

局所荷重を受ける水平補剛材つき腹板の挙動

BEHAVIOUR OF HORIZONTALLY STIFFENED WEB PLATES SUBJECTED TO THE PATCH LOAD

清水 茂* 堀井滋則*** 吉田俊弥****

By Shigeru SHIMIZU, Shigenori HORII and Shunya YOSHIDA

This paper gives results of elasto-plastic numerical analysis on the web plates subjected to a patch load having a horizontal stiffener. The Dynamic Relaxation Method is used for the numerical method. Patch length and the support condition of loaded edges of web plates are adopted as parameters, and relatively larger patch length is mainly used. Results obtained through the analysis are compared with those of author's previous study which deals with patch-loaded web plates having no stiffener. Through the analysis, behaviour of patch-loaded web plates up to collapse and layouts of yield lines are cleared. The contribution of a stiffener to the web plates is also found; in most cases a stiffener is effective to increase the strength of plates, however, in certain case, a stiffener decrease the strength.

1. まえがき

送り出し工法によって架設される桁の腹板など、局所荷重を受ける腹板は、一般に、補剛材のない部分に大きな荷重を受けるため、その設計や架設計画には、腹板の挙動や耐荷力を慎重に検討することが要求される。この論文は、局所荷重を受ける補剛材つき腹板の挙動を、数値計算によって調べたものである。

局所荷重を受ける腹板については、多くの研究がなされている。Roberts、Rockey らは、いくつかの実験結果をもとに、理想化された崩壊モデルを仮定し、それをもとに、局所荷重を受ける腹板の強度を推定する式を提案した¹⁾。この方法によると、推定される耐荷力は、崩壊モデルの仮定に依存することとなる。ところが、著者らが行なった、局所荷重を受ける腹板に関する一連の実験²⁾では、Roberts らのモデルとは明らかに異なる崩壊形式が観察された。そこで、著者らは、あらたな崩壊モデルを提案し、Roberts らの耐荷力推定式をこれにあわせて修正する³⁾とともに、DR法による解析を行ない、崩壊挙動の違いは局所荷重の荷重幅やフランジの剛性に依存することを示した⁴⁾。文献4と類似の結果は、堂垣らの研究⁵⁾からも得られている。

ところで、このような腹板の強度が不足する場合、腹板は、一般に補剛材により補強される。しかしながら、この種の腹板では、問題の性質上、多くの場合、載荷点付近に垂直補剛材を直接配置する

* 工博 信州大学助手 工学部社会開発工学科 (〒380 長野市若里500)

** 工修 ㈱横河橋梁製作所 (〒108 東京都港区芝浦4丁目4-44)

*** 工博 信州大学名誉教授

ことは困難であり、水平補剛材によって補強されることが多い。すなわち、局所荷重を受ける腹板では、多くの場合、補剛材が、応力の伝播方向と直角方向に配置される。そこで、局所荷重を受ける水平補剛材つき腹板では、補剛材の効果などについて、十分な検討が必要である。

水平補剛材を有する腹板が局所荷重を受ける場合については、著者らも、実験の一部として実施した²⁾ほか、Bergfelt ら⁶⁾、Karnikova ら⁷⁾も実験を行なっている。文献 6)、7) の結果は、ECCS の板構造に関するワーキンググループによって、まとめられている⁸⁾。また、最近では、Kutomanova らによる実験も行なわれている⁹⁾¹⁰⁾。一方、この腹板に対する数値的な非線形解析は、堂垣らによって行なわれている¹¹⁾¹²⁾。しかし、局所荷重を受ける補剛材つき腹板の挙動は複雑であり、これらの研究によっても、まだ、その全容が解明されたとは言えないようである。

本論文では、文献 4 に引きつづき著者らが行なった、局所荷重を受ける補剛材つき腹板の挙動についての数値解析の結果を示す。解析されたモデルは、水平補剛材を有することを除き、文献 4 で用いられたものと同じである。解析手法も、文献 4 と同じく、三上らによる DR 手法¹³⁾ によった。

2. 解析モデル

解析に用いられたモデルは、Fig.1 に示すような形状のものである。このモデルはその左右を垂直補剛材にはさまれた、腹板の 1 パネルを想定したもので、図に示すように、幅 a 、高さ b 、厚さ h である。この腹板はその上辺に、幅 c の荷重を受けているものとする。

