体の疲労耐久性の確認を,原寸大の試験体による静的破壊試験を行った事例²⁻²⁻¹⁾ もある。

(第二東名高速道路 芝川高架橋における確認試験の実施例)

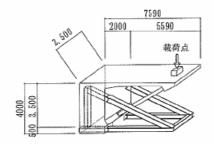
ストラットおよびストラット接合部の繰返 し載荷試験結果について

ストラットおよびストラット接合部の疲労耐 久性についても不明な点が多いため、写真-2 に示すように、ストラット周辺を取り出した実 物大試験体により定点繰返し載荷試験を実施し た。

載荷方法においては、代表荷重単位を T-60 相 当荷重とし、この荷重を 50.万回載荷した後変動 がなければ、T-60 の 2 倍に相当する荷重を 200 万回繰返し載荷した。

その結果、T-60の2倍に相当する荷重の200万回繰返し載荷後、ストラット本体およびエンドプレートの溶接部のストラット周辺部におい

て、疲労亀裂の発生等の損傷および変状がない ことを確認した。







[検証事例 : ストラットに発生する変動応力度]

[検証事例 :ストラットの疲労耐久性の確認試験の事例]

[参考文献]

2-2-1) 西須,福永,三浦,中島:芝川高架橋の設計・施工報告,第12回プレストレストコンクリートの発展に関するシンポジウム,2003.10

- 3)ストラットと床版の接合部
- 3-1) 床版の支持条件が従来と異なることに対する課題
- 3-1-1) ストラット接合部の支持構造

関連する道示の規定

[道示 7.5 構造細目]

[道示 7.5.1 床版と支持げたの結合]

- (1) 床版と支持げたとの結合部は,応力が円滑に伝わるような構造とするものとする。
- (2) (3)から(5)による場合は,(1)を満足するとみなしてよい。
- (3) 床版には,支持げた上でハンチを設けるものとする。
- (4) 床版のハンチの傾斜は,1:3よりゆるやかにするのが望ましい。1:3よりきつい場合は,図-7.5.1に示すように1:3までの厚さを床版として有効な断面とみなすものとする。

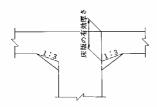


図-7.5.1 ハンチ部の床版の有効高さ

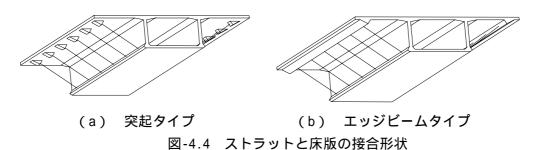
- (5) ハンチには,その内側に沿って鉄筋を配置することを原則とするものとする。ハンチに沿う鉄筋の直径は13mm以上とする。(図-6.6.6参照)
- (3) 床版のハンチは,床版と支持げたに応力をなめらかに伝えるために設けるものである。 技術的課題

ストラット取付け部は、床版からの荷重がストラットへスムーズに伝達できる構造である必要があり、突起タイプは床版に対して点支持となり、ストラット直上における上縁引張応力が過大になることが懸念される。これに対して、エッジビームタイプは、床版を線支持とすることにより床版応力は緩和されるが、エッジビームに引張応力が発生するため、留意を要する。よって、取付け部の形状の違いによって、床版に発生する断面力が大きく異なることとなるため、適切な接合部形状の設定の検証が必要である。

性能評価の対応策

ストラット取付け部の形状には,個別に突起を設けた突起タイプとはりを連続させたエッジ ビームタイプが考えられる。

ストラット取付け部の形状には,図-4.4に示すような個別に突起を設けた突起タイプとはりを連続させたエッジビームタイプが考えられる。床版の橋軸直角方向曲げモーメントは,突起タイプのほうが大きくなる傾向があり,エッジビームタイプでは床版応力の制御が可能であるが,突起タイプでは床版応力の制御が困難となる³⁻¹⁻¹)。



[検証事例 : ストラット接合部の支持構造の事例]

[参考文献]

3-1-1)竹中,中田,五藤:支保工架設による張出し床版にストラットを有する箱桁橋の設計 上川高架橋(下り線),第15回プレストレストコンクリートの発展に関するシンポジウム,2006.10

3-1-2) ストラット接合部の支持位置

関連する道示の規定

[道示 7.5 構造細目]

[道示 7.5.1 床版と支持げたの結合]

- (1) 床版と支持げたとの結合部は,応力が円滑に伝わるような構造とするものとする。
- (2) (3)から(5)による場合は,(1)を満足するとみなしてよい。
- (3) 床版には,支持げた上でハンチを設けるものとする。
- (4) 床版のハンチの傾斜は,1:3よりゆるやかにするのが望ましい。1:3よりきつい場合は,図-7.5.1に示すように1:3までの厚さを床版として有効な断面とみなすものとする。

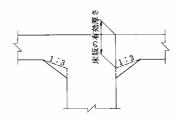


図-7.5.1 ハンチ部の床版の有効高さ

- (5) ハンチには,その内側に沿って鉄筋を配置することを原則とするものとする。ハンチに沿う鉄筋の直径は13mm以上とする。(図-6.6.6参照)
- (3) 床版のハンチは,床版と支持げたに応力をなめらかに伝えるために設けるものである。 技術的課題

ストラットの橋軸直角方向の支持位置は ,床版の先端もしくは中間とすることが考えられる。支持位置の設定には ,床版に発生する正負の曲げモーメントのバランス , ストラットの取付け角度 ,排水ます等の取付け位置との取合いなどに留意する必要がある。また , ウエブ途中にストラットを定着する場合は , ウエブ内側に引張応力が発生するため留意する必要がある。この他 , ストラットの橋軸方向間隔によっては ,床版に過大な補強が必要となる場合があるため , 適切なストラットの支持位置の設定の検証が必要である。

性能評価の対応策

ストラットの橋軸直角方向の接合位置は,床版に発生する正負の曲げモーメントのバランス を考慮して決定することが望ましい。また,橋軸方向間隔は,床版に発生する応力によって定 まる。

ストラットの橋軸直角方向の接合位置の実績としては,床版先端に取付けた場合が多い。ストラット間隔を大きくすることで経済性や施工性は向上するが,床版に発生する応力は当然大きくなるため,床版に過大な補強が必要とならない範囲とする必要がある³⁻¹⁻¹)。また,片持ち架設工法の場合,ブロック長により,ストラット間隔を決めた事例²⁻²⁻¹)もある。



(a) 先端取付け (b) 中間取付け 図-4.5 ストラットと床版の接合形状

[参考文献]

- 2-2-1) 西須,福永,三浦,中島:芝川高架橋の設計・施工報告,第12回プレストレストコンクリートの発展に関するシンポジウム,2003.10
- 3-1-1)竹中,中田,五藤:支保工架設による張出し床版にストラットを有する箱桁橋の設計 上川高架橋(下り線),第15回プレストレストコンクリートの発展に関するシンポジウム,2006.10

3-1-3) ストラット接合部の疲労耐久性

関連する道示の規定

[道示 5.1 一般]

コンクリート部材の設計にあたっては,経年的な劣化による影響を考慮するものとする。

疲労に対する検討は、一般にコンクリート橋として問題となった事例が少ないことから、4 章の規定にしたがって部材の照査を行うことにより、一般的には疲労の検討を省略できるもの としている。しかし、これまでに実績のない構造や斜張橋等の活荷重等による疲労の影響が懸 念される場合は、適切にこれを考慮しなければならない。

[道示 19.9 プレキャスト部材を用いた構造物の施工] [道示 19.9.4 接合]

- (1) プレキャスト部材の接合は,使用する接合材料に最も適する施工方法を検討し,強度,耐久性,水密性等所定の品質が得られるように入念に行わなければならない。
- (1) 接合面は,豆板等の不良なコンクリート部分を,・・・・しなければならない。 なお,コンクリート,セメント系モルタル・・・・・シース周辺や型わくのすみずみま で行きわたるように,振動機を用いて十分に締固めを行わなければならない。

技術的課題

ストラット接合部は,ストラットにより床版を直接支持する部材であるため,耐久性に十分 配慮する必要がある。よって,これらが十分な疲労耐久性を有しているかの検証が必要である。 性能評価の対応策

ストラット接合部はすべての荷重状態で引張応力を発生させないことで高い疲労耐久性を有すると考えられる。

また,この部位は,補強鉄筋が多く配置されているため,コンクリートの確実な充填を行う ための配慮が必要である。

ストラット下端の主桁との接合部は,ストラット構造において重要な部位である。このため,図-4.6に示すような原寸大の試験体による繰返し載荷試験を行い,疲労耐久性を確認した事例 ²⁻²⁻¹⁾もある。また,コンクリートを確実に充填するために,図-4.7に示すようにストラット下端のエッジ上部の型枠を透明型枠とした上,振動ディバイスを用いて打設時の充填確認を行った事例²⁻¹⁻²⁾もある。



図-4.6 原寸大の供試体実験の例

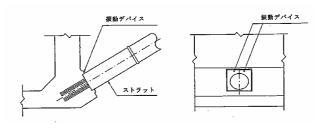


図-4.7 振動ディバイスを用いた事例

[検証事例 :ストラットの疲労耐久性の確認試験の事例]

[検証事例 : ストラット接合部の構造の事例]

[検証事例 : ストラット接合部のコンクリート充填確認の事例]

[参考文献]

2-1-2) 岡田,香川,管,深谷: 宍原第一高架橋の設計・施工,第12回プレストレストコンクリート の発展に関するシンポジウム,2003.10

2-2-1)西須,福永,三浦,中島:芝川高架橋の設計・施工報告,第12回プレストレストコンクリートの発展に関するシンポジウム,2003.10

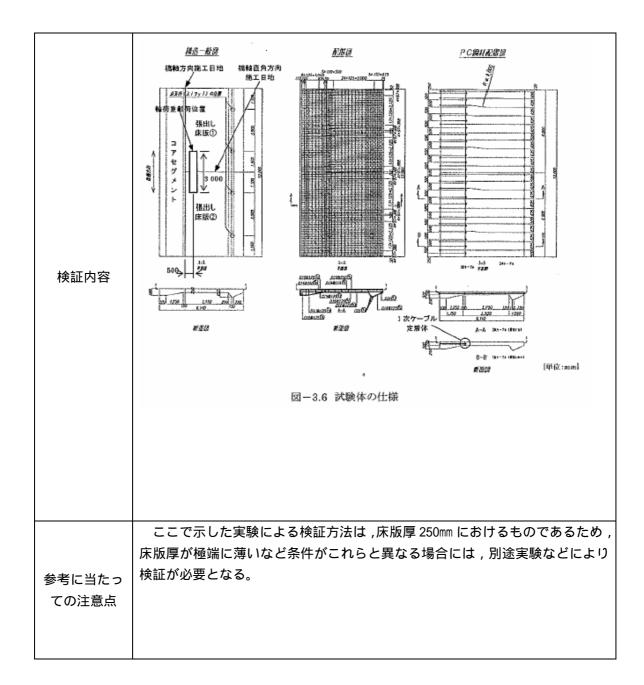
(3)検証事例

上述した技術的課題と対応策に対して,解析等を伴うものについて,具体の検証事例を 事項より示す。

事例	3次元FEM解析を用いた活荷重による断面力の算出方法				
要求性能	構造の安全性,使用目的との適合性	関連規定	道示	7.4.2	
検証目的	道路橋示方書における床版の設計曲 支持された等方性の無限単純版あるい 純版にモデル化して算出した理論値に 参照 》これに対し,ストラット付き床 トラットによって支持される構造であ と支持条件が異なるため,道示式を用い	は1辺固定 , 基づき , 設定さ 基づき , 設定さ 版は , 張出し る。このため	1 辺自由の等 なれている(彡 床版と下床版 , 道示式設定	方性の無限単 参考資料 2.7.1 ・ウエブをス 時のモデル化	
検証手法	実験による検証 ・ 解析によ	る検証・ i	道路橋示方書	の準用	
検証方針	3 次元 FEM 解析により断面力を算出	する。			
検証内容	 (1) 3次元FEM解析による断面力の争・検討対象主桁断面 (2)活荷重の載荷方法 ・ストラット直上,ストラット間に対載荷させる。 	0 300 7ト付き床版箱桁の例 デル) して最も不利に	こなるように	T 荷重を	

ケース 2 ケース1 a Softe Se ケース4 ケース3 RECORD OF RESIDENCE Kill Kill 検証内容 ケース 7 AND THE REST OF THE PERSON 因一解 5.6.3 載荷位置 T荷重の占有幅および載荷幅を図-解 5.6.4 に示す。 t = 15m + 1/2×270m (E.#/8/#) 20003 摘赖直角方向 図一解 5.6.4 T荷重の占有幅および載荷 FEM解析は,汎用性のある解析ツールが多く開発され,従来と比べ簡易に 扱えるようになってきたものの, モデル化によって結果に差異が生じることも あり、十分留意する必要がある。以下に考えられる留意事項を列挙する。 シェルモデルとソリッドモデルがあり,より実構造に近 いのはソリッドモデルであるが、モデル作成に手間を要する。シェルモデル は、ソリッドモデルに比べモデル作成は容易であるが、部材間の結合条件な どに留意が必要となる。 参考に当たっ メッシュ分割 メッシュの分割数,大きさなどに結果が左右される。適 ての注意点 切で無駄のないメッシュ分割を行う必要がある。 道示算出式のモデルは無限長であるが, FEMモデルは, モデルの長さ 得られる解に問題の無い範囲で、できるだけ短いモデル長とするのが望まし l1. 支持条件 PC箱桁をモデル化するため,下端の支持条件によっても得 られる値が異なる可能性がある。 (これらの比較検討結果例については,5参考資料を参照)

事例	ストラット付き床版の輪荷重走行試験	の事例		
要求性能	疲労耐久性	関連規定	道示	7.2
検証目的	断面力と床版厚を適切に設定し,床び割れを発生させないようにすれば, PC床版と同等レベルと考えることが 輪荷重走行試験による耐久性の高さは ト付き床版は,実績がないため,輪荷 した事例もある。	道示のみなしん できる。そして 既に確認されて	±様により設計 て従来PC床版 ている。しかし	された従来 は,実績と ,,ストラッ
検証手法	実験による検証・ 解析によ	る検証・ 泊	道路橋示方書の)準用
検証方針	輪荷重走行試験を実施して疲労耐久性	 を検証した事例		
検証内容	第二東名高速道路 内牧高架橋におい 3.移動輪荷重走行疲労試験 3.1 試験目的 一般的に施工目地は構造上弱点とが応力度や応力変動の小さい位置に目地する必要がある。特に床版は、活荷重(荷重の影響を直接受けるため、床版に部が、疲労耐久性上、弱点になる可能床版に施工目地が介在する場合、疲労めに疲労試験を行うケースが多いの、力し床版は、播軸方向に施工目地が介在持条件が一般的でないため、実物大の動輪荷重を走行させて、疲労安全性を対象を発生を	よる可能性があれる能力を設ける等のは 輸荷重される施工性が高い、この な存在においても を存在においても を存在した、床機 確認することとし を確認することとし	るため, 配慮を に し に し た る は り め た 出 数 の た と し と り た る と し た る と し 、 た る と し る た る と と り る た と り る た と り る と の と の と の と の と の と の と の と の と の と	2)



[参考文献]

- (3)- -1) 長谷, 本間, 宮越, 川崎, 新井: 橋軸方向施工目地を有するストラット付張出し床版の移動輪荷重走行疲労試験(第二東名高速道路 内牧高架橋), 土木学会第3回道路床版シンポジウム講演論文集, 2003.6
- (3)- -2) 鴻上,本間,長谷,新井:内牧高架橋の張出し床版の移動輪荷重疲労試験,第12回プレストレストコンクリートの発展に関するシンポジウム,2003.10

事例	ストラットの)材料,形状の事	事例						
要求性能	疲労耐久性,	使用目的との過	適合性 「	関連規定	道示	19.4.1			
検証目的	および丸型が炭素繊維コン部の耐久性的	ストラットの材料および形状の実績は、鋼製の角型、コンクリート製の角型および丸型がある。ストラットは、コンクリートの劣化および剥落防止のため、炭素繊維コンクリートやFRP製の外套管を使用した事例もある。また、接合部の耐久性向上のため、コンクリート製ストラットに水切りスリットを設けた事例や、鋼管ストラットに水切りリングを溶接した事例もある。							
検証手法	実験に	こよる検証・	解析による核	・ 道	直路橋示方書 <i>0</i>)準用			
検証方針	使用事例								
	橋名	表-4.2 ストラットの実績							
	芝川高架橋	鋼製	STK490	円形 267.4mm	めっき , t=6mm めっき 素塗装	表面をフッ			
	内牧高架橋	コンクリート	ck=50N/mm ² スランプ゜:18.0cm	円形 300mm	外套管 素塗装	管表面をフッ も -フとして炭素			
	宍原高架橋	コンクリート	_{ck} =40N/mm ² 高流動	円形 260mm		套管(t=3mm) 営表面をフッ も			
	桂島高架橋	コンクリート	_{ck} =50N/mm ² スランプ [*] :8.0cm	短形 250mm×250	フェールセ	捕強コンクリート ーフとしてステン			
検証内容	採用している	§では,施工時の ら ^{⑶1)} 。 ♪トに水切りを記		 最小限とする	ーーーー っため鋼製の <i>フ</i>	ストラット			

