

支承部のモデル化方法の提案と橋梁全体系の動的解析

構造物技術研究部 耐震構造
主任研究員 岡本 大

1. はじめに

地震時に桁に作用する慣性力は、支承部により橋脚等の下部構造に伝達される。一般的な橋梁の場合には、支承の支持条件に合わせた設計振動単位に橋梁を分割し、支承部を特にモデル化せずに橋脚等の応答値を算定して良いとされている。しかし、個々の橋脚の振動特性が大きく異なる場合等、橋梁全体系をモデル化して詳細な解析を行うためには、支承部を適切にモデル化する必要がある。

コンクリート鉄道橋梁の支承構造は図1に示すように、支承本体にゴム支承を、移動制限装置としては鋼管内部にコンクリートを充填した鋼角ストッパーを用いる場合が多い。ゴム支承は、せん断弾性係数を用いた弾性体としてモデル化できるが、鋼角ストッパーについては、具体的なモデル化方法は提案されていないのが現状である。

そこで本研究では、まず、鋼角ストッパーのモデル化の検討を行うことを目的に、桁座を模擬したコンクリートに埋め込まれた鋼角ストッパーに関する交番载荷試験を実施した。そして、実験で得られた知見を基に鋼角ストッパーのモデル化方法を提案した。次に、多径間の単純桁式橋梁について、支承部を含めてばね-マス系の一体フレームにモデル化し、時刻歴動的解析を行なった。そして、橋梁の地震時応答について、橋梁を設計振動単位に分割して支承部をモデル化しない場合と、支承部を含め橋梁全体を一体でモデル化した場合との比較を行った。

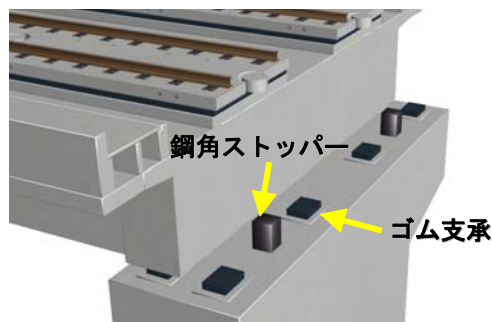


図1 支承構造の例

2. 鋼角ストッパーの交番载荷試験

2.1 実験概要

鋼角ストッパーのモデル化を目的として、桁座に埋め込まれた鋼角ストッパーを模擬した試験体の交番载荷試験を行った。载荷は、図2に示すように、試験体のフーチングを反力床に固定し、油圧ジャッキにより正負交番の水平力を加えた。

2.2 実験結果と鋼角ストッパーのモデル化

図3に、载荷点位置の変位と水平力の関係を示す。载荷点変位-水平力の関係は、紡錘型の履歴曲線を示しており、コンクリート充填鋼管部材(CFT部材)と同様であることを確認した。また、

図4に示すように、鋼角ストッパーの埋込み深さ方向の最大ひずみ発生位置は、図5に示す最大曲げモーメントの計算位置と概ね整合している。そこで、鉄道構造物等設計標準(コンクリート構造物)¹⁾に示される鋼角ストッパーの耐力算定方法、ならびに鉄道構造物等設計標準(耐震設計)²⁾に示されるCFT部材の降伏時の部材角算定方法に基づいてY点を計算することとし、その

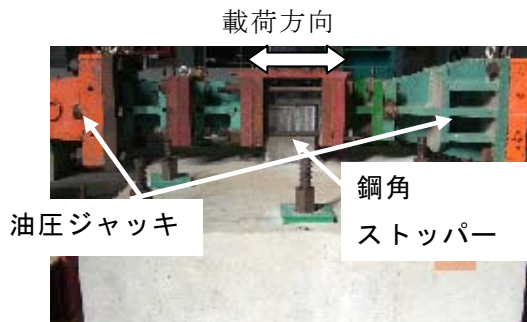


図2 载荷状況

結果を図3に併せて示す。図に示すように、Y点
は前述の計算方法により概ね妥当に評価されてい
る。なお、今回の検討における鋼角ストッパーの
モデル化では、図3に示すY→Y'点を通るトリリ
ニア型の非線形モデルを設定することとした。以
下に、Y点、Y'点の設定方法を示す。

