

低温度履歴によるゴム支承の弾・粘塑性変形に関する研究

群馬工業高等専門学校 学生会員 ○黒澤 一輝
 群馬工業高等専門学校 学生会員 吉野 聖虎
 群馬工業高等専門学校 正会員 田中 英紀

1. はじめに

1995年1月17日に発生した兵庫県南部地震¹⁾で、新幹線橋脚の落下、鉄道の高架の落下、高速道路の倒壊等、従来の基準で作られていた橋梁は甚大な被害を受けた(図-1参照)。この災害以降、ゴム支承は、上部構造の慣性力を分散させ構造物を地震から守る「荷重分散橋梁」や、関東大震災クラスの大地震にも対応できるように地震動の長周期化と減衰効果とで地震から免れる「免震橋梁」等の地震に対する十分な安全性を持つ橋梁に採用され、広く利用されるようになった(図-2参照)。

しかし、ゴム支承に利用されているゴムは、非圧縮特性を有していることから、圧縮による非回復クリープ等の残留変形が、地震時の水平力を分散させる機能や免震機能等を制限することが懸念されている。さらに、寒冷地で発生する低温度履歴は、非回復クリープにどのような影響を与えるか不明確な点が多い。そのため、低温度履歴による温度疲労が、鉛直荷重によって発生する非回復クリープに与える影響を把握する必要がある。

そこで、本研究では、ゴムを使用限界状態で長期間保管し、開放した後のクリープ特性、使用限界状態に低温度履歴を負荷した場合の疲労特性、低温度履歴を負荷した後のクリープ特性を実験で評価することを研究目的とする。

2. 実験

2.1 実験内容

2つのゴム供試体を圧縮し、使用限界状態²⁾(図-3参照)を維持した。2つのゴム供試体の内、1つのゴム供試体に低温度履歴を負荷し、もう1つのゴム供試体を常温で保管した。その後、2つのゴム供試体を使用限界状態から開放し、鉛直方向の変位を測定して、クリープ特性を比較した。

キーワード ゴム支承, 使用限界状態, 低温度履歴, 温度疲労, クリープ特性

連絡先 〒371-8530 群馬県前橋市鳥羽町580 群馬工業高等専門学校 TEL:027-254-9184 E-mail:htanaka@cvt.gunma-ct.ac.jp



図-1 兵庫県南部地震での橋の被害



図-2 大田藪塚 ICの高速道路橋のゴム支承

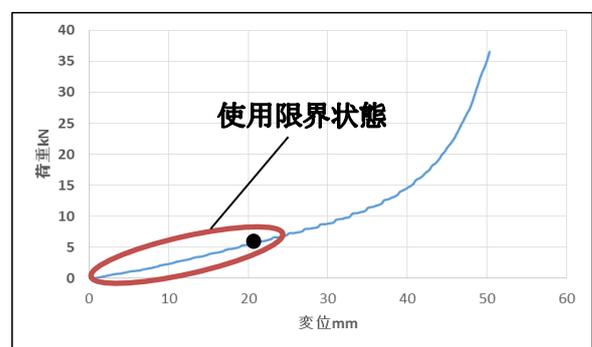


図-3 荷重-変位曲線

2.2 供試体

今回の実験に使用したゴム供試体は、東京ファブリック株式会社製の高さ80mm、直径80mmの円柱形のクロロプレンゴムである。

2.3 圧縮試験

2つのゴム供試体を鋼製の板ではさみ、万能試験機を用いて使用限界状態である 5.5kN で圧縮した。その際、鋼製の板に貼り付けたアクリル板に変位計を設置し、鉛直変位を測定した。その後、使用限界状態を保つために、鋼製の板に付属しているボルトによって固定した (図-4 参照)。

2.4 温度履歴負荷

2つのゴム供試体の内、1つを温度変化の少ない部屋(養生室)に保管した。もう1つの供試体は凍結融解試験機を用いて低温度履歴を負荷した (図-5 参照)。低温度履歴は、寒冷地の冬季の温度変化を想定しており、北海道日高地方の冬季の最低・最高気温をもとに設定した³⁾。低温度履歴測定のため、熱電対をゴムと同じ袋に包んだ。

