高架橋の危機耐性向上のための 倒壊方向制御構造の振動台実験

豊岡 亮洋¹・室野 剛隆²・齊藤 正人³

 ¹正会員 博(工) (公財)鉄道総合技術研究所 (〒185-8540 東京都国分寺市光町 2-8-38) E-mail: toyooka.akihiro.58@rtri.or.jp
 ²正会員 博(工) (公財)鉄道総合技術研究所 (〒185-8540 東京都国分寺市光町 2-8-38) E-mail: murono.yoshitaka.51@rtri.or.jp
 ³正会員 博(工) 埼玉大学大学院 理工学研究科 教授 (〒338-8570 埼玉県さいたま市桜区下大久保 255) E-mail: saity@mail.saitama-u.ac.jp

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て危機耐性を向上させることが可能である。本研究では、既往研究で提 案されている、倒壊方向を人為的に制御することが可能な「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を提案した。また、これらのデバイスを有する高架橋模型の 破壊試験を振動台加振により実施し、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.

Key Words: collpation direction control device, block-type device, wire-type device, shake table tests

1. はじめに

2011年東北地方太平洋沖地震や2016年熊本地震は、 設計での想定を超える規模や回数の地震作用が発生 し得ることを改めて認識させる契機となった.こう した想定を超える地震作用に対しては、耐震設計を 十分に行うことに加え,仮に設計で想定した以上の 地震動が生じたとしても,人命損失などの破滅的な 被害を防止することが必要となる¹⁾. このような設 計思想は「危機耐性」として近年活発に議論が行わ れており^{1~5)},平成24年に改定された「鉄道構造物 等設計標準・同解説 耐震設計 においても構造計 画の段階での配慮事項としてその概念が取り入れら れている⁶. さらに、こうした危機耐性を具体的に 実現する手法についても研究開発が行われている. 例えば,兵庫県南部地震以降広く実施されてきた鋼 板巻き補強やRC巻き補強は、構造物の脆性的な破 壊を防止し、損傷をゆるやかに進展させるものであ り、危機耐性を向上させる手法の一つと解釈できる が5), 耐震設計で制御可能な領域を超える範囲, す なわち耐震設計の補集合領域¹⁾での構造物挙動をよ り積極的に制御する手法として、自重補償構



図-1 倒壊方向制御構造のコンセプト

造⁷⁾, 倒壊方向制御構造^{8),9)}などが提案されている.

本研究では、このうち倒壊方向制御構造に着目し、 高架橋を主な対象として倒壊方向制御構造を実現す る具体的なデバイスを2種類提案するとともに、そ の効果を振動台実験により検証した.

2. 提案する倒壊方向制御構造の概要

(1) 倒壊方向制御構造のコンセプト

危機耐性を考慮した設計を行うには、まず回避す べき具体的な災害シナリオを想定する必要がある⁴⁾. この一つとして、構造物が想定を超える地震に対し て倒壊し、人命の損失や復旧困難な状態に陥る状況 を「危機」と定義できると考えられる^{5),8)}.次に, 想定を超える地震作用に対して構造物の倒壊という 「危機」を完全に排除することは難しいという前提 に立ち,可能な限り「危機耐性」の高い構造物の構 築を目指す必要がある.例えばラーメン高架橋を対 象として,倒壊時にスラブを支持する自重補償柱を 別途設け,完全な倒壊を防止する「自重補償構造」 が提案されている⁷⁾.しかし,自重補償構造」 が提案されている⁷⁾.しかし,自重補償柱本体およ び基礎の設置が比較的大規模となるため,緊急輸送 道路と交差する箇所など,優先度の高い箇所から順 次導入していくことが考えられる.

これに対し、より多くの構造物で危機耐性を向上 させることを考えた場合、倒壊が仮に生じたとして も、図-1のように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、人命損失を回避しながら構造物の回復力を 高める、という方策も考えられる.こうした着想の もとに、実構造において数量が多いラーメン高架橋 を主な対象とした「倒壊方向制御構造」のコンセプ トが提案されており⁸⁾、本研究ではこの構造を具体 的に実現するデバイスを開発するものである.

