

第9章 設計例 — 2主箱桁 —

9.1 検討対象とした2主箱桁の特徴

箱桁は従来構造で比較した場合、支間が比較的小さい直線桁または半径が大きい曲線桁ではI桁に比べ鋼重が重く経済的には劣る。しかし、箱桁の構造を単純化することによってI桁と同等あるいはより経済的な桁橋とするとともに、長寿命化を図ることが可能となると考えられる。本章では、これを検証するため次章と同様、既に4主桁橋として設計された実橋を対象に、その設計条件にならい2主箱桁で試設計した場合の設計例を示す。

単純化の方策としては、第4章～第6章の考え方を踏襲して省補剛及び部材数の削減を行うとともに、主桁の間隔を小さくすることが挙げられる。以下にここで検討した2主箱桁の特徴を示す。

1) 主桁間隔を小さくする。

2主箱桁にすることにより主桁間隔が広がるが、従来型箱桁で用いられる縦桁を設けず2主I桁と同様長支間の床版を用いる。また、主桁幅を狭くすることにより、縦リブを省略可能となり製作工数の削減ができる。また、「合理化設計のガイドライン」により、I桁ではフランジ幅を一定とすることによりフランジ幅一定の箱桁により近くなったと考えられ、主桁幅を小さくした箱桁のメリットが出てくるものと考えられる。

2) 中間横桁を省略し端横桁のみとする。

横桁の主桁への取り付け部の応力集中がなくなり、疲労強度が向上する。また、主桁以外は端横桁のみとなるため、仮組を省略しても製作上あまり問題となることはないと考えられる。また、中間横桁がなくなることによって、外観上極めてすっきりした感じを与え景観的にも優れたものとなる。

以上に示した構造の単純化により、経済的かつ疲労強度の優れた箱桁が得られると考えられるが、さらに加えて架設上の有利性も挙げることができる。箱桁は横剛性及びねじれ剛性が高いことから架設時の安定性に優れI桁に比べ架設において有利である。さらに構造の単純化による架設上の利点も無視できない。

逆に、ねじれ剛性が高いことから2主箱桁間のたわみ差によってI桁に比べ床版に悪影響を与える危惧が持たれるが、本問題についてもFEM解析により問題のないことを確認する(9.3参照)。

9.2 設計例

本検討橋梁では、鋼重を既設計(4主I桁)よりあまり増加させないという制約条件の下に試設計を行った。そのため、圧縮フランジにはリブを設けて鋼重増を回避している。現場継手は、主桁のフランジとウェブを溶接接合、他は高力ボルト摩擦接合とした。また、床版はI形鋼格子床版を用いたが、必ずしもこれに限ることはなくプレキャストPC床版やPRC床版など長支間に対応可能な耐久性の優れた床版であれば適用可能である。

(1) 設計条件

1) 活荷重	A活荷重
2) 形式	単純合成2主箱桁橋
3) 橋長	57.200m
4) 支間長	56.38m
5) 有効幅員	3.0m(歩道) + 7.0m(車道) + 3.0m(歩道)
6) 平面線形	直線
7) 斜角	A1 右 81° 00' 00" A2 90° 00' 00"

(4) 数量総括表

試設計した箱桁と比較対象として用いた4主桁橋の数量総括表を、表-9.1に示す。鋼重を比較すると、箱桁はI桁より6%程度大きくなっている。この値は従来型箱桁のI桁との差に比べかなり接近した値といえる。一方、材片数で比較すると、大型材片は箱桁の方が少ないが、小型材片は箱桁の方が相当多くなっている。このことから、箱桁内部の構造を少補剛化などによりさらに単純化し小型材片を減らす工夫をすれば、より経済的な箱桁構造が実現できるものと考えられる。

元来、箱桁は対傾構・横構が要らないこと、仮組立が容易で省略も可能なこと、架設時の安定性に優れていること、景観上もシンプルであること等、I桁橋より幾つかの優れた特性を有するものである。今回の試設計では、補剛設計において十分な合理化がなされていないため鋼重、小型材片数などで必ずしも十分な経済効果を出すに至らなかったが、箱桁のこうした特性を活かした合理化設計をすすめ、テーパプレートを採用すること等により経済性ならびに耐久性の高い構造が得られる。

さらに、本試設計では耐候性鋼材仕様としたが、塗装仕様とした場合には表-9.2に示す如く塗装面積がI桁に比べ箱桁が少なくなり維持管理上のメリットも大きいといえよう。

表-9.2 塗装仕様の場合の塗装面積の比較 (m²)

	外面塗装面積	内面塗装面積	全塗装面積
箱 桁	8 6 5	1 5 2 9	2 3 9 4
I 桁	2 4 6 5	—————	2 4 6 5

表-9.1 試設計箱桁と4主1桁の数量比較

工数算定要素集計表（合成2主箱桁）

集計要素	単位	本体	付 属 物				合 計	
			落橋防止	排水装置	組立排水桝	検査用手摺		
本下 体記 及以 び外 本 体対 と傾 同構 様横 に 集構 計 す る 付 属 物	大型材片	材片数	ヶ	46				46
		材片重量 *1	kg	165,637				165,637
	小型材片	材片数	ヶ	624				624
		材片重量 *2	kg	30,307				30,307
	部	材 数 *5	ヶ	12				12
	加	工 鋼 重 *3	kg					
	部	材数	形鋼トラス構造 *6	ヶ				
			鋼板トラス構造 *7	ヶ				
	加	工 鋼 重 *4	kg					
	部	材数	形鋼構造 *8	ヶ				
		鋼板構造 *9	ヶ					
加	工 鋼 重 *1+*2+*3+*4 計	kg	195,944				195,944	
	内570材相当加工鋼重	kg	0				0	
部	材 数 *5+*6+*7+*8+*9	ヶ	12				12	
板	継 溶 接 延 長 (注1)	m	999				999	
大	型材T継手溶接延長(注2)	m	947				947	
構	造要素	平均支間長	mm	56,380				
		主 桁 間 隔	mm					
		主 桁 高	mm					

工数算定要素集計表（合成4主1桁）

集計要素	単位	本体	付 属 物				合 計	
			落橋防止	排水装置	組立排水桝	検査用手摺		
本下 体記 及以 び外 本 体対 と傾 同構 様横 に 集構 計 す る 付 属 物	大型材片	材片数	ヶ	60				60
		材片重量 *1	kg	158,993				158,993
	小型材片	材片数	ヶ	312				312
		材片重量 *2	kg	7,787				7,787
	部	材 数 *5	ヶ	20				20
	加	工 鋼 重 *3	kg	12,240				12,240
	部	材数	形鋼トラス構造 *6	ヶ	33			33
			鋼板トラス構造 *7	ヶ				
	加	工 鋼 重 *4	kg	5,228				5,228
	部	材数	形鋼構造 *8	ヶ	44			44
		鋼板構造 *9	ヶ					
加	工 鋼 重 *1+*2+*3+*4 計	kg	184,248				184,248	
	内570材相当加工鋼重	kg	0				0	
部	材 数 *5+*6+*7+*8+*9	ヶ	97				97	
板	継 溶 接 延 長 (注1)	m	1,143				1,143	
大	型材T継手溶接延長(注2)	m	915				915	
構	造要素	平均支間長	mm	56,380				
		主 桁 間 隔	mm	3,500				
		主 桁 高	mm	2,900				

(注1)：現場溶接
(注2)：工場溶接

9. 3 2主箱桁橋のFEM解析

2主箱桁橋の構造特性を調べるために、有限要素法（FEM）による構造解析を行った。本解析において特に着目した点は、①応力集中により疲労き裂が発生し易いとされる中間横桁と主桁の結合部付近の応力、および②長支間（5.2m）I形鋼格子床版に発生する曲げモーメント、である。なお、中間横桁の本数と载荷条件をパラメータとして解析を行った。

9. 3. 1 解析条件

図9.1に2主箱桁橋のメッシュ分割図を示す。ここでは、解析を簡単化するために支間中央で橋軸方向に対称な構造とした（設計例では橋端断面は橋軸に斜交する）。

また、同図のように、

Type 1：中間横桁9本（間隔5.7m）、

Type 2：中間横桁2本（中央間隔22.8m、端横桁との距離17.1m）、

Type 3：中間横桁なしの場合、

の3種類につき解析を行った。

解析には汎用構造解析プログラムABAQUSを用い、全ての構造（床版も含む）は4節点シェル要素（S4R）でモデル化した。床版の換算弾性係数は「付録：I形鋼格子床版について」に示されている換算式を用いて計算した。また、設計例ではスタッドジベルがウェブの直上に配置されているので、解析では、床版と主桁ウェブ上端を剛体要素を使って剛結合し、この結合部でのみ荷重が伝達するようにした。

つぎに、図9.2に解析の対象とした7種類の载荷条件を示す。Case 1～3は道路橋示方書に規定されているL荷重（A活荷重）、Case 4～6は同T荷重（A活荷重）、およびCase 7は0.2Gの静的地震荷重を基本としたものである。

9. 3. 2 解析結果

（1）断面の変形状況

図9.3に、荷重Case 1における支間中央断面の変形図を示す。同図から判るように、中間横桁が無い場合（Type 3）には、断面はハの字形に開く（下フランジの外側への変位が上フランジのそれよりも大きい）が、中間横桁9本（Type 1）の場合にはその逆の変形状態になる。ただし、Type 1においても、中間横桁と中間横桁の間では、断面はハの字形に開いており、主桁には中間横桁取り付け部を節としたねじり変形が発生していることになる。なお、上フランジと下フランジの橋軸直角方向変位の差は最大で0.

