

時刻歴応答解析に用いるロックオフ型サイドブロックの非線形バネモデルの検討

明石工業高等専門学校 正会員 ○越智内士 大阪市立大学大学院工学研究科 正会員 松村政秀

1. まえがき：わが国では，上部構造の長周期化により橋脚への地震時慣性力の作用を低減できる免震高架橋の採用が増加している．免震高架橋では，橋軸直角方向には地震時の車両走行安定性の確保や伸縮装置の損傷の防止のため，上部構造の変位制御装置として，例えば支承サイドブロック (Side Block) が免震支承に併設される．しかし，巨大地震時にも，橋軸直角方向の免震機能を期待できれば高架橋の地震安全性の向上に寄与し，緊急輸送路を確保できると考えられる．そこで，近年，中小規模地震には上部構造の橋軸直角方向の変位を確実に制限し，強地震時にはサイドブロックを破断させるロックオフ型サイドブロック (Rapture Controllable Side Block, 以下 CSB とよぶ) が提案され，文献1) では CSB をある限界の変位値を超えると耐力および剛性がゼロとなる非線形バネを用いてモデル化し，時刻歴応答解析が行われている．しかし，それらの非線形バネモデルを用いた解析結果の妥当性の検証は必ずしも十分でない．そこで，本研究では，CSB を設置した免震高架橋模型の小型振動台実験と時刻歴応答解析を行い，それらの動的応答を比較検討している．

2. 振動実験の概要および結果：免震高架橋を想定した図-1 (a) に示す実験供試体を用いた．これは，上部構造に鋼製の角棒 (重量：29.4N)，下部構造にアルミ板 (左右脚部：100×3×500 mm，バネ定数 $k_1=0.38$ N/mm) 2枚およびアルミ板 (上下梁部：100×6×500 mm) 2枚からなる門型ラーメン，および免震支承にバネ (バネ定数 $k_2=0.463$ N/mm) 用いて，さらに，リニアガイドにより上部構造の水平移動を確保する免震高架橋の実験供試体である．なお，サイドブロックは図-1 (b) に示す片持ち支持形式 (長さ $L=90$ mm，バネ定数 $k_{SB-st}=2.59$ N/mm (表-1)) の2枚の鋼板 (25×1×100 mm) を門型ラーメンに電磁石を用いて固定する (図-1 (c))．この実験供試体を SB_L90_exp とよぶ．振動台には振幅 5 mm まで漸増する固有振動数 $f=4.0$ Hz の正弦波 (図-2) を橋軸直角方向に入力し，上部構造に加速度計・変位計，門型フレームの上端に変位計，およびサイドブロックの支承部との接触位置に荷重計を設置し，それらの応答値を 1 ms 間隔で測定した．なお，サイドブロックには支承部との接触により集中荷重が作用するよう，支承部の側面にアルミアングル材を設置した (図-1 (d))．さらに，SB_L90_exp へ加振中に SB_L90_exp に設置した左右のサイドブロックをロックオフさせる実験も行った．この実験供試体を CSB_L90_exp とよぶ．実験では，図-1 (c) の電磁石への返電を止めサイドブロックのロックオフを模擬している．

