

有限要素法を用いた座屈拘束ブレースの拘束効果に関する基礎的研究

正会員 ○太田 幹久*1 同 木藤 一輝*2
同 薩川 恵一*3 同 戸張 涼太*4
同 山岡 賢史*4

座屈拘束ブレース 一方向载荷 拘束効果
座屈モード 繰返し载荷 準静的解析

1. はじめに

鋼構造で用いられる制振部材の座屈拘束ブレースは高軸力化・高性能化が求められている。座屈拘束ブレースは、圧縮領域においても引張領域と同等の安定した履歴性状を示すために、芯材の曲げ座屈を防止するよう、また座屈拘束材の局部崩壊を防止するように設計している。

本研究では、鋼モルタル板で補剛された座屈拘束ブレースを対象として、構面内に配置した際に正負交番繰返し载荷で安定した履歴性状を示すために、一方向载荷及び正負交番繰返し载荷時の座屈モードの発生を準静的解析で再現することを目的とする。そして各パラメータが与える座屈拘束効果、座屈モード数及び履歴性状の安定性について有限要素法による数値解析によって検証する。

2. 解析概要

図1に本研究の解析モデルを示す。各部材及び境界条件を同図下に示す。解析モデルは芯材、補強材、モルタル、角形鋼管及びスパーサで構成される。芯材、補強材、モルタル、及びスパーサ要素は8節点ソリッド要素とし、角形鋼管は4節点シェル要素としている。各部材の相互作用は接触方向を剛接触として、接触接線方向はクーロン摩擦を考慮している。芯材両端十字断面を剛体面としており、重心位置に代表節点(A点及びB点)を設けている。構面高さ3500mmを想定しているため、芯材軸方向の延長線上に位置させている。境界条件は、A点で変位・回転すべて拘束しており、B点で荷重方向のみ自由とし、その他の変位・回転は拘束している。

表1に解析で使用したパラメータを示す。芯材とモルタルの隙間g、モルタルの圧縮強度 F_c 及び角形鋼管板厚tを変数としている。表2は本研究で使用した材料モデルを示す。図2(a)は解析で使用した鋼材の真応力度対数ひずみ度関係を示す。芯材は移動硬化則及び等方硬化則を考慮し、その他の鋼材は移動硬化則のみとしている。図2(b)はモルタルの応力度ひずみ度関係を示す。モルタルに使用した応力度ひずみ度関係は文献[1]を参考に作成しており、圧縮側では塑性域で弾性係数の1/100で硬化するものとして、引張側では軟化勾配を有する線形軟化モデルとしている。

载荷条件として、加力方向を図1に示すB点に構面内水平方向(Q)とし、一方向载荷及び一定振幅下での正負交番繰返し载荷を行い、変位制御による準静的解析とする。図3に正負交番繰返し载荷パターンを示し、芯材の軸変形

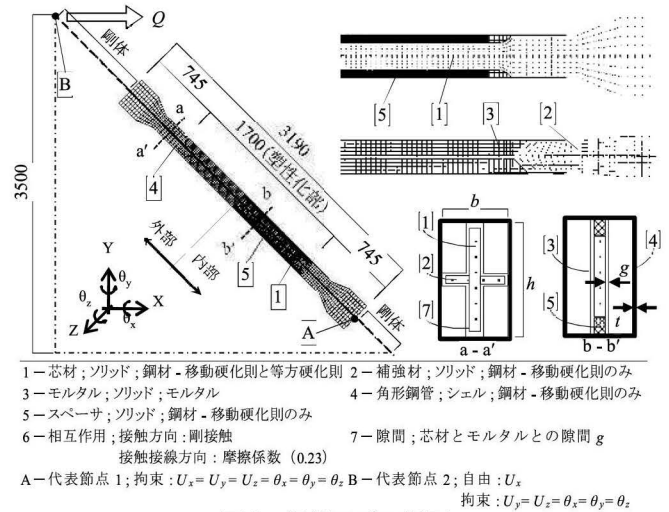


図1 解析モデル概要

表1 解析パラメータ

板厚寸法 (mm)	幅厚比	拘束材				
		F_c (N/mm^2)	b (mm)	h (mm)	t (mm)	g (mm)
PL-12×114	9.5	10	137.6	176	1.6	1
		21				2
		36				3
		45				4

