

I-59

幕張本線橋の実橋載荷試験

(株) 榑崎製作所 正員 林 芳文
 日本道路公団 正員 西部 剛
 (株) 榑崎製作所 松縄 秀範

1. はじめに

幕張本線橋は、日本道路公団京葉道路改築事業の一環として、現幕張インターチェンジの合流方式改良のために新設されたランプ橋である。構造形式は、桁下道路の建築限界による桁高制限、車両走行に伴う騒音・振動の低減、架設に伴う交通規制等の制約条件のほかに、斜角 $41^{\circ}09'20''$ の斜橋としての構造適性を検討し、鋼桁の中にコンクリートを充填した合成構造である鋼合成床版箱桁を採用した。この構造形式を有する橋梁については、植村ら¹⁾、森安ら²⁾の実験があるが、いずれも1箱桁で直線橋を対象としている。

斜橋では曲げのほかにねじりが生じ、その力学性状が直線橋に比べて複雑であることから、本橋梁の設計の検証と安全性の確認とともに、今後、同種構造物を計画するうえでの資料を得る目的で実橋載荷試験をおこなった。その概要について以下に報告する。

2. 構造概要

構造一般図を図-1に、概略構造を図-2に示す。その構造は、工場製作した鋼開断面箱桁にスタッドジベルを溶植し、中空型枠および床版鉄筋を配置して、膨張コンクリートを現場打ちしたものである。部材の応力算定は、鋼材を異形棒鋼とみなした鉄筋コンクリート方式を採用している。通常の異形棒鋼に比べて鋼材断面比が大きくなるので、十分な付着強度を保証するために鋼材のコンクリート接触面全体にずれ止め配置している。

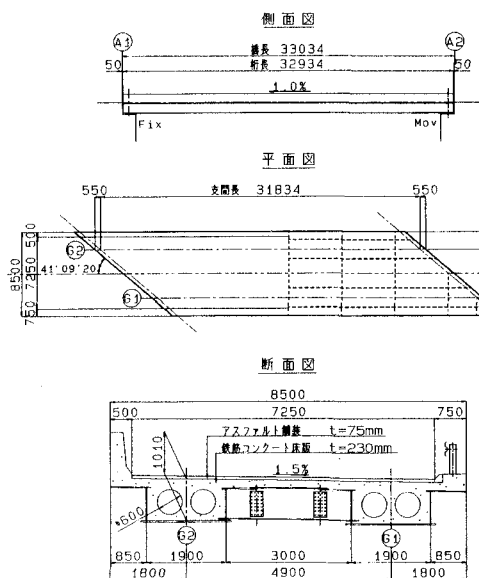


図-1 構造一般図

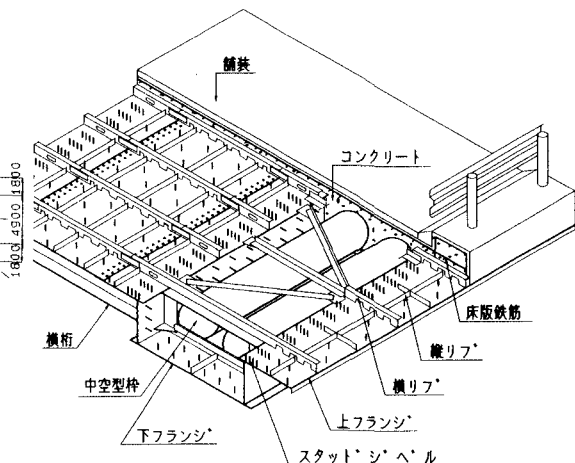


図-2 概略構造図

Field Loading Tests of Makuharishonsen Bridge

by Yoshihumi HAYASHI, Tsuyoshi NISHIBE and Hidenori MATSUNAWA

3. 実橋載荷試験

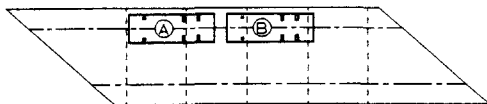
3. 1. 試験概要

載荷試験はコンクリート打設の4ヶ月後、ダンプトラックを荷重として静的に載荷した場合の部材各部のひずみを測定した。載荷方法は砂利を積載した総重量約 20 tのダンプトラック2台を図-3に示すCASE. 1～4の方法で載荷した。CASE. 1の主桁支間中央曲げモーメントは、道路橋示方書におけるL-20 設計活荷重曲げモーメントの43 %に相当する。CASE. 3は床版支間の中央にダンプトラックの後輪荷重が位置するように載荷させたものである。