現在のわが国の示方書¹⁴⁾には、局所荷重を受ける腹板に関する設計基準は示されていない。そこで、このような腹板に水平補剛材を配置しようとする場合、示方書の、桁の曲げに対する水平補剛材の規定を準用し、補剛材の取り付け位置を、腹板の上からほぼ $0.2b$ の位置とすることが多い。そこで、本研究でも、水平補剛材は、ほぼ $0.2b$ に当たる $b \cdot 3/16$ の位置にあるものとした。なお、この補剛材は、解析の簡便性から、その取り付け位置で腹板の面外変形のみを拘束するものとし、それ自身の曲げ剛性やねじり剛性は考慮されていない。

腹板には、図示のように、その下側のパネルに大きさが最大 W_{0max} の面外初期たわみを与えた。解析に当たって、この板を、その面内方向には 16×16 のメッシュ (DR 法における差分点) に、板厚方向には 10 層に分割した。解析に用いた材料定数は、ヤング率 $E = 206 \text{ GPa}$ 、降伏応力 $\sigma_y =$

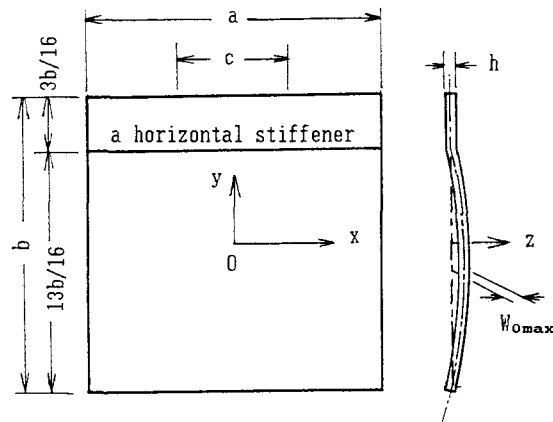


Fig.1 A Typical Web Plate

Table 1. Model Names and Parameters

Model Names	Upper Edge Conditions	Patch Length $\beta=c/a$
FS1	Fixed	0.5
FS2		0.25
FS3		0.125
ES1	Elastically Supported	0.5
ES2		0.25
ES3		0.125

235 MPa、ポアソン比 $\nu = 0.3$ 、応力ひずみ関係は完全弾塑性である。また、局所荷重は、文献4と同じく強制変位に置きかえ、いわゆる「たわみ制御」の形とした。これは、荷重（送り出し装置上における反力）が、非常に剛な送り支承を介して作用することに相当する。

荷重幅は、 $\beta = c/a$ なる無次元量で表わす。このほかの腹板の諸元は、アスペクト比 $\alpha = 1.0$ 、幅厚比 $b/h = 100$ とした。

境界条件についても、すべて文献4に準じて決定した。すなわち、腹板の上辺（被載荷辺）については、そこを固定したもの（非常に剛なフランジに相当）と、面外への回転に対して弾性支持したもの（ねじりに対してフレキシブルなフランジに相当）の2種類を考え、他の辺はすべて単純支持とした。これらの条件は、特にその上フランジの剛性の取り扱いなどについて、必ずしも現実の腹板パネルと一致するものではないが、このモデルによっても、およそその傾向はつかむことが出来るものと思われる。

Table 1 に、本研究で解析されたモデルの名前とパラメーターを示す。モデル名 FS1, FS2, FS3, ES1, ES2, ES3 はそれぞれ、文献4の水平補剛材を持たないモデル F1, F2, F3, E1, E2, E3 に対応している。ここでは、モデル FS1-FS3 をFタイプのモデル、モデル ES1-ES3 をEタイプのモデルと略称することにする。

3. 各モデルの挙動

3.1 Fタイプのモデル

上辺が固定されたFタイプの3つのモデルの解析結果を、Fig.2 に示す。

この図の左側は、これら3つのモデルの挙動を $P-\delta$ 曲線の形で示したものである。縦軸は、載荷位置における平均膜応力 σ を降伏応力 σ_y で無次元化した応力パラメーター σ/σ_y であり、横軸は、腹板の下側パネル中央における面外変形 w を板厚で無次元化した面外変形パラメーター w/h である。この図からは、一見、荷重幅の最も小さいモデル FS3 が最大の強度を有するかのように見えるが、縦軸が、荷重（力）ではなく応力であることに留意する必要がある。各モデルの強度については、次の節で説明する。

