

危機耐性を高める自重保障構造の提案と成立性

(株) ジェイアール総研エンジニアリング	正会員	○西村 隆義
(公財) 鉄道総合技術研究所	正会員	室野 剛隆
(公財) 鉄道総合技術研究所	正会員	本山 紘希
京都大学	正会員	五十嵐 晃

1. はじめに

我が国は地震活動度の高い国であり、構造物の地震時の安全性を高めるために様々な技術が開発されてきた。例えば、鉄筋コンクリート構造物では、より変形性能が大きくなるように帯鉄筋を多く配置することや、高強度材料や免震・制震装置等の開発により、その安全性は飛躍的に向上している。しかし、従来の耐震設計法は、設計地震動に対して構造物が所定の安全性を確保するように設計されていたため、万一、設計地震動を超える地震が発生した場合には、何ら保障がないのが現状である。そこで、平成24年に改訂された鉄道構造物設計標準（耐震設計編、以降耐震標準と呼ぶ）¹⁾では、設計地震動を超える地震が発生しても破滅的な状態に至らないことを要求する「危機耐性」の概念が導入された。本論文では、危機耐性を高める構造形式として自重保障構造を提案し、そのコンセプトを示すとともに、高架橋を対象とした解析検討を実施して、その成立性について検証した。

2. 自重保障構造のコンセプト

危機耐性とは、設計地震動を超える地震が発生した場合にも破滅的な状態に至らないことを要求する性能である。これは設計地震動が、耐震標準¹⁾において、物理的に考えられる最大の地震ではなく経済性も勘案して社会的にも妥当とされる範囲で設定された「最大級の地震」として定義されているが、稀に発生する可能性のある設計地震動を超える地震の存在は否定できないため、設定された新しい概念である。

橋梁および高架橋の場合、破滅的な状況とは、想定以上の損傷が生じて桁等の上部工がこれを支持する橋脚や柱等の鉛直方向部材から落下する状態、すなわち落橋と解釈することができる。したがって、危機耐性を確保するためには、想定外の地震が発生することにより、想定以上の損傷が鉛直方向部材に生じて上部工を支持する性能を保持して、落橋を確実に回避することが必要となる。提案する自重保障構造は、柱や橋脚などの鉛直方向の部材が破壊（過度に損傷）しても、上部工等を支持するための鉛直支持性能を喪失しない「自重保障部材」を設けることで危機耐性を高める構造形式である。橋脚や高架橋では、橋脚や柱などの鉛直方向の部材で桁等の上部工を支持しており、これらの橋脚や柱は耐震設計がされている（ここでは「従来柱」と呼ぶ）。自重保障部材とは、地震時の慣性力（水平力）に対して抵抗しないものの、従来柱が破壊した時に機能を発揮する部材であり、従来柱で支えきれなくなった上部工等を支持することを保障し、構造物が崩壊することを防止するための部材である。

図1にラーメン高架橋における適用例を示す。まず、自重保障部材がないものとして通常の耐震設計を行い、設計地震動に対する安全性を担保する（図中の青い柱、従来柱）とともに、自重保障部材（図中の赤い柱）には地震時慣性力が伝達しないように設計する（例えばすべり支承を配置する）。自重保障部材には地震時慣性力が伝達しないので、万一想定外の地震が作用して従来柱が破壊しても、自重保障部材は健全な状態で残るため、構造物は鉛直支持性能を喪失しない状態を保つことが可能である。なお、橋脚のように1本もしくは2本の従来橋脚で桁等の上部工を支持している場合は、これらの柱とは別に自重保障部材を構築することで、危機耐性を高めることが可能である。

このように提案する自重保障構造は、設計地震動に対しては従来と同様の安全性を担保することを前提とし、仮に設計地震動を超える地震動が作用しても鉛直支持性能を喪失しないことに特徴がある。

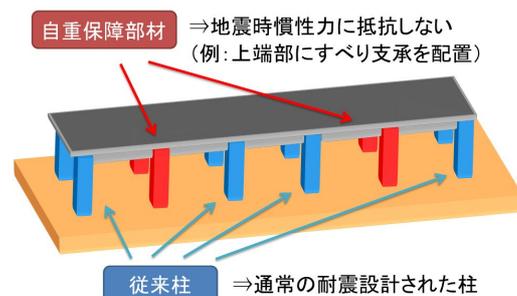


図1 提案構造のラーメン高架橋における適用例

キーワード 自重保障構造, 自重保障部材, 危機耐性, 鉛直支持性能

連絡先 〒185-8540 東京都国分寺市光町 2-8-38 (株) JRSE 構造技術部 TEL042-501-2603

3. 成立性の検証

提案構造の成立性を検証するため、ラーメン高架橋を対象とした動的解析を実施した。対象構造物の概要を図2に示す。対象構造物は、調整桁を支持する1層5径間のラーメン高架橋で、杭基礎に支持されている。地盤は良好な地盤（耐震標準¹⁾におけるG3地盤）で、柱が先行降伏する。柱の断面寸法は0.85m×0.85mで高さは5.5mである。

