

異種鋼材で構成された箱桁断面主桁を有する鋼斜張橋の耐震性検討モデルおよび耐震補強案

九州大学大学院 学生会員 ○小宮 有貴

九州大学大学院 フェロー 大塚 久哲

山平技術士事務所 正会員 山平 喜一郎

1. はじめに

鋼箱桁では同一断面内に異種鋼材を用いることがあり, その場合の曲げモーメント-曲率関係については, 未だ議論されていない. 本研究では, 低材質部が塑性化した後の主桁断面内の塑性域の広がりを考慮して, 部材の骨格曲線を作成する方法を提案し, 既存の鋼斜張橋を対象に時刻歴地震応答解析を実施して耐震性の照査を行ったので, その結果とあわせて検討した耐震補強案について論述する.

2. 解析概要

解析対象橋梁は, 3径間連続鋼斜張橋である¹⁾²⁾. 図-1に解析モデルを示す. 鋼主桁は, 図-2(a)のように断面内に張出部が低材質, 箱桁が高材質と, 異なる材質が混在するため, まず各部位が降伏応力に達する段階ごとに耐力を算出し, その値から図-2(b)のような材料非線形特性を決定した. 次に, 照査判定の際に重要となる剛性変化点を抽出し, 図-2(c)のように, 実際の解析に用いる材料非線形特性をトリリニア型で簡易化した. なお, 抽出した剛性変化点は, 第1変化点を断面内の任意の1点が降伏点に到達する点, 第2変化点を高材質部材の任意の1点が降伏点に到達する点, 第3点を全塑性に至る点とした. また, 支承部は, 構造によっては橋軸方向, 橋軸直角方向, 鉛直方向の各々で構成部材の降伏順序が異なるため³⁾, 各支承ごとに構成部材全ての降伏耐力を算出し, 各方向において弱点部材を見出し, 最弱点部材の剛性と降伏耐力を用いて材料非線形特性を考慮した. 各支承の骨格曲線の概念図を図-3に示す. 非線形復元力特性については, RC橋脚はトリリニア武田モデル, 鋼主塔, 鋼製橋脚はバイリニアモデルとした. 鋼主桁はトリリニア型, 支承については, 鉛直方向は非対称原点最大点指向型, 橋軸直角方向はトリリニア型とし, 橋軸方向においてはP1, P4支承で移動制限量を考慮した非線形弾性型, P2, P3支承でトリリニア型とした. 入力地震波はJR鷹取波のEW成分, NS成分, UD成分を3方向同時入力した. 地域別補正係数は0.7であり, 減衰にはレイリー減衰を用いている. 解析の際には死荷重及びケーブル初期張力を考慮した解析を行った.

3. 解析結果

(1)主桁の断面力: 主桁の最大応答曲げモーメントを図-5に示す. 主桁面内曲げモーメントは, 曲線区間でわずかに弾性域を越える程度であり, 主桁面外モーメントは曲線区間と主塔部周辺で弾性域を越えている. しかしながら, 両者とも高材質の降伏耐力にまでは至っていない. つまり, 図-2を参考にすると, 主桁は曲線区間及び主塔近傍で, 低材質である張出部が降伏するが, 高材質である箱内は降伏せず弾性域内であると判定できる.

(2)支承の断面力: 本研究では, 最弱点部材の剛性と降伏耐力を用いて支承の材料非線形性を考慮している. そこで, 支承ごとの初期降伏部材を表-1に示す. 最大応答断面力を降伏耐力で割った値を図-5に示す. 桁端支承の橋軸方向において, 変位が移動制限量を越え, かつ断面力が降伏耐力を上回る応答値を示している. つまり, 桁端支承は主桁と橋脚間の相対変位が支承の移動制限量を越えた後で, 下沓ストッパーにぶつかり, 更に下沓ストッパーが降伏することになる.

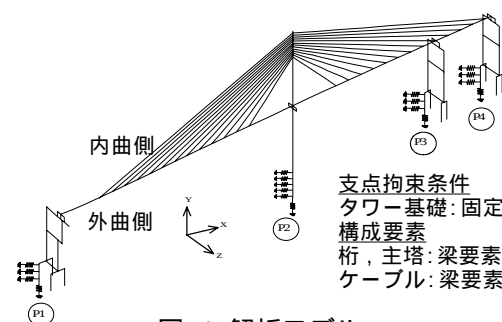
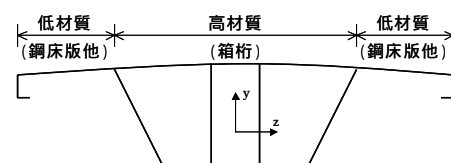


図-1 解析モデル



(a) 箱桁の断面性状(模式図)

