

橋梁用ゴム支承の繰り返しせん断変形試験結果の整理・分析と地震時応答解析

長崎大学 学生会員○辻川修哉 株式会社川金コアテック 正会員 新名裕
長崎大学大学院 正会員 中村聖三, 奥松俊博, 西川貴文

1. はじめに

平成29年11月に道路橋示方書・同解説(以下:H29示方書)¹⁾が改訂され, ゴム支承の限界状態を設定する必要があり, 各種依存性を考慮した力学的特性と地震による繰り返し作用に対する力学的特性の評価が新たに規定された. ここでいう力学的特性とは, 等価剛性 K_B , 等価減衰剛性 h_B のことである. また, 平成30年12月に道路橋支承便覧(以下:H30支承便覧)²⁾が改訂され, 積層ゴム支承の耐荷性能に関して, 等価剛性の算出式の変更や新たに2次剛性が橋梁の地震時の応答に影響を与えることが新たに規定された. 一方, H29示方書やH30支承便覧に基づいた研究データは十分でなく, ゴム支承の力学的特性を得るためのせん断変形試験の繰り返し回数のデータ結果の整理が必要である. さらに, これまで考慮されることが少なかった初期載荷時の剛性の違いを考慮したモデル化も必要である. そこで, 本研究では, H29示方書, H30支承便覧に基づいて, 試験結果整理と力学的特性の評価, 初期載荷時の剛性の違いを考慮したモデルの作成, そのモデルの地震時応答解析, 解析結果の分析を行う.

2. 繰り返しせん断変形試験結果の整理・分析

2.1 検討対象

鉛プラグ入りゴム支承(LRB), 高減衰ゴム支承(HDR)それぞれ100体ずつを対象に, 有効せん断ひずみ175%における繰り返しせん断変形試験結果整理, 評価を行った. なお, 供試体のせん断弾性係数は全て 1.2N/mm^2 とした.

検討対象のパラメータとして, 表-1にそれぞれの支承の検討個数, 最大寸法, 最小寸法, 最大2次形状係数, 最小2次形状係数の値をまとめた. 2次形状係数については, 2.3(3)で述べる.

2.2 検討方法

H30支承便覧で, 「積層ゴム支承の挙動が11回の正負交番繰り返し載荷試験に対して安定した履歴挙動となり可逆性を有すると考えてよい」と示された判定基準(表-2)に基づき, 等価剛性, 2次剛性の評価を行った.

2.3 検討結果

(1) 等価剛性に関する実測値と設計値の比較

HDR全100体の試験結果から求めた等価剛性について, H30支承便覧に記載されている条件に基づき算出した設計値に対する実測値の比の分布を図-1に示す.

実測値が設計値より大きい領域に偏った分布となっているが, 全ての試験結果で実測値と設計値との誤差が $\pm 10\%$ 以内に収まっている. すなわち, 設計値として信頼できる値が得られていると言える.

なお, LRBについても, HDRと同様に, 全ての試験結果で実測値と設計値との誤差が $\pm 10\%$ 以内に収まっていた. そのうち8割以上の供試体の実測値が設計値より大きい領域に分布するという結果だった.

表-1 検討対象のパラメータ

形式	LRB	HDR
個数	100	100
最大寸法	1320mm×1320mm	1020mm×1020mm
最小寸法	410mm×460mm	320mm×320mm
最大2次形状係数	10.00	12.28
最小2次形状係数	4.00	3.33

表-2 支承の判定基準

支承形式	判定基準
地震時水平力分散型 ゴム支承	3波目又は2~11波のせん断剛性の平均値と4~11の各波のせん断剛性の差が10%以内
免震支承	5波目又は2~11波の2次剛性の平均値と6~11の各波の2次剛性の差が10%以内

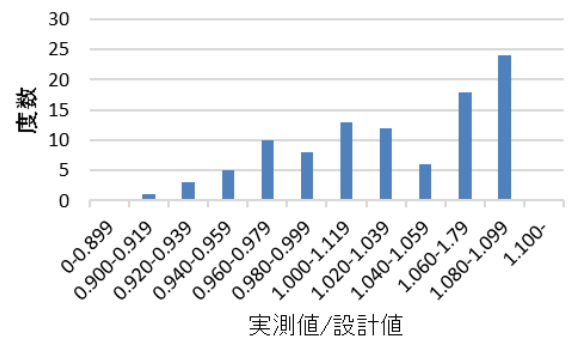


図-1 等価剛性の評価

(2) 加振回数による2次剛性の変化

H30 支承便覧では、「高減衰ゴム支承が繰り返し作用に対して安定した履歴挙動となり可逆性を有すると考えてよい」のは、表-2 に示した判定基準を満足する場合であると記載されている。そこで、HDR の全 100 体について初期载荷を含めた全 11 波の 2 次剛性を 5 波目を基準にして無次元化した値の加振回数に伴う変化を図-2 のようにグラフ化した。