25mmと、些少であった。

(2) 横桁の主桁への取付け部の応力

図9.4(a)~(c)に、荷重Case 2（車道部に分布荷重満載）における、横桁取付け断面のMises応力分布を示す。(a)、(b)、(c)は各々、Type 1、2および3の形式に関するものである。また図9.5(a)~(c)は、荷重Case 3（分布荷重半載）の場合である。これらの図において赤い部分は発生応力が最大になる位置であり、その値は並記したコンター値から読み取ることが出来る。

図9.6(a)、(b)には、荷重Case 2および3における各断面の最大値の比較を示した。同図から判るように、スパン中央断面および0.3L断面においては中間横桁がない場合が9本ある場合よりも応力がかなり（最大50%程度）減少する。一方端横桁断面では、中間横桁がない場合には支点部での応力集中が増加する。

(3) 中間横桁本数の2次応力に及ぼす影響

図9.7および図9.8には、スパン中央および0.3L断面における、ジベルおよびダイアフラム孔近傍の要素重心点のMises応力の比較を示した。これらの図から、支間中央断面の応力は中間横桁を省略することによって概ね低下することが判る。

なお、中間横桁を9本から2本にすると0.3L断面に作用する合力が大きくなるので応力がかえって増大し、むしろ中間横桁を全て省略した方が応力集中は小さくなることも判る。

なお、図9.7の一点鎖線は、格子桁解析（梁要素使用）により得られたスパン中央の主桁下フランジの応力である（中間横桁の有無による差は出なかった）。T荷重載荷（荷重Case 5）の場合には、要素A~Dの応力が主桁下フランジ応力よりも大きくなっており、局所的な載荷により2次応力の卓越する様子がうかがえる。

(4) 中間横桁本数の床版曲げモーメントに及ぼす影響

図9.9に、荷重Case 1および3における、支間中央断面の床版の曲げモーメント分布を示す。図において負のモーメントがピークになる位置は主桁上フランジ内側端部のジベル部に対応している。荷重Case 3（分布荷重半載）の場合には、非載荷面に負モーメントのピークが現れる。

ちなみに、本I形鋼格子床版のT荷重による設計曲げモーメント（衝撃を含む）は、文献1)、2)を参考にして計算すれば、橋軸方向（配力鉄筋方向）で5238kgf・m/m、橋軸直角方向（I形鋼方向）で8645kgf・m/mとなる。ただし、これらの値は、文献における「床版支間が4m以下」という制限を無視して計算したものである。

図9.10は、曲げモーメントの正負のピーク値を比較したものである。これより、以下のことが判る。

- 1) いずれの場合でも、設計曲げモーメントに対して十分余裕がある。
- 2) 負モーメントのピーク値は、荷重Case 3を除いて、中間横桁を取り去ることにより減少する。
- 3) 荷重Case 3では、中間横桁を省略すると負モーメントは増加する。これは、中間横桁の除去により、桁全体のねじり変形が大きくなるためと思われる。ただし床版を設計する際にはT荷重が用いられるので、このことは設計上の支障とはならない。

9. 3. 3 FEM解析のまとめ

主桁の応力集中および床版曲げモーメントに及ぼす中間横桁の影響を詳細なFEM解析により調べた。その結果、中間横桁を全て省略することにより、主桁の応力集中はかなり緩和されることが判った。ただし、支点近傍の応力は中間横桁省略により増大するので、設計上配慮する必要がある。また、床版の曲げモーメントは、T荷重載荷の場合、やはり中間横桁省略により減少することが判った。

以上のように、中間横桁を省略した2主箱桁橋は、経済的でかつ疲労寿命も長くなる可能性のあることが示された。

【参考文献】

- 1) 道路橋示方書・同解説 I 共通編、II 鋼橋編、平成6年2月 (社)日本道路協会
- 2) 佐伯彰一、「I形鋼格子床版の設計」、土木技術資料 17-7 (1975)

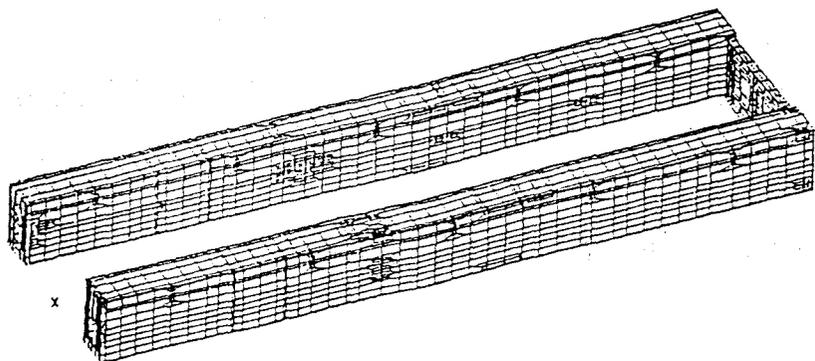
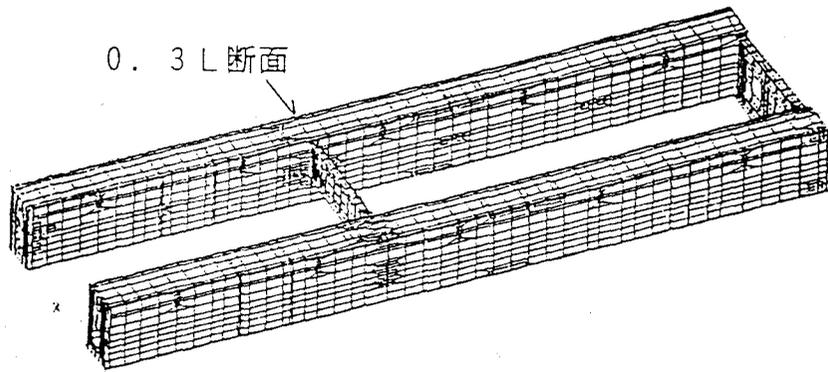
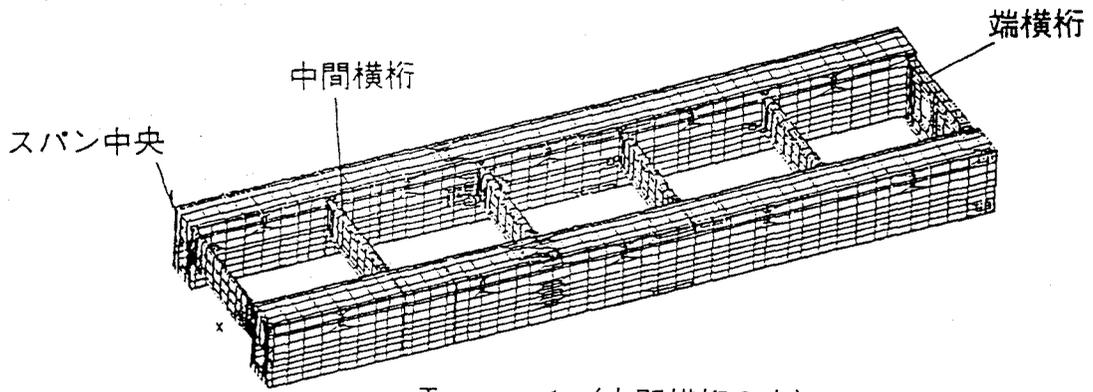
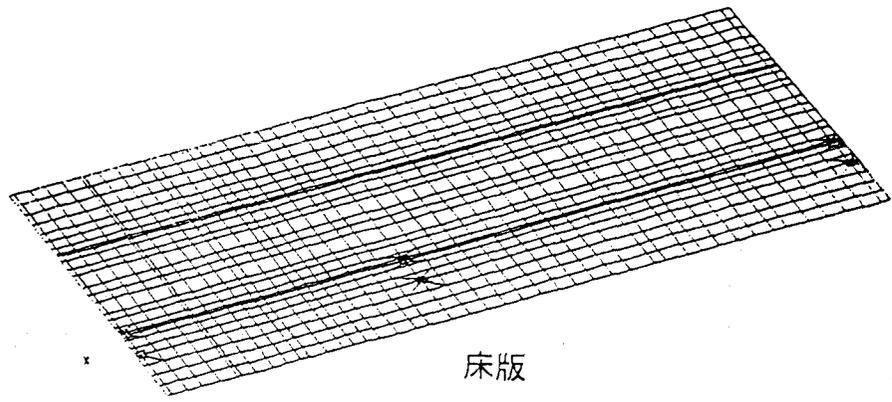
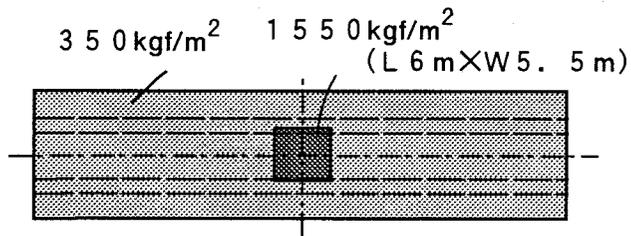
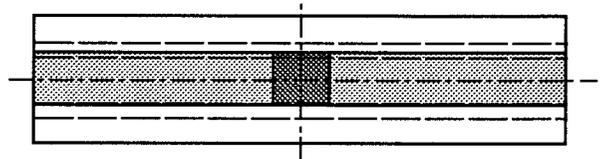


