

摩擦機構を有する免震構造の実用的な解析法とモデル化に関する一考察

—その2 5階建て免震構造モデルの解析—

正会員 山崎 久雄*¹
同 ○ 米谷 壮央*²
同 中郡 一雄*³
同 中村 秀司*⁴

免震構造 HHT- α 法
摩擦機構 摩擦機構
モデル化 モデル化
地震応答解析

1. はじめに

前報¹⁾では、摩擦固着時の特性を十分大きな剛性で模擬した単体モデルの応答解析では、その積分方法に HHT- α 法²⁾ ($\alpha=1/3$) を用いると、Newmark- β 法 ($\beta=1/4$) に対し粗い時間間隔 Δt で解析精度を保ちつつ不要な高振動モードが抑制できること、また十分大きな粘性で模擬すると Newmark- β 法でもやや粗い Δt で良好な結果が得られることを示した。

本報では、球面すべり支承³⁾を用いた5階建て免震構造モデルに対し Newmark- β 法および HHT- α 法による応答解析を行い、HHT- α 法での不要な高振動モードの抑制効果の確認や応答性状の比較を行う。

2. 解析モデル

解析モデルの緒元を表 2.1 に示す。免震層は球面すべり支承によって構成され、摩擦係数は $\mu=0.047$ とした。免震周期 $T=6s$ は球面半径 $R=450cm$ より、2次剛性 $K_2=67kN/cm$ は総重量 $\Sigma W=60,000kN$ (総質量 $\Sigma M=61.2kN \cdot s^2/cm$) より決まる。

前報に倣い摩擦固着時の周期を $T_0=0.01s$ とし、その特性を剛性で評価するとバネ定数は $K_0=\omega_0^2 M=2.42e7kN/cm$ 、粘性で評価すると減衰係数は $C_0=\omega_0 M=3.85e4kN \cdot s/cm$ であり、いずれも摩擦力 $Fr=2,820kN$ において接線係数が 0.0 となる。

入力地震波は ELCENTRO NS および TAFT EW (ともに最大速度=50cm/s) で、上部構造の内部粘性減衰は1次の減衰定数を $h_1=2\%$ とし高次は振動数に比例するとした。

3. 免震層の加速度応答

ELCENTRO NS および TAFT EW (最大速度=50cm/s) に対する加速度応答を比較する。それぞれ固着時を剛性で模擬したモデルの Newmark- β 法および HHT- α 法、さらに固着時を粘性で模擬した Newmark- β 法による結果も示す。いずれも応答の状況によらず、 $\Delta t=0.005s, 0.001s$ での結果を示す。

3.1. EL CENTRO NS に対する応答

図 3.1.1 は、固着時を剛性で模擬した Newmark- β 法、図 3.1.2 は同じく HHT- α 法による加速度応答である。 $\Delta t=0.005s$ ではいずれの積分方法でも不要な高振動モードが激しく励起しているが、 $\Delta t=0.001s$ では HHT- α 法が良好な結果となった。

表 2.1 解析モデル

階	階高 (cm)	重量 (kN)	剛性 (kN/cm)	免震層の緒元
5	450	2,000	2,000	建物重量 $\Sigma W=60,000(kN)$ 球面半径 $R=450(cm)$ 2次剛性 $K_2=67(kN/cm)$ 摩擦係数 $\mu=0.047$ 摩擦力 $Fr=2,820(kN)$ 固着時の固有周期 $T_0=0.01(s)$
4	450	6,000	5,000	
3	450	10,000	7,000	
2	450	10,000	7,000	
1	450	12,000	10,000	
Iso	-	20,000	(右欄)	

図 3.1.3 は固着時を粘性で模擬した Newmark- β 法による加速度応答である。 $\Delta t=0.005s$ では不要な高振動モードが生じているが、 $\Delta t=0.001s$ では良好な結果となった。

3.2. TAFT EW に対する応答

図 3.2.1 は、固着時を剛性で模擬した Newmark- β 法、図 3.2.2 は HHT- α 法による。考察は EL CENTRO NS と同じである。

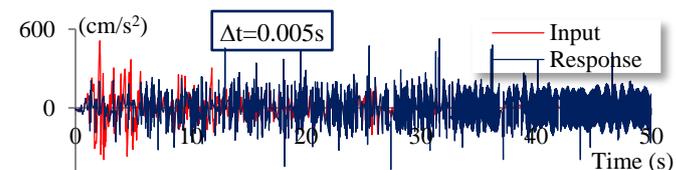


図 3.1.1 剛性モデル・Newmark- β 法 (ELCENTRO NS)

