

論文 / 著書情報
Article / Book Information

論題(和文)	2061 履歴型ダンパーを有する鋼構造建物におけるダンパー配置と応答性状に関する研究：その1:部材レベルモデルにおける時刻歴応答解析による検討(構造)
Title	
著者(和文)	松澤 祐介, 栗林 晃司, 佐藤 大樹, 北村春幸, 山口路夫, 西本晃治
Authors	daiki sato, Haruyuki Kitamura, Michio Yamaguchi, Kohji Nishimoto
出典 / Citation	日本建築学会関東支部研究報告集, Vol. 81, No. 0, 2061
Citation(English)	, Vol. 81, No. 0, 2061
発行日 / Pub. date	2011, 2
rights	日本建築学会
rights	本文データは学協会の許諾に基づきCiNiiから複製したものである
relation	isVersionOf: http://ci.nii.ac.jp/naid/110008730301

履歴型ダンパーを有する鋼構造物におけるダンパー配置と応答性状に関する研究

(その1: 部材レベルモデルにおける時刻歴応答解析による検討)

構造—振動

履歴型ダンパー ダンパー配置

実効変形 剛性低下率 時刻歴応答解析

準会員 ○ 松澤祐介^{*1} 正会員 栗林晃司^{*1}
 “ 佐藤大樹^{*1} “ 北村春幸^{*1}
 “ 山口路夫^{*2} “ 西本晃治^{*2}

1. はじめに

耐震安全性は、終局耐力と塑性化変形能力の積（塑性化エネルギー吸収量）により判定している。このことを重点においた耐震計算である、エネルギーの釣合に基づく応答予測法¹⁾（以後、エネルギー法と呼ぶ）が確立されている。2005年にエネルギー法の告示・制定され、ダンパーを有する制振構造が、これまでより容易に設計できるようになった。

制振構造建物を対象に、栗林らはダンパーに有効に働く変形（実効変形）を考慮したエネルギー法を提案している²⁾。実効変形は、ダンパーの諸元や配置によって異なる。今後、制振構造を普及させるためには、これらが応答に与える影響を検討する必要がある。

その1では、部材レベルモデルの時刻歴応答解析によってダンパー配置が制振効果に与える影響について検討する。

その2では、文献2で提案したダンパーの実効変形を考慮したせん断型モデルとエネルギー法における、ダンパー配置による影響を確認する。

2. 対象建物モデル、入力地震動及びダンパー設定の概要

2.1 検討対象建物概要

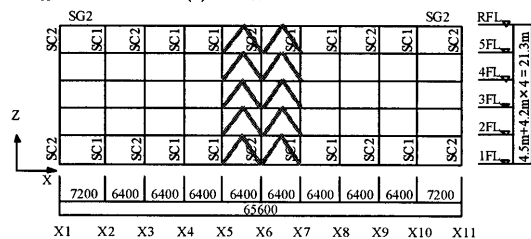
検討対象建物は、地上5階、高さ21.3(m)の鉄骨構造物とする。梁と柱の代表部材断面を表1に示す。基準とする純ラーメン構造は、ダンパーによる制振効果を期待し、 $C_0=0.2$ に対して層間変形角 R_f は1/200を満足していない。図1に対象建物の基準階伏図と軸組図を示す。ダンパーの配置の変化が制振効果に与える影響を調べるためにK型、V型、Z型の3つの設置型を使用し、1フレーム内にハの字に入れたのをK型、逆ハの字をV型、片流れをZ型とする。また、配置は図1(c) V型モデルの上に示した、ダンパー架構番号の箇所に連層で配置し、中央より5-6, 4-7, 3-8, 2-9, 1-10の5パターンとする。本報では、ダンパーとしてLY225材の座屈拘束ブレースを用いる。固有値解析の結果、主架構のみの状態における1次固有周期 T_1 は1.097(sec)である。減衰は主架構の T_1 に対して $h=2\%$ となる剛性比例型とした。主架構は、制振構造の性状を明らかにするために弾性とする。

