

I-24

鋼製免震支承の終局限界状態変位に関する実験

バシフィックコンサルタンツ ○F会員 林 亜紀夫
 北海道開発局開発土木研究所 正会員 三田村 浩
 日本製鋼所 室蘭製作所 正会員 別所 俊彦
 北海道開発技術センター 正会員 新山 惇

1. はじめに

著者らは鋼製免震支承の特性を調べ、免震装置としての有効性を検証して来た。これまでには、振動台上の供試体を下方から加振する実験を行い、その結果を報告している¹⁾。

本論文では、鋼製免震支承の許容変位を定める際の基礎資料として必要な終局限界状態を把握する目的で、上部構造に相当するマスと鋼製免震支承によって構成する供試体を直接にアクチュエーターによって加振する実験を行い、その結果を報告している。鋼製免震支承が最初に構成しているリンク機構を逸脱する変位に至るまで加振し、その限界変位を幾何学的考察、および個別要素法による解析の結果と比較した。

2. 実験方法

免震装置の形状寸法を図-1に、実験装置の側面形状を図-2に示す。図-2の左側奥行き方向に2個1対の免震装置、右側奥行き方向に2個1対のローラーが設けられ、20t の上部構造を支えている。

したがって免震装置1個当たりには、鉛直荷重として5tf が働き、水平力としてはアクチュエーター加力の1/2と10t の上部構造質量に起因する慣性力が働く。アクチュエーター加力はテコ比1:3のテコを介して与えられる。免震装置は、グラファイト充填テフロン曲面すべり面を有する上下沓とステンレス鋼製の回転体で構成され、装置の幾何学的形状と摩擦の効果を元に、水平方向の復元力特性理論式が提案されている²⁾。

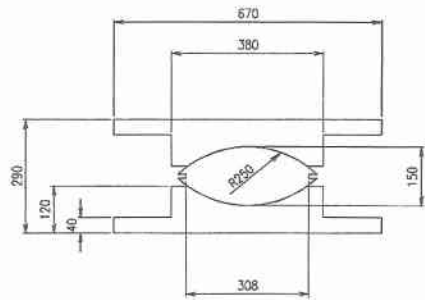


図-1 免震支承の形状寸法

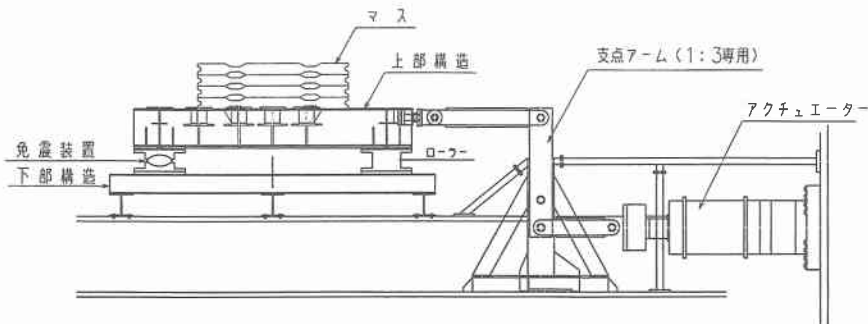


図-2 実験装置

An experiment on an ultimate limit displacement of a seismic-isolation device under excitations
 by Hiroshi MITAMURA, Toshihiko BESSHO, Atsushi NIIYAMA and Akio HAYASHI

本実験では、免震支承の終局限界変位に近い大変位を強制的に発生させることを目的としているので、アクチュエーターの制御は変位制御を基本とし、一部のケースでは荷重制御も用いた。加振ケース一覧を表-1に示す。本実験に用いたアクチュエーターの能力が約5.0kineであることを考慮して加振振動数を設定している。その結果、例えば上部構造に15cmの変形を与えるケースでは0.15Hz程度の振動数となる。計測項目および位置を図-3に示す。

表-1 実験条件

制御方式	最大振幅 (CM)	加振振動数(HZ)
変位制御	5.0	0.60
	10.0	0.30
	15.0	0.15
	18.0	0.12
重制御	23.5	0.10

3. 実験結果

実験によって得られた結果の内から、変位制御18cmのケースについて、上部構造の応答加速度、免震装置の変位を図4～図5に、最大変位時の免震装置の変形状態を写真-1に示す。免震装置は水平方向に片振幅18cmで定常振動し、その際の鉛直変位の最大値は、3.9cmである。中心の回転体は、最大で12～13°の傾きを生じる。

