

京都大学工学部 正員 小西 一郎

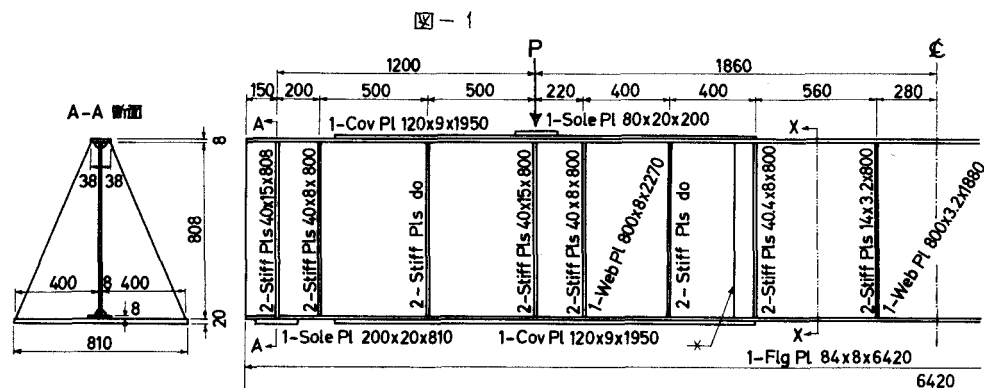
京都大学工教 正員 ○米沢 博

京都大学工教 正員 三上 市蔵

まなび プレートガーダーの腹板の曲げ座屈に関する研究は非常に多数行なわれているが、それらのほとんどは1パネルの腹板を周辺単純支持あるいは固定の矩形板として解析している。鋼道橋設計示書の腹板の最小厚規定も周辺単純支持矩形板の曲げ座屈荷重を基にして定められているようである。現実のプレートガーダーは多くの場合補剛材で補剛され、さらに上下フランジによつて弾性支持および弾性固定されている。したがつて1パネルの腹板の等方性矩形板としての座屈値は、補剛材およびフランジが健全な限り、桁全体の耐荷力に重大な影響を及ぼすとは考えられない。このような考えに基づいてさきに鉛直補剛材で補剛された腹板を直交異方性矩形板^{1), 2)}と見なし、それが下フランジで固定され、上フランジで弾性支持および弾性固定された場合の座屈荷重を理論的に求めた。その結果として鉛直補剛材の曲げ剛度および上フランジの曲げおよびねじり剛度を考慮した座屈荷重は、1パネルの等方性矩形板としての座屈荷重よりも特殊な場合を除いては相当大きくなることが理論的に判明した。ここでは以上の理論結果を実験的に検討するため、プレートガーダー模型に対する載荷実験を行ない、理論の妥当性を確かめるとともに、プレートガーダーの桁全体としての曲げ耐荷力に対する考察を試みた。

プレートガーダーの座屈実験 腹板と鉛直補剛材が一体となった座屈現象が生ずるや否や、あるいは1パネルの腹板のみの座屈との関係、さらにはこれら2種類の座屈と桁全体としての耐荷力との関係などを解明し、理論の妥当性を検討する目的で、全溶接プレートガーダー模型に対する載荷実験を行なった。模型、載荷装置、測定装置、測定結果その他概略はつぎのようである。

Q) プレートガーダー模型 模型の寸法を図-1に示す。座屈実験の対象としたのは中央の3パネル3×56 cmで、この面の腹板厚は3.2 mm (腹板高の1/250) で相当極端な寸法を採用した。



1) 米沢, 三上: 箱桁の弾性座屈について, 土木学会論文集, 第120号, 昭40.

2) 小西, 米沢, 三上: プレートガーダーの曲げ弾性座屈について, 土木学会第21回年次講演会概要, 昭41.

