



重ね板バネの制振性能に関する研究

— 高減衰形状の提案と中低層鉄骨造建物での補強効果の検討 —

RESEARCH ON DAMPING PERFORMANCE OF LAMINATED PLATE SPRING
-Development of highly performance shape and validation of effectiveness using reinforcement
example for mid- and low-rise steel-framed buildings-

圖子 新

東京理科大学 工学部建築学科 高橋研究室

第 1 章

序論

2016年 熊本地震

令和6年度能登半島地震

指定等文化財 355件に甚大被害

石川県住宅被害 2万1411棟 (1/16時点)



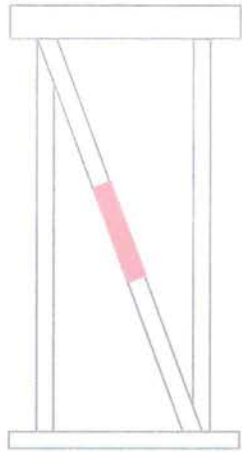
阿蘇神社 楼門

熊本地震：阿蘇神社の楼門全壊 | 毎日新聞 (mainichi.jp)

阪神大震災級の強い揺れ 軟弱な地盤、被害拡大か 能登半島地震 (msn.com)

➡ 人命 & 財産保護のため **耐震性向上・制振性能付加**が重要視

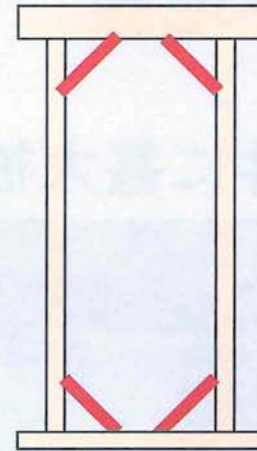
壁内蔵型 (ブレース・制振壁等)



- ・ 開口部 △
- ・ 施工性 △

(-) 温度依存性
 (-) オイル漏れ等

仕口型 (仕口ダンパー等)



