

# 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 EXPERIMENTAL STUDY ON MECHANICAL PERFORMANCE OF LATTICE DAMPING WALL SYSTEM

○鈴木 壮\* 鈴木 琢也\*\* 薩川 恵一\*\*\* 金子 洋文\*\*\*\* 鈴木 敏志\*\*\*\*\*  
SUZUKI Soh SUZUKI Takuya SATSUKAWA Keiichi KANEKO Hirohumi SUZUKI Satoshi

**ABSTRACT** In this study, mechanical performance of lattice damping wall system by test is perposed. It is clear that a torsional steel tube damper shows stable historical behavior by previous study. So in this study, the system shows same stable historical behavior all steel tube at the same time. Parameter is assumed that it has support material with or without, deformation area is single layer or multiple layer and steel tube height. Then validity of the formal is verified by test.

**Keywords:** 制振壁、鋼管、ねじり、せん断降伏耐力、載荷実験  
damping wall, steel tube, torsion, shear yield strength, static loading test

## 1. はじめに

円形鋼管に繰返しねじりモーメントを加えた場合、鋼管全断面積がせん断変形をすることによって、安定的なエネルギー吸収をすることがわかっている<sup>1)</sup>。また円形鋼管はシェル状であるため、平板にせん断力を与える場合に比べ、大きなひずみに対しても座屈が生じにくいという利点も有しており、これらの特性を生かしたダンパーの提案が行われている<sup>1),2),3),4)</sup>。

既往の研究では、図1のような鋼管ねじりダンパーの安定的なエネルギー吸収能力を活かした格子型制振壁システムの提案を行っている<sup>5)</sup>。本システムは、鉛直材と水平材を格子状に配置して、鉛直材と水平材の格子点に配置された円形鋼管により構成されている。格子材が十分な剛性及び強度を有すると仮定したとき、本システムに水平力

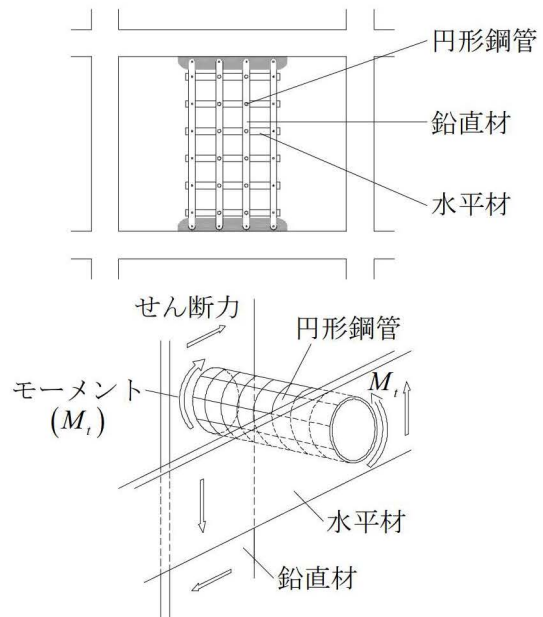


図1 提案する格子型制振壁システム

\*学士(工学) 愛知工業大学大学院 工学研究科建設システム工学専攻

(〒103-0027 愛知県豊田市八草町八千草1247) 準会員(学生)

\*\*博士(工学) 竹中工務店 技術研究所 (〒270-1395 千葉県印西市大塚1丁目5-1) 第1種正会員

\*\*\*博士(工学) 愛知工業大学工学部建築学科教授

(〒103-0027 愛知県豊田市八草町八千草1247) 第2種正会員

\*\*\*\*博士(工学) 信州大学工学部建築学科教授 (〒380-8553 長野県長野市若里4-17-1)

\*\*\*\*\*博士(工学) 愛知工業大学工学部建築学科講師

(〒103-0027 愛知県豊田市八草町八千草1247)

を加えると、格子材の接点に配置されている鋼管にねじりモーメントが作用し、鋼管に回転変形が生じ、壁全体が変形する。また配置された鋼管の回転変形がすべて同じねじり角が生じるよう、格子材を適切に配置することにより、壁全体に配置された鋼管が安定的なねじり挙動を生じるならば、本システムは安定的なエネルギー吸収能力を発揮するであろう。

そこで本研究では、鋼管にねじりモーメントを与えるための格子材の配置について3種類の形式を提案して載荷実験を行い、本システムに設置された各鋼管の履歴挙動を検証する。また本システムにおいては、格子材が弾性変形を生じることから、提案した各形式において格子材の剛性を考慮した本システムの全塑性耐力評価式と簡易かつ実用的な弾性剛性評価式を提案し、実験結果との検証を行う。

## 2. 本研究で提案する格子材及び円形鋼管の配置概要

図2に格子型制振壁システム(以下、本システム)の概要を示す。図中の●は鋼管、○はピン部を示し、実線は水平材、点線は鉛直材の応力伝達を示す。

鋼管にねじりモーメントを伝達させる機構として3種類を用意した。AS及びAW方式では、格子材の上下左右を剛な部材で囲み、剛な部材と格子材をピン接合する。そして各格子材では、鋼管間の部材中央が反曲点となるようにし、また各部材のせん断力が同じとなるように、円形鋼管は鉛直及び水平方向ともに鋼管間の距離を同じ長さとし