また、低温度履歴を負荷したゴム供試体にはひずみゲージを供試体側面の中央部に貼り付け、低温度履歴負荷中のひずみの変動を測定し、低温度履歴によるゴムの疲労特性を評価した。

2.5 クリープ試験

2つのゴム供試体のクリープ特性を比較するため、使用限界状態からゴム供試体を開放し、変位を測定した。試験方法は、まず、鋼板に貼り付けたアクリル板に変位計を固定し、万能試験機を用いて供試体を約 1kN で押した後に鋼板に付属しているボルトを緩める。その後、除荷し、鉛直変位を測定した (図-6 参照)。変位の測定はデータロガーを用いて行い、除荷直後から約 1 時間は除荷時弾性ひずみを測定するため計測間隔を 1 秒とし、以降は計測間隔を 5 分おきに変更して、長期的に変位の測定を行った。得られた変位のデータと時間をグラフにしてクリープ曲線を描いて、クリープ特性を比較・評価し、低温度履歴による影響を検討した。

3. 実験結果

3.1 実験データ

低温度履歴を与えたデータが 3279 サイクル得られた。得られたサイクルの内、主ひずみの増分に特徴的な変動が見られるサイクルを主要サイクルとし、主要サイクルでのひずみエネルギー曲線、定点ひずみ曲線、温度-主ひずみ曲線、クリープ試験により得られたクリープ曲線を描いた。

