

高架橋の地震時応答性状における桁間連結板のエネルギー吸収効果について

北海道大学大学院工学研究科 F 会員 林川 俊郎
鹿 島 建 設 (株) の 正 員 村井 健二
北海道大学大学院工学研究科 学生員 Felix Daniel

1. まえがき

先の兵庫県南部地震では、高速道路や新幹線、さらに地下鉄や新交通システムなどの都市交通施設に甚大な被害が発生した。震災後、示方書では従来構成されていた落橋防止構造を再整理し、各構成要素の役割を明確にして、けたかかり長、落橋防止構造、変位制限構造、段差防止構造、以上の4項目からなる落橋防止システムとしている¹⁾。震災後には、橋梁構造物の損傷メカニズムを解明するために、多くの関係機関から被害調査と分析が報告されている²⁾。

そこで、本研究では高架橋の支承条件、桁間連結板、隣り合う桁の相互作用および鋼製橋脚の材料および幾何学的非線形性を考慮した弾塑性有限変位動的応答解析を行い、高架橋システムの応答性状について考察する。動的応答解析に際しては、鋼製橋脚および鋼製支承を有する2連の単純桁高架橋を対象として、上部構造の落橋防止システムとしての桁間連結板のエネルギー吸収効果が高架橋の地震時非線形挙動に与える影響について検討する。

2. 解析モデル

本研究では、単純桁が多径間にわたり連なる高架橋の中から一部を取り出し、図-1に示すような2連の単純桁高架橋を対象とする。

(1) 上部構造・橋脚

上部構造は支間長 40m、総重量 5880kN の合成桁とした。解析に際してはこれを断面二次モーメントと総重量が等価な鋼断面に換算することとした。橋脚は鋼製橋脚を対象とし、その断面幅を 2.2m、板厚を 0.05m の正方形箱形断面とした。また、橋脚高さは図-1のように P1、P2 および P3 すべて 20m とした。上部構造および橋脚に用いる鋼材の σ - ε 関係はバイリニア型になるものとし、ヤング係数 E を $2.0 \times 10^5 \text{ N/mm}^2$ 、降伏応力 σ_y を 235 N/mm^2 、塑性域のひずみ硬化を 0.01 としている。基礎地盤は 種地盤を想定し、水平、鉛直、回転の3方向のばね要素を用いることによって考慮し、それぞれ

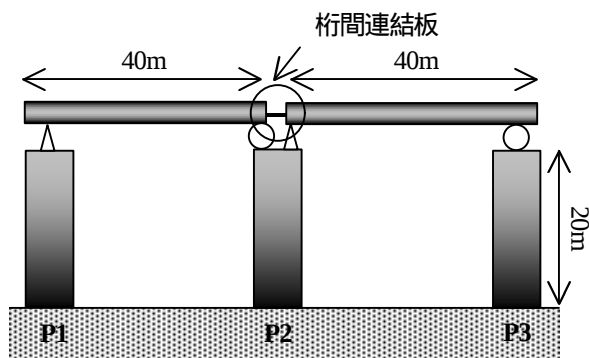


図-1 2連の単純桁高架橋

2.38MN/mm、7.13MN/mm、 $5.94 \times 10^4 \text{ GNmm/rad}$ の値を用いた。

(2) 支承

支承は、鋼製の固定支承と可動支承を対象とし、1つの支承を水平、鉛直、回転の3方向のばね要素にモデル化した。

鉛直および回転方向は線形ばねとし、水平方向は線形ばねおよび非線形ばねにより固定支承および可動支承を模擬している。

(3) 桁間連結板

連結板の概略を図-2に示す。本来、連結板と桁はピンにより結合されているが、本研究では、上部構造と同じはり柱要素モデルとして取り扱うこととし、連結板と桁は剛結とした。連結板の断面は、正方形箱型断面とし、上部構造および橋脚と同様なヤング係数および降伏点を持つバイリニア型の非線形はり柱要素にモデル化した。連結板が塑性変形し、塑性ひずみエネルギーとして地震力の吸収を行うことを考慮している。ここで、連結板のエネルギー吸収効果を検討するために、比較対照として連結板を設置しない解析モデルを Case1 とし、連結板を設置した解析モデルを Case2 とした。

