(昭和 32 年 11 月造船協会秋季講演会に於て講演)

肘板を有する固定梁の実験について

正員 山口 勇 男*

On the Tests of Fixed Beam with Brackets

By Isao Yamaguchi, *Member*

Abstract

Many results of the researches on structures containing brackets have been published by various researchers, while there have been scarcely any experimental data which justify these results. The author was able to conduct the tests on a perfectly fixed beam by using a acrylic material. According to the test results, it was found that the portion at the brackets did not follow the results predicted by the beam theory and the calculation currently used with a changing section resulted in an overestimation of the rigidity at the brackets. Hence, in this case, it is desirable to replace the brackets by the assumed effective brackets, as described in the present paper, and calculate with a changing section of the new brackets.

In the present paper, an approximate formula which had been obtained by introducing the idea of a span point was used to simplify the calculation on a fixed beam with brackets.

It was also found, as a result of the tests, that a lightening hole in the bracket had small effect on the flexural rigidity of the bracket, while a change in a shape of the flange on the bracket had a remarkable effect.

1. 緒 言

構造物に附してある肘板の取扱いについては Richard Guldán⁽¹⁾ がその著書 “Rahmentragwerke und Durchlaufträger” の中で肘板の部分を変断面の梁として取扱い、これを撓度撓角法に適用している。この著書の中には種々の形の肘板を変断面の梁として計算した膨大な表をも与えている。また Georg Vedeler⁽²⁾ は Primary Moment Method を使用した場合の肘板の取扱いについて前述の Guldán の表を引用して変断面の梁として取扱っている。Erik Steneroth⁽³⁾ は実船の横強度計算に肘板のところを変断面の梁として計算している。

以上のような研究が行われているが、これらはすべて肘板のところを変断面の梁として取扱つたもので船体を使用するような肘板の場合果してこのように取扱うことが妥当であるかについては現在のところ実験的裏付けが少い。Glengarnock⁽⁴⁾ の実験は船体用部材について種々実験を行つているが固着の点について相当の疑問が残されている。また B. Mayfield⁽⁵⁾ 及び R. C. Coates は次のような方法で実験を行つている。(第 1 図) 即ち W_1 , W_2 , W_3 の荷重を加えて A 点及び B 点の傾斜が零になるように W_2 , W_3 を調整して固定梁の実験を行い、その実験結果が変断面として解析した計算結果と大体一致することを発表している。この実験で行つたものは船体に用いる肘板のようなものではなく、土木建築等に用いる変断面理論によく合うような θ の小さい範囲内である。

以上のような実験結果が発表されているが肘板を有する固定梁において肘板の影響を調査するに充分な実験は見当らぬようである。筆者は種々の形状の肘板の試験片を合成樹脂(アクリライト)で製作し、この両端を銅製の治具で締付ける方法で固定梁の実験を行い、肘板の影響を調査することが出来たのでここにその概要を報告する。

第 1 図

原稿受付. 7 月 15 日

* 日本海事協会技術研究所

2. 試験片及び実験方法

今回行つた実験の種類は下記のとおりである。

- A グループ 肘板の角度を変化させたもの（4種類）
- B グループ 肘板の大きさを变化させたもの（5種類）
- C グループ 肘板の大きさを一定にして梁の全長を变化させたもの（4種類）
- D グループ 軽目孔の大きさを变化させたもの（3種類）
- E グループ 肘板の遊縁の形を变化させたもの（4種類）
- F グループ Bグループの肘板の遊縁を丸めたもの（4種類）

各試験片の寸法を第1表に示す。

試験片は総て左右対称で一樣断面の部分の深さは 30mm である。また使用したアクリライトは公称 10mm（実際は 9.2~9.4mm）のものである。

ここでDグループは A-2 と同じ大きさの試験片に軽目孔をあけたもので、その中心は肘板の三角形の部分の内心である。（内接円の直径は 47mm）Eグループは A-2 と同じ試験片の肘板の遊縁の部分に ACB（第2図）のように $80R$ をとり、C点と F 点（AB の中点）の間を3等分した点を D,E とし、各々 AEB, ADB, ACB を通る円弧を作る。AFB が E-1, AEB が E-2, ADB が E-3, ACB が E-4 である。

第 1 表

Group	Mark	l (mm)	b (mm)	h (mm)	θ°	J (mm)	R (mm)
A - Group	A-1	580	80	150	56.3		
	A-2*	580	80	110	45		
	A-3	580	80	76	30		
	A-4	580	80	47	12		
B - Group	B-1	580	120	150	45		
	B-2	580	100	130	45		
	B-3*	580	80	110	45		
	B-4	580	60	90	45		
	B-5	580	40	70	45		
C - Group	C-1	480	80	110	45		
	C-2*	580	80	110	45		
	C-3	680	80	110	45		
	C-4	780	80	110	45		
D - Group	D-1	580	80	110	45	13	
	D-2	580	80	110	45	25	
	D-3	580	80	110	45	35	
E - Group	E-1*	580	80	110	45		
	E-2	580	80	110			209
	E-3	580	80	110			110
	E-4**	580	80	110			80
F - Group	F-1	580	120	150			120
	F-2	580	100	130			100
	F-3*	580	80	110			80
	F-4	580	60	90			60

