

断面変形挙動に注目した曲線 I 形桁の 曲げ耐荷力実験

AN EXPERIMENT ON BENDING STRENGTH OF CURVED I-GIRDERS WITH CROSS SECTIONAL DEFORMATIONS

藤井 堅* 藤枝 洋二** 香川 敦*** 大村 裕****

by Katashi FUJII, Youji FUJIEDA, Astushi KAGAWA and Hiroshi OHMURA

This study presents an experimental investigation on the bending strength of curved I-girder with thin web, in order to clarify the collapse mechanism with local buckling of compressive flange. A new attempt in this test is to measure the variation of the width between upper and lower flange (depth of web), in addition to web deflection and flange rotation, all of which are caused by cross sectional deformation of curved girder. From results of this test, it is shown that the variation of the depth of web is closely related to web deflection and flange rotation. Therefore, it is important to find the buckling mode which causes first to failure, because the collapse mode caused by vertical buckling of flange is similar to that by flange torsional buckling.

1. まえがき

Basler・Thürlimann^{1, 2)}は、直線プレートガーダーの曲げ耐荷力は、圧縮フランジの3つの座屈形式すなわち、水平座屈、鉛直座屈、ねじれ座屈によって決定されるとした。その後行われた多くの実験結果³⁻⁴⁾でもこれらの崩壊形式が検証されている。上記のうちフランジ水平座屈およびねじれ座屈崩壊についてはすでに十分に検討され、曲げ耐荷力算定式もいくつか提案されている。しかし、フランジ鉛直座屈については、実験例も少なく、その崩壊メカニズムは明らかにはされていないようである。

直線桁のフランジ鉛直座屈崩壊を対象とした研究は、Basler・Thürlimann²⁾、長谷川・西野ら⁵⁻⁷⁾、藤井・大村⁸⁾によって行われた。Basler・Thürlimann²⁾は、桁がたわむことにより腹板が扇形に変形し、これに起因してフランジ軸力の鉛直成分が発生するために腹板が座屈し、結果としてフランジ鉛直座屈崩壊が起これると考えた。西野・長谷川らはこの矛盾点を指摘し⁵⁾、腹板の一部分が有効に働くことと仮定したT形柱モデルを用いた曲げ耐荷力理論を提案した⁶⁾。この理論は設計上きわめて合理的な算定法であるが、腹板の有効幅についてはさらに検討する必要があると思われる。藤井・大村⁸⁾は、上下のフランジ間隔を保持するという腹板の支持力を、腹板のたわみを用いて評価する曲げ耐荷力モデルを提案した。このように、この崩壊メカニ

*	工博 広島大学助手	工学部第四類	(〒724 東広島市西条町大字下見)
**	広島大学技官	工学部第四類	(〒724 東広島市西条町大字下見)
***	広島大学大学院	工学部第四類	(〒724 東広島市西条町大字下見)
****	工博 広島工業大学教授	工学部土木工学科	(〒738 広島県佐伯郡五日市町三宅)

ズムに対する見識が、それぞれ異なっているにもかかわらず、実験結果と比較するといずれの理論もかなりよい精度を有している。これは、実験例が少ないこともあるが、過去の実験における腹板幅厚比が限られた範囲に集中していることも要因の1つと考えられる。したがって今後広範囲の腹板幅厚比を対象とした実験が望まれるところである。

曲線桁においてもBasler・Thürlimannの唱える崩壊形式は十分に考えられる。ただし、曲げとねじれの連成、曲率に起因する断面変形とくに腹板のたわみの発生など、いくつか直線桁とは異なった特徴を持つ。曲線桁の圧縮フランジの鉛直座屈については、樋渡・倉西⁹⁾が、曲線I形桁の腹板の力学性状を解明した中で言及しているが十分には検討されていない。加えて曲線桁の実験例は少なく、中井・北田・大南¹⁰⁾、藤井・大村¹¹⁾の研究などわずかしかない。したがって、この崩壊形式に注目した曲線桁の実験データを補う必要がある。とくに曲線桁では荷重が小さくても腹板にたわみが発生するので、もし藤井・大村の理論⁸⁾が正しいならば、フランジ鉛直座屈崩壊の危険性は直線桁の場合よりも大きくなると考えられる。

以上の議論から、本研究では、曲線桁の曲げ耐荷力実験を行って、腹板のたわみ挙動とフランジ局部座屈崩壊との関連を解明するための基礎資料を提供する。従来の直線あるいは曲線桁の曲げ実験では、フランジ鉛直座屈崩壊の解明に重要な手懸かりとなる上下フランジ間隔(桁高)を測定した例はないようである。そこで今回新しい試みとして、桁高変化量測定装置を考案し、フランジ鉛直座屈について定量的な把握を試みた。

2. 実験概要

載荷実験用試験体は、図-1に示すような曲率半径 $R_w=10\text{m}$ の2軸対称曲線I形桁で、鋼材はSS-41である。

試験パネルの腹板の高さ $h=80\text{cm}$ 、板厚 $t_w=2.88\text{mm}$ (以下いずれも実測結果)とし、腹板幅厚比 $h/t_w=278$ 、腹板縦横比 $\alpha R_w/h=1.0$ (ここに、 α は試験パネルの開角)である。フランジは、降伏するまではねじれ座屈を生じないように定め、フランジ突出脚幅厚比 $b/t_f=9.33$ (フランジ全幅 $2b=112\text{mm}$ 、板厚 $t_f=5.6\text{mm}$)とした。したがってフランジ・ウェブ面積比 $A_{fc}/A_w=0.292$ である。