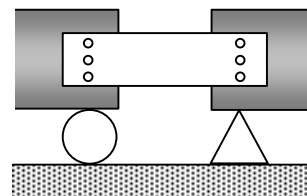


図-2 桁間連結板

3. エネルギー吸収量の算定

本研究では、次の手順によりエネルギーを算出した。一般に、構造物の地震応答解析を行うときの多自由度系の運動方程式は次式のようになる。

$$M\ddot{x} + C\dot{x} + Kx = -M\ddot{z} \quad (1)$$

ここで、 M は質量マトリックス、 C は減衰マトリックス、 K は剛性マトリックス、 x は構造物の応答変位ベクトルであり、 $\ddot{z}$ が入力地震波の加速度である。式(1)の両辺に構造物の応答速度ベクトルの転置を乗じて時刻 t で積分するとエネルギーのつり合い式となる³⁾。非線形動的応答解析に用いた入力地震波は、種地盤用標準波とし、橋軸方向に作用させた。

4. 解析結果

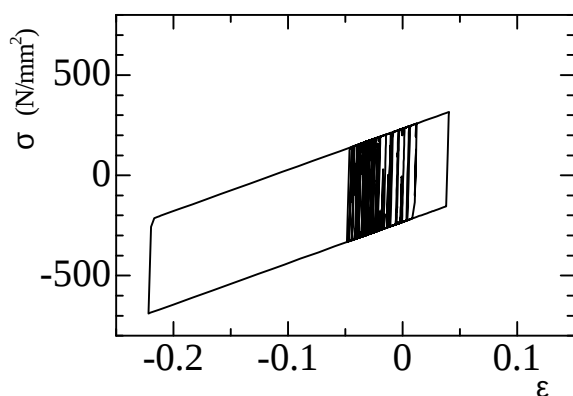
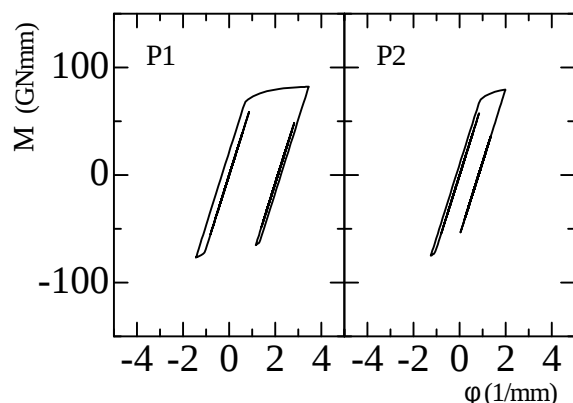
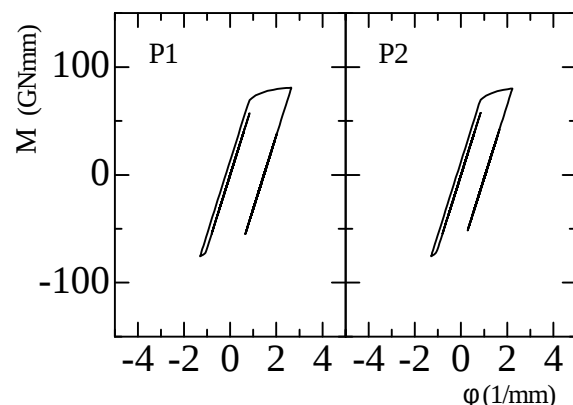
動的応答解析に先立ち、解析モデル Case1 および Case2 それぞれについて固有振動解析を行い、固有周期はそれぞれ 0.76(s)、0.73(s)である。

(1) 桁間連結板の σ - ε 関係

桁間連結板を設置した Case2 における連結板の σ - ε 関係を図-3に示す。これより、設定した降伏点 $\sigma_y = 235 \text{ N/mm}^2$ で桁間連結板が降伏し、地震力を塑性ひずみエネルギーとして吸収するものと考えられる。

キーワード：桁間連結板、エネルギー吸収、非線形動的応答解析

連絡先：〒060-8628 北海道札幌市北区北13条西8丁目 TEL：011-716-6170

図-3 桁間連結板の σ - ε 関係図-4 橋脚のM- ϕ 関係 (Case1)図-5 橋脚のM- ϕ 関係 (Case2)

