

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 13 日現在

機関番号：15401

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2014～2015

課題番号：26820231

研究課題名(和文) 露出柱脚付鉄骨架構の制振ダンパー設置工法に関する研究

研究課題名(英文) A study on seismic control damper joint method for steel structure with exposed column-base

研究代表者

山西 央朗(yamanishi, teruaki)

広島大学・工学(系)研究科(研究院)・助教

研究者番号：40587060

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,000,000円

研究成果の概要(和文)：中低層鋼構造物では、柱下端部と基礎の接合部に露出柱脚形式と呼ばれる工法を適用していることが多い。一方、ブレースと呼ばれる斜め材は地震時に効率よく抵抗する(地震のエネルギーを吸収する部材としても使われ、この場合ダンパーと呼ぶ)が、これを露出柱脚に直接設置すると、柱脚が早期崩壊して、期待する性能が得られない可能性がある。近年、ダンパーを用いて耐震安全性を高める設計が普及し始め、中低層鋼構造物への適用も増加することが予想される。

本研究では、露出柱脚を有する架構にダンパーを設置するための新たな工法を提案している。当該工法は、より簡便に設計できることが可能で、それを載荷実験結果により示している。

研究成果の概要(英文)：Column-bases are generally designed to consider a bending moment and an axial force, and it is clear that the axial force affects strength and stiffness of anchor-bolt-yield-type exposed column-bases. The column-base with a brace is acted by a strong axial-force and a strong shearing force, then it can be destroyed by excessive shearing force. Therefore, a cyclic loading test on a braced frame with weak column-base is carried out to clarify shearing fracture behavior of the column-base.

研究分野：工学

キーワード：低層鋼構造物 露出柱脚 制振設計 ダンパー接合法 載荷実験

1. 研究開始当初の背景

地震エネルギーを吸収して建築構造物の応答低減させるダンパー(エネルギー吸収部材)を用いる制振設計によって、耐震安全性の高い構造物を実現できることが近年の大地震時に実証されている。今後、中低層構造物にも制振設計やそれによる耐震改修が実施されることが予想される。

しかし、中低層鋼構造物の柱下端と基礎との接合部に採用される露出柱脚にダンパーを設置すると、露出柱脚への損傷集中によりダンパーの機能効率が著しく低下することが予測され、柱脚は完全な弾性状態を保持するように設計される。

このように、柱脚の存在応力に対して弾性状態を確保することは可能であるが、それを実現するためには、アンカーボルトを多数配置するために、その抵抗機構を捕らえ難い。さらに、耐震改修などの既存の構造物に適用する場合は、その施行は容易ではない。

2. 研究の目的

中低層鋼構造物に多用されている露出柱脚は、過度の引張軸力・せん断力が作用すると、アンカーボルトが局部的に曲げ・せん断変形して破断し、架構の耐力・靱性が著しく低下する。これは、ダンパー軸力が引張軸力領域に入りベースプレートが基礎から離間すると応力を全てアンカーボルトが負担する抵抗機構を有するためである。従って、ダンパーの耐力に比較してアンカーボルトの保有耐力(以後、柱脚耐力)が十分である場合、または補強等を施して柱脚耐力を増強すれば、柱脚に損傷・変形が集中すること無く、健全なブレース架構として成立することも分かっている。

一方、近年実施されている低層鋼構造(屋内運動場等)の耐震改修に着目すると、接合部回りの補強でラーメン架構の耐力・靱性を確保する、またはダンパーの新設・取換え(ダンパー耐力増大)による改修設計が提示されている。

本研究では、中低層鋼構造物の制振設計、制振技術を用いた耐震改修時における、ダンパー設置工法として、より合理的工法を確立することを目的とする。

3. 研究の方法

露出柱脚付架構にブレースを設置すると、柱脚にはブレース軸力による引張軸力・せん断力が作用する。

このとき、柱脚は図1のように崩壊する。これを改善する工法として、図2に示すように主架構(長期荷重を支持する構造)の露出柱脚と、ダンパーを支持する接合部とを分離することで、柱脚の応力負担を軽減できる。