試験パネルのフランジ、鉛直補剛材などの寸法は、腹板と鉛直補剛材が一体となって理論上の弾性座屈を生ずるよう計算の上で決定した。2点載荷によつて純曲げを与え、対象外のパネルは腹板の曲げあるいはせん断座屈、上フランジの座屈、その他の座屈が生じないよう断面を決定した。部材はすべて SS 41 で、降伏点は上フランジ 2900 kg/cm^2 、腹板 3200 kg/cm^2 であった。

b) 載荷装置その他 載荷装置には京都大学土木教室の構造物試験装置を使用した。なお桁全体の横倒れを防止し、かつ試験パネルの両端の鉛直補剛材の位置で腹板の水平たわみが0になるよう、十分強固な横倒れ防止わくを設置した。

c) 測定装置その他 桁全体の鉛直たわみをスパン中央その他合計7点についてダイヤルゲージで測定した。上フランジのねじれと水平たわみを知るため、フランジ上7点に水平に設けた長さ1mの腕の先端の鉛直変位をテイルテイング型一等水準儀1台で、水平および鉛直変位を読取望遠鏡2台で測定した。

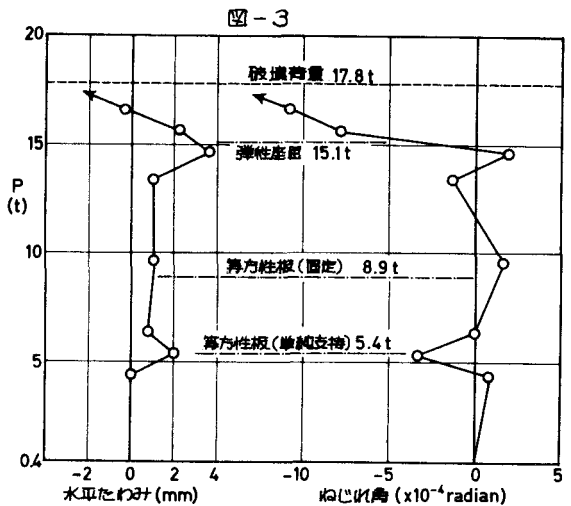
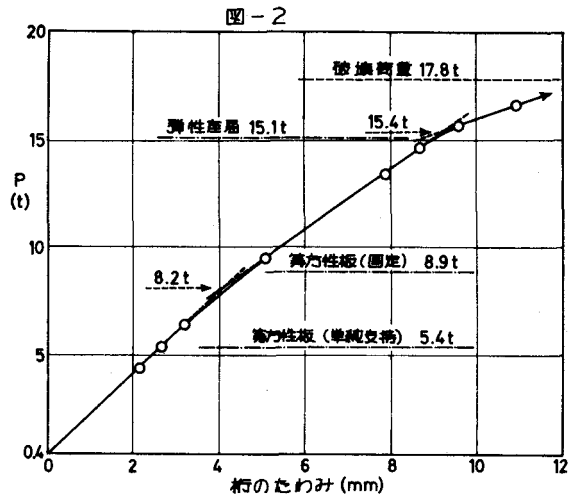
試験パネルの腹板および補剛材の水平方向のたわみを測定するため、ダイヤルゲージを31点に設置した。

腹板、補剛材および上下フランジのひずみを計42点について、電気抵抗線ひずみ計(塑性域用)で測定した。これらのひずみ計は桁全体の曲げによるひずみと座屈による曲げひずみを算出できるように、腹板その他の両面に接着した。

d) 測定結果 かなり多数の点の測定を行なったわけであるが、ここではそれらのうち代表的な点の測定結果だけを示すことにする。すなわちスパン中央の桁全体のたわみを図-2に、スパン中央上フランジの水平たわみとねじれを図-3に、補剛材および腹板の水平たわみを図-4に、補剛材および腹板の座屈による曲げひずみを図-5に、主桁断面X-Xにおける桁の曲げひずみ分布を図-6に示す。これらの図の荷重には自重をPに換算した値 0.4 t が加えられている。

