

武蔵工業大学 正員 増田陳紀
武蔵工業大学 正員 皆川 勝

武蔵工業大学 正員 西脇威夫
防衛施設庁 正員 〇早坂茂紀

1. はじめに プレートガーダーの耐荷力を解析的に評価しようとする場合、上下フランジと垂直補剛材で囲まれた板パネルを取りだし、このパネルの耐荷力をプレートガーダーの耐荷力と結びつけることが一般的である。その際、従来は板パネルがフランジなどにより周辺を固定あるいは単純支持されているものとして解析することが多く行われていたが、現在はフランジおよび補剛材の変形を考慮した解析も行われるようになってきている。しかし、近年少なからず用いられている曲線桁を対象としてみたとき、そのような周辺の支持条件の影響を考慮して解析した例は非常に少なく、特に材料非線形性まで取り扱った研究は文献 [1] の他にはみあたらず緒についたばかりといえる。本報告は、著者らが開発した座標表示に基づく薄肉立体構造の弾塑性大変位解析法²⁾(以下、YMM法と呼ぶ)に、計算の効率化のための補剛材の取り扱いに関する修正を加えた解法³⁾を用いて、中井、北田らにより行われたプレートガーダーのせん断強度実験に対応する平面および曲面パネルの耐荷力解析を行い、両者の比較を通じて、解法の妥当性および問題点を検討した結果を述べるものである。

2. 解析方法 YMM法における薄板要素は、面内回転変位成分を含む1節点6自由度系18自由度を有する三角形要素であり、補剛材をも含めて3次元構造全体をこの薄板要素でモデル化することは極めて容易であるが、その場合には要素数、節点数が増大し、計算時間、記憶容量などの面から得策ではない。したがって、精度的にみて問題がなければ補剛材を骨組要素で表現しようとすることは自然である。上記の三角形要素が通常の骨組要素と同じ節点自由度を有しているために、両者の結合もまた容易である。しかし、補剛材は薄板の中央面に対してどちらか一方の側に取り付けられるのが普通であり、偏心の効果を考慮する必要がある。従来多用されている単なる座標変換により偏心を考慮する方法では、純曲げ以外の場合誤差を与えることから、ここでは文献 [3] に示された偏心および材料非線形性を考慮した骨組要素剛性行列を採用する。この要素も通常の骨組要素と同じく1節点6自由度を有する。

3. 解析対象およびそのモデル化 中井らが実績調査に基づいて作製し、実験を行った次のようなせん断を受ける直線桁および曲線桁に対応する解析を行なう。

- (1) 腹板に補剛材が取り付けられていない直線桁
- (2) 腹板に補剛材が取り付けられていない曲線桁
- (3) 腹板の中央に垂直補剛材が取り付けられている直線桁
- (4) 腹板の中央に垂直補剛材が取り付けられている曲線桁
- (5) 腹板に垂直、水平補剛材が取り付けられている曲線桁

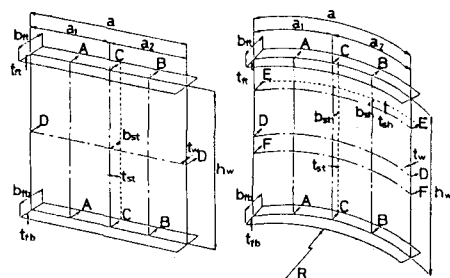


図1 解析対象パネル

表1 解析対象諸元

Girder NO.	Radius of Curvature R (mm)	Web Panel (mm)				Flange Plate (mm)				Stiffener (mm)			
		Width a		Height h _w	Thick-ness t _w	Top		Bottom		Trans.		Long.	
		a ₁	a ₂			Width b _{ft}	Thick-ness t _{ft}	Width b _{fb}	Thick-ness t _{fb}	Width b _{st}	Thick-ness t _{st}	Width b _{sh}	Thick-ness t _{sh}
1	—	800.0		800.0	3.2	140.0	9.00	140.0	9.00	—	—	—	—
2	—	400.0	400.0							67.3	9.00	—	—
3	—	800.0								—	—	—	—
4	—	400.0	400.0							42.0	4.50	—	—
5	10,000	800.0								—	—	—	—
6	—	400.0	400.0	42.0	3.2	30.0	2.0						
7	—	—	—					32.0	3.2				
8	—												
9	—												

表2 材料定数⁴⁾

Girder NO.	Yield Point (Mpa)			
	Flange σ _{yf}	Web σ _{yw}	I-stiff. σ _{yst}	L-stiff. σ _{ysh}
1	353	314	—	—
2	353	314	353	—
3	353	314	—	—
4	346	293	293	—
5	—	—	—	—
6	353	301	301	301
7	—	—	—	—
8	—	—	—	—
9	353	301	301	353

