

論文 / 著書情報
Article / Book Information

論題(和文)	エネルギーの釣合に基づく免震建物擁壁衝突時の応答予測および応答制御に関する研究 (その2) 上部構造を弾性1質点系とした場合の基礎的検討
Title(English)	Study on Response Prediction and Response Control Based on Energy Balancing in Collision to Retaining Wall of Seismically Isolated Buildings Part2: Case of superstructure as elastic one-mass system
著者(和文)	犬伏徹志, 佐藤大樹
Authors(English)	Tetsushi Inubushi, Daiki Sato
出典(和文)	日本建築学会大会学術講演梗概集, 構造 , , pp. 925-926
Citation(English)	, 構造 , , pp. 925-926
発行日 / Pub. date	2025, 9
権利情報	一般社団法人 日本建築学会

エネルギーの釣合に基づく免震建物擁壁衝突時の応答予測および応答制御に関する研究
(その2) 上部構造を弾性1質点系とした場合の基礎的検討

正会員 〇大伏 徹志*
同 佐藤 大樹**

免震構造 擁壁衝突 エネルギーの釣合
応答予測 応答制御

1. はじめに

擁壁衝突時の免震建物上部構造の応答予測法および応答制御法を構築することを目的とし、本報その1では擁壁衝突時に免震建物に加わる衝突エネルギー評価式と、それに用いる力積推定式を提案した。また、各設計パラメータが力積におよぼす影響についても明らかにした。

本報その2では、その1で示した衝突エネルギー評価式を用いた上部構造の最大応答評価法とその予測精度について検討を行う。さらに、応答制御に粘性系ダンパーを用いる場合に必要な減衰係数の算定法と応答制御精度について検討を行う。

2. 上部構造への入力エネルギー

上部構造が剛体の場合は免震建物への入力エネルギーは衝突エネルギー W_{col} と等しい。一方、上部構造が剛体でない場合は、衝突直前における上部構造の運動エネルギーの総和から等価な衝突速度 v_0' を求め(式(1))、 v_0' を用いて評価した衝突エネルギーを評価する。

$$\sum_{i=0}^N \frac{1}{2} m_i \cdot v_i^2 = \frac{1}{2} M v_0'^2 \rightarrow v_0' = \sqrt{\sum_{i=0}^N \left(\frac{m_i}{M}\right) \cdot v_i^2} \quad (1)$$

ここで、 m_i, v_i は免震建物 i 層($i=0 \sim N, i=0$ は免震層)の質量および速度、 M は免震建物総質量である。さらに、衝突直前の上部構造のひずみエネルギーの総和を加えた値を上部構造への入力エネルギー E_{sup} と考える。ここで、擁壁衝突により生じる時刻歴衝突力は力積に着目すると正弦波の半波長に近似できる。そこで、擁壁との接触時間を T_c 、上部構造固有周期を T_f とすると、エネルギースペクトル($T - V_E$ 関係)^{例えば1)}を参考に、式(2)のように E_{sup} を定義する。

$$E_{sup} = \sum_{i=1}^N \frac{k_i \delta_i^2}{2} - \frac{I}{2} \left(2v_0' + \frac{I}{M} \right) \cdot \frac{T_f}{2T_c}, \frac{T_f}{2T_c} \leq 1 \quad (2a)$$

$$E_{sup} = \sum_{i=1}^N \frac{k_i \delta_i^2}{2} - \frac{I}{2} \left(2v_0' + \frac{I}{M} \right) \cdot \frac{T_f}{2T_c}, \frac{T_f}{2T_c} > 1 \quad (2b)$$

