

## 高架橋の危機耐性を高める自重補償機構の地震時挙動に関する実験的検討

(公財) 鉄道総合技術研究所 正会員 室野 剛隆, 豊岡 亮洋, 實地 雄大  
(株) ジェイアール総研エンジニアリング 正会員 ○西村 隆義

### 1. はじめに

平成 23 年に発生した東北地方太平洋沖地震は、設計地震動で想定されてきた規模を遥かに超える地震であり、巨大地震のリスクの存在を強く認識させた。平成 24 年に改訂された鉄道構造物等設計標準 耐震設計<sup>1)</sup>では、こうした想定を超える地震動に対して、構造物の破滅的な損傷を防止する「危機耐性」を確保することの重要性が示されている。

著者らは、高架橋を対象としてこうした危機耐性を具体的に実現する「自重補償機構」<sup>2)</sup>を提案している。自重補償機構は、地震時に水平慣性力を負担しない「自重補償柱」を設けることで、柱や橋脚などの鉛直方向の部材に著しい損傷が生じて、自重補償柱が鉛直荷重を受け換える鉛直支持性能を発揮し、上部構造を支持することで倒壊を防止する構造形式である。本報告は、自重補償機構の地震時挙動を実験的に確認するため、縮小試験体の交番載荷実験を実施した結果について示す。

### 2. 試験体概要

実験は、①自重補償柱を有する構造物の挙動、②自重補償柱の鉛直支持性能、を確認することを目的とし、鉄道総合技術研究所において静的交番載荷試験を実施した。試験体概要を図-1 に示す。試験体は実際に鉄道のラーメン高架橋に用いられる諸元に出来るだけ近づけるものとし、線路方向 4 径間、直角方向 1 径間の 1 層ラーメン構造に自重補償機構を適用した構造物とした。試験体の大きさは、試験場のサイズの制約等から実物の約 1/5 モデルとした。スラブ上には、通常柱の軸応力を実際の高架橋に近づけるため重錘を載せた。スラブと重錘を合わせた全重量は約 200kN である。柱は、5 列ある柱のうち 3 列を通常の高架橋柱 (図-1 : 西 1,3,5 および東 1,3,5)、2 列を自重補償柱 (図-1 : 西 2,4 および東 2,4) として配置した。

柱は、W200mm×D200mm×H800mm で作成した。通常柱は鉄筋コンクリート製で、曲げ破壊形態となるようにせん断補強筋を十分に配置した。自重補償柱は、スラブの鉛直荷重が作用した際の軸力を計測できるように鋼角柱を用いた。なお、軸力は鋼角柱の表面にひずみゲージを添付し、生じたひずみより算定した。

図-2 に自重補償柱の上端部に配置する自重補償デバイスを示す。自重補償デバイスには、スラブと自重補償柱が接触した後、スラブが水平変位する際に自重補償柱に伝わる摩擦力を出来るだけ低減できるように、自重補償柱側にテフロン板を、上層スラブ側にステンレス板をそれぞれ配置した。テフロン板と鋼角柱の間にはゴムパッドを敷き、衝撃的な荷重に配慮した。なお自重補償柱がスラブ荷重を受け換えるプロセスを確認するために常時状態では自重を作用させないものとし、テフロン板とステンレス板の間に約 2mm の遊間を設けた。

慣性力を模擬する水平載荷は、ジャッキを用いて実施した。載荷方向は直角方向とした。なお、回転 (ねじれ) 防止のため 2 点載荷で実施した。載荷パターンは、事前に実施した解析より推定された降伏変位 (3mm) を基本変位として、目標変位が基本変位の  $n$  倍となるよう制御して載荷した。以降では、正負 1 サイクルの載荷を Case-i ( $i=1\sim 45$ ) と記載する。各変位では、最大耐力付近までは 3 回繰り返す、耐力低下後は 1 回繰り返しの正負交番載荷を実施した。



図-1 試験体概要図

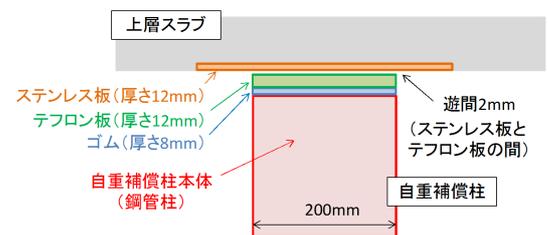


図-2 自重補償デバイスの概要図

キーワード 危機耐性, 自重補償機構, ラーメン高架橋, 静的交番載荷実験, 鉛直支持性能

連絡先 〒185-8540 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

### 3. 実験結果

図-3に荷重変位関係を示す。図の縦軸はジャッキの合計荷重、横軸はスラブの左右載荷位置における水平変位の平均である。荷重変位関係は、負勾配に入る領域までは、一般的なRC高架橋と同様の挙動となった。すなわち、初期の段階で剛性低下を生じ(図中①)、しばらく荷重を保持し(図中②)、変位が大きくなると骨格曲線が負勾配(図中③)となった。一方、図中④の領域に至る(Case 35以降)と、荷重は低下しなくなり変位のみ増加した。

