

溶 接 梁 肘 板 の 固 着 度

高 橋 幸 伯

1. ま え が き

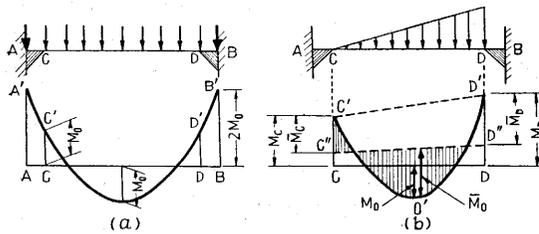
近年船体構造に用いられる肘板は溶接構造とすることが非常に多くなったが、その構造寸法についてはまだ確たる基準もなく、鉄構造時代の習慣を踏襲しているのが現状である。元来肘板、梁、肋骨その他の補強材の端の大きい曲げモーメントを生ずる部分を補強して補強材の寸法を減じ、重量軽減を計るものであるが、肘板寸法が過大になると貨物艙内では載貨に不都合を生ずることもあり、居住区内では艙装が厄介となり美観も損われるのであるべく小さくすることが望ましい。そこで溶接構造となった今日では肘板は不要だと極論する人さえあるが¹⁾これに対して理論的および実験的裏付けはなされていない。

溶接肘板の構造方法や寸法などをいろいろ変えて行った比較実験の結果^{2) 3)}は二三発表されており、肘板そのものについては応力分布や破壊状況など詳細に検討されているが、肘板を含む構造物全体の問題については余り触れられていないようである。

筆者は肘板の寸法の影響を調べるために、その形状は最も一般的なものの一種だけとし寸法を変化した数種の構造試験片について実験を行ったが、そのうち弾性実験結果から求めた「固着度」(Constraint factor)に関するものを以下に述べる。

2. 固 着 度 の 理 論

肘板の寸法の決め方として最も普通に行われている方法は次の通りである。簡単のため第 1 図 (a) のような両



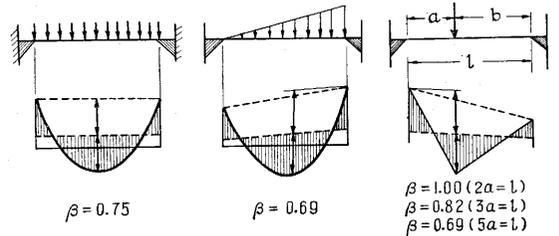
第 1 図

端固定等分布荷重の梁を考えると、最大曲げモーメントは両端に生じて中央の値の 2 倍となるが、端部においてモーメントが中央の値に等しい点を C, D とし AC, BD の所まで肘板をつけると、梁の受ける最大モーメントは無肘板の時の $\frac{1}{2}$ となってその寸法を減ずることができる。この場合 $AC=BD=0.0921l$ で普通径間の 1/10 の肘板が推奨される所以である。

次に第 1 図 (b) において肘板端 C, D が固定であると

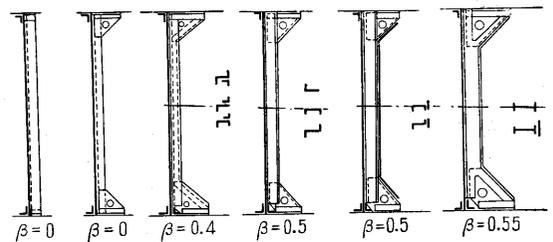
した時のモーメント曲線を C'O'D'(基線 CD) とすると、C, D が支持の場合は基線が C'D' に移るわけであるが、実際には固定と支持の間であるため基線は C''D'' となり両端のモーメントは $\overline{M}_C, \overline{M}_D$ となる。この値と固定とした場合の値との比、 $\beta_C = \overline{M}_C / M_C$, $\beta_D = \overline{M}_D / M_D$ を肘板の固着度と称する。この β の値を適当にして端と径間の最大曲げモーメントが等しくなるようにすれば、梁を最も有効に利用できるわけである。