実験装置を図-2および写真-1に示す。写真-1に示すように、試験体の両端に載荷桁を取り付け、さらに支承桁を載荷桁の鉛直補剛材に取り付けて、4点支持2点載荷により試験

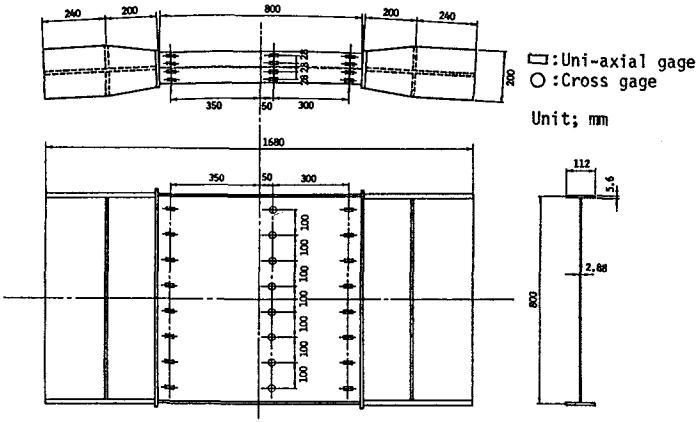


図-1 試験体

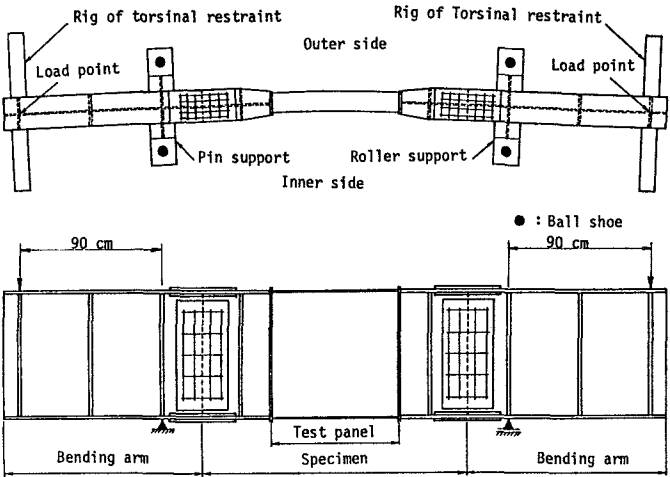


図-2 載荷実験装置

パネル両端に曲げモーメントを発生させた。载荷は50tジャッキ2基、油圧ポンプ1基を用いて2基のジャッキの荷重値が等しくなるよう加力し、ジャッキに取り付けたロードセルにより荷重値を測定した。試験パネルが塑性域に達した後は、所定荷重値となるように荷重調整を行いながら5分程度放置し、荷重が安定したところで変位およびひずみを測定した。加力を続けても荷重の減少が著しく、変位の増加に追いつけなくなった最高荷重を桁の耐力とした。

境界条件は、図-2に示すように4点で球脊により支持し、支承位置の桁のたわみとねじれ角を拘束した。また、一端を固定支承、他端を移動支承として、幾何学的非線形にとりな

う桁の軸引張力の発生を防いでいる。移動支承は、その移動方向が曲線桁軸の接線方向に一致するよう特に注意した。また横ねじれ座屈を防止するため、ねじれ角拘束装置を載荷位置（ジャッキ部）に設置した。

载荷に先立ち、試験パネルの腹板初期たわみと圧縮フランジの初期ねじれ角を測定した。腹板初期たわみの測定結果を図-3に示す。腹板の最大初期たわみ $u_{0max}=4.33mm$ ($u_{0max}/h=1/185$)で、道路橋示方書¹⁴⁾の制限値より幾分か大きめであった。

また、試験桁使用鋼材の材料特性を表-1に示す。材料引張試験は25tオートグラフを用いて行い、引張速度 $=0.1mm/min$ の定ひずみ試験とした。試験片はJ I S 5号試験片である。

3. 測定項目および測定方法

たわみは、腹板パネルでは橋軸方向9点×鉛直方向9点、それぞれの軸に関し10cm間隔で計81点のたわみ（半径方向変位）と、圧縮フランジのねじれ角を得るために、橋軸方向9点（10cm間隔）×半径方向3点、計27点のフランジのたわみ（鉛直方向変位）を測定した。各変位測定装置は、直線レールとこのレール上に9本のダイヤルゲージが設置されたロッドを取り付けたもので、このロッドを移動することにより腹板では9断面またフランジでは3断面の変位測定が可能である（写真-2参照）。本実験では腹板の板厚が薄いため、ダイヤルゲージの反力が腹板のたわみに影響する可能性がある。そこで写真-2に示すように測定時以外は非接触型とし、測定時にダイヤルゲージのロッドを腹板に軽く押しあてて測定した。

