

箱桁の光弾性実験による三次元応力解析

室蘭工業大学工学部 正員 ○中村作太郎
 室蘭工業大学工学部 正員 松岡 健一
 室蘭工業大学工学部 田中 功

1. 緒言

箱桁の三次元応力解析について理論的に取扱つた研究論文は種々あるが、断面応力分布の現象を追求した光弾性実験解析に関するものは殆んど見当らないようである。

そこで、著者等は理研計器K・K製のエポキシ樹脂板と接着剤で箱桁3個を製作し、応力凍結法とせん断応力差積分法の併用によつて、模型の三次元応力解析を試み、色々と興味ある現象を見出した。

2. 模型製作と実験方法

(1) 模型

模型の作製には理研計器K・K製のエポキシ樹脂板6mm厚と3mm厚のものを用い、接着剤にはエポキシ系のセメダイン1,500を使用してフランジとウエツブを接着した。模型の形状・寸法は図-1に示す通りであり、A、B、Cの3種よりなり、作製に当つて特に苦心したことはその接着にあつた。すなわち、光弾性模型としての性能を出来ただけ発揮出来るように考え、模型材料と同じエポキシ系の接着剤を使用することとし、また接着強度の衰をも考慮してセメダイン1,500を選定した。

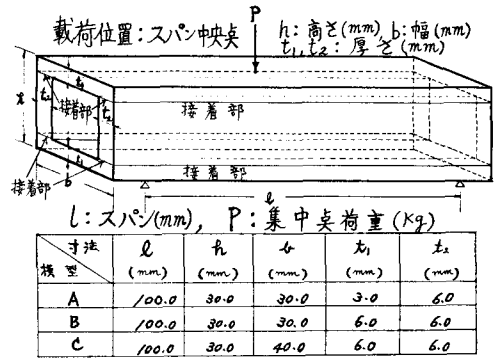


図-1 模型(Model)の一般形状

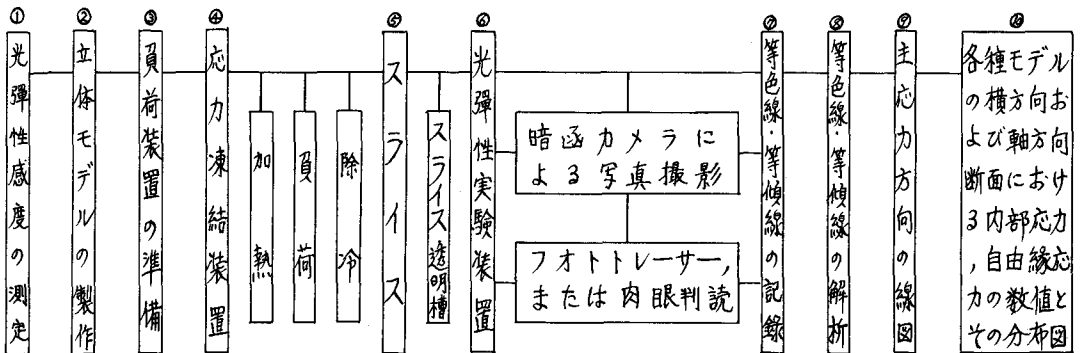
(2) 実験装置・加工具等

本実験に用いた装置等列挙すれば、次の通りである。

理研製標準型光弾性装置、三次元応力凍結装置(PA-2型)、サンプルホルダー、スライス透明槽、スライサー、モデル加工具一式

(3) 実験の方法と手順

立体モデルの三次元光弾性実験の方法と手順を示せば、次の通りである。(○内の数字は順番を示す。)

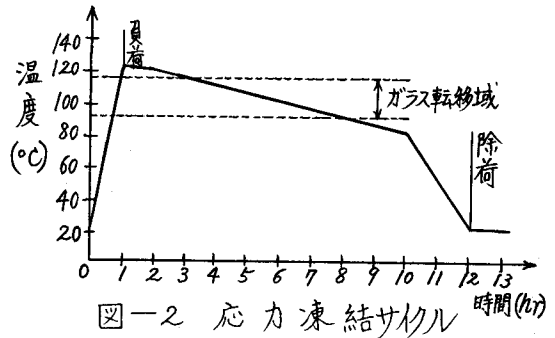


(4) 応力凍結操作

応力履歴を内部に凍結するためにモデルに与えらるべき温度-時間経過を応力凍結サイクル(stress freezing cycle)というが、これは材料として用いるポリマーのガラス転移域で定まってくる。

