

連続ボックスカルバート形式の高架橋に対する耐震性能照査手法の一提案

西日本高速道路（株） 正会員 ○田頭 颯樹

大日本コンサルタント（株） 正会員 鬼木 浩二 山中 恵里帆 田崎 賢治

1. はじめに

本稿では、既設 RC 連続ボックスカルバート形式の高架橋（写真 1）を対象とした耐震性能照査手法の一例を紹介する．一般的なフーチングとは異なる底版構造に取りつく基礎ばねを、地盤を含む有限要素モデルで検証し、簡易な設計ばねモデルを用いる耐震性能照査手法を提案した．

2. 連続ボックスカルバート形式高架橋の構造的特徴

対象橋梁は橋長 400m の 4 連ボックスカルバート形式、ボックス本体を底版でヒンジ接合した連続高架橋で、表 1 に示すとおり、竣工から 30 年以上経過した橋梁である．架橋位置の地形地質条件として、地下 20m 程度まで沖積層が堆積し、沖積層（透水層）とその下にある洪積層（不透水層）の境界に滞水層がみられた．そのため、地下水の湧出やボイリング等の影響から、透水層の掘削を必要としないボックスカルバート形式が選定された経緯がある．上記の理由より、地盤条件は堅固でない地盤（Ⅱ種地盤）上に架橋されているため、大規模地震における地盤の沈下・変形等によって、ボックス本体、またはボックス間の継手の損傷により道路機能の喪失が懸念される．そのため、大規模地震時における①版構造を含むボックス構造本体の地震応答、②地盤の沈下・変形、③ボックス間の継手（ずれや開き）が評価できる照査手法を検討した．

3. 解析モデルの概要

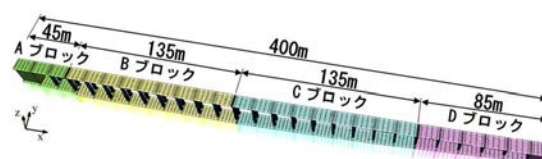
図 1 に解析モデルの概要を示す．ボックス頂版と底版のモデルは版構造としての挙動を評価するため、有限要素モデル(FEM)の積層タイプのシェル要素とした．頂版と底版をつなぐ二柱式橋脚のモデルは立体ラーメン構造形式となるため、軸力変動を時々刻々と考慮可能なファイバー要素とした．ボックス間のモデルとして、頂版側はボックス間の遊間量を考慮した衝突ばね要素を、底版側は不同沈下等のせん断ずれを防止するヒンジ鉄筋が設置されているため、ヒンジ鉄筋のせん断方向のばね要素を設けた．また、地盤のモデルは設置面積が大きい底版を有するボックス構造のすべりや浮き上がり等を表現するため、構造物底面から支持地盤までを、3 成分の Winkler 型非線形地盤ばね（図 2）を設計モデルとして設けている．



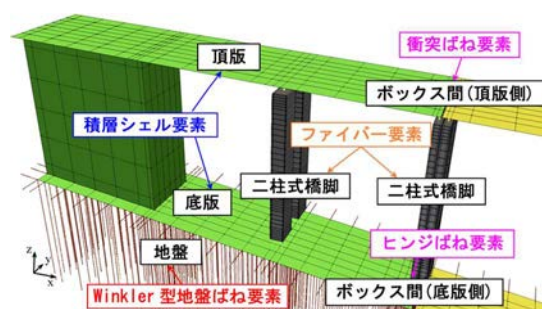
写真 1 現地状況の概要

表 1 橋梁諸元

内容	諸元
竣工年次	平成元年（1989年）
適用基準	昭和55年道路橋示方書
橋長	400m
ブロック長	45m+135m+135m+85m
構造形式	4連ボックスカルバート形式の連続高架橋
上部工形式	RC中空床版形式
下部工形式	二柱式橋脚
基礎形式	直接基礎
地盤種別	Ⅱ種地盤



(a) 橋全体のモデル図



(b) A ブロックモデルの拡大図

図 1 解析モデルの概要

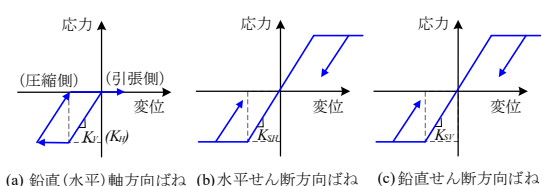


図 2 Winkler 型地盤ばねの非線形特性

キーワード ボックスカルバート形式、高架橋、耐震性能照査、有限要素モデル、Winkler 型ばね
 連絡先 〒870-0021 大分市府内町 3-4-20 西日本高速道路（株）九州支社 大分高速道路事務所
 TEL : 097-510-5623 FAX : 097-510-5624

4. 解析モデルの妥当性検証

(1) 検証方法

3成分 Winkler 型非線形地盤ばね（以下、提案モデル）の妥当性について、非線形の 3 次元 FEM（以下、詳細モデル）による比較検証を行った。なお、詳細モデルの材料特性として、地盤のひずみ依存特性は修正 Ramberg-Osgood モデルで設定し、各土質の動的変形特性は土木研究所資料第 1778 号（地盤の地震時応答特性の数値解析法，1982 年）を参考に設定した。検討手順は、① 3 次元 FEM による PushOver 解析で地盤ばねの反力係数を設定し、② その反力係数を用いて、工学基盤までの Winkler 地盤ばねモデルを作成する。③ 地震応答の検証では、詳細モデルを自由地盤として動的解析を実施し、地表面付近の変位波形を求める。次に、地表面変位波形と工学基盤の加速度波形を提案モデルの入力地震動とした動的解析を実施し、提案モデルと詳細モデルの比較検証を行う流れとした（図 3）。