また、この図の右側には、解析の最終段階における各モデルの面外変形と、文献4と同様な方法によって決定された塑性線の位置を示す。図中の▲は水平補剛材の位置である。

この図から、荷重幅の最も小さいモデル FS3 は、3本の塑性線が生じるモードを呈しているのに対し、他の二つのモデルには、2本の塑性線が発生していることがわかる。各モデルの、最終段階にいたるまでの過程は次のとおりである。

a) モデル FS1

このモデルの面外変形は、図に示すように、下側のパネルでは荷重の増加に伴い漸増しているが、補剛材より上のパネルでは、 $\sigma/\sigma_y \approx 0.75$ 付近までは、ごくわずかな面外変形しか生じていない。ほぼ最高荷重に達するころには、被載荷部で板厚方向の10層中8層、水平補剛材に沿った位置で10層中6層までが、曲げによって降伏していたが、この時点では、まだ塑性線は完成していない。その後、図中のa点に達した時に、これらの位置で、曲げによる塑性域が板厚方向に貫通し、2本の塑性線がほぼ同時に形成された。

b) モデル FS2

このモデルでは、 σ/σ_y が1.3程度になるまでは、面外変形はわずかであったが、 $\sigma/\sigma_y \approx 1.3$ 付近から、曲線の傾きが急に小さくなっている。この段階の直前から、上側のパネルの面外変形が急に増加し始め、被載荷部と水平補剛材に沿った位置で、面外曲げによる降伏が始まった。図中のb点で、被載荷フランジに沿った塑性線が完成し、最高荷重点であるc点で、水平補剛材に沿った塑性線が完成した。

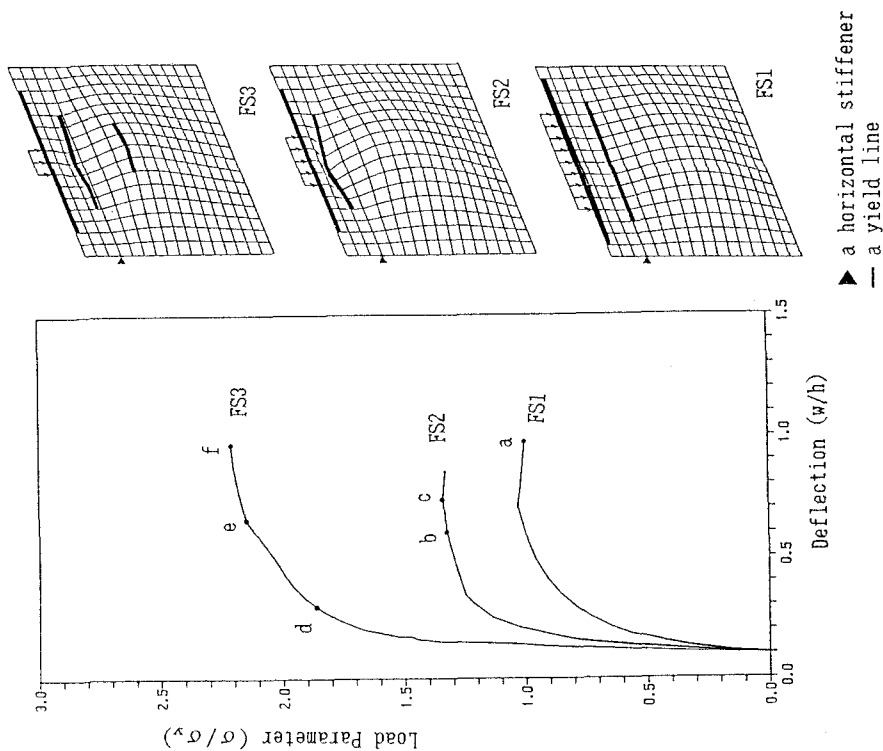


Fig. 2 Load-Deflection Curves (FS)