表1 対象建物の代表部材断面

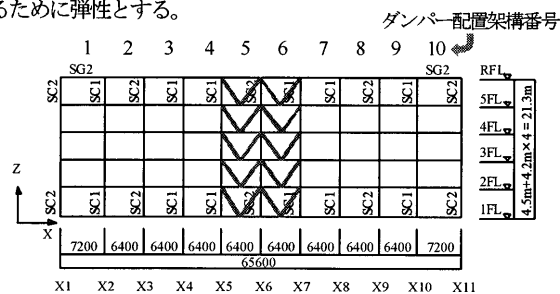
	符号	鋼材種類	階	部材
大梁	SG1	SN490B	1~R	HY-600×250×12×22
	SG2	SN490B	1~R	H-600×200×11×17
	SG11	SN490B	1~R	H-800×300×13×26
	SG12	SN490B	1~R	HY-800×300×16×28
柱	SC1	BCR295	5	□-450×450×16
		BCR295	3~4	□-450×450×19
		BCR295	1~2	□-450×450×22
	SC2	BCR295	4~5	□-450×450×16
		BCR295	1~3	□-450×450×19



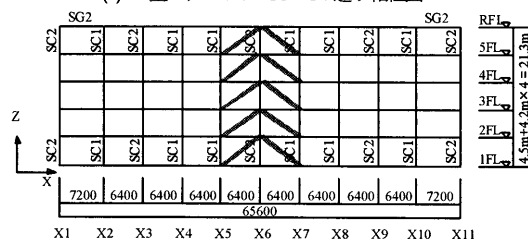
(a) 基準階伏図



(b) K型モデル5-6 Y1・Y4通り軸組図



(c) V型モデル5-6 Y1・Y4通り軸組図



(d) Z型モデル5-6 Y1・Y4通り軸組図

図1 対象建物モデル 単位:(mm) ——— ダンパー設置位置

2.2 入力地震動の概要

解析に用いる地震動は、最大速度を 50 (cm/sec) に基準化した El Centro 1940 NS と、コーナー周期 $T_c=0.64$ (sec) 以降の領域で、 $S_v=100$ (cm/sec) ($h=5\%$) となる模擬地震動で、位相特性 HACHINOHE 1968 EW 及び JMA KOBE 1995 NS を採用し、それぞれ ART HACHI, ART KOBE とする。図 2 (a), (b) に、速度応答スペクトルとエネルギースペクトルを示す。

2.3 ダンパー諸元

ダンパーの降伏層せん断力係数 α_{yi} をパラメータとし、第 1 層のダンパーの降伏層せん断力 Q_{yi} を以下の式で求める。

$$Q_{yi} = \alpha_{yi} \cdot \sum_{i=1}^N m_i \cdot g \quad (1)$$

また、各層のダンパーの降伏層せん断力 Q_{yi} はダンパーの性状を考察し易くするため、第 1 層のダンパーの降伏層せん断力 Q_{y1} と同じ値を用いる。

本報で用いるダンパーは、塑性化部と弾性部で構成される。そのため、解析で 1 本の部材としてモデル化する場合、ダンパー剛性と断面積は、等価剛性及び等価断面積を用いることにする。なお、ダンパー設置型により、ダンパー本数が異なるが、層としてダンパー剛性が等しくなるように、塑性化部長さを調整している。

2.4 検討用ダンパー量の算定

ダンパー量 $\alpha_{yi}=0.02 \sim 0.20$ の中で建物応答を効率良く抑えられているものを検討用ダンパー量とする。地震動は El Centro を用い、図 3 に K 型各配置のダンパーエネルギー吸収率 W_p/E 、層間変形角 R_{max} を示す。なお、 R_{max} は各層の中の最大値を取ることにする。図 3 より、 W_p/E は配置によるがダンパー量が $\alpha_{yi}=0.08$ で頭打ちになっていることがわかる。 R_{max} は $\alpha_{yi}=0.02 \sim 0.14$ ではダンパー量を増やせば増やすほど抑えられる傾向にあるが、 $\alpha_{yi}=0.15 \sim 0.20$ では次第に大きくなっている。これより、この建物において比較的少ないダンパー量で効率良くエネルギーを吸収し、応答を抑えるダンパー量を最適ダンパー量と呼び、本報では最適ダンパー量を $\alpha_{yi}=0.08$ とする。以後、検討用ダンパー量として最適ダンパー量である $\alpha_{yi}=0.08$ を用いる。