(2) 動的解析による検証結果

動的解析による検証結果として、頂版位置の応答変位波形の比較を図 4 に、頂版位置の最大応答値の比較を表 2 に示す。なお、動的解析で用いた入力地震動は工学的基盤のせん断弾性波速度 $V_s=300\text{m/s}$ 程度のため、神戸海洋気象台地盤上 NS 成分で記録されたレベル 2 地震動(TypeII-I-1)を用いた。

図 4 より、提案モデルと詳細モデルの応答変位波形が概ね一致することから、Winkler モデルは精度よく、FEM モデルの地震応答特性を再現できていると考えられる。また表 2 より、提案モデルの方が詳細モデルよりも若干応答を大きく評価できていることから、設計上妥当なモデルとして判断した。

(3) PushOver 解析による検証結果

PushOver 解析による検証結果として、頂版付近の各橋脚位置に橋軸直角方向に強制変位(50cm)を与えた変形図を図 5 に、頂版付近の水平方向と鉛直方向の変位履歴結果を図 6 に示す。

図 5 より、ボックス頂版部に水平方向の強制変位を与えた場合は、反対側の底版端部を支点（軸）にした回転挙動が発生し、水平変位の増加とともに、ボックス底版の浮き上がり現象が見られた。また図 6 より、両モデルのボックス頂版の変位履歴が概ね一致することから、提案モデルは地盤一構造の地震応答を簡易的かつ効果的なモデルとして適用可能と考えられる。

5. まとめ

連続ボックスカルバート形式の高架橋に対する耐震性能照査手法について、① 橋全体を版構造としてモデル化し応答精度の向上を図ること、② 一般的なフーチングとは異なる底版構造に取りつく基礎ばねを、地盤を含む有限要素モデルで検証し、簡易な設計ばねモデルを用いることを提案した。

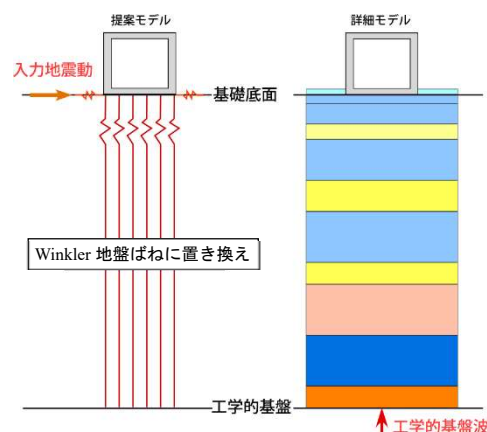


図 3 提案・詳細モデルの動的応答検証

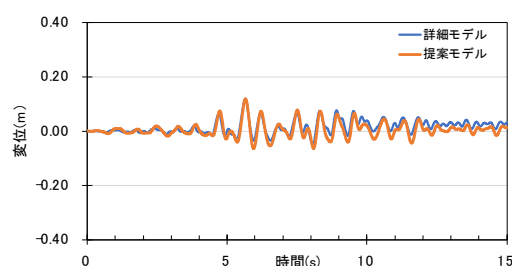


図 4 頂版位置の応答変位波形の比較

表 2 頂版位置の最大応答値の比較

A位置	詳細モデル		提案モデル	
最大応答値比較	(+)側最大	(-)側最大	(+)側最大	(-)側最大
応答変位 m	0.118	-0.050	0.119	-0.065
応答速度 m/s	0.740	-0.757	0.928	-0.989
応答加速度 m/s ²	10.423	-10.714	11.650	-12.218

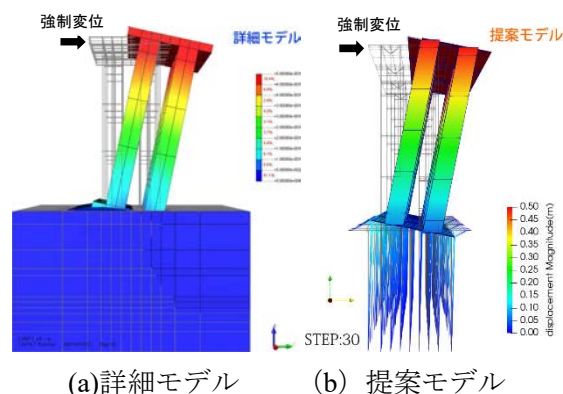


図 5 PushOver 解析での変形図
(変形倍率: 10 倍)

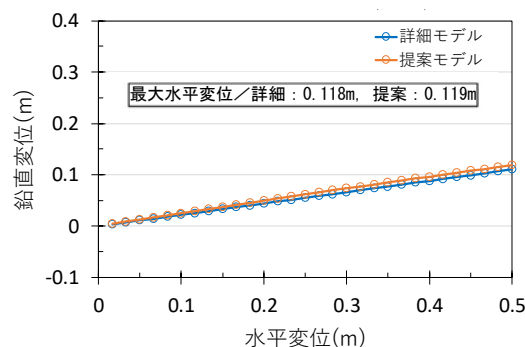


図 6 頂版位置の変位履歴結果