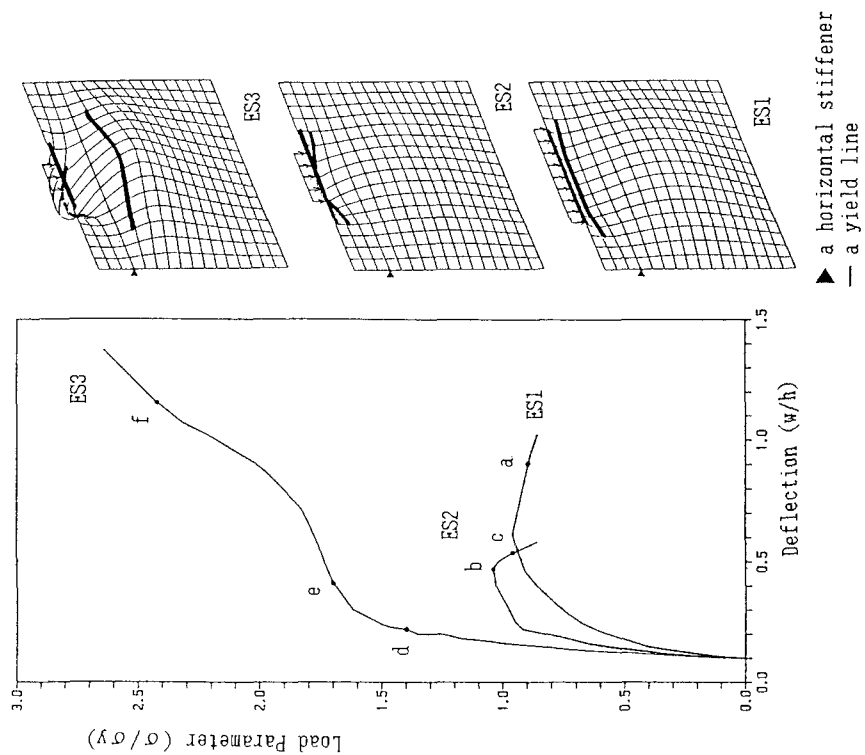


Fig. 3 Load-Deflection Curves (ES)

c)モデル FS3

$\sigma/\sigma_y = 1.5$ 付近まで、面外変形はほとんど生じていない。 σ/σ_y が約 1.5 を超えると、面外変形が徐々に増加するとともに、被載荷部に沿って最初の塑性線が発生し始め、これは、図の d 点で完成した。2 本目の塑性線は、d 点付近より、水平補剛材に沿って発生し始め、e 点に達した時に完成した。このモデルでは、荷重はこれら 2 本の塑性線が完成した後もなお増加するとともに、各パネルの面外変形も増加し、f 点で、下側のパネル内に 3 本目の塑性線が完成した。

このモデルでは、その後も、荷重はわずかながら増加していたが、解析は、この時点で中断した。そのため、このモデルでは、真の最大荷重 (P_{max}) は求まっていない。

3. 2 E タイプのモデル

Fig.3 は、上辺が弾性的に支持された E タイプのモデルの挙動と、面外変形や塑性線の位置を、Fig.2 と同様に示したものである。上辺が固定されたモデルと同じく、小さな荷重幅を持つモデル ES3 では、被載荷辺・上側パネル内及び下側パネル上部に 3 本の塑性線が生じており、他の二つのモデルには、被載荷辺と上側パネルに計 2 本の塑性線が発生した。各モデルの最終段階までの挙動は、次のとおりである。

a)モデル ES1

このモデルの挙動は、下側の塑性線が水平補剛材に沿った位置ではなく、上側のパネル内に発生したことを除くと、その挙動はモデル FS1 とおおむね同じであった。荷重が最大に達した時点で、被載荷部で 10 層中 4 層、上側のパネル内の、面外変形が最も大きな位置で 10 層中 3 層が、曲げによって降伏していた。しかし、塑性域が板厚方向に貫通したのは図中の a 点に達したときである。この a 点で、2 本の塑性線が、ほぼ同時に完成した。

b)モデル ES2

このモデルは、他のモデルとは異なる挙動を見せた。このモデルの面外変形は、図から明らかに、横軸に示した下側のパネルでは、他のモデルに比べ、わずかであった。 σ/σ_y が 0.9 を超えたところで、図中の曲線の傾きが急に変化しているが、この段階から、上側のパネルの面外変形が急激に増加を始めた。そして、曲線上の b 点に達したところで、上側のパネル内に最初の塑性線が発生した。荷重はその後急速に下がり、図中の c 点で、被載荷辺に沿って 2 本目の塑性線が完成した。