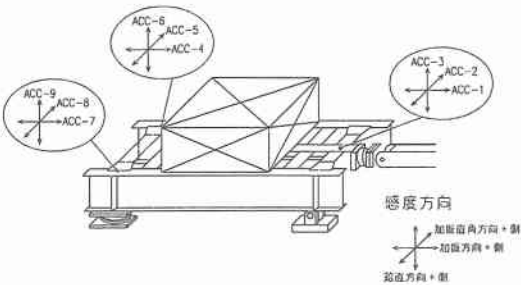
荷重制御で加振して、免震支承が最初に構成しているリンク機構を逸脱する変位に至ったケースの結果を図-5に示す。図-2の左方向へ20.0cm変位した後に、反対方向へ23.5cmまで変位し、上脊が回転体を乗り越えるような状態で外れたケースである。その際に回転体は下脊の曲面内部に留まり、外部まで跳び出すことはなかった。その際の鉛直変位は4.5cm程度であった。

4. 考察

4.1 幾何学的な検討

鋼製免震支承の幾何学的な挙動機構は、図-6に示す R_1 点と R_2 点を支点とする仮想のリンク機構として理解できる。また、水平方向の復元力 H は鉛直力 V に比例し、回転体の曲率半径 R 、回転体の厚さ t 、摩擦係数 μ の関数として復元力特性理論式²⁾から求められる。これらを元に免震支承の幾何学的な限界変位について次に示す3種類の限界状態を検討した。

加速度計取付位置図



変位計・荷重計取付位置図

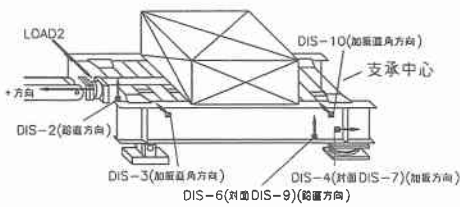


図-3 計測項目と位置図

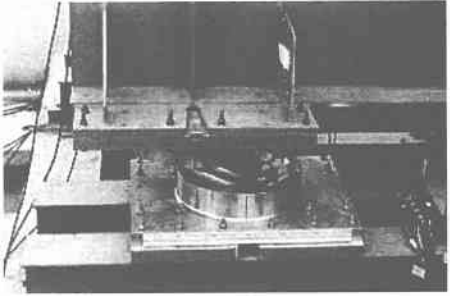


写真-1 免震支承の変形状態

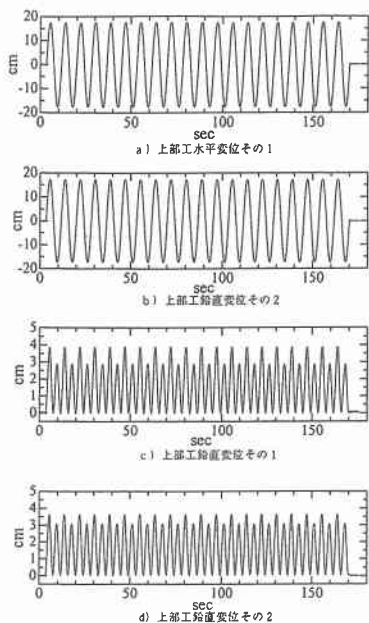


図-4 実験値 変位制御 (最大変位 18cm)

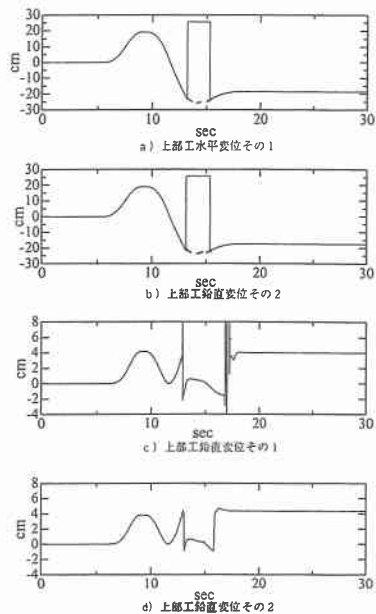


図-5 実験値 荷重制御 (最大変位 23.5cm)

- 1) 形状が成立する限界 (TYPE-A) : 回転体端部と上下沓端部が一致する状態
- 2) リンクが成立する限界 (TYPE-B) : 仮想のリンクと上下沓端部が一致する状態
- 3) 力の線が成立する限界 (TYPE-C) : 力の線と上下沓端部が一致する状態

上記 1) は支承の形状が成立する限界であり, 2) は仮想のリンク機構が成立する限界である. 3) で力の線とは, 鉛直力 V , および復元力特性理論式²⁾ から求められる水平力 H の合力ベクトルである. 支承は回転体の中心に対して点対称であることから, 合力ベクトルは回転体の中心を通るとした. リンクのすべり面有効幅 W および摩擦係数 μ をパラメータとした検討結果を表-2 に示す. すべり面有効幅 W が 12.0cm としたのはすべり面に貼り付けたテフロンの最外縁の距離であり, 15.4cm としたのはテフロンの最外縁より外にある鋼製の曲面最外縁の距離である. 摩擦係数 μ を 0.1 としたのは文献 1) の実験値を適用したものであり, 摩擦係数 μ を 0 としたのは大変位時にすべり面の面圧が変化して一時

的に摩擦が切れる状態を想定したものである. 実験から得られた限界変位と計算値が比較的近い値を示すのは TYPE-C の摩擦係数 μ を 0 としたケースの変位振巾 $U=17.1\text{cm}$ である.

