

倒壊方向制御構造により危機耐性を向上させた鉄道ラーメン高架橋の振動台実験

(公財)鉄道総合技術研究所 正会員 ○布川 博一 豊岡 亮洋 室野 剛隆

1. はじめに

耐震設計の想定を超えるような地震作用に対して、人命損失などの破滅的な被害に繋がらないように想定外の事象を考慮する「危機耐性」という概念が提案されている¹⁾。近年では、危機耐性の概念構築に加え、危機耐性を具体的実現する手法として、斎藤らは損傷が集中する柱の塑性ヒンジ部に付加的に変形抑制機能を与える倒壊方向制御構造を提案している²⁾。本稿では、倒壊方向制御構造を適用した鉄道ラーメン高架橋模型を製作して、大型振動台模型試験により地震時の動的終局挙動についてその効果を検証した内容を報告する。

2. 試験および試験体の概要

図-1に振動台試験で用いた倒壊方向制御構造の試験体の概要を示す。ラーメン高架橋試験体は柱8本でスラブを支持する構造とした。柱は200mmの正方形断面として、配筋は過去の試験を参考に図-1(c)に示す諸元とした。スラブ上には、柱応力が0.9N/mm²程度になるよう鋼製錘を設置し、RCスラブと錘の合計重量が275kNに調整した。この試験体の加振方向に対して柱下端の左側に、倒壊方向制御デバイス8基を設置した。耐震設計で想定した領域を超える地震動が作用した際に、図-1(b)に示すように左側への変位を拘束して、右側へ構造物の倒壊を誘導できることを確認する。

倒壊方向制御デバイスは、図-2に示すような鋼製のブロック型として、板厚12mmの角形鋼管を溶接して製作し、4本のPCアンカーでスタブと剛結した。また、デバイス8基のうち4基は分力計を設置して荷重を直接計測できる構造とした。倒壊方向制御構造は、通常の耐震設計の応答レベルを阻害せずに機能させることを基本的な設計思想としている。したがって、柱とデバイスの遊間は、別途実施した静的解析結果から最大耐力点(M点)付近で接触するよう5mmの遊間を設定した。

入力地震動は、試験体が確実に一方向へ倒壊するようL2地震動スペクトルI(G3地盤)の時間軸を1/2に圧縮し、左側に大きな加速度を持つような正負非対称な入力とした。試験ケースはデバイスの効果を試験で直接確認するため、デバイスを設置しないラーメン高架橋試験体も製作して2つのケースを同一条件で加振を行った。加振ケースは表-1に示す目標加速度を設定して、想定外の地震作用を模擬して一気に倒壊近い状態まで試験体を損傷させた。以降では、倒壊方向制御構造を有するケースを「CaseC」、設置しないケース「CaseN」と称する。

