

防潮堤用窓の温度変形に関する検討

宮崎大学大学院 (学) ○汐川 晶 鹿児島工業高等専門学校 (正) 安井 賢太郎
宮崎大学 (正) 森田 千尋 日新興業株式会社 渡邊 祐児

1. はじめに

防潮堤用窓は、ステンレス製の窓枠と厚さ 40 mm のアクリル板から構成され、アクリル窓は窓枠内全周に取り付けられたクロロプレン (CR) ゴムで保持される。この防潮堤用窓は、主に海岸沿いに施工されており、終日日射を受けることからアクリル板が高温環境に曝される。ここで、温度変化がアクリル板に及ぼす影響については、線膨張係数を用いて検討される¹⁾程度であり、厚さ 40 mm を有するアクリル板の変形について実験的に検討した例は見当たらない。また、解析的検討についても、樹脂を母材とした複合材料からなる薄肉構造物の熱伝導解析に利用された例はあるものの²⁾、厚板構造物の熱変形を解析的に検討した例は見当たらない。今後アクリル板を構造部材として利用するために、これら検討結果を蓄積することは非常に重要である。

本研究は、高温曝露環境におけるアクリル板 (以下、アクリル窓) の変形特性を把握することを目的とし、簡易恒温室内に設置した防潮堤用窓のひずみ量及び変位量を測定した。また、FEM 解析を行い、実験では測定できなかったアクリル窓表面の熱膨張ひずみを計算した。

2. 変形実験

(1) 実験方法

実験供試体には、幅 1,160 mm、高さ 2,160 mm、厚さ 40 mm の防潮堤用窓を使用した。簡易恒温室内は断熱材と遮熱シートを使用して作製し、この中に供試体を設置した。室内の温度調整はジェットヒーターを使用し、恒温室内に設けた開口部に外部から送風した。本実験では、2018 年 7 月 23 日に熊谷市で記録した国内観測史上最高気温データ (9 時間かけて最高気温 41.1 °C まで上昇) を参考に、昇温条件は 5 °C/h (10 時間で 50 °C 上昇) とした。

ここで、恒温室内の温度上昇に伴い、アクリル窓が膨張することが予想されたため、恒温槽内温度、アクリル窓表面温度、及びアクリル窓の変位を同時に測定することで、温度とアクリル窓変形量の関係を求めた。また、アクリル窓に貼り付けたひずみゲージにてひずみ量を測定した。図-1 に変位計、熱電対、及びひずみゲージ設置位置を示す。

(2) 実験結果

図-2 に外気温、アクリル表面温度、及び変位量の測定結果を示す。外気温が 60 °C を超え、アクリル表面温度も 50 °C を超えた状況におけるアクリル窓の面内方向の合計変位量は、縦方向 5.09 mm、横方向 3.01 mm であった。ここで、アクリルと窓枠の間には、縦方向、横方向共にクリアランスが設けられており、アクリル窓の長さと同線膨張係数、使用温度を基

