

東京大学土木工学科 正員 奥村 敏 恵
川崎重工鉄構事業部 正員 坂井 藤 一

1. まえがき

一般に薄肉構造物では、集中荷重などの力の導入に対する問題ならびに断面輪郭形状の変化に伴う問題に関連して横結材・補剛材が重要な役割を果たしている。箱型梁の場合にはそのような意味で中間ダイアフラムが用いられているが、現在の所その特性の解析や剛度・配置などの設計に関して未知の点が多く、経験に頼っているのが実情である。

このような問題に関する従来の研究には、折板構造理論に近い考え方をするもの^{*)}と張殻構造理論によるもの^{**)}がある。しかしながら、それらは主として理論手法に関するものにとどまり、また実験による確認はなされていない。ここでは、前者の場合の *V.Z.Vlasov* の閉断面ビームシエルに関する理論によつて理論解析を行なつた結果として中間ダイアフラムの特性を明らかにし、かつある条件下においては膜理論の成立することを数値的に証明した。実物大箱型梁の実験によれば、ここで行なつた解析が実情を良く表わしていると見られる。またそれらの結果から膜理論に対するトランスフォーマトリックスを誘導したが、これは *Vlasov* のものに比べてかなり簡単になっている。

2. 閉断面ビームシエルに関する理論

薄肉平板を構成要素とする立体構造物の理論的取扱ひに関しては、文献 3) において閉断面も含めて平板の面内および面外の両変形作用を比較的厳密に考慮し得る理論手法を示している。それは一種の有限要素法に属するものであるが、またこの種構造物の解析手法としてかなり一般性のあるものと思われた折板構造理論の発展したものと見られる。

一方 *Vlasov* は彼の折板理論に基づき、ある仮定を前提として閉断面の場合にのみ適用可能な理論を展開している⁴⁾。その理論はこの種問題に対して先駆的役割を果たすものと思われる。その理論前提を剛性マトリックスの誘導に際して考慮してやれば、前述の有限要素法の特別な場合として *Vlasov* の理論を得ることができる。今ある計算例について両者の結果を比較すると、一次的な変形量・力学量共に極めて近い結果が得られている³⁾。

以上のように、通常の梁のような構造物で板の面内荷重のみ受ける場合にはその理論前提はかなり妥当と思われる、また計算の簡便なことも考慮して、ここでは後者の理論に基づいて解析を行なう。

3. 理論計算

図-1 に示す長方形断面の頂点に鉛直荷重 P の作用する場合を考えよう。荷重の偏心の影響を分

*たとえば、文献 1)。 **たとえば、文献 2)。

離して扱うと考え易い。これには (イ) と (ロ) の両者が考えられる。一般的には (ロ) のように分けるのが正しく、断面が形状変化せずに剛体変位のみ生ずる時に限り (イ) と (ロ) は同一の状態になる。さて断面形状変化の影響は主として (ロ) の ずり作用 と関連がある。

厳密には曲げ作用に関しても断面変形を考慮すべきであるが、その影響は微小変形の範囲では小さいと判断して無視することにする。

ずり荷重に対して基本方程式は次のようになる。

$$\left. \begin{aligned} a U'' - b_1 U - b_2 \theta' - b_1 x &= 0 \\ b_2 U' + b_1 \theta'' + b_2 x' &= -q_\theta \\ b_1 U' + b_2 \theta'' + b_1 x'' - c x &= -q_x \end{aligned} \right\}$$

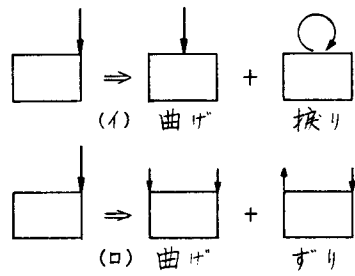


図-1 荷重の分離

ここで、 U 、 θ 、 x はそれぞれ反り、捩れ角、断面変形の各量であり、係数 a 、 b_1 、 b_2 、 c は断面常数、また、 q_θ 、 q_x は荷重項である。断面は二軸対称であることを仮定している。

ダイアフラムはそれ自身の面内変形に対し十分な剛性を有するものとみなし、面外変形に対しては剛性を無視することにすれば、結局ダイアフラムは断面変形量 x を拘束する部材となり、反り変形および捩れ変形は拘束しない。実際には面内・面外の両変形作用に対して有限な剛性を持つ変形隔壁として扱う必要があるが、ここでは一般的な傾向を観察する目的で前記の仮定に従った。よつて、断面 i にダイアフラムが配置されているとすれば、 $x_i = 0$ が成立する。この時ダイアフラムと梁の間に働く不静定力 (横方向曲げモーメント) Q_i からダイアフラム周辺に作用するせん断応力は、 $x_i = Q_i / (\text{長方形断面の面積} \times 2)$ として求める。