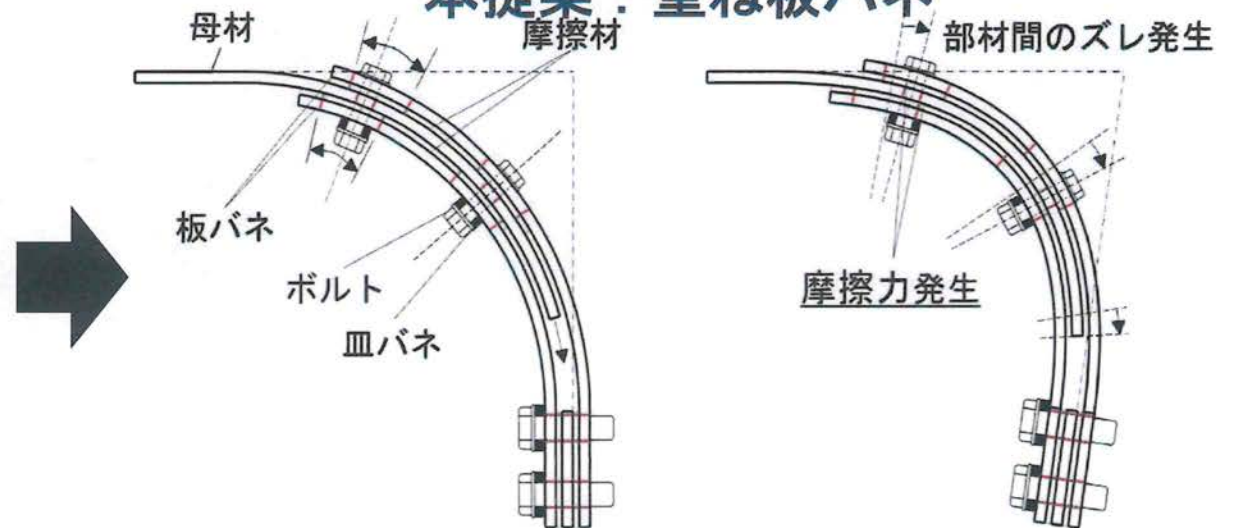
- ・ 開口部 ⊙
- ・ 施工性 ○

(+) 建築計画

車のサスペンション



本提案：重ね板バネ

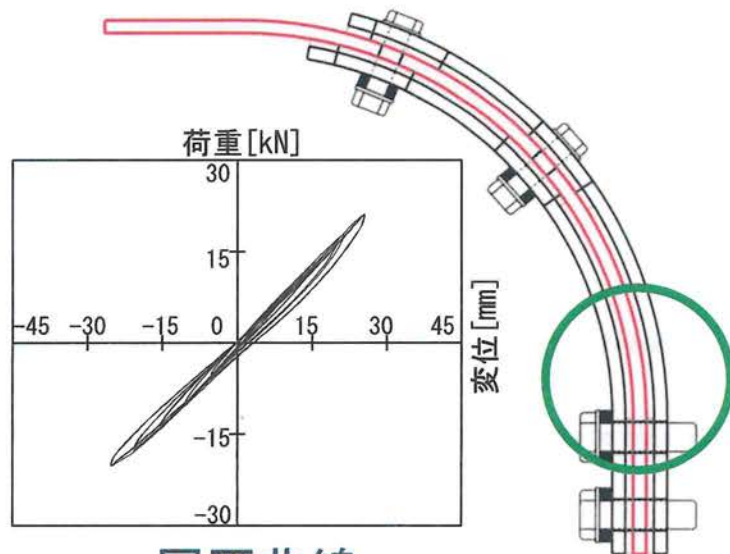


開口を塞がない **自由な建築計画**

■ 既往研究の課題

坏 咲子, 『重ね板バネの制振性能に関する研究-実大実験による性能の比較-』, 2022

旧提案：一体型

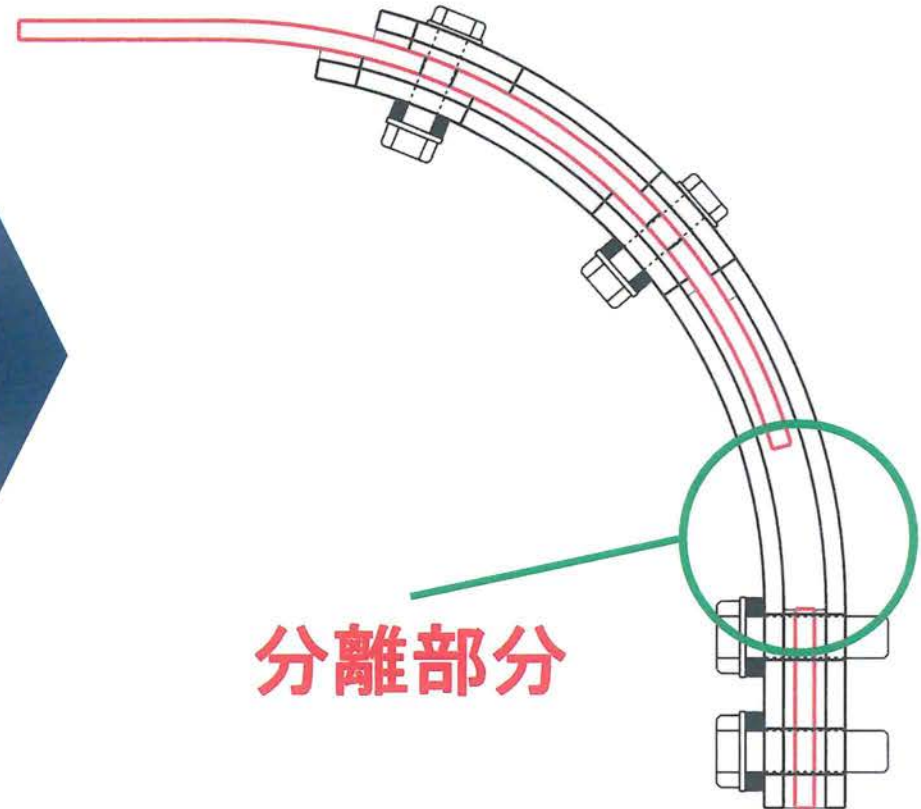


履歴曲線

剛性○

摩擦力への変換△

新提案：分離型



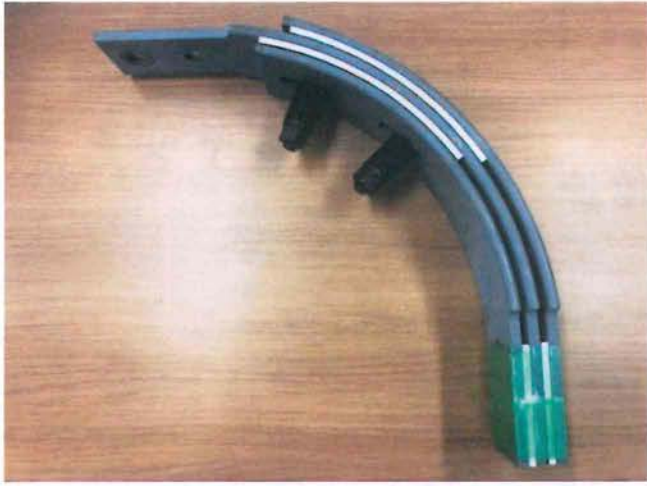

分離部分



より大きな摩擦力が作用する形状を提案

第2章

静的実験によるダンパー形状の提案

試験体名	S1	S2
形状	一体型	分離型
弾性係数 [N/mm ²]	205000	
幅 [mm]	100	
材料	SUP9A	
試験体写真		

※既往研究より、弾性係数・締付力・材料の違いは検討済み
 ↓ ↓ ↓
 ばね定数 摩擦力 軽量化

■ 載荷方法

2000kN油圧ジャッキによる静的繰返し載荷試験

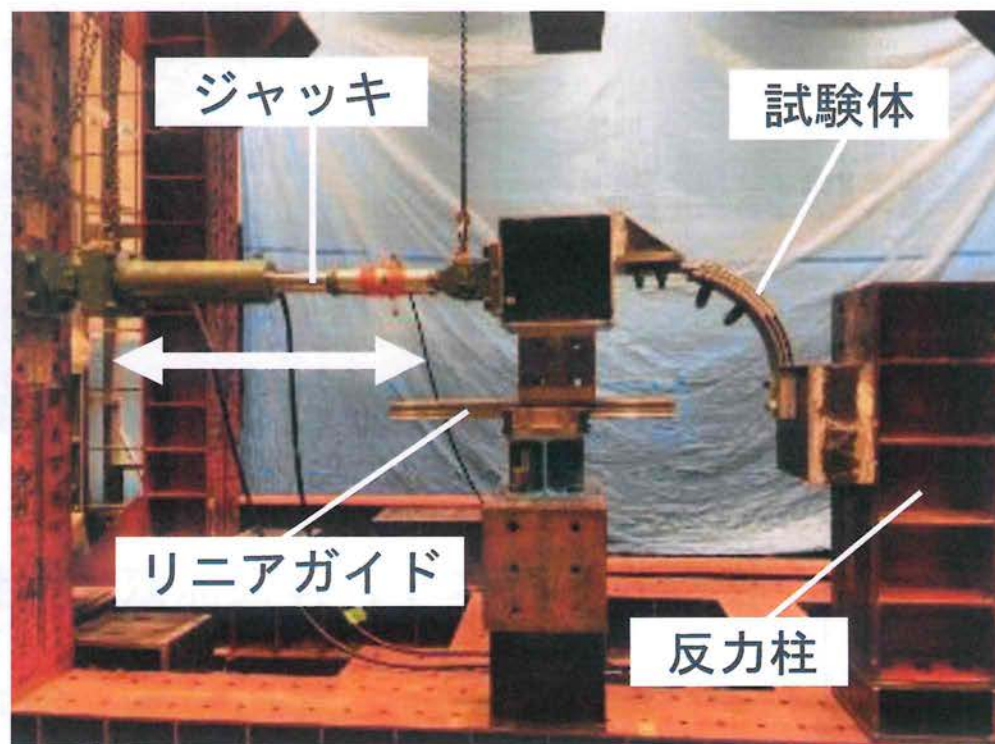
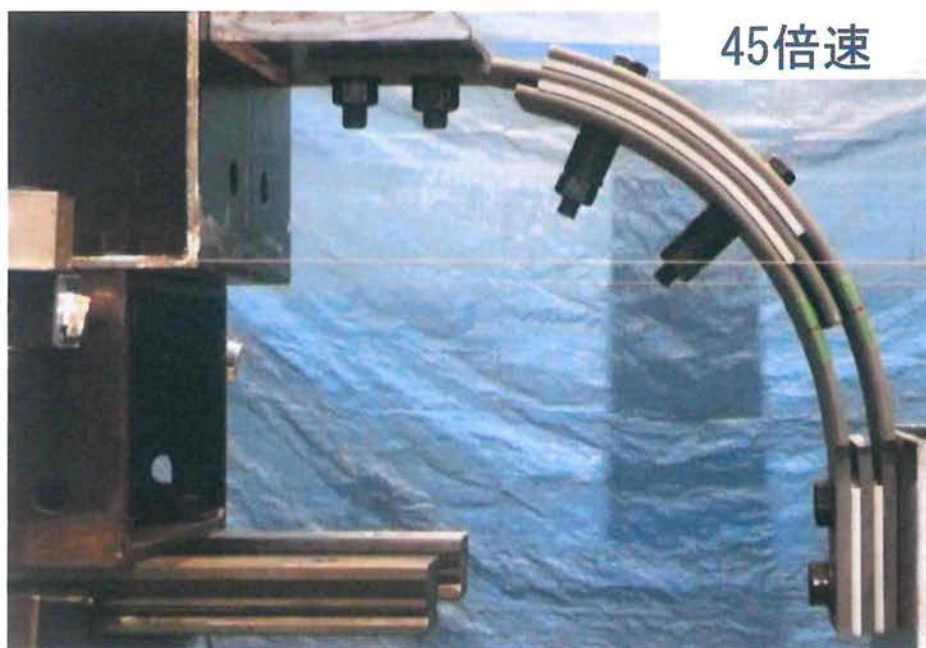
■ 測定計画

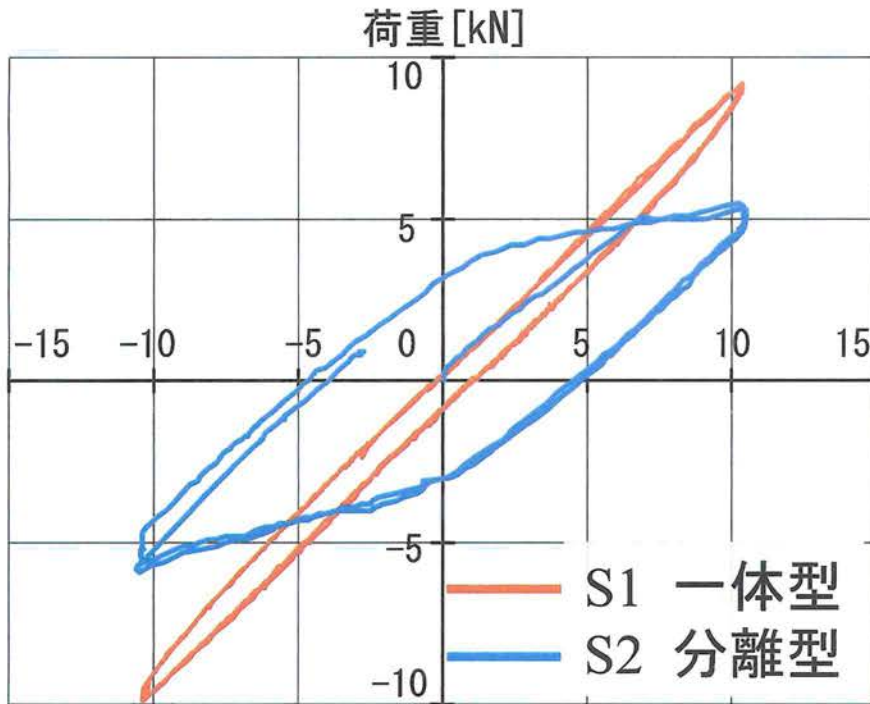
荷重 : ロードセル

水平変位 : 巻き取り式変位計を試験体前後に接続

■ 算定項目

- (①ばね定数 ②摩擦力
③エネルギー吸収量)