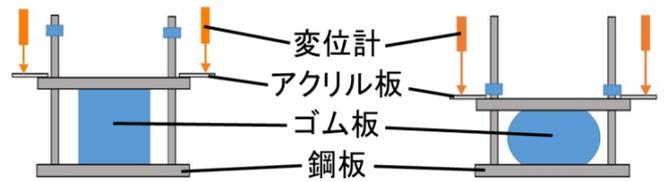


図-4 圧縮試験の様子

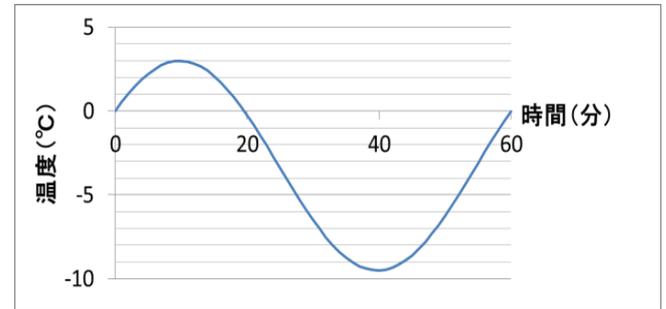


図-5 低温度履歴の1サイクル

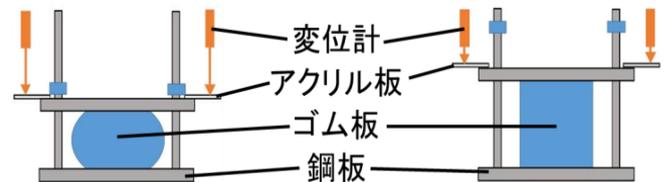


図-6 クリープ試験の様子

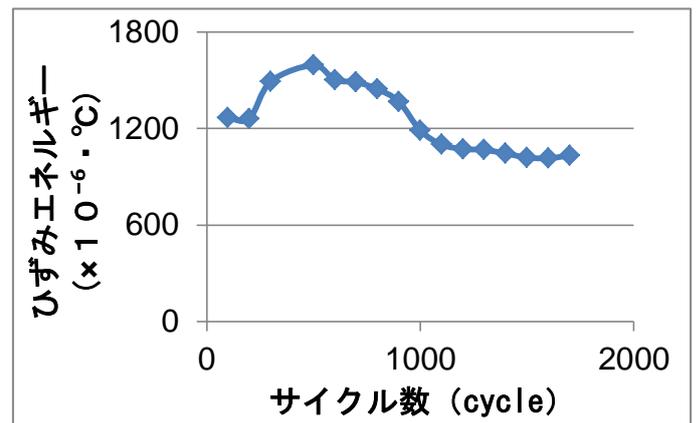


図-7 ひずみエネルギーとサイクル数の関係

3.2 ひずみエネルギーとサイクル数の関係

通常、履歴曲線の面積は、物体が吸収するエネルギーになることが知られている。したがって、温度-主ひずみ履歴曲線の面積をひずみエネルギーと定義し、主要サイクルでの温度-主ひずみ履歴曲線を楕円で近似して面積を算出した。得られたひずみエネルギーとサイクル数をグラフに示す (図-7 参照)。

3.3 定点ひずみとサイクル数の関係

温度-主ひずみ履歴曲線において楕円近似により得たひずみに関する中心の値を定点ひずみと定義し、定点ひずみとサイクル数の関係をグラフに描く（図-8参照）。500サイクルまでは増加傾向だが、500~1200サイクルにかけては減少傾向であった。また、1200~1700サイクルでは変動が緩やかになった。

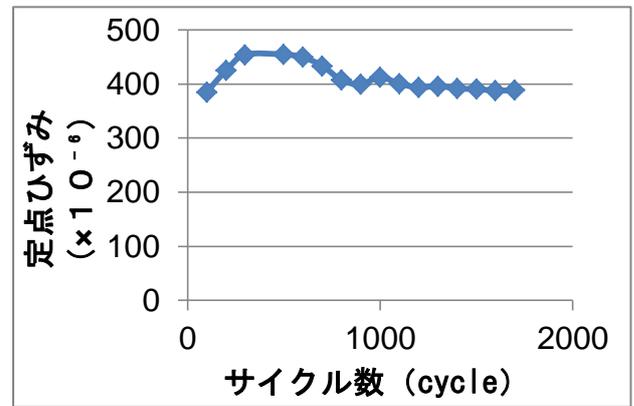


図-8 定点ひずみとサイクル数の関係

3.4 温度-主ひずみ履歴曲線 (100~500cycle)

500サイクルまでは、サイクル数が増加するにつれて、主ひずみも増加している。それにより、履歴曲線が右側にずれていく（図-9参照）。

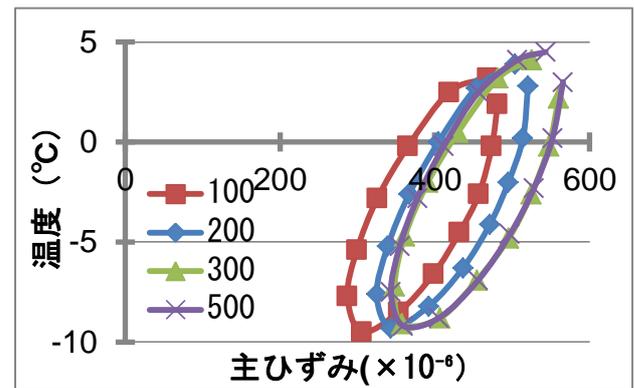


図-9 温度-主ひずみ履歴曲線 (100~500cycle)

3.5 温度-主ひずみ履歴曲線 (500~1200cycle)

500サイクル~1200サイクルにかけては、サイクル数が増加するにつれて、主ひずみが減少していく傾向にある。これに伴い、温度-主ひずみ履歴曲線が左側にずれていく（図-10参照）。