※ A-2, B-3, C-2, E-1 Same Test Piece

※※ E-4, F-3 Same Test Piece

FグループはBグループと同じ大きさの試験片(B-5を除く)の肘板の遊縁部に b の R をつけたものである。(第3図参照)

本実験に使用した固着装置を第4図に示す。その固着方法は摩擦によるものであるが、その摩擦力を大にするため試験片の両面に紙やすりを挿入した。

また荷重の方法は 1,480 g, 2,480 g, 3,480 g の 3 種類の重錘を使用した。荷重点は 7 種類 (B-1, C-1, F-1, は 5 種類) 変化させた。即ち中央集中荷重及びその左右に 50 mm ずつ移動させたものである。(第5図)

曲げモーメント分布を測定するため第5図の①～⑧の各断面の上縁下縁に抵抗線歪計ゲージ(標点距離 9 mm)を貼布して梁の各断面の曲げモーメントを測定した。

アクリライトは温度に対して非常に敏感であるので、この実験は恒温室で行い温度の変化は極力避けるようつめた。また抵抗線歪計の温度補償については特別の措置としてダミーもアクティブと類似の形状のものをを用い、両端を固着装置で固着しアクティブのゲージ各々に対応させた。加重直後はクリープの影響があるので加重 5 分後に測定を行った。このような措置により温度、クリープの影響は避けられたと考えられる。

第6図は試験片を固着装置に取付けた写真を示す。

3. 実験結果及び解析

A. 実験結果

今回行った実験結果の一例として A-1 の場合の曲げモーメント分布を第7図に示す。上段は中央集中荷重の場合、次段は中央から右方 50 mm のところに荷重を加えた場合(実線)及び中央から左方 50 mm のところに荷重を加えた場合(破線)で以下同様 50 mm ずつ荷重が右(実線)左(破線)に移った場合である。また3本の線は各々荷重 1,480 g, 2,480 g, 3,480 g の3種類を示す。縦軸は各断面の上縁の歪(ϵ_1)と下縁の歪(ϵ_2)との差($\epsilon_1 - \epsilon_2$)を示す。

第 2 図

第 3 図

第 4 図 試験片固着装置

第 5 図

第 6 図 試験片を固着装置に取付けたところ

第7図 A-1 曲げモーメント分布

第8図

固定曲げモーメントの変化は少いが(第12図)肘板の遊縁の変化による固定曲げモーメントの変化は顕著である。(第13図)

B. 計算値との比較

肘板を有する固定梁の固定曲げモーメントは肘板の部分を変断面の梁として考えると次のような方法で求められる。

即ち第15図(a)のような左右対称の肘板を有する梁を両端支持の状態にA端に $M=1$ の単位曲げモーメントを加えた場合の $\frac{M}{EI}$ 図は第15図(c)のようになる。一般に梁の一端の回転角は $\frac{M}{EI}$ 図の面積の他端に関するモーメントを梁の全長 l で割ったものである。肘板のない一様断面の梁の場合、A点の回転角は $\frac{l}{3EI}$ 、B点の回転角は $\frac{l}{6EI}$ となる。

この図からわかるように中央集中荷重の場合、曲げモーメント零の点は全長の $1/4$ (一様断面固定梁の場合) より中央に寄っていて肘板の影響が現われている。

これらの曲げモーメント分布図から固定点の曲げモーメントを次のような方法で求める。(第8図)即ちA点の反力を μP 、E点の反力を $(1-\mu)P$ とし、A, C, E 各点の曲げモーメントを M_1, M_2, M_3 とする。 $M_1, M_3 > 0, M_2 < 0$ である。 M_1, M_2, M_3, μ と l_1, l_2, l_3, l_4 の間には次のような関係がある。

$$\left. \begin{aligned} l_1 &= -\frac{M_1}{M_2} \\ l_2 &= -\frac{M_2}{M_3} \\ l_3 &= -\frac{M_2}{M_3} \\ l_4 &= -\frac{M_2}{M_3} \end{aligned} \right\} (1)$$

$$\begin{aligned} M_1 - M_2 &= \mu P(l_1 + l_2) \\ M_3 - M_2 &= (1-\mu)P(l_3 + l_4) \end{aligned}$$

(1) 式から M_1 を l_1, l_2, l_3 表わすと

$$M_1 = \eta_1 P l$$

$$\text{ここで } \eta_1 = \frac{l_1 l_3}{(l_2 + l_3) l} \quad (2)$$

l_1, l_2, l_3 を実験結果から求めて M_1 を決定することができる。この方法はEIによる誤差をなくすために行つたものである。

各グループの影響線 (η_1 の値) を第9図〜第14図に示す。縦軸は η_1 の値を示し、横軸は荷重点の位置と全長との比 $\left(\frac{l_1 + l_2}{l}\right)$ を示す。破線は肘板のない一様断面の梁の影響線 (η_1 値) である。肘板の大きさが梁の大きさに対して大きいもの程肘板の影響が現われている。また軽目孔の大きさによる

