

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
その4 縦横の長さが異なる本システムの実験結果

正会員 ○鈴木 壮 同 鈴木 琢也
同 濱野 真行 同 薩川 恵一

制振壁 鋼管 管振り
剛度 載荷実験 繰返し載荷

1. はじめに

本稿では、前報(その1)に引き続き文献4)で示された格子型制振壁システム(以下、本システム)全塑性耐力評価式及び弾性剛性評価式を、剛度の異なる格子材で構成された場合を考慮した式に修正し、載荷実験によりその妥当性を検証する。

2. 全塑性耐力評価式と弾性剛性評価式の導出

本システムの全塑性耐力評価式を導出する。格子材の剛度を異なる場合も文献3)の式を引用する。格子材を剛と仮定した場合、本システムの壁の全塑性耐力 Q_{hp} は式(1)で表され、鋼管単体の全塑性振りモーメント M_p は式(2)で与えられる。本研究で使用した記号のパラメータは前報(その1)に示す。

$$Q_{hp} = \frac{n \cdot m \cdot c M_p}{H} \quad (1) \quad c M_p = 2\pi \cdot \left(\frac{D'}{2}\right)^2 \cdot t \cdot \frac{\sigma_y}{\sqrt{3}} \quad (2)$$

次に本システムの弾性剛性評価式を導出する。文献4)では、鋼管間の部材長さを同一としているが、本研究では部材長さを変え、格子材の剛度が異なる場合も評価式を導出する。以下の手順で導出する。

- ① 格子材を剛として、円形鋼管の振り変形から壁の水平変位 $\delta_{h(v)}$ を求める。
- ② 円形鋼管及び水平材を剛として、鉛直材の曲げせん断変形から壁の水平変位 $\delta_{h(h)}$ を求める。
- ③ 円形鋼管及び鉛直材を剛として、水平材の曲げせん断変形から壁の水平変位 $\delta_{h(v)}$ を求める。
- ④ ①~③で導出した水平変位の合計を壁の水平変位 δ_h とし、壁のせん断力 Q_h との関係から壁のせん断剛性 K_y を求める。

① 円形鋼管の振り変形から壁の水平変位 $\delta_{h(v)}$

鋼管単体で生じる回転剛性 $k_{h(v)}$ は式(3)で与えられる。壁のせん断力 Q_h と鋼管の振り変形による水平変位 $\delta_{h(v)}$ は式(4)で表され、壁のせん断剛性 $K_{h(v)}$ は式(5)で表される。

$$k_{h(v)} = \frac{\pi \cdot G \cdot D'^3 \cdot t}{4h} \quad (3) \quad c Q_h = \frac{n \cdot m \cdot k_{h(v)}}{H^2} \delta_{h(v)} \quad (4)$$

$$c K_{h(v)} = \frac{m}{n \ell_v^2} \cdot k_{h(v)} \quad (5)$$

② 鉛直材の曲げせん断変形から壁の水平変位 $\delta_{h(h)}$

鉛直材の曲げ変形を考える。内部仕事と外部仕事の関係より壁のせん断力 Q_h は式(6)で表される。式(6), (7)より壁のせん断力 Q_h と水平変位 $m \delta_{h(h)}$ の関係は式(8)で表される。

$$c Q_h \cdot m \delta_{h(h)} = n \cdot m \cdot \frac{12EI}{\ell_v^3} \cdot m \delta_{h(h)}^2 \quad (6) \quad \theta_h = m \gamma_{h(h)} = \frac{m \delta_{h(h)}}{H} \quad (7)$$

$$c Q_h = \frac{m}{n} \cdot \frac{12EI}{\ell_v^3} \cdot m \delta_{h(h)} \quad (8)$$

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は $m \times A$ と表され、壁のせん断力 Q_h は式(10)で表される。式(9), (10)より壁のせん断力 Q_h と水平変位 $\delta_{h(h)}$ の関係は式(11)で表される。

$$c Q_h = G \cdot A_h \cdot \gamma_{h(h)} \quad (9) \quad \gamma_{h(h)} = \frac{\delta_{h(h)}}{H} \quad (10)$$

$$c Q_h = \frac{m}{n} \cdot \frac{GA}{\ell_v} \cdot \delta_{h(h)} \quad (11)$$

式(8), (11)より鉛直材での水平変位 $\delta_{h(h)}$ の合計は式(12)で表される。壁のせん断力 Q_h と水平変位 $\delta_{h(h)}$ の関係は式(13)で表され、壁のせん断剛性 $K_{h(h)}$ は式(14)で表される。

$$\delta_{h(h)} = m \delta_{h(h)} + \delta_{h(v)} \quad (12) \quad c Q_h = c K_{h(h)} \cdot \delta_{h(h)} \quad (13)$$

$$c K_{h(h)} = \frac{m}{n} \left(\frac{12EI}{\ell_v^3} + \frac{GA}{\ell_v} \right) \quad (14)$$

