

I - A74

スレンダーな箱形断面中心圧縮材の連成不安定現象判定方法について

大阪産業大学工学部 正会員 工 藤 哲 男
大阪産業大学工学部 正会員 森 脇 良 一

1. はじめに

これまで溶接箱形断面を有する部材に圧縮力が作用する場合については、それらの極限耐荷力を求めることに重点を置き、連成不安定挙動について詳しい検討がなされていない。そこで著者らは、弾塑性不安定現象の崩壊モードを8個に類型化し、数値解析結果を基に直接的手法により弾塑性不安定現象の崩壊モード判別のための判定基準の尺度について報告した¹⁾。ここでは、スレンダーな箱形断面中心圧縮材の判定基準についてさらに検討を加え、崩壊モード類型化の有意性について検討した。

2. 崩壊モードの類型化

既往の研究では連成座屈は、「まず構成板の局部座屈が先行し、それによって断面の一部の抵抗性能が消失して、全体座屈による崩壊が生じる」という崩壊モードのみを指している。本来、中心圧縮材の弾塑性不安定現象は、連成座屈現象が崩壊までの過程で、局部曲げと部材曲げの連成作用の有無あるいは相互の影響の大小や因果関係を明確にすることにより初めて崩壊機構の実態を説明することができると考えられる。そこで本研究では、箱形断面中心圧縮材の崩壊の過程で、構成板の局部たわみによる板曲げひずみ(ϵ_b)と部材曲げによる板面内ひずみ(ϵ_n)の増加状態により、次のような8つの崩壊モードに分類されたと考えた。

- (I) 全体座屈モード；局部たわみによる ϵ_b が十分に小さく、部材曲げによる ϵ_n が増大して、全体系が崩壊するモード。
- (II) 局部座屈モード；部材曲げによる ϵ_n が十分小さく、局部たわみによる ϵ_b が増大し、断面の耐荷力を失い崩壊するモード。
- (III) 部材曲げ先行型連成座屈；局部たわみによる ϵ_b が小さいままで、部材曲げが増加し、 ϵ_n が限界値に達したため、 ϵ_b が急増して全体崩壊する連成座屈。
- (IV) 局部曲げ先行型連成座屈；部材曲げによる ϵ_n が小さいままで、局部曲げが増加する、それで断面抵抗性能が低減して部材曲げが発生し、 ϵ_n が急増して全体崩壊する連成座屈。
- (V) 部材曲げ優勢並行型連成座屈；局部たわみと部材曲げが相互作用を起こし、局部たわみによる ϵ_b と部材曲げによる ϵ_n が共に漸増し、極限状態付近で ϵ_n が ϵ_b より大きくなり崩壊する連成座屈。
- (VI) 局部曲げ優勢並行型連成座屈；局部たわみと部材曲げが相互作用を起こし、局部たわみによる ϵ_b と部材曲げによる ϵ_n が共に漸増し、極限状態付近で ϵ_b が ϵ_n より大きくなり崩壊する連成座屈。
- (VII) 均等並行型連成座屈；局部たわみと部材曲げが相互作用を起こし、局部たわみによる ϵ_b と部材曲げによる ϵ_n が共に漸増し、極限状態付近で ϵ_b と ϵ_n が相等しくなり崩壊する連成座屈。（発生する確率は極めて少ない）
- (VIII) 降伏崩壊；局部たわみによる ϵ_b および部材曲げによる ϵ_n が共に十分小さく、全断面が降伏して崩壊するモード。

（短柱の座屈現象）

3. 崩壊モードの判別の尺度

崩壊モード類型化を判定するための圧縮力判定係数(α_1 , α_2)および直ひずみ判定係数(β)を次式で求めた。 圧縮力判定係数； $\alpha_{1,2} = N_{1,2} / N_{max}$, 直ひずみ判定係数； $\beta = \epsilon_n(\epsilon_b) / \epsilon_y$

この圧縮力判定係数(α_1 , α_2)は、既往の研究で荷重段階初期の変形状態をもとに荷重段階最終での変形状態や耐荷力の低減より連成座屈ととしていることから、初期圧縮力判定係数 α_1 は構成部材要素が弾性から降伏が始まる点と考えた。最終圧縮力判定係数 α_2 は崩壊状態になる点を考え、 α_2 は N_{max} ではその構成部材の挙動が不安定となると考えられることから $\alpha_2 = 0.95$ とした。このようにしてここでは $\bar{\lambda} \approx 1.0$, $(R) = 0.2 \sim 3.0$ のスレンダーな箱形断面圧縮材について、判定係数 α_1 , β をパラメトリック解析し、崩壊モードがどのように分類されるか検討した。一方、スレンダーな箱形断面中心圧縮材については、 R の大小により表1

