

鋼管の局部座屈挙動に着目した CFT 柱の靱性能評価

東北大学大学院 学生会員 ○松本 大輔 東北大学大学院 正会員 内藤 英樹
 東北大学大学院 正会員 秋山 充良 東北大学大学院 フェロー 鈴木 基行

1. はじめに

コンクリート充填鋼管(以下、CFT)柱では、鋼管内部に充填されたコンクリートが鋼管の内側への座屈変形を拘束することで、鋼管の局部座屈抵抗性が向上し、局部座屈発生後も優れた靱性能を有する。正負交番荷重を受ける CFT 柱では、鋼管の局部座屈に着目することで、1)局部座屈が生じる点、2)座屈部周辺において鋼管の亀裂が生じる点、の損傷状況を見出すことができる。本研究では、角形・円形の CFT 柱を対象とした FEM モデルによる鋼管の局部座屈解析を行い、上記2)に対して安全側となるような終局点を定める。そして、既往の CFT 柱の正負交番荷重実験と FEM 解析との比較により、提案する終局点の妥当性を検討する。

2. 解析モデル

図-1に示すように、フーチング面から上部に位置する鋼管を4節点シェル要素によりモデル化する。鋼管基部は下端固定で、鋼管の応力-ひずみ関係は、降伏後の剛性を初期剛性の1/100とするバイリニアモデルを仮定した。CFT構造におけるコンクリートの効果は、鋼管内部にコンクリートの圧縮剛性のみを与えたトラス要素を配置し、鋼管の内側への変形を拘束することで考慮する。また、補剛材を設置する場合は、図-1に示すようにシェル要素でモデル化し、その面外変形を拘束する。また、鋼管とコンクリートの軸力負担については、予め軸力のみを載荷した断面計算を行い、その分担力を一定軸力として載荷した。なお、軸方向に対するコンクリートのモデル化およびコンクリートの曲げ圧縮力により生じる断面力の影響は無視した。図-1のFEMモデルを用いることで、既往のCFT柱の正負交番荷重実験における鋼管の局部座屈発生時変位や座屈領域を妥当に再現できることを確認している。

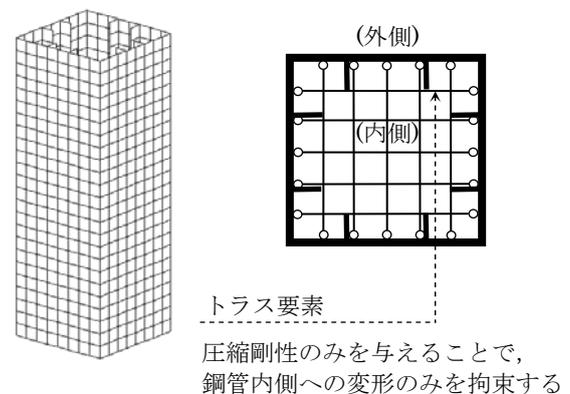


図-1 CFT 鋼管の座屈解析モデル

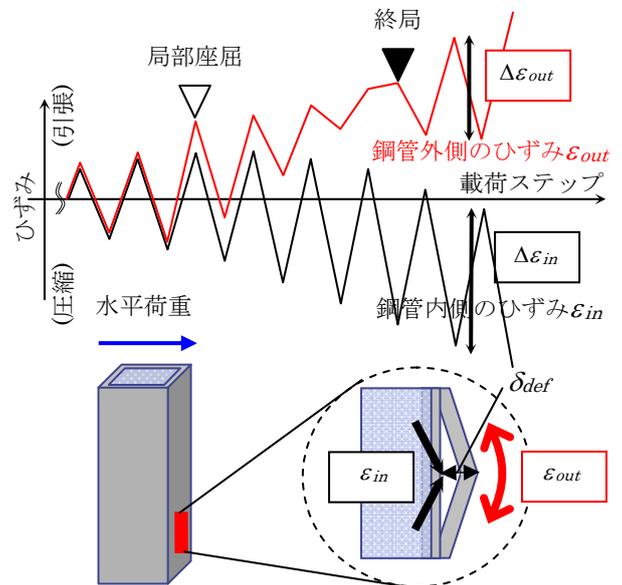


図-2 局部座屈発生点および終局点の定義

3. 鋼管の局部座屈に着目した終局点の設定

3.1 終局点の設定

局部座屈発生後の挙動に着目して設定した CFT 柱の終局点について検討する。図-1の FEM 解析によって得られる鋼管の内側と外側のひずみ履歴を図-2に示す。鋼管は局部座屈後にはらみ出し変位 δ_{def} により鋼管の内側と外側のひずみに差が生じ、 δ_{def} が大きくなることで座屈頂部のひずみ履歴に変化点を見出すことができた。除荷・再載荷により鋼管の外側に生じるひずみ増分量(以下、ひずみ振幅) $\Delta \varepsilon_{out}$ は、はらみ出しによって生じる引張ひずみが、水平荷重を受けることで生じる圧縮ひずみより大きくなることで鋼管の内側と外側のひずみ履歴の位相が逆転する。この点が鋼管の亀裂発生より安全側の評価となることが確認できれば、CFT 柱の終局点とすることができる。