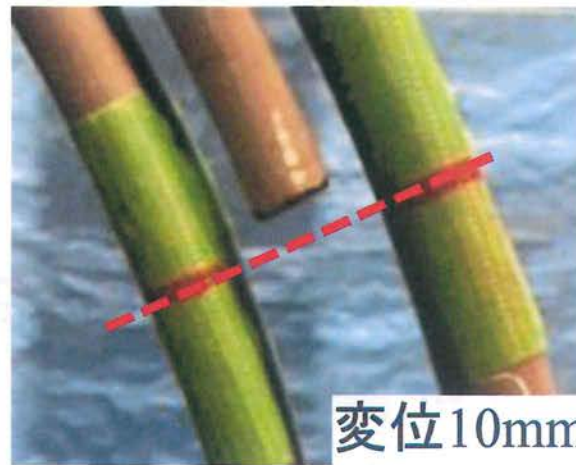




試験体名		S1	S2
形状		一体型	分離型
ばね定数	[N/mm]	960	765
摩擦力	[N]	1421	5100
エネルギー吸収量	[kN・mm]	23.0	77.4

約3.4倍

分離型 (S2) の母材分離部分



- 母材のズレを確認
→ 摩擦が働きやすい
- **分離型**で高減衰性

既往研究の成果

大きさ・弾性係数 → ばね定数
ボルト締付力 → 摩擦力
CFRP材ダンパー → 軽量化



分離型

本実験の成果

より大きな**摩擦力**を獲得

第3章



- ・ 分離型の力学特性で立体弾塑性応答解析へ
- ・ 実建物適用時の性能評価

第3章

立体弾塑性応答解析による補強効果の検討

入力地震波

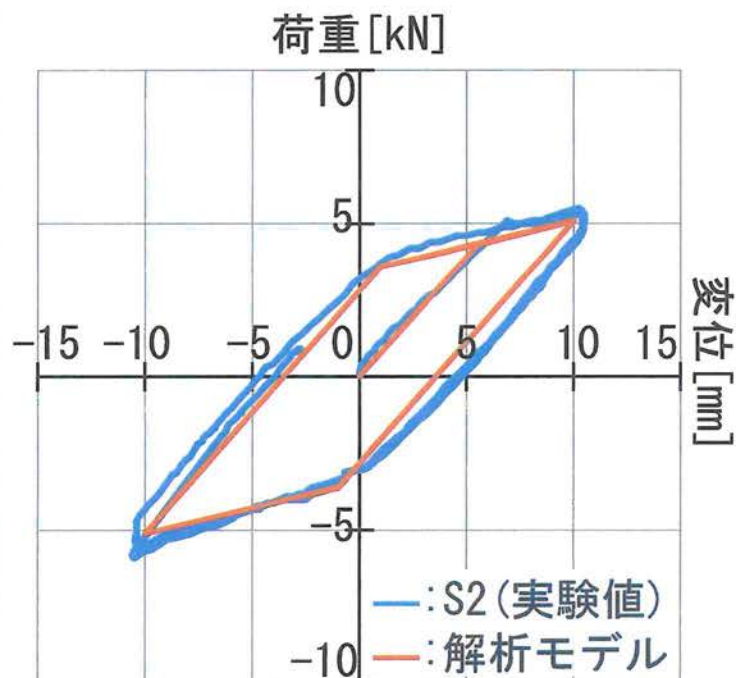
入力地震波		Lv.	最大加速度 [gal]	速度 [kine]	継続時間 [s]
観測波	El Centro 1940 NS	1	255.0	25.0	54
		2	510.0	50.0	
	Taft 1952 EW	1	248.4	25.0	55
		2	496.9	50.0	
	Hachinohe 1968 NS	1	166.9	25.0	51
		2	333.8	50.0	
模擬波	BCJ	1	207.3	33.8	60
		2	355.7	80.4	120

測定項目

- ① 固有周期
- ② 最大層間変形角
- ③ 塑性率
- ④ 塑性ヒンジ発生数

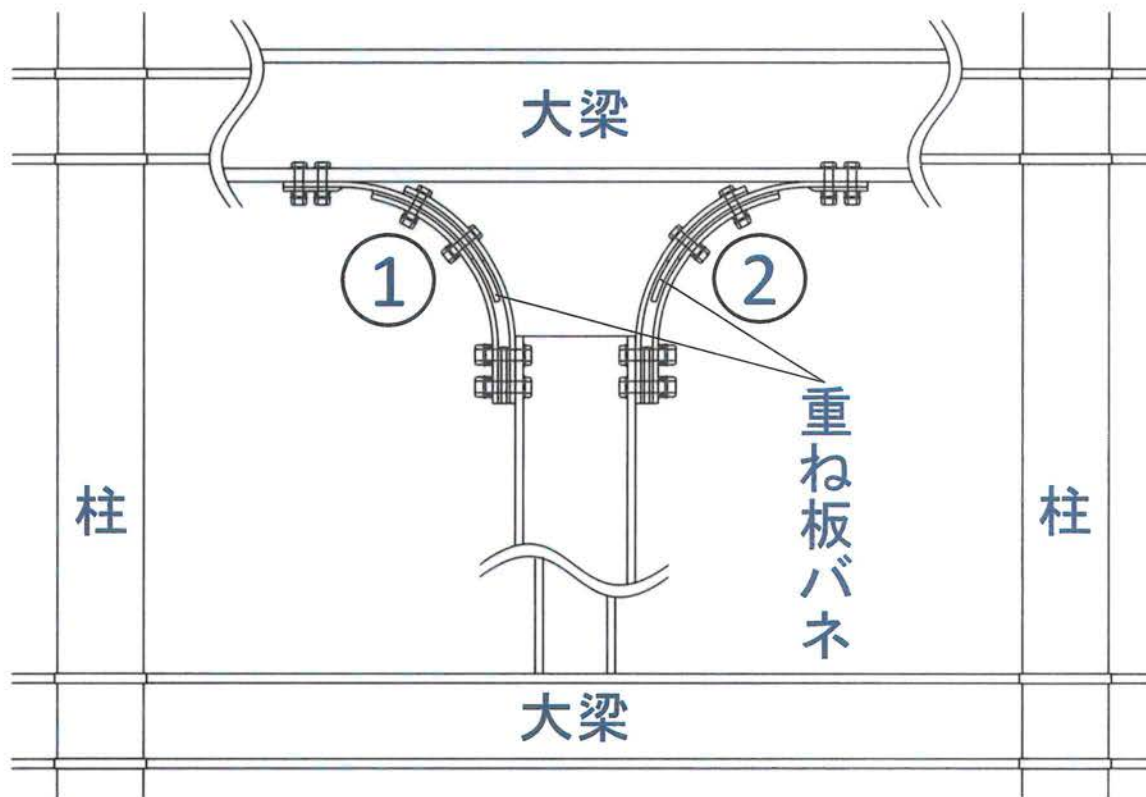
重ね板バネモデル

S2の力学特性を再現



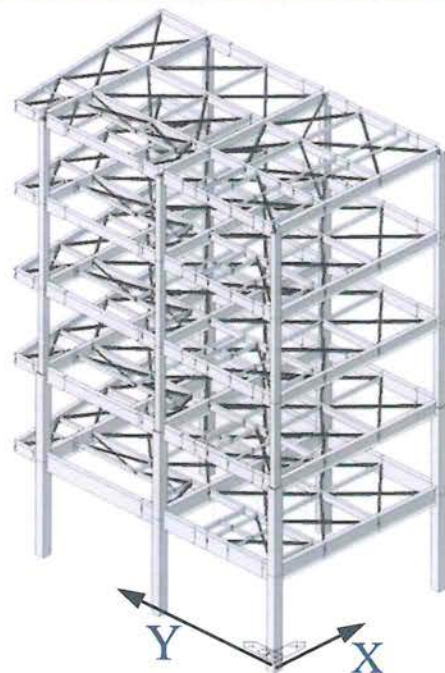
S2 履歴曲線

一次剛性 [N/mm]	二次剛性 [N/mm]	摩擦力 [N]
764.7	177.8	5100



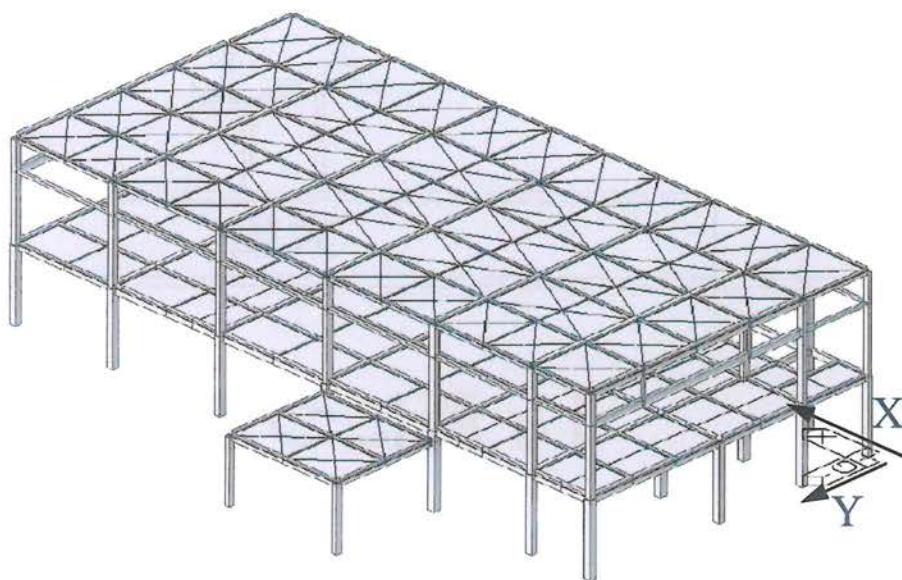
1ヶ所につき2体配置

中層(Mid)



