

熊本大学 正員 崎元達郎
Ohio State Univ. Morris Ojalvo

1) まえがき：著者の一人は、先に、そりねじりを考慮した開断面材の三次元弾塑性有限変位理論を定式化し、基礎的な弾塑性ねじり実験結果と比較して、その妥当性を確認した¹⁾。本報では、1970年にテキサス大学で行われた3径間連続梁の弾塑性座屈実験²⁾に対して、上記の方法を適用して座屈モーメントの理論値を求め、実験値と比較検討を行う。

2) 実験の概要：実験は1969年のAISC示方書規定を検討することを目的として行われた。供試体は、32体の圧延梁と3体の溶接析からなる計37体で、一般寸法を図-1に示している。断面寸法、荷重条件、横変位拘束位置などによって供試体を分類したものを表-1に示す。断面は2軸対称で、使用材料の公称降伏応力度 σ_y は、36, 50, 65 ksi (248, 345, 449 kN/m²) の3種である。荷重は油圧ジャッキを用いて上フランジに作用させ(実際には、図-1を上下逆に考えて、下フランジを juck up する形で載荷された。) 端支支の反力を同時測定することにより、任意長の曲げモーメントが得られる。

3) 数値解析の為のモデル：実験に於て横倒れ座屈で崩壊した25体の供試体について数値解析を行った。梁は、図に軸で代表させ、中央支間を16分割、側径間を4分割して、有限要素法に対するモデル化を行う。荷重作用点が上フランジであること、及び、圧縮フランジにのみ横変位拘束を有する場合を考慮する為、梁の軸線上のその位置に長さ梁高の半分の部材を挿入して所要の条件を満足させた。上下フランジは中方向に12分割、ウェブは高さ方向に8分割し、さらに各板は厚さ方向に8層に分割し、計256の断面細要素に対して、応力とひずみを計算する。実験では、その影響は少いとして残留応力の測定を行っていないが、解析モデルでは、図-2に示すような一般的に予想される程度の残留応力分布形と大きさを仮定し、初期応力として与えた。

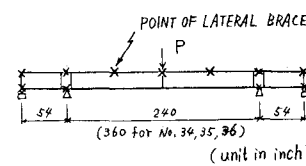
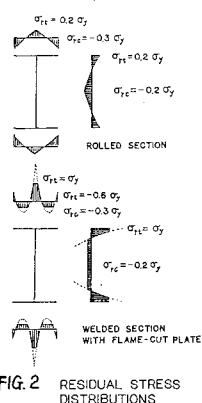


FIG. 1 TEST SPECIMENS

TABLE 1 CLASSIFICATION OF SPECIMENS

CASE	LOADS & RESTRAINTS	SECTIONS	W12X14	W12X16.5	W12X22	W12X27	W12X28	W24X55	PLATE GIRDER
A			1, 2, 4	6"		(11)	12		
B			(3)	5					
C			7	9", 10"	14"	15"			16
D			8						
E			17	20", 21", 22"	23", 24", 25"	(26)	29", 31"		
F			18, 19				(27)	(30)	
G					33				
H			34						
I								35	36*
J									37*
K			(32)						

NUMERALS = SPECIMEN NUMBERS IN REF. 2

() = NO LATERAL BRACING

* = INADEQUATE FOR COMPARISON WITH THE THEORY BECAUSE OF LOCAL BUCKLING OR OTHER REASONS

X = LATERAL RESTRAINTS

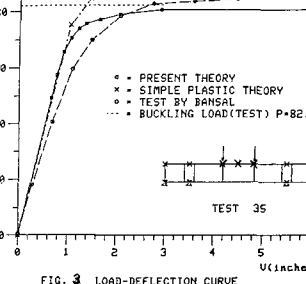


FIG. 3 LOAD-DEFLECTION CURVE

TABLE 2 EFFECTS OF INITIAL DISTURBANCES

CASE	INITIAL MODES	FINAL MODES	P/P _E
A			0.99
B			0.99
C			0.97
D			0.97

面外初期たわみの測定結果も報告されていないが、解析モデルでは、各横変位拘束点を節とする正弦波を仮定し、その振幅(最大たわみ)は、中央支間長の1/20,000と仮定した。荷重増分法により逐次計算を進め、変位の発散する荷重として、座屈荷重を算定した。解析結果の一例として、荷重-面内たわみ曲線を図-3に示す。また、供試体No.5に対して種々の初期変形を仮定した時の座屈モードと座屈荷重(P_T = 解析値, P_E = 実験値)を表-2に示しているが、仮定した絶対値の初期変形に対しては、そのモードが座屈強度に及ぼす影響は、数%以内であることが確認できる。

4) 横倒れ座屈強度：座屈荷重の実験値(P_E)と解析値(P_T)を表-3に示す。両荷重を、単純塑性理論による機構崩壊荷重(P_M)で無次元化した値を、無次元細長比($L \sigma_y / 36 r_y$)に対して、プロット

したものを図-4, 5に示す。解析値と実験値の比(P_T/P_E)は、No. 4をのぞけば、0.85~1.09であり、両者が良い一致を示すことが解る。No. 4については、実験に於ける座屈荷重の算定に主観的判断があったのではないかと懸念される。表-4に各供試体の座屈モーメントを示す。この場合の座屈モーメントは、座屈したパネル(実験では、すべて最も中央寄りのパネルで座屈を生じた。)の両端に於ける端部モーメントの内大きい方の値を言う。表中、 λ は有効細長比で、 M_{PL} は断面の塑性モーメント、 M_E は弾性座屈モーメントで、算定には次式³⁾を用いた。

$$M_E = \frac{C_1 \pi}{K_y L} \sqrt{EI_y GJ \left[1 + \frac{\pi^2 EC_w}{GJ (K_z L)^2} \right]} \quad (1)$$

