

コンクリート橋の設計・施工の 省力化に関する共同研究報告書(I)

— プレストレストコンクリートTげた橋 —
— の中間横げた減少・省略に関する研究 —

平成8年11月

建設省土木研究所
構造橋梁部橋梁研究室
(独)プレストレスト・コンクリート建設業協会

Copyright © (1996) by P.W.R.I.

All rights reserved. No part of this book may be reproduced by any means, nor transmitted, nor translated into a machine language without the written permission of the Director General of P.W.R.I.

この報告書は、土木研究所長の承認を得て刊行したものである。したがって、本報告書の全部又は一部の転載、複製は、土木研究所長の文書による承認を得ずしてこれを行ってはならない。

コンクリート橋の設計・施工の 省力化に関する共同研究報告書(I)

— プレストレストコンクリートTげた橋 の中間横げた減少・省略に関する研究 —

建設省土木研究所

構造橋梁部 部長 藤城泰行

構造橋梁部 橋梁研究室 室長 西川和廣

主任研究員 神田昌幸

研究員 内田賢一

淵上優子

交流研究員 澤田浩昭

(社)プレストレスト・コンクリート建設業協会

宮地 清 徳良賢一

石川善信 岩本久信

海津誠昭 梅田順治

近藤真一 清水俊一

中條友義 中村一樹

野村貞広 林下 敦

深山清六 渡辺浩良

要 旨

PC単純Tげた橋の施工における横組工は、吊足場の組み払いをはじめとする煩雑な工種を多く含んでおり、工期の面でも上部工の約3割を占めると言われている。ここでの吊足場は、1径間に1～数カ所設ける中間横げたを施工することを主目的に仮設されるものであり、中間横げたを省略もしくは減らすことによって大幅な施工の省力化が可能である。

しかし、中間横げたを減少・省略した構造の挙動に関する研究は少なく、荷重分配等に与える影響にも不明確な点が残されている。

本研究では、中間横げた減少・省略の可能性を検討するために数値解析と載荷試験を行い、中間横げたの減少・省略が荷重分配性能や床版に与える影響について検討した。本報告書はその結果をとりまとめたものである。

キーワード：省力化，PCTげた橋，中間横げた，荷重分配，床版，立体有限要素法解析

目 次

1.	まえがき	1
2.	研究目的	2
3.	数値解析	3
3. 1	目的	3
3. 2	平面格子解析	3
3.2.1	L荷重載荷モデル	3
3.2.2	主げた反力	8
3.2.3	主げた断面力	1 3
3.2.4	主げたたわみ	2 4
3.2.5	床版応力度	2 8
3.2.6	ねじり剛性の影響	3 0
3.2.7	影響線	3 5
3. 3	立体FEM解析	3 6
3.3.1	T荷重載荷モデル	3 6
3.3.2	主げた断面力	3 9
3.3.3	主げたたわみ	4 9
3. 4	まとめ	5 1
4.	中間横げたを省略したPCTげた橋の載荷試験	5 2
4. 1	目的	5 2
4. 2	試験方法	5 3
4.2.1	試験供試体	5 3
4.2.2	使用材料	6 0
4.2.3	載荷方法および計測方法	6 1
4. 3	けた供試体の測定結果	7 7
4.3.1	ひびわれ発生荷重の評価	7 7
4.3.2	終局耐力	7 9
4. 4	橋供試体試験結果	8 1
4.4.1	主げた反力	8 1
4.4.2	主げた、床版のたわみ	8 9
4.4.3	主げた、床版のひずみおよび応力度	9 9
4.4.4	終局状態	1 0 5
4. 5	まとめ	1 1 8
5.	中間横げた減少・省略に対応した床版設計に関する解析的検討および 代替措置の提案	1 1 9
5. 1	解析モデル	1 1 9
5. 2	解析結果	1 2 1
5.2.1	橋軸直角方向応力度	1 2 1
5.2.2	橋軸方向応力度	1 2 4
6.	まとめ	1 2 5
7.	あとがき	1 2 6

参考文献
試験結果のデータ

1. まえがき

建設業界では近年の労働者不足等の労働事情や、今後訪れるであろう高齢化社会に向けて社会資本整備の強化が一層必要であることから、官・民それぞれにおいて、施工の省力化およびメンテナンスの合理化に関して種々の技術開発が進められている。

コンクリート橋の施工における省力化の推進に着目した場合、施工実績の多いプレストレストコンクリートTげた橋（以下、PCTげた橋）での対応を検討することが有効と考えられる。PCTげた橋は、主げたを工場もしくは製作ヤードで製作し、架設地点に運搬して所定の位置に架設した後に間詰め部および横げた部を現場施工（横組工）するのが一般的である。この横組工は、1径間中に1～数カ所設けられる中間横げたを施工することを主目的に仮設される吊足場の組み組みをはじめとして煩雑な作業が多く、工期面でも上部工の約3割を占めると言われている。また、横組工は、吊足場上での空中作業が多くなることから、危険を伴う工事でもある。これらのことより、中間横げたを省略もしくは減少して吊足場工を廃止することが可能となれば施工の合理化・省力化が推進され、さらには工事の安全性も向上させることができる。

また、PCTげた橋の施工の合理化を一層推進するには、間詰め部を変更して吊足場工を必要としない構造にするのが効果的である。諸外国では、中間横げたの減少・省略に対して20年程度の実績を有しており、中間横げたを省略した場合は、合成げた構造としているのが一般的である。我が国においても、PCTげた橋の間詰め部の施工省力化を図ることや、新しいPC合成げた構造を考案することが望ましいPC橋の省力化の方向と考えられる。特に、主げたの上フランジを型わく代わりとし場所打ちコンクリート床版を打設する構造形式や、埋設型わくをけた間に敷設後に場所打ちコンクリートを打設する構造形式は、従来の合成げた構造に関する施工上の課題を解消する有効な手段と考えられる。この方法によれば、施工の省力化が図れるとともに、PC横締め鋼材にアフターボンド工法を採用することも可能であり、PC橋の耐久性向上の可能性も有している。また、合成げたでは床版コンクリートは一体となり、RCまたはPRC床版とすることも可能であり、工費の削減にも寄与できると考えられる。

以上のことを背景として、本研究はPC橋の施工の合理化を図ることを目的に、平成6年度より4年間にわたり、建設省土木研究所と(社)プレストレスト・コンクリート建設業協会が共同で実施するものである。

平成6年度および7年度についてはPCTげた橋の中間横げたの減少・省略について、大型供試体を用いた実験および立体FEM解析等により詳細な検討を行った。平成6年度は、PCTげた橋における中間横げた省略の可能性および荷重分配性能を明らかにするために、平面格子解析および立体FEM解析により主げたの反力、断面力、たわみ、床版応力度、ねじり剛性の影響等について検討を行った。また、平成7年度は、実橋の1/2のPCTげた橋試験供試体を製作し、たわみ、コンクリートおよび鉄筋ひずみ、支点反力等の計測を行い、荷重分配に対する中間横げたの有無の評価を行った。本報告書はその結果をとりまとめたものである。

2. 研究目的

プレストレストコンクリート橋の平成7年度施工実績（橋数）の約20%を占めるTげた橋を架設する場合、横組工は上部工工期の3割程度を占めると言われており、省力化の期待できる工種の1つである。横組工の省力化にあたっては、中間横げたを省略もしくは減少し、間詰め部の型わく設置方法を考案することにより、中間横げた工および吊足場工が不要となることから、大幅な施工の省力化と工期短縮が図れるものと予測される。しかし、PCTげた橋における中間横げたは、橋軸直角方向の荷重分配を担うとともに横方向の剛性を向上させる構造であり、それを省略することは橋梁の荷重分配性能を損なう危険性を有しており、また、ねじりに対しても不利となることが考えられる。

一方、『道路橋示方書・同解説Ⅲコンクリート橋編』（（社）日本道路協会、平成6年2月：以下〔道示Ⅲ〕という）7章「Tげた橋」の「7.1 適用の範囲」の解説によれば、「断面がT形をした鉄筋コンクリート主げたおよびプレストレストコンクリート主げたで構成され、横げたによって荷重分配を行う形式の橋に適用する」ものとしている。しかし同時に、「2主版げた橋などのように、中間横げたを持たず床版のみで荷重分配を行う版げた形式の橋は、この章に含めないもの」としており、床版によって荷重分配を行う構造物については別途考慮すべきであることを示している。このほかに、中間横げたの設置規定として、「7.3 構造解析」の条文に「中間横げたは、1支間につき1箇所以上かつ1.5m以下の間隔で設けることを原則」としており、その解説に「主げたのたわみ差やねじり変形が支承などの構造物に有害な影響をおよぼす場合があるので、主げた直角方向の剛性を高めるため」としている。

中間横げたの有無による荷重分配性能などに関しては、2主版げたについては検討^{1)~5)}が行われているが、現行のTげた橋においては、ごく少数の検討^{6)~9)}しかなされていないのが現状である。しかし、欧米諸国においては、中間横げたを省略したケースは多く、AASHTOの規定¹⁰⁾では、実験または構造解析により、その強度が十分であると確認できた場合は横げたを設けなくてよいものとしている。

そこで、本研究では、Tげた橋における中間横げた省略および減少の可能性を明らかにする目的で、以下の項目について検討することとした。

- (1) 主げた反力による荷重分配性能の評価
- (2) 主げた断面力による荷重分配性能の評価
- (3) 主げたたわみによる荷重分配性能の評価
- (4) 床版に生じる応力度への影響の検討
- (5) ねじり剛性への影響の検討

以上の項目を、平面格子解析および立体FEM解析、さらに大型供試体を用いた載荷試験によって詳細に検討し、中間横げた省略・減少の影響を総合的に把握することとした。

3. 数値解析

3. 1 目的

中間横げたは橋軸直角方向の荷重分配性能を担うとともにけたのねじり等の上部構造の剛性を向上させる部材であるため、それを省略・減少することによる荷重分配性能の低下や、荷重分配を床版により行うことによる床版応力度の増加、ねじりモーメントの増加等が予想される。そこで、これらを明らかにするために、平面格子解析および立体FEM解析による数値解析を行った。平面格子解析では荷重分配性能、設計荷重に対する影響、および設計計算への影響に関して、また、立体FEM解析では、T荷重による主げた、横げた、床版に生じる応力への影響および鋼げた橋の床版変形との比較を行うことにより、PCTげた橋の中間横げた省略・減少の影響に関して検討した。

3. 2 平面格子解析

3.2.1 L荷重載荷モデル

中間横げたの有無による荷重の分配性能を把握するために、標準的な規模のPC単純Tげた橋を建設省標準設計より抽出し、活荷重としてL荷重（B活荷重）を載荷して平面格子解析を行う。検討は、荷重分配に影響を及ぼすと考えられる以下の要因について考慮した。

①支間長

支間は、プレテンションTげた橋を対象として24m、ポストテンションTげた橋を対象として25m、35m、45mおよび50mとした。

②幅員

幅員は、8mおよび12mを対象とした。

③斜角

斜角は、直橋とした90°と、「道示Ⅲ」で示される断面の計算においてねじり剛性を無視できる最小の斜角である70°を対象とした。

④中間横げた

中間横げたを配置した場合と省略した場合の2つを考慮した。

⑤ねじり剛性

中間横げたを省略することにより、ねじりの影響が大きくなることから、ねじり剛性を考慮しない従来の場合と、ねじり剛性を考慮した場合を対象とした。

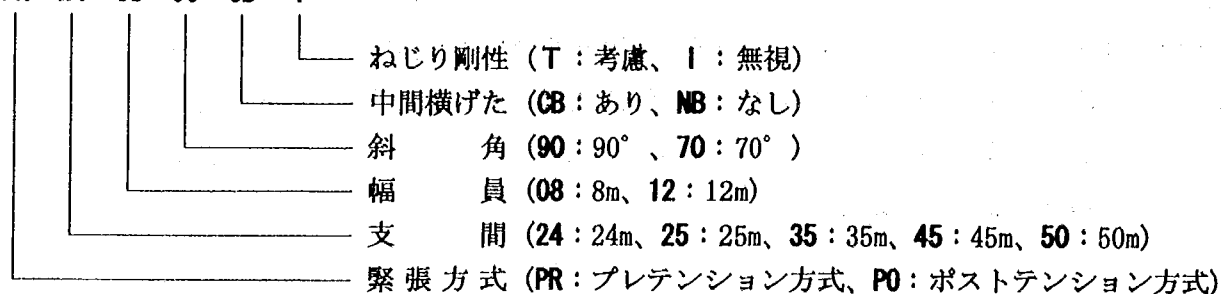
以上の要因を組み合わせ、合計31ケースの平面格子解析を行った。数値解析モデルの一覧を表-3.2.1に、幅員構成、横げた配置および格子形状を図-3.2.1～図-3.2.3にそれぞれ示す。なお、死荷重に関しては、荷重の分配は横組工終了後に生じること、中間横げたの有無により横組工による死荷重に違いが生じることにより、平面格子解析による荷重分配は中間横げたの有無によって死荷重に影響を受けない横組工完了後の橋面荷重（地覆・高欄および舗装荷重）についてのみ考慮することとした。また、荷重分配の計算には、主げた端部の拡幅は考慮していない。

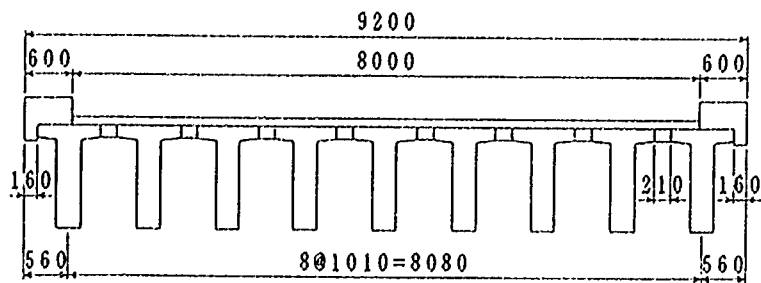
表-3.2.1 平面格子解析モデル一覧

番号	供試体名	支 間	幅 員	斜 角	中間横げた	ねじり剛性	備 考		
1	PR-24-08-90-CB-T	2 4 m	8 m	9 0°	有	考 慮	プレテンション Tげた橋に中間 横げたおよび斜 角が及ぼす影響		
2	PR-24-08-90-NB-T				無				
3	PR-24-08-70-CB-T			7 0°	有				
4	PR-24-08-70-NB-T				無				
5	P0-25-08-90-CB-T	2 5 m		9 0°	有	無 視	ポストテンショ ンTげた橋に中 間横げた、斜角 およびねじり剛 性が及ぼす影響		
6	P0-25-08-90-NB-T				無				
7	P0-25-08-90-NB-I			7 0°	有	考 慮			
8	P0-25-08-70-CB-T				無			無 視	
9	P0-25-08-70-NB-T				無 視	考 慮			
10	P0-25-08-70-NB-I								
11	P0-35-08-90-CB-T	3 5 m		9 0°	有	考 慮	ポストテンショ ンTげた橋に中 間横げた、斜角 ねじり剛性、幅 員が及ぼす影響		
12	P0-35-08-90-CB-I				無	無 視			
13	P0-35-08-90-NB-T					考 慮			
14	P0-35-08-90-NB-I					無 視			
15	P0-35-08-70-CB-T			7 0°	有	考 慮			
16	P0-35-08-70-NB-T				無				
17	P0-35-08-70-NB-I				無 視				
18	P0-35-12-90-CB-T	1 2 m	9 0°	有	考 慮	ポストテンショ ンTげた橋に中 間横げた、斜角 が及ぼす影響			
19	P0-35-12-90-NB-T			無					
20	P0-35-12-70-CB-T		7 0°	有					
21	P0-35-12-70-NB-T			無					
22	P0-45-08-90-CB-T	4 5 m	8 m	9 0°			有	考 慮	ポストテンショ ンTげた橋に中 間横げた、斜角 が及ぼす影響
23	P0-45-08-90-NB-T						無		
24	P0-45-08-70-CB-T			7 0°			有		
25	P0-45-08-70-NB-T						無		
26	P0-50-08-90-CB-T	5 0 m		9 0°	有	無 視	ポストテンショ ンTげた橋に中 間横げた、斜角 ねじり剛性が及 ぼす影響		
27	P0-50-08-90-NB-T				無				
28	P0-50-08-90-NB-I			7 0°	有	考 慮			
29	P0-50-08-70-CB-T				無 視				
30	P0-50-08-70-NB-T					考 慮			
31	P0-50-08-70-NB-I				無			無 視	

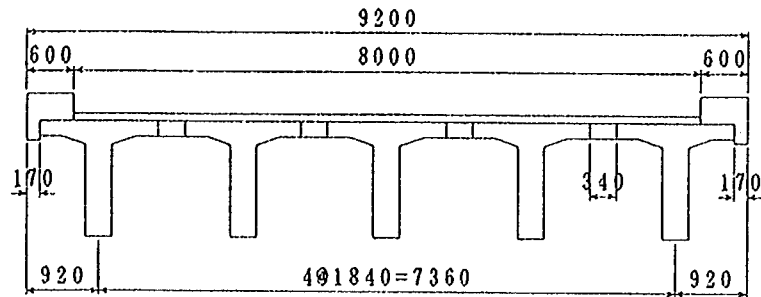
注) モデル名の記号は以下を示す。

PR-24-08-90-CB-T

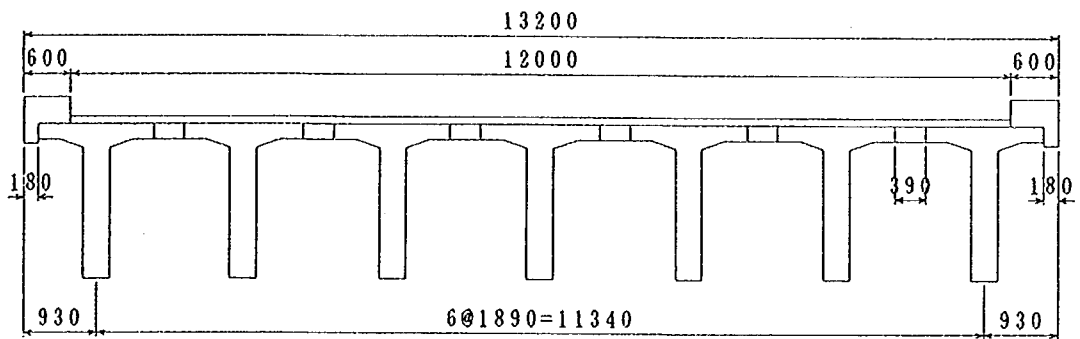




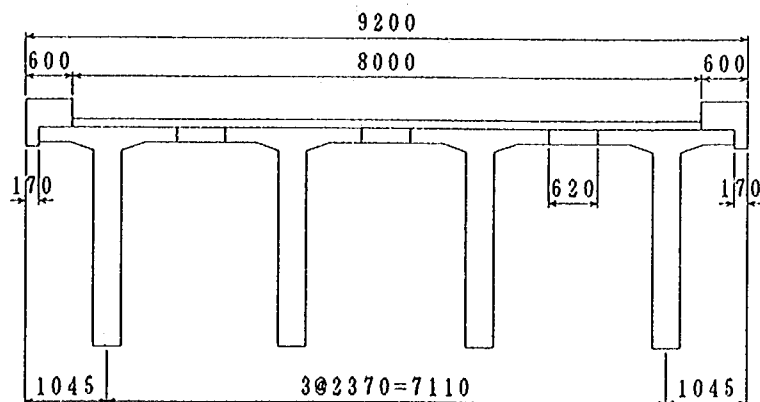
(a) 支間 24 m、幅員 8 m



(b) 支間 25 m および 35 m、幅員 8 m

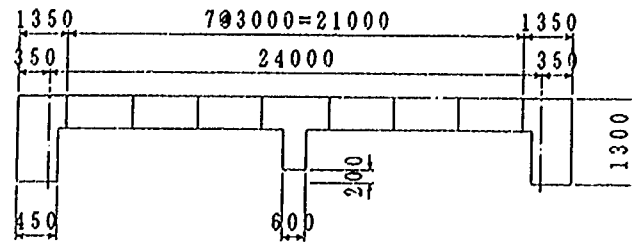


(c) 支間 35 m、幅員 12 m

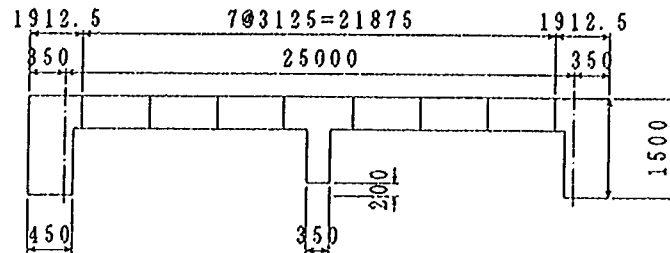


(d) 支間 45 m および 50 m、幅員 8 m

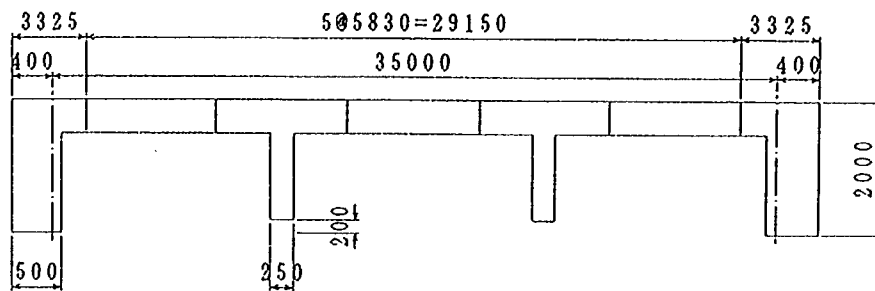
図-3.2.1 幅員構成



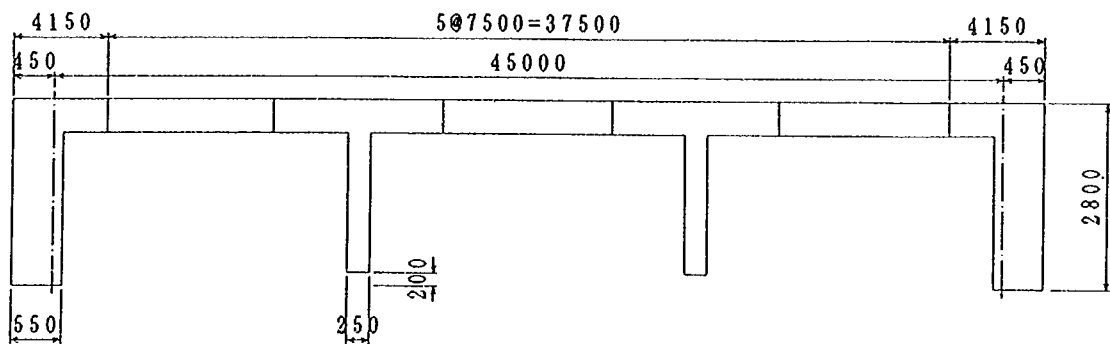
(a) 支間 2.4 m



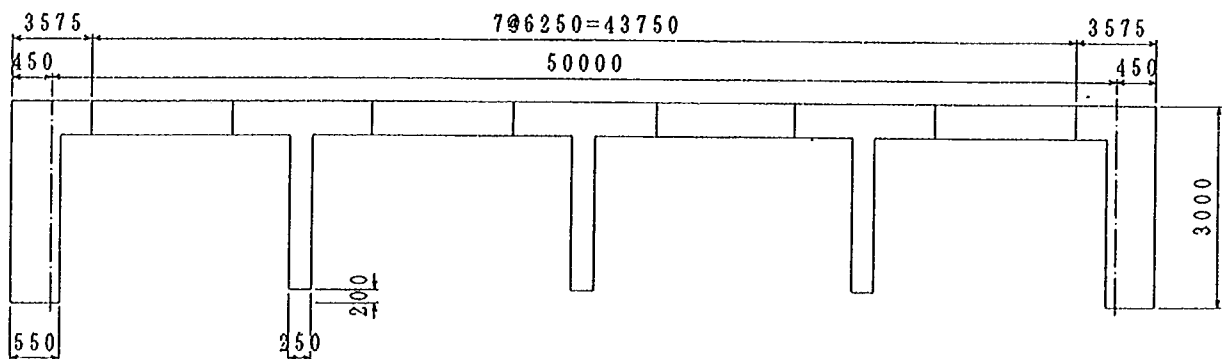
(b) 支間 2.5 m



(c) 支間 3.5 m

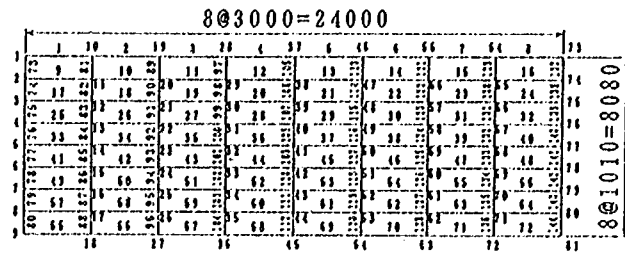


(d) 支間 4.5 m

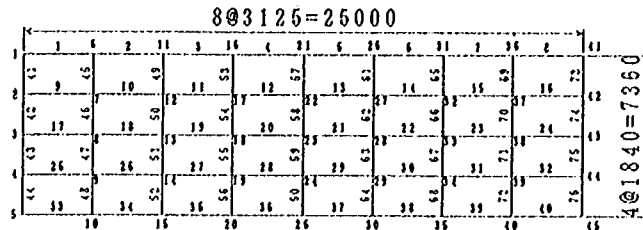


(e) 支間 5.0 m

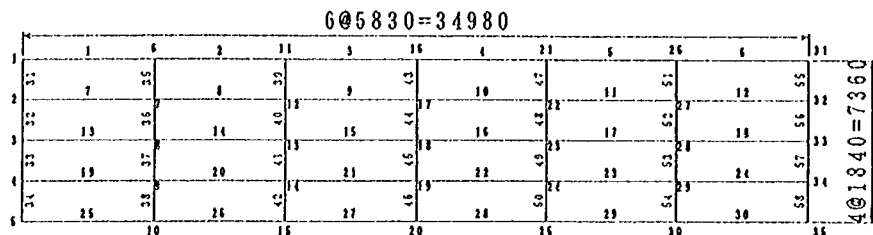
図-3.2.2 横げた配置形状



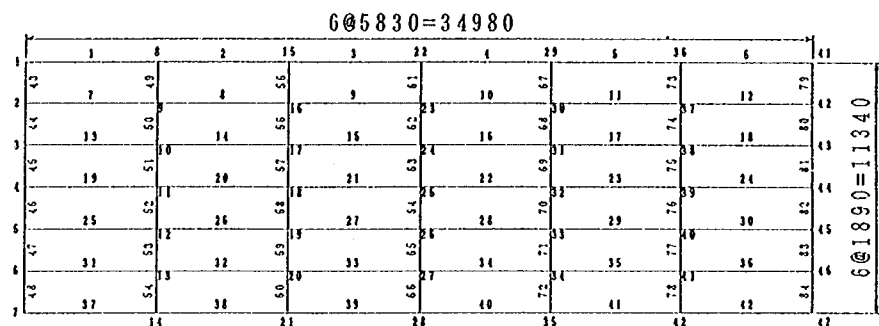
(a) 支間 2.4m、幅員 8m



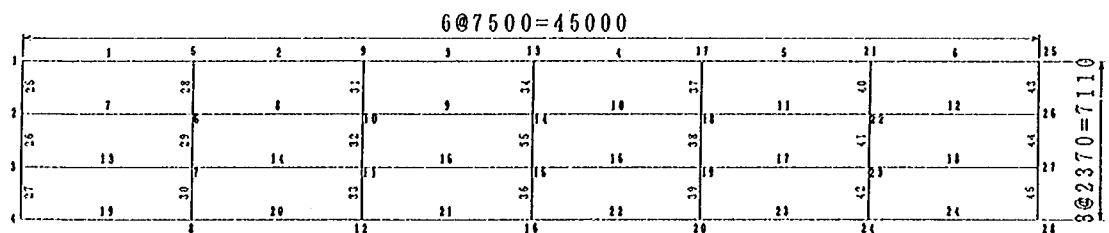
(b) 支間 2.5m、支間 8m



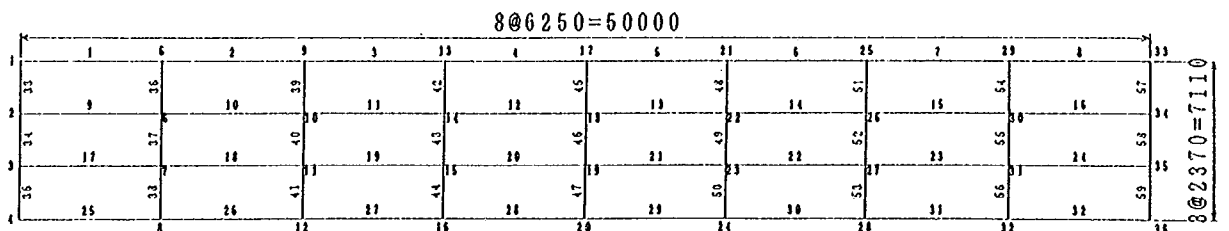
(c) 支間 3.5m、幅員 8m



(d) 支間 3.5m、幅員 12m



(e) 支間 4.5m、幅員 8m



(f) 支間 5.0m、幅員 8m

図-3.2.3 格子形状と接点番号および部材番号

3.2.2 主げた反力

橋梁に作用する荷重は、主げた反力として下部構造に伝達されることから、荷重分配性能を評価する手段の一つとして、各主げたに生じる反力を確認するのが有効と考えられる。よって、平面格子解析によって得られた各主げたの最大および最小反力を表-3.2.2に、中間横げたの有無による最大および最小反力の違いを図-3.2.4にそれぞれ示す。ここで得られた反力は、着目したけたに最大あるいは最小の反力が生じるように活荷重を載荷した値である。

各ケースともに、中間横げたの有無によって主げたに生じる最大反力にはほとんど差は認められない。表-3.2.2中で最大となるPR-24-08-90においても中間横げた省略により2.8%増(0.6tf増)の反力であり、十分設計可能な範囲であると考えられる。一方、最小反力については若干の差異が認められた。これは、最大反力は主げた直上に主載荷荷重が載荷されたときに生じることより荷重分配の影響が比較的に小さいのに対して、最小反力は、主げたに負反力を生じさせるような位置に荷重を載荷することにより生じるものである。荷重分配の影響を受けやすいためと考えられる。したがって、耳げたの最小反力に比較的大きな違いが生じたものと考えられる。主げた反力は、支承の設計に対して必要な値であり、特に、差異の認められた最小反力は、主げた滑動に対する安全性評価のための最小圧縮応力度の照査および支承の疲労に対する安全性を確保するための応力振幅の照査に影響を及ぼす項目である。

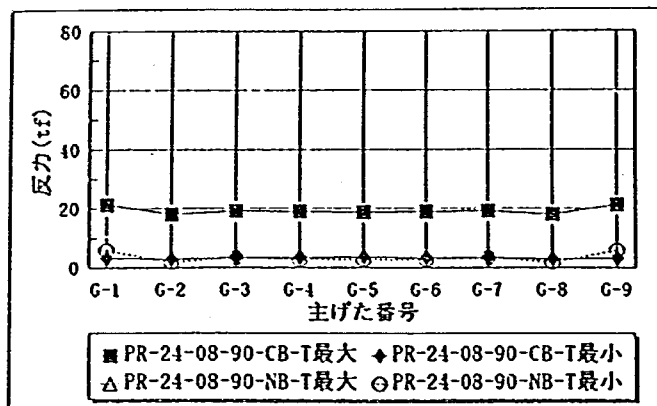
表-3.2.3に支承の標準設計より得られる支承形状を採用した場合についての最大圧縮応力度、最小圧縮応力度および応力振幅を示す。ここで、場所打ちコンクリート橋全般を対象とした支承形状となっていることから、今回検討したPCTげた橋の主げたウェブ内に納まらないものもあるが、本解析で考慮していない主げた端部の拡幅によって対処可能と考え、標準設計の寸法をそのまま採用するものとした。また、横組工の死荷重反力は、斜角によって異なるが、煩雑さを避けるため直橋の場合と同一とした。

計算より得られた中間横げたの有無による支承の最大圧縮応力度については、最大反力に違いが見られないことより、差はほとんど見られない。最小圧縮応力度および応力振幅については、最小反力の違いより多少の差異は認められるものの、各ケースともに許容値に対して比較的余裕のある十分安全な設計となっており、設計上で変更を要する程度の差異は認められなかった。

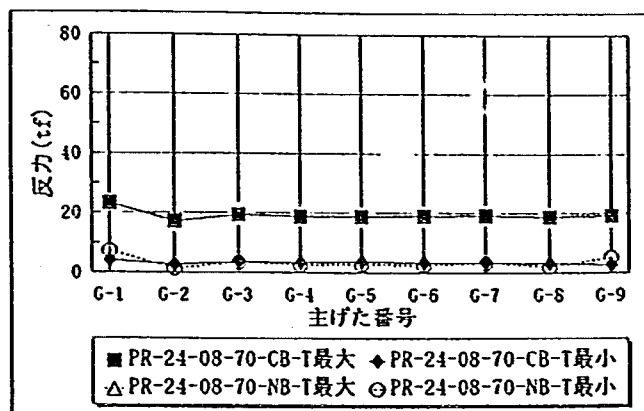
その他の支承の検討項目に反力が影響を及ぼすものとして、鉛直荷重による局部せん断ひずみの検討と補強材応力度の検討があるが、これは最大反力を対象としたものであり、本共同研究で解析した範囲では設計上問題とはならないと考えられる。

表-3.2.2 各主げたの最大および最小反力

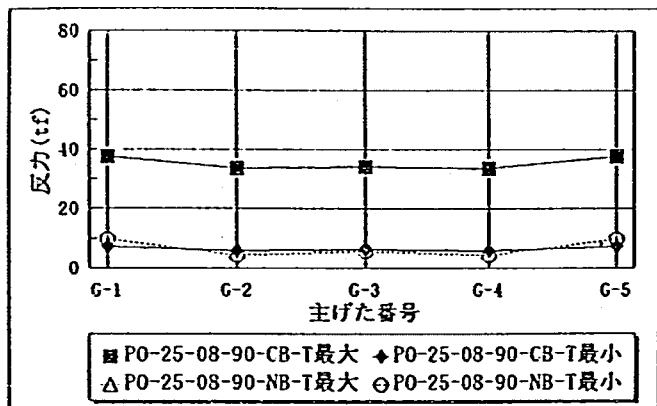
供試体名	主げた 番 号	最大値 (tf)	最小値 (tf)	供試体名	主げた 番 号	最大値 (tf)	最小値 (tf)
PR-24-08-90-CB-T	G-1	21.190	3.267	PR-24-08-90-NB-T	G-1	21.786	5.878
	G-2	17.960	2.994		G-2	18.033	1.823
	G-3	19.227	3.519		G-3	19.359	3.317
	G-4	18.942	3.515		G-4	19.054	2.648
	G-5	18.809	3.585		G-5	18.962	2.751
	G-6	18.942	3.515		G-6	19.054	2.648
	G-7	19.227	3.519		G-7	19.359	3.317
	G-8	17.960	2.994		G-8	18.033	1.823
	G-9	21.190	3.267		G-9	21.786	5.878
PR-24-08-70-CB-T	G-1	23.142	4.024	PR-24-08-70-NB-T	G-1	23.266	7.158
	G-2	17.212	2.672		G-2	17.319	1.370
	G-3	19.344	3.566		G-3	19.488	3.307
	G-4	18.853	3.489		G-4	19.020	2.560
	G-5	18.823	3.573		G-5	19.015	2.716
	G-6	19.052	3.525		G-6	19.192	2.635
	G-7	19.124	3.430		G-7	19.278	3.227
	G-8	18.652	3.181		G-8	18.713	2.071
	G-9	19.203	2.860		G-9	20.215	5.298
PO-25-08-90-CB-T	G-1	37.355	7.340	PO-25-08-90-NB-T	G-1	37.924	9.789
	G-2	33.579	5.813		G-2	33.416	4.319
	G-3	34.065	6.442		G-3	33.951	5.711
	G-4	33.579	5.813		G-4	33.416	4.319
	G-5	37.355	7.340		G-5	37.924	9.789
PO-25-08-70-CB-T	G-1	38.983	8.034	PO-25-08-70-NB-T	G-1	39.467	10.854
	G-2	32.830	5.482		G-2	32.748	3.831
	G-3	34.145	6.438		G-3	34.033	5.576
	G-4	34.327	5.981		G-4	34.174	4.426
	G-5	35.635	6.941		G-5	36.363	9.447
PO-35-08-90-CB-T	G-1	45.542	9.030	PO-35-08-90-NB-T	G-1	46.061	13.396
	G-2	39.859	8.898		G-2	39.474	6.535
	G-3	40.606	9.907		G-3	40.626	8.520
	G-4	39.859	8.898		G-4	39.474	6.535
	G-5	45.542	9.030		G-5	46.061	13.396
PO-35-08-70-CB-T	G-1	47.099	9.722	PO-35-08-70-NB-T	G-1	47.587	14.622
	G-2	39.320	8.668		G-2	38.831	5.974
	G-3	40.645	9.911		G-3	40.639	8.344
	G-4	40.378	9.033		G-4	40.050	6.553
	G-5	44.015	8.491		G-5	44.703	13.189
PO-35-12-90-CB-T	G-1	46.489	7.004	PO-35-12-90-NB-T	G-1	47.626	13.827
	G-2	39.953	8.211		G-2	40.288	6.241
	G-3	40.822	9.312		G-3	41.341	7.691
	G-4	40.030	9.354		G-4	41.088	6.785
	G-5	40.822	9.312		G-5	41.341	7.691
	G-6	39.953	8.211		G-6	40.288	6.241
	G-7	46.489	7.004		G-7	47.626	13.827
PO-35-12-70-CB-T	G-1	48.051	7.588	PO-35-12-70-NB-T	G-1	49.102	14.987
	G-2	39.355	7.981		G-2	39.684	5.739
	G-3	40.968	9.362		G-3	41.512	7.605
	G-4	40.078	9.314		G-4	41.267	6.643
	G-5	40.733	9.227		G-5	41.416	7.563
	G-6	40.541	8.332		G-6	41.057	6.403
	G-7	44.936	6.767		G-7	46.197	13.599
PO-45-08-90-CB-T	G-1	63.461	16.034	PO-45-08-90-NB-T	G-1	64.118	20.227
	G-2	58.209	14.699		G-2	57.577	11.770
	G-3	58.209	14.699		G-3	57.577	11.770
	G-4	63.461	16.034		G-4	64.118	20.227
PO-45-08-70-CB-T	G-1	64.579	16.619	PO-45-08-70-NB-T	G-1	65.367	21.352
	G-2	57.723	14.457		G-2	56.947	11.065
	G-3	58.733	14.899		G-3	58.052	11.648
	G-4	62.315	15.517		G-4	63.057	20.187
PO-50-08-90-CB-T	G-1	68.352	16.929	PO-50-08-90-NB-T	G-1	68.713	22.053
	G-2	61.779	17.339		G-2	61.211	13.759
	G-3	61.779	17.339		G-3	61.211	13.759
	G-4	68.352	16.929		G-4	68.713	22.053
PO-50-08-70-CB-T	G-1	69.508	17.520	PO-50-08-70-NB-T	G-1	69.977	23.236
	G-2	61.390	17.153		G-2	60.588	13.027
	G-3	62.184	17.485		G-3	61.599	13.602
	G-4	67.182	16.402		G-4	67.694	22.069



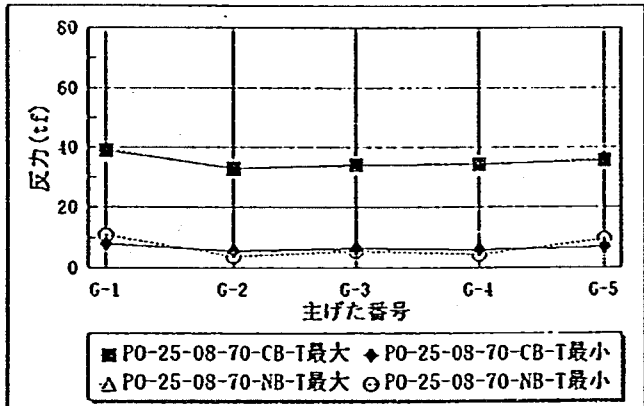
(a) 支間24m、幅員8m、斜角90°



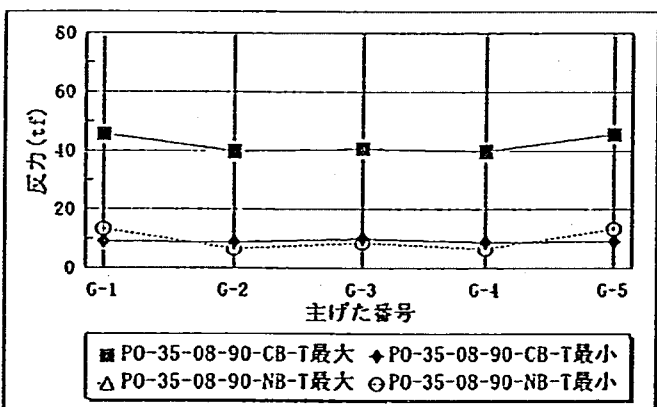
(b) 支間24m、幅員8m、斜角70°



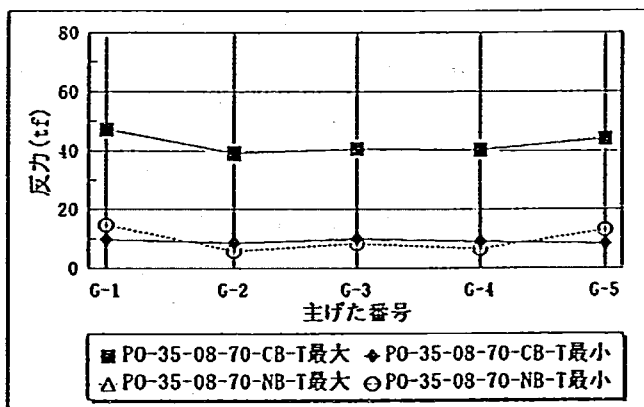
(c) 支間25m、幅員8m、斜角90°



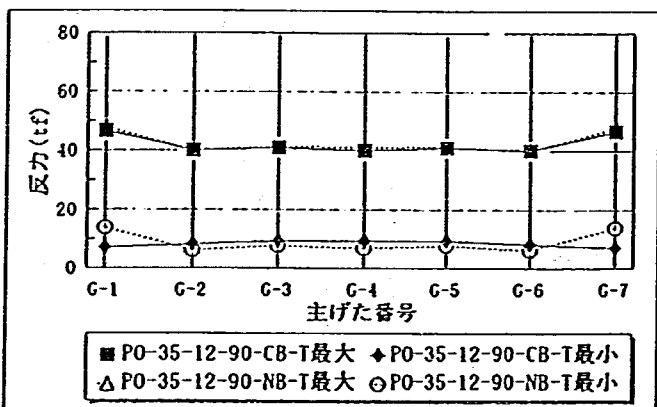
(d) 支間25m、幅員8m、斜角70°



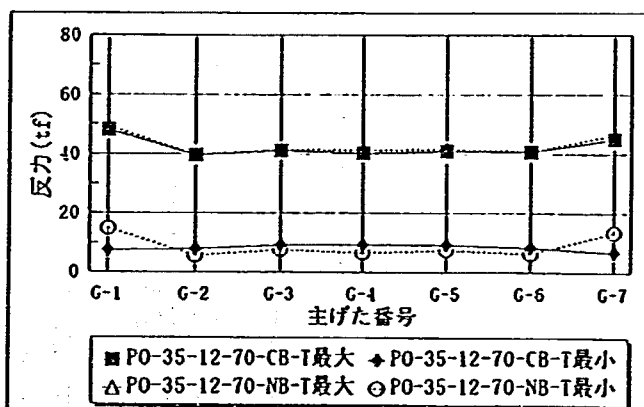
(e) 支間35m、幅員8m、斜角90°



(f) 支間35m、幅員8m、斜角70°

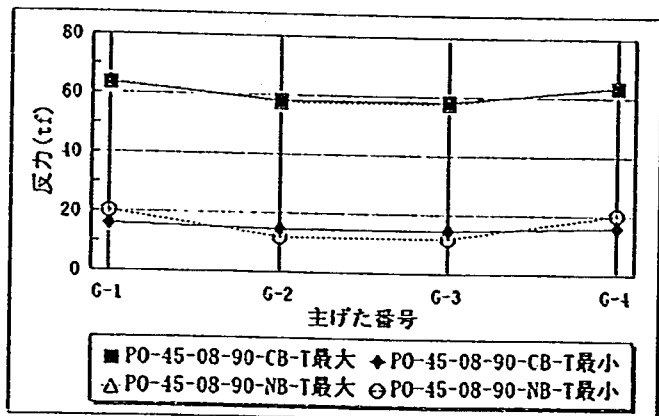


(g) 支間35m、幅員12m、斜角90°

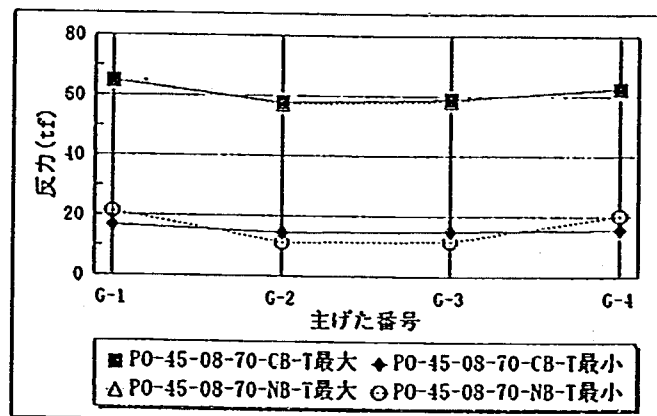


(h) 支間35m、幅員12m、斜角70°

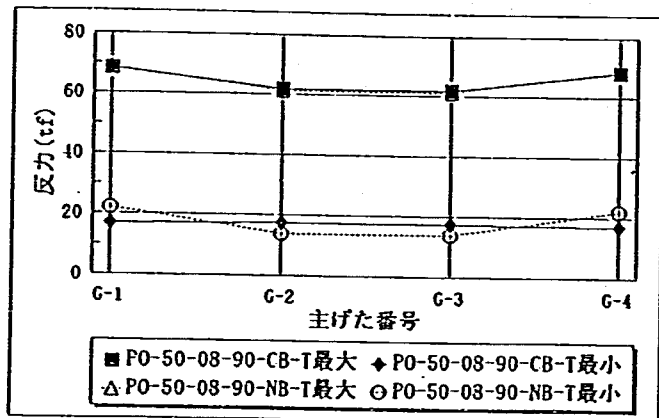
図-3.2.4(1) 主げたの最大および最小反力



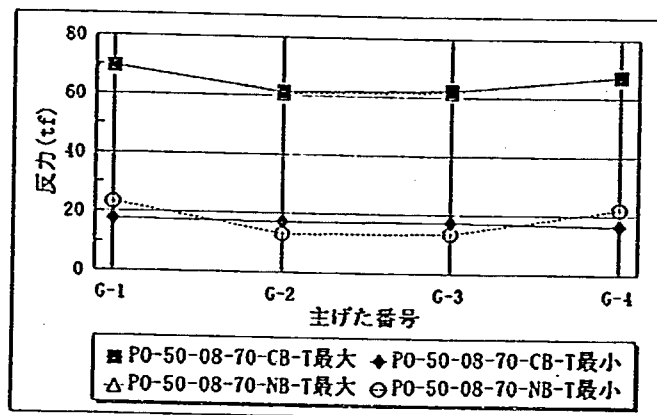
(i) 支間45m、幅員8m、斜角90°



(j) 支間45m、幅員8m、斜角70°



(k) 支間50m、幅員8m、斜角90°



(l) 支間50m、幅員8m、斜角70°

図-3.2.4(2) 主げたの最大および最小反力

表-3.2.3 可動支承の最大圧縮応力度、最小圧縮応力度および応力振幅

供試体名	主げた 番 号	最大反力 (tf)	最小反力 (tf)	移動量 (mm)	支承長 (mm)	支承幅 (mm)	最大圧縮 応 力 度 (kgf/cm ²)	最小圧縮 応 力 度 (kgf/cm ²)	応力振幅 (kgf/cm ²)
PR-24-08-90-CB-T	G-1	37.479	19.556	17	310	260	49.246	26.074	23.172
PR-24-08-90-NB-T	G-1	37.725	21.817	17	310	260	49.570	29.089	20.481
	G-2	34.753	18.543				45.665	24.724	20.941
	G-4	35.774	19.368				47.006	25.824	21.182
PR-24-08-70-CB-T	G-1	39.431	20.313	17	310	260	51.811	27.084	24.728
	G-2	34.426	19.886				45.235	26.515	18.720
PR-24-08-70-NB-T	G-1	39.205	23.097	17	310	260	51.514	30.796	20.719
	G-2	34.039	18.090				44.727	24.120	20.607
	G-6	35.912	18.574				47.188	24.765	22.423
PO-25-08-90-CB-T	G-1	65.016	35.001	18	310	410	54.305	29.168	25.137
PO-25-08-90-NB-T	G-1	65.103	36.968	18	310	410	54.378	30.807	23.571
	G-2	62.561	33.464				52.254	27.887	24.368
PO-25-08-70-CB-T	G-1	66.539	35.635	18	310	410	55.577	29.696	25.881
	G-5	63.236	34.542				52.818	28.785	24.033
PO-25-08-70-NB-T	G-1	66.646	38.033	18	310	410	55.666	31.694	23.972
	G-2	61.893	32.976				51.696	27.480	24.216
	G-4	63.319	33.571				52.887	27.976	24.912
PO-35-08-90-CB-T	G-1	92.094	55.582	25	360	560	49.099	28.874	20.226
PO-35-08-90-NB-T	G-1	91.729	59.064	25	360	560	48.905	30.683	18.222
	G-2	88.009	55.070				46.922	28.608	18.314
PO-35-08-70-CB-T	G-1	93.651	56.274	25	360	560	49.930	29.233	20.696
	G-5	90.567	55.043				48.285	28.594	19.692
PO-35-08-70-NB-T	G-1	93.255	60.290	25	360	560	49.718	31.319	18.399
	G-2	87.366	54.509				46.579	28.316	18.262
	G-4	88.585	55.088				47.229	28.617	18.611
PO-35-12-90-CB-T	G-1	93.346	53.861	25	360	560	49.767	27.980	21.787
PO-35-12-90-NB-T	G-1	93.574	59.775	25	360	560	49.888	31.052	18.837
	G-2	89.383	55.336				47.654	28.746	18.908
	G-4	90.183	55.880				48.081	29.029	19.052
PO-35-12-70-CB-T	G-1	94.908	54.463	25	360	560	50.600	28.292	22.307
PO-35-12-70-NB-T	G-1	95.050	60.935	25	360	560	50.675	31.655	19.021
	G-2	88.779	54.834				47.332	28.485	18.847
	G-6	90.152	55.498				48.064	28.803	19.234
PO-45-08-90-CB-T	G-1	148.333	100.906	32	410	610	56.832	37.373	19.460
	G-2	150.970	107.460				57.843	39.800	18.043
PO-45-08-90-NB-T	G-2	140.342	101.535	32	410	610	56.453	37.606	18.847
PO-45-08-70-CB-T	G-1	149.451	101.491	32	410	610	57.261	37.589	19.672
	G-3	151.494	107.660				58.044	39.874	18.169
	G-4	147.187	100.389				56.393	37.181	19.212
PO-45-08-70-NB-T	G-1	148.523	104.508	32	410	610	56.905	38.707	18.199
	G-2	146.712	100.830				56.211	37.344	18.867
	G-3	147.817	101.449				56.635	37.574	19.061
PO-50-08-90-CB-T	G-1	167.409	115.986	36	410	660	59.771	39.653	20.118
	G-2	169.849	125.409				60.642	42.875	17.767
PO-50-08-90-NB-T	G-1	164.979	118.319	36	410	660	58.903	40.451	18.452
	G-2	164.410	116.958				58.700	39.986	18.715
PO-50-08-70-CB-T	G-1	168.565	116.577	36	410	660	60.184	39.855	20.328
	G-3	170.254	125.555				60.787	42.925	17.862
	G-4	166.239	115.459				59.353	39.473	19.880
PO-50-08-70-NB-T	G-1	166.243	119.502	36	410	660	59.355	40.855	18.499
	G-2	163.787	116.226				58.478	39.735	18.742
	G-3	164.798	116.801				58.839	39.932	18.907

注) 最大圧縮応力度 $\leq 80\text{kgf/cm}^2$ 、最小圧縮応力度 $\geq 15\text{kgf/cm}^2$ 、応力振幅 $\leq 50\text{kgf/cm}^2$

[]は、設計に対して支配的な値

3.2.3 主げた断面力

中間横げたが荷重分配に及ぼす影響を確認するために、主げたに生じる断面力に着目する。表-3.2.4および図-3.2.5に解析によって得られた主げた支間中央に生じる最大および最小曲げモーメントを示す。

橋面荷重およびL荷重（B活荷重）によって各主げた支間中央に生じる最大曲げモーメントにはほとんど影響がないことがわかる。また、最小曲げモーメントには、若干の影響が表れた。これは、中間横げたの省略によって荷重分配性能が低下したことによるものであり、耳げたにおいて比較的顕著に差が認められる。しかし、設計において最小曲げモーメントが問題となることはほとんど考えられず、曲げモーメントに対する設計は中間横げたの有無によってほとんど影響を受けないものと考えられる。これより、曲げモーメントの分配に関しては、中間横げたの有無による影響は少ないことがわかる。

つぎに、各主げた支点部に生じる最大および最小せん断力を表-3.2.5および図-3.2.6に示す。せん断力に対する通常の設計では、支点部付近は支承反力によってウェブに圧縮力が作用して、斜引張鉄筋に作用する引張力が小さくなることから、支点部のせん断力ではなく、せん断設計位置（支点よりけた高の1/2支間中央側）におけるせん断力を使用する。しかし、本研究では、格子形状による制約より支点部におけるせん断力について比較を行った。なお、平面格子解析上では、支点部におけるせん断力は、せん断設計位置における値より大きくなり検討の上からは安全側となる。

せん断力に関しても、曲げモーメントの場合と同様に、中間横げたの有無による最大せん断力に対してはほとんど影響を受けず、最小せん断力も耳げたで値が大きくなり、中げたで小さくなる傾向が認められたが、その差は小さい。したがって、せん断力に関しても、中間横げたの有無によって荷重分配性能は、設計上ほとんど影響を受けないものと考えられる。

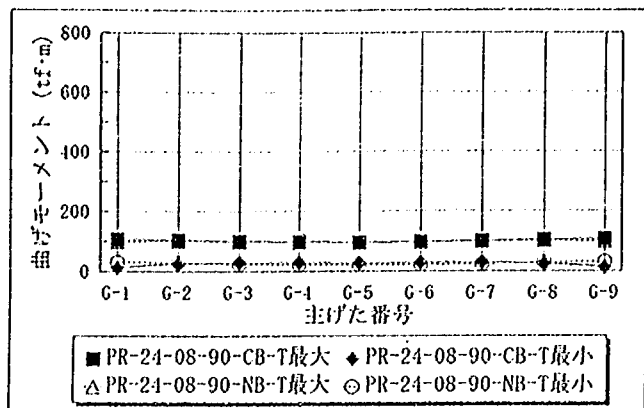
ねじりモーメントの影響が最も顕著となる、各主げた支点部に生じる最大および最小ねじりモーメントを表-3.2.6および図-3.2.7に示す。ねじりモーメントは、曲げモーメントおよびせん断力とは異なり、中間横げたの有無による違いが比較的顕著に見られた。これは、中間横げたの省略によって横方向の剛性が低下し、ねじりモーメントの荷重分配効率が損なわれたことに起因するものと考えられる。ねじりモーメントは、支間の増加、幅員の増加および斜角の減少により増加する傾向にあり、特に支間35m、幅員12m、斜角70°の場合に差が顕著となった。これより、中間横げたの省略により増加するねじりモーメントに対する鉄筋量を算出した。その結果を表-3.2.7に示す。

ねじり剛性を考慮した場合、中間横げたの有無にかかわらず比較的多くのねじりに対する鉄筋が必要となる。標準設計では、横方向鉄筋量が $8.45\text{cm}^2/\text{m}$ 、軸方向鉄筋量が 32.78cm^2 であるのに対し、中間横げたを配置してねじり剛性を考慮することによって必要となる横方向鉄筋量が $6.68\text{cm}^2/\text{m}$ 、軸方向鉄筋量が 28.59cm^2 であり、斜角が70°程度までは、標準設計において十分な補強がなされている。一方、中間横げたを省略してねじり剛性を考慮することによって必要となる横方向鉄筋量は $9.32\text{cm}^2/\text{m}$ 、軸方向鉄筋量は 39.89cm^2 となり、標準設計での鉄筋量に対し横方向鉄筋で $0.87\text{cm}^2/\text{m}$ 、軸方向鉄筋で 6.11cm^2 以上の補強が必要となる。これは、鉄筋の配置間隔あるいは鉄筋径の変更によって十分対処可能な程度の補強量である。また、ここで作用するねじりモーメントは変形適合ねじりモーメントであり、〔道示Ⅲ〕によれば、「一般に、コンクリート部材に斜めひびわれが生じるとねじり剛性が低下するため、その部材に作用するねじりモーメントは非常に小さ

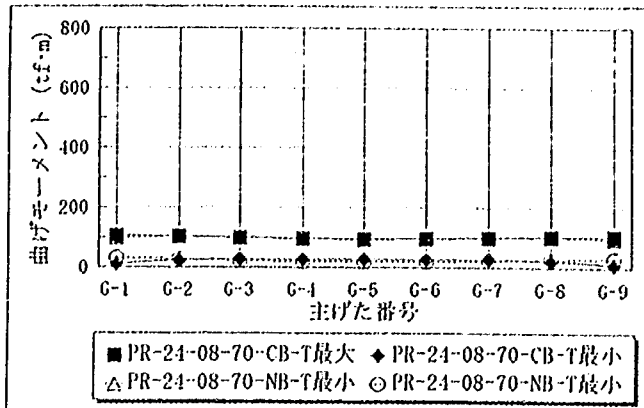
くなる。このため、終局荷重作用時には、変形適合ねじりモーメントに対する照査を一般に省略できる。また、設計荷重作用時においても、変形適合ねじりモーメントは初期に発生するひびわれの形成によって解放されること、また、部材にはせん断力に対する最小量の鉄筋が配置されており、ねじりひびわれの進展が抑止されることなどから、一般には変形適合ねじりモーメントに対する照査を省略してもよい。(2.4.1 解説)」こととなっている。プレストレストコンクリート部材のねじりモーメントに対する鉄筋の配置は、終局荷重作用時に関する検討であり、上記の鉄筋量は省略できる可能性がある。

表-3.2.4 各主げたに生じる最大および最小曲げモーメント

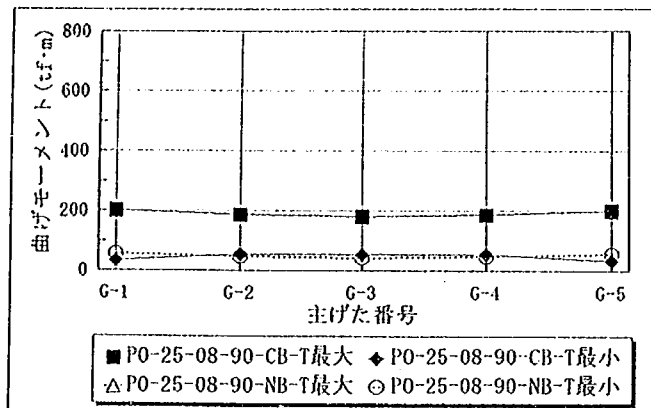
供試体名	主げた 番号	最大値 (tf・m)	最小値 (tf・m)	供試体名	主げた 番号	最大値 (tf・m)	最小値 (tf・m)
PR-24-08-90-CB-T	G-1	105.432	11.989	PR-24-08-90-NB-T	G-1	100.195	30.615
	G-2	103.420	25.551		G-2	102.744	27.928
	G-3	99.188	27.886		G-3	100.707	24.135
	G-4	96.751	27.467		G-4	97.680	21.653
	G-5	95.872	27.219		G-5	95.836	20.815
	G-6	96.751	27.467		G-6	97.680	21.653
	G-7	99.188	27.886		G-7	100.707	24.135
	G-8	103.420	25.551		G-8	102.744	27.928
	G-9	105.432	11.989		G-9	100.195	30.615
PR-24-08-70-CB-T	G-1	105.000	12.418	PR-24-08-70-NB-T	G-1	99.518	31.017
	G-2	103.070	25.729		G-2	102.253	27.987
	G-3	98.808	27.708		G-3	100.311	23.948
	G-4	96.270	27.137		G-4	97.350	21.325
	G-5	95.224	26.835		G-5	95.479	20.419
	G-6	96.270	27.137		G-6	97.350	21.325
	G-7	98.808	27.708		G-7	100.311	23.948
	G-8	103.070	25.729		G-8	102.253	27.987
	G-9	105.000	12.418		G-9	99.513	31.017
PO-25-08-90-CB-T	G-1	203.026	34.500	PO-25-08-90-NB-T	G-1	199.796	56.201
	G-2	188.394	54.581		G-2	189.643	46.986
	G-3	182.729	54.865		G-3	180.260	42.199
	G-4	188.394	54.581		G-4	189.643	46.986
	G-5	203.026	34.500		G-5	199.796	56.201
PO-25-08-70-CB-T	G-1	202.428	34.952	PO-25-08-70-NB-T	G-1	198.911	56.945
	G-2	187.795	54.366		G-2	188.981	46.520
	G-3	181.565	54.170		G-3	179.519	41.152
	G-4	187.795	54.366		G-4	188.981	46.520
	G-5	202.428	34.952		G-5	198.911	56.945
PO-35-08-90-CB-T	G-1	339.062	97.477	PO-35-08-90-NB-T	G-1	339.713	106.406
	G-2	322.071	95.528		G-2	322.310	94.004
	G-3	308.424	96.402		G-3	306.556	87.333
	G-4	322.071	95.528		G-4	322.310	94.004
	G-5	339.062	97.477		G-5	339.713	106.406
PO-35-08-70-CB-T	G-1	337.862	97.246	PO-35-08-70-NB-T	G-1	339.193	107.818
	G-2	321.242	95.116		G-2	321.773	93.351
	G-3	307.534	96.048		G-3	305.638	85.655
	G-4	321.242	95.116		G-4	321.773	93.351
	G-5	337.862	97.246		G-5	339.193	107.818
PO-35-12-90-CB-T	G-1	348.546	74.072	PO-35-12-90-NB-T	G-1	350.929	105.343
	G-2	323.293	83.995		G-2	327.139	89.779
	G-3	303.304	87.885		G-3	301.884	75.977
	G-4	289.209	87.773		G-4	295.337	70.704
	G-5	303.304	87.885		G-5	301.884	75.977
	G-6	323.293	83.995		G-6	327.139	89.779
	G-7	348.546	74.072		G-7	350.929	105.343
PO-35-12-70-CB-T	G-1	347.917	74.405	PO-35-12-70-NB-T	G-1	350.235	107.535
	G-2	322.648	83.812		G-2	327.140	89.861
	G-3	302.643	87.407		G-3	302.012	75.015
	G-4	288.323	87.144		G-4	295.551	69.491
	G-5	302.643	87.407		G-5	302.012	75.015
	G-6	322.648	83.812		G-6	327.140	89.861
	G-7	347.917	74.405		G-7	350.235	107.535
PO-45-08-90-CB-T	G-1	633.578	198.614	PO-45-08-90-NB-T	G-1	635.305	212.240
	G-2	595.095	196.686		G-2	591.474	186.972
	G-3	595.095	196.686		G-3	591.474	186.972
	G-4	633.578	198.614		G-4	635.305	212.240
PO-45-08-70-CB-T	G-1	632.934	198.299	PO-45-08-70-NB-T	G-1	635.183	214.752
	G-2	594.426	196.286		G-2	590.604	184.693
	G-3	594.426	196.286		G-3	590.604	184.693
	G-4	632.934	198.299		G-4	635.183	214.752
PO-50-08-90-CB-T	G-1	760.436	229.562	PO-50-08-90-NB-T	G-1	756.418	260.863
	G-2	702.292	256.201		G-2	704.697	235.420
	G-3	702.292	256.201		G-3	704.697	235.420
	G-4	760.436	229.562		G-4	756.418	260.863
PO-50-08-70-CB-T	G-1	759.857	229.656	PO-50-08-70-NB-T	G-1	756.373	263.698
	G-2	701.828	255.890		G-2	703.528	232.733
	G-3	701.828	255.890		G-3	703.528	232.733
	G-4	759.857	229.656		G-4	756.373	263.698



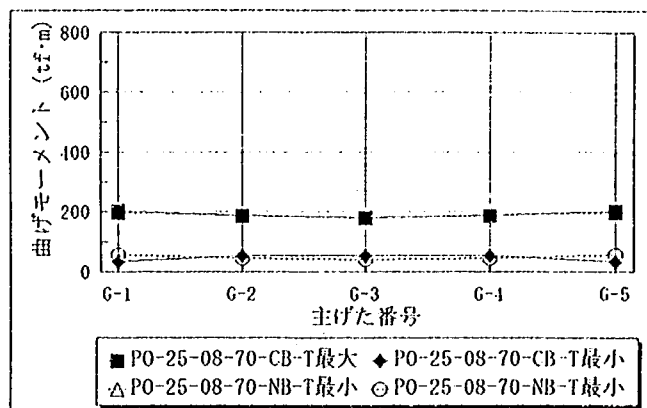
(a) 支間24m、幅員8m、斜角90°



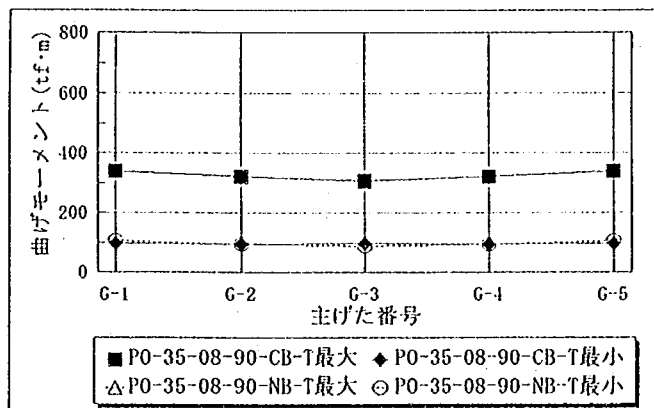
(b) 支間24m、幅員8m、斜角70°



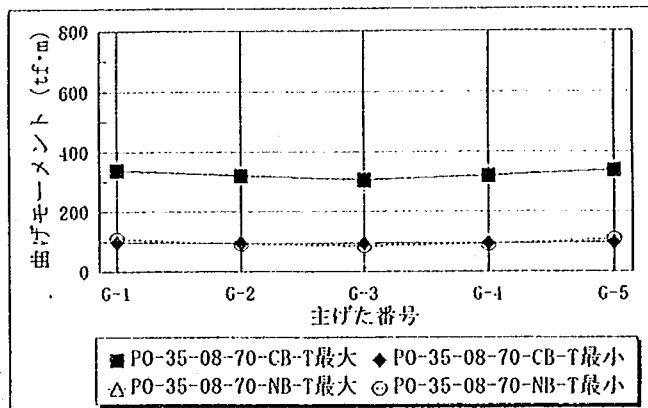
(c) 支間25m、幅員8m、斜角90°



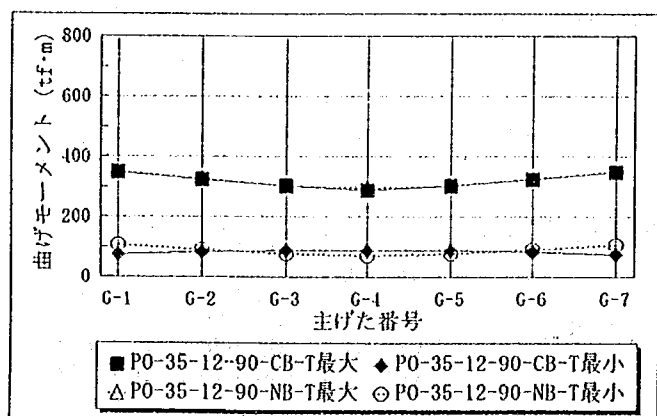
(d) 支間25m、幅員8m、斜角70°



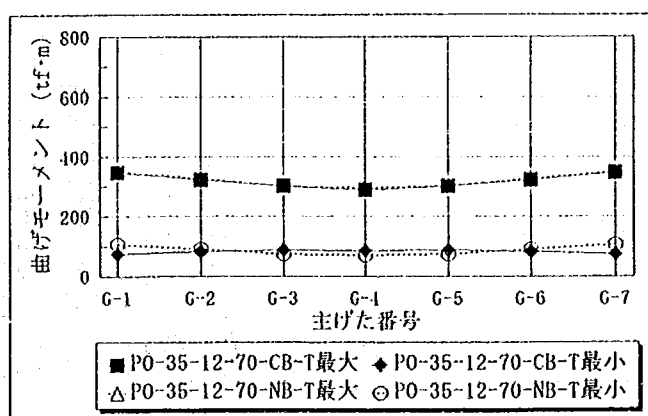
(e) 支間35m、幅員8m、斜角90°



(f) 支間35m、幅員8m、斜角70°

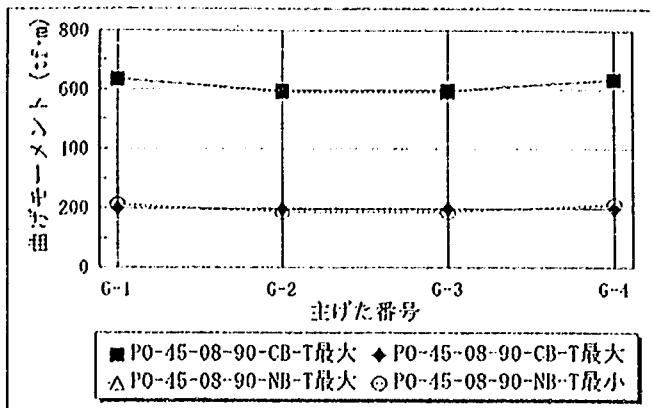


(g) 支間35m、幅員12m、斜角90°

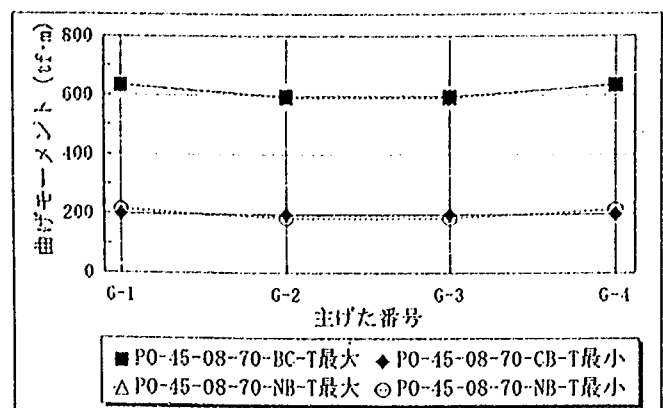


(h) 支間35m、幅員12m、斜角70°

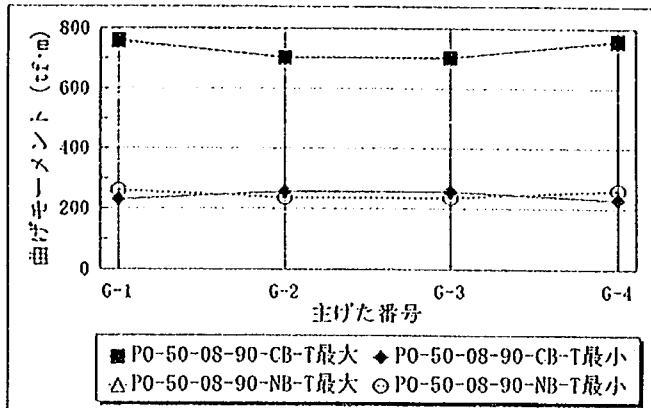
図-3.2.5(1) 主げたの最大および最小曲げモーメント



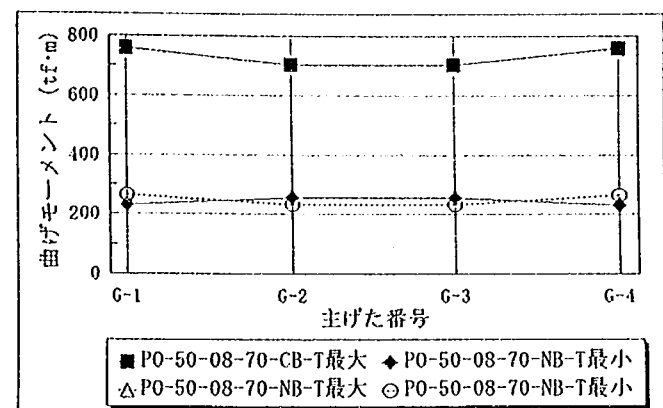
(i) 支間45m、幅員8m、斜角90°



(j) 支間45m、幅員8m、斜角70°



(k) 支間50m、幅員8m、斜角90°

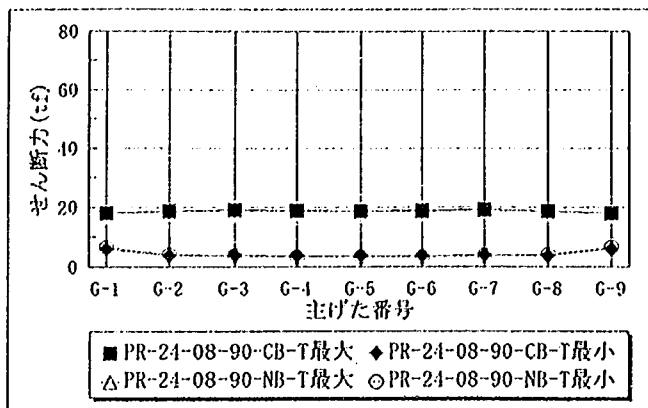


(l) 支間50m、幅員8m、斜角70°

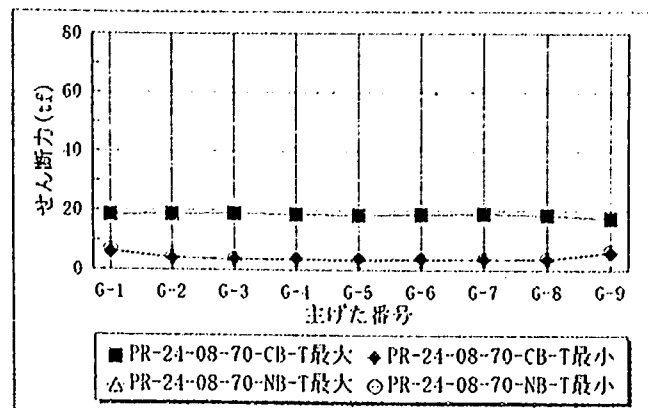
図-3.2.5(2) 主げたの最大および最小曲げモーメント

表-3.2.5 主げた支点部に生じる最大および最小せん断力

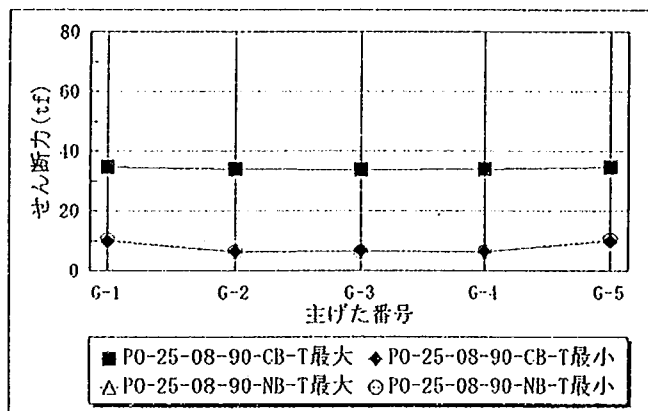
供試体名	主げた 番号	最大値 (tf)	最小値 (tf)	供試体名	主げた 番号	最大値 (tf)	最小値 (tf)
PR-24-08-90-CB-T	G-1	17.924	3.984	PR-24-08-90-NB-T	G-1	17.920	6.379
	G-2	18.558	3.795		G-2	18.618	4.004
	G-3	18.910	3.696		G-3	18.944	3.698
	G-4	18.754	3.627		G-4	18.690	3.399
	G-5	18.567	3.631		G-5	18.516	3.303
	G-6	18.754	3.627		G-6	18.690	3.399
	G-7	18.910	3.696		G-7	18.944	3.698
	G-8	18.558	3.795		G-8	18.618	4.004
	G-9	17.924	5.984		G-9	17.920	6.379
PR-24-08-70-CB-T	G-1	18.452	6.172	PR-24-08-70-NB-T	G-1	18.402	6.646
	G-2	18.635	3.812		G-2	18.698	4.046
	G-3	18.900	3.686		G-3	18.938	3.672
	G-4	18.739	3.626		G-4	18.681	3.361
	G-5	18.587	3.631		G-5	18.544	3.273
	G-6	18.802	3.622		G-6	18.750	3.374
	G-7	18.934	3.676		G-7	18.988	3.686
	G-8	18.471	3.724		G-8	18.537	3.958
	G-9	17.435	5.869		G-9	17.422	6.276
PO-25-08-90-CB-T	G-1	34.661	10.042	PO-25-08-90-NB-T	G-1	34.720	10.313
	G-2	33.941	6.443		G-2	33.901	6.421
	G-3	33.751	6.553		G-3	33.662	6.283
	G-4	33.941	6.443		G-4	33.901	6.421
	G-5	34.661	10.042		G-5	34.720	10.313
PO-25-08-70-CB-T	G-1	35.205	10.261	PO-25-08-70-NB-T	G-1	35.256	10.654
	G-2	33.894	6.404		G-2	33.865	6.368
	G-3	33.816	6.555		G-3	33.706	6.197
	G-4	34.004	6.389		G-4	33.981	6.352
	G-5	34.119	9.891		G-5	34.182	10.242
PO-35-08-90-CB-T	G-1	41.994	13.281	PO-35-08-90-NB-T	G-1	41.874	14.251
	G-2	40.545	9.175		G-2	40.637	9.043
	G-3	40.496	9.937		G-3	40.588	9.160
	G-4	40.545	9.175		G-4	40.637	9.043
	G-5	41.994	13.281		G-5	41.874	14.251
PO-35-08-70-CB-T	G-1	42.423	13.485	PO-35-08-70-NB-T	G-1	42.327	14.616
	G-2	40.560	9.185		G-2	40.636	9.003
	G-3	40.528	9.945		G-3	40.592	9.053
	G-4	40.524	9.111		G-4	40.648	8.947
	G-5	41.579	13.105		G-5	41.465	14.207
PO-35-12-90-CB-T	G-1	42.764	11.121	PO-35-12-90-NB-T	G-1	42.971	14.104
	G-2	41.014	8.173		G-2	41.398	8.759
	G-3	40.491	9.352		G-3	40.636	8.326
	G-4	39.795	9.418		G-4	40.180	7.955
	G-5	40.491	9.352		G-5	40.636	8.326
	G-6	41.014	8.173		G-6	41.398	8.759
	G-7	42.764	11.121		G-7	42.971	14.104
PO-35-12-70-CB-T	G-1	43.157	11.320	PO-35-12-70-NB-T	G-1	43.413	14.520
	G-2	41.015	8.212		G-2	41.397	8.753
	G-3	40.526	9.359		G-3	40.643	8.229
	G-4	39.843	9.395		G-4	40.262	7.878
	G-5	40.513	9.324		G-5	40.766	8.289
	G-6	41.017	8.096		G-6	41.489	8.742
	G-7	42.384	11.040		G-7	42.557	14.136
PO-45-08-90-CB-T	G-1	60.234	20.036	PO-45-08-90-NB-T	G-1	60.208	21.196
	G-2	58.751	14.888		G-2	58.662	14.229
	G-3	58.751	14.888		G-3	58.662	14.229
	G-4	60.234	20.036		G-4	60.208	21.196
PO-45-08-70-CB-T	G-1	60.600	20.223	PO-45-08-70-NB-T	G-1	60.606	21.588
	G-2	58.762	14.890		G-2	58.615	14.082
	G-3	58.773	14.854		G-3	58.674	14.059
	G-4	59.899	19.855		G-4	59.890	21.214
PO-50-08-90-CB-T	G-1	64.569	21.338	PO-50-08-90-NB-T	G-1	64.352	23.310
	G-2	62.426	17.447		G-2	62.451	16.321
	G-3	62.426	17.447		G-3	62.451	16.321
	G-4	64.569	21.338		G-4	64.352	23.310
PO-50-08-70-CB-T	G-1	64.984	21.572	PO-50-08-70-NB-T	G-1	64.830	23.760
	G-2	62.472	17.468		G-2	62.398	16.163
	G-3	62.402	17.397		G-3	62.452	16.133
	G-4	64.165	21.116		G-4	63.968	23.311