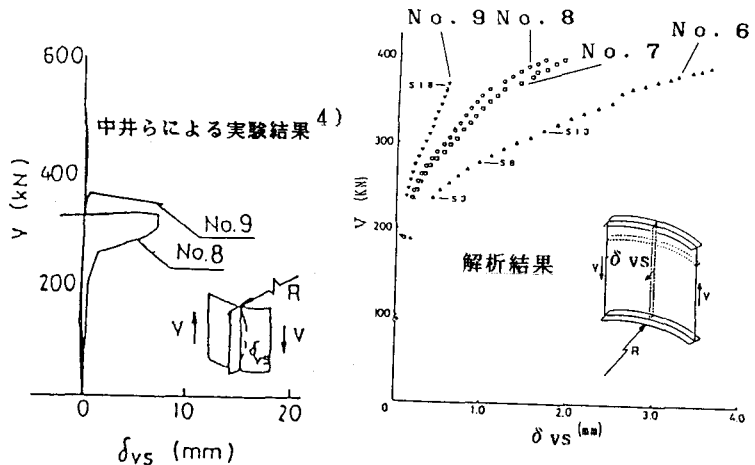
解析の対象とした部分は図1に示すように剛な垂直補剛材で挟まれたパネル部分であり、フランジの影響を考慮するためフランジ部分も含めている。構造諸元および材料定数は表1および2に示す通りである。要素分割は、無補剛パネルの場合、幅方向、高さ方向共に10等分割とし、フランジ部は幅方向に2等分割とする。一方、垂直補剛材が中央に取り付けられたパネルの場合、幅方向に16等分割、高さ方向に10等分割とし、フランジ部は幅方向に4等分割とする。補剛材はすべて骨組要素に置き換え、垂直補剛材は10等分割、水平補剛材は16等分割としてパネルの分割と一致させる。板厚方向の塑性域の進展は、上下フランジとパネルを10層に分割し、補剛材は部材の深さ方向に10層に分割して考慮する。境界条件は、パネル両側辺の面内方向水平変位を拘束し、面外方向は単純支持とする。荷重はパネル両側辺の強制変位として与え、得られる反力をせん断力とする。なお、平面パネルに対しては初期たわみとして、道路橋示方書⁵⁾の規定を念頭にし、パネル高さの $1/250$ の大きさの二重正弦波形を与える。

4. 解析結果および考察 解析結果の一例として、垂直補剛材中央の曲率中心方向のたわみ δ_{vs} と作用せん断力 V との関係を中井らの実験結果と共に図2に示す。また、本解析で得られた終局せん断力 V_u を実験結果 V_{uN} と比較して表3に示す。表より、No.2、3および9のケースに対する本解析結果は実験結果を数%上回る程度であることがわかる。No.1のケースに対する解析結果が実験結果より約18%高めにしているのは、実験ではフランジ先端表裏のひずみが終局荷重において流れだし降伏ひずみを上回っているのに対し、本解析ではフランジ部の要素分割が粗く、この現象を捉えられないためと考えられる。また、No.4、8のケースに対する解析結果が同じく実験結果より15~17%高くなっているのは、図2に見られるように実験では桁の崩壊以前に垂直補剛材が座屈しているのに対し、解析ではそのような座屈が起きていないことによると思われる。なお、図より、水平補剛材の剛度が大きくなるにしたがって、垂直補剛材中心のたわみは小さくなるものの、終局せん断力は変わらないことがわかる。

5. おわりに 以上、YMM法に偏心骨組要素を導入した解法の、補剛された平面および曲面パネルの耐荷力解析への適用性を実験結果との比較により検討した。補剛材に局部塑性座屈が生ずる場合に対処し得るように改良する余地が残されているものの、それ以外の場合には十分耐荷力ならびに崩壊に至る挙動を追跡し得る解法と考える。なお、本研究に対し文部省科学研究費補助金・一般研究(C)の給付を受けた記して謝意を表する。

表3 終局せん断力

Girder NO.	YMM V_u (KN)	Experimental Result V_{uN} (KN)	Ratio V_u/V_{uN}
1	504	426	1.183
2	593	573	1.035
3	412	404	1.020
4	560	479	1.169
5	254	—	—
6	389	—	—
7	397	—	—
8	399	345	1.154
9	398	372	1.067

図2 せん断力とパネル中央面外たわみの関係 ($V - \delta_{vs}$ 関係)

〔参考文献〕 1) 大村裕、藤井堅、平尾克之：曲げを受ける曲線桁の非線形断面変形挙動と耐荷力について、土木学会第40回年次学術講演会要旨、I-72、pp.143-144、1985。2) 吉田裕、増田陳紀、松田隆：薄板で構成される立体構造物の弾塑性・大変位離散化要素解析法、土木学会論文報告集、第288号、pp.41-55、1979。3) 増田陳紀、西脇威夫、皆川勝、早坂茂紀：有限要素法による補剛パネルの耐荷力評価に関する研究、第10回構造工学における数値解析法シンポジウム論文集、1986。4) 中井博、北田俊行、大南亮一、福本和弘：曲線桁線プレートガーダーのせん断強度に関する実験的研究、土木学会論文集、第350号/I-2、pp.280-290、1984。5) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説、丸善、1980。