3. 上部構造の最大応答予測法

上部構造を弾性1質点系とした場合、擁壁衝突時の上部構造のエネルギーの釣合式は式(3)~式(5)となる(図1)。

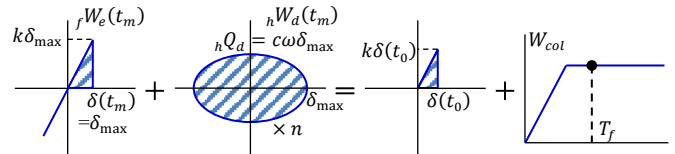


図1 擁壁衝突時のエネルギーの釣合の概念

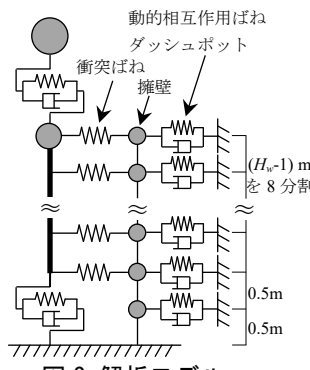


図2 解析モデル

表1 解析諸元とパラメータ

上部構造 T_f [s]	0.5, 1, 2
上部構造 h_f [%]	2
免震層 T_{ISO} [s]	4
免震層 h_{ISO} [%]	20
クリアランス [m]	0.5
擁壁高さ H_w [m]	2, 3, 5, 8
擁壁厚さ t_w [m]	$H_w/10, H_w/10 \times 1.5$
擁壁配筋 p_r [%]	0.2
鉄筋 σ_s [N/mm ²]	379.5
ダッシュポット 減衰係数比	地盤弾性時の0, 1倍
入力倍率	1.25, 1.5, 1.75倍

$$fW_e(t_m) + hW_d(t_1) = E_{sup} \quad (3)$$

$$fW_e(t_m) = \frac{1}{2} k \delta_{max}^2 \quad (4)$$

$$hW_d(t_1) = n \cdot \pi \cdot hQ_{max} \cdot \delta_{max} = n \cdot \pi \cdot c \cdot \omega \cdot \delta_{max}^2 \quad (5)$$

ここで、 $fW_e(t_m)$ は最大応答発生時刻での弾性振動エネルギー、 $hW_d(t_1)$ は衝突終了時での減衰エネルギー、 k は水平剛性、 δ_{max} は最大変位、 n は等価繰返し数、 hQ_{max} は最大減衰力、 c は減衰要素の減衰係数、 ω は固有円振動数である。式(3)を δ_{max} について解くと最大応答変位の予測式(式(6))が得られる。

$$\delta_{max} = \sqrt{\frac{2E_{sup}}{k + 2n \cdot \pi \cdot c \cdot \omega}} \quad (6)$$

予測値と時刻歴応答解析を比較する。解析モデルを図2に、解析諸元を表1に示す。入力波にはリッカー波(周期4秒、最大加速度1.0m/s²)を用いる。衝突ばね、動的相互作用ばね、ダッシュポットの力学特性は、著者が提案している簡易評価法²⁾を用いて算定する。 n の評価には式(7)を用い、 δ_{max} および $hW_d(t_1)$ には解析値を用いた。

$$n = \frac{hW_d}{\pi \cdot c \cdot \omega \cdot \delta_{max}^2} \quad (7)$$

最大応答変位の予測精度を図3に示す。いずれの入力倍率においても擁壁高さ $H_w=2\text{m}$ では予測値/解析値のばらつきが大きく、入力倍率が増加するほどばらつきの程度が大きい。これは擁壁部が大きく塑性化し、挙動が複雑になっていることが原因と考えられる。一方、 H_w が大きい場合（擁壁厚さ t_w も大きくなる）も同様の傾向であるが、擁壁部耐力の増大により非線形化の程度が小さくなるため、 $H_w=2\text{m}$ の場合に比べてばらつきは小さい。また、全体的には予測値/解析値が1を下回りやや危険側の評価となっている。特に $H_w=8\text{m}$ では予測値/解析値の平均値が約0.75になっている。しかしながら、2章で示した衝突エネルギーの評価方法および簡便なエネルギーの釣合式を用いることで、最大応答変位を概ね予測できると考えられる。

4. 上部構造最大応答制御のための必要減衰係数算定法

式(4),(5)において最大変位 δ_{\max} を目標変位 δ_t に置き換え、式(3)を減衰係数 c について解くと応答制御に必要な減衰係数の算定式(式(8))が得られる。

$$c = \frac{1}{n \cdot \pi \cdot \omega} \left(\frac{E_{\text{sup}}}{\delta_t^2} - \frac{k}{2n} \right) \quad (8)$$

本章では、3章の時刻歴応答解析で得られた最大応答変位 δ_{\max} に対して、 $\delta_t = 0.8\delta_{\max}$ (応答低減率 20%) および $\delta_t = 0.9\delta_{\max}$ (応答低減率 10%) の2ケースについて考える。まず式(8)から応答制御に必要な減衰係数を算定し、それを上部構造に与えた時刻歴応答解析により最大応答変位を求める。そして、目標値/解析値を算定し減衰係数算定法の精度を確認する。なお、 n は3章と同じ値を用いる。