Y点（降伏点）の荷重 P_{y-cal} は、文献1)に示され
る考え方を基に式(1)により算定した。

$$P_{y-cal} = \frac{27 \cdot (a+2b)^2 \cdot M_y}{4 \cdot (a+3b)^3} \quad (1)$$

ここに、

a : 鋼角ストッパーの埋込み長 (図5参照)

b : フーチング上面～荷重中心の距離 (図5参照)

M_y : 鋼角ストッパーの降伏耐力

Y点の変位は、文献2)に示されるCFT部材の降
伏時の部材角算定方法を基に、式(2)～(4)により
算定した。

$$\delta_{y-cal} = \delta_{y0} + \delta_{y1} \quad (2)$$

$$\delta_{y1} = \theta_{y1} \cdot L_a \quad (3)$$

$$\theta_{y1} = \phi_y \cdot l_o / 2 \quad (4)$$

ここに、

δ_{y-cal} : 降伏変位の計算値

δ_{y0} : 鋼角ストッパー本体の曲げ変形

δ_{y1} : フーチングからの伸び出しによる変位

θ_{y1} : フーチングからの伸び出しによる回転角

L_a : 荷重中心から最大曲げモーメント位置ま
での距離 (図5参照)

ϕ_y : 最大曲げモーメント位置の曲率

l_o : 最大曲げモーメント位置からの埋込み深さ
(図5参照)

Y'点の荷重は、鋼角ストッパーの最大耐力の計
算値であり、式(1)の降伏耐力 M_y を最大耐力 M_u
に置き換え算定した。

また、Y'点の変位は 最大耐力の計算値と実験結果との整合を考え、現時点では $2\delta_y$ とした。

図3に示すように、設定した鋼角ストッパーの非線形モデルは概ね実験結果を表現できると考
え、3章の解析においては本方法により鋼角ストッパーの非線形性を設定することとした。

3. 支承部をモデル化した橋梁全体系モデルの地震応答解析

3.1 検討概要

本検討では、図6に示すような35mのPRC単純桁が連続する8径間の橋梁の線路方向について、
支承部を含めて橋梁全体を一体でモデル化した場合（以下、全体モデル）と、個々の橋脚ごとに
設計振動単位に分割し、支承部をモデル化していない場合（以下、単体モデル）の時刻歴動的解

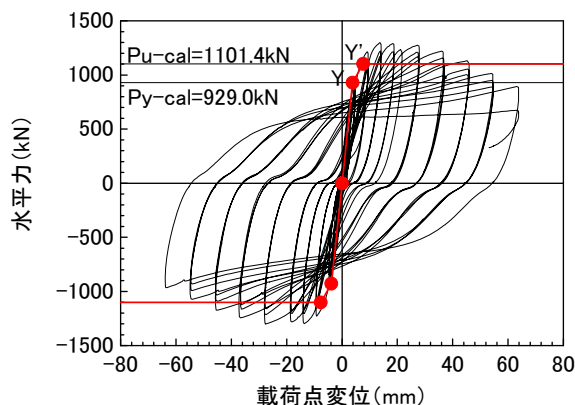


図3 変位－水平力の関係と非線形モデル

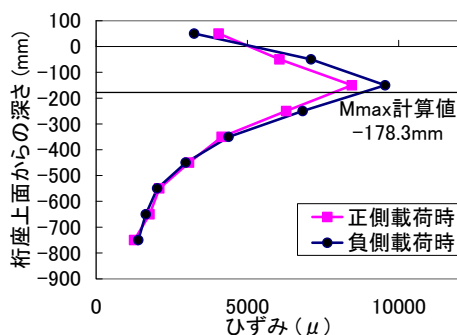


図4 鋼角ストッパーのひずみ分布

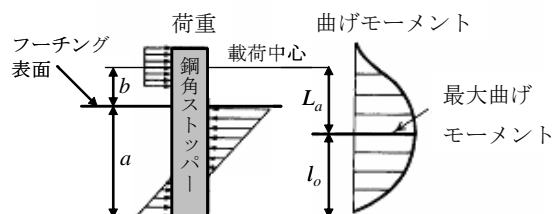


図5 最大曲げモーメント発生位置と
 L_a , l_o のとり方

析を行い、個々の橋脚の地震時 動を比較した。解析は、 々の橋脚の等価固有周期 T_{eq} を、表1に示す2 ケースの 組み合わせとした場合について行なった。

全体モデルでは、橋梁を図7に示すような、ばね-マス系の2次 モデルによりモデル化した。桁のみを梁要素でモデル化し、支承部、橋脚、および桁間の ばね³⁾によりモデル化した。また、考 える は、桁と橋脚とした。なお、今回の検討は、単体モデルとの比較を目的としたため、橋 の 剛性、および、 道による桁 の 剛性は した。