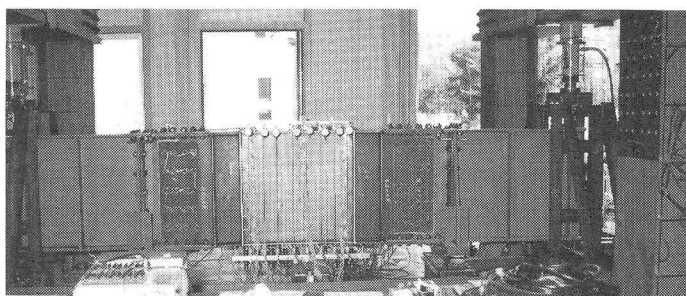


写真-1 実験状況

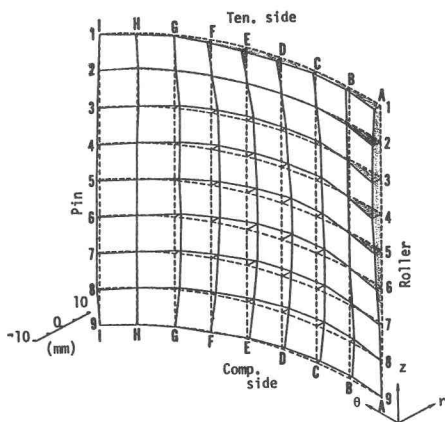


図-3 腹板初期たわみ

Specimen		E	ν	σ_y	σ_s
Flange	No.1	1.987	0.270	2903	4209
	No.2	1.951	0.273	3100	4167
	No.3	1.968	0.274	3050	4236
	No.4	1.969	0.275	2971	4184
	Av.	1.968	0.273	3006	4199
Web	No.1	2.127	0.279	2875	
	No.2	2.080	0.275	2825	4114
	No.3	2.140	0.280	2790	4202
	No.4	2.091	0.278	2848	4244
	Av.	2.110	0.278	2835	4186

Note E: Modulus of Elasticity ($\times 10^6$ kgf/cm²)
 ν : Poisson's Ratio
 σ_y : Yield Stress (kgf/cm²)
 σ_s : Tensile Strength (kgf/cm²)

表-1 材料試験結果

ひずみは、2軸および単軸ゲージを用いて腹板およびフランジの両表面のひずみを測定した。ひずみ測定位置を図-1に示す。Baslerら²⁾の理論が正しいならば、腹板が扇形に変形することによって、腹板にはフランジ軸力に起因する鉛直方向に一樣な軸圧縮応力が生じるはずである。2軸ゲージを貼付したのは、この鉛直方向応力を確認するためである。

さらに今回新しい試みとして、上下のフランジ間隔の変化量（桁高の縮み）を測定した。測定装置は図-4に示すようなもので、ロッドAとロッドCとは剛結、ロッドBとロッドCはピン結合されている。ばねを取り付けたワイヤーによって、この装置のロッドAとロッドBで供試体を挟みつける形で設置し、ロッドAに取り付けたダイヤルゲージとロッドBをワイヤーで結び、ダイヤルゲージの変化量を測定する。いま、この変化量を δ とすると、図-4に示す距離 l_s 、 l_d を用いて、上下フランジ間隔の変化量 δ_v は、 $\delta_v = \xi \cdot l_s / l_d$ から計算される。桁高の変化量は、腹板のたわみの測定位置の中間点（8断面）で測定した。写真-3に測定装置を取り付けた様子を示す。

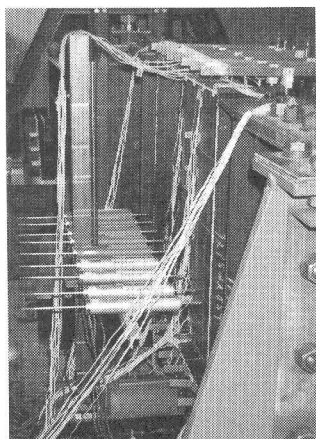


写真-2 腹板のたわみ測定

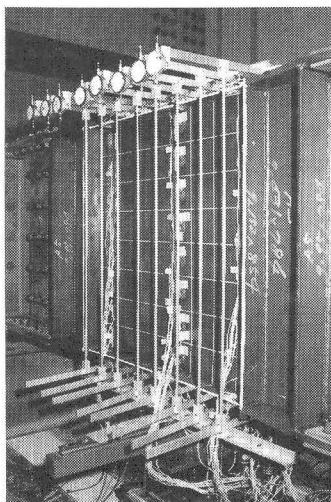


写真-3 桁高の縮み測定

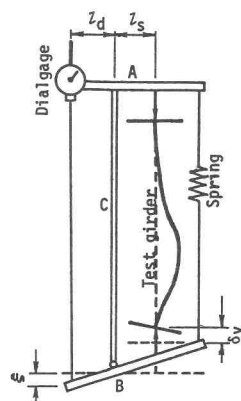


図-4 桁高変化量測定装置

4. 耐力解析

実験の検討材料として、材料学的および幾何学的非線形性を考慮した板殻構造解析¹³⁾を行い、曲線桁の弾塑性挙動および耐力を求めた。解析には荷重増分制御を採用し、収斂がきわめて悪くなった時点で解析を止め、その荷重値を曲げ耐力とした。境界条件は、試験パネルの両端の桁のねじれ角と桁のたわみを拘束した。さらに試験パネル両端の反り条件が問題となる。本実験における試験パネル両端の反り状態は反り自由と反り拘束状態の中間的状态と考えられるが、解析は反り自由の場合と完全反り拘束状態の2ケースについて行った。

また筆者らが提案した曲げ耐力力モデルによる耐力力もあわせて求めた。崩壊メカニズムの概念および曲げ耐力力の算出法については文献8)を参照されたい。ここでも圧縮フランジ（解析では扇形板として扱う）の局部座屈解析^{9, 12)}でフランジ反り応力を考慮しなければならないが、これについては $\lambda=0.12$ を採用した。ここに、 λ はフランジ反り応力に関するパラメータ（ $=M_t/P_t b$ ）で、 M_t は反り応力に起因するフランジ面内の曲げモーメント、 P_t はフランジ軸圧縮力を示す。 $\lambda=0.12$ は、幾何学的非線形の影響が小さくかつ弾性域と考えられる荷重 $P=6t f$ において測定された圧縮フランジ中央断面のひずみ分布から求めたものである。