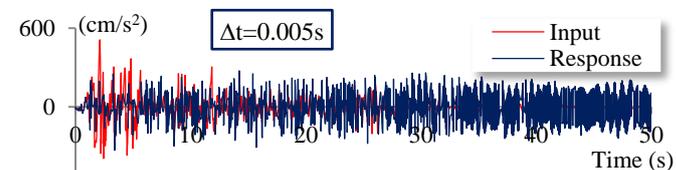


図 3.1.2 剛性モデル・HHT- α 法 (ELCENTRO NS)

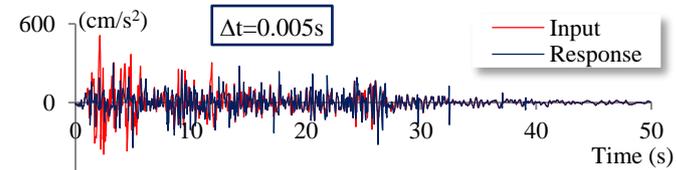


図 3.1.3 粘性モデル・Newmark- β 法 (ELCENTRO NS)

図 3.2.3 は固着時を粘性で模擬した Newmark- β 法による結果で、やはり考察は EL CENTRO NS と同じである。

2 つの入力地震波の結果では、摩擦固着時を剛性で模擬し Newmark- β 法を用いた場合は $\Delta t=0.001s$ よりもさらに Δt を細かくする必要があり、HHT- α 法または固着時を粘性で模擬すると少なくとも $\Delta t=0.001s$ で十分良好な結果となった。

4. 最大応答および免震層の荷重-変位関係

図 4.1 は最大加速度、図 4.2 は最大変位である。凡例記号は、B=剛性,D=粘性, NM=Newmark- β 法,HHT=HHT- α 法, 数値は Δt を表す。不要な高振動モードが現れているケースでは当然に免震層の最大加速度を大きく評価してしまう。また上部構造の最大加速度や最大変位については顕著な差異はない。

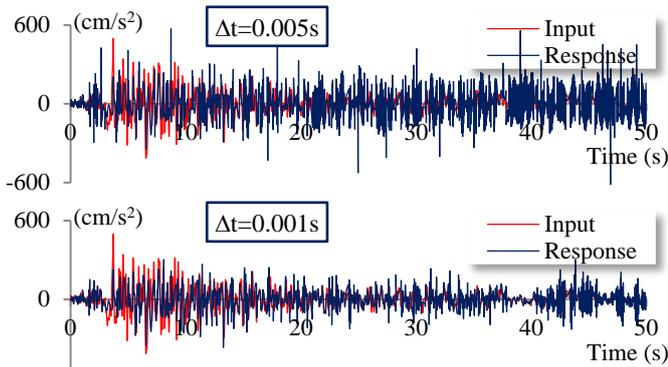


図 3.2.1 剛性モデル・Newmark- β 法 (TAFT EW)

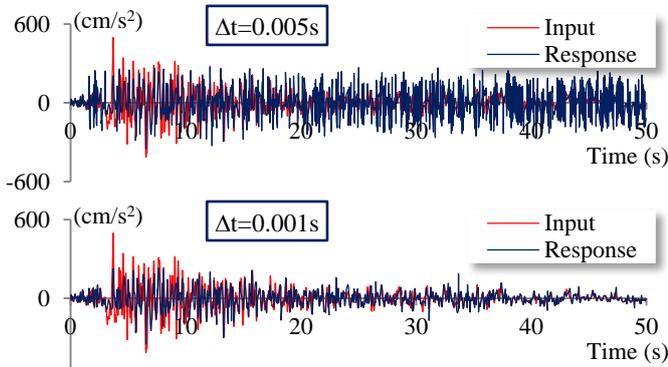


図 3.2.2 剛性モデル・HHT- α 法 (TAFT EW)

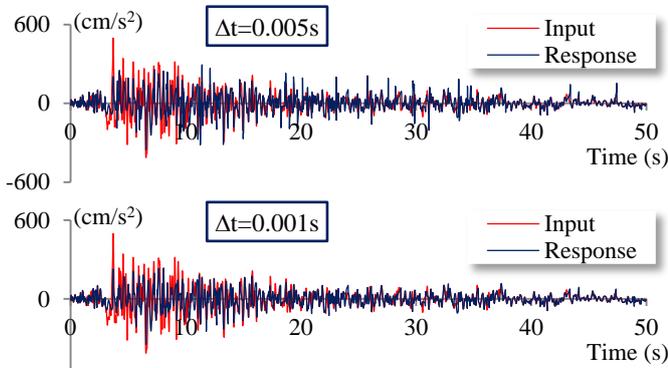


図 3.2.3 粘性モデル・Newmark- β 法 (TAFT EW)