まず，SB_L90_exp に自由振動を与えて，固有振動数 $f=3.41$ Hz および減衰定数 $h=0.069$ を得た．つぎに，

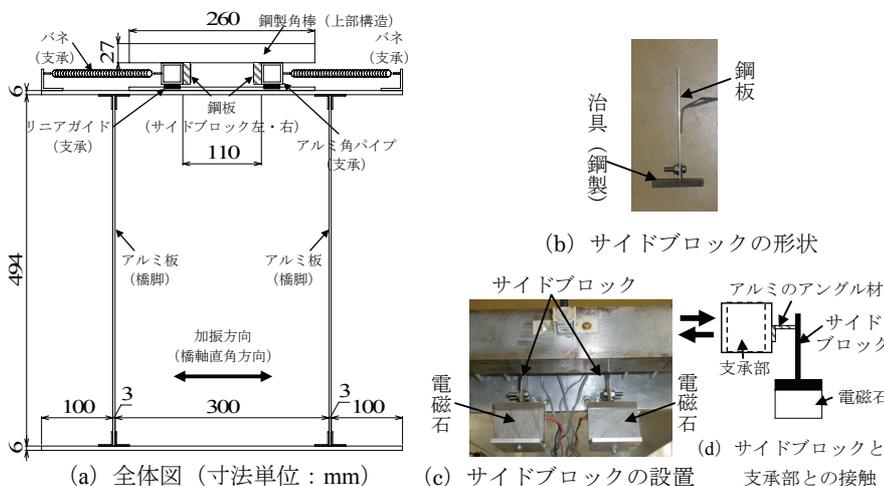


図-1 実験モデルの寸法 (SB_L90_exp および CSB_L90_exp)

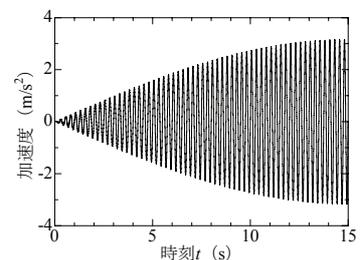


図-2 振動台への入力波形

表-1 サイドブロックのバネ定数 (実験)

実験モデル名	SB L90 exp
L (mm)	90
k_{SB-st} (N/mm)	2.59

* k_{SB-st} は静的荷重を与えて測定して求めた．

キーワード サイドブロック，ロックオフ，振動台実験，時刻歴応答解析，非線形バネ

連絡先 〒674-8501 兵庫県明石市魚住町西岡 679-3 明石工業高等専門学校都市システム工学科 TEL078-946-6173

図-3 (a) には支承部との接触によってサイドブロックに作用した荷重 P_{SB} と変位 δ_{SB} の関係を示す. なお, 左および右サイドブロックの変位の符号を, それぞれ正および負とする. 同図からサイドブロックのバネ定数 $k_{SB} (=P_{SB}/\delta_{SB})$ (N/mm) の値は約 1.96 N/mm であり, 表-1 に示した $k_{SB-st}=2.59$ N/mm とは大きく異なるため, 次章の解析においては $k_{SB}=1.96$ N/mm を用いた. 図-3 (b) にはサイドブロックの変位 δ_{SB} の時刻歴応答を表す. 同図より CSB_L90_exp の左および右サイドブロックの変位が $\delta_{SB-u(左)}=5.40$ mm および $\delta_{SB-u(右)}=-6.32$ mm に達した時にロックオフしている. 次章では, $\delta_{SB-u(左)} = \delta_{SB-u(右)} = 5.40$ mm として解析を行った.

3. 時刻歴応答解析の概要および結果: 図-1 に示した供試体 CSB_L90_exp を図-4 (a) に示す解析モデル CSB_L90_ana に設定し, 正弦波 (図-2) の強制振動に対する時刻歴応答解析を解析プログラム EPASS/USSP²⁾ により行った. なお, サイドブロックには $k_{SB}=1.96$ N/mm (表-2) を有する非線形バネ要素 (図-4 (b)) を用いた. すなわち, サイドブロックの変位がある限界値 ($\delta_{SB-u(左), (右)} = 5.40$ mm) を超えると耐力および剛性がゼロとなるものとする. 解析モデル CSB_L90_exp の減衰には SB_L90_exp の自由振動実験による $h=0.023$, および固有値解析による固有振動モードを用いてレーリー減衰を使用した. 図-5 には解析および実験から得られた上部構造の時刻歴応答加速度をそれぞれ示している. 同図からサイドブロックのロックオフによって免震への移行が再現できているが, ロックオフの時刻は両者で約 1 秒のズレが生じている. 最後に, 図-6 には上部構造の下部構造に対する相対変位の時刻歴応答を示している. この図から解析および実験結果ともにサイドブロックのロックオフ直後に相対変位が一時的に急増し, それらの変位の最大値は両者でほぼ等しくなった.