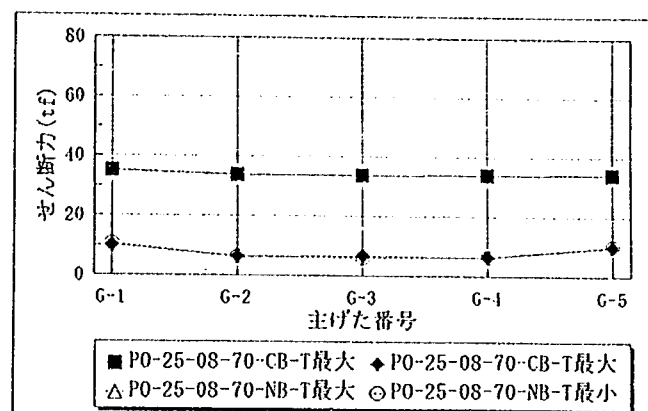
(a) 支間24m、幅員8m、斜角90°



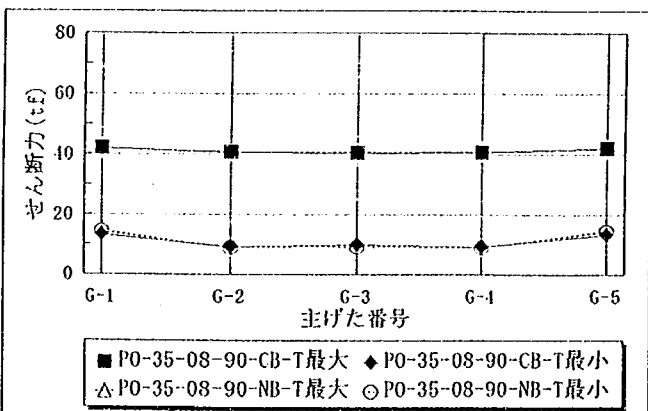
(b) 支間24m、幅員8m、斜角70°



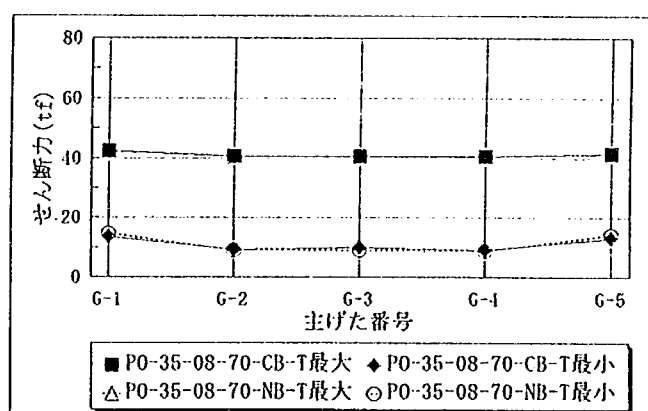
(c) 支間25m、幅員8m、斜角90°



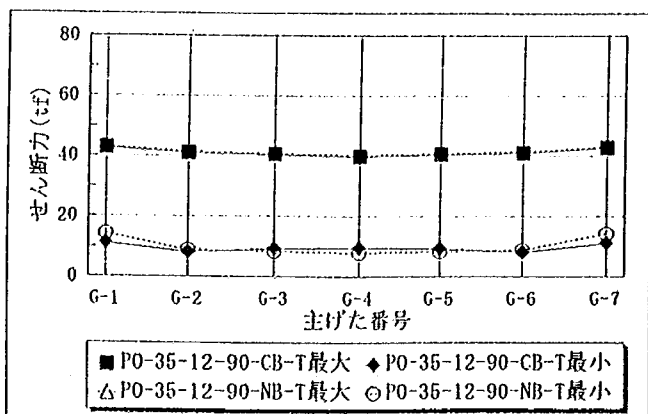
(d) 支間25m、幅員8m、斜角70°



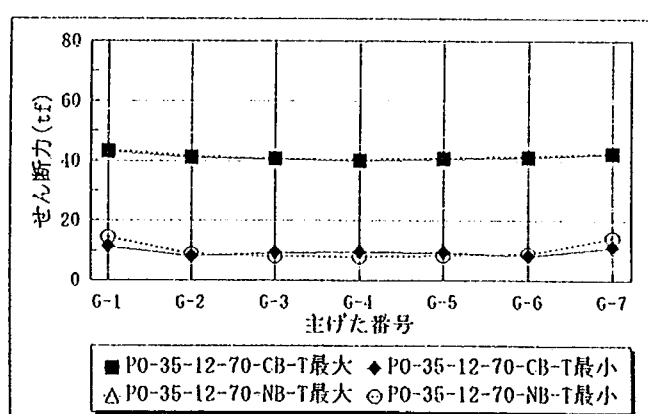
(e) 支間35m、幅員8m、斜角90°



(f) 支間35m、幅員8m、斜角70°

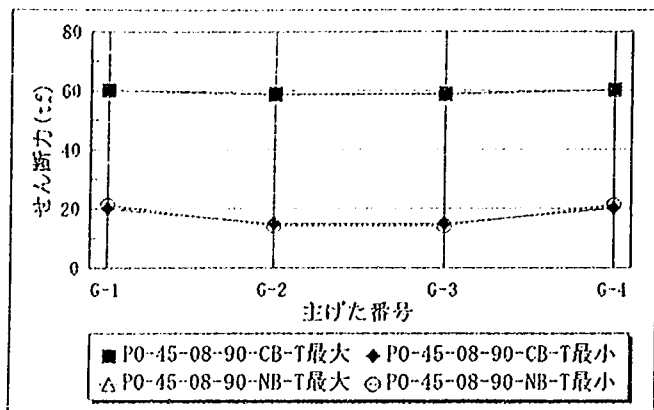


(g) 支間35m、幅員12m、斜角90°

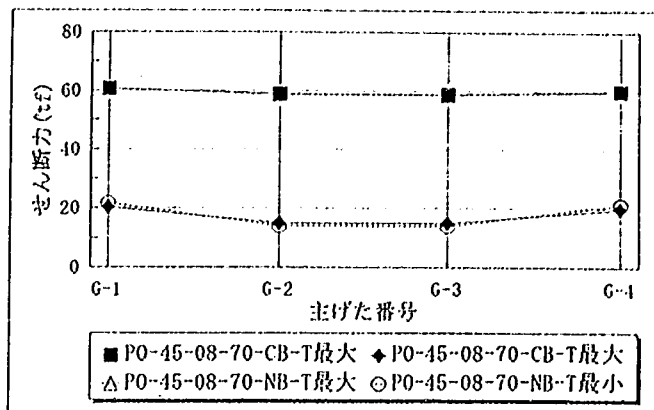


(h) 支間35m、幅員12m、斜角70°

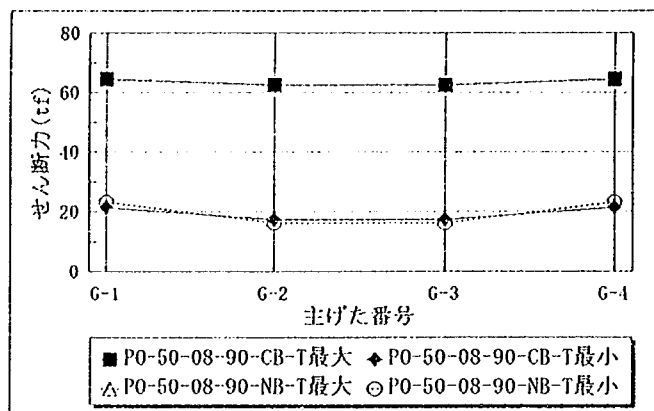
図-3.2.6(1) 主げたの最大および最小せん断力



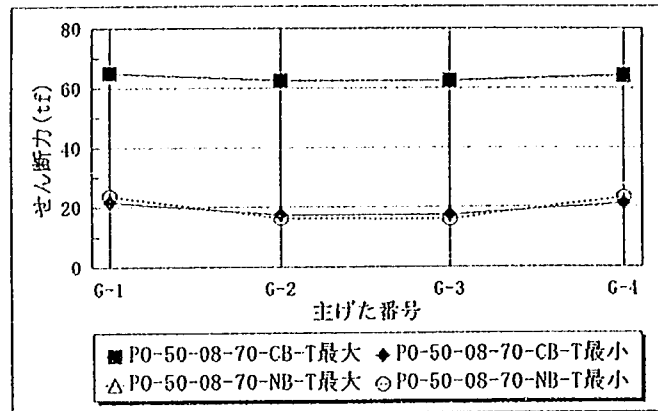
(i) 支間45m、幅員8m、斜角90°



(j) 支間45m、幅員8m、斜角70°



(k) 支間50m、幅員8m、斜角90°

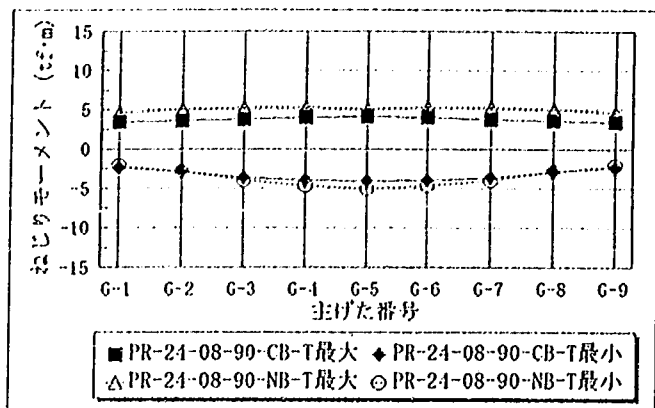


(l) 支間50m、幅員8m、斜角70°

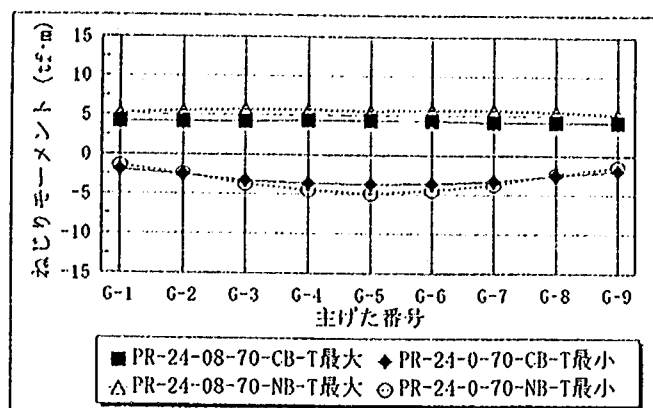
図-3.2.6(2) 主げたの最大および最小せん断力

表-3.2.6 主げた支点部に生じる最大および最小ねじりモーメント

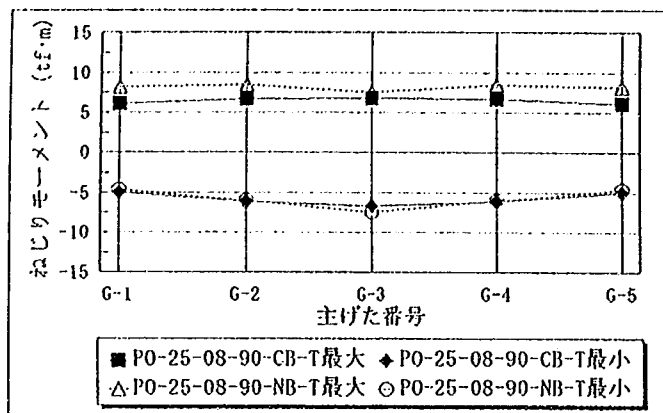
供試体名	主げた 番号	最大値 (tf・m)	最小値 (tf・m)	供試体名	主げた 番号	最大値 (tf・m)	最小値 (tf・m)
PR-24-08-90-CB-T	G-1	3.410	-2.392	PR-24-08-90-NB-T	G-1	4.612	-2.104
	G-2	3.613	-2.909		G-2	5.058	-2.897
	G-3	3.770	-3.659		G-3	5.244	-4.014
	G-4	3.995	-3.980		G-4	5.286	-4.703
	G-5	4.068	-4.068		G-5	5.105	-5.105
	G-6	3.995	-3.980		G-6	5.286	-4.703
	G-7	3.770	-3.659		G-7	5.244	-4.014
	G-8	3.613	-2.909		G-8	5.058	-2.897
	G-9	3.410	-2.392		G-9	4.612	-2.104
PR-24-08-70-CB-T	G-1	4.181	-1.947	PR-24-08-70-NB-T	G-1	5.243	-1.462
	G-2	4.151	-2.567		G-2	5.547	-2.477
	G-3	4.181	-3.355		G-3	5.671	-3.750
	G-4	4.349	-3.653		G-4	5.703	-4.500
	G-5	4.377	-3.715		G-5	5.524	-4.921
	G-6	4.349	-3.653		G-6	5.703	-4.500
	G-7	4.181	-3.355		G-7	5.671	-3.750
	G-8	4.151	-2.567		G-8	5.547	-2.477
	G-9	4.181	-1.947		G-9	5.243	-1.462
PO-25-08-90-CB-T	G-1	6.079	-5.020	PO-25-08-90-NB-T	G-1	8.166	-4.702
	G-2	6.635	-6.082		G-2	8.401	-6.073
	G-3	6.720	-6.720		G-3	7.504	-7.504
	G-4	6.635	-6.082		G-4	8.401	-6.073
	G-5	6.079	-5.020		G-5	8.166	-4.702
PO-25-08-70-CB-T	G-1	7.318	-4.285	PO-25-08-70-NB-T	G-1	9.359	-3.770
	G-2	7.397	-5.504		G-2	9.197	-5.455
	G-3	7.272	-6.043		G-3	8.163	-7.036
	G-4	7.397	-5.504		G-4	9.197	-5.455
	G-5	7.318	-4.285		G-5	9.359	-3.770
PO-35-08-90-CB-T	G-1	7.442	-6.900	PO-35-08-90-NB-T	G-1	9.787	-5.279
	G-2	7.613	-7.308		G-2	9.875	-6.788
	G-3	7.476	-7.476		G-3	8.615	-8.615
	G-4	7.613	-7.308		G-4	9.875	-6.788
	G-5	7.442	-6.900		G-5	9.787	-5.279
PO-35-08-70-CB-T	G-1	8.634	-6.250	PO-35-08-70-NB-T	G-1	11.124	-4.267
	G-2	8.460	-6.655		G-2	10.860	-6.073
	G-3	8.162	-6.694		G-3	9.374	-8.099
	G-4	8.460	-6.655		G-4	10.860	-6.073
	G-5	8.634	-6.250		G-5	11.124	-4.264
PO-35-12-90-CB-T	G-1	6.890	-6.115	PO-35-12-90-NB-T	G-1	10.649	-4.607
	G-2	7.063	-6.503		G-2	10.979	-6.023
	G-3	6.934	-6.786		G-3	10.234	-7.826
	G-4	6.899	-6.899		G-4	9.419	-9.419
	G-5	6.934	-6.786		G-5	10.234	-7.826
	G-6	7.063	-6.503		G-6	10.979	-6.023
	G-7	6.890	-6.115		G-7	10.649	-4.607
PO-35-12-70-CB-T	G-1	8.187	-5.604	PO-35-12-70-NB-T	G-1	11.957	-3.711
	G-2	7.991	-5.974		G-2	11.953	-5.433
	G-3	7.735	-6.157		G-3	11.085	-7.432
	G-4	7.557	-6.161		G-4	10.253	-9.044
	G-5	7.735	-6.157		G-5	11.085	-7.432
	G-6	7.991	-5.974		G-6	11.953	-5.433
	G-7	8.187	-5.604		G-7	11.957	-3.711
PO-45-08-90-CB-T	G-1	9.034	-8.632	PO-45-08-90-NB-T	G-1	12.072	-6.927
	G-2	9.264	-9.004		G-2	11.376	-8.594
	G-3	9.264	-9.004		G-3	11.376	-8.594
	G-4	9.034	-8.632		G-4	12.072	-6.927
PO-45-08-70-CB-T	G-1	10.192	-7.977	PO-45-08-70-NB-T	G-1	13.509	-5.930
	G-2	10.047	-8.297		G-2	12.332	-7.880
	G-3	10.047	-8.297		G-3	12.332	-7.880
	G-4	10.192	-7.977		G-4	13.509	-5.930
PO-50-08-90-CB-T	G-1	9.851	-9.625	PO-50-08-90-NB-T	G-1	13.007	-7.437
	G-2	9.999	-9.850		G-2	12.214	-9.219
	G-3	9.999	-9.850		G-3	12.214	-9.219
	G-4	9.851	-9.625		G-4	13.007	-7.437
PO-50-08-70-CB-T	G-1	10.817	-9.058	PO-50-08-70-NB-T	G-1	14.382	-6.498
	G-2	10.657	-9.235		G-2	13.072	-8.609
	G-3	10.657	-9.235		G-3	13.072	-8.609
	G-4	10.817	-9.058		G-4	14.382	-6.498



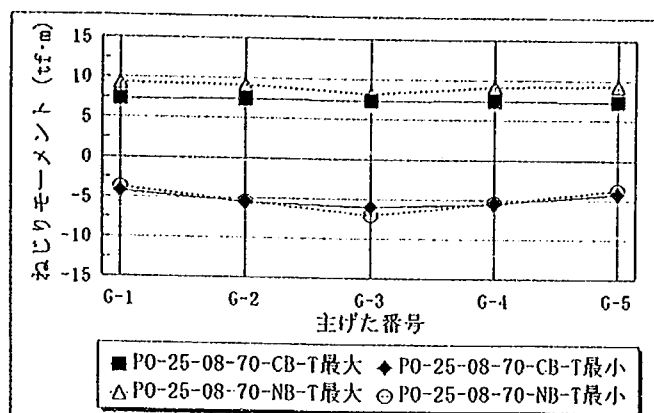
(a) 支間24m、幅員8m、斜角90°



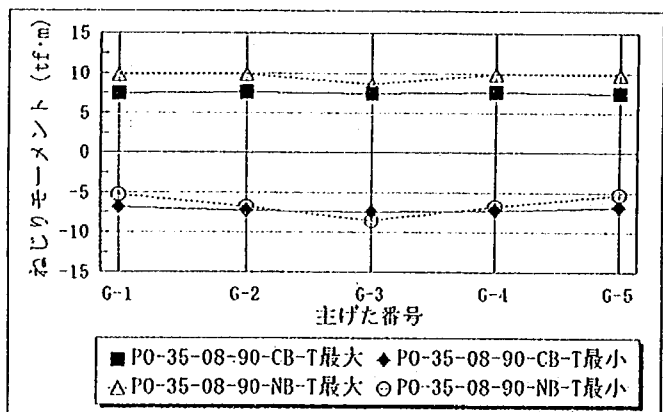
(b) 支間24m、幅員8m、斜角70°



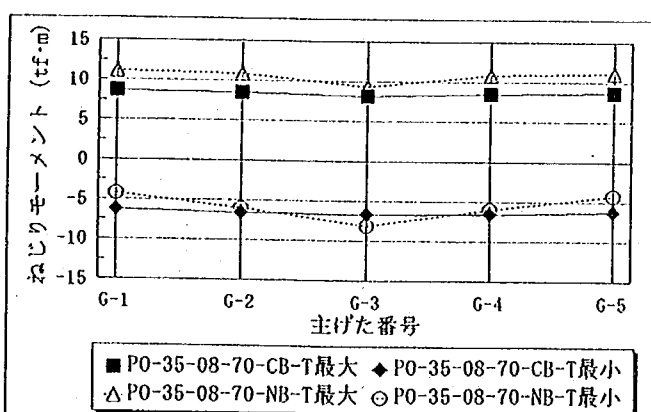
(c) 支間25m、幅員8m、斜角90°



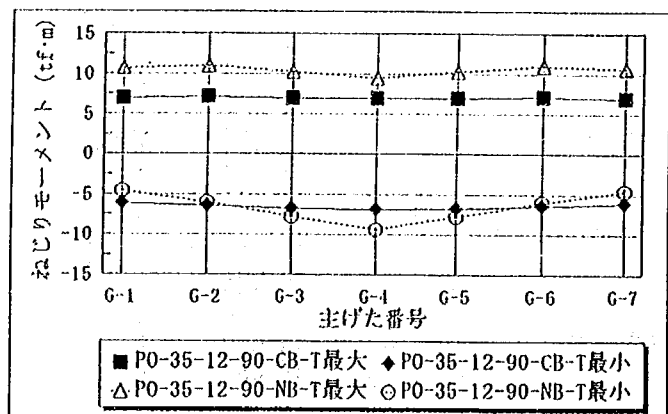
(d) 支間25m、幅員8m、斜角70°



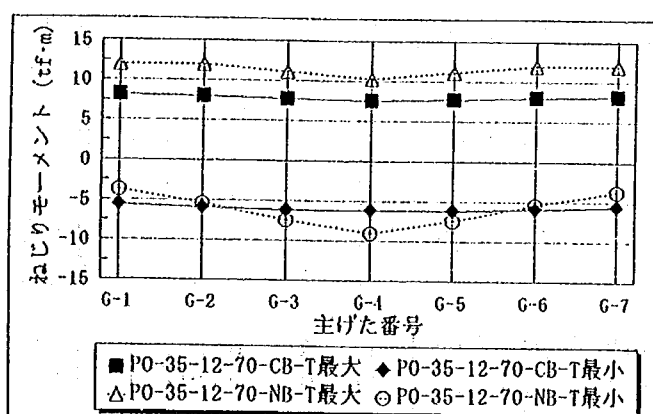
(e) 支間35m、幅員8m、斜角90°



(f) 支間35m、幅員8m、斜角70°

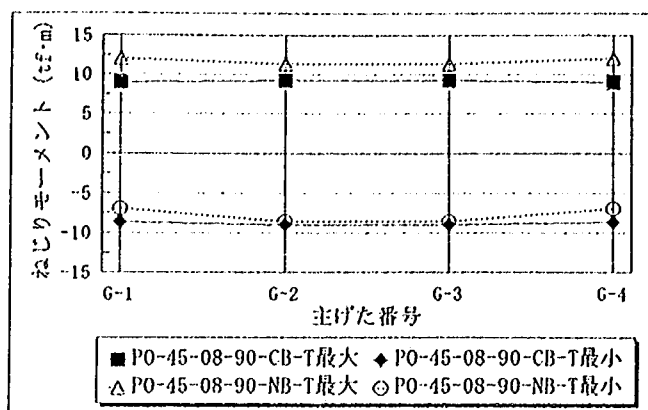


(g) 支間35m、幅員12m、斜角90°

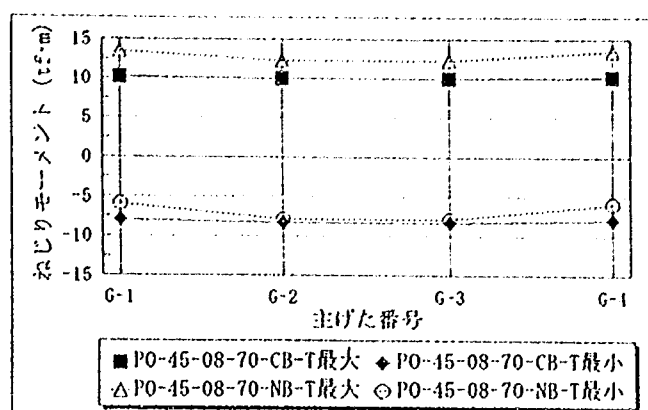


(h) 支間35m、幅員12m、斜角70°

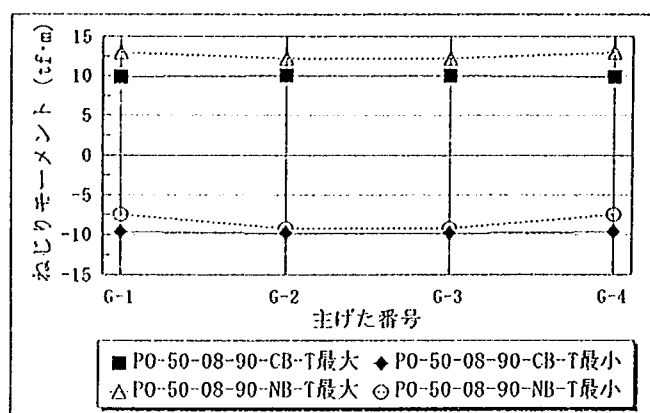
図-3.2.7(1) 主げたの最大および最小ねじりモーメント



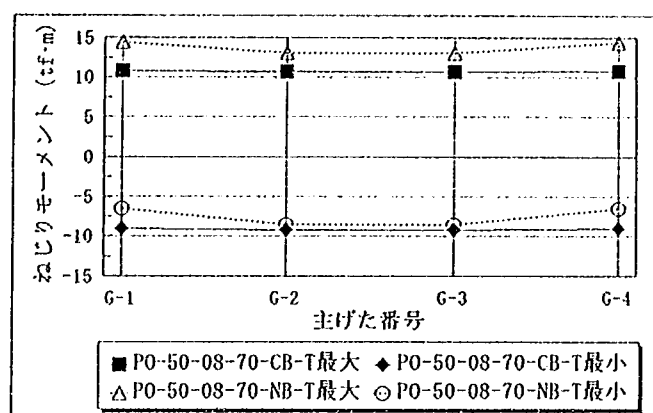
(i) 支間45m、幅員8m、斜角90°



(j) 支間45m、幅員8m、斜角70°



(k) 支間50m、幅員8m、斜角90°



(l) 支間50m、幅員8m、斜角70°

図-3.2.7(2) 主げたの最大および最小ねじりモーメント

表-3.2.7 ねじりモーメントに対する横方向鉄筋および軸方向鉄筋

供試体名	横方向鉄筋量 A_{wt} (cm^2/m)	軸方向鉄筋量 A_{lt} (cm^2)
PO-35-12-70-CB-T	6.68	28.59
PO-35-12-70-NB-T	9.32	39.89

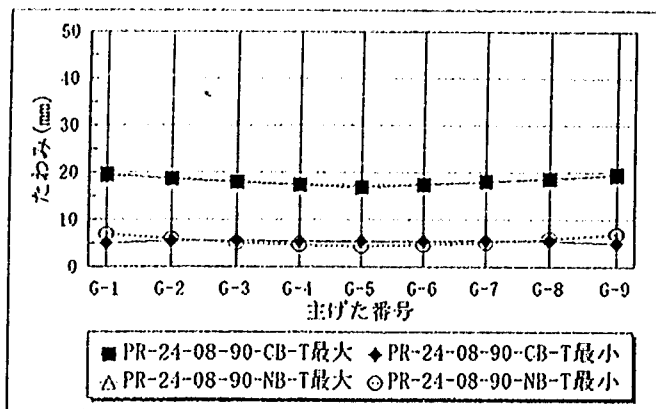
3.2.4 主げたたわみ

中間横げたを省略した場合の荷重分配性能を確認するために、ここでは主げたのたわみに着目した。各主げたの最大および最小たわみの解析結果を表-3.2.8に、中間横げたの有無によるたわみの違いを図-3.2.8に示す。なお、ここでのたわみは、主げたに最大および最小たわみが生じるように荷重を載荷した場合の値であり、一定の荷重状態におけるたわみ分布ではない。

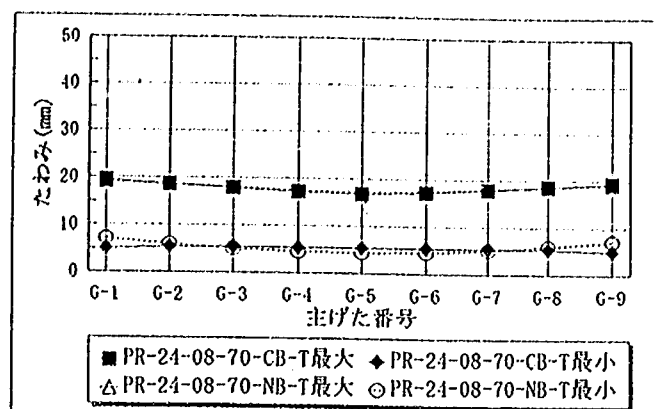
〔道示Ⅲ〕にはプレストレストコンクリート橋に関するたわみ制限は特に規定されていないことから、中間横げたを有する場合のたわみ量を基準として比較を行うものとする。図-3.2.8によれば、主げた支間中央での最大たわみは、中間横げたの有無にほとんど影響されていないことがわかる。一方、最小たわみについては、中間横げたを省略した場合に耳げたで大きく、中げたで小さくなり、幅員が増加するとこの傾向が顕著となる。これは、荷重分配性能が低下しているためと考えられるが、一般に、構造物において重要となるのは最大たわみであること、最大たわみは中間横げたの省略により最大でも0.8mm程度（3.4%）の増加量であることから、重大な違いとは考えられない。ただし、たわみの増加にともない床版等に生じる応力度は増加することが予想されるため、別項にて検討を行う。

表-3.2.8 各主げたの最大および最小たわみ

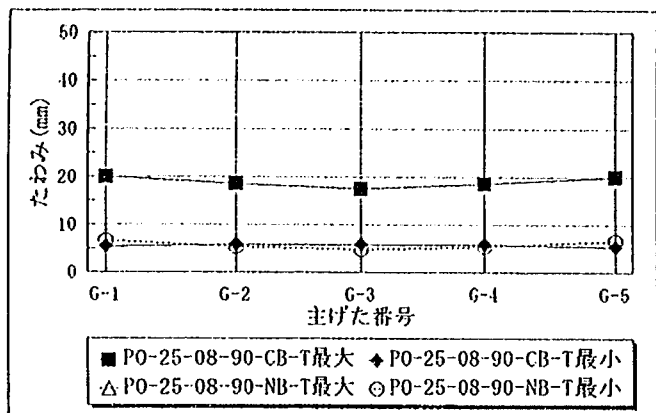
供試体名	主げた番 号	最大値 (mm)	最小値 (mm)	供試体名	主げた番 号	最大値 (mm)	最小値 (mm)
PR-24-08-90-CB-T	G-1	19.588	4.932	PR-24-08-90-NB-T	G-1	19.324	6.970
	G-2	18.660	5.456		G-2	18.690	5.972
	G-3	17.920	5.490		G-3	18.110	5.122
	G-4	17.389	5.424		G-4	17.495	4.607
	G-5	16.826	5.401		G-5	17.150	4.437
	G-6	17.389	5.424		G-6	17.495	4.607
	G-7	17.992	5.490		G-7	18.110	5.122
	G-8	18.662	5.456		G-8	18.690	5.972
	G-9	19.588	4.932		G-9	19.324	6.970
PR-24-08-70-CB-T	G-1	19.747	4.932	PR-24-08-70-NB-T	G-1	19.195	7.029
	G-2	18.551	5.426		G-2	18.579	5.950
	G-3	17.879	5.445		G-3	18.010	5.061
	G-4	17.276	5.366		G-4	17.405	4.529
	G-5	16.723	5.338		G-5	17.071	4.355
	G-6	17.276	5.366		G-6	17.405	4.529
	G-7	17.879	5.445		G-7	18.010	5.061
	G-8	18.551	5.426		G-8	18.579	5.950
	G-9	19.474	4.932		G-9	19.195	7.029
PO-25-08-90-CB-T	G-1	20.045	5.450	PO-25-08-90-NB-T	G-1	20.045	6.690
	G-2	18.616	5.826		G-2	18.617	5.426
	G-3	17.510	5.757		G-3	17.611	4.871
	G-4	18.616	5.826		G-4	18.617	5.426
	G-5	20.045	5.450		G-5	20.045	6.690
PO-25-08-70-CB-T	G-1	19.945	5.435	PO-25-08-70-NB-T	G-1	19.948	6.755
	G-2	18.510	5.780		G-2	18.517	5.351
	G-3	17.408	5.698		G-3	17.520	4.753
	G-4	18.510	5.780		G-4	18.517	5.351
	G-5	19.945	5.435		G-5	19.948	6.755
PO-35-08-90-CB-T	G-1	29.585	9.342	PO-35-08-90-NB-T	G-1	29.822	10.882
	G-2	27.778	9.874		G-2	27.675	9.345
	G-3	26.303	9.851		G-3	26.173	8.650
	G-4	27.778	9.874		G-4	27.675	9.345
	G-5	29.585	9.342		G-5	29.822	10.882
PO-35-08-70-CB-T	G-1	29.497	9.310	PO-35-08-70-NB-T	G-1	29.760	10.998
	G-2	27.683	9.833		G-2	27.578	9.252
	G-3	26.208	9.805		G-3	26.073	8.488
	G-4	27.683	9.833		G-4	27.578	9.252
	G-5	29.497	9.310		G-5	29.760	10.998
PO-35-12-90-CB-T	G-1	30.060	7.051	PO-35-12-90-NB-T	G-1	30.538	10.753
	G-2	27.457	8.666		G-2	27.790	8.883
	G-3	25.601	8.855		G-3	25.424	7.513
	G-4	24.091	8.811		G-4	24.839	7.026
	G-5	25.601	8.855		G-5	25.424	7.513
	G-6	27.457	8.666		G-6	27.790	8.883
	G-7	30.060	7.051		G-7	30.538	10.753
PO-35-12-70-CB-T	G-1	29.978	7.073	PO-35-12-70-NB-T	G-1	30.458	10.930
	G-2	27.371	8.633		G-2	27.736	8.854
	G-3	25.502	8.800		G-3	25.401	7.405
	G-4	24.014	8.747		G-4	24.838	6.909
	G-5	25.502	8.800		G-5	25.401	7.405
	G-6	27.371	8.633		G-6	27.736	8.854
	G-7	29.978	7.073		G-7	30.458	10.930
PO-45-08-90-CB-T	G-1	32.196	11.088	PO-45-08-90-NB-T	G-1	32.456	12.425
	G-2	29.861	11.648		G-2	29.528	10.640
	G-3	29.861	11.648		G-3	29.528	10.640
	G-4	32.196	11.088		G-4	32.456	12.425
PO-45-08-70-CB-T	G-1	32.145	11.064	PO-45-08-70-NB-T	G-1	32.439	12.552
	G-2	29.806	11.623		G-2	29.440	10.498
	G-3	29.806	11.623		G-3	29.440	10.498
	G-4	32.145	11.064		G-4	32.439	12.552
PO-50-08-90-CB-T	G-1	39.804	14.241	PO-50-08-90-NB-T	G-1	40.117	15.735
	G-2	36.959	14.943		G-2	36.568	13.807
	G-3	36.959	14.943		G-3	36.568	13.807
	G-4	39.804	14.241		G-4	40.117	15.735
PO-50-08-70-CB-T	G-1	39.749	14.215	PO-50-08-70-NB-T	G-1	40.111	15.890
	G-2	36.902	14.917		G-2	36.464	13.639
	G-3	36.902	14.917		G-3	36.464	13.639
	G-4	39.749	14.215		G-4	40.111	15.890



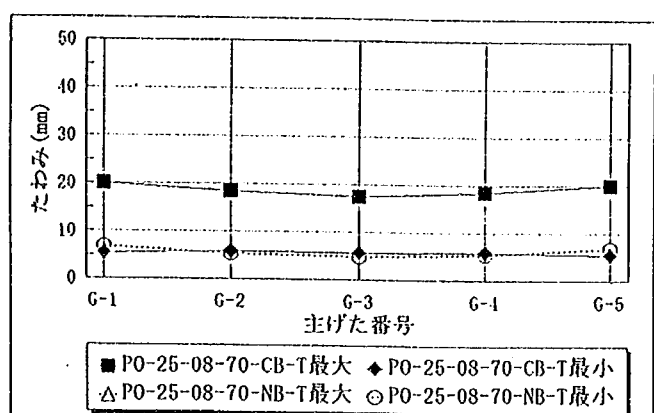
(a) 支間24m、幅員8m、斜角90°



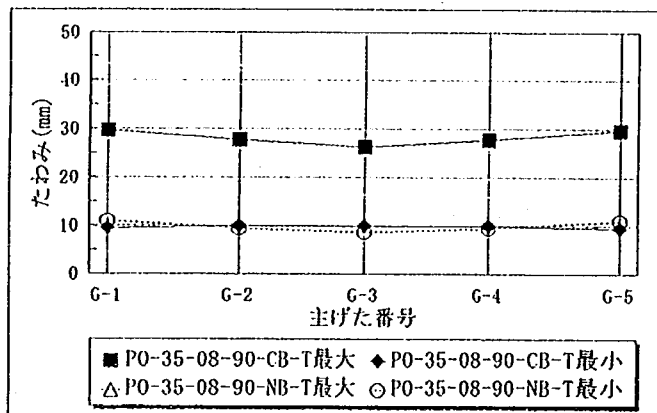
(b) 支間24m、幅員8m、斜角70°



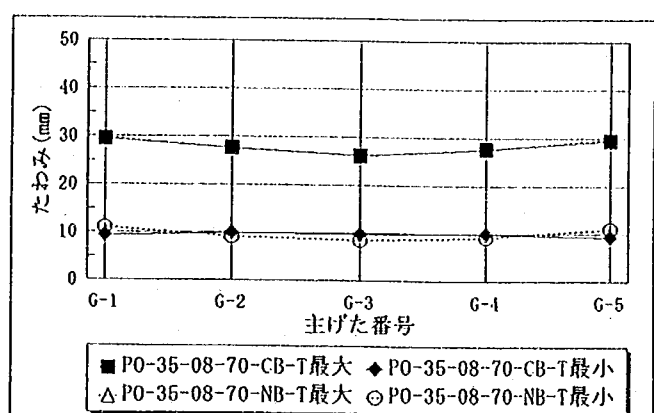
(c) 支間25m、幅員8m、斜角90°



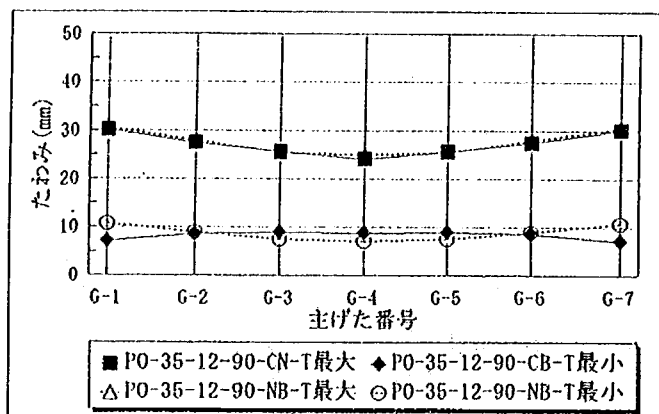
(d) 支間25m、幅員8m、斜角70°



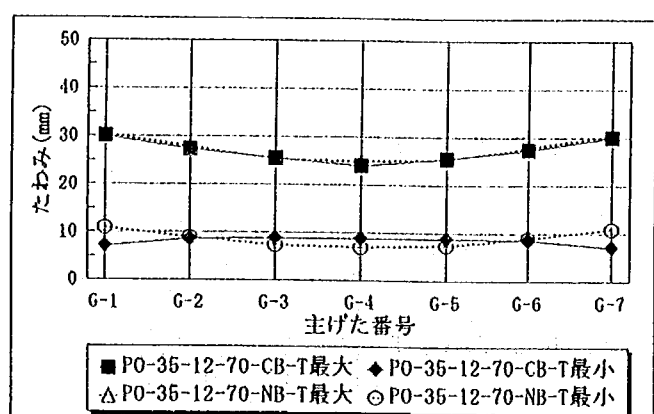
(e) 支間35m、幅員8m、斜角90°



(f) 支間35m、幅員8m、斜角70°

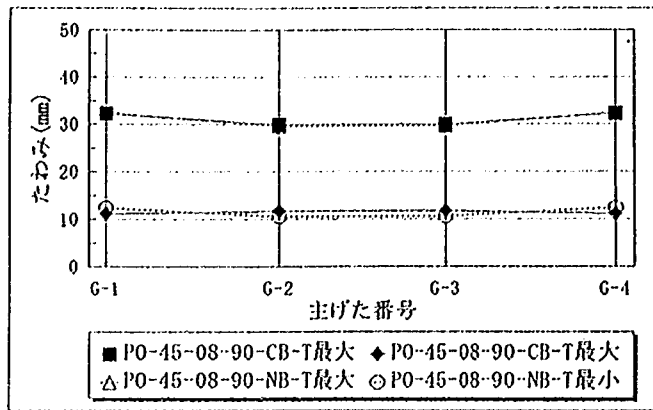


(g) 支間35m、幅員12m、斜角90°

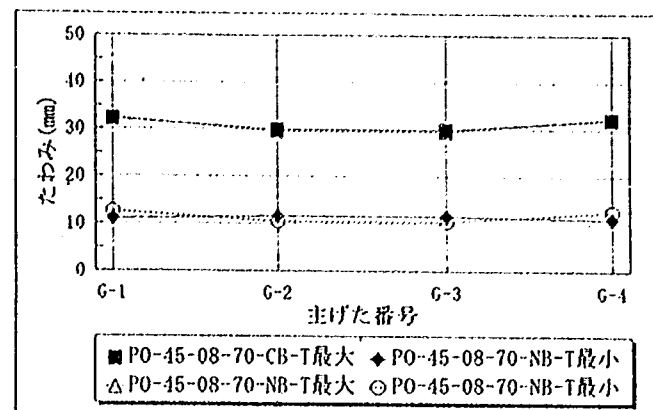


(h) 支間35m、幅員12m、斜角70°

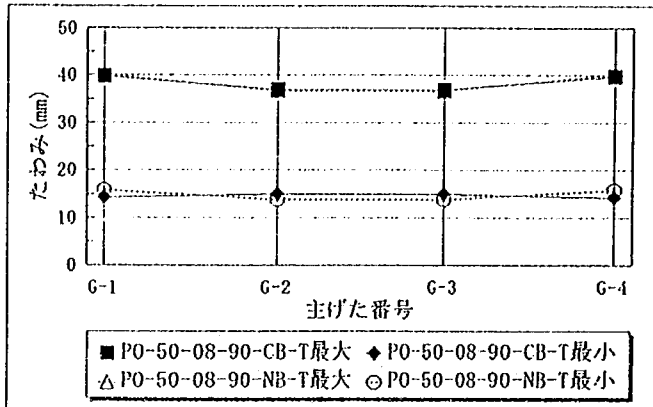
図-3.2.8(1) 主げたの最大および最小たわみ



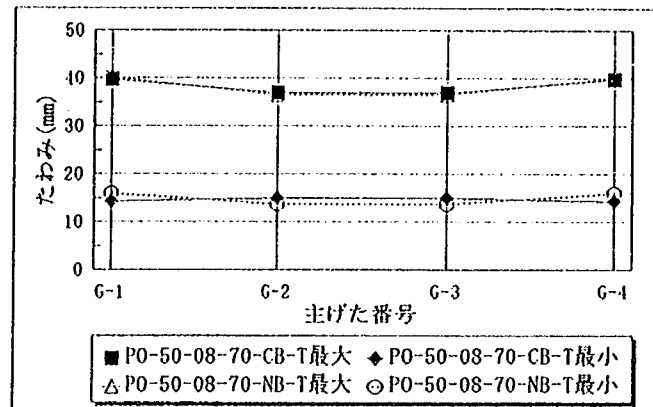
(i) 支間45m、幅員8m、斜角90°



(j) 支間45m、幅員8m、斜角70°



(k) 支間50m、幅員8m、斜角90°



(l) 支間50m、幅員8m、斜角70°

図-3.2.8(2) 主げたの最大および最小たわみ

3.2.5 床版応力度

中間横げたを減少・省略することで、荷重のほとんどは床版によって分配されることになる。床版の荷重分配に対する効果を評価するために、活荷重によって支間中央に生じる床版の応力度の比較を行った。その結果を表-3.2.9および図-3.2.9に示す。表中のT荷重による応力度は〔道示Ⅲ〕「5.5.1 床版の設計曲げモーメント」によって算出した応力度であり、解析モデルの床版の支間方向は車両進行方向に直角であること、連続版であること、床版支間は6m以下であることより、以下の式によって算出した。

支間曲げモーメント

$$M_{ec} = 0.8(0.12\ell + 0.07)P$$

支点曲げモーメント

$$M_{ei} = -(0.15\ell + 0.125)P$$

ここに、 ℓ ：T荷重に対する床版の支間（〔道示Ⅲ〕参照）

P：T荷重の片側荷重（10,000kgf）

また、L荷重による応力度は、平面格子解析によって得られた橋軸直角方向の最大および最小曲げモーメントによって算出した応力度である。なお、中間横げたを配置した場合で、支間中央に中間横げたが存在する場合は、中間横げたの応力度である。ここでの応力度は、全断面有効と考えて曲げモーメントを床版（中間横げた）の断面係数で除した値であり、横締めによるプレストレスの効果は考慮していない。

T荷重による床版の応力度は、床版支間とT荷重によって決定されることから、中間横げたの有無による違いはない。一方、L荷重による応力度は、平面格子解析より求めた値であり、中間横げたの有無によって影響を受ける。その差は、10～20kgf/cm²程度であり、中間横げたを省略することによって応力が増加している。これは、剛性の大きな中間横げたの代わりに床版が荷重を分配することによって生じた応力であり、3.2.3 主げた断面力による荷重分配効果より得られた曲げモーメントおよびせん断力に大きな違いは見られなかったことから、床版が十分に荷重を分配しているものと考えられる。

また、平面格子解析によって得られた床版応力度は、〔道示Ⅲ〕より算定された応力度より小さい値であり、〔道示Ⅲ〕に示された床版算定式によって算出した値は安全側となる。また、〔道示Ⅲ〕の式は、等方性無限単純版と等方性無限片持版を対象に示されたものであり、中間横げたの有無には関係しない算式である。したがって、中間横げたを減少・省略した場合の床版応力度の算出に対しても十分適用可能と考えられる。ただし、中間横げたを減少・省略することによって床版応力度自体は増加することから、安全率は低下することに注意する必要がある。

表-3.2.9 T荷重による床版応力度とL荷重（平面格子解析）による床版応力度

(単位:kgf/cm²)

供試体名	T荷重による応力度 (道示による算定)		L荷重による応力度 (中間横げた配置)		L荷重による応力度 (中間横げた省略)	
	支 間	支 点	最 大	最 小	最 大	最 小
PR-24-08-90-T	29.1	-54.3	7.0	-7.6	13.1	-18.4
PR-24-08-70-T	29.1	-54.3	13.1	-17.9	17.8	-29.6
P0-25-08-90-T	30.0	-52.5	11.2	-12.6	16.9	-28.9
P0-25-08-70-T	30.0	-52.5	11.9	-14.0	17.1	-28.4
P0-35-08-90-T	30.0	-52.5	6.6	-7.3	13.3	-30.4
P0-35-08-70-T	30.0	-52.5	6.7	-7.3	13.6	-30.1
P0-35-12-90-T	30.7	-53.6	6.4	-7.4	24.0	-32.2
P0-35-12-70-T	30.7	-53.6	6.5	-6.8	23.9	-30.9
P0-45-08-90-T	37.3	-64.0	5.6	-5.8	11.9	-28.4
P0-45-08-70-T	37.3	-64.0	6.1	-6.1	13.0	-28.5
P0-50-08-90-T	37.3	-64.0	4.9	-4.9	11.4	-29.9
P0-50-08-70-T	37.3	-64.0	5.4	-5.1	12.5	-30.2

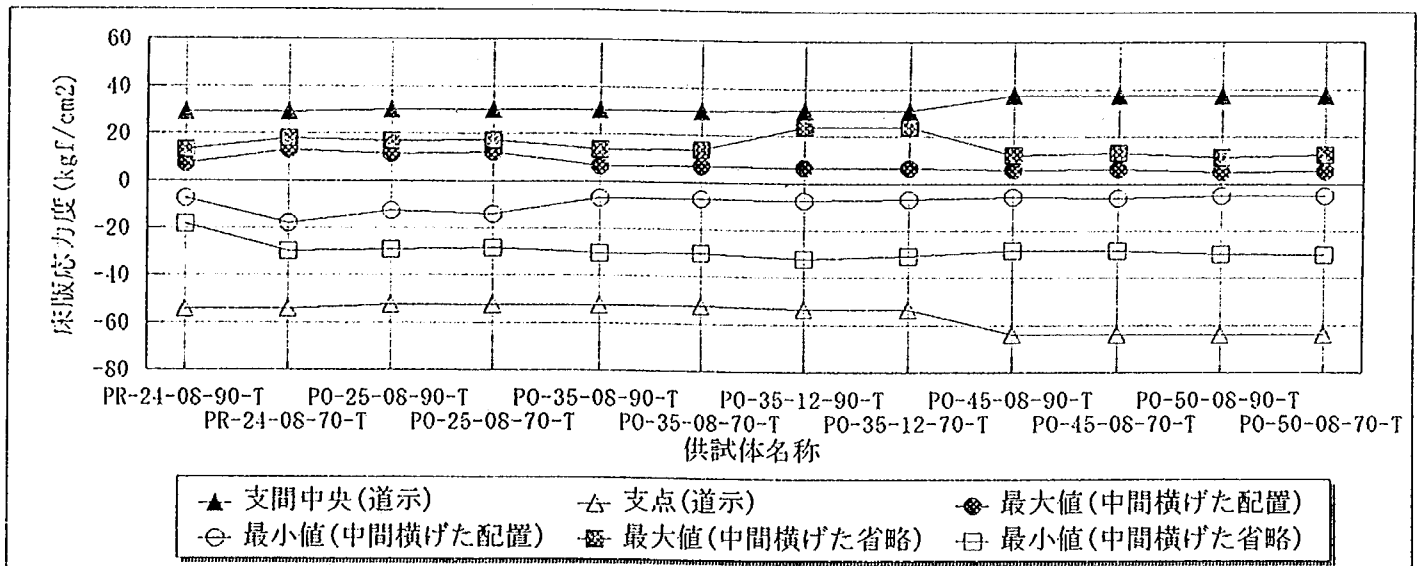


図-3.2.9 中間横げたの有無が床版応力度に及ぼす影響

3.2.6 ねじり剛性の影響

現行の設計法では、斜角が 70° 以上の場合は、主げたおよび横げたのねじり剛性を無視して設計してもよいこととなっている。しかし、中間横げたを省略した場合は、横方向の剛性が低下することによりねじりの影響が大きくなることが予想される。これより、中間横げたを省略した場合に、ねじり剛性が荷重分配性能に及ぼす影響を明らかにする必要がある。

表-3.2.10～表-3.2.11および図-3.2.10～図-3.2.11にねじり剛性を考慮した場合と無視した場合の曲げモーメントとせん断力の比較を示す。

最大曲げモーメントおよび最大せん断力に関しては、ねじり剛性を無視すると断面力が増加する傾向が見られる。これは、ねじり剛性を無視することによってねじりモーメントが発生しないこととなるため、曲げモーメントとせん断力の値が大きくなったと考えられる。したがって、曲げモーメントおよびせん断力については、ねじり剛性を無視することによって安全側の設計となっていることがわかる。一方、ねじり剛性を考慮することによって最大曲げモーメントおよび最大せん断力は若干小さくなるものの、主げたのPC鋼材量に変更がなく、ねじりモーメントに対する軸方向鉄筋および横方向鉄筋を配置するならば、じん性が向上することによって破壊に対する潜在的な安全性は増大しているものと考えられる。

ねじり剛性の影響は、曲げモーメントおよびせん断力に対して1割程度の差違はあるものの、重大な影響となるほどの違いとは考えられない。また、反力およびたわみについても同様の検討を行ったが、ほとんど違いは見られなかった。

つぎに、ねじり剛性が床版の応力度に及ぼす影響について検討する。ねじり剛性を考慮した場合と無視した場合に、〔道示Ⅲ〕に規定されたT荷重による設計曲げモーメント式による応力度と平面格子解析より得られたL荷重による床版の応力度を表-3.2.12および図-3.2.12にそれぞれ示す。

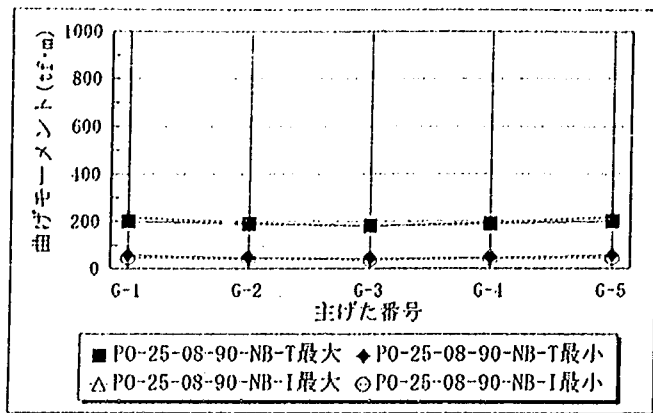
T荷重による設計曲げモーメント式は床版支間とT荷重の関数であるため、表-3.2.12中のT荷重による応力度に関してねじり剛性考慮、無視の影響は全くないが、L荷重による応力度は、ねじり剛性を無視することによって増加しており、その値は 10kgf/cm^2 程度となった。このため、床版の設計における曲げモーメントの照査はねじり剛性を無視することによって、主げたと同様に安全側の設計となることとなる。しかし、床版の設計はT荷重によって行うのが一般的であり、本解析結果ではすべての値が〔道示Ⅲ〕による応力度より小さくなった。したがって、従来の床版の設計法が適用できる可能性が示された。

表-3.2.10 ねじり剛性が曲げモーメントに及ぼす影響

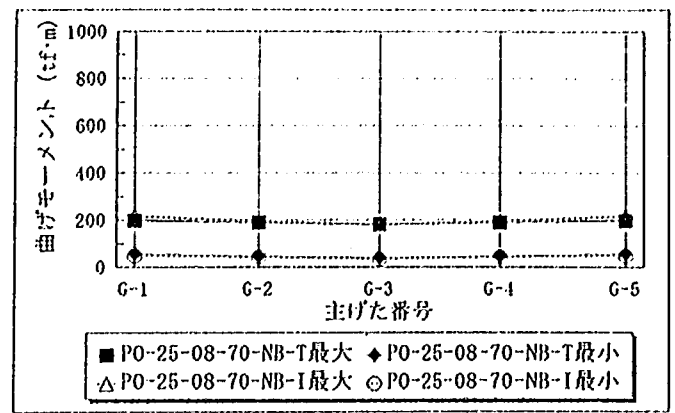
モデル名	主げた 番 号	最大値 (tf・m)	最小値 (tf・m)	モデル名	主げた 番 号	最大値 (tf・m)	最小値 (tf・m)
PO-25-08-90-NB-T	G-1	199.796	56.201	PO-25-08-90-NB-I	G-1	217.482	46.740
	G-2	189.643	46.986		G-2	194.937	42.597
	G-3	180.260	42.199		G-3	181.850	36.758
	G-4	189.643	46.986		G-4	194.937	42.597
	G-5	199.796	56.201		G-5	217.482	46.740
PO-25-08-70-NB-T	G-1	198.911	56.945	PO-25-08-70-NB-I	G-1	217.275	49.269
	G-2	188.981	46.520		G-2	195.053	41.512
	G-3	179.519	41.152		G-3	182.357	34.901
	G-4	188.981	46.520		G-4	195.053	41.512
	G-5	198.911	56.945		G-5	217.275	49.269
PO-35-08-90-NB-T	G-1	339.713	106.406	PO-35-08-90-NB-I	G-1	371.700	85.771
	G-2	322.310	94.004		G-2	331.130	89.189
	G-3	306.556	87.333		G-3	307.053	81.191
	G-4	322.310	94.004		G-4	331.129	89.189
	G-5	339.713	106.406		G-5	371.700	85.771
PO-35-08-70-NB-T	G-1	339.193	107.818	PO-35-08-70-NB-I	G-1	371.845	89.628
	G-2	321.773	93.351		G-2	331.043	87.592
	G-3	305.638	85.655		G-3	307.108	78.214
	G-4	321.773	93.351		G-4	331.043	87.592
	G-5	339.193	107.818		G-5	371.846	89.628
PO-50-08-90-NB-T	G-1	756.418	260.863	PO-50-08-90-NB-I	G-1	811.715	221.651
	G-2	704.697	235.420		G-2	713.010	229.590
	G-3	704.697	235.420		G-3	713.010	229.590
	G-4	756.418	260.863		G-4	811.715	221.650
PO-50-08-70-NB-T	G-1	756.373	263.698	PO-50-08-70-NB-I	G-1	812.336	227.700
	G-2	703.528	232.733		G-2	711.611	225.224
	G-3	703.528	232.733		G-3	711.611	225.224
	G-4	756.373	263.698		G-4	812.336	227.700

表-3.2.11 ねじり剛性がせん断力に及ぼす影響

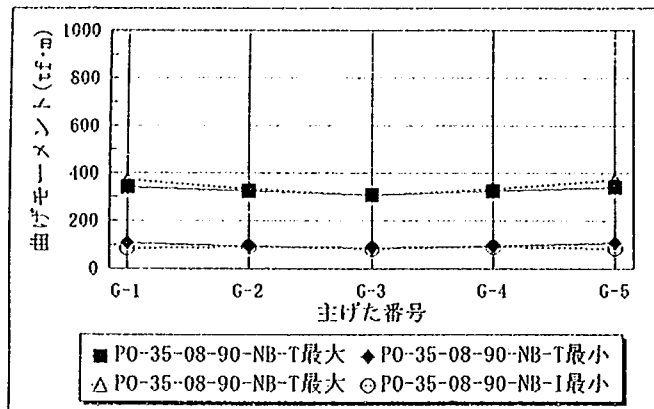
モデル名	主げた 番 号	最大値 (tf)	最小値 (tf)	モデル名	主げた 番 号	最大値 (tf)	最小値 (tf)
PO-25-08-90-NB-T	G-1	34.720	10.313	PO-25-08-90-NB-I	G-1	36.523	8.984
	G-2	33.901	6.421		G-2	34.604	5.770
	G-3	33.662	6.283		G-3	34.069	5.552
	G-4	33.901	6.421		G-4	34.604	5.770
	G-5	34.720	10.313		G-5	36.523	8.984
PO-25-08-70-NB-T	G-1	35.256	10.654	PO-25-08-70-NB-I	G-1	36.516	9.315
	G-2	33.865	6.368		G-2	34.605	5.628
	G-3	33.706	6.197		G-3	34.098	5.330
	G-4	33.981	6.352		G-4	34.605	5.628
	G-5	34.182	10.242		G-5	36.515	9.315
PO-35-08-90-NB-T	G-1	41.874	14.251	PO-35-08-90-NB-I	G-1	43.992	12.304
	G-2	40.637	9.043		G-2	41.332	8.489
	G-3	40.588	9.160		G-3	40.838	8.567
	G-4	40.637	9.043		G-4	41.332	8.489
	G-5	41.874	14.251		G-5	43.992	12.304
PO-35-08-70-NB-T	G-1	42.327	14.616	PO-35-08-70-NB-I	G-1	44.029	12.660
	G-2	40.636	9.003		G-2	41.306	8.343
	G-3	40.592	9.053		G-3	40.792	8.325
	G-4	40.648	8.947		G-4	41.306	8.343
	G-5	41.465	14.207		G-5	44.029	12.660
PO-50-08-90-NB-T	G-1	64.352	23.310	PO-50-08-90-NB-I	G-1	66.922	20.769
	G-2	62.451	16.321		G-2	62.957	15.714
	G-3	62.451	16.321		G-3	62.957	15.714
	G-4	64.352	23.310		G-4	66.922	20.769
PO-50-08-70-NB-T	G-1	64.830	23.760	PO-50-08-70-NB-I	G-1	66.989	21.167
	G-2	62.398	16.163		G-2	62.874	15.420
	G-3	62.452	16.133		G-3	62.874	15.420
	G-4	63.968	23.311		G-4	66.989	21.167



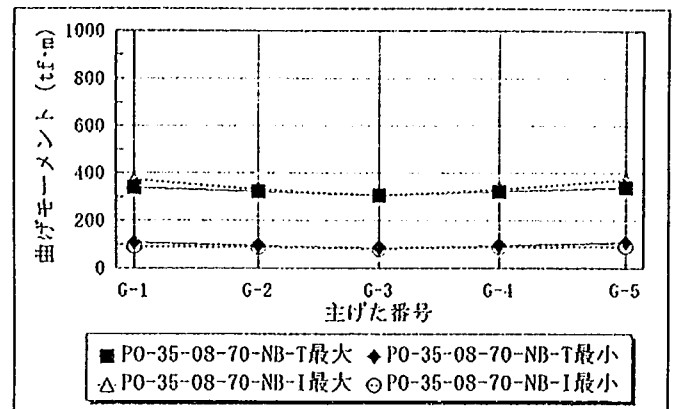
(a) 支間25m、幅員8m、斜角90°



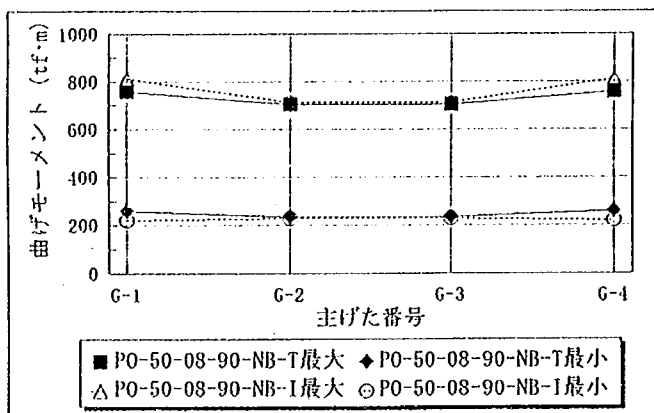
(b) 支間25m、幅員8m、斜角70°



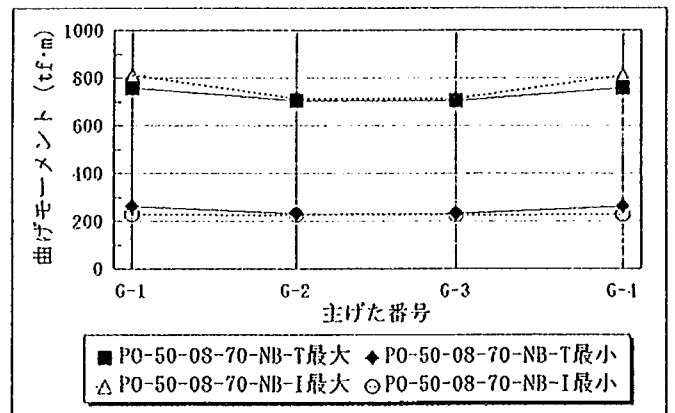
(c) 支間35m、幅員8m、斜角90°



(d) 支間35m、幅員8m、斜角70°

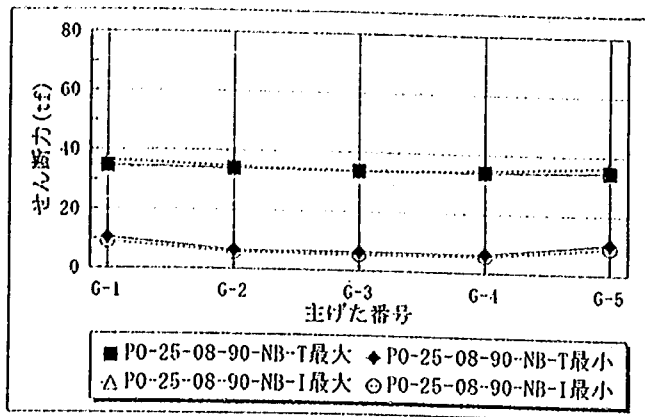


(e) 支間50m、幅員8m、斜角90°

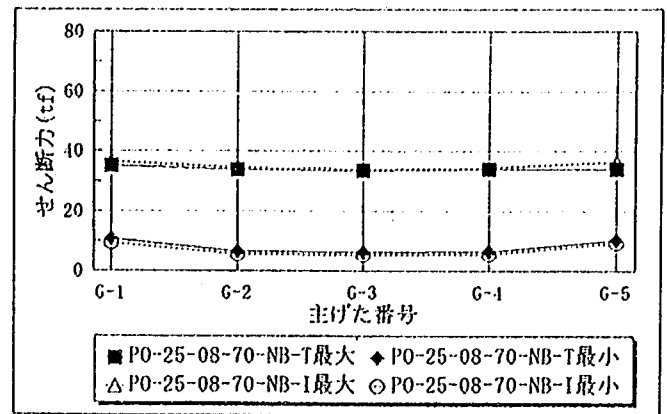


(f) 支間50m、幅員8m、斜角70°

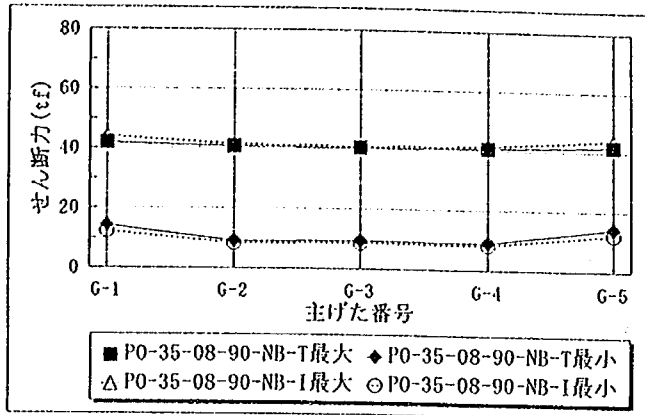
図-3.2.10 ねじり剛性が曲げモーメントに及ぼす影響



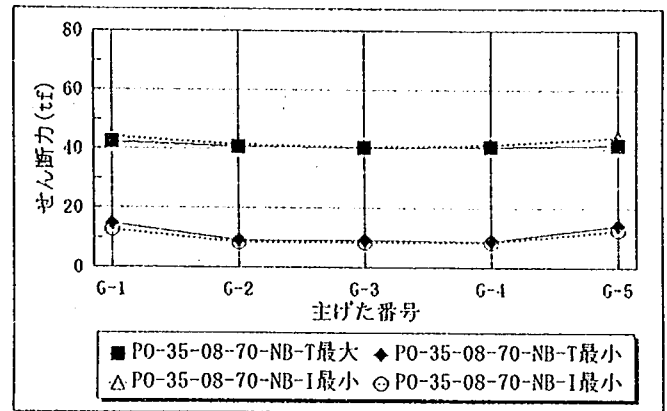
(a) 支間25m、幅員8m、斜角90°



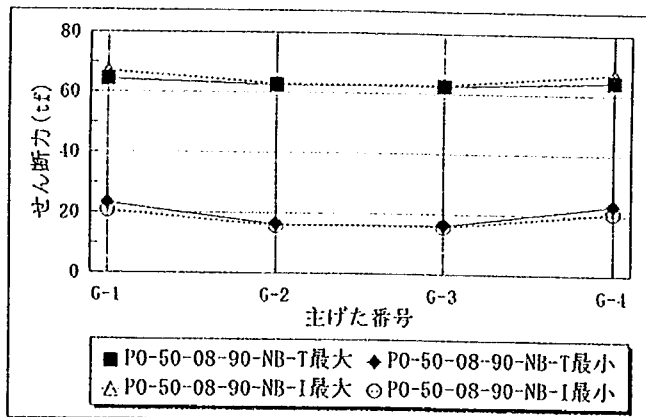
(b) 支間25m、幅員8m、斜角70°



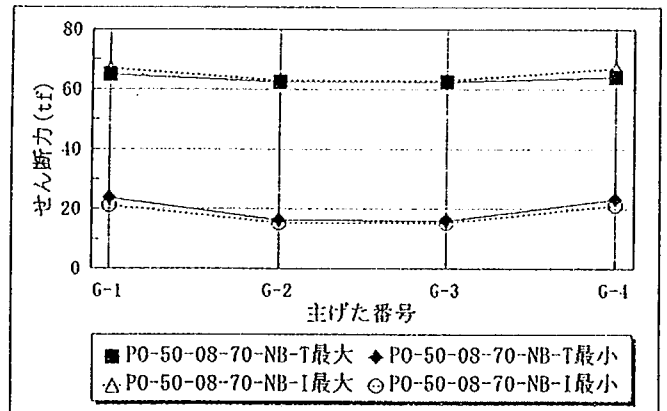
(c) 支間35m、幅員8m、斜角90°



(d) 支間35m、幅員8m、斜角70°



(e) 支間50m、幅員8m、斜角90°



(f) 支間50m、幅員8m、斜角70°

図-3.2.11 ねじり剛性がせん断力に及ぼす影響

表-3.2.12 ねじり剛性が床版応力度に及ぼす影響

供試体名	T荷重による応力度		L荷重による応力度	
	支 間	支 点	最 大	最 小
PO-25-08-90-NB-T	30.0	-52.5	16.9	-28.9
PO-25-08-90-NB-I	30.0	-52.5	20.0	-39.0
PO-25-08-70-NB-T	30.0	-52.5	17.1	-28.4
PO-25-08-70-NB-I	30.0	-52.5	20.2	-38.7
PO-35-08-90-NB-T	30.0	-52.5	13.3	-30.4
PO-35-08-90-NB-I	30.0	-52.5	15.0	-40.0
PO-35-08-70-NB-T	30.0	-52.5	13.6	-30.1
PO-35-08-70-NB-I	30.0	-52.5	15.4	-40.5
PO-50-08-90-NB-T	37.3	-64.0	11.4	-29.9
PO-50-08-90-NB-I	37.3	-64.0	9.3	-34.8
PO-50-08-70-NB-T	37.3	-64.0	12.5	-30.2
PO-50-08-70-NB-I	37.3	-64.0	8.0	-35.8

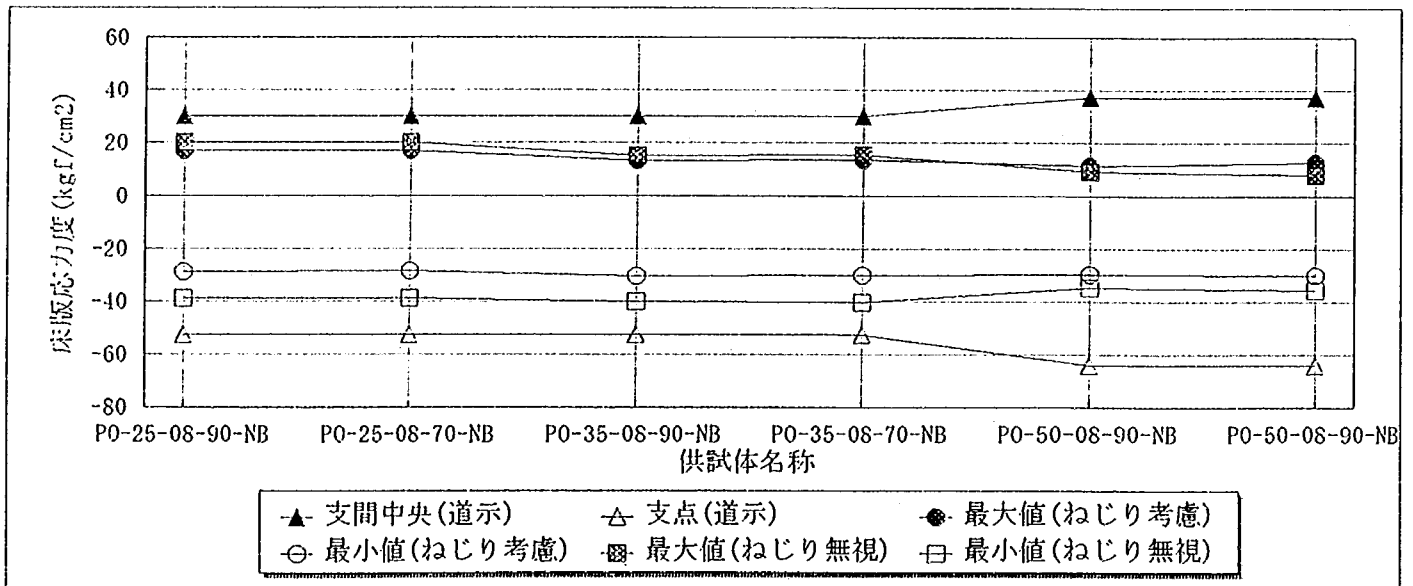


図-3.2.12 ねじり剛性が床版応力度に及ぼす影響

3.2.7 影響線

中間横げたの荷重分配性能を明らかにするために、主げたの曲げモーメントに着目しその影響線について検討を加える。P0-35-08-90-CB-TとP0-35-08-90-NB-TおよびP0-35-08-90-CB-IとP0-35-08-90-NB-Iの各主げたに着目した影響線を図-3.2.13に示す。影響線は、ねじり剛性を考慮した方が中間横げたの有無による影響が少ないことがわかる。しかし、ねじり剛性に関わらず中間横げたの有無による差は小さく、曲げモーメントの分配には中間横げたの関与が比較的小さいことがわかる。

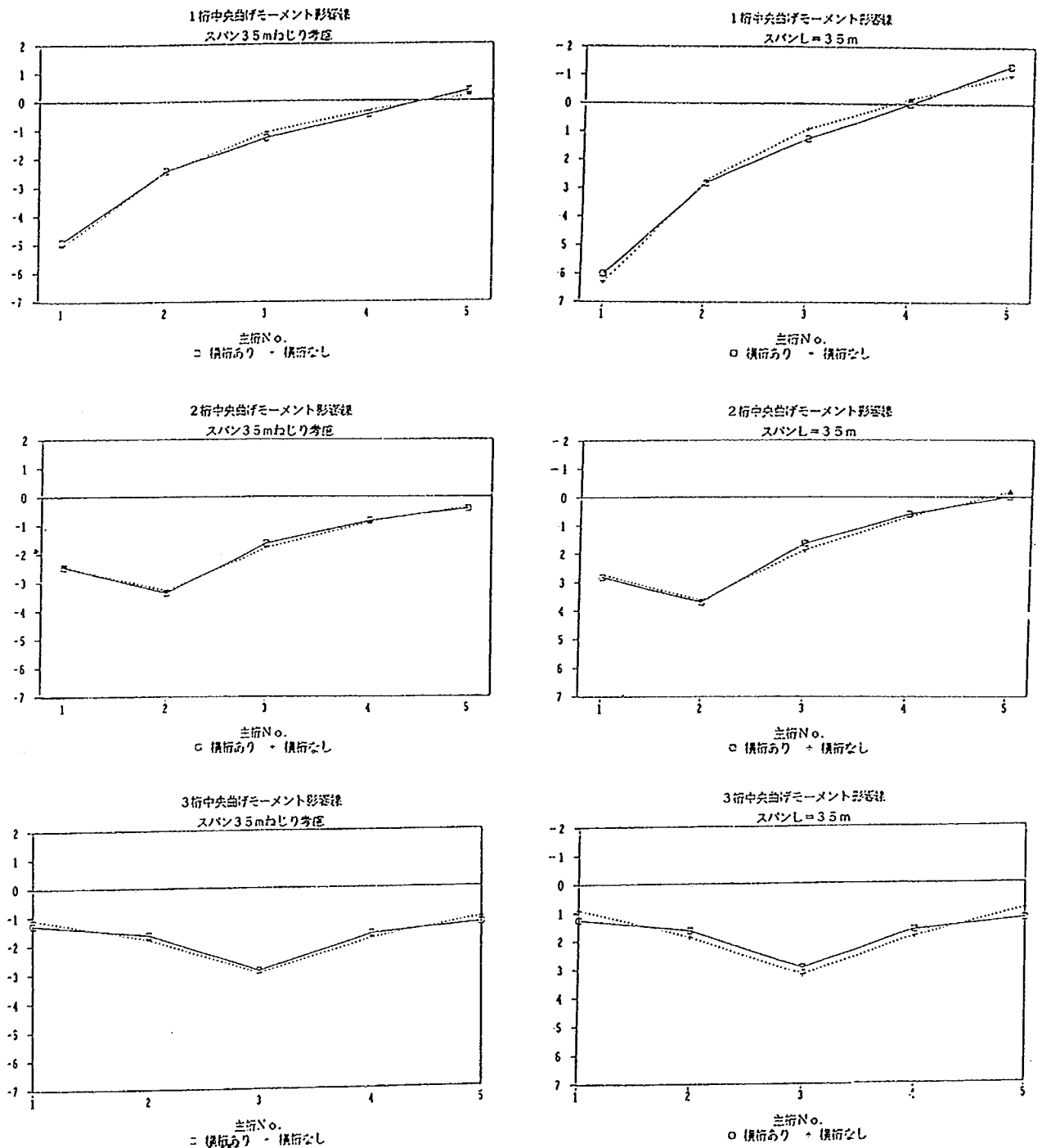


図-3.2.13 曲げモーメントの影響線

3. 3 立体FEM解析

3.3.1 T荷重載荷モデル

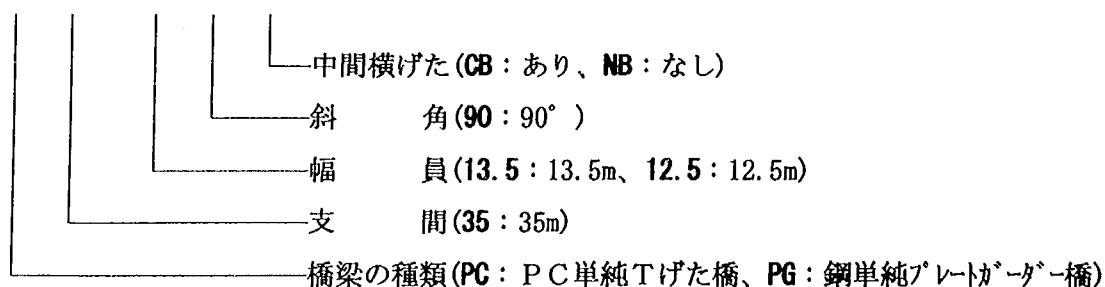
中間横げたの有無によるT荷重分配への影響を把握するため、図-3.3.1および図-3.3.2に示すような3次元シェル要素でモデル化した立体FEM解析を行う。検討モデルは、支間35m、幅員13.5mのPC単純Tげた橋であり、支間中央にT荷重を載荷したときに中間横げたの効果が最大となるように、支間中央に1本の中間横げたを配置する。また、鋼橋における床版と比較する目的で鋼単純プレートガーダー橋についても解析を行う。解析は、建設省標準設計（平成6年4月）において、等支間で幅員がほぼ等しいプレートガーダー橋とし、図-3.3.2(c)に示すようにウェブを板、上床版をシェル要素に分割し、上床版およびウェブは剛結されているとして立体FEM解析を行う。プレートガーダー橋については、中間横げたを有するものとした。解析モデルの一覧を表-3.3.1に示す。

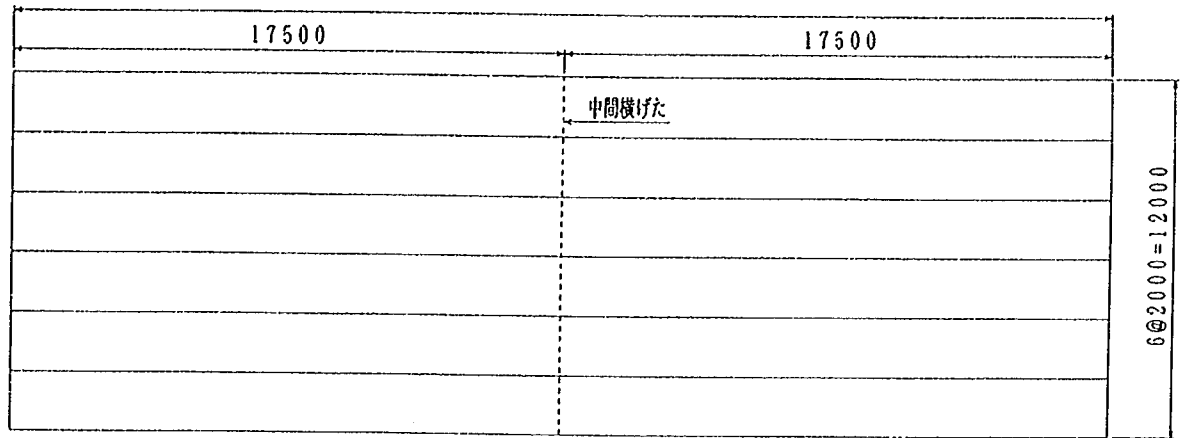
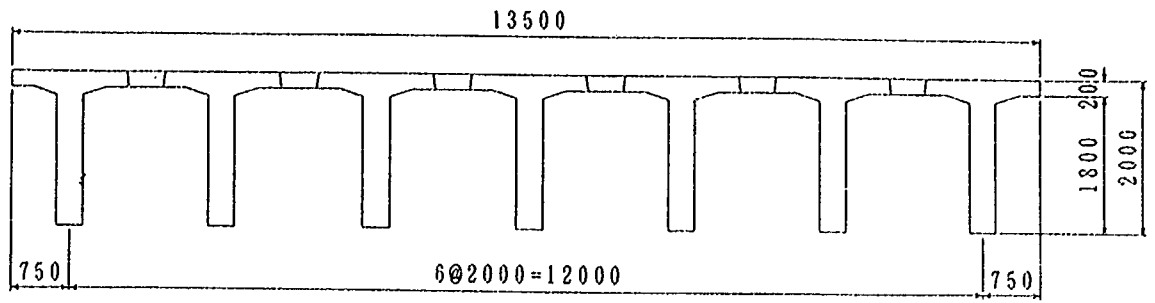
表-3.3.1 立体FEM解析モデル一覧

番号	供試体名	支 間	幅 員	斜 角	中間横げた	備 考
1	PC-35-13.5-90-CB	35m	13.5m	90°	有	中間横げたの影響
2	PC-35-13.5-90-NB				無	
3	PG-35-12.5-90-CB		12.5m		有	鋼橋との比較

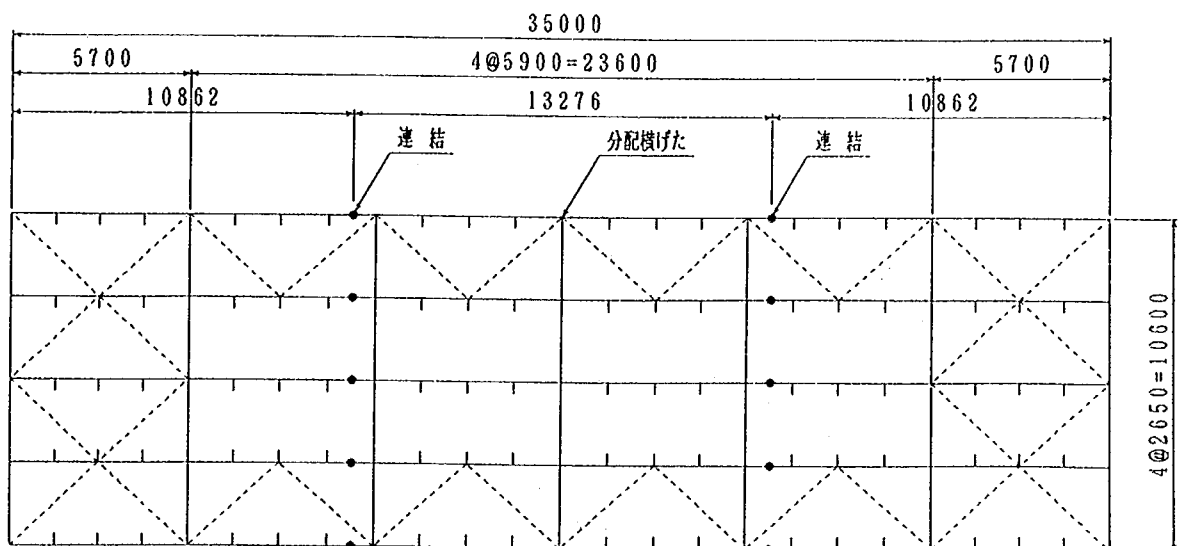
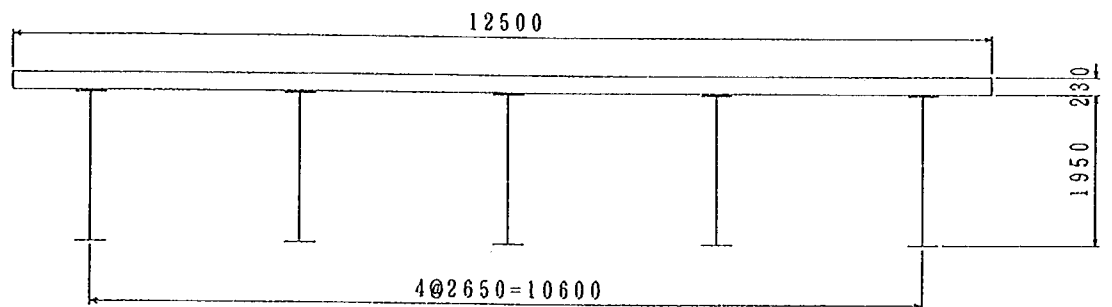
注) モデル名の記号は以下を示す。

PC-35-13.5-90-CB



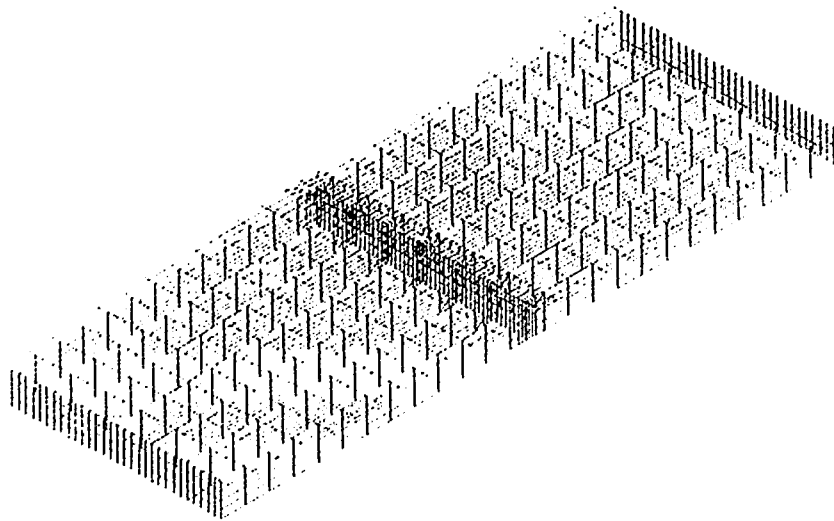


(a) プレストレストコンクリート単純Tげた橋

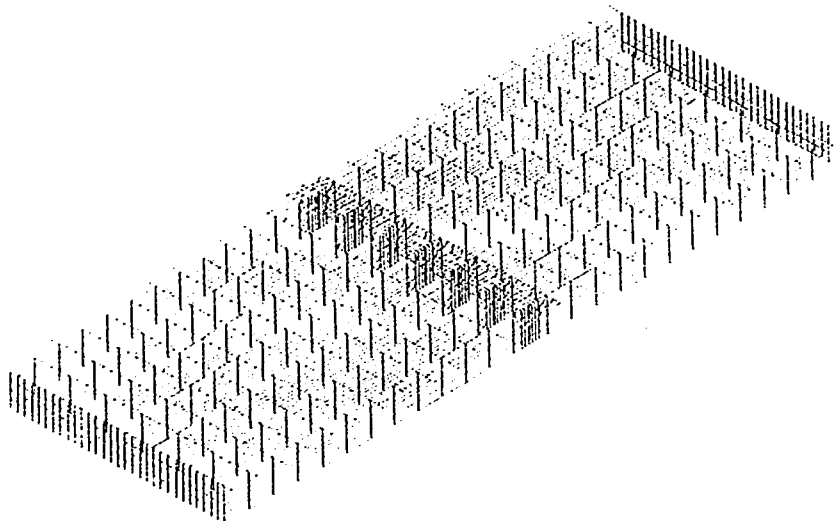


(b) 鋼単純プレートガーダー橋

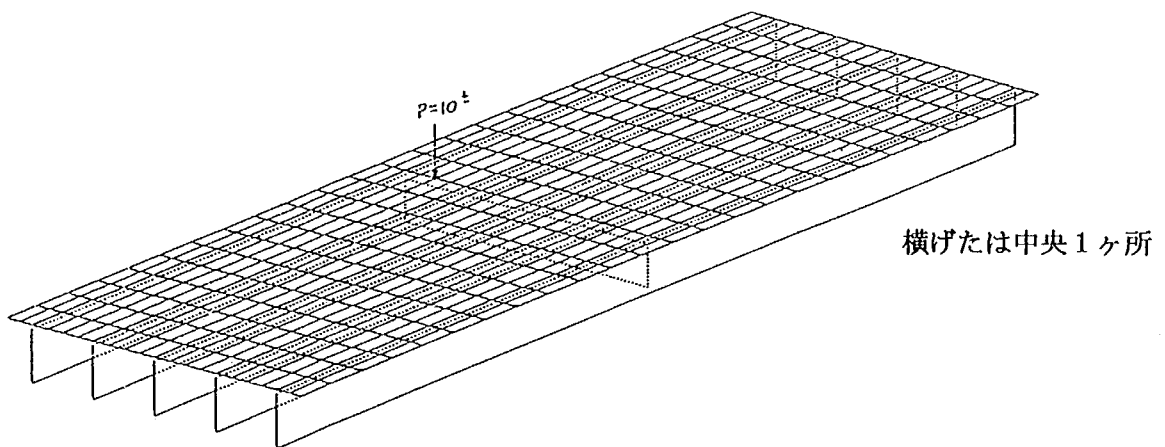
図-3.3.1 立体FEM解析モデルの構成



(a) PC単純Tげた橋（中間横げた配置）



(b) PC単純Tげた橋（中間横げた省略）



(c) 鋼単純プレートガーダー橋

図-3.3.2 立体FEMモデルのシェル要素

3.3.2 主げた断面力

中間横げたの有無が橋梁に及ぼす影響を把握するために、P C単純Tげた橋を3次元シェル要素でモデル化し、立体FEM解析を行った。載荷する荷重は図-3.3.3に示すようなT荷重とし、支間中央に3ケース載荷するものとした。T荷重の載荷位置を図-3.3.4に示す。

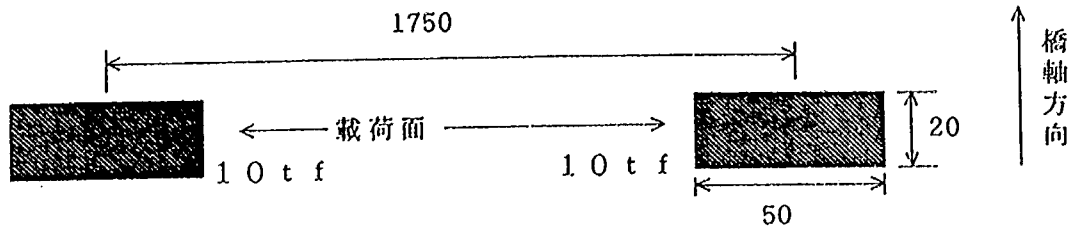


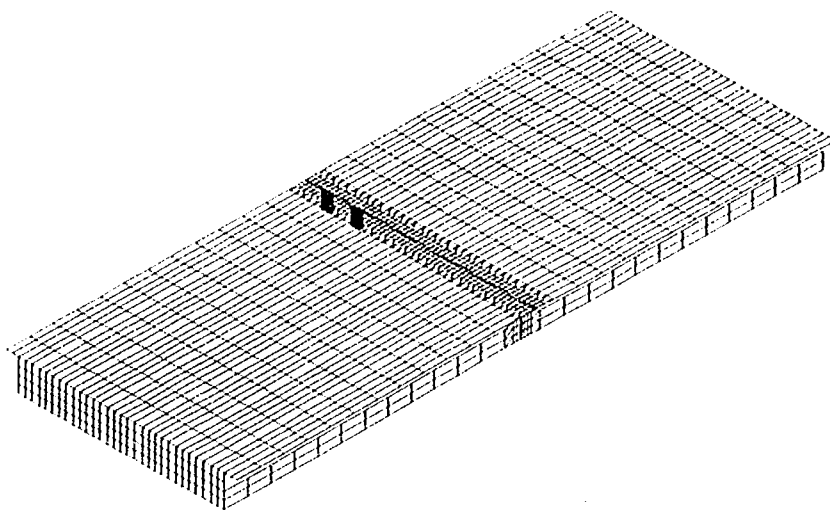
図-3.3.3 載荷したT荷重

各荷重ケースによって生じる主応力度の分布を図-3.3.5～図-3.3.10に示す。床版に生じる主応力は、中間横げたを省略した場合には、載荷点付近に応力が集中するのに対して、中間横げたを配置した場合には省略した場合より均等な主応力分布となっている。これは、解析に使用した橋梁は、中間横げたが支間中央、すなわち載荷点直下にあることから中間横げたの影響が最も顕著となったことが原因と考えられる。