この載荷実験により工法の合理性を実証し、次に、当該工法を施した架構の数値解析を実施することで設計時の留意点などを吟味する。

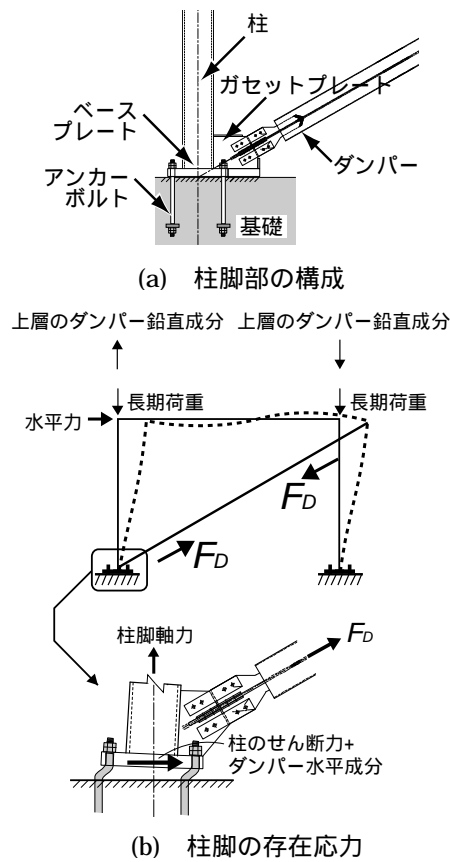


図1 ダンパー付露出柱脚

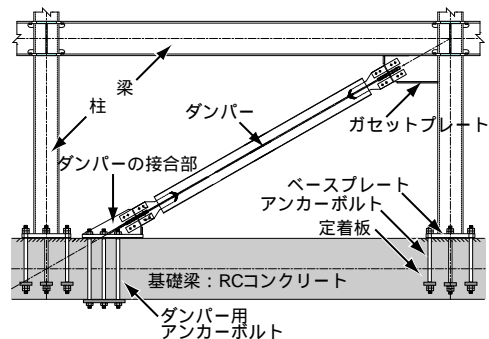


図2 第一層部ダンパー設置工法(提案型)

(1) 提案工法のダンパーと基礎との接合部における挙動を検討するため、図3に示す試験体を用いて載荷実験を行う。

試験体は、制振ダンパーに引張力を与えるため、反力用柱とダンパーからなるトラス架構を構築している。反力用柱柱頭部にダンパーに引張力が作用するように水平力を与え、アンカーボルトが破断した時点で実験を終了した。

また、アンカーボルトの最適な配置位置を検討するため、ダンパー図心と基礎梁上面との交点近傍にアンカーボルトを設置した配置01,01に対して内側(圧縮側)にアンカーボルトを配置した02,01に対して外側(引張側)にアンカーボルトを配置した03の3種類を採用する。