最大応答変位の制御精度を図4に示す。なお、減衰係数が負の値で算定されたケースもあったが、それは除外している。応答低減率10%に比べて応答低減率20%の方がばらつきは大きく、また入力倍率が増加するほどばらつきが大きくなる傾向が確認できる。しかし、目標値/解析値は多くが0.8~1.2の範囲内に分布しており、比較的精度良く必要減衰係数を算定できていると思われる。

5. まとめ

本報その2では、エネルギーの釣合に基づく方法により、擁壁衝突時の免震建物上部構造の最大応答予測法および応答制御に必要な減衰係数算定法について示し、上部構造を弾性1質点系とした場合のそれぞれの精度について検討を行った。その結果、全体的にやや過小評価となるものの、最大応答変位は概ね予測可能であった。また、衝突応答の制御精度は概ね±20%であった。

謝辞

本研究の一部は東京科学大学総合研究院フロンティア材料研究所共同利用研究を利用して得られたものです。また、本研究にあたり

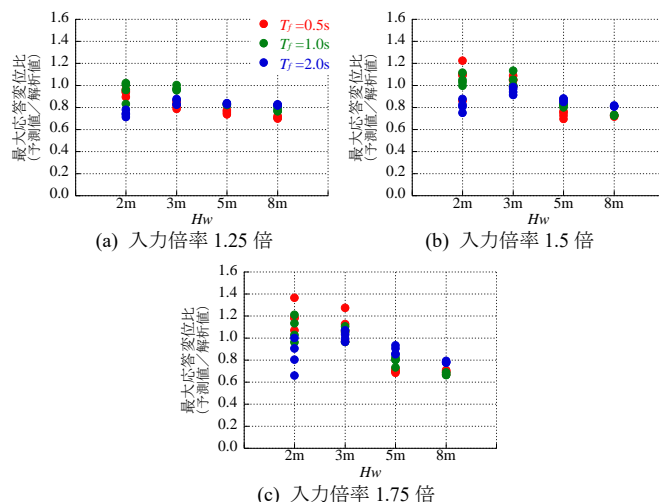


図3 最大応答変位の応答予測精度

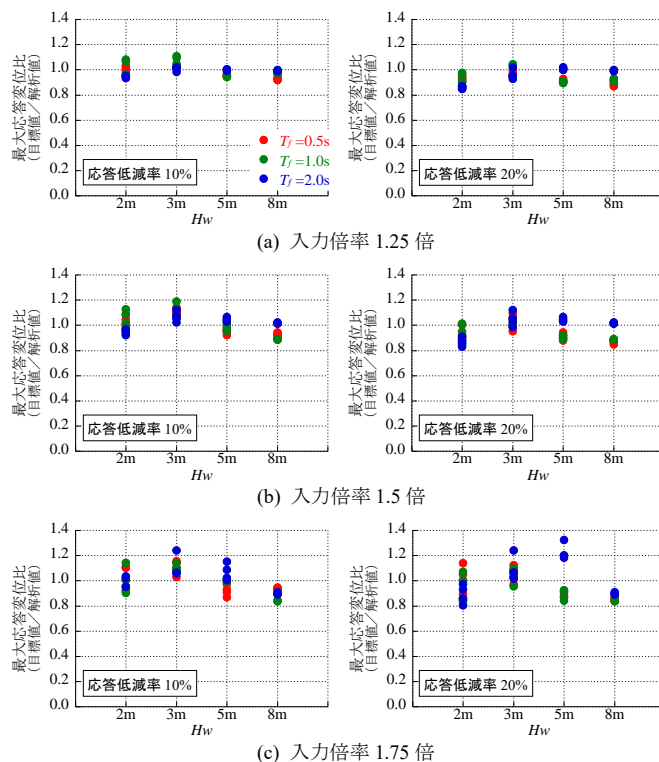


図4 最大応答変位の応答制御精度

近畿大学卒業生の松本奏音君の協力を得ました。ここに記して感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 日本建築センター：エネルギーの釣合に基づく耐震計算法の技術基準解説及び計算例とその解説，2018
- 2) 犬伏徹志，宮本裕司，荏本孝久，山下忠道：擁壁が弾塑性特性を有する場合の簡易評価法への適用—免震建物の擁壁衝突時における擁壁部水平抵抗の簡易評価に関する研究 その2—，日本建築学会構造系論文集，第81巻，第730号，pp.1993-2003，2016

*近畿大学建築学部建築学科 准教授・博士（工学）

**東京科学大学総合研究院 准教授・博士（工学）

*Associate Professor, Kindai Univ., Dr. Eng.

** Associate Professor, Institute of Science Tokyo. Dr. Eng.