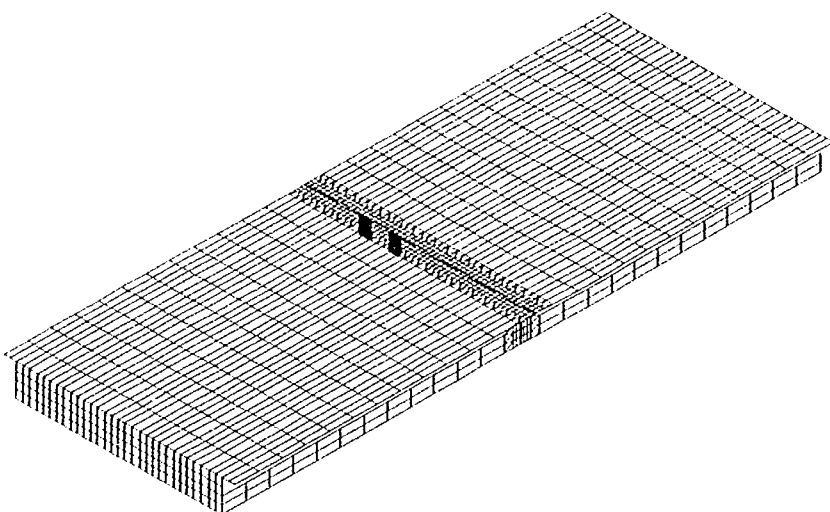
また、ウェブに生じる主応力の比較のため、荷重ケース-1では中間横げたを配置した場合、主げた4本に荷重の分配が見られるのに対し、中間横げたを省略することによって3本までしか荷重が分配されていない。荷重ケース-1は、本解析で検討した載荷ケースの中で、主げたに最大の主応力を生じさせる載荷位置であり、その差は 2kgf/cm^2 程度となる。しかし、主げたに発生する最大応力度は通常L荷重載荷の場合であり、この結果が直接最大応力度の増加とはならず、平面格子解析による3.2.3の結果からも大幅な応力の上昇はないと考えられる。また、荷重ケース-3の場合を比較すると、中間横げたを配置した場合は全主げたに荷重の影響が及んでいるのに対し、中間横げたを省略した場合には、耳げたにはほとんど影響が及んでいない。これより、中間横げたを省略することによって荷重分配性能は低下し、床版に生じる応力も増加するが、最大の応力が生じる主げたの応力差は小さく、床版によって荷重が十分伝達されているものと考えられる。

横げたに生じる主応力を比較した場合、中間横げたを配置した場合は、中間横げたに応力が集中して端横げたにはほとんど応力が生じないのに対して、中間横げたを省略した場合には、端横げたにも応力が生じていることがわかる。これより、中間横げたを省略した場合は、端横げたが横方向の剛性向上に寄与することが考えられ、代替措置としてプレストレスによる応力改善や床版増厚の必要性が生じる可能性がある。

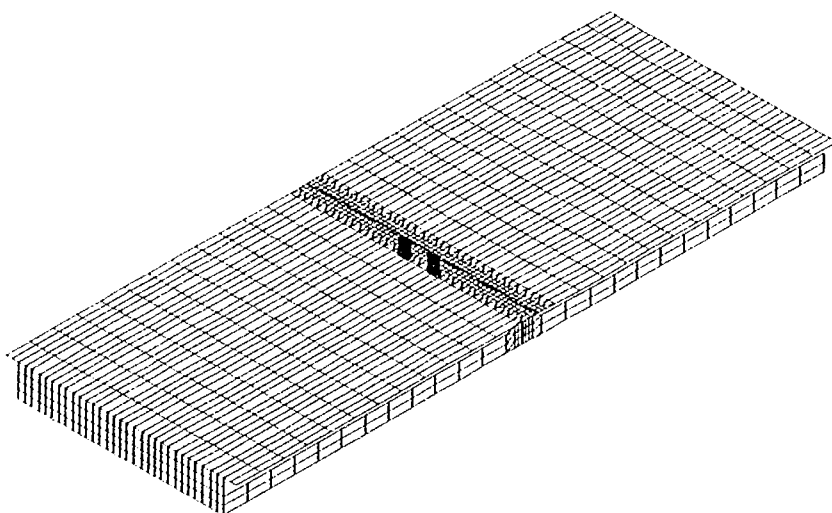
つぎに、床版のたわみについて検討する。中間横げたを省略することによって床版の応力度が増加することから、たわみも大きくなるものと考えられる。そこで、各荷重ケースに対する床版のたわみを図-3.3.11および図-3.3.12に示す。中間横げたを省略することによる荷重分配性能の低下から、床版のたわみは載荷点付近で部分的に大きくなる傾向が認められるものの、最大たわみにはそれほど差は認められなかった。したがって、中間横げたの省略によって最大たわみにはあまり差が生じず、主げた間のたわみ差によって床版の応力が増加しているものと考えられる。



(a) 荷重ケース-1

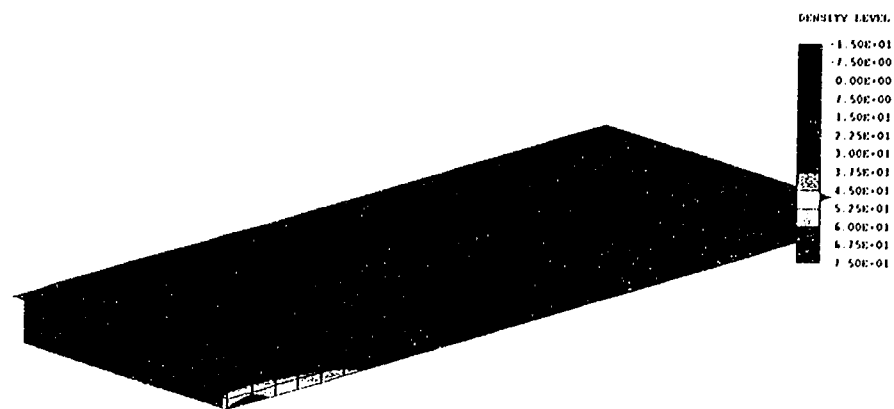


(b) 荷重ケース-2

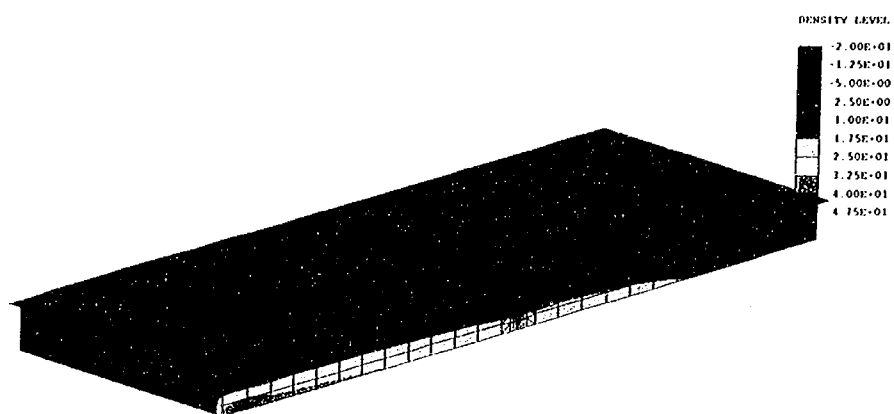


(c) 荷重ケース-3

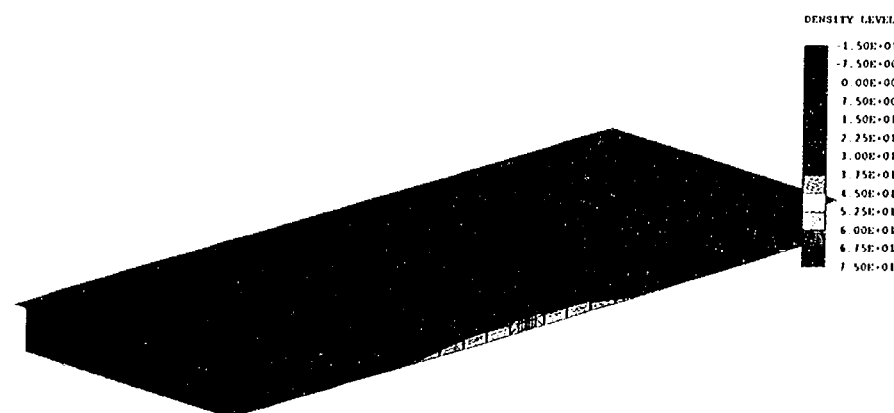
図-3.3.4 T荷重載荷位置



(a) 荷重ケース-1

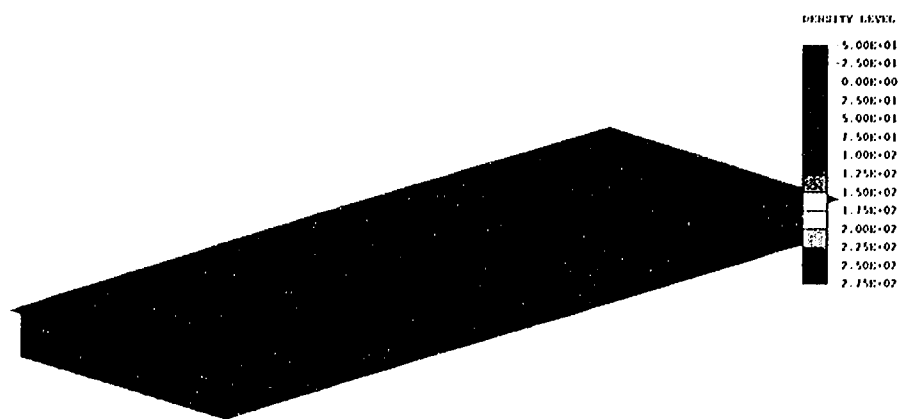


(b) 荷重ケース-2

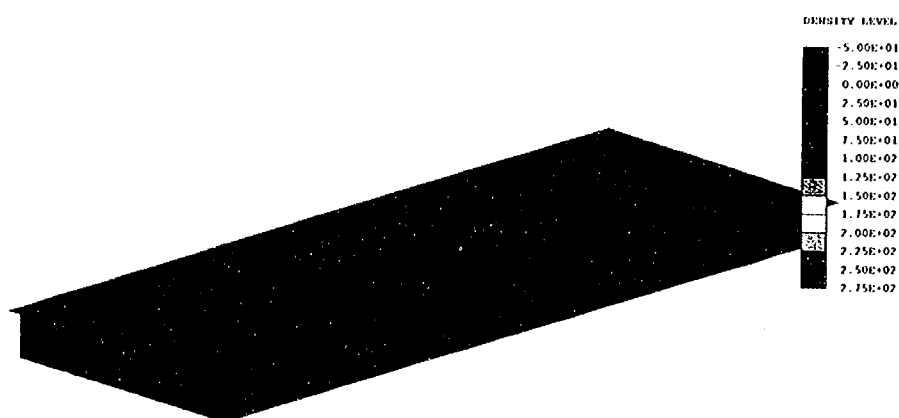


(c) 荷重ケース-3

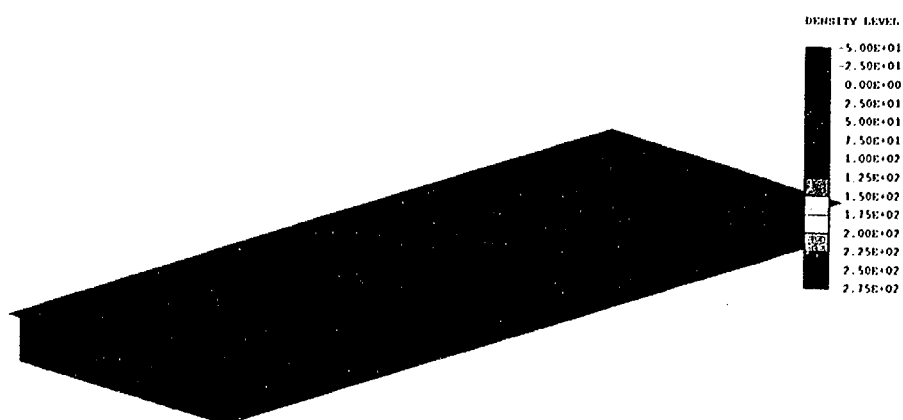
図-3.3.5 PC-35-13.5-90-CB床版主応力度



(a) 荷重ケース-1

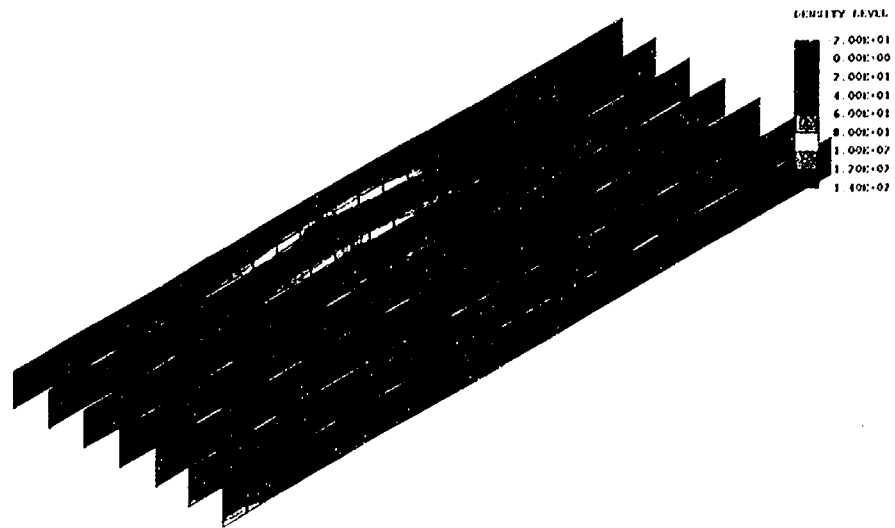


(b) 荷重ケース-2

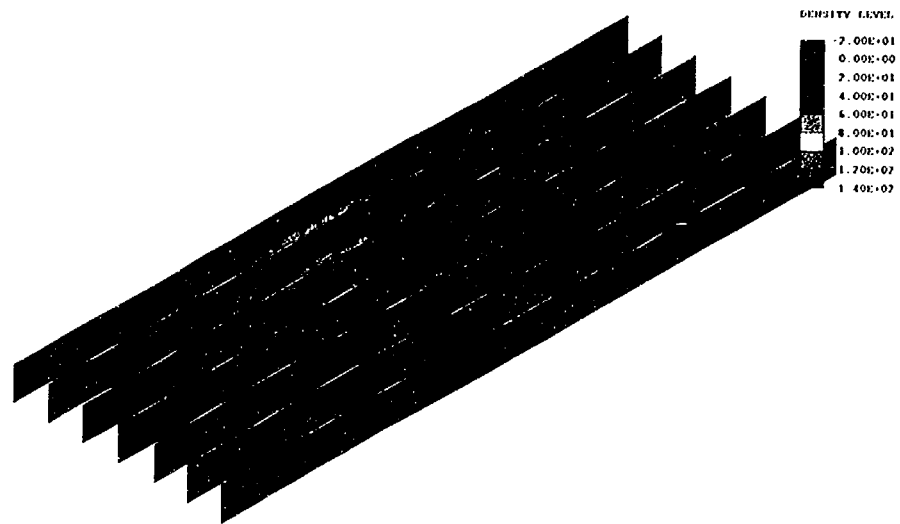


(c) 荷重ケース-3

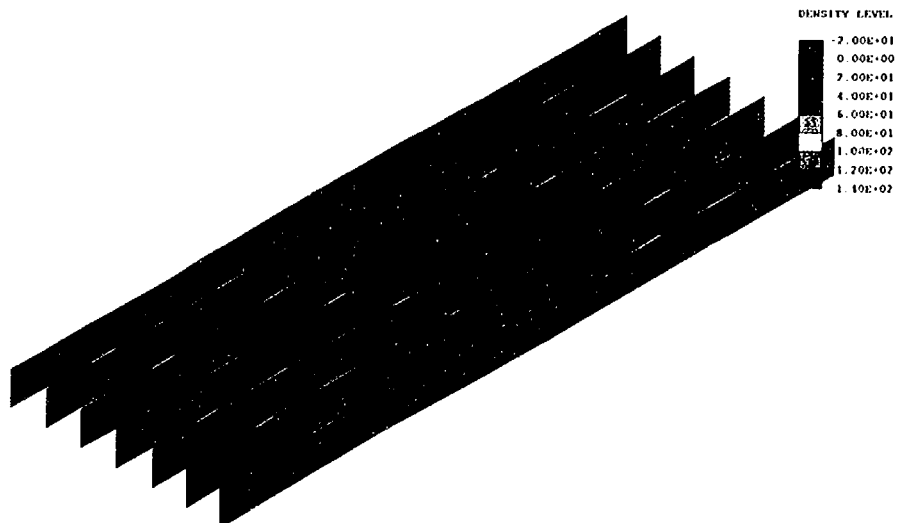
図-3.3.6 PC-35-13.5-90-NB床版主応力度



(a) 荷重ケース-1

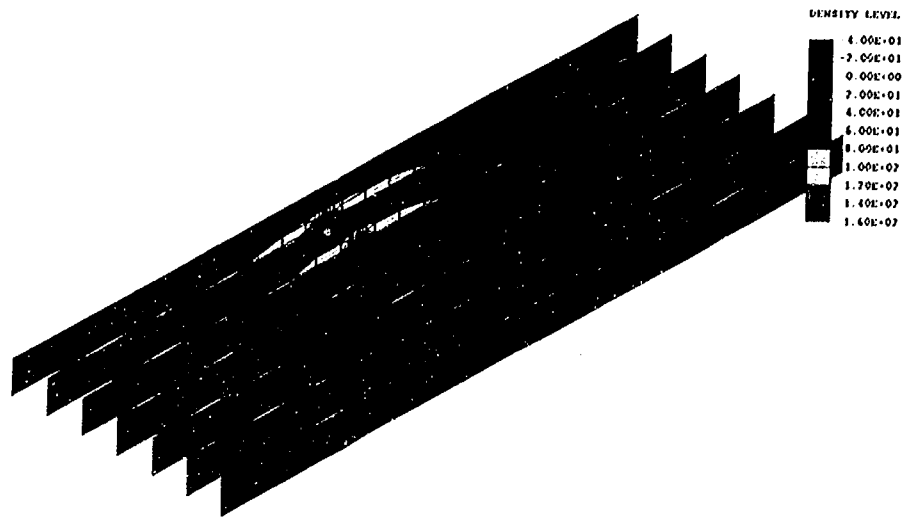


(b) 荷重ケース-2

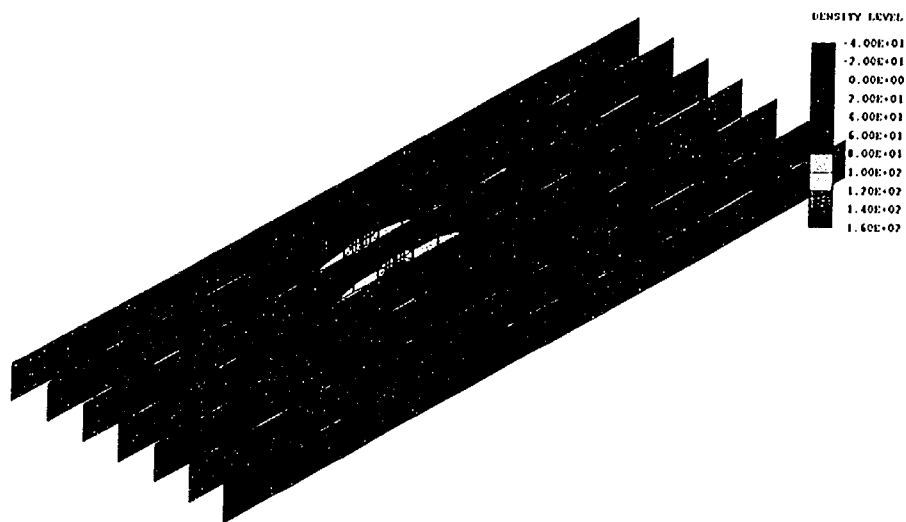


(c) 荷重ケース-3

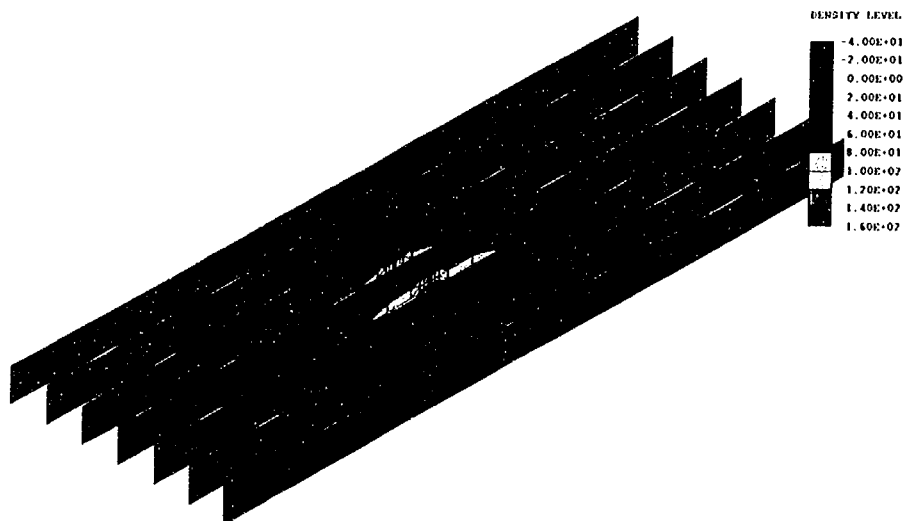
図-3.3.7 PC-35-13.5-90-CBウェブ主応力度



(a) 荷重ケース-1

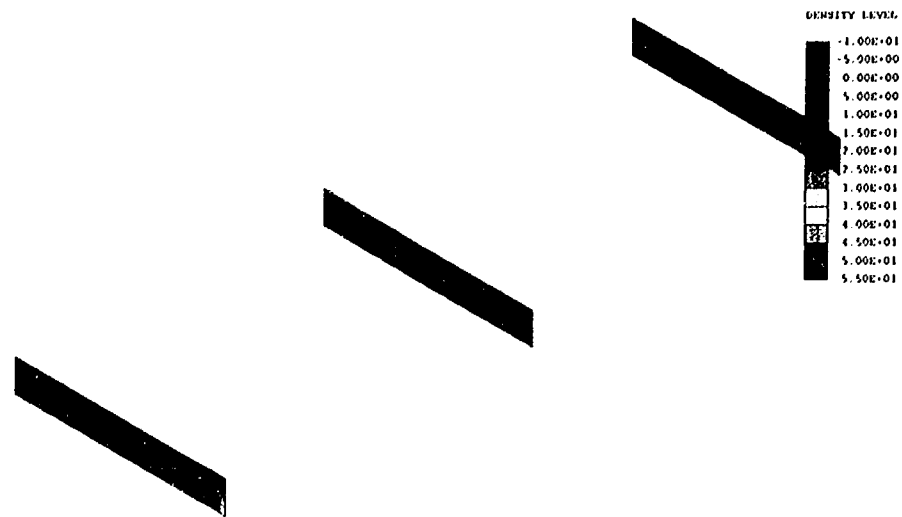


(b) 荷重ケース-2

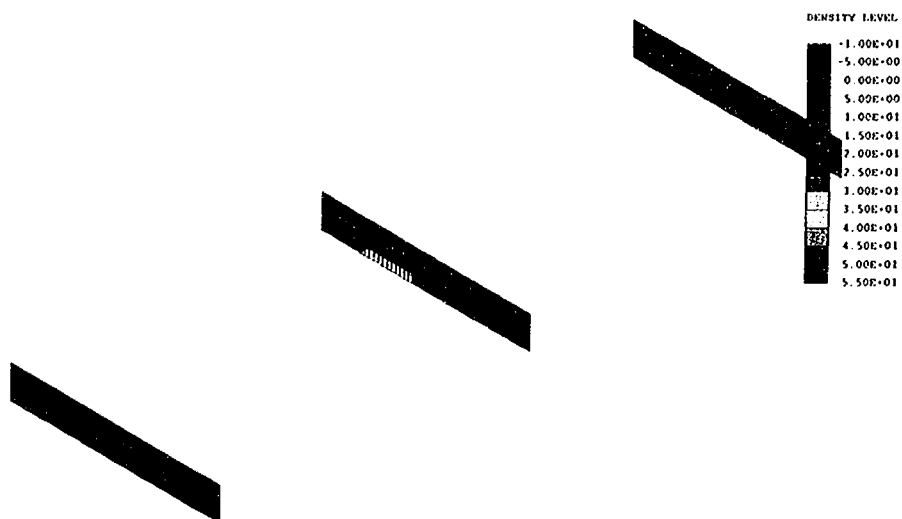


(c) 荷重ケース-3

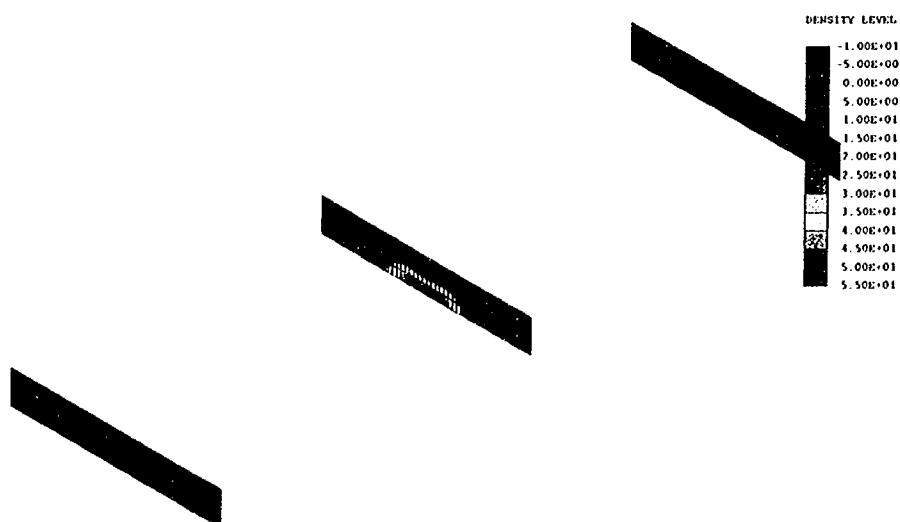
図-3.3.8 PC-35-13.5-90-NBウェブ主応力度



(a) 荷重ケース-1

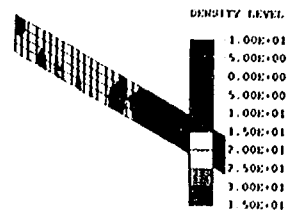


(b) 荷重ケース-2

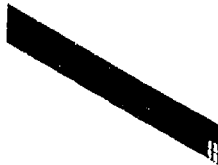
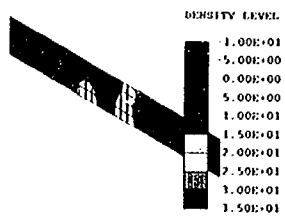


(c) 荷重ケース-3

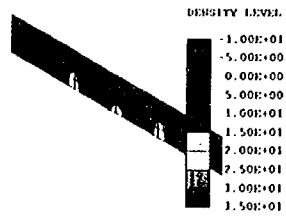
図-3.3.9 PC-35-13.5-90-CB横げた主応力度



(a) 荷重ケース-1

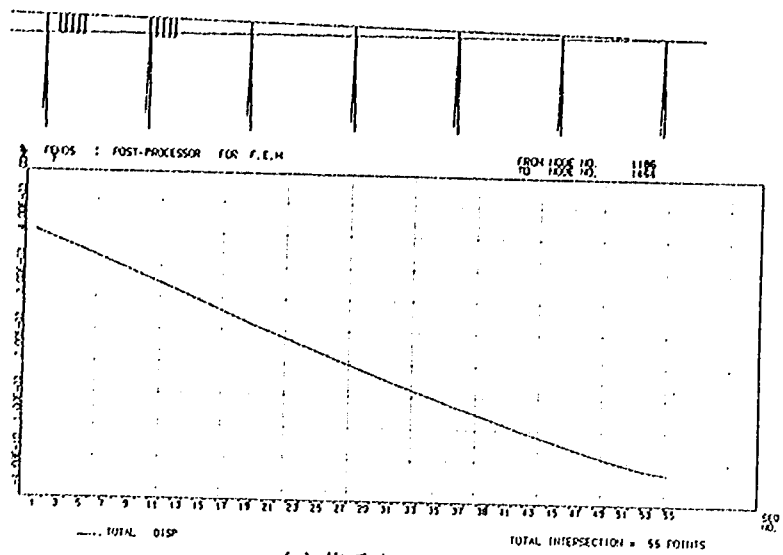


(b) 荷重ケース-2

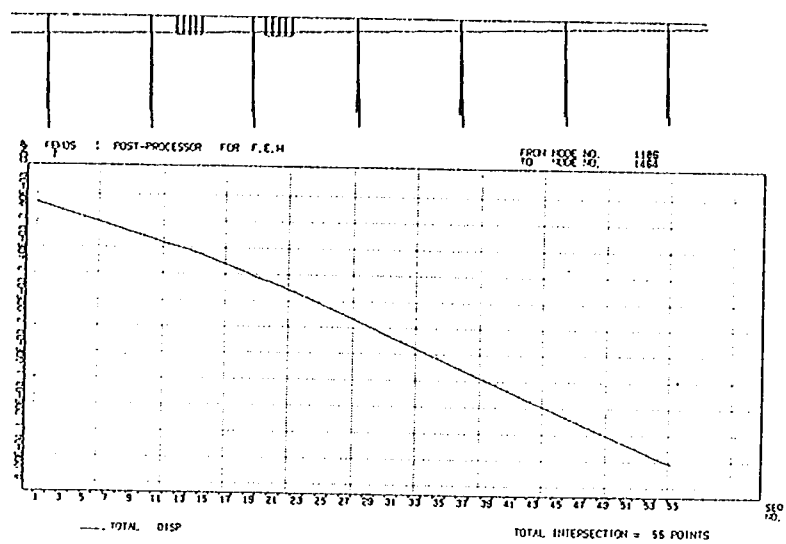


(c) 荷重ケース-3

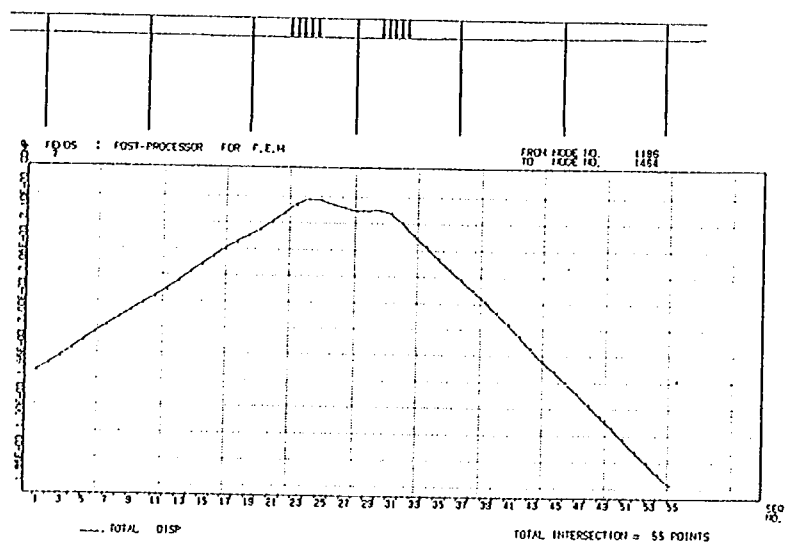
図-3.3.10 PC-35-13.5-90-NB横げた主応力度



(a) 荷重ケース-1

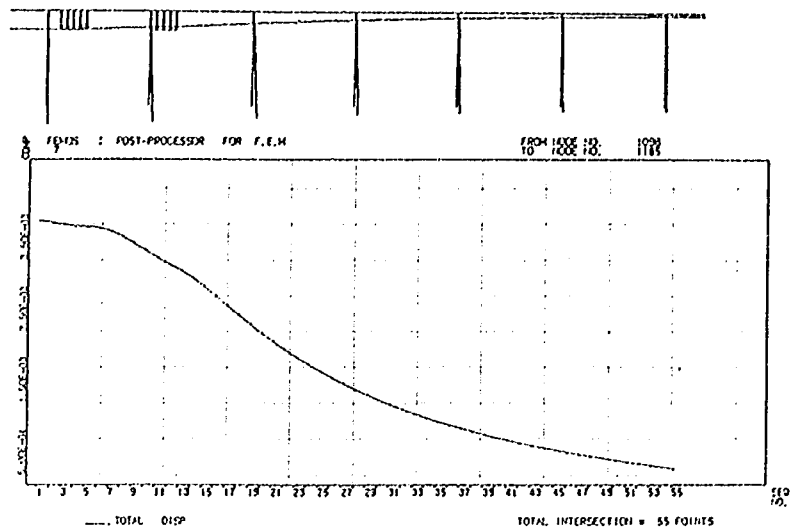


(b) 荷重ケース-2

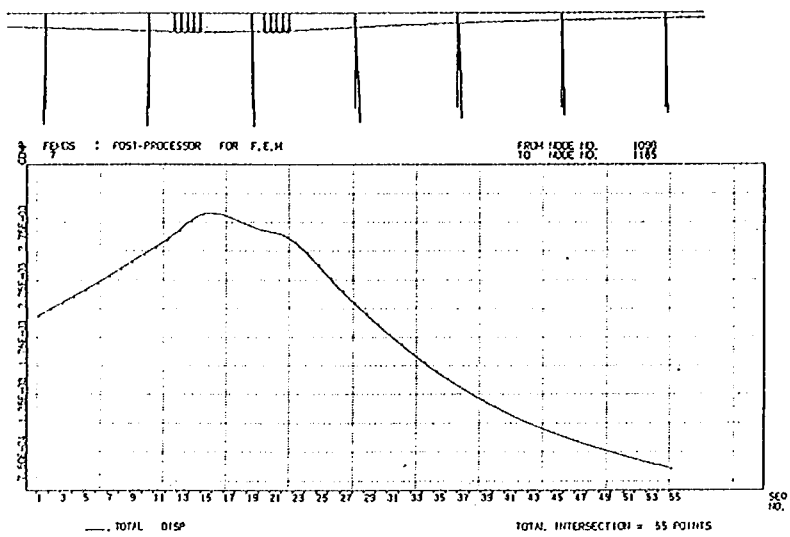


(c) 荷重ケース-3

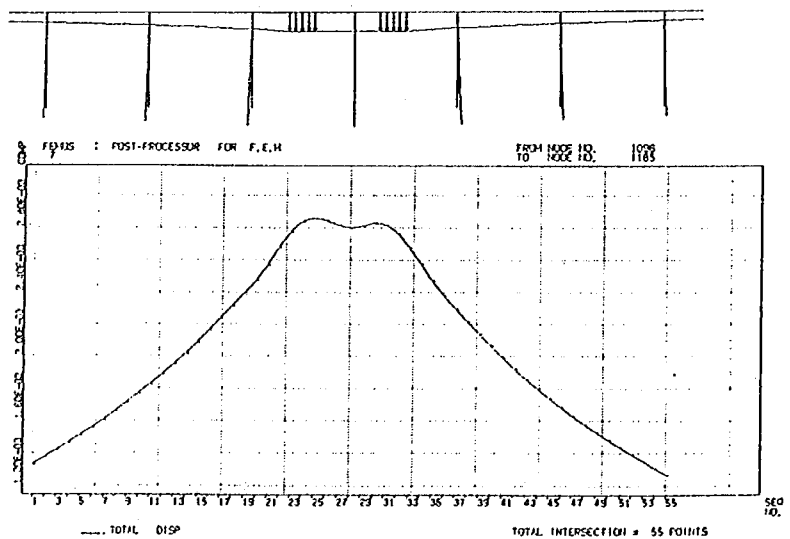
図-3.3.11 PC-35-13.5-90-CB床版たわみ



(a) 荷重ケース-1



(b) 荷重ケース-2



(c) 荷重ケース-3

図-3.3.12 PC-35-13.5-90-NB床版たわみ

3.3.3 主げたたわみ

これまでの検討の中で、中間横げたを省略した場合荷重分配が床版によって行われることにより、床版に負荷が生じることが理解された。そこで、その負荷が構造物に悪影響を及ぼす可能性を評価するために、PCTげた橋の床版を鋼プレートガーダー橋の床版と変形を比較する。T荷重の載荷位置を図-3.3.13に示す。

PC単純Tげた橋には、通常、プレストレストコンクリート床版（以下PC床版）が使用されていることから、床版の全断面が有効であるとして解析した。また、鋼橋には一般に鉄筋コンクリート床版（以下RC床版）が用いられることから、全断面有効とした場合と、ひびわれ発生によって床版コンクリートの剛性が4割低下したと仮定した場合について計算を行った。その結果を表-3.3.2に、たわみの分布を図-3.3.14にそれぞれ示す。

RC床版とPC床版では、床版厚や床版支間、輪荷重載荷位置等が異なることにより厳密な比較はできないが、輪荷重直下の最大たわみは、全断面有効とした場合でもRC床版の方がPC床版より大きくなっており、ひびわれの発生による剛性低下を考慮した場合にはその差はさらに大きくなっている。これより、PC

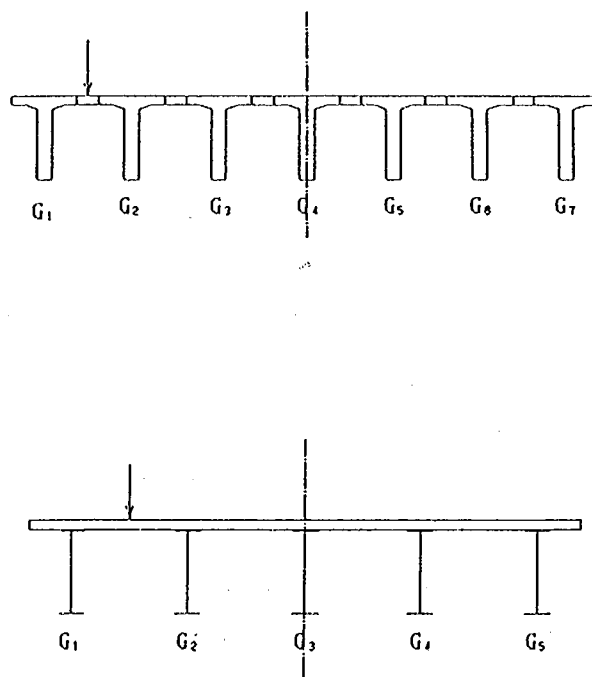


図-3.3.13 輪荷重載荷位置

表-3.3.2 床版の鉛直変位

(単位: mm)

供試体名	G1	載荷点	G2	G3	G4	G5	G6	G7
PC-35-13.5-90-NB	2.123	2.129	1.752	1.177	0.786	0.545	0.378	0.269
PG-35-12.5-90-CB	2.367	2.308	1.686	0.919	0.251	-0.385	—	—
	2.702	2.777	1.920	1.035	0.269	-0.467	—	—

注) PG-35-12.5-90-CBの上段は全断面有効、下段は剛性を4割低下させた値。

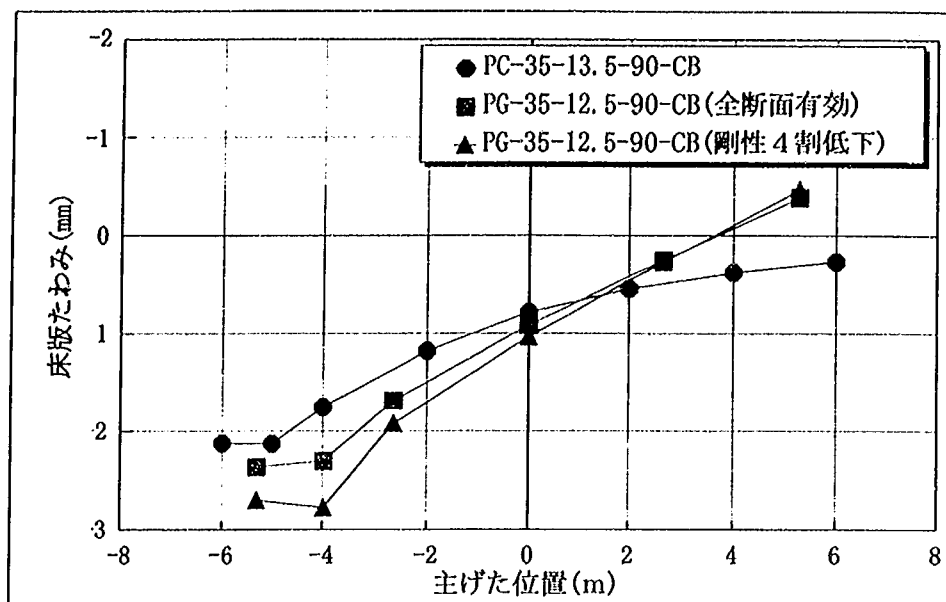


図-3.3.14 床版のたわみ分布

単純Tげた橋の中間横げたを省略しても、現行の鋼橋のRC床版より載荷点におけるたわみ量は小さく、最大たわみに関しては遜色は認められない。また、たわみ分布に関しては、載荷点位置においてたわみが不連続となることはPC橋および鋼橋に共通であるが、載荷床版支間での変形は中間横げた上に載荷した鋼橋よりも中間横げたを省略したPC橋の方が小さい。また、鋼橋のG3～G5は直線的なたわみが分布しているのに対し、PC橋のG3～G7は、曲線的なたわみ分布となっており、各主げたの回転角が変化していると考えられる。表-3.3.3に主げたおよび載荷点の回転角を示す。回転角は、G1～載荷点～G2で大きく変化していることがわかる。中間横げたを有する鋼橋の場合は、G3～G5では回転角がほぼ一定であるのに対し、中間横げたを省略したPC橋ではG3～G7の回転角に変化が見られる。各主げた回転角の差が床版に曲げモーメントを生じさせ、床版応力度を増加させているものと考えられる。床版の設計は一般的に、載荷支間以外はL荷重（横げたの設計）により決定されるため主げた回転角の差により床版応力度が増加する問題の影響は少ないが、載荷支間についてはT荷重により決定され、中間横げた省略によって床版の応力およびたわみは増加し、床版疲労耐力に影響を与えることが予想される。そこで、横方向の剛性を向上させるとともに床版に生じる応力度を低減するために、床版を増厚することが有効と考えられる。また、横縮めのプレストレス量を増加させて応力を改善する方法もあるが、応力の大きさを改善することはできない。

表-3.3.3 床版の回転角

(単位: mrad)

供試体名	G1	載荷点	G2	G3	G4	G5	G6	G7
PC-35-13.5-90-NB	-0.035	-0.149	-0.335	-0.236	-0.149	-0.093	-0.065	-0.052
PG-35-12.5-90-CB	0.005	0.027	-0.463	-0.240	-0.249	-0.235	—	—
	0.138	0.320	-0.628	-0.257	-0.290	-0.271	—	—

注) PG-35-12.5-90-CBの上段は全断面有効、下段は剛性を4割低下させた値。

3. 4 まとめ

中間横げたを減少・省略したPCTげた橋の挙動を把握するために平面格子解析及び立体FEM解析により検討を行った。これらによって得られた結果をまとめると以下の通りである。

- (1) 平面格子解析により計算された反力に対しては、中間横げたの有無による影響はほとんど見られない。
- (2) 平面格子解析により計算された断面力は、中間横げたを省略することによって、曲げモーメントおよびせん断力についてはほとんど影響は見られないが、ねじりモーメントに比較的大きな影響が見られる。
- (3) 平面格子解析により計算された主げたのたわみに対しては、中間横げたの有無による影響は小さい。
- (4) ねじり剛性を無視して平面格子解析を行った場合、これを考慮する場合よりも主げたの曲げモーメントおよびせん断力、床版の曲げモーメントの値が大きくなる。
- (5) 立体FEM解析結果によると、中間横げたの省略によって荷重分配性能は低下し床版の応力は増加するものの、主げたの最大応力度への影響は比較的小さい。
- (6) 立体FEM解析によると、中間横げたを省略した場合、端横げたに応力が集中する傾向があるため、設計時に適切に検討し補強を行う必要がある。

4. 中間横げたを省略したPCTげた橋の載荷試験

4. 1 目的

現在施工されているPC単純Tげた橋から中間横げたを減少・省略し施工の合理化を図ることを目的として3. 数値解析において、平面格子解析および立体FEM解析を行って、実橋への適用の可能性を検討した。この解析結果により、中間横げたを省略しても主げた反力、曲げモーメント、せん断力および主げたのたわみに対する影響は少なく、PC単純Tげた橋より中間横げたを省略することは、十分可能であることが明らかとなった。一方では、主げたのねじりモーメントおよび床版に発生する応力度が影響を受けることも理解された。ここでは、実構造物に適用した場合を想定して、構造物の挙動および解析の妥当性を実験的に評価するための載荷試験を行うものである。

解析結果より、中間横げたを省略した場合には、中間横げたにより分配していた荷重を床版が分配することから、床版に生じる応力が大きくなることが理解された。これより、本実験では、応力状態を改善するとともに床版の疲労に関する耐久性の向上を図るために、床版の増厚効果を評価するための供試体を加えた実験計画を作成するものとした。また、解析結果より明らかとなった中間横げたの省略が影響を及ぼすねじりモーメントに対する挙動を検討するために、斜角を有する供試体についても併せて実験の対象とした。

これらのことを鑑み、実験は以下の項目を明らかにすることを目的に実施するものとした。

- (1) 床版厚の効果
- (2) 中間横げたの有無による影響
- (3) 斜角の影響

4. 2 試験方法

4.2.1 試験供試体

中間横げたが、荷重分配および横方向の剛性に及ぼす影響を把握するために、プレテンションTげた橋をモデル化した橋供試体を製作して載荷実験を行う。また、主げたの終局強度を確認するために、主げた1体に対して曲げ破壊試験を行う。供試体は、相似律を用いて設計で必要となる各値を求めるものとした。表-4.2.1にフルスケールモデルに対する1/2モデル供試体の各値の比率を示す。橋供試体1体は、5本の主げたより構成され、現行のプレテンションTげた橋での最大支間である2.4mを検討対象とする。また、主げた間隔は、最大主げた間隔である1.080mとする。

表-4.2.1 供試体の相似律

形 状 寸 法	1 / 2
集 中 荷 重	1 / 4
曲 げ モーメント	1 / 8
応 力 度、ひずみ	1

供試体は、荷重分配および横方向の剛性に影響を与える①床版厚、②中間横げたの有無、③斜角、の要因の組み合わせで計5種類とする。なお、それぞれの要因については、以下のように供試体の設計で考慮した。

①床版厚

床版厚は、標準設計の16cmに対し相似律により求めた8cmと荷重分配性能が向上するように増厚した10cmの2種類を考慮した。

②中間横げたの有無

中間横げたが荷重分配性能および横方向の変形の拘束に及ぼす影響を把握するために、中間横げたを有する従来の構造と、中間横げたを省略した構造の2種類とした。なお、端横げたは全供試体に取り付けるものとした。

③斜角

斜角は、直橋を対象とした90°と、「道示Ⅲ」においてねじり剛性を無視できる最小の斜角である70°の2種類を考慮した。

以上の要因を組み合わせ供試体を製作した。荷重分配性能確認用の橋供試体および主げたの終局強度確認用のけた供試体の一覧を表-4.2.2に、供試体の形状寸法および配筋状況を図-4.2.1および図-4.2.2にそれぞれ示す。

表-4.2.2 供試体の一覧

番 号	供試体名	供試体種類	床版厚	中間横げた	斜角	終局強度	供試体数	備 考
Case 1	HS-CB-90	橋 供 試 体	80mm	あり	90°	確 認 す る	1 体	中間横げたの荷重分配効果
Case 2	HS-NB-90			なし		確 認 し な い		
Case 3	ZS-NB-90		100mm	なし	70°	確 認 す る	1 体	床版厚の効果
Case 4	ZS-CB-70			あり		確 認 し な い	1 体	ねじりに対する斜角の影響
Case 5	ZS-NB-70			なし		確 認 す る		
Case 6	HS-NN-90	けた供試体	80mm	—	90°	確 認 す る	1 体	主げたの耐力

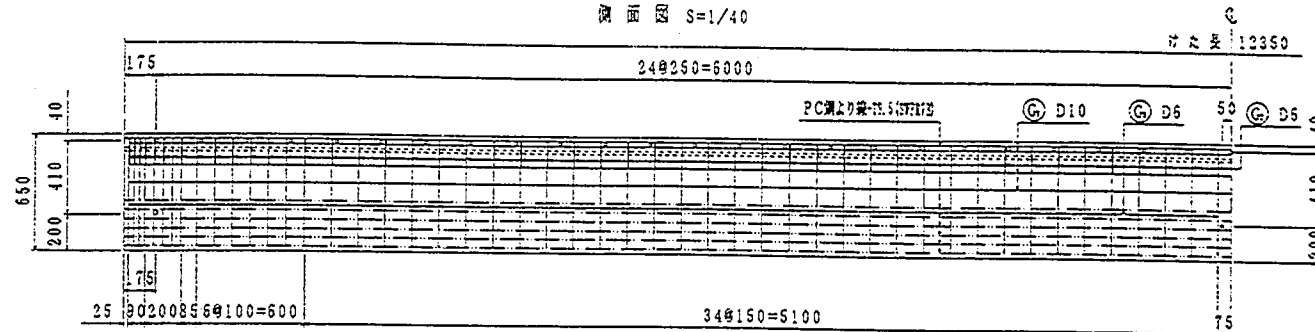
注1) No.1とNo.2およびNo.4とNo.5の供試体は、中間横げたの取付けまたは撤去により兼用する。

注2) 供試体名の記号を以下に表す。

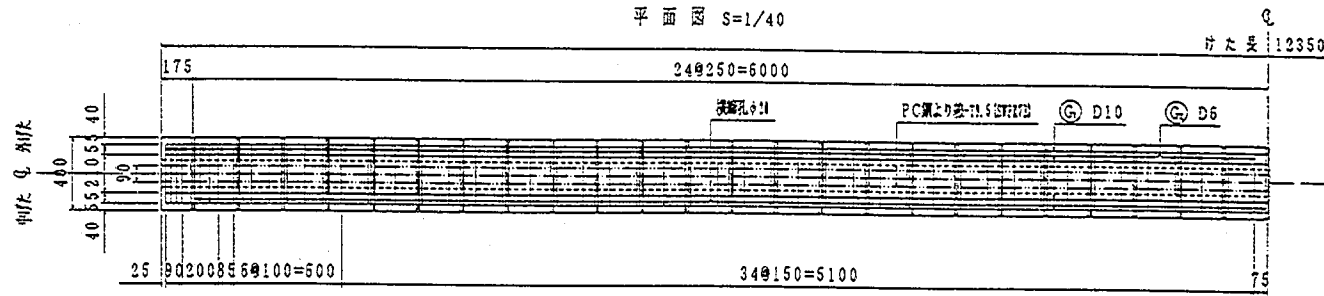
HS-CB-90
 └── 斜 角 (90 : 90°、70 : 70°)
 └── 中間横げた (CB : あり、NB : なし、NN : 終局強度確認用けた供試体のため、なし)
 └── 床 版 厚 (HS : 80mm、ZS : 100mm)

主げた構造図

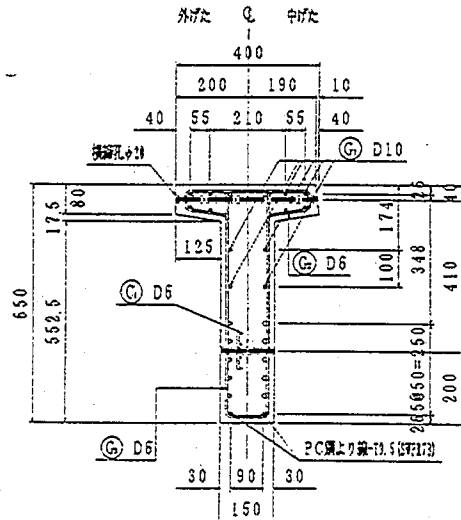
側面図 S=1/40



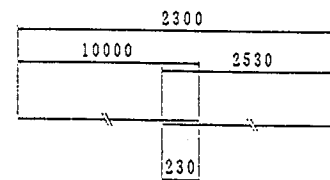
平面図 S=1/40



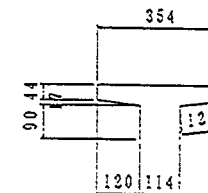
断面図 S=1/20



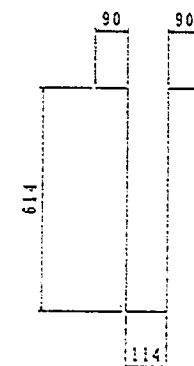
① 12-D10×12530



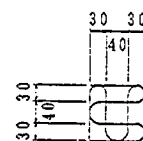
② 98-D6×860



③ 98-D6×1520



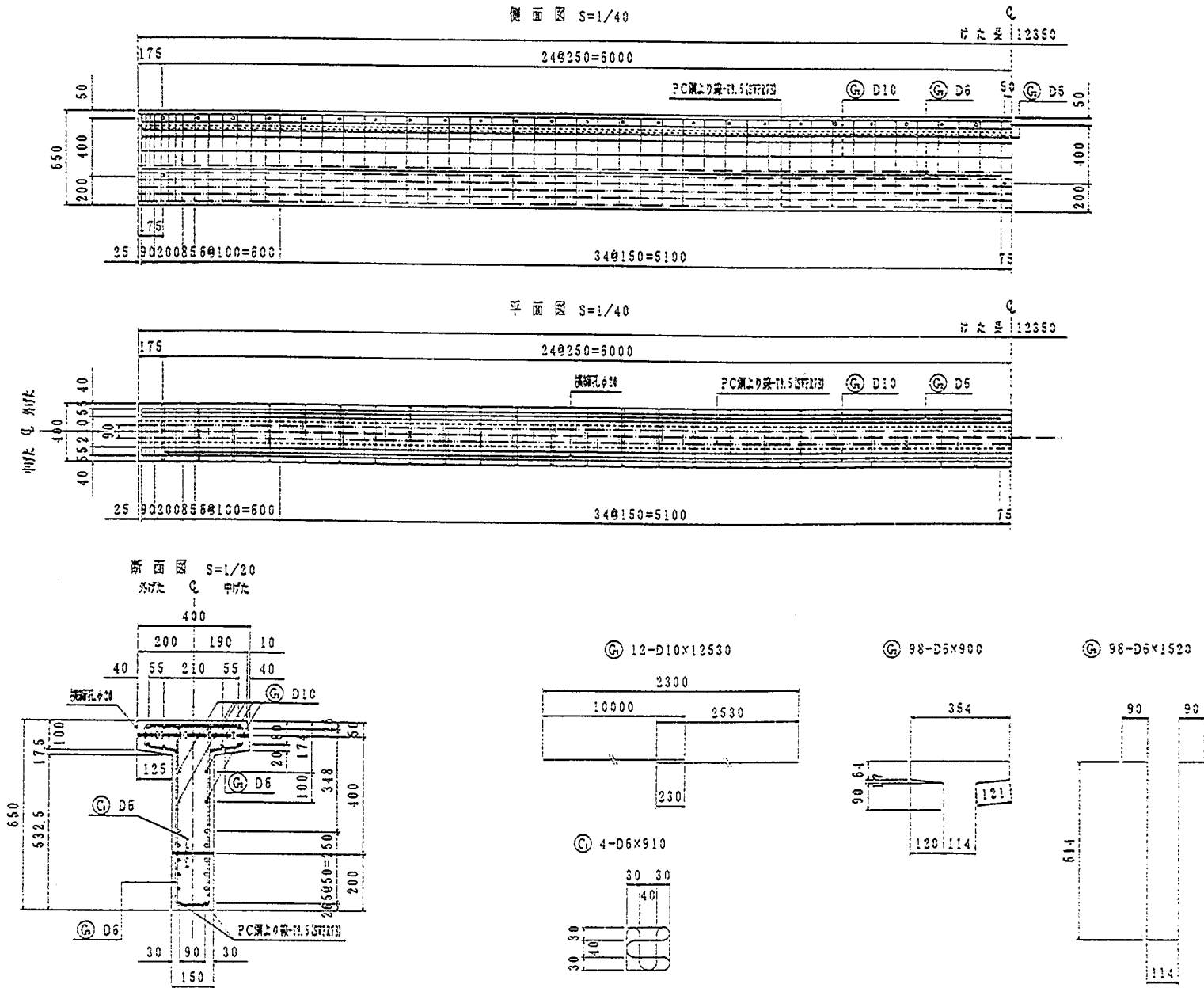
④ 4-D6×910



(a) HS-CB-90およびHS-NB-90

図-4.2.1 主げた構造図

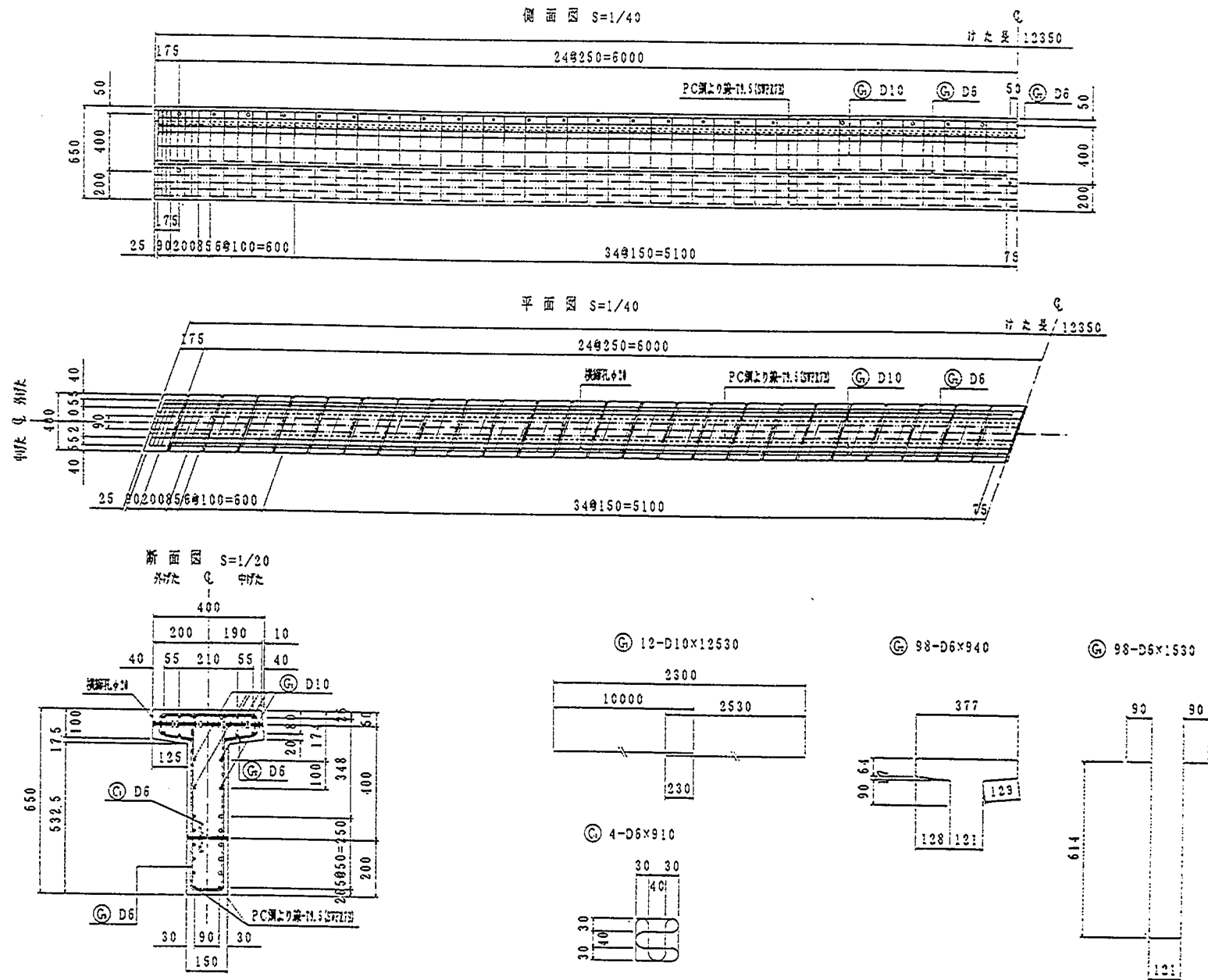
主げた構造図



(b) ZS-NB-90

図-4.2.1 主げた構造図

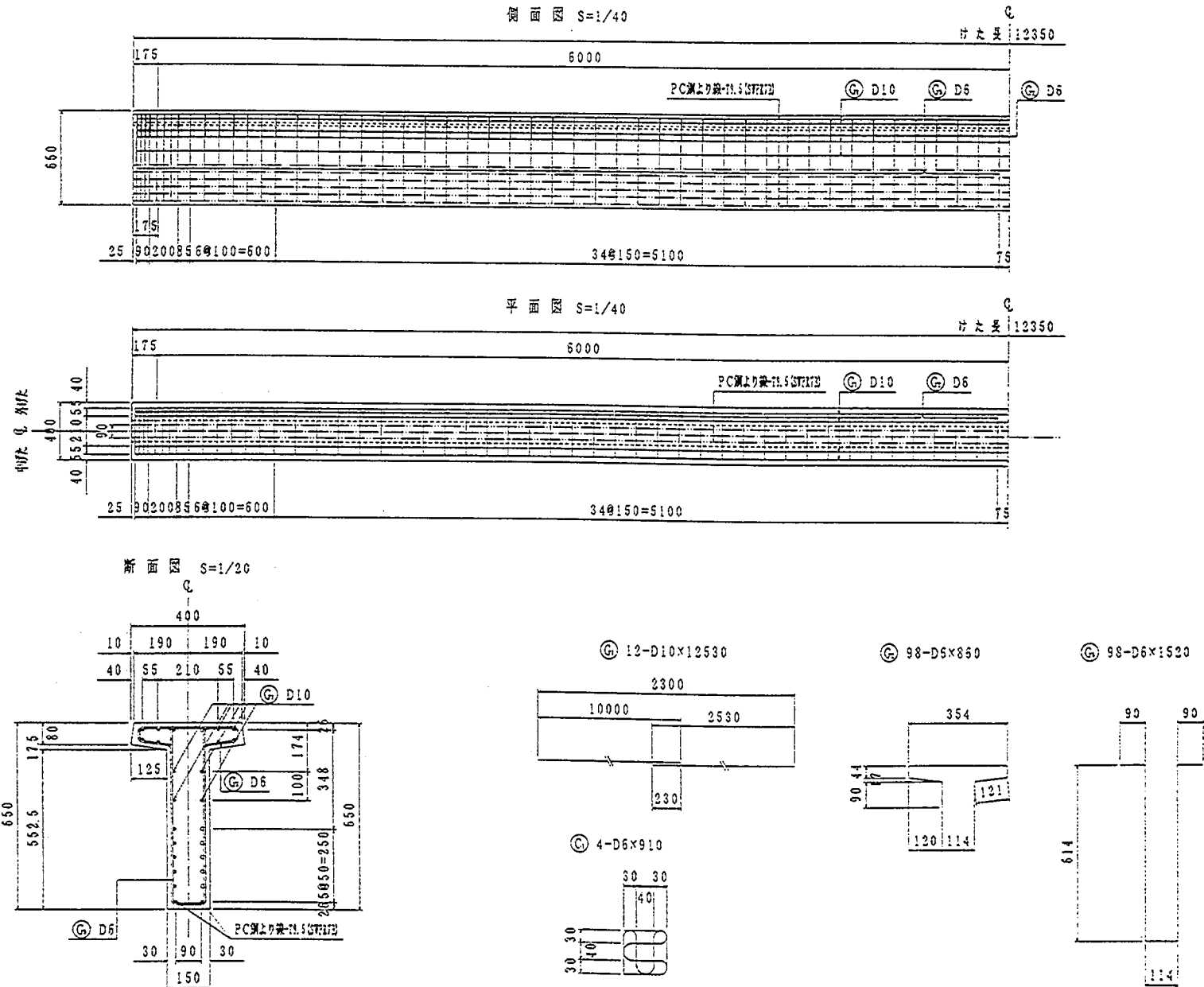
主げた構造図



(C) ZS-CB-70およびZS-NB-70

図-4.2.1 主げた構造図

主げた構造図



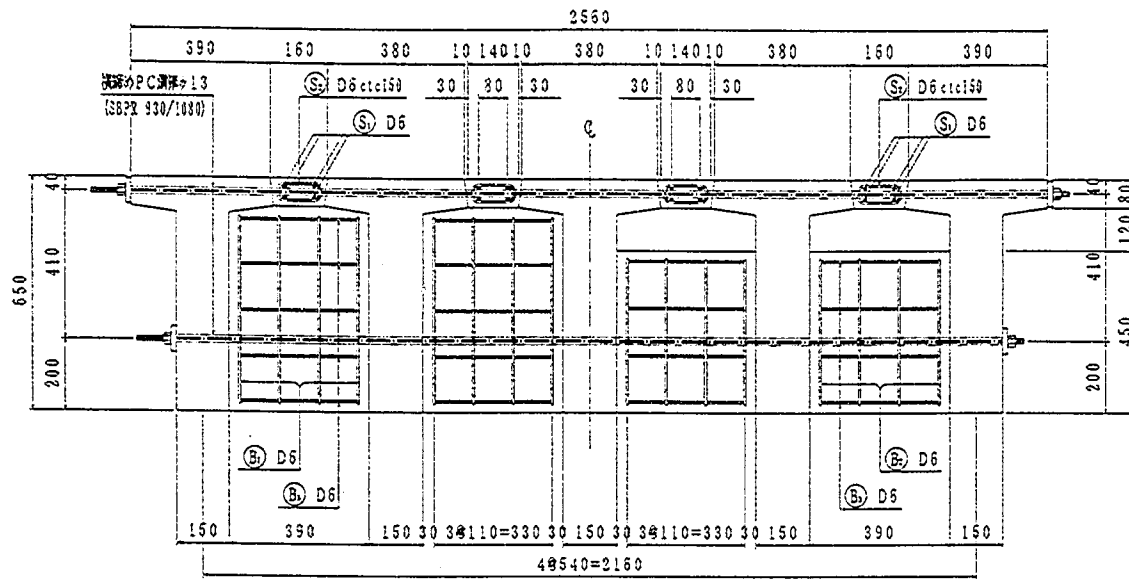
(d) HS-NN-90
図-4.2.1 主げた構造図

横組み構造図その2

断面図 S=1/20

支点側

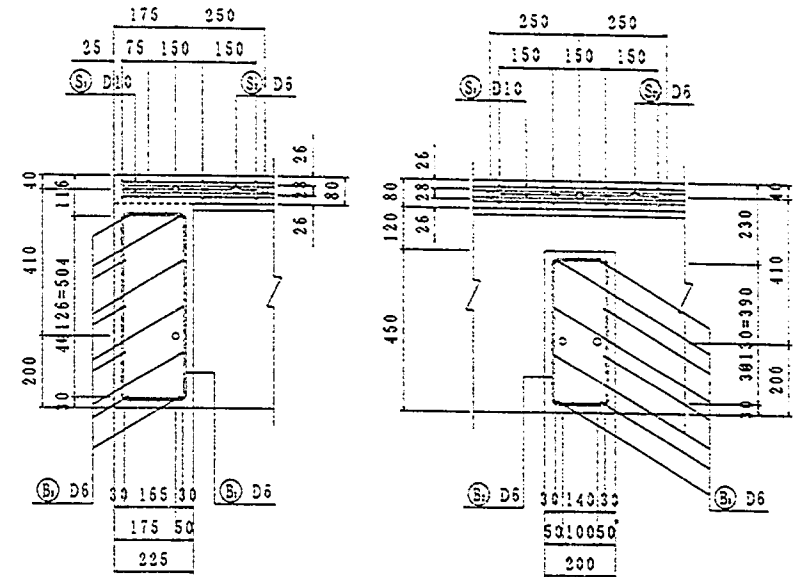
中間側



断面図 S=1/20

支点側

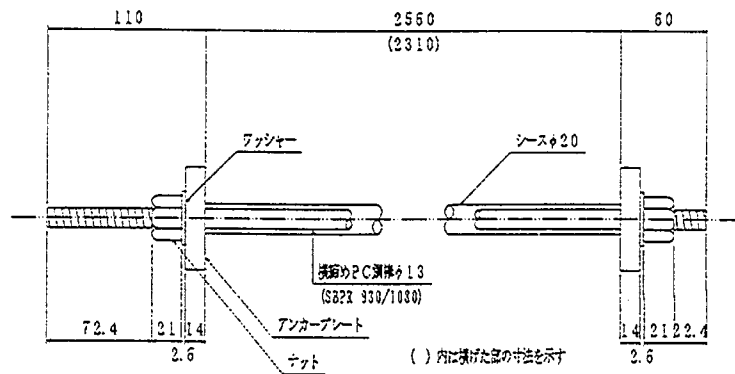
中間側



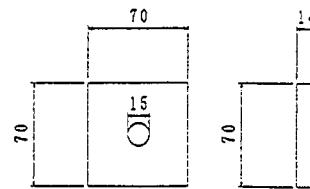
横組み定着部詳細図 S=1/5

固定端側

固定端側

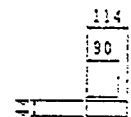
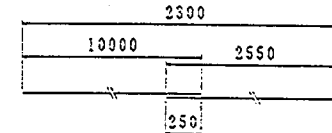


アンカープレート詳細図 S=1/5



⑤ 16-D10×12550

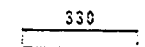
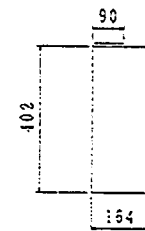
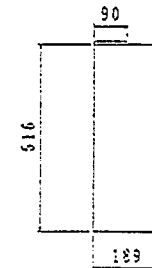
⑤ 336-D5×410



⑥ 32-D6×1500

⑥ 16-D6×1220

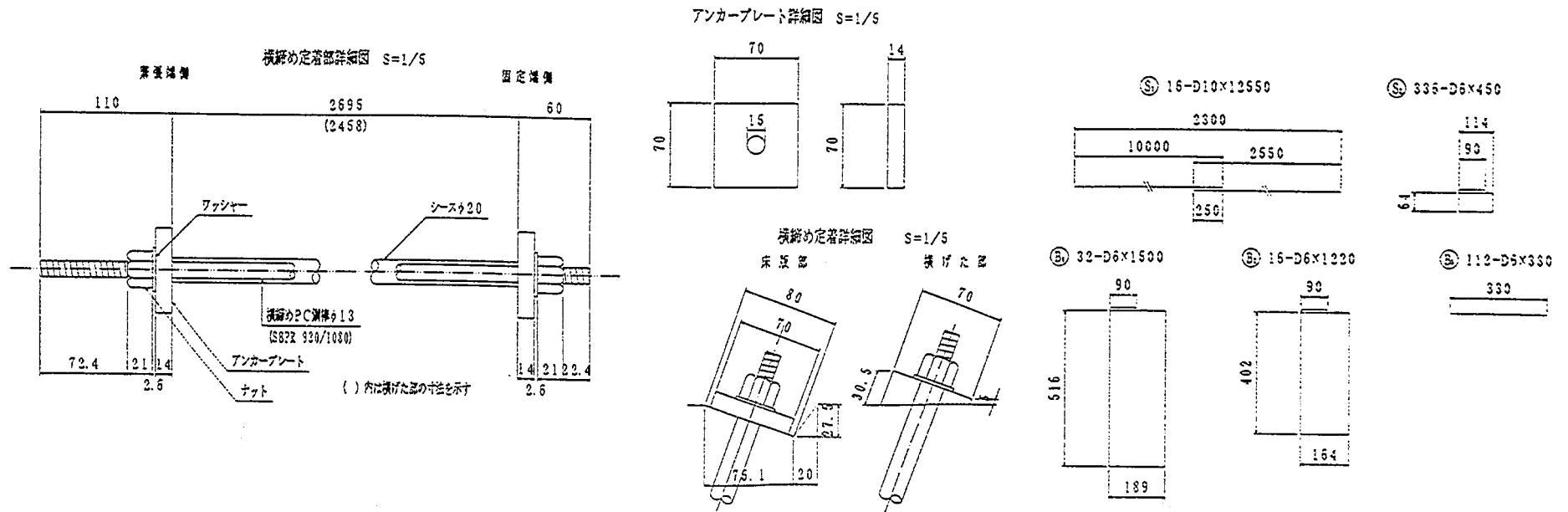
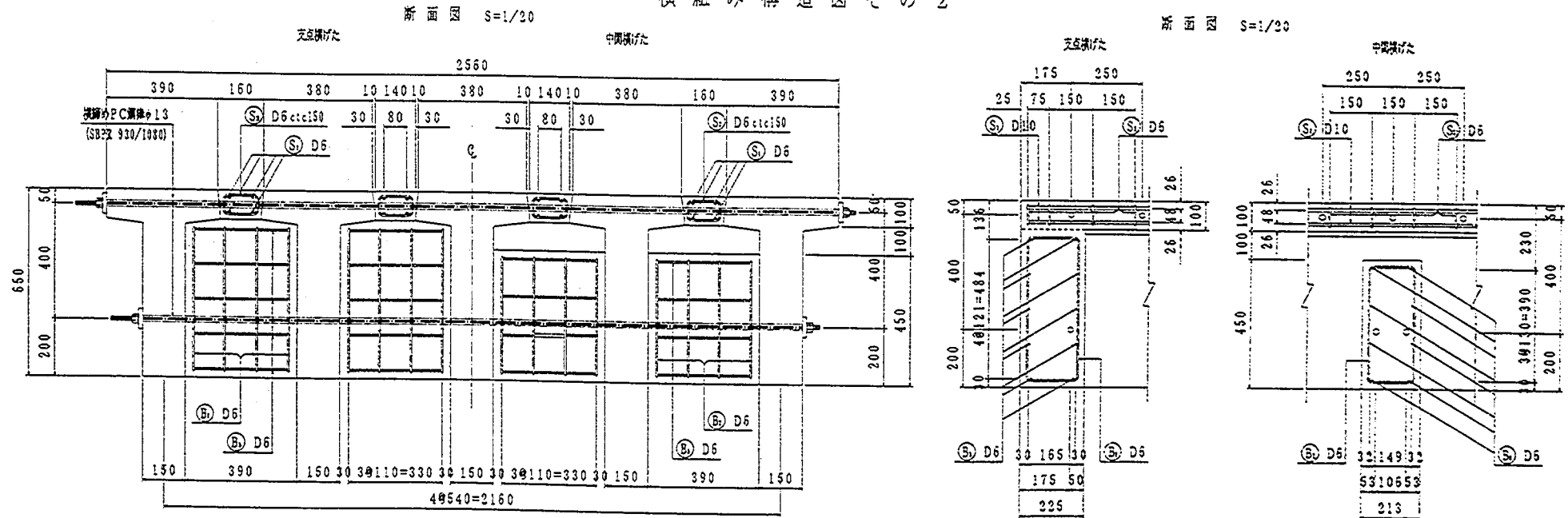
⑥ 112-D6×330



(a) HS-CB-90

図-4.2.2 横組み構造図

横組み構造図その 2



(B) ZS-CB-70
図-4.2.2 横組み構造図

4.2.2 使用材料

供試体に使用するコンクリートは、プレテンションTげた橋に一般的に用いられるものと同等のものとする。主げた製作に使用するコンクリートは、早強ポルトランドセメントとし、コンクリートの配合は、スランプ8cm、目標強度500kgf/cm²とする。また、横組工に使用するコンクリートは、普通ポルトランドセメントを使用し、スランプ8cm、目標強度300kgf/cm²とする。表-4.2.3に供試体製作に使用するコンクリートの示方配合を示す。

表-4.2.3 コンクリートの示方配合

打設箇所	圧縮強度 (kgf/cm ²)	粗骨材の最大寸法 (mm)	スランプの範囲 (cm)	空気量 (%)	水セメント比 W/C (%)	細骨材率 S/a (%)	単位量(kgf/m ³)				
							水 W	セメント C	細骨材 S	粗骨材 G	混和剤
主げた	500	20	8.0±2.5	2.0	33.7	41.0	145	430	752	1,129	6.02
横組み	300	20	8.0±2.5	2.0	51.8	43.0	145	280	841	1,188	4.48

主げたにプレストレスを導入するための主ケーブルには、JIS G 3536に規定されるP C鋼より線SWPR7B 1T9.5を、上床版にプレストレスを導入するための横締めケーブルには、JIS G 3109に規定されるP C鋼棒の丸棒B種1号(SBPR930/1080)のφ13mmを使用した。また、鉄筋は、JIS G 3112に規定された異形棒鋼SD295AのD6、D10を使用する。表-4.2.4にその力学的性質を示す。ただし、ここでの数値は、ミルシートによるものである。

表-4.2.4 鋼材の力学的性質

種類	径	降伏点 (N/mm ²)	引張強度 (N/mm ²)	弾性係数 (N/mm ²)	伸び (%)
P C鋼より線(SWPR7B)	1T9.5	1,732	1,933	1.971×10 ⁵	7.3
P C鋼棒(SBPR930/1080)	φ13	1,334	1,394	1.914×10 ⁵	11.0
鉄筋(SD295A)	D6	358~376	541~553	—	28.0~29.0
	D10	378	504	—	27.3

主げたの製作は、工場において鉄筋およびP C鋼材を組み立てた後、プレテンション方式で緊張し型枠を組み立ててコンクリートを打設、コンクリートを蒸気養生して圧縮強度が350kgf/cm²以上発現したことを確認した後、緊張アバットを解放してプレストレスを導入して行った。また横組工は、工場内の組立ヤードにおいて所定の間隔および高さに主げたを並べた後、鉄筋、シース、P C鋼材および型枠を組み立て、コンクリートを打設した後、被膜養生および散水養生を行い、圧縮強度が250kgf/cm²以上であることを確認して横締め鋼材を緊張する手順により行った。ここで、中間横げたは、プレキャスト製として取付けおよび撤去が可能な構造とする。

4.2.3 載荷方法および計測方法

(1) けた供試体

1) 載荷方法

けた供試体の載荷試験は、けた自身のひびわれ強度および終局強度を確認するために行うものとする。載荷は、JIS A 5316に従って、**図-4.2.3**に示すように純曲げ区間を1500mmとして載荷するものとする。載荷手順を**図-4.2.4**に、載荷試験の状況を**写真-4.2.1**および**写真-4.2.2**に示す。

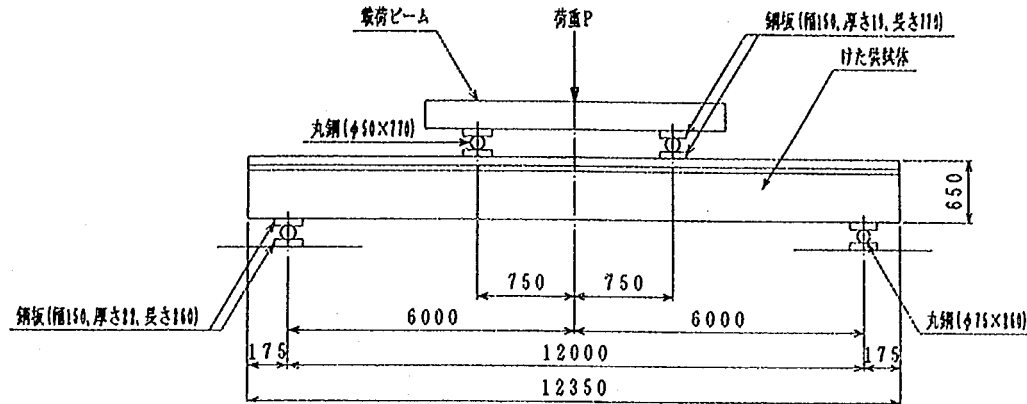


図-4.2.3 けた供試体の載荷装置

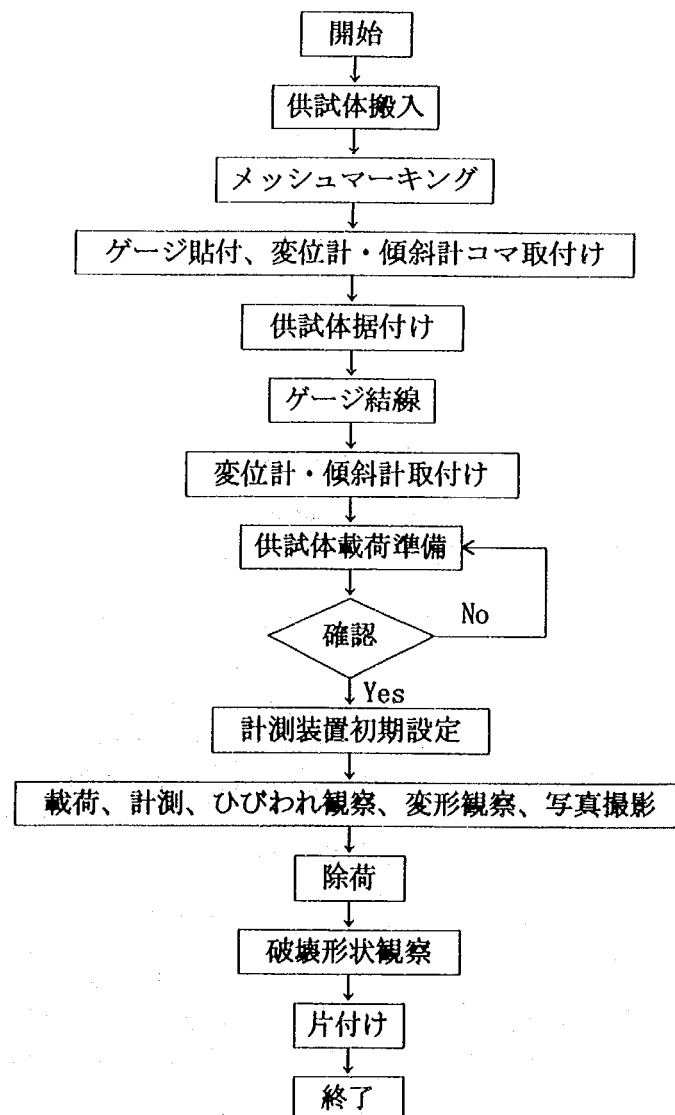


図-4.2.4 けた供試体の載荷実験手順

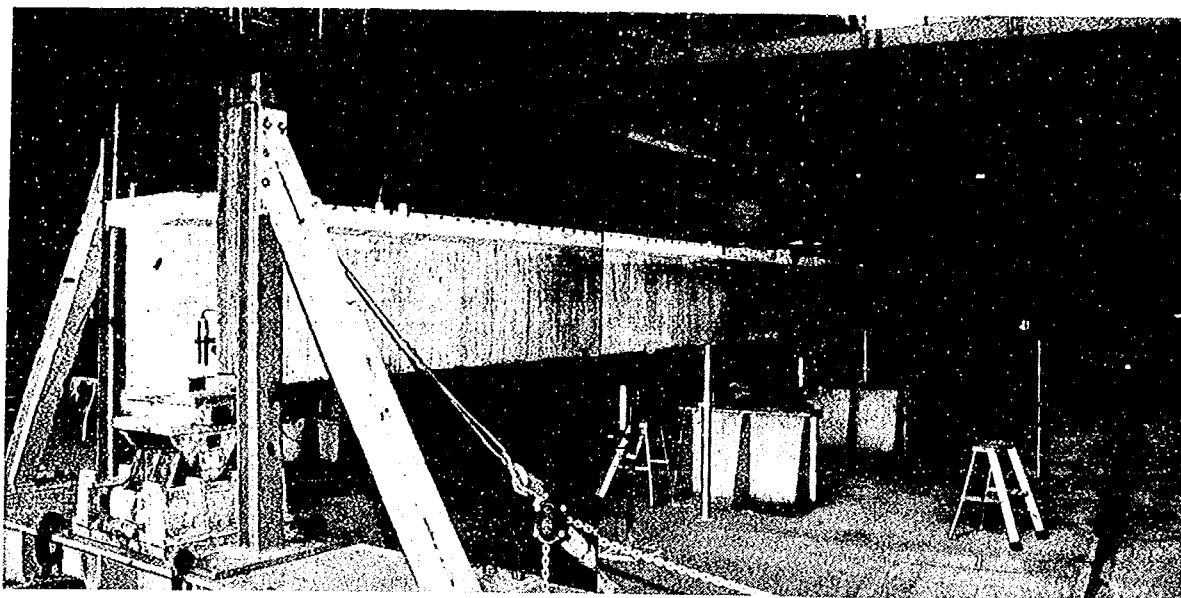


写真-4.2.1 供試体据付け状況

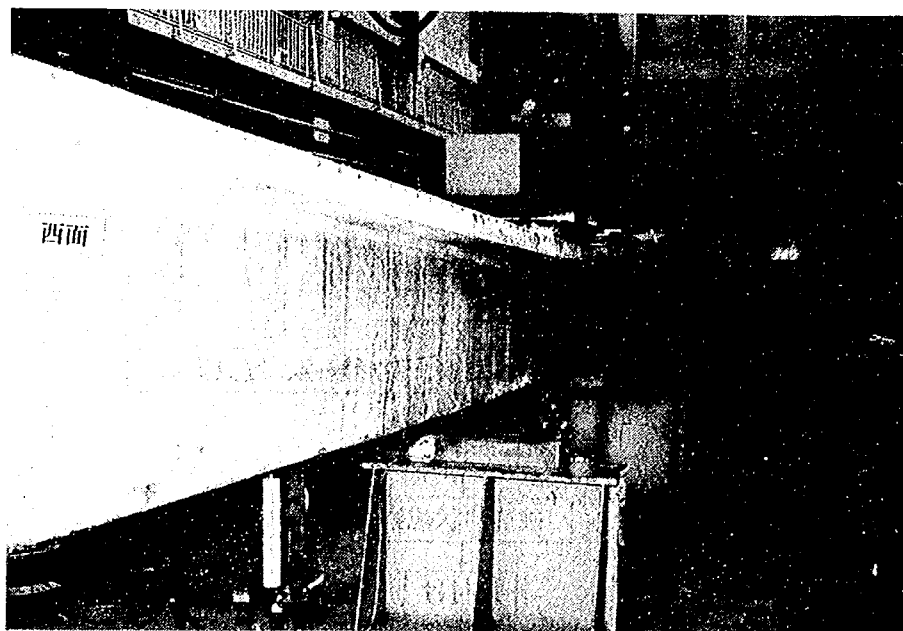


写真-4.2.2 供試体載荷状況

2) 計測方法

けた供試体の計測は、有効プレストレスおよび鉄筋のひずみを測定するために、図-4.2.5に示すように4ゲージおよび一軸ゲージを貼付する。また、コンクリートの圧縮ひずみ、供試体のたわみおよび回転角を測定するために、図-4.2.6に示すようにひずみゲージ、変位計および傾斜計を設置するものとする。これら計測の他に、供試体のひびわれ発生荷重および終局荷重を確認するとともに、ひびわれ発生性状および破壊性状もあわせて観察するものとする。