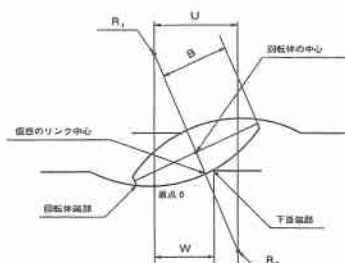


図-6 免震支承の挙動機構

表-2 免震支承の幾何学的限界変位

曲率半径 R (cm)	回転厚さ t (cm)	B (cm)	W (cm)	摩擦係数 μ	TYPE-A U (cm)	TYPE-B U (cm)	TYPE-C U (cm)
25	15	15.4	12.0	0.10	32.1	16.8	13.6
			15.4		34.0	21.6	15.1
			12.0	0.00	—	—	15.7
			15.4		—	—	17.1

4.2 個別要素法解析による検討

免震支承が構成しているリンク機構を逸脱する変位に至ったケースを個別要素法によって解析した結果を図-7～図-8に示す。図-7は上部構造物の変位時刻歴を示しており、図-8 a)は左側最大変位時(19.1cm)の変形状態、図-8 b)は右側最大変位時(23.45cm)の変形状態を示している。図-8 a)で上下沓すべり面と回転体の接触が十分に確保されているのに対して、図-8 b)では上沓が点接触となり、限界状態に至ったことを示している。解析に用いた個別要素法では構造物を剛体要素に分割し、個々の要素重心における力の釣り合いと運動方程式にしたがって系全体の状態を微小時間ごとに解く。要素間の連続性や接触による変形、および摩擦特性はVoigtモデルで表現される。要素間の接触によって作用する力は、要素頂点と辺の相対的な変位量から法線およびせん断方向の2成分に分解して計算される。シミュレーション解析では、上下構造物部分とリンク支承、および回転体を剛体要素に分割して構成したモデルの端部に実験時の変位記録を強制変位として与えた。接触判定条件として5mmまでの要素間の重なりを設定している。上下沓と回転体の間の摩擦係数は文献1)の実験値を適用して $\mu=0.1$ とした。

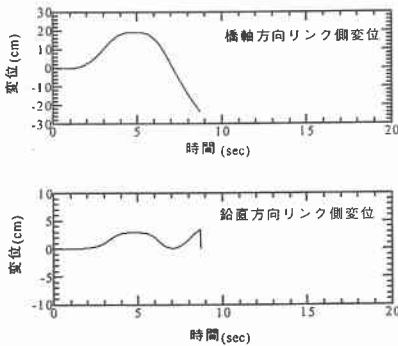
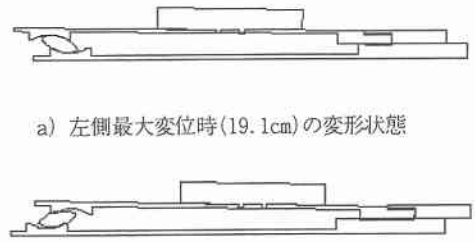
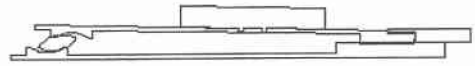


図-7 解析値 荷重制御 (最大変位 23.45cm)



a) 左側最大変位時(19.1cm)の変形状態



b) 右側最大変位時(23.45cm)の変形状態

図-8 変形モード

5. まとめ

実験の結果わかったことは次の通りである。

- ①本実験で用いた形状寸法の免震支承限界水平変位は、20～23.5cm程度である。また、免震支承が限界変位に達した後も、回転体が上下沓最外縁を著しく跳び越すことはなかった。
- ②免震支承の限界変位は、幾何学的計算式によって推定することが可能であり、本実験の結果では、回転体が上下沓最外縁を跳び越すまでには余裕を有していることが確認された。この計算式によって求めた限界変位を元に変位制限装置の遊間を設定することができる。
- ③免震支承の終局限界状態における変形モードを個別要素法解析によって再現することができた。このことから、個別要素法解析は支承の終局限界状態を照査する方法として有効であると考えられる。

参考文献

- 1) 林亜紀夫, 三田村浩, 別所俊彦, 佐藤昌志: ランダム波形入力時の鋼製免震支承の動的特性, 土木学会北海道支部論文報告集 第55号(A), pp.270～275, 1999.2.
- 2) 別所俊彦, 小山田欣裕, 佐藤昌志, 谷本俊充: 幾何学特性を利用した免震装置の開発, 土木学会第51回年次学術講演会講演概要集 第1部(B), pp.114～115, 1996.9.