表1に解析ケースを示す。Case1は通常の耐震設計が実施された構造物、Case2とCase3は提案する自重保障構造で、2列目と5列目の柱を自重保障部材として設定することで危機耐性を高めた。なお自重保障部材は、柱の上端部にすべり支承を配置することを想定した。Case3は、Case1、2よりも従来柱の鉄筋量を増加させ、引張鉄筋は5本から7本、帯鉄筋の間隔を150mmから100mmに変更した。

解析モデルは、耐震標準¹⁾に示される一体型モデルを用いた。各部材は梁要素で、地盤ばねはばね要素でモデル化した。自重保障部材に用いるすべり支承は、ばね要素でモデル化するものとし、水平および回転方向は自由、鉛直方向は固定となるように設定した。重量は各節点に分割して与え、調整桁の重量は1節点で代表させて端部柱天端に与えた。部材の非線形特性はモーメント-曲率(M-φ)関係で与え、骨格曲線はひび割れ、降伏、最大耐力の3点を表現するトリリニアモデルを用いた。軸力変動は考慮していない。履歴特性は修正武田モデル²⁾を適用した。地盤ばねの非線形特性は、耐震標準¹⁾に準じてモデル化した。減衰はレーリー減衰で与え、0.3Hzと5Hzで3%となるように設定した。入力波は耐震標準¹⁾に示される設計地震動(L2地震動スペクトルII)を用いた。

解析結果の例として、図3に3列目の柱下端のM-φ関係を示す。また、耐震標準¹⁾における柱部材の照査は、曲率φが指標となるため、φの制限値(最大耐力時)を併せて示した。Case1は、最大応答曲率が制限値以内に収まった。一方、Case2は、最大応答曲率が制限値を超過した。これは、慣性力に抵抗する6本の柱のうち2本を自重保障部材に変更したため、従来柱の負担が増大したためである。Case3は、Case2と比べて降伏モーメントが大きく、その分応答曲率は小さくなり、最大応答曲率は制限値以内に収まった。降伏モーメントの増加は、柱の引張鉄筋を増加させたことによる。また、Case3はCase1、2と比較すると制限値も大きい。帯鉄筋の増加に伴うじん性の増加によるものである。このように危機耐性を高める自重保障構造を適用した場合は、慣性力による負担が大きくなるため従来柱の耐力を増加させる必要があるが、帯鉄筋によりじん性を十分に持たせ、引張鉄筋を数本増やす程度で、前提である設計地震動に対する安全性を満足させることが可能である。

なお、提案構造の施工費は、従来柱の鉄筋を増加させる必要がある一方で、慣性力に抵抗しない自重保障部材は鉄筋を大幅に削減できるため、通常の構造物と比較しても同等と想定できる。

4. おわりに

本論文では、自重保障構造のコンセプトを示し、解析により成立性を検証した。その結果を以下に示す。①自重保障部材を設けることで、万一想定以上の地震が作用して従来柱が破壊しても、構造物は鉛直支持性能を喪失しない状態を保つことが可能である。②自重保障構造は、従来柱の鉄筋を増やす程度で設計地震動に対する安全性を満足させることが可能で、施工費の観点でも通常の構造物と同等と想定できる。

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，2012.9，2) 武田寿一：鉄筋コンクリート建物の動的計算，コンクリートジャーナル Vol.12, No.8, pp.33-41, 1974

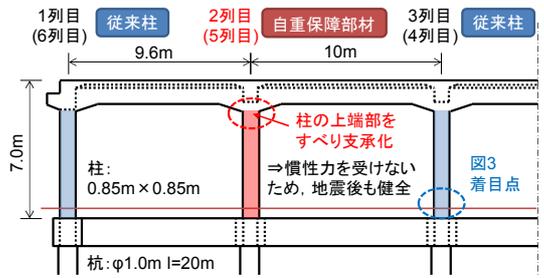


図2 対象構造物

表1 解析ケース

Case	構造形式	従来柱の鉄筋量	
		引張鉄筋	帯鉄筋
1	通常の耐震設計	D32×5本	D19-1組-150ctc
2	自重保障構造 (柱6本中2本が自重保障部材)	D32×5本	D19-1組-150ctc
3		D32×7本	D19-1組-100ctc

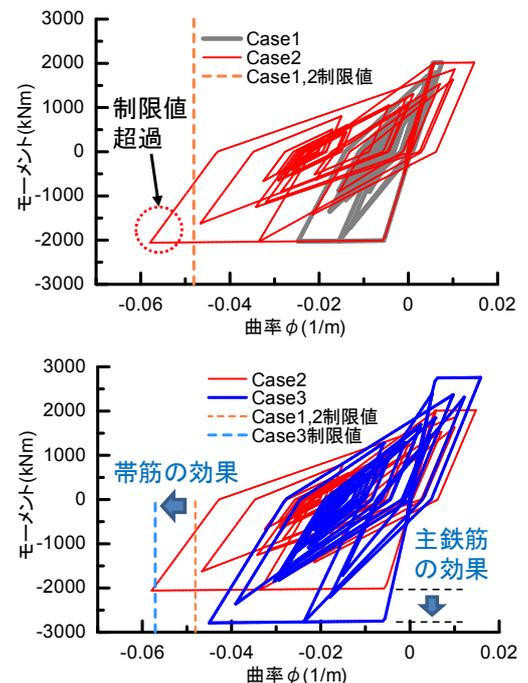


図3 着目柱のM-φ関係(上:Case1と2,下:Case3)