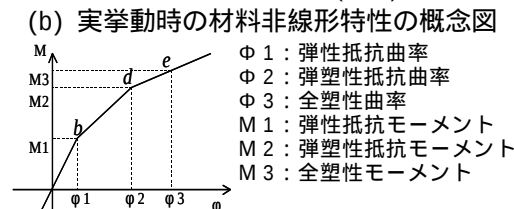
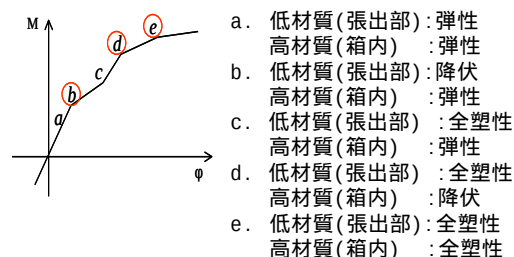
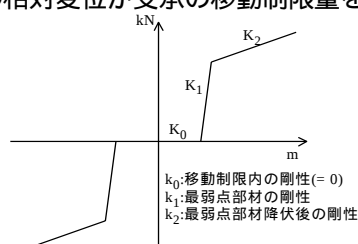
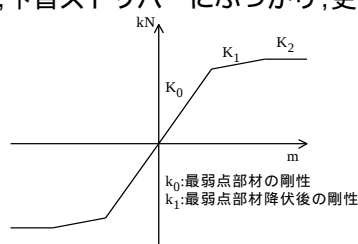


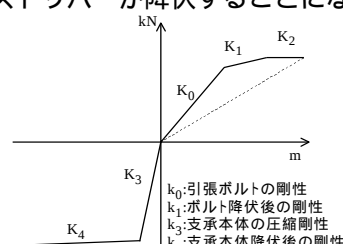
図-2 鋼箱桁の骨格曲線の作成



P1, P4 可動支承橋軸方向



全支承橋軸直角方向, 及び P2, P3 支承橋軸方向



支承鉛直方向

図-3 各支承の骨格曲線

また、桁端支承の橋軸直角方向において断面力が降伏耐力を上回る応答値を示している。橋軸直角方向の降伏耐力は上沓突起部を採用しているため、上沓突起部が降伏に至ることが分かる。

4. 耐震補強案の検討(ダンパーによる桁移動量の制御)

3章より問題が明らかとなった桁端支承の耐震補強策として、ダンパーを設置することによる効果の検討を行った。本研究では、ダンパー設置による橋脚断面力の増大の危惧がない速度依存型のダンパーを用いた。ダンパーはP1及びP4橋脚天端に各2箇所、計4箇所の設置とし、設置方向は橋軸方向とした。ダンパーのサイズはパラメータ解析による結果の比較から最も効率よく高い効果の得られた、 $C=2000\text{kN}\cdot\text{sec}/\text{m}$ 、 $\alpha=0.2$ を用いて決定した。

なお、速度依存型ダンパーの式は以下の式で表される。

$$F = CV^\alpha \rightarrow C: \text{減衰定数} \quad V: \text{相対速度}$$

α : 相対速度と減衰力の関係を表すパラメータ

図-6に最大応答断面力を降伏耐力で割った値、図-7にP1,P4支承の橋軸方向履歴曲線の補強前後の比較を示す。桁端支承の橋軸方向変位はダンパーの設置によって移動制限量以内となっており、下沓ストッパーへの衝突が避けられる結果となった。また、表-2に構造要素の最大応答断面力を示すが、これから分かるように橋梁全体の最大応答断面力に及ぼす影響は小さなものである。以上の結果から、橋軸方向にダンパーを設置したことにより、桁端支承は橋軸方向の移動制限量以内に抑えることが出来た。

5. 結論

本研究で得られた主な知見をまとめると以下のようになる。

- (1)主桁に材料非線形特性に異なる材質が混在する際の材料非線形特性を作成したことにより、鋼主桁の塑性状態の程度を知ることが出来るようになった。また、支承の材料非線形特性に構成部材の剛性・降伏耐力や移動可能量を考慮して、動的挙動を正確に再現したことにより、支承の問題箇所を明らかにできるようになった。
- (2)解析結果より、桁端支承の変位が橋軸、橋軸直角方向に移動制限量を超え、断面力については、橋軸方向で下沓のストッパーが降伏し、橋軸直角方向で上沓突起部が降伏することを確認した。主桁は面内曲げに対しては弾性域、面外曲げに対しては高材質鋼弾性範囲内にあることを確認した。
- (3)(2)を踏まえて、桁支承の移動量制御を目的として、速度依存型ダンパー設置による耐震補強案を検討したところ、断面力の大幅な増加を見ることなく桁移動量を制御することが可能であることが確認できた。
- (4)以上より、耐震補強検討を行うことを前提として解析モデルを作成する際には、支承や主桁の精密なモデル化が必要であることが確認した。

参考文献

- 1) 土木学会: 橋の動的耐震設計, 土木学会, 2003. 3, pp. 340-349
- 2) 大塚・山平・楠田: 鋼斜張橋の非線形地震応答解析による耐震補強策の検討, 土木学会構造工学論文集, Vol. 47A, 2001. 3, pp. 883-894
- 3) 山平・大塚: 兵庫県南部地震における鋼桁損傷要因の分析と耐震性向上策の検討, 土木学会論文集, No. 696/I-58, 2002. 1, pp. 31-43

