

令和 4 年 5 月 23 日現在

機関番号：32407

研究種目：若手研究

研究期間：2019～2021

課題番号：19K15141

研究課題名（和文）形状記憶合金による大空間ラチスシェル屋根の地震応答制御および残留変形対策

研究課題名（英文）Seismic response control and residual deformation measure for large space lattice shell roofs using shape memory alloy

研究代表者

箕輪 健一（Minowa, Ken'ichi）

日本工業大学・建築学部・准教授

研究者番号：70733830

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,600,000円

研究成果の概要（和文）：形状記憶合金をブレース材として配置した大空間ラチスシェル屋根を対象に、数値解析を行うことで、制振材としての地震応答低減効果を把握した。また、様々な形状記憶合金の配置方法による制振効果の違いを分析することで、制振効果の高い配置方法を明らかにした。
更に、アーチ構造物の縮小模型を用いた振動実験を行うことで、本研究により提案した制振手法の効果を実証した。また、超弾性合金を用いたブレース材を対象に、繰り返し圧縮実験を行うことで、制振のみならず残留変形に対する対策も可能であることを実証した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

集客地さらには避難所として利用され社会的に重要な役割を果たす大空間ラチスシェル屋根において、形状記憶合金を用いた新たな制振手法の開発をすることで、更なる安全性の向上が期待でき、社会的意義は高い。また、地震後に避難所として利用する際、構造物に残留変形が残っている場合、その構造物を利用して良いかどうかの判断が困難であるという問題に対し、本研究で開発した超弾性合金を用いたブレース材は、一般的に使用されている鋼材に比べ残留変形が生じにくく、その利用価値は高い。

研究成果の概要（英文）：Numerical analysis was performed on a large-space lattice shell roof in which shape memory alloys were placed as braces, and the seismic response reduction effect as damping materials was grasped. In addition, by analyzing the difference in damping effect depending on placement methods of shape memory alloys, the placement method with high vibration damping effect was clarified.

Furthermore, the effect of the vibration control method proposed in this study was demonstrated by conducting vibration tests using a scale model of arch structure. I also demonstrated that it is possible to take measures against residual deformation as well as vibration damping by repeated compression tests on brace materials using super elastic alloys.

研究分野：建築構造

キーワード：形状記憶合金 超弾性合金 地震応答制御 アーチ構造物 減衰性能 振動実験 繰り返し圧縮実験 残留変形対策

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

1. 研究開始当初の背景

近年の東日本大震災や熊本地震においても、建物内部に柱のない音楽ホールや体育館などの大空間構造物で、屋根部材の座屈・破断や落下、天井の落下などの被害が多発している。これら大空間構造物には、イベントなどに用いられる集客地としてだけでなく、災害時に避難所として利用される重要な役割がある。

これまでに、大空間構造物に対して様々な制振装置や免震装置が開発、設計されてきたものの、それらが適用された大空間構造物においても、災害時に速やかに健全性を判断することは難しく、安心して利用できる状況とはいえない。その理由として、地震時に大空間構造物が損傷して残留変形が残ると、大空間構造物の欠点ともいえる形状不整による耐力低下が著しく起こることがあげられる。実際に、繰り返し大きな揺れが観測された熊本地震時には、余震時に大空間屋根の仕上げ材が落下する被害も起きている。

このような被害が起きてしまえば、避難所としての利用はできなくなるだけでなく、復旧に多大な時間とコストを要することになる。現在、このような事態を招かないためにも、大空間構造物の振動や損傷を制御するとともに残留変形による耐力低下を自己回復させる新たな段階の地震対策方法が必要とされている。

2. 研究の目的

本研究では、これまでに提案してきた大空間構造物の制振方法を踏まえ、形状記憶合金（超弾性合金）に着目することで、大空間構造物の振動や損傷を制御するに留まらず、形状回復効果を付加することで残留変形を残さず地震後にすぐに安心して利用できる新たな段階の地震対策を提案することを目的とする。