この端と径間のモーメントを等しくするという条件を満足する β の値を種々の荷重状態について計算してみると第 2 図のようになる。ただしこの場合、非対称荷重の



第 2 図

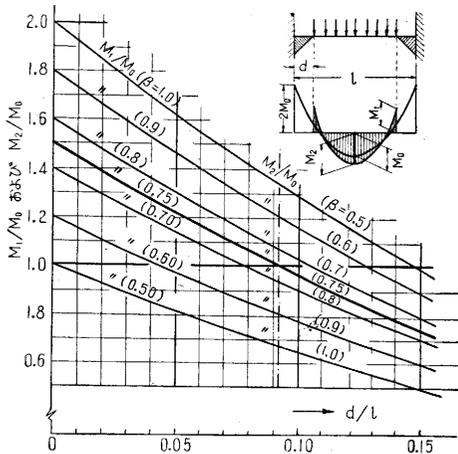
場合も両端の β が等しいと仮定した。 β の実際の値は実験で求める他ないが、鉄接肘板の実験例⁴⁾を第 3 図に示す。いずれも β が案外小さいことが判る。すなわち端部



第 3 図 鉄接肘板の固着度

の固着が柔らか過ぎるということである。

いま簡単のため等分布荷重の場合について β の値と梁の受ける最大曲げモーメントとの関係を示すと第 4 図のようになる。無肘板両端固定の時の中央の最大曲げモーメント M_0 を基準として、腕長 d なる肘板を附したとき肘板端および中央におけるモーメントと M_0 との比 M_1/M_0 , M_2/M_0 と d との関係をも β をパラメタとして表わしたものである。例えば $\beta=0.5$ とすると、 M_0 を基準として設計した梁に対しては $d=0.146l$ という大きい肘板が必要となり、その上この場合肘板端には僅かに $0.5 M_0$ のモーメントしか生ぜず、端に近い所では梁に大きい無駄があ

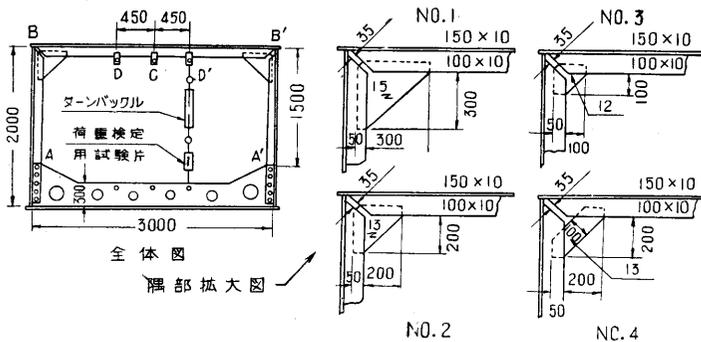


第 4 図

ることになる。同じく $\beta=0.5$ で第 1 図 (a) で考えたように $d=0.092l$ とすれば、 $M_1/M_0=0.67$ 、 $M_2/M_0=1.33$ となり梁を M_0 に対するよりも 33% 補強しなければならず、またこの場合も端部では半分の強度で済む所に大きな無駄を生ずる。反対に $\beta=1.0$ すなわち肘板端で固定の場合は、前述の通り $M_1=2M_2$ で中央部に無駄を生ずることになる。前述の通り $\beta=0.75$ のとき梁を最も有効に働かせることができること、またこの場合 M_0 に対しては $d=0.092l$ が最適であることは第 4 図によっても明らかである。

3. 固着度の測定

第 5 図のような左右対称の門型試験片を 4 箇所作った。

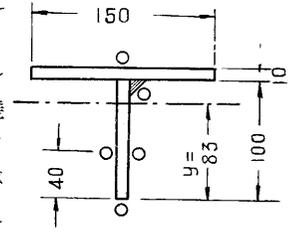


第 5 図

水平部材も垂直部材も共に 150×10 F. B. をフランジとし、100×100 F. B. をウェブとした桁で、肘板だけを 4 種類採ったものである。材料は造船用軟鋼で、引張試験の結果は降伏点 27.0 kg/mm²、引張強さ 44.0 kg/mm² のもの、結合はすべて溶接を使用した。

