

B22

制振手法による既存構造物の耐震性能向上 -制振構造に用いる履歴ダンパーの限界性能-

Improvement of Seismic Performance of Existing Structures Using Response Control Method
 - Ultimate Performance of Hysteresis Rod Damper for Response Control Structures -

山崎 真司 (教授) 見波 進 (助手) 田原 健一 (博士課程) 柳沼 大樹 (修士課程)
 Shinji YAMAZAKI (Prof.), Susumu MINAMI (Res. Assoc.)
 Kenichi TAHARA (Dr. Course) and Kenichi TAHARA (Master Course)

ABSTRACT

Hysteresis dampers are very suitable for the energy-absorbing devices of reinforcing using response control method. But, the relationship between the energy absorption capacity of the damper and earthquake response of the structures with the damper is not necessarily clarified. Thus, this paper aims to reveal the characteristics of the ultimate capacity of the damper of a response control structure, by comparing the results of earthquake response analyses to the results of test.

キーワード: 履歴ダンパー, 限界性能, 地震応答解析 keywords: hysteresis damper, ultimate performance, earthquake response analysis

1 目的

履歴ダンパーは制振構造に用いるエネルギー吸収装置として広く用いられている。機械式のダンパーと比較して装置が簡便、安価であり、また、樹脂系の粘弾性ダンパーと比較して信頼性が高く、制振補強に用いるダンパーに適している。

そのエネルギー吸収能力は破断で限界付けられるが、地震応答との関係は必ずしも明らかではない。そこで、地震応答解析をダンパー実験と関連づけて整理することで、制振構造のダンパーの限界性能を考察する。

2 実験

2.1 実験概要

試験片は図 1 に示す様な片持ち梁形式の丸棒であり、SS400 鋼から切削加工で作成する。試験部分と固定部分からなり、固定端側の梁端部半径 R の異なる 2 種類の試験片を用いる。表 2 に実験一覧を示す。荷重パターンは定振幅荷重と、正負交番漸増繰返し荷重とする。

2.2 実験結果

繰返し応力下の鋼材の荷重-変形関係は、スケルトン部とバウシinger部とに分解できる。既往の研究¹⁾の方法に倣い、実験結果から得られた荷重変形関係を基にスケルトン部とバウシinger部とに分解し、以下の様に整理する。スケルトン曲線は正側負側で個別に更新する。

累積塑性変形倍率, 塑性率を以下で表わす。

$$r\eta = uW_P / (Q_Y \cdot \delta_Y) \quad (1) \quad B\eta = uW_B / (Q_Y \cdot \delta_Y) \quad (2)$$

$$s\eta = uW_S / (Q_Y \cdot \delta_Y) \quad (3) \quad ep\eta = (s\delta_u^+ + s\delta_u^-) / \delta_Y \quad (4)$$

uW_P : 総塑性エネルギー吸収量の終局値

uW_S : スケルトン部の累積塑性歪エネルギーの終局時の値

uW_B : バウシinger部の累積塑性歪エネルギーの終局値

$r\eta$: 終局累積塑性変形倍率

$B\eta$: バウシinger部の終局累積塑性変形倍率

$s\eta$: スケルトン部の終局累積塑性変形倍率

$ep\eta$: 見かけのスケルトン塑性率

$s\delta_u^+, s\delta_u^-$: スケルトン部の正負の領域の終局累積塑性変形

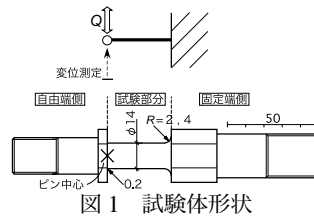


図 1 試験体形状

表 1 試験体諸元

鋼種	SS400
降伏応力 σ_Y	260 [N/mm ²]
終局応力 σ_B	445 [N/mm ²]
ヤング係数 E	2.05×10^5 [N/mm ²]
降伏耐力 Q_Y	3.4 [kN]
最大耐力 Q_B	5.8 [kN]
降伏変形 δ_Y	0.26 [mm]