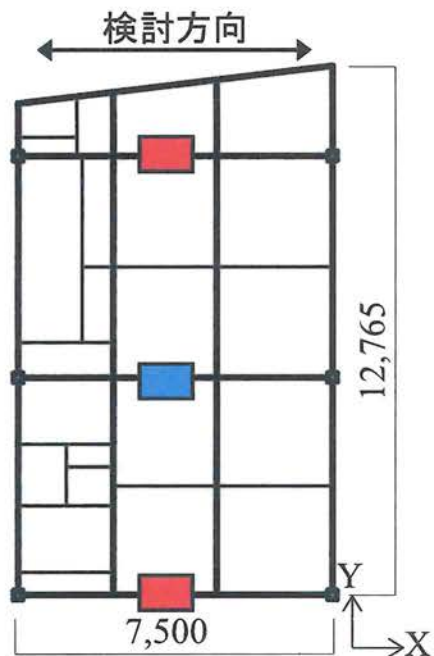
所在地	東京都
構造種別	鉄骨造
階数	5階
建物高さ	17.25m

低層(Low)



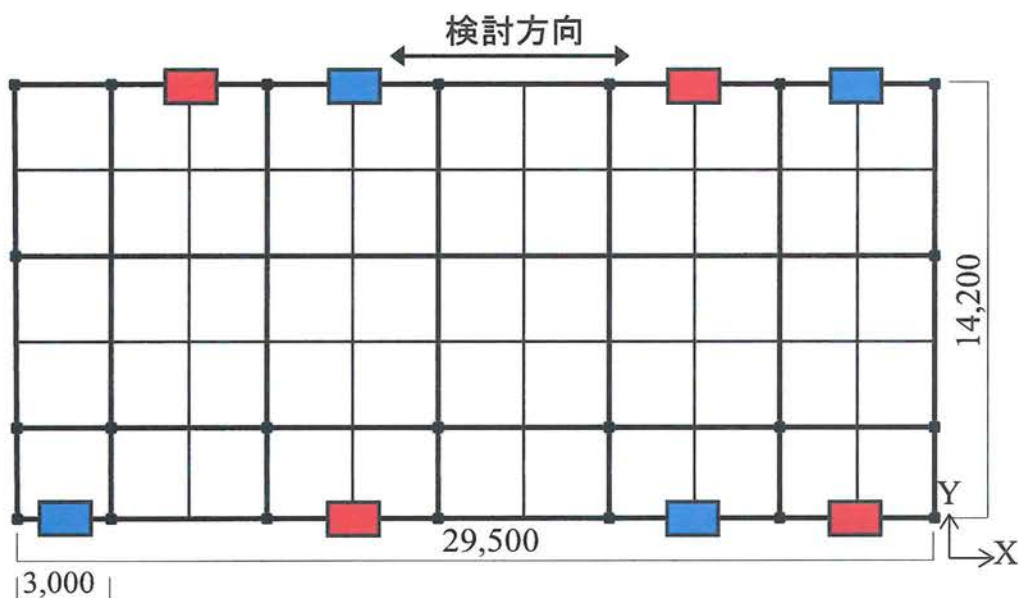
所在地	東京都
構造種別	鉄骨造
階数	2階
建物高さ	8.8m




中層 (Mid)



Model	M-0	M-1	M-2
設置数 [体]	0	4	6
3F	—		 + 

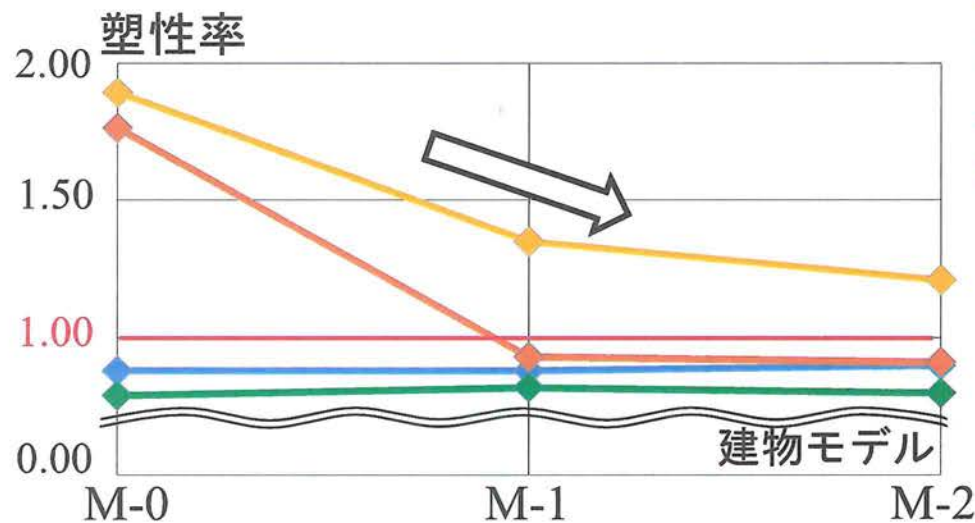
低層 (Low)



Model	L-0	L-1	L-2
設置数 [体]	0	8	16
2F	—		 + 

■ 塑性率

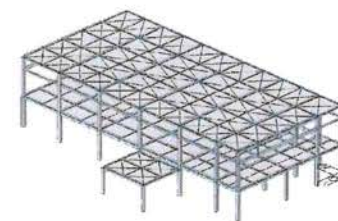
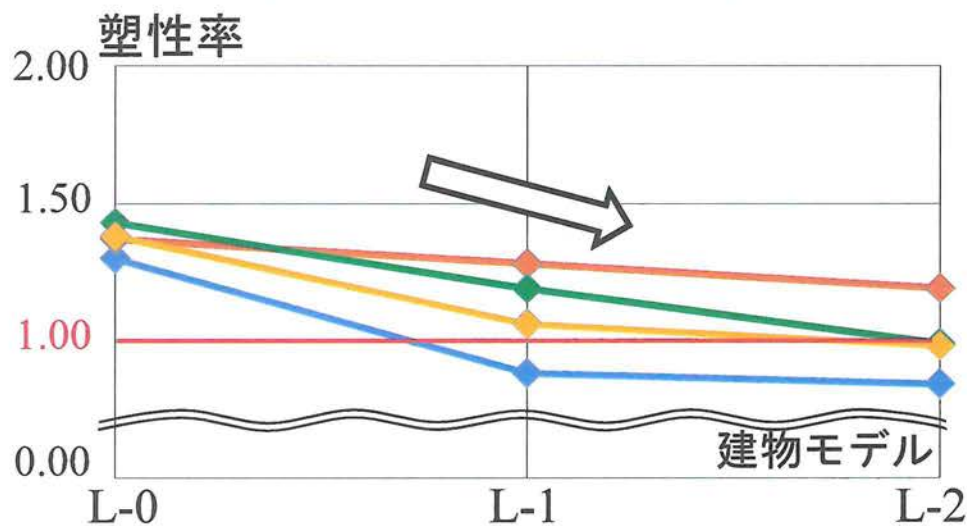
中層 (Mid)



- : El Centro 1940 NS
- : Taft 1952 EW
- : Hachinohe 1968 NS
- : BCJ



低層 (Low)