実験はこれらの試験片を底部支持合にボルト (13 mmφ 18本) で固着し、試験片の水平部材と底部支持合との間をターンバックルで締めつけて集中荷重を受けるラーメンの模型として行った。荷重の検定は両面に抵抗線歪計を貼った鋼片をターンバックルと底部支持合の間に挿入

して行った。応力測定はすべて抵抗線歪計 (標点距離 9 mm) を用い、1 断面について 2~5 点 (第 6 図)、1 試験片については 50~70 点の計測を行った。撓みおよび隅部回転角などの測定も同時に行ったがここには触れないことにする。



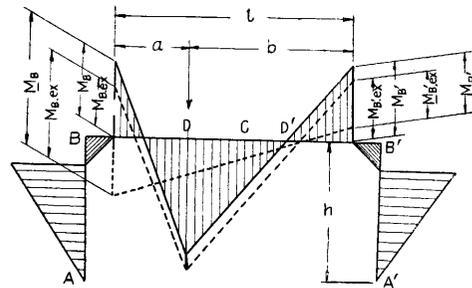
○ 歪計貼布位置

第 6 図

まず桁材の断面係数の測定結果を第 1 表に示す。これは底部支持合を取外して試験片の垂直部材を片持梁として曲げ試験を行い、断面に生ずる曲げ応力の実測値とその断面の曲げモーメントから算出したもので 8 断面の平均値を採った。

第 1 表

	$I \text{ cm}^4$	$y \text{ cm}$	$I/y \text{ cm}^3$
計画値	266	8.3	32.1
計算値	280	8.4	33.2
実測値	285	8.3	34.3



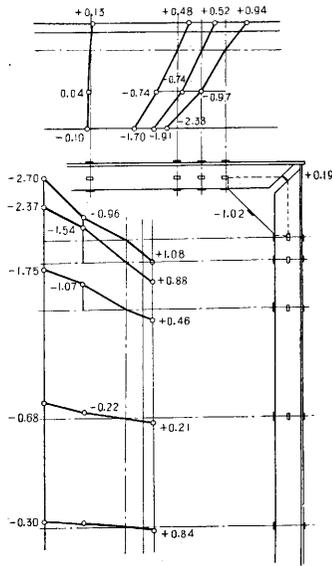
第 7 図

今試験片を第 7 図のようなラーメン (二鉸ラーメン) と考え、肘板端における曲げモーメントの計算値を $M_B, M_{B'}$ 、実測値を $M_{B.ex}, M_{B'.ex}$ とする。次に肘板端において固定の単一の梁と考えたときの両端の曲げモーメントの理論値を $\underline{M}_B, \underline{M}_{B'}$ とすると、曲げモーメント曲線は図において基線が点線のように移動し、この場合実測値は $M_{B.ex}, M_{B'.ex}$ となる筈で肘板の固着度は前述の通り。

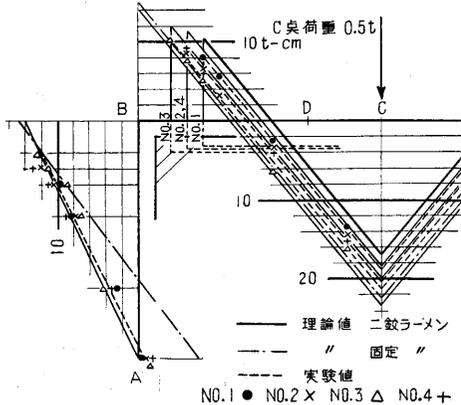
$\beta_B = M_{B.ex} / \underline{M}_B$ 、 $\beta_{B'} = M_{B'.ex} / \underline{M}_{B'}$ で表わすことができる。

応力測定結果の一例として、第 8 図に試験片 No. 2、D 点荷重 0.5 ton に対する B 点附近の応力分布を示す。これは応力の実測値からラーメンとして加えられる直接力 (計算値) による応力を差し引いたいわゆる曲げ応力のみを示したものである。