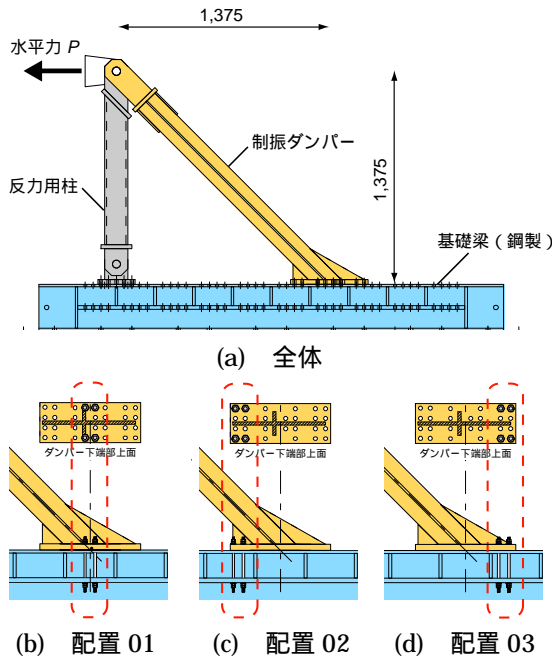


図3 提案工法のダンパーと基礎との接合部

(2) 提案工法を採用した場合の架構としての挙動を検査するため、図4に示す試験体を用いて載荷実験を行う。

試験体は、提案型のディテールを有し、ラーメン架構に水平力を与えることで、ダンパーに軸力、露出柱脚に架構からの曲げモーメントと軸力を作用させる。

露出柱脚はアンカーボルト降伏型とするため、ベースプレート隅角部に1本ずつM16のアンカーボルト(ABR490)を配置した固定柱脚としている。

また、ダンパーの容量を調整するために最小断面積 $A=270(\text{mm}^2)$ となるダンパー塑性化部(SN400)を4本設置している。なお、ダンパーと基礎との接合におけるアンカーボルト配置は図3(d)配置03に相当するものとしている。

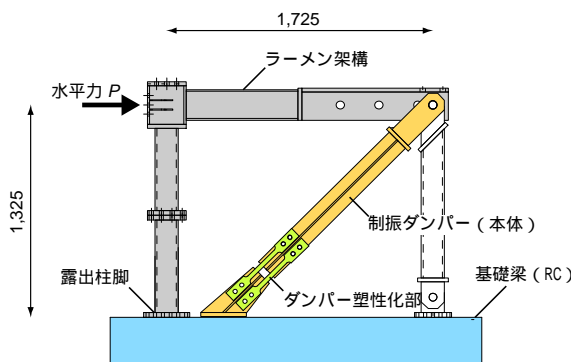


図4 提案工法を採用した部分架構試験体

(3) 提案工法のディテールを適用した多層多スパン架構の検討を実施するため、図5の架構を採用する。

架構は、日本建築学会 鋼構造制振設計指針 付5に提示されている低層構造物の1平面架構を対象とし、ダンパーの影響を無視した場合に露出柱脚の接合部係数が0.7となる

ように試設計したものを用いる。

なお、ダンパーの配置位置は、本研究の目的に合わせて調整している。

解析には「任意形状立体フレームの弾塑性解析ソフト“SNAP Ver.6”」を用い、時間刻み0.005秒、減衰定数は瞬間剛性比例型で $h=0.02$ とする。また、水平加速度にはEl centro NS波を最大速度が75kineとなるように基準化したものを用いる。

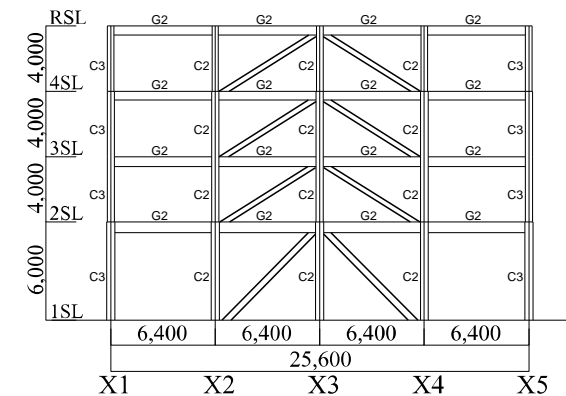


図5 多層多スパン架構

<引用文献>

日本建築学会、鋼構造制振設計指針、第1版、2014.11.

