広島大学大学院	正会員	藤井	堅
広島大学大学院	フェロー会員	中村	秀治

広島大学大学院

1. 背景・目的

平成8年の道路橋示方書の改訂により,経費縮減など を目的として少数主桁橋が多数架設されるようなり,フ ランジでは 50mm を超える極厚鋼板が採用されるように なってきている.このように極厚フランジを用いる場合, フランジ垂直座屈崩壊が生じる可能性があると考え、筆 者ら¹⁾はこれまでに曲げ載荷実験,有限要素解析を行い, フランジの降伏後にフランジ垂直座屈が起こることを確 認した.また,ウェブが比較的薄肉の場合であっても大 きな変形能を有することも確認した.

AISI や AASHTO の LRFD 示方書²⁾では ASD 法(オート ストレス設計法)を提案し、大きな回転変形を要求してい る これらの設計では ASD 法の適用可能範囲をウェブ, フランジの幅厚比によって制限しているが,この幅厚比 制限は極厚フランジについて十分に検討されていない。

そこで本研究では,極厚フランジを有するプレートガ ーダーの変形能について検討する.

2. 残留応力の影響

これまでに極厚フランジを用いたプレートガーダーの 曲げ耐荷力,変形能へ及ぼす残留応力の影響は検討され ていない、よってここでは,曲げ耐荷力,変形能へ及ぼ す残留応力の影響を検討する.

極厚鋼板では,鋼板製造の熱間圧延過程において表面 から冷却されるため,表面付近と内部での残留応力が異 なることが藤井 3)によって示されている.よって,ここ では溶接による残留応力の影響と鋼板製造時に生じる板 厚方向の残留応力について検討する.

2.1 解析概要

極厚フランジを有するプレートガーダーを想定した 2 体の供試体モデルの残留応力による影響について弾塑性 有限要素解析を行い検討する.表 1 に断面のパラメー タを示す.図 1 に示すように,表中 NC161-4 は AASHTO の定める断面区分におけるノンコンパクト断 面,C87-4 は塑性回転を有するコンパクト断面を満たし ている.

弾塑性有限要素解析に用いる要素は,溶接による残留 応力を検討するモデルについては,図 2(a)に示すよう に4節点シェル要素を用いた.また,鋼板製造時に生じ る残留応力を検討するモデルについては,フランジの板 厚方向の残留応力を考慮するため,図 2(b)に示すよう にフランジにのみ8節点ソリッド要素を用いた.

学生会員

川見 周平 堅

鋼材の材料特性を表 2 に示す.材料特性は,曲げ載 荷実験で使用した鋼材の引張試験結果から得られた公称 応力 公称ひずみを真応力 真ひずみに変換して用い, 降伏判定は Mises の降伏条件に従うものとする.



残留応力

図 2 解析モデル

2.2 残留応力

溶接による残留応力は,一般的に考えられている残留 応力をモデル化した図 3 のように与えた.残留応力の 影響を検討するため,本研究では,残留応力をフランジ のみに考慮した場合とフランジとウェブに考慮した場合 の2ケースについて検討する.

鋼板製造時に生じる残留応力は,極厚板の製造過程で の表面と内部での冷却速度が異なるために,薄板鋼板よ りも表面付近と内部付近での残留応力が異なる.この残 留応力に関しては,藤井³によって図 4のような残留応 力分布になることが示されている.本研究では,この残 留応力分布を参考に図 4 に示すような残留応力分布を 仮定し,上下フランジの板厚方向に考慮した.

2.3 結果と考察

(1)溶接による残留応力の影響

表 3および図 5(a)を見ると,C87-4はAISIの幅厚 比規定を満たしていないが,実験値・解析値ともに全塑 性モーメントに達していることがわかる.表 3 および 図 5(a)で残留応力をフランジのみに与えた場合とフラ ンジおよびウェブに与えた場合を比較すると,どちらも ほぼ同じ終局モーメントであり,荷重-回転角曲線の挙 動は一致している.これは図 6(a)を見ると,崩壊時に フランジおよびウェブが全断面降伏して崩壊するため, 残留応力の影響がないと考えられる.

次に NC161 4 は,表 3 および図 5(b)より実験結 果と解析結果を比較すると,耐力低下が生じる時の回転 容量に違いはあるが,一定の耐力を維持して変形が進む. また,耐荷力については実験値および解析値でほぼ一致 している.残留応力をフランジのみに与えた場合とフラ ンジおよびウェブに与えた場合を比較すると,C87-4 同 様,終局モーメントおよび回転容量に大きな影響はない ことがわかる.図 6(b)を見ると,C87-4 同様,崩壊時 にフランジおよびウェブが全断面降伏して崩壊するため, 残留応力の影響がないと考えられる.

(2)鋼板製造時に生じる残留応力の影響

C87-4 は表 4 および図 7(a)を見ると,板厚方向に残 留応力を考慮した場合と考慮しない場合ではどちらもほ ぼ同じ終局モーメントであり,荷重-回転角曲線の挙動 は一致している.