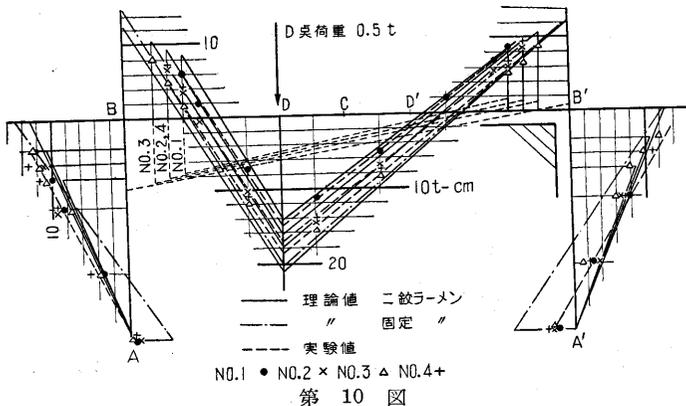
このようにして求めた応力分布から各断面の曲げモーメントを計算して、第 7 図に依って理論値と一緒に表わしたものが第 9 図および第 10 図である。



第 8 図



第 9 図



第 10 図

これによると垂直部材の曲げモーメント曲線は、固定ラーメンとして計算したものと全く異なり、二鉸ラーメンに非常に近いことが判る。この部分は左右ともに 13 mmφ のボルト 9 本で固着したものであるが、これが支持の状態に非常に近いということからも前述(第 3 図)のような鉸接肘板の β が小さいことが了解できる。

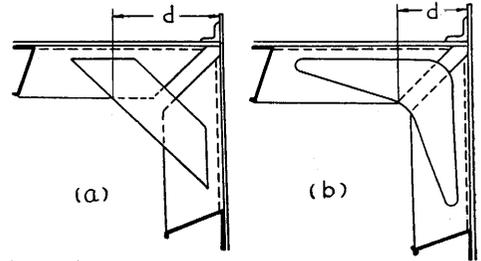
水平部材の曲げモーメント曲線の実験値と計算値から第 7 図について述べたと同様にして各試験片の肘板の固着度 β を求めると第 2 表の通りになる。荷重点が中央部附近 ($D \sim D'$) では固着度は肘板の大きさに関係なく大体一定で $\beta = 0.95$ 程度の値を示すことが判る。荷重点がさらに肘板に近くなると β の値に急激な変化が見られたが、

第 2 表

試験片番号	No. 1			No. 2, 4			No. 3		
荷重点	D	C	D'	D	C	D'	D	C	D'
$M_{B.ex.t-cm}$	13.5	11.5	6.5	15.0	12.8	6.7	16.6	14.1	7.6
M_B	16.1	13.8	6.8	17.7	15.0	8.1	19.3	16.2	9.3
$\beta_B = \frac{M_{B.ex.}}{M_B}$.84	.83	.95	.85	.85	.83	.86	.87	.82

これは曲げモーメントの急激な変化 (大きい剪断力) による肘板の変形等に起因するものと考えられ、肘板内部の応力分布や変形等について詳細な測定をしなければ解析し難いものと思われる。肘板の大きさによる差異は小さい肘板の方が僅かに β が大きくなっている程度であるが、これは肘板の板厚やフランジ寸法 (本試験片ではフランジなし) などの変化によって肘板の相似性が僅かに崩れたために生ずる程度の差異と考えられる。

$\beta = 0.85$ とすれば等分布荷重の場合には第 4 図によ



第 11 図

て、
 $d/l = 0.115$ で $M_1/M_0 = 1.00$, $M_2/M_0 = 0.78$
 $d/l = 0.092$ で $M_1/M_0 = 1.14$, $M_2/M_0 = 0.87$
 $d/l = 0.062$ で $M_1/M_0 = 1.32$, $M_2/M_0 = 1.00$
 となり、 M_0 を基準とした梁に対しては $d = 0.115l$ の肘板が必要となるが、前述の $\beta = 0.5$ の鉸接肘板の $d = 0.146l$ に比べるとずっと小さくてよいことになり、また同じ大きさの肘板を付ける場合は鉸接の時よりも溶接の時の方が梁の寸法を軽減することができる。

