

せん断パネルダンパーによる並列制振システムの構造性能

山西 央朗*・川口 昭朋**

(令和 6 年11月 1 日受付)

structural performance for parallel damping system by means of shear panel damper

Teruaki YAMANISHI* and akitomo KAWAGUCHI**

(Received November 1, 2024)

Abstract

Many seismic damping systems using steel dampers have been proposed and used. Shear panels, which are steel dampers, are installed through braces, stud, or wall-like supports. There is a one-way brace type for the installation of braces & shear panels, but the installation angle of the brace is 45° , and the brace has the best performance as a brace. It is not practical to install a damper with braces of 45° and shear panels in the span realized by steel structure. Therefore, we will consider a new installation method of the shear panel that takes into account the performance of the brace, and further improve the structural performance of the conventional damper.

Key Words: Shear panel, Parallel damping system, Seismic damping structure

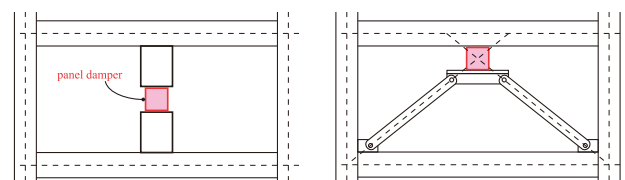
1. はじめに

鋼材ダンパーは、エネルギー吸収能力に優れた鋼材の特長を生かした制振部材である。また鋼構造架構は、ダンパーの接続が最も容易な構造であり、鋼材の降伏点が明確であるため損傷度が評価しやすい。

せん断パネルはブレース、間柱、または壁状の支持部を介して架構内に設置されるせん断降伏型のエネルギー吸収部材である。せん断パネルは、幅厚比を調整、または局部座屈に対する補剛用の鉛直・水平スチフナを適切に配置することで塑性変形能力を制御できる¹⁾。また、地震後の交換を比較的容易に実施可能であり、製作は通常の鉄骨と同様に行うことができる。溶接部のクラックに留意しなければならないものの製作、並びに塑性変形能力の確保が容易であるため、弾塑性領域の履歴面積によるエネルギーの消散を利用する履歴ダンパーに適した要素である。

せん断パネルを履歴ダンパー要素として架構に設置する方法は図 1 にある間柱形式、シアリンク形式が利用・研究されているが、パネルの抵抗を梁の曲げ変形で支持する直列配置形式となり、評価方法は煩雑である。

そこで、本論文ではせん断パネルをダンパー要素としながらも、並列配置となる設置形式（並列制振システム）を提案し、構造性能を追跡する。方法は、FEM による弾塑性解析結果を用いたシアリンク形式との比較・検討によるものとする。



(a) 間柱形式 1

(b) シalink形式

図 1 セン断パネルの架構へ代表的な設置形式

* 広島工業大学 工学部建築工学科 准教授・博士（工学）

** 広島工業大学大学院工学系研究科建設工学専攻大学院

2. 並列制振システムの提案

2.1 ブレース設置角度による抵抗効率

ブレース片流れ形式は並列配置と見なせる一般的な配置である。一方、鋼構造の構面のアスペクト比からするとブレース設置角度が25度程度となる。この場合のブレース降伏時層間変形角は最小値を示す45度と比較して、やや大きくなるため、鋼材の塑性変形に伴うエネルギーに履歴減衰を期待する鋼材ダンパーとしては効率が良くないことが読み取れる。

従って、通常はK型配置などを採用して、ブレースの抵抗効率を高める工夫が取られている。

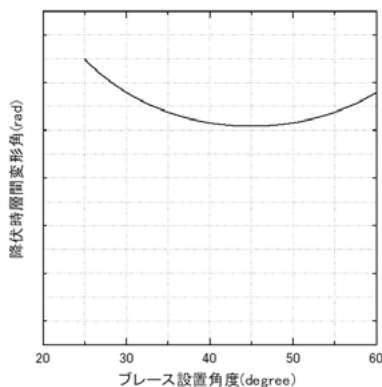


図2 設置角度 - ブレース降伏時層間変形角関係

2.2 従来シアリンク（直列配置）形式の構造性能

図3に示すように、2.1節で説明したブレース K 型配置を採用し、かつダンパーとしてせん断パネル（以下ダンパー）を用いた「シアリンク形式」が、せん断パネルを用いたシステムの代表的な形式である（以下、直列配置形式）。

