

繰返し圧縮疲労を受けた橋梁用ゴム支承のせん断大変形性能に関する検討

Study on Shear Large Deformation Performance of Rubber Bearing after Compression Fatigue Test

寒地土木研究所 ○正 員 佐藤 京 (Takashi Satoh)
ゴム支承協会 正 員 今井 隆 (Takashi Imai)
ゴム支承協会 正 員 原 暢彦 (Nobuhiko Hara)
寒地土木研究所 正 員 西 弘明 (Hiroaki Nishi)

1. はじめに

橋梁用ゴム支承は、橋梁の上部工および下部工を結ぶ重要な付属物である。地震時ではせん断ひずみ 250%を超えても破断に至らない性能が求められ、長期供用においてもその性能が低下しないための耐久性も要求される。ゴム支承は、化学的作用による経年劣化のほか作用力による劣化（疲労など）が生じると考えられることから、これらの劣化がゴム支承に要求される性能に影響を与えないように対応することが重要である。ここでは、繰返し载荷（疲労）を受けた場合のゴム支承の特性変化について試験的検証を行い、さらに疲労を受けたゴム支承にせん断大変形を与え、疲労による影響について検討した結果を報告する。

2. 試験概要

ゴム支承に作用する交通の繰返し荷重を想定した鉛直方向の繰返し圧縮载荷（以下、圧縮疲労）を受けたゴム支承 RB(NR)の試験体を用いて、せん断ひずみ 250%と 300%のせん断試験（以下、極限せん断試験）を行った。

2.1. 試験体概要

試験体は、「JIS K 6411:2012 道路橋免震用ゴム支承に用いる積層ゴム-試験方法」¹⁾（以下、JIS K 6411）の標準試験体 No.2 に準拠した。図-1 に試験体形状を表-1 に試験体諸元を示す。

2.2. 繰返し圧縮疲労試験

本試験は、JIS K 6411 の繰返し圧縮疲労試験方法を基本として実施した。文献 2)で報告しているように低温影響を検証することを目的として、常温および低温環境下で実施した試験である。図-2 に示すように 4 種 4 個の支承を鉛直に連結し、ゴム支承の鉛直方向が水平とな

るように支承固定ガイドにゴム支承を配置して雰囲気温度が同一となるよう同時载荷とした試験である。試験条件を表-2 に示す。また、試験機器と試験体配置を図-3 に示す。ここでは、極限せん断試験を行なった RB(NR)の結果のみを示す。

2.3. せん断特性および極限せん断試験

ゴム支承のせん断特性変化を確認するため圧縮疲労試験前、载荷 200 万回および 400 万回後に 6 ヶ月以上の気中養生後を行い JIS K 6411 のせん断特性試験を行った。極限せん断試験では、JIS K 6411 のせん断特性試験に準拠し、せん断ひずみ振幅を 250%と 300%として、それぞれ 2 回载荷と 1 回载荷を実施した。また、大変形を与えるため予期せぬ試験体の破断などによる载荷試験機へ

表-1 試験体諸元（種類：RB (NR)）

中間鋼板長さ(mm)	240x240
中間鋼板厚さ(mm)	3.2
ゴム 1 層厚さ t (mm)	7 (5)
内部ゴムの総数 n	4 (6)
被覆ゴムの厚さ(mm)	5
一次形状係数 S1	8.2 (11.5)
弾性係数の呼び	G12

() ; 標準値

表-2 繰返し圧縮疲労試験条件

下限荷重 (kN)	316.8(5.5N/mm2)
上限荷重 (kN)	691.2(12N/mm2)
载荷振動数(Hz)	2
载荷回数(回)	200 万 (常温) 400 万 (低温)
試験時水平ひずみ(%)	70(19.6mm)