一般的な耐震設計で想定されている, ラーメン高 架橋が倒壊に至るメカニズムは、せん断補強が十分 行われていることを前提とすれば、柱の上下端に塑 性ヒンジが形成され, 自重倒壊するモードが主要な 倒壊挙動と考えられる.しかし、構造物が倒壊に至 る現象は非常に複雑であり、倒壊する方向も入力特 性や材料特性によりばらつきが生じるため, 事前に これを正確に予測することは困難である. そこで, 最終的な倒壊方向を確実に制御するためには、構造 物の振動挙動に人為的に非対称性を設けることで, 想定する方向に損傷を積極的に誘導することが有効 な手法の一つと考えられる.また,居住地域や緊急 輸送道路等は、高架橋に沿って比較的広範囲に位置 することが多いと考えられることから、倒壊方向制 御構造は多数の高架橋に同時に導入する必要があり、 工費や維持管理性の観点から,個々のデバイスは可 能な限り簡易かつ安価な構造であることが望ましい.

(2) 倒壊方向を制御可能なデバイス

このような要求を実現するデバイスとして、図-2 のように、ブロック型およびワイヤー型の2種類の 概念が提案されている⁸⁾.ブロック型は、高架橋ス ラブにブロックを設置することで、想定する倒壊方 向と逆方向に構造物の変位が進行した場合、ブロッ クが柱を拘束して変位を抑制する機構を有する.ま た、ワイヤー型は高架橋スラブと柱をワイヤー等の 可とう性デバイスで接続し、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する.また, 図-2(c)のように想定する倒壊方向への変位は拘束せ ず,通常の構造物と同様に挙動させることを意図し ている.ブロック,ワイヤーともに構造的にはシン プルかつ安価であり,本機構は多数の構造物に導入 することが可能であると考えられる.

なお、微小振動領域からこれらのデバイスが作用 した場合、柱の反力分布や損傷モードが変化し、柱 部でのせん断破壊など予期し得ない倒壊モードが生 じる懸念がある.そこで、構造全体系が最大力点付 近まで応答し、柱の上下端に塑性ヒンジが確実に形 成された後にデバイスを機能させるものとする.こ れは、ブロック型の場合は柱とブロックの間に遊間 を設けること、ワイヤー型の場合は与たるみを設け ることでそれぞれ実現することができる.

3. 振動台実験による効果検証

(1) 試験概要

2 章で示した 2 種類のデバイスを具体的に設計・ 製作するとともに、これらを組み込んだ高架橋模型 を製作し、振動台を用いた動的載荷試験を実施した. これにより、倒壊方向が事前に想定する方向に生じ ることを確認し、倒壊方向制御構造のコンセプトの 成立性を検証する.



図-4 高架橋模型の概要(デバイス設置前)

載荷試験では,以下(2)節に示すラーメン高架橋模型 に対して,まずブロック型のデバイスを組み込んだ 試験体を2体製作し,図-3のように振動台に上載し て一方向に同時加振を行った.この2体の試験体は, (3)に示すように倒壊方向が異なるようにデバイスを 配置している.加振試験は高架橋模型に倒壊が生じ るまで入力加速度を漸増して実施した.ブロック型 デバイスの試験終了後に供試体を撤去し,ワイヤー 型デバイスを組み込んだ試験体2体を設置し,同様 の破壊試験を実施した.試験の詳細を以降で示す.

(2) ラーメン高架橋模型の概要

ラーメン高架橋模型は図-4に示すように、鋼製フ



レームによりスラブおよびスタブを構築し,スラブ をコンクリート柱4本で支持する構造とした.スラ ブ上には,鋼製錘により死荷重を作用させた.柱は RC製でW150mm×D150mm×H1200mm,軸方向鉄筋 は8-D6(SD295)とし,スラブ上には40kNの鋼製錘を 上載した.これにスラブの重量を加算した柱4本に 作用する死荷重は48.5kN,柱1本あたりの軸力は 0.54N/mm²である.