他のモデルでは、このあと説明するモデル ES3 も含め、2 本の塑性線がほぼ同時に完成するか、被載荷辺に沿った塑性線が先に完成している。しかしながら、このモデルでは、ここで説明したように、上側パネル内の塑性線が先に完成した。また、このモデルの上側パネルの面外変形が、急激に増加し、その大きさも下側パネルより大きかったことから、このモデルでは、上側パネルの崩壊が先行したと言える。

c)モデル ES3

このモデルでは、 $\sigma/\sigma_y = 1.6$ 付近で曲線の傾きがいったん小さくなった後、 $\sigma/\sigma_y = 1.8$ 付近から、再び大きな傾きを示している。これは、下側パネルの中央部付近の形状が、この荷重段階の前後で、図の右側（手前側）に凸の形から、次第に凹の形に変わったため、図の横軸に用いた下側パネル中央部付近の面外変形の増加率が小さくなったことによる。最初の塑性線は、曲線上の d 点で、被載荷部に沿って発生し、2 本目の塑性線は e 点で、上側パネル内に発生した。また、d 点をすぎるあたりから、水平補剛材の下部に面外曲げにより降伏している点が発生し始めた。この点は、荷重の増加につれ、次第に広がり、曲線の f 点付近に達するまでに、水平補剛材の下に 3 本目の塑性線が形成された。

なお、モデル FS3 と同じく、このモデルでも、解析は、3 本目の塑性線が完成した後に中断されており、真の P_{max} は求まっていない。

4. 最高荷重の比較

ここでは、解析の結果得られた最大荷重を、文献4で示した水平補剛材のないモデルと比較する。Table 2 と Table 3 は、それぞれFタイプおよびEタイプの最大荷重を、Fig.4 は、それらを図示したものである。Fig.4 の縦軸は、前節で得られた支承部の平均膜応力 σ に $c \times h$ をかけて求めた荷重 P を、降伏荷重 $P_y = \sigma_y \cdot ch$ で無次元化したものである。2. で説明したとおり、F1, F2, F3, E1, E2, E3 はそれぞれ、文献4で求めた、水平補剛材のない場合の最大荷重である。表中の()内の値は、それぞれ補剛材のない場合を基準とした、最大荷重の値の比である。なお、3. で述べたように、モデル FS3 と ES3 では、解析は3本目の塑性線が形成された後に中断されており、真の最大荷重は求まっていない。このふたつのモデルについては、表では解析を中断した時点の荷重を示している。

Table 2. P-max and No. of Yield Lines (Models F and FS)

	Model Names	P-max [MN]	Number of Yield lines
$\beta=0.5$	F1	1.152(1.00)	2
	FS1	1.207(1.05)	2
$\beta=0.25$	F2	0.746(1.00)	2
	FS2	0.787(1.05)	2
$\beta=0.125$	F3	0.514(1.00)	2
	FS3	0.649(1.26)*	3

* Maximum load is not reached.

Table 3. P-max and No. of Yield Lines (Models E and ES)

	Model Names	P-max [MN]	Number of Yield lines
$\beta=0.5$	E1	1.023(1.00)	2
	ES1	1.129(1.10)	2
$\beta=0.25$	E2	0.658(1.00)	2
	ES2	0.606(0.92)	2
$\beta=0.125$	E3	0.707(1.00)	3
	ES3	0.782(1.11)*	3

* Maximum load is not reached.

これら二つの表および図から、まず、モデル E3, ES3 を除き、荷重幅の大きなモデルで最大荷重が大きくなっており、それは、おおむね荷重幅と線形関係にあることがわかる。Table 2 は、FS1 の P-max はモデル FS2 のそれに比べ 53% 大きく、FS2 は FS3 に比べ 21% 大きな P-max であることを示している。また、Table 3 から、ES1 の最大荷重は ES2 に比べ、86% も大きいことがわかる。

一方、荷重幅の最も小さなモデルである E3, ES3 の P-max は、E2, ES2 に比べ、それぞれ 7% と 29% 大きい。このふたつのモデルは、いずれも3本の塑性線を呈するモードで崩壊しているのに対し、モデ

ル E1, ES1, E2, ES2 などでは、塑性線の数はいくつかであった。さらに、Fig.4 で黒丸と実線で示した、Fタイプの補剛材つき腹板の P-max で、 $\beta=0.125$ の場合(モデルFS3)が比較的大きな値を示しているが、このモデルも3本の塑性線を有していた。このことは、3本の塑性線を持つモードで崩壊するモデルは塑性線が2本のモデルに比べ相対的に大きな最大荷重を有することを示している。

