

座屈拘束ブレースを対象とした準静的非線形解析の適用可能性に関する研究

その1: 解析概要

正会員	○島本 崇史*1	同	木藤 一輝*2
	同 吉永 光寿*3	同	戸張 涼太*3
	同 山岡 賢史*3	同	薩川 恵一*4

座屈拘束ブレース 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。座屈拘束ブレースの開発に関する研究は、载荷実験による研究が多くあり、数値解析を使用した研究は少ないと思われる。有限要素法解析を用いた座屈拘束ブレースの実験結果を再現した先行研究としては、文献¹⁾²⁾等がある。これらの先行研究では、静的解析を用いて行っており、接触条件、境界条件を工夫して、再現性の高い結果が得られている。また文献³⁾のように、幾何学的非線形性の強い現象に関する解析手法として、準静的解析を用いて実験結果の再現性を図っており、良い対応を示している。

本研究では、文献³⁾と同様に準静的解析を用いることにより、過去に実施した载荷実験結果をもとに正負交番繰返し载荷時に局部座屈で終局状態が決定される構面内に配置した鋼モルタル板を用いた座屈拘束ブレースの履歴性状、局部変形の発生による耐力低下及び局部座屈発生箇所に関する再現の可能性について報告する。

2. 解析概要

解析対象とする試験体は、鋼モルタル板を用いた座屈拘束ブレースを対象としている。芯材及び2つのモルタルで充填させた溝形鋼同士を隅肉溶接したものを拘束材として用い、芯材の両面にクリアランス調整材を貼付け、芯材の強軸方向に平板鋼を配置することで、芯材と拘束材との隙間を充填している。载荷実験を実施した試験体寸法は、図2の解析モデルと同様である。試験体の幅厚比は11.5、拘束指標は6.0である。

载荷実験結果を図1に示す。载荷は、圧縮方向から加力し、軸ひずみ度が $\epsilon_y/3, 0.5, 1.0\%$ を正負交番各1回ずつ経験させた後、軸ひずみ度4.0%で一定振幅を与えた。定振幅4%3回目の圧縮加力時に芯材の絞りを加えた個所で局部座屈が発生した。この実験結果の再現を有限要素法解析ABAQUS.ver 6.19を用いる。図2に本研究の解析モデル寸法とともに示す。解析モデルは、簡易かつ安定的な解を得るために、芯材、モルタル、平板鋼付き角形鋼管の3種のパートで構成する。全パートで使用される要素は

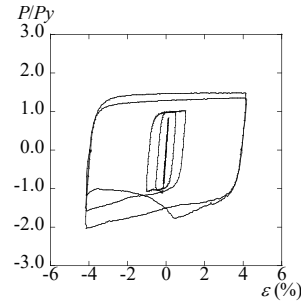
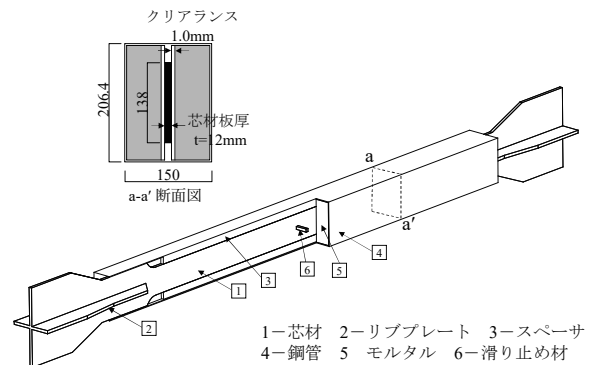
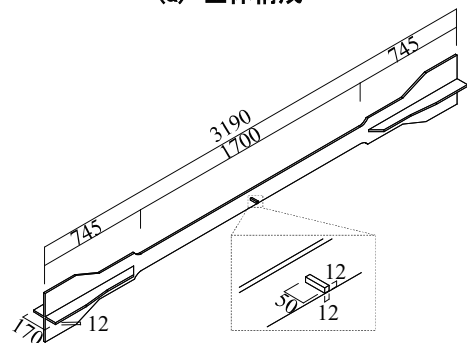