て、周辺ピン接合と円形鋼管の長さは鋼管間の長さの半長とする。各方式において、格子材は弾性として、面外変形は発生させないものとする。図2(A)右に示すようにAS方式とAW方式の違いは、水平材と鉛直材の鋼管を配置した単層型(AS方式)と水平材の両側に配置した鉛直材との間に鋼管を配置させた複層型(AW方式)である。AW方式は、AS方式を並列配置すること同義であり、本システム全体のせん断耐力を2倍にすることを目標としている。

BS方式は、水平材端部がピン接合されていない形式であり、壁端に配置された格子材と壁中央位置の格子材が負担するせん断力が異なる。鋼管のねじり剛性を格子材の材端部に回転剛性として与え、各格子材が負担するせん断力及び曲げモーメントの算出は煩雑であることから、本システムでは、鋼管のねじり剛性が格子材の板の面内曲げ剛性に比べてかなり低いことを想定しており、また文献6)を参照して、次章で述べる簡易かつ実用的なせん断弾性剛性評価式を算出するために、近似的に各鉛直材及び水平材の負担せん断力を均等と仮定する。なお有限要素法解析により、載荷実験で行った試験体において、壁中央の鉛直材が負担するせん断力は壁端に位置する鉛直材が負担するせん断力の約1.15倍であった。

## 3. 本システムの全塑性耐力式と弾性剛性評価式の提案

前章で提案した3種類の形式について格子材の剛性を考慮した本システムの全塑性耐力評価式と弾性剛性評価式の提案を行う。

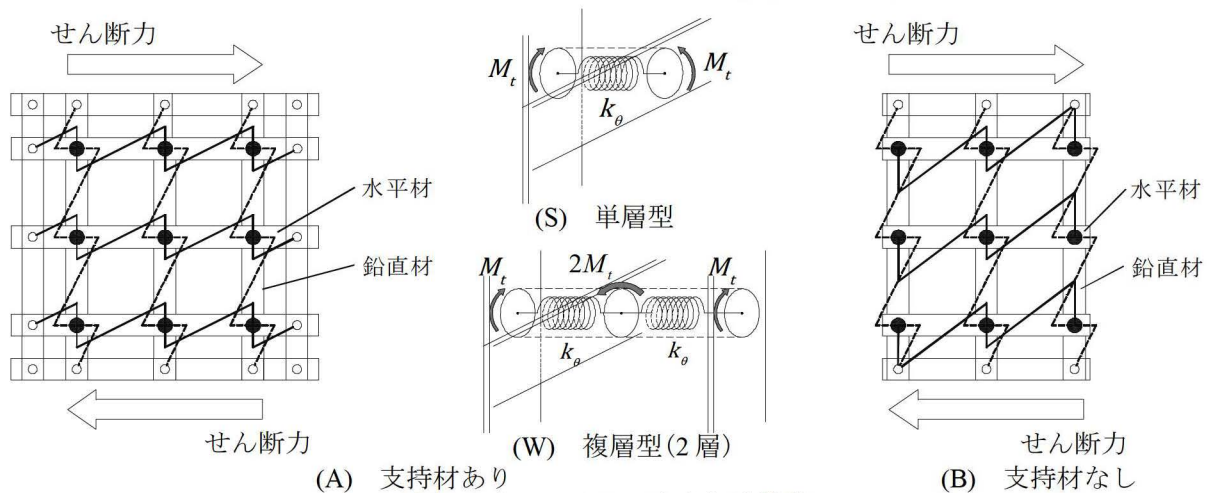


図2 本システムの応力伝達機構



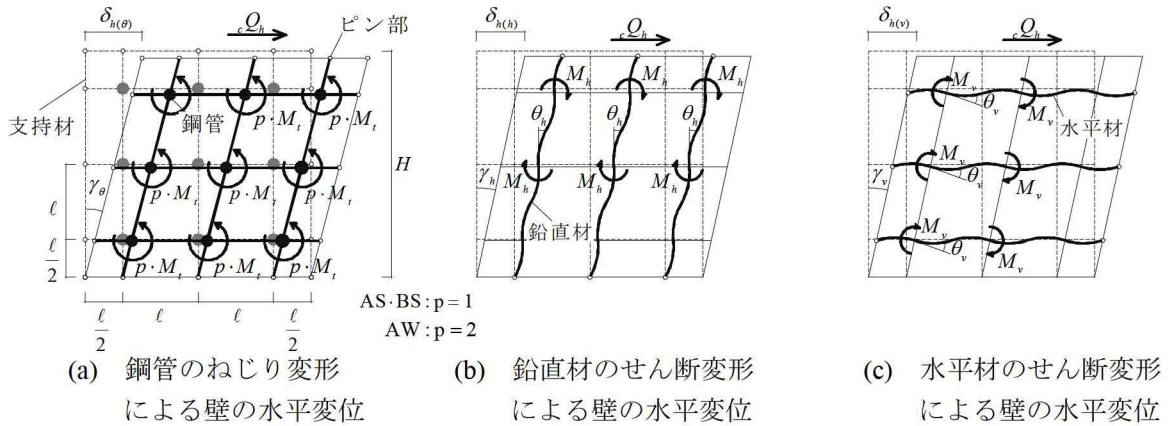


図3 全塑性耐力式と弾性剛性評価式の算出

図3に全塑性耐力式と弾性剛性評価式の算出の考え方を示す。AS・AW方式では、制振壁の壁高さと壁幅は同じ長さ $H$ とする。制振壁の内部に設置される鋼管は均等配置として距離を $\ell$ として、鋼管とピンの距離は鋼管間の距離の半長( $\ell/2$ )とする。格子材に用いる鉛直材・水平材を同数 $n$ 本とし、形状が同一な鋼管を格子材の接点に配置して計 $n^2$ 箇所としている。BS方式では、水平材端部をピン接合していないため、図3の壁横の半長2本は除いて考える。