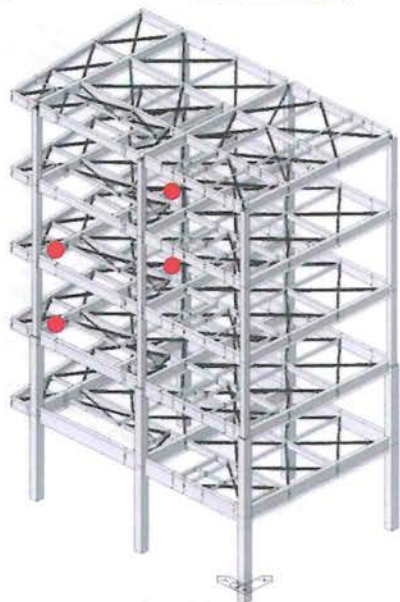


制振性能○

■ 塑性ヒンジ発生数

BCJ

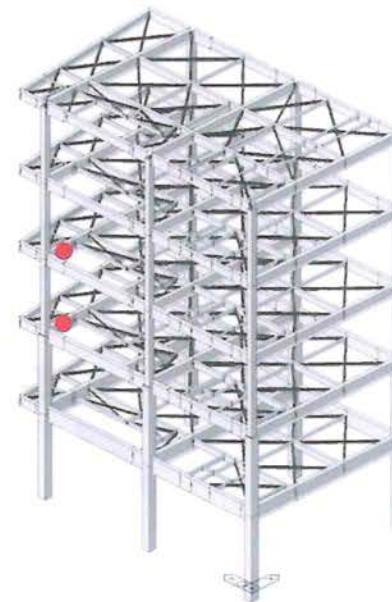
中層 (Mid)



設置0体
M-0

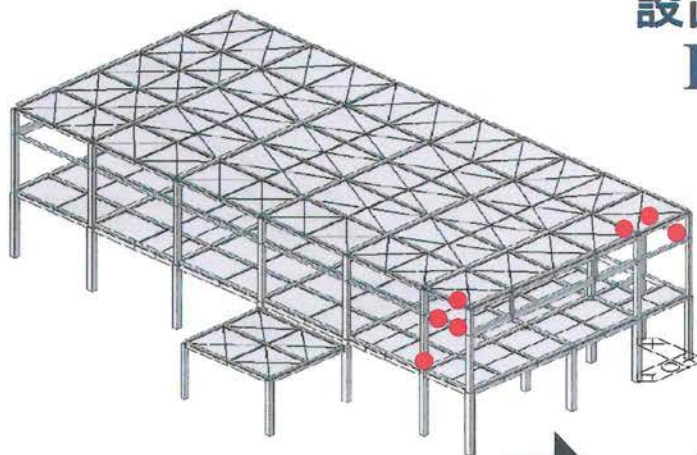
設置6体
M-2

4 → 2



Hachinohe 1968 NS

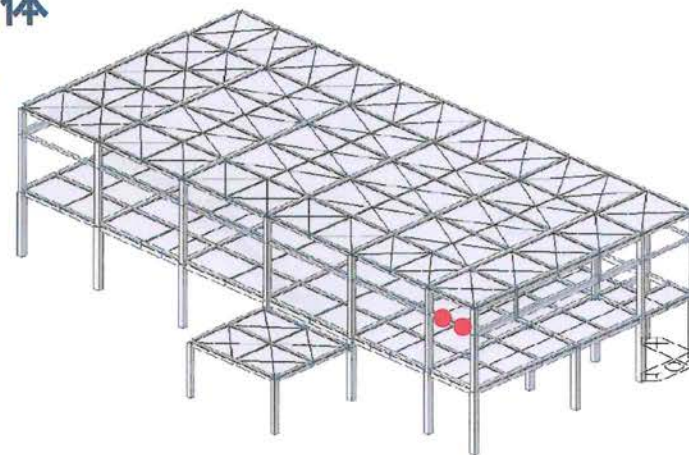
低層 (Low)



設置0体
L-0

設置16体
L-2

7 → 2

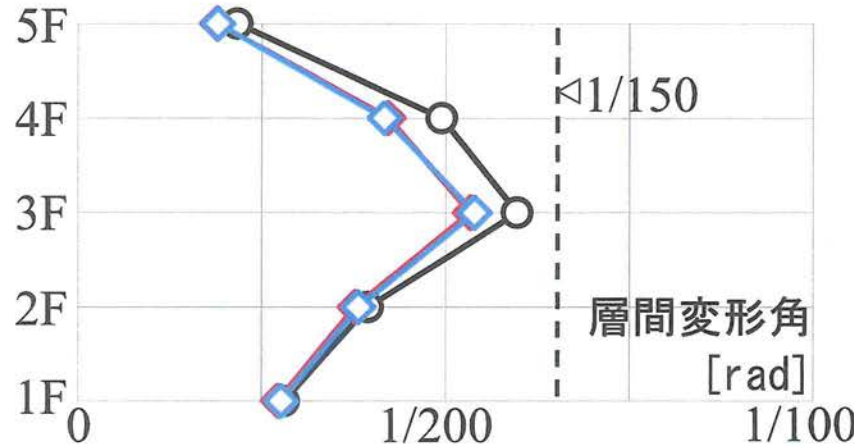


制振性能○

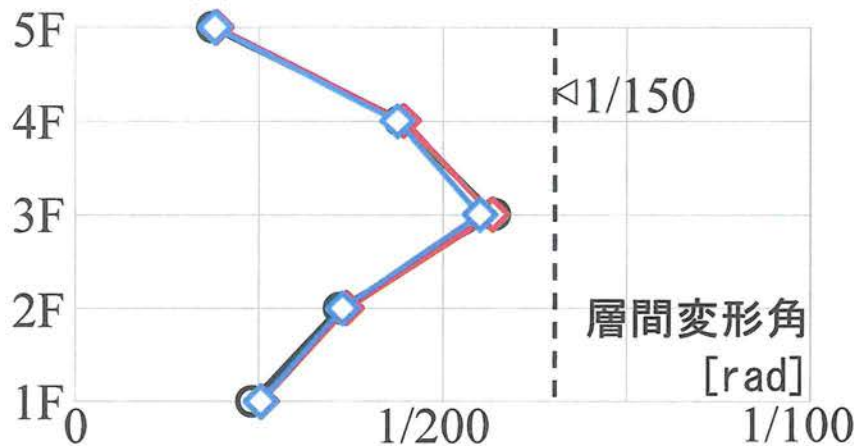
中層(Mid)

■ 層間変形角

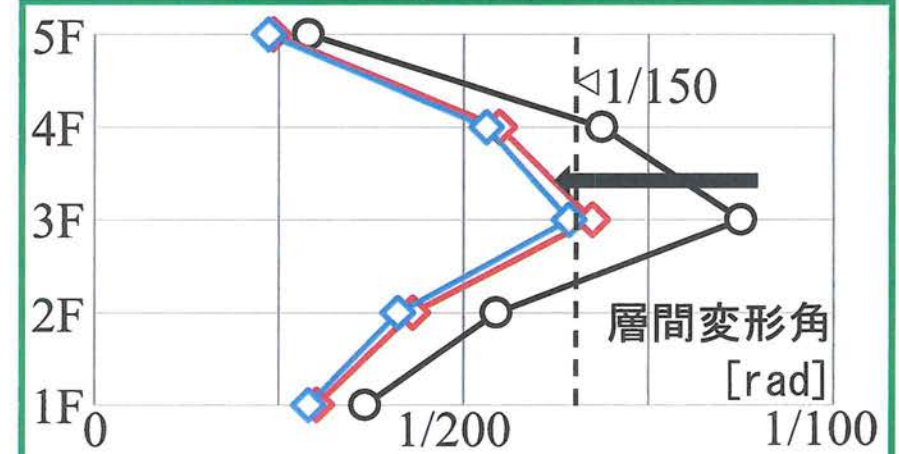
— M-0 (板バネ0体) — M-1 (板バネ4体) — M-2 (板バネ6体)



