

鋼鉄道橋の斜角桁支承部の地震応答特性に関する数値解析的検討

伊藤忠テクノソリューションズ(株) 正会員○松本拓, 馬淵倉一

(公財) 鉄道総合技術研究所 正会員 和田一範, 池田学

1. はじめに 過去の鋼橋の地震時の損傷は、ほとんどが桁支承部に生じており、特に斜角桁支承部の損傷が相対的に多い¹⁾。また、斜角桁は回転挙動も生じやすく²⁾、国内外の道路橋で落橋に至った事例もある。このような背景から、斜角桁は耐震上、特に注意すべきと考えられるが、斜角の有無による地震時の支承部への影響は十分に解明されておらず、斜角の影響を考慮した地震時の評価および対策を行うことが困難となっている。

そこで、本研究では、斜角や構造形式が異なる鋼鉄道橋の骨組みモデルを構築し、支承部の作用力、損傷位置などの地震応答特性を分析した。また、斜角桁に適した落橋防止工に関する作用力の特性も合わせて分析した。

2. 解析概要 支間長 25m の上路桁単線 (DG 単線)、下路桁単線 (TG 単線)、複線 (TG 複線) の 3 タイプの構造形式で、斜角 45°, 60°, 75°, 90° の 4 ケース (表-1) を平面骨組モデル (図-1(a)) でモデル化した。なお、本解析は、支承が損傷しておらず、各支承が同時に作用力に抵抗することを前提としている。

モデル化方法としては、主桁、横桁、縦桁は線形の梁要素、横構

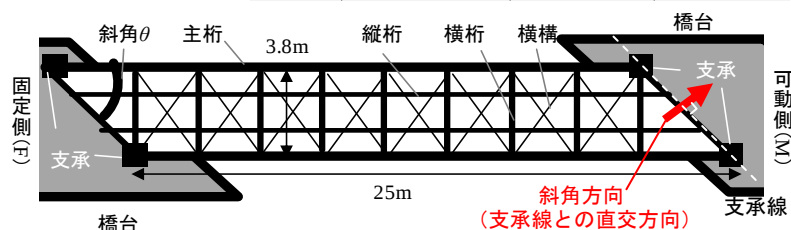
は線形の棒要素でモデル化した。軌道は分布荷重として考慮し、列車荷重は考慮していない。橋台は質点および地盤との非線形ばね³⁾でモデル化した。可動側の支承は、橋軸直角方向のみ図-1(b)に示す非線形ばねとし、橋軸方向は微小な剛性を持つ線形ばねでモデル化した。一方で、固定側の支承は多重せん断ばねとし、橋軸直角方向の合力が図-1(b)と一致するように設定した。これは、鋳鉄製線支承の既往実験⁴⁾より、支承が作用方向に依らず同程度の耐荷力を有するためである。また、減衰は各モデルの 1 次、2 次モードに対して 3% の Rayleigh 減衰として設定した。

入力地震動は、鉄道構造物の地表面設計地震動⁵⁾である G3 地盤用の L2 地震動スペクトル I, II (L2spc I, L2spc II) (図-1(c)) とし、橋台と地盤をつなぐばね要素より入力した。なお、入力方向は図-1(a)の赤矢印で示す各モデルの斜角方向 (支承線との直交方向) とした。これは、事前検討 (静的解析) から斜角方向の損傷震度が最も小さい、すなわち損傷しやすいことが明らかとなったためである。

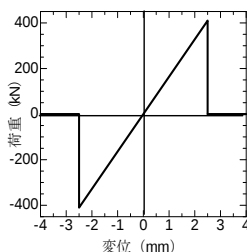
3. 地震応答特性の分析 構造形式ごとに地

表-1 検討対象橋梁

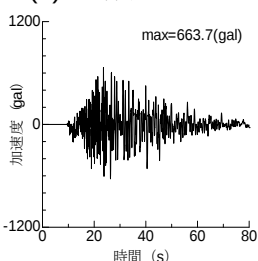
支間長	構造形式	単線, 複線	斜角
25m	上路桁 (DG)	単線	90° (直橋)
	下路桁 (TG)	単線 複線	75° 60° 45°