3. ダンパー諸元と配置が応答に与える影響

各設置型、各配置における 1 次固有周期 (sec) を表 2 に、入力エネルギーの速度換算値 $V_E = \sqrt{2E/M}$ を表 3 に示す。表 2 の 1 次固有周期よりダンパー量が多くなるにつれて、周期が短くなることからわかり、各設置型とも 1-10, 2-9, 3-8, 4-7 に比べて 5-6 の周期が短いことが確認できる。各設置型同士で比較すると K 型、Z 型に比べ V 型の周期が長いことが分かる。表 3 の V_E よりダンパー量が

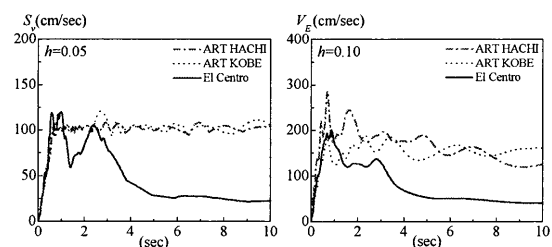


図 2 (a) 速度応答スペクトル, (b) エネルギースペクトル

表 2 1 次固有周期 (sec)

	$\alpha_{yi}=0.02$	$\alpha_{yi}=0.08$	$\alpha_{yi}=0.15$
K型 1-10	0.952	0.765	0.674
K型 2-9	0.951	0.767	0.680
K型 3-8	0.950	0.770	0.688
K型 4-7	0.950	0.768	0.685
K型 5-6	0.944	0.739	0.638
V型 1-10	0.964	0.814	0.748
V型 2-9	0.962	0.818	0.756
V型 3-8	0.962	0.824	0.769
V型 4-7	0.962	0.820	0.764
V型 5-6	0.951	0.773	0.691
Z型 1-10	0.957	0.783	0.699
Z型 2-9	0.957	0.799	0.730
Z型 3-8	0.957	0.799	0.732
Z型 4-7	0.957	0.798	0.730
Z型 5-6	0.944	0.740	0.640

表 3 入力エネルギーの速度換算値 V_E (m/sec)

El Centro	$\alpha_{yi}=0.02$	$\alpha_{yi}=0.15$	$\alpha_{yi}=0.08$	El Centro	ART KOBE	ART HACHI
K型 1-10	162	204	184	184	157	194
K型 3-8	161	207	184	184	155	189
K型 5-6	161	195	188	188	149	214
V型 1-10	162	194	192	192	129	159
V型 3-8	162	190	194	194	125	156
V型 5-6	161	205	184	184	153	187
Z型 1-10	162	206	184	184	148	180
Z型 3-8	161	193	188	188	138	164
Z型 5-6	161	195	188	188	149	214

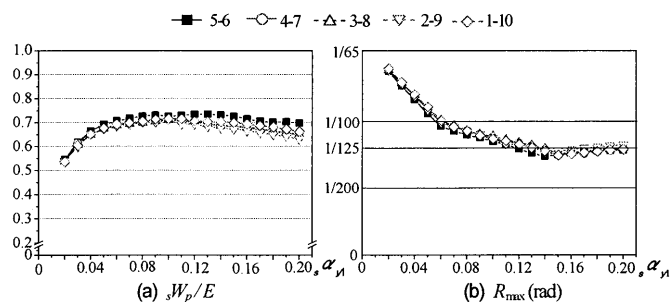


図 3 ダンパー量変化図 (K 型 El Centro)

多くなるにつれて V_E が大きくなっていることが確認できる。地震動によっても異なり、 $\alpha_{yi}=0.08$ において K 型、V 型では ART KOBE が最も小さく、次に El Centro、最も大きいのが ART HACHI である。Z 型でも最も小さいのは ART KOBE であるが、最も大きいのは配置によって異なり、1-10, 3-8 では El Centro であるが 5-6 では ART HACHI である。これは地震動によってエネルギースペクトルが異なるためで、各配置によっても周期が異なるので入力エネルギーも変わってくるからである。

3.1 実効変形比の定義と累積塑性変形倍率の算定

制振構造を考えた場合、柱の軸伸縮により生じる骨組全体としての曲げ変形の影響により、実効変形 $\delta_{\max i}$ は低下する²⁾。実効変形比とは、層間変形 $\delta_{\max i}$ に対する実効変形 δ_i の比率であり、以下の式で表すことができる。

$$\delta_{\max i} / \delta_i = (\Delta_{\max i} / \cos \theta) / \delta_{\max i} \quad (2)$$

ここで、 $\Delta_{\max i}$: i 層のダンパーの軸変形の最大値、 θ : ダンパー取付け角度、 $\delta_{\max i}$: i 層の層間変形角の最大値である。

