

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 15 日現在

機関番号：32689

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2012～2013

課題番号：24656329

研究課題名(和文) 鋼板を用いたエンボス型サンドイッチパネルの実用化に関する研究

研究課題名(英文) Study about a structural performance of sandwich panel constructions with embossment

研究代表者

新谷 真人 (ARAYA, MASATO)

早稲田大学・理工学術院・教授

研究者番号：30434319

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,000,000円、(間接経費) 900,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、新たな鋼板構造の形式の一種であるエンボス型コアを有する鋼板サンドイッチパネルを中心に、サンドイッチパネル構造の各種強度試験ならびに振動試験等を実施し、座屈挙動や剛性に関する定式化を行う。以上のような試験を得て、構造性能の知見を蓄積し、新たなサンドイッチパネル構造の可能性について検証するものである。

研究成果の概要(英文)：In this research, we study about a structural performance of a thin steel panel with embossment by press work (: embossment panel) which is one of the sandwich panel constructions. Through the various strength test and vibration test, we formulate the bucking behavior and stiffness of the embossment panel. And, based on the above studies, we propose a new system of sandwich panel construction.

研究分野：工学

科研費の分科・細目：建築構造・材料

キーワード：鋼板構造 サンドイッチパネル

1. 研究開始当初の背景

近年、新しい建築形態・空間を構成するための構造システムとして、鋼板構造が実現される建築作品が見られる。その理由として、新たなスケールや形態の実現などを目的とする意匠的な要求による所が大きい。鋼板構造は大きな可能性を持つ構造システムである。鋼板が仕上げを兼ねることでコストと工期の削減が図られる利点や、強度と剛性の高い鋼材を用いることで高い耐震性を獲得し、さらに柱梁構造に比べ凹凸の無い薄い構造体ができることにより、効率的で広い内部空間が形成されるといったことがあげられる。研究代表者も、これまで SSM 菅野美術館などの建築作品において、いくつかの鋼板構造及びサンドイッチパネル構造を実現してきたが、いまだに一般的な構造システムとしての採用は困難である背景がある。その例として、現在の鋼構造では一般的に、鋼板はせん断力のみには抵抗する耐震要素に用いることに限定され、鉛直力は薄板の周囲に付随する枠材(柱・梁)で負担する設計となる。本来、設計次第で鋼板は鉛直力を支持し水平力に抵抗する十分な耐力、靱性と剛性を確保することは可能である。鋼板構造の安全性能を評価し、新たな鋼板構造を提案することは、今後の鋼板構造の枠組みを広げる上でも、実用的な研究であると考えられる。

2. 研究の目的

本研究では、エンボス型コアを有する鋼板サンドイッチパネルを中心に、サンドイッチパネル構造の構造的な性能評価の知見を蓄積し、新たなサンドイッチパネル構造の可能性を追求するものである。その際、サンドイッチパネル構造において構造性能のみでなく、快適な環境性能を確保するための機能を付加することの技術的提案、検証も行う。

3. 研究の方法

本研究では、以下に示す 2 種のサンドイッチパネルについての性能評価及び実用化のための提案を主に進める。

(3. 1) エンボス型コアを有する鋼板サンドイッチパネル

エンボス型コアを有する鋼板サンドイッチパネル(以下、エンボスパネル)は 2 枚の鋼板を局部的にプレス加工しエンボス状の形状を作成し、それらを接合して製作される。鋼板を外部に接する壁面などに使用した場合には結露あるいは断熱性能の問題が生じるが、エンボスパネルの 2 枚の鋼板の隙間に断熱材を付加し、接合に断熱性の高い構造材を利用することで、居住性能を向上させることも十分に可能である。

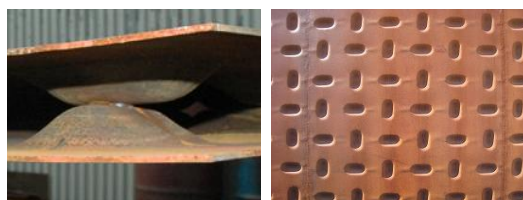


図 1 エンボスパネルの概要

(3. 2) 離散的なリブを持つ鋼板サンドイッチパネル

エンボスパネルの試験等を経て、新たに提案するサンドイッチパネル(以下、十字リブパネル)は、穴の開いたリブ材を離散的に持つ 2 枚の板を合わせ、穴にピンを通すことで板を結合し構成され、オフィスビル等などのスラブ材として用いることを目的としている。このサンドイッチパネルは、図 2 のように、コア材として離散的にリブを十字方向に配列している。また、2 枚の表面材を単一のリブ材で接合するのではなく、上下 2 枚にリブを分割し、ピンで上下面材を接合する機構としている。