初期载荷と 2 波目、11 波目を除く加振回数では、概ね基準を満足しているが、初期载荷に関しては大きなばらつきがあり、2 波目に向かって急激に低下している。2 波目以降も加振回数に伴い 2 次剛性が徐々に低下しているが、1 波目から 2 波目に比べると、低下率は小さい。力学的特性や安全性を考える際、このような 1 波目と 2 波目における 2 次剛性の大きな変化を無視することはできない可能性がある。なお、基準を満足していない支承は、2 次形状係数 S_2 が 12.28 と最大のものであった。

なお、LRB については、グラフの形状は HDR と同様であり、初期载荷と 2 波目を除く加振回数の全てで基準を満足していた。

(3) 等価剛性の低下率と 2 次形状係数の関係

H30 支承便覧によると、水平荷重に関係しているとされる 2 次形状係数 S_2 は、

$$S_2 = \frac{a \text{ または } b}{\sum t_e}$$

という式で表される。ここで、a：橋軸方向の有効寸法 (mm)，b：橋軸直角方向の有効寸法 (mm)， $\sum t_e$ ：総ゴム厚 (mm) である。

$S_2 \geq 4$ でないと、安定した荷重支承機能を得ることができないとされている。本研究では、1 波目の等価剛性に対する 5 波目の等価剛性の低下率と 2 次形状係数の関係を整理し、散布図として図-3(a), (b) に図示した。

今回データ整理を行ったうち、 $S_2 \geq 4$ を満たさない HDR の供試体が 1 体存在した。等価剛性の低下率はおおよそ 0.65~0.75 の範囲に集中している。また、同じ形状係数での低下率のばらつきの範囲は 0.1 程度であり、安定した荷重支承機能が得られていると言える。さらに、LRB では右上がり、HDR では右下がりの形状傾向があるように見える。HDR の方が低下率が大きい、これは HDR が LRB よりも 1 波目の剛性の方が大きいためである。

3. 地震時応答解析

本研究は、これまで研究成果が少ない初期载荷の影響を考慮し、道路橋示方書・同解説 V 耐震設計編に従ってモデルを作成し、それに基づき 3 次元 FEM 解析ソフトを用いて地震時応答解析を行っている。その結果と考察については、当日発表予定である。

4. まとめ

本研究で対象とした LRB, HDR はいずれにおいても、2 次剛性が加振回数に伴い低下することが確認された。その度合いは試験体によって異なっているため、今後その相違を生じさせる支配要因を明らかにする必要がある。また、加振回数に伴う 2 次剛性の低下をその支配要因の関数として定式化することを試みてみたいと考えている。

参考文献

- 1) (社) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説, 2017.11
- 2) (社) 日本道路協会：道路橋支承便覧, 2018.12

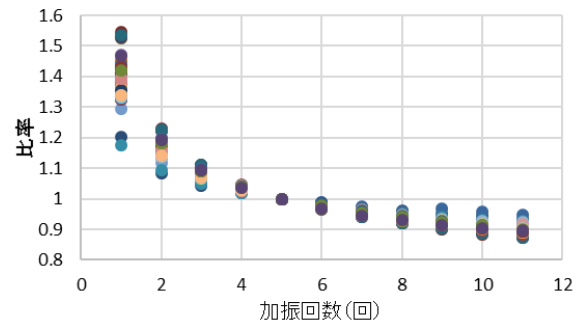


図-2 2次剛性の評価

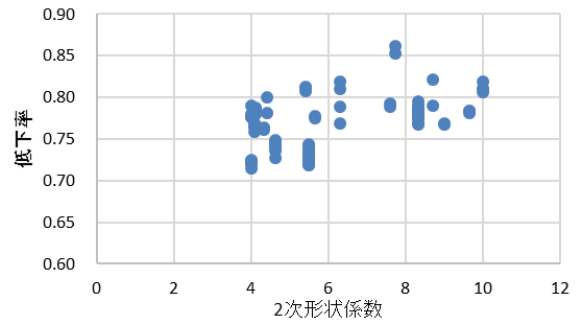


図-3(a) 等価剛性の低下率と 2 次形状係数の関係 (LRB)

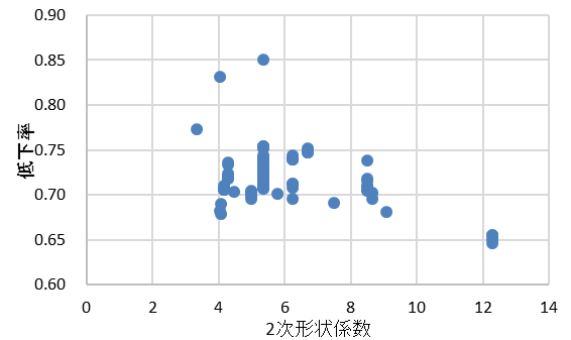


図-3(b) 等価剛性の低下率と 2 次形状係数の関係 (HDR)