次の普通の三角形肘板 (No. 2) と簡単な帯状肘板 (No. 2) とを比較すると、 d が等しければ、第 9, 10 図に見る通り梁の受ける応力はほとんど変化がない。ただ肘板端附近で僅かに No. 4 の方が応力集中度が高くなっている程度である。重量軽減という見地からは多少肘板重量は増しても d を大きくして梁の寸法を減じた方が有利であるが、上の結果によれば従来のような

三角肘板でなくても No. 4 のような帯状肘板で簡単に d の増大が計れるので工作容易なこの形式 (第 11 図(a)) が有利だと考えられる。

また剛な肘板 ($\beta < 0.75$) を付した場合は $M_1 > M_2$ となるが、 M_2 より大きい曲げモーメントを生ずるのは肘板端附近の極く小部分だけであるから、強いて梁全体を補強しなくてもその部分だけ大きい曲げモーメントに耐えるようにすればよく第 11 図 (b) のような肘板を用いれば、梁の重量も節約できるし艙内载荷の不便とか艙装の困難とかいう d の大きいために生ずる難点もなくなり好ましいものと考えられる。

4. む す び

以上簡単に弾性実験だけの結果から固着度の問題を考えてきたが、要約すると、

- 1) 現在一般に船体構造に用いられている形状の溶接肘板では大体 $\beta = 0.85$ と考えられる。
- 2) したがって鉄構造を基準とした設計よりはいくらか重量軽減を計ることができる。
- 3) 肘板の形状は在来の三角形のものに固執することなく、もっと合理的な形状を考えるべきである。

以上であるが、どのような形が最も合理的なものであるかについてはさらに研究を要する問題であり、現場に

おける工作の難易についても充分考慮しなければならない。またここには弾性域における応力計測のみについて論じたが、変形や塑性域における問題も論じなければ肘板の優劣を簡単に結論を下すことができないのは、もちろんであるが、これらについては他日に譲ることにする。

終りに本実験の計画および実施についていろいろ御指導下さった工学部吉識教授、木原教授および本所安藤助教授、ならびに試験片製作について御高配を賜った浦賀造船所の方々に対して厚く感謝の意を表する次第である。(1954.10.14)

文 献

1. Schrader, W. O. "Progress of Electric Welding in Shipbuilding," M. E. & S. R. Sept. 1936
2. Toporactsoglow, A. A., Beedle, L. S. & Johnstone, B. G., "Connections for Welded Continuous Portal Frames", Welding Journal, Jul. 1951, Aug. 1951 & Nov. 1952
3. Toprac, A. A., "An Investigation of Welded Rigid Connections for Portal Frames", Welding Journal, Jan. 1954
5. Murray, A. J., "The Strength of Ships" (London, 1916)

次号予告 (12月号)

研究解説

- 紅土鉄鉱について.....金森九郎他
- 金属および合金の Radiation damage...木村 宏
について
- 振動容量電位計とその応用.....小川 岩雄

研究速報

- 自動平衡式振動容量電位計の安定性...中田 一郎
および指示について...小川 岩雄
(その1, その2)
- 赤土(関東ローム)の三軸試験...星林 和
について...榎本 歳勝
- 含クロームスラッグ高炉の特性...松下 幸雄
について
- 曲げ疲労試験における振幅測定法...沢井善三郎
の改良...嶋井 章

海外事情

- 第1回国際インスツルメンツ会議...高橋 安人
と展覧会に出席して

正 誤 表 (10月号)

頁	段	行	種別	正	誤
2	右	1	(2)式	$C = (p - p_0) / (\rho V^2 / 2g)$	$C = (p - p_0) / (\rho V^2 / 2)$
6	右	1	本文	h: 単位暖房負荷 (kcal/m ² h ^o C, 第13図使用) × 暖房面積 (m ²)	h: 単位暖房負荷 (kcal/m ² h ^o C, 第13図使用)
9	右	2	"	HO-	H ₀ -

本誌既刊号について

本誌はその性質上、創刊号から現在までの既刊号を取揃えてあります。ご希望の向きは下記へご照会下さい。事情のゆるすかぎり、ご寄贈申し上げますように取計います。

なお実費領布については、表紙3記載事項をご覧下さるようねがいます。

千葉市弥生町1番地

東京大学生産技術研究所 第一業務掛