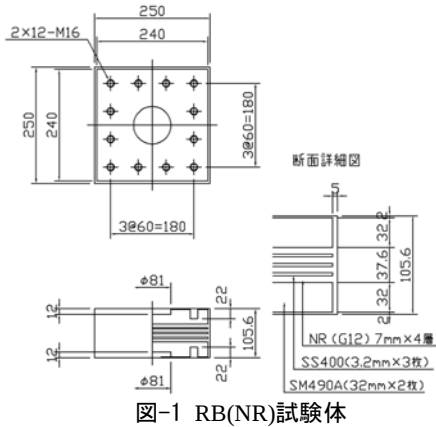


図-1 RB(NR)試験体

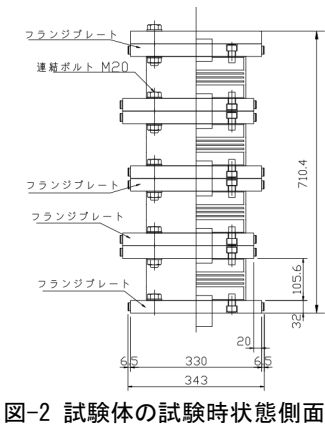


図-2 試験体の試験時状態側面図

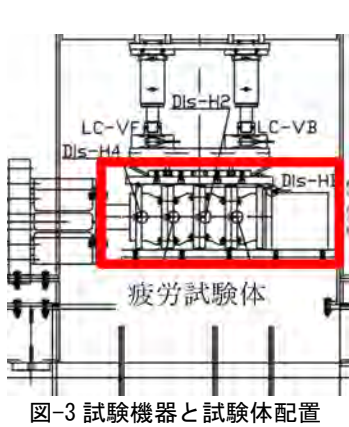


図-3 試験機器と試験体配置

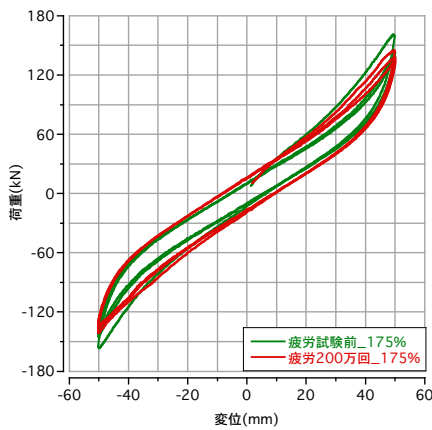


図-4 セン断特性試験結果（常温環境）

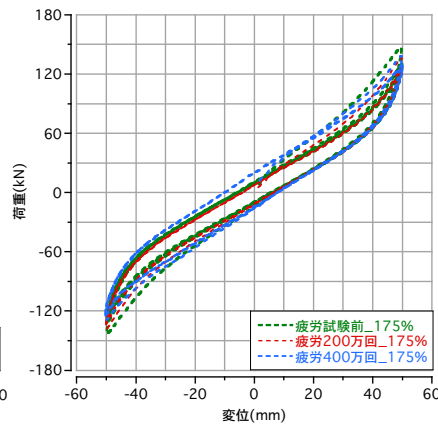


図-5 セン断特性試験結果（低温環境）

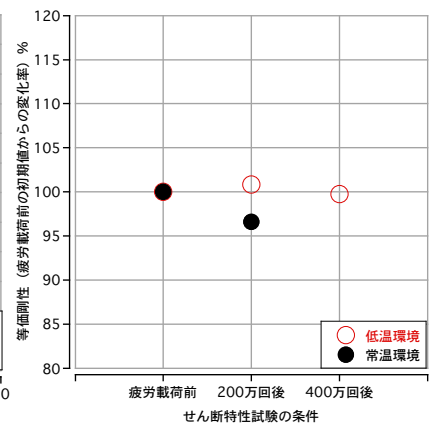
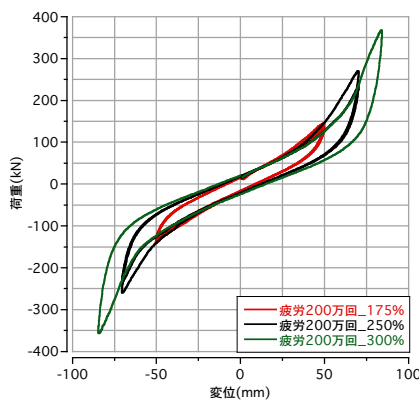
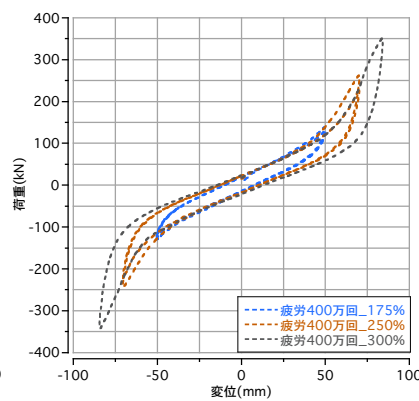
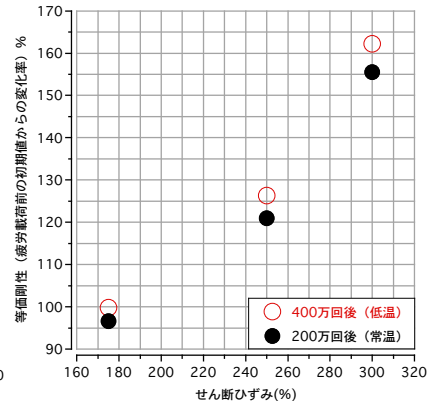