鋼構造の構面におけるアスペクト比において、ブレース設置角度を45度に近づけることができ、かつ塑性化要素をせん断パネルダンパーとすることで、せん断パネルの構造性能を効率よく発揮できる。

しかし一方で、梁の曲げ剛性でせん断パネルを支持する形をとるため、架構の曲げ応力を増大させる傾向もあり、ダンパーの大容量化に際しては架構の応力負担に留意しなければならない。また、直列配置のため構造性能の追跡・評価が煩雑になる傾向にある。

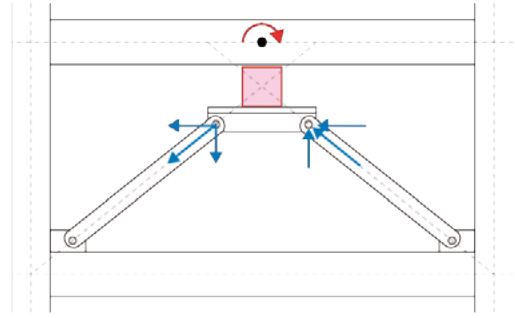


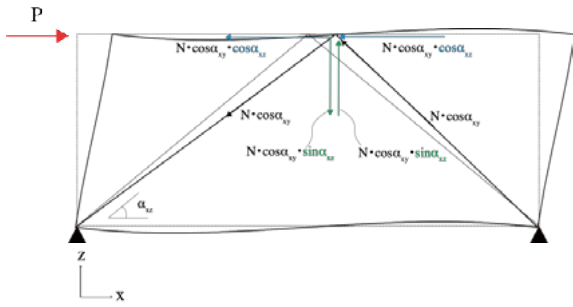
図3 従来シアリンク形式（直列配置形式）

2.3 並列配置形式の構築と構造性能

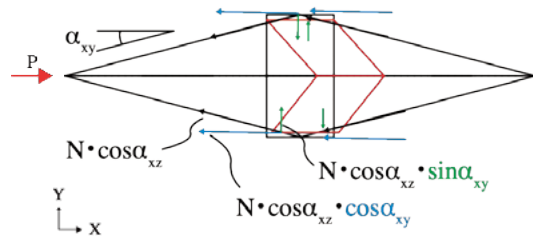
図4に提案する並列配置形式の概要を示す。

2.1節で示した鋼材ダンパーとしての効率の観点から、ブレース設置角度を45度に近づけられるシアリンク形式を基本形態とする。また、直列配置形式で指摘したせん断パネルの支持に伴い生じる梁の曲げ応力を、図4（c）に示すようにせん断パネルを梁左右（水平方向に対象）に設置することで水平荷重作用時のブレースによる抵抗に伴い発生する曲げモーメントを相殺させる。

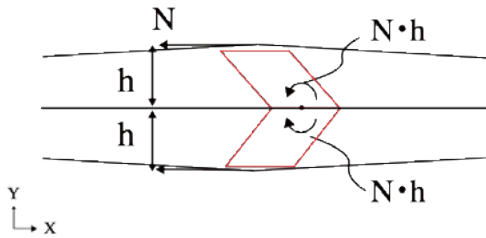
すなわち、シアリンク形式でありながら、ダンパーは並列配置となる結果を得ることが可能である。当該形式であれば、並列配置となり、かつブレースとしての抵抗効率が高められる。



(a) ブレースの負担する軸力



(b) パネル抵抗機構



(c) パネルに生じる曲げ

図4 提案形式（並列配置形式）の抵抗機構

3. FEM 解析概要

解析には「汎用有限要素法解析プログラム ADINA 23.00」を用いる。直列配置形式、並びに並列配置形式のモデルを構築し、それぞれ静的加力による解析を行う。

3.1 対象構造物

多層多スパン構造物から、1 構面を取り出した部分架構を対象とする。スパン 9,600mm、高さ 4,000mm をとり、ブレース設置角度が 45 度に近い架構とする。

柱・梁の主架構は直接配置形式、並列配置形式ともに同一のものを採用する（柱 $\square$ -550 $\times$ 25、上梁 H-600 $\times$ 300 $\times$ 14 $\times$ 25、下梁 H-700 $\times$ 300 $\times$ 14 $\times$ 28）。

