

# 第6章 推定地震波による連続した構造物の動的応答

## 6.1 はじめに

脱線が発生した高架橋区間には、構造形式や振動性状の異なる様々な構造物が含まれている。このような高架橋区間に対して地震時列車走行性を検討する場合には、各構造物の横方向の振動変位とともに、構造物境界に発生する角折れなどの不同変位の影響も考慮しなければならない。

高架橋区間上を走行する列車は、横方向に振動する各構造物の上を次々に通過することとなるが、構造物境界を通過する際には、その時点で生じている動的な角折れの影響が加味されることとなる。

本章では、こうした構造物の動的な角折れの影響等を考慮した構造物の振動波形を算定する手法を提案し、これによる振動波形の算出を行った。

## 6.2 検討方法

### (1) 前提条件

列車の走行開始位置、列車速度に基づき、構造物の動的な角折れの影響等を考慮した構造物の振動波形を算出する場合の前提条件を以下に示す。

- ①列車は等速走行するものとする。構造物の変形に伴う走行距離の変動は考慮しないこととする。
- ②線路直角方向の振動変位は、輪軸中心に対して算出する。列車は構造物の中心線上を走行するものとする。
- ③各構造物の応答は、前章の動的非線形解析で求めた15種類の構造物の1質点系の時刻歴絶対応答変位波形を用いる。
- ④ラーメン高架橋は、剛体として線路直角方向に振動するものとし、線路方向、鉛直方向、ローリング、ピッチング、ヨーイングの自由度は考慮しない。
- ⑤橋脚は、線路直角方向に剛体として振動するものとし、線路方向、鉛直方向、ロール、ピッチ、ヨーの自由度は考慮しない。
- ⑥桁は、剛体とみなし、構造物間の桁上における変位は両支点の変位を直線補間して求める。
- ⑦桁端に生じる角折れについては、レールと軌道パッドによる緩衝効果を考慮した緩衝区間を設ける。

### (2) 検討手順

図6.1に具体的な解析手順を示す。

- ①時刻 $t$ における構造物の変形計算

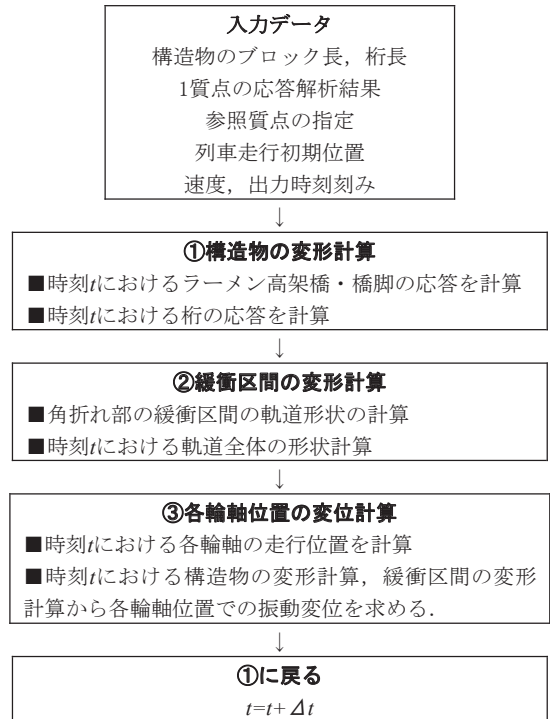


図6.1 解析手順

前章で求めた15種類の構造物の1質点系の時刻歴絶対応答変位波形から、ある時刻 $t$ における高架橋区間全体の構造物の変形状態を算定する。ラーメン高架橋は、ブロック毎に剛体として平行に振動すると考え、当該ブロック内は同一の水平変位とする。構造物間の桁は、各桁が剛体で振動すると考え、当該桁を支える両支点の構造物の変位を線形補間し、当該桁内の水平変位を算定する。

### ②時刻 $t$ における緩衝区間の変形計算

桁の両端には図6.2に示すような角折れが生じるが、この部分にはレールの横方向剛性と軌道締結装置の弾性を適切に考慮した緩衝区間を設けて補間を行う。式(6.1)に緩衝区間における変形量を示す<sup>1)</sup>。

