

琉球大学 正員 矢吹哲哉

琉球大学 正員 有住康則

1. まえがき 現在多くの設計基準では、板桁構造に対する極限強度をフランジの局部座屈強度と部材の横ねじれ座屈強度の小さい方で規定しており、それらの連成の影響、フランジとウェブの幅厚比の組合せの影響、断面構成板幅厚比と桁部材細長比の組合せの影響、各種鋼材の影響、等の評価に関しては十分でない面が見受けられる。前年度において、著者等はLYR鋼I形断面桁の横ねじれ座屈強度を検討した¹⁾。その結果、塑性強度断面を使用することにより、LYR鋼の低降伏比の特性を桁極限強度に反映させることが出来ると言う結論を得た。そこで本年度は、いかなる断面構成にすれば塑性強度断面を確保することが出来るかと言った問題に対する基礎的な資料を提供する為に、断面構成板の幅厚比及び桁部材細長比を各種変化させて、溶接I形断面桁の極限強度を立体板構造に対する弾塑性有限変位解析法によって数値解析し、LYR鋼厚肉板桁構造の可能性について探った。

2. 解析法及び解析モデル ここでは、板厚面でのせん断歪を考慮したアイソパラメトリックシェル要素モデルによる弾塑性有限変位理論に基づいた数値解析法²⁾を用いた。解析式はUpdated Lagrangian法による増分理論に基づいて定式化し、材料はVon Misesの降伏条件式及び、Prandtl-Reussの塑性流れ理論に従うものとした。数値解析では、変位増分で曲げを与え、Newton-Raphson法に基づいて収束計算を行った。

解析モデルは図-1に示すような二軸対称I形断面曲げ部材とし、桁の対称性を考慮してL/2のみを解析した。又、元撓みは、道路橋示方書に規定されている制作誤差の最大許容値L/1000をスパン中央で有するsin半波形状を面外方向に考慮した。解析で使用したパラメータを表-2に示す。表中、 λ_f , λ_w , λ_g はフランジとウェブの幅厚比パラメータ及びI形断面桁の横ねじれ座屈に対する細長比パラメータで、それぞれ次式による。

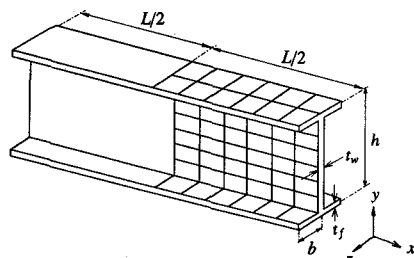


図-1 解析モデル

表-1 各鋼材の材料特性

Steel Grade	SS 41	LYR	SM58
σ_Y (kgf/cm ²)	2400	4310	4600
E (kgf/cm ²)	2.1×10^6	2.09×10^6	2.1×10^6
E_{st} (%)	1.77	0.48	0.22
Strain Hardening Curve $\left(\frac{\sigma}{\sigma_Y}\right)$	$0.480 \left(\frac{\epsilon}{\epsilon_Y}\right)^{0.268}$	$0.894 \left(\frac{\epsilon}{\epsilon_Y}\right)^{0.132}$	$E_{st}(\epsilon - \epsilon_Y)/\sigma_Y + 1 \sim 27400(\epsilon - \epsilon_Y)/\sigma_Y + 1$

$$\lambda_f = \frac{b}{t_f} \cdot \sqrt{\frac{12(1-\nu^2)\sigma_Y}{0.425\pi^2 E}}, \quad \lambda_w = \frac{h}{t_w} \cdot \sqrt{\frac{12(1-\nu^2)\sigma_Y}{23.9\pi^2 E}}, \quad \lambda_g = L \cdot \sqrt{\frac{(A_f + A_w/6)\sigma_Y}{\pi^2 E I_f}}$$