まず本システム全塑性耐力評価式を導く。図3(a)より、格子材を剛体として、鋼管にねじり角 $\theta$ が生じたとき、鋼管のねじり角 $\theta$ と鋼管がねじり変形により生じる壁のせん断変形角 $\gamma_\theta$ は等しい。同図に示すように、壁のせん断力 ${}_cQ_h$ と水平変位 $\delta_{h(\theta)}$ との積で求まる外部仕事と鋼管ねじりモーメント $M_t$ と鋼管のねじり角 $\theta$ との積で求まる内部仕事の釣り合いより式(1)で表される。なお、本章の記号のパラメータは本稿の巻末に記載している。

$${}_cQ_h \cdot \delta_{h(\theta)} = p \cdot n^2 \cdot M_t \cdot \theta \quad (1) \quad \delta_{h(\theta)} = H \cdot \theta \quad (2)$$

式(1), (2)より、壁のせん断力 ${}_cQ_h$ は式(3)で表される。

$${}_cQ_{hp} = \frac{\sum M_t}{H} = \frac{p \cdot n^2 \cdot M_t}{H} \quad (3)$$

鋼管単体の全塑性モーメント ${}_cM_{tp}$ は、式(4)で与えられる。

$${}_cM_{tp} = 2\pi \cdot \left(\frac{D'}{2}\right)^2 \cdot t \cdot \frac{\sigma_y}{\sqrt{3}} \quad (4)$$

本システムの全塑性せん断耐力 ${}_cQ_{hp}$ は、式(3), (4)より、式(5)で表される。

$${}_cQ_{hp} = \frac{p \cdot n^2 \cdot {}_cM_{tp}}{H} \quad (5)$$

次に、本システムの弾性剛性評価式を提案する。同評価式を提案するにあたり、以下の仮定をする。

- ① 図3(a)に示すように、格子材を剛として、円形鋼管のねじり変形から壁の水平変位 $\delta_{h(\theta)}$ を求める。
- ② 図3(b)に示すように、水平材及び円形鋼管を剛として鉛直材の曲げ変形及びせん断変形から壁の水平変位 $\delta_{h(h)}$ を求める。
- ③ 図3(c)に示すように、鉛直材及び円形鋼管を剛として、鉛直材と同様に水平材の壁の水平変位 $\delta_{h(v)}$ を求める。
- ④ ①～③で算出した水平変位の合計が壁全体の水平変位 $\delta_h$ として、壁のせん断耐力と関係から、壁のせん断剛性 ${}_cK_v$ を求める。

- ① 鋼管のねじり変形による壁の水平変位 $\delta_{h(\theta)}$  鋼管単体で生じる回転剛性は式(6)で与えられる。

$$k_{h(\theta)} = \frac{\pi \cdot G \cdot D^3 \cdot t}{4h} \quad (6)$$

式(1), (2), (6)より、壁のせん断力 ${}_cQ_h$ と水平変位 $\delta_{h(\theta)}$ は、式(9)で表され、壁のせん断剛性は式(10)で表される。

$${}_cQ_h = \frac{p \cdot n^2 \cdot k_{h(\theta)}}{H^2} \delta_{h(\theta)} \quad (7) \quad H = n \cdot \ell \quad (8)$$

$${}_cQ_h = {}_cK_{h(\theta)} \cdot \delta_{h(\theta)} \quad (9)$$

$$\frac{1}{{}_cK_{h(\theta)}} = \frac{\ell^2}{p \cdot k_{h(\theta)}} \quad (10)$$

- ② 鉛直材の曲げ変形とせん断変形による壁の水平変位 $\delta_{h(h)}$

水平材及び円形鋼管を剛として鉛直材の曲げ変形及びせん断変形から壁の水平変位を求める。まず、鉛直材の曲げ変形を考える。鉛直材内の鋼管間の部材の曲げ変形、鉛直材全体での曲げ変形をそれぞれ算出し、壁のせん断力 $Q_h$ と水平変位の関係を導く。各鋼管間の部材の端部モーメント $M_h$ と回転角 $\theta_h$ の関係は式(12)で表され、鋼管間の部材の内部仕事は式(13)で表される。

$$\theta_h = \frac{M_h \cdot \ell}{6EI} \quad (11) \quad M_h = \frac{6EI}{\ell} \theta_h \quad (12)$$

$$2 \cdot M_h \cdot \theta_h = 2 \cdot \frac{6EI}{\ell} \theta_h \cdot \theta_h = \frac{12EI}{\ell} \theta_h^2 \quad (13)$$