これらの解析において、腹板の初期たわみは測定結果図-3をできるだけ正確に考慮し、溶接によるフランジの残留応力は図-5を仮定した。

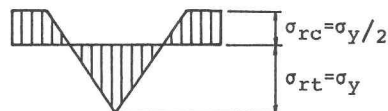


図-5 残留応力

5. 実験結果と考察

5.1 変位

載荷実験で測定される腹板のたわみあるいはフランジのねじれ角は、桁のねじれ角と断面変形にともなうて現われる変位の両方が加えられたものである。さらにこの変位に初期変位を付加したものが全変位と考えられる。以下では、測定結果を桁の変位と断面変形にともなう変位に分解し¹⁰⁾、それぞれ全変位、桁の変位、断面変形変位と呼んで区別する。また、以下の考察に必要な断面は、図-3に示すように周方向、鉛直方向にそれぞれ等分割された断面1～9、A～Iを用いて表し、点の位置については各断面の交点、たとえば3-3断面とE-E断面の交点は、点3Eと表示する。

さて、中央断面（E-E）における腹板全たわみを示せば図-6のようになる。さらに腹板の引張側（3-3）、図心（5-5）、圧縮側（7-7）の各断面位置の腹板全たわみの周方向分布を図-7に示す。また、圧縮フランジの曲率中心側（内側）および曲率中心と反対側（外側）のそれぞれの全ねじれ角の周方向分布を示したものが図-8である。腹板のたわみは外側にたわむ場合を正方向とした。ねじれ角については、内側の圧縮フランジが腹板の存在する方向（上向き）に、逆に外側フランジが下向きにたわむ場合を正とした（写真-4参照）。

図-6に示すように腹板のたわみは圧縮側で正方向、引張側では負方向にたわみ、図-7からわかるように引張側では平板に近づくような形状となる。引張側のたわみは荷重が大きくなってあまり増加しないが、圧縮側のそれは荷重増加につれて増加傾向が著しくなり、腹板中央5-5断面もこれに影響されて $P=20tf$ ではかなり大きなたわみを生じている。また図-6から

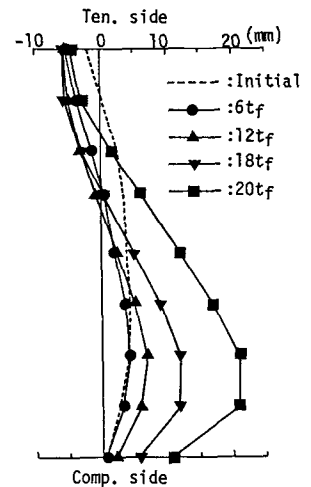


図-6 腹板全たわみ
鉛直分布 (E-E)

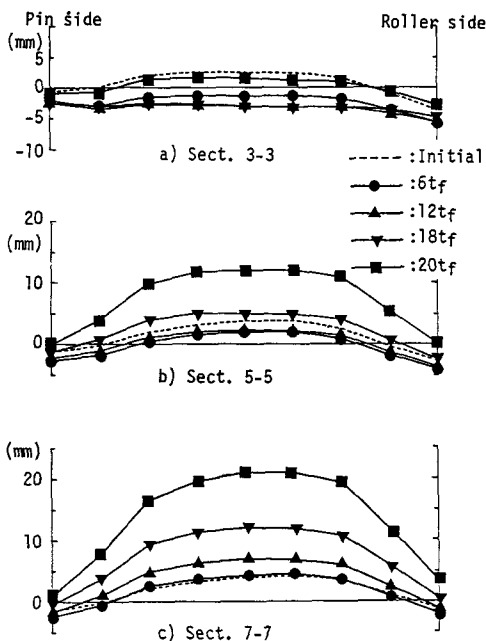


図-7 腹板全たわみ

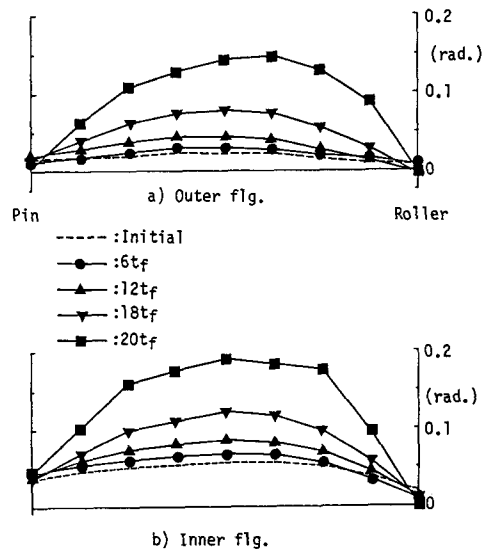
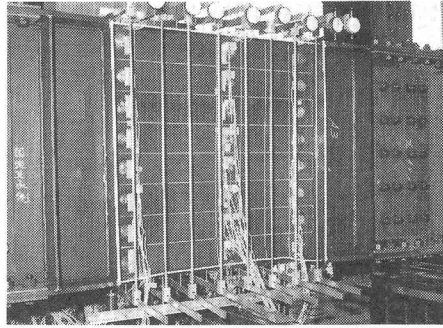


