

格子型制振壁システムの鋼管と格子材の接合部周辺の弾性剛性に関する解析的研究

正会員 大井 麻梨子*¹ 同 加藤 哲矢*¹
同 鈴木 壮*² 同 鈴木 琢也*³
同 薩川 恵一*⁴

制振壁 円形鋼管 管振り
弾性剛性 有限要素法解析

1. はじめに

既往の研究では、鋼管の振りの特性を生かした制振壁システム(以下、本システム)の提案がされている¹⁾²⁾。本システムは、鉛直材および水平材(以下、格子材)を格子状に配置し、交差部に円形鋼管(以下、鋼管)を挿入している。本システムに水平力(Q)を加えた場合、格子材が十分な剛度を有しておれば、鋼管に変形が集中する。鋼管の振り挙動が安定的であれば、本システムは安定的なエネルギー吸収をする仕組みである。複数個の鋼管を配置した本システムの載荷実験を行い、鋼管のねじり剛性に加え、格子材の曲げ及びせん断剛性を考慮した本システムの弾性剛性評価式を導出している³⁾。表1に既往の研究⁴⁾で導出した弾性剛性の評価式と載荷実験で得られた弾性剛性値との対応を示す。既往の実験結果の範囲内での検証ではあるが、載荷実験から得られた本システムの弾性剛性値は、導出した評価式から得られた弾性剛性の値よりも10~15%低い値となっており、柔らかくなっている。

そこで本研究では、鋼管と格子材の接合部周辺に着目して、図2に示すように鋼管のねじり変形に伴い、格子材の接合部周辺にもねじり変形が生じると考え、数値解析により鋼管と格子材の接合部周辺のねじり剛性を検証し、新たな剛性式の再検討を行い、過去に行われた実験結果との比較を行うことを目的とする。

2. 解析概要

図3右に解析モデルを示す。本研究では、有限要素法を用いた数値解析を行う。解析モデルは、格子材と円形鋼管の周辺部を切り出した形状としている。解析で使用した要素は、パネル部および鋼管をシェル要素とする。格子材を模したパネルの境界条件は、一对の2辺を固定支持、一对の2辺を単純支持として、パネルの面外変形は拘束している。鋼管の境界条件は、パネルと接合する反対側の端部接点を多点拘束して、鋼管中心点に代表接点を与えている。加力は、代表接点に対して鋼管の中心材軸の回転方向に強制変形を与えている。解析で使用する材料特性は、弾性としており、初期不整は入力していない。

解析パラメータは、鋼管の中心間距離(D')、パネルの板厚(t_{pl})、パネル一辺の長さ(H_p)である。鋼管の板厚(t)は3.2mmとする。

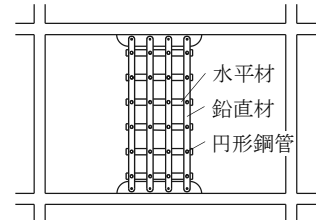


図1 格子型制振壁システム

表1 既往の研究結果

Name	n	m	H (mm)	B (mm)	eK _γ (kN/rad)	cK _γ (kN/rad)	eK _γ /cK _γ
No.1	3	3	1200	1200	3401	3733	0.91
No.2	5	3	2000	1200	3146	3733	0.84