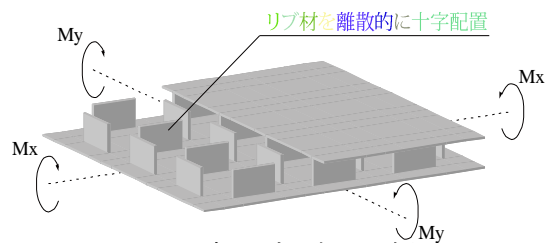


図 2 十字リブパネルの概要

4. 研究成果

研究成果として、エンボスパネルの性能評価、十字リブパネルの性能評価、エンボスパネルの曲面空間構造への適用のための検証、の 3 節に分類して以下に報告する。

(4. 1) エンボスパネルの性能評価

エンボスパネルに対して、面外曲げせん断、面内圧縮、面内せん断の各種加力実験を行い、剛性と耐力に関して基本的な知見を得た。明らかになった力学性能を以下に列挙する。

①面外曲げ性能: 実験結果から、有効断面係数と等価断面二次モーメントを求め、剛性評価においてその有用性を示した。また、耐力に関しては、最大耐力を決定する因子が面外せん断による材料降伏であることを示した。

②面内圧縮性能: 実験結果から、軸剛性を評価する際の等価断面積を算出した。また、座屈耐力に関して、エンボスコア間の平板部で、局部座屈荷重を算出すれば、座屈耐力を

評価できることを示した。

③面内せん断性能：剛性に関しては、実験結果と解析結果で不一致が見られた。耐力に関しては、有効長さを仮定することで評価できることを示した。

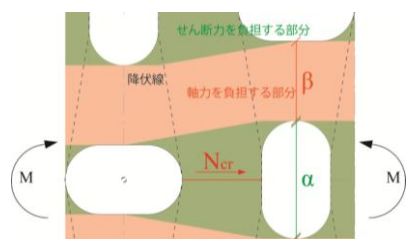


図3 有効幅比 α 、 β の概要

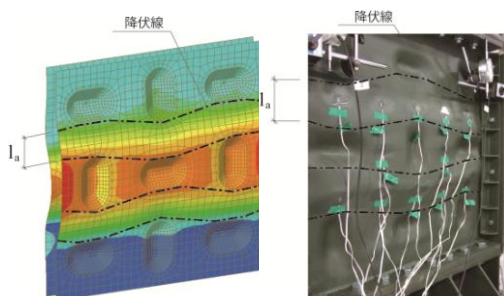


図4 圧縮試験の解析結果と実験の様子

上記の各種加力実験の結果として、エンボスパネルの性能を表すために、以下の3つの有効幅比の提案を行った。特に、 α と β についてはエンボスの配置パターンと間隔から幾何学的に計算できる量である。(α : 面外・面内のせん断力の負担幅) (β : 面内軸力の負担幅) (γ : エンボス加工のない平板部における面内軸力の負担幅)

エンボスパネルの各種の剛性と耐力はこれらの有効幅を用いることで概ね評価が可能であることを示した。

(4.2) 十字リブパネルの性能評価

十字リブパネルのシステムの提案を経て、試験体の製作と静的载荷試験、断熱試験などの各種試験を行い、性能評価を行った。加えて、鉛直振動試験を行うことで、基本的な振動性状並びに居住性能の把握を行った。

①断熱性能：断熱性能の向上のために、リブ材をピンで接合とし、上下面材の接触面積を最小化している。この十字リブパネルの断熱性能に関しては簡易な伝熱実験を行い、ヒートブリッジの問題が改善されたことを確認した。