スレンダー、箱形断面、中心圧縮材、連成不安定現象

〒574 大東市中垣内3-1-1 TEL 0720-75-3001 FAX 0720-75-5044

に示すような崩壊モードの発生順序が現実的と考えられる。数値パラメータ解析結果を表2に示す。この発生順序と発生個数を見比べると $\beta = 0.05$ が最も妥当と考えられる。また、 α_1 は構成部材要素が弾性から一部降伏が始まる点と考えた場合、計算の結果0.4が適切な数値であることがわかった。表2より予想される6つの崩壊モードの全てのモードが得られ類型化の意義が明確に示された。以上の結果より、崩壊モードの判定基準は表3のように表され、フローチャートを示すと図1のようになる。

表1 スレンダーな部材の崩壊モード発生順序

R	モード発生順序	発生可能性
小	Ⅷ 降伏崩壊	×
	↑	
	Ⅰ 全体座屈	○
	↓ ↑	
	Ⅲ 部材先行	○
	↓ ↑	
	Ⅴ 部材優勢	○
	↓ ↑	
	Ⅶ 均等並行	△
	↓ ↑	
	Ⅵ 局部優勢	○
	↓ ↑	
	Ⅳ 局部先行	○
	↓ ↑	
大	Ⅱ 局部座屈	△

註1：表中の番号は崩壊モード番号を示す

註2：表中記号の○印は発生可能性が高い

△印は発生可能性が低い

×印は発生が考えられない

表2 数値パラメトリック解析による崩壊モード判定結果

解析番号	R	$\alpha_1 = 0.3$				$\alpha_1 = 0.4$				$\alpha_1 = 0.5$			
		0.03	0.05	0.07	0.10	0.03	0.05	0.07	0.10	0.03	0.05	0.07	0.10
1	0.2	Ⅲ	Ⅰ	Ⅰ	Ⅰ	Ⅲ	Ⅰ	Ⅰ	Ⅰ	Ⅲ	Ⅲ	Ⅰ	Ⅰ
2	0.4	Ⅰ	Ⅰ	Ⅰ	Ⅰ	Ⅰ	Ⅰ	Ⅰ	Ⅰ	Ⅰ	Ⅰ	Ⅰ	Ⅰ
3	0.5	Ⅲ	Ⅲ	Ⅲ	Ⅰ	Ⅲ	Ⅲ	Ⅲ	Ⅰ	Ⅴ	Ⅲ	Ⅲ	Ⅰ
4	0.6	Ⅲ	Ⅲ	Ⅲ	Ⅲ	Ⅲ	Ⅲ	Ⅲ	Ⅲ	Ⅴ	Ⅴ	Ⅲ	Ⅲ
5	0.7	Ⅴ	Ⅲ	Ⅲ	Ⅲ	Ⅴ	Ⅲ	Ⅲ	Ⅲ	Ⅴ	Ⅲ	Ⅲ	Ⅲ
6	0.8	Ⅴ	Ⅴ	Ⅲ	Ⅲ	Ⅴ	Ⅴ	Ⅲ	Ⅲ	Ⅴ	Ⅴ	Ⅲ	Ⅲ
7	1.0	Ⅵ	Ⅵ	Ⅱ	Ⅱ	Ⅵ	Ⅵ	Ⅵ	Ⅱ	Ⅳ	Ⅳ	Ⅵ	Ⅱ
8	1.2	Ⅳ	Ⅳ	Ⅳ	Ⅳ	Ⅳ	Ⅳ	Ⅳ	Ⅳ	Ⅳ	Ⅳ	Ⅳ	Ⅳ
9	1.5	Ⅳ	Ⅳ	Ⅳ	Ⅳ	Ⅳ	Ⅳ	Ⅳ	Ⅱ	Ⅳ	Ⅳ	Ⅳ	Ⅱ
10	2.0	Ⅳ	Ⅳ	Ⅱ	Ⅱ	Ⅳ	Ⅱ	Ⅱ	Ⅱ	Ⅱ	Ⅱ	Ⅱ	Ⅱ
11	3.0	Ⅳ	Ⅱ	Ⅱ	Ⅱ	Ⅱ	Ⅱ	Ⅱ	Ⅱ	Ⅱ	Ⅱ	Ⅱ	Ⅱ
崩壊モード 結果の判定		×	○	×	×	×	○	×	×	×	×	×	×