壁全体での曲げ変形を考える。鋼管間の部材の回転角 $\theta_h$ と壁全体での回転角 ${}_m\gamma_{h(h)}$ は等しいことから、内部仕事と外部仕事の関係は式(14)で表される。なお鋼管とピン接合部の長さは、鋼管間の部材の長さの半長であることから、鉛直材1本では鋼管間の部材が $n$ 本であり、鉛直材 $n$ 本が並列に配置していることから、鋼管間の部材の本数は $n^2$ 本である。式(14)、(15)より壁のせん断力 $Q_h$ と水平変位 ${}_m\delta_{h(h)}$ の関係は式(16)で表される。

$$Q_h \cdot {}_m\delta_{h(h)} = p \cdot n^2 \cdot \frac{12EI}{\ell} \cdot {}_m\gamma_{h(h)}^2 \quad (14)$$

$$\theta_h = {}_m\gamma_{h(h)} = \frac{{}_m\delta_{h(h)}}{H} \quad (15)$$

$$Q_h = p \cdot \frac{12EI}{\ell^3} \cdot {}_m\delta_{h(h)} \quad (16)$$

次に鉛直材のせん断変形を考える。鉛直材1本の断面積を $A$ とすると、鉛直材の総断面積 $A_h$ は式(17)で表され、壁のせん断力 $Q_h$ は式(18)で表される。式(18)、(19)より、壁のせん断力 $Q_h$ と水平変位 ${}_s\delta_{h(h)}$ の関係は式(20)で表される。

$$A_h = p \cdot n \cdot A \quad (17) \quad Q_h = G \cdot A_h \cdot {}_s\gamma_{h(h)} \quad (18)$$

$${}_s\gamma_{h(h)} = \frac{{}_s\delta_{h(h)}}{H} \quad (19) \quad Q_h = \frac{p \cdot GA}{\ell} \cdot {}_s\delta_{h(h)} \quad (20)$$

式(16)、(20)より、鉛直材での水平変位 $\delta_{h(h)}$ の合計は式(21)で表さる。壁のせん断力 $Q_h$ と水平変位 $\delta_{h(h)}$ の関係は式(22)で表され、壁のせん断剛性 ${}_cK_{h(h)}$ は式(23)で表される。

$$\delta_{h(h)} = {}_m\delta_{h(h)} + {}_s\delta_{h(h)} \quad (21)$$

$$Q_h = {}_cK_{h(h)} \cdot \delta_{h(h)} \quad (22)$$

$$\frac{1}{{}_cK_{h(h)}} = \frac{\ell^3}{p \cdot 12EI} + \frac{\ell}{p \cdot GA} \quad (23)$$

③ 水平材の曲げ変形とせん断変形による壁の水平変位 $\delta_{h(v)}$

AS・AW方式では鋼管間の水平材の本数が鉛直材と同数なので、水平材の曲げ変形及びせん断変形は鉛直材と同じであり、水平材は単層であることを考慮して、AS・AW方式での壁のせん断力 $Q_h$ と水平変位 $\delta_{h(v)}$ の関係は式(24)で表され、壁のせん断剛性 ${}_cK_{h(v)}$ は式(26)で表される。

$$Q_h = {}_cK_{h(v)} \cdot \delta_{h(v)} \quad (24) \quad {}_cK_{h(v)} = {}_cK_{h(h)} \quad (25)$$

$$\frac{1}{{}_cK_{h(v)}} = \frac{\ell^3}{12EI} + \frac{\ell}{GA} \quad (26)$$

BS方式では、水平材の端部をピン接合していないため水平材1本では、水平材内の鋼管間の部材が $n-1$ 本であり、水平材 $n$ 本が並列に配置していることから、鋼管間の部材の本数は $n \cdot (n-1)$ 本である。式(15)を準用し式(27)より、壁のせん断力 $Q_h$ と水平変位 ${}_m\delta_{h(v)}$ の関係は式(28)で表される。

$$Q_h \cdot {}_m\delta_{h(v)} = n \cdot (n-1) \cdot \frac{12EI}{\ell} \cdot {}_m\gamma_v^2 \quad (27)$$

$$Q_h = \frac{n-1}{n} \cdot \frac{12EI}{\ell^3} \cdot {}_m\delta_{h(v)} \quad (28)$$

次にBS方式での水平材のせん断変形を考える。式(17)、(18)、(19)を準用すると、壁のせん断力 $Q_h$ と水平変位 ${}_s\delta_{h(v)}$ の関係は式(29)で表される。

$$Q_h = \frac{n-1}{n} \cdot \frac{GA}{\ell} \cdot {}_s\delta_{h(v)} \quad (29)$$

以上により、BS方式の水平材の曲げ変形及びせん断変形による壁全体の水平変位 $\delta_{h(v)}$ は式(30)で表される。壁のせん断力 $Q_h$ と水平変位 $\delta_{h(v)}$ の関係は式(31)で表され、せん断剛性 ${}_cK_{h(v)}$ は式(32)で表される。

$$\delta_{h(v)} = {}_m\delta_{h(v)} + {}_s\delta_{h(v)} \quad (30)$$

$$Q_h = {}_cK_{h(v)} \cdot \delta_{h(v)} \quad (31)$$

$$\frac{1}{{}_cK_{h(v)}} = \frac{n}{n-1} \cdot \left( \frac{\ell^3}{12EI} + \frac{\ell}{GA} \right) \quad (32)$$