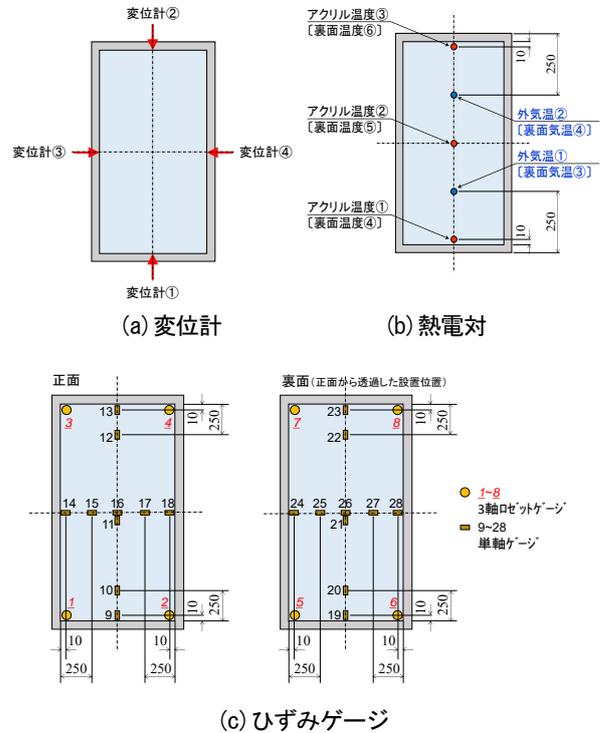


図-1 計測機器設置図

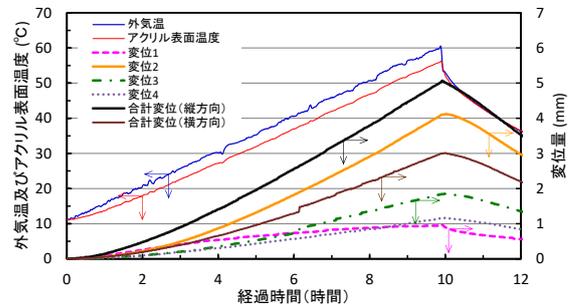


図-2 温度と変位量の関係 (昇温条件: 5 °C/h)

に 20 mm と設計されている。実験結果から、設計値以内に変位量が収まることが分かった。

図-3 に(a)アクリル窓長手方向のひずみ、(b)アクリル窓短手方向のひずみ、及び(c)アクリル窓隅角部のひずみの変化をそれぞれ示す。図-3(a), (b)より、アクリル表面温度の上昇に伴い圧縮ひずみが上昇した。これは、厚板が 40 mm もあるため内部まで熱が伝わりにくく、アクリル表面で起こる膨張 (収縮) に対して、アクリル内部が変化しないことにより圧縮 (引張) ひずみが生じるものと考えられる。表面温度が 50 °C に達した際の圧縮ひずみは最大で 150~550 μ であった。また、双方ともに窓枠に近いほど圧縮ひずみが高い傾向であり、アクリル表面と内部の温度差に加え、窓枠とアクリル窓の間

キーワード 防潮堤用窓, アクリル厚板, 高温曝露試験, 変形特性, FEM 解析, 熱ひずみ

連絡先 〒889-2192 宮崎市学園木花台西 1-1 TEL.0985-58-7324

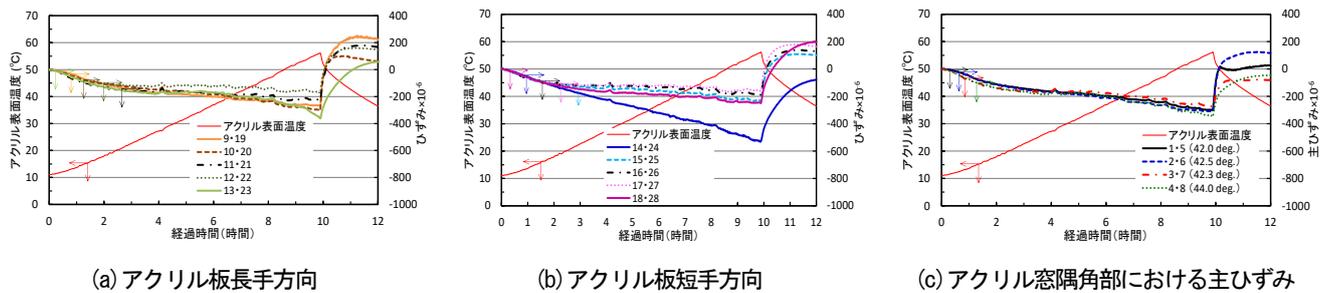


図-3 アクリル表面温度とひずみの関係 (昇温条件: 5 °C/h)

にある CR ゴムの拘束によるものと考えられる. 図-3(c)に, アクリル窓隅角部における主ひずみを示す. 最大で 250~300 μ の圧縮ひずみを示した. ここで, 図内にはアクリル窓長手方向軸と主ひずみのなす角度を示している. アクリル表面温度が上昇している際の主ひずみの角度は, 42.0~44.0°でほぼ同じであった. このことから, 窓枠 (CR ゴムから) から均等に拘束されていることが推察される.