策として,本体にスリットを設けて水切りとする構造(写真-4.1)を採用した 事例 $^{(3)}$ - $^{-2)}$ もある。また,最初に製作したストラットを使用して水切り機能の 確認試験を行い,採用した水切り形状の妥当性を検証している(写真-4.2)。



写真-4.1 水切り構造(コンケリート製) 写真-4.2 水切り機能確認試験



鋼製のストラットでは,水切りリングを設置して,実際に青く着色した水を流して確実に水がきれる事を確認した事例(3)--3)もある(写真-4.3)。



検証内容

写真-4.3 水切り構造(鋼製)

参考に当たっ

ての注意点

ストラットに用いる材料および形状は,構造特性,耐久性,経済性および施工性などを考慮し,選定する必要がある。

鋼製で形鋼を用いる場合は円形および短形どちらを選択しても大きな差異はない。コンクリート製の場合,円形を採用する際には型枠として外套管が必要でありコンクリートは鉛直打設される。短形では転用可能な型枠を水平に設置して打設が可能であるので,施工性に優れるとともに剥落防止の繊維混入コンクリートの使用も容易となる。

[参考文献]

- (3) -1) 西須, 福永, 三浦, 中島: 芝川高架橋の設計・施工報告, 第12回プレストレストコン クリートの発展に関するシンポジウム, 2003.10
- (3)- -2) 小宇佐,南山,干村,加邊,藤木,八木:第二名神高速道路錐ヶ瀧橋(上り線)の施工,橋梁と基礎Vol.41,2007.03
- (3)- -3) 鴻上, 本間, 長谷, 新井: 内牧高架橋の張出し床版の移動輪荷重疲労試験, 第12回プレストレストコンクリートの発展に関するシンポジウム, 2003.10

要求性能 耐久性(疲労),使用目的との適合性 関連規定
検証目的 「大田田田田田田田田田田田田田田田田田田田田田田田田田田田田田田田田田田田
検証方針 コンクリート製の場合のストラットの変動応力を算出し,コンクリートの疲労強度以下であることを確認する。 事例 に示すFEM解析を用いて算出したストラットに発生する最大・最小断面力を以下に示す。 CASE-1:軸力最小時の断面力(=死荷重時) N = 213(kN), M = 5(kN·m) CASE-2:軸力最大時の断面力(=設計荷重時) N = 542(kN), M = 3(kN·m) CASE-1は,活荷重が作用していない死荷重状態の場合であり,CASE-2はストラト直上にT荷重が載荷する図-4.8の状態である。
横証内容 対強度以下であることを確認する。 事例 に示すFEM解析を用いて算出したストラットに発生する最大・最小断面力を以下に示す。 CASE-1:軸力最小時の断面力(=死荷重時) N = 213(kN), M = 5(kN·m)
断面力を以下に示す。 CASE-1: 軸力最小時の断面力(=死荷重時) N = 213(kN), M = 5(kN·m) CASE-2: 軸力最大時の断面力(=設計荷重時) N = 542(kN), M = 3(kN·m) CASE-1は,活荷重が作用していない死荷重状態の場合であり,CASE-2はストラト直上にT荷重が載荷する図-4.8の状態である。
ここで,コンクリートの疲労強度については,コンクリート標準示方書の式 $(3.2.7)$ を参考に算出する $^{(3)-1}$ 。 $f_{rd} = k_{1f} \cdot f_d \cdot (1p / f_d) \cdot (1 - logN / K) \qquad (3.2.7)$ ここに, $f_{rd}: コンクリートの設計疲労強度(N/mm²)$

k_{1f}: 圧縮および曲げ圧縮の場合 k_{1f}=0.85

。: 永久荷重によるコンクリートの応力度 上記CASE-1 の大きい方

 $_{\rm p}$ = 5.3N/mm²

N:疲労寿命 2×10⁶とする K:その他一般の部材 K=17

設計疲労強度 $f_{rd} = 0.85 \cdot 38.5 \cdot (1 - 5.3 / 38.5) \cdot (1 - log(2 \times 10^6) / 17)$ = 17.8 N/mm²

以上より, $max - min = 8.3N/mm^2 < f_{rd} = 17.8 N/mm^2$

となり,変動応力は設計疲労強度の半分程度である。

本事例は,疲労寿命を2×10⁶回とした場合の検討結果であるが,対象断面のように張出し床版をストラットで支えた構造の場合,

検証内容

- ・ストラットの軸力が最大になるのは,ストラット直上のラインにT荷重が 載荷した場合であり,ストラット間隔にかかわらず概ね変動応力レベルは 同程度である。
- ・死荷重状態でストラットには圧縮力が作用しており,圧縮状態での応力変動となる。

ということを考慮すると,本事例の対象断面程度の幅員までであれば,疲労耐久性に問題はないものと考えられる。

参考に当たっ ての注意点

本事例は,疲労寿命を 2×10⁶回とした場合の検討であり,設計疲労強度に対して変動応力が十分小さいレベルであることを示したものである。よって,交通量が著しく多い路線などでは,疲労寿命についての検討が必要である。

また,水中や絶えず湿潤状態にあるコンクリートの場合,圧縮疲労強度は低下するため,ストラットに雨水が常にかからないような配慮が必要である。

[参考文献]

(3)- -1) 土木学会:2002年制定 コンクリート標準示方書[構造性能照査編]

事例	ストラットの疲労耐久性の確認試験の	事例	
要求性能	疲労耐久性	関連規定	道示 5.1
検証目的	ストラット本体は,軸圧縮力が卓越 ベルをチェックすることで疲労耐久性 原寸大の試験体による静的破壊試験を	を確認できると	と考えられる。このため,
検証手法	実験による検証 ・ 解析によ	る検証・ 追	道路橋示方書の準用
検証方針	ストラット疲労試験の事例		
検証内容	第二東名高速道路 芝川高架橋におい 7. ストラットおよびストラット接合部の繰返し載荷試験結果について ストラットおよびストラット接合部の疲労耐久性についても不明な点が多いため、写真-2に示すように、ストラット周辺を取り出した実物大試験体により定点繰返し載荷試験を実施した。 載荷方法においては、代表荷重単位をT-60相当荷重とし、この荷重を50万回載荷した後変動がなければ、T-60の2倍に相当する荷重を200万回繰返し載荷した。その結果、T-60の2倍に相当する荷重の200万回繰返し載荷後、ストラット周辺部においドプレートの溶接部のストラット周辺部におい	て、疲労亀裂のチェンを確認した。 000 % 00g	75.90 2000 55.90 敬荷点
参考に当たっての注意点	ここで示した実験による検証方法は におけるものであるため , ストラットの材質 は , 別途実験などにより検証が必要と	重 ,形状など条件	, ,

[参考文献]

2-2-1) 西須,福永,三浦,中島:芝川高架橋の設計・施工報告,第12回プレストレストコンク リートの発展に関するシンポジウム,2003.10

事例	ストラット接合部の支持構造の事例			
要求性能	構造安全性,使用目的との適合性	関連規定	道示	7.5.1
検証目的	ストラット取付け部のハンチ形状に 軸方向にはりを連続させたエッジビー。 方向曲げモーメントは,突起タイプの ームタイプでは床版応力の制御が可能 御が困難となる。国内の事例としては い。	ムタイプに分! ほうが大きくな であるが,突起	ナられる。床 なる傾向があり 起タイプでは <i>I</i>	版の橋軸直角 り,エッジビ 末版応力の制
検証手法	実験による検証・解析によ	る検証 · i	道路橋示方書(の準用
検証方針	FEM 解析による検証			
検証内容	加することとなった。 検討内容①:ストラ:	で表 で表 で表 で表 で表 で表 で表 で	3 ストラット接合部本橋では、最適なスストラット接合部タークション 1950	トラット イプ別に ************************************

検討②-1 結果について

ストラット間隔が2.0~3.5mの場合, 床版横締めPC鋼材量および橋軸直角方 向鉄筋量に差が見られず,ストラット間 隔が橋軸直角方向の曲げモーメントに与 える影響は小さいと考えられる。しかし, 橋軸方向については,ストラット間隔を 広げると曲げモーメントが大きくなり, 床版鉄筋量は増加する傾向が見られた。 橋軸方向鉄筋の配置鉄筋は,床版の構造 細目よりD25 @100 を上限とした。

表-2 ストラットの接合タイプと配置間隔の検討結果

檢討性	容②-1: 突起タ	イフ						
ストラット		網付	插軸直角方向鉄筋		婚賴力	向鉄筋	ストラット	終済
間縮	模緒め	縦縮め	上段	下段	上段	下段	形状	比較
2.0m					D16 #125	D22 @125	□280 ×280	1.021
2.5m 3.0m 3.5m	1S21.8 #500	なし	D16 #125				□290 ×290	
3.0m	100000		010 0120	210 6123	D22 #125	D25 @125	□300 ×300	1,021
3,5m					0100	D25 @100	□310 ×310	1.019

ストラット			協	橋帕底角方向鉄筋		插輪方向鉄筋			15	ストラット	斜挤	
問辦	横締め	縦締め		比段	1	授		l:段	1	段	形状	比較
2. 0m		なし									□270 ×270	1.034
2.5m	1	1S28.6 1本				1					□280 ×280	1.003
3.0m	IS21.8 @500	IS28.6 2本	nie e	@125 E	0125 D16	@125	@125 D13	13 @125	D22	0125	□290 ×290	1.001
3.5m	1021.0 6000	IS28.6 3木	010								□300 ×300	1.000
4.0n		IS28.6 4本									□310 ×310	1.012
4.5a		IS28.6 6本	1. li								□320 ×320	1.070

経済比較の結果, 突起タイプでは, ストラットの配置間隔 $2.0\sim3.5 m$ で大きな差は見られなかったが, 2.5 m および 3.5 m が経済的であった (表-2)。

検針のより 結果について

ストラット間隔が 2.0~4.5mの場合, 突起タイプ同様ストラット間隔が, 橋軸直角方向の曲げモーメントに与える影響は小さいと考えられる。また, 橋軸方向についても, ストラット間隔を広げると曲げモーメントが大きくなり, エッジビームPC鋼材量および橋軸方向鉄筋量は増加する傾向が見られた。橋軸方向曲げモーメントは, 断面剛性の高いエッジビームに集中し, 床版の曲げおよび鉄筋量の低減効果が見られた。

経済比較の結果, エッジビームタイプでは, ストラットの配置間隔 2.0~4.0m で大きな差は見られなかったが, 3.5m が経済的であった (表-2)。

接合部タイプ (突起タイプ, エッジビームタイプ) と配置間隔について検討を行った結果, 最も経済的なストラット配置は, エッジビームタイプの 3.5m 間隔となった。

(3)最適なストラット配置の決定

以上の検討結果より,ストラットの配置は,接合部位置を張出し床版先端部とした,エッジビームタイプの 3.5m 間隔と決定した。

参考に当たっ ての注意点

検証内容

ストラットの取り付け部は,取り付け面をストラットに直角にするのが望ましい。また,ストラット取り付け部は,接合のためのアンカーボルトもしくは差し筋の定着が必要となる。

[参考文献]

(3)- -1) 竹中,中田,五藤:支保工架設による張出し床版にストラットを有する箱桁橋の設計 上川高架橋(下り線),第15回プレストレストコンクリートの発展に関するシンポジウム,2006.10

事例	ストラット接合部の構造の事例			
要求性能	構造安全性,使用目的との適合性	関連規定	道示	5.1 , 19.9.4
検証目的	ストラット接合部は,構造上重要なる。コンクリート製ストラットの場合されるが,プレキャストセグメントのコンクリートせん断キーと端面の摩擦	,差し筋により 場合 , その方法	Ĵ床版およ まが困難で	び主げたに接合 ある。そのため ,
検証手法	実験による検証 ・ 解析によ	る検証 ・ i	道路橋示方	言書の準用
検証方針	ストラット接合部の構造事例			
検証内容	芝川高架橋では,ストラット直下にカー筋タイプを採用している(図-4.9) *ジョウ&返り 下 安合部(芝川高 がプレキャス がって、コンパ こいる(図-4.1	端部をあり、大りのから、大りのいりのから、大りのいりのものものものものりのものものものものものものものものものものものものも	71-388×380×22 ストラット STR498 グェダー・マーロ STR498 ウェダー・マーロ STR498 グェダー・マーロ STR498

宍原高架橋では,主げたが現場打ちにて施工されるため,上端部および下端部ともに差し筋により接合する構造としている(図-4.11)。

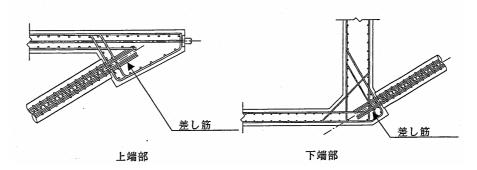


図-4.11 コンクリートストラット接合部 (宍原高架橋の事例)

検証内容

[参考文献]

1) 斎藤,本間,宇佐美,山村:断面を分割架設するストラット付PC箱桁のストラット接合部 第二東名高速道路 内牧高架橋(PC上部工)工事,第15回プレストレストコンクリートの発展に関するシンポジウム,2006.10

参考に当たっ ての注意点

ストラット下端と主げたとの接合部は,特に雨水が廻ることが考えられるため,劣化防止に配慮する必要がある。そのため,アンカーバーを炭素繊維ロッドとした事例や埋め込み鉄筋にエポキシ塗装を施した事例もある。

[参考文献]

(3)- -1) 斎藤,本間,宇佐美,山村:断面を分割架設するストラット付PC箱桁のストラット 接合部 第二東名高速道路 内牧高架橋(PC上部工)工事,第15回プレストレスト コンクリートの発展に関するシンポジウム,2006.10

事例 —————	ストラット接合部のコンクリート充填確認の事例
要求性能	構造安全性,使用目的との適合性 関連規定 道示 5.1,19.9.4
検証目的	ストラット下端と主桁との接合部は、ストラット構造において重要な部位であり、損傷により床版構造に重大な欠陥を招く恐れがある。また、この部位は、補強鉄筋が多く配置されているが、充填状況が目視出来ないためコンクリートの確実な充填を行うための配慮が必要である。
検証手法	実験による検証・ 解析による検証・ 道路橋示方書の準用
検証方針	ストラット接合部のコンクリート充填確認の事例
検証内容	央原高架橋では、コンクリートを確実に充填するために、ストラット下端のエッジ上部の型枠を透明型枠とした上、振動ディバイスを用いて打設時の充填確認を行った事例 ²⁻¹⁻²⁾ もある(図-4.12、写真-4.4)。 図-4.12 振動ディバイス配置図(宍原高架橋) 株知報果表示等 「大坂鉄畑ンステム 写真-4.4 振動ディバイス・充填検知システム
参考に当たっての注意点	振動ディバイス・充填検知システムは、実施工に先立ち主桁下端部の実物大模型を用いて充填確認試験を行った上で、実施工に用いられている。このため、コンクリートの配合など条件が異なる場合には注意が必要となる。

[参考文献]

2-1-2) 斎藤,本間,宇佐美,山村:断面を分割架設するストラット付PC箱桁のストラット接合部 第二東名高速道路 内牧高架橋(PC上部工)工事,第15回プレストレストコンクリートの発展に関するシンポジウム,2006.10

5 参考資料

(1) 道路橋示方書における床版構造の考え方

本節では、道路橋示方書における床版設計の規定の変遷を調査し、道示の床版設計に対する考え方を確認することとする。その上で、新しい床版構造を設計するにあたって、現行道示の要求する床版構造と同等の安全性を確保するために必要な条件等について、整理を行う。調査と整理は、以下の項目について行うこととする。

- ・最小全厚について
- ・活荷重による設計曲げモーメント
- ・鉄筋の許容応力度
- ・床版支間直角方向の設計について

1-1) 床版の最小全厚について

1-1-1) 概要

鉄筋コンクリート床版の設計において、コンクリートは引張力に対して抵抗し得ないものと考えているが、実際にはコンクリートは、ある程度までは曲げ引張に対して抵抗することができる。したがって、荷重が載ることによって床版のコンクリートに生じる曲げ引張応力をある限界内におさえて有害なひび割れ発生の危険をできるだけ少なくするのが望ましい。そのために、鉄筋の許容応力度をある程度低く抑えるとともに、床版の最小厚が規定されている。1-1-1)