表 2 実験一覧

試験体名	R	荷重パターン	振幅	$ep\eta$	$s\eta$	$B\eta$	$r\eta$
R2M18	2 mm	定振幅	$17.9\delta_Y$	49	60	1554	1615
R2M40		定振幅	$39.8\delta_Y$	97	148	943	1091
R2M80		定振幅	$79.6\delta_Y$	156	277	563	840
R4M08	4 mm	定振幅	$7.96\delta_Y$	19	19	1961	1980
R4M17		定振幅	$17.1\delta_Y$	50	63	1098	1160
R4M37		定振幅	$36.9\delta_Y$	93	143	1089	1232
R4M80		定振幅	$79.6\delta_Y$	168	304	600	904
R4M170		定振幅	$170\delta_Y$	110	211	421	631
R4I10		漸増	$10\delta_Y$ 漸増	132	220	840	1060
R4I20	漸増	$20\delta_Y$ 漸増	173	307	759	1066	

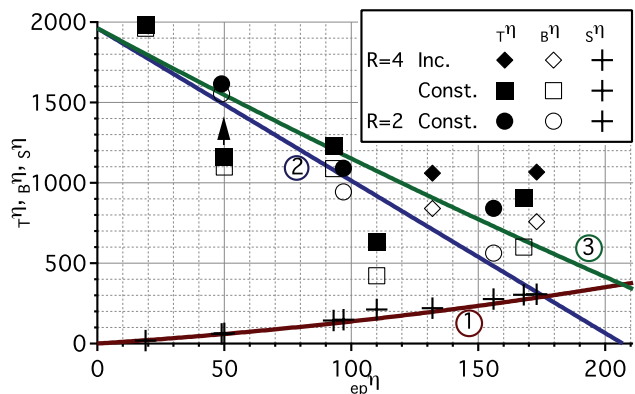


図 2 $ep\eta$ と $r\eta, B\eta, s\eta$ の関係

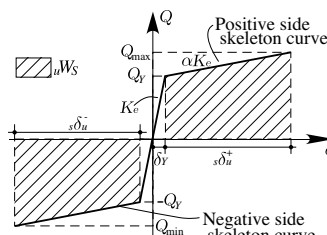


図 3 スケルトン部のエネルギー

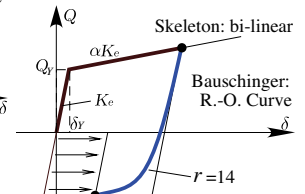


図 4 履歴モデルの概要

図 2 は $ep\eta$ と $T\eta$, $B\eta$, $s\eta$ の関係を表わしている。図中のプロットは全ての実験結果である。R4M17(図中▲)は試験片の表面加工が平滑ではなく、早期に亀裂が生じ破断に至ったため、限界性能を発揮しなかったと思われる。

2.3 履歴曲線のモデル化

実験結果に基づきダンパーの荷重変形関係をスケルトンシフトモデル²⁾(図 4)を用いてモデル化する。スケルトン曲線は bi-linear 型とし、弾性剛性に対する二次剛性の比 α を 1.5%, 目標点のシフトの割合のパラメータ Ψ を 0.58, バウシグナー部の Ramberg-Osgood 曲線の曲率のパラメータ r を 14 と定める(パラメータの詳細は文献²⁾を参照)。設定した履歴モデルを基に、弾性変形は無視し、 $ep\eta^+ = ep\eta^-$ と仮定した場合に得られる $ep\eta-s\eta$ 関係を曲線①, R4M17を除いた $B\eta-ep\eta$ の最小自乗法による回帰直線②, $T\eta = s\eta + B\eta$ の関係をから得られる $T\eta$ を曲線③で示す。

3 解析・考察

3.1 解析概要

解析に用いるモデルは、建物を弾性ばねと質量からなる一自由度系にモデル化したものに、鋼材ダンパーなどをモデル化した履歴ばねを取り付けたもの(以下、ダンパー付き建物)とする(図 5)。建物には $h = 2\%$ の減衰を与えている。ダンパーの弾性剛性は建物ばねの剛性の 1 倍とし、履歴モデルは 2.3 のモデルを用いる。

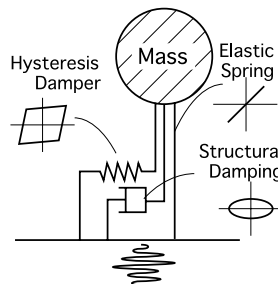


図 5 振動モデルの概要

表 3 地震波諸元

略称	P.G.A.	T_E	説明
KOBE	822 Gal	14.2s	神戸海洋気象台 1995 NS
ELCE	342 Gal	33.6s	El Centro 1940 NS
TOMA	86.7 Gal	168s	2003 十勝沖地震 K-NET 苫小牧 NS