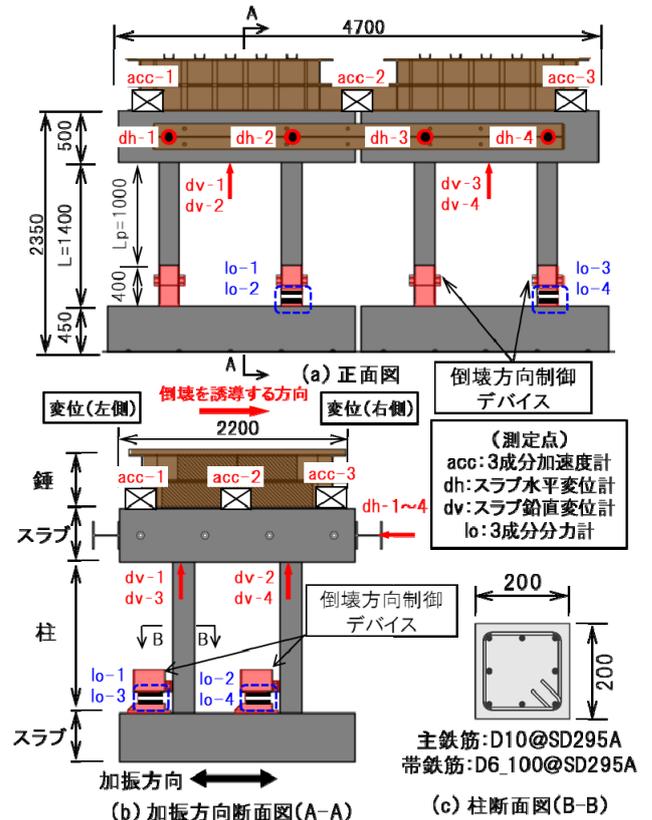


図-1 ラーメン高架橋試験体の概要 (単位:mm)

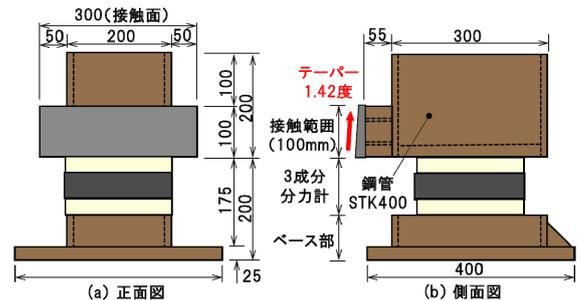


図-2 倒壊方向制御デバイス (単位:mm)

表-1 加振ケース

試番	入力波形	最大振幅
1		300gal
2	設計L2地震動spcI_G3地盤	600gal
3	(負側のみ0.9倍振幅調整)	1500gal
4		1500gal

キーワード 倒壊方向制御構造、危機耐性、大型振動台試験

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

3. 試験結果と考察

図-3 に全加振ケース終了後の CaseN および CaseC 試験体の状況を示す。同一の条件で加振を行ったところ、CaseN は左側へ倒壊して残留変位が生じた。CaseN が倒壊した左側にデバイスを設置した CaseC は、右側へ倒壊して残留変位が生じており、デバイスの効果により明確に試験体の倒壊方向に違いがみられた。

図-4 に耐力低下が生じた最大振幅 1500gal の試番 3・4 におけるスラブ天端の時刻歴応答変位を示す。また、図-5 に最大振幅 1500gal の試番 3・4 におけるスラブ天端における絶対応答加速度と振動台との相対変位の関係を示す。CaseC は、図-4 (b) より柱とデバイスが接触することで左側のスラブ水平変位が 50mm 程度で頭打ちとなり、CaseN と比較して右方向への変位が進展し、倒壊方向をコントロールするような効果が生じていることがわかる。

図-4・5 に示す加振中の水平変位を詳しく観察すると、CaseC 試験体は、試番 3 により損傷が進展して左側へ残留変形したのち、試番 4 の加振でデバイスと接触によりスラブ天端での加速度が上昇するような応答して、変位の進展が右側へ反転してそのまま倒壊が生じた。以上のような挙動により、正負非対称な地震動作用下でも、構造物の倒壊方向が制御可能であることが実証された。

図-6 に各ケースの柱の損傷状態を示す。CaseN は柱基部の塑性ヒンジ区間に損傷が集中し、典型的な曲げ破壊で終局を迎えた。CaseC も M 点以降でデバイスと接触するように柱との遊間を設定したため、主要な損傷は柱の上下端の塑性ヒンジ区間に限られた。デバイスとの接触付近では、曲げひび割れの発生が確認できるが、デバイスを起点とするようなせん断破壊は確認されなかった。この損傷傾向は、過去に実施した静的 FEM 解析結果³⁾と一致することが動的加振試験でも確認された。したがって、デバイスを導入したことによる脆性的な破壊モードへの移行など構造全体への悪影響を与えないことが検証できた。