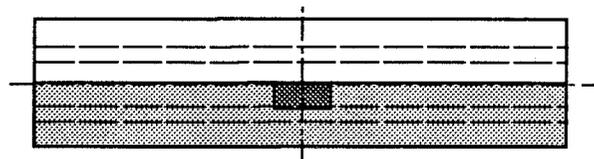
図9. 1 2箱桁橋の解析モデル (有限要素分割図)



Case 1 : 分布荷重満載



Case 2 : 車道部に分布荷重満載



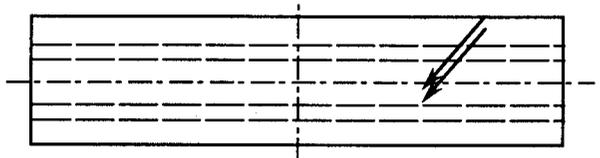
Case 3 : 分布荷重半載



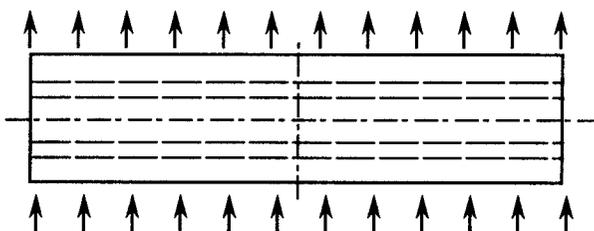
Case 4 : スパン中央に
T荷重 (2組) 載荷



Case 5 : スパン中央に
T荷重 (1組) 載荷



Case 6 : L / 4 断面に
T荷重 (1組) 載荷



Case 7 : 0.2G地震荷重
(床版に水平分布荷重 309 kgf/m^2 を載荷)

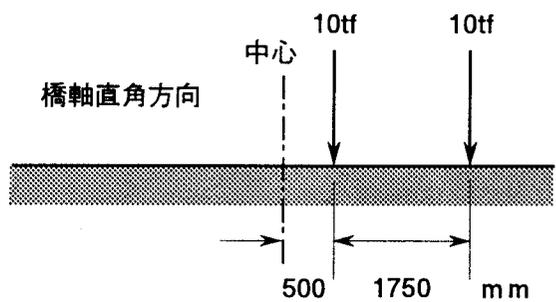
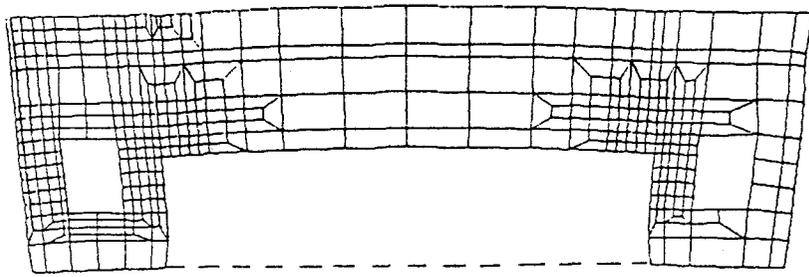
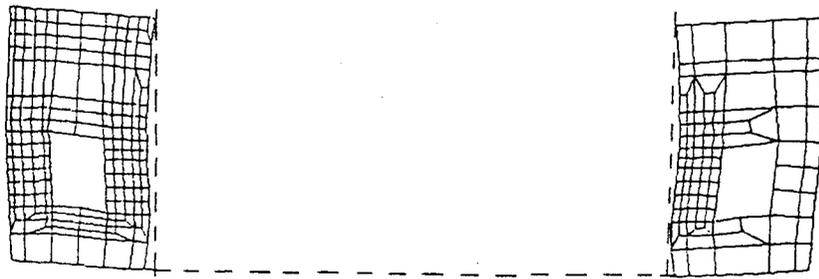


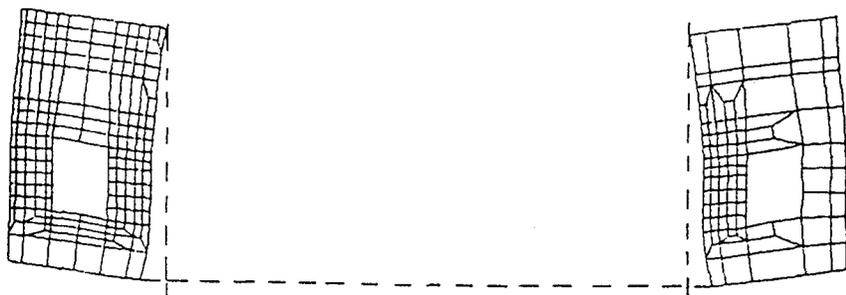
図9. 2 荷重の載荷ケース



Type 1 (中間横桁9本)



Type 2 (中間横桁2本)



Type 3 (中間横桁なし)

図9. 3 スパン中央断面の変形の比較 (荷重Case 1)

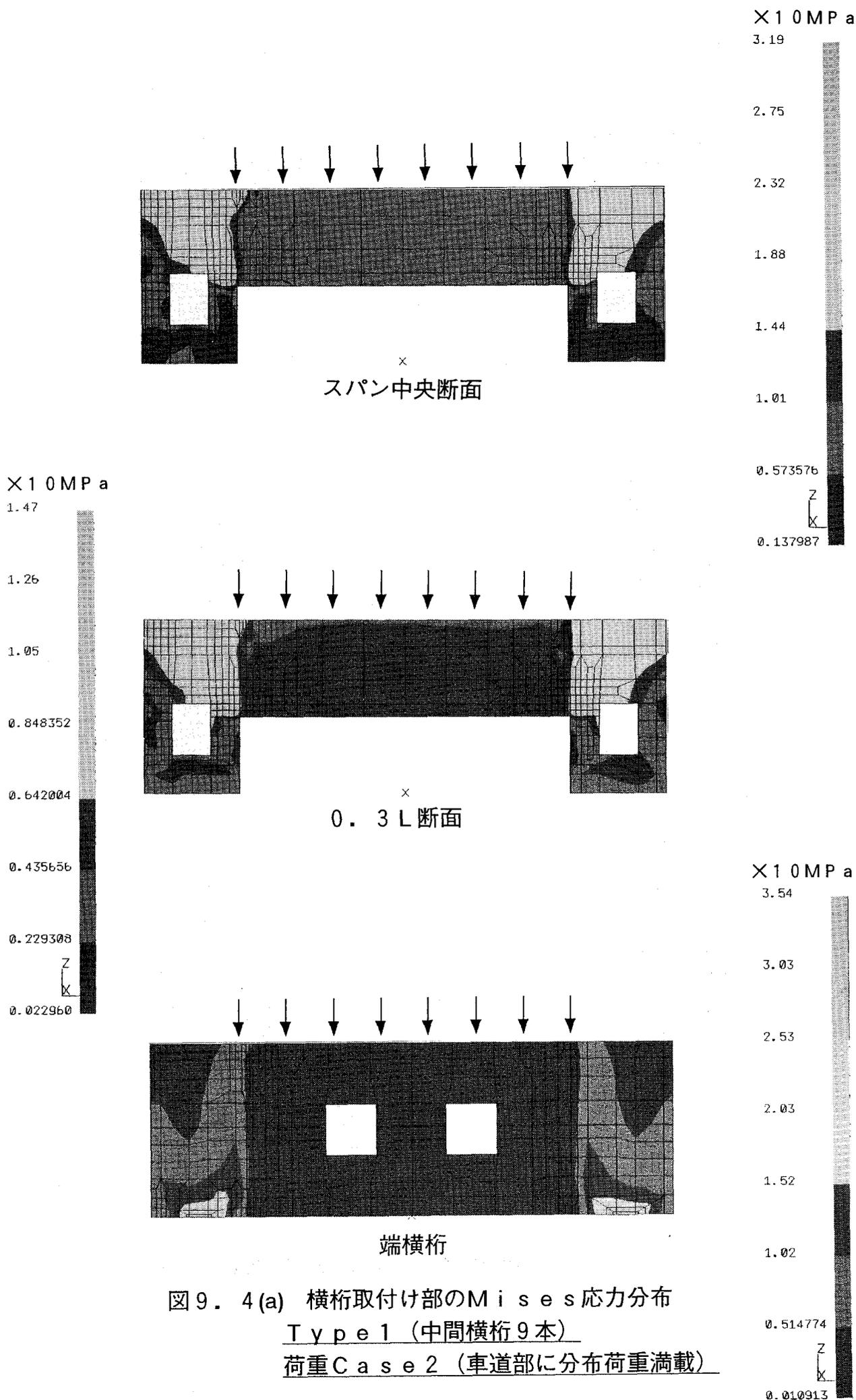
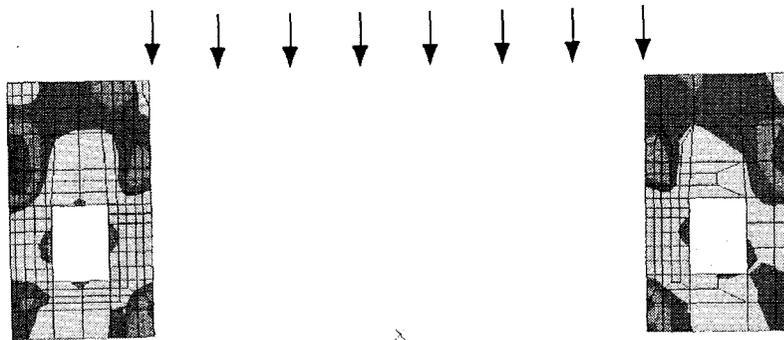
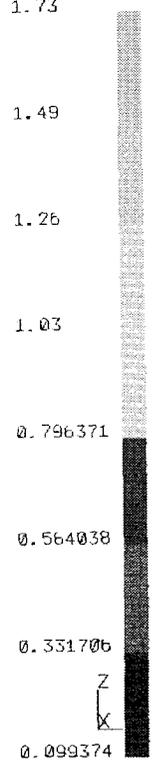