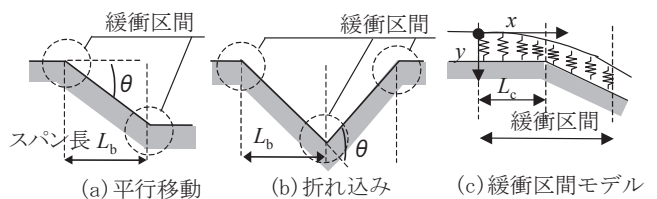


図6.2 構造物境界の角折れと緩衝区間モデル

$$\begin{aligned}
0 \leq x < L_c \\
y &= \frac{\theta}{4\beta} e^{\beta(x-L_c)} \{\cos \beta(x-L_c) + \sin \beta(x-L_c)\} \\
L_c \leq x \leq 2L_c \\
y &= \frac{\theta}{4\beta} e^{-\beta(x-L_c)} \{\cos \beta(x-L_c) - \sin \beta(x-L_c)\} + \theta(x-L_c)
\end{aligned}
\tag{6.1}$$

ここに、 $L_c$ は緩衝区間の長さの1/2、 $\theta$ は桁端部の角折れ、 $x$ は緩衝区間開始点からの距離、 $\beta$ は式(6.2)に示す軌道の相対的曲げ剛度である。

$$\beta = \sqrt[4]{\frac{k}{4EI}}
\tag{6.2}$$

ここに、 $k$ は単位長さ辺りの横方向の軌道支持ばね定数、 $EI$ は横方向の軌道の曲げ剛性である。具体的な緩衝区間の長さは、角折れ点から前後3.0mとした。入力諸元は、60kgレール、直結8型締結装置、スラブ軌道に基づき算出した。

### ③ 時刻 $t$ における各輪軸位置の変形計算

列車速度および走行開始位置とから、時刻 $t$ における各車軸の構造物上での走行位置を計算する。①で求めた構造物の変形と②で求めた緩衝区間の変形計算とから、その位置における時刻 $t$ の変位を計算する。

以上の手順により構造物の変形と車軸の位置を時々刻々と変化させながら車軸が構造物上を通過していく際の振動波形を逐次計算すれば、車両が構造物上を走行した場合の車軸の振動変位を精度よく求めることができる。

これらの計算は実際には煩雑かつ膨大な計算量となるため、1自由度系の応答解析の結果から、各輪軸に入力する構造物上における振動波形を自動計算するプログラムを構築した。また、併せて構造物全体の動的な変位や角折れを動画として表示するシステムを構築した。

## 6.3 検討結果

構造物及び緩衝区間の変形計算の例を図6.3に示す。渡沢北BLの始点から起点側に70mの地点(205k801m)を列車編成の先頭の輪軸の走行開始地点としており、列車速度は204km/hである。図は各時刻毎の変形を表しており、十日町BL R3~R5を通過する前後の5.0~10.5秒の間の構造物の変形状態を0.5秒毎に図示したものである。図中の横軸は動的角折れを検討するための計算上の座標で示しており、これに相当する営業キロ程を上縁の補助横軸に併記した。また構造物の略図も併せて示した。図中の左縁の縦軸は絶対変位を、右縁の補助縦軸には構造物境界に発生する相対角折れ量を示した。また、図中の●印は各時刻における輪軸の走行位置を(4両分を表示)、実線は構造物の変形を、□は構造物境界における角折れ量をそれぞれ示している。

