

# 免震支承の力学特性のモデル化が鋼 3 径間連続鈹桁橋の動的応答に及ぼす影響

長崎大学 学生会員 ○JEONG MOON KYEONG 株式会社川金コアテック 正会員 新名裕  
 長崎大学大学院 正会員 中村聖三, 奥松俊博, 西川貴文

## 1. はじめに

現行の道路橋示方書・同解説 V 耐震設計編<sup>1)</sup>では、免震ゴム支承が設置された免震橋の動的照査において、免震ゴム支承の復元力特性はバイリニアでモデル化することになっている。しかし、実製品では Mullins 効果と呼ばれる最大経験ひずみ依存性により、同じ加振せん断ひずみであっても過去に経験した最大せん断ひずみの大きさによって、力学的特性が大きく異なることが知られている。さらに許容変位以下であっても変形量が大きくなるにつれて剛性が大きくなるハードニングの発現も確認されている。内藤ら<sup>2)</sup>は復元力特性を考慮した Double-Target 型トリリニアモデルと現行の設計で多く使われているバイリニアモデルで鉛プラグ入りゴム支承 (LRB) が設置された多径間連続形式の免震橋梁の RC 橋脚一本について解析を行い、比較検討を行なった。本研究では、鋼 3 径間連続鈹桁橋を対象に、橋梁全体モデルおよび高さを変えた単柱モデルを用い、免震支承を LRB あるいは HDR とした場合の解析を行うことで、構造モデルの違いと免震支承の種類が解析結果に及ぼす影響を検討する。

## 2. 検討概要

### 2.1 解析対象およびモデル

図-1 に示す鋼 3 径間連続鈹桁橋を解析対象とし、LRB を有する橋梁全体モデル、および高さが違う 10 種類の単柱モデルにおいて、支承を LRB と HDR それぞれにした場合の総計 21 種類の構造に対して Double-Target 型トリリニアモデルと現行のバイリニアモデルで解析を行なう。

### 2.2 橋梁全体モデルの検討方法

対象とする橋の橋脚の断面は平成 29 年の道路橋示方書・同解説 V 耐震設計編で決定している。免震支承のバイリニアモデルに対しては、平成 30 年度の道路橋支承便覧に基づき設定している。固有値解析を実施し、その結果から固有振動数とひずみエネルギー比例減衰定数を求めた。この値を用いて Rayleigh 減衰を設定し、解析した。改訂前の平成 16 年度の道路橋支承便覧と Double-Target 型トリリニアモデルに変更した免震支承に対しても動的解析を行う。ここで、Rayleigh 減衰の再設定などの収束計算は実施していない。

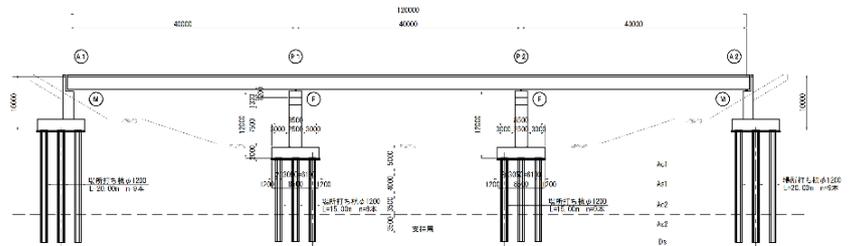


図-1 鋼 3 径間連続鈹桁橋

表-1 解析条件

適用基準	道路橋示方書・同解説 V 耐震設計編 (平成29年)
重要度区分	B種
地域区分	B2地域 (地域別補正係数C II z=0.85)
地盤種別	II種
入力地震動	タイプ II 3波
下部構造	コンクリート基準強度24N/mm <sup>2</sup> 、鉄筋SD345 P1及びP2橋脚 (鉄筋配置) 主鉄筋 D29@125 横拘束筋・帯鉄筋 D16@150 (高さ方向)

表-2 固有周期を設定するための橋脚高

橋脚高 h (m)	上部工質量 m (kN)	下部工質量 m (kN)
14.5	4,370	3907.75
22.5	4,370	6063.75
28.5	4,370	7680.75
33.5	4,370	9028.25
38.0	4,370	10241.00
42.0	4,370	11319.00
46.0	4,370	12397.00
49.5	4,370	13340.25
52.5	4,370	14148.75
56.0	4,370	15092.00

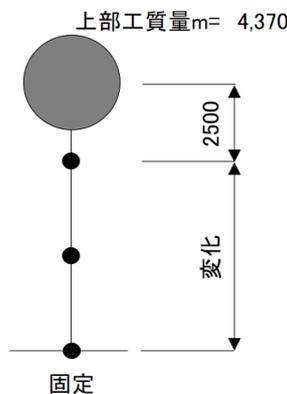


図-2 支承部固定の単純化構造

### 2.3 高さを変化させた単柱モデルの検討方法

橋脚の高さおよび下部工質量を変化させた固有周期の違う 10 種類の構造に対して解析を行なう。この時の固有周期は支承部を固定とした条件で設定する。図-2 は単純化した構造である。表-2 は設定した橋脚モデルの高さと質量を示している。これらは 0.2 秒から 0.2 区切りで 2.0 秒まで固有周期を設定して求めたものである。橋梁全体モデルと同様にバイリニアモデルと Double-Target 型トリリニアモデルに対して解析を行う。