3. 研究の方法

(1) 本研究では、常温で形状回復効果を発揮する超弾性合金を制振部材として用いた際の構造物の減衰性能を明らかにすることを目的とし、まずは研究の端緒として重層構造物を対象に、超弾性合金の配置位置などによる影響を数値解析および振動実験により分析する。

(2) (1)の分析を踏まえ、大空間構造物の基礎としてアーチ構造物を対象に、数値解析により地震応答低減効果の分析を行う。また併せて、数値解析により形状記憶合金の配置位置や諸元などに関する知見を得る。そして更に、アーチ構造物の縮小模型を用いた振動実験および超弾性合金を用いたブレース材に対する繰り返し圧縮実験を行うことで、提案する地震対策手法による制振効果と形状回復効果を実証する。

4. 研究成果

(1) 6層モデルの数値解析により、ブレースに超弾性合金を用いることで減衰定数の増加が見込めることと、最下層のブレースのみを超弾性合金とした際でも十分大きな減衰性能を得ることができることを明らかにした。

(2) 6層モデルの振動実験により、超弾性合金をブレース材として用いることで、入力波の大きさに伴い固有振動数が変化することを確認した上で、図1に示すように減衰自由振動における減衰定数を増加させる可能性があることを示した。

(3) アーチ構造物に超弾性合金を制振部材として用いることで、下部構造の剛性と制振部材の配置位置が自由振動時における減衰性能に影響を及ぼすことを数値解析により明らかにした。

(4) 図2に示す試験体に対し振動実験を行うことで、アーチ構造物に超弾性合金を制振部材として用いた際、図3に示すように応答変位が増加した際に減衰性能を重層構造物と同様に高められることを示した。