図9.4(a) 横桁取付け部のMises応力分布
 Type1 (中間横桁9本)
 荷重Case2 (車道部に分布荷重満載)

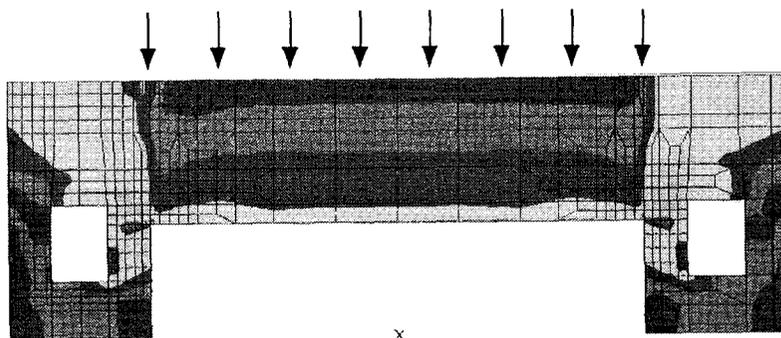
×10MPa



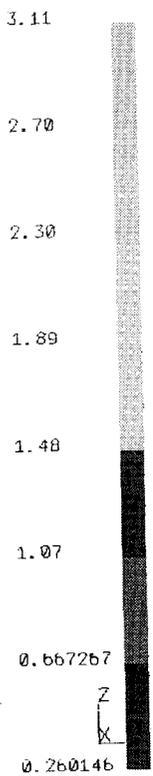
スパン中央断面



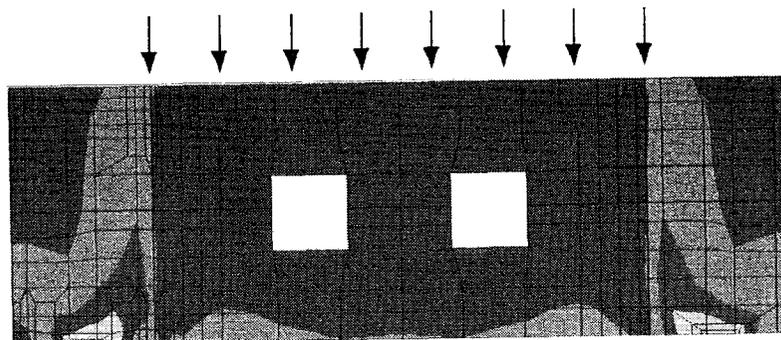
×10MPa



0.3L断面



×10MPa



端横桁

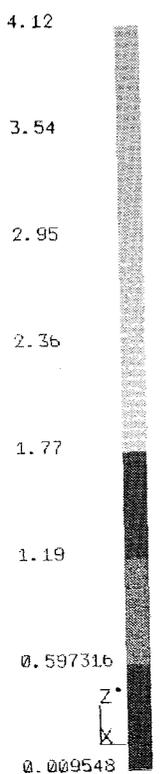
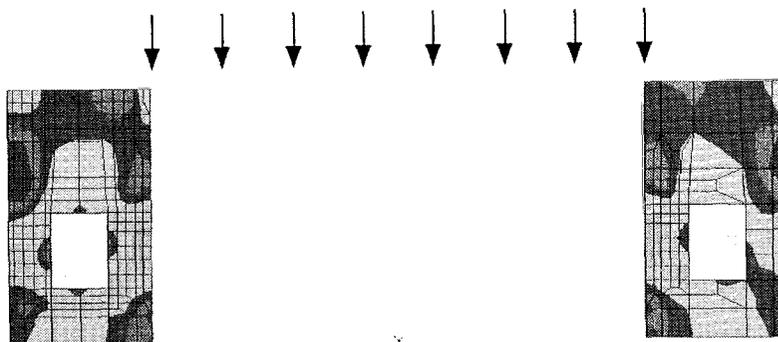
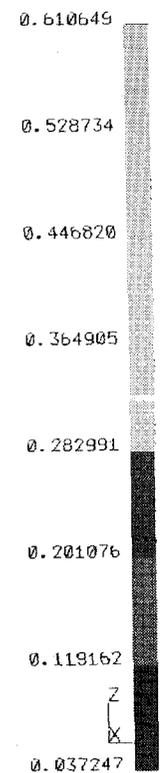


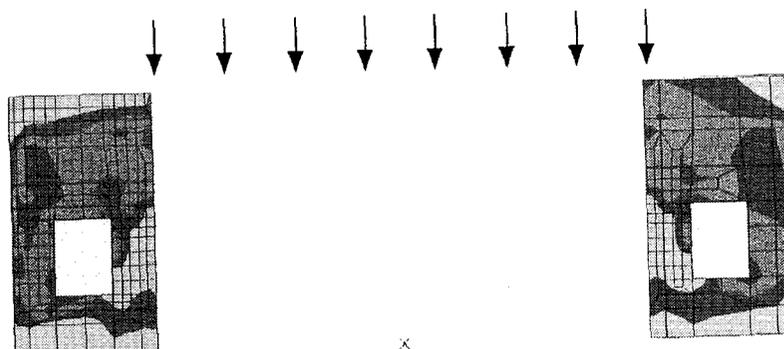
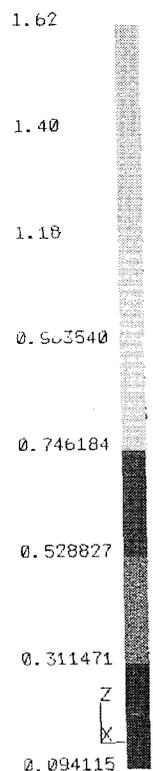
図9.4(b) 横桁取付け部のMises応力分布
 Type 2 (中間横桁2本)
 荷重Case 2 (車道部に分布荷重満載)