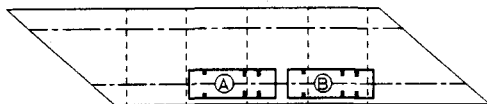
3. 2. 測定方法

ひずみ測定の位置は、図-4に示す主桁の断面力が最大となる支間中央断面（A断面）、床版としての断面（B断面）および応力分布が複雑となる鈍角支点断面（C断面）の3断面とした。測定項目はそれぞれの断面のコンクリート面、鉄筋面および鋼板面のひずみとした。コンクリート面と鋼板面のひずみゲージの貼付け方向は、鈍角支付近を3軸方向に他は2軸方向とした。

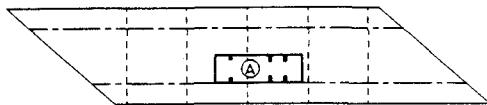
CASE. 1



CASE. 2



CASE. 3



CASE. 4

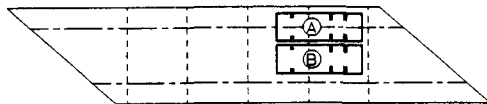
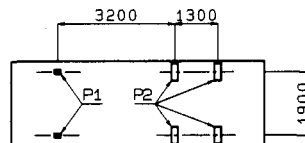


図-3 荷重載荷方法



	(t)	
	P1	P2
A■	5.36	14.65
B■	5.48	16.39

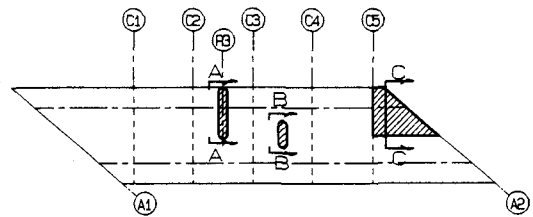


図-4 ひずみ測定位置

4. 試験結果と考察

4. 1. 主桁断面のひずみ

ダンプトラック2台を載荷させたCASE. 1, 2について、A断面とC断面の橋軸方向のひずみ分布を図-5, 6に示す。ひずみは幅方向に関して均等な分布を示し、桁高方向に関してほぼ直線分布をしていることから、鋼とコンクリートが一体となって平面保持の仮定が成立していることがわかる。

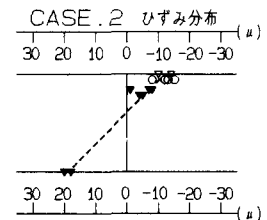
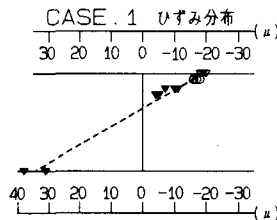
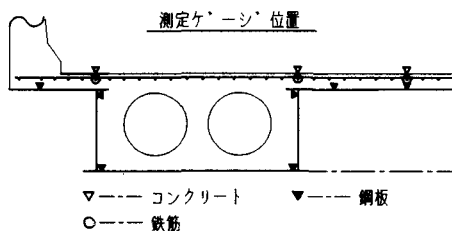


図-5 主桁A断面の橋軸方向ひずみ分布

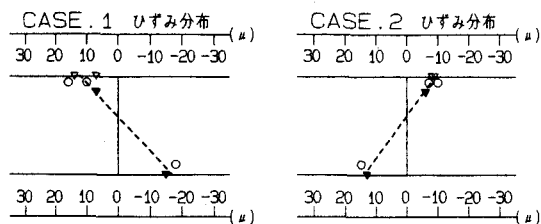
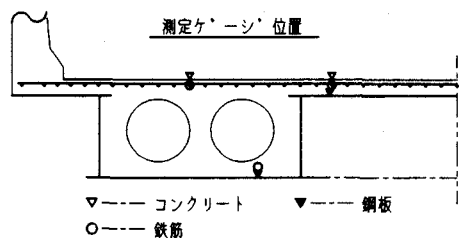