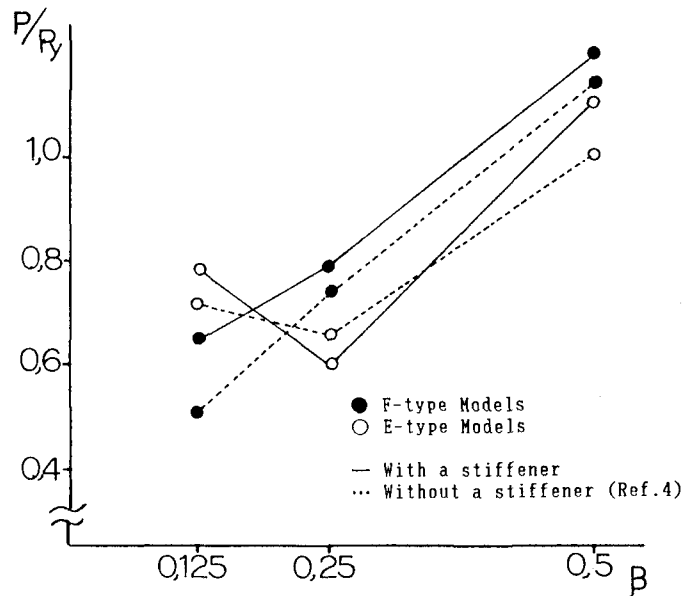


Fig.4 P-max and β Relations

さて、これらの図や表から、Fタイプのモデルの場合、最大荷重は補剛材によって5%から25%増加していることがわかる。Eタイプのモデルでも、 $\beta=0.5$ 、および0.125では、P-maxは約10%程度増加しているが、 $\beta=0.25$ であるモデルES2では、補剛材を有することによって、逆に、8%ほど減少している。

文献8にまとめられているKarnikovaらの実験結果⁷⁾によると、局所荷重を受ける腹板の補剛材は、その剛度や取り付け位置によってはほとんど効果がなく、場合によってはわずかながら強度が小さくなることもある。また、Kutmanovaらの実験結果⁹⁾でも、被載荷フランジが面外方向への回転に対しフレキシブルで、補剛材が桁高の1/2の位置にある場合、腹板の強度は補剛材のない場合に比べ25%程度低下している。本研究で得られた結果もそれらの文献と同様に、補剛材がむしろ有害に作用する場合があることを示している。

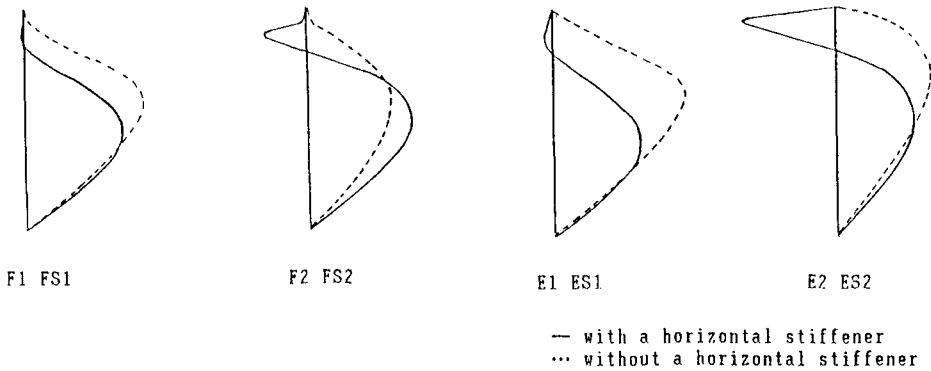


Fig.5 Section Shapes of Web Plates at P-max

Fig.5は、2本の塑性線を持つ4つのモデルと、それぞれに対応する補剛材なしのモデルの、最大荷重時における、腹板中央線に沿った面外変形を示したものである。図の破線は、文献4で得られている補剛材のない場合であり、実線は、補剛材付きのモデルの変形である。この図では、破線で示された腹板の変形が、補剛材により実線のように変化したことを示していると考えてもよい。