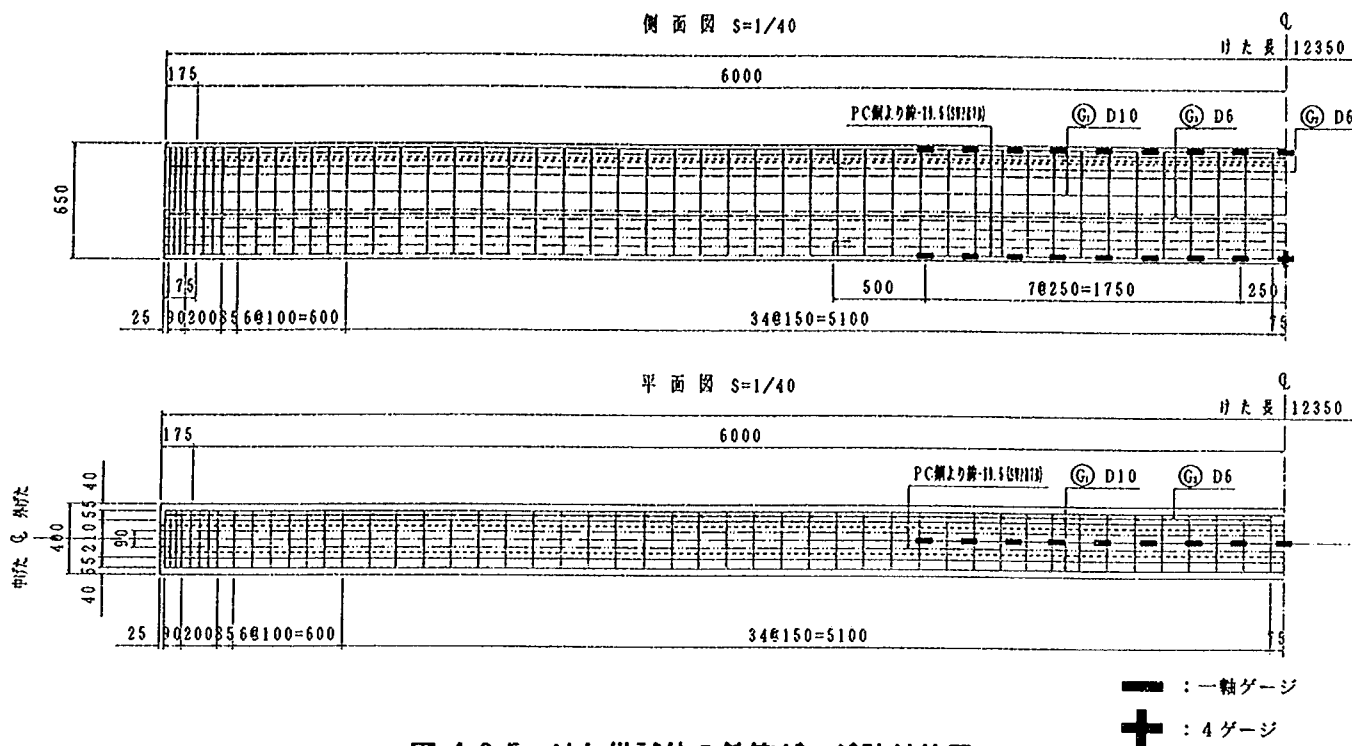


図-4.2.5 けた供試体の鉄筋ゲージ貼付位置

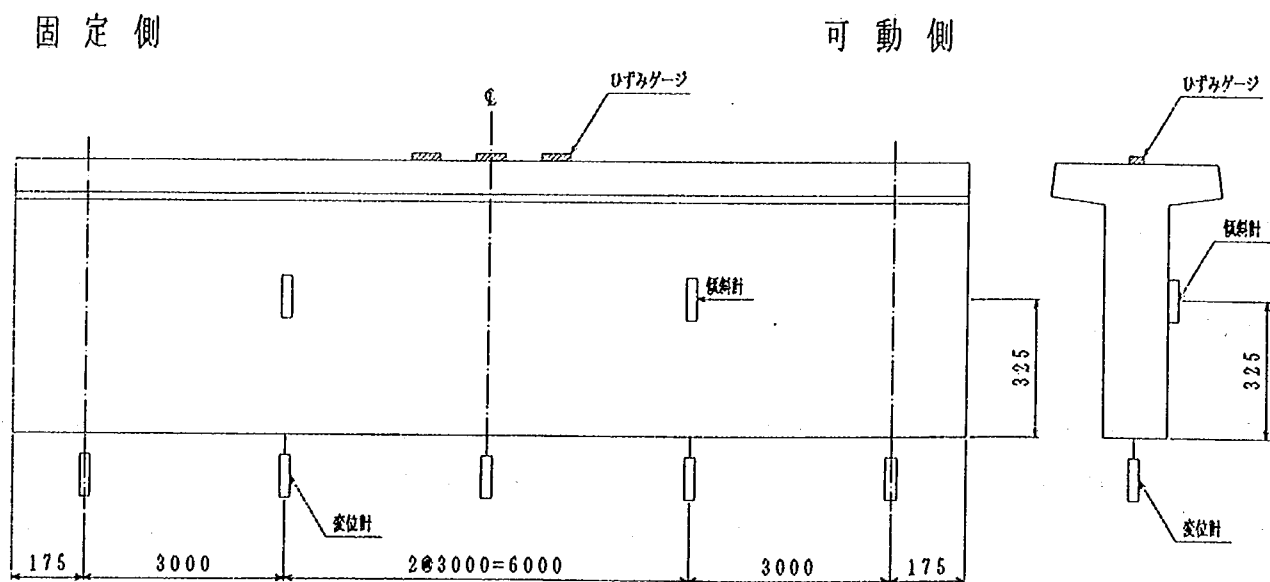


図-4.2.6 けた供試体の表面ゲージ貼付位置および変位計、傾斜計の配置位置

(2) 橋供試体

1) 載荷方法

橋供試体の載荷試験は、図-4.2.7に示す載荷装置を用いて輪荷重をモデル化した荷重を載荷する。載荷試験の状況を写真-4.2.3および写真-4.2.4に示す。荷重の載荷幅は、 $100 \times 250\text{mm}$ とし、載荷位置を図-4.2.8に、載荷荷重を表-4.2.5に示す。各載荷位置への載荷後、中間横げたの取付けまたは撤去を行い、再度各載荷位置に荷重を載荷して中間横げたの有無による挙動の違いを計測する。その後に、載荷位置C2において終局状態まで載荷するものとする。載荷実験手順を図-4.2.9に示す。載荷点には、荷重検出用に、12tfまでの載荷時には20tfロードセルを、終局状態までの載荷時には200tfロードセルを配置して油圧ジャッキにより載荷するものとする。

供試体の支持は、一方をピン、他方をローラーとし、実橋に近い状態とするためにゴム支承も併せて配置した。載荷試験の妥当性を確認するために行った平面格子解析においては、ゴム支承を考慮し支点部の鉛直バネ係数を11.0tf/mmとして計算を行った。

表-4.2.5 載荷荷重

載荷位置	載荷荷重(tf)	備 考
R1, C1, L1	12.00	主げた下縁応力度が -18kgf/cm^2
R2, C2, L2	3.80	床版下縁応力度が 0kgf/cm^2
R3, C3, L3	12.00	主げた下縁応力度が -18kgf/cm^2
R4, C4, L4	3.80	床版下縁応力度が 0kgf/cm^2
R5, C5, L5	12.00	主げた下縁応力度が -18kgf/cm^2

2) 計測方法

計測は、以下の項目を測定するために各種計測装置を配置する。

①主げた反力

主げた反力を計測するために、図-4.2.10に示すようにロードセルをゴム支承の下に配置する。

②コンクリート表面ひずみ

供試体表面の力の流れより中間横げたの効果を把握するために、図-4.2.11に示すように三軸ゲージおよび一軸ゲージを貼付する。

③供試体の変位

供試体のたわみおよび主げたの橋軸直角方向の傾きを測定するために、変位計および傾斜計を図-4.2.12のように配置する。

④主ケーブルのプレストレスおよび軸方向鉄筋ひずみ

プレストレスの導入量および荷重載荷時の有効プレストレス、ひびわれ発生後のひずみを測定するために、図-4.2.13に示す4ゲージおよび一軸ゲージを貼付する。ゲージは貼付用に配置した鉄筋に貼り付けるものとする。また、プレストレス測定時の温度による影響を把握するために、4ゲージ近傍に熱伝対を併せて配置する。

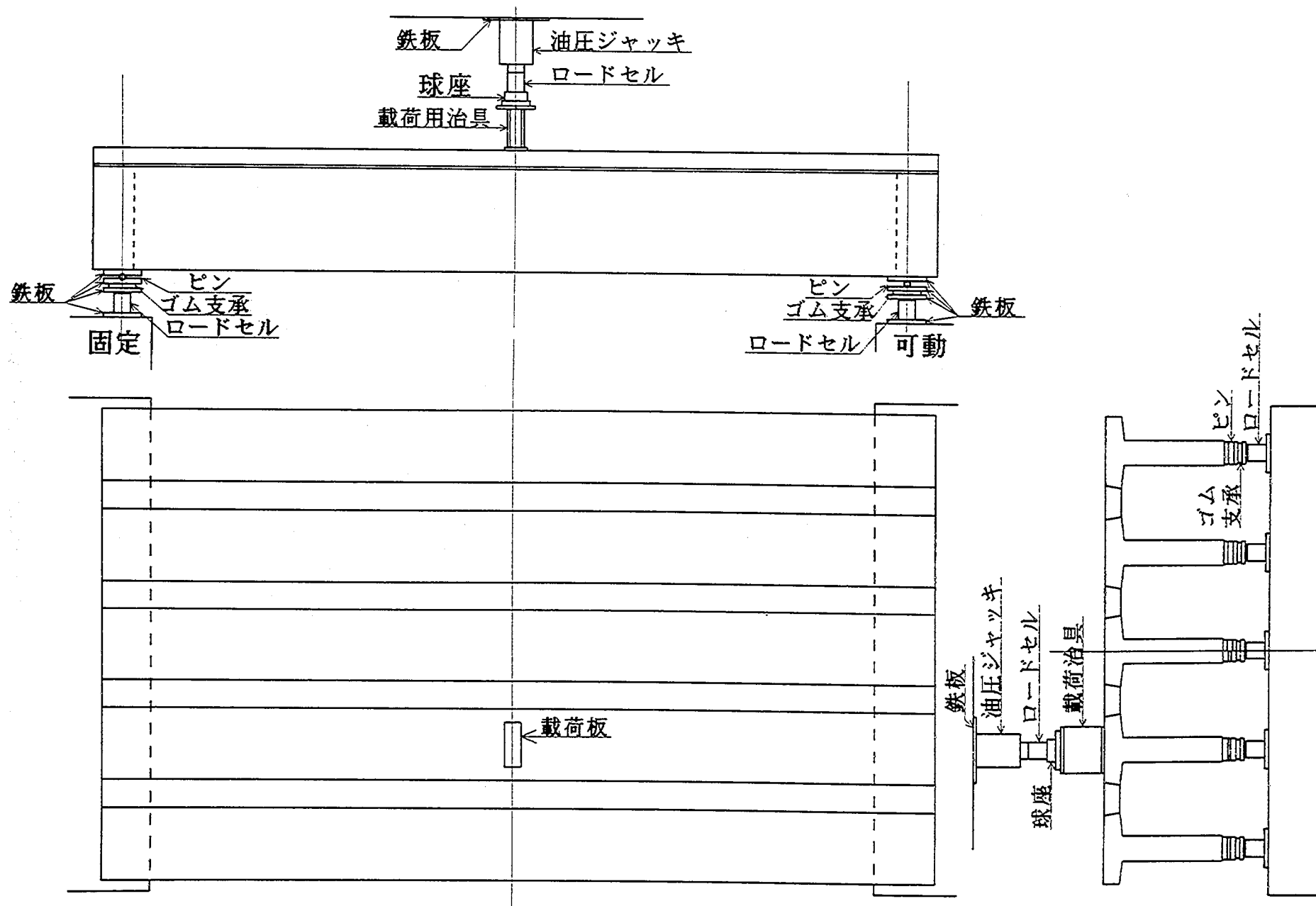


図-4.2.7 橋供試体の載荷装置



写真-4.2.3 供試体据付け状況

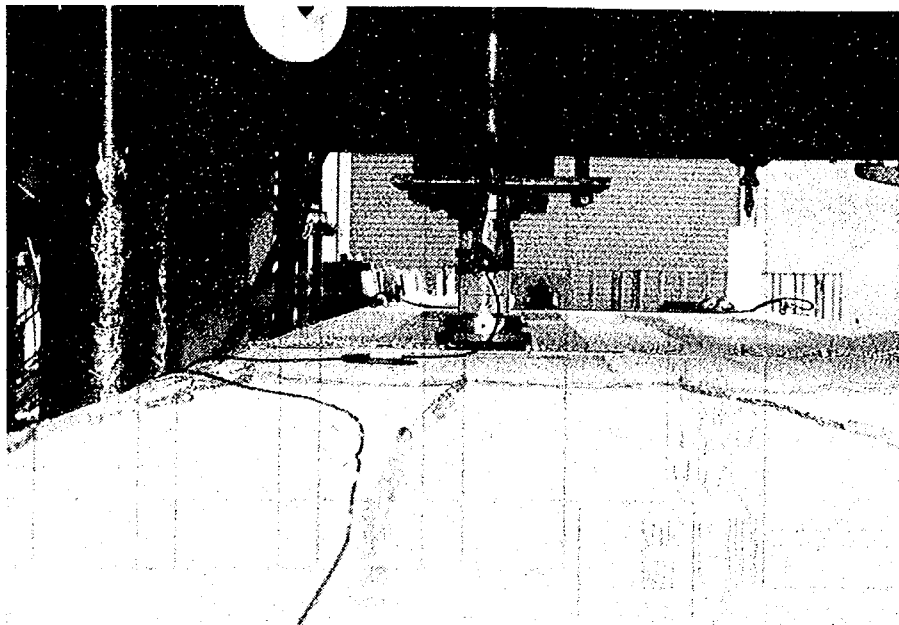
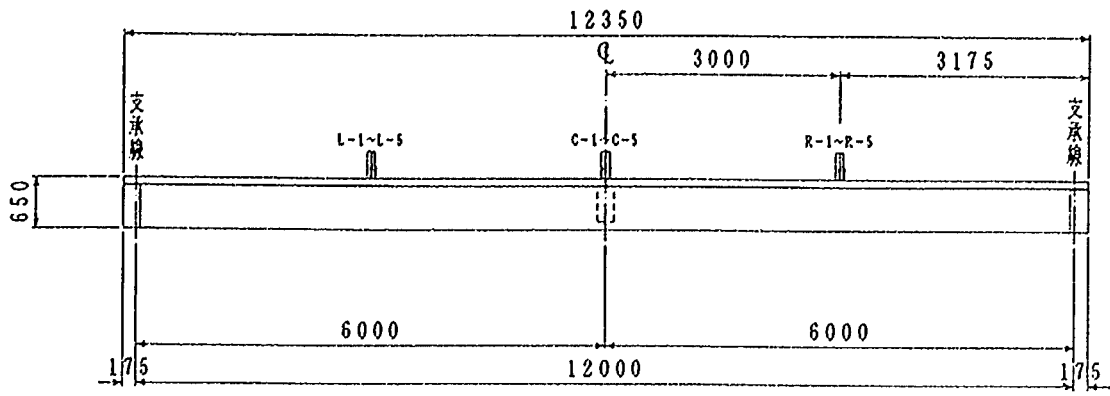


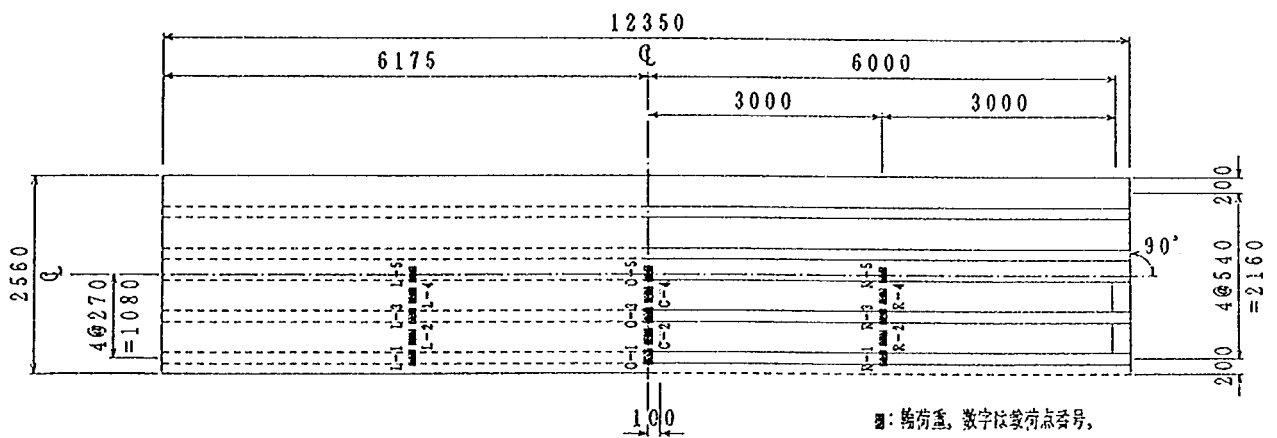
写真-4.2.4 供試体載荷状況（終局載荷時）

側面図 縮尺 1:100



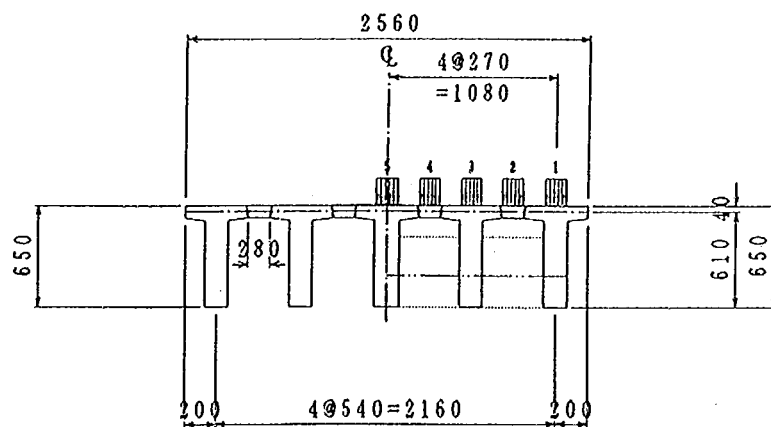
⊞: 軸荷重, 数字は受荷点番号,

平面図 縮尺 1:100



⊞: 軸荷重, 数字は受荷点番号,

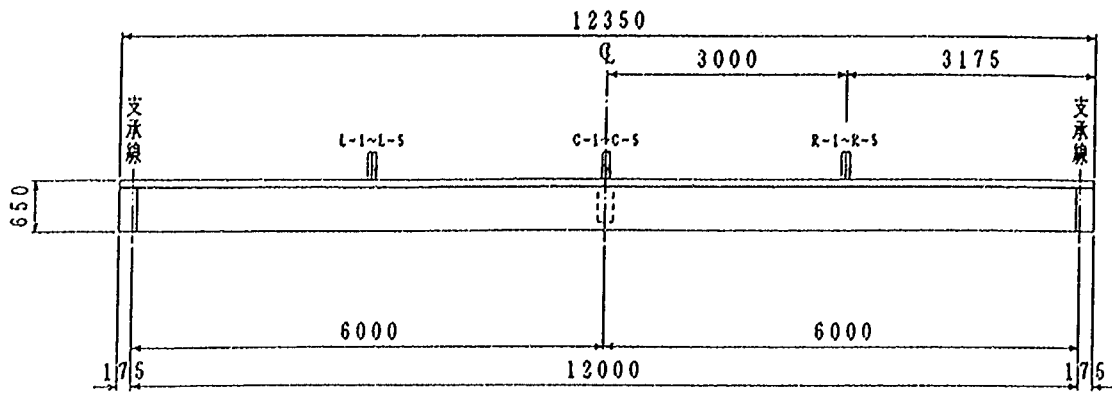
断面図 縮尺 1:50
支間1/4 中間部



⊞: 軸荷重, 数字は受荷点番号,

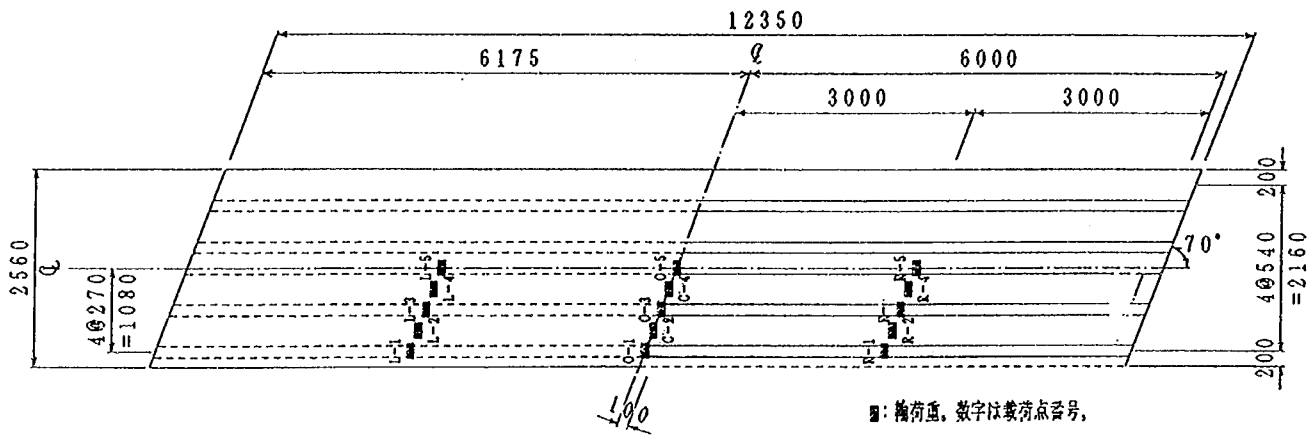
(a) 直橋供試体
図-4.2.8 橋供試体の軸荷重載荷位置

側面図 縮尺 1:100



Ⅲ: 端荷重, 数字は载荷点番号,

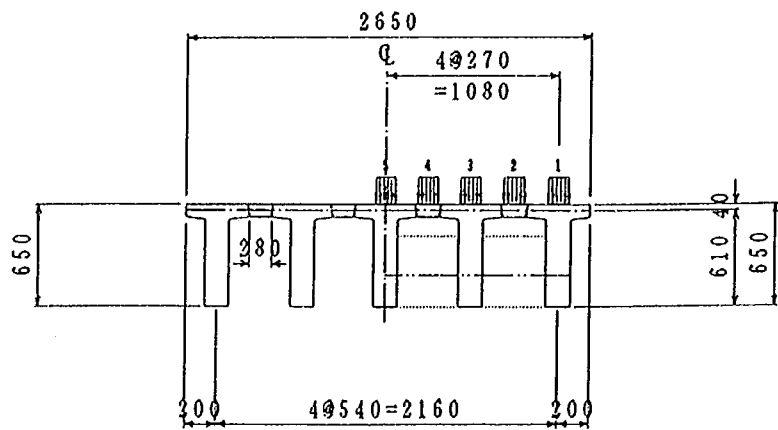
平面图 縮尺 1:100



■：陶荷重。数字は载荷点番号，

断面図 縮尺 1:50

支間1/4 中間部



||||: 轴荷重。数字は载荷点番号、

図-4.2.8 (b)斜橋供試体
橋供試体の輪荷重載荷位置

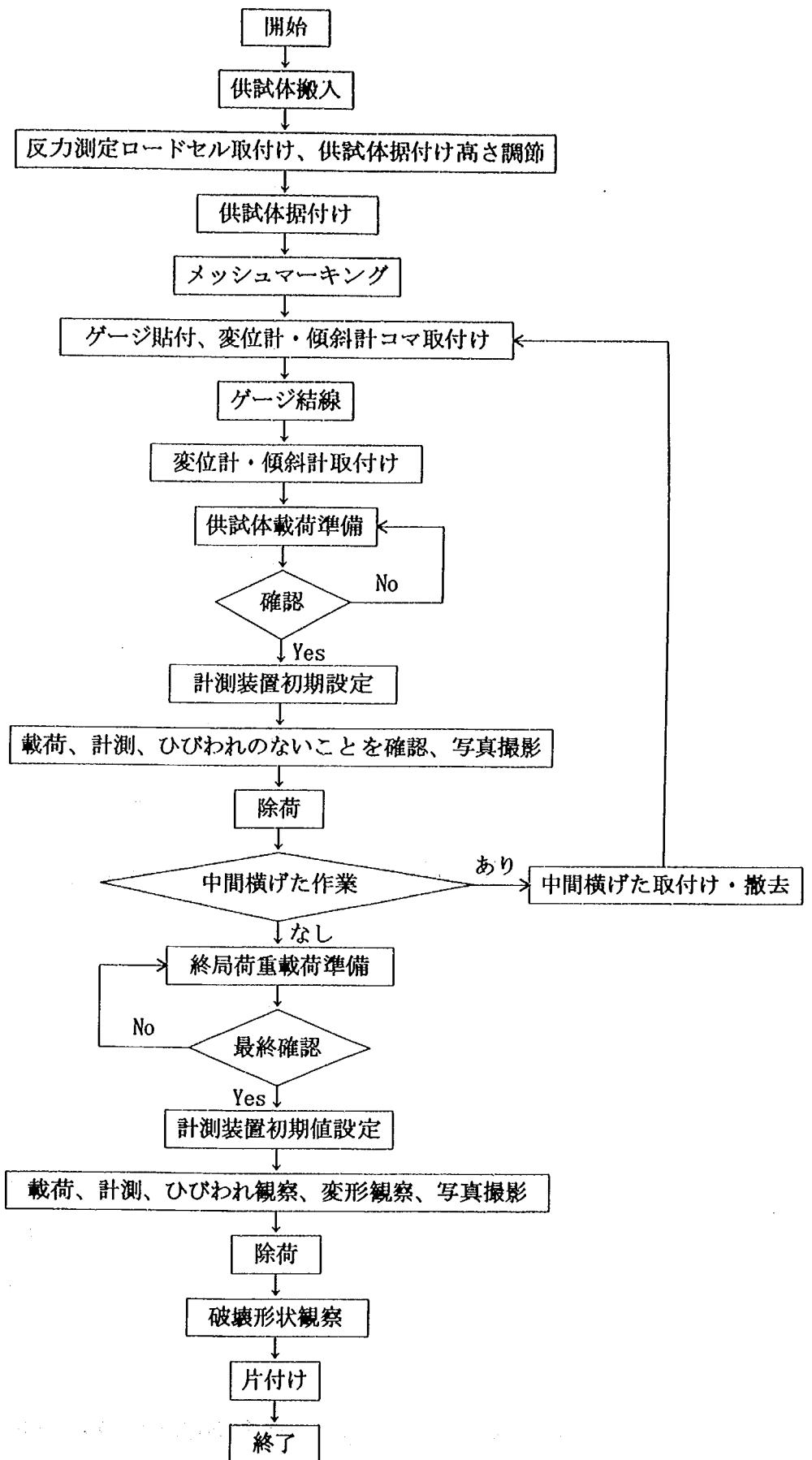


図-4.2.9 橋供試体の載荷実験手順

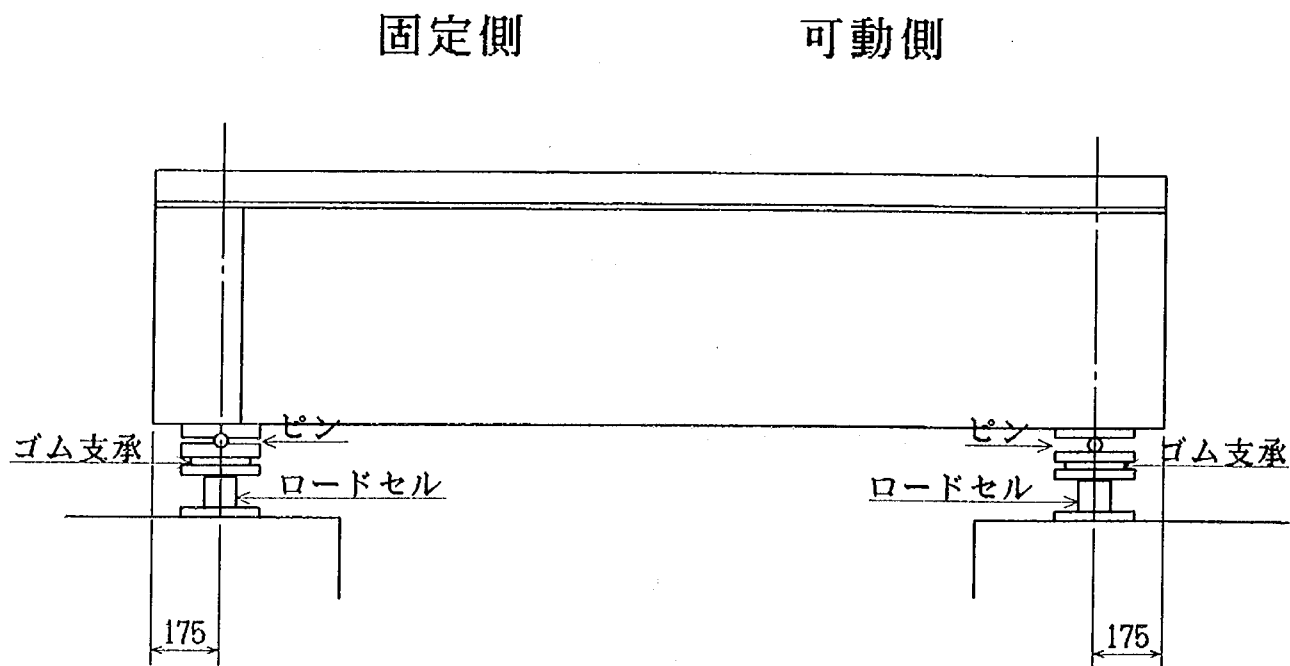
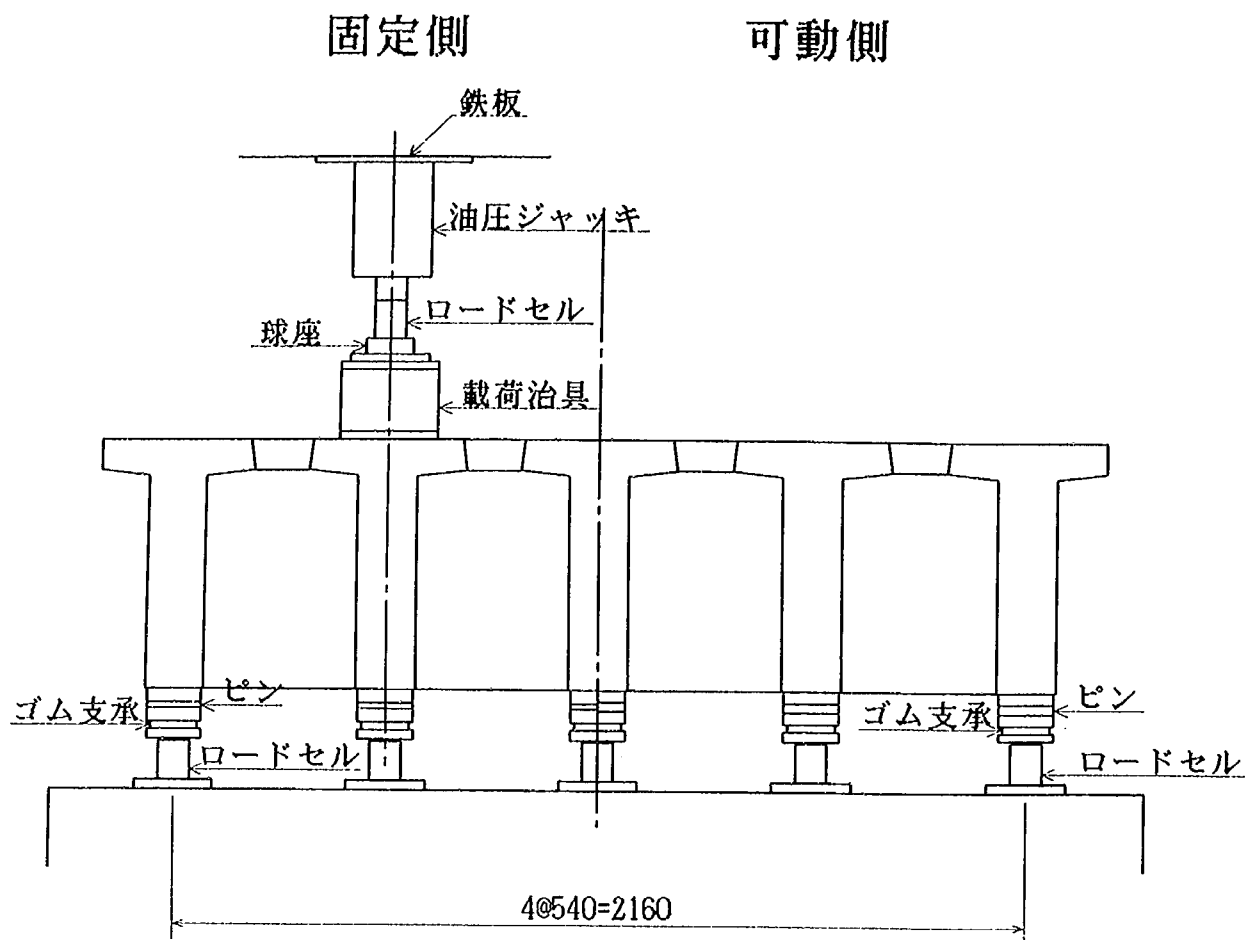
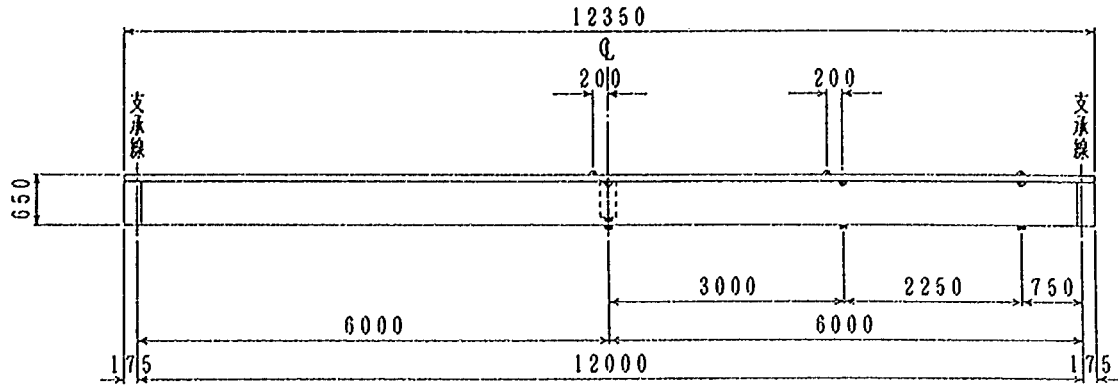


図-4.2.10 橋供試体の支点部および載荷部の構造およびロードセルの設置位置

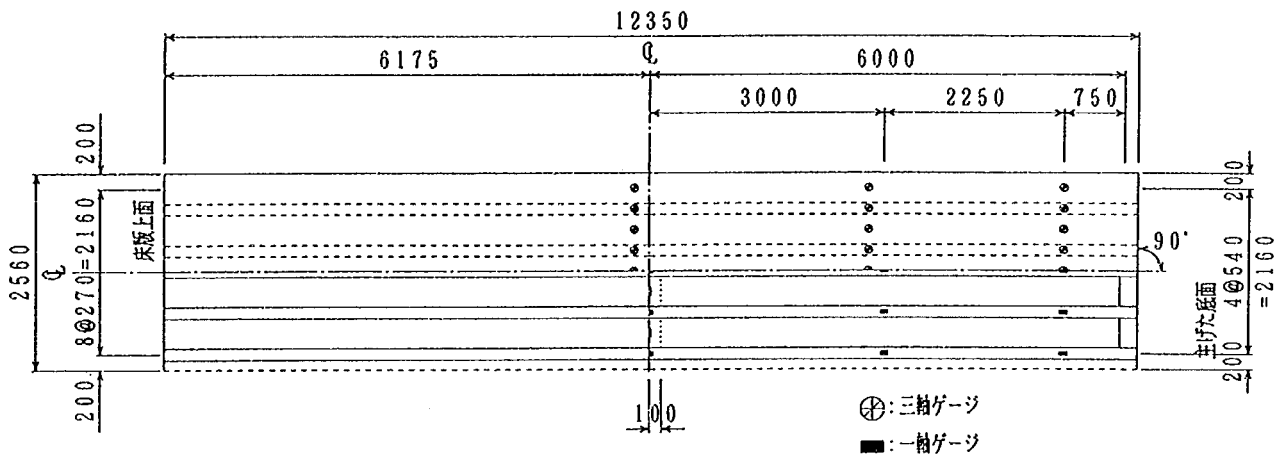
側面図 縮尺 1:100



⊗: 三軸ゲージ

■: 一軸ゲージ

平面図 縮尺 1:100

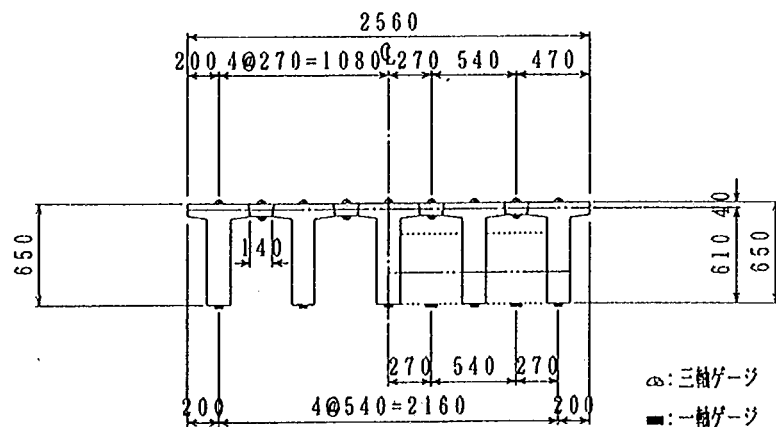


⊗: 三軸ゲージ

■: 一軸ゲージ

断面図 縮尺 1:50

載荷点外測点 載荷点



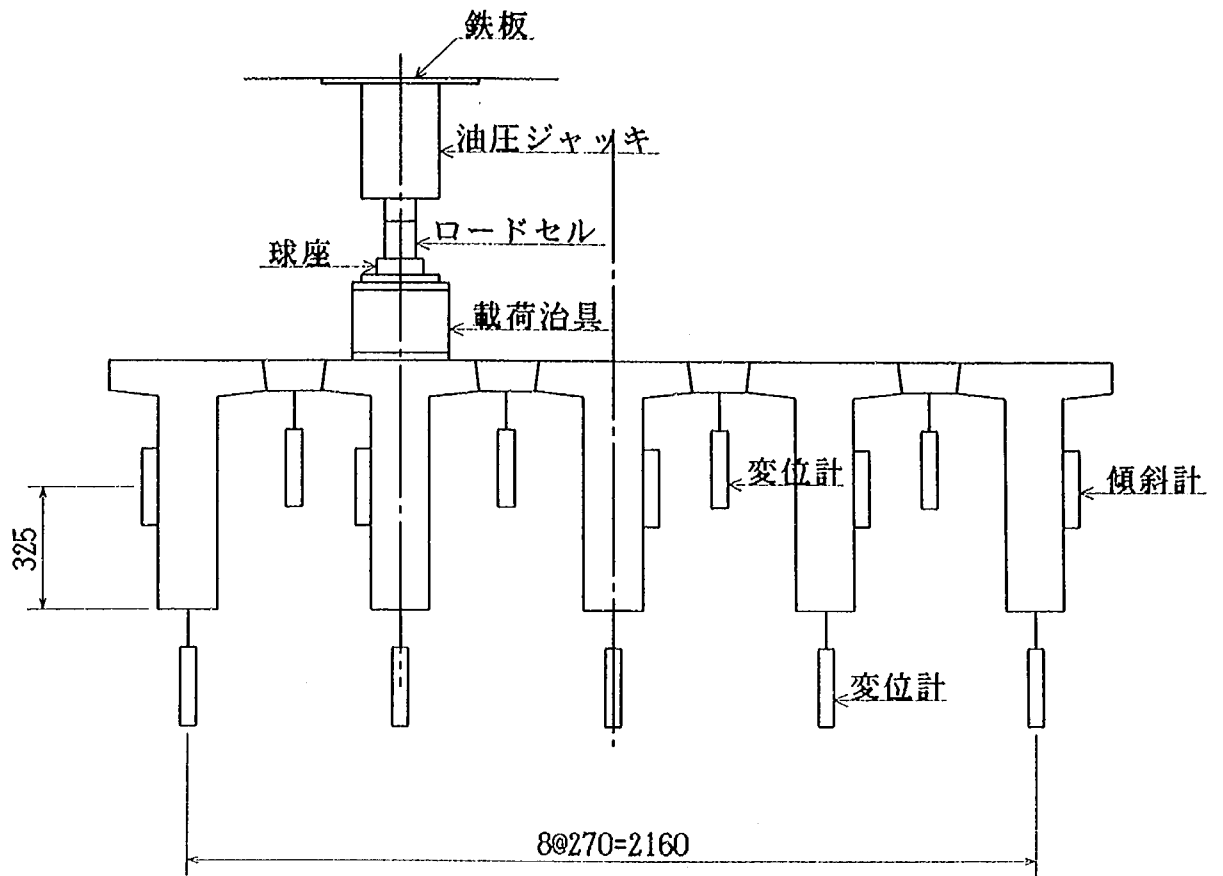
⊗: 三軸ゲージ

■: 一軸ゲージ

(a) 直橋供試体
図-4.2.11 橋供試体表面ゲージの貼付位置

支間 1 / 4 点

中間部



固定側

可動側

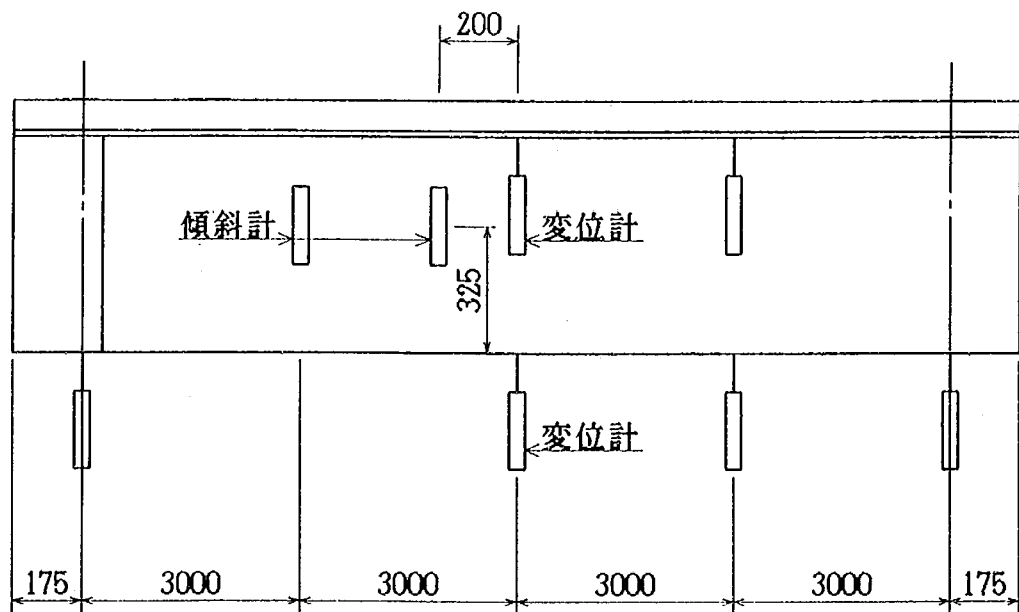


図-4.2.12 橋供試体の変位計および傾斜計設置位置

⑤横締め鋼材のプレストレス導入量

横締め鋼材緊張時の緊張管理用に、図-4.2.14に示すように一軸ゲージを貼付する。ひずみは、緊張時のみに測定し、載荷時には計測しない。

計測は、プレストレス導入直前および直後に4ゲージによって導入プレストレスを計測し、載荷直前に有効プレストレスを測定する。また、横組み完了後の横締めケーブルの緊張時に、導入時のPC鋼棒のひずみを測定し、緊張管理とする。載荷時は、0.50tfごとにコンクリートのひずみ、供試体の変位、回転角、主げた反力および鉄筋のひずみを計測し、終局に至らせる場合にはひびわれの発生状況および破壊形状を併せて観察する。

終局に至らせる場合は、荷重を1.00tf程度ごとに増加させ、ひびわれ発生付近および終局付近では増加量を小さくするものとする。

4. 3 けた供試体の測定結果

4.3.1 ひびわれ発生荷重の評価

けた供試体の載荷荷重と支間中央の主げたのたわみの関係を図-4.3.1に示す。載荷荷重が小さい範囲では約0.75tfごとに、その後約0.25tfごとに変位、ひずみ等の測定を行い、ひびわれ発生後10点の測定を行った後除荷しその後終局破壊するまで再載荷を行った。図中の実測値（1サイクル）は載荷荷重13tfまでとその後の除荷時の挙動を、実測値（2サイクル）は再載荷時の挙動を示している。主げたのたわみの実測値（1サイクル）は10tf程度までは荷重に比例して増大することを読みとることができる。載荷荷重10.47tf時に最初のひびわれが発生したため、これ以降は荷重とたわみとは比例関係ではなくなる。本実験の載荷方法の場合、主げた下縁に -30kgf/cm^2 の応力度が発生する計算載荷荷重は6.77tfと求められ、実測ひびわれ発生荷重10.47tfと大きく離れている。この原因としてはコンクリートの割裂引張強度が 46.0kgf/cm^2 と大きいことから設定した曲げひびわれ発生応力度が実際よりも小さいことが予想されること、リラクセーション、クリープ、乾燥収縮が完全に進行していないことによりP C鋼材の応力度が設計時の応力度以上残っているため、載荷荷重に対し計算以上にプレストレスにより抵抗していること等が考えられる。

コンクリートの曲げ引張強度は土木学会コンクリート標準示方書（平成8年制定）設計編に記載されているコンクリートの曲げ強度の式によりコンクリートの圧縮強度から求めることができる。

$$\begin{aligned}\sigma_{bk} &= 0.42 \times \sigma_{ck}^{2/3} \\ &= 0.42 \times (745 \times 9.81 \times 10^{-2})^{2/3} \\ &= 7.34 \text{ N/mm}^2 \\ &= 74.8 \text{ kgf/cm}^2\end{aligned}$$

また、図-4.3.1において実測値（2サイクル）は $P \approx 7.0\text{tf}$ において勾配が変化している。一度ひびわれの生じたコンクリートは再載荷を受けた場合には同じ断面では引張に抵抗できないことからこの載荷荷重において供試体下面に引張応力度が発生し荷重-たわみ曲線の勾配が変化したものと考えられる。この時に支間中央に生じた曲げモーメントが試験時にP C鋼材により導入されている緊張力による曲げモーメントとなり、これより主げた下縁の有効プレストレスが 135.2kgf/cm^2 と推定される。したがって、けた供試体の支間中央けた下縁にひびわれが発生する時の載荷荷重は $P = 10.9\text{tf}$ となり実験値である10.47tfとほぼ一致する。

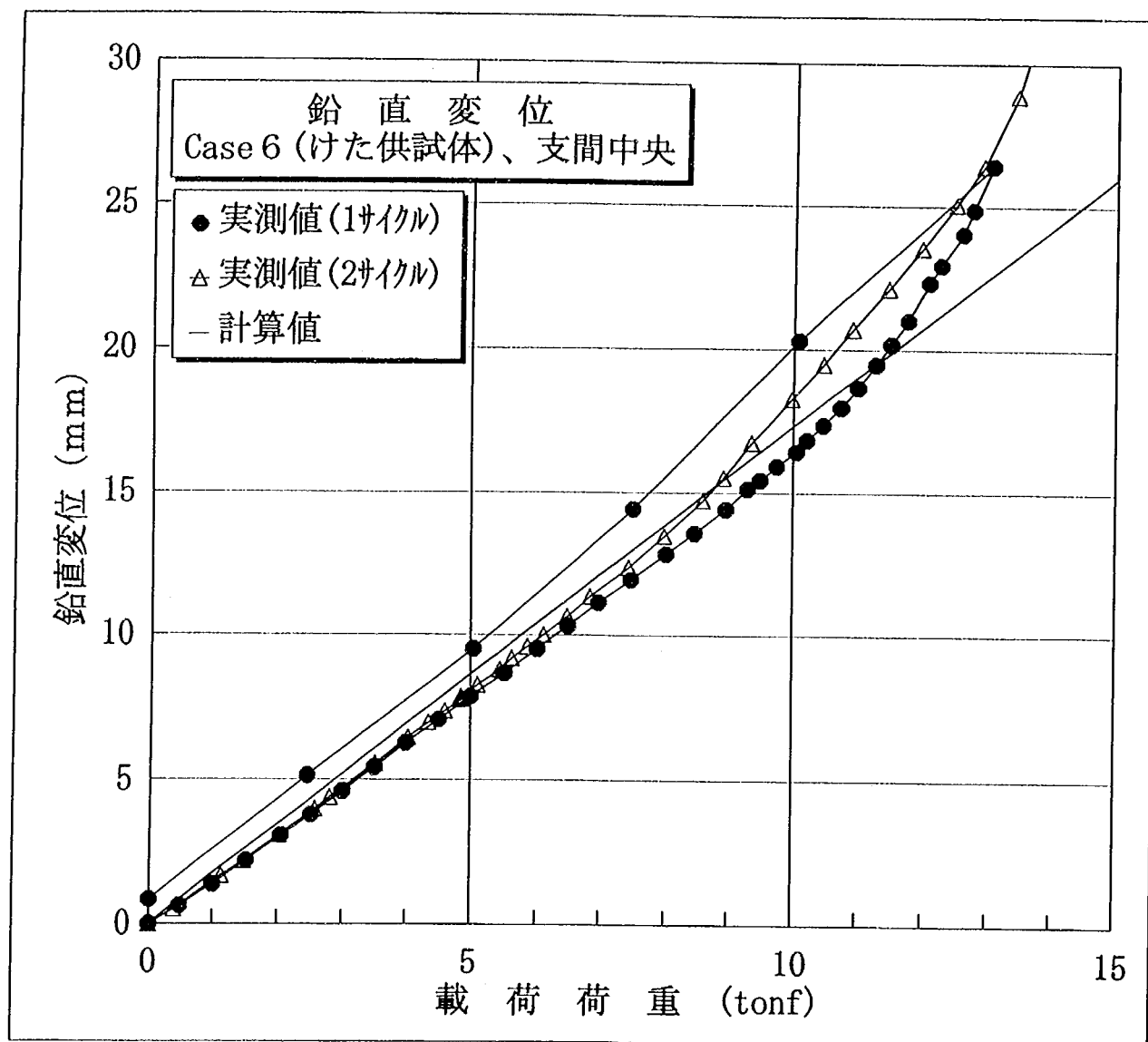


図-4.3.1 けた供試体の支間中央の鉛直変位

4.3.2 終局耐力

PCTげたでは脆性的破壊であるせん断破壊より曲げ破壊が先行するように設計を行っており、本試験でも同様の設計方法を用いていることから、けた供試体の載荷試験においても曲げ破壊により終局状態を迎えることとなる。けた供試体のひびわれ図を図-4.3.2に示す。破壊状況はまず載荷点の中間位置に曲げひびわれが発生進展し、最後に圧縮破壊した。曲げ破壊耐力の計算を以下に示す。なお、コンクリートの圧縮強度、PC鋼材ヤング係数及び引張応力度は実測値あるいは材料の試験成績書による値を用いた。設計条件は以下のとおりである。

$$\text{コンクリートの圧縮強度 } \sigma_{130} = 745 (\text{kgf/cm}^2)$$

$$\text{PC鋼材配置有効高さ } d = 49.90 (\text{cm})$$

$$\text{PC鋼材断面積 } A_p = 658.08 (\text{mm}^2)$$

$$\text{ヤング係数 } E_p = 2.01 \times 10^6 (\text{kgf/cm}^2)$$

$$\text{引張応力度 } \sigma_{pu} = 197 (\text{kgf/mm}^2)$$

$$\text{有効プレストレス } \sigma_{pe} = 95.02 (\text{kgf/mm}^2)$$

$$\text{圧縮フランジ幅 } b = 38.0 (\text{cm})$$

$$\text{コンクリートの終局ひずみ } \epsilon_{cu} = 0.0035$$

繰り返し計算結果に基づき、中立軸位置を $x = 6.263 \text{ cm}$ とすると、コンクリートに作用する圧縮力 C は、

$$C = 0.85 \times 745 \times 0.8 \times 6.263 \times 38 = 120568 (\text{kgf}) = 120.6 (\text{tf})$$

また、載荷荷重によって生じるPC鋼材のひずみ ϵ_p' 、有効プレストレスによるPC鋼材のひずみ ϵ_{pe} および終局時のPC鋼材のひずみ ϵ_p は、

$$\epsilon_p' = 0.0035 \times (49.9 - 6.263) / 6.263 = 0.024386$$

$$\epsilon_{pe} = 9502 / 2010000 = 0.004727$$

$$\epsilon_p = 0.024386 + 0.004727 = 0.029113 > 0.015$$

これより、PC鋼材のひずみは第2変曲点以降にあり降伏している。したがって、PC鋼材の応力度 σ_p は、

$$\sigma_p = 0.93 \times 197 = 183.2 (\text{kgf/cm}^2)$$

よって、PC鋼材に作用する引張力 T は、

$$T = 183.2 \times 658.08 = 120560 (\text{kgf}) = 120.6 (\text{tf}) \approx C$$

したがって、主げたの曲げ破壊抵抗モーメント M_u は、

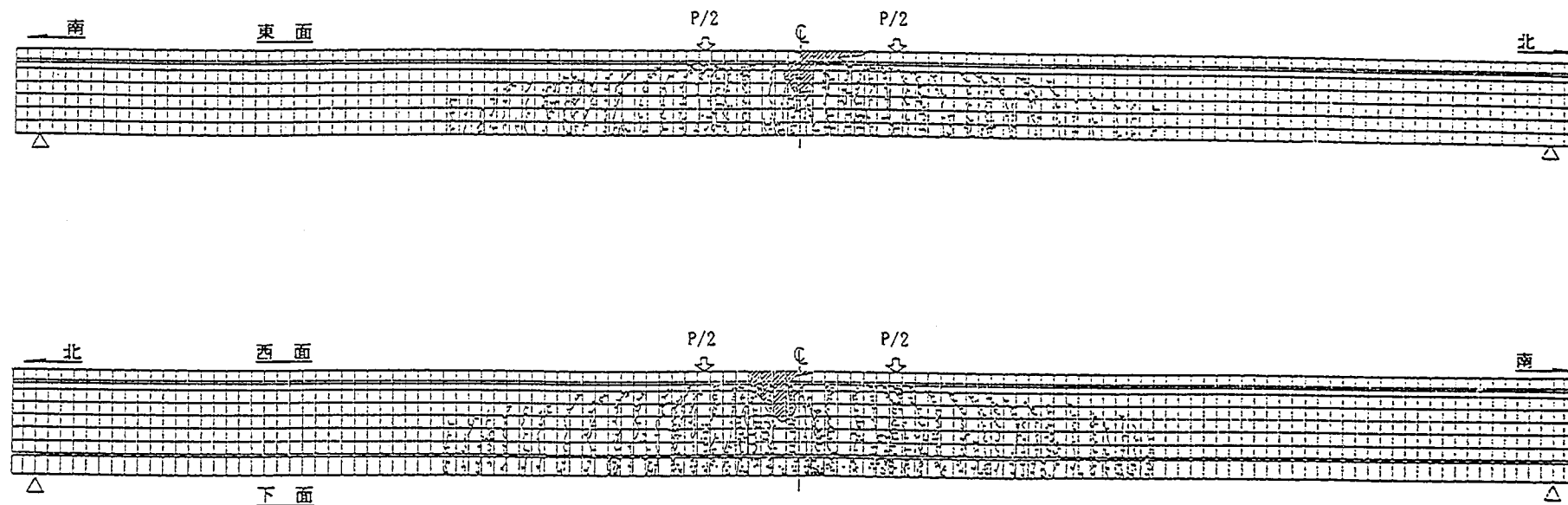
$$M_u = 120.6 \times (49.90 - 0.4 \times 6.263) = 5716 (\text{tf} \cdot \text{cm}) = 57.16 (\text{tf} \cdot \text{m})$$

また、主げた支間中央から75cm離れた位置に集中荷重を2点作用させた場合の破壊荷重 P_{umax} は、

$$\frac{P_{umax}}{2} \times (6.0 - 0.75) = 57.16 - 5.35 (\text{tf} \cdot \text{m}) \quad \left(\begin{array}{l} \text{ただし } 5.35 \text{ tf} \cdot \text{m} \text{ は主げた自重} \\ \text{によるモーメント} \end{array} \right)$$

$$P_{umax} = 19.74 (\text{tf})$$

一方、載荷試験により求められた最大荷重は21.83(tf)であり、計算結果との誤差は10%程度であった。



- 注1) ひび割れのうち、数字を記したものはひび割れ発生荷重(tf)を表し、荷重表示無きものは
終局後に発生したひび割れを表す。
- 注2) 斜線部は損傷が著しい部位（コンクリートの欠落部等）を表す。

図-4.3.2 ひびわれ発生状況（載荷終了後）

4. 4 橋供試体試験結果

4.4.1 主げた反力

(1) 計算値と実測値の比較

橋梁上部構造に作用した荷重は主げたを介して下部構造に伝達されることから、中間横げたを省略した場合の荷重分配性能を評価するために主げた反力の比較を行う。載荷荷重による各主げた反力の計算値と実測値の比較を図-4.4.1、図-4.4.2に示す。なお、弾性域試験では同じ供試体を用いて数回の載荷を行うためひびわれを発生させないような最大荷重として主げた上12tf、床版間詰め部3.8tfの載荷荷重を設定したが、比較は載荷荷重応力度の相似率が1/1となる2.5tfとして行う。図-4.4.1～図-4.4.2に示した計算値は中間横げたの有無等の条件の違いによってはほとんど変化していない。また、実測値においても荷重分配性能が良いと考えられるCase 1 供試体が必ずしも計算値と一致しているわけではなく、Case 1 G 2 げた位置の様に実測反力が計算反力に比べ若干大きくなっている点も見られた。これは他の載荷条件の場合の反力比較でも同様の点があった。実測値のばらつきが生じる要因としては、支承のバネ定数のばらつき、可動支承が完全に可動していない可能性、支承とけたの接触状況等が考えられる。ゴム支承は製作時の気温や湿度等の条件により鉛直バネ定数が変化する可能性が生じることが予想される。今回の実験ではゴム支承の下に鋼製のピン支承を配置した構造となっており、支点反力と支点部鉛直変位の測定により鉛直バネ定数は7.2～18.1tf/mm（平均値11.0に対して-35～+65%）と計算された。平面格子解析に用いた支点部の鉛直バネ係数を、実測された反力と支点部変位の関係から求めた各実測値に置き換えることにより計算値はより実測値に近づくことから、適切な解析モデル化を行うとともに、各物理定数に実測値を用いることにより実測値と計算値はほぼ一致するものと考えられる。

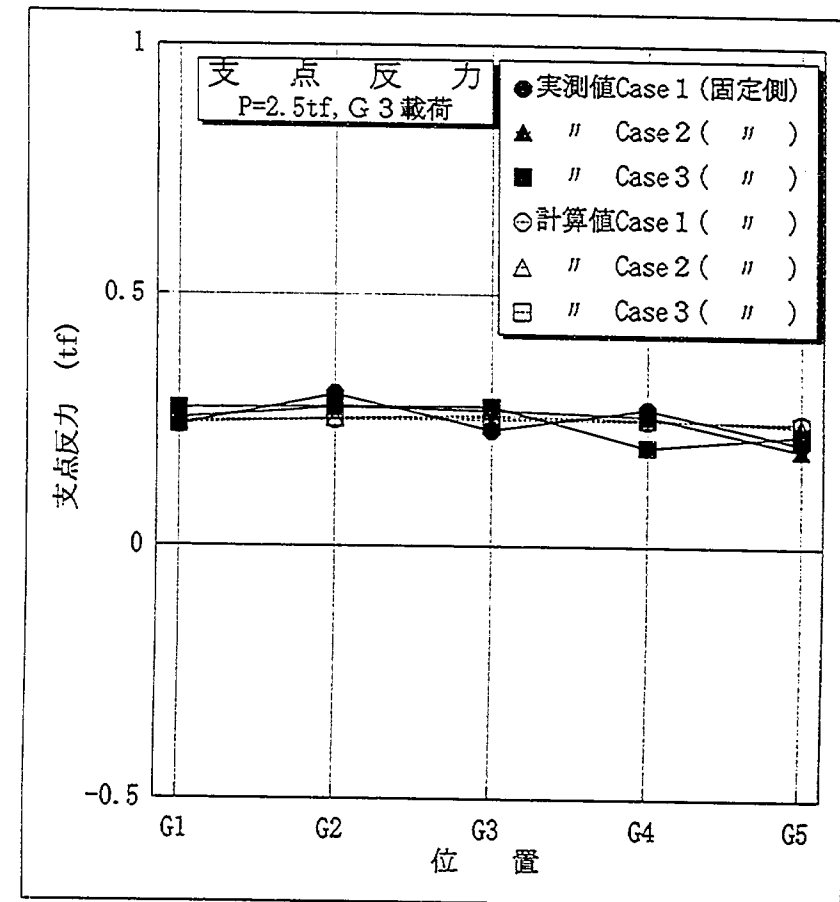
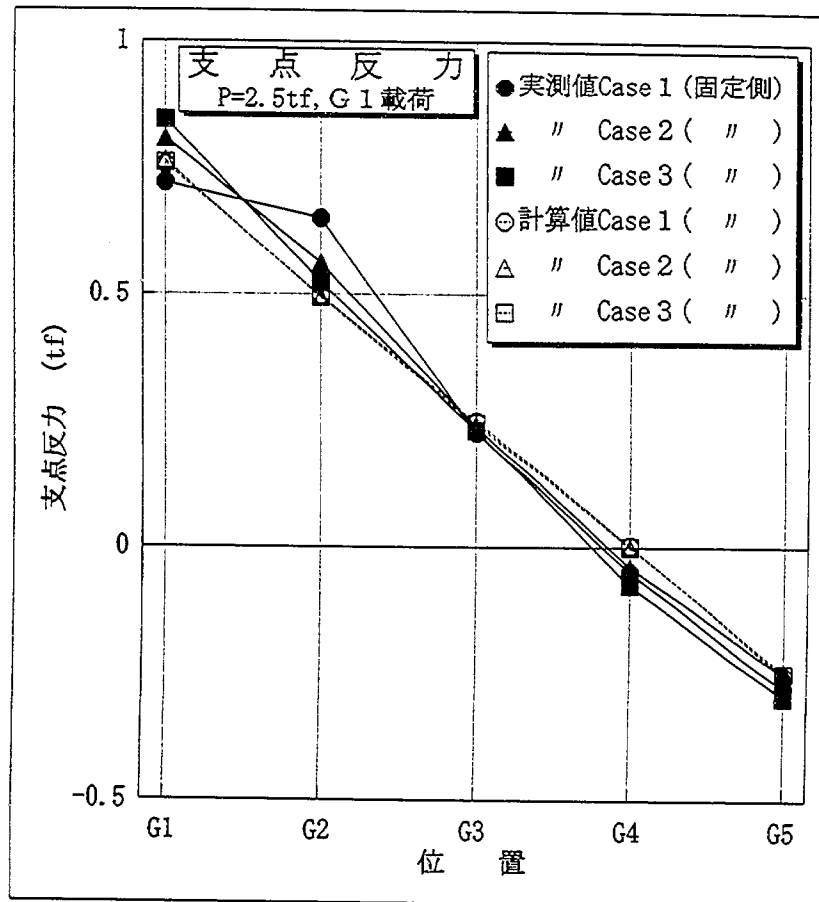


図-4.4.1 主げた反力の比較 (Case 1 ~ Case 3)

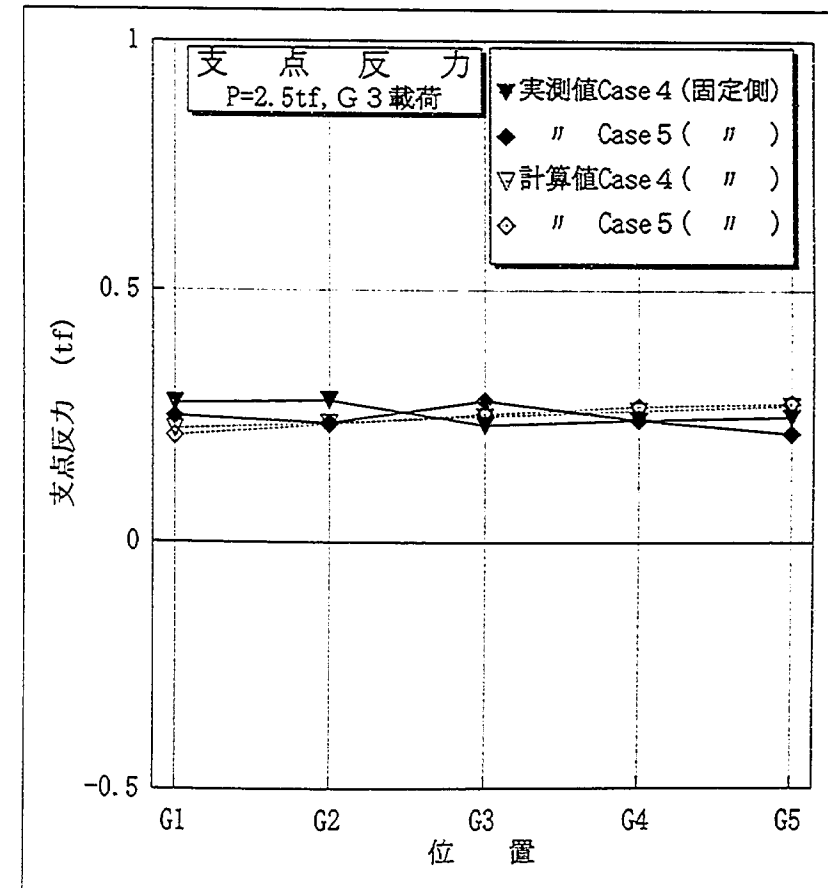
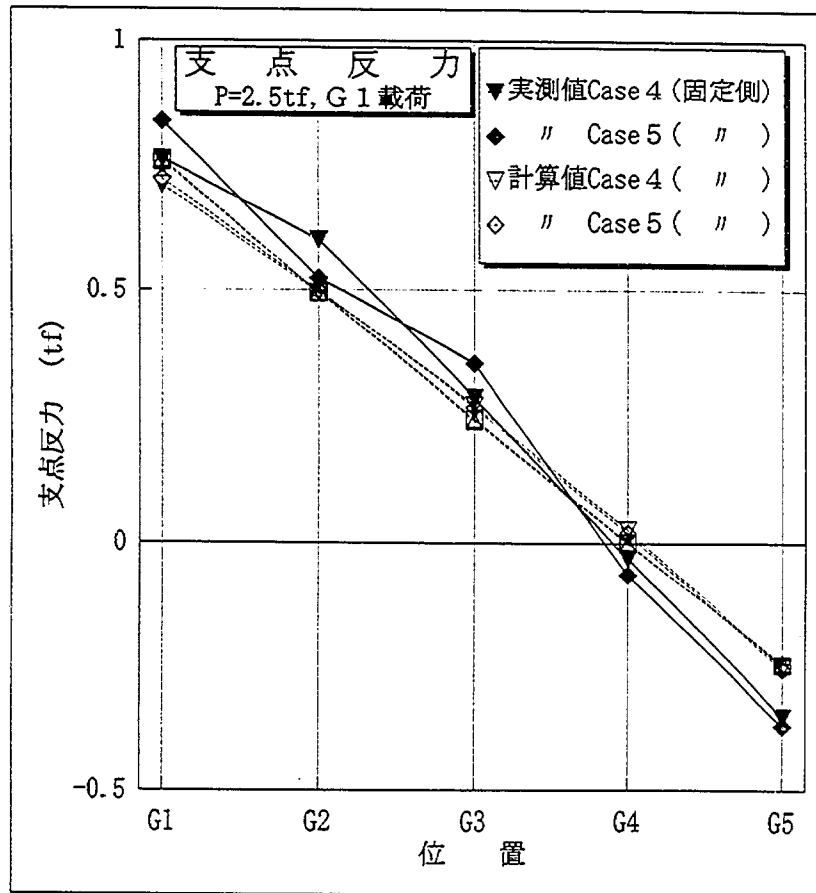


図-4.4.2 主げた反力の比較 (Case 4 ~ Case 5)

(2) 中間横げたの有無、床版厚の差、斜角による影響

主げた反力について計算値の比較を図-4.4.3に、実測値の比較を図-4.4.4、図-4.4.5に示す。各ケースの計算値を比較すると直橋の場合は最大0.01tf程度のずれとなり、中間横げたの省略や床版厚の増厚により支承や下部構造等の設計に与える影響は小さいと考えられる。また斜橋のCase 4、Case 5の比較においても同程度の差となっており、斜角のある場合も同様に中間横げたの省略による影響は小さいと考えられる。

各ケースの実測値の比較では、図-4.4.4(a)のCase 1の様にCase 2およびCase 3と若干異なった分布となっている場合もあるが、全般的には中間横げたの有無による主げた反力に対する影響は明確には表れていない。実測反力は各Caseの支承のバネ定数の違いや測定誤差、もともと大きな差異が生じないことが計算値からも予想されること等から図-4.4.4、図-4.4.5の各実測値の差は有意な差といえるほど大きくないと考えられる。

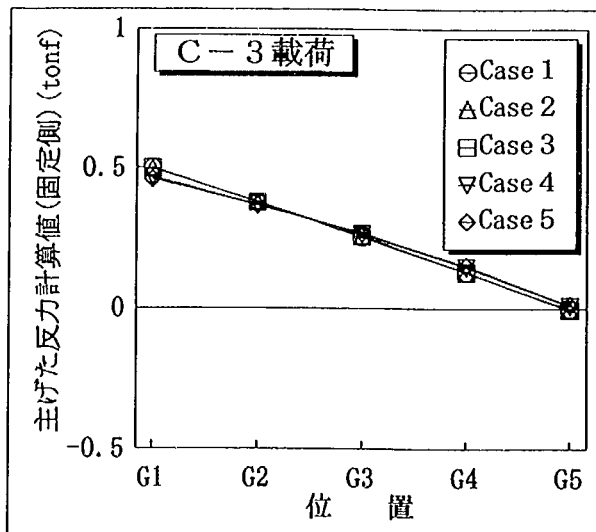
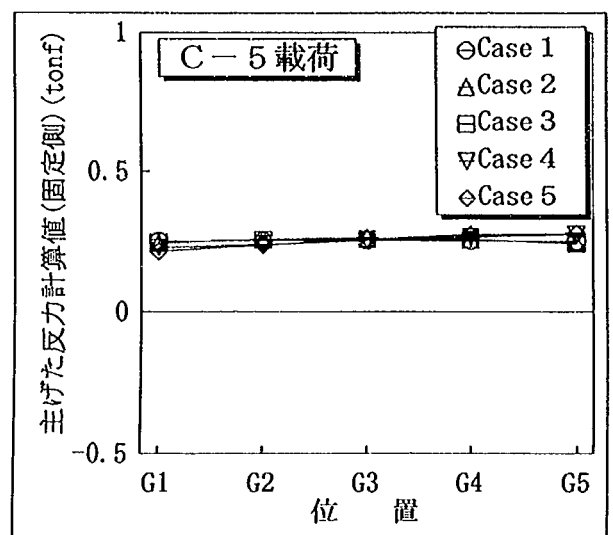
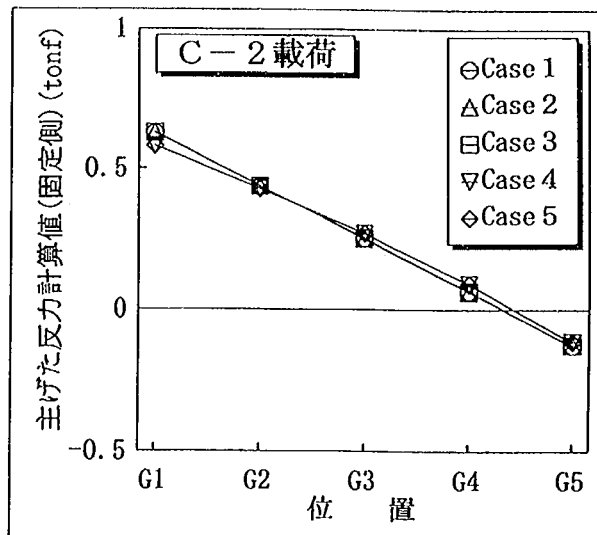
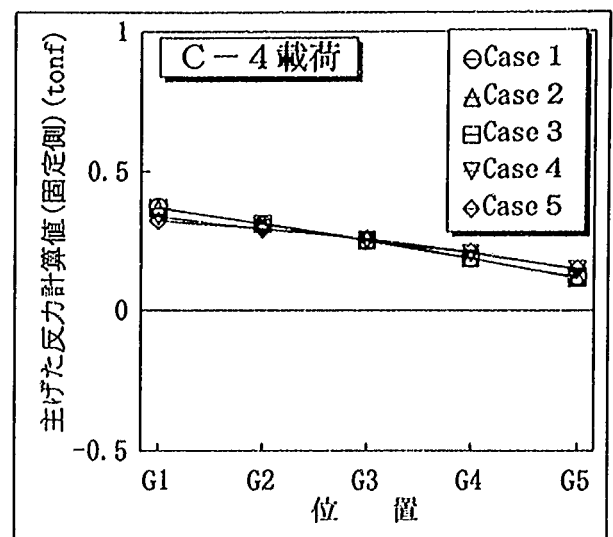
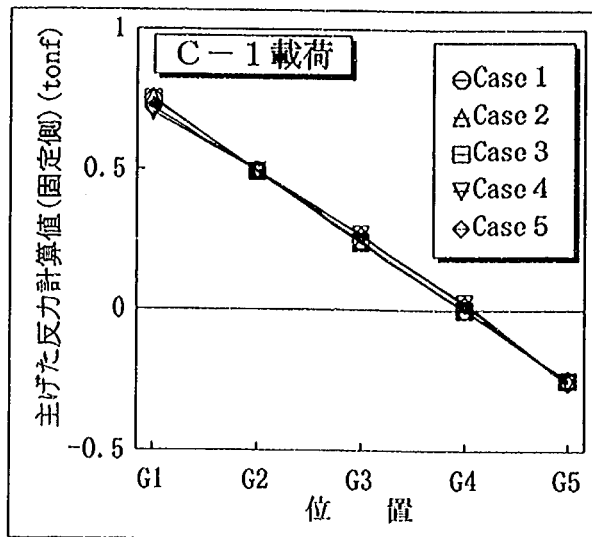


図-4.4.3 主げた反力の計算値の比較

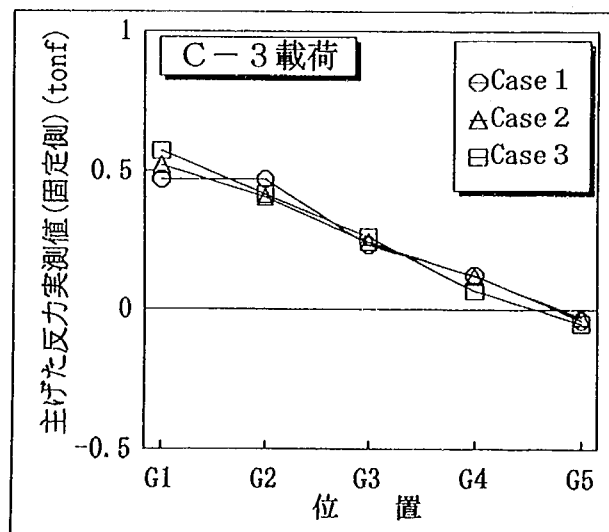
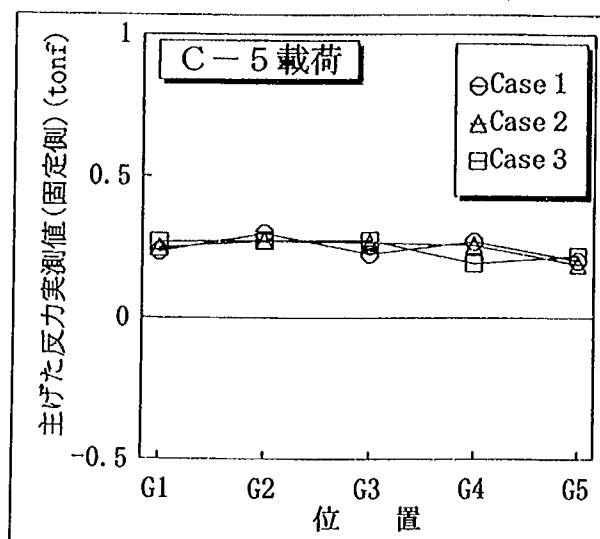
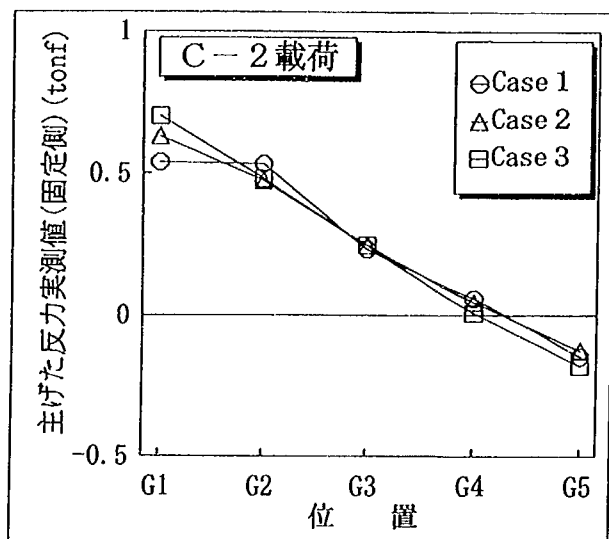
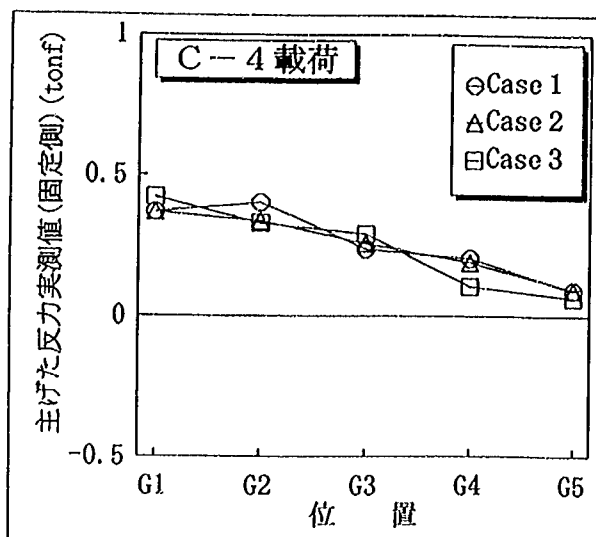
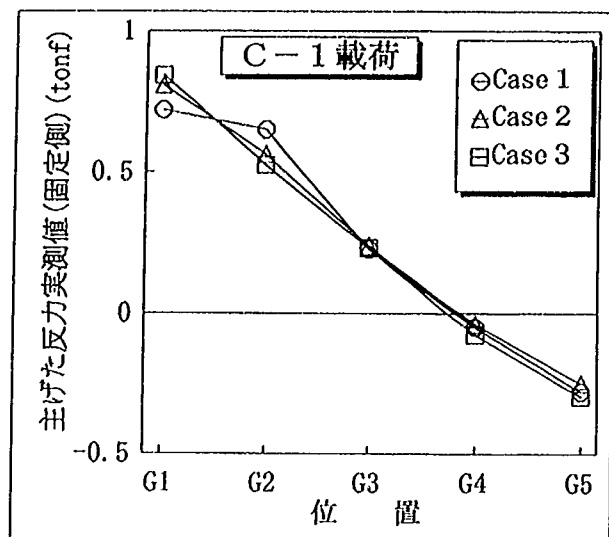


図-4.4.4(a) 主げた反力の実測値 (固定側) の比較 (Case 1 ~ Case 3)

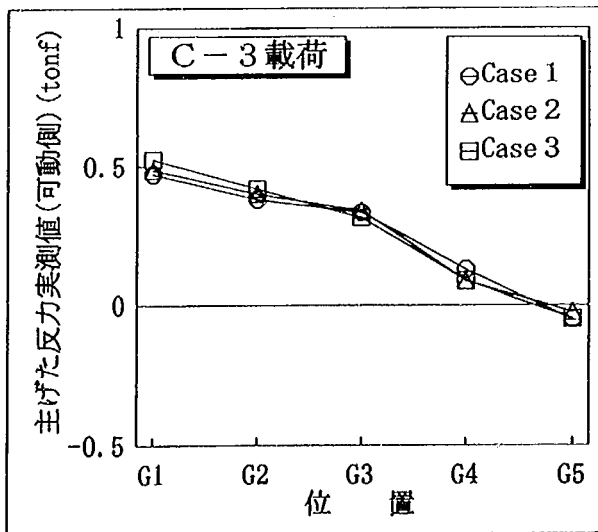
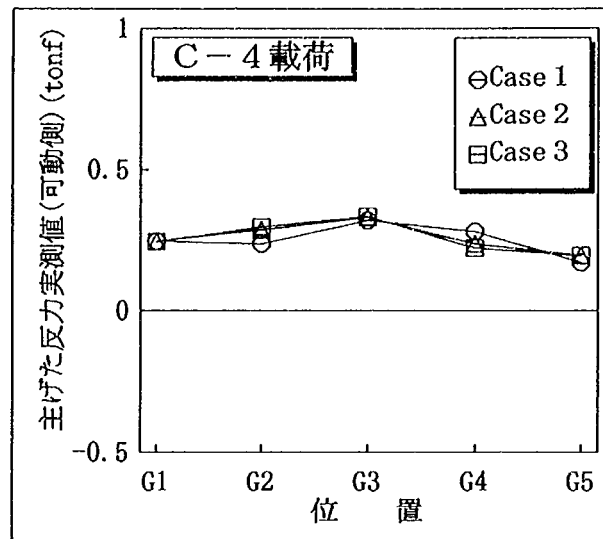
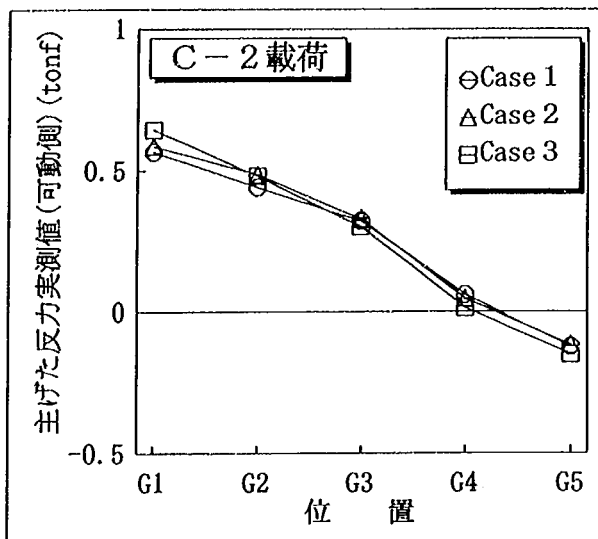
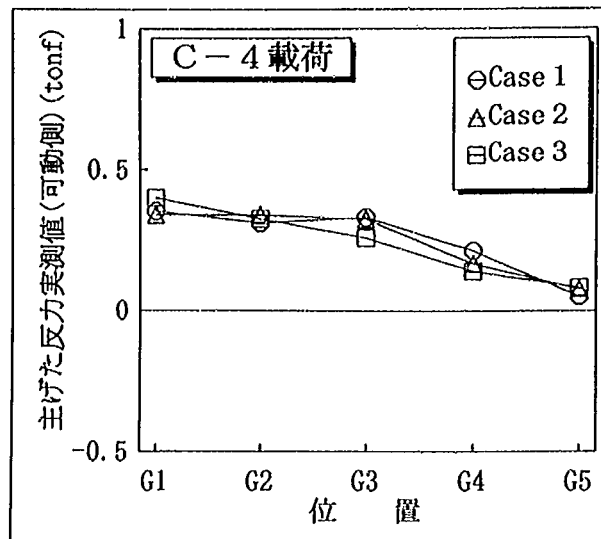
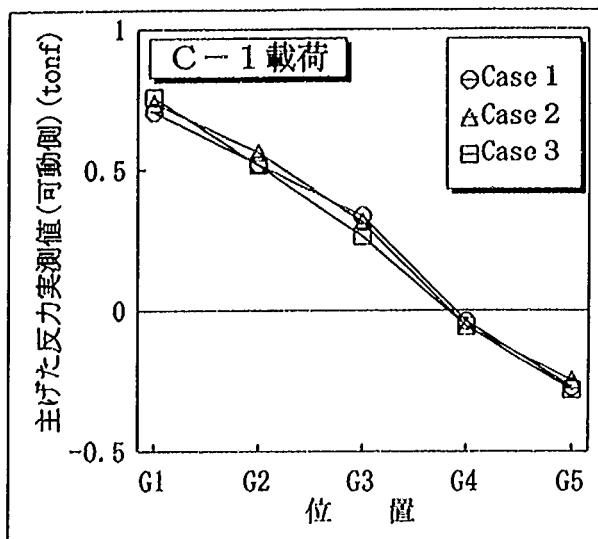