3. FEM 解析

(1) 解析条件

前章の実験では, ひずみゲージが温度に依存して自由膨張するため, これを用いてアクリル窓の熱膨張ひずみを測定することはできなかった. そのため, FEM 解析プログラムの Marc/mentat を用いて³⁾, アクリル窓の熱変形を検討した. 本解析では, アクリル窓および CR ゴムのみをモデル化し, 8 節点 4 角形ソリッド要素を用いた. 図-4 に拘束境界条件の詳細図を示す. 図内の黒点と赤点は, CR ゴム表面の節点に設けた変位拘束を示しており, 黒点では x, y, z 方向を拘束, および赤点では z 方向を拘束という境界条件を与えた. また, 実験と同じ昇温条件 (10 時間で温度を 11.1 °C から 56.7 °C まで上昇) をアクリル窓の表面に与えた.

(2) 解析結果

図-5 に解析によるアクリル表面温度と変位量の関係を示す. 図より, 変位量は, 縦方向 5.38 mm, 横方向 3.22 mm であった. これは, 実験による面内方向の変位量 (縦方向 5.09 mm, 横方向 3.01 mm) と概ね等しく, 本解析でのモデル化は妥当であるものと考えられる.

図-6 に, アクリル窓の表面温度が 56.8 °C に達した際のアクリル窓表面の熱膨張による熱ひずみを示す. FEM 解析によって, 熱膨張ひずみが確認され, アクリル窓表面一様に 3,472 μ の引張ひずみが発生していた.

図-7 にアクリル窓の表面温度が 56.8 °C に達した際のアクリル窓表面の応力分布を示す. アクリル窓表面には最大で 2.49 MPa の引張応力が生じた. ここで, アクリル窓の引張強さは 48 MPa (60 °C) であり¹⁾, これと比べると熱膨張により生じた引張応力は僅かであり, アクリル窓の使用に及ぼす影響は小さいものと考えられる.

4. まとめ

高温曝露環境における防潮堤用窓の変形を実験的, 及び解析的に検討した結果を以下にまとめる.

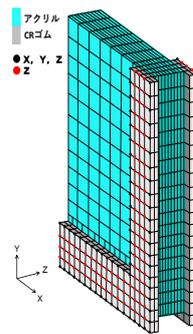


図-4 拘束境界条件の詳細図

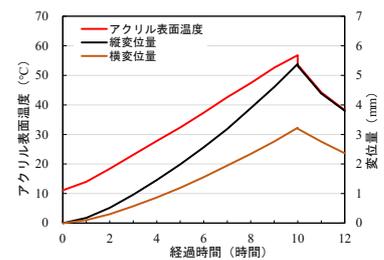


図-5 温度と変位量の関係 (解析結果)



図-6 熱ひずみ

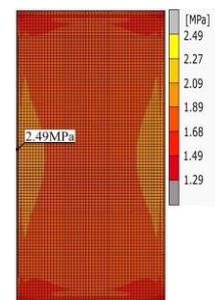


図-7 応力分布

- 1) 実験および解析で求めたアクリル窓の最大変位量は, 窓枠との間に設けたクリアランス (20 mm) 以内に十分収まる.
- 2) 実験ではアクリル窓の温度上昇に伴い, アクリル窓表面と内部の温度差による圧縮ひずみが発生した.
- 3) FEM解析により, アクリル窓表面には, 熱膨張による引張ひずみが生じていた.
- 4) 温度上昇に伴う熱膨張により, アクリル窓表面に生じた引張応力は, アクリル窓の引張強さと比べて非常に小さい.

参考文献

- 1) 石油化学工業協会メタクリル政策部会技術ワーキンググループ: アクリル板を用いた設計の手引き, 2009.
- 2) 松本金矢, 座古勝, 田中茂: 積層複合材料の非定常熱応力解析に関する研究, 日本機械学会論文集, 61 巻, 585 号, pp. 986-992, 1995.
- 3) MARC Analysis Research Corp.: MARC Volume A Theory and User Information, 2017.