本提案形式はパネルを梁左右に設置（2 枚設置）、従来シアリンク形式は梁下フランジ下端に設置するので、パネルダンパーの設置枚数が異なる。そこで、パネルの容量（降伏耐力）を同一として構造性能を揃えるために、従来シアリンク形式に設置するパネル厚さを t_b 、本提案形式のパネル厚さを $0.5t_b$ とする。

尚、本解析では、パネルの局部座屈挙動には着目したも

のではないため、座屈解析などで用いられる初期不整などは導入していない。

次いで、ブレース設置本数もそれぞれで異なるため、圧縮荷重に着目し、これを同程度のものとなる断面形状をそれぞれに採用する（並列配置形式： $\square$ -100 $\times$ 12、直接配置形式： $\square$ -150 $\times$ 6）。

3.2 解析モデル概要

解析モデルの構成を図 5 に示す。せん断パネルを Shell 要素で、柱・梁・ブレースは Beam 要素で構成することを基本とする。

直列配置形式は梁下フランジ下面にパネルを設置するが、beam 要素でこの形状を表現することが難しいため、せん断パネル設置位置近傍（パネル幅 + 梁せいの 2 倍 = 1,500mm）では梁を Shell 要素で表現している。

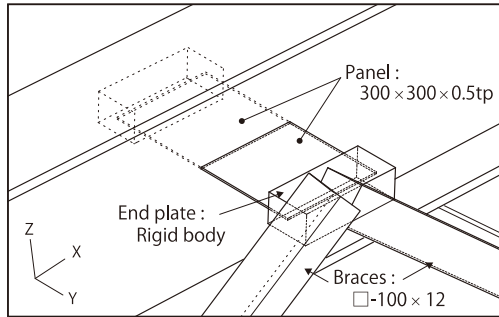
また、並列配置形式であっても、せん断パネルのフランジ配置の取り合いや、せん断パネルからの応力伝播状況を表現するために、同じくせん断パネル設置位置近傍では梁を Shell 要素で表現している。

更に、梁降伏型を取る柱梁耐力比が採用されているため、梁の塑性化が想定される部位は Shell 要素で表現している。

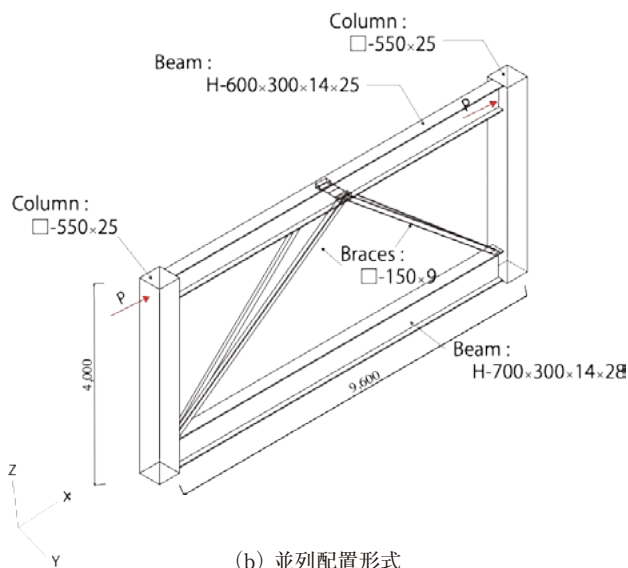
尚、Shell 要素と Beam 要素との境界に剛体を配置することで、Shell 要素に局所的な変形が生じることを防いでいる。

幾何学的境界条件として、柱下端にピン支点を設け、柱頭に X 軸方向の強制変位を与えている。また、全部材には線弾性係数 $E=205,000\text{N/mm}^2$ 、降伏応力度 $\sigma_Y=235\text{N/mm}^2$ 、ポアソン比 $\nu=0.3$ 、2 次勾配 $E_{2nd}=0\text{N/mm}^2$ とする材料特性を与えている。