図-6 主桁C断面の橋軸方向のひずみ分布

4. 2. 床版断面のひずみ

床版支間に着目したCASE. 3のB断面のひずみ分布を図-7に示す。床版作用の橋軸直角方向ひずみでは、正の曲げが作用する支間中央部(①)がほぼ直線分布を示している。主桁作用の橋軸方向ひずみは、支点上部(③)のコンクリート面のひずみが他に比べて大きい。これは床版作用の引張力と主桁作用の圧縮力が直交し、ポアソン効果が生じているものと考えられる。

床版作用のひずみを応力に換算した値と計算値を比較したものを表. 1に示す。表中の計算値は、合成床版を等価な曲げ剛性の鋼板に置換し、主桁腹板位置で固定支持、横桁位置で単純支持された等方性版としてモデル化した有限要素法(以下、FEMと略称)により求めた。実測値は鋼とコンクリートのヤング係数比(以下、 n と略称)を7、コンクリートの引張断面も有効として計算した値にちかい。

設計では、正の曲げを受ける範囲は合成断面として、負の曲げを受ける範囲は鋼板を無視した鉄筋コンクリート断面として応力算定しており、安全側となっている。

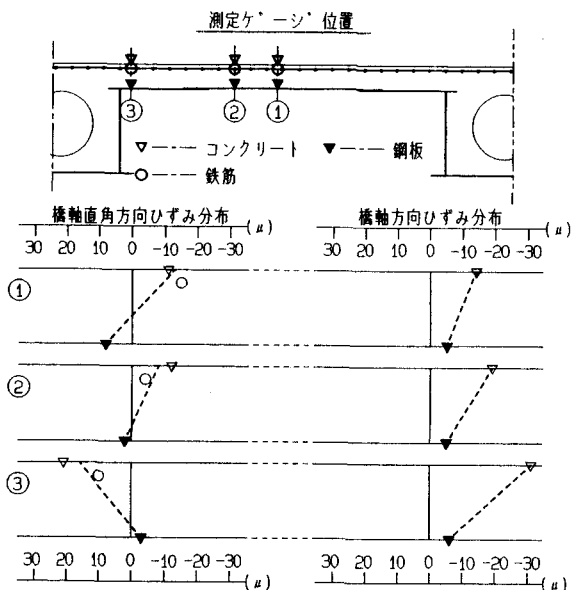


図-7 B断面のひずみ分布

表. 1 床版の応力度 (kgf/cm^2)

	支点部 ③			支間中央 ①		
	実測値	計算値 $M = -0.799 \text{ tm}$		実測値	計算値 $M = 0.696 \text{ tm}$	
		引張無視	$n=7$ 全有効		引張無視	$n=7$ 全有効
コンクリート	2.0	2.1	3.8	-3.4	-5.8	-3.8
鋼板	2.0	2.1	3.8	-3.4	-5.8	-3.8

4. 3. 鈍角支点付近の床版の主応力

CASE. 1, 2, 4について、鈍角支点付近のコンクリート上面と鋼板上フランジ面の主応力分布と床版の橋軸方向鉄筋の応力を図-8~10に示す。コンクリート上面の引張応力度の最大値は $8 \text{ kgf}/\text{cm}^2$ で、CASE. 1の主桁上に生じている。主桁相互のたわみ差の影響のせるCASE. 2の主桁腹板直上では、コンクリート上面の引張応力度は小さい。各ケースとも、床版張り出し部のコンクリート上面に斜角の2等分方向に引張応力が、その下側の鋼板面には圧縮応力が生じている。

