

**長周期地震動に対する積層ゴム支承のリアルタイムオンライン応答試験
高減衰ゴム系積層ゴムの繰り返し依存性についての検討**
REAL-TIME ON-LINE TEST OF ELASTOMERIC ISOLATOR TO LONG PERIOD GROUND MOTIONS
Study on Multi-Cyclic Characteristics of High Damping Rubber Bearings

○阿久戸信宏¹, 秦一平²
*Nobuhiro Akuto¹, Ippei Hata²

Abstract: The purpose of this paper is to test the validity of the simplified method which is time history response analysis considering multi-cyclic characteristics of high-damping rubber bearing by the long period ground motion. This study is to verify the simplified method using the real-time on-line test. The structural model using the real-time on-line test is the seismic isolation model of equivalent period 5.0second with high-damping rubber bearing and oil damper. In conclusion, it seems reasonable to conclude that the simplified method evaluates response value of multi-cyclic characteristics of high-damping rubber bearing.

1. はじめに

平成 28 年に国土交通省より、「超高層建築物等における南海トラフ沿いの巨大地震による長周期地震動対策について」^{1),2)}の資料がまとめられた。それに伴い、長周期地震動による免震部材の繰り返し依存性を考慮した応答評価法として「簡略法」が提案されている。この評価方法について、高度な技術を要することなく簡易的な応答評価を行える反面、その妥当性や実応答との相違点について把握することは重要である。

そこで本研究では、部材の複雑な非線形特性を時刻歴応答解析に反映することが可能なリアルタイムオンライン応答試験（以下、「本試験」）を用いて、長周期地震動による高減衰ゴム系積層ゴム（以下、「HDR」）の繰り返し依存性の影響を検討する。そして、「簡略法」より算出した時刻歴応答解析結果（以下、「数値解析解」）と比較し、「簡略法」による応答評価方法の妥当性について検討することを目的とする。

2. リアルタイムオンライン応答試験

本試験システムは、部材試験と数値解析を混合して同時並行で進めるものである（Fig.1 参照）。手順は、数学的に履歴則のモデル化が困難である複雑な部材の要素（復元力）を部材試験により取得する。次に、数値計算を行う演算用コンピュータにオンラインでフィードバックする操作を地震波継続時間だけ実時間で繰り返し行う。本試験は、積分刻み時間 10[msec]で制御する。

3. 試験計画

試験計画図を Fig.2 に示す。使用する試験体は HDR

を 1 基用いる（Table1 参照）。油圧アクチュエータは動的載荷が可能な性能（最大加力：±400[kN], 最大ストローク：±200[mm], 最大速度：1.0[m/s]）を有したものを 3 台使用する。各試験時には、1 台の油圧アクチュエータを用いて変位制御により水平加振を行い、2 台の油圧アクチュエータと載荷梁を用いて荷重制御により試験体に面圧を負荷する。また、本試験前後でゴム中央部の表面温度を放射温度計にて計測する。

単体試験は、負荷面圧 15[N/mm²], せん断ひずみ 100[%]で正弦波加振（加振周期 5.0[s]）を行う。

本試験条件を Table2 に示す。なお、Case2 では、設定した試験条件を一定とし、連続的に計 30 回本試験を行う。2 回目以降の本試験開始前には、面圧を負荷した状態のまま直前で行った本試験の残留変形や残留荷重を概ね取り除き、次の本試験を行うこととする。

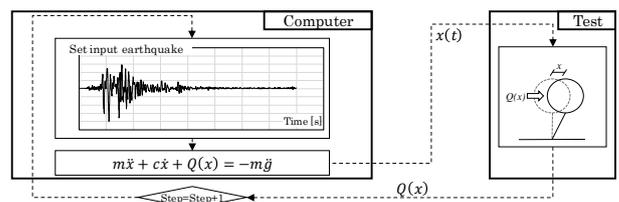


Fig.1 Outline of real-time on-line test

Table1 Characteristics of scaled-model isolator

Total rubber thickss [mm]	Effective loaded area [mm ²]	Rubber diameter [mm]
44.8	39800	φ 225

Table2 Test conditions

No.	Seismic waves	Face pressure	Shear Strain
Case1	BCJ-L2	15[N/mm ²]	100[%]
Case2	CH1		

1：日大理工・院（前）・建築 2：日大理工・教員・建築

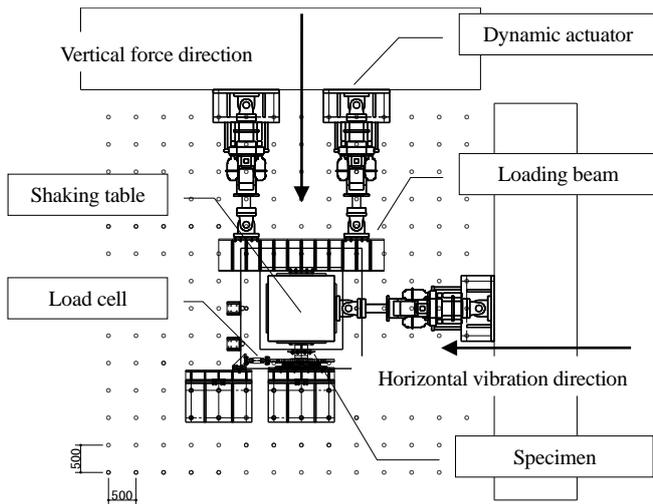


Fig. 2 Test set up

4. 単体試験結果

単体試験結果を Fig.3 に示す. 得られた結果からバイリニア型の復元力特性を決定した. 数値解析モデルは, 等価周期を 5.0[s] とし, 免震層の構成を HDR とオイルダンパーを用いたモデルとしている.