また表 4 および図 7(b)を見ると, NC161 4 は C87-4 同様, 残留応力の影響がないことがわかる.これ

表 2 材料特性

	NC1	61-4	C87-4		
	フランジ	ウェブ	フランジ	ウェブ	
σy	246	347	265	364	
σ_t	397	425	420	434	
Е	190	200	198	207	
ν	0.27	0.26	0.27	0.26	

y:降伏応力(MPa)

t:引張応力(MPa)





図 3 溶接による残留応力のモデル形状



図 4 鋼板製造時に生じる残留応力分布

表 3 曲げ耐荷力と回転容量(溶接による残留応力)

		残留応力	$M_u(kN\cdot m)$	M_u/M_y	$\theta_{yAV}\!/\theta_y$	M_u/M_p	$\theta_{pAV}\!/\theta_p$
実験値 C87-4 解析値	-	744.5	1.32	24.3	1.16	21.5	
	8215/直	フランジ	703.6	1.24	30.9	1.10	25.3
	周年1711世	フランジ+ウェブ	697.0	1.25	30.8	1.10	25.2
実験値 NC161-4 解析値	実験値	-	358.8	1.08	12.1	0.99	-
	解析値	フランジ	327.8	1.03	8.4	0.92	-
		フランジ+ウェブ	327.8	1.03	8.7	0.92	-

Mu:終局モーメント, My:降伏モーメント, Mp:全塑性モーメント

θy:降伏モーメントに対する弾性限界回転角

θ_p:全塑性モーメントに対する弾性限界回転角



については,溶接による残留応力の結果同様,フランジ 全断面降伏し崩壊するため,残留応力の影響はないと考 えられる.

このように極厚フランジを用いたプレートガーダーは, フランジが全断面で降伏した後に崩壊するため,残留応 力の影響がないと思われる.

表	4	曲げ耐荷力と回転容量			

(쾟似衆垣时に土しる残田心川)							
		残留応力	$\mathbf{M}_{\mathbf{u}}(\mathbf{kN}\cdot\mathbf{m})$	M_u/M_y	$\theta_{yAV}\!/\theta_y$	M _u /M _p	$\theta_{pAV}\!/\theta_p$
	実験値	-	744.5	1.32	24.3	1.16	21.5
C87-4	解析値	なし	627.8	1.17	19.3	1.04	15.8
		あり	651.2	1.19	22.0	1.06	18.5
	実験値	-	358.8	1.08	12.1	0.99	-
NC161-4	解析値	なし	300.7	1.00	12.3	0.90	-
		あり	309.8	1.02	15.7	0.92	-

Mu:終局モーメント, My:降伏モーメント, Mp:全塑性モーメント

θ_ν:降伏モーメントに対する弾性限界回転角

θ_p:全塑性モーメントに対する弾性限界回転角

3.パラメトリック解析

3.1 解析概要

解析は4節点シェル要素を用いて行った.解析モデル を図 8 に示す.材料定数はSS400鋼材の引張試験結果 から得られた公称応力 公称ひずみを真応力 真ひずみ に変換して用いた.鋼材定数を表 5 に示す.

本解析では,プレートガーダーの曲げ耐荷力に影響を 及ぼす断面形状パラメータであるウェブ幅厚比,フラン ジ突出脚幅厚比を変化させて解析を行った 図 9にAISI



図 8 解析モデル

表 5	材料定数(鋼材:SS400)					
	у	t	Е			
No.1	239	421	206	0.25		
No.2	243	422	207	0.27		
Ave.	241	421	207	0.26		

y:降伏応力(MPa) t:引張応力(MPa) E:弾性係数(GPa) :ポアソン比



3.2 変形能の評価

本研究での変形能の評価は,フランジ降伏モーメント および全塑性モーメントの回転容量を用いて比較する. それぞれの回転容量の考え方を図 10 に示す.図 103 に示す塑性回転容量を弾性限界回転角で無次元化した R_p, R_yを用いて変形能を評価する. n



3.3 解析結果

図 11 を見ると,フランジ水平座屈が生じる場合,崩 壊後の耐力低下が急激であることがわかる.また,図 12 のフランジねじれ座屈で崩壊する場合を見ると,崩壊 後の耐力低下が緩やかであることがわかる.図 11 と図 12 を比較するとわかるように,曲げ耐荷力にはほとん ど差はないが,崩壊後の耐力低下の挙動により,回転容量に影響することがわかる.また,図 13 に示すフランジ垂直座屈で崩壊する場合も急激な耐力低下が生じているため,フランジ垂直座屈での崩壊も回転容量を低下させる原因になると考えられる.



- 4.結論
- プレートガーダーに極厚フランジを用いる場合,フ ランジが全断面で降伏するため,曲げ耐荷力,変形 能に残留応力の影響がないことを確認した.
- 2)フランジ突出脚幅厚比が小さくなると,フランジ水 平座屈が生じやすくなり,曲げ耐荷力が低下するこ とを確認した.
- 3)崩壊形式が異なると耐力低下の挙動が異なり,回転 容量に大きく影響することがわかった.

謝辞

本研究に際し,(社)日本鉄鋼連盟の学生研究助成を賜りました.ここに記して謝意を表します。

参考文献

- 1) AASHTO LRFD 橋梁示方書: LRFD Bridge Design Specification, 2nd Ed, American Association of State Highway and Transportation Officials, D.C., 1998.
- 2)入川充夫,藤井堅,川見周平,南鉄木:極厚フランジ を有するプレートガーダーの曲げ崩壊形式と変形能, 構造工学論文集,土木学会,Vol.55A,2009.
- 3)藤井堅,石川晋介,中茂泰則,田中雅人:極厚鋼板の 材料特性と残留応力およびその静的強度への影響,土 木学会論文集,土木学会(投稿中)