模型試験体の設計にあたっては、振動台の加振能 力および試験の安全性の観点から、降伏震度0.6程 度を目標とし、(4)節の静的非線形解析等に基づき設 計を行った.柱高さおよび配筋については、せん断 破壊が生じず、柱の上下端に塑性ヒンジが形成され るように設計している.なお、本試験は高架橋模型 が倒壊に近い挙動を示すまで載荷を行うことから、 安全対策として鋼製フレームをテーブル上に設置し、 倒壊時にスラブ荷重を受ける構造とした.

(3) 倒壊方向制御構造の設計

ブロック型デバイスの配置を図-5に、ワイヤー型 デバイスの配置を図-6にそれぞれ示す.デバイスは 図中のA1/A2(配置A)およびB1/B2(配置B)をセ ットで配置する.倒壊方向は配置Aの場合は紙面左 側,配置Bでは紙面右側を想定する.以降の議論で は、図-3のように,配置Aの試験体をL側試験体,配 置Bの試験体をR側試験体と称する.試験では、



表-1	載荷試驗条件
1.8 1	

Case	ブロック型		Case	ワイヤー型	
B1	2Hz-500gal		W1	2Hz-500gal	
B2	2Hz-750gal		W2	2Hz-750gal	L
B3	2Hz-750gal		W3	2Hz-750gal	
B4	2Hz-1000gal		W4	1Hz-750gal	R
B5	2Hz-1500gal				
B6	1Hz-750gal	L,R			

(1)で述べたようにL側およびR側試験体2体を振動台上に並べて同時加振を行った.なお,変位の極性は図-3のように設定しており,図-5および図-6の配置条件から,L側試験体は変位負方向,R側試験体は変位正方向が想定する倒壊方向である.

ブロック型デバイスは、柱1D区間相当の高さ (150mm)が柱に接触する構造とし、スラブに4-M24 により固定した.また、柱とブロック型デバイスの 間には4mm程度の遊間を設けた.これは2章(2)で述 べた理由から、以降の(4)の数値解析に基づき、試験 体が最大耐力点となる水平変位時においてブロック が柱と接触することを想定している.

また、ワイヤー型デバイスは、作用モーメントが 小さい柱中間部付近(下端から高さ314mm)と、ス ラブ・スタブの間にシャックルを設置し、これらを 鋼製リングにより接続した.ワイヤー型デバイスに おいても、最大耐力点以降で張力が発生するよう、 たるみをあらかじめ持たせて配置した.

なお、本試験は倒壊方向制御構造のコンセプトを 確認することが主目的であり、デバイスの詳細な設 計法については今後の課題であるが、本試験におい ては、ブロック、ワイヤーの耐力、およびボルトや 治具の耐力については、試験体の最大耐力点時にお いて十分な耐力を持たせることで設計を行っている.

(4) 倒壊方向制御構造を有する模型の非線形特性

試験体の設計および基本挙動の確認のため、無対

策構造の高架橋モデル,および試験を行う2種類の 倒壊方向制御デバイスを組み込んだフレーム解析モ デルを作成し,静的非線形解析を実施した.

解析モデルはブロック型およびワイヤー型のいず れも図-5、図-6の配置A(負側倒壊)を想定し、ブ ロック型については、ブロックが拘束する柱上端の 1D区間を剛体に置換した柱でモデル化した.また、 ワイヤー型については軸力のみ伝達させるトラス要 素により表現した.本解析モデルに対して、スラブ 〜錘の重心位置および柱に静的慣性力を作用させ、 この慣性力を正方向に一様に増加させて非線形特性 を算定した.また、倒壊方向制御構造が作用しない 負側の挙動については、高架橋単体の解析により表 現した.部材特性は、鉄筋についてはコンクリート 標準の設計用値の1.2倍、コンクリートの圧縮強度 については30N/mm²を設定した.なお、ここでは倒 壊方向制御構造による耐力の増加を把握することを 目的とするため、先述の遊間は考慮していない.