第 9 図 Aグループ影響線（実験値）

第 10 図 Bグループ影響線（実験値）

肘板を有する場合のA点、B点の回転角を α, β とすると（第 15 図（b））

$$\alpha = \frac{l}{3EI_0} k_\alpha$$

$$\beta = \frac{l}{6EI_0} k_\beta \quad (3)$$

となる。ここで k_α, k_β は肘板による係数で肘板のない場合は各々 1 である。

また第 15 図（d）のように両端支持の梁に集中荷重が加わった場合の $\frac{M}{EI}$ 図は第 15 図（e）のようになる。この場合の両端の回転角は上述の方法で求められる。A点、B点の回転角を α_a, α_b とすると

第 11 図 C グループ影響線 (実験値)

第 12 図 D グループ影響線 (実験値)

$$\alpha_a = \frac{Pl^2}{EI_0} k_a$$

$$\alpha_b = \frac{Pl^2}{EI_0} k_b$$

(4)

となる。ここで k_a, k_b も肘板による係数である。肘板のない場合は

$$k_a = \frac{l_a l_b}{6l^3} (l_b + l)$$

$$k_b = \frac{l_a l_b}{6l^3} (l_a + l)$$

となる。 l_a はA端から荷重点迄の距離、 l_b はB端から荷重点迄の距離である。

肘板を有する場合の k_a, k_b, k_a, k_b の値は肘板の形及び大きさにより異なる。今回行つた実験の A, B, C 各グ

第 13 図 Eグループ影響線（実験値）

第 14 図 Fグループ影響線（実験値）

ループの肘板の場合は k_α , k_β , k_a , k_b の値が割合簡単に計算できるが、肘板の形が複雑になると積分等を用いなければならない。

肘板を有する固定梁が任意の点に集中荷重を受けた場合、A点、B点の固定曲げモーメントを各々 M_1 , M_2 とすると M_1 , M_2 は A, B 両点の傾斜角が零であるという条件から次のように求められる。即ち、

$$M_1\alpha + M_2\beta - \alpha_a = 0$$

$$M_1\beta + M_2\alpha - \alpha_b = 0$$

故に

$$M_1 = \frac{\alpha_a\alpha - \alpha_b\beta}{\alpha^2 - \beta^2}$$

$$M_2 = \frac{\alpha_b\alpha - \alpha_a\beta}{\alpha^2 - \beta^2}$$

第 15 図

肘板内の応力分布については筆者も実験を行ったが、肘板内の垂直断面においては梁の長さ方向の応力は梁理論とは異つた分布をする。この傾向は肘板の角度が大きくなるとひどくなる。

実際の肘板の角度を θ 、有効肘板の角度を θ' とし θ と θ' との比 $\left(\frac{\theta'}{\theta}\right)$ を γ とする。A, B 各グループで行つた実験値から γ を求めると第 18 図のようになる。横軸は実際の肘板の角度 (θ°) 縦軸は γ の値 (%) を

第 16 図 A グループ影響線 (実験値と計算値との比較)

となる。ここで $\alpha, \beta, \alpha_a, \alpha_b$ は (3), (4) 式から求めたものである。

肘板の長さ (b) と梁の全長 (l) との比 $\left(\frac{b}{l}\right)$ を λ とし、一様断面の部分の断面 2 次モーメント (I_0) と肘板の外端の断面 2 次モーメント (I_e) との比 $\left(\frac{I_0}{I_e}\right)$ を n とすると、A, B, C グループのように遊縁が直線の肘板を有する梁の諸性質は λ, n をパラメーターとして変化する。

なお数値計算に際しては Guldán⁽¹⁾ の表及び寺田氏⁽⁶⁾ の計算結果を参照した。

このようにして行つた計算結果と A グループで行つた実験結果とを比較してみる。A グループの試験片は $l=580$ mm, $b=80$ mm で $\lambda=0.138$ である。 $\lambda=0.138$, $n=0, 0.01, 0.04, 0.1, 0.2, 0.5, 1.0$ の場合について梁の左端の固定曲げモーメントの影響線 (η_1 の値) を画くと第 16 図のようになる。実験結果は A-2 (●印), A-4 (○印) の場合を示す。

A-2 について述べると A-2 の n の値は

$$n = \left(\frac{3}{11}\right)^3 \approx 0.02$$

である。しかして実験値は殆んど計算上の $n=0.04$ の曲線上にある。このことは実際の肘板 (第 17 図参照) は ABCD であるが、この部分は梁理論に従わないので A B'CD の仮定の肘板を考えて、この肘板が梁理論に従うとした計算値と同等であるということの意味する。この仮定の肘板を有効肘板と称することにする。

示す。

現在行われている肘板を有する部材の取扱いに総て梁理論が肘板の部分でも成立するとの条件の下で計算が行われているが、今回行つた実験結果からわかるように肘板のところは梁理