ダンパーの累積塑性変形倍率 η_i は次式より算出される。

$$\eta_i = W_{pi} / (Q_{yi} \cdot \delta_i) \quad (3)$$

ここで、 W_{pi} : ダンパーエネルギー吸収量、 Q_{yi} : i 層のダンパーの降伏層せん断力、 δ_i : i 層のダンパーの降伏層間変形である。

3.2 ダンパー量の変化による検討

ダンパー量 $\alpha_{yi}=0.02, 0.08, 0.15$ とし、ダンパー量が少ないとき、最適値、多いときで応答がどう変わるかを考察する。K型5-6において地震動をEl Centroとし、応答値は実効変形比、層間変形角 R_i 、累積塑性変形倍率 η_i を用いる。図4よりダンパー量が多いほど実効変形は低くなり、 R_i 、 η_i も小さくなる傾向がある。また、3つのダンパー量とも R_i は2層が最も大きい。 η_i はダンパー量が少ない $\alpha_y=0.02$ では2層が最も大きい、ダンパー量が多い $\alpha_y=0.15$ では1層が最も大きくなる。

3.3 ダンパー配置の変化による検討

図5に $\alpha_{yi}=0.08$ でのK型、V型のZ型の配置の変化による実効変形比、層間変形角 R_i 、累積塑性変形倍率 η_i の高さ方向分布を示す。地震動はEl Centroとする。どの設置型でも実効変形比は5-6が最も高く3-8が最も低い。 R_i は5-6が最も低く、 η_i は2層から5層において5-6が最も大きい傾向にある。また、図5より応答値の傾向として①5-6、②1-10、③4-7、3-8、2-9の3つに分類出来ることより、以後、4-7、3-8、2-9の代表値として3-8を用いる。

3.4 ダンパー設置型の変化による検討

図6に $\alpha_{yi}=0.08$ での各ダンパー設置型5-6の実効変形比、層間変形角 R_i 、累積塑性変形倍率 η_i の高さ方向分布を示す。地震動はEl Centroとする。図6より実効変形比、 R_i 、 η_i ともK型、Z型はほぼ同じ値であるのに対し、V型は実効変形比、 η_i が低く、 R_i が大きくなっている。これよりK型、Z型は、V型に比べダンパーがより塑性化し、地震エネルギーをダンパーで吸収しているため、 R_i も抑えられている。

3.5 入力地震動の種類による検討

El Centro, ART KOBE, ART HACHIを $\alpha_{yi}=0.08$ でのK型5-6に入力する。応答値として実効変形比、層間変形角 R_i 、累積塑性

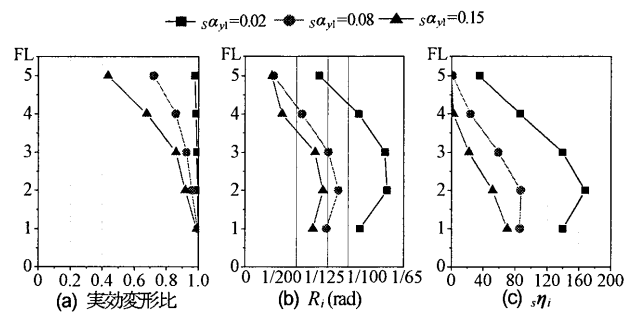
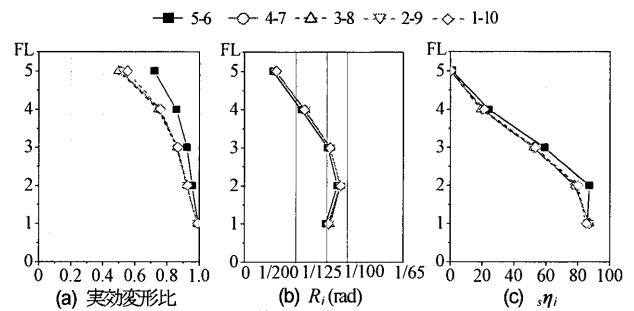
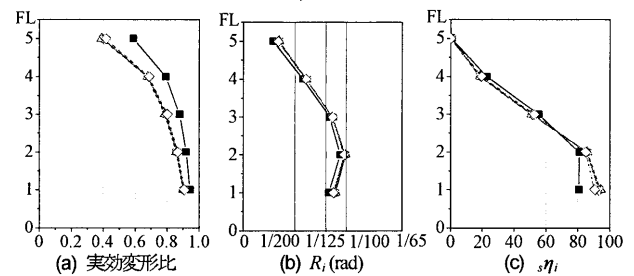