図から、F1/FS1, F2/FS2, E1/ES1の各モデルでは、腹板の面外変形が補剛材によって効果的に減少していること、すなわち、これらのモデルでは、変形を拘束する、という、二次部材としての補剛材が有効に機能していることがわかる。一方、モデルE2/ES2では、ES2において水平補剛材より上のパネルの変形は他のモデルに比較して相当に大きく、水平補剛材がこのパネルの変形を加速しているように見える。

破線で示される、水平補剛材のない場合のパネルの変形の形状を見ると、モデルF1, F2, E1では、その最大となる位置は、腹板の被載荷辺より0.4b付近である。一方、モデルE2では、その位置は約0.25bであり、変形のピークが他の3つのモデルよりも上に位置している。

文献8によると、局所荷重を受ける板の水平補剛材は、一般に、その位置が被載荷辺に近いほど効果が大きい。文献9や文献12も、おおむね同様の結論を得ているようである。一方、文献9では、前述のように、補剛材が腹板高さの1/2にあると、腹板の強度は補剛材により逆に低下するという結果が示されている。上記の腹板の変形のピーク位置と、これらの文献の記述から、モデルES2では、水平補剛材がより被載荷辺の近くに配置されていれば、補剛材が、この場合よりは効果的に機能するであろうことが推測される。

現在のところ、局所荷重を受ける腹板に対する水平補剛材については、示方書その他による設計の基準は示されていない。実際の設計・施工に当たってこのような補剛材の設計が必要となった場合に

は、示方書の、桁の面内曲げに対する水平補剛材の規定が準用されることが多いようである。ところが、本研究の結果は、面内曲げに対するものとして設けられた規定による補剛材は、局所荷重を受ける板の場合には、時としてむしろ有害であることを示している。

本研究を始め、補剛材の効果が無い、あるいは補剛材が有害となることもあるという結果を得た文献7や文献9では、腹板に作用する荷重としては、いずれも局所荷重のみを考慮しており、桁の曲げは考慮されていない。また、本研究では、水平補剛材が腹板の変形を加速させるメカニズムについてまで考察することはできなかった。そのため、実際に桁を送り出し工法で架設する場合のように、局所荷重と曲げが同時に作用するような場合では、補剛材がどのような効果を持つのかについては、推測することは難しい。しかしながら、局所荷重を受ける板に水平補剛材を取り付ける際、示方書の実定をする場合には、補剛材の効果やその配置には十分な注意が必要であろう。

5. 結論

本研究では、水平補剛材を持つ腹板が局所荷重を受ける際の挙動が、数値解析により調べられた。その際、水平補剛材の位置は、実際にしばしば行なわれるように、示方書¹⁴⁾の面内曲げに対する水平補剛材の規定により決定した。解析の結果を要約すると、次のようになる。

- ① 荷重幅の比較的大きなモデルは、水平補剛材より上のパネルに2本の塑性線が発生するモードで崩壊する。一方、荷重幅の小さなモデルは、この2本に加え、補剛材より下のパネルにも塑性線が生じ、3本の塑性線を呈するモードで崩壊した。
- ② 腹板の強度は、局所荷重の荷重幅に対してほぼ線形に増加した。しかし、3本の塑性線を持つモデルは、相対的に大きな強度を持った。
- ③ ほとんどのモデルでは、水平補剛材によって、腹板の強度は5%から26%増加した。しかし、一部のモデルでは、水平補剛材により、腹板の強度は逆に低下した。
- ④ ほとんどのモデルで、水平補剛材は、腹板の面外変形を効果的に減少させた。しかし、補剛材により強度が低下したモデルでは、水平補剛材より上のパネルで、他のモデルよりも大きな面外変形が生じていた。

以上の解析結果から、水平補剛材は、一般的には、局所荷重を受ける腹板の強度を増加させることに効果があるが、場合によっては腹板パネルの面外変形を加速し、むしろ有害に作用することもあることがわかる。また、補剛材が有害に作用したモデルでも、それが示方書の桁の曲げに対する規定よりも被載荷辺の近くに配置されていれば、強度増加に効果があるであろうことも推測される。

腹板に取り付けられる水平補剛材は、それ自身が応力を負担する一次部材とは異なり、主として母材の変形を拘束する二次部材である。すなわち、二次部材である補剛材とは、基本的にはそこを変形の節とすることにより、母材の強度を増加させる部材である。この場合、力を受け持つのはあくまで母材であり、補剛材は単に母材が強度を発揮できるようにするための補助的な役割しか果たしていない、と考えることができる（もちろん、二次部材である補剛材がそれ自身ある程度の応力を負担することはあるであろうが、それは、その補剛材本来の役割ではない）。