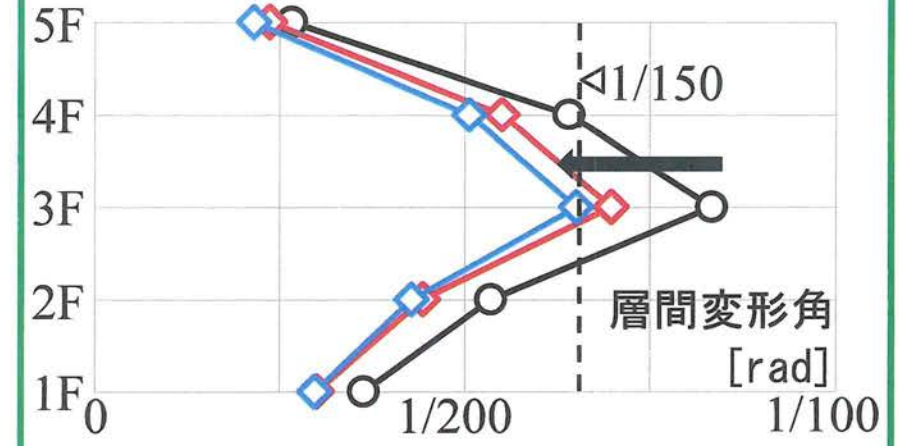
(a) El Centro 1940 NS



(c) Hachinohe 1968 NS



(b) Taft 1952 EW



(d) BCJ

➡ 建物変形大でより制振性能◎

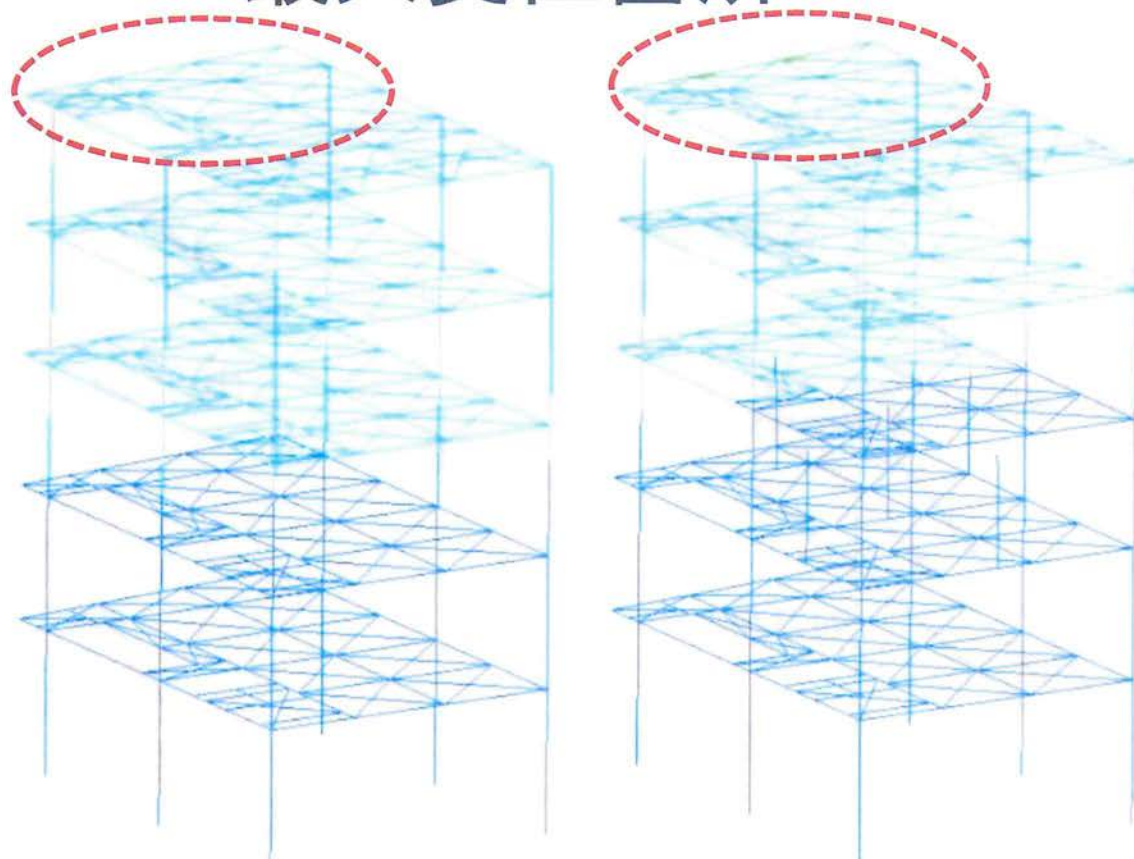
■ 変形アニメーション

Taft EW 波 (Lv.2)

最大変位箇所

中層 (Mid)

低層 (Low)



板バネなし (M-0)

板バネ6体 (M-2)



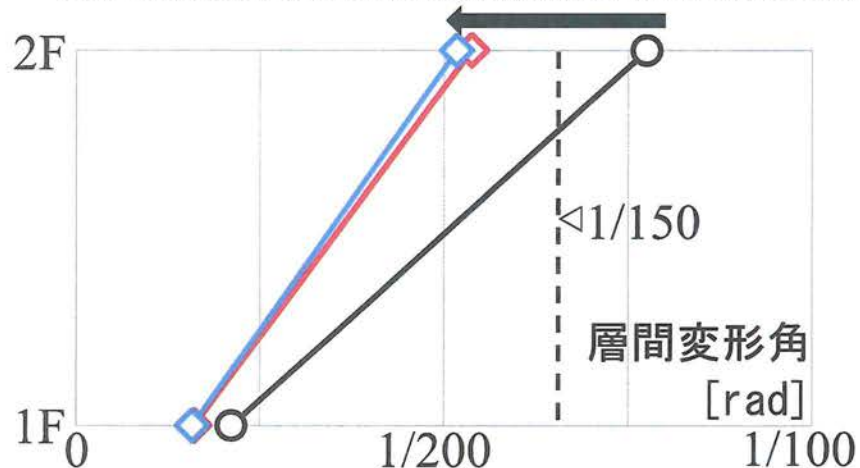
制振性能○

■ 層間変形角

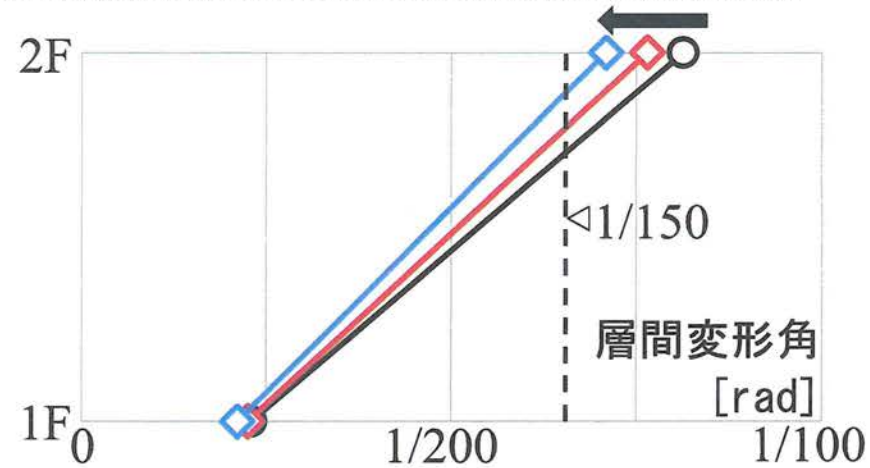
— L-0 (板バネ0体)

— L-1 (板バネ8体)

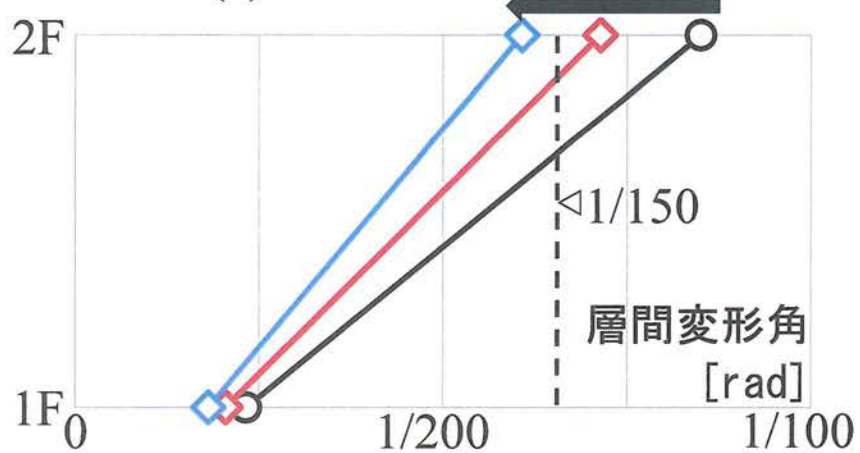
— L-2 (板バネ16体)