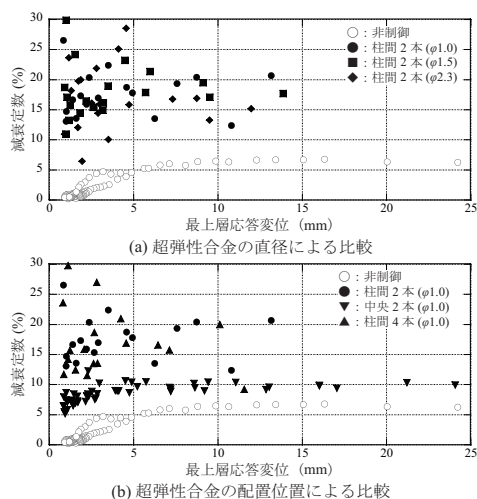


図1 6層モデルの振動実験における
応答変位と減衰定数の関係

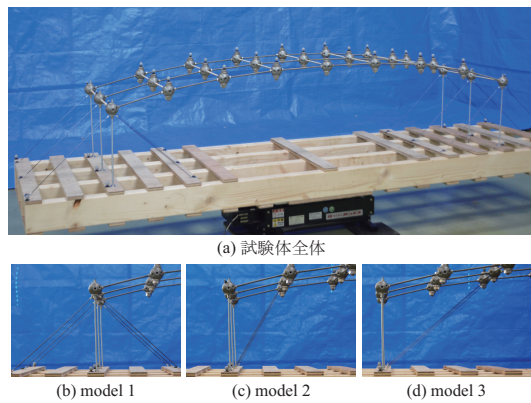


図2 アーチ構造物の試験体

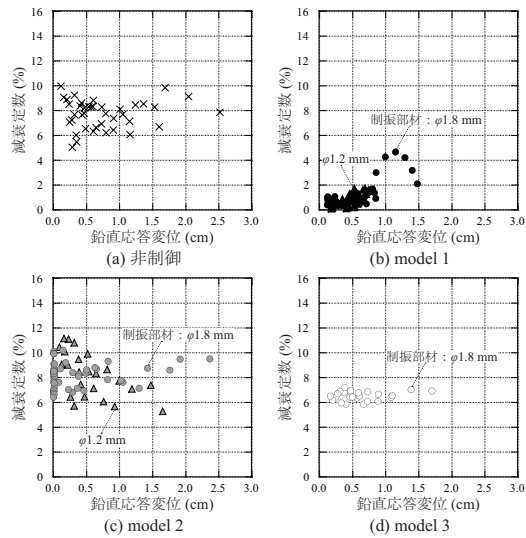


図3 アーチ構造物の振動実験における
応答変位と減衰定数の関係

- (5) アーチ構造物を対象に時刻歴応答解析を行うことで、人工地震波 BCJ_L1 に対する応答低減効果を分析し、アーチ構造物を対象に超弾性合金をブレース材として用いることで、地震時における鉛直方向の応答変位と軸力を低減できることを明らかにした。
- (6) 超弾性合金を制振部材として用いる際に問題となる圧縮時における座屈の影響を把握するために、図4に示すような超弾性合金を用いたブレース材に対し繰返し圧縮実験を行うことで、超弾性合金を制振部材として用いた際に、座屈に伴う残留変形を図5に示すように抑制できることを実証した。
- (7) 超弾性合金を用いたブレース材を制振ブレースとして用いる場合、数値解析等を行い減衰性能を把握する必要があることを想定すると、超弾性合金を用いたブレース材の圧縮時におけるエネルギー吸収量を評価できることが望まれるため、超弾性合金を用いたブレース材の圧縮時におけるエネルギー吸収能力などを評価する方法を提示し、実験値と概ね良い対応を示すことを明らかにした。

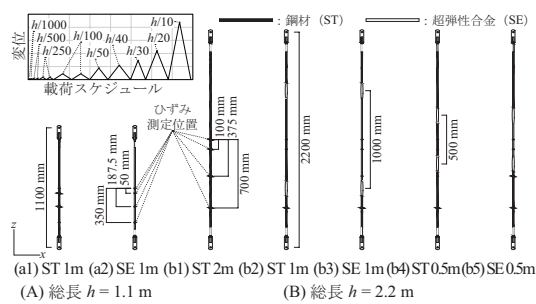


図4 超弾性合金を用いたブレース材の
繰返し圧縮実験の概要

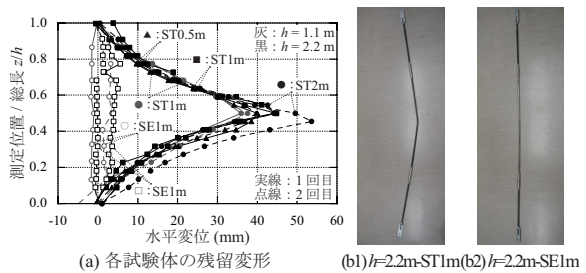


図5 超弾性合金を用いたブレース材の
残留変形の比較

<引用文献>

- ① 箕輪健一，増井玲：超弾性合金によるラチスシェル屋根の地震応答制御 その1 重層構造物を対象とした振動実験，日本建築学会大会学術講演梗概集，pp. 839-840，2020.9
- ② 箕輪健一，白崎海渡，中谷淳幸：超弾性合金によるラチスシェル屋根の地震応答制御 その2 アーチ構造物を対象とした振動実験，日本建築学会大会学術講演梗概集，pp. 705-706，2021.9

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計4件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 1件）

1. 発表者名 箕輪健一, 白崎海渡, 中谷淳幸
2. 発表標題 超弾性合金によるラチスシェル屋根の地震応答制御 その2 アーチ構造物を対象とした振動実験
3. 学会等名 日本建築学会大会学術講演梗概集
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Ken'ichi Minowa, Kaito Shirasaki and Atsuyuki Nakaya
2. 発表標題 Damping Performance of Arch Structure with Super Elastic Alloy
3. 学会等名 International Conference on Spatial Structures 2020/21, 7 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 箕輪健一, 増井玲
2. 発表標題 超弾性合金によるラチスシェル屋根の地震応答制御 その1 重層構造物を対象とした振動実験
3. 学会等名 日本建築学会大会学術講演梗概集
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 箕輪健一
2. 発表標題 固定荷重の影響を考慮したラチスシェル屋根の固有周期評価式
3. 学会等名 日本建築学会大会学術講演梗概集
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
--	---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------