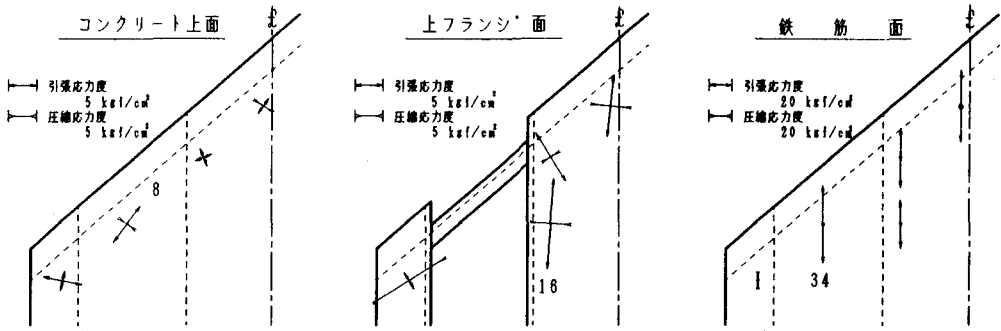


図-8 CASE. 1

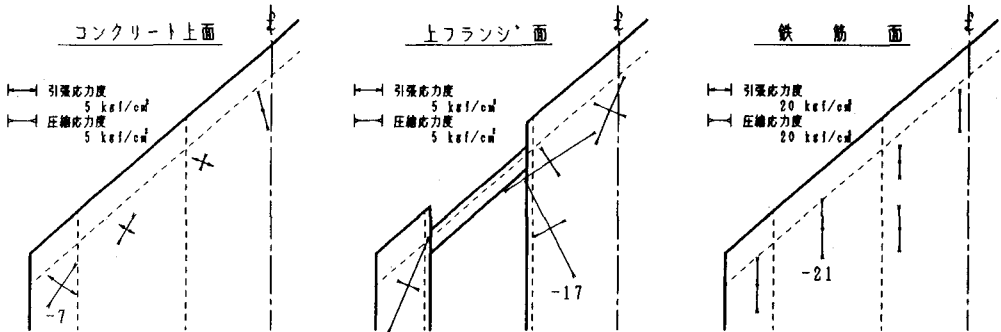


図-9 CASE. 2

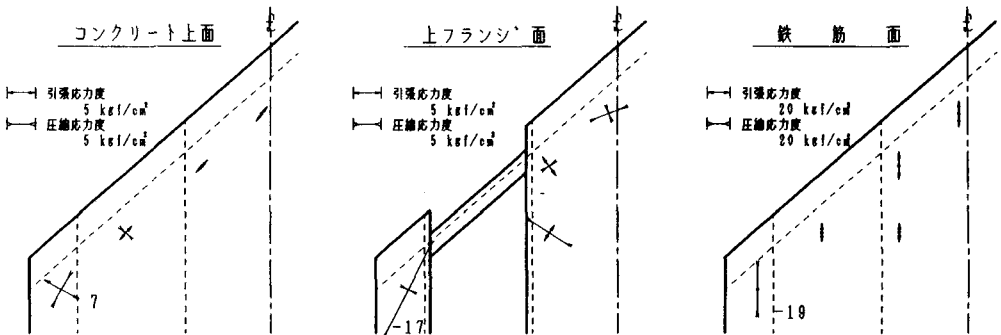


図-10 CASE. 4

4. 4. FEM解析結果との比較

実橋測定結果との比較と主桁断面各部の応力状態を把握する目的で、CASE. 1を対象とする3次元FEM解析を実施した。モデル化にあたって、主桁は円筒管間にあるコンクリート部を無視した箱桁断面とし、鋼板下フランジ厚は支間として断面2次モーメントが等価となる一定板厚に換算した。円筒管間のコンクリートを無視した影響は、応力レベルで下フランジは5%程度になる。鋼板は板要素、コンクリートはソリッド要素とし、鋼とコンクリートの合成は完全合成とした。コンクリートは全断面有効とし、ヤング係数は 2.8×10^5 kgf/cm²とした。解析モデルと変位挙動を図-11、12に示す。

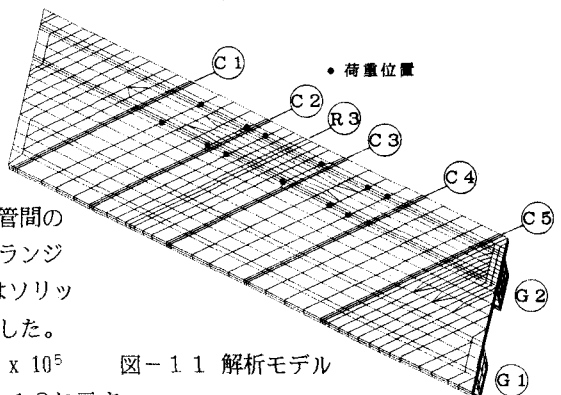


図-11 解析モデル

(1) 主桁支間中央部

図-13にG2桁支間中央部の主応力分布を示す。応力の流れに乱れがなく幅方向の応力が均等であり、全幅有効に働いていることがわかる。実測ひずみを応力に換算して解析値と比較したものを表-2に示す。実測値はFEM解析に比較して圧縮側で50%、引張側で70%程度の応力であった。実測ひずみ分布より実断面の中立軸の位置を推定すると、FEM解析より10cm程度上方になった。このことより、応力の差異は、FEM解析で抵抗断面として算入していない壁高欄、床版鉄筋および桁の二次部材の合成作用への関与によるものと思われる。