解析の結果得られた、試験体スラブ重心位置での 水平慣性力~スラブ水平変位の骨格曲線を図-7に示 す.このように、倒壊を誘導する負側の方向(高架 橋単体)では水平慣性力が最大41.0kN程度生じる結 果となった.一方,倒壊方向制御構造を導入した場 合,拘束効果の影響によりブロック型で46.8kN,ワ イヤー型で65.6kNにそれぞれ上昇する結果となった. これらをスラブ重量で除した最大応答震度としては, 無対策構造で0.84、ブロック型で0.96、ワイヤー型 で1.35となる. このように、デバイスを設置するこ とで試験体全体の荷重~変位関係は正側と負側で非 対称構造となり、倒壊方向制御構造を設置しない方 向、すなわち耐力が相対的に低く損傷が生じやすい 方向に倒壊方向を誘導することが本工法の特徴であ る. なお、ワイヤー型はブロック型と比較して柱の 変形を拘束する範囲が広いことから、図-7から相対 的に拘束効果が高く変形性能が小さいことが分かる. また、無対策構造の降伏震度は0.61となり、曲げ破 壊モードであることを確認している.

(5) 計測・加振条件

計測は図-4に示すように、加振方向におけるスラ ブの応答加速度およびスラブと振動台の相対変位、 ならびにスラブの鉛直変位を中心に測定した.また、 倒壊に至る過程を確認するため、高速度カメラによ り試験体側面から撮影した.

加振は加速度制御により2体の試験体を同時に一 方向載荷し,試験体に倒壊が生じて安全対策用の鋼 製フレームにスラブが落下するまで最大加速度を増 加させながら実施した.入力には加振前後にテーパ



図-10 水平変位~スラブ鉛直変位履歴比較(ブロック型:全ケース)

一波を5波を有する正弦波5波を用いた.これは正弦 波を用いることで、入力自体の非対称性はほぼ無視 できることから, 試験の結果生じる倒壊方向の違い などの非対称性は、挿入した倒壊方向制御構造の影 響、およびこれによる試験体の損傷の非対称性によ る影響と判断できると考えたためである.

正弦波加振の振動数は2.0Hzを基本とした.これ は、(4)の静的非線形解析から試験体が非線形化した 状態での柱剛性を算出して固有値解析を実施したと ころ,一次固有振動数は降伏点相当の剛性で5.0Hz, 最大耐力点相当の剛性で2.3Hzと得られたことから, 最大耐力点以降まで試験体を損傷させることが可能 な振動数として2.0Hzを選定した.表-1には、ブロ ック型およびワイヤー型試験体における実際の加振 条件を示す. なお, これらの条件は, 試験体の挙動 を確認しながら載荷中に設定したものである.

4. 実験結果と考察

(1) ブロック型デバイス

ブロック型デバイスを設置した試験体に関する代 表的な載荷結果として、図-8には、表-1の全ての加 振ケースにおけるL側およびR側試験体のスラブ慣 性力~スラブ水平変位履歴を重ねて示す. スラブ慣 性力は,スラブの応答加速度にスラブ+錘質量を乗 じて算出している.また、図-9には、各試験におけ るスラブ水平変位の時刻歴の推移を示す.図-10に は、柱・鉄筋の損傷を確認するため、スラブ鉛直変 位~スラブ水平変位履歴を示す.なお,表-1のL,R は、それぞれL側およびR側の試験体が倒壊した試 験ケースを示す. CaseB6で試験体を倒壊させた際の 加振振動数は1.0Hzであるが、これは倒壊に近い領 域では固有振動数が大幅に低下し, 2.0Hzの加振で





図-12 加振中の状況 (R 側: CaseB4)



図-13 倒壊時の状況 (R側: CaseB6)

は損傷が進行しなかったために設定したものである.