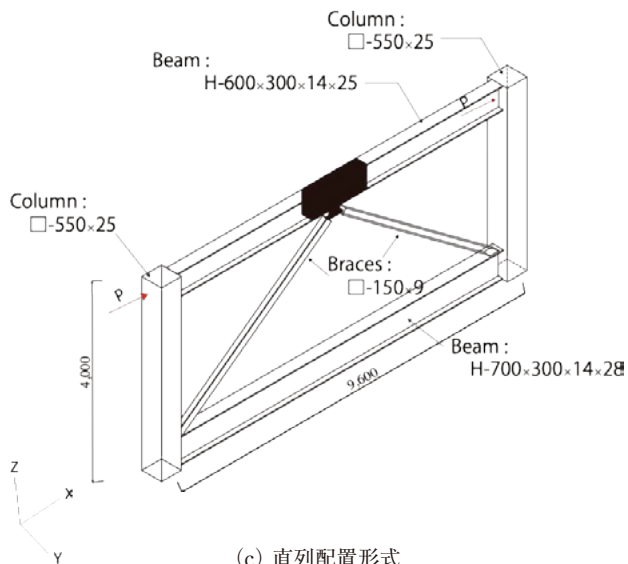
解析変数として、せん断パネルの板厚 $t_b=9, 19, 32\text{ (mm)}$ とし、これに併せてブレースの断面形状も調整している。尚、並列配置形式のせん断パネルの板厚は $0.5t_b$ を採用し、こちらもパネルに合せたブレース断面形状を採用している。計 6 ケースの解析を行った。



(a) パネル設置位置詳細



(b) 並列配置形式



(c) 直列配置形式

図5 解析モデル

4. 解析結果と考察

表1に直列配置形式 (Series) と並列配置形式 (Parallel) の降伏時水平剛性を示す。解析結果として、

図6に層せん断力-層間変形角関係を、図7に曲げ応力図の代表値 ($t_b=9$ のダンパー降伏時) を示す。

図7より、並列配置形式は直列配置形式と比較して水平剛性が高い結果となっている。しかし、並列配置形式のブレースの体積が比較的大きく、これによる影響を含んでおり、水平剛性を上昇させるという観点において、並列配置形式が直列配置形式に比較して明瞭な優位性を保有しているとは言い難い結果となった。

これは、直列配置形式のダンパー抵抗効率が良いことを示唆^{2),3)}しており、当該点については、改めて検討の必要があると考えている。

次に、並列配置形式は直接配置形式と比較して早期にダンパーが降伏している。すなわち履歴減衰をより早く発揮できるため、制振ダンパーとしての構造性能が向上していることが読み取れる。

図8より、並列配置形式ではラーメン架構のみの場合の曲げ応力分布と相似形を示しており、曲げ変形により架構の変形が支配される建築構造物において、並列配置形式により架構との並列が確保されたことが分かる。これは、図4(c)で示しているように、せん断パネルによる曲げ応力は、梁左右に設置したせん断パネルの自己釣り合いにより相殺されたことに起因しており、期待通りの抵抗機構が得られたことを示している。

更に、直列配置型と比較して並列配置形式では、柱、梁の曲げモーメントが低減されている。これはダンパーの応力負担が向上し、主架構の負担する応力が低減されたことに起因しており、制振システムとしての抵抗効率が良いことを示している。

5. まとめ

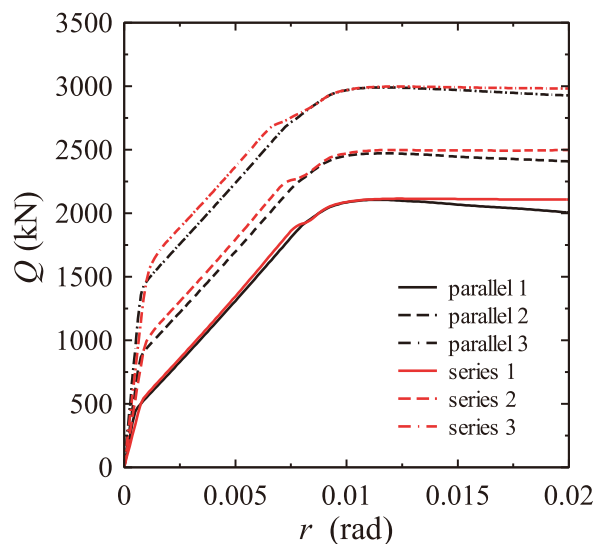
鋼材ダンパーを使用した新たな設置方法を検討し、FEM解析を行った。また、構造性能を追跡し、新たな配置方法の構造的特徴を示した。