③ 水平材の曲げせん断変形から壁の水平変位 $\delta_{h(v)}$

水平材の曲げ変形およびせん断変形は鉛直材と同様の考え方のため、壁のせん断力 Q_h と水平変位 $\delta_{h(v)}$ の関係は式(15)で表され、壁のせん断剛性 $K_{h(v)}$ は式(16)で表される。

$$c Q_h = c K_{h(v)} \cdot \delta_{h(v)} \quad (15) \quad c K_{h(v)} = \frac{n}{m} \left(\frac{12EI}{\ell_h^3} + \frac{GA}{\ell_h} \right) \quad (16)$$

④ 壁の水平変位 δ_h

壁の水平変位 δ_h は式(4), (13), (15)で求めた水平変位の合計より式(17)で表される。壁のせん断力 Q_h と水平変位 δ_h の関係は式(18)で表され、壁のせん断剛性 K_h は式(19)で表される。

$$\delta_h = \delta_{h(v)} + \delta_{h(h)} + \delta_{h(v)} \quad (17) \quad c Q_h = c K_h \cdot \delta_h \quad (18)$$

$$\frac{1}{c K_h} = \frac{1}{c K_{h(v)}} + \frac{1}{c K_{h(h)}} + \frac{1}{c K_{h(v)}} \quad (19)$$

よって壁のせん断力 Q_h とせん断変形角 γ の関係は式(20)で表され、壁のせん断剛性 K_y は式(21)で表される。

$$c Q_h = c K_h \cdot H \cdot \gamma \quad (20) \quad c K_y = c K_h \cdot H \quad (21)$$