図 4.3 は固着時を剛性で模擬した免震層の荷重-変位関係で、不要な高振動モードが最も現れた Newmark- β 法, $\Delta t=0.005s$ の場合と、良好な結果であった HHT- α 法, $\Delta t=0.001s$ の場合の結果である。荷重-変位関係に顕著な差異はなかった。

5. まとめ

摩擦機構を有するモデルを解析する場合において不要な高振動モードを抑制するのに、摩擦機構を剛性モデルとする場合は積分方法に HHT- α 法を用いる、あるいは摩擦機構を粘性モデルとすることの有効性を示唆する結果を得た。

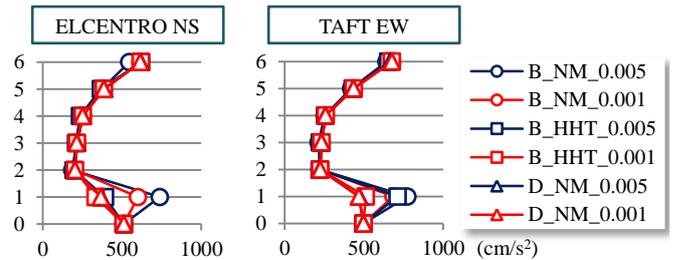


図 4.1 最大加速度

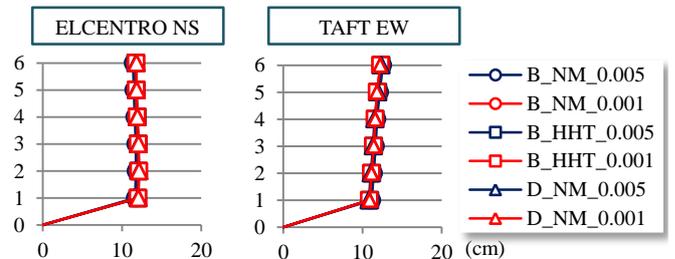


図 4.2 最大変位

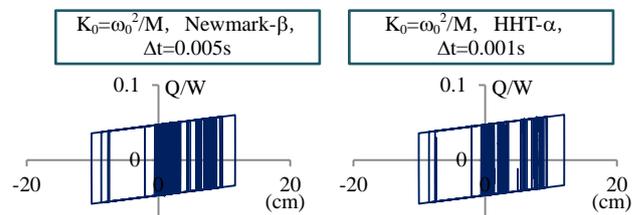


図 4.3 荷重-変位関係 (ELCENTRO NS)

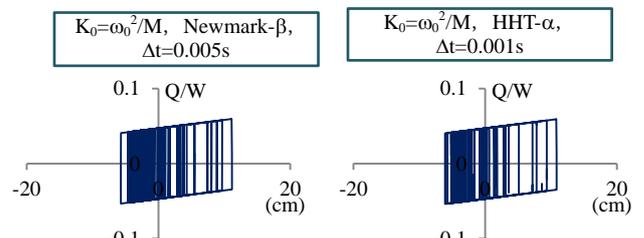


図 4.4 荷重-変位関係 (TAFT EW)

参考文献

- 1) 山崎久雄, 大原和之, : 摩擦機構を有する免震構造の実用的な解析法とモデル化に関する一考察 (その 1), 日本建築学会大会学術講演梗概集 (関東), 2015.9
- 2) Hans M.Hilber, Thomas J.R.Hughes and Robert L.Taylor : Improved Numerical Dissipation for Time Integration Algorithms in Structural Dynamics, Earthquake Engineering and Structural Dynamics, Vol.5, 1977
- 3) 中村秀司, 西本晃治, 富本淳, 市川康 : 高面圧球面すべり支承 (SSB) の開発, 日本建築学会大会学術講演梗概集 (近畿), 2014.9

*1 ユニオンシステム(株)
*2 (株)建築構造研究所
*3 (有) NCU 一級建築士事務所
*4 新日鉄住金エンジニアリング(株)

*1 UNION SYSTEM INC
*2 Building Structure Institute
*3 NCU Structural Design, Inc
*4 Nippon Steel & Sumikin Engineering Co.,Ltd