第 17 図

第 18 図 実際の肘板の角度と有効肘板の角度との比

論に従わないので上述のような有効肘板を考えて計算した方が実際に近いものになると思われる。

4. 肘板を有する固定梁の簡易計算法

A. スパンポイントについて

肘板を有する固定梁の曲げモーメントを計算する場合(5)式で表わされる変断面の計算を行うのは相当の手数要するので、ここでは簡易計算法について考察する。

中央集中荷重の場合の肘板付固定梁の曲げモーメント分布は第 19 図ようになる。また肘板を有しない一様断面の梁を考えると破線のようになり、曲げモーメント零の点 F, G は AC, CB の中点になる。肘板を付した場合はこの破線の曲げモーメントを上方に平行移動した形になる。

この場合 $CD=DS_1$, $CE=ES_2$ になるような 2 点 S_1, S_2 を何等かの方法で求めることができると肘板を有する固定梁の曲げモーメント分布は S_1S_2 を全長とする一様断面の固定梁の曲げモーメント分布に等しくなる。このような 2 つの点 S_1, S_2 をスパンポイントと称することにする。

第 19 図

井口博士⁽⁷⁾は肘板を有する梁に対し、これと弾性的にある程度等価値な一様断面の梁を仮想し、それを代用梁と呼んでいる。代用梁においてはその両端のある長さが剛、即ちヤング係数が無限大であるとし、与えられた端末曲げモーメントと荷重に対し、実際の梁と代用梁との両端の傾斜角が相等しいとしてこれに必要な条件式を求めている。代用梁における剛な部分の長さは、この条件式から決定される。もし実際の梁が固定梁であるならば、代用梁の両端を固定したときに、その両端の剛な部分の端の点上記のスパンポイントとなることを説明している。元来スパンポイントは固定梁に関するものであるが、それを広義に考えて、代用梁の剛な部分の端の点を言うものとして扱っている。

また、井口博士及び筆者⁽⁸⁾⁽⁹⁾⁽¹⁰⁾は肘板を有し横断面が矩形の梁について 2, 3 の簡単な場合の広義のスパンポイントを上記の条件式から計算し、且つスパンポイントの近似式を与えている。以下においては簡単にこれを説明することにする。

第 20 図は実際の梁と代用梁を示すものであつて、 M_1, M_2 を両端に与えられた曲げモーメントとする。一般に M_1, M_2 は固定モーメントではなく、任意に与えられた曲げモーメントである。若し固定梁であるならば、これらは固定モーメントとなる。また M' を両端支持とした場合の荷重による曲げモーメントとする。しかるときは任意の点の曲げモーメントは

第 20 図

$$M = M_1 + \frac{M_2 - M_1}{l}x + M'$$

で表わされる。撓み y の式は

$$\frac{d^2y}{dx^2} = \frac{M}{EI}$$

となる。肘板を有する場合は I が x の関数である。これを積分すると

$$\frac{dy}{dx} = \int \frac{M}{EI} dx + C$$

$$y = \iint \frac{M}{EI} dx dx + Cx + C'$$

しかして $x=0$ において $y=0$ $\therefore C'=0$

また $x=0$ において $\frac{dy}{dx} = \theta_1$ $\therefore C = \theta_1$

$$\therefore \frac{dy}{dx} = \int \frac{M}{EI} dx + \theta_1$$

$$y = \iint \frac{M}{EI} dx dx + \theta_1 x$$

次に $x=l$ において $dy/dx = \theta_2$

$$\therefore \theta_2 - \theta_1 = \int_0^l \frac{M}{EI} dx \quad (6)$$

また $x=l$ において $y=0$

$$\therefore \theta_1 = -\frac{1}{l} \int_0^l \int_0^x \frac{M}{EI} dx dx \quad (7)$$

肘板を有する実際の梁に対応する代用梁の存在する条件を求める。

$$[\theta_2 - \theta_1]_{\text{act}} = \int_0^l \frac{M}{[EI]_{\text{act}}} dx \quad (8)$$

$$[\theta_1]_{\text{act}} = -\frac{1}{l} \int_0^l \int_0^x \frac{M}{[EI]_{\text{act}}} dx dx \quad (9)$$

$$[\theta_2 - \theta_1]_{\text{equiv}} = \int_0^l \frac{M}{[EI]_{\text{equiv}}} dx \quad (10)$$

$$[\theta_1]_{\text{equiv}} = -\frac{1}{l} \int_0^l \int_0^x \frac{M}{[EI]_{\text{equiv}}} dx dx \quad (11)$$

代用梁の第一条件は (8) 式と (10) 式が等しいこととする。第 2 条件は (9) 式と (11) 式が等しいこととする。これは換言すれば実際の梁と代用梁とにおいて両端の傾斜角が相等しいことである。これを式で表わすと次のようになる。

$$\int_0^{b_1} \frac{M}{I} dx + \int_{l-b_2}^l \frac{M}{I} dx = \frac{1}{I_0} \int_{c_1}^{b_1} M dx + \frac{1}{I_0} \int_{l-b_2}^{l-c_2} M dx \quad (12)$$

$$\begin{aligned} & \int_0^{b_1} dx \int_0^x \frac{M}{I} dx + \int_{b_1}^l dx \int_0^{b_1} \frac{M}{I} dx + \int_{l-b_2}^l dx \int_{l-b_2}^x \frac{M}{I} dx \\ &= \frac{1}{I_0} \int_{c_1}^{b_1} dx \int_{c_1}^x M dx + \frac{1}{I_0} \int_{b_1}^l dx \int_{c_1}^{b_1} M dx + \frac{1}{I_0} \int_{l-b_2}^{l-c_2} dx \int_{l-b_2}^x M dx + \frac{1}{I_0} \int_{l-c_2}^l dx \int_{l-b_2}^{l-c_2} M dx \end{aligned} \quad (13)$$