④ 壁全体の水平変位 $\delta_h$

式(7)、(21)、(30)で求めた水平変位の合計である制振壁の水平変位 $\delta_h$ は式(33)となり、壁のせん断力 $Q_h$ との関係は式(34)で表され、壁のせん断剛性 ${}_cK_h$ は式(35)で表される。

$$\delta_h = \delta_{h(\theta)} + \delta_{h(h)} + \delta_{h(v)} \quad (33)$$



表1 試験体一覧

試験体名	Steel grade	$n$	$n^2$	$p$	$H$ mm	$H'$ mm	$\ell$ mm	$h$ mm	$t_{pl}$ mm	$t$ mm	$D$ mm	$D'$ mm	$\sigma_y$ N/mm <sup>2</sup>	$\sigma_u$ N/mm <sup>2</sup>	$cM_{tp}$ kN・m	$cQ_{hp}$ kN
AS-32	STK400	3	9	1	1200	1200	400	32	16	3.2	48.6	45.4	436	440	2.61	19.6
AS-24								24	6							39.2
AW-32				32		16		19.6								
BS-32				32		16		19.6								

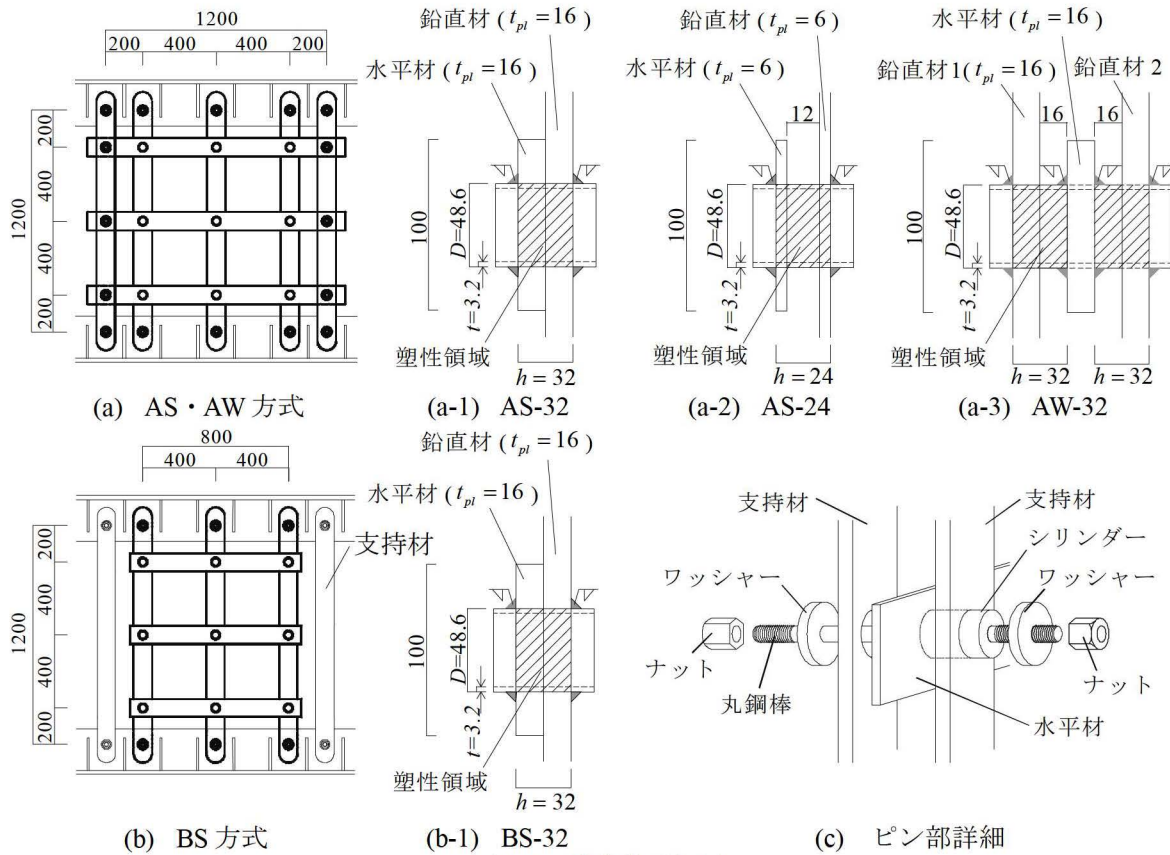


図4 試験体詳細図

$$cQ_h = \left( \frac{1}{cK_{h(\theta)}} + \frac{1}{cK_{h(h)}} + \frac{1}{cK_{h(v)}} \right) \cdot \delta_h \quad (34)$$

$$\frac{1}{cK_h} = \frac{1}{cK_{h(\theta)}} + \frac{1}{cK_{h(h)}} + \frac{1}{cK_{h(v)}} \quad (35)$$