5. リアルタイムオンライン応答試験結果

まず, Case1 と Case2 の 1 回目の本試験結果を Fig.4 から Fig.6 に示す. 各結果より, 本試験結果と数値解析解は同程度の傾向を示していることが確認できる.

次に, Case2 を連続的に行った本試験結果と簡略法によって算出した数値解析解の比較を行う. 簡略法で用いた低下率を評価する式³⁾を用いて算出した結果(凡例: Analysis(Energy)) と, 本試験条件を考慮して放射温度計により計測された試験後のゴム表面温度より低下率を評価したもの(凡例: Analysis(Temp.)) を示す. Fig.7 にゴム温度の比較, Fig.8 に各本試験結果と数値解析解の最大応答値の比較を示す.

Fig.8 に示すように各本試験で計測された最大応答変位(凡例: Test(Measured)) は数値解析解(凡例: Analysis(Energy)) よりもやや大きい応答値を示している. しかし, 本試験システムのリアルタイムに制御する影響で発生する誤差を除いた最大応答結果(凡例: Test(Command)) は, おおむね簡略法を用いて算出した数値解析解と近似していることが確認できる. よって, 簡略法による評価の妥当性が確認できる.

6. まとめ

本研究では, 本試験結果と簡略法との比較を示した. HDR の繰り返し依存性による最大応答値は概ね簡略法により評価可能であることを示した.

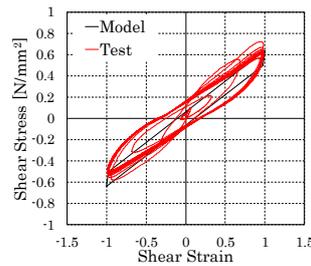


Fig. 3 Unit test result

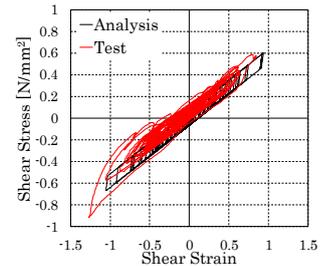


Fig. 4 Case1

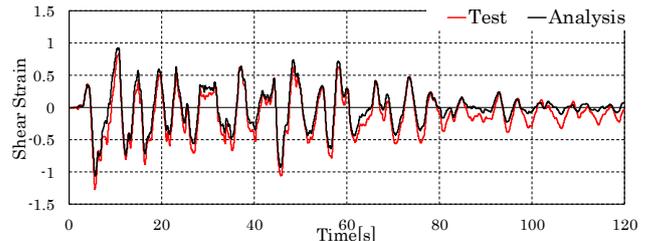


Fig. 5 Displacement time histories (Case1)

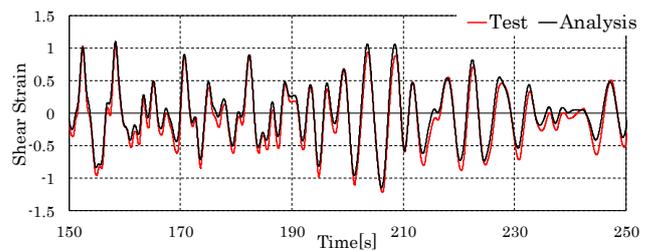


Fig. 6 Displacement time histories (Case2)

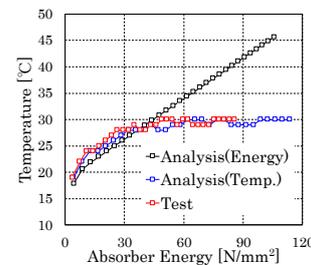


Fig. 7 Comparison of temperature

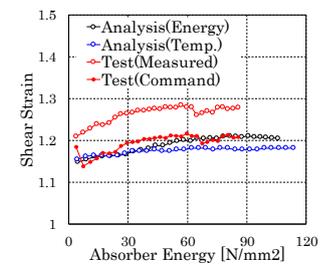


Fig. 8 Comparison of maximum displacement

本論文の一部は, 2019 年日本建築学会大会学術講演会⁹⁾で発表しており, 検討データについて修正を加えたものである.

7. 参考文献

- [1] 国土交通省: 超高層建築物等における南海トラフ沿いの巨大地震による長周期地震動への対策について, 2016.4
http://www.mlit.go.jp/report/press/house05_hh_000620.html
- [2] 国土交通省: 超高層建築物等における南海トラフ沿いの巨大地震による長周期地震動への対策について 別紙 2, 2015.12
http://www.mlit.go.jp/report/press/house05_hh_000601.html
- [3] プリズトン: 長周期地震動に対する免震材料の性能変化 (プリズトン高減衰ゴム系積層ゴム支承), 日本建築センター, 評定書, BCJ 評定 IB0010-01, 2017.3
- [4] 国立研究開発法人建築研究所: 免震部材の多数回繰り返し特性と免震建築物の地震応答性状への影響に関する研究, 2016.4
<https://www.kenken.go.jp/japanese/contents/publications/data/170/index.html>
- [5] 竹内ら: 南海トラフ地震における免震部材の繰り返し特性変化を考慮した免震建築物の応答性状 -簡略法を用いた免震部材の組み合わせによる検討-, 日本建築学会技術報告集, 第 25 巻, 第 59 号, pp97-102, 2019.2
- [6] 柿本ら: 長周期地震動に対する高減衰ゴム系積層ゴムのリアルタイムオンライン応答試験 (その 1, その 2), 日本建築学会大会学術講演便覧集, B-2, 165-168, 2019.9