註1：表中の番号は崩壊モード番号を示す

註2：判定結果の○は発生順序が正しく、発生個数も多い

表3 崩壊モード判定基準

	ケース1	ケース2
(Ⅰ) 全体座屈モード		
$N = 0.4N_{max}$ において	$\varepsilon_n \geq 0.05 \varepsilon_y$	$\varepsilon_n < 0.05 \varepsilon_y$
$N = 0.95N_{max}$ において	$\varepsilon_b < 0.05 \varepsilon_y$	$\varepsilon_b < 0.05 \varepsilon_y$
	$\varepsilon_n \geq 0.05 \varepsilon_y$	$\varepsilon_b \geq 0.05 \varepsilon_y$
(Ⅱ) 局部座屈モード		
$N = 0.4N_{max}$ において	$\varepsilon_b \geq 0.05 \varepsilon_y$	$\varepsilon_b < 0.05 \varepsilon_y$
$N = 0.95N_{max}$ において	$\varepsilon_n < 0.05 \varepsilon_y$	$\varepsilon_n < 0.05 \varepsilon_y$
	$\varepsilon_n < 0.05 \varepsilon_y$	$\varepsilon_b < 0.05 \varepsilon_y$
(Ⅲ) 部材曲げ先行型連成座屈		
$N = 0.4N_{max}$ において	$\varepsilon_n \geq 0.05 \varepsilon_y$	$\varepsilon_b < 0.05 \varepsilon_y$
$N = 0.95N_{max}$ において	$\varepsilon_b \geq 0.05 \varepsilon_y$	$\varepsilon_b \geq 0.05 \varepsilon_y$
(Ⅳ) 局部曲げ先行型連成座屈		
$N = 0.4N_{max}$ において	$\varepsilon_b \geq 0.05 \varepsilon_y$	$\varepsilon_n < 0.05 \varepsilon_y$
$N = 0.95N_{max}$ において	$\varepsilon_n < 0.05 \varepsilon_y$	$\varepsilon_n < 0.05 \varepsilon_y$
(Ⅴ) 部材曲げ優勢並行型連成座屈		
$N = 0.4N_{max}$ において	$\varepsilon_n \geq 0.05 \varepsilon_y$	$\varepsilon_n < 0.05 \varepsilon_y$
$N = 0.95N_{max}$ において	$\varepsilon_b \geq 0.05 \varepsilon_y$	$\varepsilon_b < 0.05 \varepsilon_y$
	$\varepsilon_n > \varepsilon_b$	$\varepsilon_n > \varepsilon_b$
	$\varepsilon_n \geq 0.05 \varepsilon_y$	$\varepsilon_b \geq 0.05 \varepsilon_y$
(Ⅵ) 局部曲げ優勢並行型連成座屈		
$N = 0.4N_{max}$ において	$\varepsilon_n \geq 0.05 \varepsilon_y$	$\varepsilon_n < 0.05 \varepsilon_y$
$N = 0.95N_{max}$ において	$\varepsilon_b \geq 0.05 \varepsilon_y$	$\varepsilon_b < 0.05 \varepsilon_y$
	$\varepsilon_b > \varepsilon_n$	$\varepsilon_b > \varepsilon_n$
	$\varepsilon_n < 0.05 \varepsilon_y$	$\varepsilon_b \geq 0.05 \varepsilon_y$
(Ⅶ) 均等並行型連成座屈		
$N = 0.4N_{max}$ において	$\varepsilon_n \geq 0.05 \varepsilon_y$	$\varepsilon_n < 0.05 \varepsilon_y$
$N = 0.95N_{max}$ において	$\varepsilon_b \geq 0.05 \varepsilon_y$	$\varepsilon_b < 0.05 \varepsilon_y$
	$\varepsilon_b = \varepsilon_n$	$\varepsilon_n \geq 0.05 \varepsilon_y$
	$\varepsilon_b \geq 0.05 \varepsilon_y$	$\varepsilon_b = \varepsilon_n$
(Ⅷ) 降伏崩壊		
$N = 0.4N_{max}$ において	$\varepsilon_n < 0.05 \varepsilon_y$	$\varepsilon_n < 0.05 \varepsilon_y$
$N = 0.95N_{max}$ において	$\varepsilon_n < 0.05 \varepsilon_y$	$\varepsilon_n < 0.05 \varepsilon_y$
	$\varepsilon_b < 0.05 \varepsilon_y$	$\varepsilon_b < 0.05 \varepsilon_y$

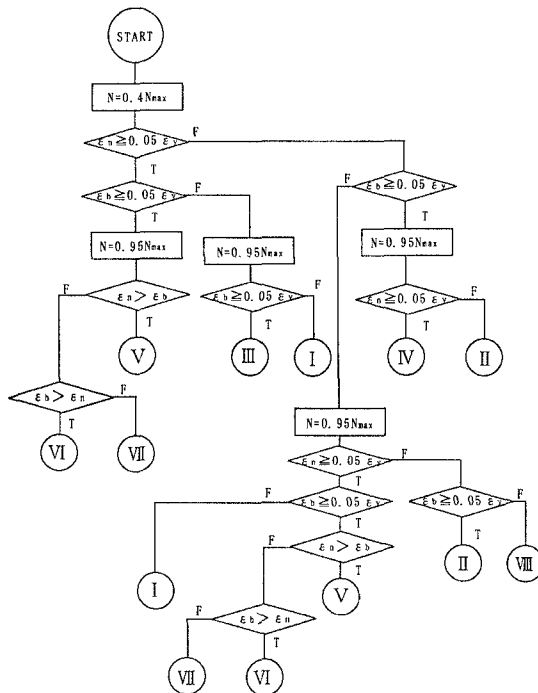


図1 崩壊モード判定フローチャート