これを壁のせん断力 $cQ_h$ とせん断変形角 $c\gamma$ との関係は式(36)で表され、壁のせん断剛性 $cK_\gamma$ は式(37)で表される。

$$cQ_h = cK_h \cdot H \cdot \frac{\delta_h}{H} = cK_h \cdot H \cdot c\gamma \quad (36)$$

$$cK_\gamma = cK_h \cdot H \quad (37)$$

#### 4. 載荷実験概要

##### 4.1 試験体概要

2章で述べた本システムの配置概要に対して、AS方式2体、AW方式及びBS方式各1体の計4体

の載荷試験を行った。表1に試験体一覧を示し、図4に試験体寸法を示す。全試験体では、水平材・鉛直材を縦3列×横3列に格子状に配置して、各列の間隔は等間隔として、その長さを400mmとしている。なお支持材と鉛直材の間隔は、200mmとしている。格子材は板幅100mm、格子材の板厚 $t_{pl}$ はAS-24のみ6mmとして、他の3体の板厚は16mmとした。格子材の鋼種はSS400を使用した。鋼管の設置個所は、格子接点9か所とし、鋼管寸法は $\phi 48.6 \times 3.2$ として、鋼管の鋼種はSTK400を使用した。

鋼管と格子材の接合詳細を図4中に示す。鋼管は、格子材を貫通させて、格子材の外側面のみと隅肉溶接で接合されている。ただしAW方式は、鋼管と水平材の両側面を隅肉溶接接合としている。製作にあたっては、薄肉鋼管厚のため、溶け

落ちないような溶接速度で1パスにて溶接しており、隅肉サイズは鋼管厚の1.5倍以上を確保している。これにより、格子材から伝達するねじりモーメントをせん断力により円形鋼管に加えた。鋼管の塑性領域となる箇所は、隅肉溶接間であり、この長さを鋼管高さ $h$ としている。

表1に鋼材の材料試験の結果を示す。本研究で使用した鋼材の機械的性質を示す。鋼管の降伏応力度 $\sigma_y$ は、0.2%オフセット法で算出している。

図4(c)に格子材と治具のピン接合の詳細を示す。ピン部回転軸となる丸鋼棒を両側からナットで締め付けるピン接合としており、また格子材および治具の板厚分の合計長を有する円筒状のピン孔部にシリンダーを挿入して、治具と格子材が板厚方向に締め付けないようにしている。

#### 4.2 加力・計測計画

図5に荷重装置全体を示す。試験体は、治具となる上下のCT鋼とピン接合させている。加力方法は、門型フレームに設置されたアクチュエータにより、水平力を作用させ、荷重梁を介して試験体にせん断荷重 $Q$ を加える。なお、荷重梁上部を面外変形治具で試験体の面外変形を拘束している。

図6に荷重プログラムを示す。荷重は本システムのせん断変形角 $\gamma$ が1/100, 1/50, 1/30, 1/20となる水平変位 $\delta_h$ の範囲で各振幅を2回ずつ、計8回繰り返した後、初期荷重方向に単調荷重を行い、終局状況を確認する。なお、計測器の不具合のため、AS-32の1/20の負側1回目は、1/15まで荷重している。

図7に壁のせん断変形角の算出方法を示す。試験体に対角線上に配置した斜変位計より、壁のせん断変形角は以下の式(28)で表される。

$$\gamma = (H^2 + H'^2 - \delta_{o(2)}) / 2 \cdot H \cdot H' \quad (38)$$

図8に各格子材での鋼管単体のねじりモーメントを推定するためのひずみゲージ貼付位置を示す。ねじりモーメントを推定するにあたり、鋼管内にひずみゲージを添付することが困難なため、鋼管回りの格子材端にひずみゲージを添付し、格子材の材端部に作用する曲げモーメントを鋼管に作用するねじりモーメントとして捉えた。また計測点の制限により、4つの鋼管のねじりモーメントを計測している。

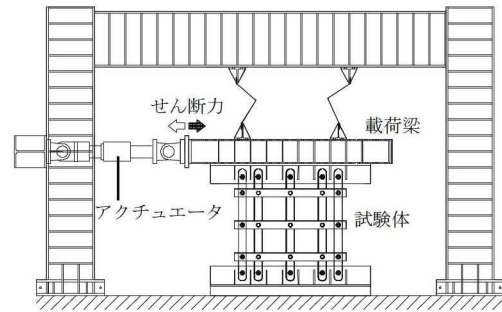


図5 荷重装置全体

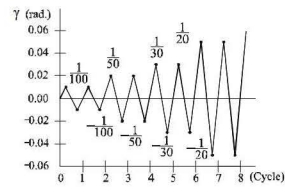


図6 荷重プログラム

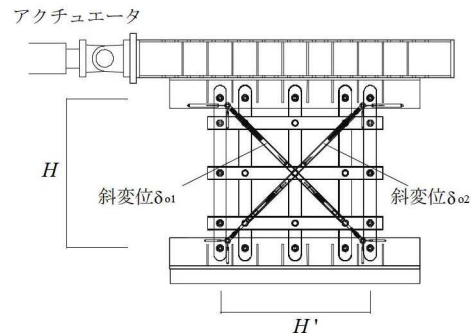


図7 変位測定箇所

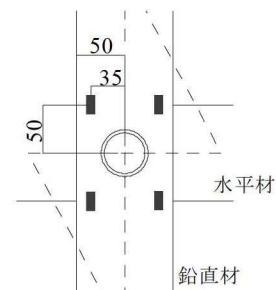


図8 ひずみゲージ貼付位置

#### 5. 実験結果

図9に各試験体内に配置している鋼管のねじりモーメント-変位関係を示す。縦軸はねじりモーメントを示し、横軸はせん断変形角を示す。AS・AW方式では、計測した鋼管がほぼ同時に全塑性ねじりモーメント $M_p$ で降伏し始め、その後の荷重も紡錘形の安定した履歴挙動を確認できた。BS方式では、鉛直材が負担するせん断力が壁中央と壁端で異なるが、ほぼ同じせん断変形角で全塑性ねじりモーメント $M_p$ に達していた。