(12) (13) の 2 つの条件を満足するような代用梁の S_1, S_2 の 2 点が広義のスパンポイントとなる。梁の形状も荷重も左右対称の場合の広義のスパンポイントの条件式は次のようになる。

$$\int_0^{b_1} \frac{M}{I} dx = \frac{1}{I_0} \int_{c_1}^{b_1} M dx \quad (14)$$

以下簡単な場合について広義のスパンポイントを求める。

(a) 両端の端部曲げモーメントが等しく中央集中荷重を受けた左右対称梁の場合⁽⁹⁾

梁の形状を第 21 図に示す。この場合の肘板のある断面の断面 2 次モーメントは梁の横断面が矩形であるから次のようになる。

$$I = \frac{t}{12} \left\{ h_1 - \frac{h_1 - h_0}{b} x \right\}^3 \quad (15)$$

両端に端部曲げモーメント M_0 があつた場合の曲げモーメント分布は

$$M = M_0 \left(1 - \frac{x}{l_1} \right)$$

の形で表わされる。ここで l_1 は梁の端から曲げモーメントが零になる点までの距離である。この場合の広義のスパンポイントの条件式は次のようになる。

$$\int_0^b \frac{M_0 \left(1 - \frac{x}{l_1} \right) dx}{\frac{t}{12} \left\{ h_1 - \frac{(h_1 - h_0)}{b} x \right\}^3} = \frac{M_0}{t h_0^3} \int_c^b \left(1 - \frac{x}{l_1} \right) dx \quad (16)$$

$$\frac{s}{b} = 1 - \frac{c}{b} = 1 - \frac{l_1}{b} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{\delta - 1}{\delta^2} \frac{b}{l_1} \left\{ 1 + 2\delta - \frac{b}{l_1} \delta \right\}} \right] \quad (17)$$

ここで $\delta \equiv \frac{h_1}{h_0}$ である。

$\frac{s}{b}$ と $\frac{l_1}{b}$ との関係を $\delta = 2, 3, 4, 5$ の場合について計算した結果を第 22 図に示す。縦軸は $\frac{s}{b}$, 横軸は $\frac{l_1}{b}$ を示す。 $\frac{l_1}{b} > 1.5$ の場合は $\frac{s}{b}$ の変化は殆どない。 $\frac{l_1}{b} \rightarrow \infty$ の場合が一様曲げモーメントの場合である。

普通の船体用肘板の場合では $l > 6b$ であるので, $\frac{l_1}{b}$ の値は 1.5 以上になる。故にこの場合のスパンポイントは一様曲げモーメントの場合の広義のスパンポイントに近似的に等しい。

(b) 一様曲げモーメントを受けた左右対称梁の場合⁽⁸⁾ この場合の広義のスパンポイントは次のような簡単な形になる。

$$\frac{s}{b} = 1 - \frac{c}{b} = \frac{1}{2} \frac{h_0}{h_1} \left(1 + \frac{h_0}{h_1} \right) \quad (18)$$

この式で表わされる値は (17) 式の漸近線となる。(18)で求めた値を $\delta = 2, 3, 4, 5$ の場合について第 22 図の中に破線で示す。この図からわかるように固定梁の中央集中荷重の場合は δ の値が大きいところでは (17) 式で

第 22 図 (17) (18) 式の計算結果

第 23 図

求めた値と(18)式で求めた値とは近似的に等しいが、 δ の値が小さくなつてくるとその差がすこし大きくなつてくる。(17)式に於て $\frac{l_1}{b} = 2.0$ の場合(17)式の値と(18)式の値との差は $\delta = 1.6$ 位で最大値を示し、その値は $\frac{s}{b}$ の値にして 0.04 である。

(c) 一様曲げモーメントを受けた左右非対称梁の場合⁽¹⁰⁾この場合の梁の形状を第 23 図に示す。このような場合の広義のスパンポイントの式は次のようになる。

$$\frac{b_1(h_0+h_1)}{2h_1^2} + \frac{b_2(h_0+h_2)}{2h_2^2} = \frac{s_1}{h_0} + \frac{s_2}{h_0} \quad (19)$$

$$\frac{b_1^2}{h_1^2} + \frac{b_1(l-b_1)(h_0+h_1)}{h_0h_1^2} + \frac{b_2^2}{h_0h_2} = \frac{\{2(l-b_1)+s_1\}s_1}{h_0^2} + \frac{(2b_2-s_2)s_2}{h_0^2}$$

(19) 式の第一式の左右両辺の第一項、第二項同志が等しいとすると次の近似式を得る。

$$\frac{s_1}{b_1} = \frac{1}{2} \frac{h_0}{h_1} \left(1 + \frac{h_0}{h_1} \right) \quad (20)$$

$$\frac{s_2}{b_2} = \frac{1}{2} \frac{h_0}{h_2} \left(1 + \frac{h_0}{h_2} \right)$$