ここに、 $C_1 = 1.75 + 1.05\beta + 0.3\beta^2 \geq 2.56$
 β = 補剛材間部材の端部モーメント比 $M(\text{---}) \rightarrow \beta M$
 K_y, K_z = 有効長さ係数、 L = 無補剛材長
 EI_y = 弱軸まわりの曲げ剛性、 GJ = St. Venant のねじり剛性
 EC_w = そりねじり剛性

ただし、ここでは、 $K_y = K_z = 1.0$ とした。
 図-6は、 $\delta_r - \lambda$ の関係を明示したもので、ECCSが提案している強度曲線も併記した。実験では、塑性化開始後間もなくひずみ硬化を生じるので、ほとんどの供試体で座屈モーメントは、塑性モーメントを越える大きな値を示している。解析では、ひずみ硬化を考慮した $\sigma - \epsilon$ linear 型の $\sigma_r - \lambda$ 曲線を用いて

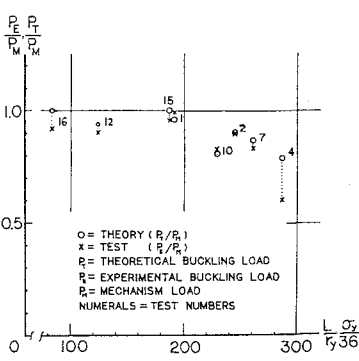


FIG. 4 COMPARISON OF BUCKLING LOADS

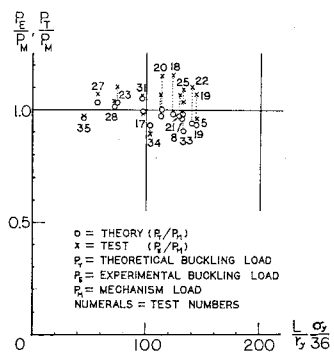


FIG. 5 COMPARISON OF BUCKLING LOADS

いるが、座屈モーメントは、ほとんどの場合、塑性モーメントを越えていない。これは、曲率が非常に大になる塑性ヒンジ近辺の局所的なひず

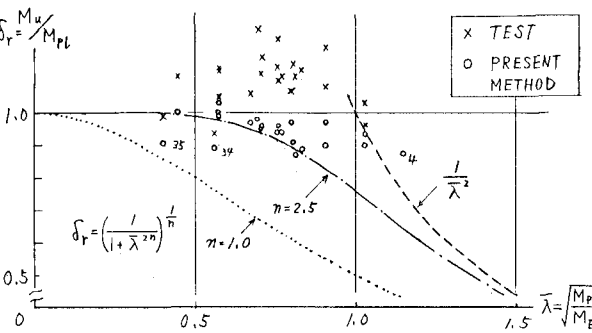


Fig. 6 COMPARISON WITH THE ECCS CURVE

みの算定が過少になる解析法の欠陥によるものと考えられる。この実今後、解析法の改良が必要である。式(1)の M_E の算定に於て、有効長さ係数 K_y, K_z の決定が問題となるが、文献4)による方法で有効長さ係数を算定した場合の結果については、講演当日発表の予定である。

TABLE 4 BUCKLING MOMENTS

TEST NO.	β	$\lambda = \sqrt{\frac{M_{PL}}{M_E}}$	PRESENT METHOD	TEST	ECCS (n=2.5)
1	1.77	9.1	9.7	1.20	7.9
2	1.77	10.3	9.0	1.03	7.0
4	1.77	11.5	8.7	0.68	4.7
5	1.77	12.6	9.6	1.10	7.8
7	1.77	10.3	9.3	0.96	6.7
8	1.77	11.1	9.6	1.17	9.4
10	1.77	9.1	9.0	1.08	7.9
12	1.77	13.7	1.00	1.05	9.7
15	1.77	8.0	9.7	1.07	8.7
16	1.77	13.7	1.00	1.04	9.7
17	1.77	14.5	9.7	1.06	9.5
18	1.77	12.6	9.4	1.23	9.2
19	1.77	8.3	8.7	1.13	8.8
20	1.77	6.9	9.8	1.26	9.4
21	1.77	11.7	9.4	1.11	9.1
22	1.77	8.1	9.1	1.15	8.9
23	1.77	15.7	9.9	1.13	9.8
24	1.77	17.0	9.5	1.12	9.4
25	1.77	12.6	9.4	1.14	9.2
28	1.77	14.5	1.00	1.11	9.9
29	1.77	14.5	1.00	1.10	9.9
31	1.77	15.7	1.03	1.14	9.8
33	1.77	17.4	8.2	1.10	8.8
34	1.77	15.7	8.9	0.94	9.8
35	1.77	14.0	9.1	0.99	1.00

1) 山尾・崎元・菊池「薄肉閉断面ばりの非線形解析」第35回年講概要集 I-136, BB 55年9月, P.269-270.
 2) Bansal, J.P. 「The Lateral Instability of Continuous Steel Beams」 Dissertation, Univ. of Texas, 1971.
 3) Galambos, T.V. 「STRUCTURAL MEMBERS AND FRAMES」 Prentice-Hall Inc., 1968.
 4) Nethercot, D.A., Trahair, N.S. 「Lateral Buckling Approximations」 The Structural Engineer, V.54, No.6, 1976.