×10MPa



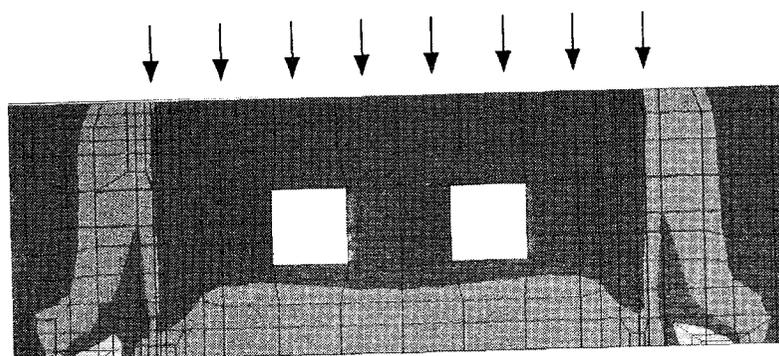
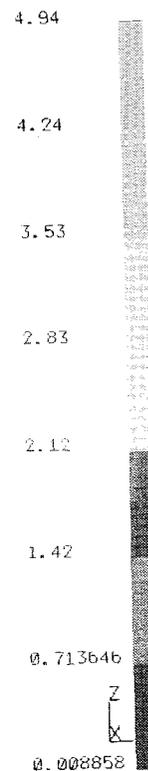
×
スパン中央断面

×10MPa



×
0.3L断面

×10MPa



端横桁

図9.4(c) 横桁取付け部のMises応力分布
Type 3 (中間横桁なし)
荷重Case 2 (車道部に分布荷重満載)

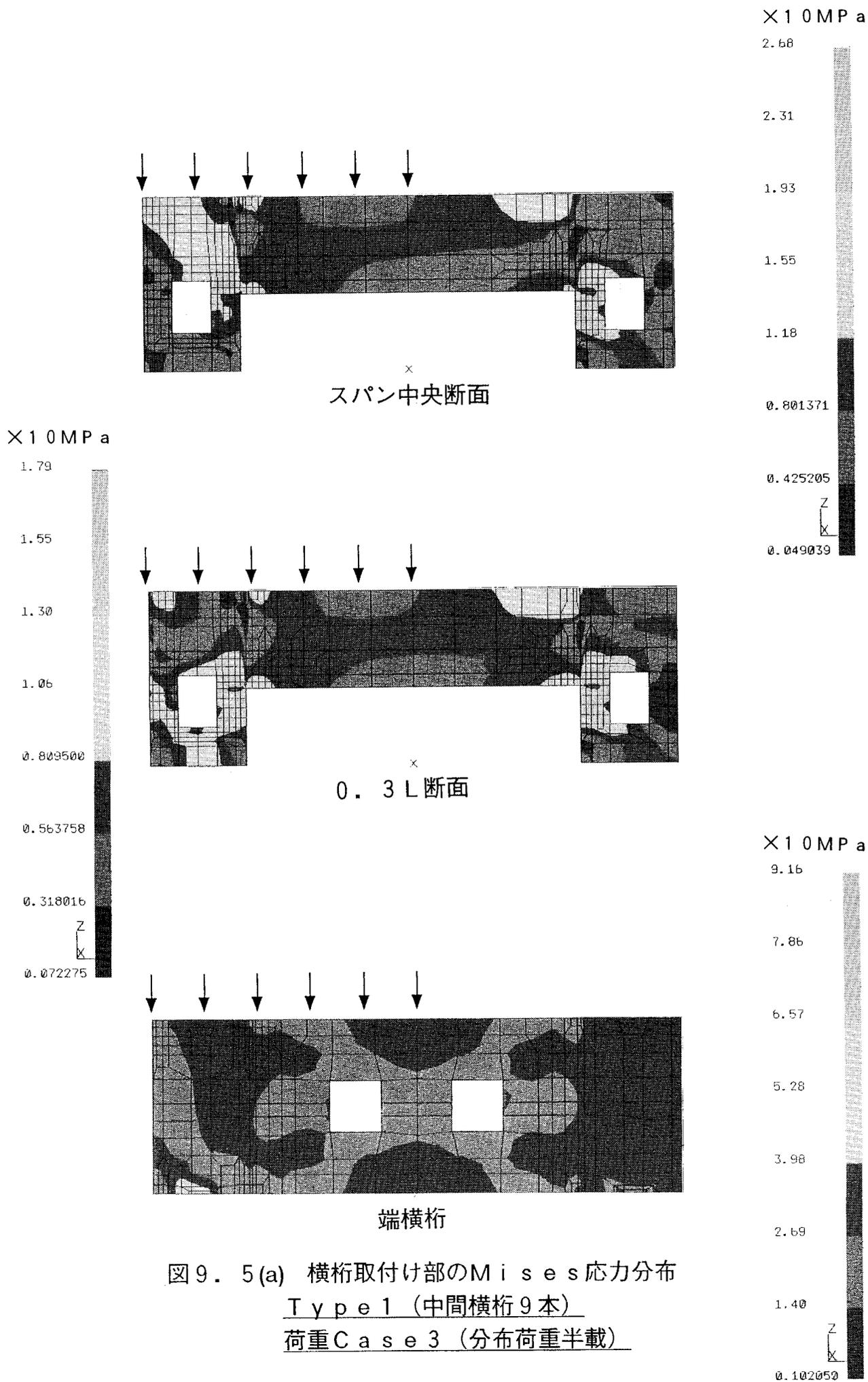
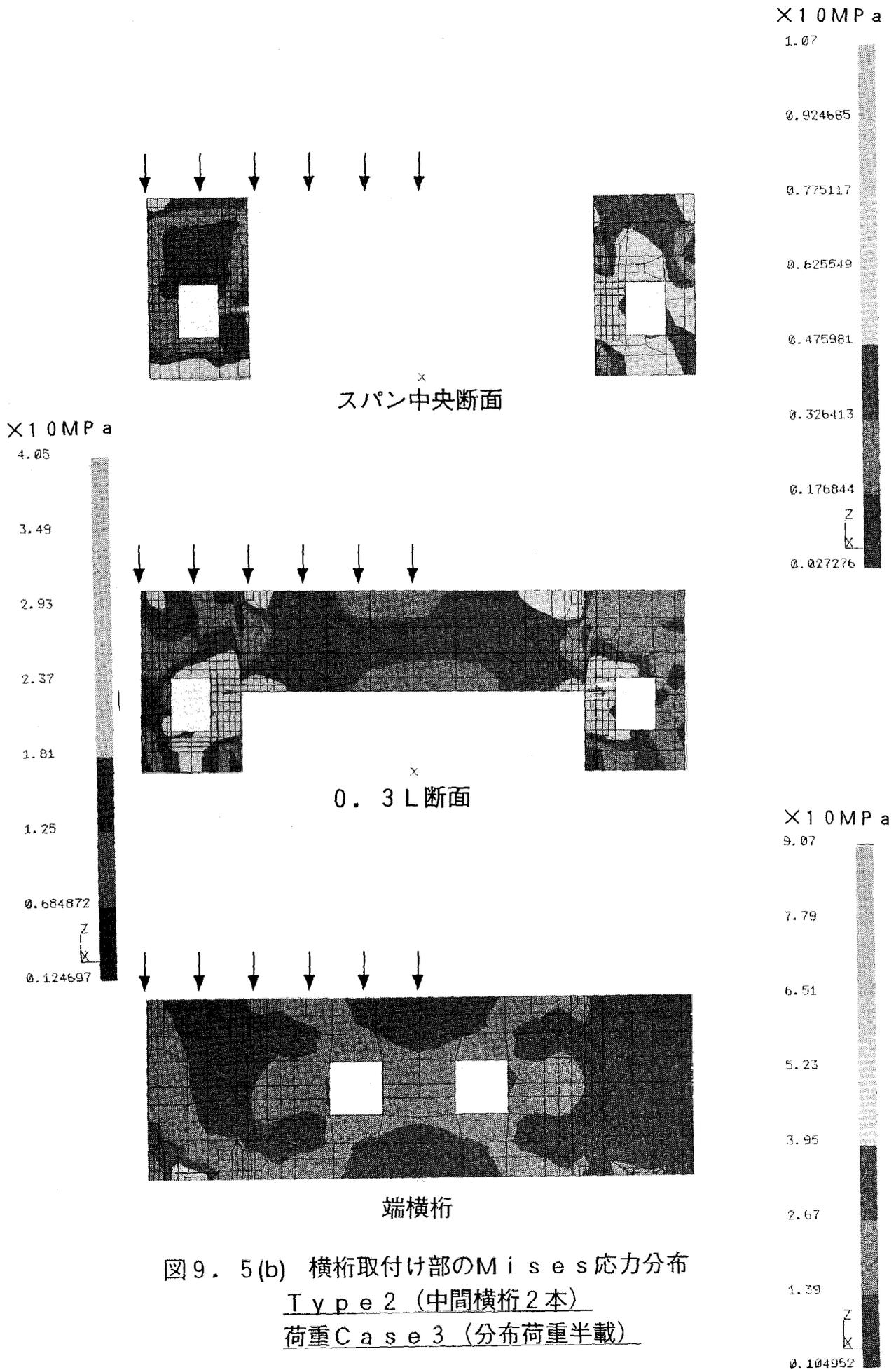