Key Words: コンクリート充填鋼管(CFT)柱, 鋼管の局部座屈, FEM 解析, 靱性能評価法

連絡先: 〒980-8579 宮城県仙台市青葉区荒巻字青葉 6-6-06 Tel:022-795-7449

3.2 正負交番載荷実験との比較

崎野ら²⁾、岩佐ら³⁾、村田ら¹⁾が正負交番載荷実験で用いた供試体全15体に対して、図-1の解析を行った。表-1にFEM解析の結果を示す。実験結果ではこの終局点よりも前に鋼管の亀裂は生じなかった。鋼管の幅厚比、軸力比をパラメータとした崎野ら²⁾の実験結果では、幅厚比および軸力比が小さくなるのに伴い、CFT柱の靱性能は向上する。また、鋼管内部の補剛材の有無をパラメータとした岩佐ら³⁾の実験結果では補剛材の設置することにより靱性能が向上しており、FEM解析においても同様の結果となった。一方、円形CFT柱では、座屈抵抗性が大きくなることで、

同程度の幅厚比、軸力比である角形のCFT柱に比べて靱性能が向上することが確認された。

3.3 座屈部の亀裂発生に対する安全性の確認

図-2の終局点では、鋼管内側に大きなひずみ振幅 $\Delta\epsilon_{in}$ が生じており、終局点までに鋼管外側に生じるひずみ振幅は $\Delta\epsilon_{in}$ よりも大きくなる。終局時における座屈頂部でのひずみ振幅 $\Delta\epsilon_{in}$ は角形断面では0.01~0.036程度であったが、円形断面では0.2程度となった。一方、齋藤ら⁴⁾が提案する鋼材の低サイクル疲労評価式では、繰り返し載荷を受ける鋼材が疲労破壊に要する繰り返し回数はひずみ振幅が0.1のもので10回程度であり、0.2では4回程度となる。上記のように、角形断面に対しては、終局時のひずみ振幅は評価式による亀裂発生時のひずみ振幅より小さく、円形断面でも安全側となった。しかし、村田ら¹⁾の実験結果では、この終局点の直後に急激な耐力低下が生じており、今後、より広範囲な諸元による検討が必要である。また、岩佐ら³⁾の実験結果では、この終局点の後に鋼管の隅角部で亀裂発生が報告されているが、本研究は座屈部での亀裂に着目したものであり、角形断面の隅角部での亀裂に対しては別途検討が必要である。

4. まとめ

本研究では、角形・円形断面のCFT柱を対象として、3次元FEMモデルによる鋼管の局部座屈解析を行った。そして、局部座屈後の鋼管のひずみ履歴に着目した終局点を設定し、これが正負交番載荷実験や低サイクル疲労評価式による鋼管の亀裂発生より安全側の評価となることを確認した。

参考文献

- 1)村田清満，安藤真人，渡邊忠朋，木下正敬：コンクリート充填円形鋼管柱の耐荷力と変形性能の評価，構造工学論文集，Vol.44A，pp.1555-1564，1998。
- 2)崎野健治，富井政英：コンクリート充填鋼管柱の復元力特性に及ぼす鋼管幅厚比の影響，コンクリート工学年次講演会講演論文集，Vol.3，pp.305-308，1981。
- 3)岩佐高吉，小林薫：コンクリート充填鋼管柱の変形挙動に関する実験的研究，コンクリート工学年次論文報告集，Vol.26，No.2，pp.247-252，2004。
- 4)齋藤智也，館石和雄：CFT部材の鋼管のひずみ挙動に関する研究，コンクリート工学年次論文集，Vol.22，No.3，pp.1045-1050，2000。

表-1 解析結果

		幅厚比 (径厚比)	軸力比	靱性率 δ_u/δ_y	座屈頂部での ひずみ振幅 $\Delta\epsilon_{in}$	
崎野ら ³⁾ (角形)	CIIS3-2	46	0.18	3.0	0.0106	
	CIIS3-3		0.29	2.0	0.0197	
	CIIS3-4		0.37	2.0	0.0228	
	CIIS3-5		0.46	2.0	0.0259	
	CIIS3-2	34	0.19	4.0	0.0195	
	CIIS3-3		0.28	3.0	0.0271	
	CIIS3-4		0.37	3.0	0.0167	
	CIIS3-5		0.46	2.0	0.0128	
	CIVS3	24	CIIS3-2	0.19	6.0	0.0360
			CIIS3-3	0.28	4.0	0.0309
			CIIS3-4	0.38	3.0	0.0219
			CIIS3-5	0.47	3.0	0.0279
岩佐ら ²⁾ (角形)	S-1	47	0.20	5.0	0.0125	
	S-2			7.0	0.0328	
村田ら ¹⁾ (円形)	A4	40	0.20	9.0	0.205	

※交番載荷の繰り返し回数は崎野ら、村田らは3回、岩佐らは1回とする。