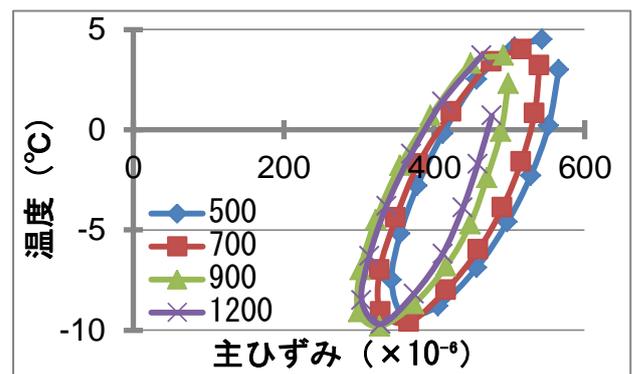


図-10 温度-主ひずみ履歴曲線 (500~1200cycle)

3.6 温度-主ひずみ履歴曲線 (1200~1700cycle)

1200サイクル以降はサイクル数が増加しても、主ひずみに大きな変動はみられず、温度-主ひずみ履歴曲線がほとんど重なった（図-11参照）。

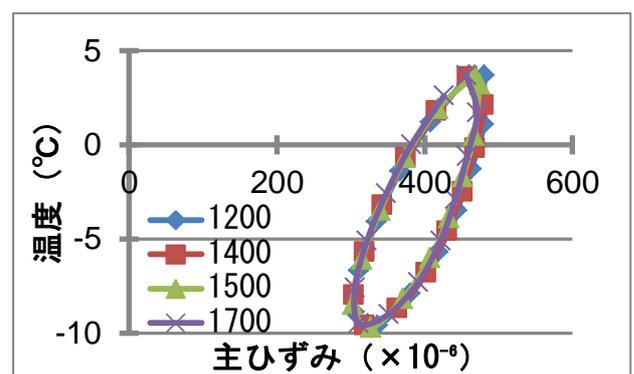


図-11 温度-主ひずみ履歴曲線 (1200~1700cycle)

3.7 線膨張係数

温度-主ひずみ履歴曲線の傾きの逆数を線膨張係数（図-12参照）とし、主要サイクルにおける線膨張係数をグラフに示す（図-13参照）。サイクルが増加するにつれて、線膨張係数が小さくなっていることがわかった。

3.8 ゴムのクリープ特性

常温で保管していたゴム供試体と、低温度履歴を负荷したゴム供試体の圧縮変位に約1.4mmの差が生じていた（表-1参照）ため、比較を行うために、非回復クリープを百分率で表し、グラフに示す（図-14参照）。常温保管のゴム供試体の非回復クリープは、約21.6%となった。低温度履歴を负荷したゴム供試体の非回復クリープは約20.3%であった。以下にクリープ試験により得た結果を示す。

表-1 クリープ試験結果

試験方法	圧縮時の変位量 (mm)	解放後の戻り量 (mm)
常温保管	19.1	14.98
温度負荷	17.68	14.09

4. まとめ

4.1 温度－主ひずみ履歴曲線

温度－主ひずみ履歴曲線は、最初 500 サイクルまでは増加傾向にあり、曲線が右側へと推移している。しかし、500 サイクルから 1200 サイクルにかけては、減少傾向にあり、曲線が左側へと戻っている。さらに、1200 サイクルから 1700 サイクルにかけては、ほとんど変動が見られなくなり、曲線がほぼ重なる形になった。

4.2 ひずみエネルギー

ひずみエネルギーは、500 サイクルまで増加傾向にあり、500 サイクル以降は 1200 サイクルまで減少している形となった。さらに、1200 サイクルから 1700 サイクルにかけては、減少傾向にあるものの、曲線が緩やかになっていることがわかった。

4.3 定点ひずみ

定点ひずみは、500 サイクルまで増加傾向にあるが、500 サイクル以降徐々に減少していく形となった。さらに、1200 サイクル以降はほぼ横ばいの形になり、変動が緩やかになった。

4.4 線膨張係数

線膨張係数は、サイクル数が増加するに伴い、徐々に減少していく傾向にあることがわかった。このことから、低温度履歴によってゴム供試体が温度疲労劣化したことが推定できる。