図-6 載荷回数と等価剛性変化率の関係

図-7 極限せん断試験による
変位-荷重曲線（常温環境の疲労）図-8 極限せん断試験による
変位-荷重曲線（低温環境の疲労）図-9 載荷回数別
ひずみ-等価剛性変化率

負荷軽減として載荷速度を 5mm/sec として実施した。
せん断特性試験の条件は、表-3 に示すおりである。

なお、圧縮疲労試験中における 50 万回毎の等価剛性、鉛直剛性の変動についても確認しているが、詳細は文献 2)を参照されたい。

表-3 特性試験条件

繰返し回数(回)	5
鉛直荷重 (kN)	345.6(6N/mm ²)
せん断ひずみ振幅(%)	175(±49mm)
載荷速度(mm/sec)	10 (sin 波)

3. 試験結果

3.1. 疲労を受けた支承の等価剛性

疲労を受けた RB(NR)における変位-荷重曲線を常温環境の結果については図-3 に、低温環境の結果については図-4 に示す。図-3 に示した常温環境の結果では、繰返し載荷回数 200 万回後の履歴ループの面積に変化が確認できる。これに対して、図-4 に示した低温環境の結果では、疲労試験前と繰返し載荷回数 200 万回後に履歴ループの面積が同程度であるが、400 万回後の履歴ループの面積に変化が確認できる。繰返し載荷試験の環境が常温と低温の違いによりエネルギー吸収性に与える影響が異なる可能性がある。図-5 には、200 万回と 400 万回の載荷後の等価剛性について、疲労載荷前の初期等

価剛性からの変化率を示す。なお、RB(NR)の等価剛性は、履歴ループ 3 回目のせん断試験結果を用いた。常温、低温環境の結果と比較すると常温環境での圧縮疲労 200 万回後の剛性変化は大きい。両条件下においても載荷回数に伴う剛性の変化は、±5%以内と小さく、載荷回数が増加しても大きな変化は生じていない。

3.2. 極限せん断試験

極限せん断試験結果は、図-7 に常温での圧縮疲労を受けた試験体によるものを示し、図-8 に低温における圧縮疲労を受けた試験体によるものを示す。また、圧縮疲労試験後のせん断特性試験結果も併記した。

図-7 では、せん断変位 49mm（ひずみ 175%）を超え、変位荷重関係の傾きが大きくなる（以下、ハードニング）までの加重状態における履歴曲線の傾きはせん断ひずみ振幅によらず同程度であり、除荷時においてもひずみが小さい範囲では同様の傾向であることが確認できる。ハードニングの範囲を除き、変位と荷重の履歴においては、せん断ひずみ振幅の違いによる影響は確認できない。

図-8 の結果においても図-7 と同様の傾向を示し、載荷回数が増加しても、変位荷重の履歴に有意な差は確認できない。図-9 には、圧縮疲労試験前の等価剛性を基準として、圧縮疲労試験後の等価剛性と極限せん断試験の等価剛性の変化率を示した。載荷回数の多い低温環境の試験結果では、常温環境下よりも変化率が高い。しかし、ひずみと剛性の変化割合の関係は、圧縮疲労環境