図-8および図-9から,最大耐力点以降の耐力低下 領域において,L側試験体は変位負側に,R側は変 位正側にそれぞれ応答が進展し,倒壊方向が想定さ れる方向に誘導されていることが分かる.最終的な 倒壊方向も,事前に想定した通り,L側試験体は負 側,R側は正側となった.

また,各載荷ケースにおける水平方向の損傷状態 を確認するため,図-11には,表-1のCaseB2,B5の 加振におけるスラブ慣性力~試験体水平変位履歴を 示す.CaseB2では最大耐力点を過ぎて耐力低下が生



図-14 柱の損傷状況の例(R4柱)

じているが、この段階ではブロックと柱の接触が少なく、履歴に与える影響は限定的である.一方、 CaseB5で耐力劣化が進行すると、ブロックが片方向の変形増加を抑制し、L側およびR側ともに変位応答が想定する方向に進行している.図-12には、 CaseB4の載荷中でのR側試験体の挙動を示すが、一般的なラーメン高架橋と同様に柱の上下端に塑性ヒンジが形成され、かつ想定する倒壊方向と逆に変位した際にブロックが柱を拘束していることが分かる.

最終的には、CaseB6において、2体の試験体に同時に倒壊が生じた.図-13には、R側試験体の倒壊時における損傷状況を示す.また、図-14には、この柱の損傷状況の例として、図-3におけるR側試験体のR4柱の損傷状況を示す.図-14において赤点線枠はブロックが柱と接触する箇所を示す.これらの図から、倒壊時には柱の鉄筋が上下端で破断するモードとなった.これは、図-10の鉛直変位~水平変位履歴から、加振中に鉄筋は伸び出し方向に一様に変位を受けており、最終的に鉛直変位が7mm程度に達



図-17 水平変位~スラブ鉛直変位履歴比較(ワイヤー型:全ケース)

した際,鉄筋が破断強度に達して切断したものと推 定される.また,図-14(c)から,ブロックが柱と接 触する箇所でせん断力に起因する比較的大きなひび われが生じていた.これは柱がブロックの隅角で線 接触したためと想定され,本デバイスを実構造に適 用するにあたっては,面的な接触によりせん断力を 分散させる等の配慮が必要と考えられる.

(2) ワイヤー型デバイス

ワイヤー型デバイスを設置した試験体についても, 図-15に,表-1の全ての加振ケースでのL側およびR 側試験体のスラブ慣性力~スラブ水平変位履歴を重 ねて示す.また,図-16には,各試験におけるスラ ブ水平変位の時刻歴の推移を示す.図-17には,ス ラブ鉛直変位~スラブ水平変位履歴を示す. CaseW4で加振振動数を1.0Hzとしているのはブロッ ク型デバイスの場合と同様の理由による.

図-15,図-16から、ワイヤー型デバイスにおいて も、最大耐力点以降の耐力低下領域において、L側 試験体は負側,R側は正側にそれぞれ変位応答が進 展し、倒壊方向が想定される方向に誘導されている ことが分かる.

図-18には,表-1のCaseW1,W2の加振におけるス ラブ慣性力~試験体水平変位履歴を示す.CaseW1 ではいずれの試験体もほぼ弾性挙動を示しているが, CaseW2では耐力低下域まで応答が進展しており,L 側試験体では柱の鉄筋が上下端で破断して変位負側 に倒壊が生じた.ブロック型の同等の加振(CaseB2) で大きな損傷が生じなかったため,この挙動の差異 は倒壊方向制御構造の影響と想定される.