すなわち、転移域を若干越した温度に20分~60分程度保ち、負荷したままで徐冷すればよいわけであるが、エポキシ樹脂の場合、硬化剤(無水フタル酸系のもの)を変えると転移域が若干上下することに注意する必要がある。そこで、1日の拘束時間を11時間として、前後12時間で1サイクルを終了出来るようにプログラムを組んだのが図-2の応力凍結サイクルである。

室温を20°Cとして20°Cから120°Cまで60分まで上げ、60分間120°Cに保ち、120°Cから90°Cまで5°C/hの速度で徐冷し、転移域下端を過ぎて80°Cまでその速度で徐冷し、その後約2時間で20°Cまで下げるのであるが、最後のところは炉内放冷にしてもよい。このように肝心の転移域ではゆつくり徐冷し、それを通過したう冷却速度を速める2段法をとると便利である。



凍結サイクルの中、昇温においてはそれほど注意を払わなくてもよいが、降温に際しては転移域の間を5°C/h~6°C/h以下の速度で通過するようにする注意が必要である。

3. 実験経過と応力解析

モデルA, B, Cの詳細の寸法, 荷重位置, 載荷重の大きさ, 応力解析箇所, スライスの位置などを示せば、図-3の通りである。

最初にテストピースにより光弾性感度の測定を行ない、次に箱桁のモデルA, B, Cそれぞれを応力凍結装置に入れ、載荷装置の準備完了後、最適の荷重の大きさを決定し、加熱, 負荷, 徐冷を行ない、凍結完了したモデルを装置外に取り出す。

次に、図-3に示したスライスの位置より切断し、標準型光弾性装置(二次元)を用いて、等色線, 等傾線を求め、せん断応力差積分法により応力解析を行なった。

応力解析には、電子計算機FACOM 231(室蘭工業大学所有)を用い、図-4に示すフローチャートにより計算を進めた。

なおフローチャートに用いた記号を説明すれば、次の通りである。

ϕ : 主応力方向の角度, n : 等色線縞次数, S : フリンジ応力(kg/cm^2), d : スライスの厚さ(cm), σ_{y0} : 基準の σ_y (kg/cm^2), π : 円周率, τ_{xy} : せん断応力(kg/cm^2), $\tau_{xy, \text{mean}}$: 平均せん断応力(kg/cm^2), $\sigma_{y'}$: y面に働く垂直応力(kg/cm^2), $\sigma_{z'}$: x面に働く垂直応力(kg/cm^2)。

また計算の結果より、各種モデルA, B, Cそれぞれにおける横方向および軸方向の断面応力分布を求め、グラフに表示し、等色線縞写真ならびに等傾線図と共に掲載する。

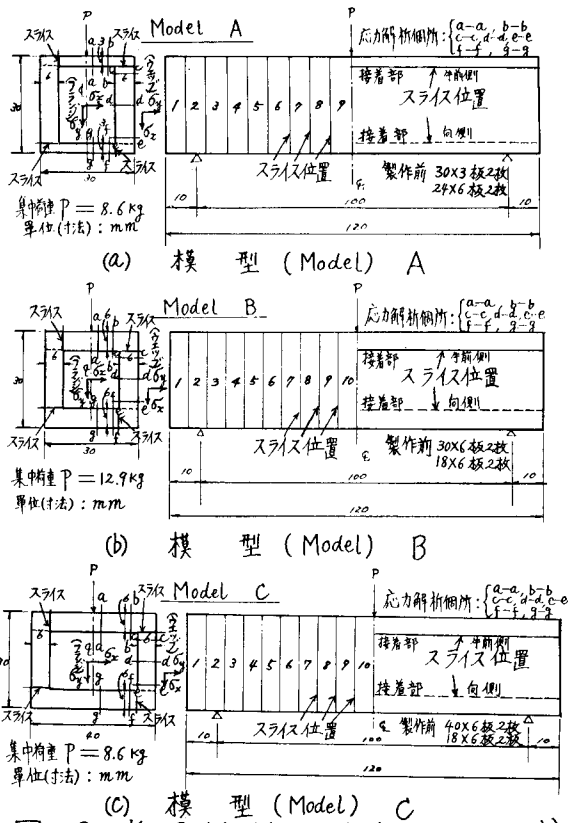


図-3 光弾性模型(A, B, Cの3種)