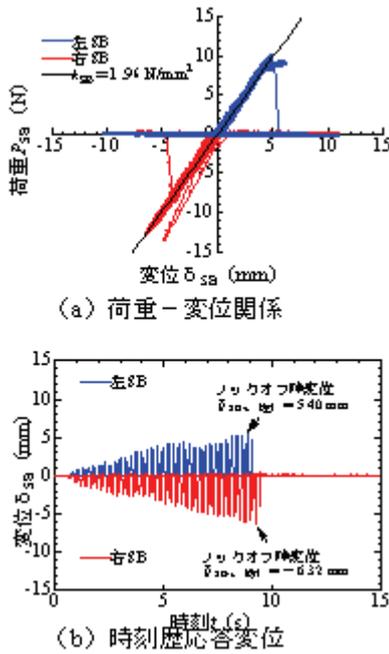


図-3 サイドブロックの動的応答 (CSB_L90_exp)

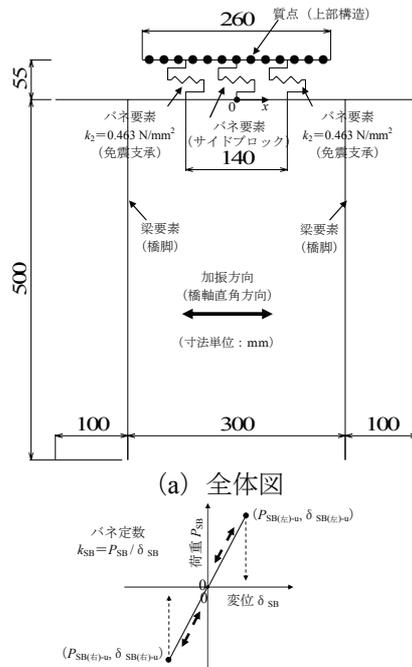


図-4 解析モデル (CSB_L90_exp)

表-2 サイドブロックのバネ定数 (解析)

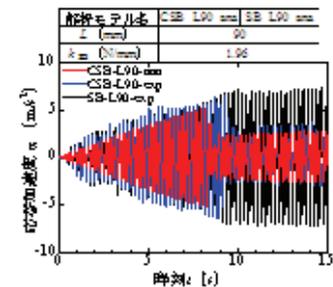


図-5 時刻歴応答加速度 (上部構造)

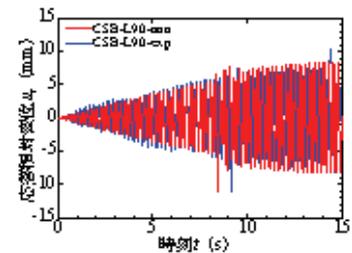


図-6 時刻歴応答相対変位

4. まとめ: ロックオフ型サイドブロックを強制振動実験により求めたバネ定数を用いた非線形バネにモデル化し, 時刻歴応答解析を行った. 解析および実験結果を比較すると両者ともロックオフ後の上部構造の加速度の値およびロックオフ直後の相対変位の挙動はほぼ一致したがロックオフが生じた時刻に差が見られた. この原因としては, 振動実験中に生じたサイドブロックのバネ定数の時間的変化などが考えられる. 今後は, サイドブロックのバネ定数などを変化させたパラメトリックな振動実験および時刻歴応答解析を行う予定である.

謝辞: 本研究は, 科学研究補助金, 基盤研究 (A) (課題番号: 20246077) の助成を受けました. ここに記して感謝の意を表します.

参考文献: 1) 亀井友紀子・越智内士・松村政秀・北田俊行・吉田雅彦・坂井田実: 支承サイドブロックの破断と免震高架橋の応答に関する解析的研究, 土木学会第 64 回年次学術講演会, I-387, pp. 773-774, 2009. 2) USSP 研究会: EPASS/USSP ユーザーズ・マニュアル入出力編 version2.0, 2009.