F_c : 圧縮強度 b: モルタル幅 h: モルタル高さ t: 鋼管板厚 g: 隙間

表2 材料モデル

	芯材	リブ材	角形鋼管	スパーサ	モルタル
σ_c (N/mm^2)	205	294	315		1/3 F_c
σ_t (N/mm^2)					1/10 F_c
E (N/mm^2)		205000			14700
E_2 (N/mm^2)					6919
v		0.3			0.15

σ_c : 降伏応力 σ_t : 引張応力 E: 剛性 E_2 : 第2剛性 v: ポアソン比

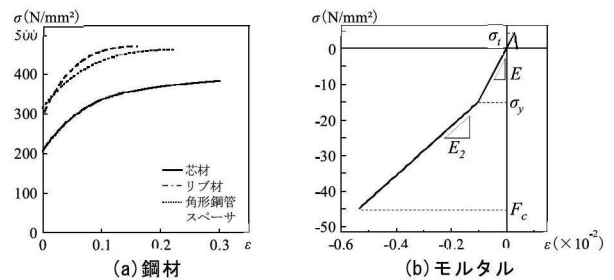


図2 真応力度-対数ひずみ度関係

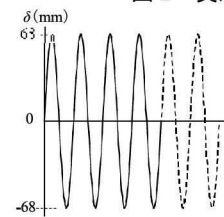


図3 载荷パラメータ

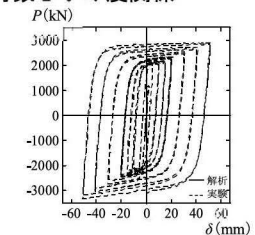


図4 解析方法の有効性

Fundamental study on restraining effect of buckling restrained braces using finite element method

OOTA Mikihisa*1, KITO Kazuki*2, SATSUKAWA Keiichi*3
TOBARI Ryota*4, YAMAOKA Kenji*4

δ が軸ひずみの4%となるように強制変形させる。

図4に解析方法の有効性を示す。同図で示す実験結果及び解析結果は、ブレースに荷重を作用軸力方向のみに加えた対比を示しているが、良い対応を示している。

3. 解析結果

図5にモルタルの圧縮強度(36N/mm²)及び鋼管板厚(3.2mm)を一定として、隙間 g (1~4mm)(以下、隙間 g が1mmの場合 g (1mm)と示す)を変数としたときの一方向載荷時の荷重変形関係を示す。 g (1mm)または g (2mm)のモデルは、安定した荷重変形関係を描いているが、隙間3mm以上では一時的な荷重低下が見られる。

図6は芯材塑性化部の座屈モードと図5右に示す地点(a~h)の各隙間での塑性化部の座屈モードの推移を示す。 g (1mm)の非線形領域以降の座屈モードは、非線形領域に入る直後に小さい軸変形量で高次モードへ移行する。一方、 g (1mm)以外では、非線形領域近傍までは g (1mm)と同様なモードで推移するが、その後の次モードへ移行は大きい隙間ほど、緩やかである。図5の g (3mm)及び g (4mm)の荷重変形関係において、耐力が一時低下した後に再上昇する際には、モードの急激な移行が現れた。上記傾向は、本報の変数の範囲内であるが、モルタルの圧縮強度及び鋼管板厚を変化させても同様の結果となった。

図7(a)と図7(b)に図5同様のモルタルの圧縮強度及び鋼管板厚の解析条件として、隙間 g (1mm)と g (3mm)を一例として正負交番繰返し載荷時の4サイクルまでの荷重変形関係を示す。 g (1mm)は安定した履歴挙動を示している。一方、 g (3mm)の1, 2サイクルにおいて、引張側では安定した履歴挙動を示しているが、圧縮領域では、不安定な履歴挙動を示している。

図8(a)と図8(b)に隙間 g (1mm)と g (3mm)の各サイクルでの芯材塑性化部の座屈モードの移行推移を示す。両図では、軸変形の進行とともに1, 2サイクルでは座屈モードが高いモードへ移行する。一方で、隙間 g (1mm)では、3サイクル目以降でも変形の進行とともに座屈モードが高次に移行するのに対して、隙間 g (3mm)の場合では3サイクル目以降に座屈波形の高次へのモード移行は見られず、17次モード以上への移行は見られていない。

図9(a)と図9(b)は隙間 g (1mm)と g (3mm)の場合で、4サイクル目の最大圧縮時(図7の●印)の変形図を示す。隙間 g (1mm)と g (3mm)で塑性化部の変形を比較すると、隙間 g が大きい方が塑性化部端部に大きな変形があらわれる。

