

鋼モルタル板を用いた座屈拘束ブレースの解析的研究

岩田研究室 200470163 和泉田 洋次

1. 序

損傷制御構造において、エネルギー吸収機構として用いる制振部材の一つに座屈拘束ブレースがある。既往の実験的研究¹⁾によると、芯材の寸法が一定であれば、拘束材の効果が低い試験体は層間変形角 1/33 相当の 3% 歪まで安定した繰返しループを描くが、逆に拘束材の効果が低い試験体は、層間変形角 1/100 相当の 1% 歪に達する前に座屈を起こし、耐力低下することを確認した。この結果は、鋼モルタル板を用いた座屈拘束ブレース(以下、座屈拘束ブレースと呼ぶ)を設計する上で目安の値とされ、拘束材の効果を示すとされてきた P_E/P_y (P_E : 拘束材のオイラー座屈荷重、 P_y : 芯材の降伏耐力) が 1.0 以上であれば、層間変形角 1/100 相当の 1% 歪まで安定した性能を示すことを証明した。しかし、座屈拘束ブレースを設計する上で限界条件として使用する $P_E/P_y = 1.0$ という値について、これまでに解析的で詳細な研究は行われておらず、疑問の残る値である。

更に、座屈拘束ブレースの芯材がどのような過程を経て、高次の座屈モードが発生し、最終状態として芯材弱軸方向の局部変形(実験後に最も多かった最終状態)に至るのかも解析的に解明されておらず、実験的研究²⁾として、歪ゲージ(1 軸歪ゲージ)を貼付した実験を行った結果、芯材は中心部から座屈モードが発生し始め、それが徐々に端部方向へと進んでいくことが確認された。

本研究では、これらの既往の研究結果¹⁾²⁾を踏まえて、有限要素法による汎用非線形構造解析プログラムを用いて、座屈拘束ブレースをモデル化し(図 1)、解析を行い、解析値と実験値との比較を行い、その整合性を確かめ、更に、解析による詳細な考察を行う。