図-17の鉛直変位~水平変位履歴から、この CaseW2では、CaseB6で鉄筋破断が生じた7mm程度



図-18 水平慣性力~水平変位履歴比較(ワイヤー型: CaseW1/W2)



図-19 加振中の状況(L側: CaseW2)



図-20 倒壊時の状況 (R側: CaseW4)

までスラブ鉛直変位が増大しており、ワイヤー型の CaseW2ではCaseB2よりも鉄筋に生じる負荷がより 大きかったものと推定される. CaseW2のL側試験体 において、加振中にワイヤー型デバイスが作用した 際の挙動を図-19に示すが、ワイヤー型デバイスは 柱の曲げ挙動を瞬間的に拘束しており、この拘束時 の慣性力および衝撃力が引き抜け作用として柱基部 の鉄筋に伝達することで、ブロック型よりも早い段



図-21 柱の損傷状況の例 (R4柱)

階で鉄筋の損傷が進行したと推定される. 柱の曲げ 挙動を瞬間的に拘束しており,この拘束時の慣性力 および衝撃力が引き抜け作用として柱基部の鉄筋に 伝達することで,ブロック型よりも早い段階で鉄筋 の損傷が進行したと推定される. なお, CaseW2でR 側試験体には倒壊が生じなかったが,これはワイヤ ーの初期たるみ量のばらつき等に起因していると考 えられる.

CaseW2の後にL側試験体を撤去して加振を継続し、 最終的には、CaseW4において、R側試験体にも倒壊 が生じた.図-20には、倒壊時における試験体の損 傷状況を示す.また、図-21には柱の損傷状況の例 として、図-3におけるR側試験体のR4柱の損傷状況 を示す.図-21において赤点線枠はワイヤーの接続 治具を設置した箇所を示す.

このように、倒壊は、ブロック型と同様に柱上下 端の鉄筋破断により生じ、倒壊方向も事前に想定し た通り,L側試験体は負側,R側は正側となった. また,図-21における柱の損傷状況から,ワイヤー が設置された図-21(d)の面において比較的大きなひ びわれが生じているが,ブロック型と異なりワイヤ ーの拘束力は面的に柱に作用することから,ひびわ れが分散しブロック型ほど大きなひびわれは生じて いない.

(3) まとめ

以上の結果から,2種類の倒壊方向制御構造は, いずれも高架橋模型の倒壊を事前に想定した方向に 誘導できることを確認した.

デバイスごとの挙動を比較すると、ブロック型デ バイスは高架橋自体の振動特性を大きく変化させず、 比較的多くの繰り返しを受けるまで倒壊が生じなか ったが、ワイヤー型では柱を強く拘束することで、 より少ない繰返し回数で倒壊に至った.一方、柱の 損傷状態については、ワイヤー型ではワイヤーの拘 束力が柱に面的に作用して適度なひびわれ分散が図 られているのに対し、ブロック型では局所的なせん 断力に起因して柱に比較的大きなひびわれが生じた. このことから、ブロック型については荷重を面的に 支持する機構への改良、ワイヤー型については作用 時の拘束効果を低減するための緩衝材の設置など、 構造的な改良についてさらに検討する必要があると 考えている.

5. 結論

本研究では、想定を超える地震動に対して、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 力を高めて危機耐性を向上させることが可能な「倒 壊方向制御構造」を具体的に実現するデバイスを製 作した.また、倒壊方向制御構造を有する高架橋模 型の破壊試験を行い、提案構造の成立性を検証した. 本研究で得られた成果を以下に示す.

(1) 倒壊方向を制御可能デバイスとして提案されているブロック型およびワイヤー型の2種類の倒壊方向制御構造について、実路線で数量が多いラーメン高架橋に組み込むことを想定した具体的な構造を提案した.ブロック型は、高架橋スラブと柱の間に塑性ヒンジ区間(1D)程度の大きさのブロックを設置したものであり、ワイヤー型は高架橋スラブと柱中間部を可とう性ワイヤーで接続したものである.これらはいずれも想

定する倒壊方向と逆方向に構造物が変位した場 合には柱の変形を拘束して変位の進行を抑制す るが、倒壊を想定する方向に対しては機能しな いことで、振動挙動に人為的な非対称性を導入 し、想定する方向に倒壊を誘導する構造である.

