

PLA 装置を用いた圧力載荷実験による薄板の応力分布の把握

仙台高等専門学校 柴田 清眺

仙台高等専門学校 吉野 裕貴

1. 序

体育館などの大空間構造物の屋根部材には、平板や屋根折板というような薄板部材が用いられている。近年、地球温暖化に伴う台風の大型化や強風災害の頻発により、建築物や構造物の薄板部材の被害が多く報告されている。薄板構造は軽量で経済的である一方、風圧などの面的荷重を受ける際に局部的な応力集中や大変形を生じやすく、その力学的挙動を正確に把握することが求められる。

本研究では、東北大学が所有する PLA (Pressure Loading Actuator) 装置を用いて平板・屋根折板に圧力を載荷し、面的荷重を受ける際の応力分布および変形挙動を実験的に明らかにすることを目的とする。PLA 装置による圧力載荷実験の有効性を検証し、面的に圧力を受ける薄板の応力分布に関する知見を得ることを目指す。

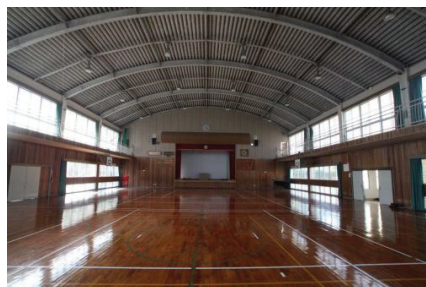


写真1 折板の取り付け (体育館)

2. PLA 装置による圧力載荷実験概要

圧力載荷には、東北大学が所有する PLA 装置を用いる。図1に示す流れで実験を行う。載荷する圧力のデータ列を Excel で作成し、PC を介して PLA 装置に情報を送る。PLA 装置は入力された圧力を圧力箱に載荷する。載荷された圧力は圧力計、試験体に発生した歪値はデータロガーにより値を得ている。

圧力の計測には、長野計器製 KP15 圧力トランスミッターを使用する。圧力載荷プログラムは、図2に示す負圧の漸増載荷とする。負圧を 0 kPa から -9 kPa まで載荷した後、5 秒間保持する。その後、同一の載荷速度で 0 kPa まで除荷し、試験を終了する。

表1に試験体概要を示す。試験体には、平板および屋根折板の2種類の薄板部材を用いる。断面二次モーメント I には、図3に示す一山分の値を用いる。

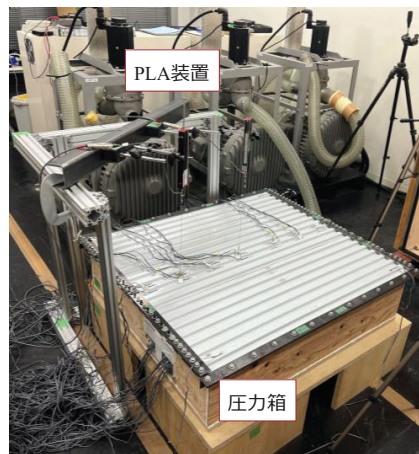


写真2 圧力載荷実験の様子

図4に圧力箱の詳細を示す。圧力箱本体は木材板を用いて製作した。前述した圧力計は圧力箱側面の板に取り付けている。圧力箱における試験体の設置について、四辺の境界条件は完全固定とするために四辺を鉄板で挟み込み、ボルト接合とする圧力荷重中における試験体端部の浮きを抑制し、圧力箱内部の密閉性を確保する。折板の場合には断面形状より隙間が生じてしまうため、治具を設置し上から抑え込むことで空気漏れを防ぐとともに端部を剛接合としている。