図5 断熱性能試験の様子

②面外曲げ・面外せん断性能評価：4点曲げ試験により、面外曲げ及びせん断を受ける十字リブパネルの荷重変形曲線及び破壊性状を把握し、それらの剛性及び耐力の評価を行った。十字リブパネルはせん断力を受けるとリブ無し箇所で鋼板の曲げ変形が進むことが確認された。よって、このリブが無い箇所の長さが十字リブパネルの性能評価に対して重要な寸法となる。耐力の評価に関しては、最大耐力を決める要因として①等曲げ区間の圧縮側で座屈、②等曲げ区間の引張側で材料降伏、③曲げ+面外せん断区間で材料降伏がある。実験では③が原因で破壊に至り、実験結果との照合を行った。



図6 面外曲げ試験の様子

③局部座屈性能評価：十字リブパネルが曲げ応力を受ける際に生じる、表面材(圧縮側)の座屈性状に関して考察を行った。そのために、小型試験体を用いて偏心圧縮試験を行い、十字リブパネルの座屈形状と耐力について検証した。実験結果から、十字リブパネルは、リブ無長さ L_r によって、座屈性状が異なることが確認され、リブ無長さ L_r が小さいと板の局部座屈、大きい場合はリブ無し箇所のオイラー座屈が先行するとわかった。また、実験結果と板の局部座屈及びオイラー座屈の理論式と比較すると、概ね一致したため、これらの理論式を用いることで十字リブパネルの座屈応力度を算定できることを示した。

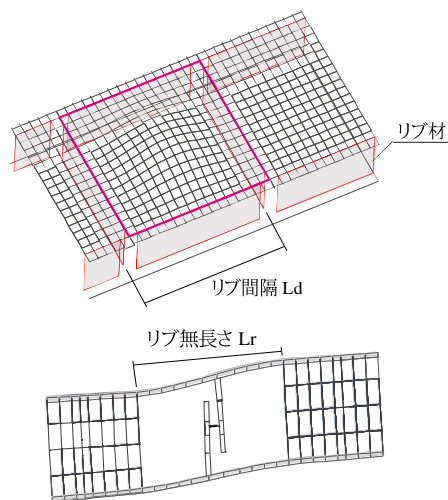


図7 局部座屈評価のリブ間隔等の定義

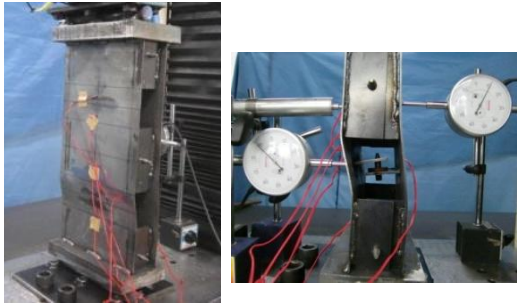


図8 局部座屈試験の様子

④振動特性の評価：常時微動測定、砂袋落下試験を行い、パネルの固有振動数及び減衰性能を求めた。また、歩行振動試験も行い、スラブとして用いた際の居住性能評価を試みた。その結果、十字リブパネル単体では歩行振動による居住性能は実用化を満足するものとは言えないが、簡易な TMD などの制振装置を用いることで応答は低減した。



図9 砂袋落下試験と歩行振動試験の様子

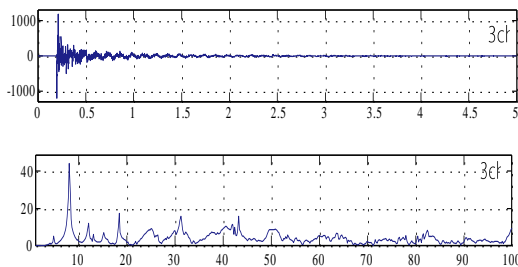


図10 砂袋落下試験による中央部の応答加速度波形(上)とフーリエスペクトル(下)