4.5 非回復クリープの比較

使用限界状態解放後から 120 時間まで変位を測定した。非回復クリープは、常温で保管していたゴム供試体が約 21.6%、低温度履歴を負荷したゴム供試体が約 20.3%となり、低温度履歴を負荷したゴム供試体のほうが約 1.3%小さいという結果になった。この結果より、今回の実験で与えた 3279 サイクルの低温度履歴では、非回復クリープに与える影響は少ないということが分かった。

謝辞

本研究において、クロロプレンゴムの特性についてご教授して下さった東京ファブリック株式会社様および、ひずみゲージやデータロガーの使用方法についてご教授して下さった株式会社ソッキテック様に深く感謝いたします。

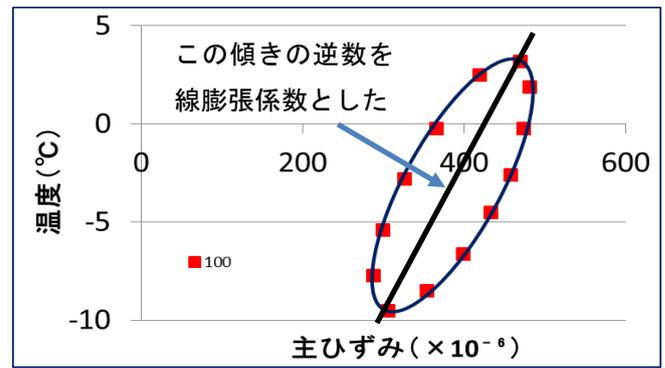


図-12 線膨張係数の決定

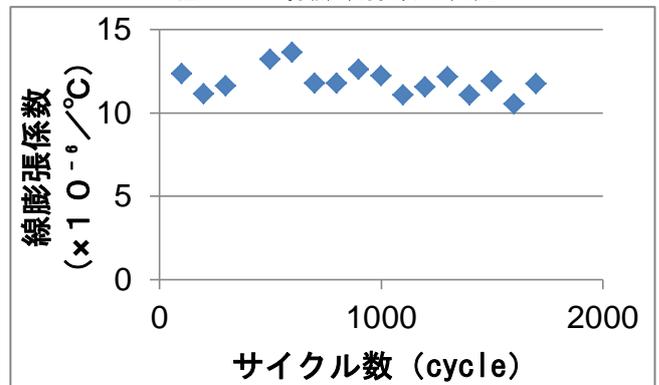


図-13 主要サイクルでの線膨張係数

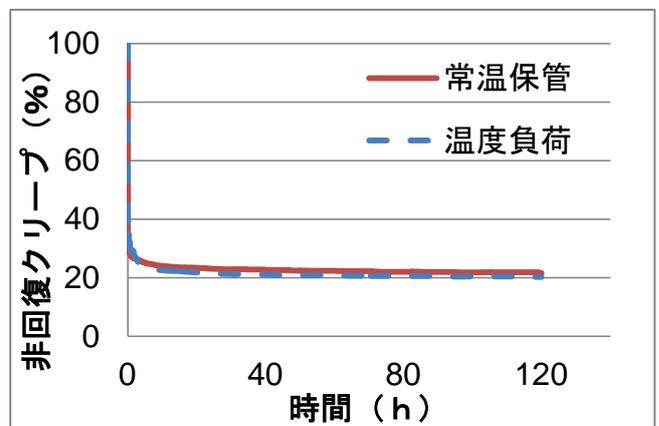


図-14 非回復クリープの比較

参考文献

- 1) 兵庫県南部地震データ集
<http://www2.kobe-c.ed.jp/shizen/strata/quake/whatis/index.html> (2017年12月25日閲覧)
- 2) 北爪寿明, 田中英紀: クロロプレンゴムの圧縮非回復クリープに関する研究, 第43回土木学会関東支部技術研究発表会講演会概要, V-20, 2016年3月10日
- 3) 牧野嶋文泰, 田中英紀: 繰り返し温度変化が連続繊維シート工法の付着性能に与える影響に関する研究, 第41回土木学会関東支部技術研究発表会講演会概要, V-13, 2014年3月