図-4.4.4(b) 主げた反力の実測値 (可動側) の比較 (Case 1 ~ Case 3)

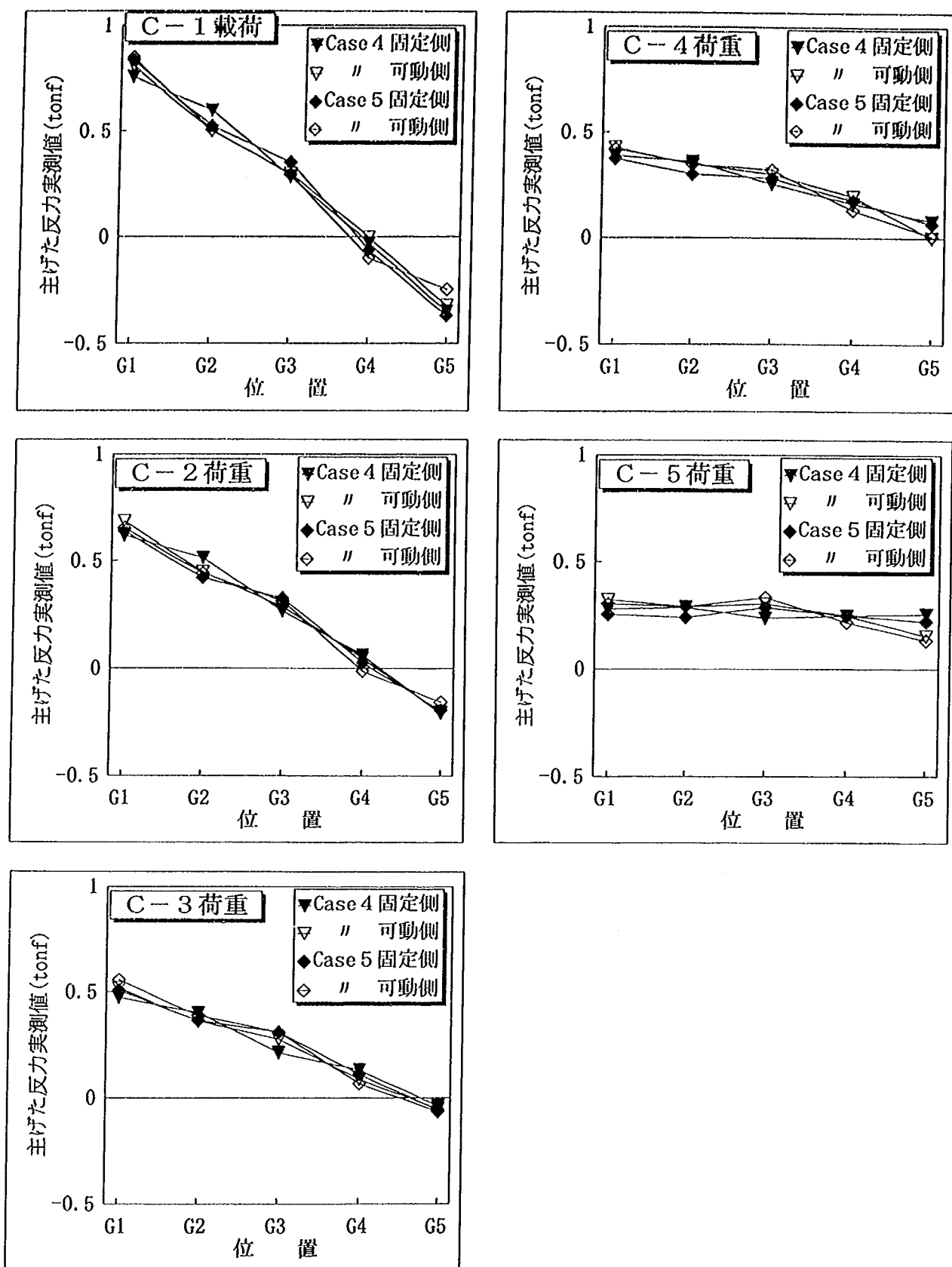


図-4.4.5 主げた反力の実測値の比較 (Case 4 ~ Case 5)

4.4.2 主げた、床版のたわみ

(1) 計算値、実測値の比較

ここでは中間横げたを省略した場合の荷重分配性能を確認するために、主げたや床版のたわみに着目した。なお、主げたの反力と同様に主げた上においては12tf、間詰め床版上では 3.8tfの載荷荷重であったが、比較を容易に行うために全載荷位置で 2.5tfの載荷荷重時で比較を行った。図-4.4.6に直接比較したたわみ図を示す。

図-4.4.6によると、実測値と計算値の傾向は一致するものの、実測値は計算値に対して 85～100%程度のたわみとなっている。このように計算値に比べて小さめのたわみとなる要因としては、計算で設定しているヤング係数が実供試体と異なっている可能性があること、主げたのヤング係数として5本の主げたコンクリートの各テストピースから求められるヤング係数の平均値を用いたこと等が考えられる。計算値を求める際に使用したヤング係数は、橋供試体と同じ養生条件のφ10×20cmの圧縮供試体により求めたものの平均値であるが、各橋供試体のコンクリートのヤング係数は必ずしも同一ではない。そのため、計算値と実測値の比較や各供試体間の比較を行う場合には、コンクリートのヤング係数の影響を消去する必要がある。そこで、(式-1)および(式-2)によりたわみの無次元化を行い、ヤング計数のばらつきの影響を除去した。このようにして求められた数値は、各測点のたわみの平均たわみに対する比であり、たわみによる荷重分配性能を表す指標の一つと考えることができる。ここでは、この指標をたわみ分布係数という言葉で表した。図-4.4.7にたわみ分布係数の実測値と計算値を示す。たわみ分布係数(実測値)とたわみ分布係数(計算値)はほぼ一致している。

$$\text{たわみ分布係数(実測値)} = \frac{\text{各測点の実測たわみ}}{\text{実測たわみ(全測点)の平均値}} \quad (\text{式-1})$$

$$\text{たわみ分布係数(計算値)} = \frac{\text{一主げたに2.5tf載荷した場合の各測点の計算たわみ}}{\text{全主げたに均等に(0.5tf×5ヶ所)載荷した時の計算たわみ}} \quad (\text{式-2})$$

なお、計算値は格子解析計算により求めた。

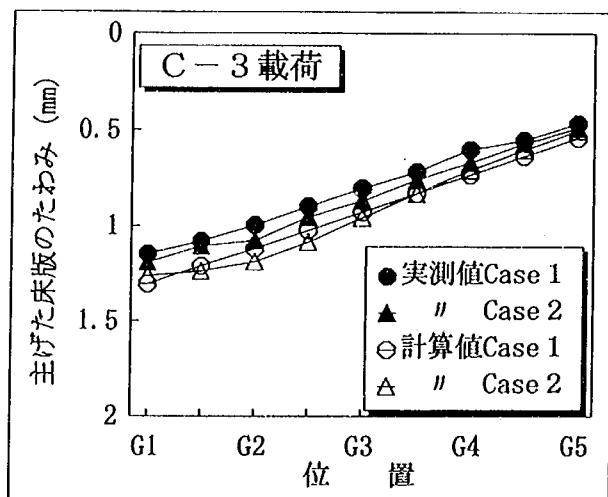
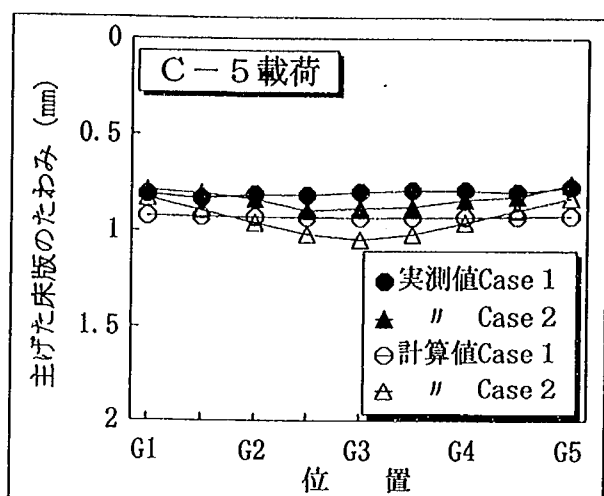
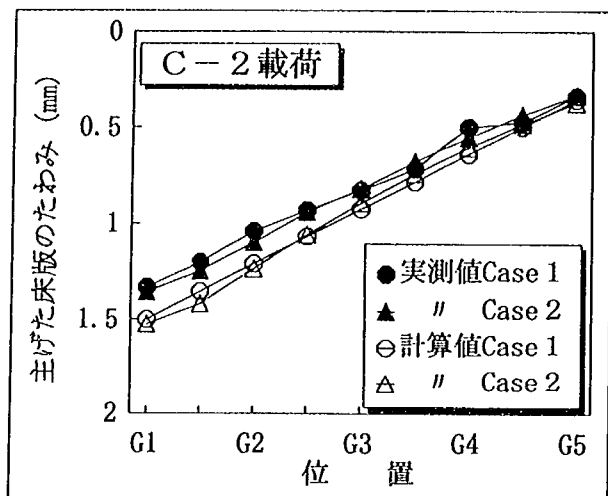
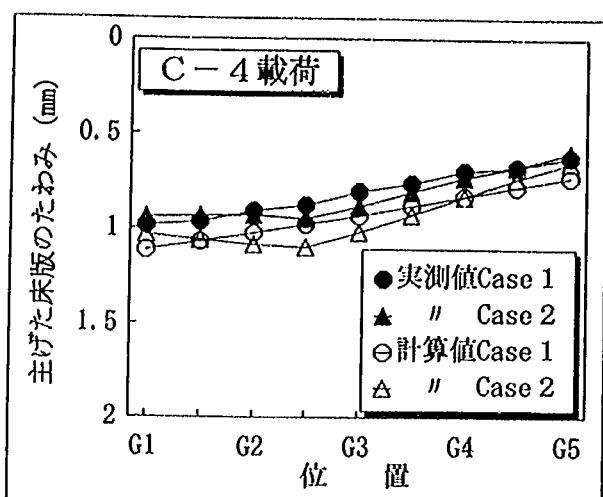
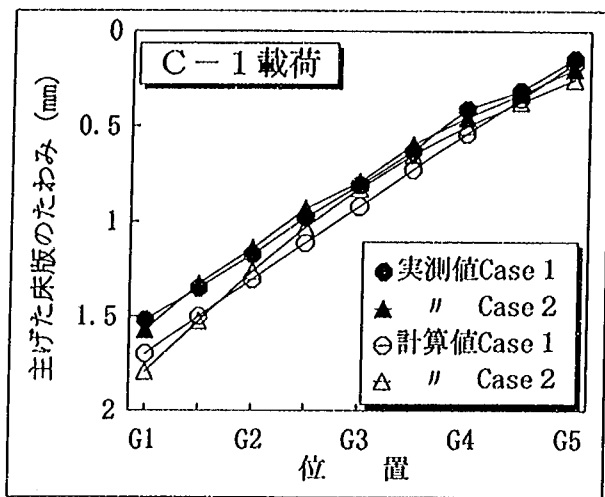


図-4.4.6 支間中央の鉛直変位

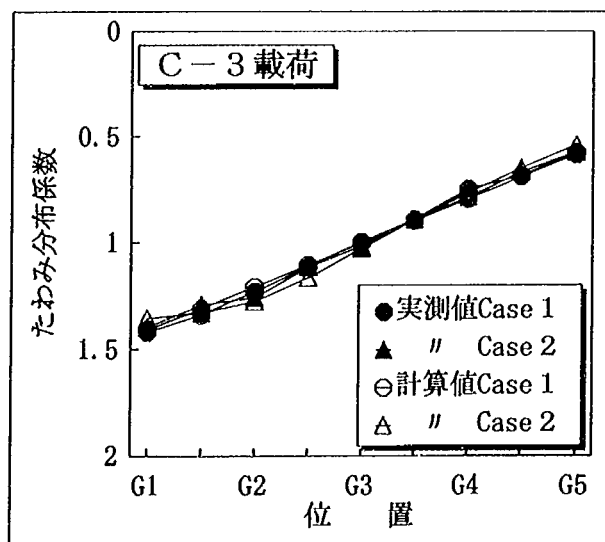
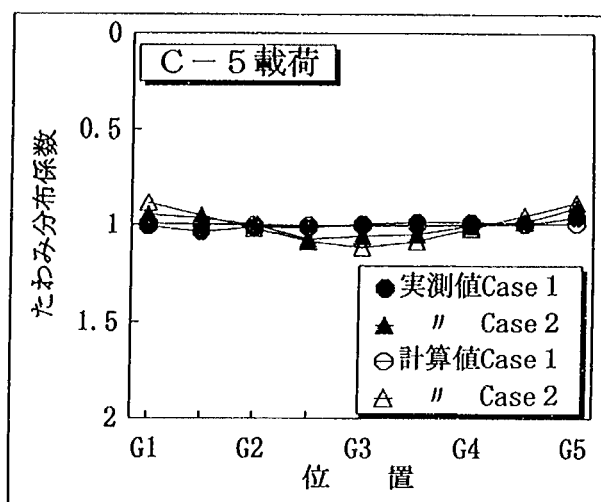
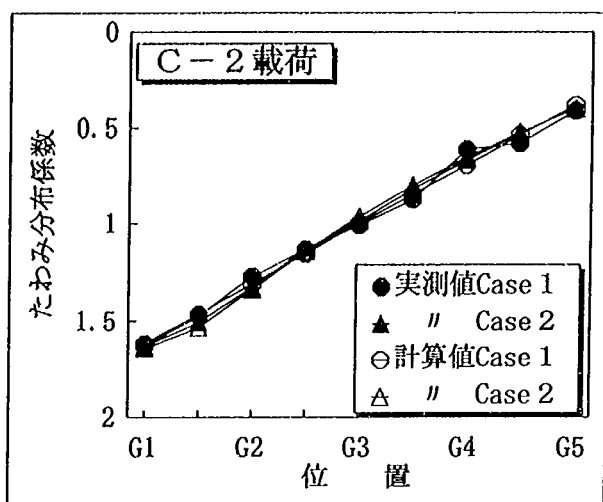
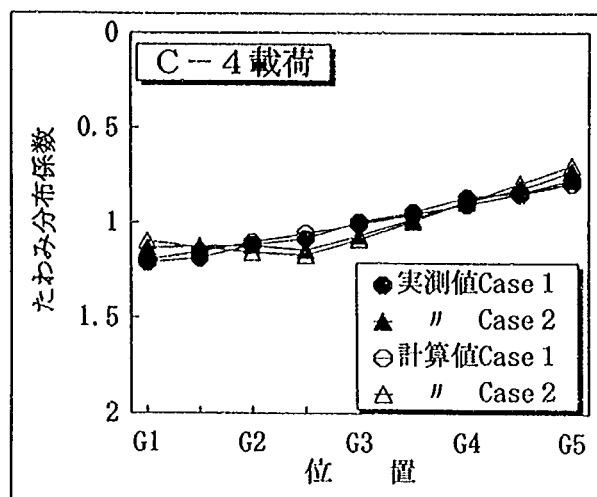
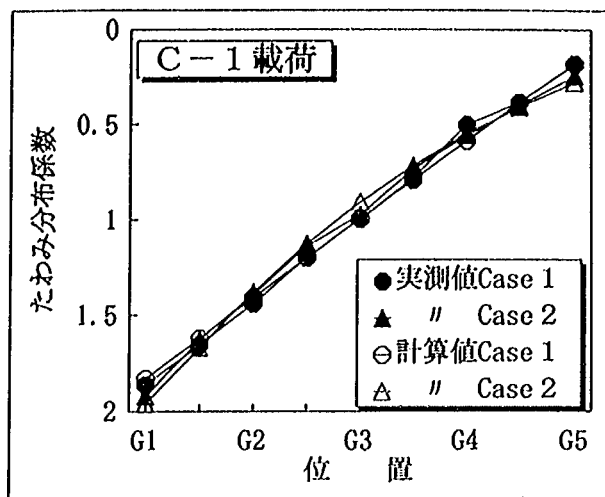


図-4.4.7 たわみ分布係数の比較 (Case 1 ~ Case 2)

(2) 中間横げたの有無、床版厚による影響

中間横げたの有無、床版厚の変化による影響を調べるために、Case 1 ～Case 3 の比較を行う。支間中央に載荷した場合のたわみ分布係数(実測値)の各Caseごとの比較を図-4.4.8に、計算値の比較を図-4.4.9に示す。図-4.4.8では測定誤差などの影響により明瞭でない場合もあるが、図-4.4.9ではCase 1 に比べてCase 2 はたわみ分布係数が大きいことから、荷重の載荷直下位置のたわみが大きく荷重分配性能が低下していることがわかる。またCase 3 は上床版を25%増厚させていることにより、荷重分配性能の低下の程度がCase 2 に比べ減少するが、中間横げたの省略を完全に補償するほどの効果はない。一方、支間中央に載荷した場合の支間1/4点のたわみ分布係数を図-4.4.10に示す。支間1/4点は支間中央に比べ改善が見られ、Case 1、Case 2 の差は減小している。また上床版厚を増加させたCase 3 ではCase 1 よりも荷重分配性能が同等あるいは向上していることがわかる。支間中央は中間横げたの影響が最も強く現れる位置であり、中間横げたから離れるに従って中間横げたの影響が小さくなるためと考えられる。したがって、橋全体で見た場合には、荷重分配性能は支間中央付近で低下するものの、それ以外ではほぼ同等もしくは増加していると考えられる。Case 1 ～Case 3 の橋供試体のヤング係数はどれもほぼ $3.5 \times 10^5 \text{ kgf/cm}^2$ となっており、たわみの直接比較が可能である。この場合Case 2 はCase 1 に比べたわみの増加はみられるもののその値は大きくなく、上床版厚を増厚したCase 3 は剛性が増したことによりたわみそのものがCase 1 に比べ同等もしくは減少しており、中間横げたの省略がたわみに与える影響に関しては重要とは考えられない。ただし、主げたの回転や相対たわみ差が生じることにより床版に生じる応力度に関しては中間横げた省略の影響を検討する必要があり、次項でそれについて示している。

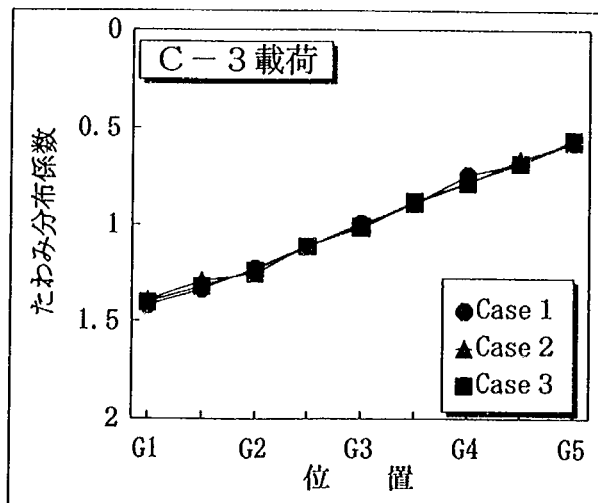
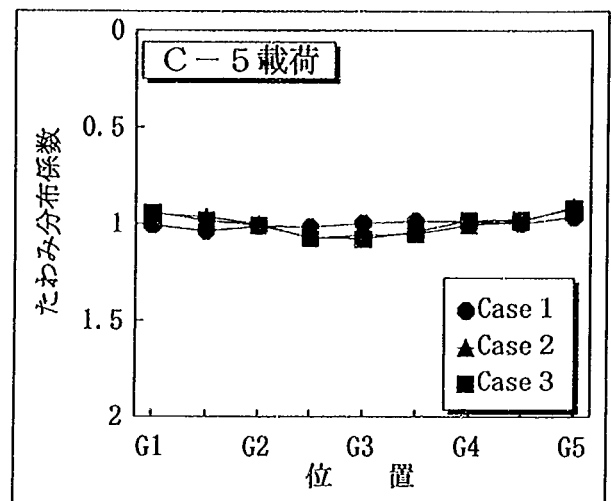
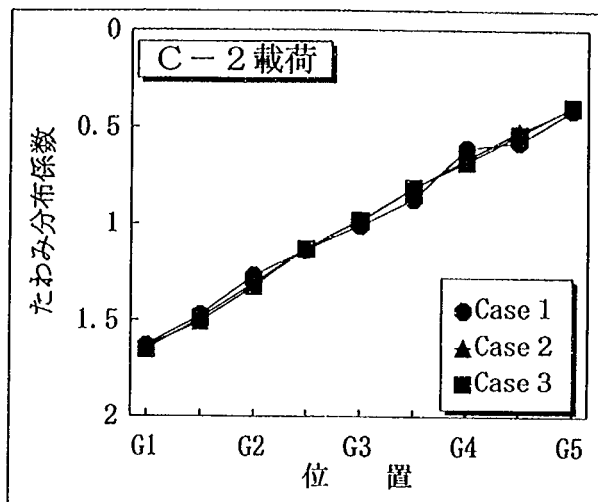
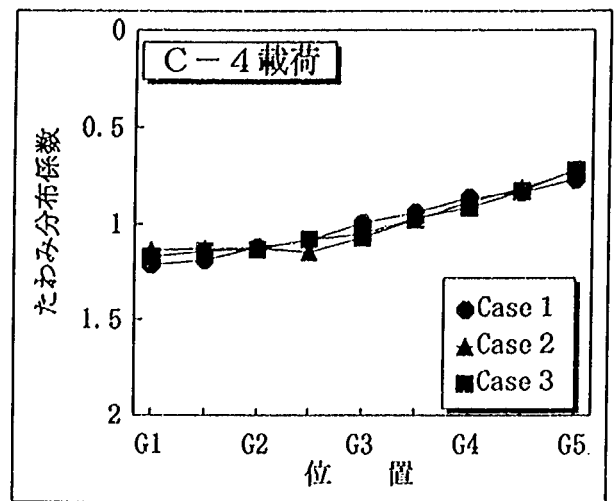
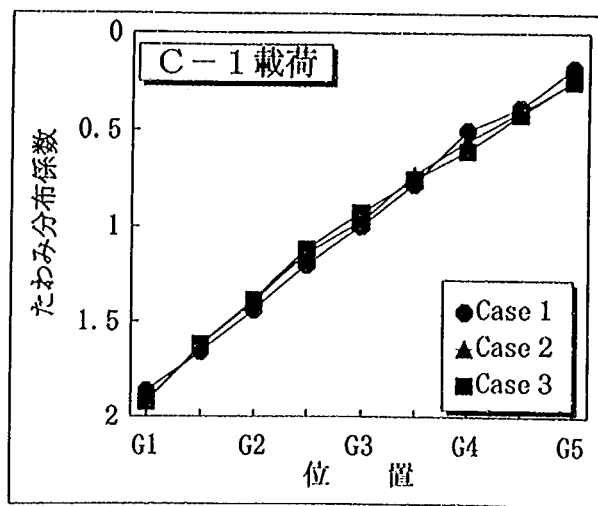


図-4.4.8 たわみ分布係数(実測値)の比較 (Case 1 ~ Case 3)

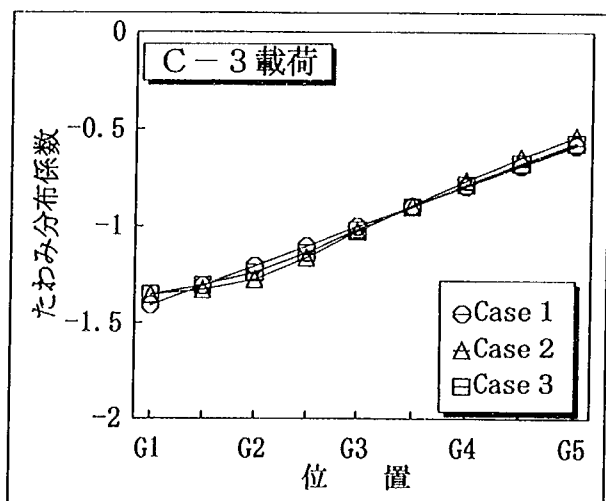
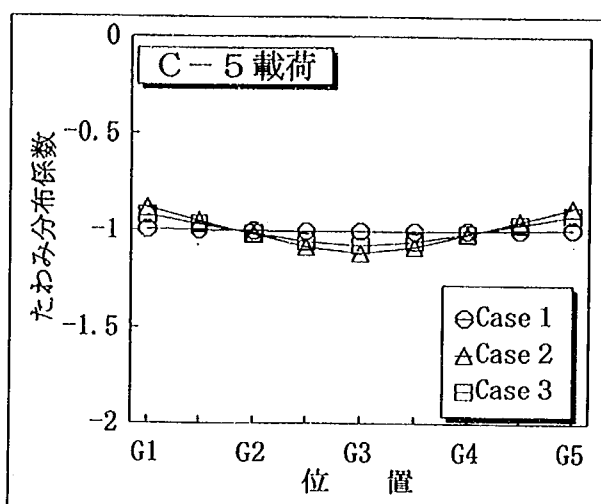
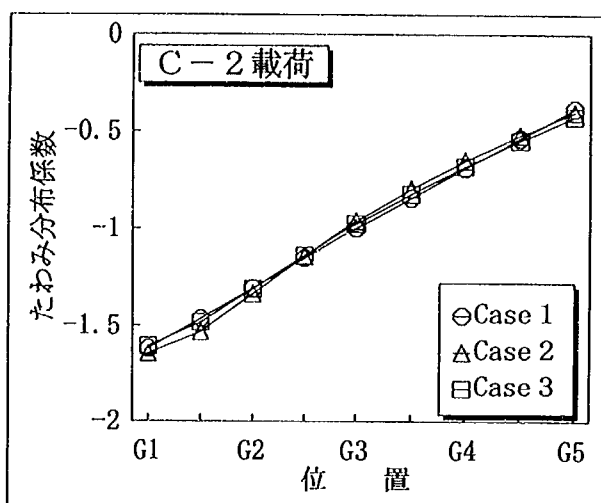
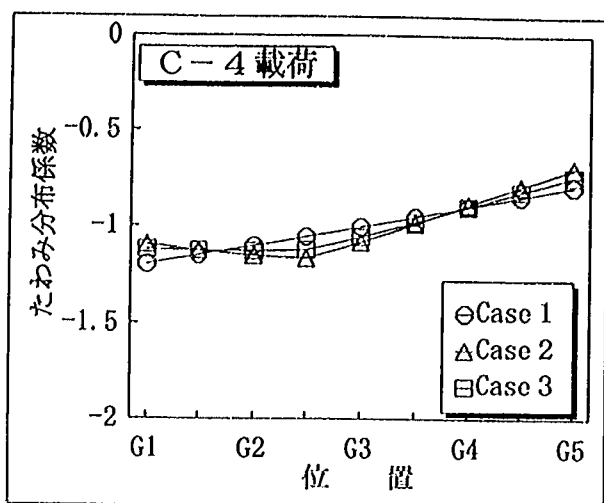
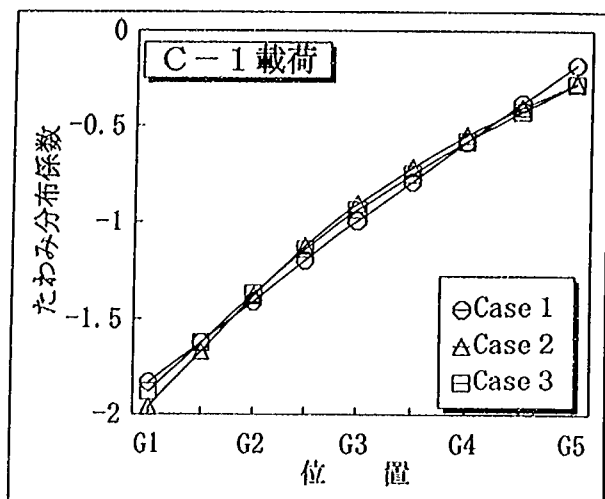


図-4.4.9 たわみ分布係数(計算値)の比較 (Case 1 ~ Case 3)

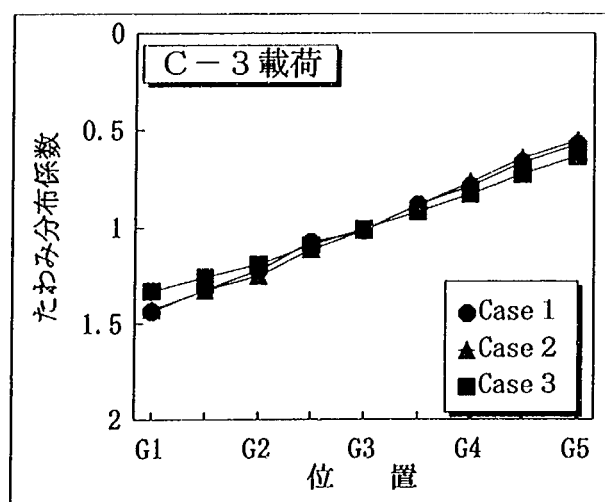
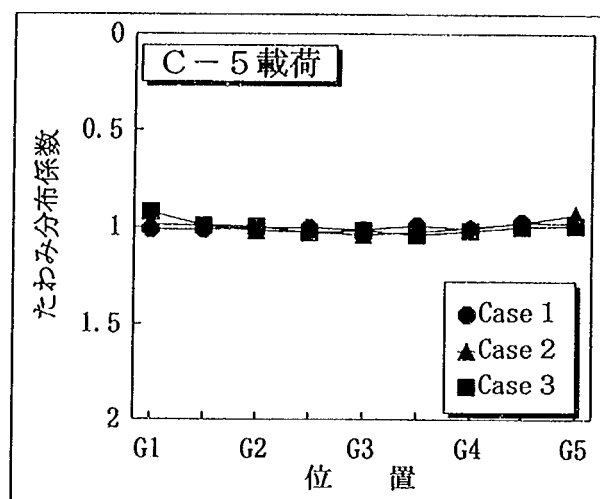
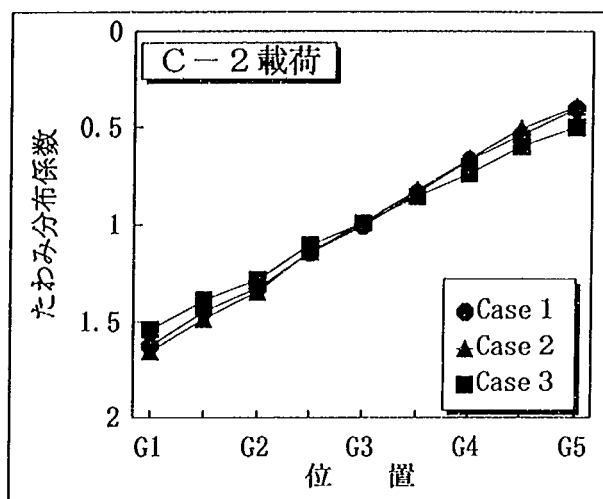
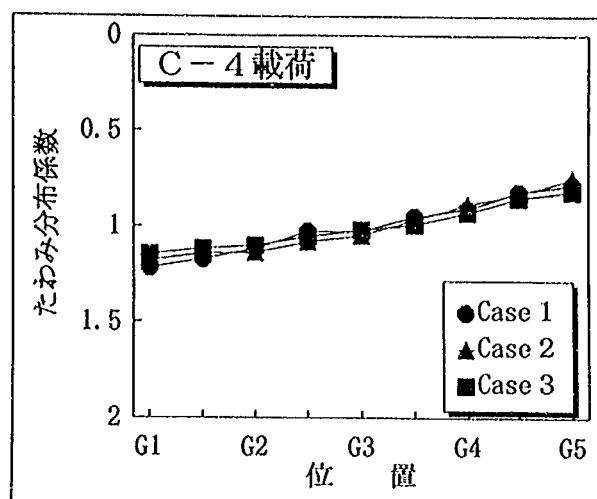
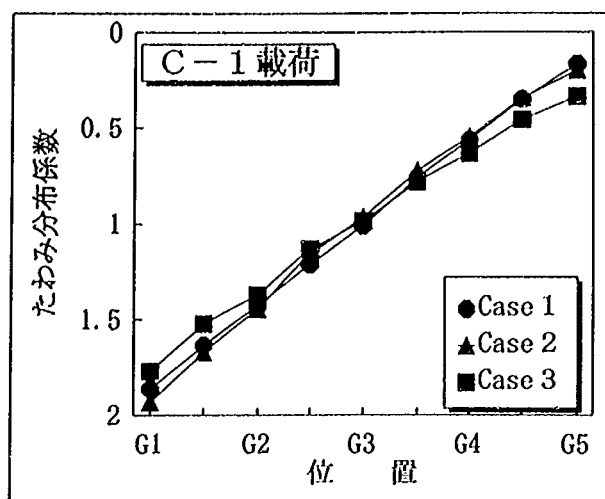


図-4.4.10 支間1/4点のたわみ分布係数(実測値)の比較 (Case 1 ~ Case 3)

(3) 斜角の影響

斜角の影響を調べるためにCase 3～Case 5の比較を行う。たわみ分布係数の支間中央での計算値と実測値の比較を図-4.4.11および図-4.4.12に示す。Case 5はCase 3の斜角を 70° とした供試体で、図-4.4.11からどちらも同様の傾向を示しており斜角による影響は大きくないと考えられる。また、図-4.4.12から中間横げたを省略したCase 5は中間横げたを配置したCase 4に比べて計算値の比較の場合には荷重分配性能の低下が見られるものの、実測値の比較では明瞭な差はない。さらに、計算値と実測値がほぼ一致することから斜角のある場合でも格子計算により設計が可能であると考えられる。ここで、Case 4の床版厚を8 cmに減厚した供試体を考えた場合、これは現在施工されている斜角 70° のP C Tげた橋の実橋モデルとなるが、これは、Case 4に比べ、荷重分配性能に寄与する床版の剛性が橋軸方向、橋軸直角方向ともに低下することから、たわみは増加し荷重分配性能も低下すると考えられる。したがって、Case 4とほぼ同様の荷重分配性能を示すCase 5は斜角 70° のP C Tげた橋実橋モデルと比較して同程度あるいはそれ以上の荷重分配性能を持つことが予想され、直橋の場合と同様に床版厚の増厚により荷重分配性能が向上すると考えられる。

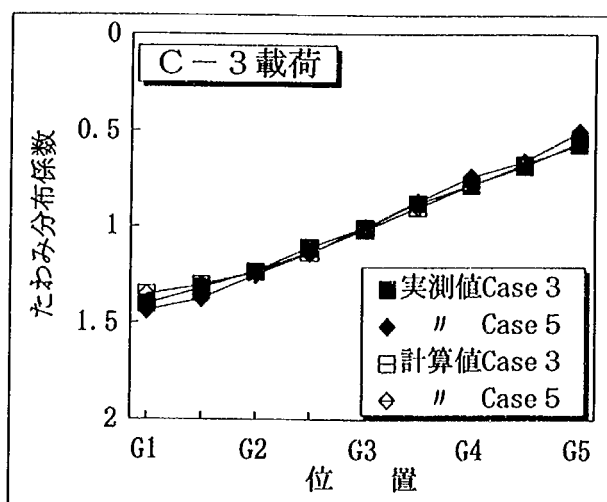
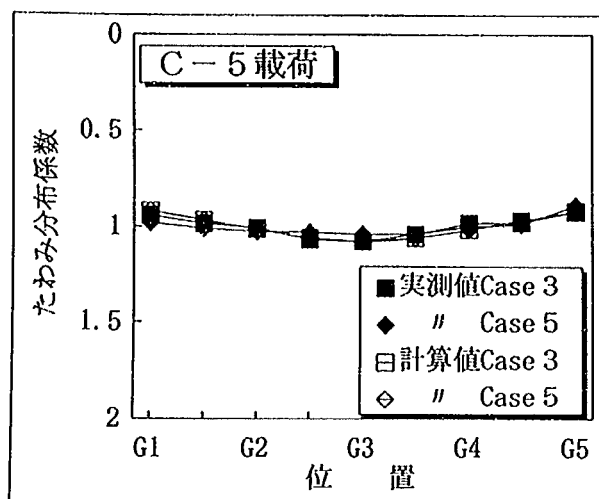
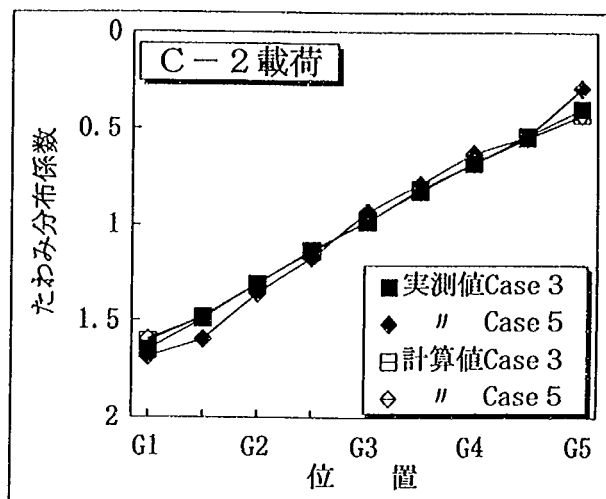
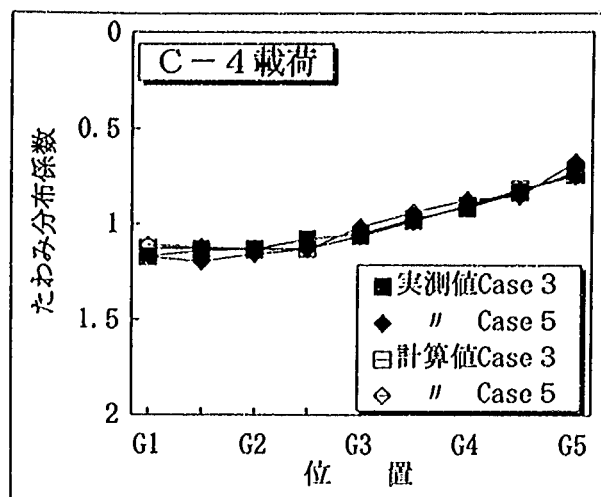
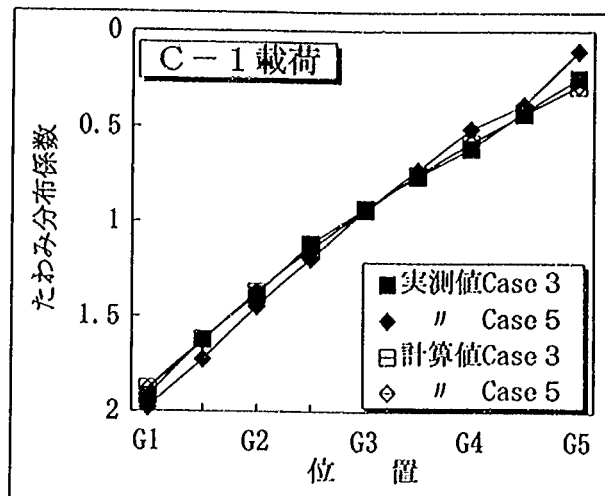


図-4.4.11 たわみ分布係数の比較 (Case 3、Case 5)

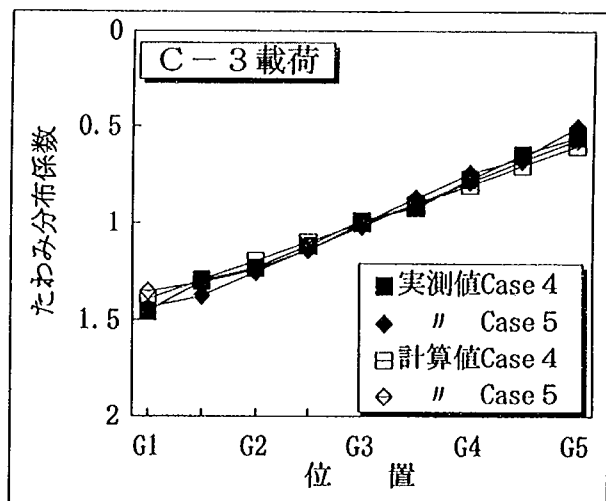
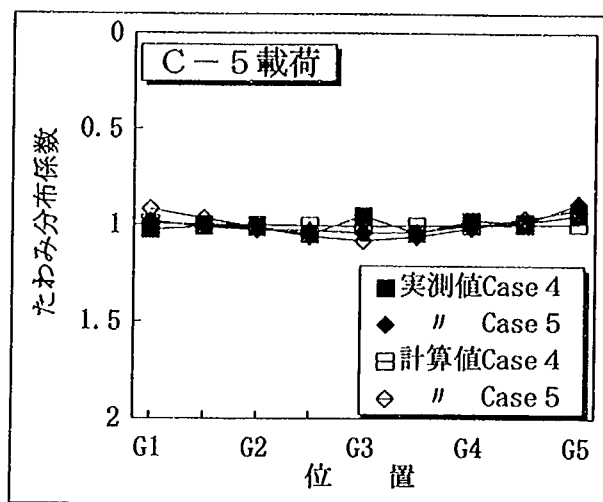
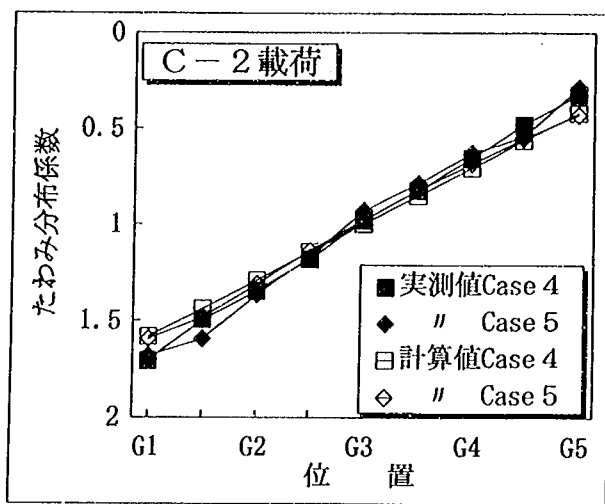
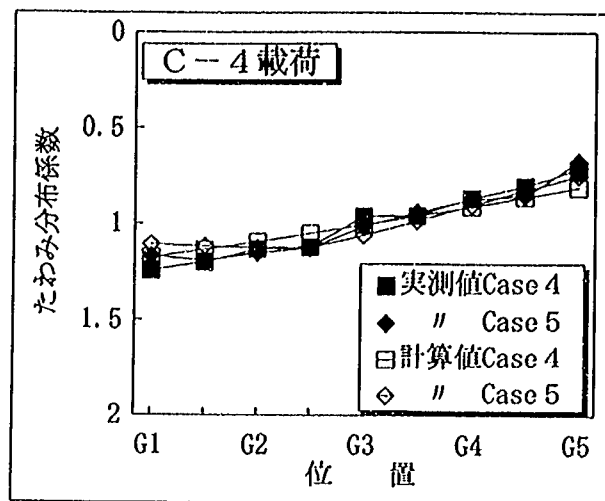
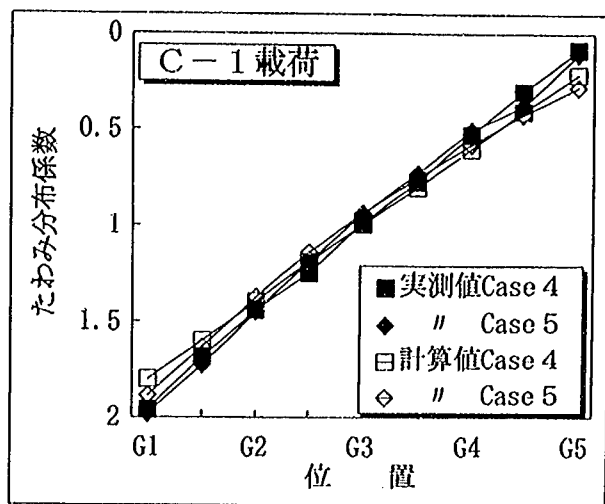


図-4.4.12 たわみ分布係数の比較 (Case 4、Case 5)

4.4.3 主げた、床版のひずみおよび応力度

(1) 主げた下縁の応力度

中間横げたを省略した場合、主げたに生じる応力度について着目した。計算応力度はFEM解析により、実測応力度は供試体のコンクリート面のひずみから求めた。実測応力度の計算に使用した式を以下に示す。

$$\sigma_x = \frac{E_c}{(1 - \nu^2)} \times (\varepsilon_x + \nu \varepsilon_y) \quad (\text{式-3})$$

ここに σ_x : 橋軸方向応力度

E_c : コンクリートのヤング係数

ε_x : 橋軸方向のコンクリートひずみ

ε_y : 橋軸直角方向コンクリートひずみ

ν : コンクリートのポアソン比

ただし、けた下縁では橋軸直角方向のひずみは大きくないと考えて計測は行わず、 $\varepsilon_y = 0$ として計算した。

支間中央主げた下縁の橋軸方向応力度を表-4.4.1に示す。実測値は計算値の80%程度となっていて、傾向はほぼ一致しており、実験、解析ともに妥当であると考えられる。

図-4.4.13にG3げた载荷時の応力度分布を示す。実測値は計算値より、若干小さめの値を与えるが、その傾向はほぼ一致していることが読みとれる。各Caseの比較を行った場合、中間横げたの省略の影響を読みとることができる。しかしながら、支間中央主げた下縁に生じる応力度の最大値、最小値は、着目する主げたに最も不利になるようにT荷重あるいはL荷重を载荷するものであるから、実際の荷重環境を考慮した場合に耐久性上問題となってくるだけの影響が生じるとは考えにくい。また、第3章の数値解析では、L荷重を考慮した場合の主げたの最大曲げモーメントへの中間横げたの有無による影響はほとんどないことが確認されており、曲げモーメントから計算される曲げ引張応力度に対しても同様にその影響はほとんどないと考えられる。

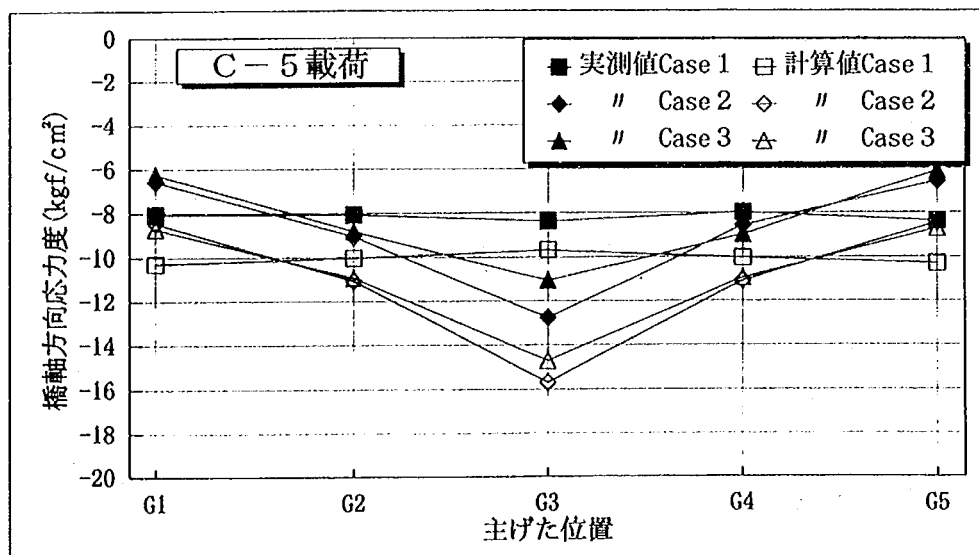


図-4.4.13 主げた下縁橋軸方向応力度 (Case 1～Case 3)

表-4.4.1 支間中央主げた下縁の橋軸方向応力度

(kgf/cm²)

Case	載荷位置	位 置	支間中央					支間3/4点				
			G1	G2	G3	G4	G5	G1	G2	G3	G4	G5
Case 1	C-1	計算値	-19.93	-14.51	-10.32	-6.36	-1.60	-7.79	-6.93	-5.68	-4.43	-3.53
		実測値	-17.77	-13.22	-9.68	-5.62	-0.48	-6.63	-5.37	-4.79	-3.05	-2.08
	C-2	計算値	-17.28	-12.91	-10.17	-7.18	-3.73	-7.29	-6.58	-5.67	-4.75	-4.07
		実測値	-15.49	-11.38	-9.68	-6.29	-2.66	-6.29	-5.33	-4.84	-3.63	-3.15
	C-3	計算値	-14.95	-11.88	-10.03	-8.11	-5.89	-6.79	-6.23	-5.67	-5.07	-4.60
		実測値	-12.25	-10.17	-8.38	-6.54	-4.21	-5.62	-4.99	-4.55	-3.68	-3.34
	C-4	計算値	-12.63	-10.72	-9.63	-9.07	-8.05	-6.25	-5.96	-5.64	-5.38	-5.15
		実測値	-10.17	-8.96	-9.44	-7.26	-5.81	-5.08	-4.12	-4.36	-3.87	-3.63
	C-5	計算値	-10.28	-10.02	-9.68	-10.02	-10.28	-5.70	-5.68	-5.60	-5.68	-5.70
		実測値	-8.09	-8.09	-8.38	-7.99	-8.38	-4.89	-4.16	-4.79	-4.45	-4.70
Case 2	C-1	計算値	-23.90	-13.65	-8.41	-5.50	-3.56	-7.62	-6.98	-5.79	-4.49	-3.46
		実測値	-19.90	-10.80	-6.29	-3.58	-1.89	-6.39	-5.04	-4.31	-2.61	-1.99
	C-2	計算値	-18.57	-15.82	-9.41	-6.47	-4.51	-7.32	-6.26	-5.83	-4.91	-3.97
		実測値	-15.25	-13.31	-7.75	-5.08	-3.39	-6.05	-4.36	-5.08	-3.63	-2.66
	C-3	計算値	-13.66	-16.89	-11.05	-7.59	-5.59	-6.98	-5.77	-5.68	-5.30	-4.52
		実測値	-11.28	-14.33	-9.10	-5.76	-4.31	-5.76	-4.07	-4.55	-3.58	-3.10
	C-4	計算値	-10.49	-14.46	-13.91	-8.95	-6.85	-6.46	-5.64	-5.38	-5.59	-5.14
		実測値	-8.47	-12.35	-11.62	-7.02	-5.57	-5.57	-4.84	-4.36	-4.12	-3.63
	C-5	計算値	-8.45	-11.07	-15.69	-11.07	-8.45	-5.81	-5.68	-5.22	-5.68	-5.81
		実測値	-6.58	-9.05	-12.78	-8.57	-6.58	-4.89	-4.50	-3.92	-4.02	-4.16
Case 3	C-1	計算値	-22.85	-13.65	-8.67	-5.71	-3.54	-7.36	-6.83	-5.83	-4.58	-3.43
		実測値	-18.43	-10.91	-6.55	-4.66	-2.09	-6.40	-5.68	-4.41	-3.44	-2.33
	C-2	計算値	-18.05	-15.30	-9.53	-6.64	-4.61	-7.13	-6.18	-5.73	-4.94	-4.00
		実測値	-15.28	-13.10	-7.03	-5.34	-2.91	-6.06	-5.34	-4.37	-4.37	-2.91
	C-3	計算値	-13.66	-16.01	-10.93	-7.71	-5.79	-6.84	-5.73	-5.51	-5.24	-4.60
		実測値	-10.91	-13.15	-8.25	-6.40	-3.93	-6.02	-5.04	-4.41	-4.41	-3.69
	C-4	計算値	-10.72	-13.88	-13.27	-9.01	-7.11	-6.41	-5.54	-5.25	-5.45	-5.23
		実測値	-8.25	-11.88	-10.43	-7.76	-5.34	-5.82	-5.09	-4.61	-4.61	-4.85
	C-5	計算値	-8.72	-10.94	-14.72	-10.94	-8.72	-5.85	-5.52	-5.13	-5.52	-5.85
		実測値	-6.26	-8.83	-11.06	-8.97	-6.11	-4.56	-4.41	-3.93	-4.17	-4.41
Case 4	C-1	計算値	-19.77	-14.02	-9.81	-6.01	-1.71	-7.30	-7.04	-6.21	-5.12	-3.99
		実測値	-17.29	-11.85	-9.46	-5.45	-0.38	-7.36	-5.54	-3.87	-2.29	-1.58
	C-2	計算値	-16.97	-12.78	-9.82	-6.87	-3.67	-6.80	-6.56	-6.04	-5.31	-4.50
		実測値	-15.29	-11.46	-9.08	-6.45	-3.10	-6.93	-5.49	-4.06	-2.63	-2.39
	C-3	計算値	-14.50	-12.04	-9.87	-7.84	-5.68	-6.31	-6.13	-5.86	-5.49	-5.01
		実測値	-10.89	-10.65	-8.12	-6.54	-4.11	-5.78	-4.59	-3.63	-3.01	-2.53
	C-4	計算値	-12.18	-10.68	-9.75	-8.85	-7.65	-5.79	-5.76	-5.66	-5.64	-5.53
		実測値	-10.03	-10.03	-8.36	-7.88	-6.45	-5.49	-5.02	-3.82	-3.82	-3.58
	C-5	計算値	-9.91	-9.74	-9.97	-9.87	-9.75	-5.28	-5.39	-5.48	-5.76	-6.04
		実測値	-8.22	-8.45	-9.31	-8.98	-8.45	-5.45	-4.82	-4.11	-4.11	-4.25
Case 5	C-1	計算値	-22.94	-13.68	-8.67	-5.74	-3.60	-7.31	-7.35	-6.45	-5.03	-3.57
		実測値	-20.59	-10.89	-7.50	-4.73	-2.05	-7.64	-5.92	-4.01	-2.82	-1.96
	C-2	計算値	-17.95	-15.34	-9.53	-6.65	-4.64	-6.88	-6.43	-6.24	-5.39	-4.20
		実測値	-14.33	-11.70	-7.64	-5.25	-3.34	-6.93	-5.02	-3.82	-3.10	-2.39
	C-3	計算値	-13.57	-15.99	-10.91	-7.71	-5.78	-6.47	-5.77	-5.86	-5.68	-4.86
		実測値	-10.27	-13.57	-8.84	-6.16	-4.11	-6.07	-4.11	-3.87	-3.39	-2.68
	C-4	計算値	-10.65	-13.72	-13.28	-9.01	-7.09	-6.00	-5.41	-5.39	-5.82	-5.54
		実測値	-10.03	-11.70	-10.75	-7.40	-5.97	-6.21	-4.54	-3.82	-3.82	-3.58
	C-5	計算値	-8.64	-10.82	-14.67	-10.92	-8.69	-5.46	-5.24	-5.09	-5.75	-6.22
		実測値	-6.78	-8.84	-12.85	-8.98	-6.88	-5.45	-4.97	-3.77	-4.11	-4.35

(2) 床版の応力度

中間横げたを省略した場合、主げたの相対たわみ差や回転等の影響により付加曲げモーメントが床版に発生し応力度の増加が予想される。床版の橋軸方向よりも橋軸直角方向への影響が顕著であるため、ここでは床版上面の橋軸直角方向応力度に着目した。計算応力度はFEM解析により、実測応力度は(1)で用いた(式-1)により求めた。Case 1、Case 2の支間中央の計算、実測応力度の比較を図-4.4.14に示す。載荷板直下の床版上面ひずみの測定は難しいため橋軸方向に20cmずらした位置で行った。載荷位置近傍では、計算値と実測値の測定位置のずれによる影響が大きく実測値と計算値とは一致しないが、他の位置では類似した傾向を示していることが読みとれる。以上の結果より、PCTげた橋における中間横げた省略の床版応力度への影響はFEM解析による評価が可能であることが理解された。

また、図-4.4.15、図-4.4.16に支間中央および支間1/4点の橋軸直角方向床版応力度の実測値の比較を示す。橋軸直角方向断面では、C-1 載荷を除き載荷位置付近に最大圧縮応力度が発生している。荷重分配作用は床版と横げたにより行われており、載荷位置が横げたから離れるに従い床版の負担が増加し、床版に発生する応力度も大きくなる。したがって、図-4.4.15からCase 1では端横げたと中間横げたの中間位置である支間1/4点で、Case 2及びCase 3では端横げたと端横げたの中間位置である支間中央で最大応力度が生じることとなる。Case 1の支間1/4点とCase 2の支間中央を比較すると応力度の差は小さい。またここで、Case 3の応力度はCase 2に比べ大きく低下しており、床版増厚が載荷直下の応力度を低下させる有効な方法の1つであることが理解された。さらに、図-4.4.16から斜角のある場合も同様の傾向であることが確認された。

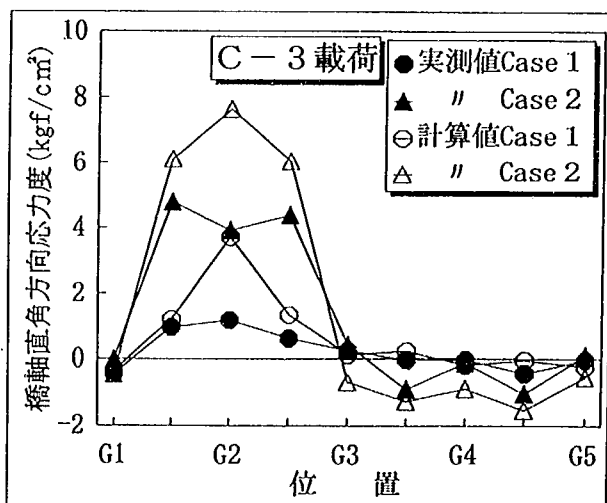
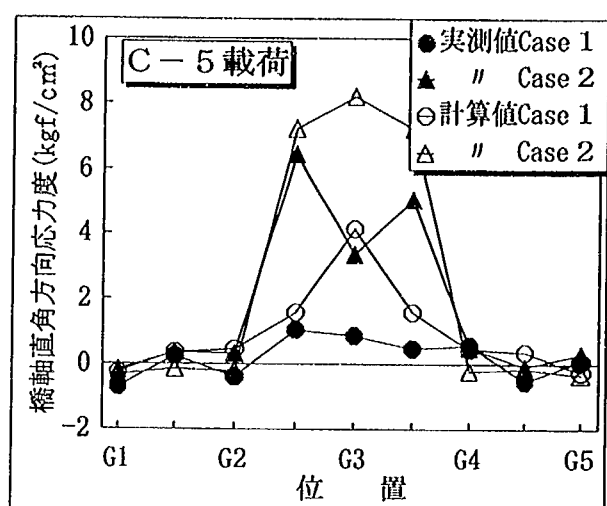
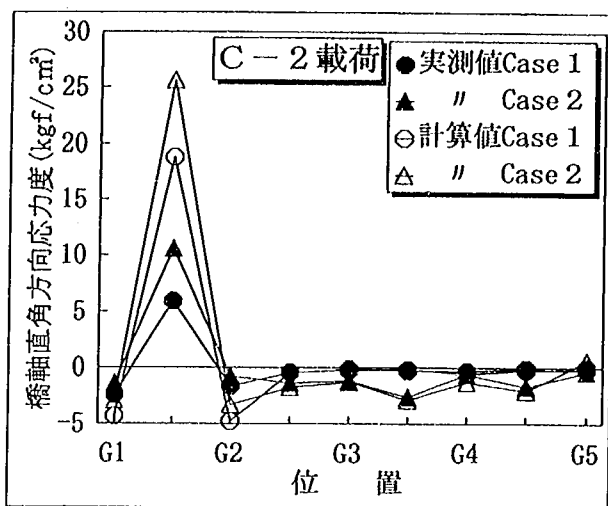
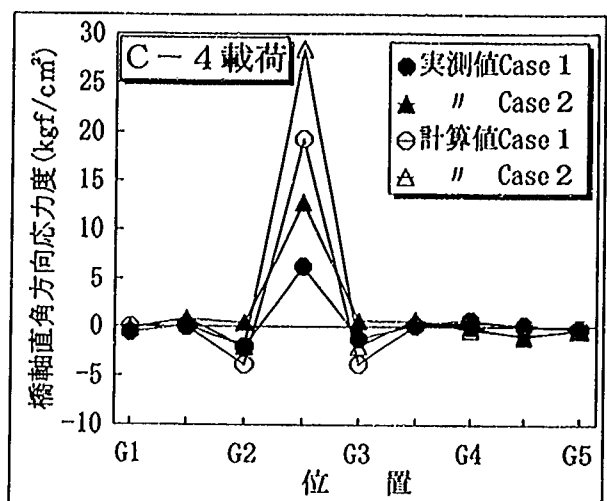
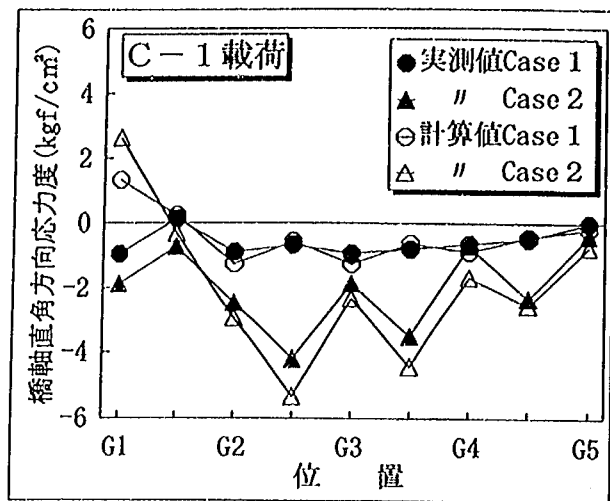


図-4.4.14 橋軸直角方向応力度 (Case 1 ~ Case 2)
(支間中央、実測値、計算値)

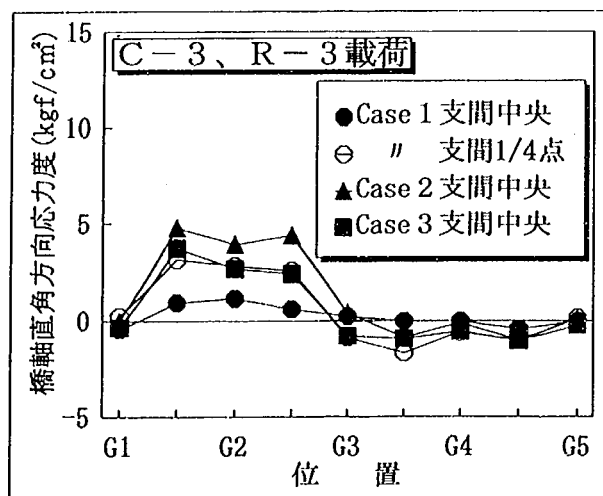
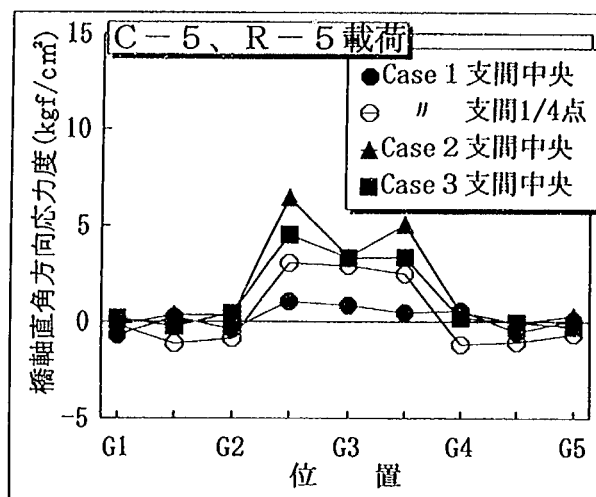
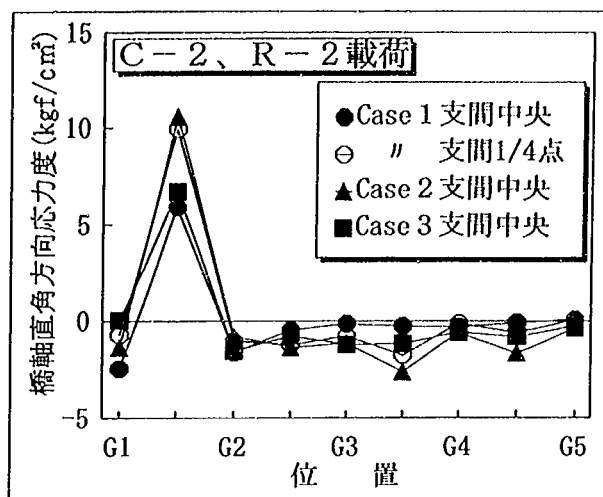
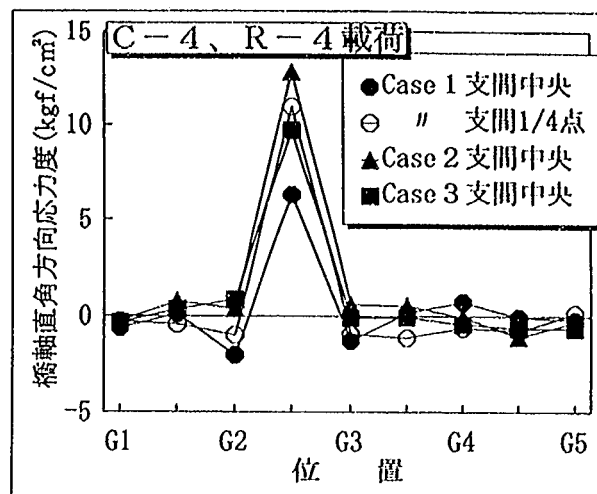
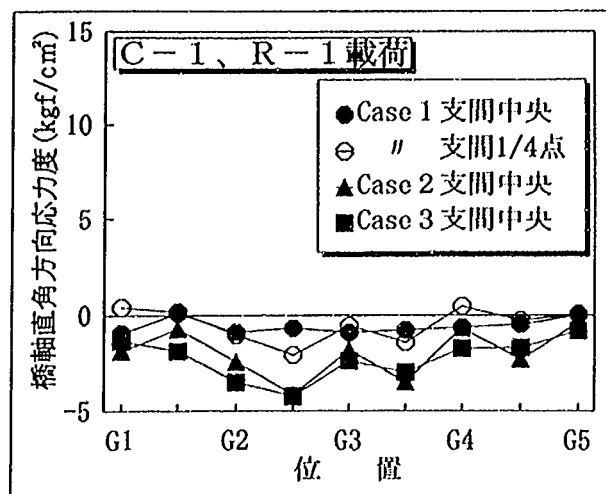


図-4.4.15 橋軸直角方向応力度 (Case 1 ~ Case 3)
(支間中央および1/4点、実測値)

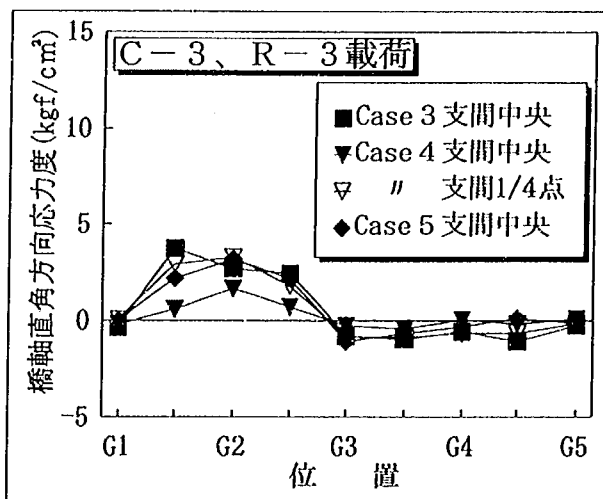
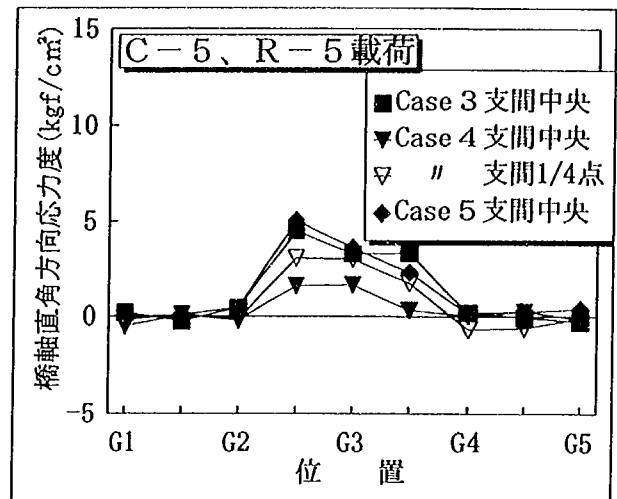
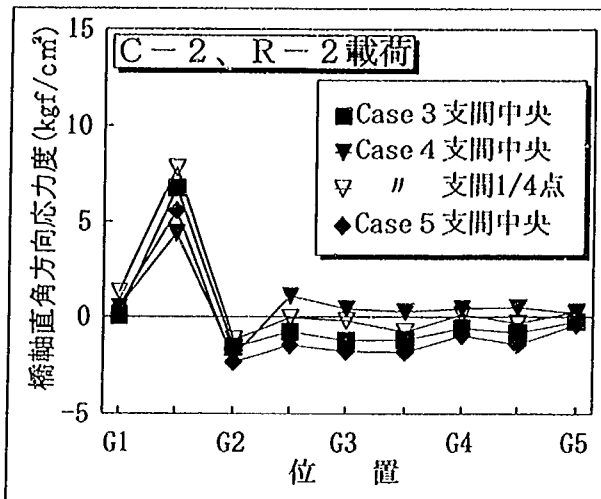
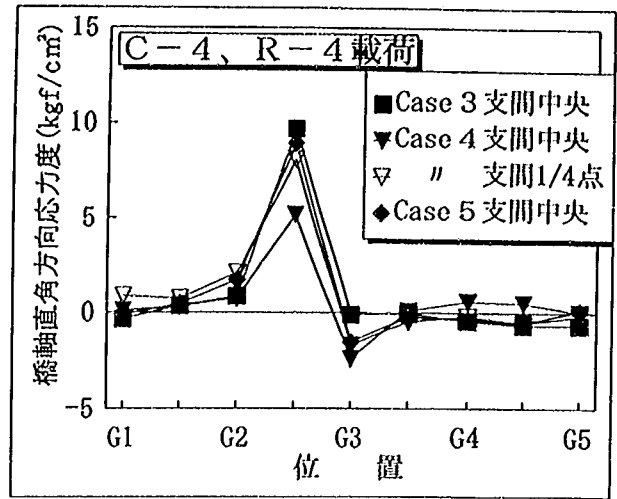
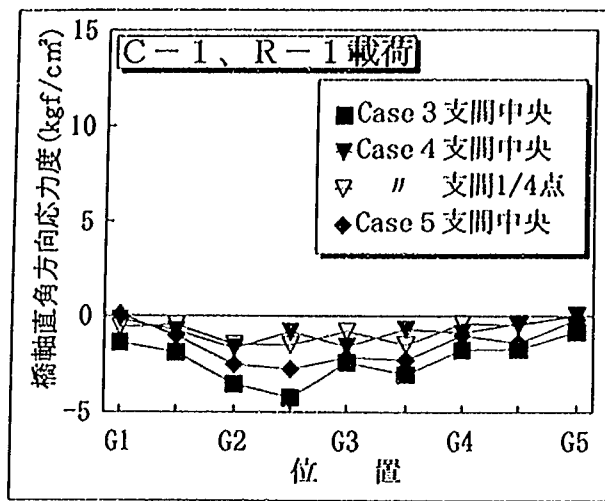


図-4.4.16 支間中央実測応力度 (Case 3 ~ Case 5)
(支間中央および1/4点、実測値)

4.4.4 終局状態

終局破壊試験はCase 1、Case 3、Case 5の3供試体に対して行った。試験結果を表-4.4.2に示す。各供試体の最大荷重を比較すると、中間横げたを配置したCase 1の最大荷重はCase 3、Case 5に比べて小さいが、Case 1はG 2 げた支間中央への1点载荷であるのに対しCase 3、Case 5はG 2 げたの支間中央から75cm橋軸方向に離れた位置への2点载荷のためと考えられる。橋供試体を橋軸直角方向に同様に変形するはりと考えた場合、支間中央に生じる曲げモーメントはCase 1が $87.61\text{tf}/2 \times 6\text{m} = 262.8\text{tf}\cdot\text{m}$ 、Case 3は $99.29\text{tf}/2 \times (6-0.75) = 260.6\text{tf}\cdot\text{m}$ 、Case 5は $98.70\text{tf}/2 \times (6-0.75) = 259.1\text{tf}\cdot\text{m}$ となり、中間横げたを省略しても同レベルの終局耐力を有していると考えられる。

たわみの進行状況を図-4.4.17に示す。各橋供試体に载荷された最大荷重による曲げモーメントを最初にひびわれの発生したけたに分配すると、Case 1ではG 1 げたに $73.6\text{tf}\cdot\text{m}$ 、Case 3、Case 5ではG 2 げたにそれぞれ $64.1\text{tf}\cdot\text{m}$ 、 $66.1\text{tf}\cdot\text{m}$ となる。一方、けた供試体の破壊荷重は4.3より 19.74tf であり、破壊抵抗曲げモーメントは $19.74\text{tf} \times (6.0\text{m} - 0.75\text{m})/2 = 51.8\text{tf}\cdot\text{m}$ となることから、橋供試体の曲げモーメントよりも小さい。破壊抵抗曲げモーメントは通常主げた1本に対して計算しており、けたが橋の1構成部材となっている実橋では安全側の設計になっていると考えられる。

最初のひびわれ発生直後の支間中央たわみ分布を図-4.4.18に、ひびわれ発生状況を図-4.4.19～図-4.4.21に示す。最初の曲げひびわれの発生は、Case 1ではG 1 げた下縁に、Case 3およびCase 5では载荷位置であるG 2 げた下縁に発生した。ひびわれ発生以降载荷荷重を増加させることにより、Case 1はG 2 げた、G 3 げた、G 4 げた、G 5 げたの順に、Case 3およびCase 5はG 1 げた、G 3 げた、G 4 げた、G 5 げたの順にけた下縁にひびわれが生じた。中間横げたによりけたの相対変位がより拘束されたCase 1では、中げたであるG 2 げたに载荷された荷重状態でも主げたの相対変位が生じにくくG 1 げたからG 5 げたに向かってほぼ直線的なたわみとなったため最初にG 1 げたにひびわれが生じた。それに対し、中間横げたを配置していないCase 3およびCase 5では荷重分配性能が若干低下することから、载荷しているけたのたわみがCase 1に比較し大きくなりG 2 げたに最初のひびわれが発生している。主げた部に発生している圧縮破壊は、Case 1の場合G 1 げたからG 5 げたまですべてのけたで生じているのに対し、Case 3、Case 5ではG 1～G 3 げたに集中しており、終局状態においても荷重分配性能が低下したことが確かめられた。これは、主げた下縁のひびわれが発生した後に、G 2 主げた、G 3 主げた間の打継目部に橋軸方向のひびわれが生じ、载荷荷重が増加するのに従ってこのひびわれ長は増大したため、中間横げたのないCase 3、Case 5の場合には応力が橋軸直角方向へ伝達されにくくなったことによると考えられる。

主げたのねじりひびわれはどの供試体も载荷荷重 80tf 程度以上で発生しており、ほぼ終局時までねじりひびわれが生じていない。図-4.4.19～図-4.4.21からは、中間横げたの省略によってねじりひびわれ密度が増加すると読みとれるが、ひびわれ幅等まで考慮した場合にはねじりひびわれ量が増加しているとは断定できない。しかし、中間横げた省略によりねじりモーメントが増加することは3.2.3における主げた断面力の検討より明らかであり、設計時にはねじりひびわれを発生させないようにねじり剛性を考慮して解析を行うことが望ましいと考えられる。

Case 1特有のひびわれとしては中間横げた付近のひびわれがある。中間横げたと主げたはP C鋼棒により

固定されており、載荷荷重の増加にともないG 1 げた側にたわみが進行するに従い、G 1 げた外側のウェブに中間横げたを閉む押し抜きせん断ひびわれが発生した。一方、Case 3、Case 5 においてはそのようなひびわれは発生していない。しかし、端横げたおよびその主げたとの接合部の変状を観察することによりCase 3 はCase 1 に比べて多く変状が発生していることがわかった。これは、F E M解析で中間横げたのある構造は中間横げたに応力が集中し端横げたに発生する応力はほとんどないのに対し、中間横げたを省略した場合には端横げたに応力が発生することがわかっており、中間横げたを省略した場合にプレストレスの増加や増厚などの対策が必要であることが考えられる。

表-4.4.2 終局載荷試験結果

項 目	最大荷重 (tf)	最大荷重時 載荷点鉛直 変位 (mm)	ひび割れ発生荷重		備 考
			けた	荷重 (tf)	
Case 1	87.61	159.37	G 1	3 0	最後まで載荷点C - 3 点で1 点載荷
			G 2	3 1.5	
			G 3	3 5	
			G 4	5 0	
			G 5	5 7.9	
Case 3	99.29	219.93*	G 1	2 9	G 1 げた～G 3 げたまでひび割れを 導入した後、載荷点C - 3 を中心と する間隔1. 5 mの2 点載荷に変更
			G 2	2 8	
			G 3	3 8	
			G 4	4 2.9	
			G 5	6 3.8	
Case 5	98.70	279.68	G 1	3 4.5	Case 3 と同様の方法で載荷
			G 2	2 8	
			G 3	3 7	
			G 4	5 3	
			G 5	6 1.8	

* 載荷途中で供試体の支点移動により当初からの変位の連続性が失われた。このため、再度供試体を設置し直してからの変位を表した。

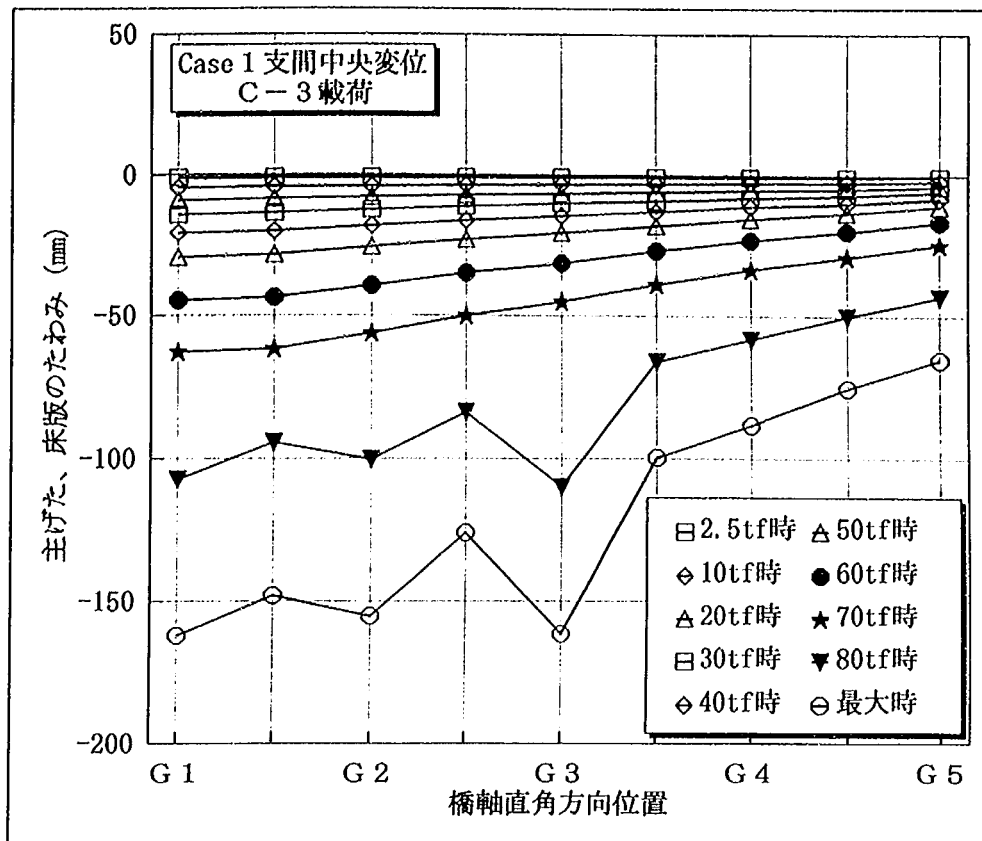


図-4.4.17(a) たわみの進行状況 (Case 1)

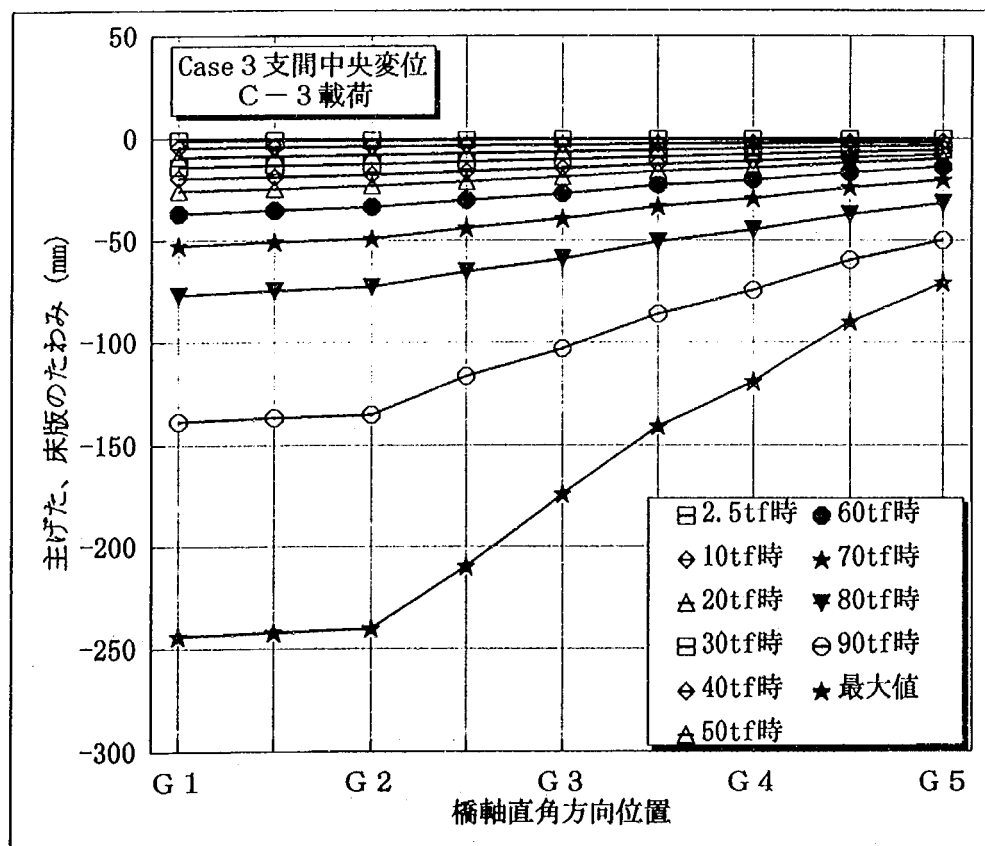


図-4.4.17(b) たわみの進行状況 (Case 3)

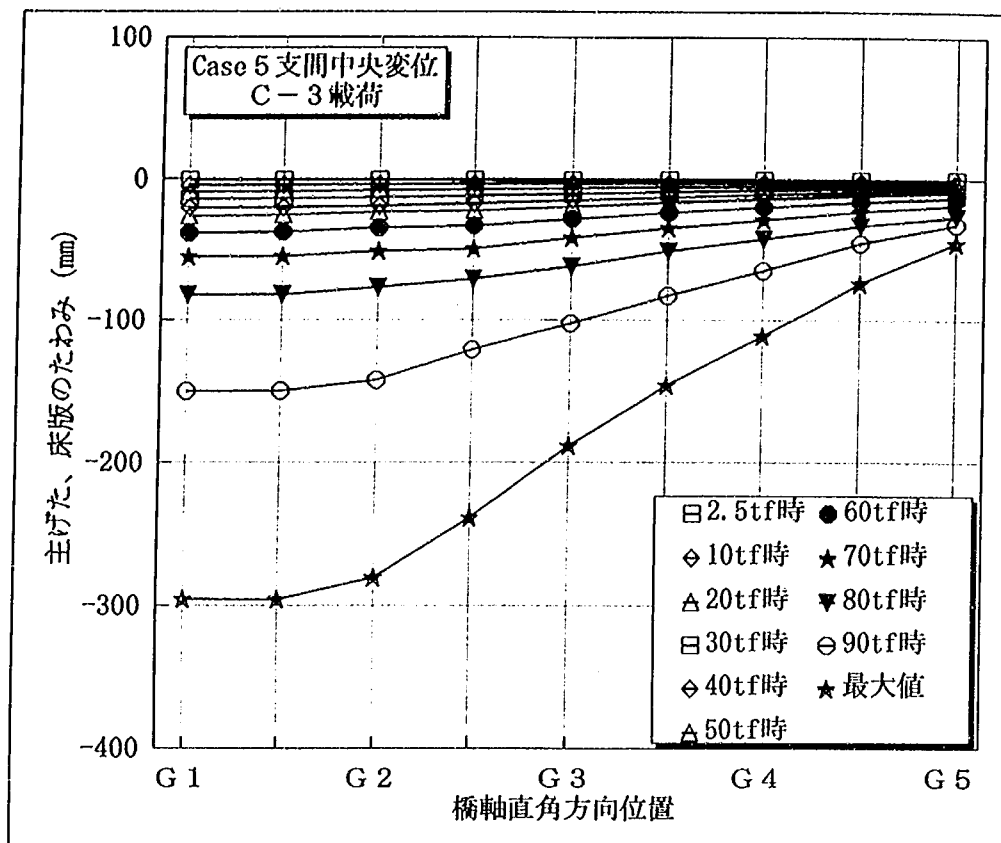


図-4.4.17(c) たわみの進行状況 (Case 5)