鉄筋コンクリート床版の最小全厚は、昭和31年の鋼道路橋設計示方書で初めて規定されたが、昭和40年頃鉄筋コンクリート床版の損傷が問題となったため、規定の最小全厚が引き上げられている。その後も、設計活荷重の増加や交通量の増大に伴い、最小全厚の見直しが図られている。

道示における最小全厚の規定の変遷を表-5.1に示す。

床版の支間方向が車両方向に直角の場合で、連続版における最小全厚の規定を表-5.1に示す。

表-5.1 床版最小全厚の規定の変遷(床版の支間方向が車両方向に直角の場合、連続版)

	鋼橋			備考		
基準	RC床版	PC床版	基準	RC床版	PC床版	1編 考
S 3 1 鋼道示	最小有効厚さ 11cm (かぶり25mm、主鉄筋D13とすると最小全 厚は14cm)					鋼橋において最小有効高さが最 初に規定された。
			S40 RC道示	最小有効厚さ 11cm (かぶり25mm、主鉄筋D13とすると最小全 厚は14cm)		コンクリート橋で最初に規定された(銅橋に準じている)。
S 4 3 通達	d ₀ = 3L+9 16cm		S 4 3 P C 道示	最小有効厚さ 11cm (かぶり25mm、主鉄筋D13とすると最小全 厚は14cm)	最小厚さ 14cm	通達により支間の関数式が規定、また最小厚が16cmに引き上げられた。
S 4 6 通達	d ₀ = 3L+11 16cm					
S 4 8 道示	d ₀ = 3L+11 16cm					通達の内容が道示 に規定された。
			S 5 3 道示	d ₀ = 3L+11 16cm	d ₀ = 0.9 (3L+11) 16cm	コンクリート橋編において最小 厚が規定された(銅橋編と同 じ)。新たにPC床版の最小厚 が規定された。
H 2 道示	$d_0 = 3L+11$ 16cm $d = K_1 \cdot K_2 \cdot d_0$ $K_1 \cdot \zeta$ 交通量と補修の難易度による係数 $K_2 : 付加モーメントの係数$		H 2 道示	$d_0 = 3L+11$ 16cm $d = K_1 \cdot K_2 \cdot d_0$ $K_1 : 交通量と補修の難易度による係数 K_2 : 付加モーメントの係数(=1.0)$	d ₀ = 0.9 (3L+11) 16cm PC床版の場合はK ₁ を考慮しなくてよ い(K ₂ はコンクリート橋の場合1.0)。	交通量と補修の難易度および支 持桁の不等沈下により発生する 付加モーメントの影響を考慮し 取小厚を割りますよう解説に 明記された。
H 6 道示	$d_0=3L+11$ 16cm $d=K_1\cdot K_2\cdot d_0$ $K_1: 交通量の係数$ $K_2: 付加モーメントの係数$		H 6 道示	$d_0=3L+11$ 16cm $d=K_1 \cdot K_2 \cdot d_0$ $K_1: 交通量の係数$ $K2: 付加モーメントの係数(=1.0)$	d ₀ = 0.9·(3L+11) 16cm PC床版の場合はK ₁ を考慮しなくてよ い(K ₂ はコンクリート橋の場合1.0)。	活荷重の改訂により見直し。係 数K1から補修の難易度の影響を 削除(補修が容易な場合も困難 な場合と同じ値となる)。
H 1 4 道示	同上	d ₀ = 0.9·(3L+11) 16cm PC床版の場合はK ₁ を考慮しなくてよ い(K ₂ はの記述は無し)。	H 1 4 道示	同上	同上	鋼橋編にPC床版の最小厚が新 たに規定(コンクリート橋編と 同じ)。

1-1-2) 各年代の最小厚規定により設定したRC床版の応力度状態

床版の支間方向が車両方向に直角の場合で、連続版におけるRC床版の結果を示す。 各年代の示方書に規定される床版の設計曲げモーメントを用いて、許容値に収めるための鉄 筋量を算出する。決定した鉄筋を用いて、鉄筋を換算した断面によるコンクリートの剛性を 算出し、全断面有効とした場合のコンクリート引張応力度を算出する。¹⁻¹⁻²⁾ 支間は、L=2.0m,3.0m,4.0m の場合において比較を行う。

- a. 昭和 31 年~43 年通達まで
 - ・最小有効高さ 11cm (最小全厚 14cm)
 - ·S39 鋼道路橋設計示方書における床版設計曲げモーメントを用いることとする。
 - ・鉄筋の許容応力度 sa = 140 N/mm²

表-5.2 最小全厚と鉄筋およびコンクリートの応力度(S31年~43年)

L	2.0 m	3.0 m	4.0 m
d_0	0.14 m	0.14 m	0.14 m
M	18.5 kN•m	26.0 kN•m	30.0 kN•m
S	D16ctc125	D19ctc125	D22ctc125
	144 N/mm ²	147 N/mm ²	125 N/mm ²
Z	0.0034 m ³	0.0034 m ³	0.0034 m ³
c=M/Z	-5.4 N/mm ²	-7.6 N/mm ²	-8.8 N/mm ²

L:床版支間 do:最小全厚

M:床版の設計曲げモーメント

s:RCの場合の鉄筋応力度

2: 引張主鉄筋を考慮したコンクリートの換算剛性

c:全断面有効とした場合のコンクリートの引張応力度

最小全厚 14cm は配筋や施工性などから設定されており、コンクリートの引張応力が大き く現れている。最小全厚が支間によらず一定のため、支間の増加により床版応力も増加する。

- b. 昭和 43 年通達~平成 2 年道示まで
 - ・最小全厚 d0=3L+11 16cm
 - ·S48 鋼道示における床版設計曲げモーメントを用いることとする。
 - ・床版鉄筋の許容応力度 sa = 140 N/mm²

表-5.3 最小全厚と鉄筋およびコンクリートの応力度(S43 年~H2 年)

L	2.0 m	3.0 m	4.0 m
d_0	0.17 m	0.20 m	0.23 m
М	19.8 kN•m	27.5 kN•m	35.2 kN·m
S	D16ctc125	D16ctc125	D16ctc125
	116 N/mm ²	128 N/mm ²	136 N/mm ²
Z	0.0051 m ³	0.0071 m ³	0.0094 m^3
c=M/Z	-3.9 N/mm ²	-3.9 N/mm ²	-3.7 N/mm ²

L:床版支間

do:最小全厚

M:床版の設計曲げモーメント

s:RCの場合の鉄筋応力度

Z: 引張主鉄筋を考慮したコンクリートの換算剛性

c:全断面有効とした場合のコンクリートの引張応力度

最小厚が支間の関数により設定されているため、支間によらずコンクリート応力度は概ね 一定で4.0N/mm²以下である。鉄筋はD16ctc125配置により許容値以内となっている。

- c. 平成 2 年道示以降
 - ・最小全厚 d0=3L+11 16cm、d=k1・k2・d0
 - ・現行道示における床版設計曲げモーメントを用いることとする。
 - ・鉄筋の許容応力度 140 N/mm²に対して 20N/mm²の余裕を持たせる 120N/mm²程度

表-5.4 最小全厚と鉄筋およびコンクリートの応力度(平成2年以降)

大型車交通量 500以上1000未満の場合 k_1 =1.15 コンクリート橋の場合 k_2 =1.0

L	2.0 m	3.0 m	4.0 m
d	0.196 m	0.230 m	0.265 m
M	24.8 kN•m	35.8 kN•m	49.5 kN•m
s	D16ctc125	D19ctc125	D19ctc125
	119 N/mm ²	99 N/mm ²	114 N/mm ²
Z	$0.0068 \mathrm{m}^3$	$0.0096 \mathrm{m}^3$	0.0128 m ³
c=M/Z	-3.6 N/mm ²	-3.7 N/mm ²	-3.9 N/mm ²

大型車交通量 2000以上の場合 $k_1=1.25$ コンクリート橋の場合 $k_2=1.0$

L	2.0 m	3.0 m	4.0 m
d	0.213 m	0.250 m	0.288 m
M	24.8 kN•m	35.8 kN•m	49.5 kN•m
s	D16ctc125	D16ctc125	D19ctc125
	106 N/mm ²	125 N/mm ²	103 N/mm ²
Z	0.0081 m ³	0.0111 m ³	0.0151 m ³
c=M/Z	-3.1 N/mm ²	-3.2 N/mm ²	-3.3 N/mm ²

L :床版支間 d。:最小全厚

M :床版の設計曲げモーメント

s:RCの場合の鉄筋応力度

z : 引張主鉄筋を考慮した単位幅あたりの

コンクリートの換算断面剛性

c:全断面有効とした場合のコンクリートの 引張応力度

最小全厚が支間の関数式であるため、支間によらずコンクリート応力度はほぼ一定である。また、交通量による割増しが考慮されているため、交通量が多い場合はコンクリート応力が低く抑えられる結果となる(500台以上1000台未満の場合 c=-4.0N/mm²以下、2000台以上の場合-3.0N/mm²程度)。

1-1-3) 一方向 Р C 床版の応力度状態

本研究の対象である広幅員PC箱桁は、床版の支間方向にプレストレスが導入された一方向PC床版であるため、支間方向については有害なひび割れは生じない。ただし、支間直角方向(橋軸方向)についてはRC構造とするため、ここで床版厚が規定される。

・床版の1方向のみにプレストレスを導入する場合の最小全厚 プレストレスを導入する方向:床版の支間方向に平行

床版の支間の方向:車両進行方向に直角

最小全厚 R C の場合の 90% d₀=0.9 x (3L+11) -------K₁の割り増しは行わない コンクリート橋の場合K₂=1.0

床版支間直角方向(橋軸方向)について、前述のRC床版と同様の検討を行う。 支間は、道示の適用範囲である 4.0m、6.0m および適用範囲外の 8.0m とする。L=8.0m においては、最小厚、設計曲げモーメントとも道示式を延長して用いた場合と、FEM解析値の20%割増し値を用いた場合において比較を行う。

表-5.5 最小全厚と鉄筋およびコンクリートの応力度(支間直角方向)

L	4.0 m	6.0 m	8.0 m	8.0 m
	(M:道示)	(M:道示)	(M:道示)	$(M: FEM \times 1.2)$
d	0.207 m	0.261 m	0.315 m	0.261 m ()
M	35.2 kN•m	51.2 kN•m	67.2 kN•m	53.8 kN•m
s	D19ctc125	D22ctc125	D22ctc125	D22ctc125
	113 N/mm ²	91 N/mm ²	95 N/mm ²	96 N/mm ²
Z	0.0077 m ³	0.0126 m ³	0.0184 m^3	0.0126 m ³
c=M/Z	-4.6 N/mm ²	-4.1 N/mm ²	-3.7 N/mm ²	-4.3 N/mm ²

L:床版支間

do:最小全厚

M:床版の設計曲げモーメント

s:RCの場合の鉄筋応力度

Z: 引張主鉄筋を考慮したコン クリートの換算剛性

c: 全断面有効とした場合の コンクリートの引張応力度

L=8.0m の場合、道示の最小厚規定に従えば31.5cm 必要となる。ここで、設計曲げモーメントとしてFEM解析値を採用すると、床版厚をこれより小さくしてもコンクリート応力度を同レベルに抑えることができる。表-5.5 の右端欄()は、L=8.0m のFEM解析値に対して最小厚をL=6.0m と同じとした場合の結果である。コンクリート応力度はほぼ同レベルに抑えられている。

[参考文献]

- 1-1-1) 道路橋示方書・同解説 鋼橋編 8.2.5 床版の最小全厚(平成 14 年 3 月)
- 1-1-2) 2 主構 I 桁形式道路橋のR C 床版の最小厚規定について,石崎・松井,土木学会第 50 回年次学術講演会(平成7年9月)

1-2) 活荷重による床版の設計曲げモーメント

1-2-1) 概要

鉄筋コンクリート床版の活荷重による設計曲げモーメントは、最初は、版の有効幅を考慮した梁として算出されていたが、昭和31年鋼道路橋設計示方書において、初めて版の概念が取り入れられ、一方向版として算出する設計曲げモーメントが規定された。その後、衝撃の影響を見込んだ式を規定する、交通量が多い場合の割り増し係数を規定するなどの変遷を経て、設計される床版の耐久性も向上してきたものと考えられる。そして、車両の大型化に対応した平成6年の活荷重改訂に伴い、床版支間に応じた割り増し係数が設定され、現在に至っている。

本節では、道路橋示方書における床版の設計曲げモーメント規定の変遷を調査し、規定の設定に対する条件などの整理を行うこととする。

表-5.6 に道路橋示方書における床版の設計曲げモーメントの変遷を示す。

表-5.6 道路橋示方書における床版の設計曲げモーメント算出式の変遷

床版の支間方向:車輌進行方向に直角 曲げモーメントの方向:支間方向 についての比較

版の区分	曲げ モーメント の種類	鋼道路橋設計示方書 昭和39年6月	鉄筋コンクリート 道路橋示方書 昭和40年7月	プ レストレストコンクリート 道路橋示方書 昭和43年3月	道路橋示方書 鋼橋編 昭和48年2月	道路橋示方書 コンクリート橋編 昭和53年1月	道路橋示方書 編編編 平成6年2月	道路橋示方書 鋼橋編 平成14年3月
単純版	支間	L 2 + 0.25·P·L 0.7·L+1 2 L 4 + 0.5·P·(L-1) L+0.4	ALIHO TI		0 L 4 + (0.12·L+0.07)·P	RC 0 L 4 PC 0 L 6 + (0.12・L+0.07)・P 式は同左	・算出式は、鋼橋、コンク	
連続版	支間	L 2 + 0.2・P・L 0.7・L+1 (単純版の80%) 2 L 4 + 0.4・P・(L-1) L+0.4 (単純版の80%)	L 6 (0.1+0.075•L)•P	同左	O L 4 +(単純版の80%)	RC 0 L 4 +(単純版の80%) PC 0 L 6 式は同左		RC O L 4 + (単純版の80%) PC O L 6
Z WLIIA	支点	L 2 <u>0.2・P·L</u> 0.7・L+1 (単純版の80%) 2 L 4 <u>0.4・P·(L-1)</u> L+0.4 (単純版の80%)	L 6 -(0.125+0.15•L)•P	同左	0 L 4 - (単純版の80%)	RC 0 L 4 - (0.15-L+0.125)-F PC 0 L 6		RC 0 L 4 - (単純版の80%)・P PC 0 L 4 - (単純版の80%)・P PC 4 < L 6 - (0.15・L+0.125)・P PCの4 ~ 6mのみ 編と同じ
片持ち版	支点	L 1 _ <u>P·L</u> 2·L+0.4	L 5 -(0.25+0.28·L)·P	同左	0 L 1.5 - P·L (1.30·L+0.25)	RC 0 L 1.5 PC 0 L 1.5 式は同左 PCの場合 PC 1.5 < L 3.0 - (0.6-L-0.22)・P		RC 0 L 1.5 PC 0 L 1.5 P-L (1.30·L+0.25) PC 1.5 < L 3.0 - (0.6·L-0.22)・P PCの1.5 ~ 3.0mのみ 編と同じ
条件	・衝撃含まず		・衝撃含む ・Tげた橋用の式 (箱桁も同じ) ・RC床版、PC床版の 区別は無い	同左 ・配力鉄筋方向の式を 新たに規定	・衝撃含む ・現在の道示式の原型(同じ) ・適用範囲は4mまで ・RC床版、PC床版の 区別は無い	出手口も	・ コンクリート橋編は以 後変わらず。	・算出式は基本的にかわらず。 ・銅橋編に、新たにPC床版の式が規 定。

1-2-2) 各年代の道路橋示方書における床版設計曲げモーメント算出式の設定

鋼道路橋設計示方書(昭和39年6月)

a. 概要

鉄筋コンクリート床版を等方性弾性版と仮定し、上に厚さ5cm の舗装を考え、辺長比については単純版・連続版では主鉄筋と直角方向の辺長が無限に長い場合について求めた理論式に対する実用近似式で、主鉄筋と直角方向の辺長が主鉄筋方向の支間の2倍以上の場合に適用する。片持版では片持と直角方向の辺長が、片持方向支間の5倍以上の場合について求めた理論値に対する実用近似式である。

b. 解析モデルと荷重の載荷方法

図-5.1 に想定している鋼橋のイメージ、図-5.2 に単純版の場合の解析モデルを示す。

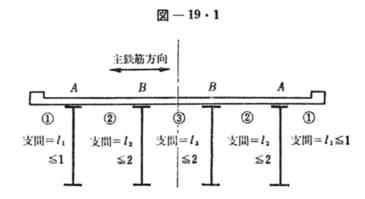


図-5.1 想定している鋼橋のイメージ

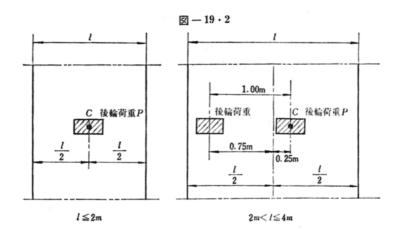


図-5.2 単純版の場合の解析モデル

算出式設定の条件は下記の通りである。

- ・衝撃の影響は含んでいないため、算出した断面力に対して別途考慮する必要がある。
- ・単純版の場合の解析モデルは、2対辺を単純支持された無限長の弾性版。
- ・単純版の場合、支間 2m 以下は後輪荷重 1 個載荷、支間 2~4m では後輪荷重 2 個載荷。
- ・輪荷重は、1等橋の場合 P=8000kg
- ・輪荷重の分布は図-5.3 に示す通り。舗装厚 5cm と床版図心までの分布を考慮。床版全厚は有効厚としている。