なお、最大120mm(塑性率40相当)まで変形させたが、試験体は鉛直支持性能を喪失せず、倒壊も生じなかった。

次に、自重補償柱の鉛直支持性能を確認するため、図-4にスラブの鉛直変位(西4柱付近)と水平変位の関係を示す。なお図中の破線は、自重補償デバイスの天端位置を示している。鉛直変位は、骨格曲線が負勾配に至る前まで(①および②)は、水平変位の増加に伴って増加していることが確認できる。これは、通常柱の鉄筋がスラブと柱の境界面やひび割れ箇所で伸び出すためと推定される。一方、骨格曲線が負勾配になると(図中③)、水平変位は沈下に転じていることが分かる。これは、この段階で通常柱の鉄筋に座屈、さらにコアコンクリートにも損傷が見られる(例:写真-1左側)など、柱の損傷が顕著になったためと考えられる。③の最後のケース(Case 34)では、鉛直変位が自重補償デバイスの天端位置に到達しており、④以降で自重補償柱がスラブの鉛直荷重を負担していることがわかる。

Case 34以降の変位のみが増加に至る領域(図中④)以降では、自重補償柱はスラブと接した(例:写真-1右側)。ケースが進むにつれて鉛直変位は沈下が進むが、約4mm沈下した時点で沈下量は頭打ちとなった。頭打ちとなる沈下量が遊間(2mm)より大きいのは、ゴムの圧縮や施工誤差の影響と考えられる。

図-5に、自重補償柱の軸力(ケース内の最大値)と载荷ケースの関係を示す。自重補償柱の軸力は、スラブと自重補償柱が接触するCase 34以降で生じ、载荷が進むごとに増加していることが分かる。これはスラブの重量を支持したためとであり、スラブと重錘の荷重が約200kNであることを勘案すると、通常柱に替わりスラブの重量を概ね支持したことを示している。

このように、通常柱の損傷が顕著になると構造物(スラブ)は沈下するが、自重補償柱が機能するとスラブの鉛直荷重を受け替えることが可能であり、これによりスラブの沈下および構造全体系の倒壊を防止することが可能であることが確認できた。

### 4. おわりに

本報告では、自重補償機構を適用したラーメン構造物の交番载荷実験を実施した。その結果、構造全体系の耐力低下が顕著になる領域ではスラブに沈下が生じるが、自重補償柱が機能することで通常柱が支持していた荷重を適切に受け替え、スラブの沈下および構造全体系の倒壊を防止することが可能であることを確認した。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) 鉄道総合技術研究所: 鉄道構造物等設計標準・同解説(耐震設計), 丸善, 2012.9, 2) 西村, 室野, 本山, 五十嵐: 危機耐性を高める自重補償構造の耐震性能と成立性に関する検討, 第35回地震工学研究発表会, 35(A11-837), 2015.10.

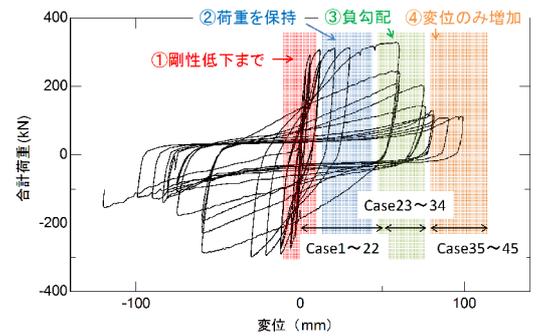


図-3 荷重変位関係

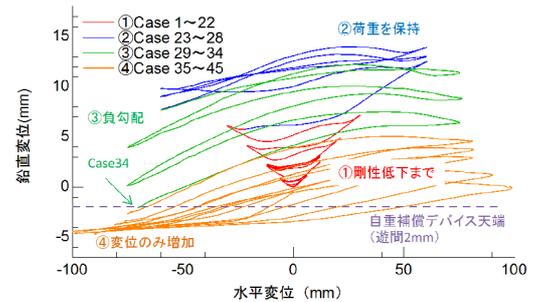


図-4 鉛直変位-水平変位関係(西4柱)



写真-1 通常柱の損傷状況(左)と自重補償柱がスラブを支持する様子(Case38)

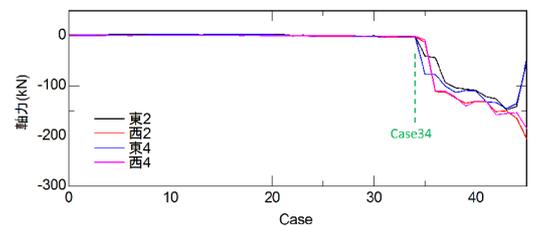


図-5 自重補償柱の軸力と载荷ケースの関係