解析に用いた地震 動は、図8に示す耐震標準のL2地震動 スケジュールのG3地 (通地) 用地表面加 速度とし、橋脚の下 に 入力した。

3.2 検討結果

図9に、解析Case1について単体モデルと全体モデルの 橋脚の最大応答変位の比較を示す。図に示すように、全体モデルの方が単体モデルに比べて応答値が さくなる 傾向を示した。単体モデルの場合には、大 規模地震時に 動 ストッパーの

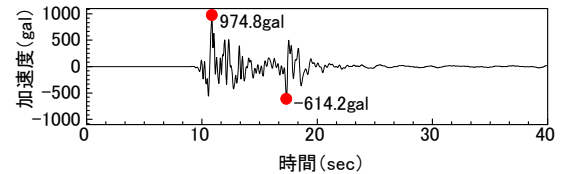


図8 入力地震波

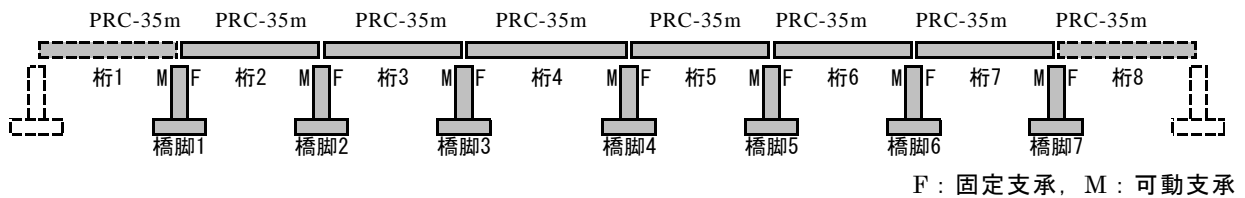


図6 検討対象橋梁

表1 各検討ケースにおける橋脚の等価固有周期 T_{eq} (sec) の組み合わせ

Case	橋脚1	橋脚2	橋脚3	橋脚4	橋脚5	橋脚6	橋脚7
1			1.0	1.2	1.0		
2	0.8	0.8	1.4	1.6	1.4	0.8	0.8

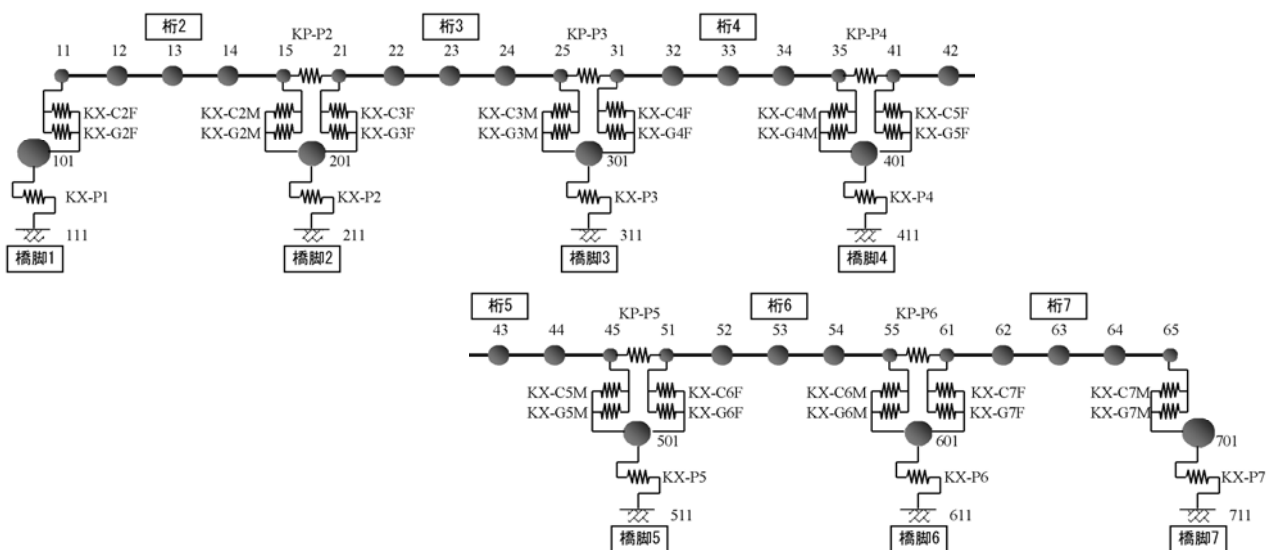


図7 解析モデル図

あきが確 できない場合に する 全 の割
り切りとして、文献2)では、固定支承から
力される慣性力には固定支承が支持する桁の
全 を、動 支承について 動 支承
が支持する桁の 分の を考 することと
している。これに して、支承部をモデル化
した全体系の解析では、桁慣性力の 力が合
的に得られたため、前述の結果になったと
考えられる。なお、Case1とCase2では概ね同
様な 向を示した。

次に図10に、桁5 および桁6 部
点の時刻 変位 形と、 時に ばねに
発生する力を併せて示す。

図を見ると する桁は れの場合
同位 で 動しており、同方向に移動しなが
ら が生じている。 は、橋脚に最大応
答変位が発生している10～11 以降の、橋脚