しかし、本研究で扱っているような、局所荷重を受ける腹板に対する水平補剛材は、力の方向と垂直に配置されることになる。本研究の結果は、このような場合、母材（腹板）が面外に大きく変形し、補剛材は時として、効果を持たないか、むしろ有害であることを示している。

本研究では、腹板は局所荷重のみを受けるものとし、桁の曲げは考慮されていない。また、本研究では、フランジや補剛材の剛性の取り扱いが特殊であるため、本研究の結果から、直ちに現在行なわれている局所荷重を受ける腹板の設計が不適当ということとはできない。この問題についてはさらに詳

しい研究が必要である。しかし、局所荷重を受ける腹板に補剛材を配置する場合には、その効果や配置について、十分な検討が必要であろう。

謝辞

本研究の結果に対しては、米国 Maine 大学の M.Elgaaly 教授より、有益かつ心強いコメントをいただきました。ここに深く感謝いたします。

本研究における数値計算にあたっては、信州大学情報処理センター、および東京大学大型計算機センターを利用した。

参 考 文 献

- 1) Roberts,T.M. and Rockey,K.C. : A mechanism solution for predicting the collapse load of slender plate girders when subjected to in-plane patch loading, Proc. ICE, 2(2), pp. 155-175,1977
- 2) Shimizu,S., Yoshida,S. and Okuhara,H. : An experimental study on patch-loaded web plates, Proc. of ECCS Colloquium on Stability of Plate and Shell Structures, pp.85-94, 1987
- 3) Shimizu,S., Yabana,H. and Yoshida,S. : A new collapse model for patch-loaded web plates, Jour.Construct.Steel Research, Vol.13, pp.61-73, 1989
- 4) Shimizu,S., Horii,S. and Yoshida,S. : The collapse mechanisms of patch loaded web plates, Jour.Construct.Steel Research, Vol.14, pp.321-337, 1989
- 5) 堂垣正博、岸上信彦、米澤 博：部分縁荷重を受けるプレートガーダーの極限強度、構造工学論文集、土木学会、Vol.36A, pp.155-165,1990
- 6) Belgfelt,A. : Patch loading on a slender web - Influence of horizontal and vertical web stiffeners on the load carrying capacity, CTH Division of Steel and Timber Structures, Publ.S 79:1, Göteborg, 1978/79
- 7) Karnikova,I., Novak,P. and Skaloud,M. : Ultimate load behaviour of longitudinally stiffened steel webs subjected to partial edge loading, Stavebnicky casopis, pp.752-755, 1979
- 8) ECCS TWG 8.3 : Behaviour and design of steel plated structures, Edited by Dubas,P. and Gehri,E., Applied Statics and Steel Structures, ETH Hönggerberg, Zürich, 1986
- 9) Kutomanova,I., Janus,K., Lowitova,O. and Skaloud,M. : Ultimate load behaviour of longitudinally stiffened steel webs subject to partial edge loading, Preliminary Report, Contact loading and local effects in thin-walled plated and shell structures, IUTAM Symposium Prague, 1990
- 10) Kutomanova,I., Janus,K., Lowitova,O. and Skaloud,M. : "Breathing" of longitudinally stiffened steel webs subject to variable repeated edge loading, Preliminary Report, Contact loading and local effects in thin-walled plated and shell structures, IUTAM Symposium Prague, 1990
- 11) 堂垣正博、米澤 博、田辺朝雄：局所荷重を受ける水平補剛材付きプレートガーダーの複合非線形解析、土木学会第45回年次学術講演会概要集、I-27、pp.84-85, 1990
- 12) 田辺朝雄、堂垣正博、米澤 博：局所荷重を受ける桁の水平補剛材による補剛効果、土木学会第45回年次学術講演会概要集、I-28、pp.86-87, 1990

- 13) Mikami,I., Miura,Y., Matsumura,K. and Tanaka,K. : Useful techniques for dynamic relaxation method, Technology Reports of Kansai University, Vol.27, 1986
- 14) 道路橋示方書・同解説、Ⅱ鋼橋編、日本道路協会、1980

(1 9 9 0 年 1 0 月 1 2 日 受 付)