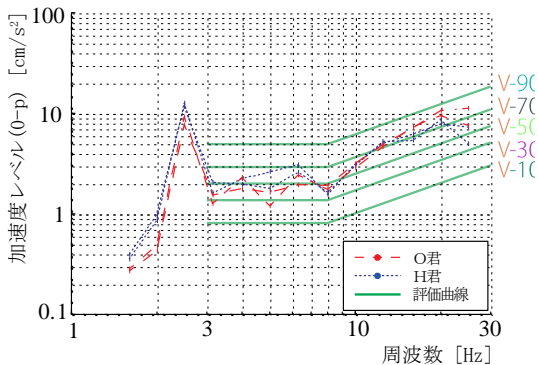


図11 歩行振動試験による応答スペクトル

(4. 3) エンボスパネルの曲面空間構造への適用のための検証

エンボスパネルの曲面構造への適用について研究を進めた。想定する建物規模はスポーツ施設等の空間構造形式の建物とし、その屋根構造において曲面エンボスパネル構造の適用に関する研究を試みた。エンボスパネルの力学性能試験に基づき、構造解析のためのモデル化は実施した。併せて昨年度からの継続的検討事項であった、材料種別として鋼材に加えてアルミ材を検討に加えた。また、エンボス部のプレス加工においてプレス深さや形状について、理論的検討を併せて行いながら検討を進めた。

そして、新たな展開として、上記の基本的な構造モデル化などをベースとして、エンボスパネルを用いた曲面構造における形状最適化の研究を実施した。これにより効率的なエンボスパネルを用いた曲面構造の提案を実施した。以下に、遺伝的アルゴリズム(GA)を用いて、構造性能を加味した形状最適化の適用例を示す。本研究で提案する構造形態は自由曲面と呼ばれる曲面構造に属するものである。最適化の目的関数として、ひずみエネルギーに加えて、製作性の観点から凹曲面のパネル数を最小化とするパラメータとした。

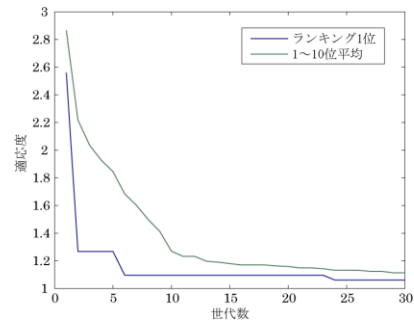


図12 最適化による収束状況

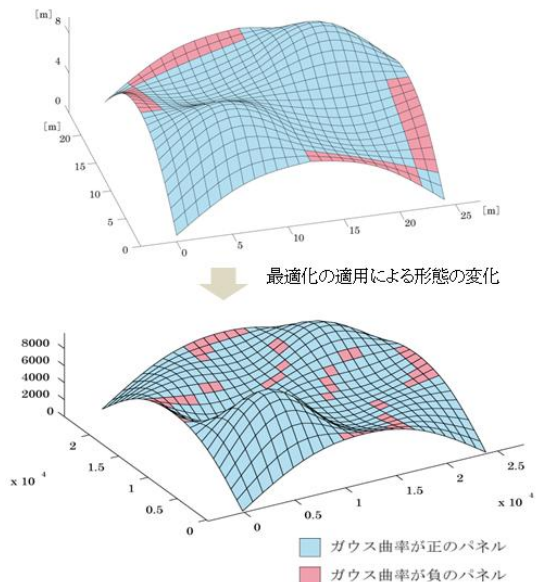


図13 最適化を適用して求めた形態

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計5件)

1 新谷真人、鋼板パネル構造の可能性と課題 (特集 構造デザインのための座屈再入門)、建築技術 (763), 132-135, 2013、査読無

2 大須賀史朗、本多裕作、新谷真人、永山浩三、離散的なリブを持つ鋼板サンドイッチパネルの実用化に関する研究 : (その 2)居住性能評価試験、学術講演梗概集 2013(構造 III), 927-928, 2013、査読無

3 本多裕作、大須賀史朗、新谷真人、永山浩三、離散的なリブを持つ鋼板サンドイッチパネルの実用化に関する研究 : その 1 静的載荷試験、学術講演梗概集 2013(構造 III), 925-926, 2013、査読無

4 清本莉七、新谷真人、皺構造の生成と力学特性に関する基礎的研究、学術講演梗概集 2013(構造 I), 987-988, 2013、査読無

5 柳瀬紀昭、大須賀史朗、新谷真人、永山浩三、十字リブを持つ鋼板サンドイッチパネルの載荷実験 その 2 : 面外剛性・耐力の定式化、学術講演梗概集 2012(構造 III), 803-804, 2012、査読無

6. 研究組織

研究代表者 :

早稲田大学・理工学術院・特任教授

新谷 真人 (ARAYA MASATO)

研究者番号 : 30434319