図10にひずみゲージから算出したせん断荷重



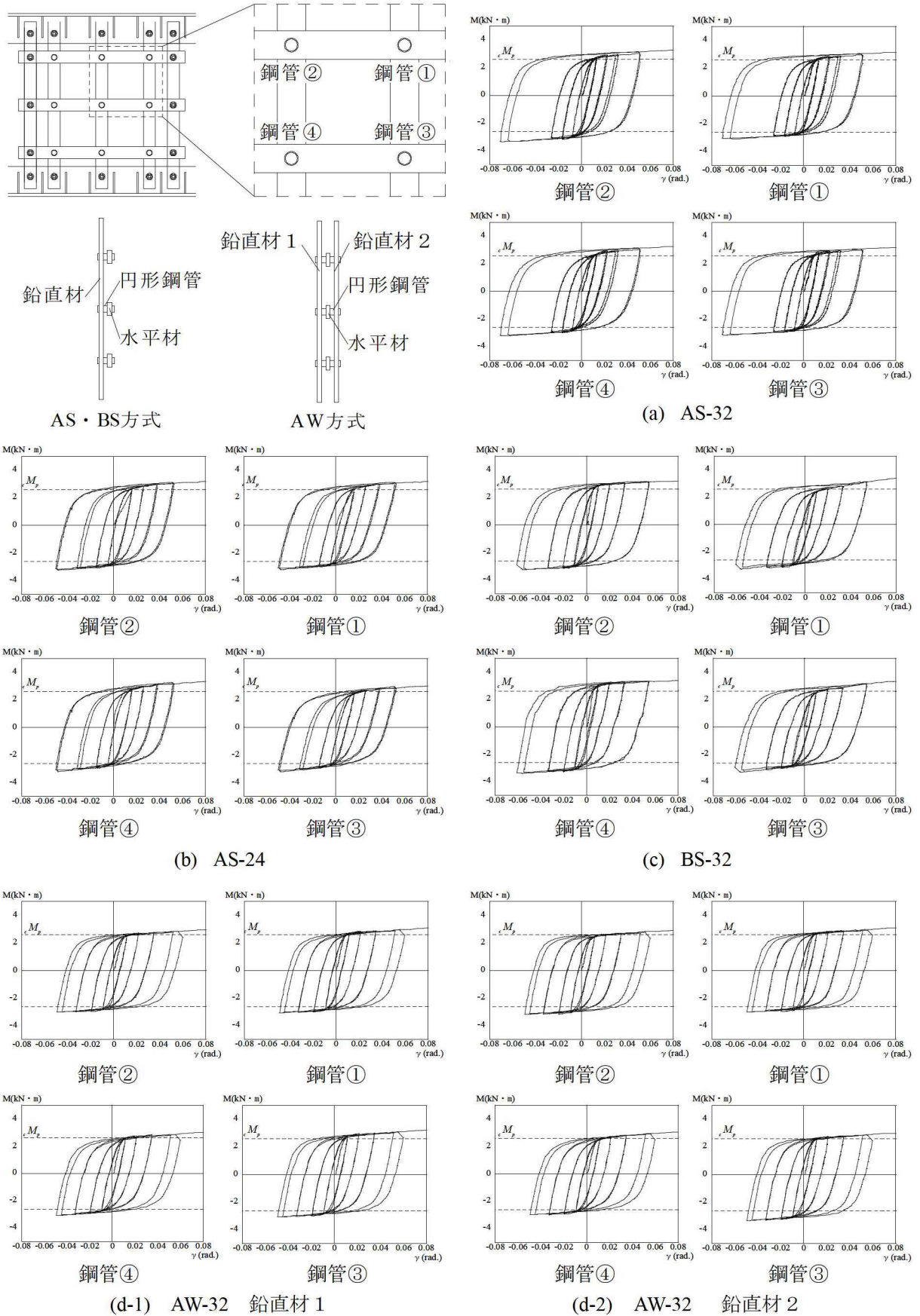


図9 各鋼管のモーメントー変位関係

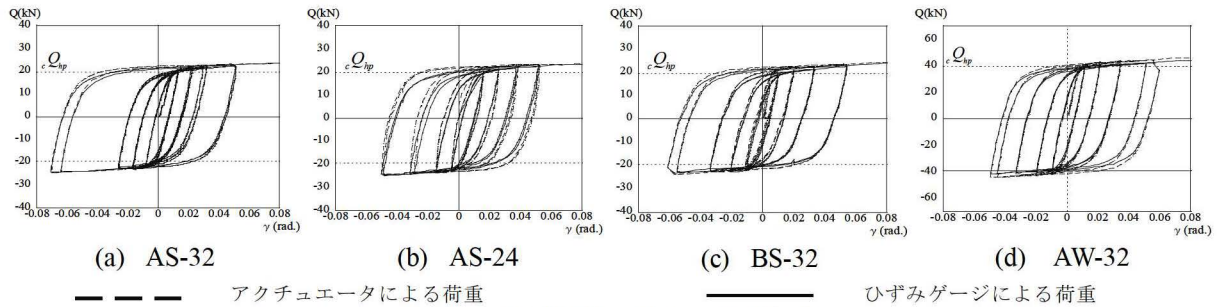


図10 各試験体の荷重-変位関係

とアクチュエータの情報から得られたせん断荷重を比較するため、各試験体の荷重変位関係を示す。図中の実線はひずみゲージから算出した荷重、点線はアクチュエータでのせん断荷重を示す。各試験体において、実線と点線の荷重はほぼ一致し、せん断変形角 1/20rad まで低下しておらず、紡錘形の安定した履歴挙動を示している。8 回目以降に行った単調載荷では、せん断変形角 1/10 まで、せん断耐力を維持していた。

表2に載荷実験により得られた各試験体のせん断弾性剛性  ${}_eK_y$  と 3 章での弾性剛性評価式から求められるせん断弾性剛性  ${}_cK_y$  との比較を示す。今回の評価式は簡易的な方法であるが、実験値とは良い対応を示していた。今後、有限要素法解析を用いて精解値を算出するとともに、パラメトリックスタディを行い、今回提案した弾性剛性評価式の適応範囲を検討する。

## 6. おわりに

本研究では、格子材と円形鋼管の配置について 3 種類の形式を提案して載荷実験を行い、本システムが安定した履歴挙動を示すのか検証した。また本システムにおいては、格子材が弾性変形を生じることから、提案した各形式において格子材の剛性を考慮した本システムの全塑性耐力評価式と弾性剛性評価式を導き、実験結果との検証を行った。得られた知見を以下に示す。

- ・提案した3種類の形式では、本システムの荷重変位関係が紡錘形の安定した履歴挙動を示した。
- ・複数の円形鋼管を用いた本システムにおいては、制振壁内に設置した鋼管が同じ履歴挙動を示し、その履歴挙動も安定した紡錘形の形状をしていた。
- ・簡易的手法ではあるが、本システムの全塑性耐力評価式と弾性剛性評価式を提案し、実験

表2 弾性剛性の実験値と理論値の比較

試験体名	${}_cK_{y(e)}$	${}_cK_{y(a)}$	${}_cK_{y(v)}$	${}_eK_y$	${}_cK_y$	${}_eK_y / {}_cK_y$
A-L32	3.6	44.1	44.1	3683	3256	0.88
A-L24	4.8	16.5	16.5	3622	3225	0.89
AW-L32	7.1	88.2	44.1	6886	5926	0.86