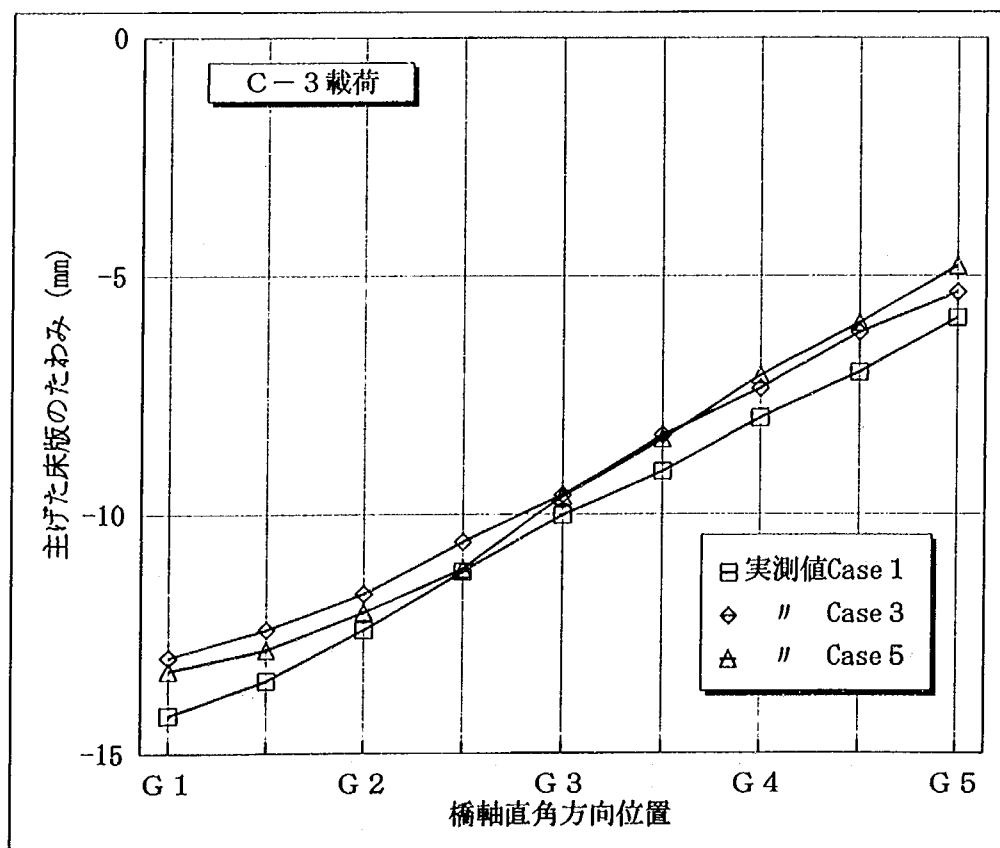
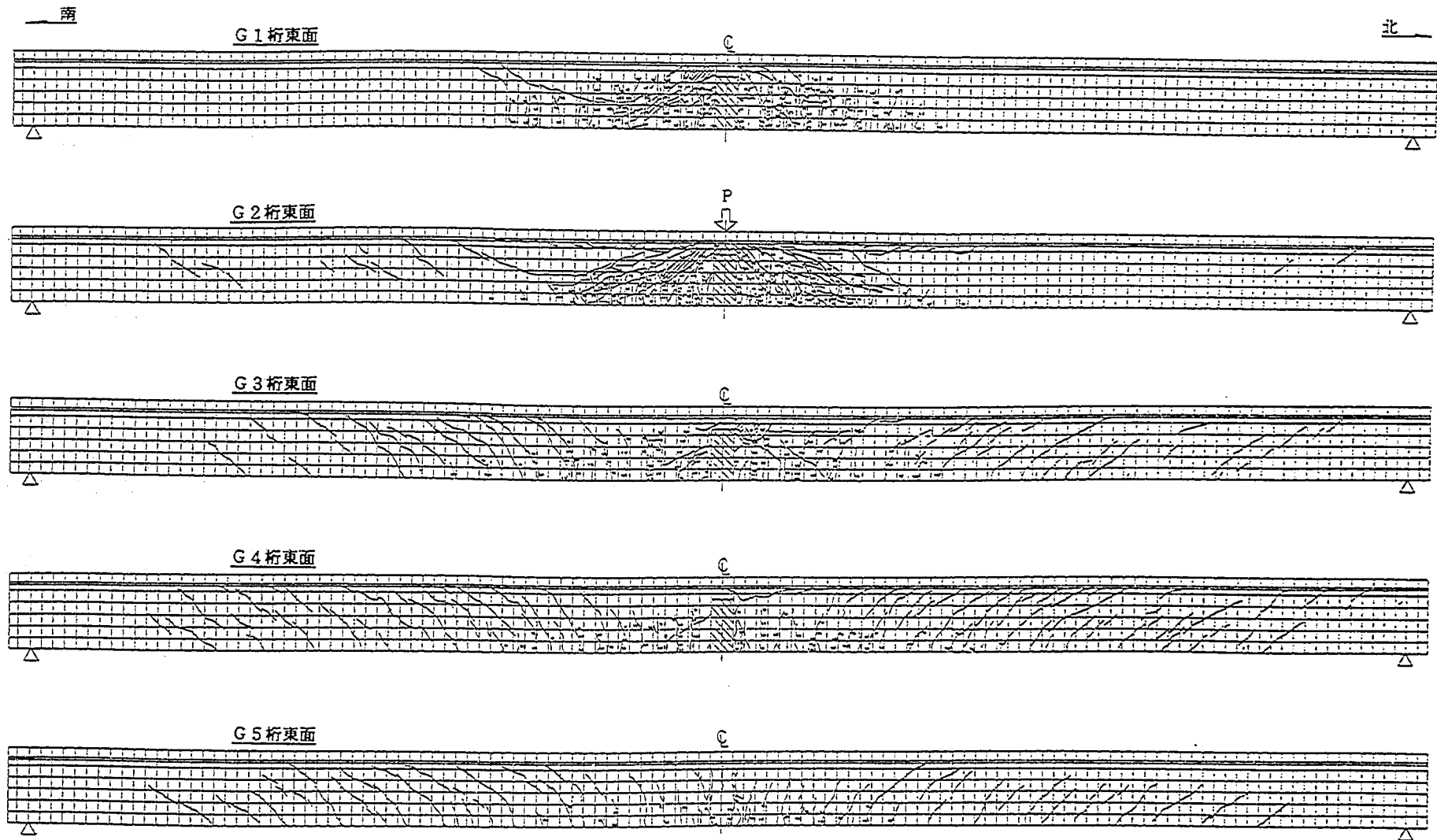


図-4.4.18 ひびわれ発生直後の支間中央たわみ分布

橋供試体桁東面のひびわれ図 (No.1:HS-CB-90)



- 注1) ひび割れのうち、数字を記したものはひび割れ発生荷重(+)を表し、荷重表示無きものは
終局後に確認したひび割れを表す。
- 注2) 右上がりの斜線部は損傷が著しい部材(コンクリートの欠落部等)を表す。
- 注3) 左上がりの斜線部は横荷取り付け部を表す。

図-4.4.19(a) ひびわれ図 (Case 1 G5 げた側側面)

橋供試体桁西面および桁下面のひびわれ図 (No.1:HS-CB-90)

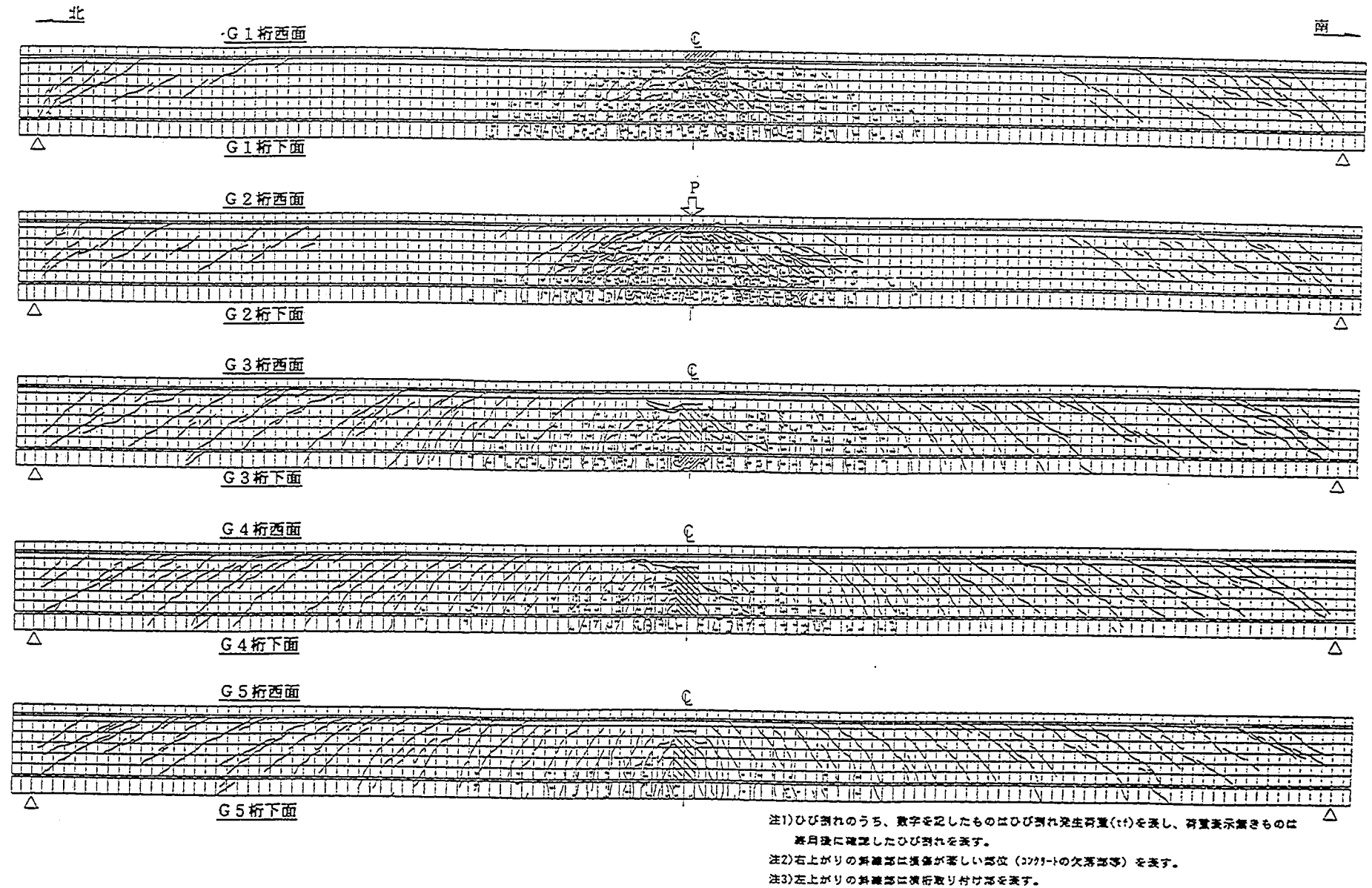
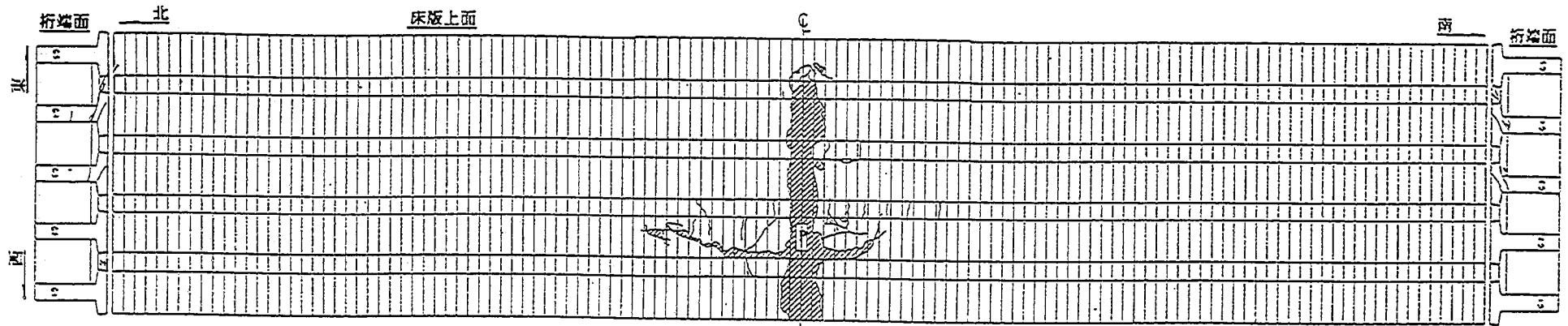


図-4.4.19(b) ひびわれ図 (Case 1 G 1 げた側側面)

橋供試体床版上面および床版下面のひびわれ図 (No.1:HS-CB-90)



注1) ひび割れのうち、数字を記したものはひび割れ発生荷重 (tf) を表し、荷重表示値きものは
終局後に確認したひび割れを表す。
注2) 斜線部は損傷が著しい部位 (スラブの欠落部等) を表す。

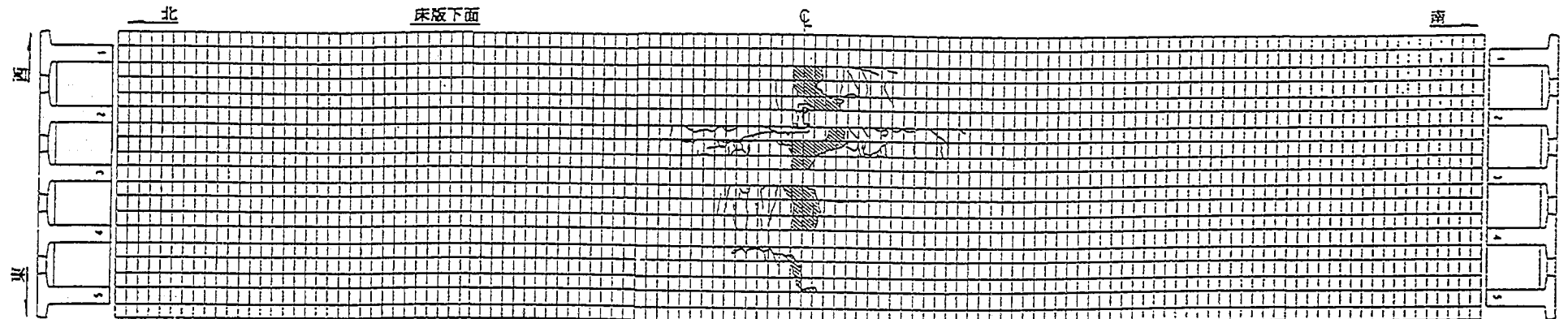
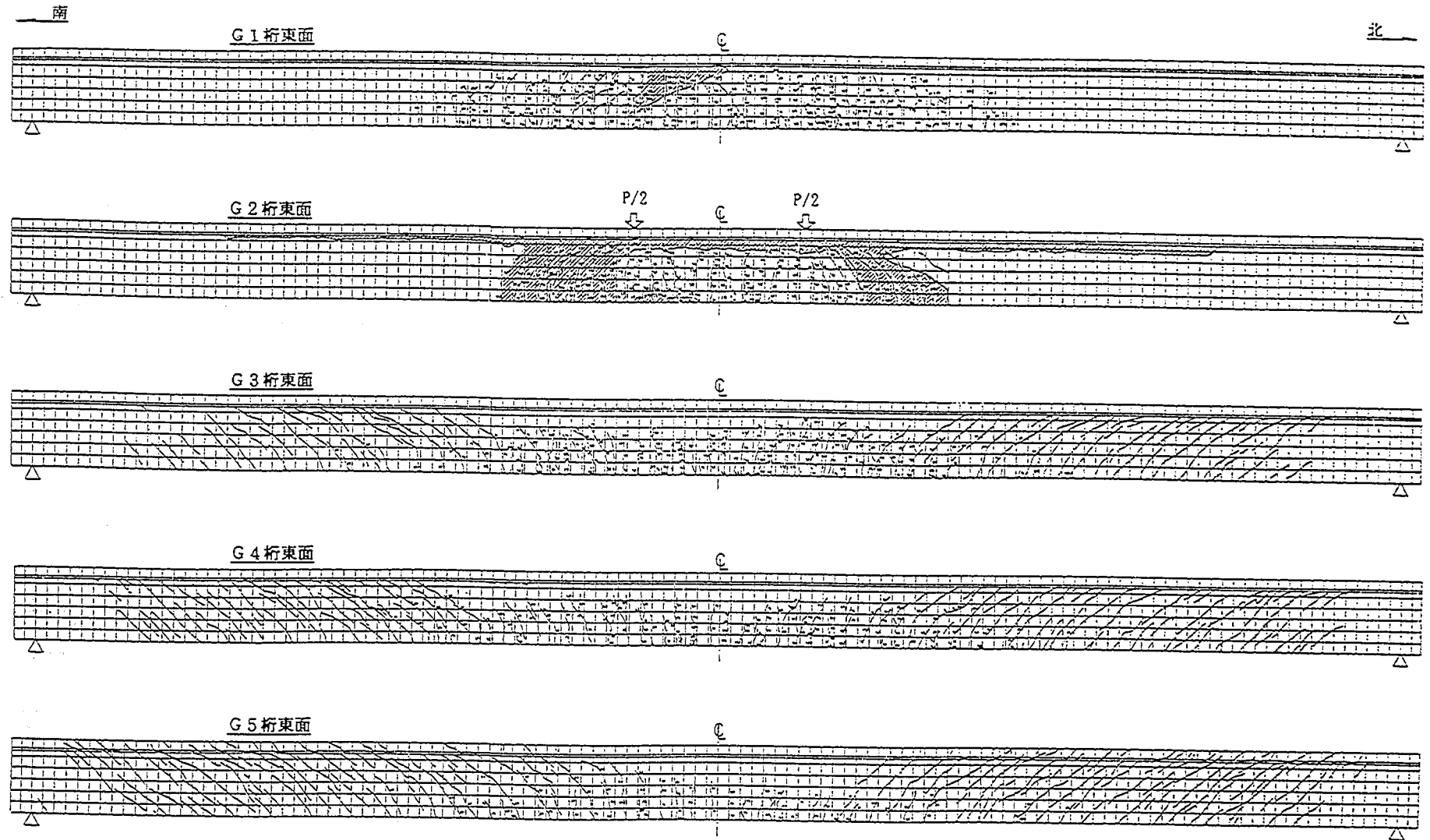


図-4.4.19(c) ひびわれ図 (Case 1 床版上下面)

橋供試体桁東面のひびわれ図 (No.3:ZS-NB-90)

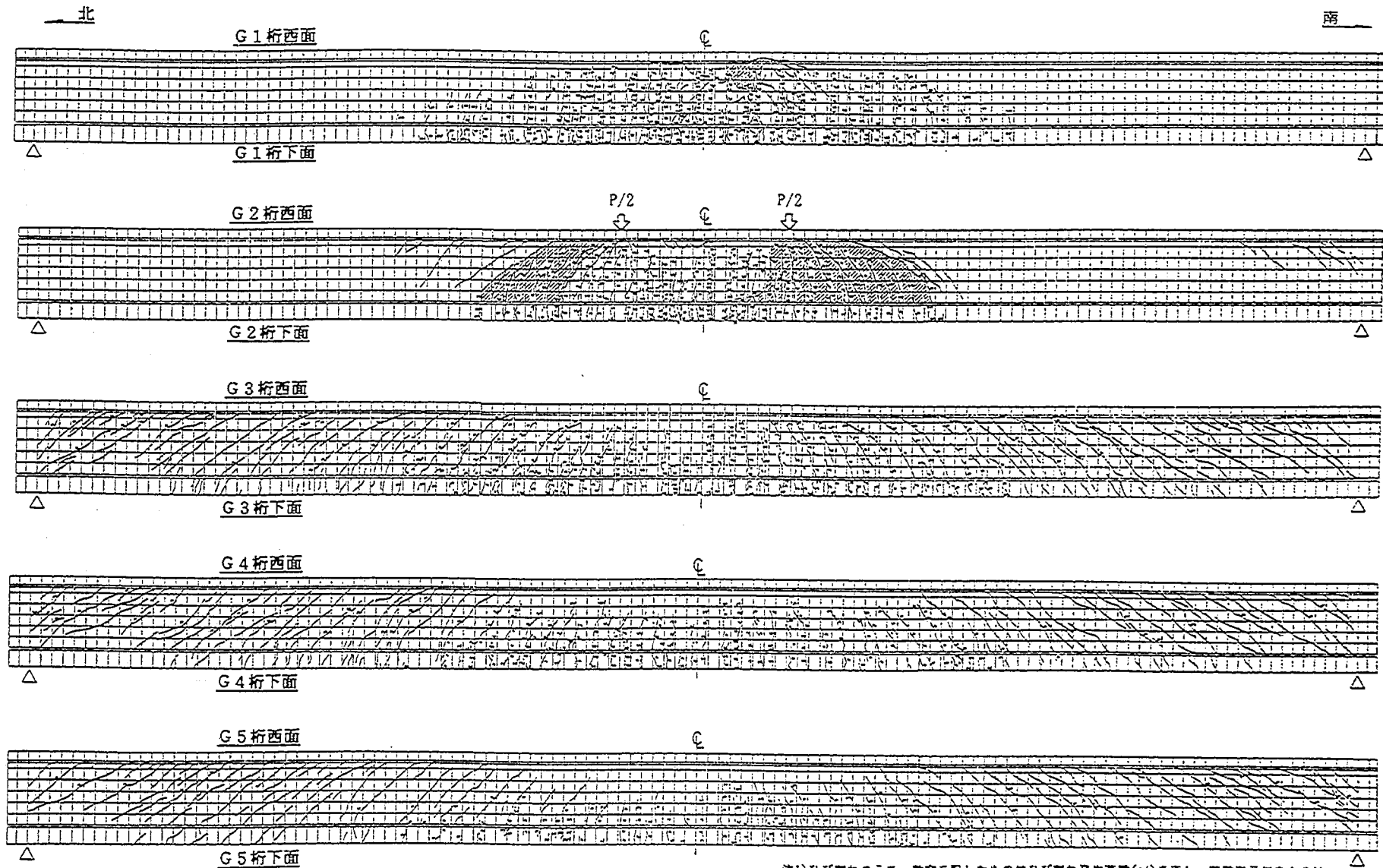


注1) ひび割れのうち、数字を記したものはひび割れ発生荷重(t_f)を表し、荷重表示なきものは終局後に確認したひび割れを表す。

注2) 斜線部は損傷が著しい部位 (コンクリートの欠落部等) を表す。

図-4.4.20(a) ひびわれ図 (Case 3 G 5 げた側側面)

橋供試体桁西面および桁下面のひびわれ図 (No.3:ZS-NB-90)

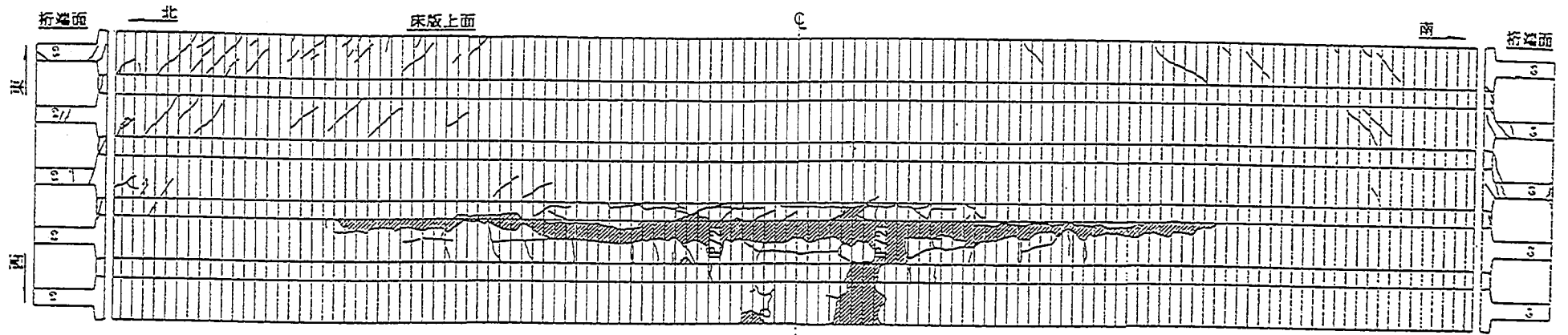


注1) ひび割れのうち、数字を記したものにひび割れ発生荷重(P)を表し、荷重表示無きものは
終局後に確認したひび割れを表す。

注2) 斜線部は損傷が甚しい部位 (コンクリートの欠落部等) を表す。

図-4.4.20(b) ひびわれ図 (Case 3 G 1 げた側側面)

橋供試体床版上面および床版下面のひびわれ図 (No.3:ZS-NB-90)



注1) ひび割れのうち、数字を記したものはひび割れ発生荷重(P_f)を表し、荷重表示無きものは
終局後に確認したひび割れを表す。
注2) 斜線部は損傷が著しい部材 (3775-の欠落部等) を表す。

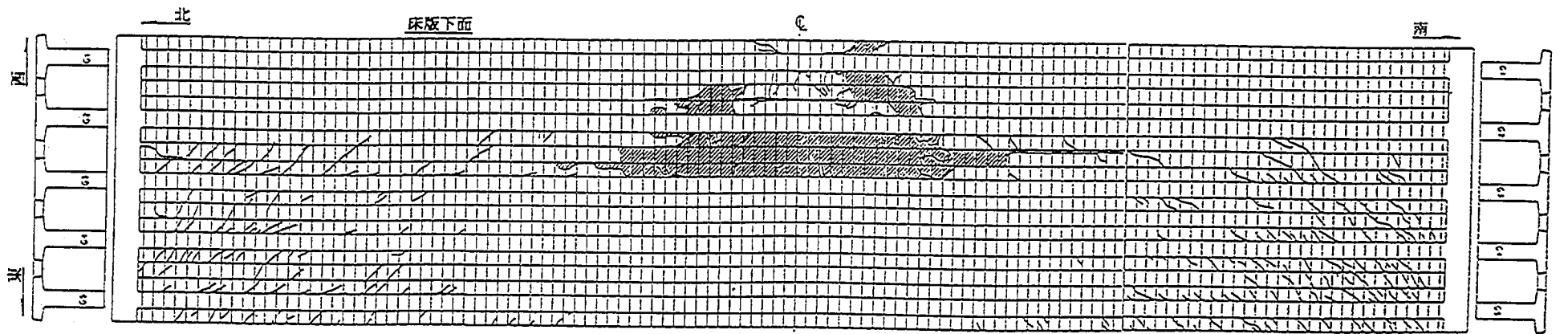
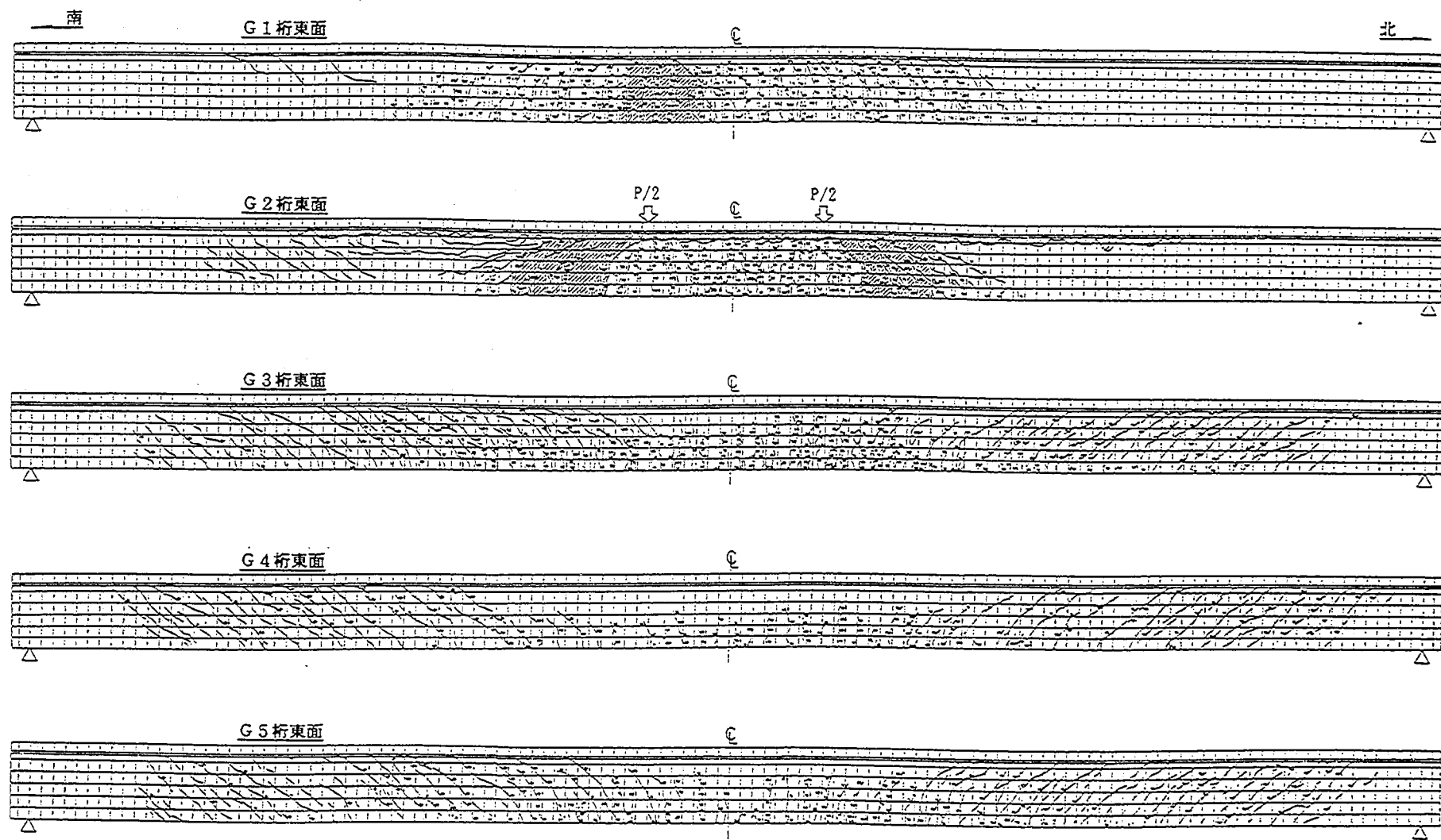


図-4.4.20(c) ひびわれ図 (Case3 床版上下面)

橋供試体桁東面のひびわれ図 (No.5:ZS-NB-70)

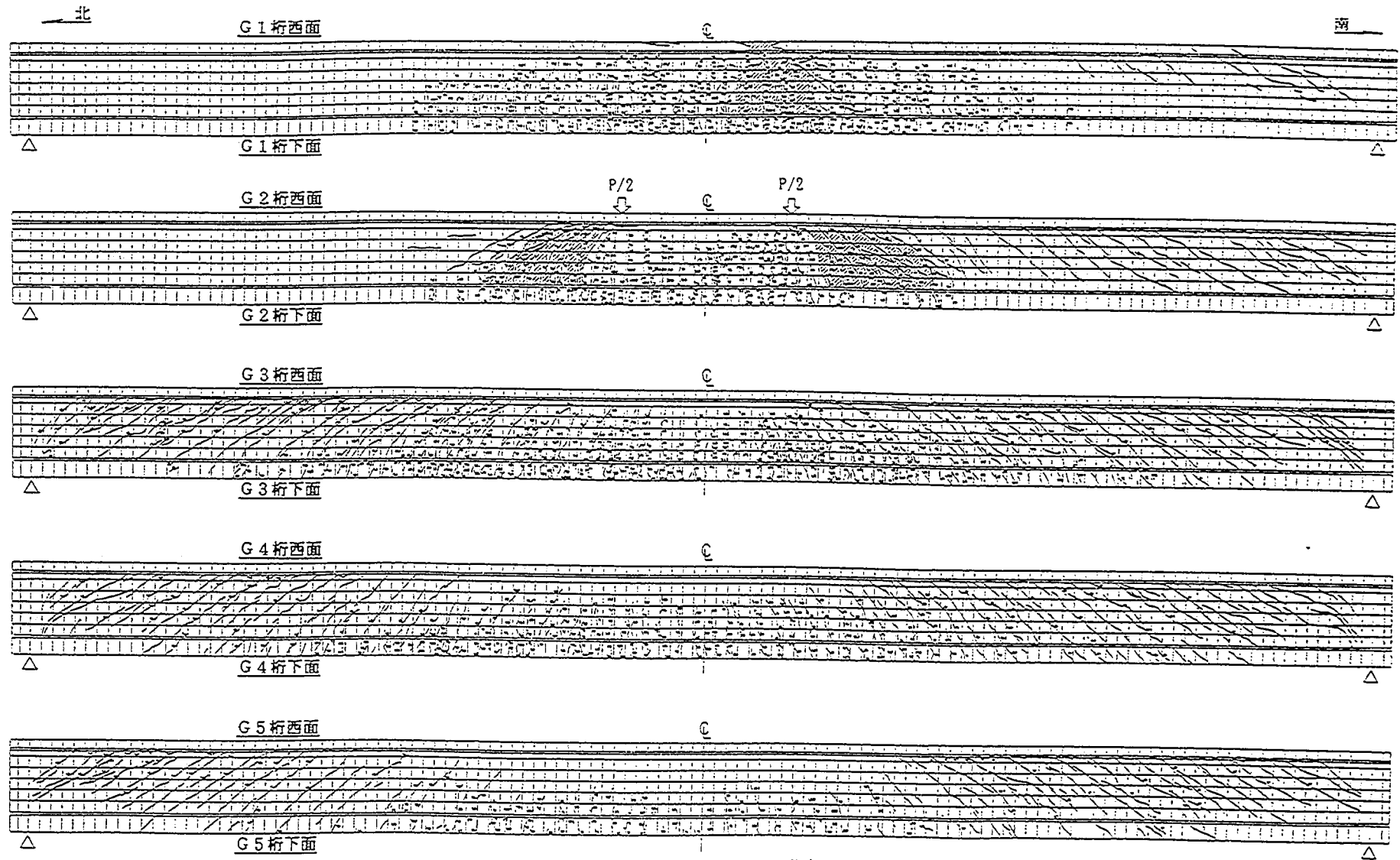


注1) ひび割れのうち、数字を記したものはひび割れ発生荷重(=t)を表し、荷重表示無きものは
終局後に確認したひび割れを表す。

注2) 斜線部は損傷が著しい部位 (コンクリートの欠落部等) を表す。

図-4.4.21(a) ひびわれ図 (Case 5 G 5 げた側側面)

橋供試体桁西面および桁下面のひびわれ図 (No.5:ZS-NB-70)

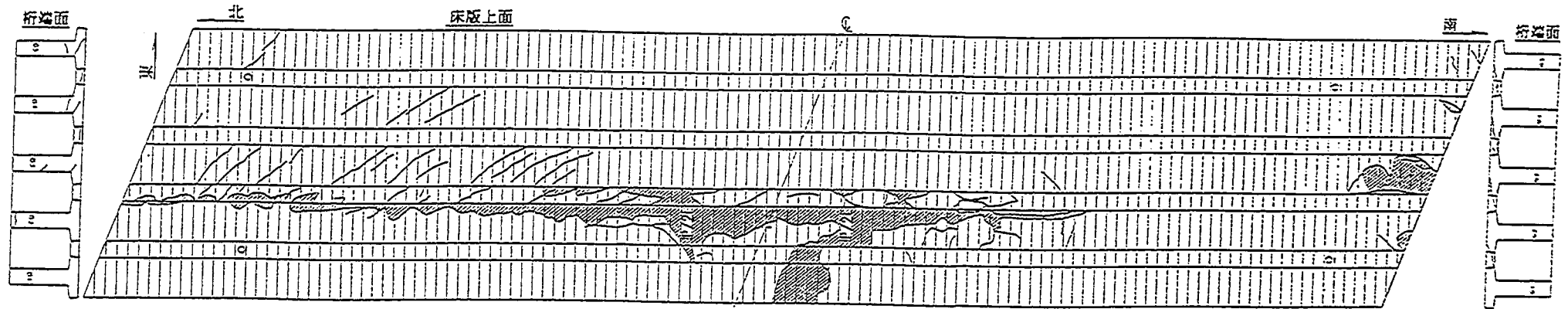


注1) ひび割れのうち、数字を記したものはひび割れ発生荷重(t/t)を表し、荷重表示無きものは
終局後に確認したひび割れを表す。

注2) 斜線部は損傷が著しい部位 (コンクリートの欠落部等) を表す。

図-4.4.21 (b) ひびわれ図 (Case 5 G 1 げた側側面)

橋供試体床版上面および床版下面のひびわれ図 (No.5:ZS-NB-70)



注1) ひび割れのうち、数字を記したものにひび割れ発生荷重(%)を表し、荷重表示なきものは
終局後に確認したひび割れを表す。
注2) 斜線部は損傷が著しい部位 (コンクリートの欠落部等) を表す。

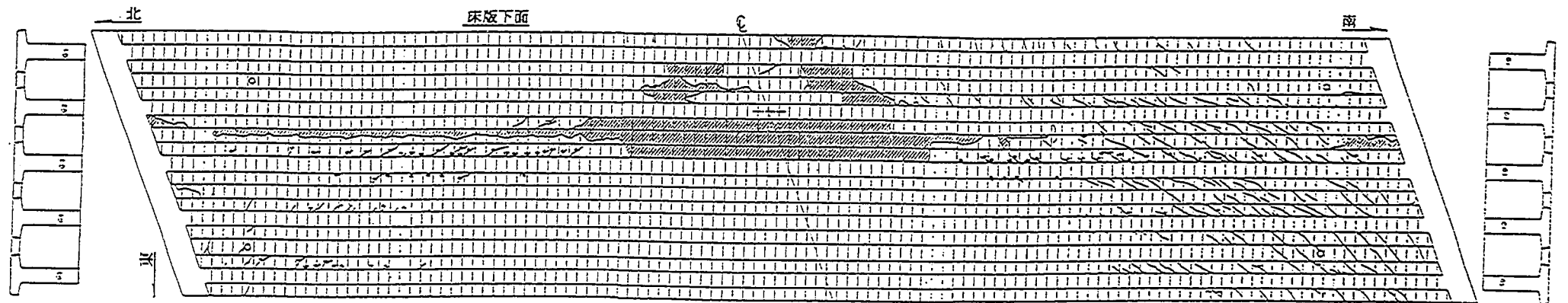


図-4.21(c) ひびわれ図 (Case5 床版上下面)

4. 5 まとめ

中間横げたを省略したPCTげた橋の挙動を把握するために、はり供試体、橋供試体により載荷試験を行った。これらによって得られた結果をまとめると以下の通りである。

- (1) 載荷荷重により主げたおよび床版に生じる応力度は、ねじりを考慮した格子解析およびFEM解析により求めた計算値とほぼ一致した。
- (2) 載荷試験により求められた反力は、解析結果とは必ずしも一致しなかったが、この差異は主にバネ定数、支点条件などのばらつきにより生じたと考えられる。実験では、中間横げたの有無による支点反力への影響は大きくないという結果を得た。
- (3) 載荷試験により求められたたわみの実測値は計算値と十分に一致することが確認された。また荷重分配性能は中間横げたの省略により若干低下すること、さらに、床版厚を増加させることによりたわみは減少し荷重分配性能は向上することが理解された。
- (4) 床版に生じる応力度は中間横げたの減少・省略により増加するため、床版厚の増加や、横締めプレストレスの増加等の対策を行うことにより、中間横げたのあるPCTげた橋と同等の耐久性を確保することは十分可能であると判断された。
- (5) 終局載荷試験より、終局耐力は中間横げたの有無に関わらず同程度であり、中間横げた省略の影響は小さいと考えられる。しかし、設計荷重時のねじりモーメント増加によりねじりひびわれを発生させないように、設計時にはねじり剛性を考慮することがよいと考えられる。中間横げたの配置は耳げたの中間横げた付近に押し抜きせん断ひびわれが生じるため、終局時には必ずしも中間横げたの配置が有利には働かないことが考えられる。一方、中間横げたの減少・省略により、端横げたには応力が集中するため設計時の適切な検討により補強を行う必要があることが理解された。

5. 中間横げた減少・省略に対応した床版設計に関する解析的検討および代替措置の提案

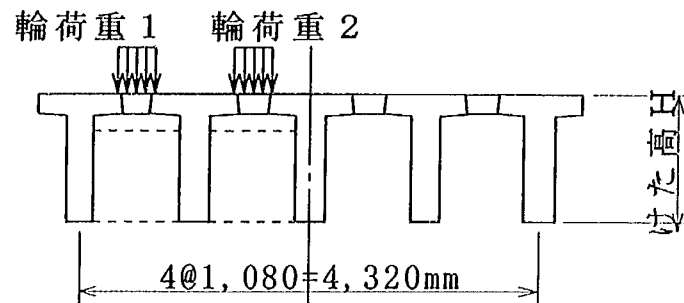
中間横げたを省略したPCTげた橋に関して3. 数値解析および4. 載荷試験により挙動について検討を行った。この構造を実橋に適用するためには、T荷重により床版に生じる応力度を適切に評価する必要がある。実測値とFEM解析による計算値はほぼ一致することが確認されているので、載荷試験で使用した支間長、幅員などが異なる複数の橋梁について、床版の応力度をFEM解析により求め比較を行った。この結果をもとに、中間横げたを減少・省略したPCTげた橋における床版の設計方法の算定式を含め提案する。

5. 1 解析モデル

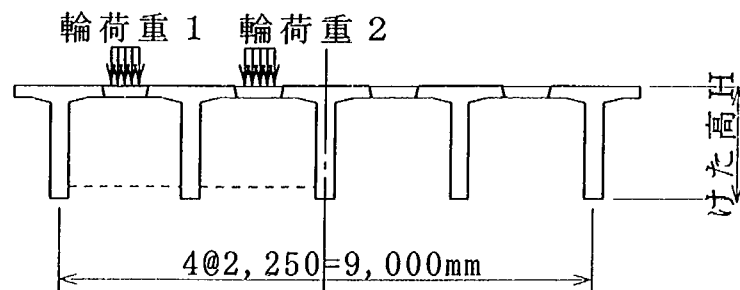
解析の対象としたモデル橋梁はプレテンションTげた橋およびポストテンションTげた橋とし、中間横げたの有無による床版応力度の比較を行った。解析モデルの諸元を表-5.1.1に、載荷位置を図-5.1.1に示す。プレテンションTげたの主げた間隔はJISの規定の最大値を、ポストテンションTげた橋の主げた間隔は道路橋示方書の間詰めコンクリートの最大値を想定した。また、ポストテンションTげた橋の支間長25m、30mの場合は本来中間横げたは1本であるが、比較を容易にするために2本とした。これにより中間横げたの有無の比較は、影響がより顕著となる条件で行うこととなる。またこれらのモデルの床版部のみを取り出して単純版とし、これの曲げ応力度も合わせてFEM解析により計算して比較対象に用いた。

表-5.1.1 解析モデルの諸元

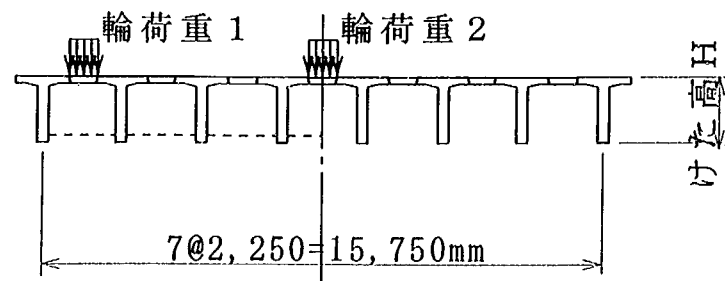
	プレテンション Tげた橋	ポストテンション Tげた橋		
支 間 長(m)	24	25	30	35
けた高 H (m)	1.3	1.6	1.8	2.0
主げた間隔(cm)	108	225		
主げた本数(本)	5	5及び8		
床版支間長(cm)	78	191		
床 版 厚(cm)	16	20		
中間横げた(本)	0及び1	0及び2		
斜 角(度)	90	90		
荷 重	10tf(載荷面積:50×20cm)			



(a) プレテンションTげた橋(5主げた)モデル



(b) ポストテンションTげた橋(5主げた)モデル



(c) ポストテンションTげた橋(8主げた)モデル

図-5.1.1 FEM解析載荷位置図

5. 2 解析結果

5. 2. 1 橋軸直角方向応力度

プレテンションTげた橋（支間長24m）の床版上下面曲げ応力度を表-5. 2. 1に示す。なお、比較対象とした単純版として計算したモデルでの床版応力度の最大値は床版上面で 31.3kgf/cm^2 、床版下面で -28.8kgf/cm^2 となった。プレテンションTげた橋の中間横げたを配置したモデルでは4. 4. 3 主げた、床版のひずみおよび応力度で述べた理由により床版応力度が最大となるのは支間1/4点と考えられる。したがって、中間横げたを配置したモデルの支間1/4点と中間横げたを省略したモデルの支間1/2点の応力度を用いて比較を行った。この応力度は単純版モデルの応力度に対し、横げたありのモデルで70～78%、横げたなしのモデルで75～92%となっている。

次に、ポストテンションTげた橋（支間長25m、30m、35m）の応力度をそれぞれ表-5. 2. 2～表-5. 2. 4に示す。比較対象とした単純版モデルでの床版応力度の最大値は床版上面で 32.4kgf/cm^2 、床版下面で -28.2kgf/cm^2 であるので、最大応力度は単純版モデルに対し、横げたありのモデルで70～82%、横げたなしのモデルで78～92%となっている。

以上の結果を図-5. 2. 1にまとめて示す。ここでは、単純版の応力度を1とし、これとの比率によって中間横げたの有無による床版の発生応力度への影響を表している。道路橋示方書では、活荷重により床版に生じる支間中央の設計曲げモーメントについて連続版は単純版の80%と与えており、図-5. 2. 1から中間横げたを配置した連続版モデルの解析結果はこれが妥当であることを示している。一方、中間横げたを省略した場合の連続版は、中間横げたを配置した場合よりも主げたの拘束効果が低下するため、主げたがより回転しやすい構造となり単純版に近い挙動を示す傾向のあることや、載荷位置付近の不等沈下が生じやすい構造となり荷重分配性能が低下すること等により床版に生じる応力度は増加することとなる。解析結果においても床版に発生する応力度は、単純版としての計算値と中間横げたを配置した連続版としての計算値の概ね中間の値を示しており、曲げモーメント算定式を単純版の90%程度とすることが適切であると考えられる。

表-5.2.1 応力度の比較(ブレンジョン:支間長24m)

載荷荷重	応力位置	応力度(kgf/cm ²)	
		横げた あり (支間1/4)	横げた なし (支間1/2)
輪荷重 1	上 面	23.7	26.1
	下 面	-20.3	-21.7
輪荷重 2	上 面	24.4	28.9
	下 面	-21.6	-25.0

表-5.2.2 応力度の比較(※ステーション:支間長25m)

主げた 本 数	載荷荷重	応力位置	応力度(kgf/cm ²)	
			横げた あり	横げた なし
5 主げた	輪荷重 1	上 面	26.3	28.6
		下 面	-20.0	-22.3
	輪荷重 2	上 面	26.2	29.7
		下 面	-19.8	-23.6
8 主げた	輪荷重 1	上 面	26.2	28.6
		下 面	-19.9	-22.2
	輪荷重 2	上 面	26.6	29.8
		下 面	-19.8	-23.9

表-5.2.3 応力度の比較(※ステーション:支間長30m)

主げた 本 数	載荷荷重	応力位置	応力度(kgf/cm ²)	
			横げた あり	横げた なし
5 主げた	輪荷重 1	上 面	26.3	28.3
		下 面	-20.1	-22.1
	輪荷重 2	上 面	26.1	29.5
		下 面	-19.9	-23.4
8 主げた	輪荷重 1	上 面	26.3	28.3
		下 面	-20.1	-22.0
	輪荷重 2	上 面	26.4	29.6
		下 面	-19.8	-24.0

表-5.2.4 応力度の比較(※ステーション:支間長35m)

主げた 本 数	載荷荷重	応力位置	応力度(kgf/cm ²)	
			横げた あり	横げた なし
5 主げた	輪荷重 1	上 面	26.4	28.1
		下 面	-20.2	-21.9
	輪荷重 2	上 面	26.0	29.4
		下 面	-19.9	-23.3
8 主げた	輪荷重 1	上 面	26.4	28.1
		下 面	-20.1	-21.8
	輪荷重 2	上 面	26.3	29.5
		下 面	-19.8	-23.6

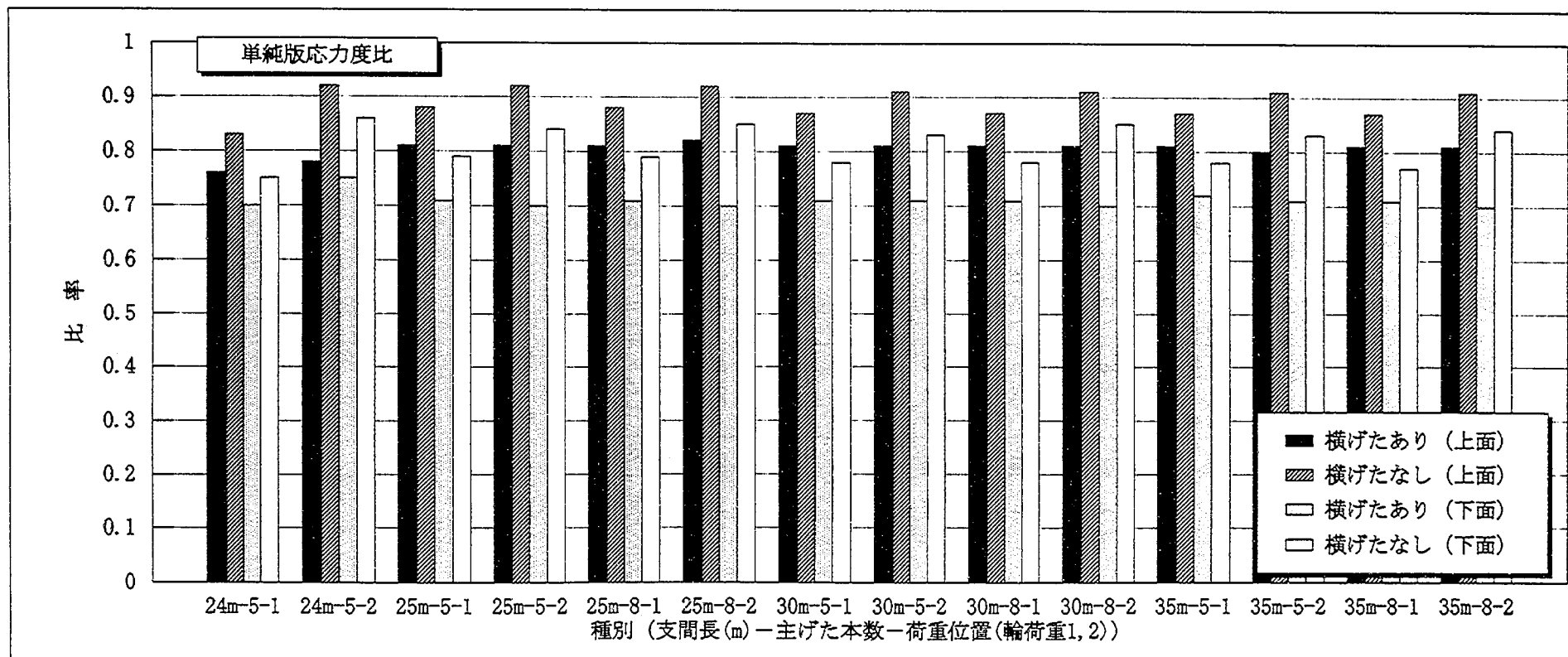


図-5.2.1 単純版応力度比の比較

5.2.2 橋軸方向応力度

5 主げたのポストテンションTげた橋モデル（支間長25m、30m、35m）の床版応力度を表-5.2.5に示す。中間横げたの有無による床版応力度の差は最大0.6kgf/cm²となっているが、床版橋軸方向応力度には主げたの曲げによる圧縮応力度も加算されている。そこでこの影響を除くため、計算モーメントによりおよその比較を行い、最大3%程度の増加となった。この程度の増加であればほぼ無視できる範囲であると考えられる。

表-5.2.5 応力度の比較

支間長	載荷荷重	応力位置	応力度(kgf/cm ²)		計算モーメント(tfm/m)	
			横 げ た あ り	横 げ た な し	横 げ た あ り	横 げ た な し
25m	輪荷重 1	上 面	30.5	30.9	1. 1 0 3	1. 1 2 0
		下 面	- 2.6	- 2.7		
	輪荷重 2	上 面	29.3	29.9	1. 0 6 3	1. 0 9 0
		下 面	- 2.6	- 2.8		
30m	輪荷重 1	上 面	30.4	30.7	1. 0 9 7	1. 1 1 3
		下 面	- 2.5	- 2.7		
	輪荷重 2	上 面	29.1	29.7	1. 0 5 7	1. 0 8 0
		下 面	- 2.6	- 2.7		
35m	輪荷重 1	上 面	30.2	30.5	1. 0 9 0	1. 1 0 7
		下 面	- 2.5	- 2.7		
	輪荷重 2	上 面	29.0	29.5	1. 0 5 7	1. 0 7 3
		下 面	- 2.7	- 2.7		

注) 計算モーメントは床版上縁の応力度 σ から床版の平均応力度を差し引き断面係数を乗じて作用モーメントを推定した。

6. まとめ

本共同研究による数値解析、載荷試験結果をまとめると、以下のとおりである。

- (1) 反力に対しては、中間横げたの有無による影響はほとんど見られなかった。
- (2) 主げたのたわみおよび荷重分配性能に対しては、中間横げたの有無による影響は小さい。また、床版の増厚により荷重分配性能は改善されたわみの絶対量も減少する。
- (3) 断面力に対しては、曲げモーメントおよびせん断力についてはほとんど影響は見られないが、ねじりモーメントに比較的大きな影響が見られた。また、実測値および計算値がほぼ一致することから格子解析による設計の妥当性が確認された。終局載荷試験結果から、本構造ではねじりを考慮して設計することが望ましい。
- (4) 本構造を適用する場合、活荷重により床版に生じる応力度は増加するため、これを考慮して設計する必要がある。研究結果による試算では、活荷重により床版に生じる支間中央の曲げモーメントは単純版の90%とすることが適切であると考えられる。
- (5) 床版の応力度の増加に対しては、横締めプレストレスの増加により対処する事は可能であるが、耐久性の面から床版厚の増厚が望ましい。

7. あとがき

平成7年度までに、P C単純Tげた橋に着目し、施工の省力化を図るために中間横げたを減少もしくは省略した構造を提案し、数値解析、載荷試験を行った。これによって、中間横げたの施工を大幅に軽減することが可能な設計手法を確立することができるものと期待される。特に、斜角が小さい場合のねじりに対する設計方法や、床版の応力増加に対する補強が重要であると考えられる。これらを明らかにすることによって、設計および施工の大幅な省力化を図ることが可能となり、工期の短縮はもちろんのこと工費の削減にもつながるものと期待される。

また、さらに省力化を進めるためには、中間横げたの減少・省略に関連して、間詰めコンクリート型わくの設置方法や合成床版構造適用の可能性の検討は不可避な問題である。特に、合成床版構造は、床版表面に継目のない一体コンクリートを打設することが可能であり、フルプレストレスだけではなく、P R C構造やR C構造にも適用が可能であり、耐久性を維持しながら建設費を低減することが可能であると考えられる。今後は、これらのことを明らかにし、コンクリート橋の更なる省力化および省人化を目指す予定である。

【参考文献】

- 1) 前田、椎: “連続P C 2 ウェブ版ゲタ橋(1) —連続P C 2 ウェブ版ゲタ橋の紹介—”, 橋梁と基礎、Vol. 10、No. 3、1976.
- 2) 前田、椎: “連続P C 2 ウェブ版ゲタ橋(2) —模型実験と設計方針—”, 橋梁と基礎、Vol. 10、No. 4、1976.
- 3) 前田、椎: “連続P C 2 ウェブ版ゲタ橋(3) —設計と施工—”, 橋梁と基礎、Vol. 10、No. 5、1976.
- 4) 毛戸 他: “P C連続2主版桁高架橋の設計・施工 —北郷・白石高架橋—”, プレストレストコンクリート、Vol. 28、No. 4、Jul.、1986.
- 5) 堺 他: “P R C連続2主版桁橋の設計方法について”, プレストレストコンクリート、Vol. 32、No. 4、Jul.、1990.
- 6) 宮崎: “端横桁のみを有する桁橋の模型試験とその計算値比較”, プレストレストコンクリート、Vol. 16、No. 1、Feb.、1974.
- 7) 宮崎: “中間横桁のない桁橋の設計例について”, プレストレストコンクリート、Vol. 19、No. 4、Aug.、1977.
- 8) 渡部、林下: “中間横桁のないP C単純桁橋の構造解析と設計および経済性の検討(その1)”, 橋梁、12月、1984.
- 9) 渡部、林下: “中間横桁のないP C単純桁橋の構造解析と設計および経済性の検討(その2)”, 橋梁、1月、1985.
- 10) “STANDARD SPECIFICATIONS for HIGHWAY BRIDGES FIFTEENTH EDITION-1992”, AASHTO, 1992, pp. 169.

付 録

1. 実測コンクリート強度
2. 床版上面のコンクリート主ひずみ分布
3. 床版下面のコンクリート主ひずみ分布

コンクリート強度試験結果その1

供 試 体 名 : HS-NB-90 (HS-CB-90)

強度試験実施時期 : 載荷試験前

圧縮強度試験

番 号	直 径 (mm)	断面積 (cm ²)	最大荷重 (ton)	圧縮強度(kg/cm ²)		弾性係数($\times 10^5$ kg/cm ²)		ポアソン比		試験材令 (日)	打設日
				測定値	平均値	測定値	平均値	測定値	平均値		
G1	1	100.34	79.07	50.80	642	3.45	3.34	0.215	0.212	133	H7/2/27
	2	100.53	79.37	48.80	615	3.28		0.218			
	3	100.33	79.06	52.78	668	3.29		0.202			
G2	1	100.42	79.20	43.01	543	3.60	3.52	0.187	0.218	129	H7/2/23
	2	100.46	79.26	42.65	538	3.51		0.240			
	3	100.38	79.14	46.55	588	3.44		0.227			
G3	1	100.35	79.09	51.15	647	3.46	3.45	0.218	0.216	126	H7/2/21
	2	100.30	79.01	48.50	614	3.25		0.207			
	3	100.45	79.25	53.77	679	3.65		0.223			
G4	1	100.30	79.01	53.65	679	3.39	3.37	0.210	0.217	130	H7/2/24
	2	100.37	79.12	54.69	691	3.43		0.217			
	3	100.33	79.06	46.04	582	3.28		0.225			
G5	1	99.95	78.46	50.53	644	3.65	3.81	0.239	0.242	134	H7/2/28
	2	100.08	78.67	52.16	663	4.08		0.261			
	3	100.13	78.74	54.04	686	3.70		0.227			

割裂引張強度試験

番 号	直 径 (mm)	長 さ (mm)	表面積 (cm ²)	最大荷重 (ton)	割裂引張強度(kg/cm ²)		試験材令 (日)	打設日
					測定値	平均値		
G1	1	99.89	199.43	12.9	41.2	45.7	133	H7/2/27
	2	100.30	198.10	13.2	42.3			
	3	100.23	199.58	16.8	53.5			
G2	1	100.23	198.28	15.3	49.0	47.9	129	H7/2/23
	2	99.63	200.13	14.2	45.3			
	3	100.38	199.45	15.5	49.3			
G3	1	100.20	199.85	14.6	46.4	49.5	126	H7/2/21
	2	100.33	199.78	17.0	54.0			
	3	100.28	199.45	15.1	48.1			
G4	1	100.53	199.03	16.7	53.1	47.9	130	H7/2/24
	2	100.35	197.40	15.0	48.2			
	3	99.63	199.13	13.2	42.4			
G5	1	99.93	199.38	15.5	49.5	49.2	134	H7/2/28
	2	99.95	198.25	14.7	47.2			
	3	99.98	198.40	15.9	51.0			

コンクリート強度試験結果その2

供 試 体 名 : Z S - N B - 9 0

強度試験実施時期 : 載荷試験前

圧縮強度試験

番 号	直 径 (mm)	断面積 (cm ²)	最大荷重 (ton)	圧縮強度(kg/cm ²)		静弾性係数($\times 10^5$ kg/cm ²)		ポアソン比		試験日 (日)	打設日
				測定値	平均値	測定値	平均値	測定値	平均値		
G1	1	100.10	78.70	52.46	667	3.58	643	0.232	0.236	138	H7/3/3
	2	100.08	78.67	49.33	627	3.60		0.237			
	3	100.32	79.04	50.13	634	3.41		0.240			
G2	1	100.02	78.57	52.56	669	3.33	651	0.259	0.231	135	H7/3/6
	2	100.20	78.85	49.76	631	3.40		0.215			
	3	100.37	79.12	51.66	653	3.51		0.219			
G3	1	99.88	78.35	58.82	751	3.67	748	0.237	0.237	134	H7/3/7
	2	99.92	78.41	60.35	770	3.68		0.230			
	3	100.24	78.92	57.12	724	3.61		0.245			
G4	1	100.02	78.57	56.16	715	3.60	720	0.212	0.206	133	H7/3/8
	2	100.11	78.71	56.86	722	3.58		0.210			
	3	99.79	78.21	56.56	723	3.49		0.195			
G5	1	100.36	79.11	46.60	589	3.27	598	0.216	0.216	139	H7/3/2
	2	100.38	79.14	48.36	611	3.41		0.200			
	3	100.32	79.04	46.86	503	3.30		0.233			

割裂引張強度試験

番 号	直 径 (mm)	長 さ (mm)	表面積 (cm ²)	最大荷重 (ton)	割裂引張強度(kg/cm ²)		試験日 (日)	打設日
					測定値	平均値		
G1	1	100.18	199.48	314.8	14.4	45.7	138	H7/3/3
	2	99.96	199.98	314.0	12.9	41.1		
	3	100.00	198.78	312.2	14.4	46.1		
G2	1	99.94	198.43	311.5	15.8	50.7	135	H7/3/6
	2	100.16	198.78	312.7	15.3	48.9		
	3	99.98	197.63	310.4	13.9	44.8		
G3	1	99.75	200.75	314.5	14.5	46.1	134	H7/3/7
	2	99.98	198.83	312.3	15.3	49.0		
	3	99.94	200.53	314.8	17.8	56.5		
G4	1	99.88	200.28	314.2	14.0	44.6	133	H7/3/8
	2	99.92	199.80	313.6	15.1	48.2		
	3	99.80	200.95	315.0	15.7	49.8		
G5	1	99.88	199.75	313.4	12.4	39.6	139	H7/3/2
	2	99.94	200.55	314.8	13.7	43.5		
	3	100.16	198.45	312.2	14.5	46.4		

コンクリート強度試験結果その3

供 試 体 名 : ZS-NB-70 (ZS-CB-70)

強度試験実施時期 : 載荷試験前

圧縮強度試験

番 号		直 径 (mm)	断面積 (cm ²)	最大荷重 (ton)	圧縮強度(kg/cm ²)		弾性係数($\times 10^3$ kg/cm ²)		ポアソン比		試験片令 (日)	打設日
					測定値	平均値	測定値	平均値	測定値	平均値		
G1	1	100.20	78.85	58.62	743	738	3.59	3.58	0.237	0.239	145	H7/3/15
	2	100.35	79.09	57.26	724		3.55		0.253			
	3	100.54	79.39	59.36	748		3.60		0.226			
G2	1	100.60	79.49	42.10	530	548	2.93	3.02	0.221	0.214	150	H7/3/10
	2	100.36	79.11	44.40	561		3.02		0.214			
	3	100.33	79.06	43.63	552		3.10		0.208			
G3	1	99.74	78.13	55.76	714	683	3.48	3.58	0.220	0.222	147	H7/3/13
	2	100.22	78.89	52.19	662		3.54		0.213			
	3	100.30	79.01	53.19	673		3.71		0.232			
G4	1	99.84	78.13	56.79	725	716	3.39	3.55	0.221	0.233	146	H7/3/14
	2	99.98	78.51	53.39	680		3.59		0.239			
	3	100.12	78.73	58.46	743		3.67		0.239			
G5	1	100.38	79.14	54.46	688	663	3.54	3.49	0.238	0.238	144	H7/3/16
	2	100.36	79.11	52.05	658		3.63		0.237			
	3	100.35	79.09	50.76	642		3.31		0.239			

割裂引張強度試験

番 号		直 径 (mm)	長 さ (mm)	表面積 (cm ²)	最大荷重 (ton)	割裂引張強度(kg/cm ²)		試験片令 (日)	打設日
						測定値	平均値		
G1	1	100.04	199.40	313.3	15.4	49.2	49.7	145	H7/3/15
	2	100.06	202.78	318.7	16.3	51.1			
	3	100.06	200.95	315.8	15.4	48.8			
G2	1	99.93	199.20	312.7	13.1	41.9	41.0	150	H7/3/10
	2	99.92	199.98	313.9	13.2	42.1			
	3	99.86	201.18	315.6	12.3	39.0			
G3	1	99.74	199.75	313.0	13.9	44.4	45.9	147	H7/3/13
	2	99.84	196.95	308.9	14.7	47.6			
	3	99.95	200.23	314.4	14.4	45.8			
G4	1	100.01	199.10	312.8	17.2	55.0	50.3	146	H7/3/14
	2	100.04	199.00	312.7	15.3	48.9			
	3	99.84	199.88	313.5	14.7	46.9			
G5	1	100.18	200.28	315.2	14.5	46.0	45.1	144	H7/3/16
	2	99.87	199.55	313.0	13.7	43.8			
	3	99.99	199.90	314.0	14.3	45.5			

コンクリート強度試験結果その4

供 試 体 名 : HS-NN-90

強度試験実施時期 : 載荷試験前

圧縮強度試験

番 号	直 径 (mm)	断面積 (cm ²)	最大荷重 (ton)	圧縮強度(kg/cm ²)		静弾性係数($\times 10^5$ kg/cm ²)		ポアソン比		試験材令 (日)	打設日
				測定値	平均値	測定値	平均値	測定値	平均値		
1	100.14	78.76	58.73	746	745	4.03	3.97	0.224	0.233	130	H7/2/18
2	99.78	78.19	58.02	742		3.96		0.230			
3	99.93	78.43	58.52	746		3.91		0.246			

割裂引張強度試験

番 号	直 径 (mm)	長 さ (mm)	表面積 (cm ²)	最大荷重 (ton)	割裂引張強度(kg/cm ²)		試験材令 (日)	打設日
					測定値	平均値		
1	100.00	200.45	315.6	15.2	48.2	48.0	130	H7/2/18
2	99.82	200.60	314.5	14.6	46.4			
3	99.78	200.95	315.0	13.7	43.5			

コンクリート強度試験結果その5

供 試 体 名 : 間詰コンクリート

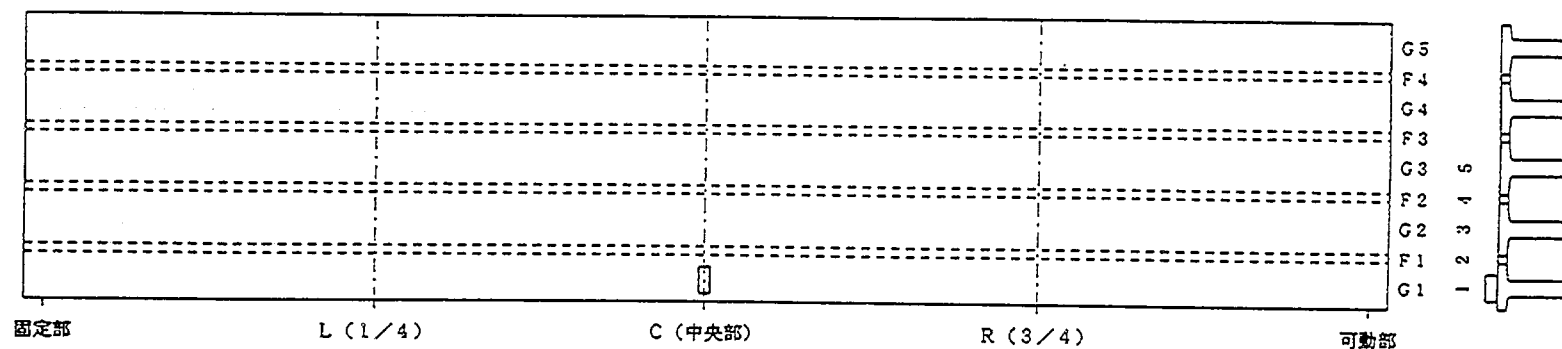
強度試験実施時期 : 載荷試験前

圧縮強度試験

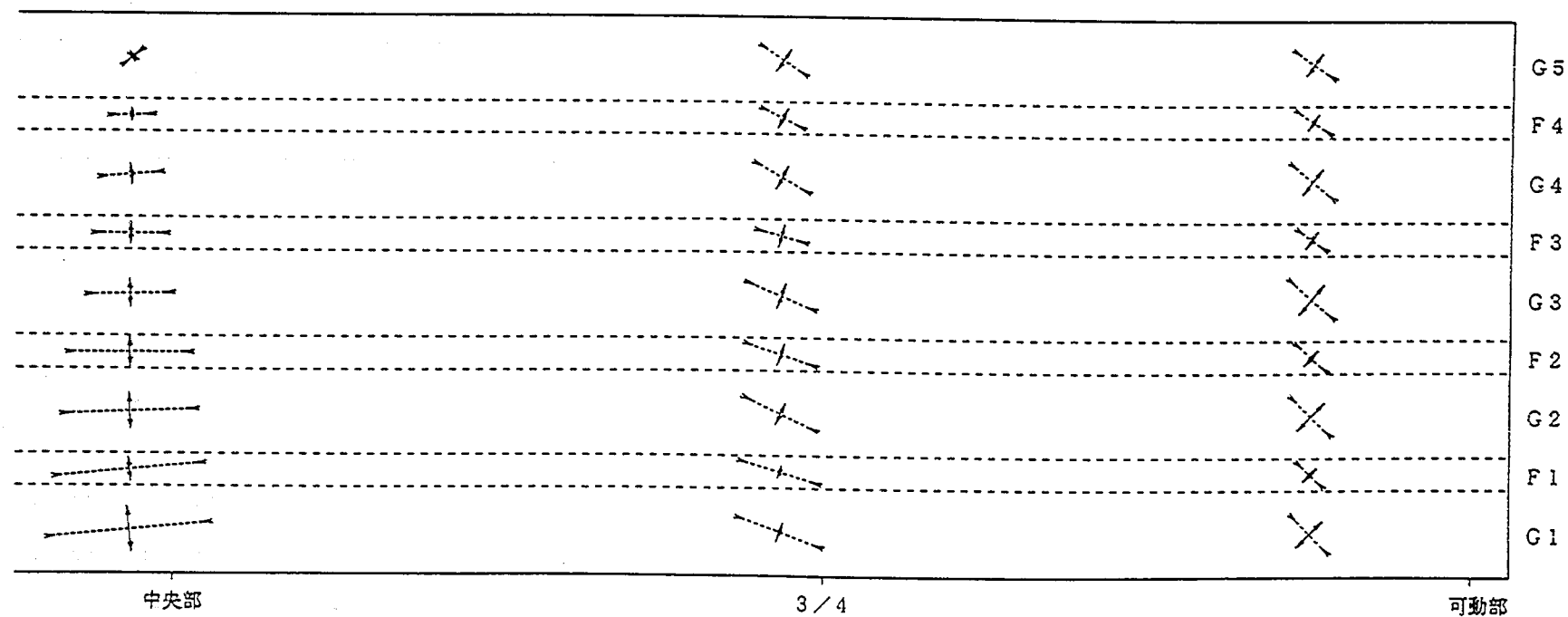
番 号	直 径 (mm)	断面積 (cm ²)	最大荷重 (ton)	圧縮強度(kg/cm ²)		静弾性係数($\times 10^5$ kg/cm ²)		ポアソン比		試験材令 (日)	打設日
				測定値	平均値	測定値	平均値	測定値	平均値		
1	100.18	78.82	36.07	458	462	3.22	3.31	0.190	0.200	80	H7/5/19
2	100.46	79.26	35.37	446		3.25		0.210			
3	100.27	78.96	37.97	481		3.46		0.199			

割裂引張強度試験

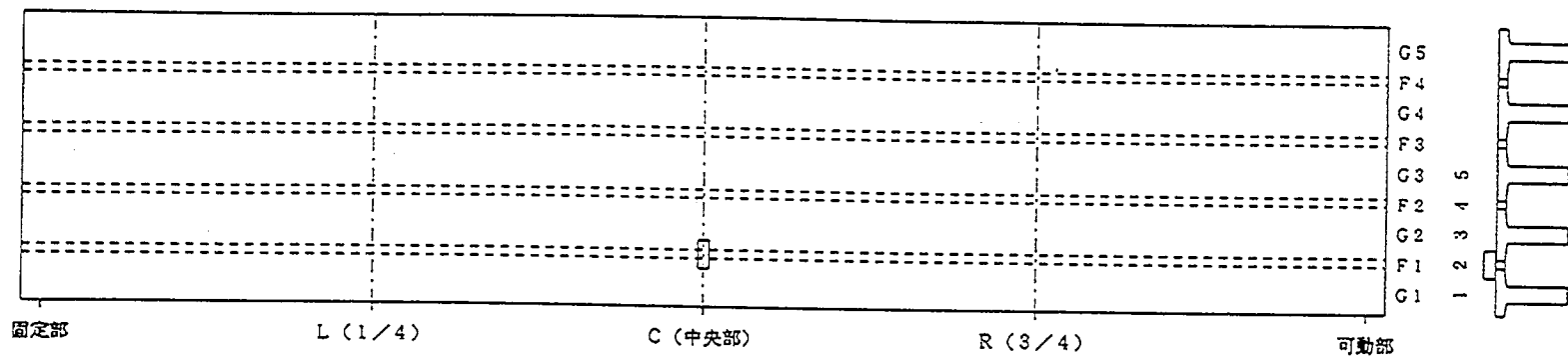
番 号	直 径 (mm)	長 さ (mm)	表面積 (cm ²)	最大荷重 (ton)	割裂引張強度(kg/cm ²)		試験材令 (日)	打設日
					測定値	平均値		
1	99.90	197.33	309.7	12.3	39.7	37.3	80	H7/5/19
2	100.01	198.33	311.6	10.8	34.7			
3	100.08	198.08	311.4	11.7	37.6			



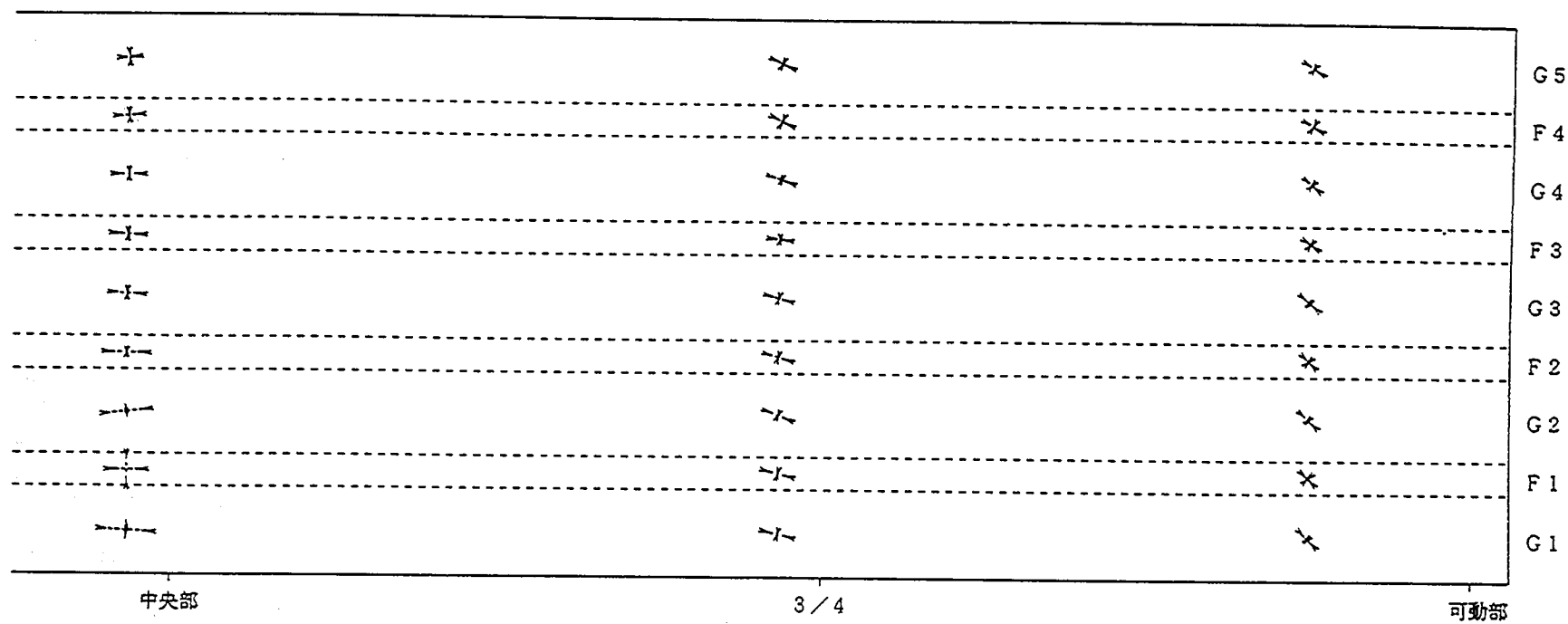
載荷位置 = C-1
 載荷荷重 = 12.0 ton
 FILE = IC1-25



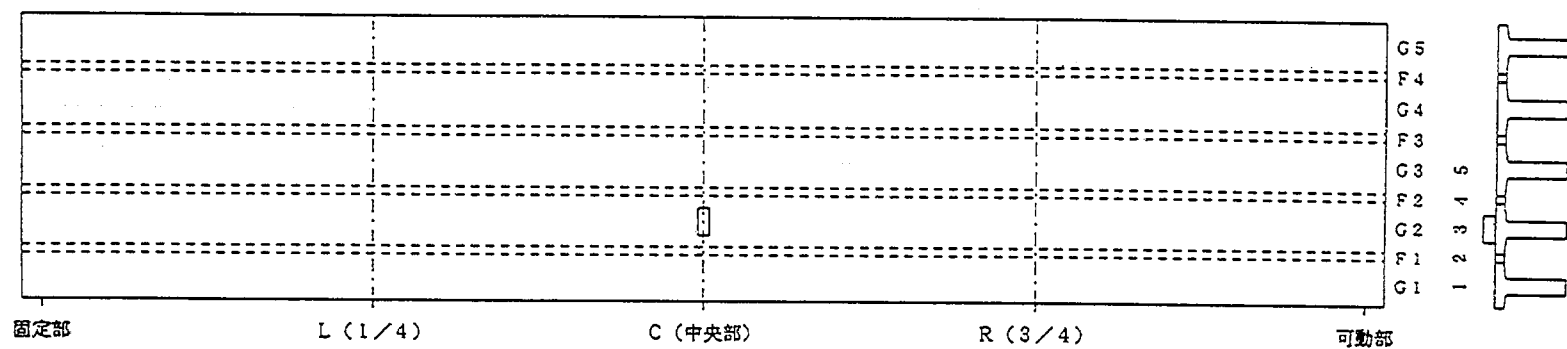
床版上面の主ひずみ分布図 (供試体 1)



載荷位置=C-2
載荷荷重=3.8ton
FILE=IC2-24



床版上面の主ひずみ分布図 (供試体 1)



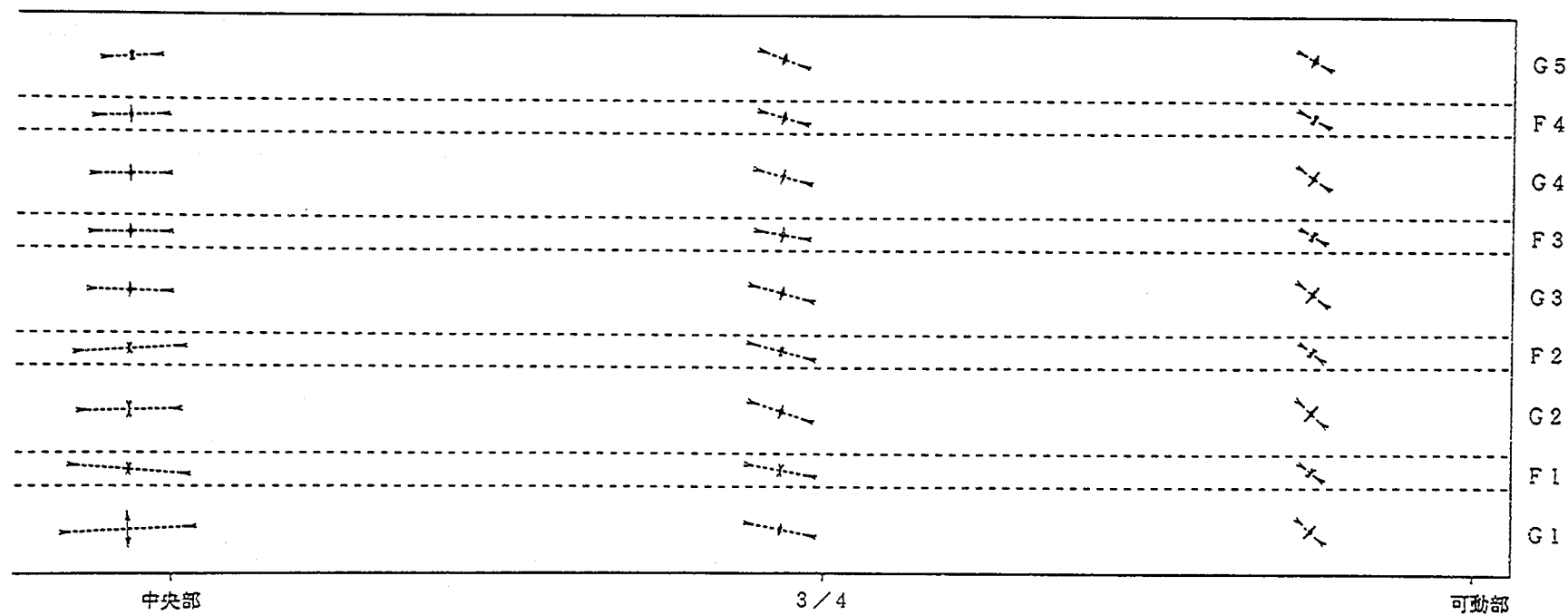
100 μ

100 μ

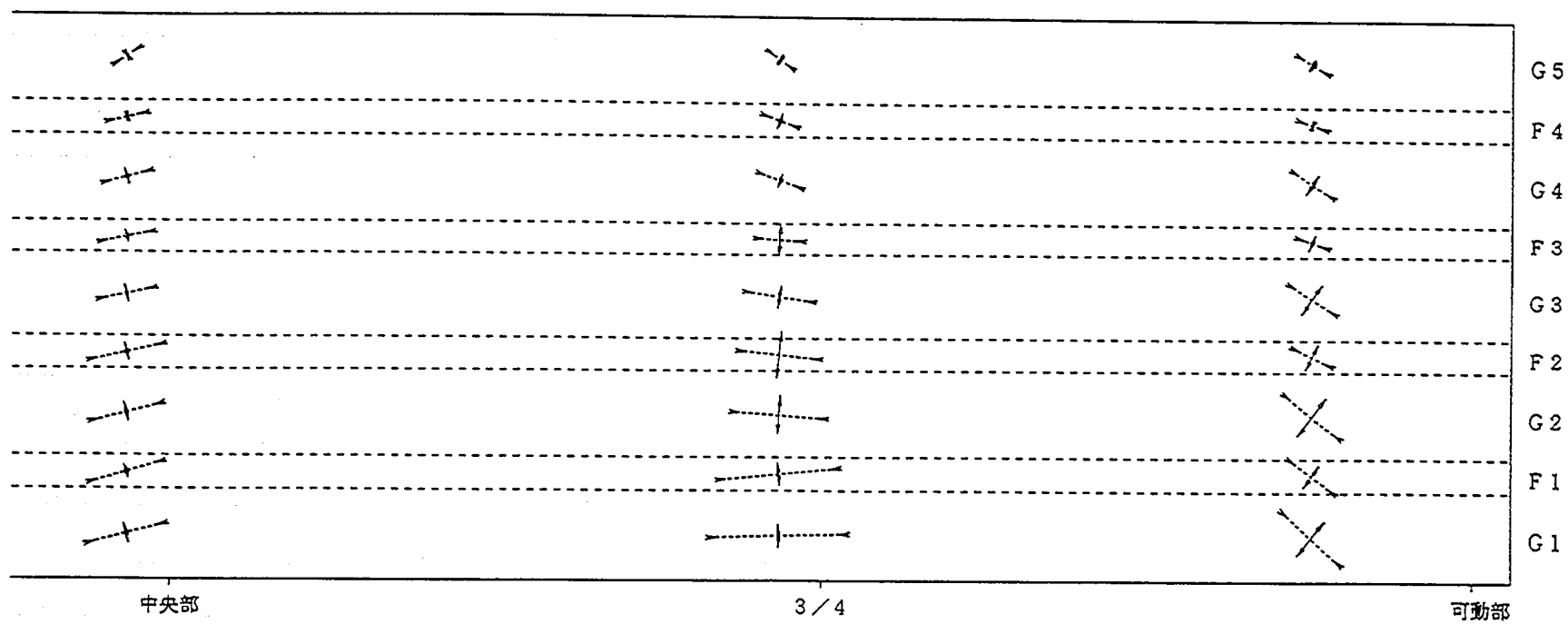
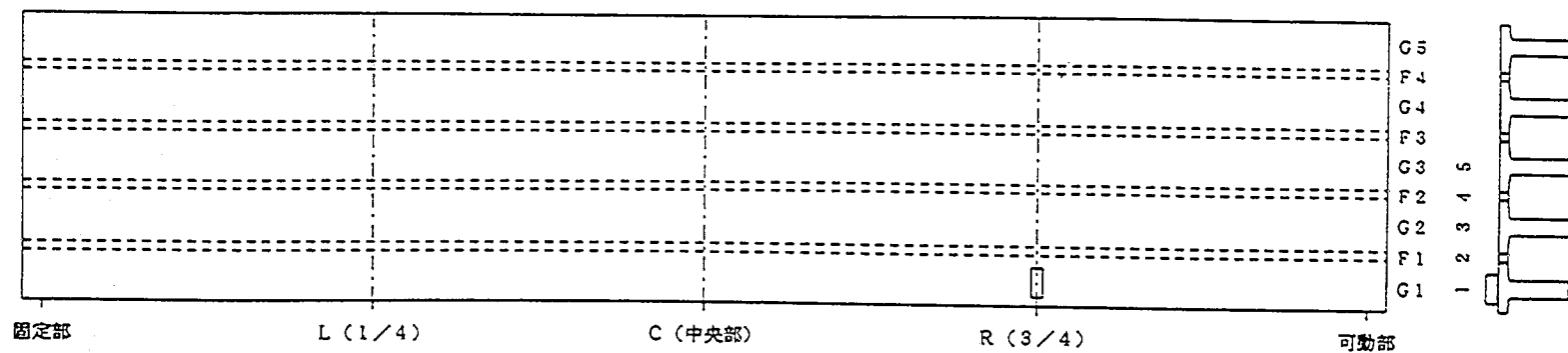
載荷位置=C-3