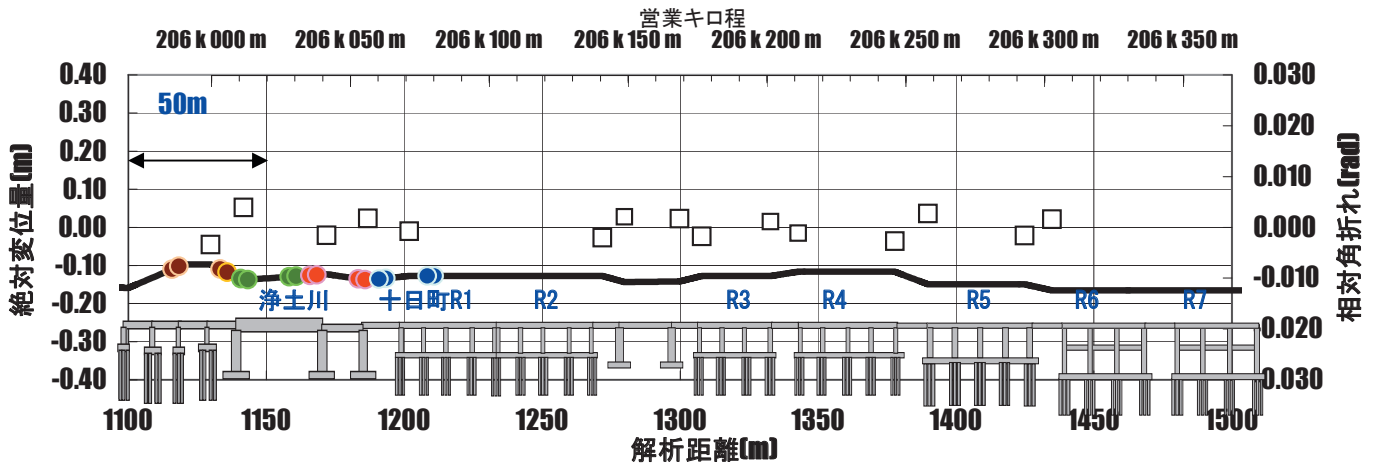
このような解析結果を動画として表示することにより個々の構造物が固有の振動数で振動している状態や、構

造物の境界に不同変位が生じている状態を確認することができる。構造物の境界に生じている不同変位、即ち角折れの量は最大10/1000程度であった。

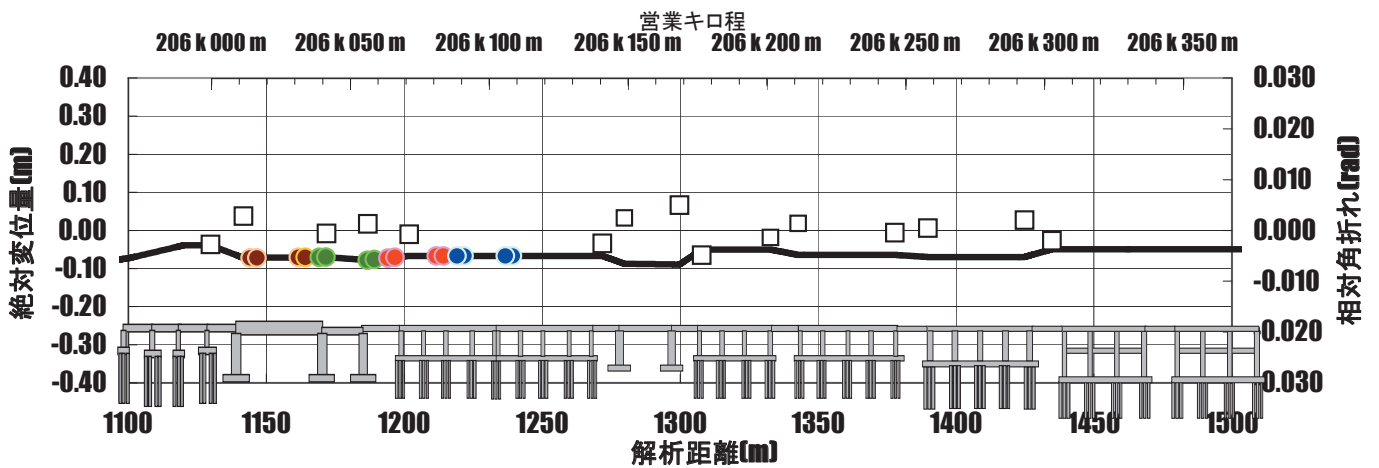
輪軸位置における動的角折れを考慮した構造物の振動波形の例を図6.4に示す。渡沢北BLの始点から起点側に70mの地点(205k801m)を列車編成の先頭の輪軸の走行開始地点としており、列車速度は204km/hである。この場合の最初の4両分の振動波形を示した。このようにして求められた振動波形を、車両モデルの輪軸に入力することにより、構造物上を走行しながら地震動を受ける状態を再現することができる。