B-L32	3.6	44.1	66.1	3770	3273	0.87

結果と良い対応を示していた。今後、有限要素法解析を用いて精解値を算出するとともに、パラメトリックスタディを行い、今回提案した弾性剛性評価式の適応範囲を検討する。

## 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) 清川昇梧, 谷中聡久, 尾下里治, 佐野泰如: 鋼管のねじりを利用した鋼材ダンパーの開発土木学会第65回年次学術講演会, pp.1119-1120, 2010.9
- 3) 鈴木森晶, 鈴木徹彦, 遠藤輝好: 免振ゴム支承と鋼管ねじりダンパーを有する実験床の最大応答変位設, 構造工学論文, Vol.45A, pp.859- 867, 1999
- 4) 仁野陽日, 金子洋文, 鈴木琢也, 山崎賢二: 格子型制振壁システムに用いる鋼管ねじりダンパーの基本的力学性能に関する実験的研究, 日本建築学会構造系論文集, pp.1531-1539, 2016.9
- 5) 鈴木琢也, 山崎賢二: 鋼管ねじ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
- 6) 福永 湧大, 金子 洋文, 鈴木 琢也, 他2名: 鋼管ねじりダンパーを利用した格子型制振壁システムにおける弾性剛性および全塑性耐力の算出方法, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 構造II, pp.573-574, 2017.7

## パラメータの定義

$n$ : 縦横の各鋼管個数	$I$ : 格子材の断面2次モーメント
$n^2$ : 鋼管総数	$A$ : 格子材の断面積
$h$ : 鋼管間距離	$\sigma_y$ : 鋼管の引張強さ
$l$ : 鋼管長さ	$\sigma_w$ : 鋼管の降伏応力度
$t$ : 鋼管の板厚	$E$ : ヤング率
$D$ : 鋼管の外径	$G$ : せん断弾性係数
$D'$ : 鋼管の板厚中心間距離	$M_y$ : 鋼管ねじりモーメント
$H$ : 壁高さ	${}_e\gamma, {}_c\gamma$ : 壁のせん断変形角
$H'$ : 壁幅	${}_cQ_{sp}$ : 壁のせん断降伏耐力
$t_{pl}$ : 格子材の板厚	${}_cM_{py}$ : 壁の全塑性ねじりモーメント
$p$ : 鉛直材における層数	${}_eK_y, {}_cK_y$ : 壁全体のせん断剛性