危機耐性に優れた倒壊方向制御構造の振動台実験

鉄道総合技術研究所 正会員 豊岡亮洋,室野剛隆,寶地雄大

埼玉大学 正会員 齊藤正人

1.はじめに

想定を超える地震動に対して,構造物の倒壊という「危機」を完全に防止することは困難であるが,仮に倒壊したとしても,居住地域や緊急輸送道路,復旧スペース等を支障する方向には構造物を倒壊させないことで, 構造物の回復力を高め危機耐性を確保することが可能である^{1),2)}.本研究では,倒壊方向を人為的に制御する ことが可能な2種類の「倒壊方向制御構造」について,その有効性を振動台実験で検証した結果を報告する.

2. 倒壊方向制御構造の概要

高架橋の倒壊方向を制御するデバイスとして,図1のブロック型およびワイヤー型の2種類の装置が提案されている¹⁾.ブロック型は,高架橋スラブと柱の間にブロックを設置し,想定する倒壊方向と逆方向に構造物が変位した場合,ブロックが柱を拘束して変位の進行を抑制する機構を有している.ワイヤー型は高架橋スラブと柱を可とう性チェーンワイヤーで接続し,想定する倒壊方向と逆方向に対する変位を抑制する機構を有している.この図の配置では,いずれも左方向への倒壊を抑制し,右側へ倒壊方向を誘導する配置となっている.



3.振動台試験による検証

提案構造の有効性を検証するため、2種類のデバイスを組み込んだ RC ラーメン高架橋模型を製作し、振動 台による破壊実験を行った.高架橋模型は、図1に示すように4柱でスラブを支持する構造である.柱は W150×D150×h1200,鉄筋は SD295-D6 とし、スラブ上には4tの鋼製錘を上載した.倒壊方向制御構造は、ブ ロック型については図1(a)のように高さ1D(150mm)のブロックをスラブに設置した.また、ワイヤー型は図 1(b)のように柱中間とスラブ、スタブを接続する形で設置した.図2には、倒壊方向制御構造が作用する方向 に慣性力を漸増載荷した静的解析結果を示す.このように、倒壊方向制御構造は、正負骨格に非対称性を導入 することで、耐力がより低い方向に応答や倒壊方向を誘導することを意図している.

試験では,倒壊方向が左および右となるようにデバイスを配置した試験体2体を振動台上に設置し,同時に加振を行った.測定は,スラプの水平加速度および水平変位を中心に計測した。加振波はテーパー部を有する 正弦波5波を用い,損傷状態を確認しながら振動数および加速度を変更して載荷を行った.試験条件を表1

キーワード 危機耐性、倒壊方向制御構造、ブロック型デバイス、ワイヤー型デバイス、振動台実験 連絡先 〒1185-8540 東京都国分寺市光町2-8-38 (公財)鉄道総合技術研究所 TEL 042-573-7336 に示す.試験体の固有振動数は,試番1の小加振の結果,弾性範囲で約4Hzであった.入力波は正負対象で あるため,無対策試験体が倒壊する方向は材料特性等のばらつきに依存し,事前に倒壊方向を予測することが 困難であるが,デバイスを導入することで想定した方向に倒壊が確実に生じることを確認することを目的とす る.なお,微小振幅時からデバイスが機能した場合,耐力上昇に伴う柱の損傷が懸念されることから,最大耐 力相当の水平変位(33mm)以上でデバイスが作用するよう,ブロック型では柱とブロックの間に遊間(4mm) を設けた.また,ワイヤー型では水平変位約33mm以上で張力が作用するよう,たるみを持たせて設置した.

4.実験結果と考察

図 3 には,同時加振したブロック型試験体 2 体について,最大耐力点付近の試番 2(正弦波 2Hz-750gal), および倒壊寸前の試番 5(正弦波 2Hz-1500gal)について,スラブ加速度~スラブ水平変位応答の比較を示す. 図 3 から,最大耐力点付近まではいずれの試験体もほぼ同等の履歴特性を示しているが,変形が進行した 1500gal 加振では変位および履歴に明確な非対称性が生じ,想定する倒壊方向に変位が進行している.本試験 では,試番 6(正弦波 1Hz-750gal)において 2 体の試験体とも倒壊が生じたが,倒壊方向はそれぞれ事前に想 定した方向に生じた.倒壊時の状況を図 5 に示す.最終的には柱鉄筋の破断により崩壊が生じた.

図4には、ワイヤー型試験体について、試番1(正弦波1Hz-500gal)および倒壊した試番2(正弦波2Hz-750gal) について同様の応答比較を示す.ワイヤー型については、試番2において、ブロック型試験体と同様に柱鉄筋 の破断により1体試験体が倒壊したため、倒壊した試験体を撤去後に加振を継続し、最終的にはもう1体も試 番4(正弦波1Hz-750gal)により倒壊した.図4から、ワイヤー型についても変位および履歴に明確な非対称 性が生じており、最終的に2体の試験体の倒壊はそれぞれ事前に想定した方向に生じた.なお、ワイヤー型に おいては、ブロック型において倒壊が生じなかった試番2で倒壊が生じているが、これは図2、図3と図4の 比較から、ワイヤー型は拘束効果がブロック型よりも大きく、早い段階で損傷が進展したためと想定される.





(a) 左側倒壊で設計



(b) 右側倒壊で設計 図 5 倒壊状況(試番 6: ブロック型)

5.まとめ

想定を超える地震動に対して,人的被害の拡大や復旧性の著しい低下・喪失が想定される方向に構造物を倒 壊させないことで,構造物の回復力を高め危機耐性を向上させる「倒壊方向制御構造」について,これを具体 的に実現するブロック型,ワイヤー型デバイスの効果を振動台実験で検証した.その結果,いずれのデバイス についても想定する方向に倒壊を誘導できることを確認した.なお,本研究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) 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 I-144,2015.2) 国土交通省鉄道局監修,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,2012.