(2) ブロック型およびワイヤー型デバイスを組み込 んだラーメン高架橋模型を振動台上に設置し, 加振試験により破壊試験を行った.この動的試 験では、2体の試験体に倒壊方向が異なるように デバイスを配置し,非対称性の無い正弦波の加 速度を漸増させて載荷した. その結果, いずれ のデバイスも高架橋模型の倒壊を事前に想定す る方向に誘導しており、提案工法の成立性を確 認した.一方で、ブロック型についてはブロッ クが柱を局所的に拘束することで部分的に大き なひびわれが生じ, ワイヤー型については瞬間 的に大きな拘束力が発生すること等により、ブ ロック型よりも早期に損傷の進展が生じた.こ れらについては、ブロックの形状やワイヤーへ の緩衝材の導入等、デバイスのさらなる改良が 必要と考えている.

今後は、より実規模に近い柱模型を対象とした載 荷試験等により、倒壊方向制御構造の実用化を図る 予定である.

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

- 室野剛隆:巨大地震に備える-耐震設計と危機耐性, 土木学会誌Vol.100, No.7,pp.24-27,2015.
- Hollangel E., Woods D.D., and Leveson N.: Resilience Engineering – Concepts and Precepts, CRC Press, 2006.
- Bruenau, M., Chang, S.E., Eguchi R.T., Lee G.C., O'Rourke T.D., Reinhorn, A.M., Shinozuka, M., Tierney, K., Wallance W.A., and von Winterfeldt, D.,: A Framework to Quantitatively Assess and Enhance the Seismic Resilience of Communities, Earthquake Spectra, Vol.19, No.4, pp.733-752, 2003.
- 4)本田利器,秋山充良,片岡正次郎,高橋良和,野津 厚,室野剛隆:「危機耐性」を考慮した耐震設計体 系-試案構築にむけての考察-,土木学会論文集A1 (構造・地震工学),Vol.72,No.4(地震工学論文集第 35巻),I-459-472,2016.
- 5) 野津厚,室野剛隆,本山紘希,本田利器:鉄道・港 湾構造物の設計指針と「危機耐性」,土木学会論文

集A1(構造・地震工学),Vol.72, No.4(地震工学論文 集第35巻),I-448-458, 2016.

- 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.
- 7) 西村隆義,室野剛隆,本山紘希,五十嵐晃:危機耐 性を高める自重補償構造の提案と成立性,第70回土木 学会年次学術講演会概要集,2015.
- 8) 齋藤正人,室野剛隆,本山紘希: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.
- 9) 豊岡亮洋,室野剛隆,齊藤正人:危機耐性を向上させる倒壊方向制御構造の振動台実験,土木学会地震工学委員会第20回性能に基づく橋梁等の耐震設計に関するシンポジウム講演論文集,2017.

(2017.9.1 受付)

SHAKING TABLE TESTS OF THE COLLAPSE DIRECTION CONTROL DEVICE TO IMPROVE THE ANTI-CATASTROPHE PERFORMANCE OF A VIADUCT

Akihiro TOYOOKA, Yoshitaka MURONO, Masato SAITOH

This paper proposed a new "Collapse Direction Control Device," or CDC device, that was intended to be installed to a rigid-frame viaduct. The proposed device assured the direction of the final collapse so as not to interfere the residential areas and/or yard for repair, by which the anti-catastrophe performance of the structure would be improved. In this research, two differenet types of the real CDC devices were proposed, and shaking table tests of the viaduct models incorporating these devices were performed. The one was the block type device attached to the slab-column corners. The other one was chain type device connecting mid of the column and slab. These arrangements made it possible to give asymmetric force-displacement character to the structure according to the direction of motion, by which the response would be guided to the designated direction.

It was observed from series of the tests that all specimens having both block and wire type CDC devices were finally collapsed to the designated direction. It was also confirmed from base shear versus horizontal displacement relations that they showed asymmetric behavior and displacement gradually accumulated toward the desirable direction as increasing the input acceleration. It consequently followed that the proposed block and wire type CDC devices were able to control the direction of collapse.