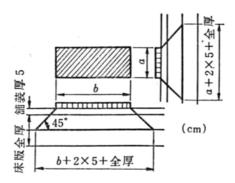


図-解 5.1.2 輪荷重の分布

図-5.3 輪荷重の分布

c. 算出式の設定

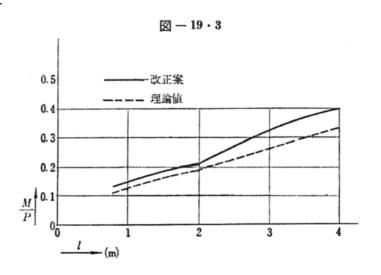


図-5.4 理論値と算出式

理論値に対して適当な余裕を見込んで算出式を設定。

余裕:支間2mまで15~20%程度 支間2~4m 20~25%程度 鉄筋コンクリート道路橋設計示方書(昭和40年7月) プレストレストコンクリート道路橋示方書(昭和43年3月)

a. 概要

鉄筋コンクリート床版を等方性弾性版と仮定し、床版の主鉄筋と直角方向の辺長が無限に 長い場合について求めた値から定めたものである。床版主鉄筋と直角方向の辺長が床版主鉄 筋方向の支間の2倍以上の場合に適用できる。

桁と版の支持条件は、通常用いられている鉄筋コンクリート道路橋について、桁の版におよぼす固定度を調べたところ 0.8 程度となっていることより、支点上の曲げモーメントに対しては安全のため固定としている(支間モーメント算出用は固定度 0.8)。

b. 解析モデルと荷重の載荷方法

- ・解析モデルや輪荷重の載荷方法については記載が無いが、概ねと同様と予測される。
- ・衝撃の影響を含んだ算出式である。
- ・輪荷重は、1等橋の場合 P=8000kg
- ・輪荷重の分布は図-5.5。計算に用いた版厚は表-5.7の通り。

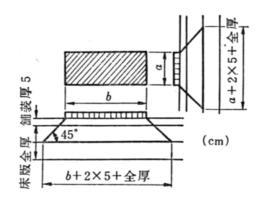


図-解 6.1.2 輪荷重の分布

図-5.5 輪荷重の分布

表-5.7 計算に用いた板厚

支間(m) 版の種類	1	2	3	4	5	6
一般床版部厚(m)	0.17	0.20	0.23	0.27	0.30	0.34
片持版厚(m)	0.25	0.25	0.25	0.30	0.30	0.30

c. 算出式の設定

例として支間中央部(図-5.6)および支点部(図-5.7)における算出式の設定結果を示す。

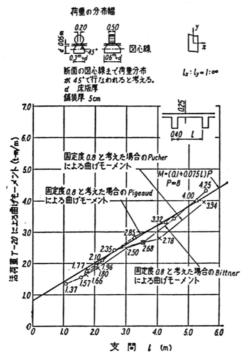


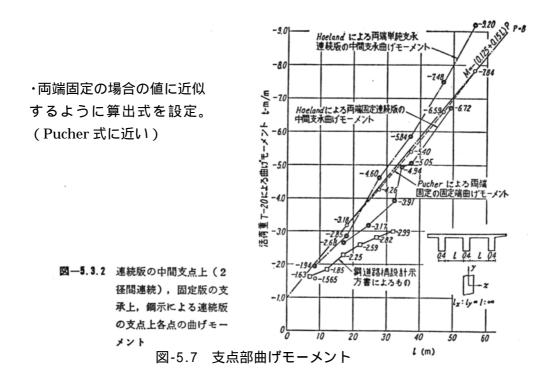
図-5.3.1 両端固定版の支間中央曲 げモーメント

Pigeaud; Calcul des Plaques rectangulaires minces.

Pucher; Einflussfelder elastischer Platten.

- ・固定度を 0.8 として両端固 定版の支間部断面力を算出。
- ・安全側に高い方の値を包括 するように算出式を設定。

図-5.6 支間中央部曲げモーメント



いずれの場合も算出式の設定に対して、安全率は特に考慮されていないものと予測される。

道路橋示方書 鋼橋編(昭和48年2月)

a. 概要

算出式の根拠は とほぼ同じ。変更点は下記5点である。

- ()辺長比が1.2以上のいわゆる1方向性版についてのみ規定した(には2方向性版の 算出式も規定されていた)。
- ()配力鉄筋方向の算出式を規定(は配力鉄筋方向の算出式は規定されていない。解説 に主鉄筋の25%以上の配力鉄筋を配置すると規定しているのみであった)。
- ()衝撃の影響を含んだ算出式とした。
- ()床版上に載る輪荷重は全て考慮した。すなわちT荷重を橋軸方向に1台、幅員方向に は台数に制限なく載荷し、それぞれ前輪荷重および後輪荷重を計算に考慮した。
- () 理論式は と同じであるが、電子計算機の使用により級数の収束計算の精度を上げた。

本示方書の算出式が、現在の床版設計曲げモーメント算出式の原型となっている。 (鋼橋、コンクリート橋とも)

b. 計算の対象とした版

相対する2辺で単純支持された 等方性無限単純版および相対する 2辺のうち1辺が固定され、他の 1辺が自由であるような等方性無 限片持版(図-5.8)

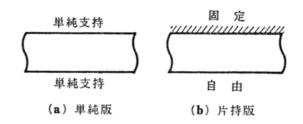


図-解 6.1.1 計算の対象とした1方向版の支持条件

図-5.8 計算の対象とした版

c. 考慮した活荷重

T荷重を橋軸方向に1台、幅員方向には台数に制限なく(実際の計算では3台まで)載荷し、それぞれ前輪荷重および後輪荷重を計算に考慮した(図-5.9)。

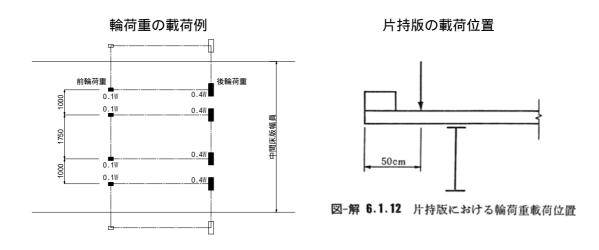


図-5.9 計算に考慮した活荷重

d. 輪荷重の分布と計算に用いた床版厚

舗装厚を 5 cm とし、床版全厚図心までの分布を考慮。床版厚は、中間床版は図-5.11、片持版は 16cm と仮定している。

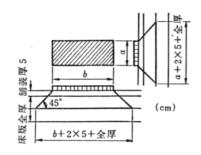


図-5.10 輪荷重の分布

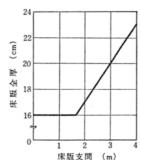


図-5.11 床版の全厚と支間の関係

e. 計算法

等方性版のたわみに関する4次のつりあい偏微分方程式を解き、着目する点の曲げモーメントを算出する。

$$\frac{\partial^4 w}{\partial x^4} + 2 \frac{\partial^4 w}{\partial x^2 \partial y^2} + \frac{\partial^4 w}{\partial y^4} = \frac{p(x, y)}{D} \quad \dots \quad (\text{ff } 6.1.1)$$

f.算出式の設定

例として単純版(図-5.12)および片持ち版(図-5.13)における主鉄筋方向の曲げモーメントについての算出式設定結果を示す。

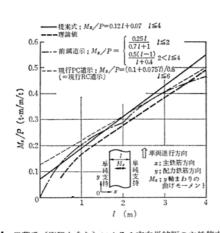


図-解 6.1.4 T荷重 (衝撃を含む) による1方向単純版の主鉄筋方向の曲げ モーメント (床版支間が車両進行方向に直角の場合)

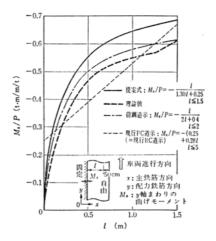


図-解 8.1.8 T荷重 (衝撃を含む) による1方向片持版の主鉄筋方向の曲げ モーメント (床版支間が車両進行方向に直角の場合)

図-5.12 単純版の主鉄筋方向の 曲げモーメント

図-5.13 片持版の主鉄筋方向の 曲げモーメント

それぞれの理論値を包括するように算出式が設定され、結果として 10~20%程度の安全率 が見られることとなっている。

(参考:各示方書における曲げモーメント算出値の比較)

参考として、各示方書における床版曲げモーメント算出値の比較を行う(図-5.14~5.16)。 連続版は支間4mまでのRC床版、片持版は支間1.5mまでのRC床版とした場合の算出値により比較を行う。

鋼道路橋設計示方書(昭和39年6月)

鉄筋コンクリート道路橋示方書(昭和40年7月)

プレストレストコンクリート道路橋示方書(昭和43年月)

道路橋示方書 鋼橋編(昭和48年2月)

道路橋示方書 コンクリート橋編(昭和53年1月)

連続版の	車続版の支点部曲げモーメント												
	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0					
	-0.83	-1.31	-1.63	-1.85	-2.29	-2.60	-2.83	-3.00					
	-1.60	-2.20	-2.80	-3.40	-4.00	-4.60	-5.20	-5.80					
	-0.83	-1.22	-1.60	-1.98	-2.37	-2.75	-3.14	-3.52					
	-1.60	-2.20	-2.80	-3.40	-4.00	-4.60	-5.20	-5.80					

は算出式に衝撃の影響が含まれていないため、衝撃係数を乗じて算出した。

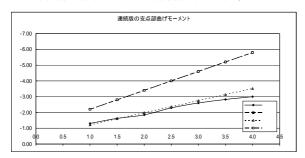


図-5.14 連続版の支間部曲げモーメント

~ において大差は無い(支間4mの場合に最大15%程度の差)。 は同じ式。

連続版σ	連続版の支間部曲げモーメント													
	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0						
	0.83	1.31	1.63	1.85	2.29	2.60	2.83	3.00						
	1.10	1.40	1.70	2.00	2.30	2.60	2.90	3.20						
	0.83	1.22	1.60	1.98	2.37	2.75	3.14	3.52						
	0.83	1.22	1.60	1.98	2.37	2.75	3.14	3.52						

は算出式に衝撃の影響が含まれていないため、衝撃係数を乗じて算出した。

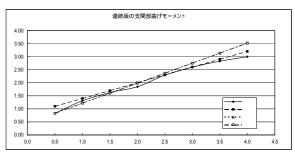


図-5.15 連続版の支点部曲げモーメント

と が同じ式。固定支持としているため、単純支持としている に比べ大きく算出されている。

片持ちに	仮の支点部曲	げモーメン	۲				
	0.25	0.50	0.75	1.00	1.25	1.50	
	-2.22	-2.86	-3.16	-3.33	-3.45	-3.53	
	-2.56	-3.12	-3.68	-4.24	-4.80	-5.36	
	-3.48	-4.44	-4.90	-5.16	-5.33	-5.45	
	-3.48	-4.44	-4.90	-5.16	-5.33	-5.45	

は算出式に衝撃の影響が含まれていないため、衝撃係数を乗じて算出した。

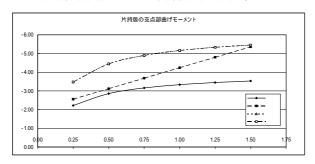


図-5.16 連続版の支点部曲げモーメント

は同じ式。他に比べ大き く算出されている。

1-3) 鉄筋の許容応力度

1-3-1) 概要

鉄筋コンクリートは、明治 30 年代中頃に国内でRC橋が完成されたと言われており、そこに使用される鉄筋も、時代と共に材質を変化させ、その許容応力度の設定・考え方を変化させてきている。

過去に発刊された『コンクリート標準示方書』や『道路橋示方書』の資料等から、鉄筋の許容応力度について下記のような事が言える。

コンクリート構造についての初めての規準となる 1931 (昭 6)年の『コンクリート示方書』では、鉄筋をJES第 20号G9「構造用圧延鋼材」とし、 sa = 1200kg/cm²とした。

この時、鉄筋コンクリート梁の試験結果によれば、鉄筋引張応力度が弾性限界に達した後に更に荷重を増加すると梁は急激に変形し、大きなひび割れが生じるとされている。そのため、弾性限度を最大強度(引張強度=3700kg/cm²)の70%と仮定し、許容値を弾性限度(降伏点)の1/2とすることによって弾性限度に対する安全率2を確保するように設定した。また、初期の亀裂は梁の斜引張応力に関する強度にも影響が大きいことから、許容値は大きくすることなく、鋼材の引張強度に関係なく上記の値としている。

1940(昭 15)年の『コンクリート示方書』では、鉄筋を JES 第 430号 G10「一般構造用圧延鋼材」SS41とした。

1931 (昭 6) 年の考え方に従えば、引張強度(4100kg/cm²)の 70%を弾性限界とし、その 1/2 を許容値とすれば sa=1400kg/cm²となるものの、戦時中の時代背景もあり、鉄の材料供給不足・セメント材料の品質も加味して、 sa=1200kg/cm²のままとし許容値の変更は 行われていない。

1955 (昭 30)年の『プレストレストコンクリート設計施工指針』以降、鉄筋をJIS G3101 「棒綱」SS39、SS41、 sa = 1400kg/cm²とした。

戦時中の鉄筋不足から解消され、材料の品質が安定してきたことから、従来の考えに従い、 sa = 1400kg/cm²に許容値をあげている。

また、この時期までは、床版部材に対する許容値の設定は特別考慮されていない。 1964(昭 39)年、JIS G3112「鉄筋コンクリート用棒綱」の使用が公布され、現在の一般 的に使用されている異形鉄筋が普及されるようになっていく。

1968 (昭 43)年の『プレストレストコンクリート設計施工指針』以降、鉄筋をJIS G3112 としSD30、SD35 の規定が明記された。一般部材は、SD30 で sa = 1800kg/cm²、SD35 で sa = 2000kg/cm²の許容値が示され、床版では繰り返し荷重の影響を考慮し sa = 1600kg/cm²に低減するのがよいとして、床版に関する許容応力度の低減という考え方が示された。

この異形鉄筋の材料名の数値表示は、SS41 のように引張強度でなく降伏強度で示されるようになり、許容応力度は降伏点応力度に応じ、その 0.6~0.55 を限度として決定している。また、耐久性から許しうるひび割れ幅の限度を考慮し、高強度の鋼材でも最大で丸鋼に対しては 1600kg/cm²、異形鉄筋は 2100kg/cm² 以下としている。

またこの時代、当時の床版設計手法の問題もあったが、経済の高度成長期の時代背景もあり、交通量と大型車両の急激な増大によって床版の損傷が目立ちはじめてきた。そのた

め、劣化のメカニズムも徐々に解明されはじめたこともあり、床版厚さ、配力筋方向の鉄 筋量の算出方法も改訂されると同時に、鉄筋の許容応力度についても、繰り返し荷重を受 ける疲労部材として許容値を低減するようになってきている。

1973 (昭 53)年の『道路橋示方書 』では、SD30、SD35 の鉄筋の場合、一般部材での許容値は sa = 1800kg/cm²であるのに対し、床版及び 10m以下の床版橋では sa = 1400kg/cm²と低減された許容値の規準が示された。

1990(平 2)年の『道路橋示方書 』以降、床版鉄筋の許容値には変更がないものの以下の内容が追加され、実質的に更に許容値を低減させる方向となっている。

「床版及び 10m以下の床版橋では、活荷重による応力変動が大きく、繰返荷重が載荷されることから、非常に苛酷な荷重状態にあり有害なひび割れが発生しやすい。そのためひび割れが大きく進展しコンクリートの剥離や脱落に至るケースが考えられることから、床版の許容応力度は sa = 1400kg/cm²に対し 200kg/cm²程度余裕をもたせるのが望ましい。」としている。

従来から鉄筋コンクリート構造で使用されてきた鉄筋材料の機械的性質を表-5.8 に示す。 表-5.8 鉄筋の機械的性質

記	号	降伏点または耐力	引張強さ
JIS G3101,G3110	JIS G3112	(kg/mm²)	(kg/mm²)
SS39	SR24	24 以上	39 ~ 53
SS41		23 以上	41 ~ 50
SS49	SR30	30 以上	49 ~ 63
SS50		28 以上	50 ~ 60
SSD39	SD24	24 以上	39 ~ 63
SSD49	SD30	30 以上	49 ~ 63
	SD35	35 以上	50 ~