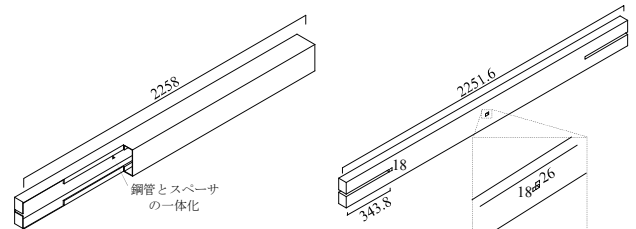
図1 実験結果



(a) 全体構成



(b) 芯材詳細図



(c) 鋼管詳細図

(d) モルタル詳細図

図2 解析モデル

Applicability by Quasi-Static Analysis for Buckling
Restrained Brace
Part1 Analysis summary

SHIMAMOTO Takafumi*1, KITO Kazuki*2, YOSHINAGA
Mitsutoshi*3, TOBARI Ryota*3, YAMAOKA Kenji*3
SATSUKAWA Keiichi*4

8 節点ソリッド要素としている。芯材端部の要素分割数は、高さ方向 14 分割、板厚方向 2 分割とした。モルタルの要素分割数は、高さ方向 11 分割、幅方向 3 分割とした。平板鋼付き角形鋼管の要素分割数は、高さ方向 17 分割、幅方向 13 分割、板厚方向 2 分割とした。芯材の塑性化部は、高さ方向 14 分割、板厚方向 2 分割とした。各パート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。芯材とモルタル間には空隙としている。各パート間のすべり係数は、0.23 としている。

図 3 に解析モデルの境界及び荷重条件を示す。解析モデルは構面内に 45 度に設置したと仮定している。芯材パートの境界条件は、芯材の各両端部の十字断面内の全接点を多点拘束して剛体表面として、断面の重心位置に代表接点を設けて、剛体表面を代表接点で制御する。図中 B 点は 3 軸方向と回転を全て固定として、図中 A 点は、加力方向以外を固定しており、図中に示す P 方向へ強制変形を与えることにより荷重を加える。また拘束材となる角形鋼管およびモルタルのパートは、両端端部の鋼管に該当する 4 つの辺について構面外変形を拘束している。

図 4 に解析で使用した材料モデルを真応力度対数ひずみ度関係で示す。材料モデルは、実験結果で使用した各鋼材及びモルタルをモデル化している。芯材で使用した材料モデルは、実験で使用した材料を移動硬化成分と等方硬化成分に分離して、各応力度とひずみ度の関係を指数関数となるように定義している。なお等方硬化成分の定義については、実験時の試験結果から引張側の耐力上昇度合い等を考慮している。鋼管、鋼板、芯材に接続するリブプレートの材料モデルは、移動硬化則のみで定義している。モルタルは、文献⁴⁾を援用して、実験結果から得られた圧縮強度に基づき定義している。

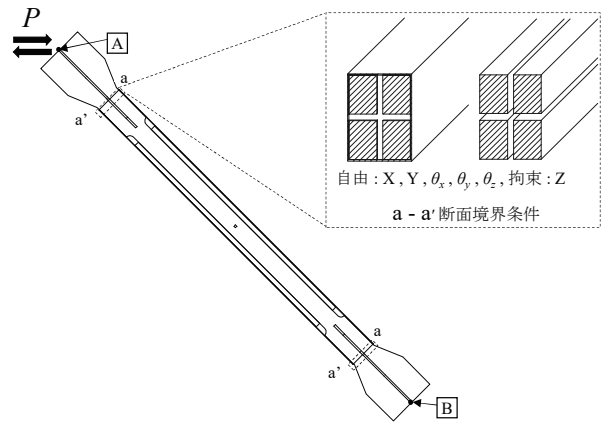
図 5 に荷重プログラムを示す。荷重実験時と同様に軸ひずみ度 $\varepsilon_y/3, 0.5, 1.0\%$ を正負交番各 1 回ずつ経験させた後、軸ひずみ度 4.0% で一定振幅を与えることとする。なお準静的解析下での変位制御による解析手法であることから、解析プログラム内で加速度変換がなされるために、強制変形を与える際には sin 波として、smooth step 機能を使用している。