図9. 5(a) 横桁取付け部のM i s e s応力分布
Type 1 (中間横桁9本)
荷重Case 3 (分布荷重半載)



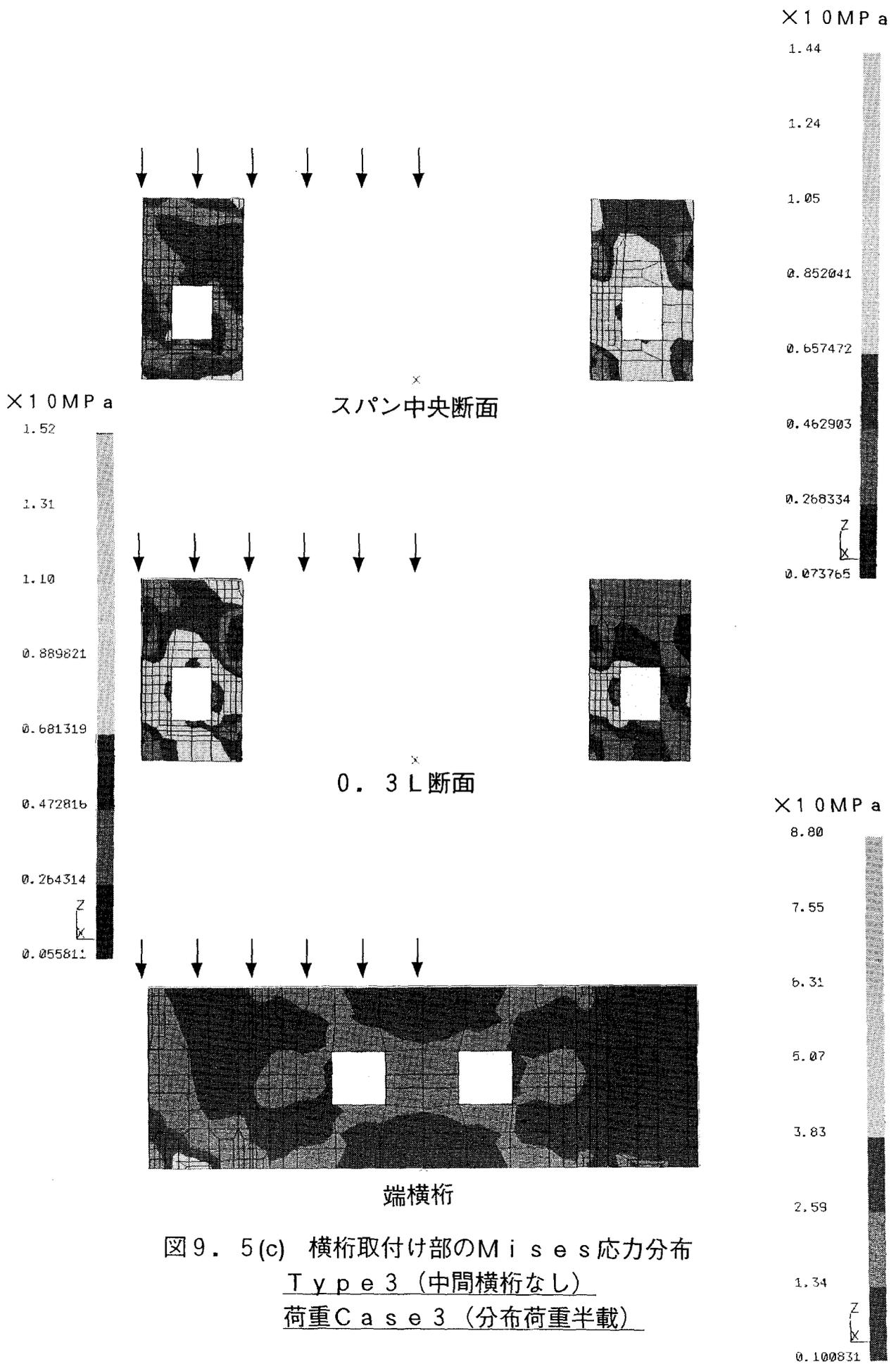


図9.5(c) 横桁取付け部のMises応力分布
Type 3 (中間横桁なし)
荷重Case 3 (分布荷重半載)

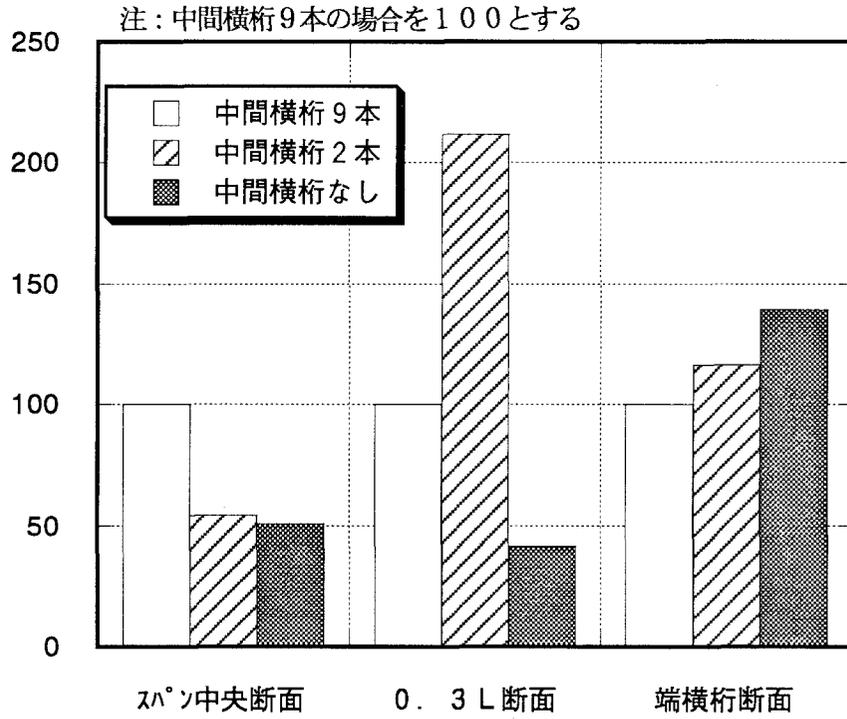


図9.6(a) 横桁取付け部最大応力の比較
(荷重Case 2、分布荷重満載)

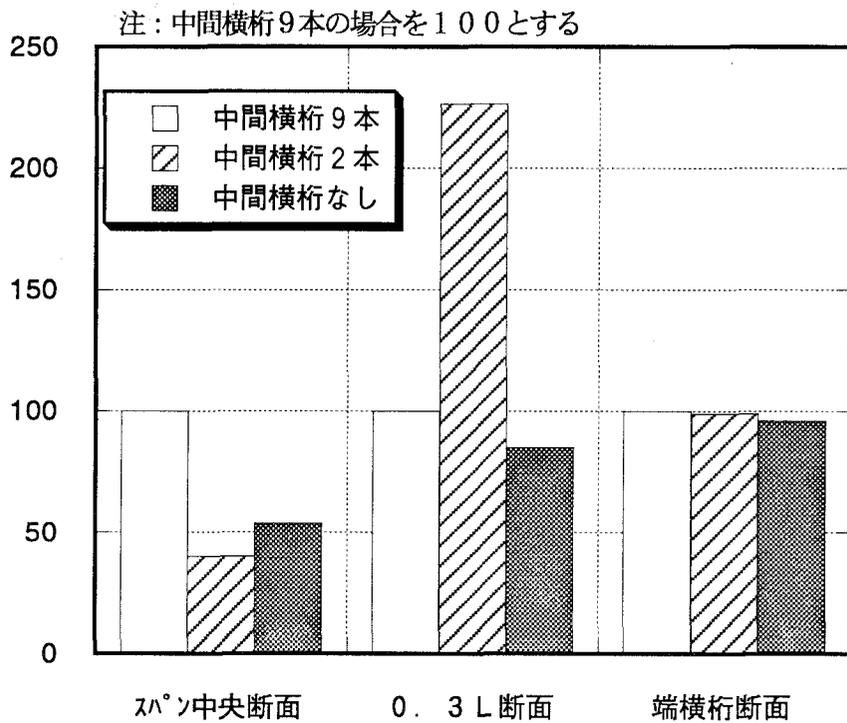


図9.6(b) 横桁取付け部最大応力の比較
(荷重Case 3、分布荷重半載)