格子桁解析の応力度 ($n=7$ コンクリート全断面有効) はFEM解析とよく一致しており、構造解析に格子桁モデルを用いて問題はないといえる。設計の応力算定では、 $n=15$ 引張側コンクリート無視でおこなっており安全サイドとなっている。

主桁の鉛直変位は、FEM解析でG2桁支間中央は9.0mm G1桁支間中央は5.2mmであり、実橋の変位はレベル計測で、G1桁は5mmであった。(G2桁は計測できなかった)

発生応力度と変位量から判断して、設計荷重レベルでは引張側のコンクリートも有効に働くと考えられる。これは森安ら²⁾の実験結果と一致している。

本構造では、コンクリートによる鋼材の局部座屈強度の向上と鋼材によるコンクリートの拘束効果が期待できることから、より合理的な設計をおこなうため、応力算定に二次部材や引張側コンクリートの影響も考慮に入れる必要があると思える。また、鋼桁に溶接されている補剛材やスタッドジベル本数も、その構造特性を利用すれば現状より簡素化できると考える。

(2) 鈍角支点部

図-14に鈍角支点部の主応力分布を示す。コンクリート面で実測値と比較すると、FEM解析は一方の主応力で、実測値は二方向の主応力となっている。引張応力で比べると張出し部で差があるが、主桁上ではほぼ一致している。実橋では壁高欄の橋軸方向剛性により変形挙動が拘束され、その影響がコンクリート面に生じているものと思われる。同様に上フランジ面で比較すると、メッシュ分割の大きい桁間で差異はあるが、ほかは実測値と同じ傾向を示している。このことから、FEM解析で実橋の応力分布状態を評価して

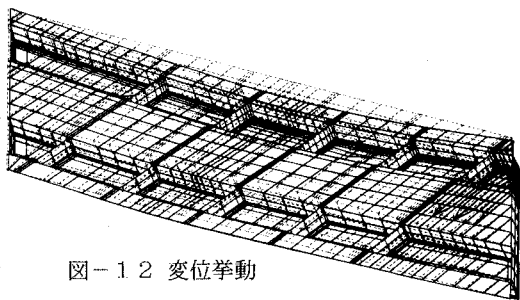


図-12 変位挙動

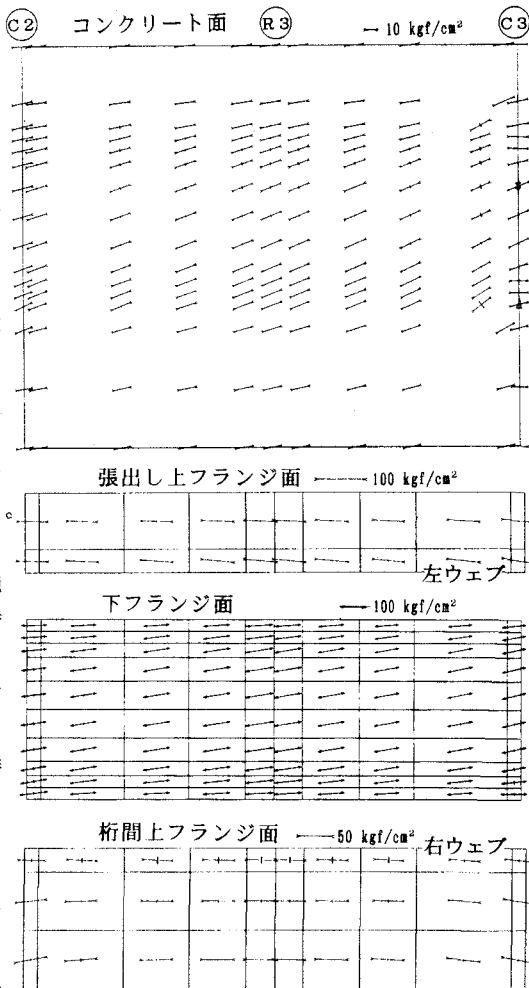


図-13 主桁支間中央部の主応力分布

表-2 主桁A断面の応力度 (kgf/cm²)