4. まとめ

本研究では、構面内に配置した座屈拘束ブレースを対象として有限要素法による準静的解析の有効性を確認した。また、隙間が芯材への拘束効果に大きく影響していることを確認した。

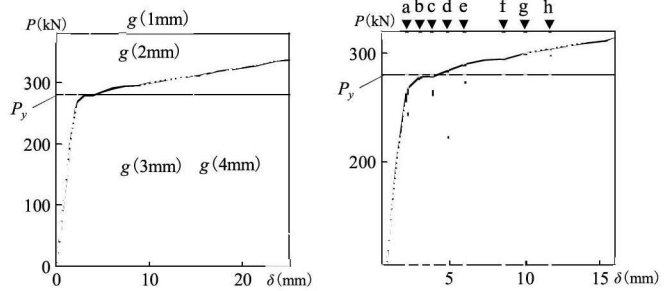


図5 荷重変形関係

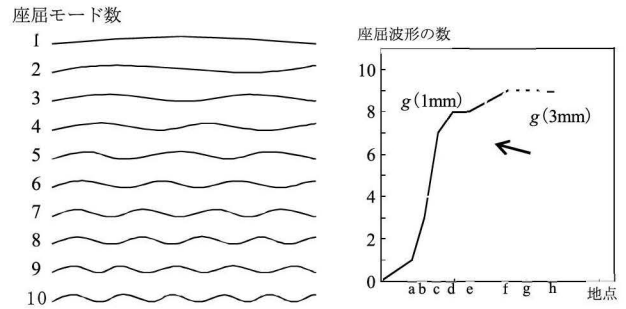


図6 塑性化部の変形及び座屈モード数の移行推移

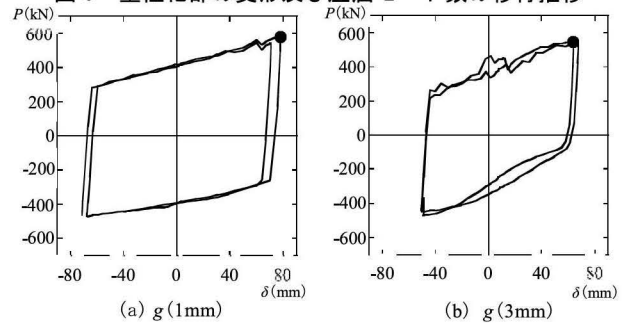


図7 荷重変形関係

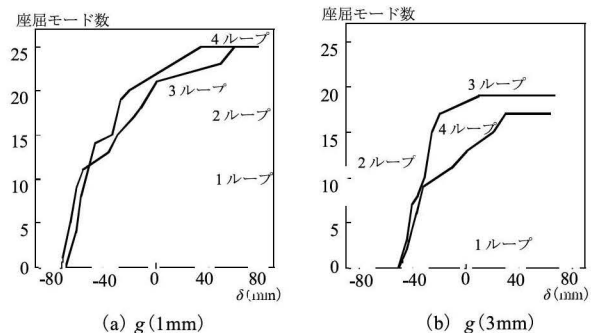


図8 塑性化部の座屈モード数の移行推移

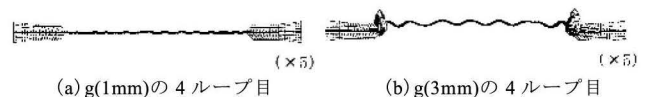


図9 最大圧縮時の変形図

参考文献

- 1)村井正敏ほか：鋼モルタル板を用いた座屈拘束ブレースの実験的研究，日本建築学会構造系論文集 第569号，105-110，2003年7月
- 2)佐伯英一郎ほか：有限要素法によるアンボンドブレースの弾塑性挙動解析と実験結果との比較，日本建築学会構造系論文集 第484号，111-120，1996年6月

*1愛知工業大学 元学部生 (現JFEシビル株式会社)
 *2愛知工業大学 大学院生
 *3愛知工業大学 教授 博士(工学)
 *4JFEシビル株式会社

*1Former undergraduate, Aichi Institute of Technology
 *2Graduate student, Aichi Institute of Technology
 *3Professor, Aichi Institute of Technology, Dr.Eng.
 *4JFE Civil Engineering & Construction Corporation