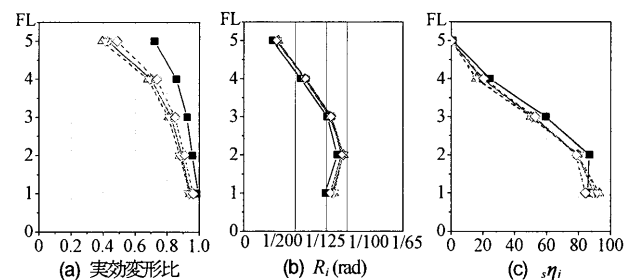
図4 ダンパー量の変化による高さ方向の応答分布 (K型 5-6 El Centro)



(i) K型 $\alpha_{yi}=0.08$ El Centro



(ii) V型 $\alpha_{yi}=0.08$ El Centro



(iii) Z型 $\alpha_{yi}=0.08$ El Centro

図5 配置の変化による高さ方向の応答分布

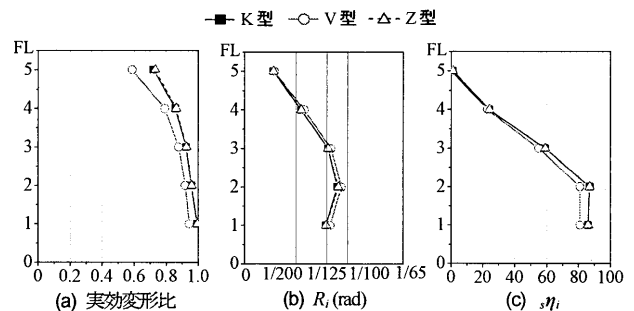


図6 ダンパー設置型の変化による高さ方向の応答分布 (5-6 $\alpha_{yi}=0.08$ El Centro)

変形倍率 $s\eta_i$ を示す。図7より実効変形比ではEl Centroでの5層の傾向が他の2波と比べて異なる。 R_i ではART KOBEが他の2波に比べて大きい。 $s\eta_i$ は地震動によって大きく異なり、ART KOBEが最も小さく、次にEl Centro、最も大きいのがARTHACHIである。地震動によって差があるのは地震動の特性によるもので、 $s\eta_i$ は地震動の違いによる変化を受け易いことが分かる。

4. ダンパー剛性低下率による最適ダンパー配置評価法の提案

本章では、文献2で提案されているダンパー剛性低下率 β_{ki} を使って応答値の傾向を捉えられるかの検討を行う。ダンパー剛性低下率 β_{ki} は、主架構及びダンパーが弾性の時における実効変形比(層間変形に対する実効変形の比)を表す指標である。

4.1 ダンパー剛性低下率 β_{ki} と実効変形比の比較

図8に $s\alpha_{y1}=0.08$ での各設置型5-6, 3-8, 1-10のときの β_{ki} と実効変形比を示す。図8よりK型では、実効変形比の高さ順と β_{ki} の高さ順が同じであることが分かる。また、 β_{ki} は各配置での各層の実効変形比の差も的確に表現している。V型、Z型も同様である。

ダンパー量を横軸にとり、縦軸に β_{ki} と実効変形比を示したものを図9(a), (b)に示す。ダンパー量が多くなると5層でダンパーが塑性化しなくなり、また曲げ変形が卓越し実効変形比が小さくなる。従って、ここでは1~4層の値の平均をとった値として $\beta_{kave1-4}$ 、実効変形比 $_{ave1-4}$ を用いることとする。図9より、どのダンパー量でも $\beta_{kave1-4}$ と実効変形比の傾向がほぼ同じであることが分かる。これより、 β_{ki} でダンパーの実効変形比の傾向を掴めることが分かる。

4.2 ダンパー剛性低下率と層間変形角の比較

β_{ki} で層間変形角、累積塑性変形倍率の高さ順を推定出来ることをここで示す。図10に $s\alpha_{y1}=0.08$ でのK型5-6, 3-8, 1-10のときの β_{ki} と層間変形角の最大値を1に基準化した R_i の高さ方向分布を示す。図10より、 β_{ki} は5-6が最も高く、次に1-10、最も低いのが3-8となっている。 β_{ki} が高いということは、ダンパーが上手く働いていることを表すので、 R_i は β_{ki} と逆の順になり、図10ではその傾向にある。