4. まとめ

その 1 では、解析モデルのパート、材料モデル、荷重プログラムの設定方法等に解析概要について説明をした。

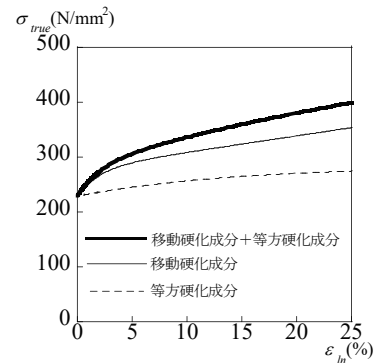
(参考文献)

- 1) 竹内 徹、松井良太他：座屈拘束ブレースにおける芯材局部座屈の拘束条件、日本建築学会構造系論文集 第 73 巻 第 634 号、2231-2238、2008 年 12 月
- 2) 和泉田洋次、川上 誠、岩田 衛：鋼モルタル版を用いた座屈拘束ブレースの有限要素法による弾塑性大変形の解析、日本建築学会構造系論文集 第 618 号、207-213、2007 年 8 月
- 3) Ciprian Ionut ZUB, Aurel STRATAN, Adrian DOGARIU, Dan DUBINA: DEVELOPMENT OF A FINITE ELEMENT MODEL FOR A BUCKLING RESTRAINED BRACE, PROCEEDINGS OF THE ROMANIAN Series A, Volume 19, Number 4/2018, pp. 581-588
- 4) WAHALATHANTRI, B.L., THAMBIRATNAM, D.P., CHAN, T.H.T., & FAWZIA, S.: A MATERIAL MODEL FOR FLEXURAL CRACK SIMULATION IN REINFORCED CONCRETE ELEMENTS USING ABAQUS

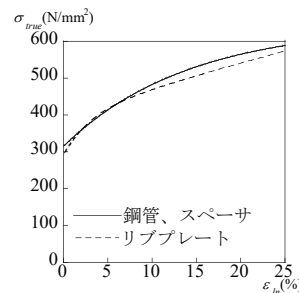


A 点 : $Y=Z=\theta_x=\theta_y=\theta_z$ 拘束; X = 自由
B 点 : $X=Y=Z=\theta_x=\theta_y=\theta_z$ 拘束

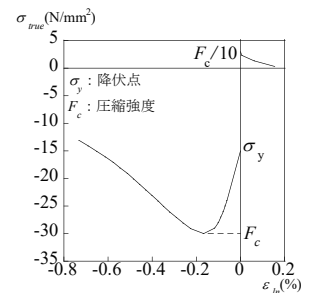
図 3 境界条件



(a) 芯材



(b) その他鋼材



(c) モルタル

図 4 材料特性

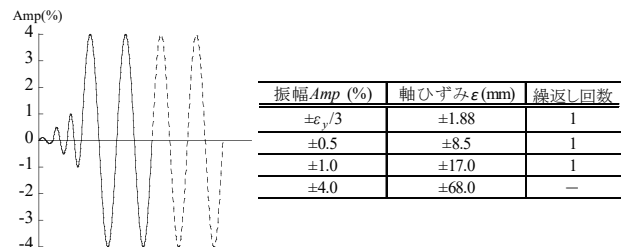


図 5 荷重プログラム

*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 JFE シビル株式会社

*4 愛知工業大学 教授 博士(工学)

*1 Former undergraduate, Aichi Institute of Technology

*2 Graduate student, Aichi Institute of Technology

*3 JFE Civil Engineering & Construction Corporation

*4 Prof, Aichi Institute of Technology, Dr. Eng.