## 文献

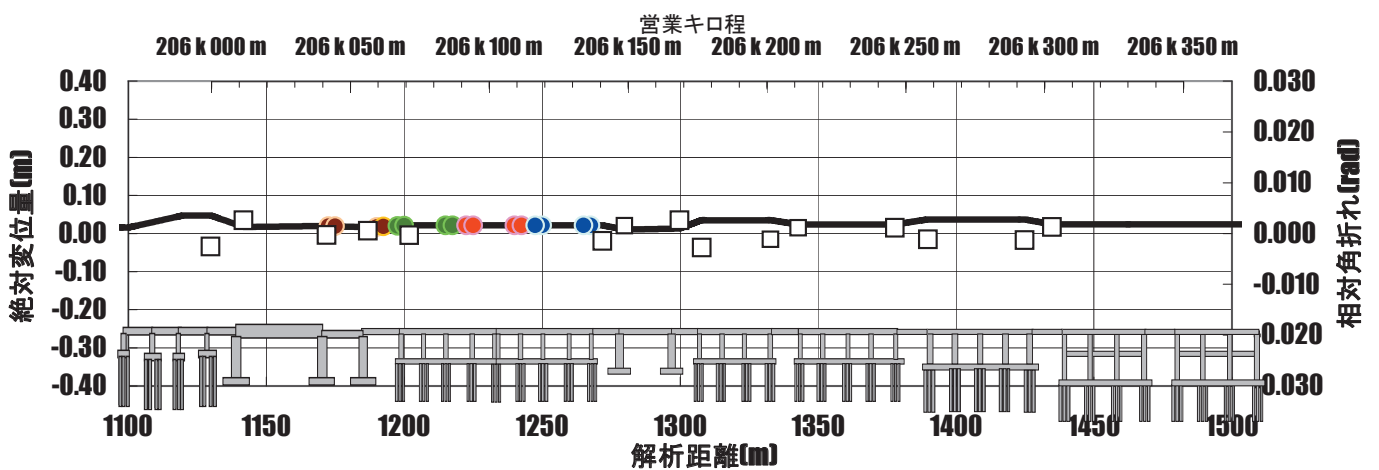
- 1) 佐藤吉彦, 三浦重: 走行安全ならびに乗心地を考慮した線路構造物の折角限度, 鉄道技術研究報告, No.820, 1972.



5.0 sec



5.5 sec



6.0 sec

図6.3(a) 構造物及び緩衝区間の変形計算の例  
(解析キロ程930m, 営業キロ程205k800m, 渡沢北BL-70m走行開始)

