

**粘性ダンパーの破損による建物の応答値の変化
粘性減衰の消失による応答の増大について**
Change in response value of building due to breakage of viscous damper
On the response increase due to the loss of viscous damping

○5154 高木萌乃夏², 古橋剛¹, 有川奈那³
*Honoka Takagi², Takeshi Huruhashi¹, Nana Arikawa³

Abstract: The vibration control damping device developed in recent years may exceed the input energy assumed at the time of designing. The study of Masaki Tsuji's team argued that if the brace breaks before the time when the building's response is maximized, the maximum response will be larger than when the damper is not installed. we would like to clarify the cause in this paper.

1. 研究背景

近年地震による被害を少なくするため、入力エネルギーを吸収し建物の応答を抑制するため制振装置が開発されたが、近年の地震では地震の長時間化や長周期化など想定され、制振装置の設計時の想定していた入力エネルギーを上回る恐れがある。

また辻聖晃らの研究により、オイルダンパーの故障時の性能について、建物応答が最大となる時刻以前にブレースが破断するとダンパーを設置していないときよりも最大応答が大きくなることが論じられた。本論ではその原因を明らかにしたい。

2. 研究過程

まず、既往の研究のモデルはオイルダンパーとブレースに質点を設けた 3 自由度の解析モデルである。

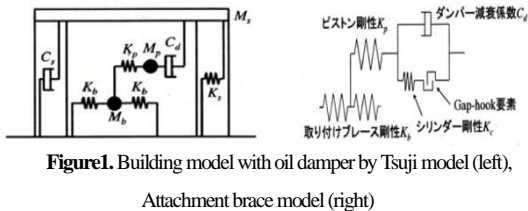


Figure1. Building model with oil damper by Tsuji model (left), Attachment brace model (right)

このモデルでは、節点を持つ微小なエネルギーがいくつも存在し、それらを合わせることである程度のエネルギーとなり応答に影響していると考えられる。

$$m\Delta\ddot{x} + c\Delta\dot{x} + k\Delta x = -m\Delta\ddot{y}$$

通常非線形運動方程式の数値積分で求めるが、減衰力による不釣り合い力は影響が大きくなると考えられる。

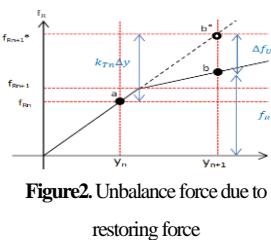


Figure2. Unbalance force due to restoring force

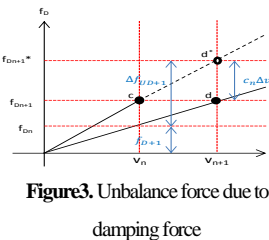


Figure3. Unbalance force due to damping force

$$m\Delta\ddot{x} + c\Delta\dot{x} + k\Delta x = -m\Delta\ddot{y} + \Delta f$$

\$\Delta f\$ を式に加えることで、減衰力における不釣り合い等の原因を取り除くことができる。

3. 解析モデルと整合性の確認

検討モデルは、1 質点 1 自由度系モデルで、質量は 1ton, 高さ 3m とする。

今回検討するにあたって、整合性を確かめる。入力地震動は

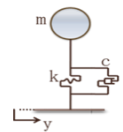


Figure4. Analysis model

El Centro 1940 NS, 構造減衰 1%, 付加減衰 20%, 固有周期は 1.3s を入力し得られた解析結果である。

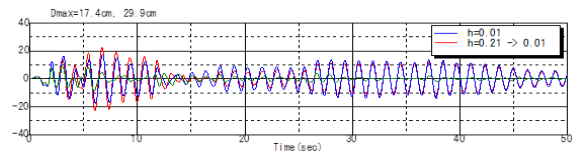


Figure5. Analysis result

減衰 \$h=1\%\$ のモデル(青)の最大応答値は 27.7cm だが、減衰 \$h=21\%\$ から減衰 \$h=1\%\$ へ変化するモデル(赤)の最大応答値は 32.0cm となった。よって、ダンパーが破損すると、建物の応答値が悪くなるのが分かる。