載荷荷重=12.0ton

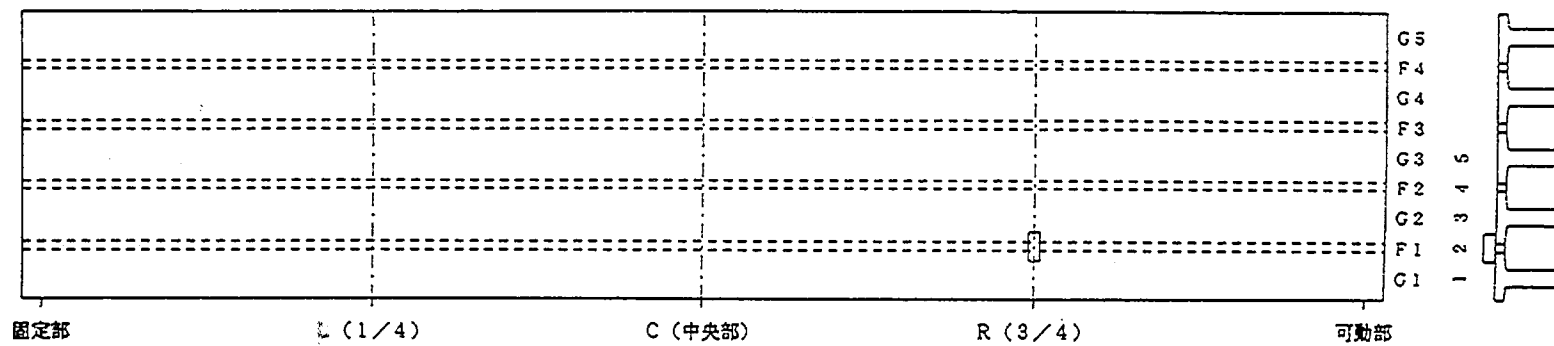
FILE=IC3-25



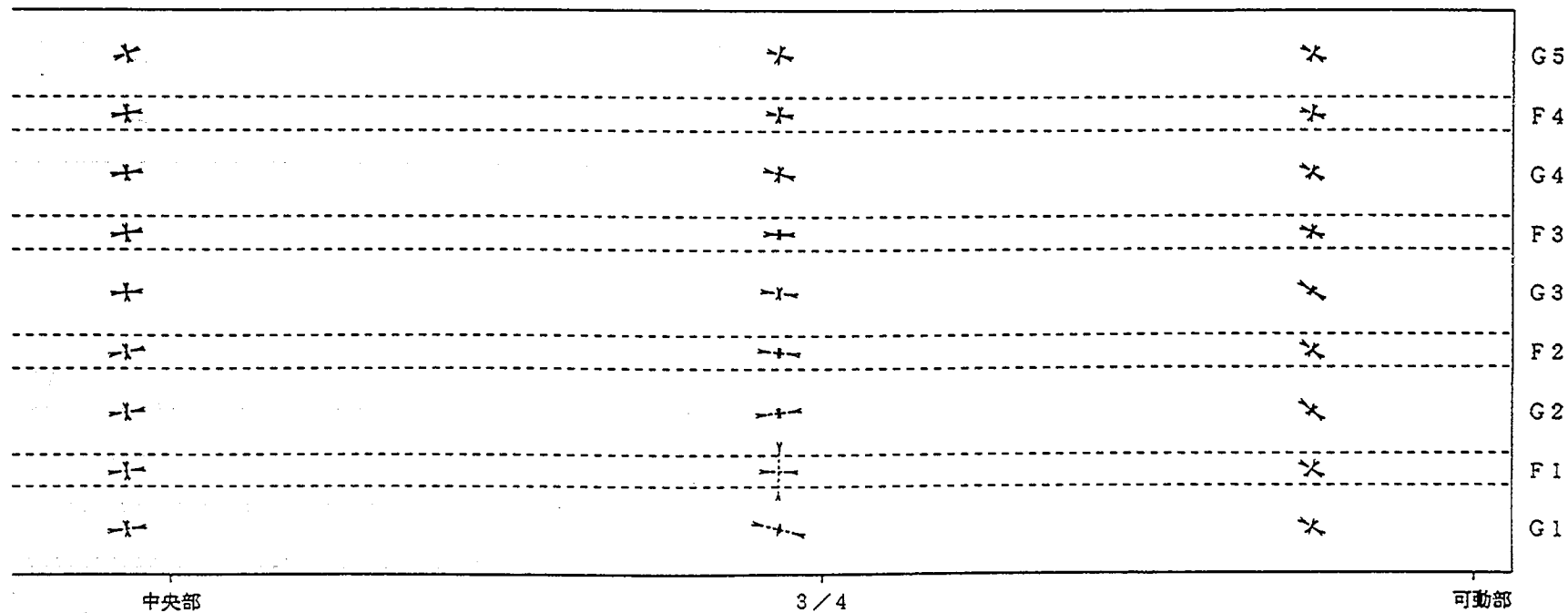
床版上面の主ひずみ分布図 (供試体 1)



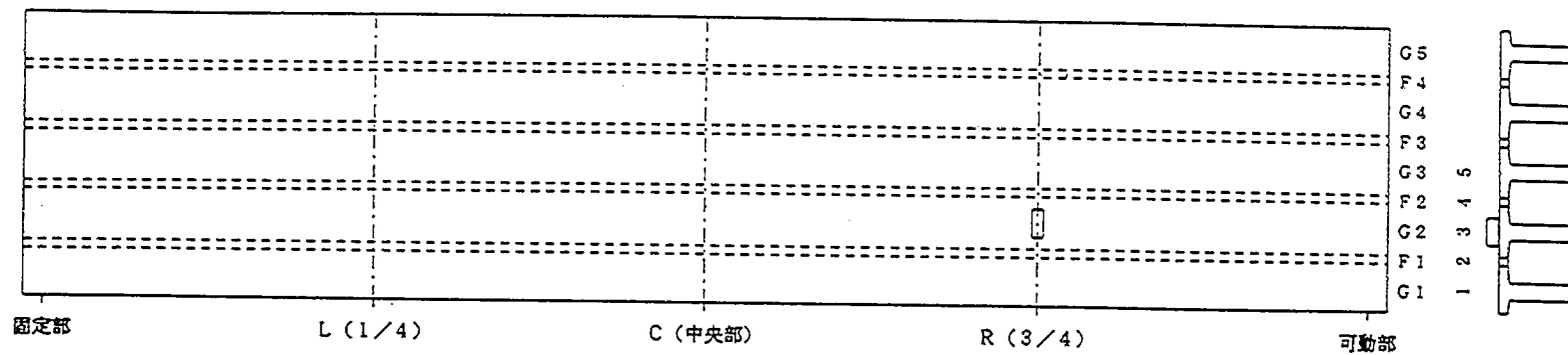
床版上面の主ひずみ分布図 (供試体 1)



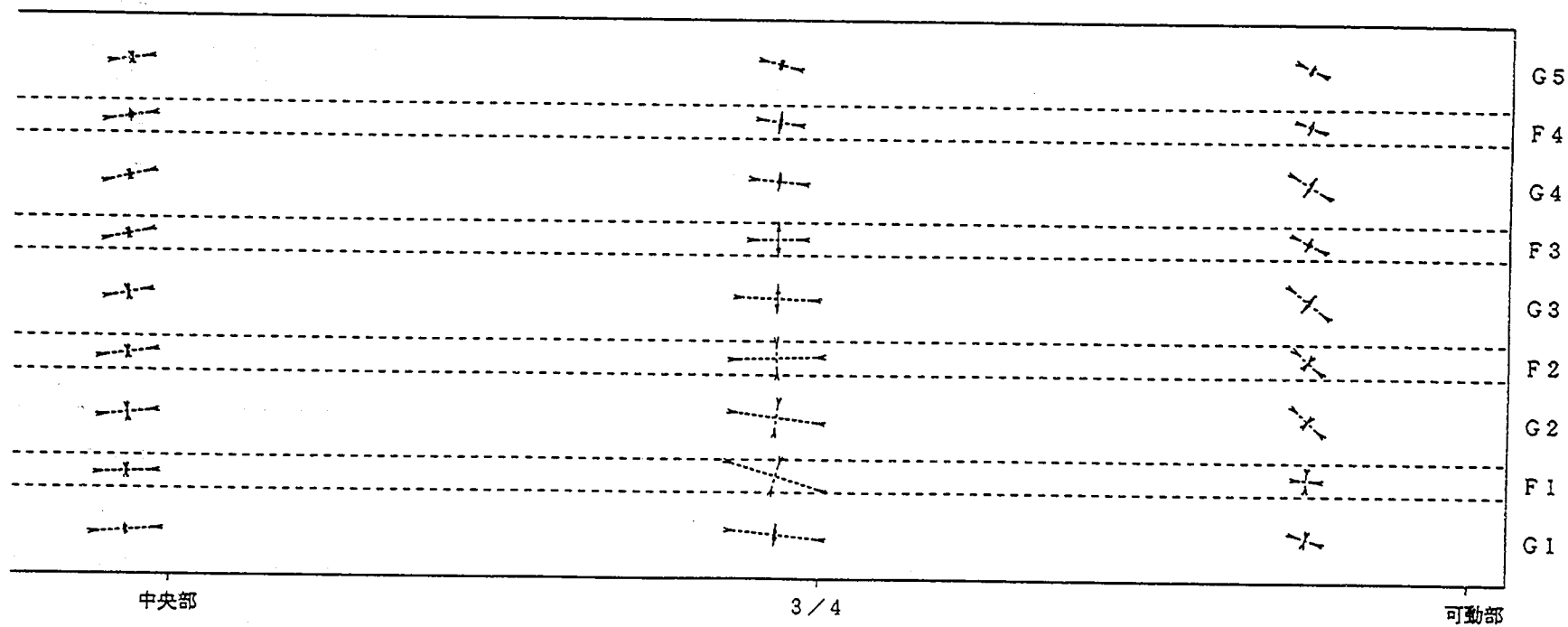
100 μm
 100 μm
 載荷位置 = R-2
 載荷荷重 = 3.8ton
 FILE = IR2-24



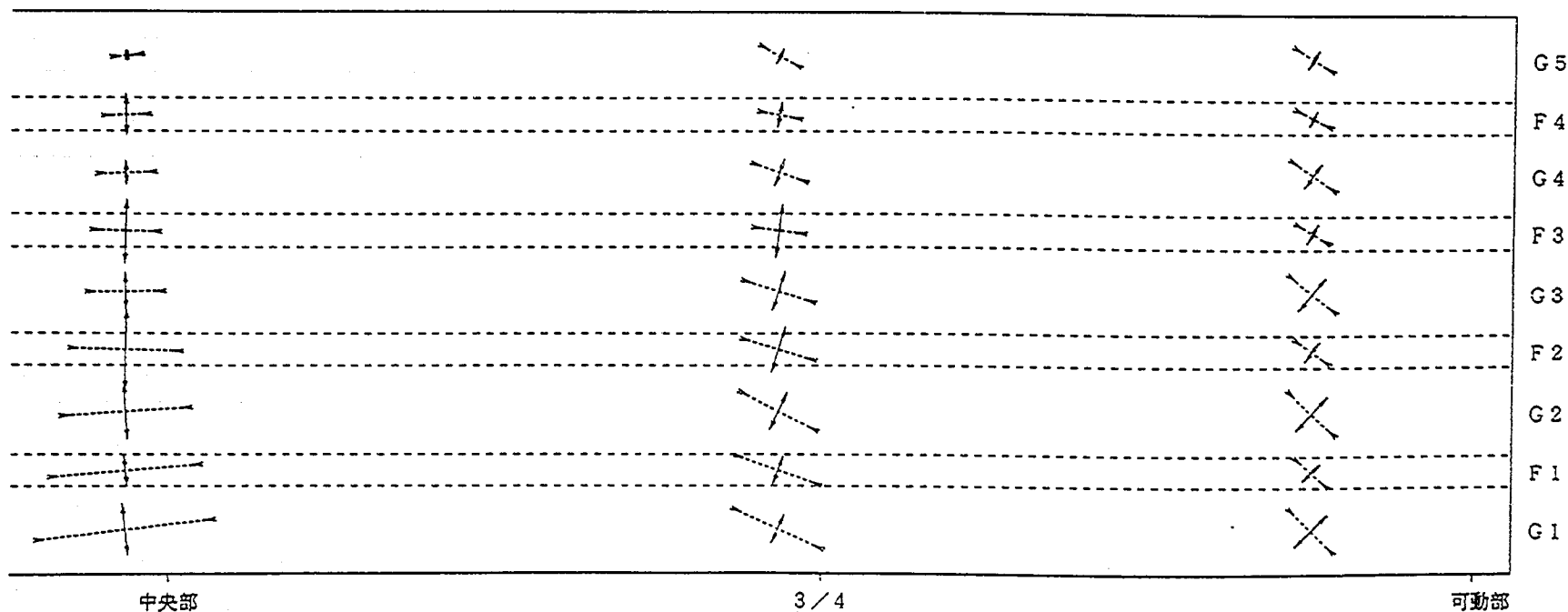
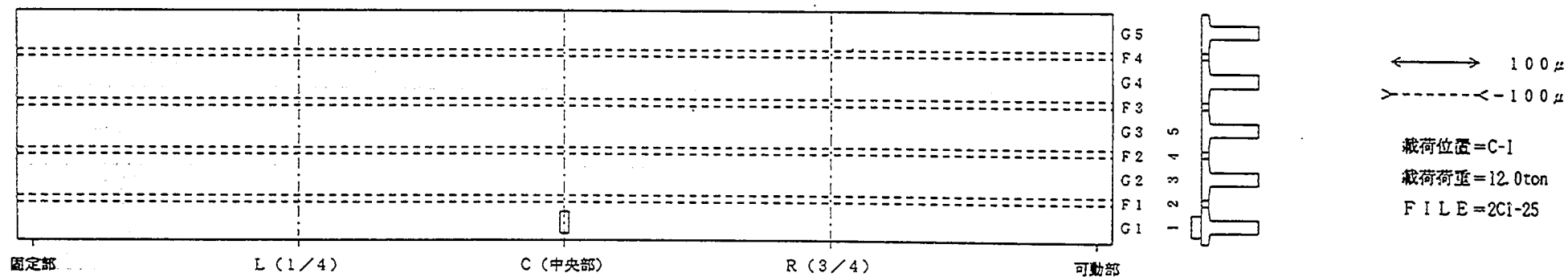
床版上面の主ひずみ分布図 (供試体 1)



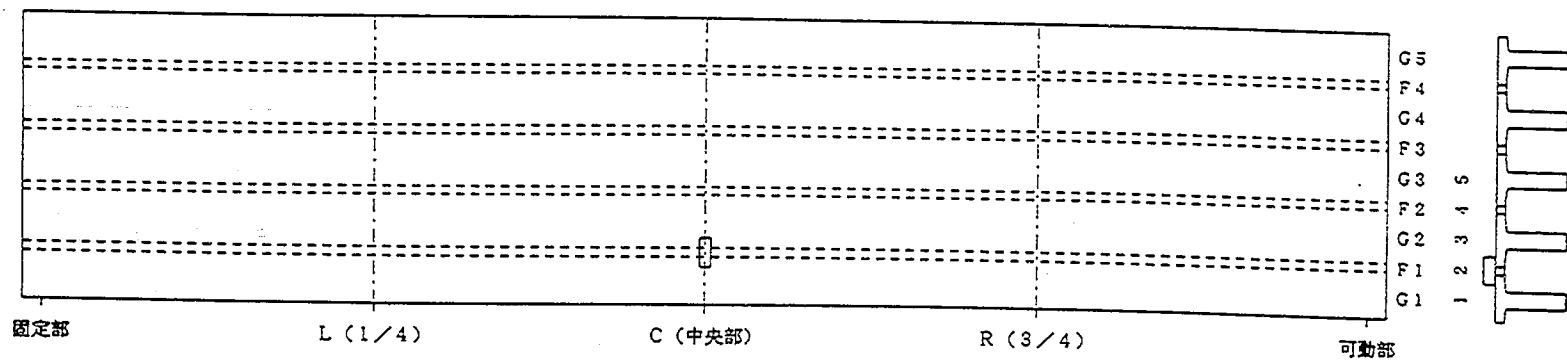
載荷位置 = R-3
 載荷荷重 = 12.0 ton
 FILE = 1R3-25



床版上面の主ひずみ分布図 (供試体 1)



床版上面の主ひずみ分布図 (供試体 2)

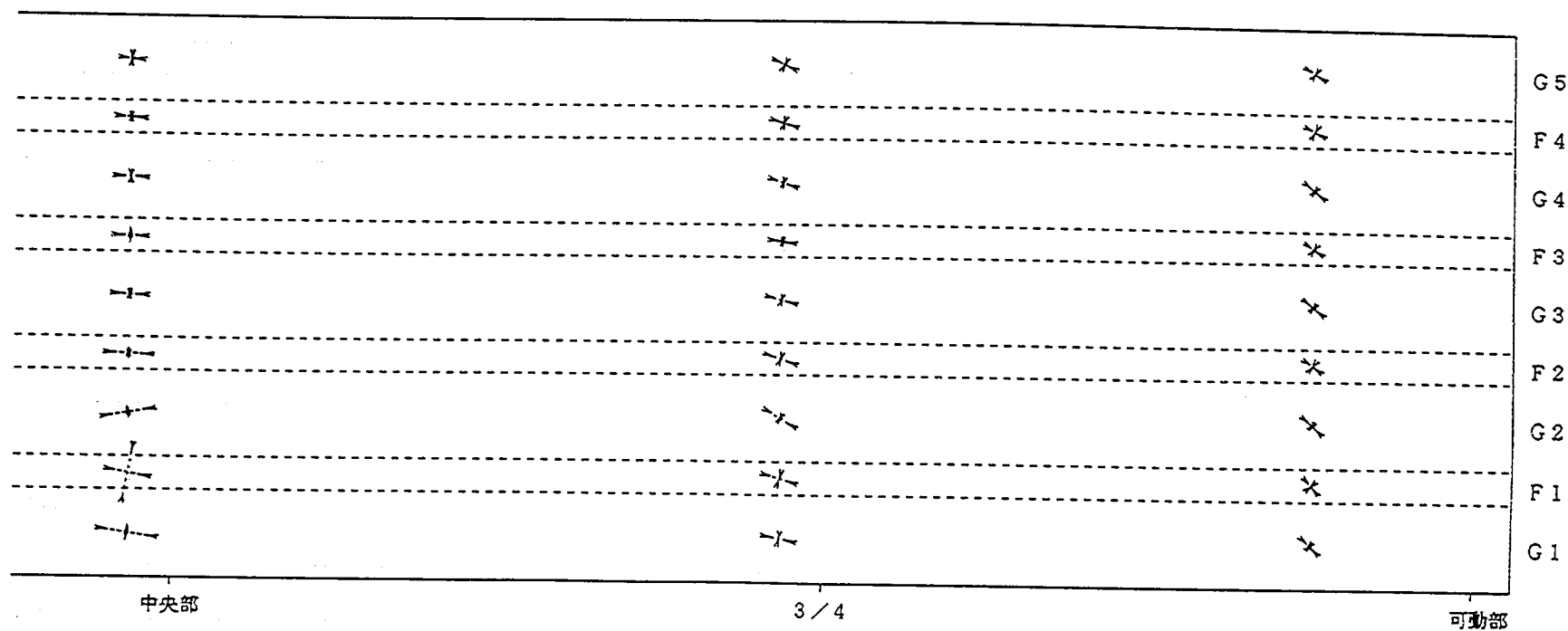


100 μ
100 μ

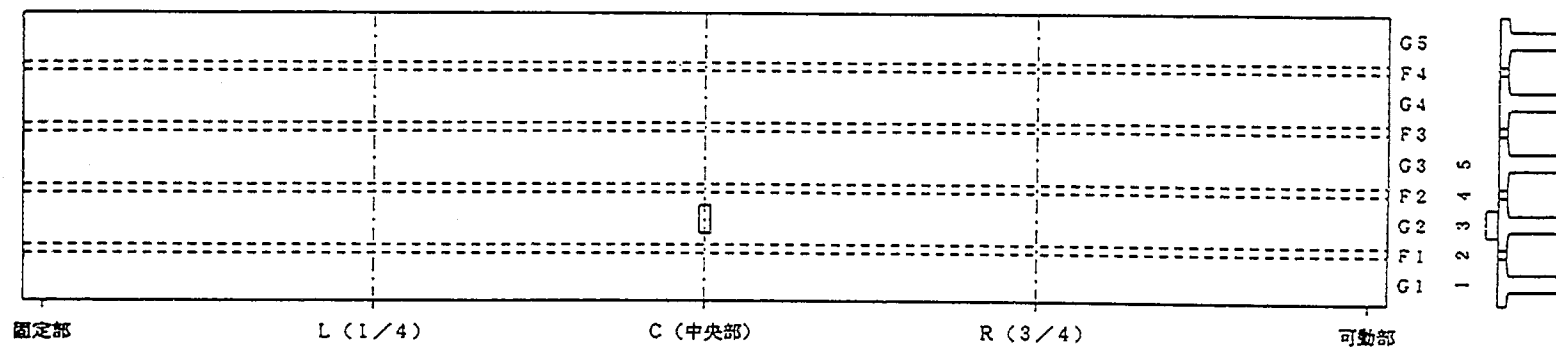
載荷位置=C-2

載荷荷重=3.8ton

FILE=2C2-24



床版上面の主ひずみ分布図 (供試体 2)

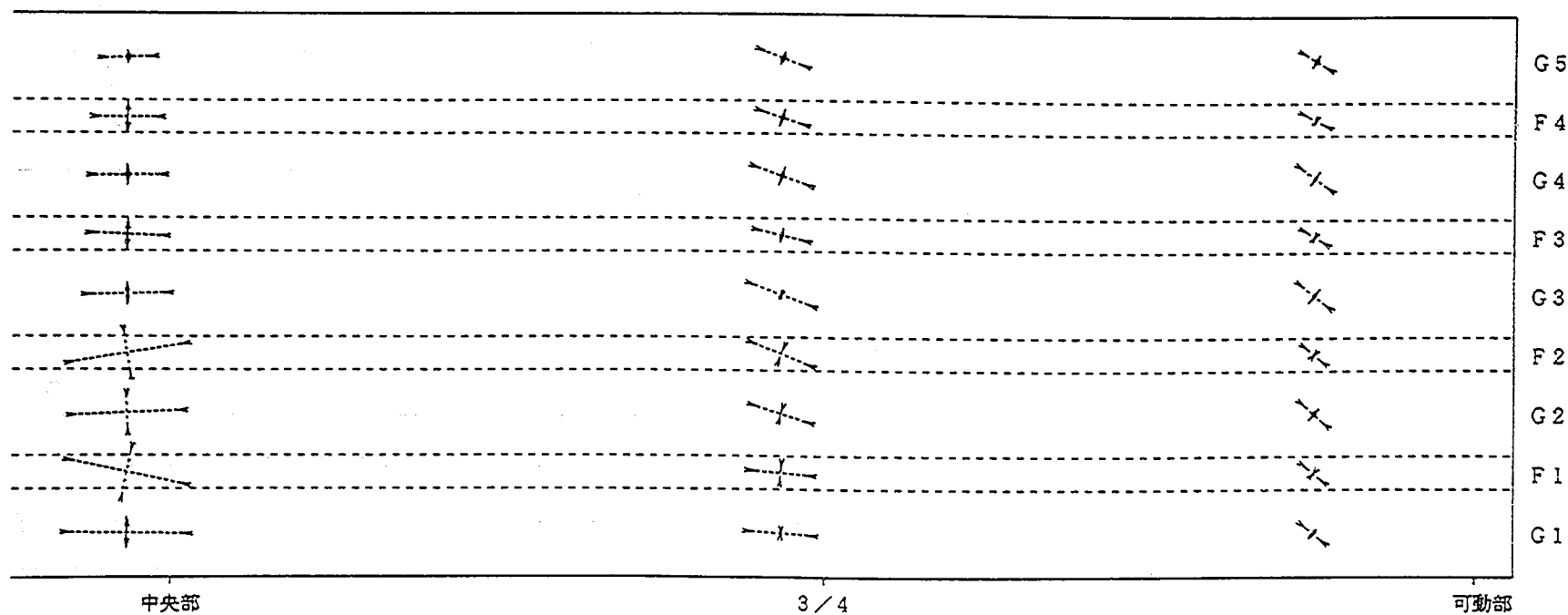


100 μ
100 μ

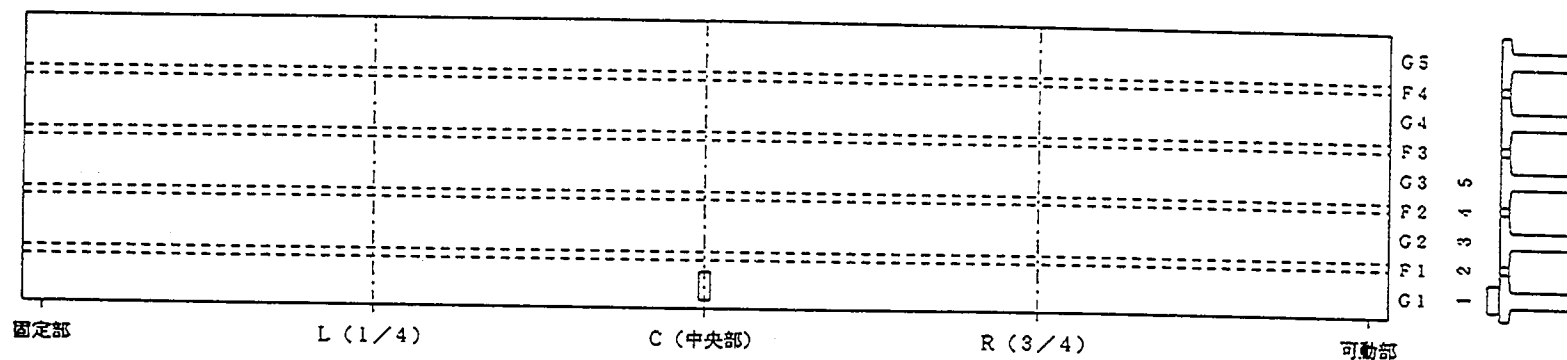
載荷位置=C-3

載荷荷重=12.0ton

FILE=2C3-25

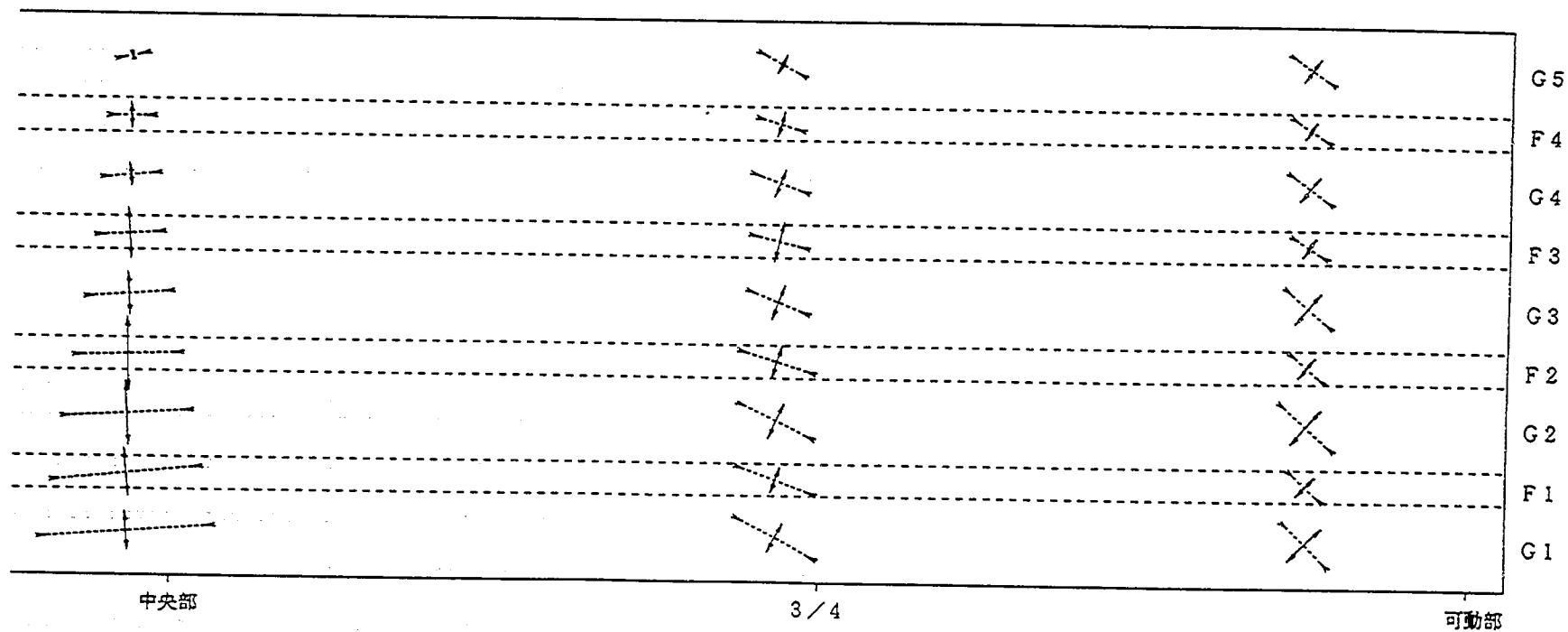


床版上面の主ひずみ分布図 (供試体 2)

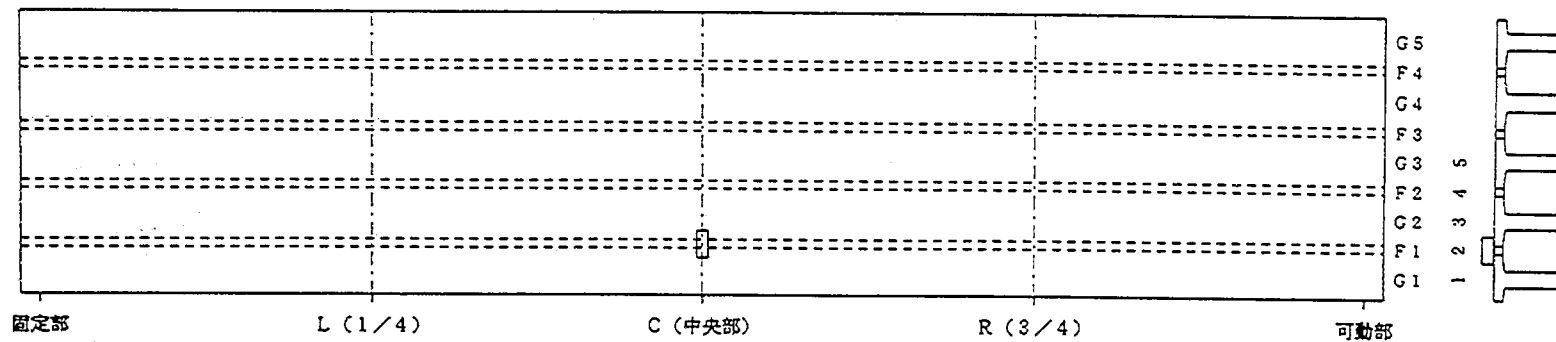


↔ 100 μ
↔ -100 μ

載荷位置=C-1
載荷荷重=12.0ton
FILE=3C1-25

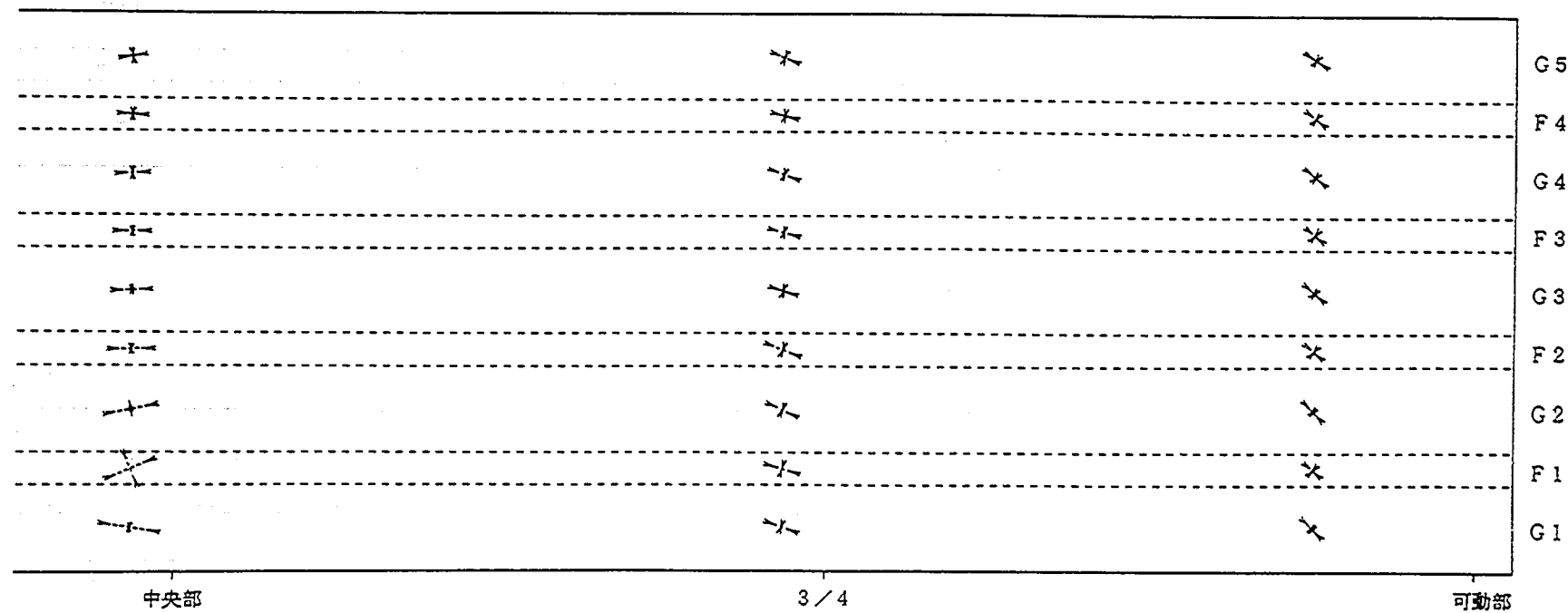


床版上面の主ひずみ分布図 (供試体 3)

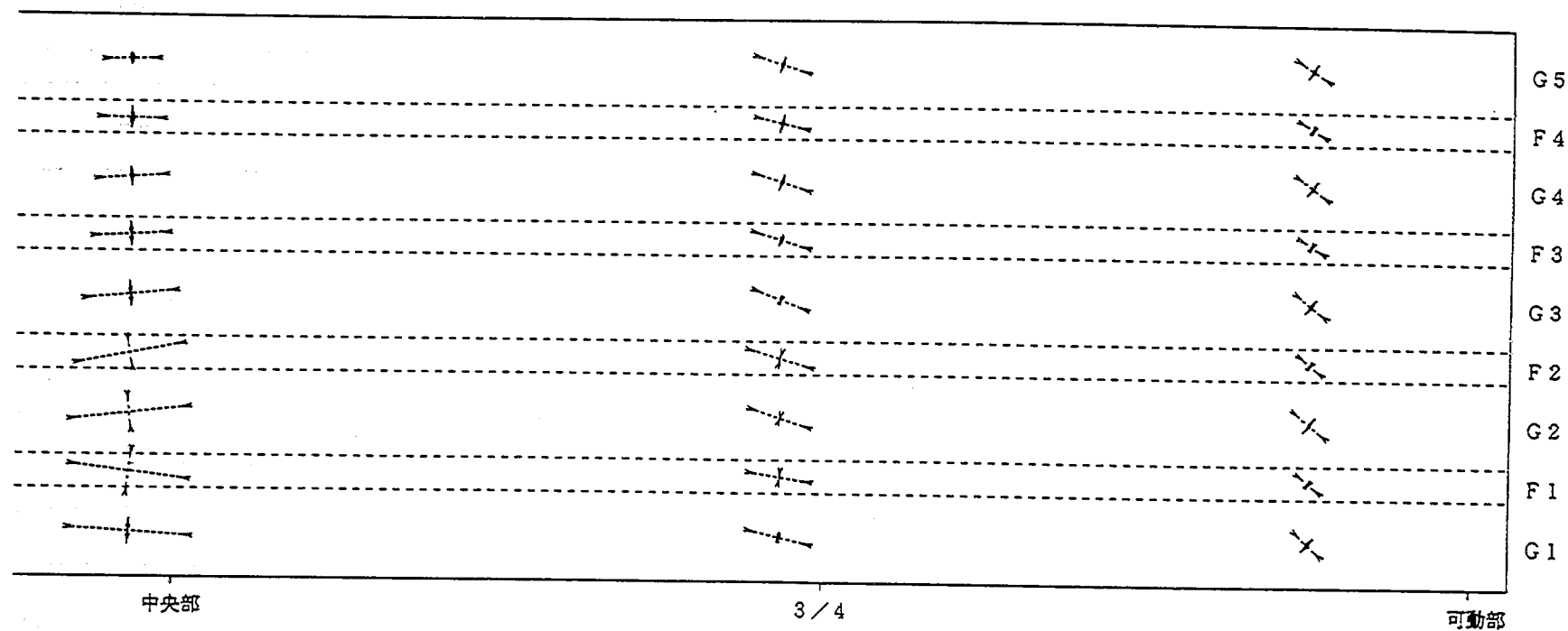
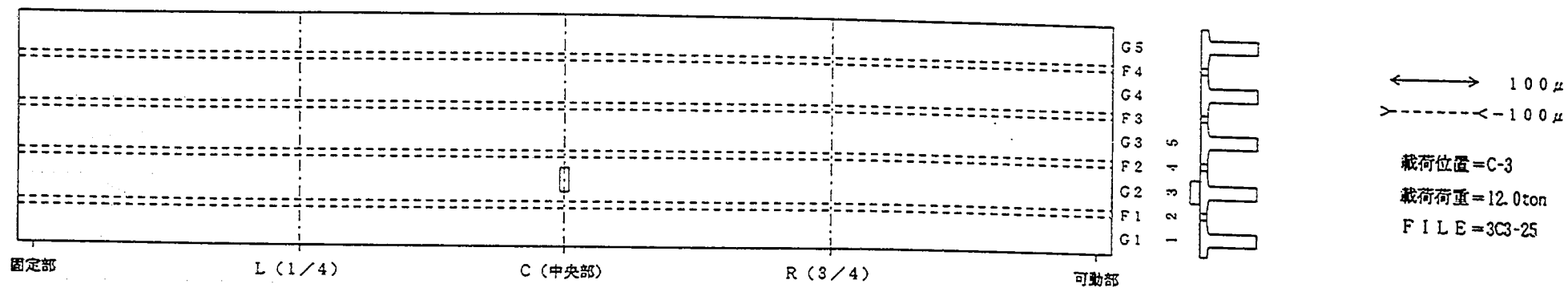


$\longleftrightarrow$ 100 μ
 $> \cdots \cdots <$ 100 μ

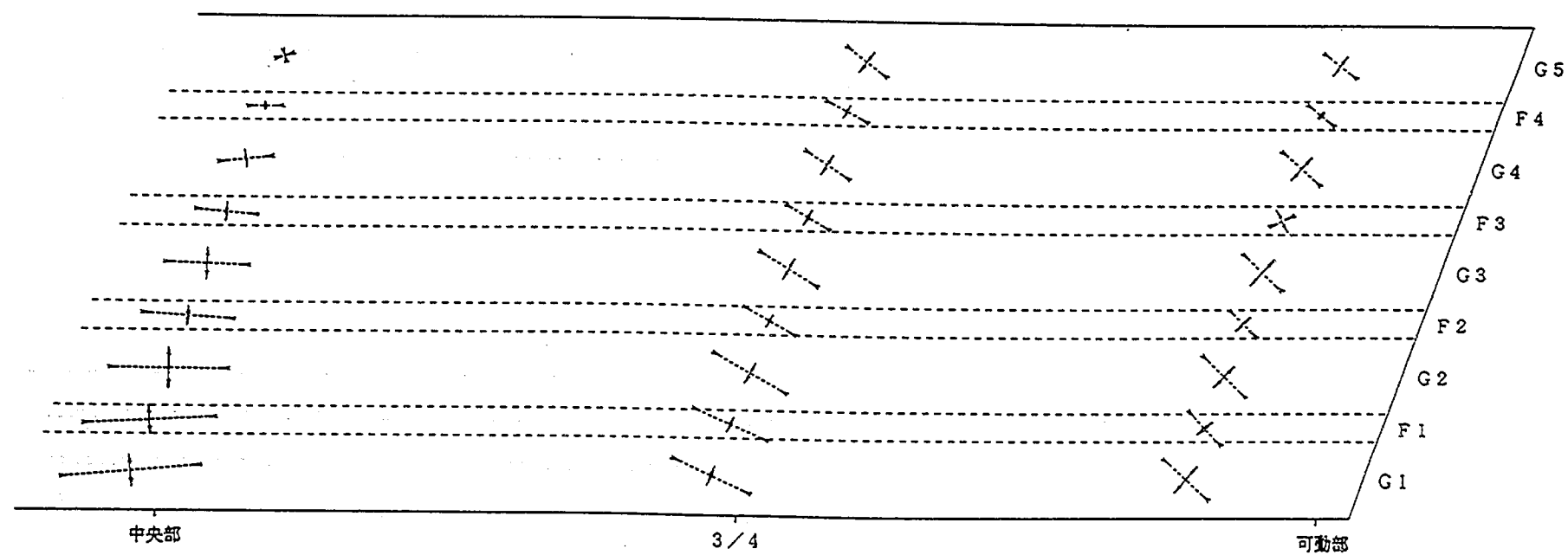
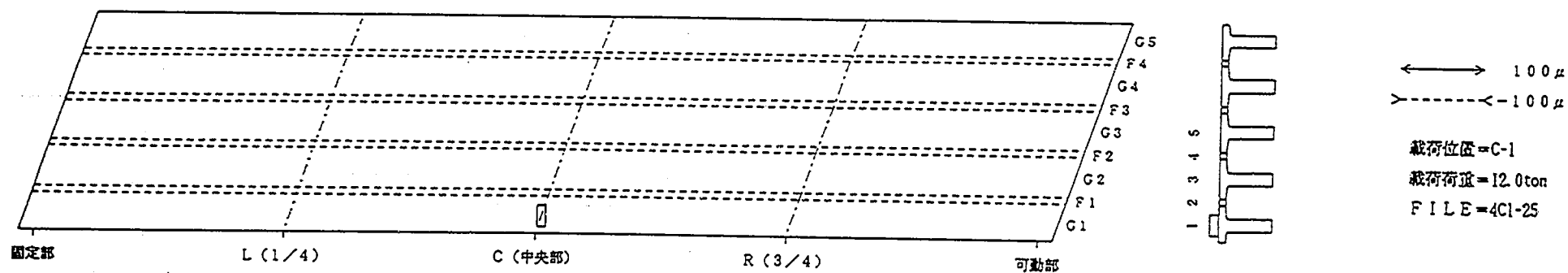
載荷位置=C-2
 載荷荷重=3.8ton
 FILE=3C2-24



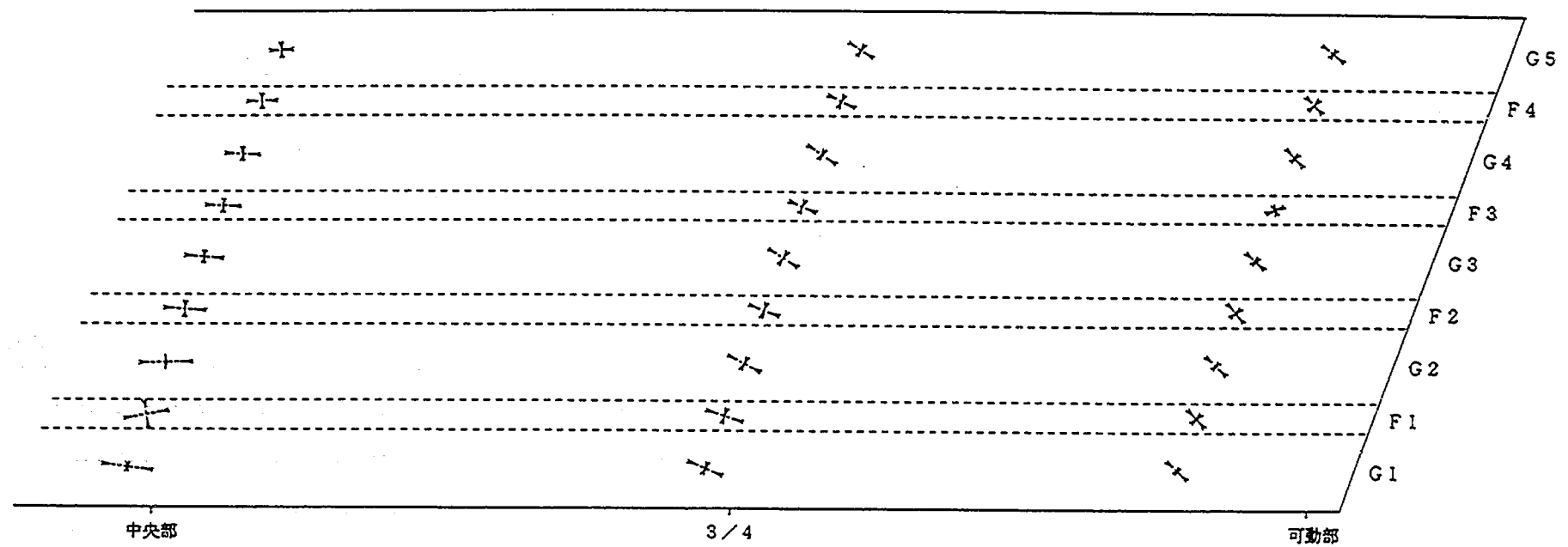
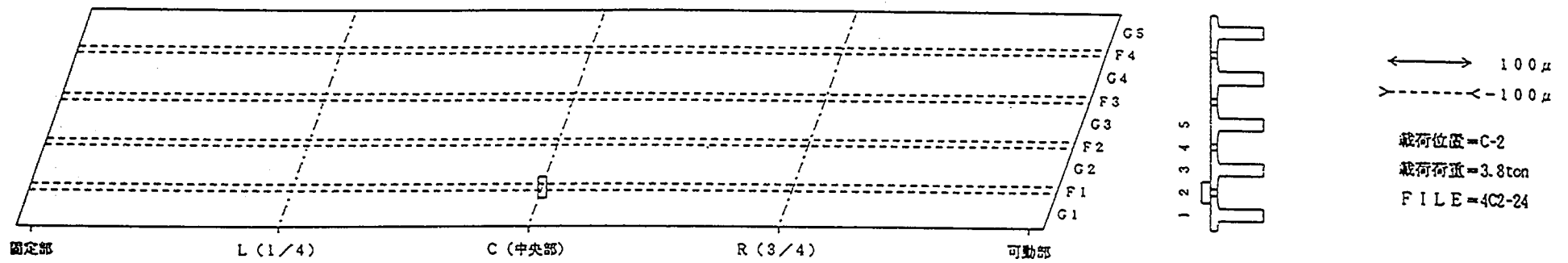
床版上面の主ひずみ分布図 (供試体 3)



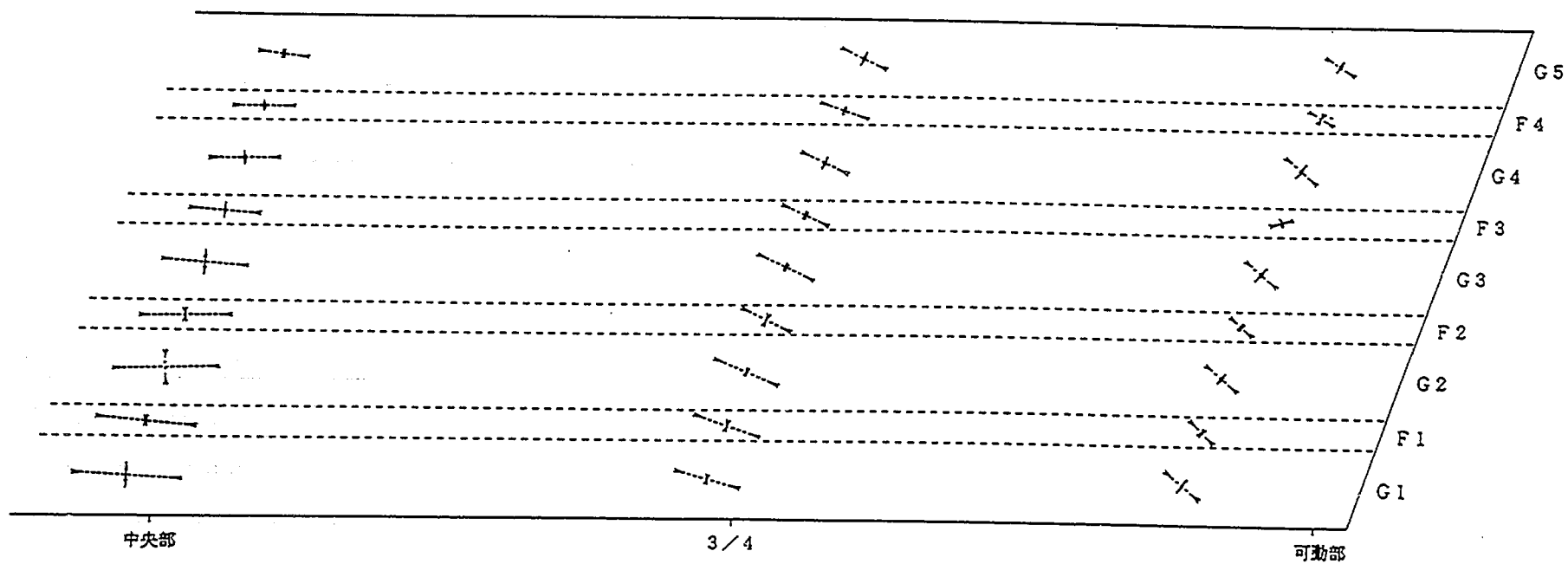
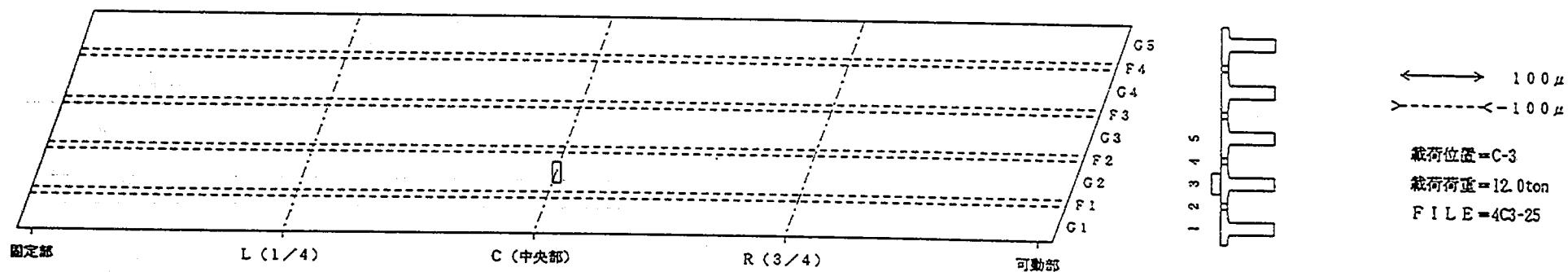
床版上面の主ひずみ分布図 (供試体 3)



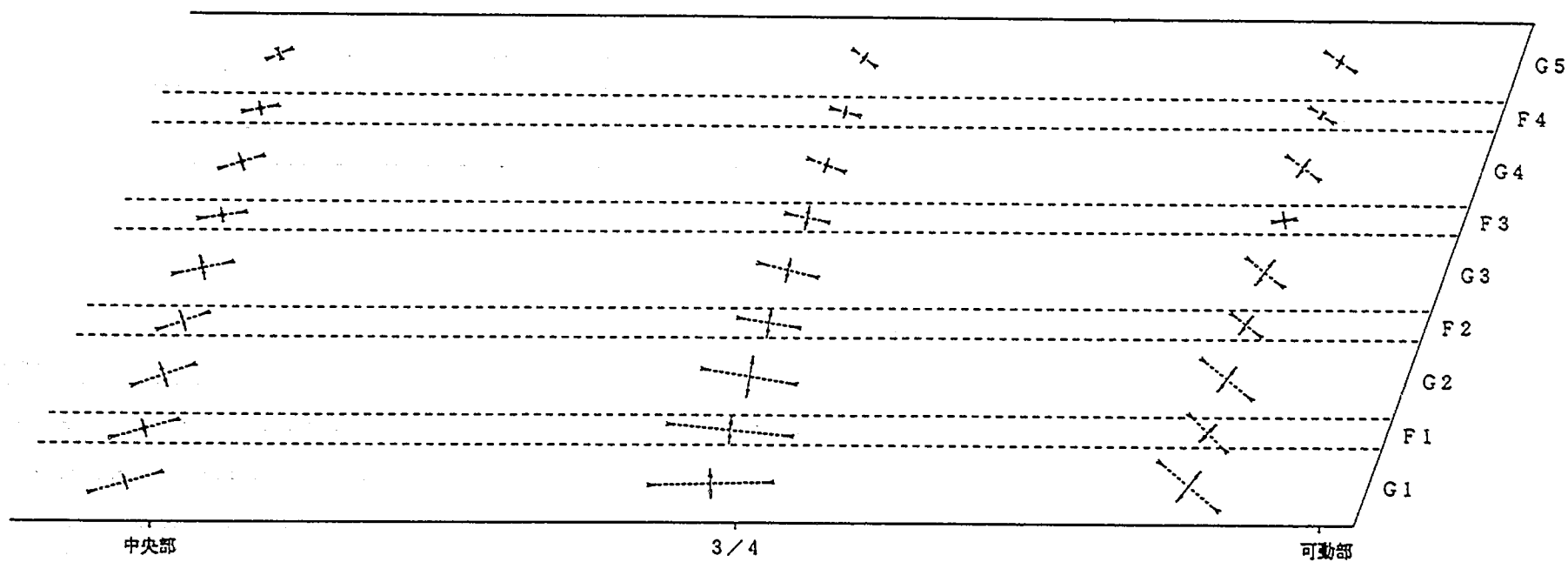
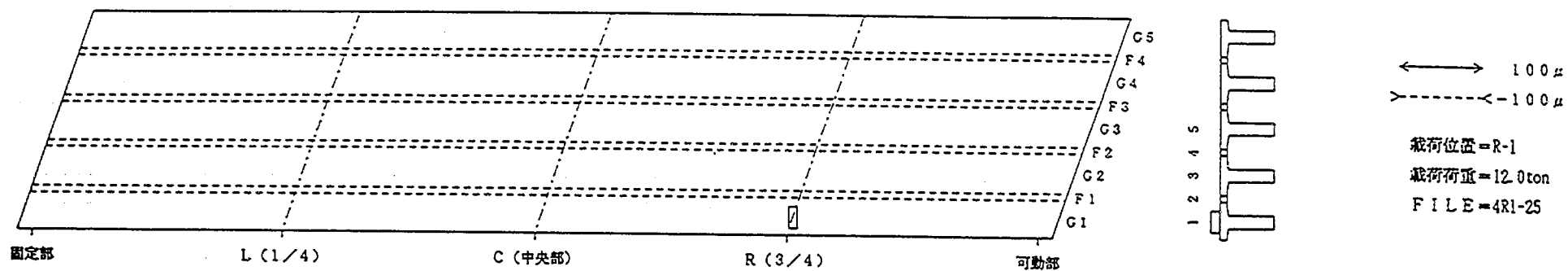
床版上面の主ひずみ分布図 (供試体 4)



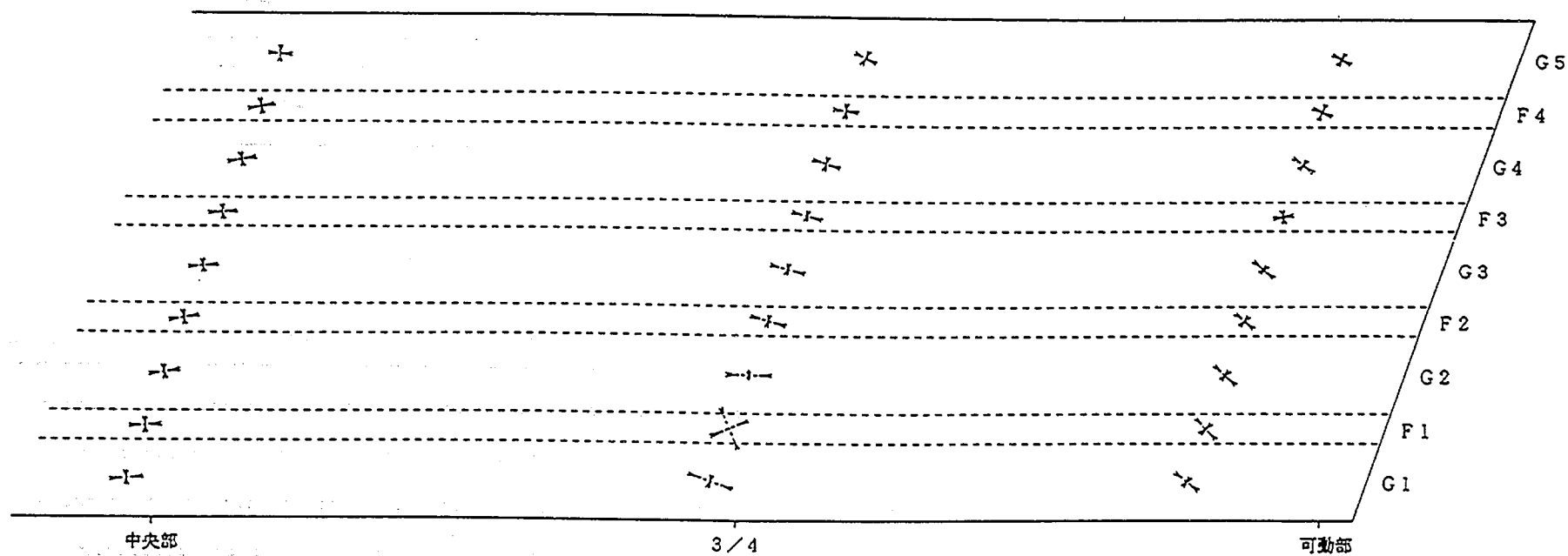
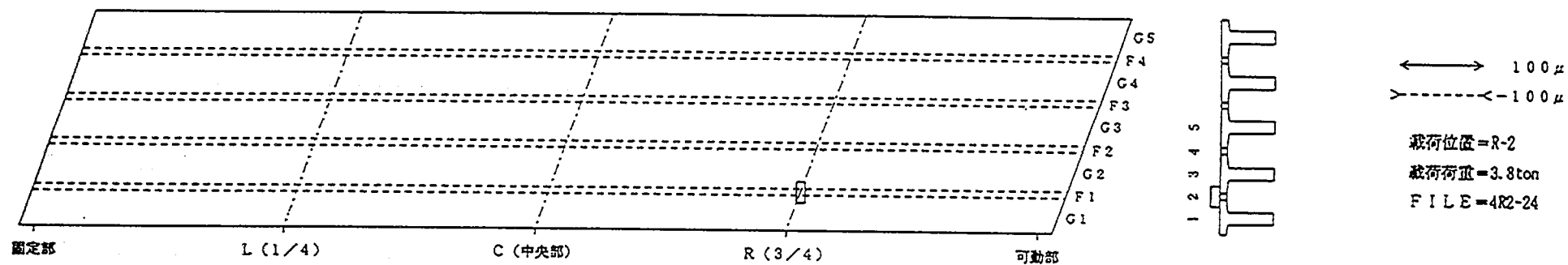
床版上面の主ひずみ分布図 (供試体 4)



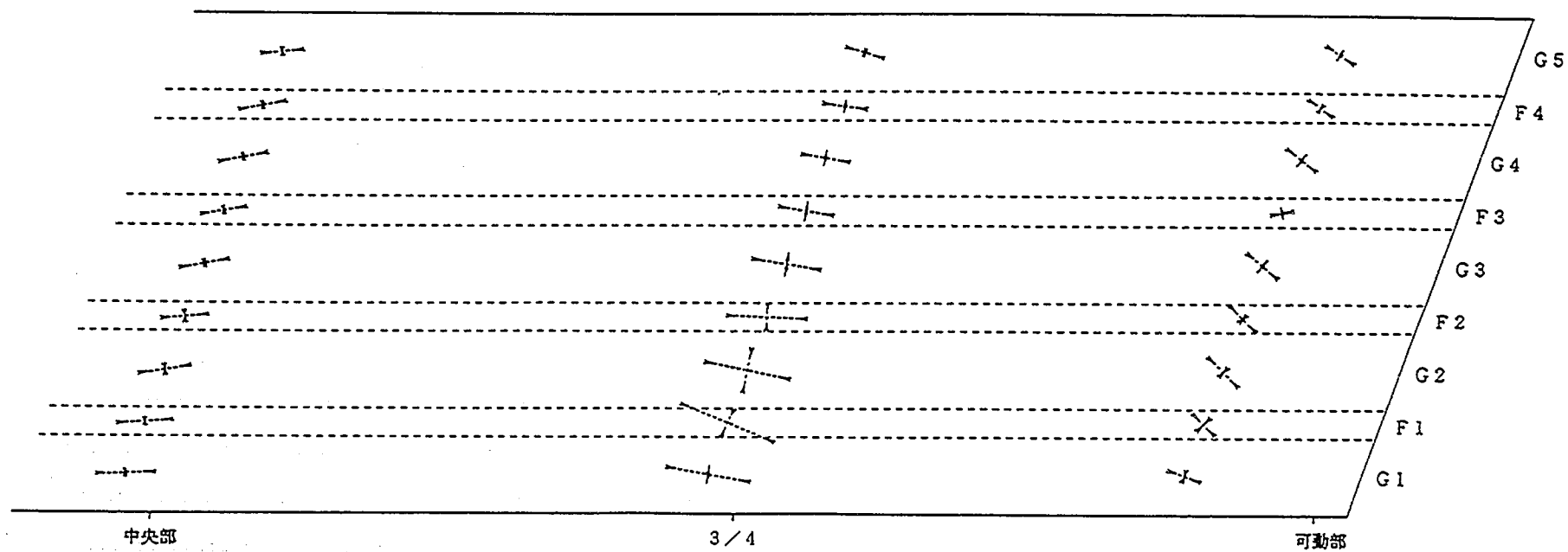
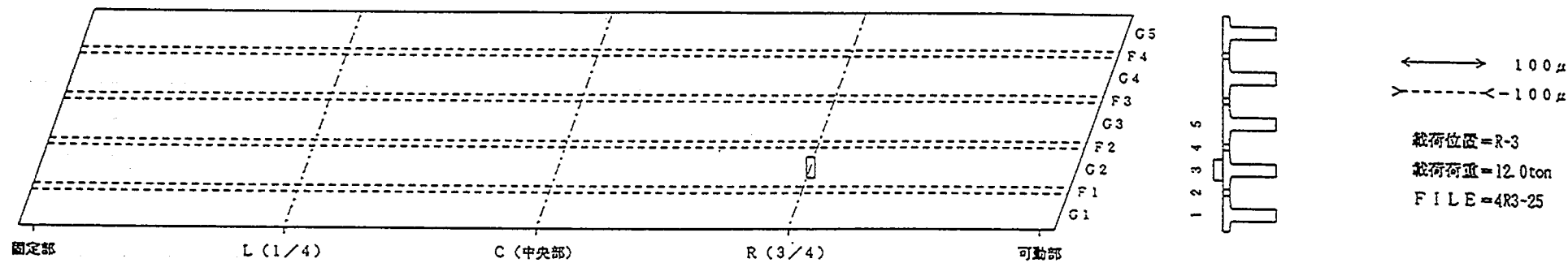
床版上面の主ひずみ分布図 (供試体 4)



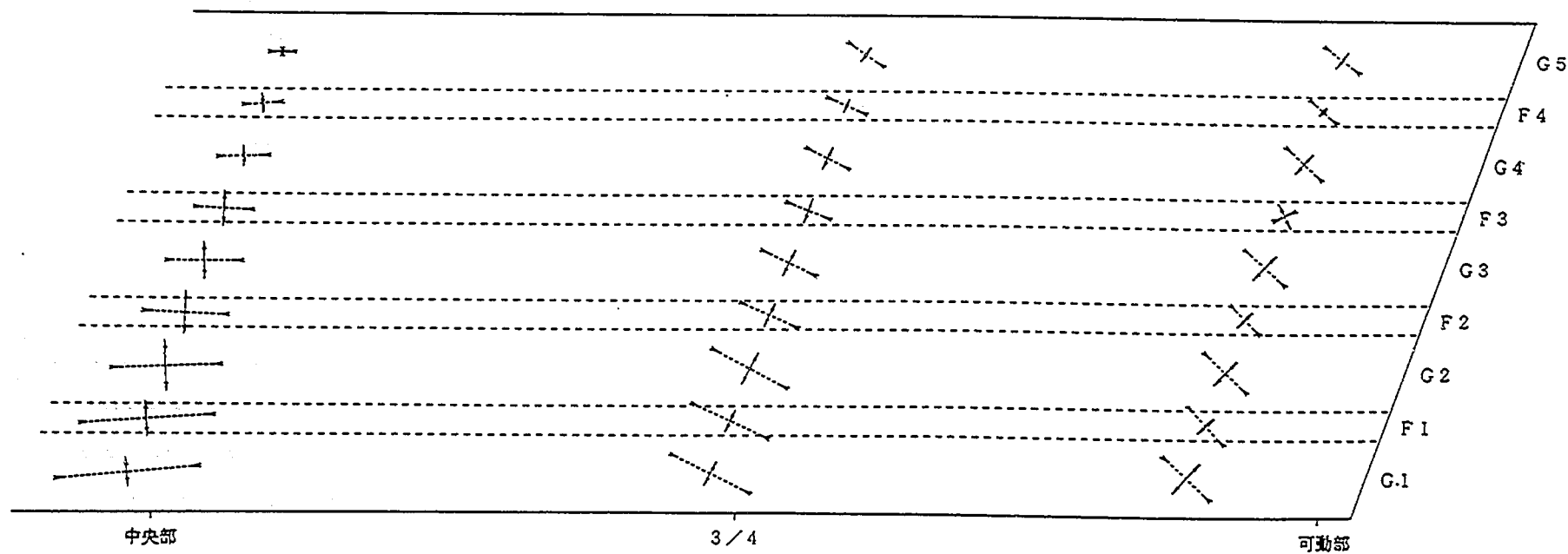
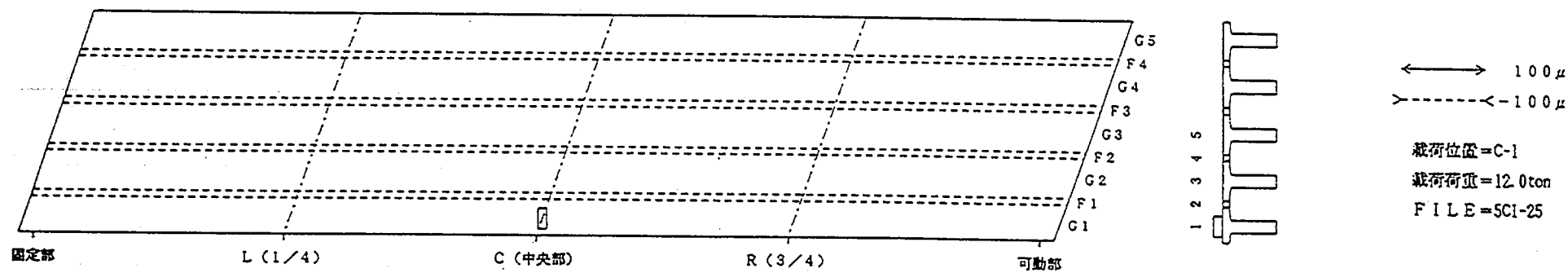
床版上面の主ひずみ分布図 (供試体 4)



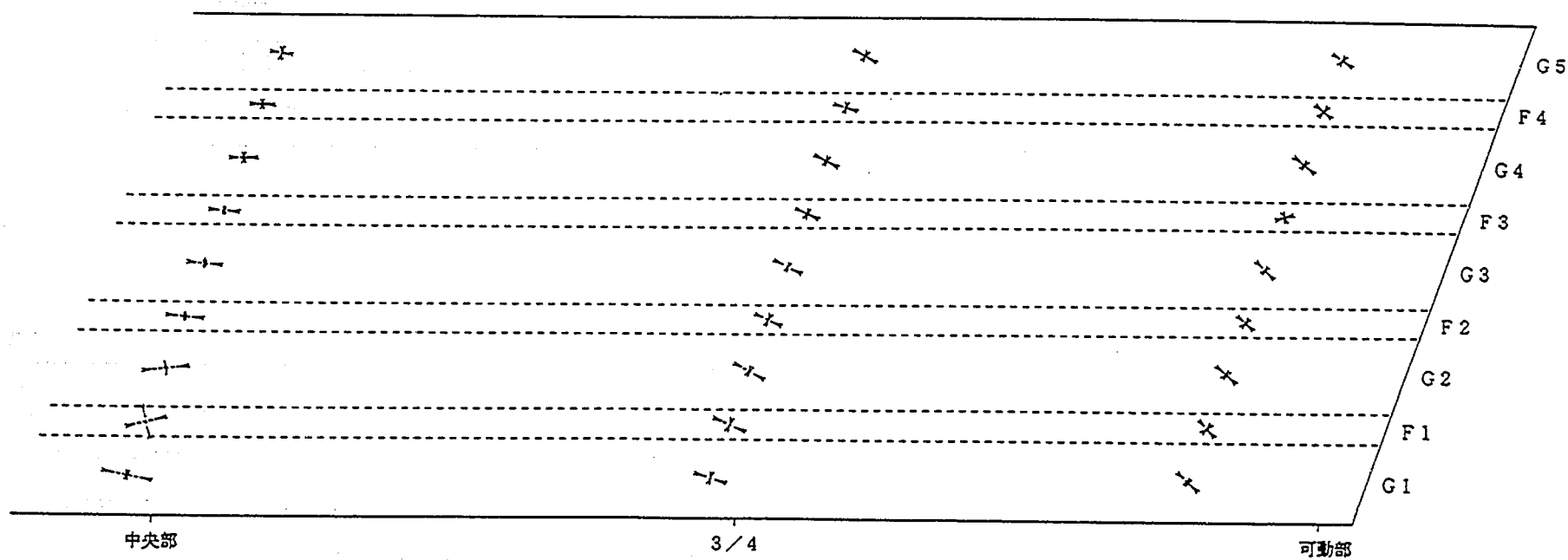
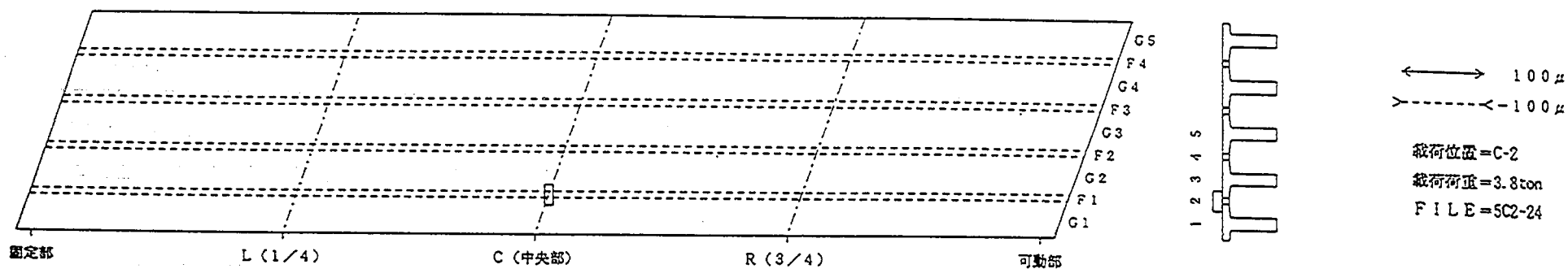
床版上面の主ひずみ分布図 (供試体 4)



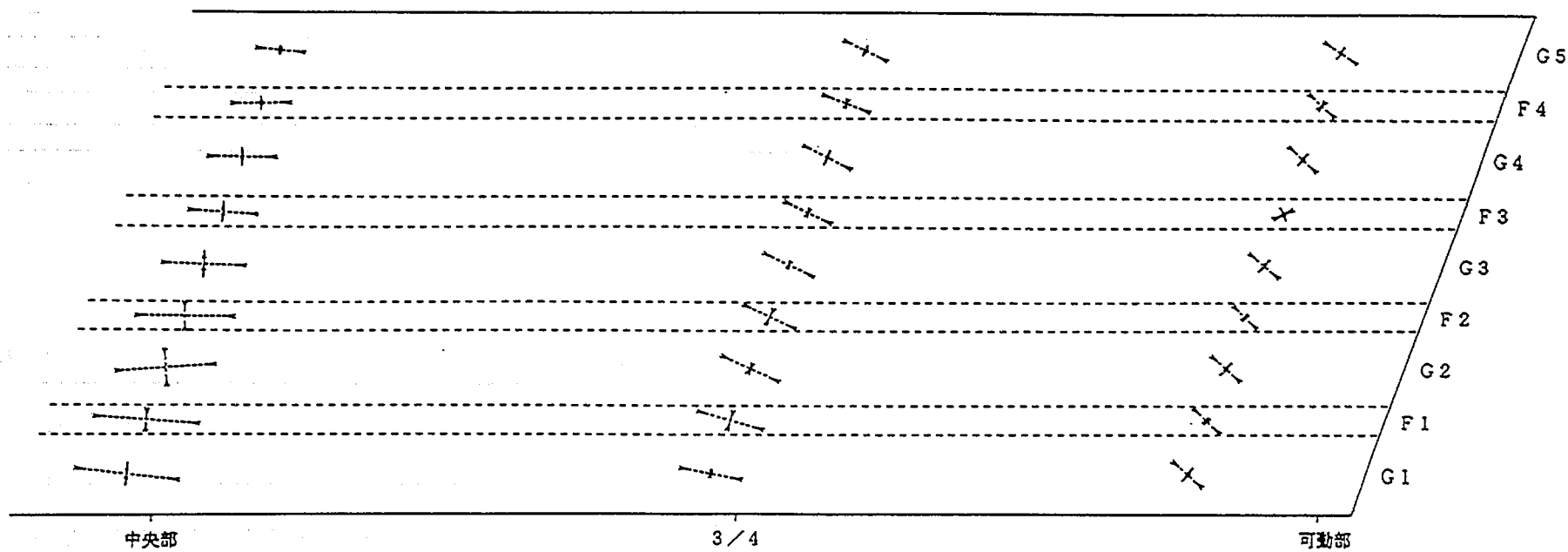
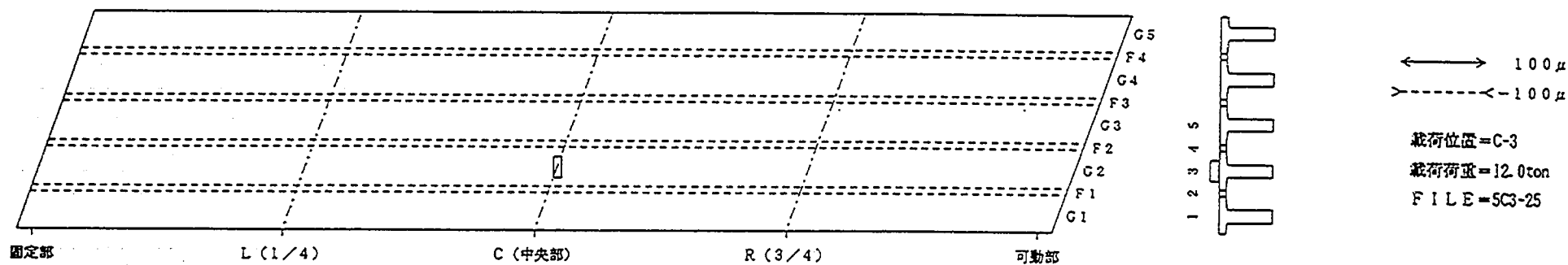
床版上面の主ひずみ分布図 (供試体 4)



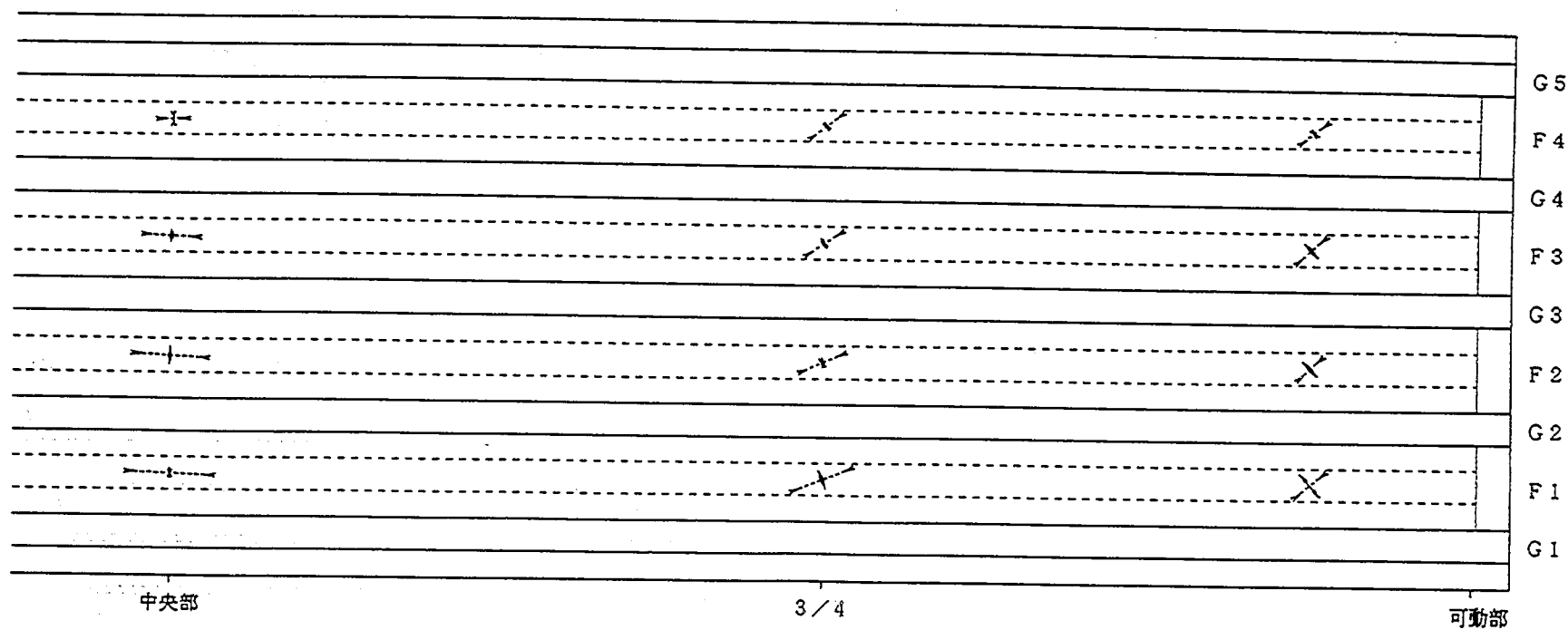
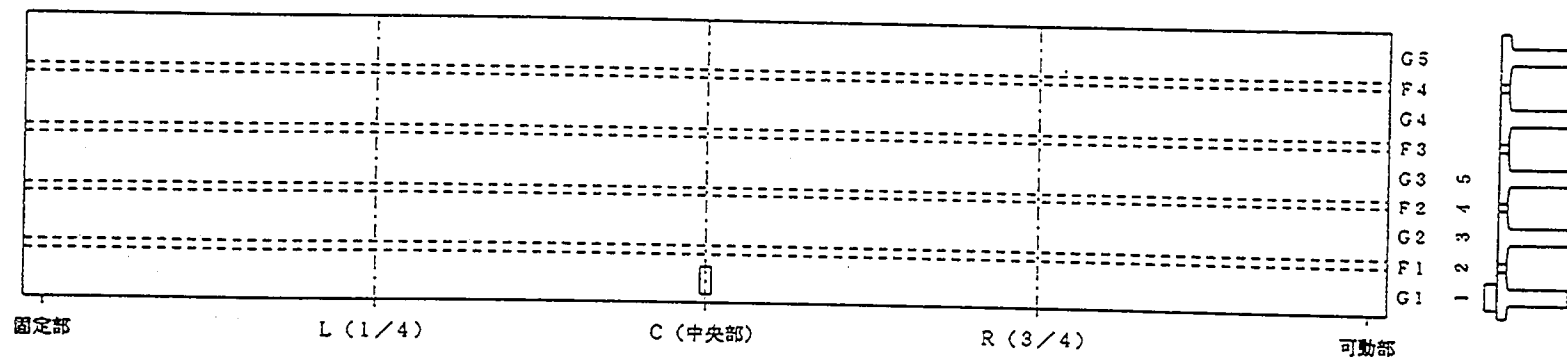
床版上面の主ひずみ分布図 (供試体 5)



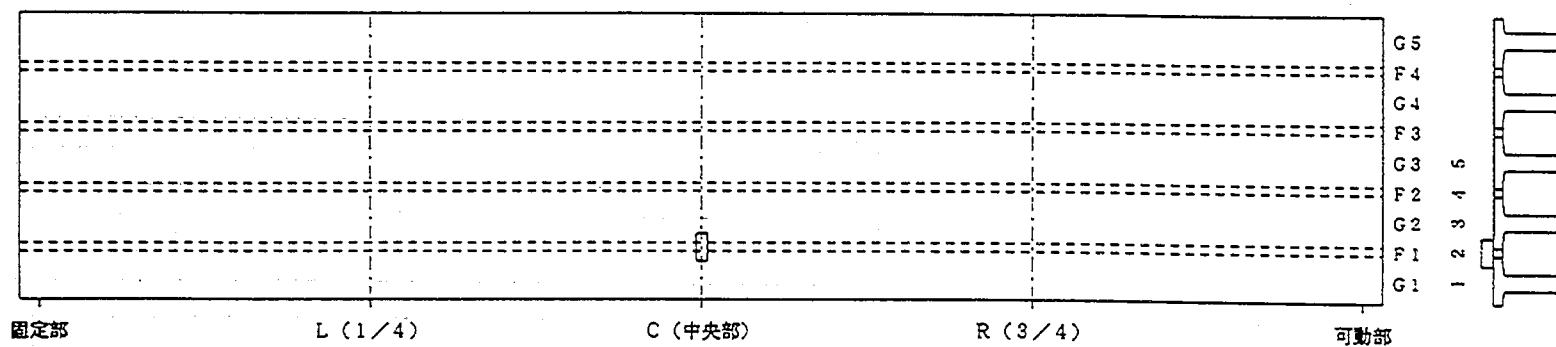
床版上面の主ひずみ分布図 (供試体 5)



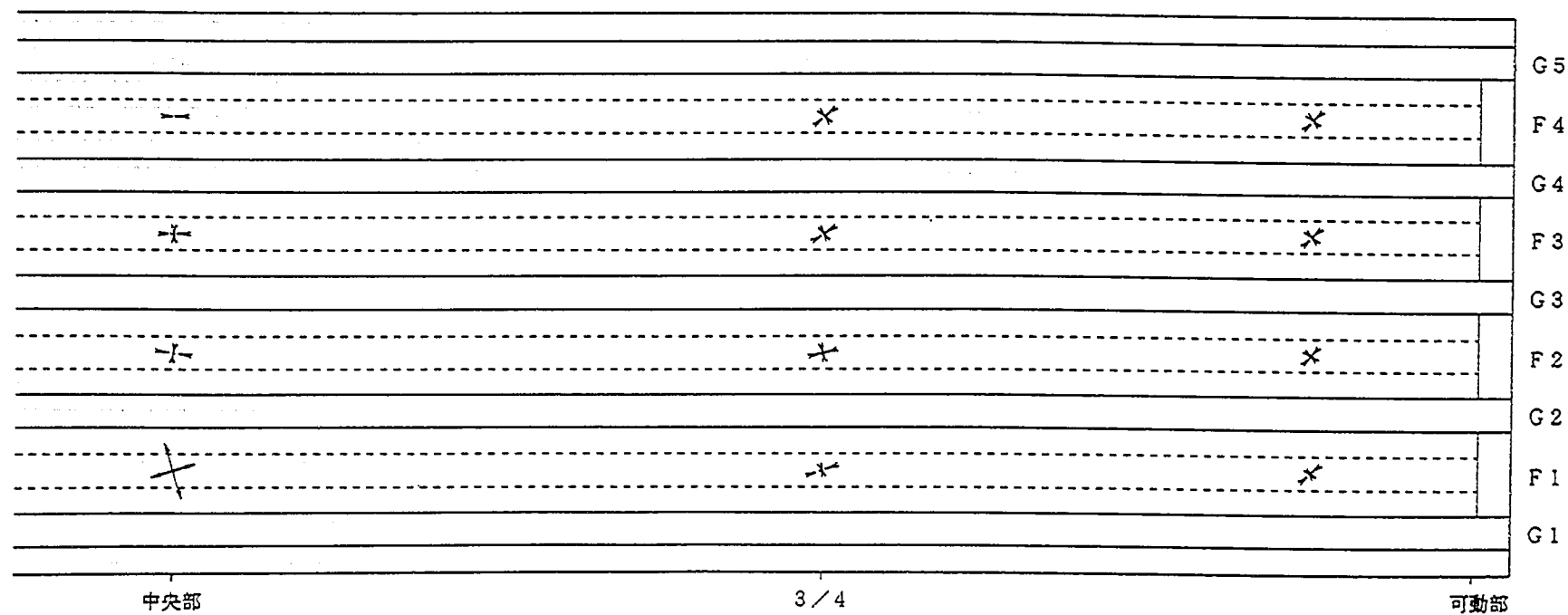
床版上面の主ひずみ分布図 (供試体 5)