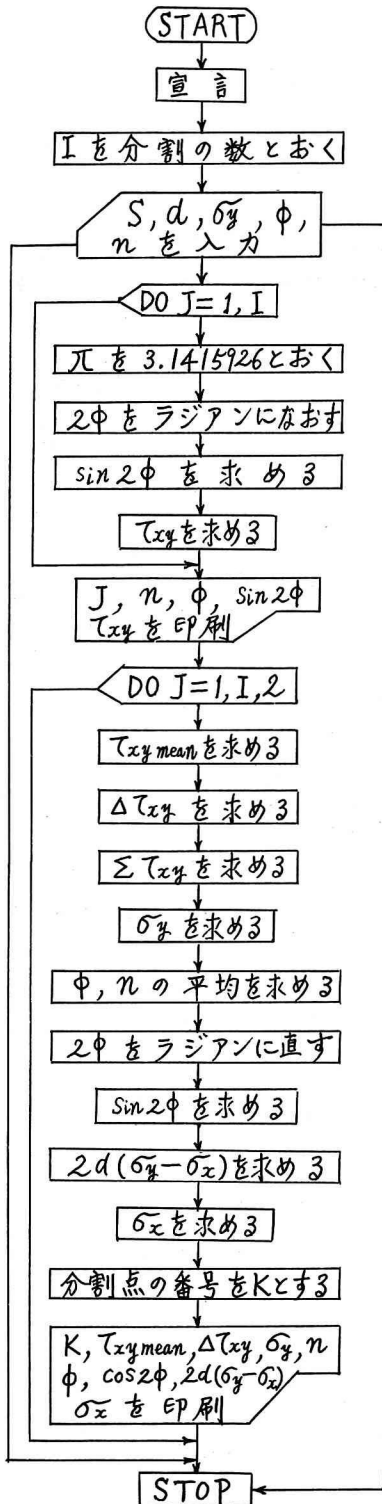
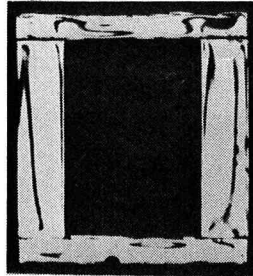


図-4 応力解析のフローチャート

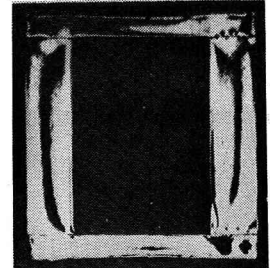
4. 研究成果

(1) 等色線縞写真

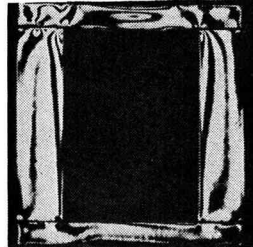
モデルA, B, Cの等色線縞写真を示せば、図-5, 6, 7の通りである。(紙面の関係で横断面スライスの分のみ掲載する。)