### 2.4 解析条件

解析には 3 次元動的解析プログラムである TDAP3 を使い、Newmark  $\beta$  法 ( $\beta=0.25$ ) を用いた時刻歴応答解析を実施する。時間間隔は 0.01 秒とし、各時刻におけるせん断応力-せん断ひずみの関係を確認する作業を行う。

表-3 は鋼 3 径間連続鈹桁橋と固有周期を変化させた構造の Double-Target 型トリリニアモデルのパラメータである。剛性  $G_1 \sim G_4$  および切片応力  $\tau_1, \tau_2$  は道路橋支承便覧を基準としている。

表-3 解析に使用するパラメータ

単位 : $\text{kN/m}^2$		P1	P2	P3	P4	P5	P7	P8	P9	P10	P11	P12
		$G1(\text{kN/m}^2)$	$G2(\text{kN/m}^2)$	$G3(\text{kN/m}^2)$	$G4(\text{kN/m}^2)$	$G5(\text{kN/m}^2)$	$\tau_1(\text{kN/m}^2)$	$\tau_2(\text{kN/m}^2)$				
鋼3径間連続鈹桁橋 (LRB)	A1	1044.2591	1044.2591	2807.7609	2807.7609	7494	513.30517	456.6772	1.5	2	0.165	0.4645531
	P1	1025.3814	1025.3814	2757.0034	2757.0034	6947	513.30517	456.6772	1.5	2	0.16	0.4645531
	P2	1025.3814	1025.3814	2757.0034	2757.0034	6947	513.30517	456.6772	1.5	2	0.16	0.4645531
	A2	1044.2591	1044.2591	2807.7609	2807.7609	7494	513.30517	456.6772	1.5	2	0.165	0.4645531
固有周期変化 (LRB)	P1	990.18389	990.18389	2662.3659	2662.3659	7810	770.96364	685.91071	1.5	2	0.125	0.7484248
固有周期変化 (HDR)	P1	832.32813	832.32813	2304.2746	2304.2746	10440	731.03818	576.07422	1.5	2	0.125	0.81

### 3. 解析結果

図-3 と図-4 は鋼 3 径間連続鈹桁橋の 4 つの橋脚の中で P1 橋脚部の免震支承だけの結果を表している。支承に作用するせん断ひずみは、Double-Target 型、H30 便覧バイリニア、H16 便覧バイリニアの順番で大きくなった。支承に作用する水平力は、H16 便覧バイリニア、H30 便覧バイリニア、Double-Target 型で塑性ヒンジの応答回転角は H16 便覧バイリニア、H30 便覧バイリニア、Double-Target 型の順番で大きくなる結果が求められた。これは、H30 便覧は H16 便覧に対してハードニング (2 波目以降) の影響を考慮しているためであり、Double-Target 型モデルは 1 波目 (ハードニング) の影響を考慮しているからと思われる。

### 4. まとめ

Double-Target モデルの解析では、H30 便覧のバイリニアモデルに対して塑性ヒンジの応答回転角が 1.8 倍程度に増加した。これは、ハードニングの影響で支承部に作用する水平力が増加していることが原因と考えられるが、橋脚が塑性化することで水平力の増加は抑制されると思われるので、時刻歴データを確認してこの原因を調査する。合わせて、橋脚の耐震性能が満足しているのか否かも確認する。なお、橋脚高を変化させた単柱モデルの解析結果については発表当日示す予定である。

### 参考文献

- 1) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説 V 耐震設計編，2017
- 2) 内藤伸幸，松田泰治，宇野裕恵，川神雅秀：鉛プラグ入り積層ゴム支承 (LRB) の Mullins 効果とハードニングが耐震性に及ぼす影響，土木学会論文集 A1 (構造・地震工学)，Vol.73, No.4, I\_499- I\_510, 2017

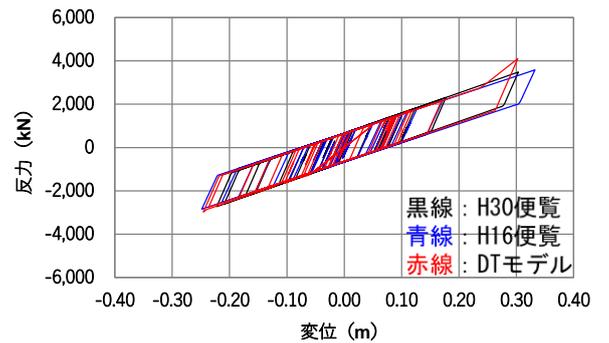


図-3 せん断応力-せん断ひずみの関係

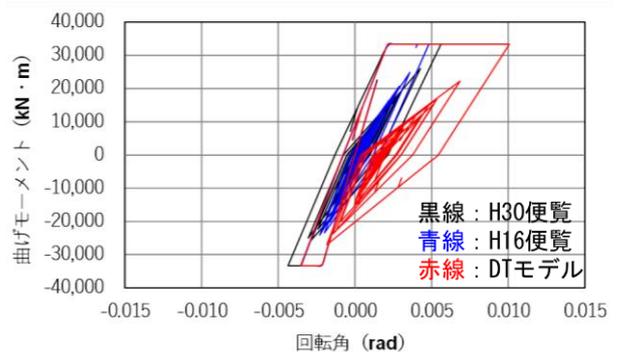


図-4 曲げモーメント-回転角の関係