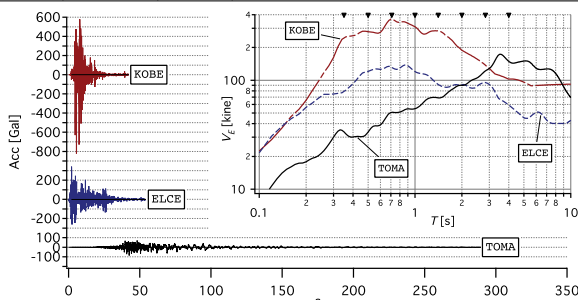


図 6 加速度波形(左)と V_E スペクトル(右上)

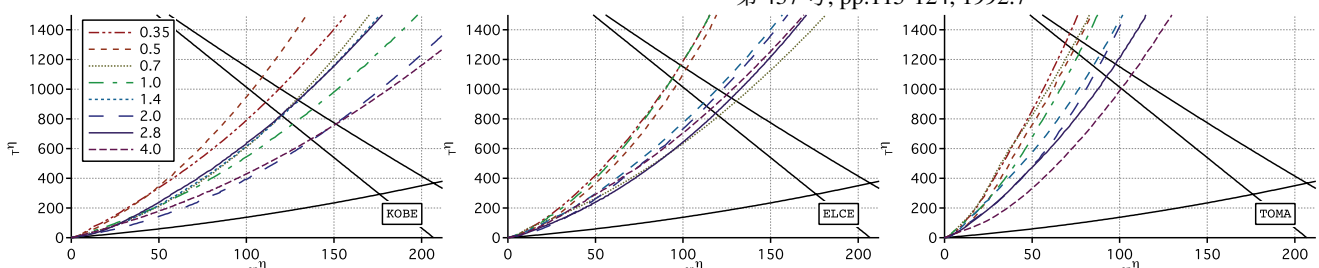


図 7 スケルトン塑性率とダンパーエネルギー吸収

入力地震動は、表 3 に示す KOBE, ELCE, TOMA を用いる。表中の地震動の有効継続時間 T_E は加速度パワー累積値が地震終了時の 1% から 99% に達するまでの時間である。加速度波形とエネルギー速度換算値 (V_E) スペクトルを図 6 に示す。図中の ▼ は解析で用いたダンパー付き建物の弾性周期である。各入力に対し、建物周期 8 通りについて、ダンパー耐力をパラメータとして解析を行う。

3.2 考察

図 7 に解析結果から得られた $ep\eta$ と $T\eta$ の関係を、2.3 で示した線①, ②, ③と共に示す。解析モデルにはダンパーの破断は考慮されていないため $T\eta$ は際限なく上昇し続けるが、一方で、実験により $T\eta$ の限界線である曲線③が定まっているため、その交点が破断限界点であると言える。

$T\eta-ep\eta$ 曲線は、入力の種類、固有周期により異なっており、同じ $ep\eta$ に対して要求される $T\eta$ の値はばらつきはあるが、入力地震動の継続時間が長い、あるいは固有周期が短いほど大きい。また、KOBE のような入力地震動の継続時間が短い、あるいは固有周期が長いほど破断限界点の $T\eta$ が低く、応答の繰返し数が少ない様な場合ほど、同じエネルギー入力に対して破断限界を超え易い。

4 まとめ

履歴ダンパーの限界性能についてダンパーの部材実験およびダンパー付き建物の地震応答解析により考察した。

- (1) ダンパーの部材実験により、スケルトン塑性率とバウシグナー部のエネルギー吸収能力との関係を明らかにした。
- (2) 地震応答解析により、スケルトン塑性率と総エネルギー吸収との関係を導き、実験結果から求めたスケルトン塑性率と総エネルギー吸収との関係と比較することで限界性能を考察することが出来る。
- (3) 固有周期に対し入力地震動の継続時間が長い、繰返し数が多い応答ほど、スケルトン塑性率に対するダンパーへの総エネルギー入力が大きくなる。

【参考文献】

- 1) 秋山宏, 高橋誠, 石軍: 繰返しを受ける円形断面鋼棒の終局エネルギー吸収能力, 日本建築学会構造系論文集, 第 475 号, pp. 145-154, 1995.9
- 2) 孟令樺, 大井謙一, 高梨晃一: 鉄骨骨組地震応答のための耐力劣化を伴う簡易部材モデル, 日本建築学会構造系論文集, 第 437 号, pp. 115-124, 1992.7