(2) 橋脚基部のM- ϕ 関係

図-4、5にCase1およびCase2のP1橋脚基部およびP2橋脚基部の曲げモーメントと曲率の関係を示す。図-4より、Case1において、P1およびP2橋脚基部の塑性化が見受けられる。また、P2橋脚基部に比べP1橋脚基部の塑性化が大きいことがわかる。これは、2連の上部構造が連結されていないために上部構造の慣性力がP1橋脚基部に集中したためと考えられる。一方、図-5よりCase2においては、Case1と同様にP1およびP2橋脚基部の塑性化が見受けられる。しかし、Case1とは異なりP1橋脚基部への上部構造の慣性力集中は顕著に見受けられない。これは、桁間連結板により地震力を塑性ひずみエネルギーとして吸収したため、P1橋脚基部の塑性化が低減されたものと考えられる。

(3) エネルギー曲線

図-6、7にCase1およびCase2のエネルギー曲線を示す。ここのエネルギーとは、構造物が吸収するエネルギーを意味

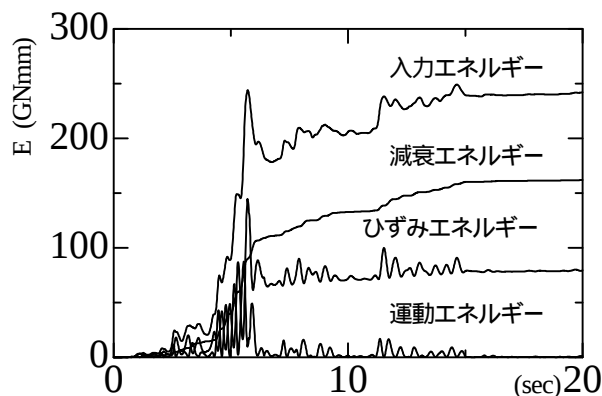


図-6 エネルギー曲線 (Case1)

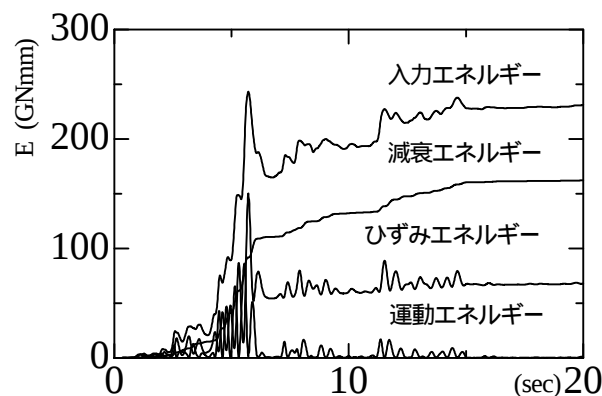


図-7 エネルギー曲線 (Case2)

する。Case1およびCase2ともに、主要動が起こる6秒付近で応答が大きく現れ、その後、一定の値に収束することがわかる。解析が終了する20秒の時点でのひずみエネルギーの値は、Case1において80GNmm、Case2において69GNmmあり、Case1に比べCase2におけるひずみエネルギーが小さくなっている。ここで、ひずみエネルギーは、橋脚の塑性域の増大にともない大きくなるものであり、このことから、桁間連結板を設置したCase2における橋脚基部の塑性化が低減されたことが確認できる。

5. あとがき

本研究では、2連の単純桁高架橋を対象として、上部構造の落橋防止システムとしての桁間連結板のエネルギー吸収効果が高架橋の地震時応答性状に与える影響について検討した。

今回の検討では、2連の単純桁高架橋の橋軸方向についてに限られるが、落橋防止構造の一つである桁間連結板により、地震力を塑性ひずみエネルギーとして吸収することによって、固定支承を有する橋脚への、上部構造の慣性力の集中を低減させる可能性がある。また、支承の損傷さらには落橋や桁同士の衝突を防ぐ可能性があることを示した。今後の課題として、今日様々な落橋防止構造が開発されているが、桁間連結板にとどまらず、様々な落橋防止構造を含めた落橋防止システムとしての検討をする必要があると考えられる。

【参考文献】

- 1) 日本道路協会：道路橋示方書V 耐震設計編、平成8年12月、丸善、1996、
- 2) 土木学会鋼構造委員会鋼構造新技術小委員会：鋼構造物の安全性の調査報告 - 阪神大震災における鋼構造物の被害報告と今後の耐震設計について、土木学会、1995.5、
- 3) 山田善一：耐震構造設計論、京都大学学術出版会、1997.9