#### 4. 研究成果

(1) 図6に、提案工法のダンパーと基礎間の荷重-変位関係を示す。なお、変位としてはダンパー下部の変位 $\delta$ 、変位の水平成分 $\delta_H$ 、変位の鉛直成分 $\delta_V$ を併記する。

50kN近傍で、いずれの結果も変位が大きく生じているが、これは $\delta_H$ のグラフから分かるように接合部にて滑りが生じた影響である。また、03の滑りが生じた荷重が若干高いのは、図7に示すように、接合部に対してダンパー軸心を偏心させることで、摩擦力を生じさせているためである。更に、03は滑った後もダンパー下部と基礎とは接触しており、引き続き摩擦力が期待できる。このため、最も高い最大耐力を示した。

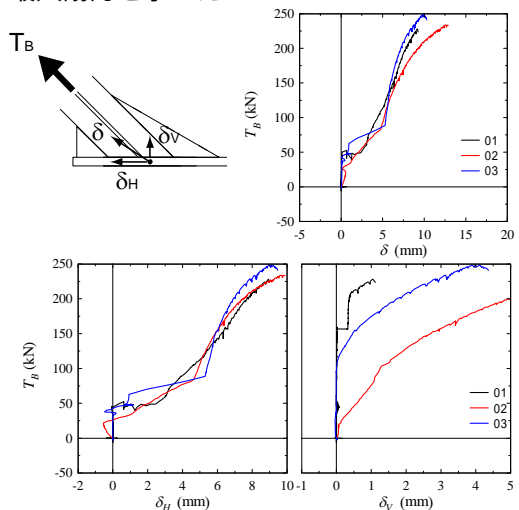


図6 ダンパーと基礎間の荷重-変位関係

一方、02 は耐力および剛性共に最も低い。従って、ダンパーを基礎に固定する場合、アンカーボルト群に対して、02 のように偏心させると、無偏心である 01 で想定した強度や剛性を得られない可能性がある。

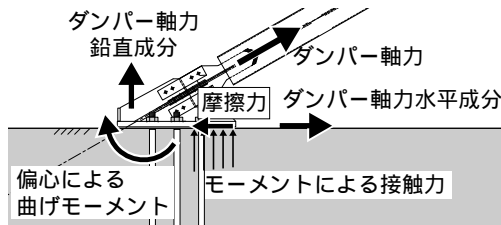


図7 ダンパーと基礎の接合部偏心した場合

(2) 図8 に提案工法を適用した部分架構の層せん断力-水平変位関係、図9 に柱脚曲げモーメント-ベースプレート回転角関係を示す。図8, 9 より、架構は完全弾塑性型の履歴形状を示しており、また、柱脚はほぼ無軸力下の挙動を示している。

提案工法であれば、柱脚挙動にダンパーの影響を直接与えることは無いので、それぞれの設計が簡便となり、合理的な設計を可能とする。

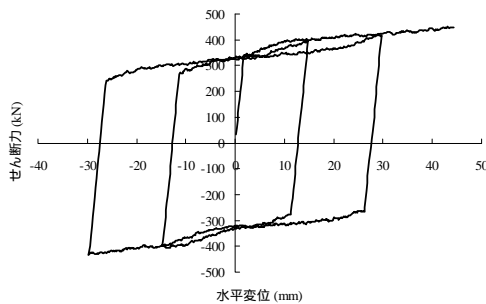


図8 層せん断力-水平変位関係

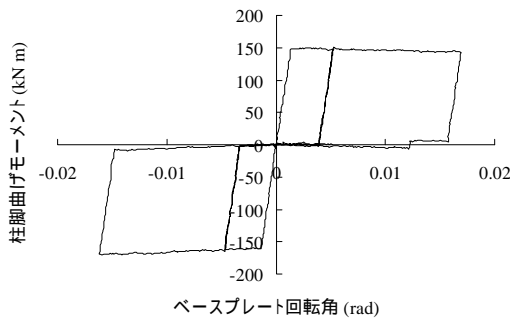


図9 柱脚曲げモーメント-回転角関係

(3) 図10 に多層多スパン架構の各柱脚曲げモーメント M-柱軸力 N 耐力相関関係、図11 に各柱脚曲げモーメント M-柱下端部曲率φ関係を示す。

図10 より、各柱脚は柱軸力により、最大耐力が増減するものの引張の最大耐力には到達しておらず、ダンパーの抵抗効率を著しく低下させるような荷重には達していない。このため、ダンパーはほぼ完全弾塑性型の履歴形状を示し、健全に機能していた。