鉄筋の許容応力度の主な変遷を表-5.9 示す。

表-5.9 鉄筋の許容応力度の変遷

規準示方書	許容応力原	蒦(kg/cm²)	材*	9	摘要			
双华小万音 	一般部材	床版部材	<i>ላ</i> ህ ት	7	1回 女			
昭和6年 RC標準示方書	1200	記述無し	JES 第 20 号 G9 「構造用圧延鋼材」		許容応力度の設定は、弾性限度を引張強度 s=3700kg/cm ² の 70%と仮定し、許容値を弾性限度(降伏点)の 1/2 としている。			
昭和 15 年 R C 標準示方書	1200	記述無し	JES 第 430 号 G56 「一般構造用圧延鋼材」	SS41	弾性限度は、最大強度(引張強度) s=4100kg/cm²の 70%と仮定するものの、当時の時代背景を考慮し、材料供給不足・セメント材料の品質も加味し、従来通りの sa=1200kg/cm²としている。			
昭和 24 年 コンクリート標準示方書	1200	記述無し	JES 金属 3101	SS41				
昭和 30 年 PC設計施工指針	1400	記述無し	JIS G3101「棒鋼」	SS39,SS41	実際に入手する鉄筋 SS41 の降伏点は =2800kg/cm ² であるため、安全 率を2として許容値をあげる。			
昭和 39 年 R C 道路橋示方書		記述無し	JIS G3101「棒鋼」	SS39,SS41	道路橋示方書でも、当時のコンクリート示方書等を参考に許容値を設定			
昭和 39 年 公布 JIS G3	3112 「鉄筋コン	ノクリート用棒銀	3 1		この年を境に一般的な材料となってくる。			
昭和 43 年	2000	4000	JIS G3112	SD35	繰り返し荷重の影響を考慮し、床版では許容値を低減するのがよいとして			
PC設計施工指針	1800	1600	「鉄筋コンクリート用棒鋼」	SD30	「いる。 またPC構造はフルプレストレスとしている。			
昭和 49 年	2000	1800	JIS G3112	SD35	鉄筋の許容応力度は、降伏点応力度に応じその 0.6 ~ 0.55 を限度とする。			
コンクリート標準示方書	1800	1600	「鉄筋コンクリート用棒鋼」	SD30	また、耐久性から許しうるひび割れ幅の限度を考慮し、許容応力度を設定 している。			
昭和 53 年 道路橋示方書	1800	1400	JIS G3112 「鉄筋コンクリート用棒鋼」	SD35,SD30	床版及び支間10m以下の床版橋としての許容値が設定される。			
平成 2 年 ~ 現在 道路橋示方書	1800	1400	JIS G3112 「鉄筋コンクリート用棒鋼」	SD35,SD30	繰り返し載荷によるひび割れの影響や、剥離や脱落を防ぐ意味からも床版 鉄筋の許容応力度を、1400kg/cm²に対して 200kg/cm²程度余裕を持たせ るのが望ましい。			

1-3-2) 床版鉄筋の許容応力度について

前述のように、現行の道路橋示方書における床版鉄筋の許容応力度は、 sa=140 N/mm²に対して 20 N/mm²程度の余裕を持たせることが望ましいとされている。ここではこの許容応力度の値がどの 程度の位置付けにあるか、ひび割れ幅の観点から確認を行うこととする。

コンクリート標準示方書の表 7.4.1 に従い、一般の環境としてWa=0.005Cと考え、 sa=120 N/mm² とした場合のひび割れ幅を算出し、許容ひび割れ幅との比較を行う。

『コンクリート標準示方書』構造性能照査編 2002 の許容ひび割れ幅算出式

W = 1.1· k_1 · k_2 · k_3 × {4c+0.7(c_s -)} × [s_e / E_s + c_{sd}]··· \exists (7.4.1)

k : 鋼材の表面形状がひび割れ幅に及ぼす影響係数 異形鉄筋 = 1.0

 k_2 : コンクリートの品質がひび割れ幅に及ぼす影響係数 k_2 = {15/(fc +20)} +0.7

fc : コンクリートの設計圧縮強度(N/mm²)

 k_3 : 引張鋼材の段数の影響を表す係数 $k_3 = 5(n+2)/(7n+8)$ 床版の場合 n = 1.0

n:引張鋼材の段数

c : 引張鋼材の純かぶり(mm)

c。 :鋼材の中心間隔(mm)

:鋼材系(mm)

。 : 鋼材位置のコンクリート応力度が0の状態から鉄筋応力度の増加量(N/mm²)

E_s:鋼材の弾性係数(N/mm²) (2.0×10⁵)

 $_{CSJ}$: コンクリートの収縮及びクリープ等によるひび割れ幅の増加を考慮するための数値 コンクリート示方書より (150 \times 10 $^{-6}$)

この時、一般的な P C 箱げたで使用されるコンクリート f_{ck} = 40N/mm²、純かぶり \mathcal{C} =35mmと下記の条件で考え、鉄筋の引張応力度 $_{se}$ = 120N/mm²で制限した場合、ひび割れ幅は表-5.10 に示す値となる。

Wa=0.005C CW k_1 k_2 case (mm) (mm) (mm) (N/mm^2) (mm) (mm) 1.0 0.95125 120 0.170 0.175 1 1.0 35 16 " " 2 " " 19 " 0.168 0.175 3 22 0.166 0.175

表-5.10 ひび割れ幅算出結果

表-5.10 より、床版鉄筋の許容値を s_e = 120N/mm²程度に制限すれば、『コンクリート標準示方書』に示される鋼材の腐食の進行を制御できるひび割れ幅以内とすることが出来、耐久性上の問題は無いものと考えられる。

1-4) 支間直角方向の設計

昭和30年以前の鉄筋コンクリート床版の設計規準は、その損傷メカニズムが必ずしも解明されなかった時期に作成され、その後、この規準は種々の実橋損傷実態や実験での成果を踏まえて、数回にわたり改訂され現在に至っている。現在のRC床版は2方向に配筋したうえで鉄筋の応力度を抑えることにより曲げモーメントによるコンクリートの引張力を抑え、所要の床版厚を確保することによりせん断力に抵抗する事を基本としているが、損傷メカニズムから設計手法が大きく改訂された配力筋方向の設計の主な変遷を下記に示す。

1956(昭31)年の『鋼道路橋設計示方書』から、RC床版の梁モデルという考え方から版という考え方で設計されるようになる。

1964(昭39)年『鋼道路橋設計示方書』では、配力鉄筋量は主鉄筋の25%以上としている。1967(昭42)年『鋼道路橋の一方向鉄筋コンクリート床版の配力鉄筋設計要領』が通達され、等方性版理論に基づいて輪荷重による配力鉄筋方向の曲げモーメントを求め、これを基に配力鉄筋量は主鉄筋の70%以上と改訂される。

これ以前の設計は、配力筋方向の曲げモーメントや断面力と必要版厚への配慮不足となって おり、この頃から交通量の増大や大型車の通行により床版の損傷が著しく現れるようになって きた。そのため上記のように改訂されていく。

1968(昭43)年『鋼道路橋の床版設計に関する暫定指針(案)』が作成され、最低床版厚さが 改訂されると同じ時期に、『PC設計施工規準』の中で配力筋方向の曲げモーメント式が示さ れる。床版損傷のメカニズムの解明により鉄筋量が大きく増える結果となる。

1971(昭46)年『鋼道路橋の鉄筋コンクリート床版の設計』についての通達が出され、床版支間方向及び配力筋方向の曲げモーメント算出式が示される。そして1972(昭47)年『道路橋示方書鋼橋編』で規定として反映されるようになり、現在の配力筋方向の設計算出式の基となる。

1978 (昭 53)年『道路橋示方書コンクリート橋編』においては、従来と算出式は変わらないものの、PC床版として床版支間 6.0m 以内の断面力算出式が示される。

床版支間直角方向の設計手法に関する主な変遷を 表-5.11 に示す。

表-5.11 床版支間直角方向の設計手法の変遷

規準示方書		規 準		摘 要
昭和 39 年 鋼道路橋設計示方書	主鉄筋の 25%以上			床版は梁と言う考え方から、版という考え方で設計されるようになる。 この頃から配力筋方向の曲げモーメントや断面力と必要版厚への配慮
昭和 39 年 R C 道路橋設計示方書	床版支間直角方向	の算定式は示されて	こいない。	不足から、交通量の増大や大型車の通行により床版の損傷が著しく現れてきた。
昭和 42 年 道路局長通達 「鋼道路橋の一方向鉄筋コンクリート床 版の配力鉄筋設計要領」	主鉄筋の 70%以上 床版支間直角方向	の算定式は示されて	こいない。	上記の対策として、等方性版理論に基づき輪荷重による配力筋方向の 曲げモーメントを求め、これを基に配力鉄筋大幅なの増加を通達
昭和 43 年	支間中央	L 6.0m	My1 = ·(0.1 + 0.075L)·P = 0.66 + 0.04L	配力筋方向の設計曲げモーメント式が提示され、配力鉄筋が大幅に増
PC設計施工指針	片持支間	L 5.0m	My3 = ·(0.25 + 0.28L)·P = 0.25	える。
昭和 46 年 通達 「鋼道路橋鉄筋コンクリート床版の 設計ついて」	現在の配力筋方向	の設計曲げモーメン	ト式が提示される	
	単純版	RC L 4.0m	My1 = (0.10L + 0.04) · P	
昭和 48 年 道路橋示方書 鋼橋編	連続版	RC L 4.0m	My2 = 0.8 · (0.10L + 0.04) · P	
	片持版	RC L 1.5m	My3 = (0.15L + 0.13) · P	
	単純版	RC L 4.0m	My1 = (0.10L + 0.04) · P	
	— MT/IX	PC L 6.0m	(U.IOL · U.U+)	
昭和 53 年 ~	連続版	RC L 4.0m	$My2 = 0.8 \cdot (0.10L + 0.04) \cdot P$	コンクリート橋の床版設計にも鋼橋の算出式が反映される。
道路橋示方書 コンクリート橋編		PC L 6.0m		
	片持版 RC L 1.5m		My3 = (0.15L + 0.13) · P	
平成 14 年 道路橋示方書 鋼橋編	PC床版についても その算出式は、道道	PC L 3.0m 追加される 路橋示方書 コンクリ	リート橋編 に従う	

年代別の道路橋示方書に準じた床版配力筋方向の鉄筋量の変遷を表-5.12に示す。

最近では、1方向だけでなく2方向に配筋したうえで鉄筋の応力度を抑え、床版厚を厚くすることにより抵抗させていることがわかる。

表-5.12 床版配力筋方向の鉄筋量の変遷

-							57573751							
								R C J	-					
	規準類		昭和3	1年~42年通過	主まで	昭和42年通達~			昭和43年 P C 道示			昭和43年通達~平成2年		
	最小床版厚		Т	= 14.0cm以上	<u>:</u>	Т	「= 14.0cm以上	Ξ	do =	3L + 11 16	(cm)	do =	3L + 11 16	(cm)
	¥€ क	算出式	$M = 0.4 \cdot F$	$M = 0.4 \cdot P \cdot (1+i) \cdot (L-1) / (L+0.4)$					M =	(0.1 + 0.075 · L))·P	M = 0.8	$3 \times (0.12 \cdot L + 0)$.07) · P
, ,	との日本	7 异山 17		P = 80 (kN)						P = 80 (kN)			P = 80 (kN)	
床 版	L	(m)	2.00	3.00	4.00				2.00	3.00	4.00	2.00	3.00	4.00
支間	do	(m)	0.140	0.140	0.140		同左		0.170	0.200	0.230	0.170	0.200	0.230
間	М	(kN·m)	18.5	26.0	30.0		四江		20.0	26.0	32.0	19.8	27.5	35.2
方向	As	(cm2/m)	D16ctc125	D19ctc125	D22ctc125				D16ctc125	D16ctc125	D16ctc125	D16ctc125	D16ctc125	D16ctc125
1-5	AS	((1112/111)	15.888	22.920	30.968				15.888	15.888	15.888	15.888	15.888	15.888
	S	(N/mm2)	144	147	125				117	121	124	116	128	136
床	新西 士	算出式							My1 =	· (0.1 + 0.07	5L) · P	M - 0 9	3 × (0.10 · L + 0	04). B
床 版	との日本	7 計 山 1 八	床版	主鉄筋の25%に	以上	床版	き主鉄筋の70%に	以上		= 0.66 + 0.041	_	IVI — U.C	X (0.10 · L + 0	.04) • P
支	М	(kN·m)							14.8	20.3	26.2	15.4	21.8	28.2
首	必要量	(cm2/m)	3.972	5.730	7.742	11.122	16.044	21.678						
支間直角方	۸۵	(cm2/m)	D13ctc250	D16ctc250	D19ctc250	D16ctc125	D16ctc125 D19ctc125 D19ctc125			D16ctc125	D16ctc125	D16ctc125	D16ctc125	D16ctc125
	As	(cm2/m)	5.068	7.944	11.460	15.888	15.888 22.920 2		15.888	15.888	15.888	15.888	15.888	15.888
向	S	(N/mm2)							100	106	112	104	114	120

					R C J	末版				P C.	床版	
	規準類		平成2年~現在						平成2年~現在			
			do = :	3L + 11 16	(cm)	do = 3L + 11 16 (cm)			do = 3L + 11 16 (cm)			
	最小床版厚		C	$f = k1 \cdot k2 \cdot do$			$d = k1 \cdot k2 \cdot dc$)		$d = 0.9 \times$	k1 · k2 · do	
			大型車 500~1000 k1 = 1.15、k2 = 1.0			大型車20	100 ~ k1 = 1.25	5、k2 = 1.0		k1 = 1.0,	k2 = 1.0	
	¥5 茄 士)算出式	M = 0.8	× (0.12·L + 0	.07) · P	M = 0.3	8 × (0.12·L + 0	0.07) · P	M = 0.	8 × (0.12·L + 0).07) · P	FEM
<u> </u>	との日本	月 山八	P = 100 × i (kN)			F	e = 100 × i (kh	۷)	F	o = 100 × i (kľ	۷)	× 1.2
床版支間方向	L	(m)	2.00	3.00	4.00	2.00	3.00	4.00	4.00	6.00	8.00	8.00
支	do	(m)	0.196	0.23	0.265	0.213	0.25	0.288	0.207	0.261	0.315	0.261
間	М	(kN · m)	24.8	35.8	49.5	24.8	35.8	49.5	49.5	76.0	105.4	53.8
力向	۸۵	As (cm2/m)	D16ctc125	D19ctc125	D19ctc125	D16ctc125	D16ctc125	D19ctc125				
153	AS	((1112/111)	15.888	22.92	22.92	15.888	15.888	22.92				
	S	(N/mm2)	119	99	114	106	125	103				
床版支間直角方向	断面力	〕算出式	M = 0.8	× (0.10·L + 0	.04)·P	M = 0.	8 × (0.10 · L + 0).04)∙P	M = 0.	8 × (0.10·L + 0	0.04) · P	F E M × 1.2
支	М	(kN·m)	19.2	27.2	35.2	19.2	27.2	35.2	35.2	51.2	67.2	53.8
自	必要量	(cm2/m)										
角	,		D16ctc125	D16ctc125	D16ctc125	D16ctc125	D16ctc125	D16ctc125	D19ctc125	D22ctc125	D22ctc125	D22ctc125
方	AS	(cm2/m)	15.888	15.888	15.888	15.888	15.888	15.888	22.920	30.968	30.968	30.968
向	s	(N/mm2)	103	118	125	91	105	112	113	91	95	96

(参考資料)

床版設計における輪荷重の変遷

輪荷重 P の値

昭和 39 年~平成 2 年 道路橋示方書	平成6年~ 道路橋示方書	
1 等橋 P = 8.0t	B活荷重 P = 10.0t	
2 等橋 P = 5.6t	A 活荷重は、 B 活荷重の 80%	

床版設計における活荷重割り増し係数の変遷

- ・昭和 47 年以前 特に記述無し
- ・昭和 47 年 道路橋示方書鋼橋編 大型車の通行量が多い床版では、曲げモーメントを 20% 割り増す。
- ・昭和53年、平成2年 道路橋示方書

計画交通量のうち大型車両が1日1方向1000台以上の橋梁

床版支間 L (m)	割り増し係数	
L 4.0	1.2	
4.0 < L 6.0	1.2-(L-4) / 30	

・平成6年以降 道路橋示方書

B活荷重の橋梁のみ考慮し、A活荷重は割り増しを考慮しない

床版支間 L (m)	L 2.5	2.5 < L 4.0	4.0 < L 6.0
割り増し係数	1.0	1.0 + (L - 2.5) / 12	1.125 + (L - 4.0) / 26