歪の計測には、株式会社東京測器製マルチレコーダひずみ測定ユニット TMR-221 を用いる。

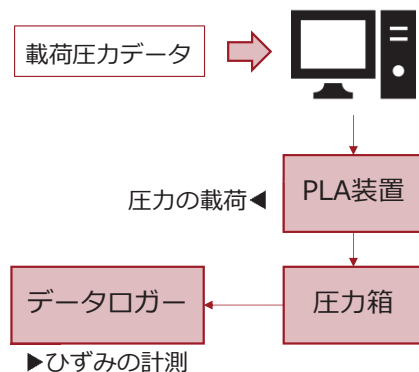


図1 計測の流れ

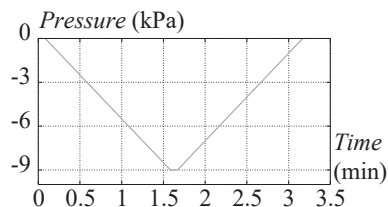


図2 圧力荷重プログラム

表1 試験体概要

	板厚 d (mm)	断面二次モーメント I (一山分) (mm^4)
平板	0.5	0.5
屋根折板		512.4

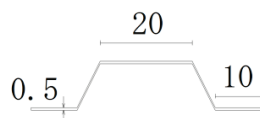


図3 一山断面

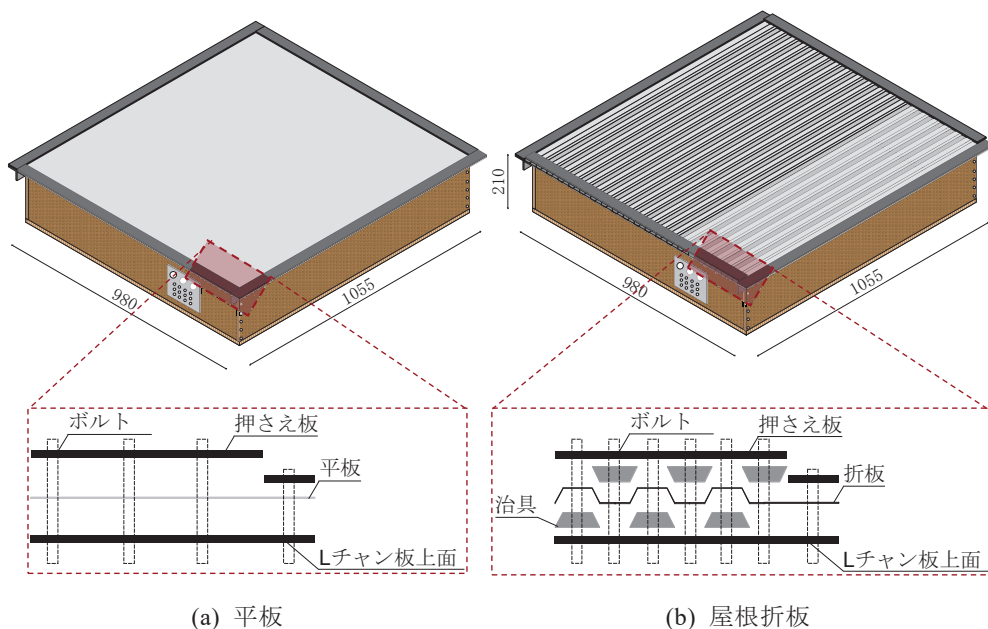


図4 圧力箱詳細

3. 圧力載荷実験結果

3.1 PLA 実験による圧力載荷の妥当性

図4に、PLA装置による載荷圧力とひずみゲージにより得た歪値の履歴を示す。縦軸左は歪ゲージより得た歪値で縦軸右は載荷圧力、横軸は経過時間である。PLA装置による載荷圧力は約1.63分で最大値である-9 kPaに到達し、各計測点の歪は約1.68分に最大値を示している。お互いの最大値がほぼ同タイミングであり、本実験によるデータ取得の整合性を確認した。

図5に、試験体に作用している圧力の荷重形状を示す。試験体は平板である。縦軸は歪値、横軸は試験体上の位置を示している。グラフ中の実線は、両端固定部材に等分布荷重が作用すると仮定した場合の理論歪分布である。中央部から端部にかけての分布を比較するため、中央部の理論値を実験値に一致させた。その後、端部に向かう理論歪分布の勾配を作成した。すべての測定値は理論曲線付近に分布している。この結果から、PLA装置による圧力載荷は、面的な等分布荷重として試験体に作用していることが確認できる。これは、実際の風圧によって生じる荷重状態を適切に再現できていることを示している。したがって、本装置は風圧による影響を検討する手法として有効であるといえる。

圧力箱の片側には空気圧を調整するプレートを設置している。また、吸気口は圧力箱底面の中央付近に配置している。空気圧調整プレートの有無による圧力分布の差異はなく、吸気口付近において圧力の偏りが生じていないことを確認している。

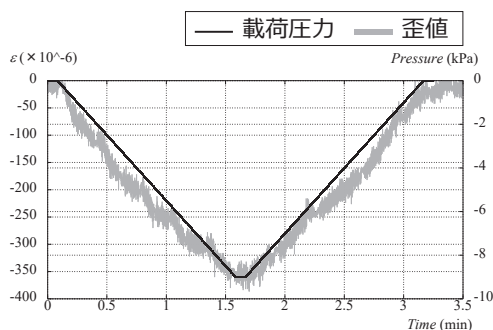


図4 載荷圧力と歪値の履歴

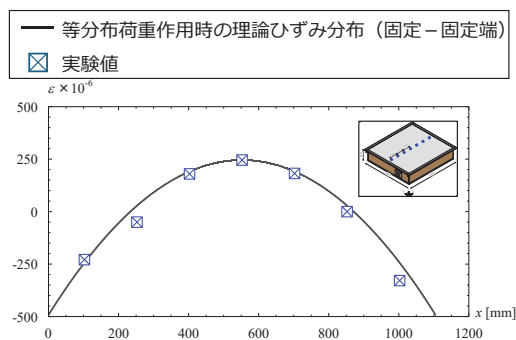


図5 載荷圧力の荷重形状

3.2 屋根折板におけるモーメント分布及び部材中央たわみ

図6に屋根折板に圧力を載荷した際のモーメント分布を示す。縦軸はモーメント M で横軸は試験体における位置を示している。実験値は各測定点の軸歪を用いて次式より求めた。