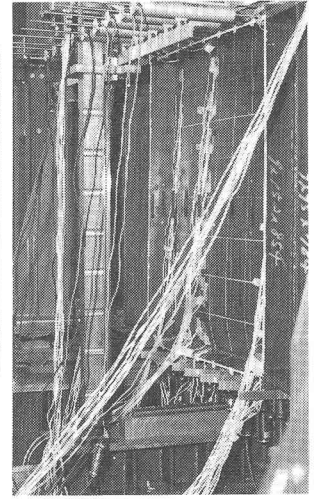
図-8 圧縮フランジの全ねじれ角

わかるように、桁は、引張フランジが曲率中心側に、逆に圧縮フランジは曲率中心から遠ざかるような桁のねじれ角（負のねじれ角）を発生し、荷重増加にともなって徐々に大きくなる。

圧縮フランジのねじれ角は、写真-4のように腹板のたわみと対応する形で現われるが、図-8に示すようにフランジの内側と外側ではねじれ角の大きさが異なり、内側が大きい。これは曲げねじりにともなう反り応力の影響による。



a) 内側からみた状態



b) 外側からみた状態

写真-4 変形状態

5. 2 ひずみ

中央断面付近（E-EとD-Dの間）における膜ひずみを図-9、図-10に示す。これらの図で、フランジあるいは腹板の両表面のひずみの平均を膜ひずみとした。図-9はフランジおよび腹板の周方向ひずみであり、図-10が腹板の鉛直方向ひずみである。

図-9では、腹板の周方向膜ひずみ分布は梁理論のような直線とはならず、引張側圧縮側ともに応力の欠損がみられる。この応力の欠損は荷重が大きいほど大きく、また圧縮側の方が大きい。一方、フランジの膜ひずみをみると反りねじりにともなって内側フランジのひずみが大きく現われている。また荷重 $P \geq 12tf$ における反りひずみ（フランジの外側と内側両縁のひずみ差）をみると、引張フランジよりも圧縮フランジの方が大きい。これは桁のねじれ角の増加につれて圧縮フランジが外側にはらみだすためと考えられる。さらに、 $P \geq 18tf$ では、塑性域の進展も加わって反りひずみは急増する。

一方図-10からは、鉛直方向膜ひずみは周方向ひずみに比べ1/3程度と小さく、符号は逆になるが周方向膜ひずみ分布とよく似た分布であることに気付く。このことと2次元平面問題のひずみ-応力関係式をあ

わせて考えると、鉛直方向ひずみは周方向応力によるポアソン比の影響と考えて差支えないと思われる。また、腹板5-5断面付近では引張ひずみが現われており、圧縮ひずみの領域は引張フランジ近傍のわずかしかない。

Baslerらの理論²⁾では、腹板が扇形に変形し、これに起因するフランジ軸力の鉛直成分により腹板に圧縮応力が発生し、これがフランジ鉛直座屈崩壊を引き起こすと

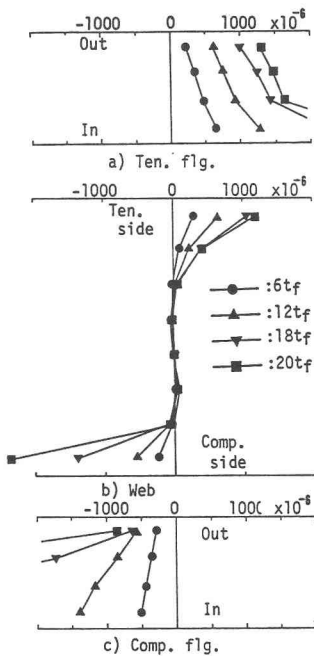


図-9 周方向膜ひずみ

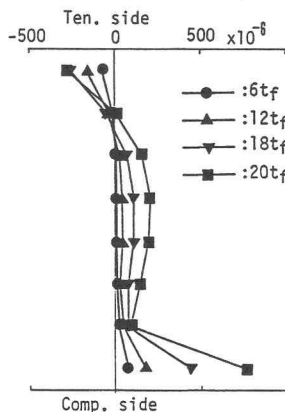


図-10 腹板の鉛直方向膜ひずみ

している。しかし図-10ではほとんどの領域とくに圧縮側の鉛直ひずみは引っ張りであり、Baslerらの理論が過去の曲げ耐力実験結果をよい精度で推定できるとはいうものの、この点においてさらに検討する必要がある。

腹板の曲げひずみ（外側表面と内側表面のひずみ差）を図-11に示す。図から周方向曲げひずみ $\epsilon_{\theta out}-\epsilon_{\theta in}$ は、圧縮側で若干大きめであるが値は小さい。鉛直方向曲げひずみ $\epsilon_{z out}-\epsilon_{z in}$ は、引張側と圧縮側では逆向きとなり、発生する腹板のたわみと対応している。また圧縮側では終局荷重付近で急増するのがわかる。

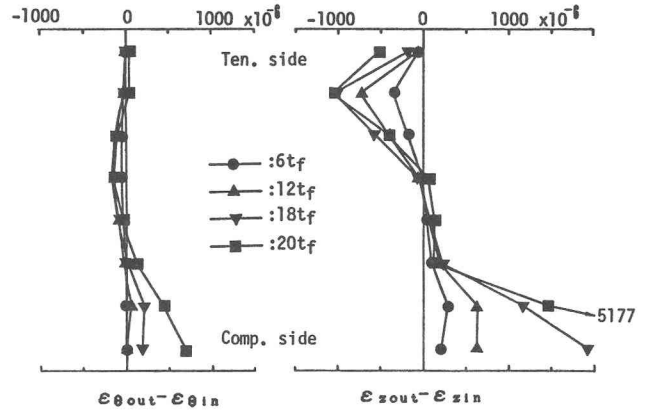


図-11 腹板の曲げひずみ

5. 3 桁高の変化と耐荷性状

今回の実験では、フランジ鉛直座屈崩壊の解明を目的として、桁高の縮みを測定した。この縮み量と腹板のたわみなどの変位の相互関係を調べるために、図-12に断面8-8の腹板のたわみおよび圧縮フランジのねじれ角と並べて桁高の縮みの周方向分布を示す。腹板のたわみおよびフランジねじれ角は、全変位から桁のねじれ角による変位を差し引いた断面変形にともなう変位である。桁高の縮み量を表す図a)には、最高荷重20.5tfに達した後荷重の減少とともに変位が進行した状態(18.1tfで示す)と実験終了後に測定した結果もあわせて示している。なお、破線区間は欠測点があることを示す。