$h_1 = 2h_0, b_1 = h_0, h_2 = 3h_0, b_2 = 2h_0$ の場合及び $h_1 = 3h_0, b_1 = 2h_0, h_2 = 4h_0, b_2 = 3h_0$ の場合について、 $l = 5h_0, 10h_0, 20h_0$ 及び ∞ の場合の(19)式及び(20)式の計算結果を第 2 表に示す。

第 2 表

	$l = 5h_0$		$l = 10h_0$		$l = 20h_0$		$l = \infty$	
	s_1/b_1	s_2/b_2	s_1/b_1	s_2/b_2	s_1/b_1	s_2/b_2	s_1/b_1	s_2/b_2
$h_1 = 2h_0, h_2 = 3h_0$	0.351	0.234	0.366	0.227	0.371	0.224	0.375	0.222
$b_1 = h_0, b_2 = 2h_0$	(0.375)	(0.222)	(0.375)	(0.222)	(0.375)	(0.222)	(0.375)	(0.222)
$h_1 = 3h_0, h_2 = 4h_0$	0.196	0.174	0.218	0.159	0.221	0.157	0.222	0.156
$b_1 = 2h_0, b_2 = 3h_0$	(0.222)	(0.156)	(0.222)	(0.156)	(0.222)	(0.156)	(0.222)	(0.156)

() Expression (20)

以上の説明からわかるように固定梁の中央集中荷重の場合のスパンポイントの近似式として次の式を得る。

$$\frac{s}{b} = \frac{1}{2} \frac{h_0}{h_1} \left(1 + \frac{h_0}{h_1} \right) \quad (21)$$

B. 実験結果との比較

a) 中央集中荷重の場合

肘板の遊縁が直線である梁の中央集中荷重の場合のスパンポイントの近似式として(21)式を求めた。これは次の仮定のもとに求めたものである。

第 24 図 A グループ中央集中荷重のスパンポイント
(実験値と実験式との比較)(・印実験値)

(1) 肘板のところも梁理論が成立つ。

(2) 中央荷重の場合の近似式として一様曲げモーメントの場合の式を用いた。

以上の仮定に対して第 19 図のようにして求めた実験結果はこれと異なる。即ち、

(1) 肘板の曲げ剛性が梁理論で計算したように働かない。即ち肘板の断面 2 次モーメントが完全に利かない。

(2) 中央集中荷重の場合は(21)式で示される値より $\frac{s}{b}$ の値が少し大きくなる。

(2) の場合は第 22 図からわかるよ

うに $\frac{h_0}{h_1}$ による補正項が必要となるがここでは式を簡易化するため、(2)の理由による補正項は考えないこととする。(1)の理由による補正項として(21)式に 0.1θ を加えて次式を中央集中荷重の場合の実験式とする。

$$\frac{s}{b} = \frac{1}{2} \frac{h_0}{h_1} \left(1 + \frac{h_0}{h_1} \right) + 0.1\theta \quad (22)$$

ここで θ は肘板の角度をラジアンであらわしたものである。

中央集中荷重の場合の肘板の内端からスパンポイントまでの距離を s とし各グループの実験結果を第 24 図～第 29 図に示す。横軸は A グループに於ては肘板の角度、B, F グループに於ては肘板の長さ (b) と一様断面梁の深さ (h_0) との比 $\left(\frac{b}{h_0}\right)$ 、C グループに於ては肘板の長さ (b) と梁の全長 (l) との比 $\left(\frac{b}{l}\right)$ 、D グループに於ては肘板の部分の内接円の直径 (D) と軽目孔の直径 (d) との比 $\left(\frac{d}{D}\right)$ をとつてある。

第 24, 25 図に於いて鎖線は(21)式で示される曲線、破線は(22)式で示される曲線である。第 24 図に於いて $\theta = 12^\circ$ の場合、(22)式で示される実験式と実験値が一致していない。これは次のような理由によるものと思われる。即ち $\theta = 12^\circ$ (A-4) の場合に於ては

$$\delta = \frac{h_1}{h_0} \approx 1.6$$

である。前述のように δ の値が 1.6 附近では一様曲げモーメントの場合の式から求めた値と中央集中荷重の場合の式から求めた値との差は最大となる。

また第 25 図においても同様のことが云える。

C グループに於てはスパンポイントの変化はあまり認められない。このことは(17)式の計算結果(第 22 図)からも説明できる。また D グループの実験結果からわかるように軽目孔のスパンポイントに及ぼす影響は小さい。E グループに於ける遊縁の形状の変化に対してはかなり顕著な変化が認められる。肘板の遊縁を肘板の長さ (b) の R で丸めた場合 (F グループ) は遊縁が直線の場合に比べて $\frac{s}{b}$ の値が約 25% 増加する。

b) 荷重の位置が左右に変化した場合

第 25 図 B グループ中央集中荷重のスパンポイント (実験値と実験式との比較) (・印実験値)

第 26 図 C グループ中央集中荷重のスパンポイント (・印実験値)

第 27 図 D グループ中央集中荷重のスパンポイント (・印実験値)