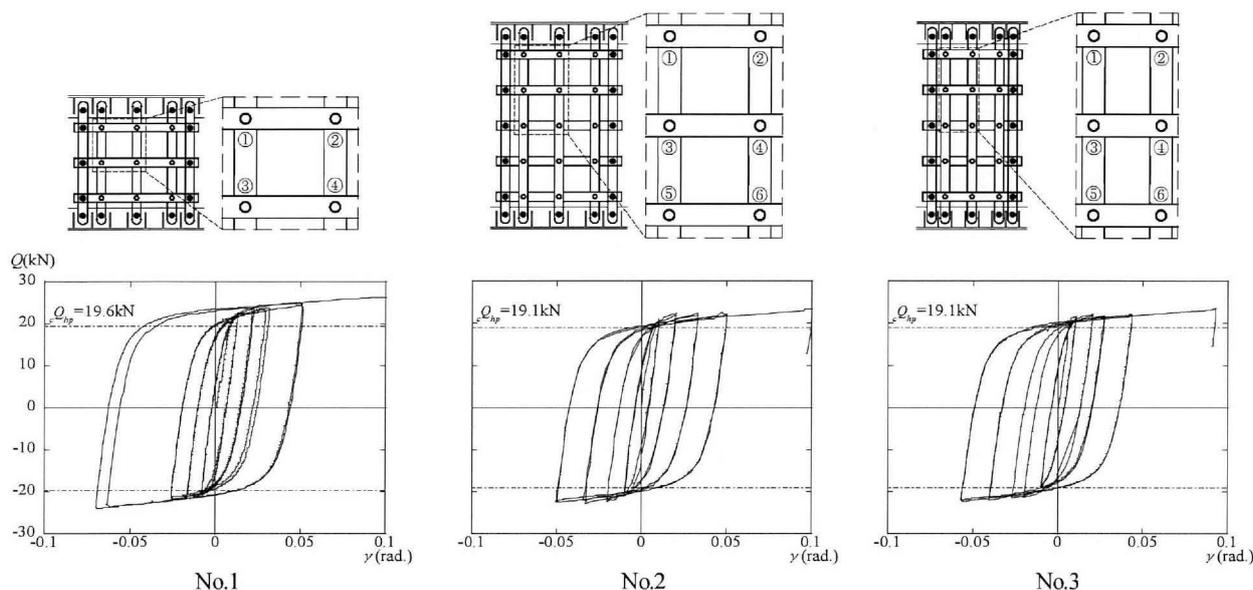


図1 荷重-変位関係

3. 載荷実験結果

図1にひずみゲージから算出した荷重-変位関係を示す。一点鎖線は前項の式(1)から算出した全塑性耐力 Q_{0p} を示す。計測機器の制限により、No.1では図1上部の点線で囲まれた4つの鋼管、No.2及びNo.3では6つの鋼管近傍にひずみゲージを貼付け計測を行った。ひずみゲージからのせん断荷重の算出方法は、No.1では鋼管①のねじり荷重を4倍、壁の外端辺に位置する鋼管②及び③はそれぞれ2倍、さらに壁中央に位置する鋼管④のねじり荷重を合算して壁高さ H で割っている。No.2及びNo.3も同様の方法で算出している。No.1では、せん断変形角 ϵ_p が $1/20\text{rad}$ までせん断耐力は低下しておらず、全塑性耐力で降伏し始め、紡錘形の安定した履歴挙動を示した。また8回目以降に行った単調載荷では、せん断変形角 ϵ_p が $1/10\text{rad}$ までせん断耐力は維持していた。No.2及びNo.3ではせん断耐力が低下していたが、安定した履歴挙動を示した。剛度の異なる格子材を用いた場合でも安定的なエネルギー吸収を行った。

すべての試験体において、本システムに配置した複数の円形鋼管はほぼ同時に降伏し、安定した履歴挙動を示していた。塑性化後も緩やかに耐力が上昇しており、円形鋼管の配置によらずに複数の円形鋼管は同じ挙動を示していた。

表1に2章で提案した評価式による計算値と実験で得られた実験値の弾性剛性値の比較を示す。実験値 eK_γ と計算値 cK_γ との弾性剛性比 (eK_γ/cK_γ) は9割強の値であり、修正した弾性剛性評価式も有効であると考えられる。載荷時に治具部分に多少の変形が生じたため、計算値と実験値では1割弱の誤差が生じたのではないかと考えられる。

表1 実験値と計算値の弾性剛性値の比較

試験体	$cK_{h(\theta)}$ (kN/rad)	$cK_{h(h)}$ (kN/rad)	$cK_{h(v)}$ (kN/rad)	cK_γ (kN/rad)	eK_γ (kN/rad)	eK_γ/cK_γ
No.1	3.6	44.1	44.1	3682	3401	0.92
No.2	2.1	73.5	58.9	4015	3654	0.91
No.3	2.1	73.5	112.3	4081	3843	0.94

$cK_{h(\theta)}$: 鋼管による壁のせん断剛性 cK_γ : 壁のせん断剛性 (計算値)
 $cK_{h(h)}$: 鉛直材による壁のせん断剛性 eK_γ : 壁のせん断剛性 (実験値)
 $cK_{h(v)}$: 水平材による壁のせん断剛性

4. おわりに

本研究では複数の円形鋼管を配置した格子型制振壁システムにおいて、文献4)で示された全塑性耐力評価式及び弾性剛性評価式を剛度の異なる格子材で構成された場合を考慮した式に修正し、載荷実験によりその妥当性を検証した。本研究で得られた知見を以下に示す。

- ・ 載荷実験を行った3つの試験体は、文献3)で示された評価式で算出した全塑性耐力 Q_{0p} で降伏し始め、紡錘形の安定した履歴挙動を示した。剛度の異なる格子材を用いた場合も安定的なエネルギー吸収を行った。
- ・ 本システムに配置した複数の円形鋼管はほぼ同時に降伏し、安定した履歴挙動を示した。塑性化後も緩やかに耐力が上昇した。
- ・ 修正した弾性剛性評価式から得られた計算値 cK_γ とひずみゲージから算出した実験値 eK_γ の弾性剛性比 (eK_γ/cK_γ) は9割強であり、良い対応を示した。

参考文献

前報 (その1.) の巻末に示す。

※1 愛知工業大学 大学院生
 ※2 愛知工業大学 元学生 (現 前田道路株式会社)
 ※3 (株)竹中工務店 竹中技術研究所
 ※4 愛知工業大学 教授

Aichi Institute of Technology
 Aichi Institute of Technology (Maeda Road Construction Co.,Ltd)
 Research & Development Institute, Takenaka Corporation
 Professor, Aichi Institute of Technology