ここに、 σ_Y は鋼材の降伏応力度である。使用鋼材としてLYR鋼の他に、比較の為にSS41鋼とSM58鋼についても検討した。各鋼材の材料特性を表-1に示す。

表-2 断面及び構造区分と崩壊区分

Section	Web Plate			Flange Plate			Sectional Division DIN1800	Classification of Buckling				
	h/t _w	Grade	λ_w	b/t _f	Grade	λ_f		$\lambda_g=0.3$ (0.96)	$\lambda_g=0.6$ (0.84)	$\lambda_g=0.9$ (0.71)	$\lambda_g=1.2$ (0.59)	$\lambda_g=1.5$ (0.46)
Division-A	152	SS41	1.11 (0.92)	16	SS41	0.87 (0.87)	4	F+W	O+F+W	O+W	O	O
	110	SM58	1.11 (0.92)		SM58	1.21 (0.70)	4	F+W	O+F+W	O+F+W	O+F+W	O+W
	120	LYR60	1.17 (0.89)		LYR60	1.17 (0.72)	4	F+W	O+F+W	O+F+W	O+F+W	O
Division-B	120	SS41	0.87	8	SS41	0.44	3	O+F+W	O+F+W	O+W	O+W	O
		SM58	0.60		SM58	0.60	4	F+W	O+F+W	O+F+W	O+W	O
		LYR60	0.58		LYR60	0.58	4	F+W	O+F+W	O+F+W	O+F+W	O
		SS41	0.22	4	SS41	0.22	3	W	O+W	O+W	O+W	O+W
Division-C	60	SM58	0.30		SM58	0.30	4	W	W	O+F+W	O+F+W	O+F+W
		LYR60	0.29		LYR60	0.29	4	W	O+W	O+F+W	O+F+W	O+F+W
		SS41	0.22	4	SS41	0.22	1	O+F+W	O+W	O	O	O
Division-D	30	SM58	0.30		SM58	0.30	1-2	O+F+W	O+F+W	O+W	O	O
		LYR60	0.29		LYR60	0.29	1	O+F+W	O+W	O	O	O
		SS41	0.22		SS41	0.22	1	O	O	O	O	O

Note: $\lambda_w, \lambda_f, \lambda_g$ =slenderness ratio parameter of web, flange and girder; ()=ultimate strength of individual element; F, W=local buckling of flange, web plate; O=overall buckling of plate girder; + =interaction buckling.

3. 断面及び構造区分と崩壊区分 板要素幅厚比で評価される断面区分及び桁部材細長比で評価される構造区分と板桁構造の崩壊区分との関係を検討するために、表-2に示した様な断面区分²⁾を考慮した。即ち、断面区分A=フランジ板要素の局部座屈強度で桁強度が決まる；断面区分B=ウェブ板要素の連成局部座屈強度で桁強度が決まる；断面区分C=フランジとウェブ板要素の連成局部座屈強度で桁強度が決まる；断面区分D=部材の横ねじれ座屈強度で桁強度が決まる、である。強度設計におけるI形断面の断面区分については、フランジとウェブについてそれぞれ個別の板要素強度に基づいて規定した設計基準が大半であり、両者の連成及び厚肉板による拘束等の影響は明確ではないが、一例としてDIN18800による設計基準断面区分も表-2中に示した。即ち、断面区分1=塑性設計法適用断面；断面区分2=一断面塑性限界適用断面；断面区分3=降伏強度適用断面；断面区分4=局部座屈強度適用断面、である。同表中、

() 内に示した値は降伏応力度で無次元化した個別板要素の強度²⁾及び鋼種による曲げ圧縮強度で、記述のないものは全て1.00である。又、表中の崩壊区分欄に示した記号は、F=フランジ板要素の局部座屈、W=ウェブ板要素の局部座屈、O=桁部材の横ねじれ座屈、+=連成座屈、をそれぞれ示す。同表より、崩壊様式は、断面構成板要素の局部座屈が崩壊の主要因である場合、断面構成板要素の連成局部座屈が崩壊の主要因である場合、断面構成板要素の局部座屈と桁の横ねじれ座屈の連成座屈が崩壊の主要因である場合、桁の横ねじれ座屈が崩壊の主要因である場合に、それぞれ区分される。しかし、その大半は連成座屈であることが解る。崩壊様式の代表的な例を図-2に示す。これらの崩壊に至る過程では、板挙動、互いの板要素による拘束及び連成、桁部材挙動等が相互に作用し合って外力に抵抗し、終局状態に至る。従って、こうした相互作用の影響をいかに取り扱うかの検討が必要であろう。極限強度と横ねじれ座屈に対する細長比パラメータとの相関関係を、薄肉断面として設計される区分Aについて図-3に、厚肉コンパクト断面として評価される区分Dについて図-4に、それぞれ示す。部材細長比が小さい場合、当然のこととして、薄肉断面の場合は塑性限界に至る以前に局部座屈が卓越して崩壊に至り、厚肉断面の場合は部材の横ねじれ座屈が卓越して崩壊に至っている。厚肉コンパクト断面桁では塑性強度が期待され、LYR鋼が僅かに他の鋼材より勝ることが解る。区分D断面を有する桁中央部での曲げモーメントと曲率の関係を図-5に示す。図より、LYR鋼厚肉コンパクト断面は極めて良好な変形能を有すると言える。