図-12から、腹板のたわみおよびフランジねじれ角は、荷重 $P=18tf$ までは徐々に増加し、これを越えたあたりから急増しているのがわかる。

一方、桁高の縮み量については、 $P=18tf$ まではほとんど変

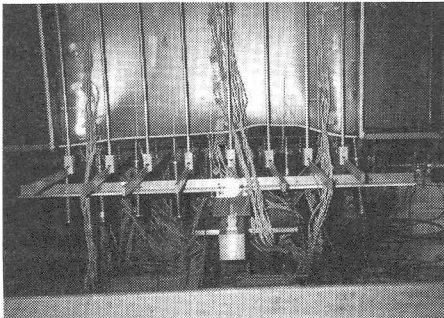


写真-5 崩壊時の圧縮フランジ（内側）

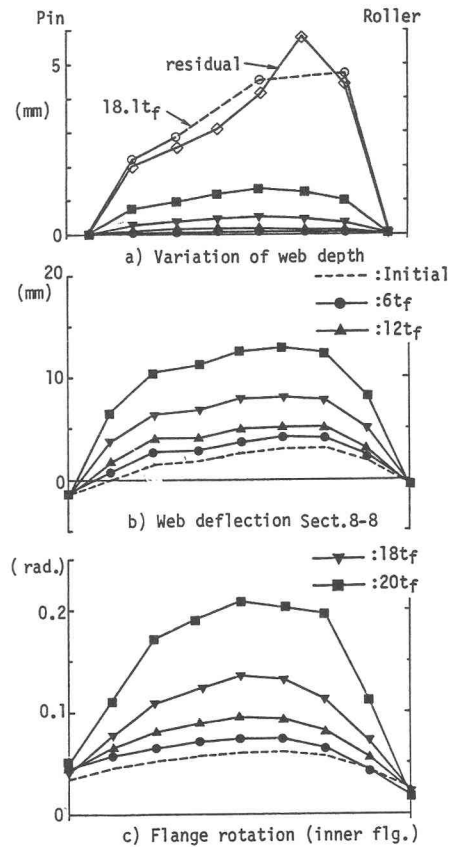


図-12 変位の相互関係

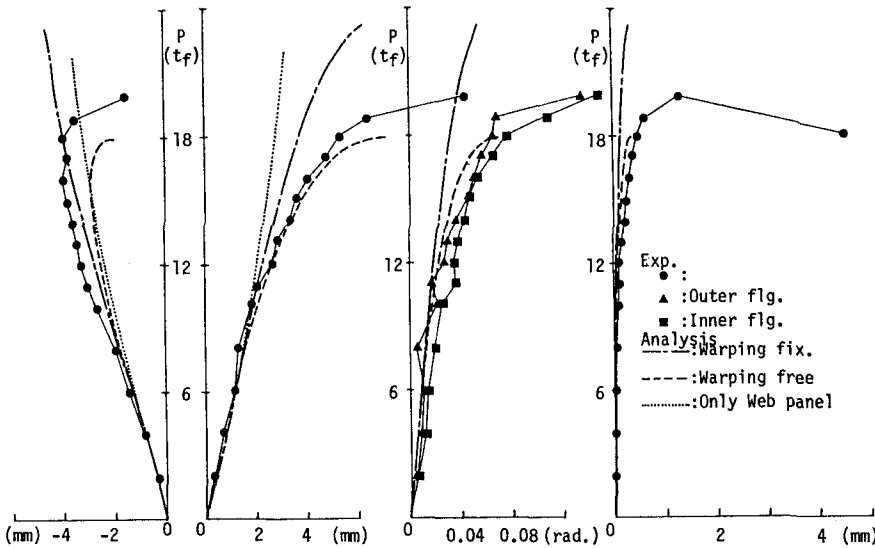
化しない。しかし、これを越えると中央から若干移動支承側で最大となる形状で著しく増加し、除荷後もD-D断面付近に大きな桁高の縮みが残っているのが図からわかる。さらに崩壊時では、測定はできなかったが、桁高の縮みが最大となる付近で、腹板のたわみフランジねじれ角ともに局部的な増加がみられた。写真-5に崩壊の状態を示す。

このように、桁高の縮みは、目視的には腹板のたわみやフランジねじれ角ように明確には現われなくても、崩壊時においてはこれら三つの変位はきわめて強い相互関連があることが確認された。したがって桁高の縮みも最高荷重付近で急増していることを考慮すると、今回の実験が、圧縮フランジにねじれ角が生じたからといってフランジねじれ座屈に起因する崩壊であるとは必ずしもいえない。それは、圧縮フランジのねじれ座屈→腹板のたわみの発生→桁高の縮み、という崩壊メカニズムのほかに、腹板のたわみの発生→フランジ支持力の低下→フランジ鉛直座屈→腹板のたわみとフランジねじれ角の増大、という崩壊メカニズムも考えられ、どちらの崩壊形式でも上記三つの変位は相互に関連して現われると考えられるからである。したがって崩壊形式は、上記のうちどちらが引金になるかを理論的に把握して決定する必要があるだろう。