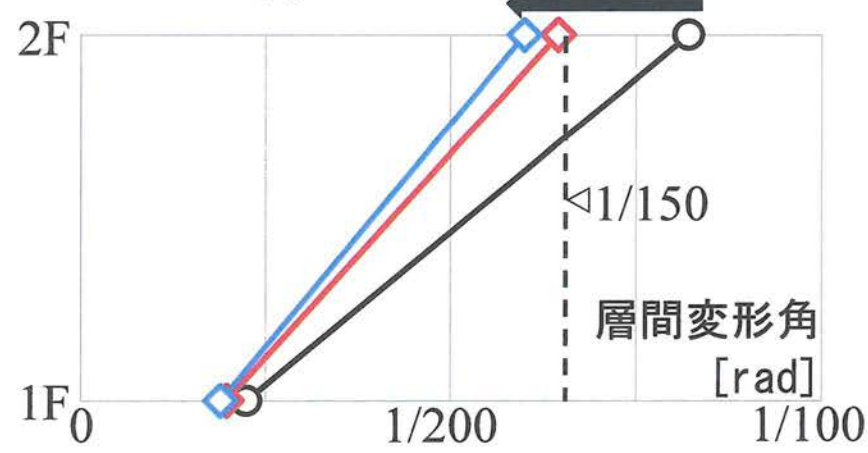
(a) El Centro 1940 NS



(b) Taft 1952 EW



(c) Hachinohe 1968 NS



(d) BCJ

低層 (LOW)

➡ 中・低層建物適用時の十分な制振性能を確認した 18

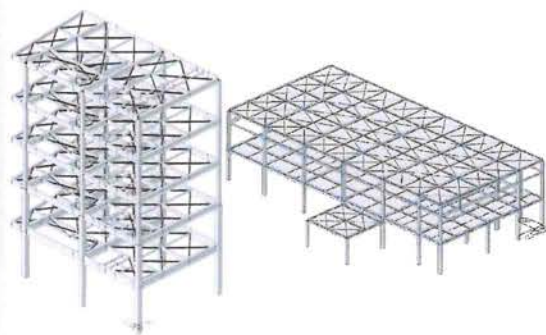
第4章

結論



① 静的実験

分離型でより**高減衰性**を獲得



② 立体弾塑性応答解析

実建物適用時の低減効果を確認
大変形する層への設置が有効



制振デバイスとして有効性を示した

今後の展望： CFRP材の適用 設計手法の確立 実案件への適用

謝辞 本研究は日本振動技術協会 倉林様・株式会社エーシーエム 大久保様の多大なご協力をいただきました。ここに感謝の意を表します。

■ 設置例 (木造フレーム振動実験より)

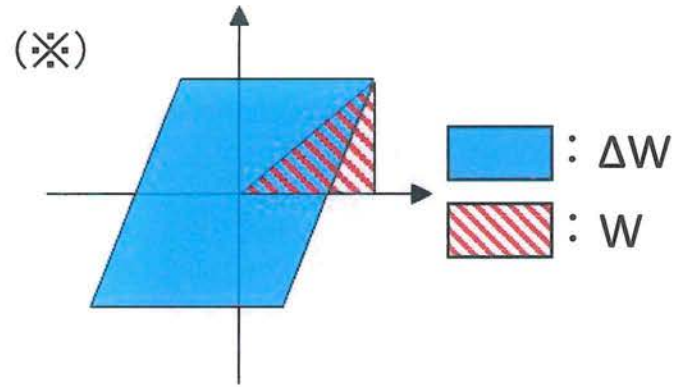


・ 等価粘性減衰定数

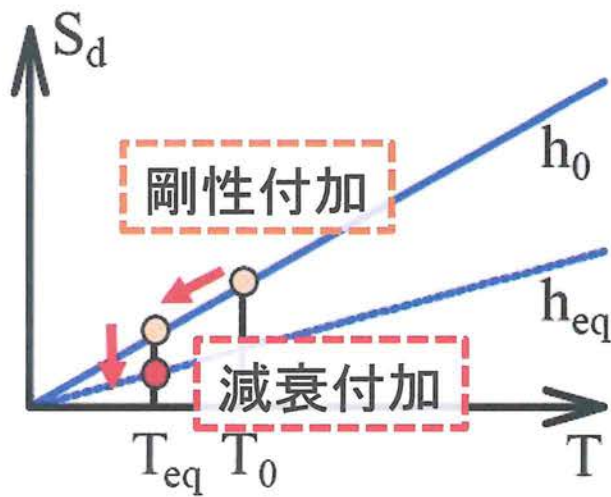
$$f[\%] = \frac{1}{4\pi} \times \frac{\Delta W}{W} \quad (\times)$$

一体型 : 3.5%

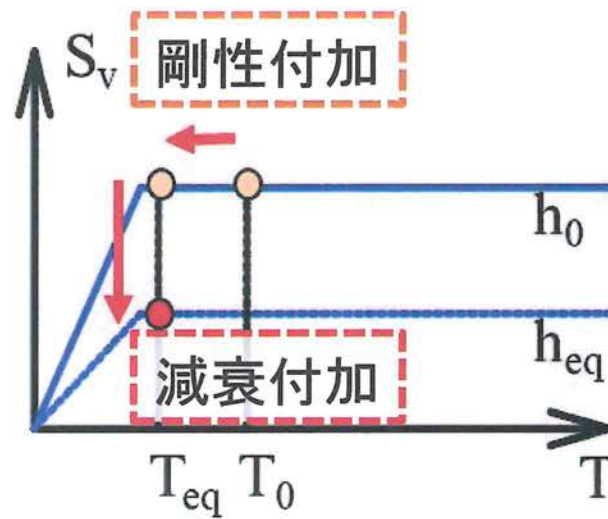
分離型 : 19.3%



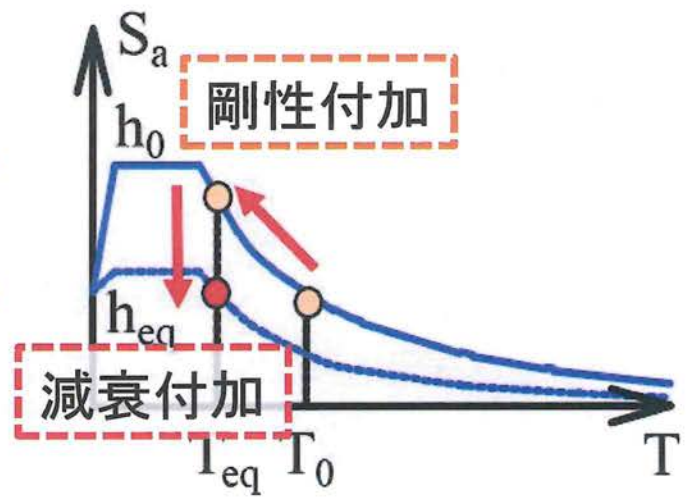
剛性付加 & 減衰付加



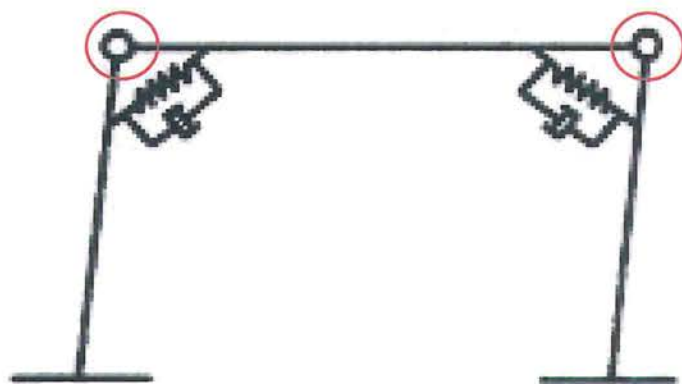
応答変位



応答速度



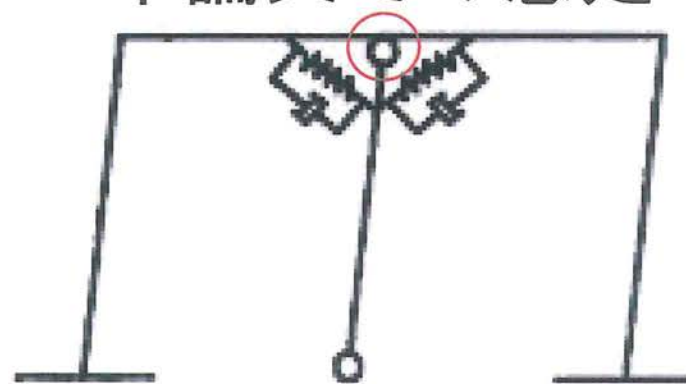
応答加速度



主架構仕口タイプ

→回転角

本論文での想定



間柱タイプ

→変位

■ 摩擦力 $F = \mu N$

┌ 垂直抗力=ボルト締付力

└ 摩擦係数(0.45)