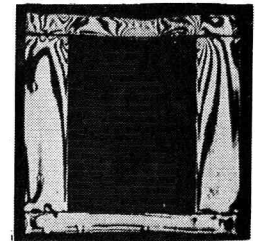
(a) スライス No.2



(b) スライス No.7

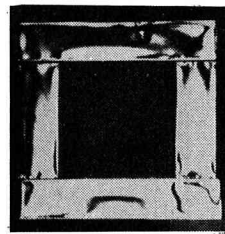


(c) スライス No.8

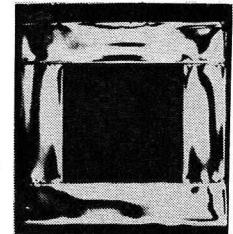


(d) スライス No.9

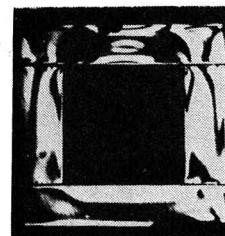
図-5 模型 (Model) A の等色線縞写真



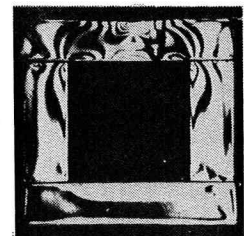
(a) スライス No.2



(b) スライス No.8

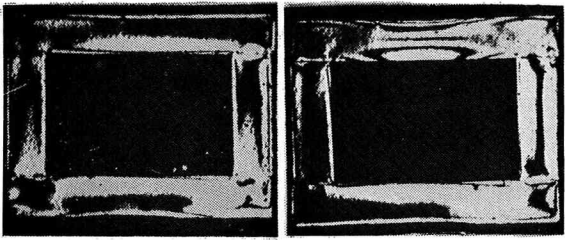


(c) スライス No.9

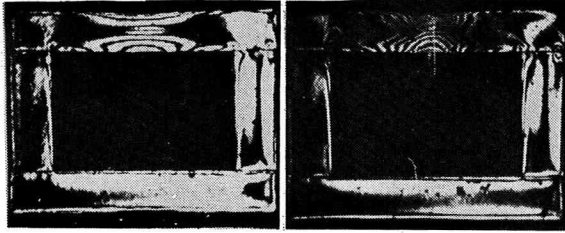


(d) スライス No.10

図-6 模型 (Model) B の等色線縞写真



(a) スライス NO.2 (b) スライス NO.8



(c) スライス NO.9 (d) スライス NO.10

図-7 模型 (Model) C の 等色線 縞写真

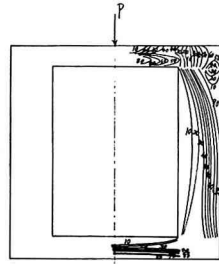


図-8 Model A のスライス No.7 の等傾線

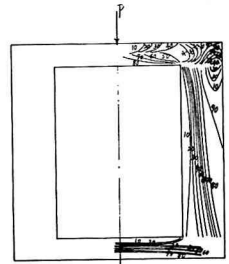


図-9 Model A のスライス No.8 の等傾線

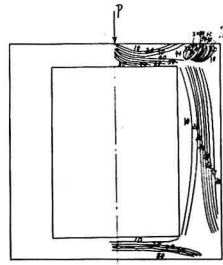


図-10 Model A のスライス No.9 の等傾線

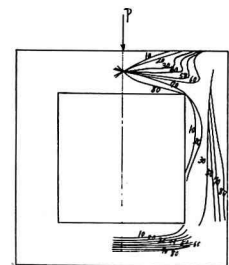


図-11 Model B のスライス No.8 の等傾線

(2) 等傾線図

各模型の横断面スライスの等傾線図を示せば、図-8~図-16の通りである。

(3) 断面応力分布

各模型の上フランジ、ウェブ、下フランジの断面応力分布の一部を示せば、図-17~図-19の通りである。

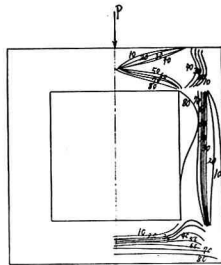


図-12 Model B のスライス No.9 の等傾線

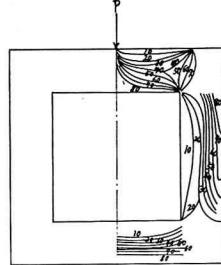


図-13 Model B のスライス No.10 の等傾線

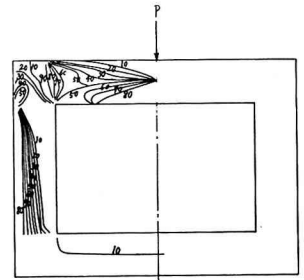


図-14 Model C のスライス No.8 の等傾線

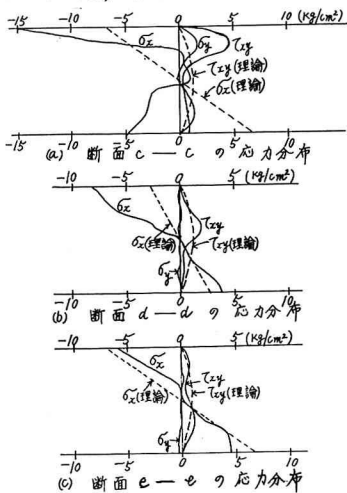


図-17 Model A のウェブ横方向の断面応力分布 (スライス No.8)

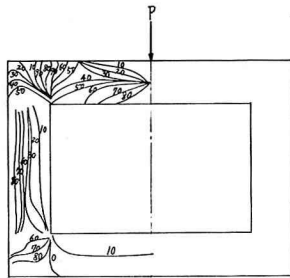


図-15 Model C のスライス No.9 の等傾線

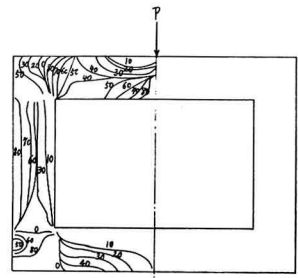


図-16 Model C のスライス No.10 の等傾線

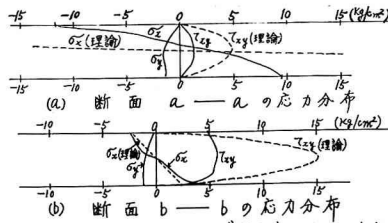


図-18 Model A の上フランジ横方向の断面応力分布 (スライス No.8)