得られた知見は以下のように要約できる。

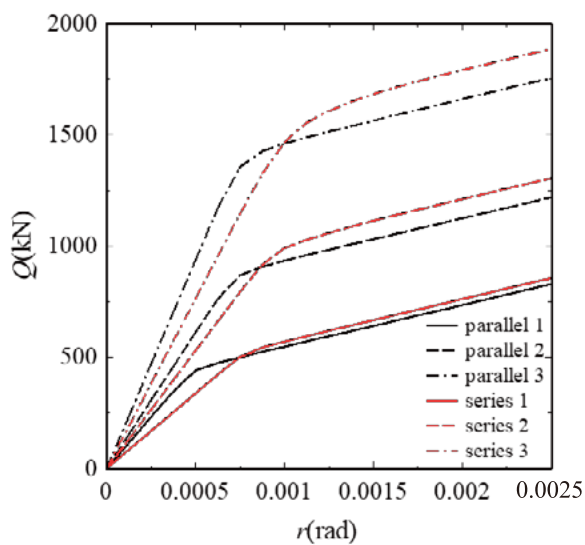
- 1) 提案した配置形式であれば、せん断パネルダンパーを並列配置として構築できる。
- 2) 提案する配置形式は、従来のシアリンク型 (直列配置形式) と比較して早期にダンパーを降伏させることができ、制振システムとして効率が良いことを確認できた。
- 3) 従来のシアリンク形式 (直列配置形式) に比較して、並列配置形式は主架構 (柱・梁) の曲げ応力負担を低減することが可能である。

表 1 水平剛性

	Panel thickness t_p (mm)	braces (mm)	damper yield r (rad)	K_{sys} (kN/mm)
Series 1	9.0	□ - 150× 6	0.00063	169.0
Series 2	19.0	□ - 200× 9	0.00075	265.0
Series 3	32.0	□ - 200×16	0.00063	382.0
Parallel 1	4.5×2	□ - 100×12	0.00038	231.0
Parallel 2	9.5×2	□ - 150× 9	0.00050	306.0
Parallel 3	16.0×2	□ - 150×16	0.00050	469.0

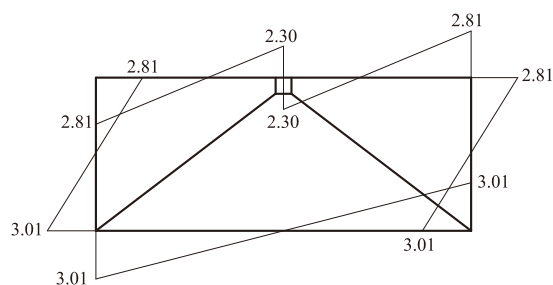


(a) 全体

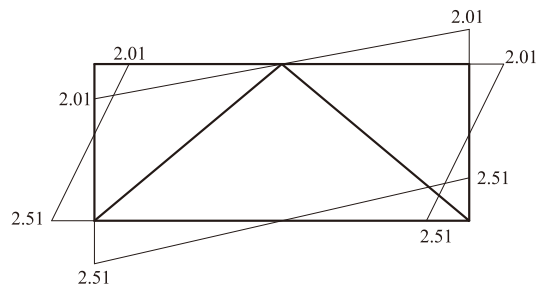


(b) 降伏時拡大

図 6 層せん断力 - 層間変形角関係



(a) 直列配置形式



(b) 並列配置形式

図 7 曲げモーメント図

参考文献

- 1) 日本建築学会, 鋼構造制振設計指針, 丸善出版株式会社, P220-P221, 2014
- 2) 細谷佳雅, 後上和也, 石井正人, 佐藤大樹, 佐藤利昭, 北村春幸, 佐々木和彦, 岩崎雄一, 吉江慶祐: 耐震プレースを併用した変形増幅機構に対するダンパー特性の与える影響, 日本建築学会関東支部研究報告集 I, pp.545-548, 2016.
- 3) 戸張涼太, 石井正人, 佐藤利昭, 北村春幸, 吉江慶祐, 佐々木和彦, 岩崎雄一: 変形増幅機構を有する粘性制振壁を設置した制振システムの提案, 日本建築学会構造系論文集第79巻第706号, pp.1741-1750, 2014.12