計算は梁の両端で単純支持なる境界条件 ($\theta = 0$ 、 $x = 0$ 、 $U' = 0$) の場合を行なった (トランスフォーマトリックス法およびフーリエ級数法)。フーリエ級数法の場合力学量の不連続点では 50 項目とらないと収束しないようである。

4. 中間ダイアフラムの影響

以下に計算結果の数例を挙げ、中間ダイアフラムの影響について考察する。

図-2 はダイアフラム個数によつて反りモーメントの減少する様子を示したものであるが、ある個数以上は余り有効に働かないことが分る。また板の曲げ剛性も考慮した結果と面内剛性のみ考慮した膜理論の結果とが接近して遂に一致する個所があることも分る。

図-3 は梁長の短い場合に板厚の変化と反りモーメントの関係を示す一例であるが、ダイアフラムを配置することによつて断面力に板厚の影響が及ばなくなり、したがつてこの場合には板の曲げ剛性を無視してもよいことが分る。

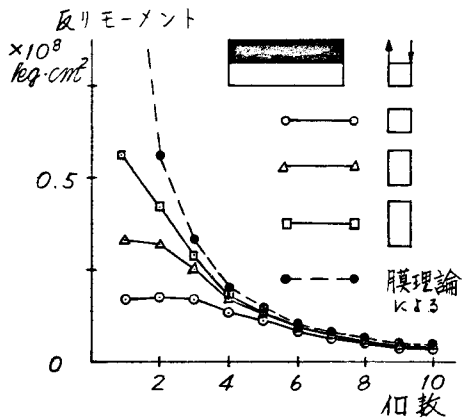


図-2 ダイアフラム個数の影響

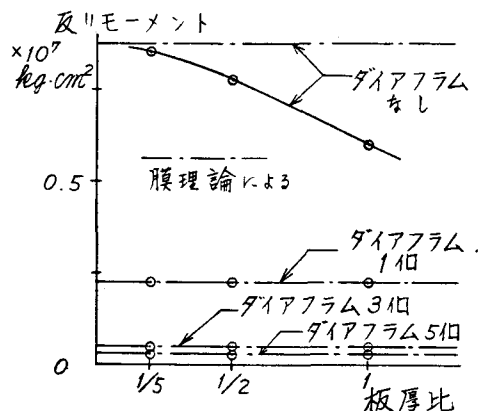


図-3 断面板厚の影響

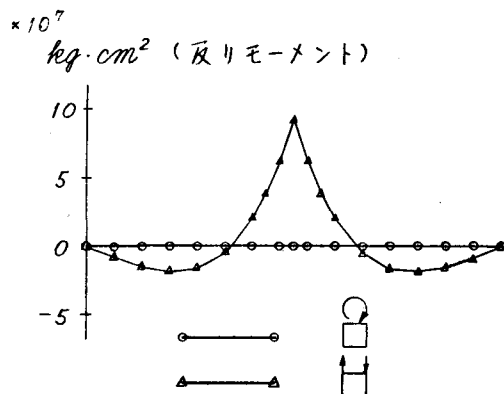


図-4 純ねじり荷重とずり荷重

図-4 は中間ダイアフラムのない場合にいわゆる純ねじり荷重の作用とずり荷重の作用とでは、著しく相異のあることを示す図である。ダイアフラムの配置によつてこの相異は消失する。

以上のような考察より中間ダイアフラムの影響は次のように要約することができよう。

- 応力の減少と剛性の増加
- 断面形状の保持 —— 曲げ捩れ理論の前提を保証する。
- ずり荷重から純ねじり荷重への変換 —— ダイアフラムは一種の攪乱応力としての集中ずり荷重を梁の全長にわたつて滑らかに伝えている。
- 面内作用の卓越 —— 個数の増加と共に平板の曲げ作用の影響は小さくなり、膜理論の成立を保証する。

5. 膜理論

断面形状・支間長など種々のパラメータの組合せを計算した結果から、ある程度の数のダイアフラムを配置すれば、梁を構成する平板の面内作用のみ考慮した膜理論が成立するものと思われる。

この場合の基本方程式は、前述の式中で $C=0$ とすれば得られる。

この時トランスフォーマトリックスは Vlasov の誘導したものと異なり次のようになる。

表-1 トランスフォーマトリックス
(膜理論)