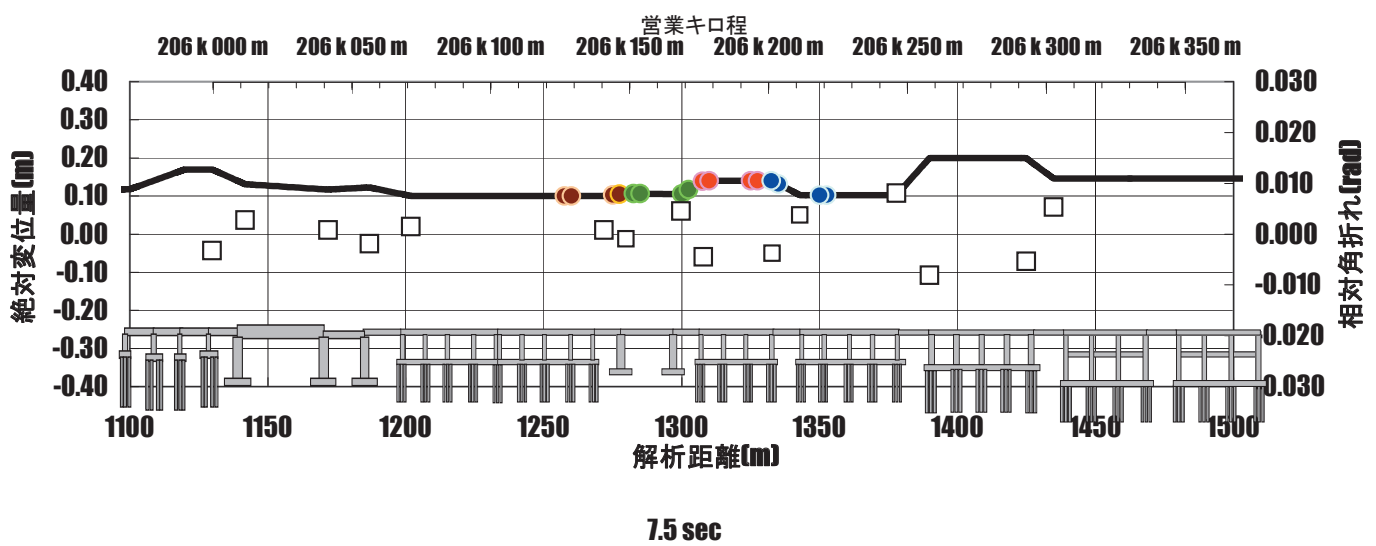
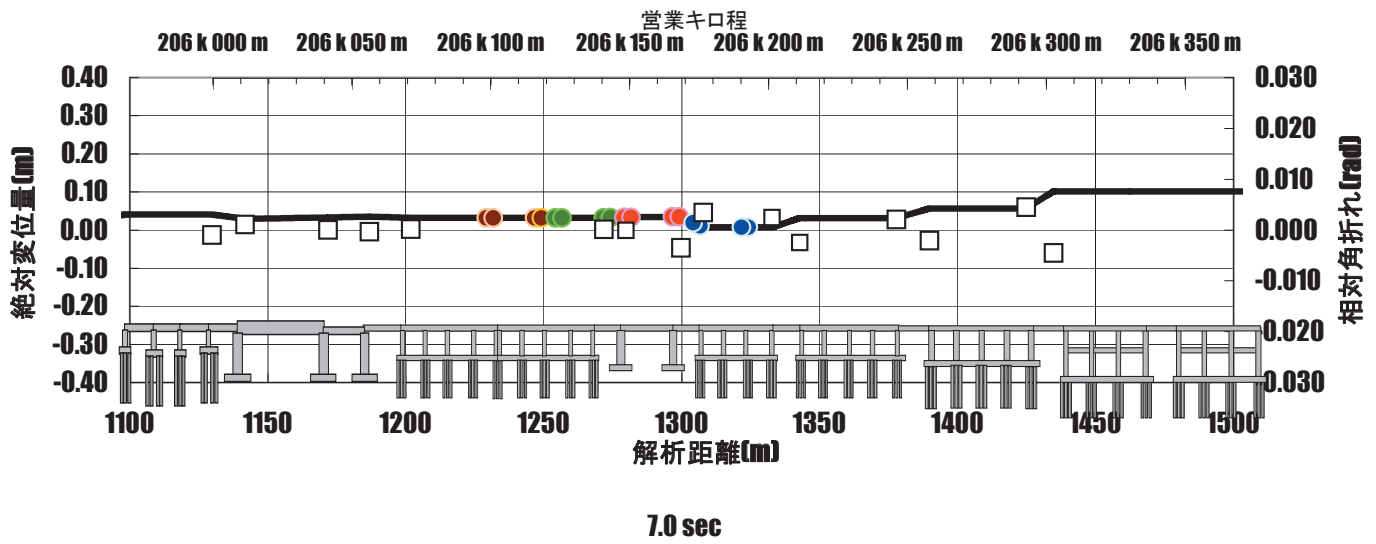
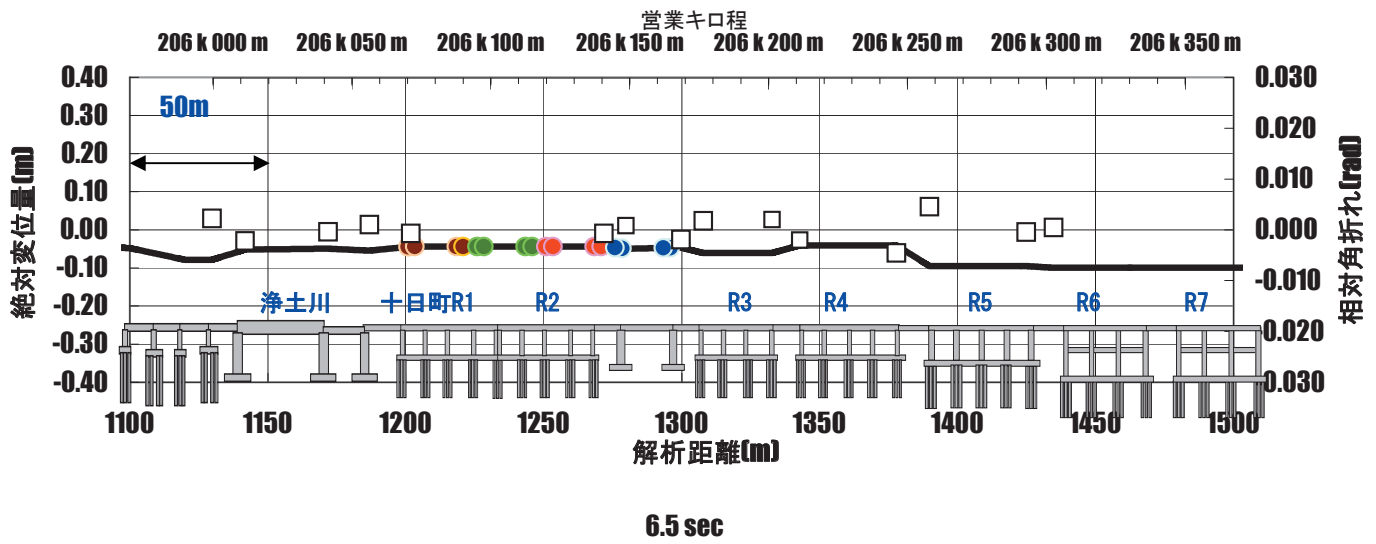