(2) 3次元 F E M解析のモデル化等の比較検討

2-1) 検討概要

従来から『道路橋示方書』(以降:「道示」と記す)では、PC床版の適応支間を0~6.0mとして、その断面力の算出式を示しているものの、ここ近年 経済性の追求、 施工性の向上を目的に、適応支間を超える広幅員一室箱桁断面の橋梁が数多く施工されるようになってきている。その時、床版の設計に関しては、道示の算出式をそのまま延長せず、FEM解析から床版断面力を求めるケースが多くなってきており、解析技術の発展による技術的な裏付けがあったことが伺える。

しかしながらその一方で、そのFEM解析の設計手法は確立されたものでなく、設計者が設計手法・設計条件等をその都度、判断して決めている状況にあり、場合によっては担当者により算出される断面力が異なることも考えられる。

そのため、本項ではFEM解析により床版断面力を求めるための設計手法の1案を提案するにあたり、以下の5つの項目について検討を行うこととする。

ソリッド要素とシェル要素の比較

橋軸方向のモデル長の検討

支持条件の違いによる断面力差の検討

前輪荷重の有無によって生じる断面力差に関する検討

連行荷重の影響に関する検討

また、これらの結果を用いて、FEM解析により得られた断面力値に対する割増し係数についても検討を行う。

2-2) 検討条件

FEM解析による床版断面力の算出に当たり検討条件を以下に示す。

a. 検討対象橋標準断面図

検討に用いる標準断面図を図-5.17に示す。

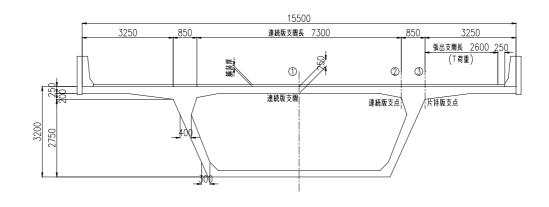


図-5.17 検討に用いる標準断面図

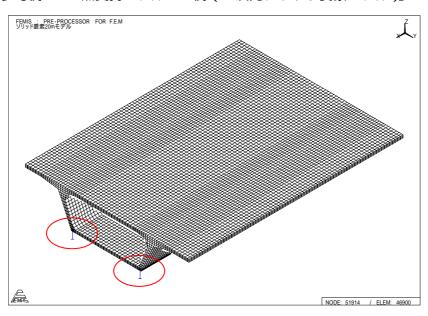
b. 解析モデル

ソリッド要素およびシェル要素で構築された3次元FEM解析モデルとする。

c. 支承条件

境界条件として、両モデルともウエブ下の鉛直変位を拘束する。レール支持モデルまたはモデル支持モデルの適用については適宜判断する(図-5.18 参照上記 、 および ではレール支持モデルを採用)。

【参考例1:4点支持モデルの一例(3次元ソリッド要素モデル)】



【参考例2:レール支持モデルの一例(3次元シェル要素モデル)】

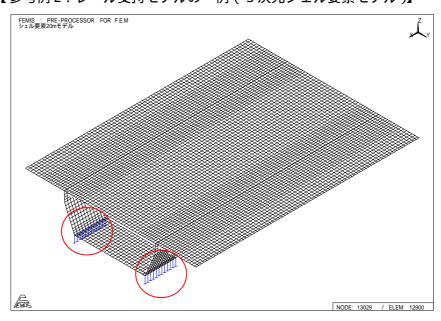


図-5.18 検討モデルの例

シェル要素の板厚および剛域は、図-5.19のように設定する。要素の板厚は、各節点での板厚を平均したものとし、剛域は道示に従い、板厚を非常に大きな値とし設定する。

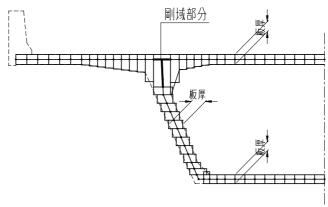


図-5.19 シェル要素の板厚および剛域

d. 活荷重強度

B活荷重 (T荷重:一輪当たり P=100kN)

 $Pi = 100 \times k1 \times k2$ (kN)

k1: 道示 表-7.4.2 表-7.4.3 に示す支間方向割増し係数

k2: 道示 表-2.2.6 に示す活荷重衝撃係数

e. FEM解析による断面力の算出方法

シェル要素で構築されたモデルでは、発生断面力が直接算出されるが、ソリッド要素では断面力は直接算出されず、応力度から断面力に換算することが必要となる。断面力は、検討断面の上下縁に生じている応力度および板厚により計算することができ、下式で算出される。

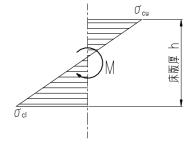
$$M = \frac{(\sigma_{cu} - \sigma_{cl})}{2} \times \frac{1 \times h^2}{6}$$



cu :床版上縁の橋軸直角方向応力度

cl:床版下縁の橋軸直角方向応力度

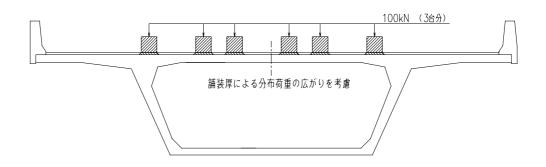
h :床版厚



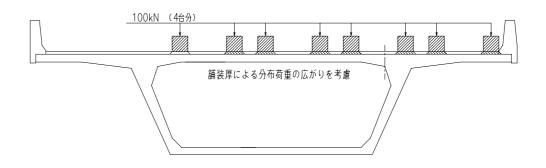
f. 活荷重載荷方法

横方向には載荷台数を無制限とし、着目断面に最も不利な荷重状態を想定する。

【 連続版支間】



【 連続版支点】



【 片持版支点】

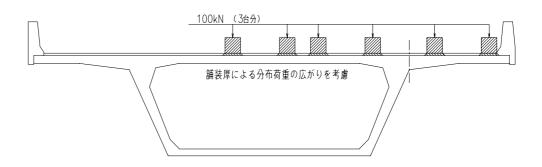


図-5.20 活荷重載荷方法

2-3) ソリッド要素とシェル要素の比較 (解析モデルの検討)

ここでは、ソリッド要素(多面体要素)とシェル要素(板要素)を用いて、解析モデル の違いによる断面力の比較を行うこととする。

ソリッド要素は、部材の厚さ・長さ・剛性等について実構造物を忠実に再現していることから、信頼性の高い詳細解析手法として広く用いられている。しかし、モデル要素数が多く、解析に費用・手間・時間を費やしてしまうと言う課題がある。一方、シェル要素は、板要素で考えることから要素数が少なくなり、また部材厚の変更が容易に対応できる等のメリットがある反面、結合部のモデル化や剛域の設定などの違いにより、解析結果の差がソリッド要素より大きいものと考えられる。

本節で対象としている広幅員一室箱桁断面は、断面が複雑に変化しないことから、シェル要素を用いても十分対応可能と考えられる。そこで、この2つのモデルを比較検討することで、シェル要素を用いて解析を行う場合の妥当性を確認することとする。

【コンター図】

連続版支間 (床版上縁応力度)

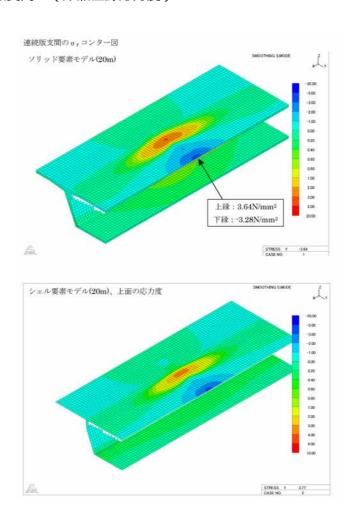


図-5.21 コンター図(連続版支間部着目)

連続版支点(床版上縁応力度)

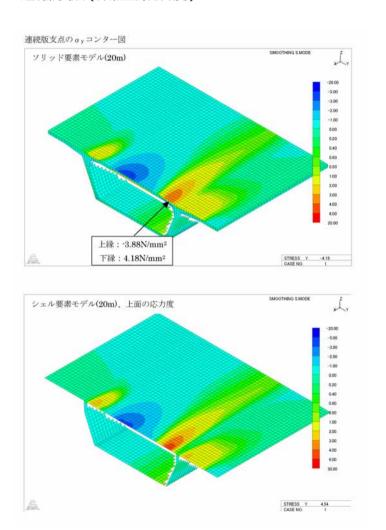


図-5.22 コンター図 (連続版支点部着目)

片持版支点(床版上縁応力度)

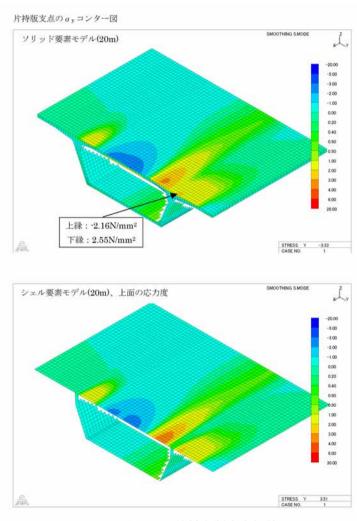


図-5.23 コンター図 (片持ち版支点部着目)

【検討結果】

検討条件に示した3次元シェル要素モデルおよびソリッド要素モデルから、床版の検討断面に発生する断面力を比較し、シェル要素でも妥当な結果が得られることを確認する。

ここではソリッド要素を正とし、断面力を比較することで解析精度を比較する。

連続版支間 (FEM 解析結果から算出される断面力に衝撃係数 i = 0.349 を加味する) 表-5.13 連続版支間部の比較

連続版支間	:ソリッド要素	:シェル要素	比率
连就放义间	M (kNm/m)	M (kNm/m)	/
モデル長10m	46.600	46.894	1.006
モデル長20m	45.406	45.734	1.007
モデル長30m	45.388	45.639	1.006

連続版支点(FEM 解析結果から算出される断面力に衝撃係数 i = 0.349 を加味する) 表-5.14 連続版支点部の比較

 連続版支点	:ソリッド要素	:シェル要素	比率
连就放义总	M (kNm/m)	M (kNm/m)	/
モデル長10m	-125.983	-136.500	1.083
モデル長20m	-110.859	-120.317	1.085
モデル長30m	-106.397	-115.361	1.084

片持版支点(FEM 解析結果から算出される断面力に衝撃係数 i = 0.380 を加味する) 表-5.15 片持ち版支点部の比較

片持版支点	:ソリッド要素	:シェル要素 M (!-N /)	比率
	M (kNm/m)	M (kNm/m)	,
モデル長10m	-96.070	-96.349	1.003
モデル長20m	-94.824	-95.457	1.007
モデル長30m	-94.720	-95.462	1.008

【まとめ】

3 つの検討断面における発生断面力をソリッド要素およびシェル要素モデルで比較を行った。連続版支間および片持ち版支点においては、シェル要素とソリッド要素の解析値の差はわずか 1%未満であり、シェル要素の方が安全側となっている。また、連続版支点ではその差は生じるものの 8%程度であり、シェル要素の方が安全側となっている。

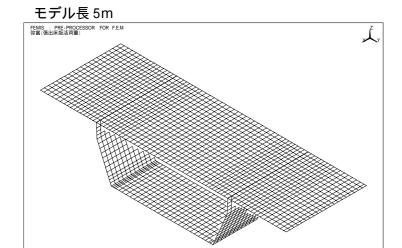
以上より、解析値のバラツキは若干生じるものの、活荷重にある一定の安全係数 (10~20%) 等を乗じることによって床版断面力の安全性は確保され、モデル構築にシェル要素を用いても問題ないと判断される。

2-4) 橋軸方向のモデル長の検討(モデルの大きさに関する検討)

ここでは、シェル要素を用いてモデルの大きさ(橋軸方向の長さ)について検討を行うこととする。 床版に活荷重(輪荷重)が載荷された場合、その断面力は、床版支間方向(橋軸直角方向)と床版支 間直角方向(橋軸方向)に生じることとなる。橋軸直角方向は全断面をモデル化しているため正確に評 価されていると判断されるが、橋軸方向はどれだけの長さを確保すれば正確な断面力が算出できるのか は定かでない。そこで、下記に示すようにモデル長を変化させ比較検討を行うことで、断面力が正しく 評価できるモデル長を導き出すこととする。

モデル長は、1m、3m、5m、10m、20m、30mの6種類とする。

解析モデル例として、モデル長 5mおよび 20mモデルを図-5.24 に示す。



モデル長 20m

FEMS: PRE-PROCESSOR FOR FEM

「京富 (連続支点活荷重)

「A CONTROL OF THE MARKET AND THE MARKET

図-5.24 解析モデル例(モデル長の検討)

【検討結果】

シェル要素のモデル長を変化させ、着目断面毎に断面力を比較する。

連続版支間 (FEM 解析結果に衝撃係数 i = 0.349 を加味する)



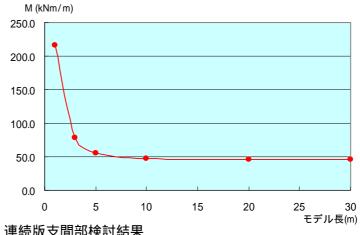


図-5.25 連続版支間部検討結果

連続版支点 (FEM 解析結果に衝撃係数 i = 0.349 を加味する)



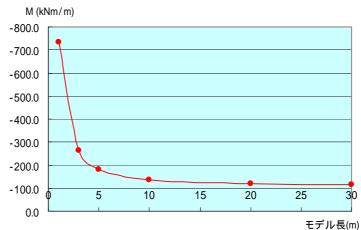


図-5.26 連続版支点部検討結果

片持版支点(FEM 解析結果に衝撃係数 i = 0.380 を加味する)

片持版支点	シェル要素
口切似又思	M (kNm/m)
モデル長1m	-411.246
モデル長3m	-152.631
モデル長5m	-112.160
モデル長10m	-96.349
モデル長30m	-95.462
モデル長20m	-95.457
	-

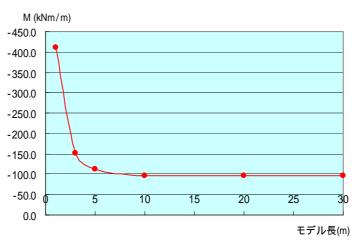


図-5.27 片持版支点部検討結果

【まとめ】

3つの検討断面に対し、モデル長を変化させて断面力を算出した結果、表-5.16 に示す「断面力 収束モデル長 L」を確保すれば、断面力はほぼ収束して一定となっている。連続版に着目すれば 20 m、片持版に着目すれば 10m のモデル長が確保できれば発生断面力がほぼ収束することが確認できる。このモデル長は、それぞれの床版支間長(連続版 7.3m、片持版 2.6m)の 3 倍程度である。よってモデル長の目安として、最も大きい床版支間(本例では連続版の 7.3m)の 3 倍程度以上確保すれば問題ないものと考えられる。

着目断面		連続版支間	連続版支点	片持版支点
断面力収束部材品	Ē L	10.0m	20.0m	10.0m
床版支間長	W	7.3m	7.3m	2.6m
部材長比	L/W	1.4	2.7	3.8

表-5.16 モデル長の検討結果

2-5) 支持条件による設計断面力の差の確認

FEM 解析モデル (ソリッドおよびシェル)の下端拘束条件を、レール支持した場合および 4 点支持した場合について、上床版に発生する橋軸方向および橋軸直角方向に発生する曲げ応力について、比較した結果を後項に記す。

レール支持:ウエブ下縁をモデル全長にわたり支持する(図-5.28参照)。

4点支持:モデル端部のウエブ下縁のみ支持する(図-5.29参照)。

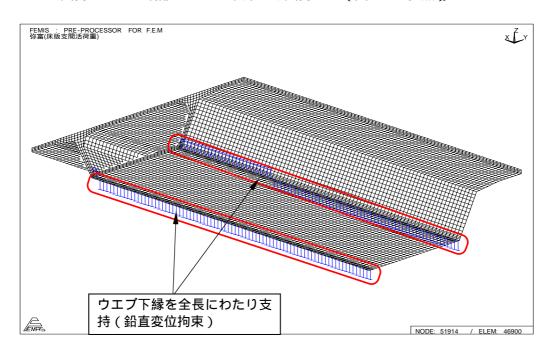


図-5.28 レール支持した解析モデル

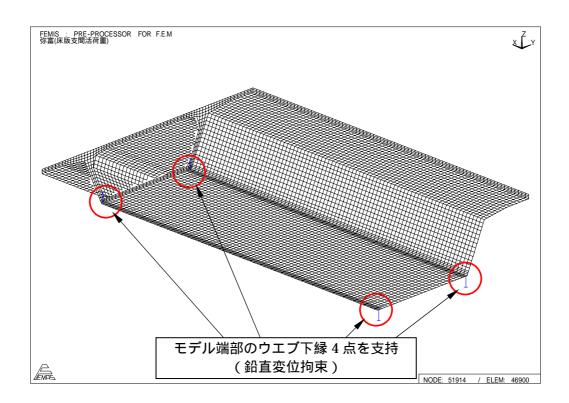


図-5.29 4点支持した解析モデル

【検討結果1】 橋軸直角方向応力度分布の確認 連続版支間部の応力度分布(モデル長 20m)