図11の R_{ave1-4} は1~4層の値の平均をとった値である。図9(a)と比較して、ほぼ順が逆であることより、 β_{ki} で R_i の各配置の順を概ね推定出来ると言える。

5. まとめ

- ・ダンパー配置、設置型の違いで応答の大きな変化は見られなかったが、ダンパー量の違いで応答が大きく異なることが分かった。
- ・ダンパー剛性低下率を使って各ダンパー配置、設置型の実効変形

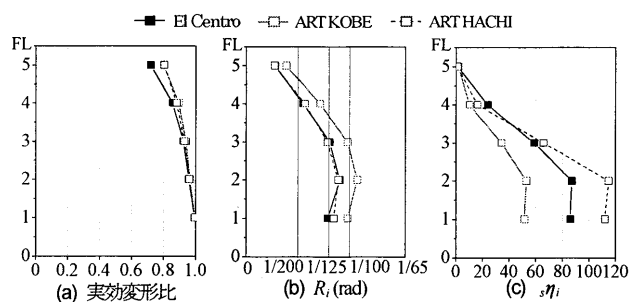


図7 地震波の違いによる高さ方向の応答分布
(K型 5-6 $s\alpha_{y1}=0.08$)

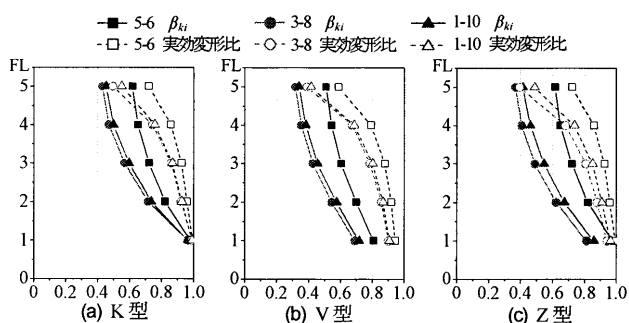


図8 高さ方向の応答分布 ($s\alpha_{y1}=0.08$ El Centro)

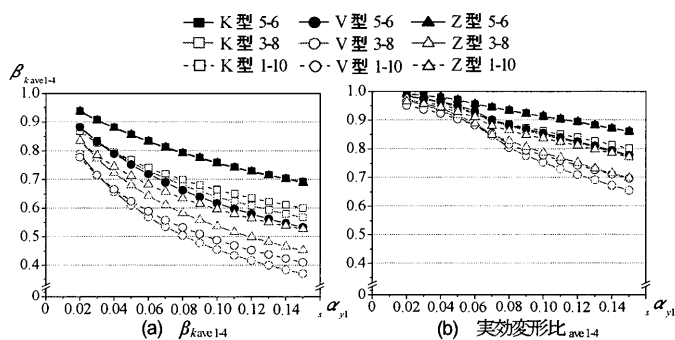


図9 ダンパー量変化図 (El Centro)

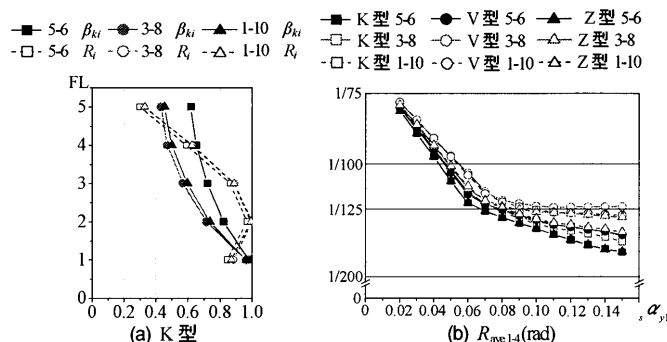


図10 高さ方向の応答分布
(K型 $s\alpha_{y1}=0.08$ El Centro)

図11 ダンパー量変化図
(El Centro)

比と R_i の順を推定出来ることを示した。これにより、時刻歴応答解析を使わずに容易に実効変形比、 R_i の効率順が分かる。

参考文献

その2に、まとめて掲載

*1 東京理科大学

*2 新日鉄エンジニアリング株式会社