	実測値	FEM 解析値 $n=7.5$ 全断面有効	格子桁解析 ($n=7$) 計算値 $M=108 \text{ t}$	
			全断面有効 $n=7$	引張無視 $n=15$
コンクリート	-6	-12	-13	-9
鉄上フランジ	-37	-46	-60	-124
下フランジ	-73	105	102	154

実用上の問題はないと考えられる。

コンクリート面の応力は、流れにやや乱れがあるが特に応力の集中もなく、引張応力度はFEM解析で最大 13 kgf/cm^2 あった。コンクリートのひびわれに対しては、橋軸方向鉄筋の応力実測値が 34 kg/cm^2 と小さいこと、および支点付近の床版は、道路橋示方書³⁾ II 9.2.3 「引張応力を受ける版の鉄筋量および配筋」に基づき設計されていることから判断して問題はないと考える。

鋼板面の応力は、流れの乱れはなく、特に応力集中している箇所も見られない。下フランジの応力は幅方向に均一であることから、せん断おくれが生じていない。上フランジでは主桁腹板付近の応力が大きく、せん断おくれの影響がみられる。下フランジでせん断おくれの影響がみられないのは、幅が狭いことのほかに圧縮部にあるため、腹板がコンクリートを拘束して合成効果を高めていることも影響があると思われる。

主桁C断面の橋軸方向ひずみを応力に換算して解析値と比較したものを表. 3に示す。実測値はFEM解析に比べて下フランジでやや差があるが、ほかは一致している。格子桁解析の値が安全側で評価されているのは、フランジ有効幅の差によるものと思われる。

5. あとがき

今回、斜角のきつい幕張本線橋に鋼合成床版箱桁を採用して、設計の検証と安全性の確認を目的として実橋載荷試験と解析をおこなった。既に詳述した結果から、橋の安全性を確認することができた。設計手法は安全側でなされており問題はない。しかし、より合理的な設計をおこなうために鋼板がコンクリートの周囲を拘束する効果の影響を考慮に入れる必要があると考える。

本構造は自重による死荷重応力が全応力中に占める割合が大きいが、疲労や振動が問題になることは考えにくいことから自動車交通量の増加に対応できる橋梁形式として、今後、発展することが期待される。

最後に、本試験をおこなうにあたり御指導、御協力をいただいた関係各位に対して厚く感謝します。

<参考文献>

- 1) 植村俊郎、加納 勇、丸安雄二、田中征登：鉄道用合成床版橋の実橋計測、土木学会第43回年次学術講演会、I-172 pp.398-399, 1988
- 2) 森安敏博、宇田英己、丸安雄二、加納 勇：箱型合成床版橋の歩道橋への適用例、土木学会第2回合成構造の活用に関するシンポジウム、pp.373-378, 1989
- 3) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説、丸善株式会社、平成2年2月

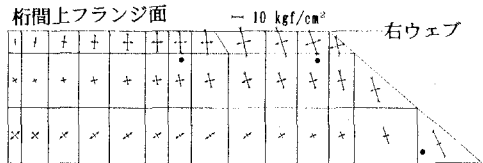
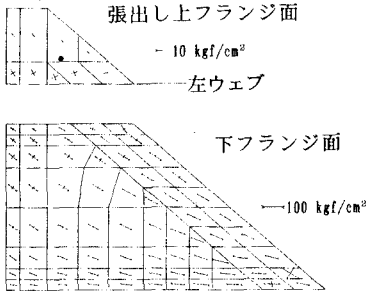
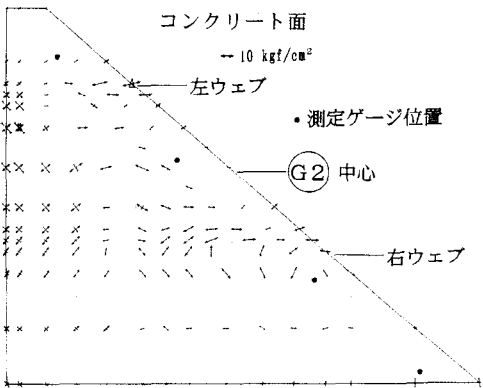


図-1.4 鈍角支点部の主応力分布

表. 3 主桁C断面の応力度 (kgf/cm^2)

	実測値	FEM 解析値	格子桁解析 (n=7)	
		n=7.5 全断面有効	n=7 全断面有効	n=15 引張無視
コンクリート 鉄筋	24 -37	4 -57	8 -76	15 -118