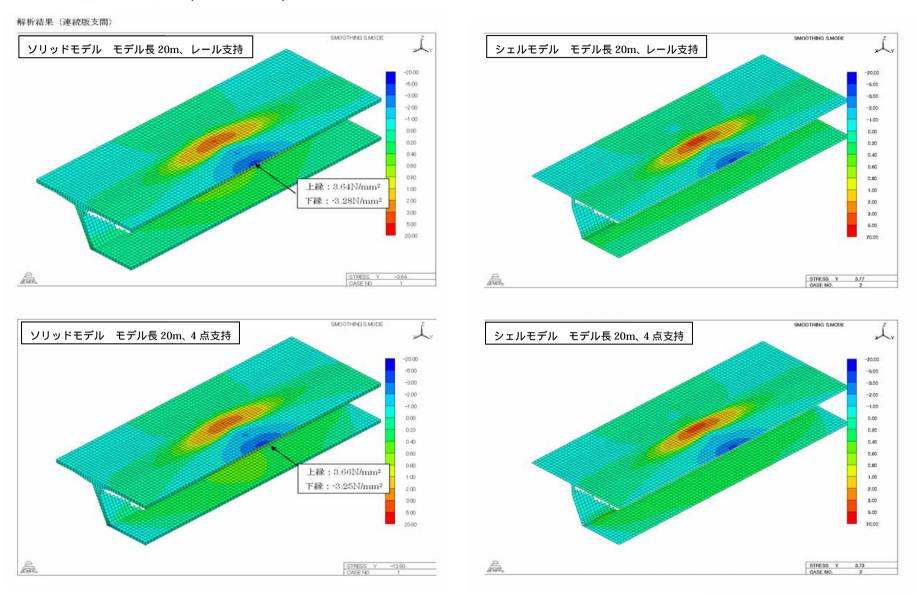


図-5.30 連続版支間部のコンター図比較

【まとめ1】 橋軸直角方向断面力の確認

橋軸直角方向の応力度分布に着目した支持条件に違いによる発生断面力の比較を以下にまとめる。

モデル長 モデル 支持条件 断面力 比率 レール 45.406 kNm ソリッド 4点 45.353 kNm 1.00 20m レール kNm 45.734 シェル 4点 43.733 kNm0.96 レール 45.388 kNm ソリッド 4点 45.336 kNm1.00 30m レール kNm45.639 シェル 4点 43.631 kNm 0.96

表-5.17 連続版支間部の断面力比較

表-5.18 連続版支点部の断面力比較

モデル長	モデル	支持条件	断面力	断面力	
	ソリッド	レール	-110.859	kNm	
20m	יועטי	4点	-107.034	kNm	0.97
20111	シェル	レール	-120.317	kNm	
		4点	-117.111	kNm	0.97

表-5.19 片持版支点部の断面力比較

モデル長	モデル	支持条件	断面力		比率
	ソリッド	レール	-94.824	kNm	
20m	יופטי	4点	-95.187	kNm	1.00
20111	Sz = 11	レール	-95.457	kNm	
	シェル	4点	-95.340	kNm	1.00

モデルの支持条件をレール支持および4点支持とした場合の設計断面力の差は3~4%であり、4点支持モデルの方が小さく算出される傾向がある。

【検討結果2】 橋軸方向応力度分布の確認 連続版支間部の応力度分布の確認(モデル長20m)

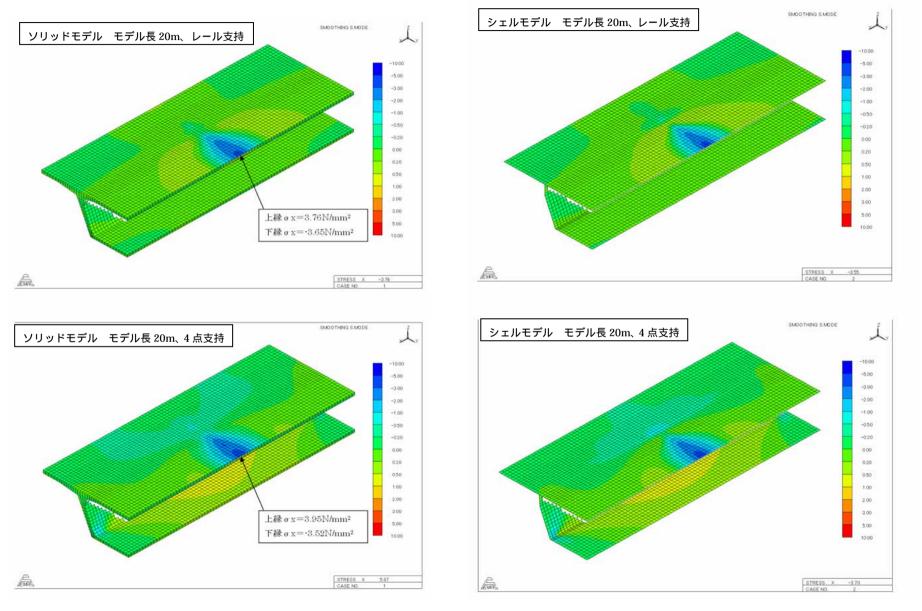


図-5.31 連続版支点部のコンター図比較

【まとめ2】 橋軸方向断面力の確認

橋軸方向の応力度分布に着目した支持条件に違いによる発生断面力の比較を以下にまとめる。FEM解析結果より、発生断面力 My1 は以下のようになる。

構成要素	支持条件		断面力	比率
			(kNm)	
ソリッド要素	レール		49.727	0.990
フリット女糸	4点		50.247	(/)
シェル要素	レール		49.734	0.990
フェル女系	4点		50.214	(/)

表-5.20 連続版支間部の断面力比較(橋軸方向)

4点支持の方が若干大きく算出されるものの差は1%である。

2-6) 前輪荷重による設計断面力の差の確認

道路橋示方書における活荷重による床版設計断面力は、図-5.32 に示す前輪および後輪荷重を設定し、等方性版に発生する理論値を求めるのを基本としている。よってFEMを用いた算出法においても、同じ荷重と載荷条件とするのが原則である。しかしながら、FEMのメッシュ割の煩雑さを考慮すると、載荷する輪荷重は少ない方が望ましい。そこで本節では、後輪荷重のみを載荷させた場合と前輪・後輪荷重を載荷させた場合の比較を行い、後輪荷重のみ載荷させて設計を行う手法について検討を行うこととする。

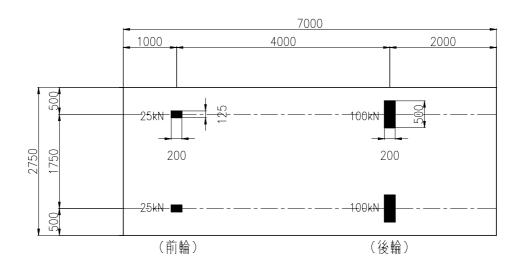


図-5.32 道示において基本としている床版設計断面力算定時の載荷荷重

【検討結果】

連続版支間部の橋軸直角方向応力度分布の確認 (モデル長 20m)

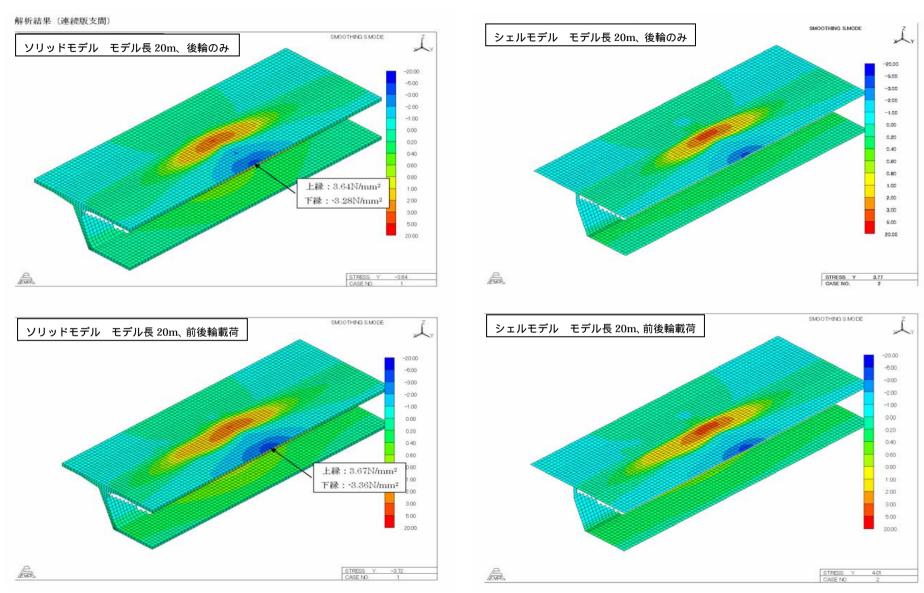


図-5.33 連続版支間部のコンター図比較

【まとめ】

後輪荷重のみの場合と前輪荷重を考慮した場合の発生断面力の比率を以下に記す。

表-5.21 連続版支間部の比較結果

モデル長	モデル	載荷条件	断面力	比率
	ソリッド	後輪のみ	45.406 kNm	
20m	July 1	前後輪	47.303 kNm	1.04
20111	シェル ├―	後輪のみ	45.734 kNm	
		前後輪	45.983 kNm	1.01

表-5.22 連続版支点部の比較結果

モデル長	モデル	支持条件	断面力		比率
	ソリッド	後輪のみ	-110.859	kNm	
20m	יועטי	前後輪	-117.747	kNm	1.06
20111	│ シェル ├──	後輪のみ	-120.317	kNm	
		前後輪	-126.868	kNm	1.05

表-5.23 片持版支点部の比較結果

モデル長	モデル	支持条件	断面力		比率
	ソリッド	後輪のみ	-94.824	kNm	
20m	299F	前後輪	-98.147	kNm	1.04
20111	シェル	後輪のみ	-95.457	kNm	
	クエル	前後輪	-98.188	kNm	1.03

上表中の比率は(後輪荷重のみ載荷/前後輪荷重載荷)を記す。

床版の検討断面に後輪のみ載荷したものと前後輪載荷したもので発生断面力を比較した。総荷重は25%増加(1台あたり200kNから250kN)するが、断面力は最大で6%の増加となっている。よって、設計に用いる断面力は、後輪荷重のみにより算出した値に相応の割り増し係数を乗じることで対応できるものと考えられる。

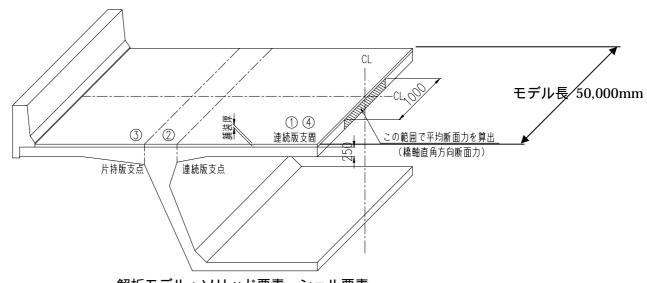
2-7) 連行載荷の影響

a. 概要

- ・H5 年道示より設定されたT荷重は後輪のみ。算出式はそのままで、支間長に応じた割り増し係数が規定された。
- ・本検討では、支間による割り増し係数を設定しない。
- ・そのかわり、H5 年 T 荷重ではなく、それ以前の T 荷重の条件に従う。そうすると連行荷重の影響もみるのが安全(道示では、長い床版橋または床組で用いるとされている)
- ・そこで、連行荷重の影響を同様に確認し、これにも割り増し係数を設定する。

H5 年道示の T 荷重 (後輪のみ)の図 それ以前の T 荷重 (前輪、後輪)の図

b. 解析モデル



解析モデル:ソリッド要素、シェル要素 支持条件:ウェブ下端 レール支持

図-5.34 解析モデル

c. 連行荷重

連行荷重の載荷方法は平成2年道示に従う。

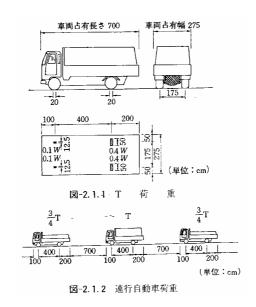


図-5.35 連行自動車荷重

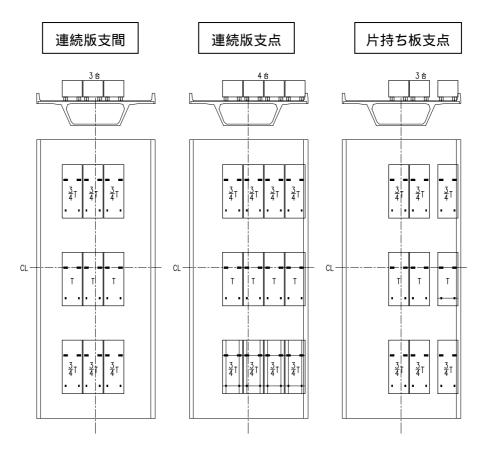
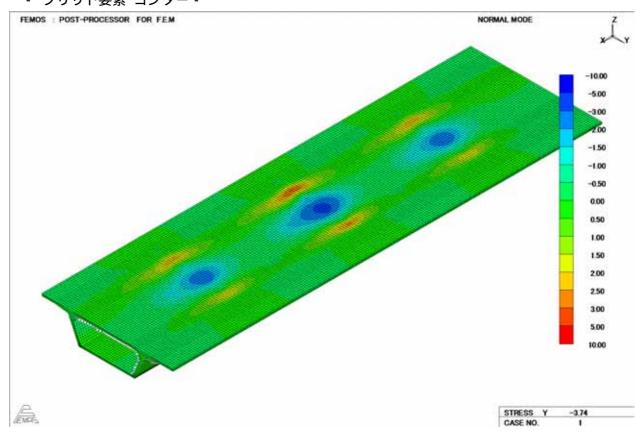


図-5.36 連行自動車荷重の載荷ケース

d. 結 果

連続版支間(橋軸直角方向)

- ソリッド要素 コンター -



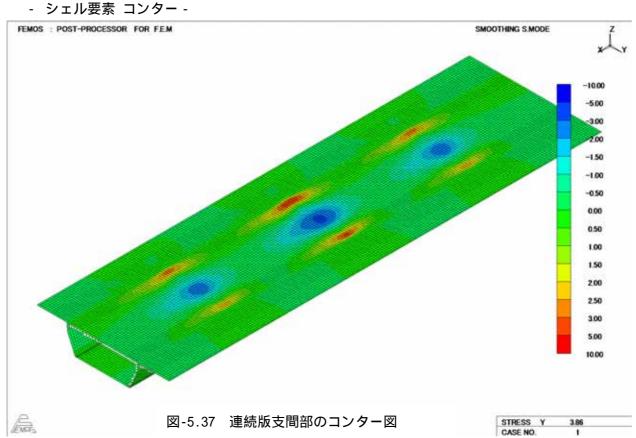


表-5.24 連続版支間部の比較結果

T 荷重 1 台載荷時

床版支間 7.300 m 衝擊係数 1.349 倍

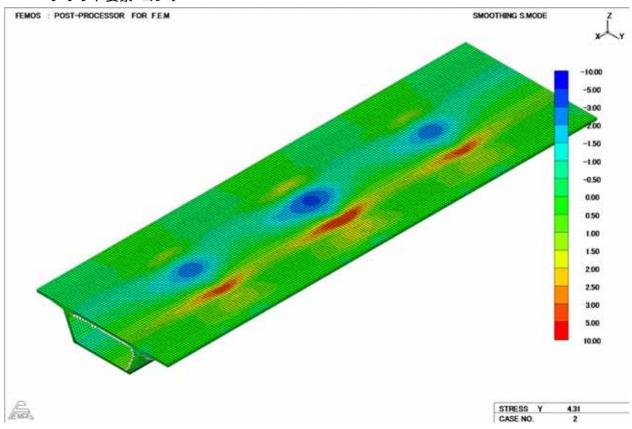
		Shell要素		
	u	I	М	М
-500mm	3.23	-3.01		31.110
-250mm	3.48	-3.25		33.858
CL	3.67	-3.35		35.131
+250mm	3.53	-3.29		34.284
+500mm	3.33	-3.10		31.966
平均	3.490	-3.236	35.033	33.703
+ 衝撃係数			47.260	45.465