4. あとがき 板桁の強度は、フランジとウェブの幅厚比パラメータ及び桁部材の横ねじれ座屈に対する細長比パラメータの影響を受ける。従って、これらの相互作用の影響をいかに取り扱うかの検討が必要であろう。強度及び変形能の観点からすれば、LYR鋼厚肉板桁は高性能を有しており、可能性は十分にあると思われる。

参考文献

- 1) 下里、矢吹、有住：LYR鋼開断面桁の耐荷力について、土木学会第48回年次講演概要集、第一部、1993。
- 2) Yabuki, Arizumi, Yashiro: Ultimate strength and its practical evaluation of cylindrical steel shell panels under various compression, Proc. of JSCE, No.489, 1994.

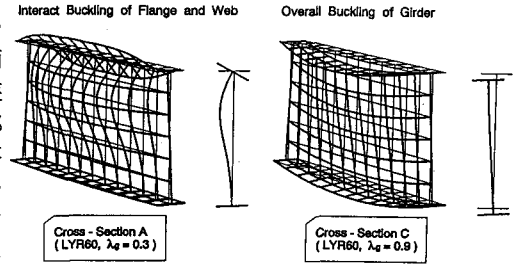


図-2 崩壊様式の代表例

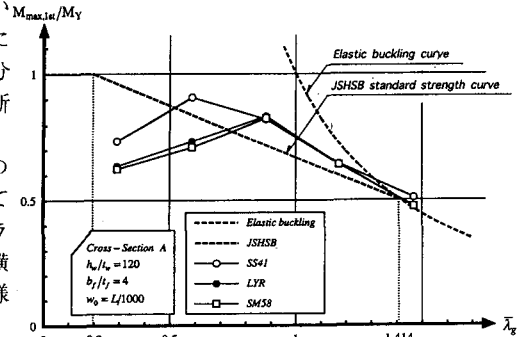


図-3 薄肉断面桁極限強度と

桁部材細長比パラメータの関係

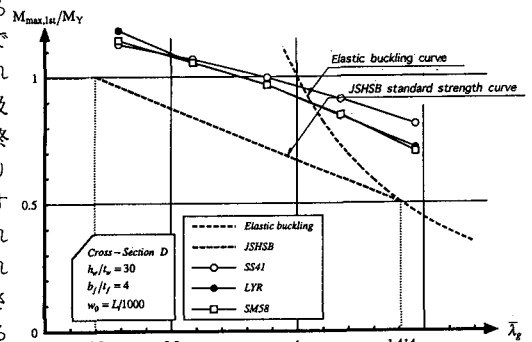


図-4 厚肉断面桁極限強度と

桁部材細長比パラメータの関係

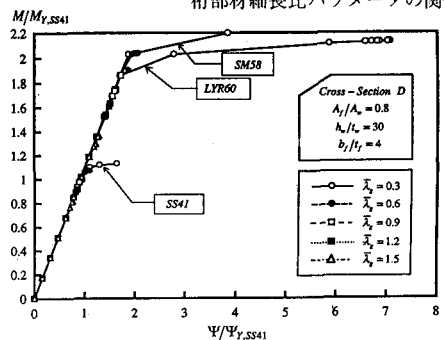


図-5 曲げモーメントと曲率の関係