	χ_0	U_0	θ_0	H_0	B_0	Q_0
χ	1	$-\mathcal{Z}$	0	$-\gamma_2 \mathcal{Z}$	$\frac{\mathcal{Z}^2}{2a}$	$-\frac{\mathcal{Z}^3}{6a} + \gamma_1 \mathcal{Z}$
U	0	1	0	0	$-\frac{\mathcal{Z}}{a}$	$\frac{\mathcal{Z}^2}{2a}$
θ	0	0	1	$\gamma_1 \mathcal{Z}$	0	$-\gamma_2 \mathcal{Z}$
H	0	0	0	1	0	0
B	0	0	0	0	1	$-\mathcal{Z}$
Q	0	0	0	0	0	1

6. 実験による確認

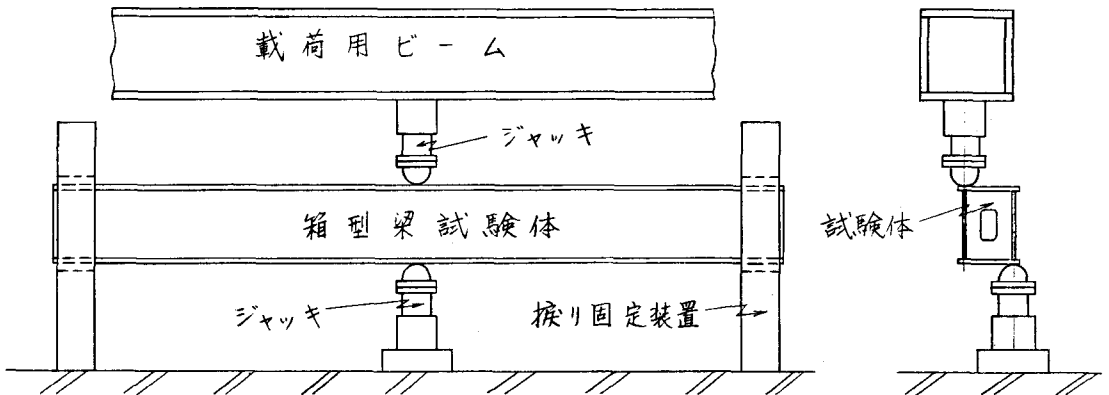


図-5 実験概要図

図-5のような実験装置によつて箱型梁に集中ずり荷重を実現させた。試験体は板厚 6 mm 、断面 $50\text{ cm} \times 30\text{ cm}$ および支間長 5 m の箱型梁で、ダイアフラム個数の影響を観察するために中間ダイアフラムの数が $0, 1, 5$ の計 3 体を作成した。

図-6および図-7は実験結果の一例であるが、変位・応力共に理論計算と実験とはかなり良く合っており傾向的には全く一致していることが分る。

7. 結 語

以上において中間ダイアフラムの特性を解析し、ある場合には膜理論の成立することを示した。

薄板の力学では経験的に従来から板の面内剛性のみ考慮して来たが、ここでの結果はこれを裏づけるものと言えよう。

さらに一般的な台形断面の場合などに対しても、すでにある程度の結果を得ているが、別の機会に発表したいと思う。

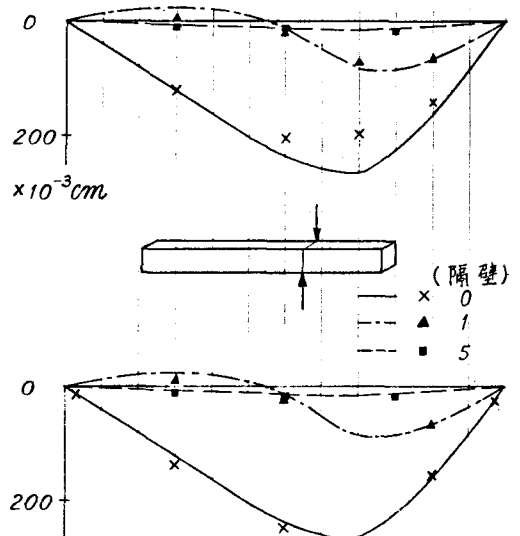


図-6 変位の実験値と理論値

文 献

- 1) 能町純雄, 土木論文集第146号, 1967
- 2) Richmond, B., Proc. of ICE, 1966
- 3) 奥村・坂井, 土木論文集第176号, 1970
- 4) Vlasov, V. Z., 薄肉弾性梁の理論

(奥村他訳, 技報堂, 1967)

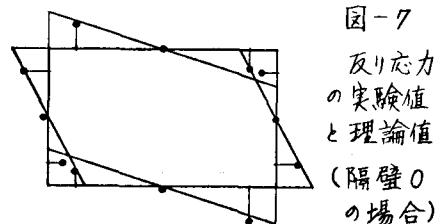


図-7

反り応力の
実験値
と理論値
(隔壁0
の場合)