T 荷重連行載荷時

		Solid要素		
	u	I	М	М
-500mm	3.25	-3.02		31.351
-250mm	3.50	-3.25		34.098
CL	3.69	-3.36		35.369
+250mm	3.54	-3.29		34.521
+500mm	3.34	-3.10		32.203
平均	3.506	-3.240	35.137	33.941
+ 衝撃係数			47.400	45.787
対1台載荷	_	_	1.003	1.007

連続版支点(橋軸直角方向)

- ソリッド要素 コンター -



- シェル要素 コンター -

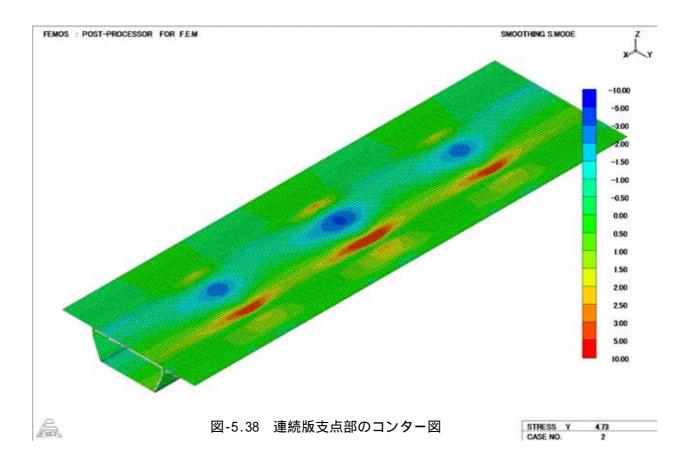


表-5.25 連続版支点部の比較結果

T 荷重 1 台載荷時

床版支間 7.300 m 衝擊係数 1.349 倍

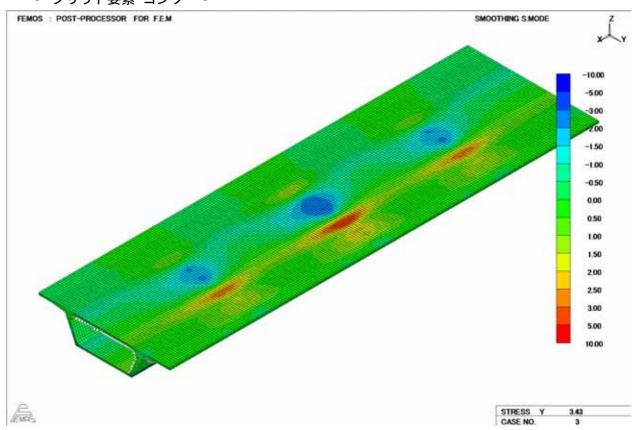
		Solid要素		
	u	I	М	М
-500mm	-3.48	3.70		-79.608
-250mm	-3.69	3.95		-85.341
CL	-3.79	4.07		-87.792
+250mm	-3.73	3.99		-86.146
+500mm	-3.56	3.78		-81.235
平均	-3.683	3.938	-80.026	-84.925
+ 衝撃係数			-107.955	-114.564

T 荷重連行載荷時

		Solid要素		
	u	I	М	М
-500mm	-3.81	4.07		-87.896
-250mm	-4.03	4.32		-93.631
CL	-4.12	4.44		-96.084
+250mm	-4.07	4.36		-94.440
+500mm	-3.90	4.15		-89.531
平均	-4.019	4.308	-87.443	-93.217
+ 衝撃係数			-117.961	-125.750
対1台載荷		_	1.093	1.098

片持ち板支点(橋軸直角方向)

- ソリッド要素 コンター -



- シェル要素 コンター -

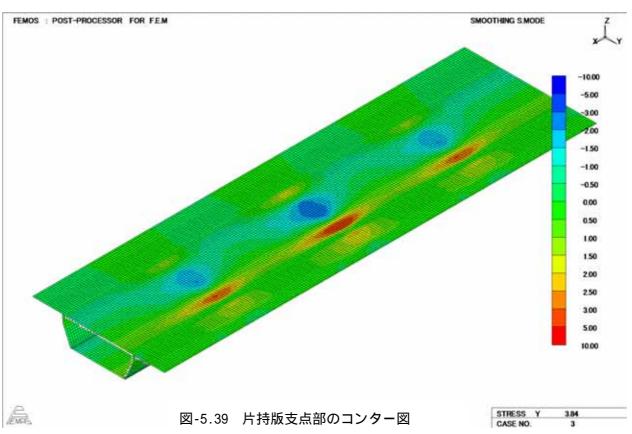


表-5.26 片持版支点部の比較結果

T 荷重 1 台載荷時

床版支間 2.600 m 衝擊係数 1.380 倍

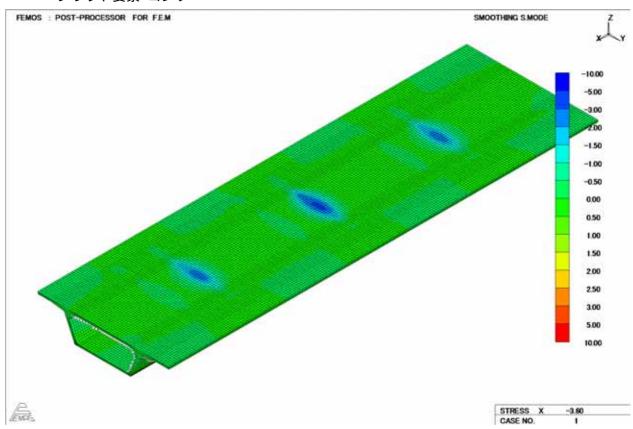
	Solid要素			Shell要素
	u	I	М	М
-500mm	-2.05	2.40		-65.892
-250mm	-2.18	2.55		-70.503
CL	-2.24	2.62		-72.499
+250mm	-2.20	2.58		-71.252
+500mm	-2.11	2.46		-67.407
平均	-2.175	2.545	-71.046	-70.226
+ 衝撃係数			-98.043	-96.912

T 荷重連行載荷時

		Solid要素		
	u	I	М	М
-500mm	-2.05	2.40		-65.859
-250mm	-2.17	2.55		-70.469
CL	-2.24	2.62		-72.463
+250mm	-2.20	2.58		-71.215
+500mm	-2.10	2.46		-67.369
平均	-2.171	2.545	-70.989	-70.190
+ 衝撃係数			-97.965	-96.863
対1台載荷	_		0.999	0.999

連続版支間(橋軸方向)

- ソリッド要素 コンター -



- シェル要素 コンター -

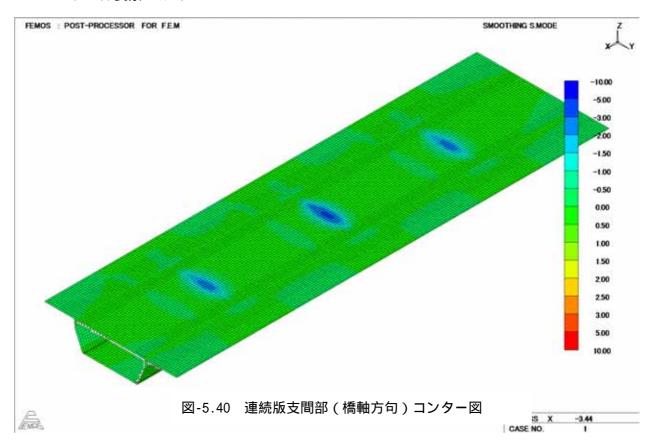


表-5.27 連続版支間部(橋軸方向)比較結果

T 荷重 1 台載荷時

床版支間 7.300 m 衝擊係数 1.349 倍

	Solid要素			Shell要素
	u	I	М	М
-500mm	3.35	-3.24		32.565
-250mm	3.61	-3.50		34.864
CL	3.63	-3.53		35.733
+250mm	3.44	-3.46		35.433
+500mm	3.55	-3.45		34.883
平均	3.533	-3.459	36.413	34.939
+ 衝撃係数			49.121	47.132

T 荷重連行載荷時

	Solid要素			Shell要素
	u	I	M	М
-500mm	3.31	-3.25		32.480
-250mm	3.58	-3.51		34.801
CL	3.60	-3.54		35.691
+250mm	3.41	-3.48		35.413
+500mm	3.52	-3.46		34.886
平均	3.501	-3.471	36.315	34.897
+ 衝撃係数			48.989	47.076
対1台載荷	_	_	0.997	0.999

2-8) 割増し係数の考え方について

前項までの結果を踏まえ、FEM解析により得た断面力に対する割増し係数の考え方について検討を行う。

a. ソリッドモデルとシェルモデルの比較

表-5.28 T荷重による床版支間方向(橋軸直角方向)の曲げモーメント比較(比率)

	ソリッドモデル	シェルモデル
連続版支間部	1.000	1.007
連続版支点部	1.000	1.085
片持ち版支点部	1.000	1.007

実構造をより忠実に再現できるのはソリッドモデルと考えられる。シェルモデルを用いた場合は、ソリッドモデルより最大 9%程度の差があるが、安全側の結果を与えている。よってソリッドおよびシェルの使用する要素の違いに対する割増し係数は1.0とする。

b. 支持条件の影響

ウェブ下端においてレール支持する場合と4点支持とする場合の比較

	レール支持	4 点支持
連続版支間部(床版支間方向)	1.00	0.96
連続版支点部(床版支間方向)	1.00	0.97
片持ち版支点部(床版支間方向)	1.00	1.00
連続版支間部(支間直角方向)	1.00	1.01

表-5.29 T荷重による曲げモーメント比較(比率)

4点支持とした場合、 については3~4%小さい値となっているが、 については1%大きい値となっている。床版の設計については、主桁作用の影響が現れないレール支持にて行うことが妥当であると考えられる(道示 箱桁の章におけるボックスラーメン解析も同様の思想)。よってレール支持した場合の割増し係数は上表のうち大きい値として1.01とする

c. 前輪荷重と後輪荷重の影響

道路橋示方書における床版設計曲げモーメント算定式は、規定された前輪荷重と後輪荷重を 橋軸方向には1台、直角方向には制限無しという条件にて載荷させ、導いた理論式をもとに設 定されている。

後輪荷重のみを載荷させた場合と前後輪荷重を載荷させた場合の比較を表-5.30に示す。

, , , , , , , , , , , , , , , , , , , ,		
	後輪荷重のみ	前後輪載荷
連続版支間部(床版支間方向)	1.00	1.01
連続版支点部(床版支間方向)	1.00	1.05
片持ち版支点部(床版支間方向)	1.00	1.03

表-5.30 T荷重による曲げモーメント比較(比率)

前後輪荷重を載荷させて得られた断面力は、後輪荷重のみを考慮して得た値に対して最大 5% 大きくなっている。よって後輪荷重のみを考慮して解析を行う場合の割増し係数は1.05とする。

d. 連行荷重の影響

現行の道路橋示方書で規定されるT荷重は、橋軸方向には1列載荷となっているが、連行荷重(平成2年道示まで)を考慮した場合の比較検討結果を以下に示す(シェルモデルによる比較結果)。

,			
	T荷重1列載荷重	連行荷重載荷	
連続版支間部(床版支間方向)	1.00	1.01	
連続版支点部(床版支間方向)	1.00	1.10	
片持ち版支点部(床版支間方向)	1.00	1.00	

表-5.31 T荷重による曲げモーメント比較(比率)

連続版支間部と片持ち版支点部では、連行荷重載荷の影響はほとんど無く、T荷重1列載荷の場合とほぼ同程度である。これに対し、連続版支点部では、1列載荷に対して連行荷重を載荷した場合10%断面力が大きく現れている。よって、連行荷重を考慮しないことに対する割増し係数は、安全を見て1.10とする。

e. 割増し係数

以上をまとめて、解析手法の影響に関する割増し係数として、下記ように設定することが考えられる。

- ・使用するモデル要素の影響(シェルモデルを使用する場合) 1.00
- ・支持条件をレール支持とした場合の影響 1.01
- ・載荷する荷重を後輪荷重のみとした場合の影響 1.05
- ・連行荷重の影響を考慮しないことに対する影響 1.10
- ・割増し率 1.00×1.01×1.05×1.10 = 1.167 1.2

ただし衝撃の影響は別途考慮するものとする(道示に示される衝撃係数により)。

参考文献

[各項共通]

- 1) (社)日本道路協会:道路橋示方書・同解説 共通編,平成14年3月
- 2) (社)日本道路協会:道路橋示方書・同解説 コンクリート橋編,平成14年3月
- 3) (社)土木学会:コンクリート標準示方書[施工編]2002年制定,平成14年3月
- 4) (社)土木学会:コンクリート標準示方書[規準編]2002年制定,平成14年3月

[2 広幅員一室箱桁構造]

- 2-1-1) 石崎、松井: 2 主構 I 桁形式道路橋のR C 床版の最小厚規定について, 土木学会第50回年次学術講演会, 平成7年9月
- 2-3-1) 土木学会: コンクリート標準示方書[構造性能照査編] 2002年制定
- 2-4-1) 矢部、川畑、佐々木、内田、宮崎、西川:パーシャルプレストレスを導入したPC床版の輪荷重走行実験,土木学会第1回鋼橋床版シンポジウム,1998年11月

[3 リブ付き床版構造]

- 1-1-1) 岩立,藤島,横山,中山:第二東名高速道路 大平高架橋 ~ リブ付き床版の設計~, プレストレストコンクリート技術協会第10回シンポジウム論文集(2000年10月)
- 1-1-2) 黒岩,後藤,多田,梅田:瀬戸川橋の設計・施工について,プレストレストコンクリート技術協会第10回シンポジウム論文集(2000年10月)
- 1-1-3)川除,鈴木,徳川,菅野:常滑高架橋の設計・施工,プレストレストコンクリート技術協会第14回シンポジウム論文集(2005年11月)
- (3)- -1) 中塚,青木,千国,油野:リブ付き床版構造を採用したPC箱桁橋の設計 -第二東名 高速道路 花倉高架橋(下り)-,プレストレストコンクリート技術協会第15回シンポ ジウム論文集(2006年10月)

[4 ストラット付き床版構造]

- 1-2-1) 長谷,本間,宮越,川崎,新井:橋軸方向施工目地を有するストラット付張出し床版の 移動輪荷重走行疲労試験(第二東名高速道路 内牧高架橋),土木学会第3回道路床版シ ンポジウム講演論文集,2003.6
- 2-1-1) 小宇佐,南山,干村,加邊,藤木,八木:第二名神高速道路錐ヶ瀧橋(上り線)の施工, 橋梁と基礎Vol.41,2007.3
- 2-1-2) 岡田,香川,管,深谷: 宍原第一高架橋の設計・施工,第12回プレストレストコンクリートの発展に関するシンポジウム,2003.10
- 2-2-1) 西須, 福永, 三浦, 中島: 芝川高架橋の設計・施工報告, 第12回プレストレストコンク リートの発展に関するシンポジウム, 2003.10
- 3-1-1) 竹中,中田,五藤:支保工架設による張出し床版にストラットを有する箱桁橋の設計 上 川高架橋(下り線),第15回プレストレストコンクリートの発展に関するシンポジウム, 2006.10

- (3)- -1) 長谷,本間,宮越,川崎,新井:橋軸方向施工目地を有するストラット付張出し床版の 移動輪荷重走行疲労試験(第二東名高速道路 内牧高架橋),土木学会第3回道路床版シン ポジウム講演論文集,2003.6
- (3)- -2)鴻上,本間,長谷,新井:内牧高架橋の張出し床版の移動輪荷重疲労試験,第12回プレストレストコンクリートの発展に関するシンポジウム,2003.10
- (3) -1) 西須,福永,三浦,中島:芝川高架橋の設計・施工報告,第12回プレストレストコンク リートの発展に関するシンポジウム,2003.10
- (3)- -2) 小宇佐,南山,干村,加邊,藤木,八木:第二名神高速道路錐ヶ瀧橋(上り線)の施工, 橋梁と基礎Vol.41,2007.3
- (3)- -3)鴻上,本間,長谷,新井:内牧高架橋の張出し床版の移動輪荷重疲労試験,第12回プレストレストコンクリートの発展に関するシンポジウム,2003.10
- (3)- -1) 土木学会: 2002年制定 コンクリート標準示方書[構造性能照査編]
- (3)- -1) 竹中, 中田, 五藤: 支保工架設による張出し床版にストラットを有する箱桁橋の設計 上川高架橋(下り線), 第15回プレストレストコンクリートの発展に関するシンポジウム, 2006.10
- (3)- -1) 斎藤,本間,宇佐美,山村:断面を分割架設するストラット付PC箱桁のストラット接合部 第二東名高速道路 内牧高架橋(PC上部工)工事,第15回プレストレストコンクリートの発展に関するシンポジウム,2006.10

[5 参考資料]

- 1-1-1) 道路橋示方書・同解説 鋼橋編 8.2.5床版の最小全厚(平成14年3月)
- 1-1-2) 2 主構 I 桁形式道路橋の R C 床版の最小厚規定について,石崎・松井,土木学会第50回年次学術講演会(平成7年9月)