

I-A 26 箱型断面中心圧縮材の連成不安定現象判定方法に関する一考察

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

鋼板を溶接集成した大型薄肉断面を有する部材に圧縮力が作用する場合の耐荷力は、初期不整を有すると比較的早い荷重段階で座屈することは明らかにされている。その原因としては、初期不整が存在すると、断面の抵抗性能が低減することや $P-\delta$ 効果により板要素の曲げ剛性や柱としての曲げ剛性を低下させ、局部曲げや部材軸の曲げを促進し相互に刺激し合って相乗効果により、板のたわみと部材のたわみが増大しやすくなるためだと思われる。ところで従来の研究では、薄肉中心圧縮材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。本研究においては、弾塑性不安定現象の崩壊モードを8個に類型化することについて述べ、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について一考察を行うものである。

2. 崩壊モードの類型化

既往の研究では、中心圧縮材が弾塑性不安定現象について連成座屈と言われているのは、「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、連成座屈現象は崩壊までの過程で、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解明することができると思われる。そこで本研究では、箱型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の(ϵ_s)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 ; 局部たわみによる板曲げひずみが十分に小さく、部材曲げによる板面内ひずみが増大して、全体系が崩壊するモード。
- (Ⅱ) 局部座屈モード ; 部材曲げによる板面内ひずみが十分小さく、局部たわみによる板曲げひずみが増大し、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 ; 局部たわみによる板曲げひずみが小さいままで、部材曲げが増加し、板面内ひずみが限界値に達したため、板曲げひずみ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 ; 部材曲げによる板面内ひずみが小さいままで、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、板面内ひずみ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、局部たわみによる板曲げひずみと部材曲げによる板面内ひずみが共に漸増し、極限状態付近で板面内ひずみが板曲げひずみ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、局部たわみによる板曲げひずみと部材曲げによる板面内ひずみが共に漸増し、極限状態付近で板曲げひずみが板面内ひずみより大きくなり崩壊するモード。
- (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、局部たわみによる板曲げひずみと部材曲げによる板面内ひずみが共に漸増し、極限状態付近で板曲げひずみと板面内ひずみが相等しくなり崩壊する連成座屈。
- (Ⅷ) 降伏崩壊 ; 局部たわみによる板曲げひずみおよび部材曲げによる板面内ひずみが共に十分小さく、全断面が降伏して崩壊するモード。

3. 崩壊モードの判別の尺度

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力力の低減より連成座屈する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と考えた. また直ひずみ判定係数 (β) は, ε_b あるいは ε_n を降伏ひずみ ε_y で無次元化した値である. このようにしてここでは $\bar{\lambda} \approx 2.0$, $R = 0.3 \sim 1.2$ の箱型断面圧縮材について, 判定係数 α_1 , α_2 , 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結果を表1に示す. この結果より, β は0.05が最も適正な数値であることがわかる. なお, 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. また最終応力判定係数 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. 以上の結果より, この分類方法では崩壊モードの判定基準が表2のようになり, フローチャートを示すと図1のようになる.

表1 解析結果

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	1.5	IV	IV	IV	IV	IV	IV	IV	IV	IV	IV	IV	IV
2	1.2	IV	IV	IV	IV	IV	IV	IV	IV	IV	IV	IV	IV
3	0.6	V	III	III	III	V	III	III	III	V	III	III	III
4	0.6	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V
5	0.5	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III
6	0.5	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III
7	0.4	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
8	0.3	I	I	I	I	III	I	I	I	III	III	I	I

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

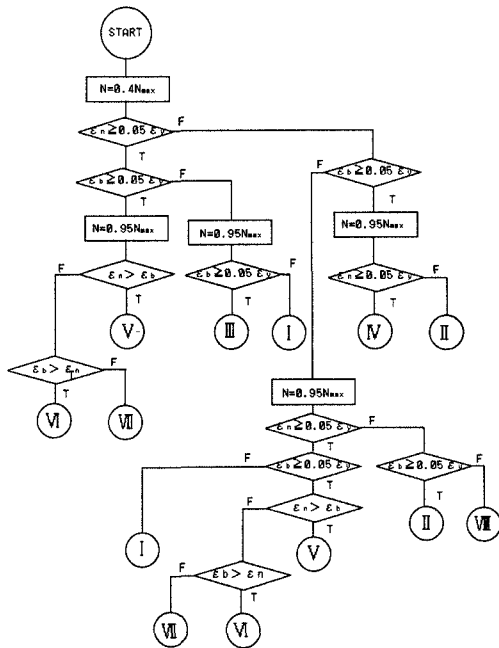


図1 崩壊モード判定フローチャート