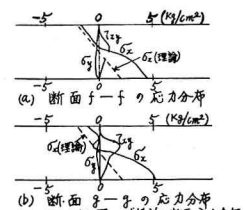


図-19 Model A のウェブ横方向の断面応力分布 (スライス No.8)

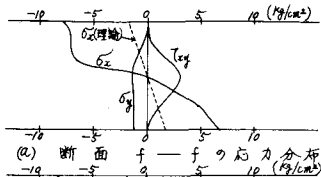


図-20 Model Bの下フランジ横方向の断面応力分布 (スライス No.9)

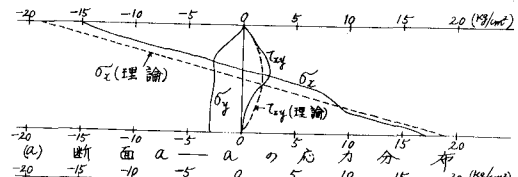


図-21 Model Bの上フランジ横方向の断面応力分布 (スライス No.9)

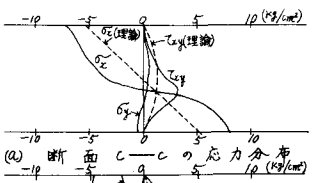


図-22 Model Bのウェブ横方向の断面応力分布 (スライス No.9)

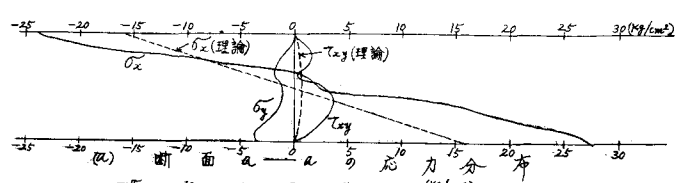


図-23 Model Cの上フランジ横方向の断面応力分布 (スライス No.9)

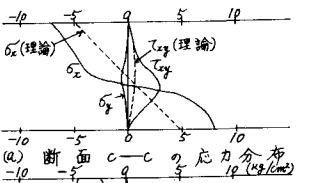


図-24 Model Cのウェブ横方向の断面応力分布 (スライス No.9)

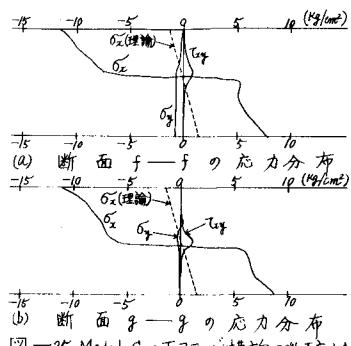


図-25 Model Cの下フランジ横方向の断面応力分布 (スライス No.9)

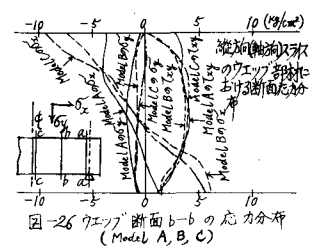


図-26 ウェブ断面b-bの応力分布 (Model A, B, C)

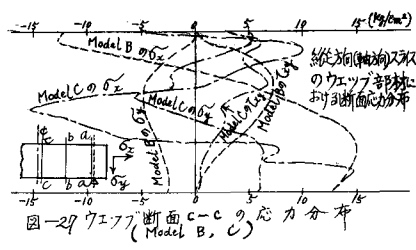


図-27 ウェブ断面c-cの応力分布 (Model B, C)

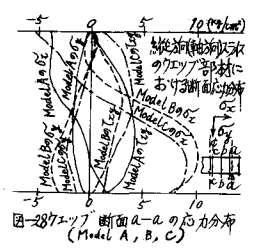


図-28 ウェブ断面a-aの応力分布 (Model A, B, C)

なお、断面応力分布の σ_x の理論計算に用いた解析理論は、剛結合析板構造の厳密解理論(薄肉断面)であり、その計算については、北大学院工学研究科博士課程修了岸徳光氏(電力中央研究所)のご協力を頂いた。