5. 4 解析結果との比較

板殻構造解析結果および耐荷力モデルによる耐荷力解析のための腹板パネルだけを取り出した弾性解析結果と実験結果を比較して図-13～図-15に示す。図-13は腹板の引張側(点3 E)および圧縮側(点7 E)、E-E断面の圧縮フランジの内側のねじれ角と桁高の縮み量を荷重とともに描いたものである。また図-14は中央断面E-E付近の周方向膜ひずみ分布、図-15は鉛直方向膜ひずみ分布で、両者ともに荷重 $P=11\text{tf}$ の場合である。

板殻構造解析結果のうち、端部の反りを拘束した場合には、反り自由の場合に比べ中央部の反り応力は小さくなり、端部で逆向きの反り応力が生じる。したがって反り拘束の場合、まず $P=9\text{tf}$ で中央部の圧縮フランジ内側縁と端部の外側縁が同時に降伏し、 $P=23.1\text{tf}$ で収束性がきわめて悪くなった。一方、反りが自由な場合には、 $P=7\text{tf}$ で中央部の圧縮フランジ内側縁が降伏し、端部の降伏は $P=11\text{tf}$ まで起こらず、 $P=17.9\text{tf}$ で収束しなくなった。実験の反り状態は、図-14に示すように、ちょうど反り拘束と反り自由の中間的値となった。



a) 腹板引張側のたわみ b) 腹板圧縮側のたわみ c) 圧縮フランジ内側のねじれ角 d) 桁高の縮み

図-13 荷重変位曲線

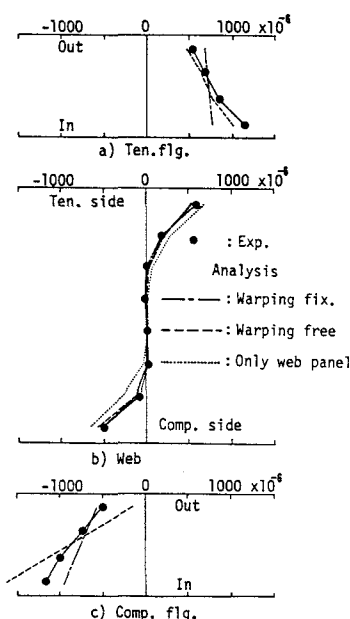


図-14 周方向膜ひずみ

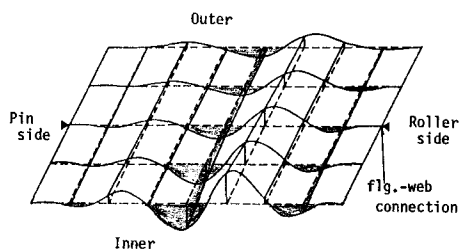


図-16 座屈波形

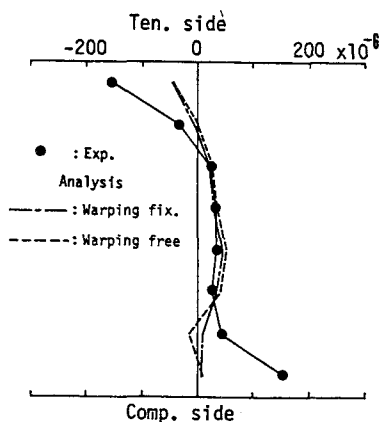


図-15 腹板の鉛直方向膜ひずみ

ており、また曲げ耐荷力も $P_u=20.55\text{tf}$ である。これらのことから、曲線桁の曲げ耐荷力は反り応力の影響が著しいと判断される。ちなみに梁理論から得られる反り応力に関するパラメータは、反り拘束 $\lambda=0.076$ 、反り自由 $\lambda=0.227$ であり、実験では弾性域 $P=6\text{tf}$ で $\lambda=0.12$ である。

図-13～図-15から、曲げ耐荷力については差異があるものの、 $P \leq 15\text{tf}$ では板殻構造解析結果と実験結果は概ね一致しているのがわかる。一方、腹板パネルだけを取り出した弾性解析結果でも、塑性域が進展とともに差は大きくなるが、弾性域における実際の腹板挙動の把握は可能と思われる。この場合、腹板周方向応力は大きめに現われることが図-14からわかる。

腹板の鉛直方向ひずみについては板殻構造解析結果でも引張りひずみが現われており、Baslerらの理論に検討の余地が残されていることを図-15は示唆している。

ところで、藤井、大村が提案した耐荷力モデル⁸⁾を用いて曲げ耐荷力を算出すると、フランジ鉛直座屈崩壊で耐荷力 $P_u=20.03\text{tf}$ となり、実験との誤差は2.5%となる。今回の実験だけで判断するのは不十分で今後数多くの実験的検討が必要なのはいうまでもないが、このようにこのモデルが耐荷力をよく推定できるのは、腹板のたわみがフランジ支持力と密接な関係があり、腹板パネルの解析に初期たわみをできるだけ正確に考慮していることが大きな要因と思われる。この耐荷力モデルによる崩壊時のフランジ座屈波形を図-16に示す。実際には複合非線形をとまう変形問題で、図-12a)と直接比較はできないけれども、桁高の残留縮み分布と図-16を比べると、フランジ・ウェブ接合辺で高次のたわみ波形が現われていること、たわみの最大となる位置が移動支承側であることが共通している。そして曲線桁のフランジ鉛直座屈崩壊では、フランジのねじれ角をとまなって現われることも図-16は示している。以上のことから、またフランジだけを取り出したねじれ座屈解析¹²⁾ではフランジが降伏するまで座屈しないという結果が得られたことから、実験結果そして板殻構造解析結果では明確には現われていないものの、本実験はフランジ鉛直座屈に起因する崩壊と考えられ、曲線桁においてもこの崩壊形式が存在すると思われる。