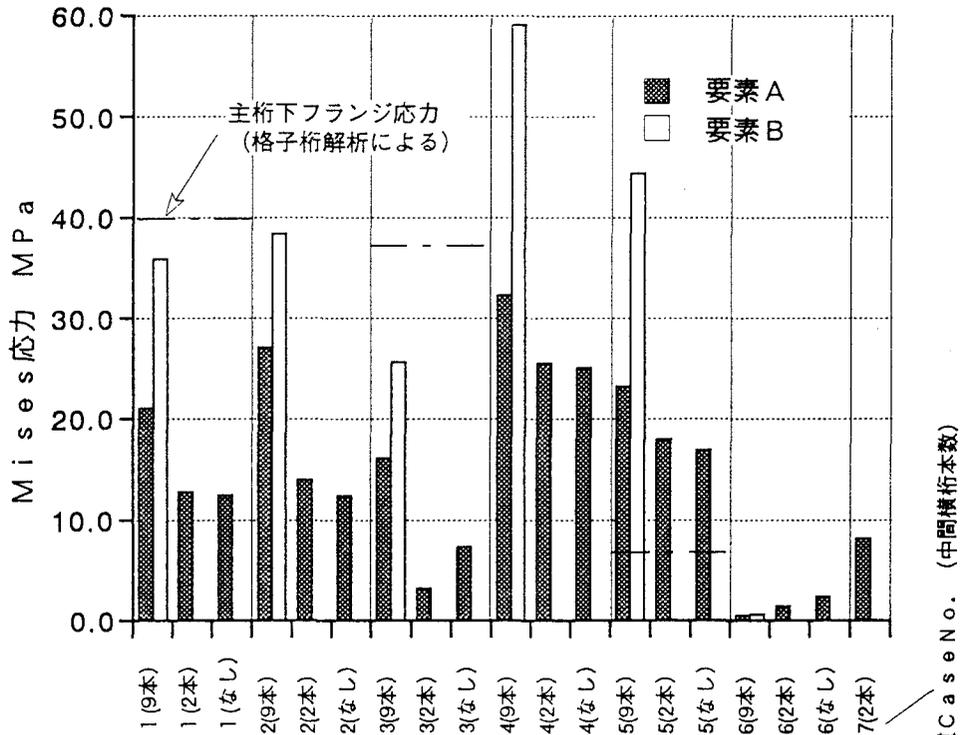
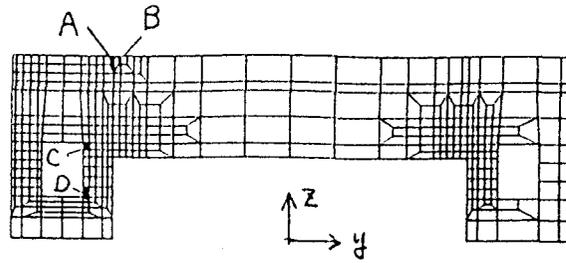


図9. 7(a) 横桁ジベル付近の応力の比較 (スパン中央)

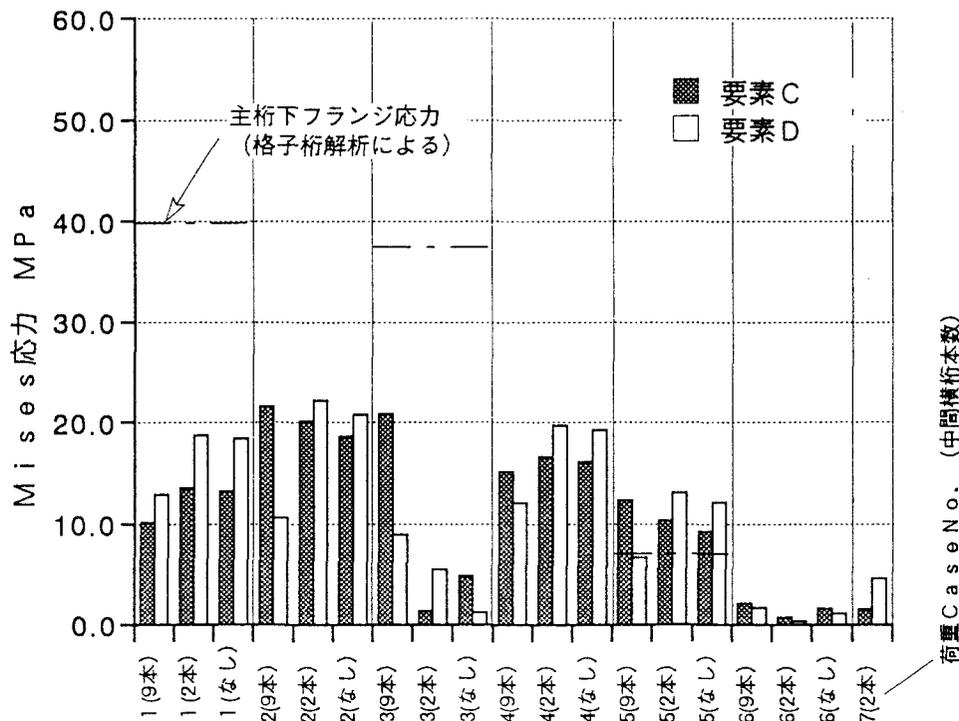


図9. 7(b) ダイアフラム孔コーナ部の応力の比較 (スパン中央)

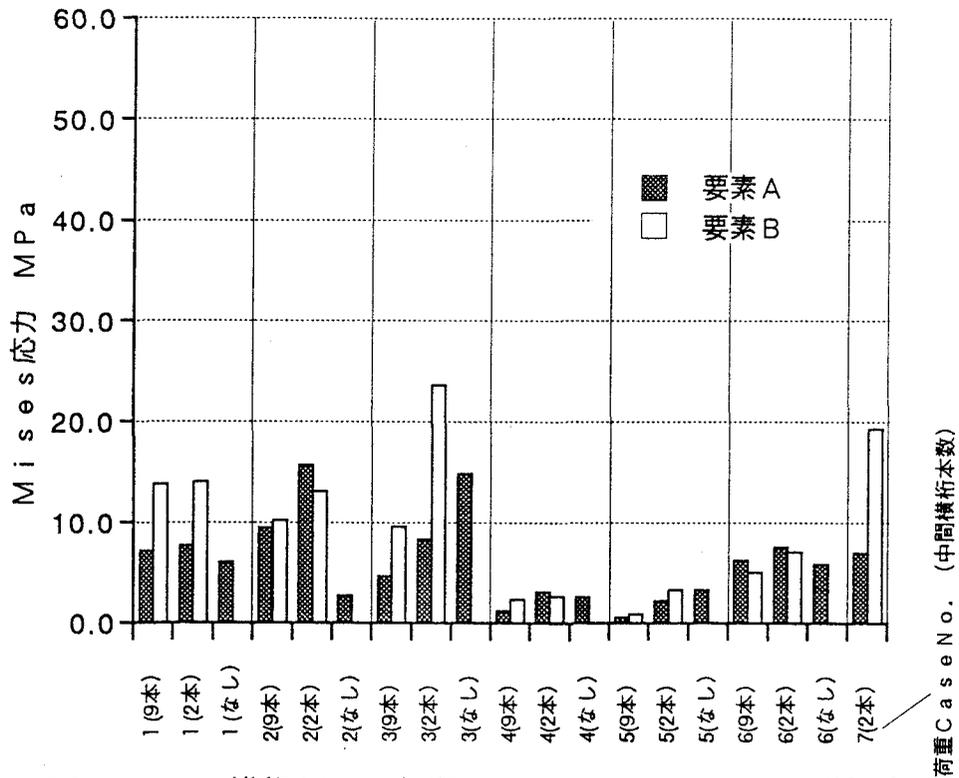
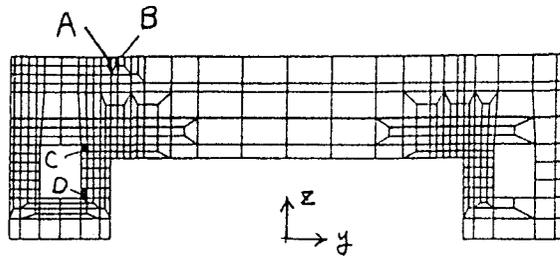


図9. 8(a) 横桁ジベル付近の応力の比較 (0.3L断面)