■ 締付力 皿バネのたわみ量により算出

■ 重量 鋼材 16 kg CFRP 5 kg

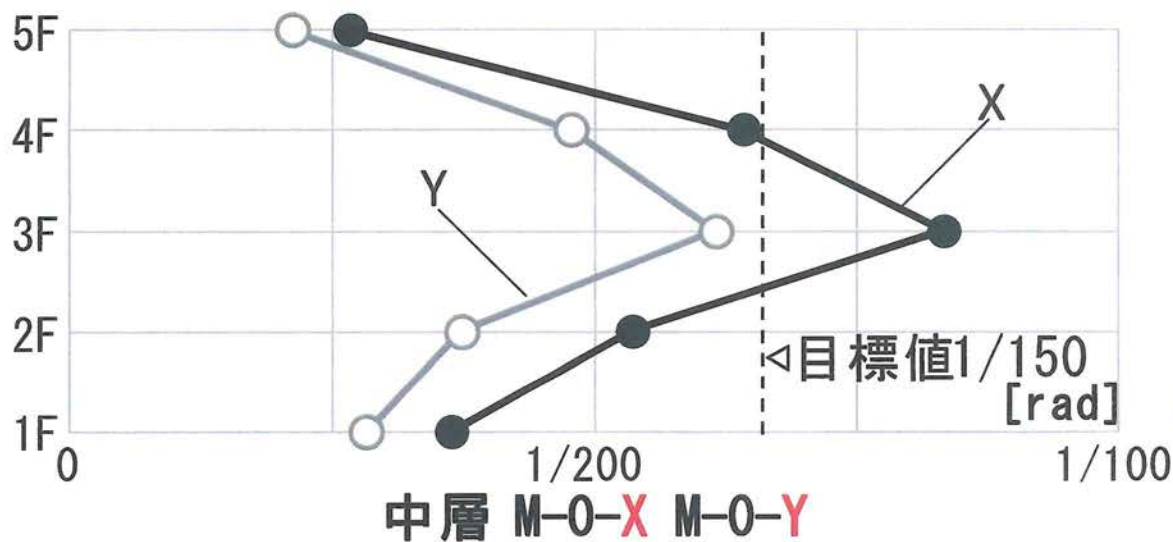
試験体名	S1	S2
形状	一体型	分離型
締め付け力 [mm]	2730	4457
弾性係数 [N/mm ²]	205000	
幅 [mm]	100	
材料	SUP9A	

※ボルト2本分

■非制振モデル (M-0,L-0) 層間変形角比較

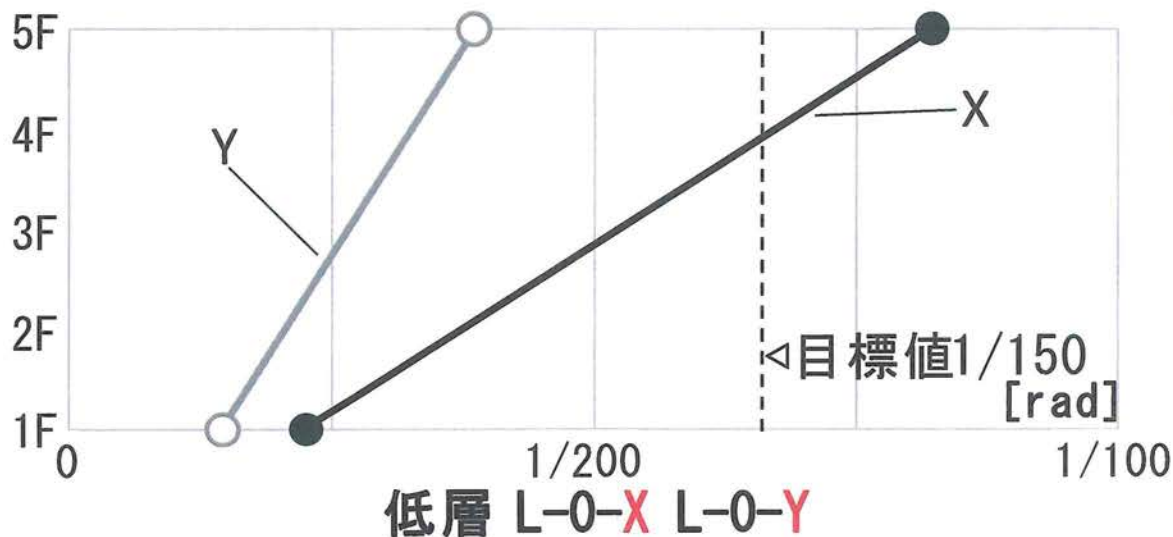


中層 (Mid)

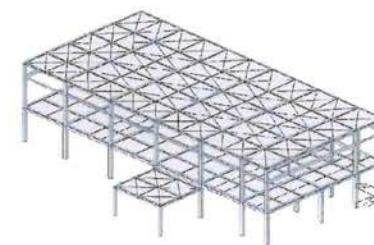


X方向・3階層のみ
板バネ適用

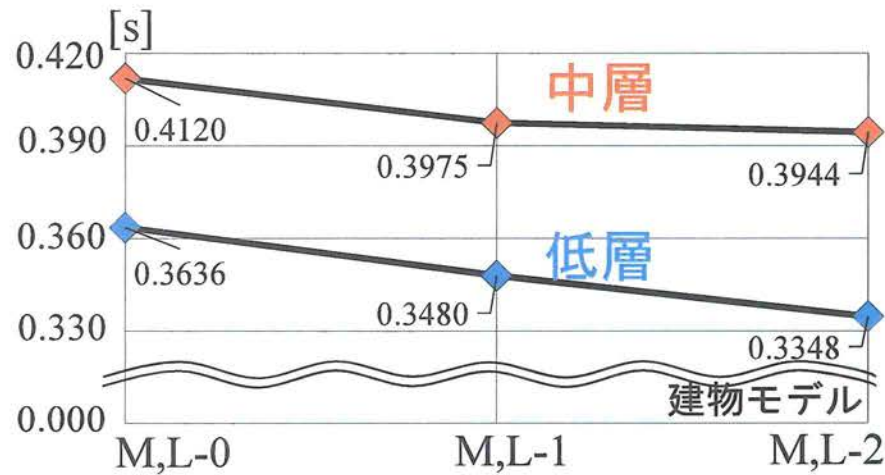
低層 (Low)



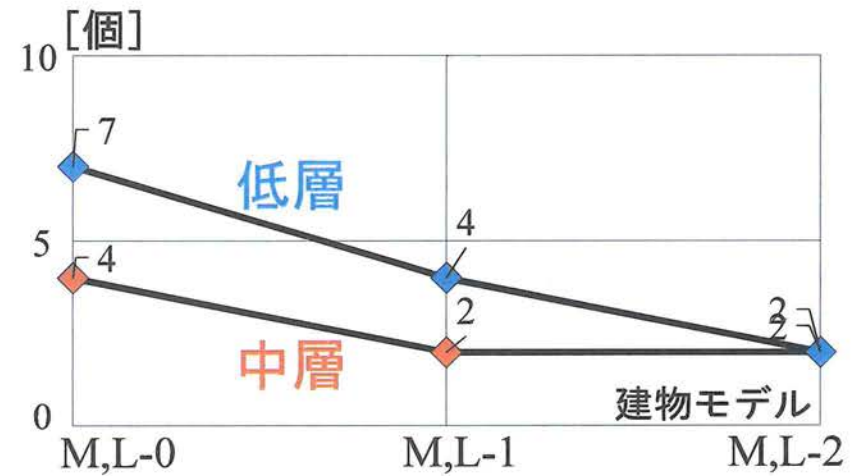
X方向・2階層のみ
板バネ適用



■ 固有周期



■ 塑性ヒンジ発生数



剛性が付与されていることを確認

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}}$$

└─ 剛性増大により短周期化