# ブロック型倒壊方向制御構造の耐荷機構に関する解析検討

(公財)鉄道総合技術研究所 正会員 〇布川 博一 豊岡 亮洋 小野寺 周 山田 聖治 室野 剛隆

# 1. はじめに

想定を超えるような地震動が作用した場合でも、構造物が破滅的な破壊に至らない危機耐性に優れた構造の 実現が求められている<sup>1)</sup>。この一つとして、地震時に損傷が集中する部材に予め特定方向への変位を抑制する デバイスを取り付けることによって構造物の耐力に非対称性を与え、構造物の倒壊方向を任意の方向へ誘導す る倒壊方向制御機構の開発が進められており、動的挙動や耐力評価試験が行われている<sup>2)</sup>。本稿では、デバイ スの有無および柱とデバイスとの遊間を変化させた柱の正負交番載荷試験結果の再現を FEM 解析により行い、 試験との整合性や柱断面の応力状態を評価した結果を報告する。

#### 2. 解析モデルと解析ケース

解析モデルは図1に示すRC ラーメン高架橋柱の正負交 番載荷試験での試験<sup>3)</sup>を参考に、載荷方向に面対象性を持 たせた3次元有限要素モデルを構築した。部材特性として スタブは線形でモデル化し、柱のコンクリートは図2に示 すように引張特性は出雲らのモデル<sup>4)</sup>、圧縮特性は修正 Ahmad モデル<sup>5)</sup>を与え、ひび割れを考慮した非線形特性と した。また、柱の鉄筋は図3に示すバイリニア型でモデル 化した。解析は表1に示すように柱の正負交番載荷試験の うち、デバイスなしの基本試験に対応した CaseA、デバイ ス有の試験体 No.2 に対応した CaseB を対象に、150mm を 最大変位とした一方向の変位制御のプッシュオーバー解 析を実施した。柱とデバイスの接触は、すべりや剥離が生 じるような力学的特性を表現ができるフィルム要素によ り、緩衝材の剛性(20.6N/mm<sup>2</sup>)、柱との遊間を考慮した図 4に示すギャップ型の非線形特性とした。解析コードは FINAL (株式会社 大林組)を使用した。

# 3. 試験結果とプッシュオーバー解析結果の比較

図5に試験体 No.2 と CaseA 及び CaseB の解析結果を示 す。試験結果の変位関係と対応させるため、デバイスのな い負側の変位は CaseA の結果で比較する。

図5よりデバイスの有無にかかわらずCaseA及びCaseB の解析結果と試験結果の荷重-変位関係とほぼ整合した 挙動を示している。また、デバイスを設置したCaseBでは、 柱とデバイスとの接触点付近で荷重の上昇が確認でき、 CaseAの荷重-変位関係と比べて、荷重の上昇により左右 で非対称性が生じていることが分かる。デバイスと接触し たことによる柱の最大耐力は251.35kNまで増加し、デバ イスがないCaseAの最大耐力194.44kNと比較して、29% の柱の耐力上昇が確認できた。また、CaseBは試験体 No,2



の試験結果の荷重変化点及び最大耐力点ともほぼ整合した結果が得られていることから、柱の正負交番載荷試験結果を良好に再現することができた。

キーワード 倒壊方向制御、危機耐性、正負交番載荷試験、プッシュオーバー解析 連絡先 〒185-8540 東京都国分寺市光町 2-8-38 鉄道総合技術研究所 鉄道地震工学研究センター



図5 実験結果と解析結果の比較

### 4. 柱の曲げモーメントの変化について

デバイスの有無による柱の応力状態を確認する ため、CaseA及び CaseBの高さ 1D(D=400mm)を 基本に、①0.25D、②1D、③2Dの位置で曲げモー メントの抽出をおこなった。曲げモーメントは各 断面において平面保持を仮定し、部材軸中心から 各断面内の要素中心点までの距離と軸応力により 算定した。図6(a)に CaseAの曲げモーメントー水 平変位関係を示す。水平変位の増加に伴い①0.25D >②1D>③2Dの順にモーメントが増加しており、 柱基部が設計断面になると考えられる。一方で、 図6(b)に CaseB の曲げモーメントー水平変位関係



を示す。CaseB もデバイス接触前までは、CaseA と同様の傾向を示すが、柱とデバイスとの接触点を境界に 0.25D の位置の曲げモーメントは低減され、2D の位置では曲げモーメントの増加が確認できる。これは、柱 とデバイスが接触してデバイスでも反力を受け持つことで、柱のせん断スパンが低減されて柱上部へ曲げモー メントが分散したものと考えられる。図7に CaseA 及び CaseB の最終ステップ時のコンクリートの鉛直ひず みのコンター図を示す。CaseA は 0.25D 付近でひずみが集中しているのに対して、CaseB は柱基部~2D の範 囲までひずみの分布が確認できる。これは、柱とデバイスが接触し曲げモーメントが柱上部に分散されること で、柱基部~2D の範囲までコンクリートに引張ひずみが生じたものと考えられる。以上より、デバイスを設 置したことで曲げモーメントが分散し、本来曲げモーメントの作用が小さい柱上部まで曲げ抵抗が生じたため、 結果的に柱の耐力上昇につながったものと考えられる。動的な挙動では、前述のように曲げモーメントを分散 させて、柱耐力に非対称性を与えることで柱の倒壊方向を任意の方向へ誘導することが可能となると思われる。

### 5. まとめ

柱の正負交番載荷試験結果の再現を FEM 解析により実施した。その結果、プッシュオーバー解析から、デバイス有・無にかかわらず荷重-変位関係は試験結果とほぼ整合し、再現性が確認できた。デバイスを設置した場合は、柱とデバイスの接触に伴う柱の荷重変化点、耐力上昇が確認でき、柱耐力に非対称性が生じた。柱の曲げモーメント分布として、柱基部では柱とデバイスとの接触点を境界に低減され、柱上部へ曲げモーメントが分散する傾向を示す。このとき、柱基部~2Dの範囲までコンクリートの引張ひずみが確認でき、曲げモーメントの作用が小さい柱上部まで曲げ抵抗が生じることで柱の耐力上昇につながることを明らかにした。 【参考文献】

- 1) (公財)鉄道総合技術研究所編:鉄道構造物等設計標準·同解説 耐震設計,丸善出版,2012.
- 2) 齊藤, 室野, 本山: 地震時における構造物の倒壊に対する危機耐性機構の一考察, 土木学会第70回年次学術講演会講演概要 集, I-144, 2015
- 3) 豊岡, 室野, 小野寺, 布川: ブロック型倒壊方向制御構造に耐力評価のための静的載荷試験, 土木学会第73回年次学術講演 会講演概要集, 2018
- 4) 出雲他: 面内力を受ける鉄筋コンクリート板要素の解析モデル, コンクリート工学, 25 巻 (1987)9 号 p. 107-120
- 5) 長沼:三軸圧縮下のコンクリートの応力~ひずみ関係,日本建築学会構造系論文集,第474号, pp.163-170,1995.8

-376