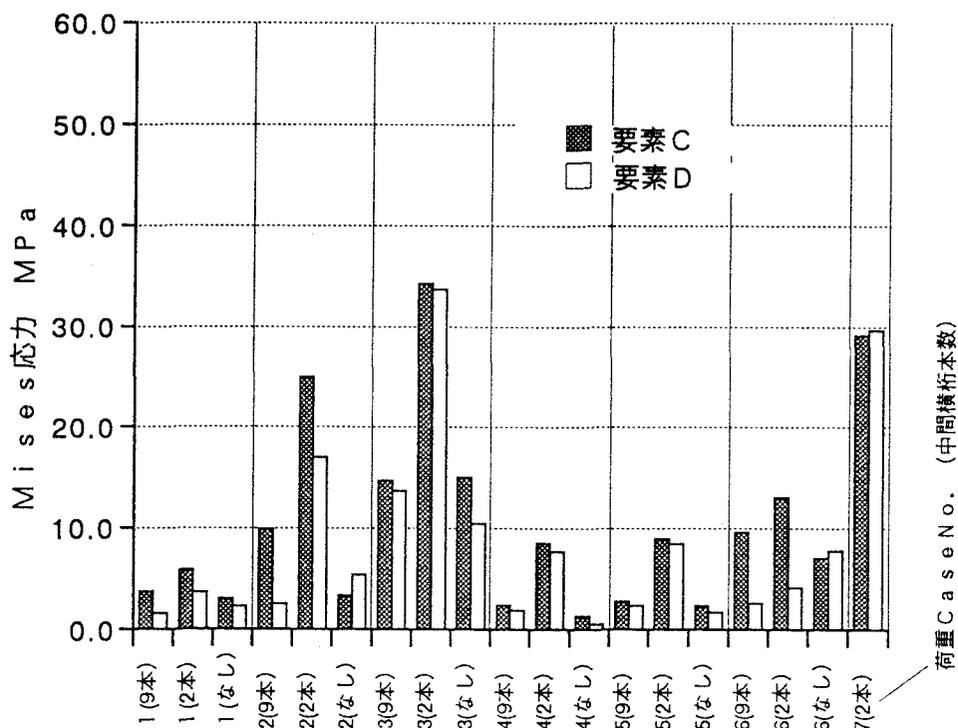
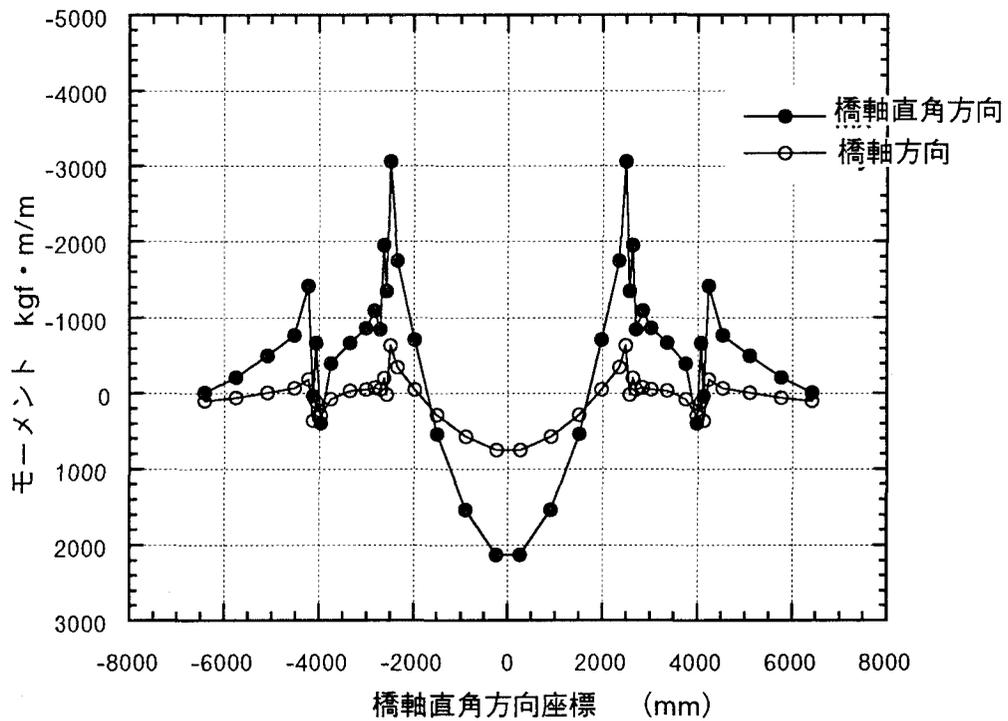
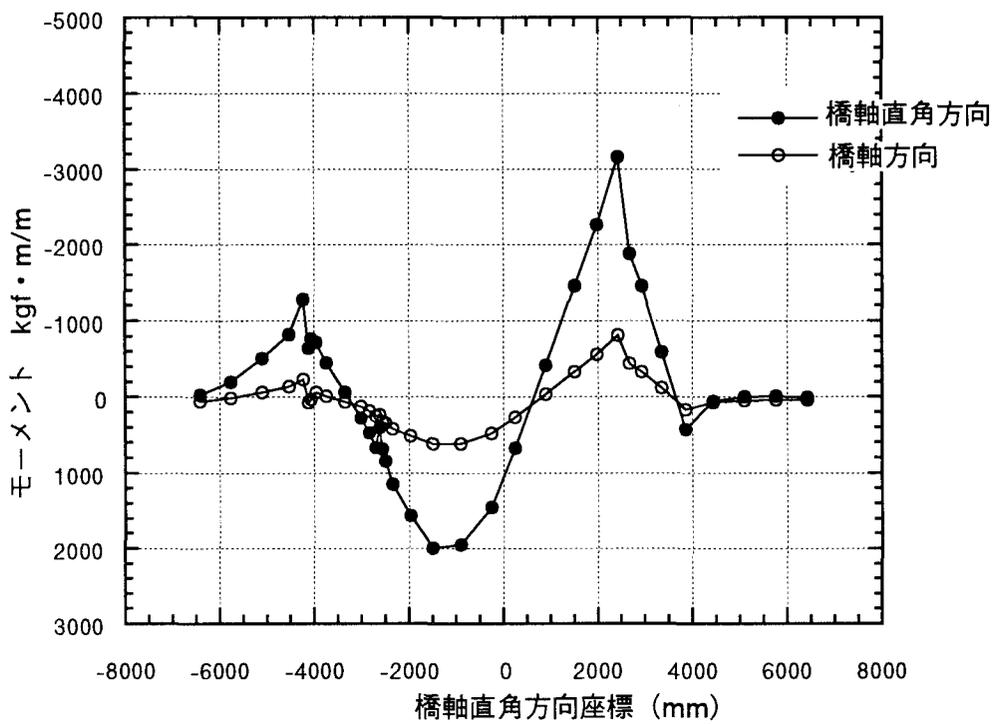


図9. 8(b) ダイアフラム孔コーナ部の応力の比較 (0.3L断面)



(a) 荷重 Case 1



(b) 荷重 Case 3

図 9. 9 支間中央の床版曲げモーメント (中間横桁なし)

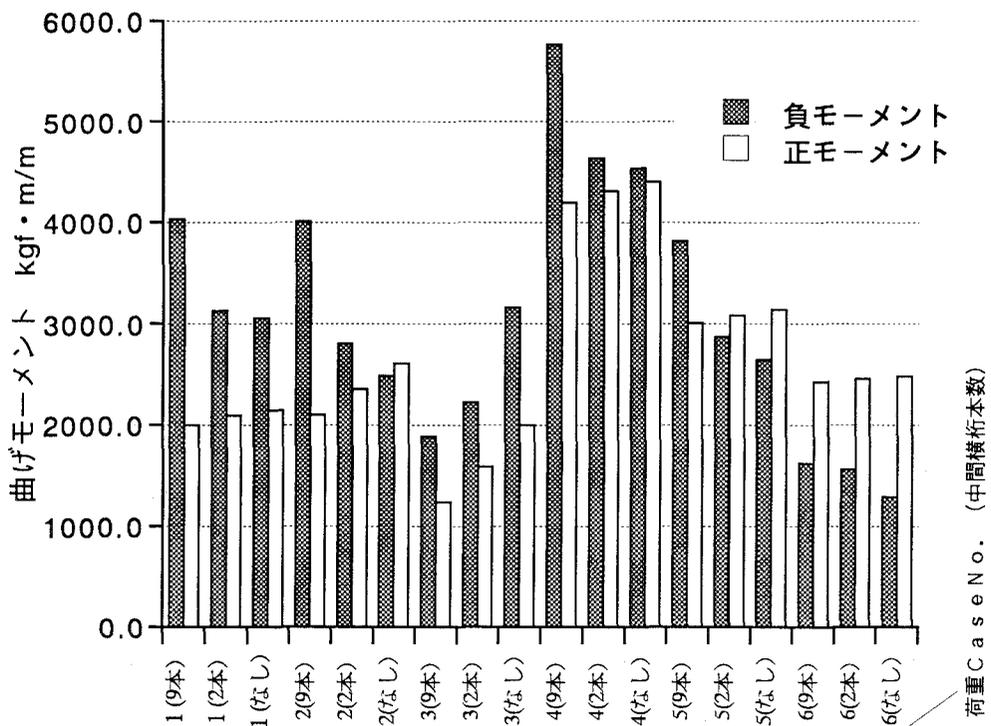


図9. 10 床版の橋軸直角方向曲げモーメントのピーク値の比較 (支間中央)