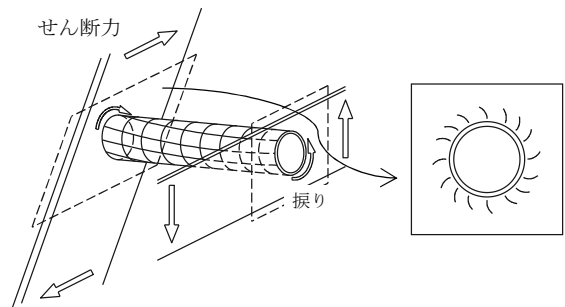


図2 格子材の接合部の捩れ

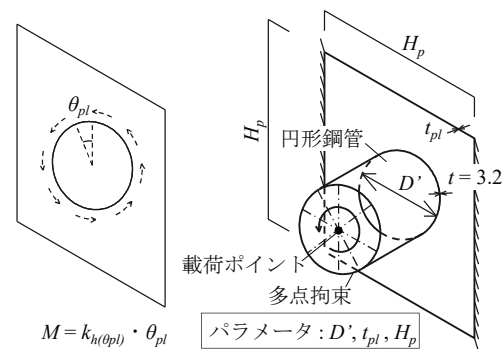


図3 解析モデル

- n : 鉛直方向の鋼管個数
- D' : 鋼管の中心間距離
- H : 壁高さ
- t : 鋼管板厚
- θ : 鋼管単体の振り角
- aK_h(θ_{pl}) : パネルのせん断剛性
- e(c)K_γ : 制振壁のせん断剛性 [e: 実験値、c: 計算値]
- m : 水平方向の鋼管個数
- H_p : パネル一辺の長さ
- B : 壁幅
- t_{pl} : 格子材板厚
- θ_{pl} : パネルの振り角

Analytical study on elastic stiffness around the joint of steel tube and lattice of lattice damping wall system

OI Mariko*¹, KATO Tetsuya*¹
SUZUKI Soh*², SUZUKI Takuya*³
SATSUKAWA Keiichi*⁴

3. 解析結果

図 4(a)にパネル一辺の長さ l_{pl} と鋼管の中心間距離 D' の比を 2 : 1(○)、3 : 1(□)、4 : 1(▲)とした際のパネル孔周辺に加わるモーメントと回転変形角から得られたねじり剛性値を縦軸に、パネルの板厚(4~48mm)を横軸としたグラフを示す。パネル一辺の長さを変更した際のパネル孔周辺のねじり剛性値の差は 0.5~1 割であり、鋼管の中心間距離が大きくなるにつれて差は大きくなった。

図 4(b)にパネル孔周辺に加わるモーメントと回転変形角から得られたねじり剛性値を縦軸に、パネルの板厚(4~48mm)を横軸としたグラフを示す。パネル孔周辺のねじり剛性値は、鋼管の中心間距離ごとにパネルの板厚と線形関係にあり、鋼管の板厚中心間距離とパネルの板厚が大きくなるほどねじり剛性値も大きくなった。すなわち、パネルの単位板厚当たりのねじり剛性値は一定であることがわかる。

図 5 に図 4(b)で示した鋼管の中心間距離ごとの線形の傾きを縦軸、鋼管の中心間距離を横軸としたグラフを示す。近似曲線は 2 次曲線になっており、図 5 右に近似式を示す。

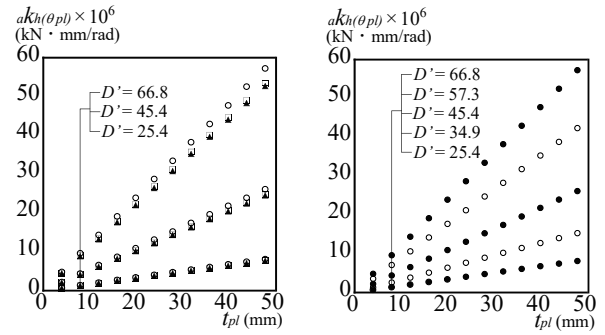
式(1)に図 5 右の近似式を整理した鋼管と格子材の接合部周辺のねじり剛性式を示す。文献 3)で導出した本システムの弾性剛性評価式は、壁のせん断力と水平変位の関係から導出されている。また 1 個の鋼管に対し接合するパネルは 2 面あるので、ねじり剛性式(1)を変換し、本システムの鋼管と格子材の接合部の剛性式を式(2)に示す。既往の弾性剛性評価式に式(2)を加えた式(3)を新たな本システムの弾性剛性評価式として定義する。式(4)は、式(3)を壁のせん断力とせん断変形角で表したものである。