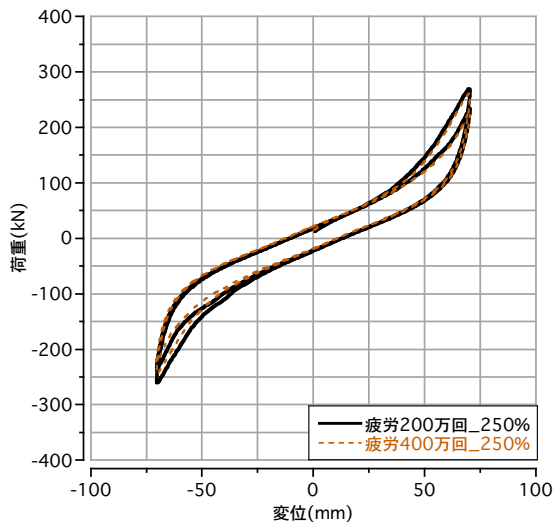


図-10 250%極限せん断試験結果

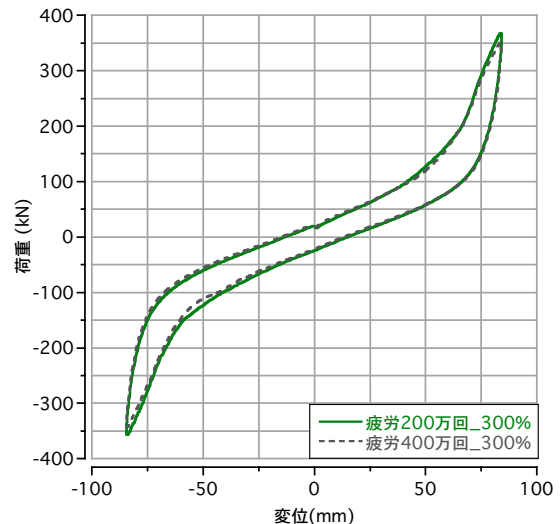


図-11 300%極限せん断試験結果



(a) 常温環境の 200 万回の繰返し载荷を受けた断面

(b) 低温環境の 400 万回の繰返し载荷を受けた断面

図-12 RB (NR) ゴム支承の極限せん断試験後の断面切断写真

によらず線形関係にあり、载荷回数別の傾きも近似している。载荷回数の影響を確認するために図-10 にはせん断ひずみ 250%の結果を示し、図-11 には 300%の結果を示した。どちらのせん断ひずみ振幅においても加重時における剛性、ハードニング時や除荷時における変位荷重関係においても同じ挙動を示しているが確認できる。

4. 考察

橋梁用ゴム支承は、長期供用においても要求性能が低下しないための耐久性が要求される。ゴム支承は、作用力による劣化（疲労など）が生じると考えられることから、繰返し载荷（疲労）を受けた場合のゴム支承の特性変化について試験的検証を行い、さらに疲労を受けたゴム支承にせん断大変形を与え、疲労による影響について検討した。

本報告で対象とした BR(NR)ゴム支承は、常温や低温環境における圧縮疲労試験を実施しても、せん断剛性に与える影響が小さく、繰返し载荷回数による違いとして 200 万回と 400 万回を比較してもせん断剛性の変化は小さいことが確認できた。

圧縮疲労試験を実施した試験体を用いて極限せん断試験を行い圧縮疲労による影響を確認したが、载荷回数による影響やせん断ひずみ振幅の大きさによらず、変位荷

重曲線は同じ挙動を示し、せん断ひずみと剛性変化率の関係は線形であることから、実施した試験範囲での疲労による特性への影響はないものと考えられる。試験では、圧縮疲労回数 400 万回に加え、175%ひずみを与えるせん断特性試験によるせん断回数 60 回と非常に大変形の繰返し载荷を行ったにも関わらず、外観に変化は確認されていない。図-12 に示すように試験後、断面を切断して内部を確認した。内部鋼板端部の変形が確認されたが、ゴムと鋼板の接合部の損傷は確認できなかった。

このことから、圧縮载荷 400 万回とせん断変形 60 回の繰返しにおいては、等価剛性の変化は小さく、ゴム支承の損傷もないことから、本試験の条件下での疲労影響は小さいと考えられる。今後は繰返し载荷回数と実耐久期間の関係等を検討し、橋梁耐久 100 年における疲労影響について検討を進める。

参考文献

- 1) 日本工業標準調査会：道路橋免震用ゴム支承に用いる積層ゴム-試験方法 JIS K 6411:2012
- 2) 佐藤京，今井隆，原暢彦，西弘明：圧縮疲労試験による橋梁用ゴム支承の特性変化に与える低温環境の影響について，土木学会第 72 回年次学術講演会講演概要集，I-575，2018。