第 28 図 E グループ中央集中荷重のスパンポイント (・印実験値)

第 29 図 F グループ中央集中荷重のスパンポイント (・印実験値)

第 31 図 A グループスパンポイントの変化 (実験値)

この場合に実験結果からスパンポイントを決定するには次のような方法でこれを行つた。

肘板のない様断面の固定梁に集中荷重を加えた場合の曲げモーメント零の点, B, D は次の式から求められる。(第 30 図参照)

$$AB = \frac{(l_1 + l_2)l}{3(l_1 + l_2) + (l_3 + l_4)} \quad (23)$$

$$AD = \frac{\{(l_1 + l_2) + 2(l_3 + l_4)\}l}{(l_1 + l_2) + 3(l_3 + l_4)}$$

肘板を有する固定梁に集中荷重がかかった場合、荷重点から曲げモーメント零の点迄の距離を l_2, l_3 とし、荷重点からスパンポイントまでの距離を x, y とすると、 l_2, l_3 と x, y とは次の関係がある。

第 30 図

第 32 図 B グループスパンポイントの変化 (実験値)

第 33 図 C グループスパンポイント
の変化 (実験値) 第 34 図 D グループスパンポイントの
変化 (実験値) 第 35 図 E グループスパンポイント
の変化 (実験値) 第 36 図 F グループスパンポイント
の変化 (実験値)

$$x-l_2 = \frac{x(x+y)}{3x+y}$$

$$x+l_3 = \frac{(x+2y)(x+y)}{x+3y}$$

$$\therefore x = \frac{2y}{l_3} \left(y - \frac{3}{2}l_3 \right)$$

$$\therefore y = \frac{2x}{l_2} \left(x - \frac{3}{2}l_2 \right)$$

(24)

l_2, l_3 を実験値から求め (24) 式に代入して x, y を求めてスパンポイントとした。

左側の肘板の内端からスパンポイント迄の距離を s_1 、右側の肘板の内端からスパンポイント迄の距離を s_2 とし、 $\frac{s_1}{b}$ 、 $\frac{s_2}{b}$ の実験値を第 31 図～第 36 図に示す。縦軸は $\frac{s}{b}$ を示し横軸は荷重の位置を示す。Cグループの場合は梁の全長が各々異なるので横軸は荷重点から左端迄の距離 (l_1+l_2) と全長 (l) との比 $\left(\frac{l_1+l_2}{l}\right)$ をとっている。

これらの結果を総合して考察してみる。荷重の位置が中央から左の方に移ると s_1 は増加し s_2 は減少する。右の方に移った場合はその傾向は逆である。今回行つた荷重点の範囲内では s_1 、 s_2 は大体直線的に変化している。またスパンポイント間の距離は荷重の位置にかかわらず一定である。また s_1 、 s_2 の変化の割合は各グループに於ても大体一定である。故に荷重の位置が (l_1+l_2) の場合のスパンポイントの実験式として次のような式を得る。

$$\begin{aligned} \frac{s_1}{b} &= \frac{1}{2} \frac{h_0}{h_1} \left(1 + \frac{h_0}{h_1}\right) + 0.1\theta + 0.2 \left(0.5 - \frac{l_1+l_2}{l}\right) \\ \frac{s_2}{b} &= \frac{1}{2} \frac{h_0}{h_1} \left(1 + \frac{h_0}{h_1}\right) + 0.1\theta - 0.2 \left(0.5 - \frac{l_1+l_2}{l}\right) \end{aligned} \quad (25)$$

(25) 式を使用してAグループの左端の端部固定モーメントの影響線 (η_1 の値) を画くと第 37 図のようになり、実験値と良好な一致を示す。肘板を有する固定梁のモーメント分布は (25) 式で示されるスパンポイントを使用することにより簡単に求めることができる。

第 37 図 Aグループ影響線 ((25) 式による計算結果と実験値との比較)

5. 結 語

以上実験結果を説明したが結論的な事柄をのべると次のようになる。

- 1) 肘板を有する固定梁の曲げモーメント分布は一様断面の固定梁とは異なる。
- 2) 肘板の部分を変断面の梁として取扱う場合は第 17 図及び第 18 図で示されたような有効肘板を考えて計算を行つた方が実際に近い。
- 3) 肘板内の軽目孔による肘板の曲げ剛性の変化は僅少である。
- 4) 肘板の遊縁の形状の変化は肘板の曲げ剛性に顕著な変化を示す。
- 5) スパンポイントの概念を導入して簡単な近似計算により肘板を有する固定梁の計算を行うことができる。肘板の遊縁が直線の場合は $\frac{s}{b}$ の値が (25) 式で与えられる。また遊縁を丸めた場合は $\frac{s}{b}$ が 25% 位増加する。