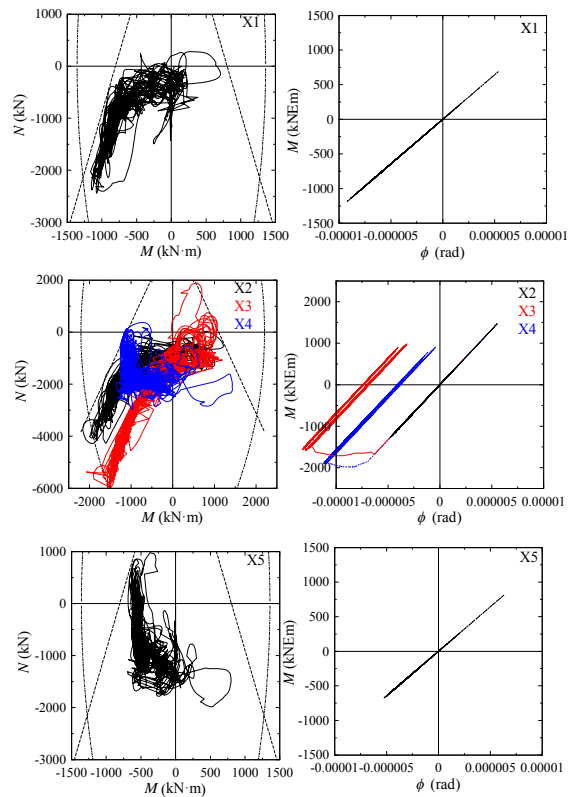


図10 柱脚M-N関係 図11 柱M-φ関係

しかし、図11の柱の挙動を見るとX2, X4は塑性化している。柱脚の接合部係数は0.7であるので本来は柱が塑性化することはないが、図10からも分かるように柱軸力が大きく変動しており、これによって降伏要素が変化したためである。この概念図を図12に示すが、本工法により柱脚の応力負担を低減できるが、2層より上の層のダンパーの鉛直成分は作用するので、これを加味して設計する必要がある。

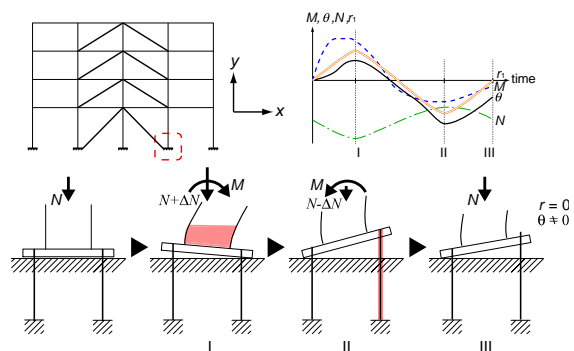


図12 柱脚周りの降伏要素の変遷

以上、提案工法を用いることで柱脚に作用するダンパーからの過度なせん断力は回避することができ、このため、柱軸力と曲げモーメントに対する検討のみで露出柱脚を設計できる。

5. 主な発表論文等  
〔雑誌論文〕(計2件)

山西央朗，笠井和彦，玉井宏章，高松隆夫，露出柱脚付低層鋼構造物の地震時応答性状と柱脚の挙動 - その3 柱脚の存在応力-，日本建築学会，中国支部研究報告集，査読無，第 38 巻，2015，pp. 133 136

山西央朗，笠井和彦，玉井宏章，高松隆夫，露出柱脚付低層鋼構造物の地震時応答性状と柱脚の挙動 - その4 露出柱脚挙動による全体応答への影響，日本建築学会，中国支部研究報告集，査読無，第 38 巻，2015，pp. 137 140

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

山西 央朗 (YAMANISHI TERUAKI)  
広島大学・大学院工学研究科・助教  
研究者番号：40587060