なお、模型は $P=17.8 \text{ t}$ で試験パネルの範囲内の上フランジで塑性水平曲げ座屈を発生して破壊した。

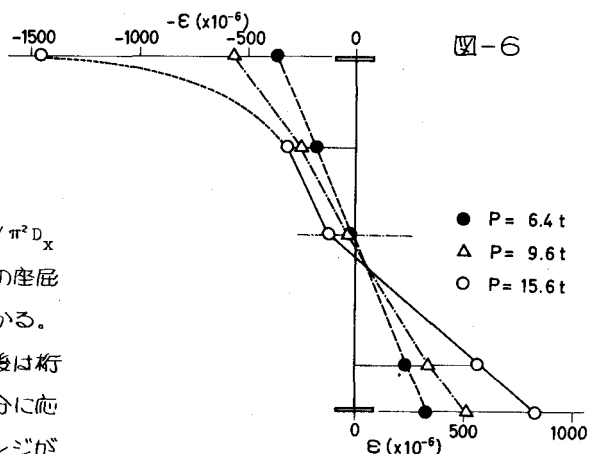
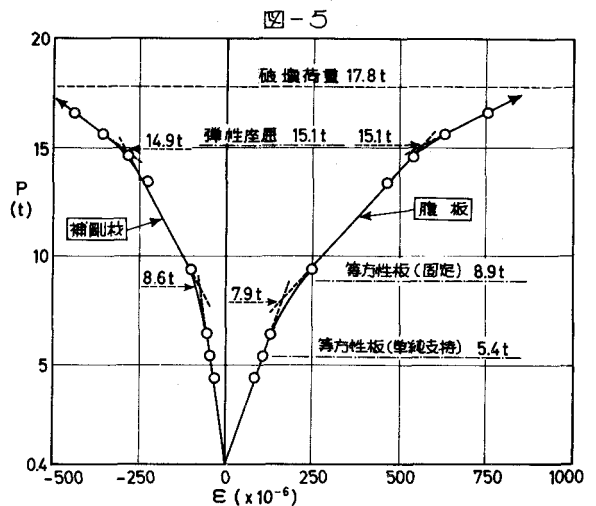
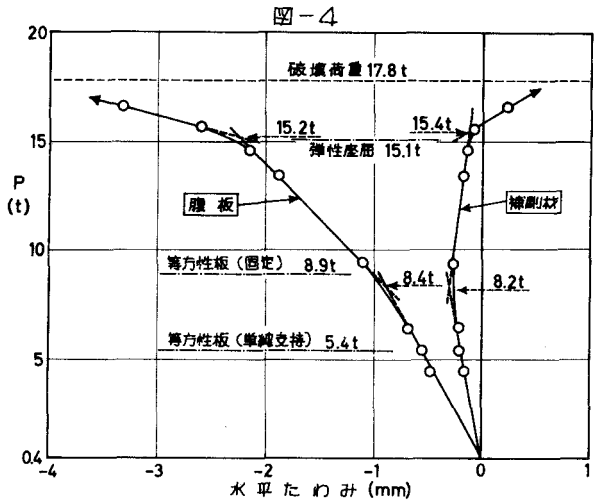
実験結果に対する考察 図-2~5からわかるように、腹板部分にははっきりした座屈現象は現れ



れていない。これは溶接その他の原因で相当量の初期たわみが存在したためと考えられる。しかしこれらの図の荷重-たわみあるいは荷重-ひずみ曲線の変向点から座屈荷重を推定することができる。たとえば図-2、図-4などの荷重-たわみ曲線をみると、最初の変向点が $P \approx 8.2 \text{ t}$ 附近、第2の変向点が $P \approx 15.4 \text{ t}$ 附近に存在することがわかる。第1の変向点 $P \approx 8.2 \text{ t}$ は周辺単純支持の等方性矩形板の座屈荷重 $P = 5.4 \text{ t}$ と上下フランジにて固定と考えた等方性矩形板の座屈荷重 $P = 8.9 \text{ t}$ との向にあり、1パネルの腹板の座屈荷重と推定される。1パネルの腹板のみの座屈は桁全体の耐荷力にはほとんど影響していないことが図から判断される。

第2の変向点 $P \approx 15.4 \text{ t}$ は腹板と補剛材とが一体となって座屈した点と推定される。いま模型の寸法を用いて、 $D_y/D_x = 5.81447$, $B_b/bD_x = 164.5998$, $C_b/bD_x = 2.275$, $(4C_p + \nu_y D_x)/D_x = 1.70$, $\kappa = 0.4147$, $F/bh = 0.2625$ の場合の座屈荷重を計算すると図-7の実線のようにになる。ただし D_x は腹板のみの、 D_y は腹板と鉛直補剛材とを一体と考えた板剛度； B_b , C_b は上フランジの水平曲げ剛度およびねじり剛度； b は腹板の高さ； $\kappa = \sqrt{H/D_x D_y}$ ； F は上フランジ断面積； h は腹板厚； $2C_p$ は直交異方性板のねじり剛度である。また図には等方性矩形板の座屈荷重その他を記入しておいた。試験パネルの縦横比 $a/b = 2.1$ に対し $k = N_o b^2 / \pi^2 D_x = 67.4$ すなわち $P = 15.1 \text{ t}$ となり、理論上の座屈荷重と実験値はよく一致していることがわかる。