2. 解析手法

解析には、汎用非線形構造解析プログラム「ADINA ver7.4」を使用する。

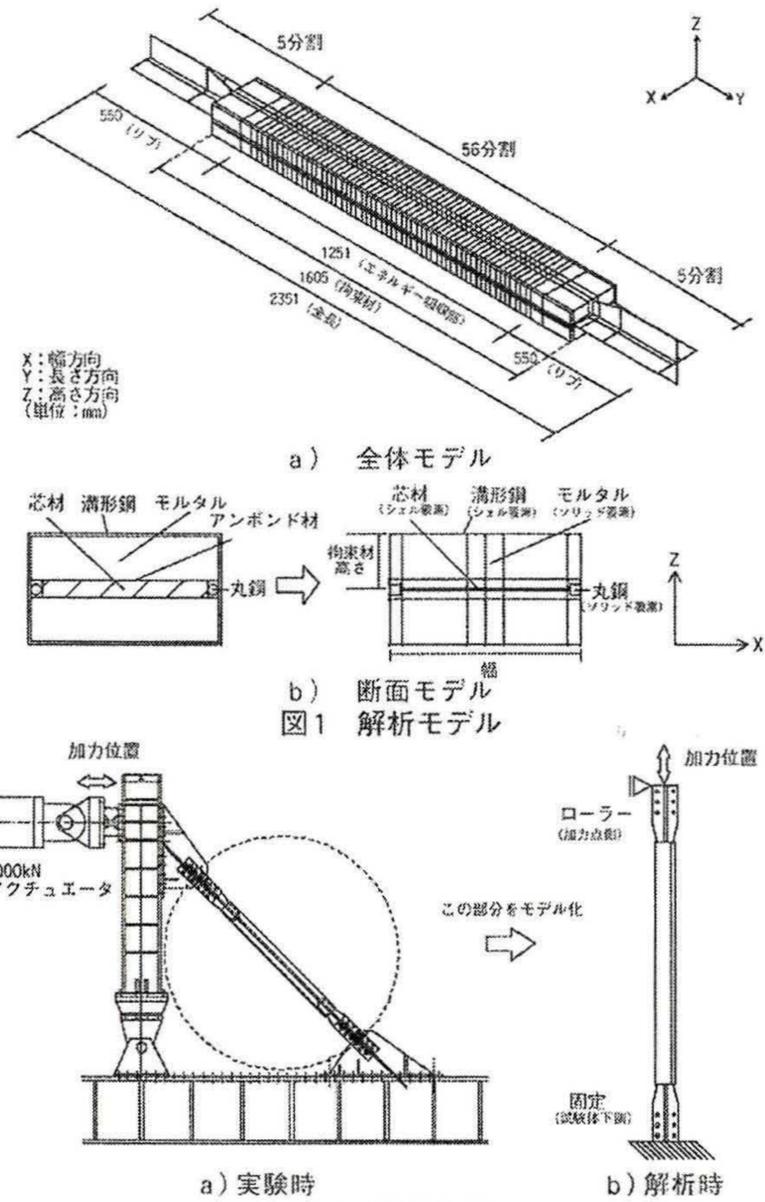


図 2 荷重条件

2.1 解析モデル

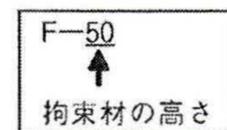
表 1 に解析モデルパラメータを示す。解析モデルには、実験的研究²⁾で使用した試験体(芯材: PL-16 × 176mm)を参考にし、拘束材の効果を变化させたモデルを作成する。また、拘束材の有無の影響を明確にするため、拘束材を設けない F-00 も作成し、計 7 体を使用する。

① 解析モデルは図 2 に示すように、座屈拘束ブレースのみをモデル化し、図 1a) のように座屈拘束ブレース全体をモデル化する全モデルとする。

表 1 解析モデルパラメータ

解析モデル	芯材				拘束材			P_E/P_y
	厚さ mm	幅 mm	幅厚比	P_y kN	幅 mm	高さ mm	P_E	
F-50	16	176	11	742	203.2	50	2328 (4994)	3.1 (6.8)
F-35						35	1167 (2505)	1.6 (3.4)
F-27						27	752 (1612)	1.1 (2.3)
F-25						25	643 (1379)	0.9 (1.9)
F-23						23	536 (1151)	0.7 (1.5)
F-20						20	426 (914)	0.5 (1.1)
F-00						—	—	—

—: 拘束材を設けていない



P_E : オイラー座屈荷重を
試験体全長(2351mm)で算出
*()の数値は昨年度までのオイラー座屈荷重
(拘束材長さ: 1605mm で算出)表記

表3 材料特性

材料	芯材		拘束材		
	エネルギー吸収部	リブ	モルタル	溝形鋼	丸鋼
材料	鋼	鋼	モルタル	鋼	鋼
性質	弾塑性	弾塑性	弾塑性	弾塑性	弾塑性
ヤング係数: E (kN/mm ²)	205	205	14.7	205	205
第2剛性: E _T (kN/mm ²)	1.95	1.95	6.92	1.95	1.95
降伏応力度: σ _y (N/mm ²)	276.9	235	16.17	235	235
ポアソン比: ν	0.3	0.3	0.15	0.3	0.3
質量密度: ρ (×10 ⁻⁶ kg/mm ³)	7.86	7.86	2.30	7.86	7.86
要素種類	シェル	シェル	ソリッド	シェル	ソリッド

表4 荷重一覧

芯材の歪 ε (%)	層間変形角	荷重回数
ε _y /3	1/1690	1
2ε _y /3	1/850	1
0.25	1/400	1
0.5	1/200	2
0.75	1/133	2
1.0	1/100	5
1.5	1/67	2
2.0	1/50	2
2.5	1/40	2
3.0	1/33	—