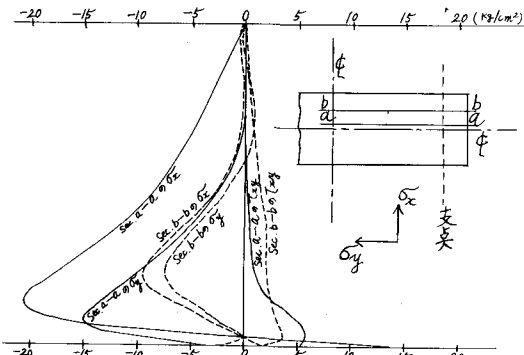


図-29 Model Aの上フランジにおける応力分布

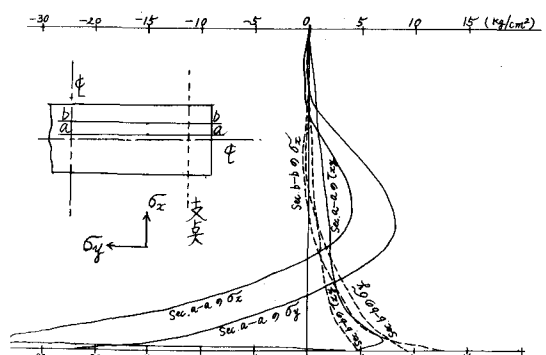


図-30 Model Bの上フランジにおける応力分布

5. 考察

(1) 横断面スライスの応力解析

載荷支持近のスライスの応力分布の方が支え付近や中間部のものより理論計算結果に近接する傾向にあることが確認された。応力分布の大きいのは載荷支持近のスライスなので、これについてのみ述べる。

1) 模型 (Model) A, B, Cとも、異なるた応力分布現象を示したが、理論計算値との比較では、モデルAが最も良く近接し、次にモデルB, Cの順となることが認められた。

2) 各模型とも、 σ_x の応力分布では、実験解析結果の方が理論計算値よりも大きくなる傾向にある。

3) τ_{xy} の応力分布の比較でも、モデルA, Bの上フランジの応力分布以外は、実験解析結果の方が大きくなっている。

4) σ_x の理論値との差異は板厚、応力集中の影響とみる。

(2) 縦方向 (軸方向) スライスの応力解析

載荷支持近を通る断面に関する応力分布についてのみ述べれば、次の通りである。

1) 上フランジ, 下フランジスライスとも、 τ_{xy} の分布は各モデルとも同じ傾向を示し、 σ_x の分布は各モデルとも多少異なった現象を示し、 σ_y の分布は一部異なった現象となる。

2) ウエップスライスでは、 τ_{xy} の分布は各モデルとも同じ傾向を示したが、 σ_x , σ_y ともかなり異なった現象を呈し、また応力集中の影響もかなり見られた。

6. あとがき

本研究では、理論計算で定められない応力現象を種々発見出来たが、接着部による誤差が考えられるので、今後アルゴライトの鋸型流し込み模型による実験をも行なつてみたいと考えている。

なお、ご協力頂いた山蘭工科大学卒業生浦島三郎、泉沢玄一郎、岸徳光 (北大大学院博士課程修了) の三氏に深く感謝の意を表す。

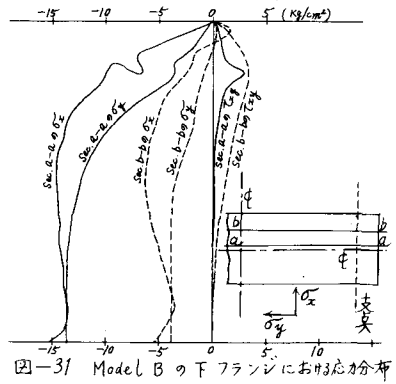


図-31 Model Bの下フランジにおける応力分布

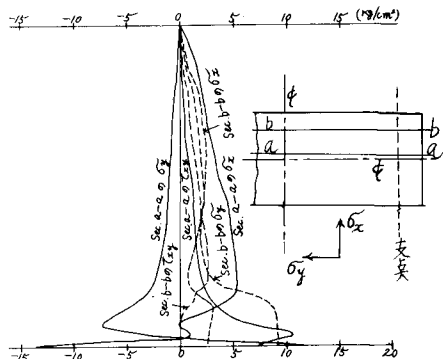


図-32 Model Cの上フランジにおける応力分布

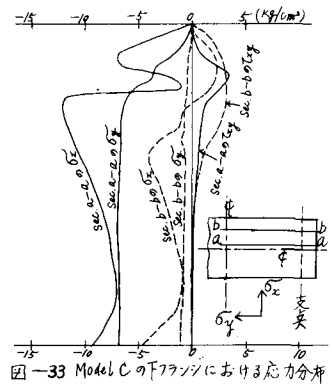


図-33 Model Cの下フランジにおける応力分布