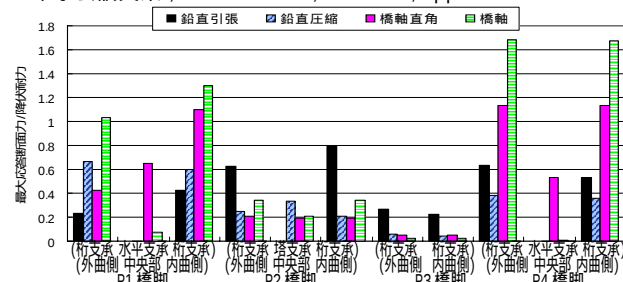


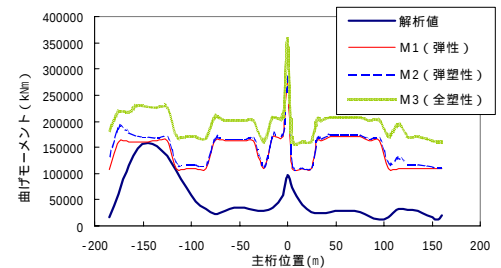
図-5 最大応答断面力 / 降伏耐力

表-1 初期降伏部材

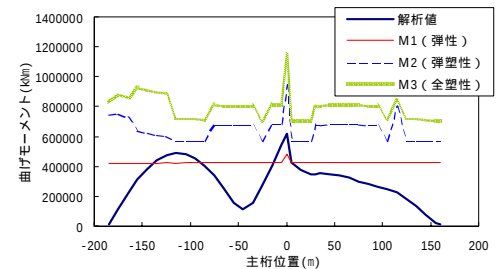
降伏部材	P1		P2		P3	P4	
	鉛直支承	水平支承	鉛直支承	鉛直支承	鉛直支承	鉛直支承	水平支承
引張降伏部材	セットボルト	-	セットボルト	セットボルト	セットボルト	セットボルト	-
圧縮降伏部材	本体	-	本体	本体	ピン	本体	-
橋軸方向せん断降伏部材	下沓スリッパ	上沓溶接	上沓溶接	上沓溶接	上沓溶接	下沓スリッパ	上沓溶接
橋軸直角方向せん断降伏部材	下沓突起	上沓溶接	上沓溶接	上沓溶接	上沓溶接	下沓突起	上沓溶接

表-2 構造要素の最大応答断面力(kN・m)

構造要素	曲げ方向	最大断面力(ダンパー設置前)	最大断面力(ダンパー設置後)
主桁	主桁面内	158000	163000
	主桁面外	547000	543000
主塔	橋軸方向	71800	76500
	橋軸直角方向	123000	123000
P1橋脚	ラーメン橋脚面外	53600	46900
	ラーメン橋脚面内	91700	90900
P2橋脚	橋軸方向	846000	834000
	橋軸直角方向	1190000	1210000
P3橋脚	ラーメン橋脚面外	21100	18700
	ラーメン橋脚面内	16200	16100
P4橋脚	ラーメン橋脚面外	27400	26500
	ラーメン橋脚面内	40000	39600



主桁面内曲げモーメント



主桁面外曲げモーメント

図-4 主桁最大応答曲げモーメント

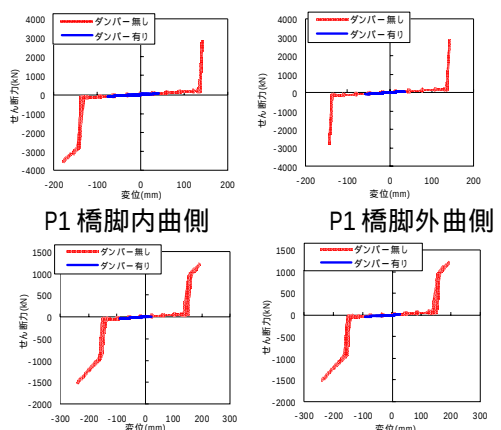


図-7 P1,P4 支承橋軸方向の履歴曲線

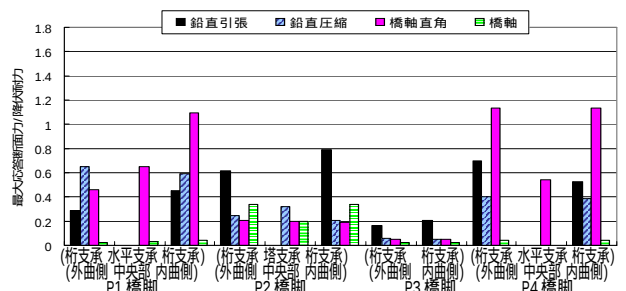


図-6 補強後の最大応答断面力 / 降伏耐力