$$M = \frac{2EI(\varepsilon_U - \varepsilon_L)}{d} \quad (1)$$

なお、 E : ヤング率 ($=1.99 \times 10^5$ (N/mm²)), $\varepsilon_U, \varepsilon_L$: 屋根折板の谷及び山フランジの軸歪, d : 屋根折板のせい ($=10$ mm) である。また、黒の実線は両端部が固定条件における理論モーメント分布であり、点線は端部がピン-ピンローラである際の理論モーメント分布である。実験値は二つの理論線の間プロットされている。これは端部の固定度が両端固定条件より下がっていることが起因している。圧力載荷前に比べて負圧最大時に吸い込む方向に端部の機構が回転し

ていることを確認しており、この回転が原因で端部付近の実験値が両端固定の理論値よりも下がっている。

図7に、平板および屋根折板における部材中央部のたわみの比較を示す。縦軸はたわみ δ 、横軸は経過時間である。グレー線は平板の履歴を示し、黒線は屋根折板の履歴を示している。最大たわみは、平板で約 25 mm、屋根折板で約 35 mm である。屋根折板のたわみは、平板の約 1.4 倍となった。これは平板に発生した張力による影響、前述した端部の回転による影響、屋根折板の断面形状による異方性が起因している。断面二次モーメントの観点において、弾性範囲における折板のたわみは、平板の約 1/1000 に抑えられる。この剛性は、面外方向を軸とした回転剛性によるものである。面内方向を軸とした回転剛性は発揮されにくい。さらに、屋根折板は、ウェブ部に高さを持たせることで剛性を高めている。風圧を受ける際には、受圧面積の増加により風圧の影響を大きく受ける。風圧のような面的な荷重が複数方向に作用する場合は、屋根折板の断面異方性によって意図しない損傷・変形につながる恐れがある。加えて、平板は材厚が薄く、張力の影響を強く受ける。その結果、たわみが抑制される傾向があり、この点も本比較結果に影響している。

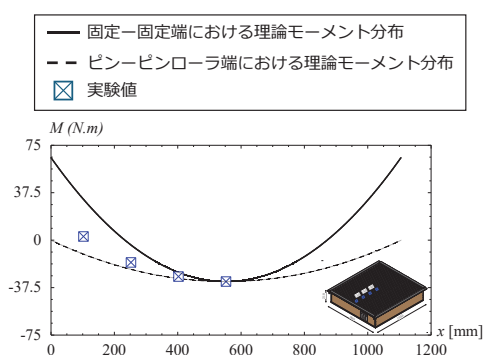


図6 モーメント分布

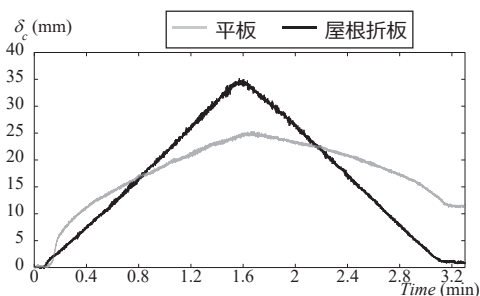


図7 部材中央部のたわみ

4. 結

本論文では、PLA 装置を用いた圧力荷重実験より、薄板部材の応力分布を把握した。以下に得られた知見を示す。

- 1) 本実験手法により PLA 装置による圧力荷重に対応する任意の点の歪の値を得ることが出来る。
- 2) データロガーから得た歪値より、PLA 装置かつ圧力箱による圧力荷重は、試験体に対して面的な等分布荷重として荷重される。
- 3) 試験体中央部のたわみについて、屋根折板は平板に対して約 1.4 倍のたわみを示した。これは平板に生じる張力の影響及び屋根折板特有の断面形状の異方性によるものである。

謝辞

PLA 装置の荷重には東北大学工学部・工学研究科技術職員の丸山暁氏より多大な協力を得た。ここに記して謝意を表す。

参考文献:

- 1) ガヴァンスキ江梨, 高橋麻衣, 植松康 (2016) 「複合金属サイディングを対象とした耐風性能評価法の妥当性検討」『日本建築学会構造系論文集』第 81 卷, 第 720 号, pp.377-383.