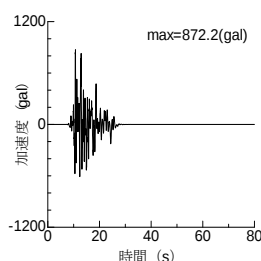
(a) 全体図



(b) 支承の非線形特性

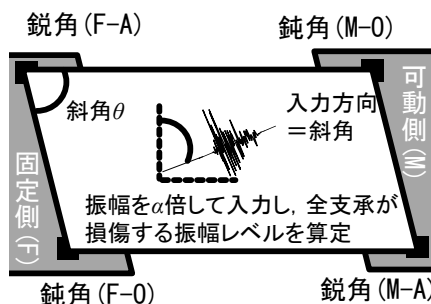


(c) L2spc I

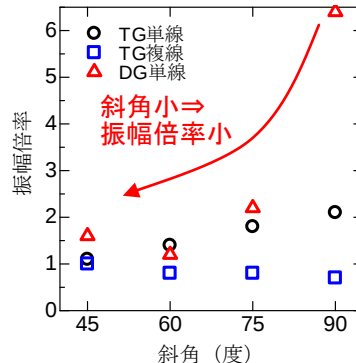


(d) L2spc II

図-1 解析モデル・条件



(a) 地震動の入力方向・振幅



(b) L2spc II での結果

図-2 構造形式ごとの斜角度と振幅倍率の関係

キーワード 斜角桁, 作用力特性, 落橋防止工

連絡先 〒100-6080 東京都千代田区霞が関 3-2-5 霞ヶ関ビル 伊藤忠テクノソリューションズ(株) 科学システム事業部 原子力・エンジニアリング部 耐震技術課 TEL03-6203-7614

震時に弱点となる斜角度を明らかにするために、入力地震動の加速度振幅を調整し、各モデルにおいて、全支承が損傷する際の振幅倍率を算定した(図-2)。図-2より直橋(斜角 90°)に比べて、斜角桁の方が、振幅倍率が小さい傾向がある。また、斜角度が小さい方が、振幅倍率がわずかに小さい傾向がある。また、この傾向はいずれの地震動、構造形式でも見られ、特に単線の場合に顕著に見られる。以上から、斜角度が小さい方が、小さい振幅レベルで全支承が損傷する、すなわち地震時に損傷する可能性が高いことがわかった。

次に、図-3に支承位置と損傷順序の整理結果を示す。整理した解析ケースは斜角桁モデル 8 ケースに地震波 2 ケースの計 18 ケースである。鈍角部が 1 番目に損傷するケースが多く、固定側鈍角部(F-O)と可動側鈍角部(M-O)を合わせると 7 割以上となる。一方で、可動側鋭角部(M-A)が 4 番目に損傷する可能性が高い(7 割弱)。以上から、鈍角部が鋭角部に比べて損傷しやすいことがわかった。

4. 落橋防止工の特性 図-4(a)のように鋭角部外側にストッパーを設置し、落橋に至る回転を抑制する落橋防止工の作用力特性を分析する。本ストッパーは十分な強度を有し、降伏しないことを前提としているため、支承との遊間 δ と剛性 k をパラメータに持つばね要素でモデル化した(図-4(b))。剛性は図-1(b)で示した支承の

剛性に対する倍率を 3 ケース(0.1 倍, 1 倍, 10 倍)設定し、遊間は 2 ケース(50mm, 10mm)設定した。

図-5にTG単線の斜角 45° モデルに地震動L2spc Iを入力したケースについて、ストッパー(剛性倍率1倍, 遊間10mm)が有る場合と無い場合の支承と橋台との最大相対変位を示す。ストッパーを設置することで、支承と橋台の相対変位が遊間以内に収まり、大幅な桁ずれが生じないことがわかる。なお、本傾向はストッパーの各剛性・遊間のパラメータや地震動に依らず見られた。