6. 結 論

本文は、曲線 I 形桁の曲げ耐力実験を行って、フランジおよび腹板の挙動と耐力性状の関連を説明することを試みたものである。本実験で得られた結果に対して考察したことをまとめれば次のようになる。

(1) 今回の実験では、腹板のたわみあるいはフランジねじれ角などの他に、新しく上下フランジ間隔の変化を測定し、これらの相互関連を調べた。その結果、崩壊時にはこれらの変位はきわめて強い関連があり、局部的にフランジねじれ角が急増した位置で、大きな桁高の縮みが発生した。

(2) 圧縮フランジのねじれ座屈→腹板のたわみの発生→桁高の縮み、というフランジねじれ座屈に起因する崩壊メカニズムのほかに、腹板のたわみの発生→フランジ支持力の低下→フランジ鉛直座屈→腹板のたわみやフランジねじれ角の増大、というフランジ鉛直座屈による崩壊メカニズムが考えられ、どちらも目視上は同様な崩壊状態が現われると考えられる。したがって、圧縮フランジのねじれ座屈あるいは鉛直座屈のどちらが曲げ崩壊の引金になるかは、理論的に把握する必要があると考えられる。

(3) 腹板パネルの鉛直方向のひずみは、ほとんどの領域で引張ひずみが現われた。したがって、Baslerらのフランジ鉛直座屈に関する理論は、実験値をよく表現してはいるもののさらに検討する必要があるだろう。

(4) 解析結果からは、曲線桁のフランジ鉛直座屈に起因する崩壊形式では、反り応力が曲げ耐力に大きく影響することが明らかにされた。また耐力モデル解析から、曲線桁のフランジ鉛直座屈のフランジ座屈たわみは鉛直方向変位のみならずねじれをともなって現われることがわかった。

(5) 本実験結果は、崩壊時にフランジに高次のたわみ形が現われていること、たわみの最大となる位置が移動支承側にずれることなどが耐力モデル解析結果と共通しており、目視的には明確に現われなかったけれどもフランジ鉛直座屈崩壊が考えられる。

参 考 文 献

- 1) Basler, K., Yen, B. T., Mueller, J. A., and Thürlimann, B.: WEB BUCKLING TESTS ON WELDED PLATE GIRDERS, WRC Bulletin, No. 64, USA, Sept. 1960.
- 2) Basler, K. and Thürlimann, B.: STRENGTH OF PLATE GIRDERS IN BENDING, Proc. of ASCE, Vol. 87, No. ST6, pp. 153-181, Aug. 1961.
- 3) Owen, D. R. J., Rocky, K. C. and Skaloud, M.: ULTIMATE LOAD BEHAVIOUR OF LONGITUDINALLY REINFORCED WEB PANELS SUBJECTED TO PURE BENDING, Publ. of IABSE, vol. 30-I, pp. 113-148, 1970.
- 4) 関西橋梁鉄骨溶接研究会: プレートガーダーの耐力に関する理論と実験, Jul. 1965.
- 5) 長谷川彰夫, 堀口隆良, 西野文雄: プレートガーダーの耐力に関する一考察, (上) (下), 橋梁と基礎, vol. 11, No. 4, No. 5, pp. 25-32, 8-12, Apr., May 1977.
- 6) 長谷川彰夫, 和田耕造, 西野文雄: プレートガーダーの曲げ耐力に関する新しい理論, 土木学会論文報告集, No. 360, pp. 33-42, Aug. 1980.
- 7) 長谷川彰夫, 和田耕造, 西野文雄: ウェブの剛性に注目したプレート・ガーダーの曲げ耐力実験, 土木学会論文報告集, No. 305, pp. 1-9, 1981.
- 8) 藤井堅, 大村裕: フランジ局部座屈に起因するプレートガーダーの曲げ耐力解析, 土木学会論文集, No. 374/1-6, pp. 467-476, Oct. 1986.
- 9) 樋渡滋, 倉西茂: 曲げを受ける I 型断面曲線プレートガーダーの弾性有限変形挙動について, 構造工学論文集, vol. 31A, pp. 197-207, Mar. 1985.
- 10) 中井博, 北田俊行, 大南亮一: 曲線桁橋腹板の曲げ強度に関する実験的研究, 土木学会論文報告集, 第340号, pp. 19-28, Dec. 1983.
- 11) 藤井堅, 藤枝洋二, 大村裕: 曲げを受ける曲線 I 形桁の断面変形と耐力に関する実験, 広島大学工学部研究報告, 第37巻第1号, pp. 39-54, Dec. 1988.
- 12) 藤井堅, 大村裕: 曲線 I 形桁におけるフランジの局部座屈と幅厚比制限, 土木学会論文集, No. 386/1-8, pp. 339-347, Oct. 1987.
- 13) 藤井堅, 大村裕: 曲げを受ける曲線 I 形桁の弾塑性断面変形挙動, 構造工学論文集, Vol. 33A, pp. 83-92, Mar. 1987.
- 14) 日本道路協会: 道路橋示方書・同解説, I 共通編, II 鋼橋編, Feb. 1980.

(1980年10月2日受付)