表 2 に、新たな弾性剛性評価式から得られた計算値および過去に行われた載荷実験⁴⁾の結果を示す。両試験体においても 5%のずれであり、導出した評価式は実験値と良い対応を示す。

4. まとめ

本研究では、鋼管と格子材の接合部周辺に着目して、鋼管のねじり変形に伴い、格子材にもねじり変形が生じると考え、数値解析により鋼管と格子材の接合部周辺のねじり剛性を検証し、新たな剛性式を検討した。以下に本研究で得られた知見を示す。

- パネル孔周辺のねじり剛性は、パネル一辺の長さ l_{pl} と鋼管の中心間距離 D' の比にかかわらず、パネルの板厚と線形関係にあり、パネルの単位板厚当たりの剛性は一定であることがわかった。
- 導出した評価式は実験値と良い対応を示した。



(a) パネル一辺の長さ (b) パネル板厚
図 4 パネル孔周辺のねじり剛性

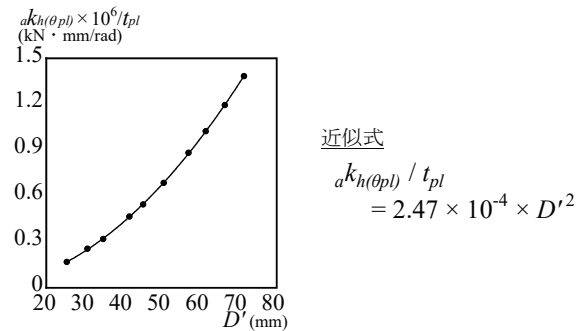


図 5 弾性剛性評価

パネルのねじり剛性式

$$aK_h(\theta_{pl}) = 2.47 \times 10^{-4} \times D'^2 \times t_{pl} \quad (1)$$

パネルのせん断剛性式

$$aK_h(\theta_{pl}) = \frac{n \cdot m}{2H^2} \cdot aK_h(\theta_{pl}) \quad (2)$$

制振壁の弾性剛性評価式

$$\frac{1}{cK_h} = \frac{1}{cK_{h(\theta)}} + \frac{1}{cK_{h(h)}} + \frac{1}{cK_{h(v)}} + \frac{1}{aK_h(\theta_{pl})} \quad (3)$$

$$\frac{1}{cK_\gamma} = \frac{1}{cK_h} \cdot H \quad (4)$$

格子材の接合部のねじり変形を考慮した評価式

表 2 既往の実験結果との比較

Name	n	m	H (mm)	B (mm)	cK_γ (kN/rad)	cK_h (kN/rad)	cK_γ / cK_h
No.1	3	3	1200	1200	3401	3305	1.02
No.2	5	3	2000	1200	3146	3305	0.95

参考文献

- 1) 青木徹彦、鈴木森晶：鋼管を用いた弾塑性ねじりダンパー特性に関する実験的研究、構造工学論文集、Vol.44A、pp.889-905、1998.3
- 2) 鈴木琢也、山崎賢二：鋼管振りダンパーを利用した格子型制振壁システムにおける安定履歴のための限界径厚比に関する解析的検討、鋼構造論文集、第22巻、第86号、pp.47-55、2015.6
- 3) 鈴木壮、鈴木琢也、他 3 名：格子型制振壁システムの繰返し性能に関する実験的研究、鋼構造年次論文報告集、Vol.26、pp.527-579、2018.11
- 4) 鈴木壮、濱野真行、他 2 名：格子材の剛度が異なる格子型制振壁システムの載荷実験、鋼構造年次論文報告集、Vol.27、pp.160-166、2019.11

*1 愛知工業大学 元学生

*2 愛知工業大学大学院 元大学院生

*3 (株)竹中工務店 技術研究所

*4 愛知工業大学 教授

*1 Aichi Institute of Technology

*2 Aichi Institute of Technology

*3 Research & Development Institute, Takenaka Corporation

*4 Professor, Aichi Institute of Technology