腹板と補剛材が一体となって座屈した以後は桁全体の耐荷力が急激に減少し、フランジ部分に力が集中した結果 $P \approx 17.8 \text{ t}$ 附近で上フランジが



塑性水平曲げ座屈したものと考えられる。このことは図-6の主桁断面上の曲げひずみ分布図からも推定される。すなわち、 $P=6.4\text{ t}$ では中立軸に關し上下対称のひずみ分布で、1パネルの腹板座屈後の $P=9.6\text{ t}$ では上フランジのひずみ分布が直線分布よりわずかに大きくなっている。これに対して補剛材と腹板の座屈直後の $P=15.6\text{ t}$ では上フランジのひずみ分布が急激に増大していることがわかる。

つぎに上フランジが水平曲げ座屈して桁が破壊するときの荷重を理論的に誘導してみよう。すなわち、図-8に示すように腹板と補剛材が座屈した後は、腹板部分の分担する応力は増加しないで、上下フランジのみで分担するものとする。腹板の有効幅は無視し、上フランジを一様な応力の作用する圧縮材と見なしてその水平座屈応力 σ_c を決定し、図のような応力分布に対応する桁の曲げモーメントから P を逆算すると

$P=17.5\text{ t}$ となる。この理論値は桁の破壊荷重の実験値 17.8 t とよく一致する。この結果は桁が上フランジの水平座屈で破壊するような場合の桁の耐荷力を推定するうえで興味ある方法と考えられる。

結論 純曲げを受けるプレートガーダーの腹板が、鉛直補剛材とともに一体となって弾性座屈する場合について、上フランジの曲げおよびねじり剛度を考慮した座屈荷重を理論的に解析したが、その理論結果の妥当性を検討するため、プレートガーダー模型の座屈実験を行ない理論値との比較考察を試みた。結論としてそれらの結果をまとめるとつぎのようである。

1) 採用されている設計法ではどうも許容されないような薄い腹板(腹板高の $1/250$)においても、1パネルの腹板のみの座屈荷重は桁全体の耐荷力になほとんど影響しない。

2) 腹板と鉛直補剛材が一体となって座屈する場合の座屈荷重の理論値と実験値はよく一致し、かつこのような座屈は桁の耐荷力に大きな影響を与える。

3) 上フランジの水平曲げ座屈で終局的に破壊したが、その場合の破壊荷重を腹板部の座屈と関連させて理論的に推定し、実験値とよく一致する結果を得た。

さらに多数の実験によつて解明すべき点も多いと思われるが、一応の成果が得られたものと考えられる。鋼道路橋設計示方書、鋼鉄道橋設計示方書などの最小腹板厚の規定は、周辺単純支持の等方性矩形板の座屈荷重を基にして定められているが、筆者らの行なっている研究の観点からすると、さらに相当薄い腹板も使用可能であつて、とくに高張力鋼を経済的に使用する目的で興味ある結果と考えられる。

本研究は関西橋梁鉄骨溶接研究会第6部会の分担研究(分担者:米沢)として行なつたもので、研究費のすべてを同研究会より受けたものであり、また実験に際し京都大学山川純雄氏の多大の助力を受けたことを附記し感謝の意を表する次第である。

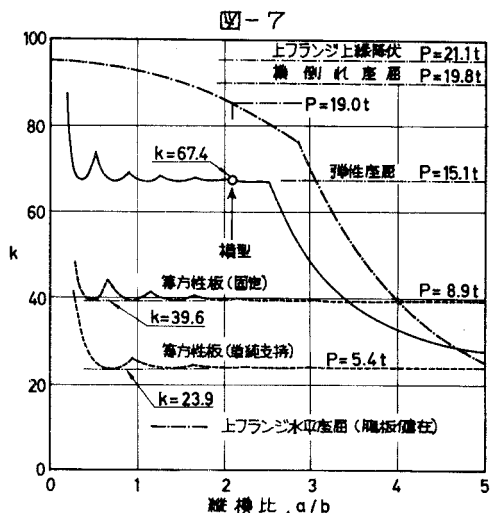


図-8