ストッパーのばねが 性化した に生じて
いる場合が多かった。なお、橋脚の降伏は、
最大加 時に 同時に生じており、Case1、
Case2と 同様な 向であった。Case1とCase2
を比較すると、 部橋脚と中 部橋脚の固
の が大きいCase 2の 回数が多く、
力の最大値 大きくなる 向を示した。

・まとめ

本検討の で得られた結果を以下にまとめる。

- (1)鋼角ストッパーの非線形性は、CFT部材と同様な考え方により概ね表現することができた。
- (2)支承部をモデル化した橋梁全体系の解析では、橋脚に 力される慣性力が合 的に得られるた
め、単体モデルの解析結果に比 て橋脚の応答変位が さくなる 向を確認した。
- (3) 部橋脚と中 部橋脚の固 の が大きい方が、桁の 回数が 加し、 力の最大値
が大きくなる 向を示した。
- (4)全体系の解析により桁の ばねを考 することにより、単体モデルでは ができない桁
による桁 の 評価が となる。

(参考文献)

- 1) 鉄道総合技術研究 : 鉄道構造物等設計標準 同解 (コンクリート構造物) ,pp417-418,2004.4.
- 2) 鉄道総合技術研究 : 鉄道構造物等設計標準 同解 (耐震設計) ,pp167-175,1999.10.
- 2) ー : 動的解析における のモデル化に関する一考 , 会 文 , 308, pp123-126, 1981.

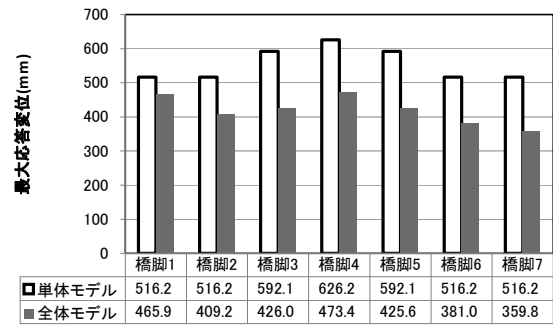
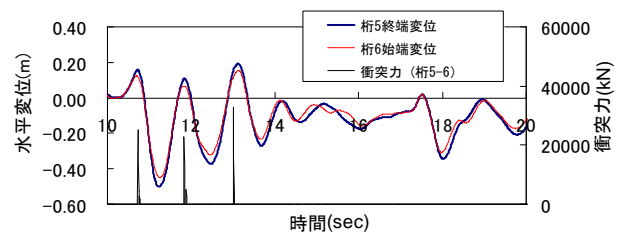
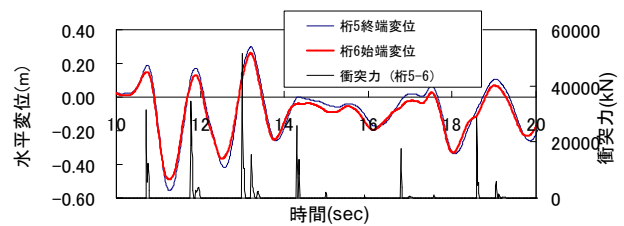


図9 単体モデルと全体モデルの
橋脚応答値の比較 (Case1)



(a) Case1



(b) Case2

図10 桁の 動と のパ ーン