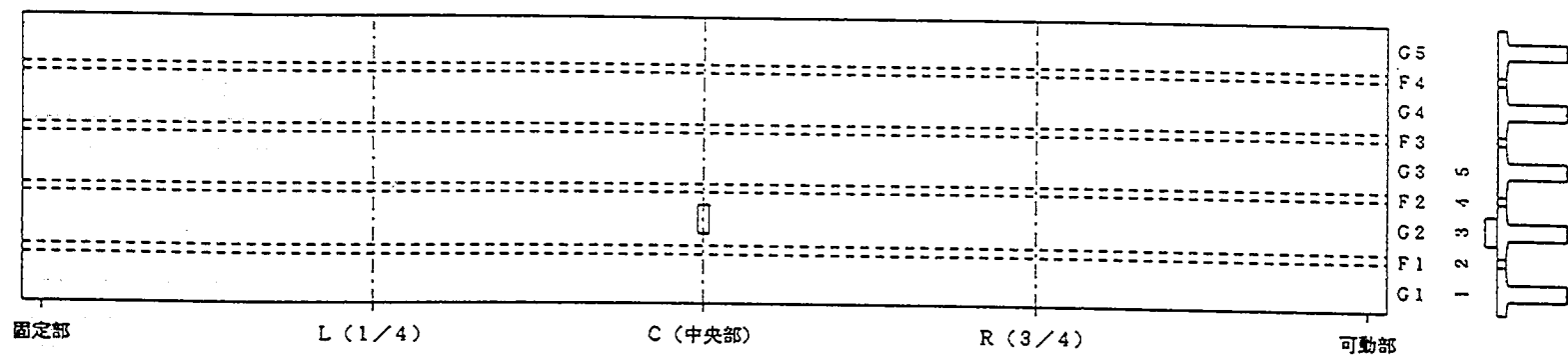
床版下面の主ひずみ分布図 (供試体 1)



載荷位置=C-2
 載荷荷重=3.8ton
 FILE=1C2-24

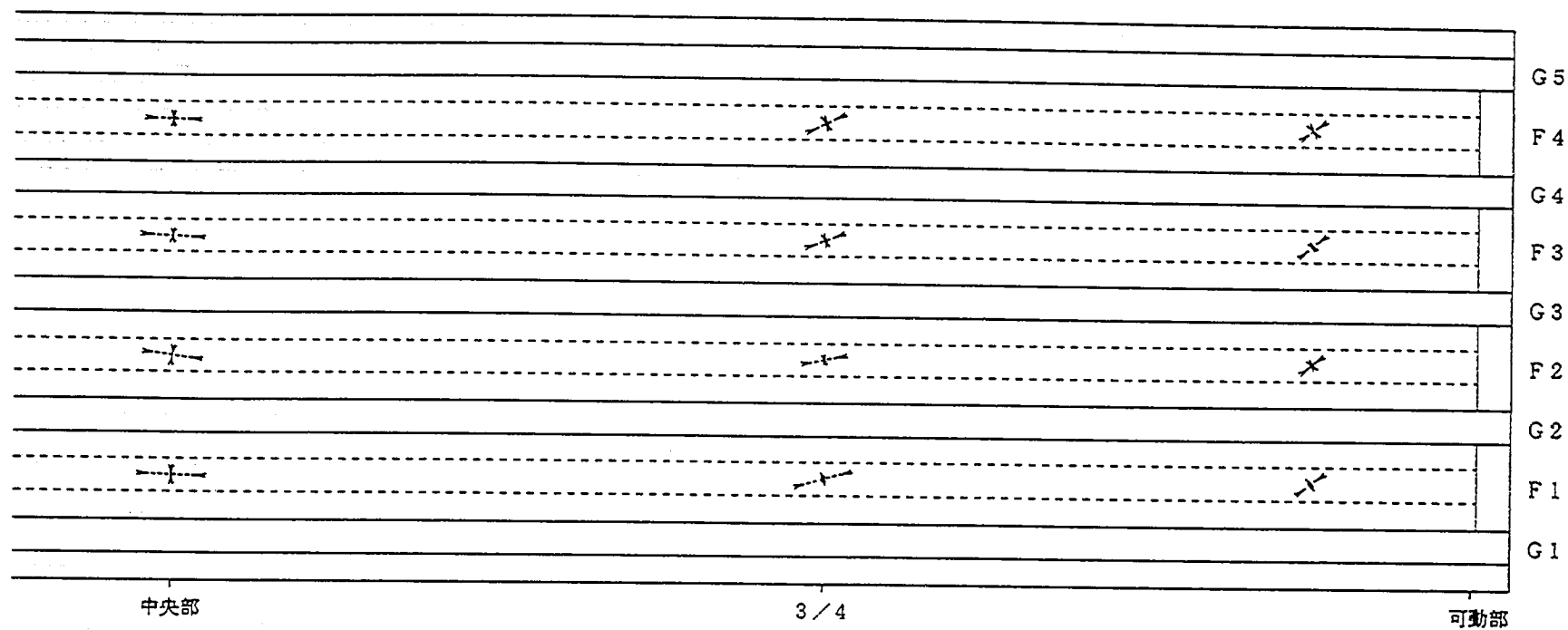


床版下面の主ひずみ分布図 (供試体 1)

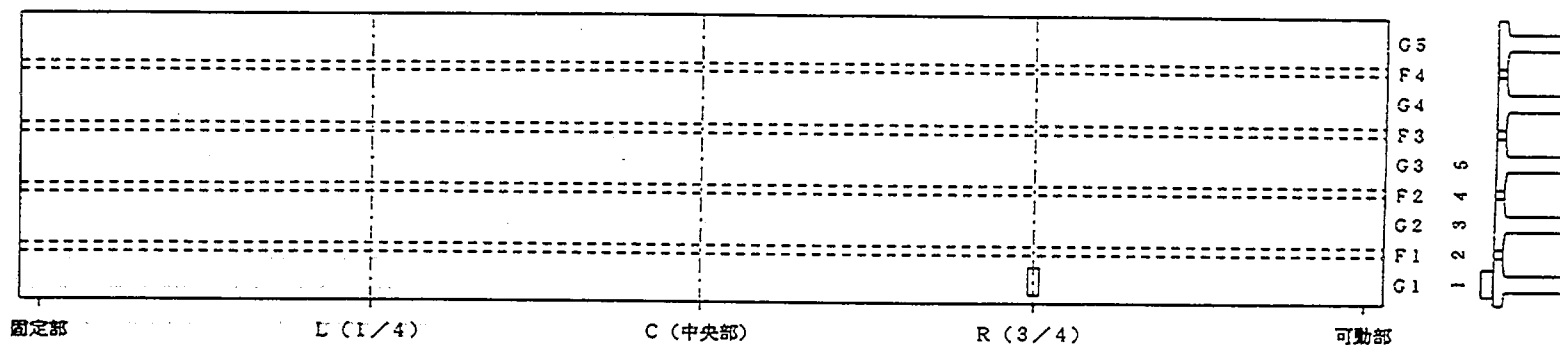


100 μ
100 μ

載荷位置=C-3
載荷荷重=12.0ton
FILE=IC3-25

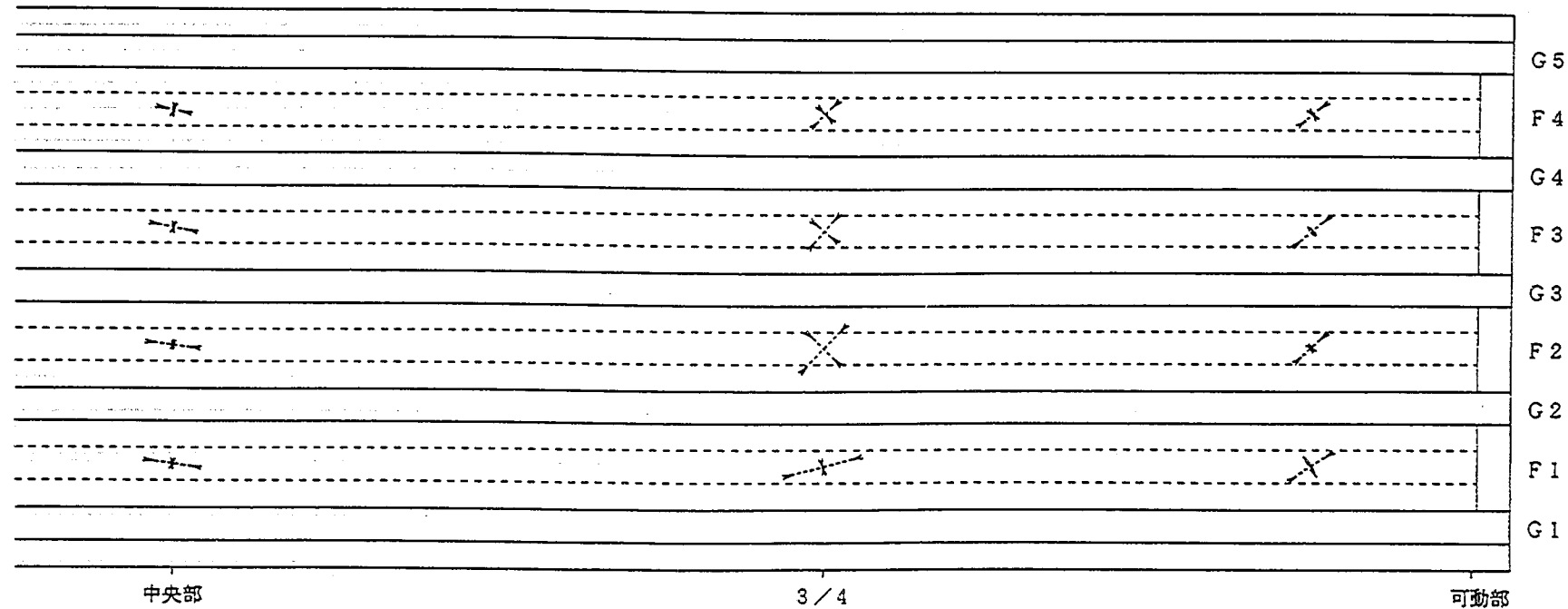


床版下面の主ひずみ分布図 (供試体 1)

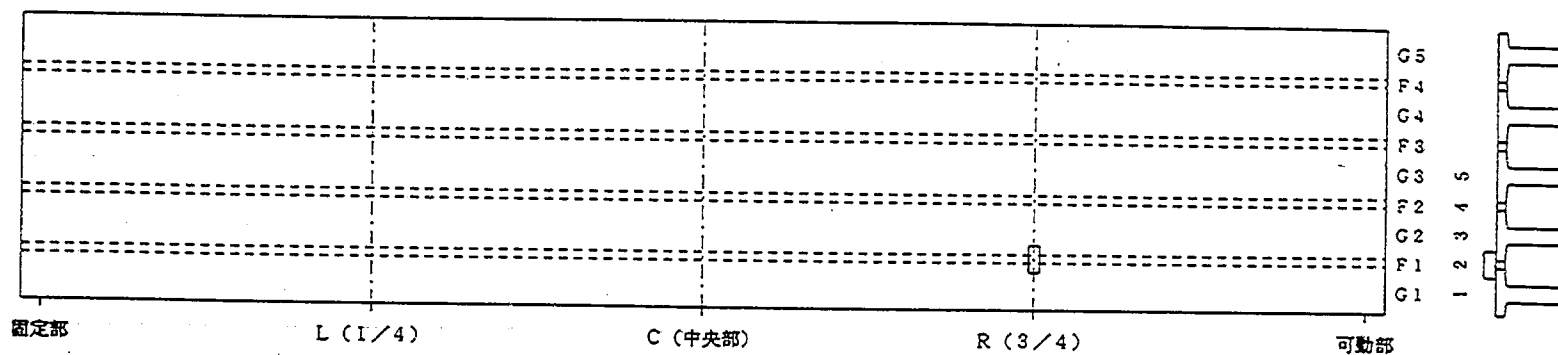


← 100 μ
 >-----< 100 μ

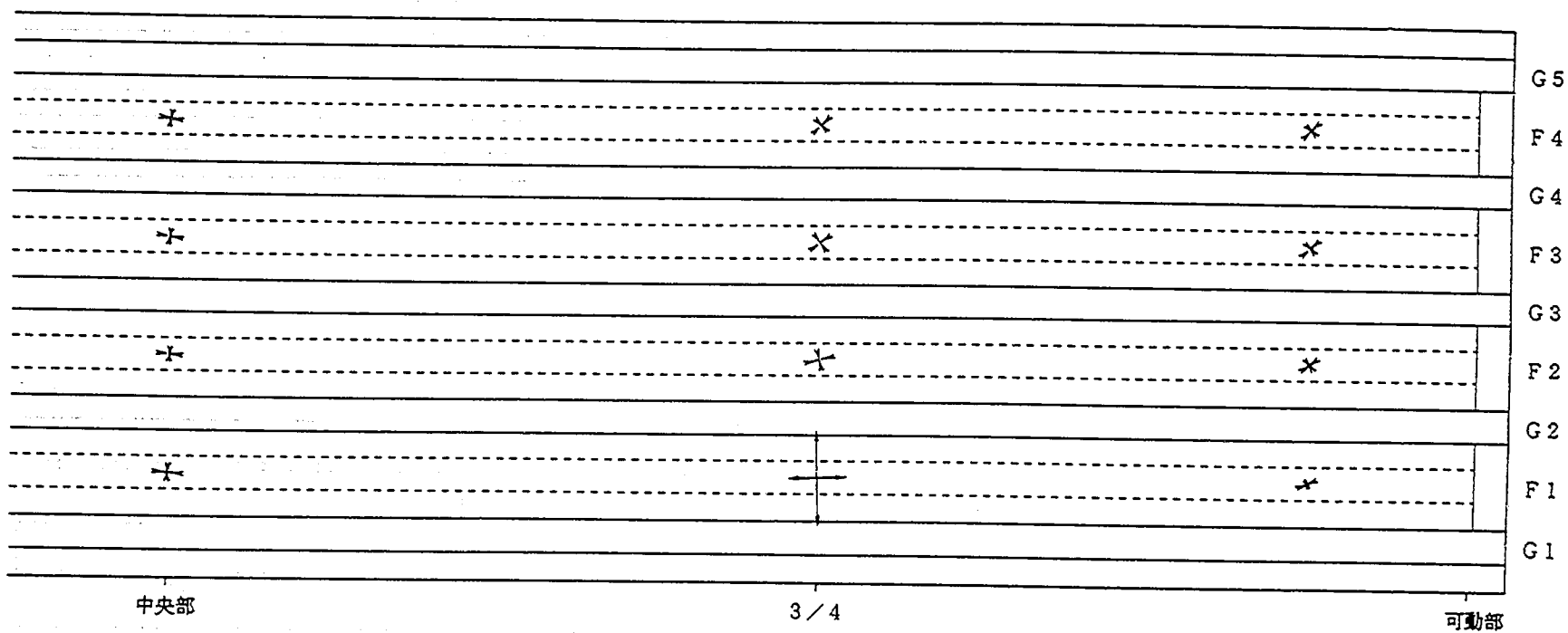
载荷位置 = R-1
 载荷荷重 = 12.0 ton
 FILE = 1R1-25



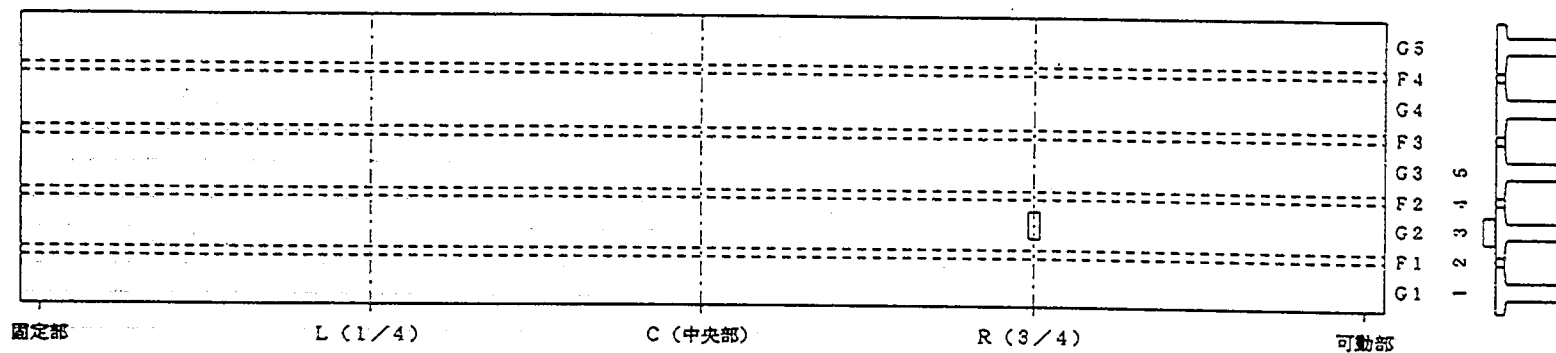
床版下面の主ひずみ分布図 (供試体 1)



載荷位置=R-2
 載荷荷重=3.8ton
 FILE=IR2-24

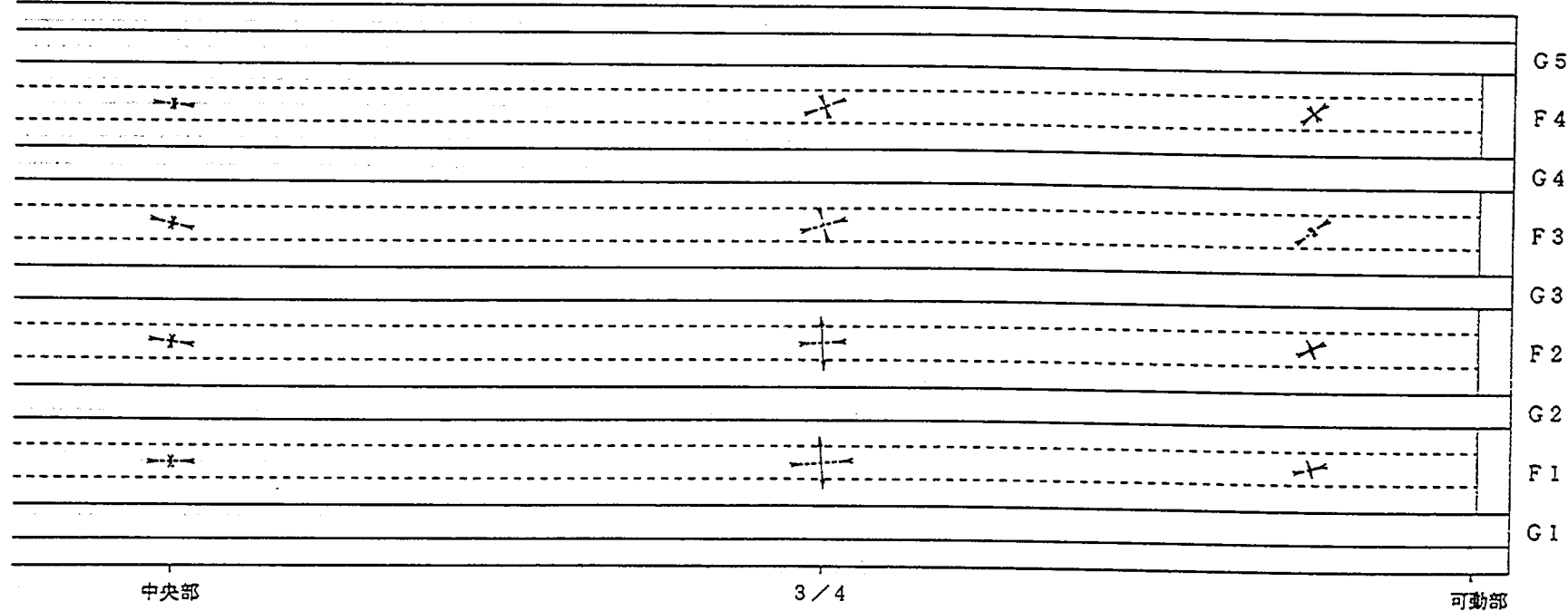


床版下面の主ひずみ分布図 (供試体 1)

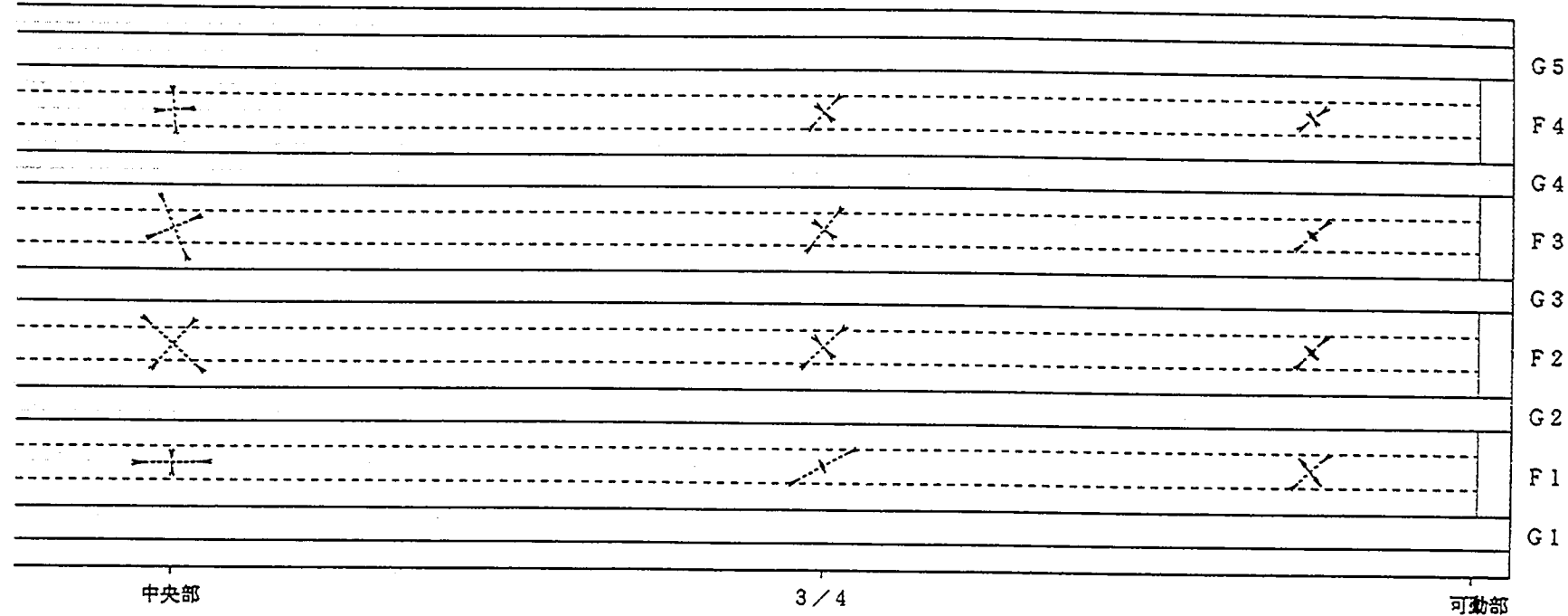
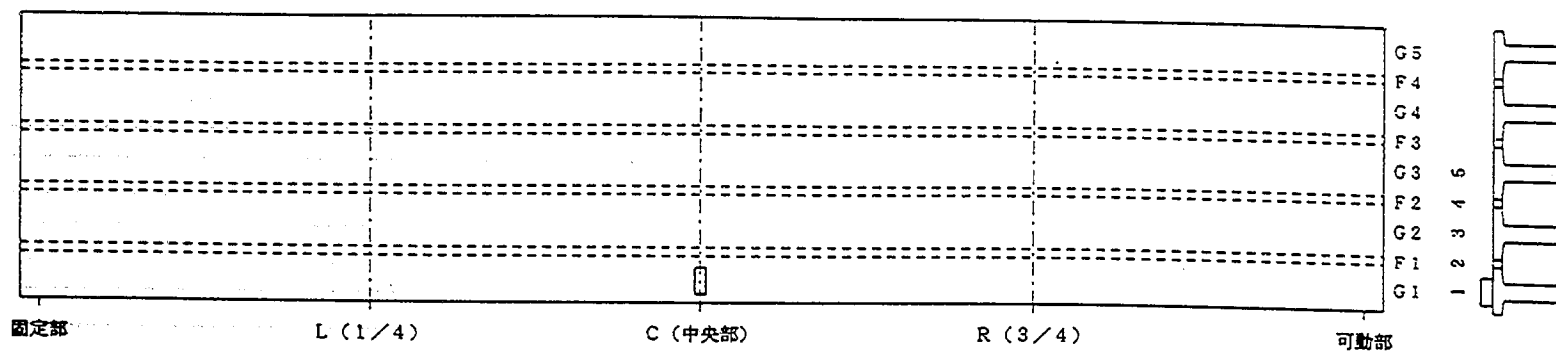


← 100 μ
 >-----< 100 μ

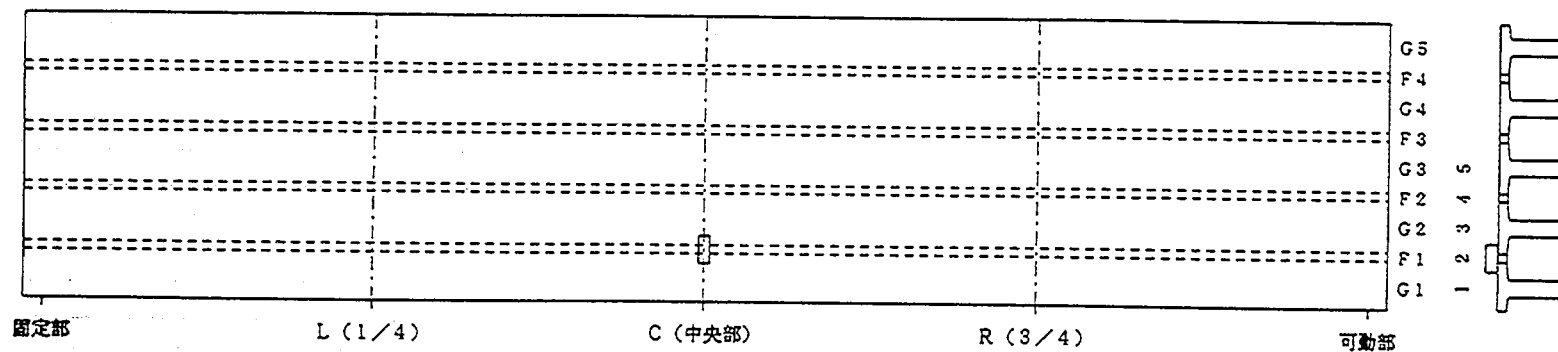
載荷位置=R-3
 載荷荷重=12.0ton
 FILE=1R3-25



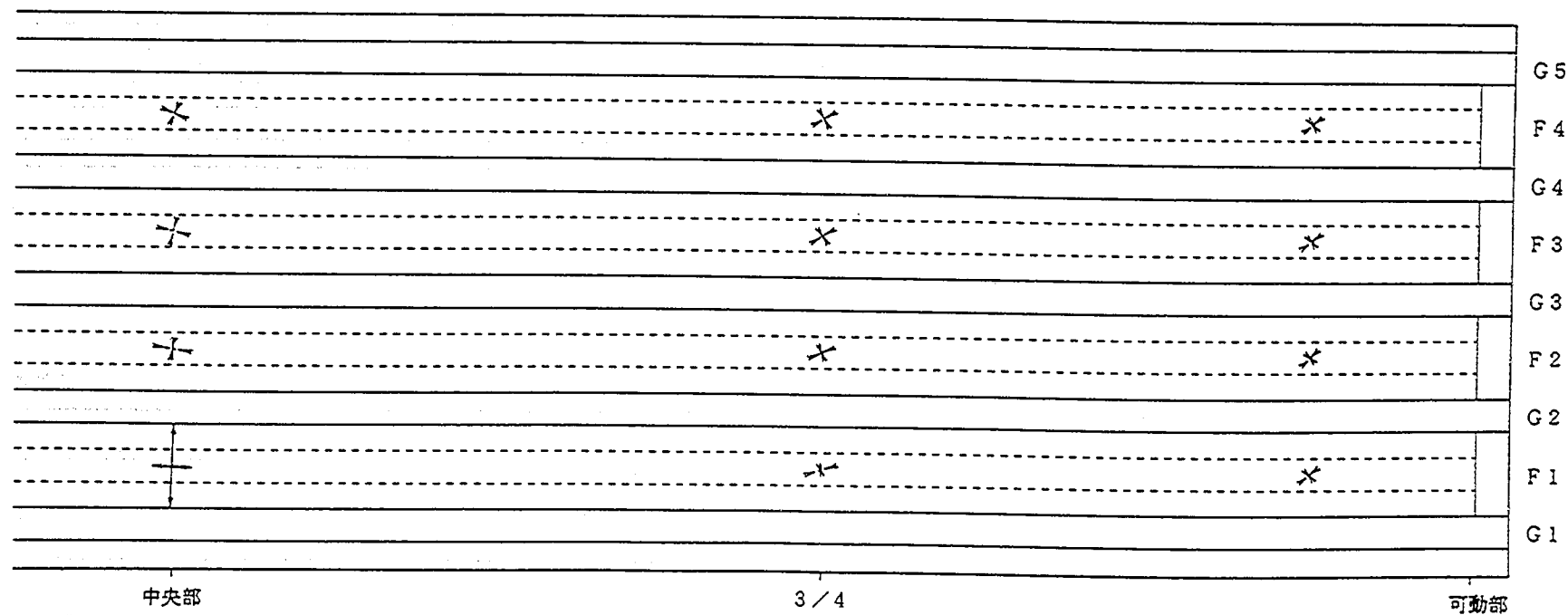
床版下面の主ひずみ分布図 (供試体 1)



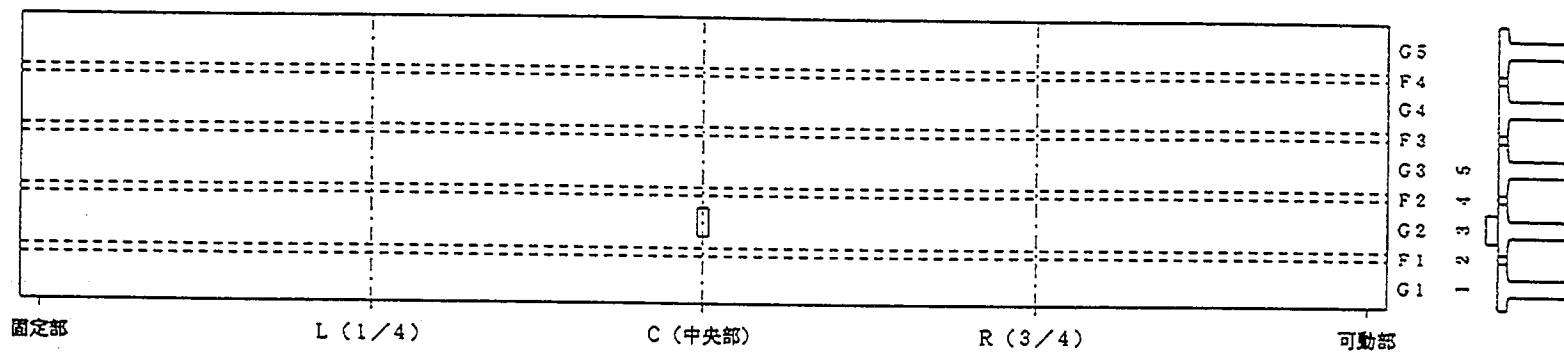
床版下面の主ひずみ分布図 (供試体 2)



載荷位置=C-2
載荷荷重=3.8ton
FILE=2C2-24

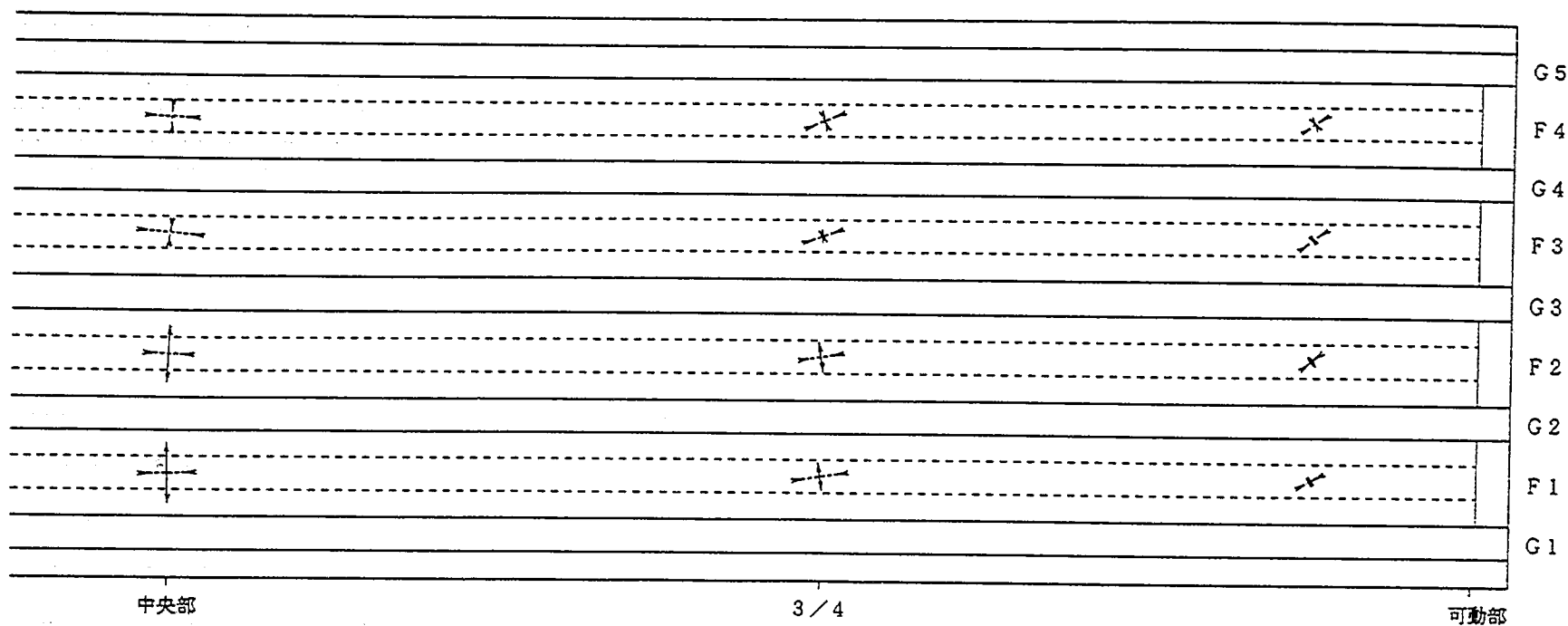


床版下面の主ひずみ分布図 (供試体 2)

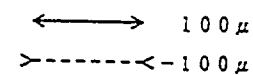


$\longleftrightarrow$ 100μ
 --- --- 100μ

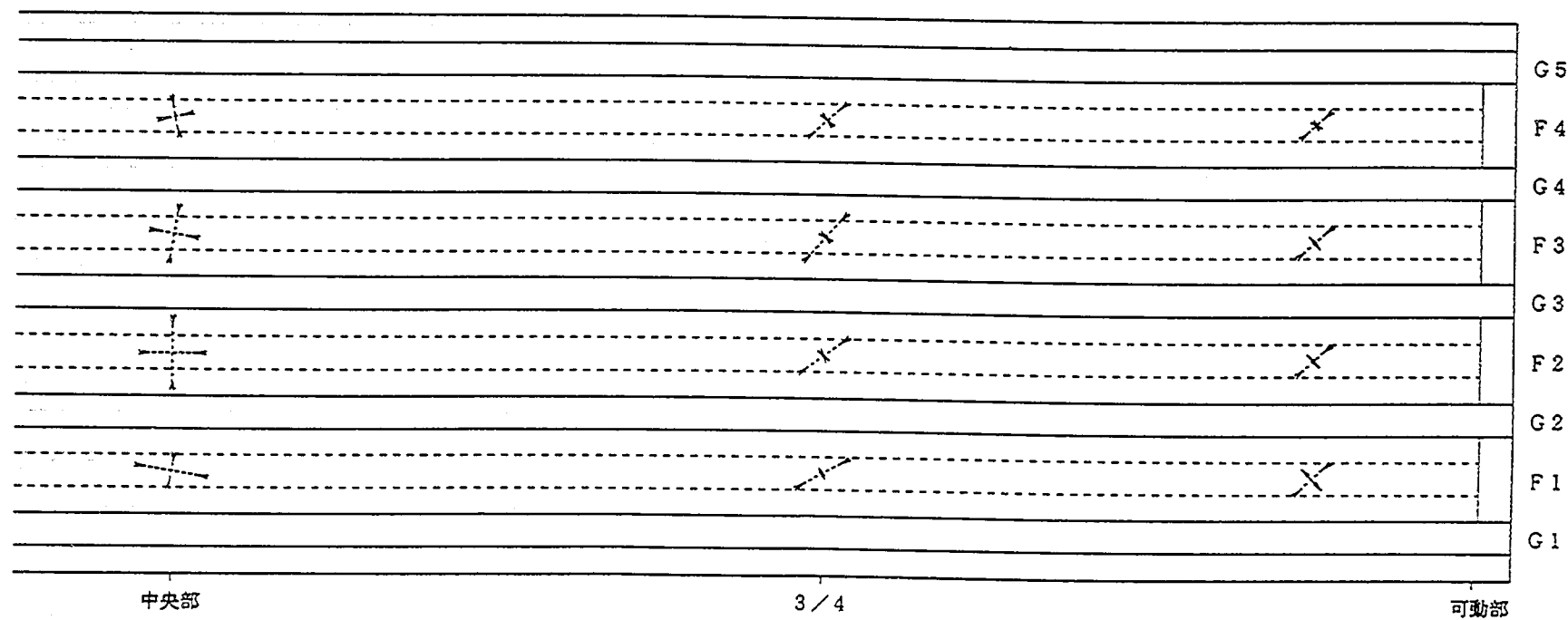
載荷位置=C-3
 載荷荷重=12.0ton
 FILE=2C3-25



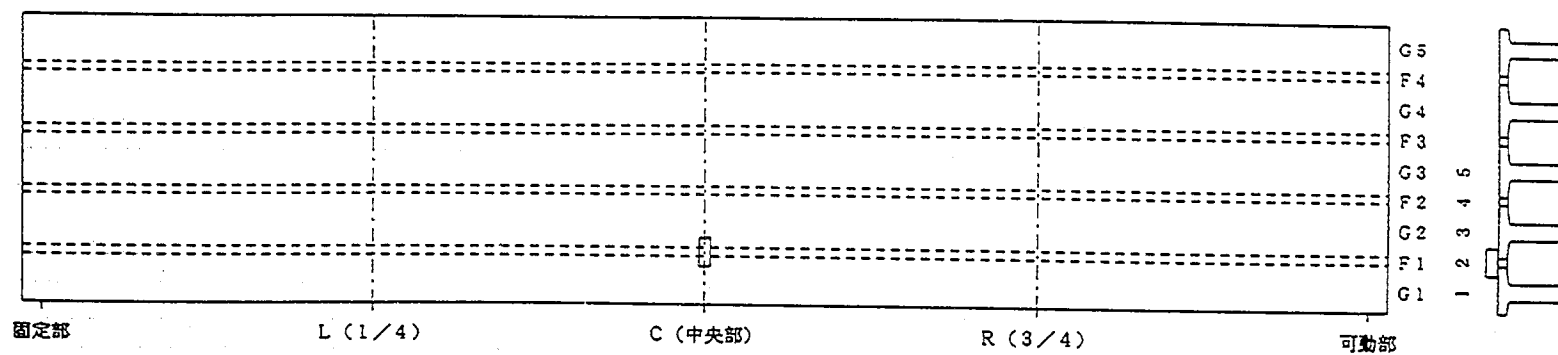
床版下面の主ひずみ分布図 (供試体 2)



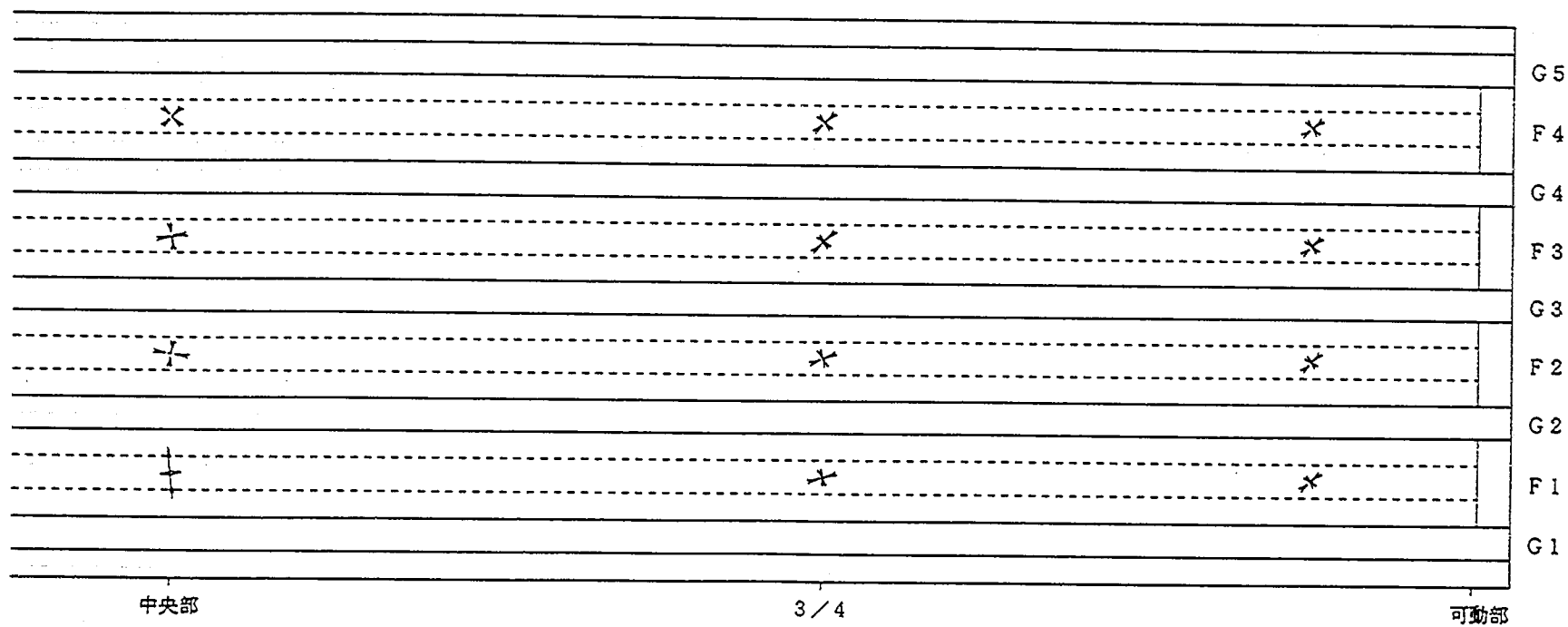
載荷位置=C-1
 載荷荷重=12.0ton
 FILE=3C1-25



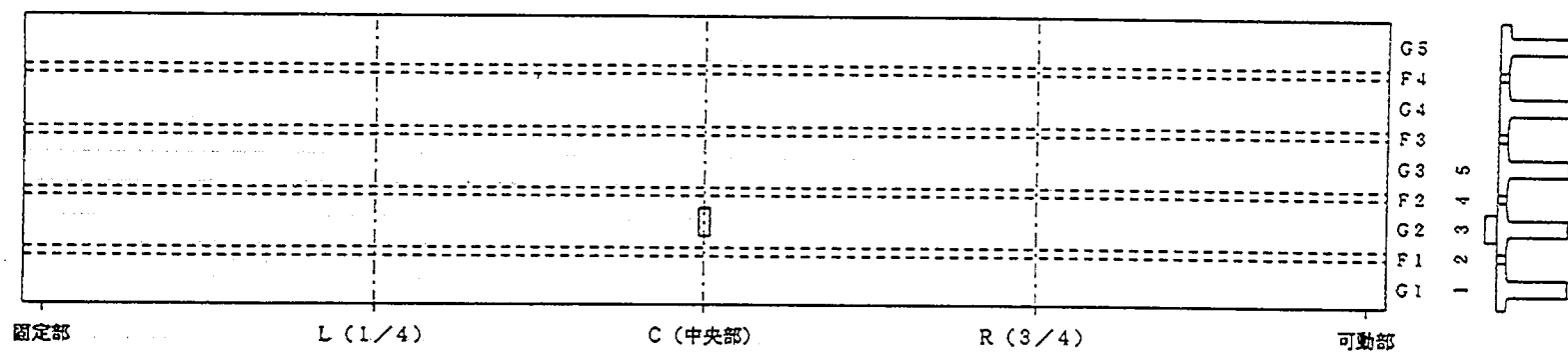
床版下面の主ひずみ分布図（供試体 3）



載荷位置=C-2
載荷荷重=3.8ton
FILE=3C2-24

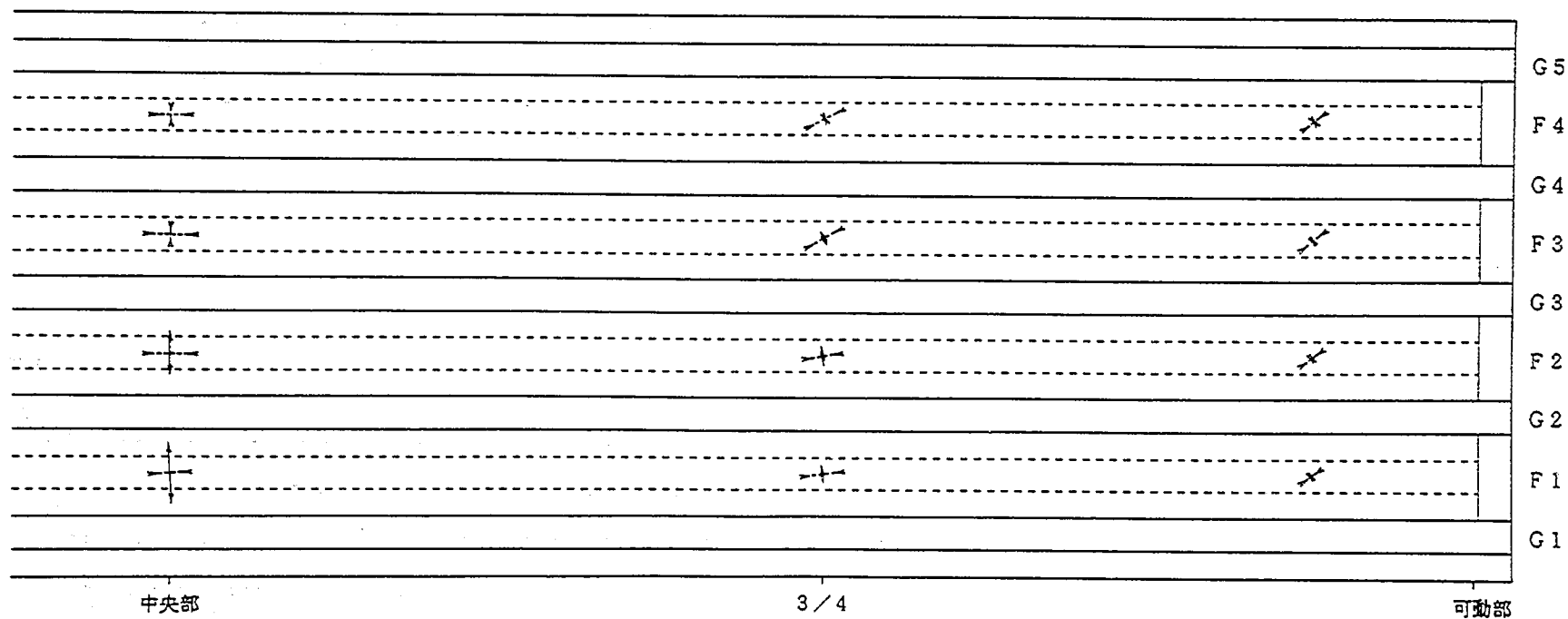


床版下面の主ひずみ分布図 (供試体 3)

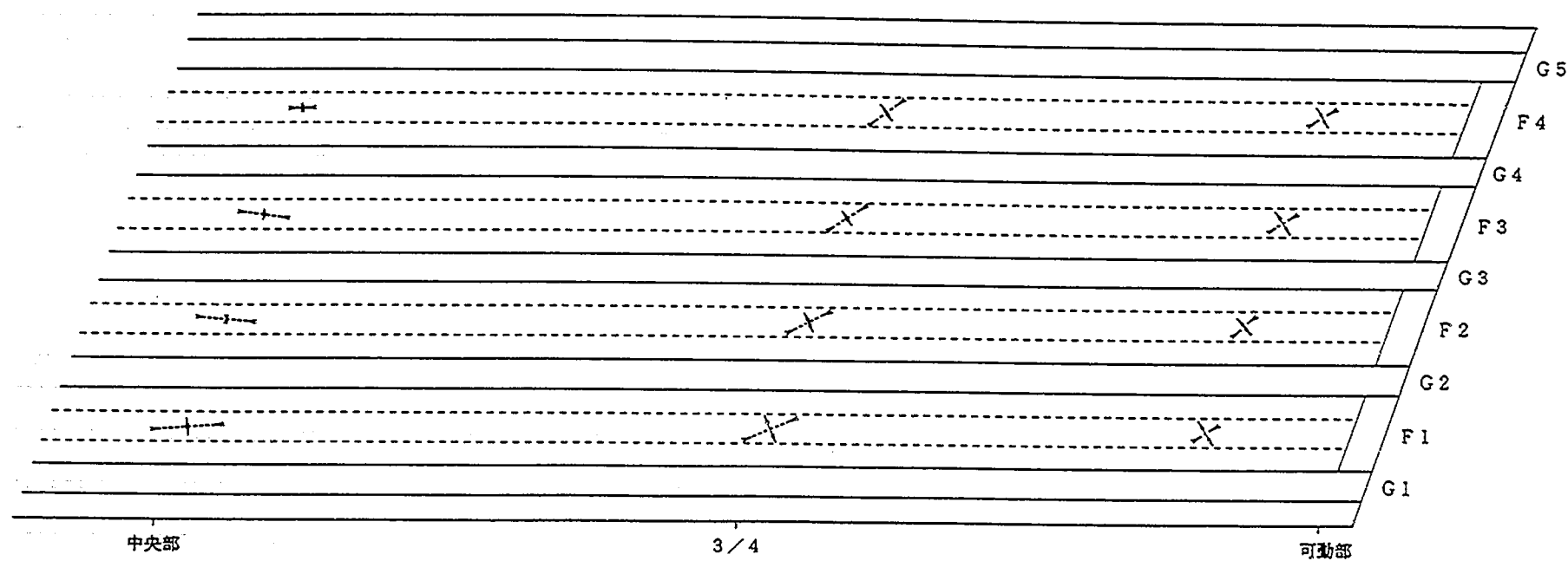
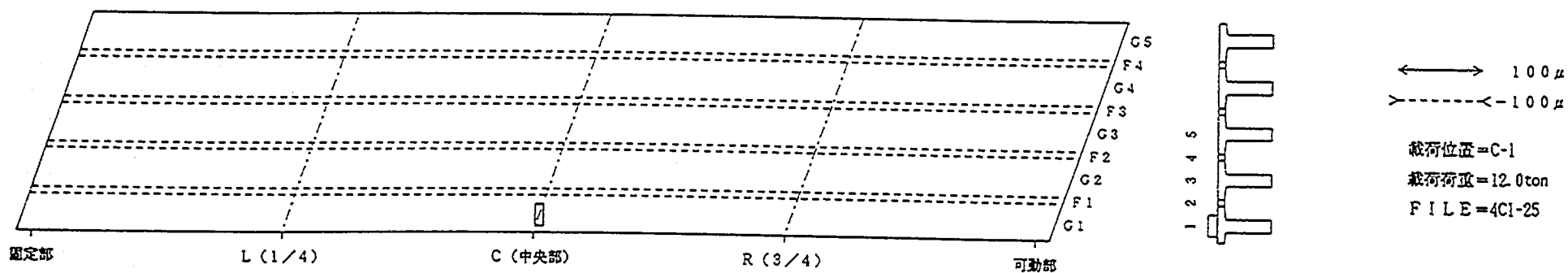


100 μ
100 μ

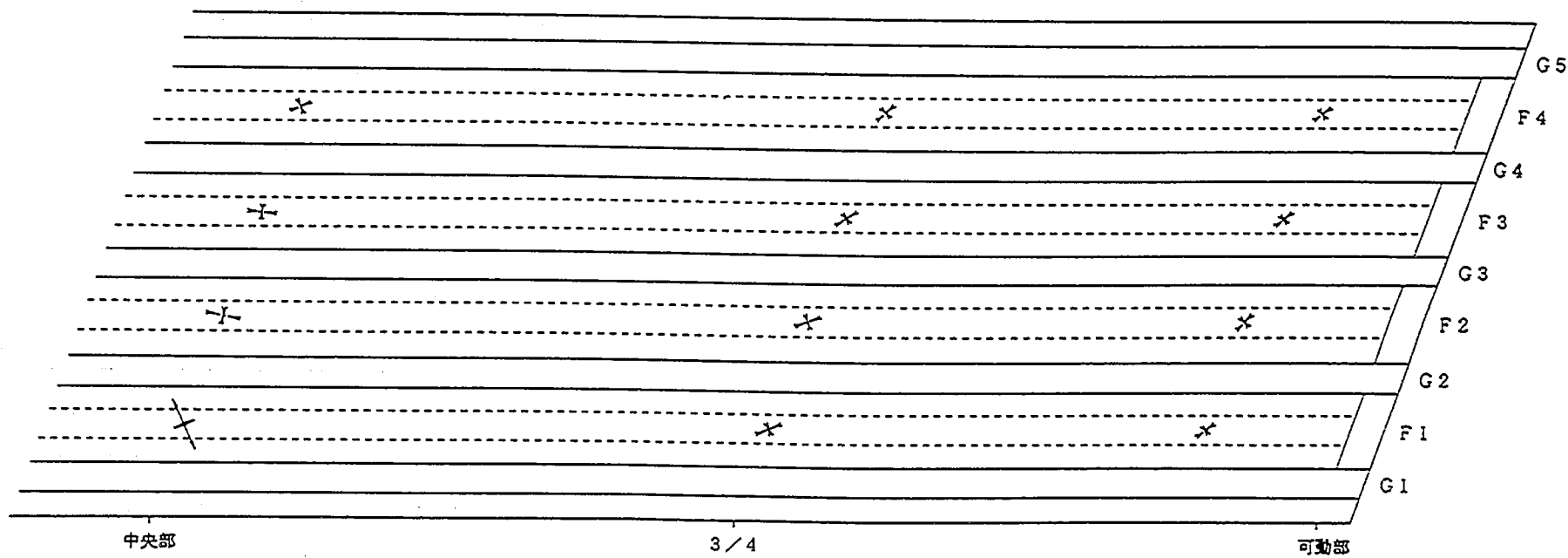
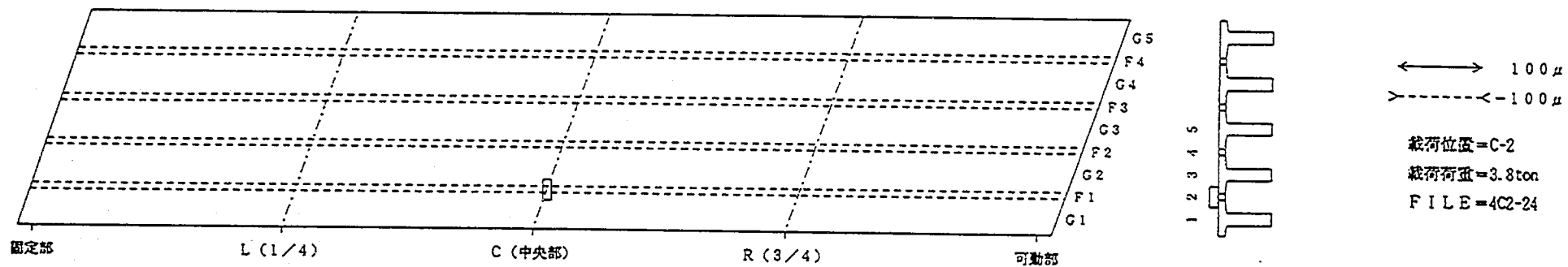
載荷位置=C-3
載荷荷重=12.0ton
FILE=3C3-25



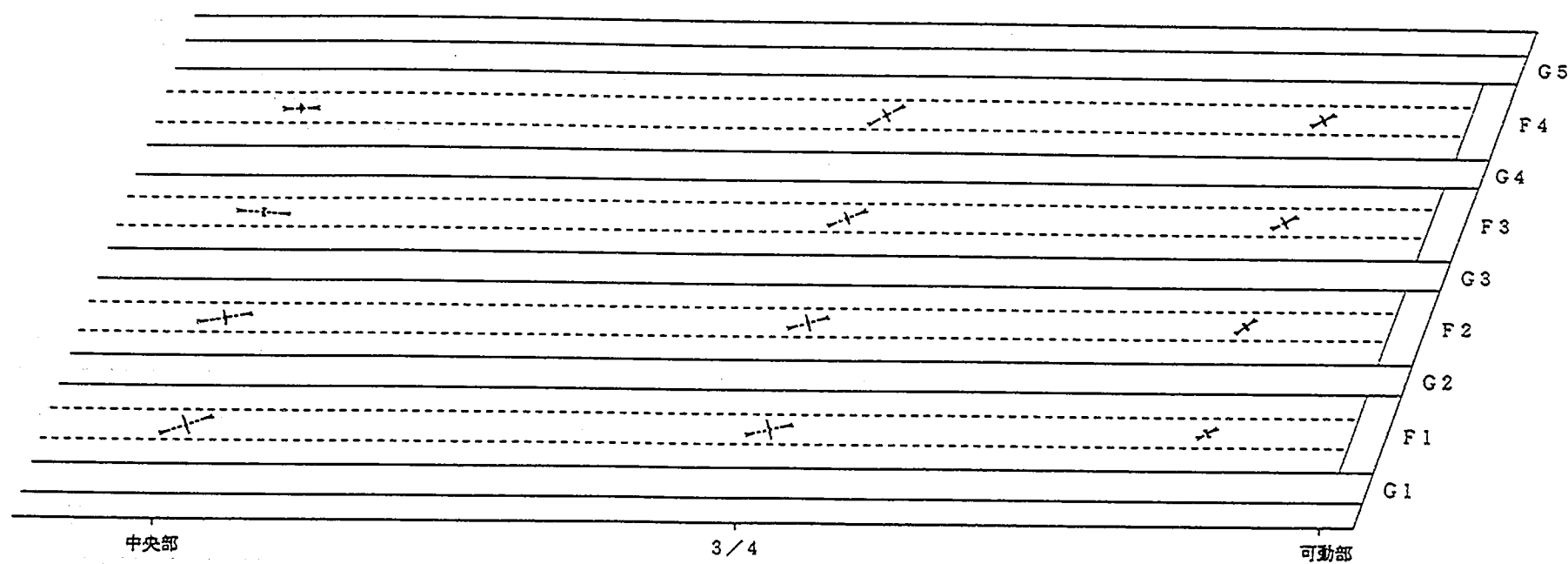
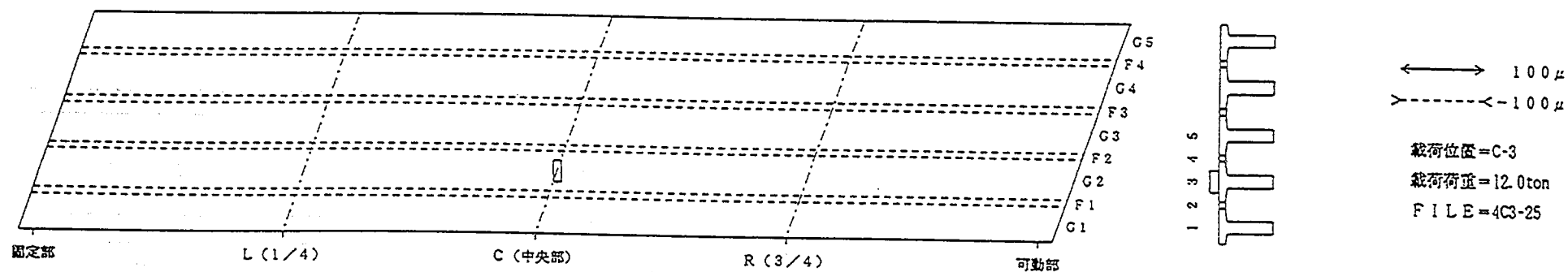
床版下面の主ひずみ分布図 (供試体 3)



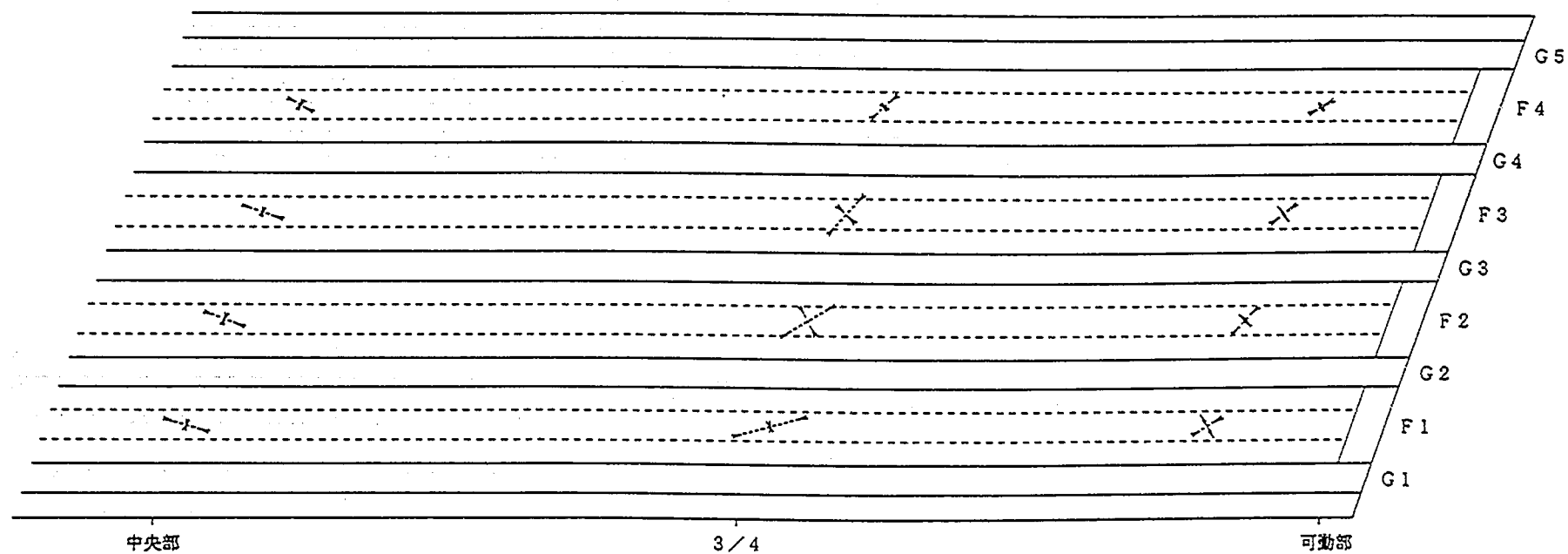
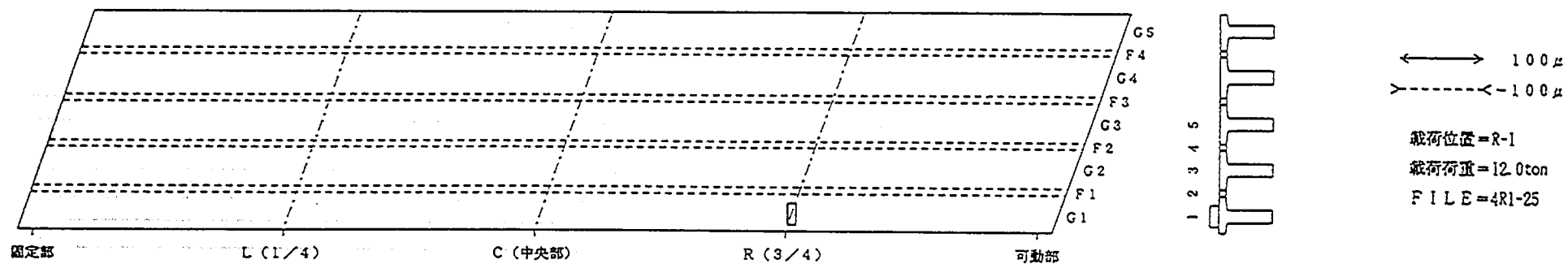
床版下面の主ひずみ分布図 (供試体 4)



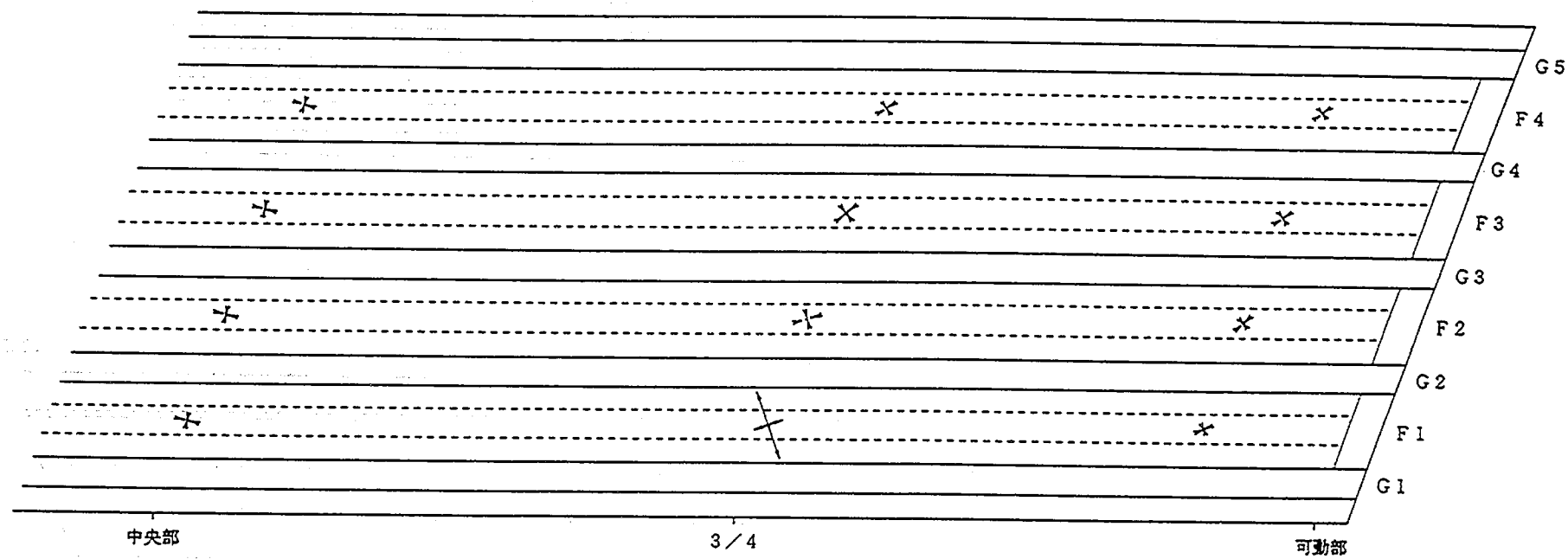
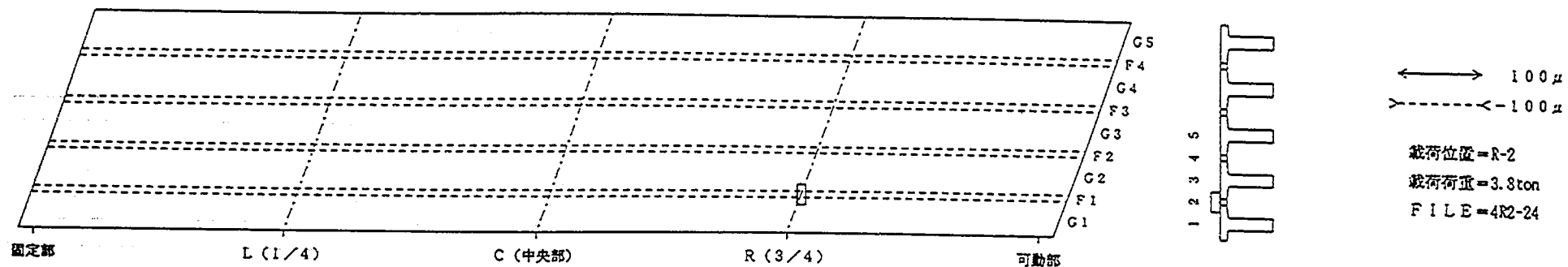
床版下面の主ひずみ分布図 (供試体 4)



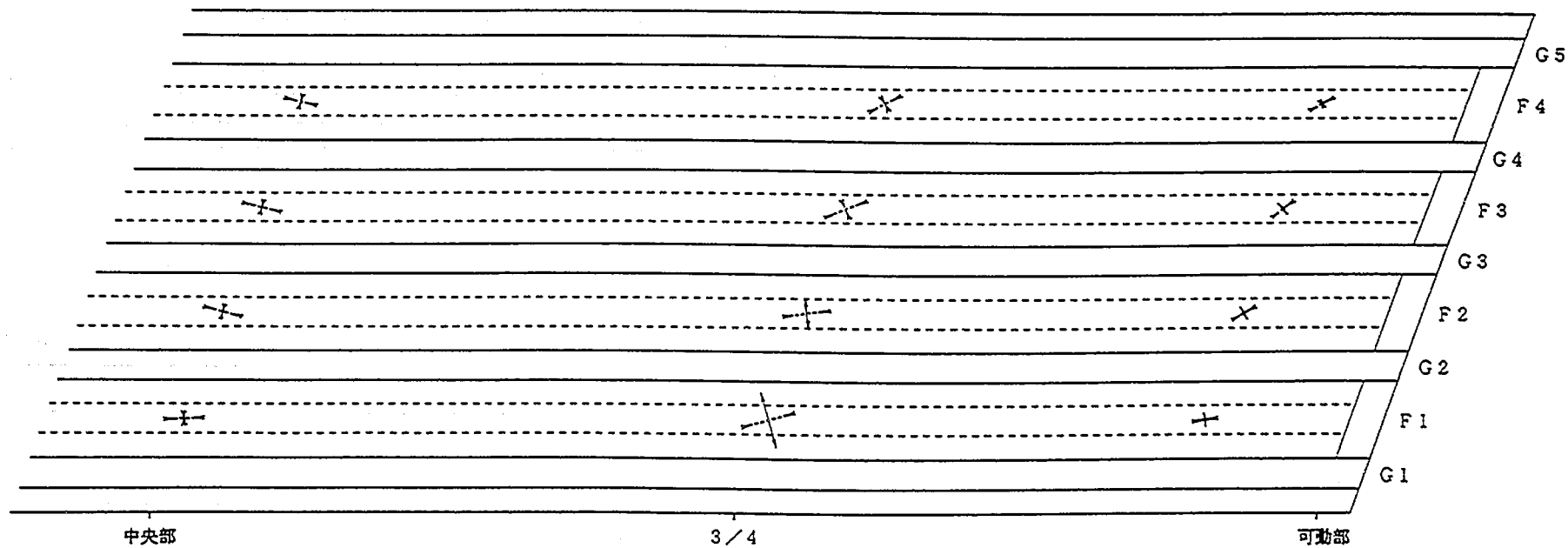
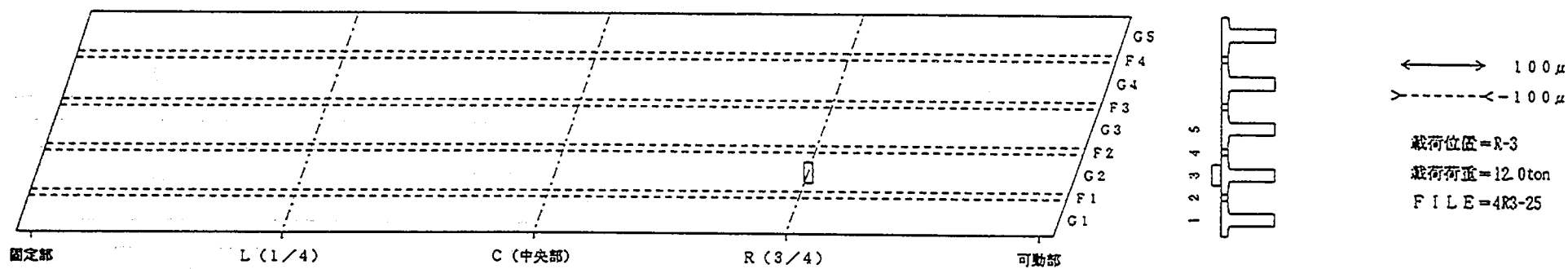
床版下面の主ひずみ分布図 (供試体 4)



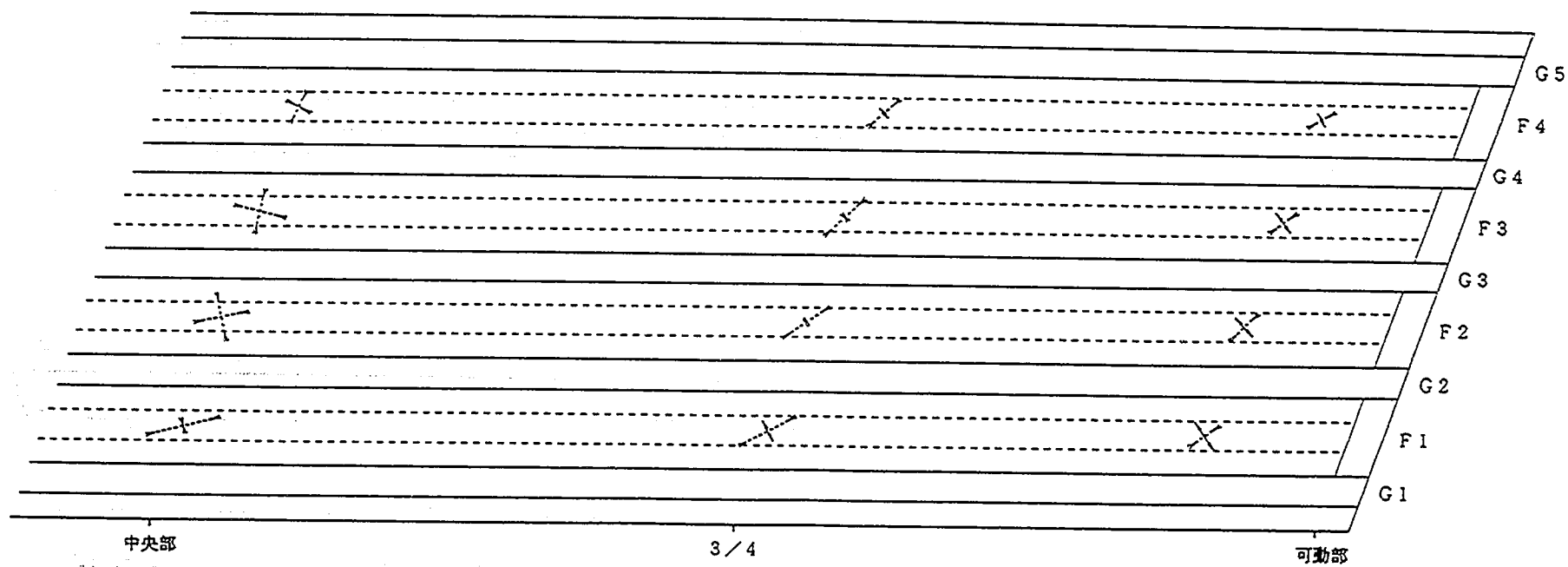
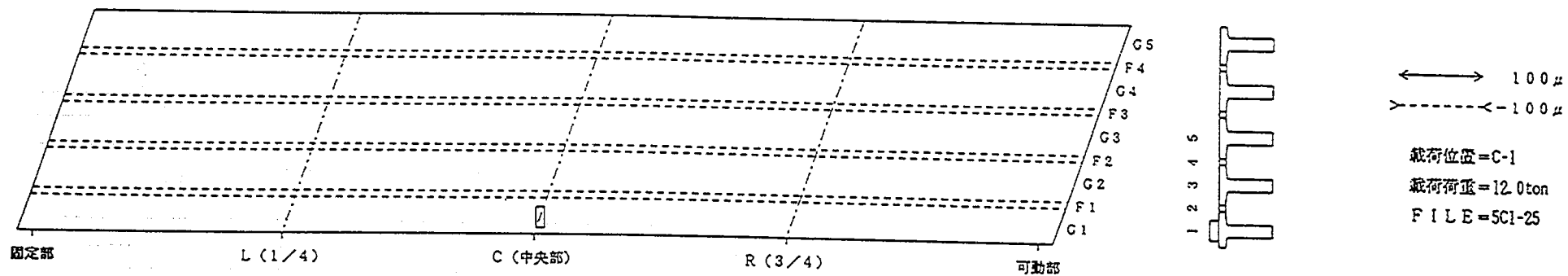
床版下面の主ひずみ分布図 (供試体 4)



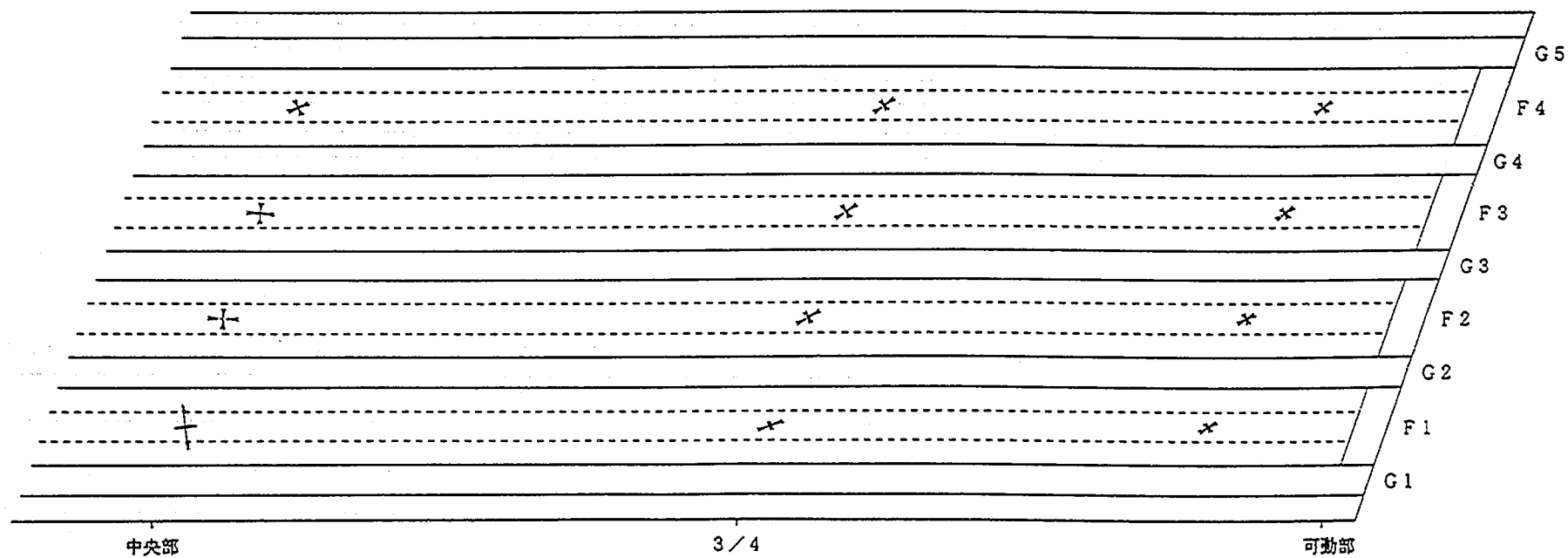
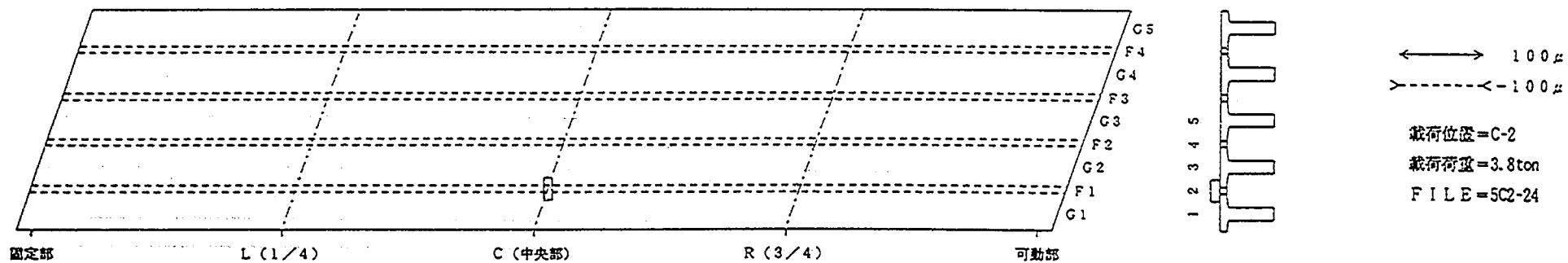
床版下面の主ひずみ分布図 (供試体 4)



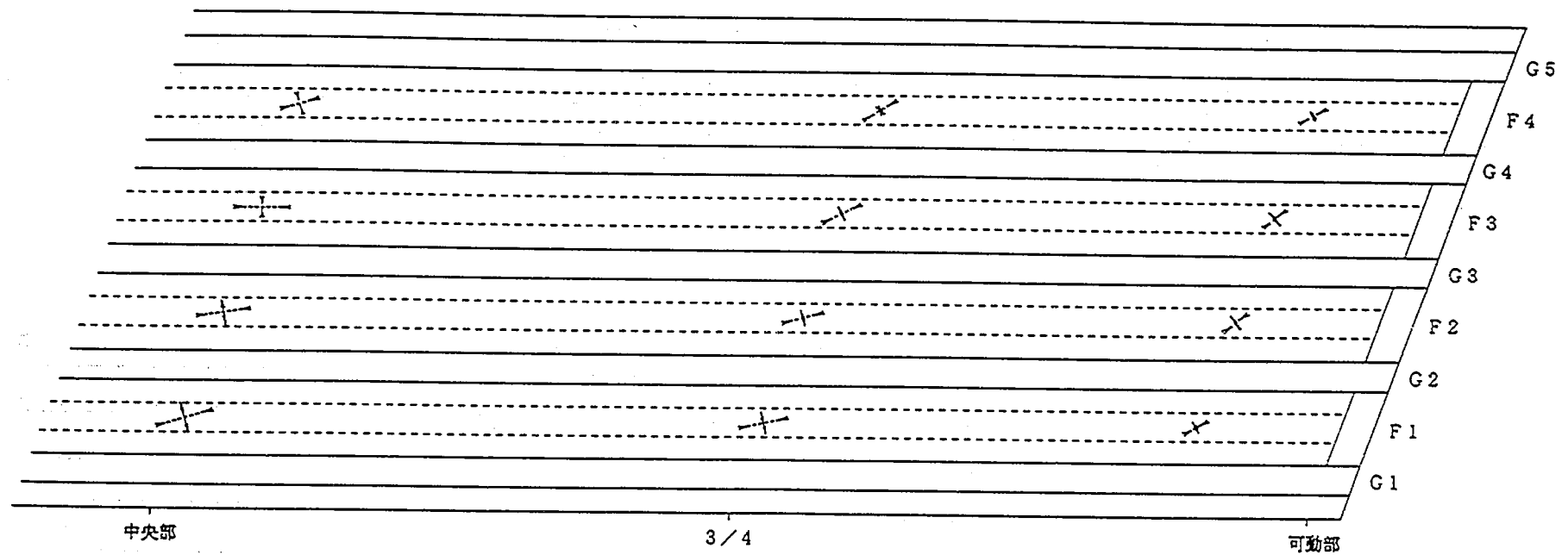
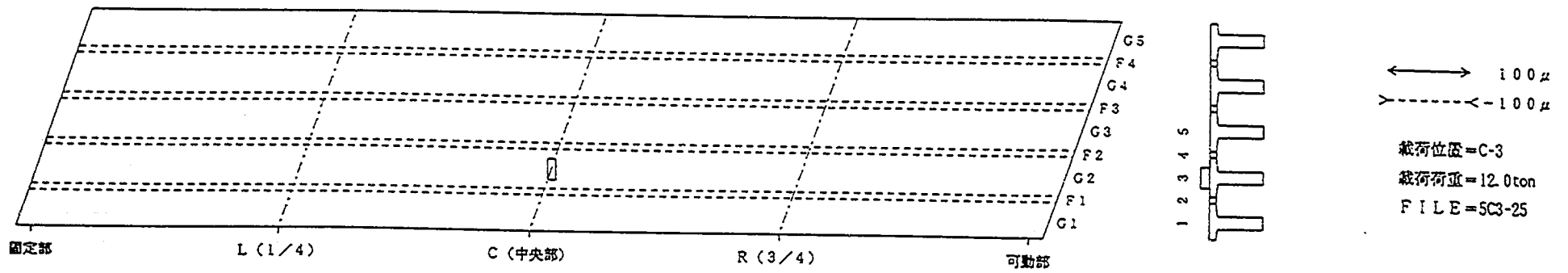
床版下面の主ひずみ分布図 (供試体 4)



床版下面の主ひずみ分布図 (供試体 5)



床版下面の主ひずみ分布図 (供試体 5)



床版下面の主ひずみ分布図 (供試体 5)