5. まとめ

倒壊方向制御構造を有するラーメン高架橋模型による振動台試験より、ブロックの設置有無をパラメータとして、正負非対称な地震動作用下で、提案する構造により倒壊に至るまでの挙動を人為的に制御可能であることを実証することができた。なお、本研究の一部は国土交通省の鉄道技術開発費補助金を受けて実施した。

【参考文献】

- 1) 室野：巨大地震に備えるー耐震設計と危機耐性,土木学会誌 Vol.100, No.7,pp.24-27,2015.
- 2) 斎藤他：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, 2015.
- 3) 布川他：柱との接触条件をパラメータとしたブロック型倒壊方向制御構造の解析,土木学会第38回地震工学研究発表会講演論文集, 2018

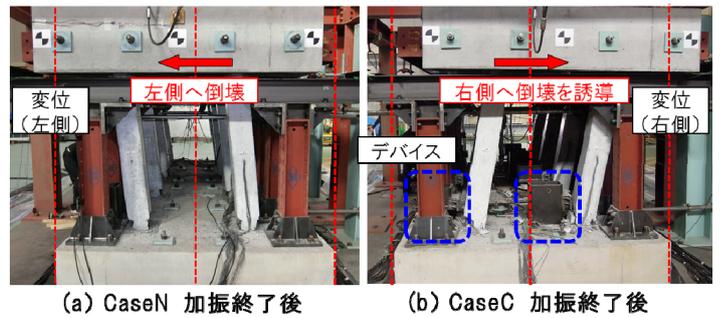


図-3 全加振ケース終了後の試験体の状況

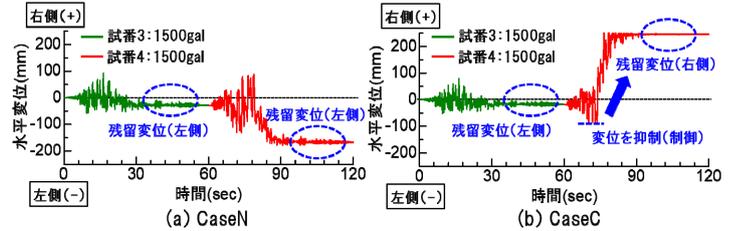


図-4 試番 3・4 のスラブ天端の水平変位の変化

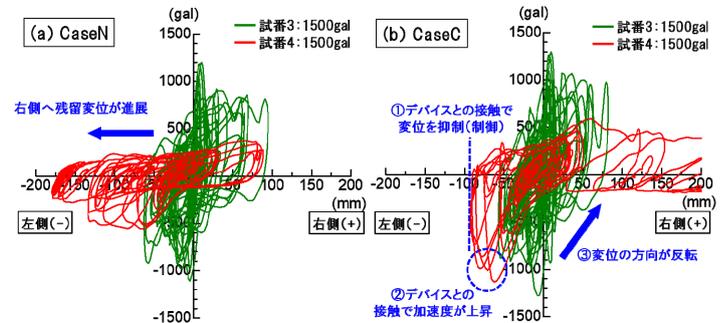


図-5 試番 3・4 のスラブ天端の応答加速度 - 水平変位関係

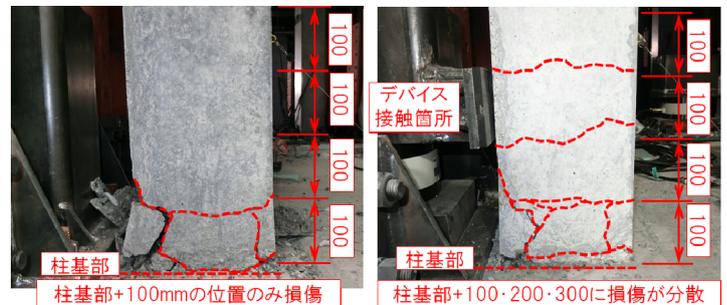


図-6 試験終了後の柱基部の損傷状況