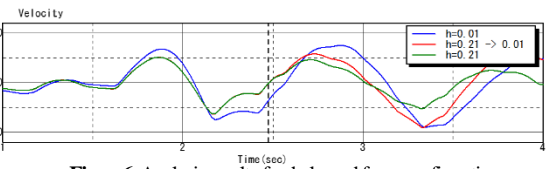


Figure6. Analysis result of unbalanced force confirmation

また Fig.6 では、減衰 \$h=21\%\$ のモデルと減衰 \$h=21\%\$ から減衰 \$h=1\%\$ へ変化するモデルが、\$T=2.475s\$ のとき同時に速度が 0 になる。従って、この時刻で減衰を切り替えても、応答上不釣り合いな力・力の不連続・衝撃力は生じない。しかし、その時刻以降で減衰 \$h=1\%\$ モデルよりも減衰 \$h=21\%\$ から減衰 \$h=1\%\$ へ変化するモデルの方が、応答値が大きくなっているため、その原因は減衰の切り替えによる衝撃力の発生や解析上の不釣り合い力の処理によるものでないことが分かる。

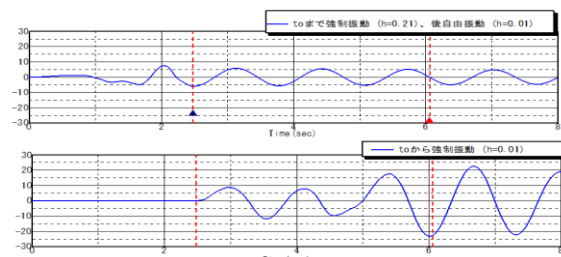


Figure7. Analysis result of integrity confirmation

さらに Fig.7 より、切り替え時間の前後で分けみると、地震動を T=2.480s で打ち切り以降を 0 として系を自由振動させたモデルと切り替え時間以降強制振動させたモデルの応答を足し合わせると、Fig.8 のグラフになる。このグラフと切り替え時間に高減衰から低減衰に切り替わる 4 つ目のグラフを比較すると、T=6.06s のとき 3 つ目と 4 つ目のグラフでは -22.8cm と一致した。これらのことから解析方法の整合性を確認することができる。

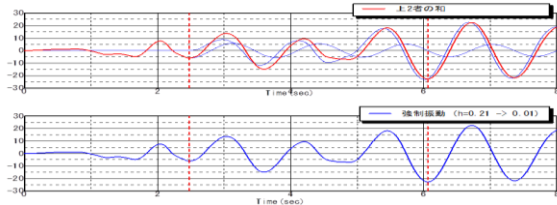


Figure8. Analysis result of integrity confirmation

4. 解析内容

4-1. 検討モデルと入力地震動

検討モデルは同じく 1 質点 1 自由度の解析モデルを用いる。また本研究では、入力地震動として TAFT 1952 EW, El Centro 1940 NS, JMA-KOBE 1955 NS, BCJ-L2, Hachinohe 1968 NS, 柏崎 2007 NS と三の丸 NS の 7 波を用い、時刻歴応答解析結果で研究を行う。

Table1. Study case

		入力地震動						
		三の丸	BCJ	El Centro	八戸	TAFT	柏崎	KOBE
固有周期	0.5s	A-1	B-1	C-1	D-1	E-1	F-1	G-1
	1.0s	A-2	B-2	C-2	D-2	E-2	F-2	G-2
	1.3s	A-3	B-3	C-3	D-3	E-3	F-3	G-3
	1.3s	A-3	B-3	C-3	D-3	E-3	F-3	G-3
	2.0s	A-4	B-4	C-4	D-4	E-4	F-4	G-4