次に、図-5と同じ構造形式、地震動のケースについて、ストッパーの剛性、遊間と作用力の関係を図-6に示す。図-6よりストッパーの剛性が大きいほど、また、遊間が小さいほどストッパーへの作用力が大きくなることがわかる。また、本傾向は地震動に依らず見られた。以上より、ストッパーの諸元は、桁ずれ量として許容できる範囲で広い遊間とし、作用力に対してストッパーが降伏しない範囲の剛性・降伏強度を持つように設定するのが良い。

5. おわりに 斜角や構造形式をパラメータに支承部の作用力、損傷位置などの地震応答特性を分析した。その結果、斜角が小さく、鈍角部の方が損傷しやすいことがわかった。また、鋭角側のみにストッパーを設置した落橋防止工について、その作用力の特性を分析した。その結果、ストッパーの剛性が大きいほど、また、支承との遊間が小さいほど作用力が大きくなることがわかり、斜角桁に適した落橋防止工に関する基礎的な知見が得られた。

【参考文献】1)鉄道総合技術研究所：鉄道総研報告兵庫県南部地震鉄道被害調査報告書，1996。 2)大塚久哲，神田昌幸，鈴木基行，川神雅秀：斜橋の水平地震動による回転挙動解析，土木学会論文集 Vol.570, pp.315-324, 1997。 3)西岡英俊，日野篤志，神田政幸，室野剛隆：抗土圧橋台の耐震設計法と性能照査例，鉄道総研報告，Vol.26, No.11, pp.47-52, 2012。 4)和田一範，池田学，山下健二：地震時における斜角鋼桁の支承部の作用力と耐荷特性，鉄道総研報告，Vol.29, No.10, pp.23-28, 2015。 5)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，丸善出版，2012。

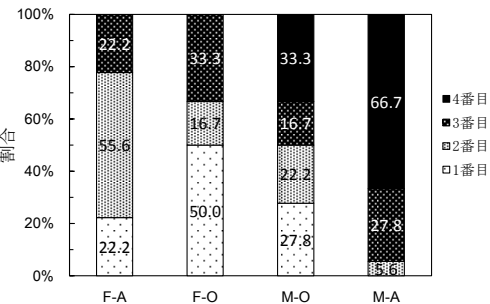


図-3 支承位置と損傷順序の関係

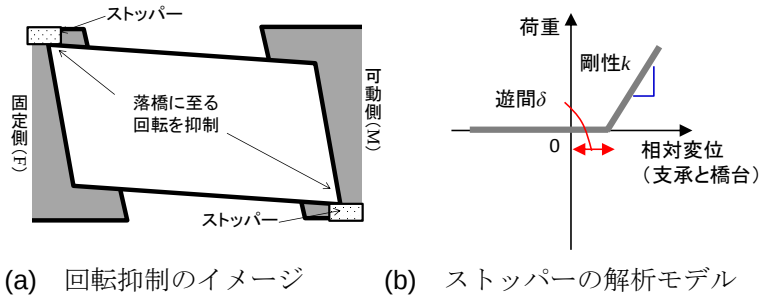


図-4 ストッパー設置による落橋防止工の概要

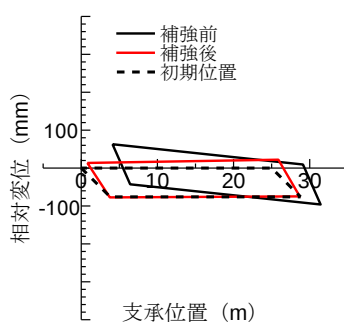


図-5 橋台に対する最大相対変位
(遊間 10mm, 剛性倍率 1 倍)

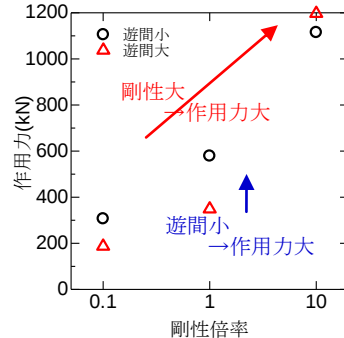


図-6 ストッパーへの作用力 (L2spc I)