今回行つた実験は肘板の基礎的性質について調査したもので、これらを実船に応用する場合問題点が多々残されている。即ち

- (1) 骨組構造物の場合の肘板の取扱いについて。

(2) 肘板のフランジの取扱いについて。

(3) 肘板の挫屈、応用集中の問題、その他。

等である。(1)については目下実験中で、(2)(3)についても検討中である。本報告は固定梁に関する実験が一応終了したのでそれを取りまとめたものである。

なお本実験は昭和 31 年度運輸省科学技術応用研究補助金の交付を受けて行つた研究の一部である。

本実験遂行に当り並々ならぬ御指導御鞭撻を賜つた日本海事協会規格合理化委員会委員長井口博士をはじめ委員各位に対し厚く謝意を表する。また実験遂行に当り種々協力された日本海事協会技術研究所職員各位に対し感謝の意を表わす。

(以 上)

参 考 文 献

- (1) Richard Gulclan: "Rahmentragwerke und Durchlaufträger" Springer 1952 Wien.
- (2) Georg Vedeler: "Calculation of Beams" T.I.N.A. 1950
- (3) Erik Steneroth: "On the Transverse Strength of Tankers". Trans. of the Royal Institute of Technology Stockholm 1955
- (4) "Investigations at Glengernock on the Strength and Stiffness of Ship's Structural Members".
- (5) B. Mayfield and R.C. Coates: "Fixed End Moments in Beams with Linear Haunches" Engineering 1952
- (6) 寺田泰治 "肘板固着の考察" 日本海事協会会誌 No. 36
- (7) 井口常雄 "スパンポイントの考え方について" 日本海事協会合委資料 No. 45 (未公開)
- (8) 井口常雄, 山口勇男 "簡単な梁についてスパンポイントの計算" 日本海事協会合委資料 No. 55 (未公開)
- (9) 山口勇男 "アクリライトによる両端固定の実験" 日本海事協会合委資料 No. 56 (未公開)
- (10) 井口常雄, 山口勇男 "肘板が左右対称でない梁についてのスパンポイントの計算" 日本海事協会合委資料 No. 66 (未公開)

附録 アクリライトの機械的性質について

本実験に使用したアクリライトの機械的性質について簡単に説明する。

本材料は化学名をメタアクリル樹脂と称し、一般には風防ガラスと呼ばれている。本材料を使用した最大の理由は弾性係数が鋼材の約 $\frac{1}{70}$ であるので固定梁の実験が割合簡単に出来るからである。

筆者の試験結果について簡単にのべる。

第 38 図 ヤング率と温度との関係

1. 弾性係数

ヤング率は温度により変化する。常温附近 (15°C 附近) では加重 5 分後の値は約 330 kg/mm^2 である。常温附近の弾性係数 (E) と温度との関係を第 38 図に示す。尚ポアソン比は 0.35 位である。

2. 比例関係及び比例限度

応力 1.6 kg/mm^2 位までは応力と歪とは完全な直線性を保っているがそれ以上は徐々に直線から外れてくる。軟鋼のような降伏点はない。試験例を第 39 図に示す。

3. 引張破断強度

筆者の実験によると 5.5 kg/mm^2 程度である。破断の場合、破断面の収縮は殆どない。

4. クリープ

合成樹脂の材料は一般にクリープがひどいが、この材料は比例限内ではクリープが割合少く、加重後 2~3 分間は歪が少し変化するが 5 分後は殆どその変化は認められない。試験例を第 40 図に示す。

第 39 図 応力—歪曲線

第 40 図 クリープ曲線

第 41 図 一様断面梁のモーメント分布

第 42 図 一様断面梁の影響線 (実験値と理論値との比較)

5. 熱に対する諸性質*

熱伝導率は比較的悪く $4 \sim 6 \times 10^{-4}$ cal/cm²/sec/(°C/cm) で比熱は 0.35 cal/°C/g で相当大きい。また線膨脹係数は $7 \sim 9 \times 10^{-5}/^{\circ}\text{C}$ で大体軟鋼の約 7~8 倍である。

6. 加工

軟鋼と同様に普通の工作機械で容易に加工できる。尚接着剤による接着も可能である。また溶接も可能である。接着方法等については目下検討中である。

上述のようにアクリライトはわれわれが現在迄実験に使用していた軟鋼に比べて種々の欠点を有しているが、ヤング率が軟鋼に比べて非常に小さいことが利点である。この材料を使用して一様断面の固定梁の実験を行った。固着装置及び測定方法は本文で説明したとおりである。試験片の寸法は、梁の全長 580 mm, 深さ 30 mm, 板厚 9.4 mm である。荷重方法及び荷重位置は本文の試験片の場合と同じである。

この場合の曲げモーメント分布を第 41 図に示す。縦軸は上縁の歪 (ϵ_1) と下縁の歪 (ϵ_2) との差 ($\epsilon_1 - \epsilon_2$) を示し、その他本文の第 7 図の説明と同様である。この図からわかるように曲げモーメント零の点は梁理論で計算された値と殆ど完全な一致を示す。

またこの場合の左端の固定モーメントの影響線 (η_1 の値) を画くと第 42 図のようになる。横軸は荷重点の位置を示す。実線は梁理論で計算された値を示す。

以上のようにこの材料を使用することにより完全な固定梁の実験が簡単にできる。

なおアクリライトの機械的性質を調査するため明治大学工学部学生、三宅、手川両君の援助を得たことを附記する。

* 製造者 (三菱レイヨン) 側のデータによる。