4-2. 解析結果

A-1~G-4 の解析結果をここに示す。ダンパーの無くなる切り替え時間については、最大応答が悪くなる時間を採用する。C, E では、ダンパーがもともと無い場合(赤)に比べ切り替え時間にダンパーがなくなる場合(青)の方が、応答変位は大きくなり、また B, C では最大応答値で部分的に大きくなる傾向がある。

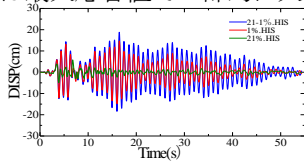


Figure9. Analysis result of model E

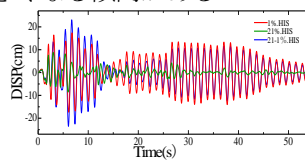


Figure10. Analysis result of model C

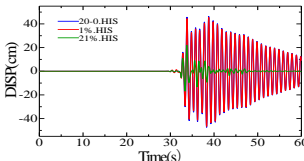


Figure11. Analysis result of model F

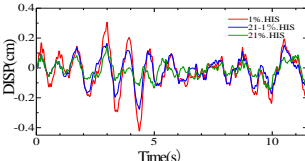


Figure12. Analysis result of model G

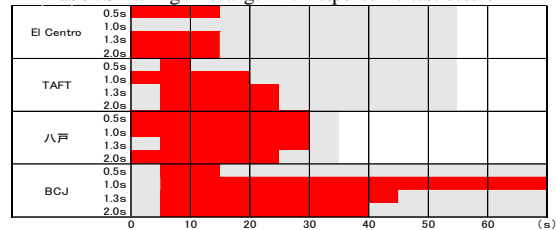
F の結果では、ダンパーが元々無い場合に比べ切り

替え時間にダンパーがなくなる場合の方小さくなり、また、G ではほぼ一致した。以上より、4 つに分類されることが分かった。また B~E の高減衰から低減衰に切り替わるモデルが元々ダンパーが無いモデルよりも応答が悪くなる切り替え時間の範囲を示す。

4-3. 地震動の比較

Tab.1 より、応答増加が起こる地震波で切り替え時間の範囲を示す。灰色の範囲はその地震波の時間であり、赤色は応答が悪くなることが起こる切り替え時間範囲を示す。八戸, BCJ では、全体の時間に対する応答増加が起こる切り替え時間の割合が大きく、El Centro, TAFT ではその割合が小さいことがわかる。

Table2. Switching time range when response increase occurs



また、最大増加率は最大応答値での増加率と最大応答値以外の最大増加率の 2 点測定する。

Table3. Increase rate of response displacement

	固有周期 (s)	入力地震動							
		BCJ		El Centro		八戸		TAFT	
		最大応答増加率	最大増加率	最大応答増加率	最大増加率	最大応答増加率	最大増加率	最大応答増加率	最大増加率
0.5s	0.5s	35.40%		36.60%		12.00%	69.90%		13.40%
	1.0s	11.60%	39.20%			45.10%	17.80%	28.50%	93.60%
	1.3s	12.50%		36.60%		4.80%	11.70%		21.00%
	2.0s			36.60%		7.50%	18.40%		103.70%

Tab.2 より、B, C では割合が 10~40%程度であり、このとき建物が大きな損傷を受けることが懸念される。また、D, E は、最大応答以降応答が悪化し 5~100%増加するため、最大応答の際建物が保てても以降の総合的な破壊エネルギーで崩壊する危険性がある。

5. まとめ

本研究で得られた知見について以下に示す。

- ① 高減衰から低減衰に変化するモデルは、ダンパーがないモデルよりも応答が悪くなり、不釣り合い力によるものでないことを明らかにした。
- ② 応答が悪くなる地震波として、指向性パルス波では見られず、標準波ではすべて確認できた。
- ③ 応答が悪くなる種類は 2 種類で、最大応答値以降全範囲で応答が悪くなる標準波では、エネルギー的に建物へ影響し崩壊する危険性がある。

6. 参考文献

[1] 辻聖晃ら：「オイルダンパー付き建物におけるダンパー本体や取り付け部材の破損が地震時応答に与える影響」