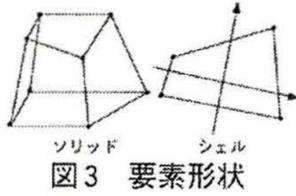


図3 要素形状

表2 境界条件

条件	並進自由度			回転自由度		
	X	Y	Z	θ _x	θ _y	θ _z
ローラー	—	○	—	—	—	—
固定	—	—	—	—	—	—

○:自由 —:拘束

② 各部材の使用要素は図1b)及び表3に示す。芯材はシェル要素、モルタルはソリッド要素、溝形鋼はシェル要素、丸鋼はソリッド要素と設定する。

③ 各要素の節点数は図3に示すようにシェル要素が4節点、ソリッド要素が8節点と設定する。

④ 初期不整として、芯材中心部に圧縮時の軸方向変位が0.1mm時に厚さ方向(Z方向)に対して、L/1000相当(L=2351mm)変形する微小な荷重を与える。

⑤ 長さ方向(Y方向)の要素分割は、シェル要素による長さ2351mmの梁モデルを作成し、弾性梁の曲げ理論値と解析による値の精度が約95%一致した分割数とし、エネルギー吸収部で56分割、全体で66分割とする。他の部材の要素分割は芯材に合わせた分割とする。

⑥ アンボンド材の効果として、解析では芯材シェル要素と拘束材のソリッド要素の相互表面間に接触計算モデルを考慮した。この接触計算モデルを適用すると、接触表面の法線方向の圧縮側は力を伝えるが引張側は力を伝えず、接線方向には摩擦なしで滑る。

⑦ 境界条件は、図2b)に示すように、加力点側をローラー、試験体下側を固定とする。境界条件についての詳細は表2に示す。

⑧ 荷重条件は、実験と同様に静的荷重とする。荷重パターンとして、図4a)に単調圧縮荷重(以下、圧縮荷重と呼ぶ)と図4b)に正負交番の繰返し荷重(以下、繰返し荷重と呼ぶ)を示す。圧縮荷重は、3%歪まで徐々に荷重し、繰返し荷重は、表4に示すような荷重順序で実験時と同様の荷重とする。

⑨ 変形後の位置における釣り合いを計算する大変形理論(有限変形理論)による解析を適用する。

2.2 材料特性

各部材の材料特性を表3に示す。材料特性は以下のことより決定する。

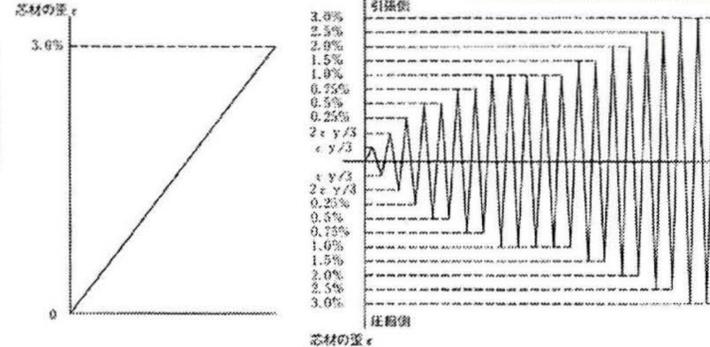


図4 荷重パターン

① 芯材は素材試験より得られた数値を使用し、降伏応力度: 276.9N/mm²、第2剛性=初期剛性/105とした。

② モルタルにはクラック特性を考慮せず、簡略的に弾塑性モデルを適用した。弾塑性特性は、文献3)の数値を参考にし、モルタルの圧縮試験結果から値を決め、降伏応力度を圧縮強度の3/10とした。

③ その他の材料特性については基準値を使用する。

3. 解析結果

3.1 単調圧縮荷重

1) 復元力特性

解析結果として、表5に最大耐力、図5にP-ε関係

表5 解析結果(最大耐力)

解析モデル	最大耐力(kN)	耐力低下時の歪(%)
F-50	1005	耐力低下なし*
F-35	996	耐力低下なし*
F-27	895	1.6
F-25	852	1.0
F-23	828	0.6
F-20	770	0.2
F-00	291	2ε _y /3

*3%歪までの荷重

図5 解析結果(P-ε関係)