図6.3(b) 構造物及び緩衝区間の変形計算の例  
(解析キロ程930m, 営業キロ程205k800m, 渡沢北BL-70m走行開始)

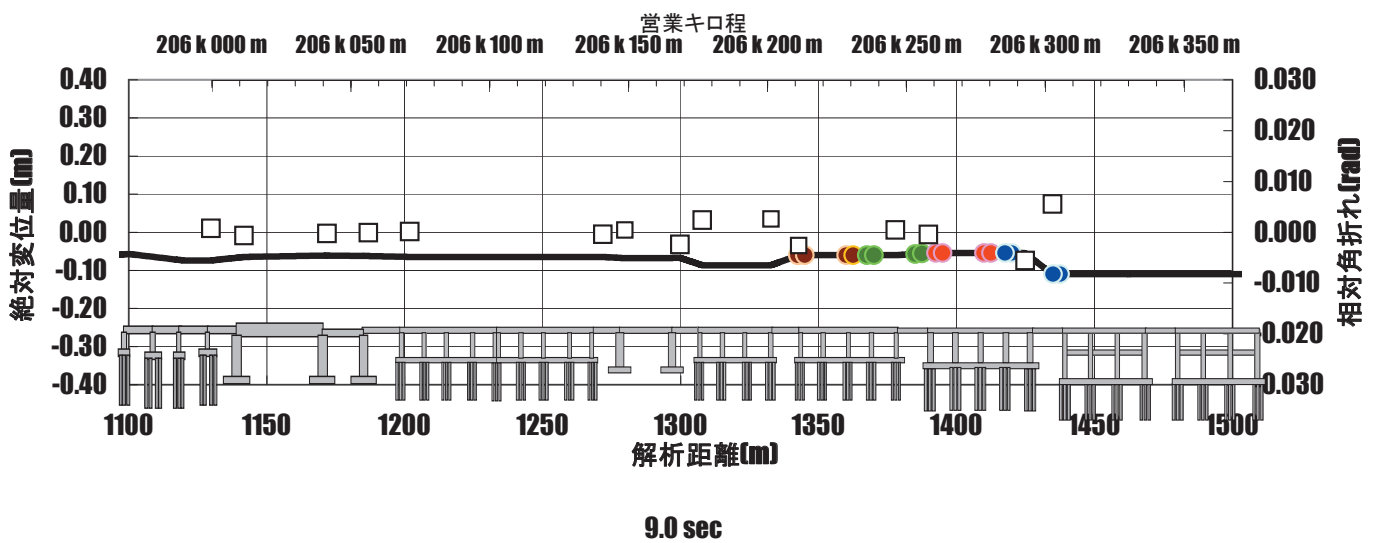
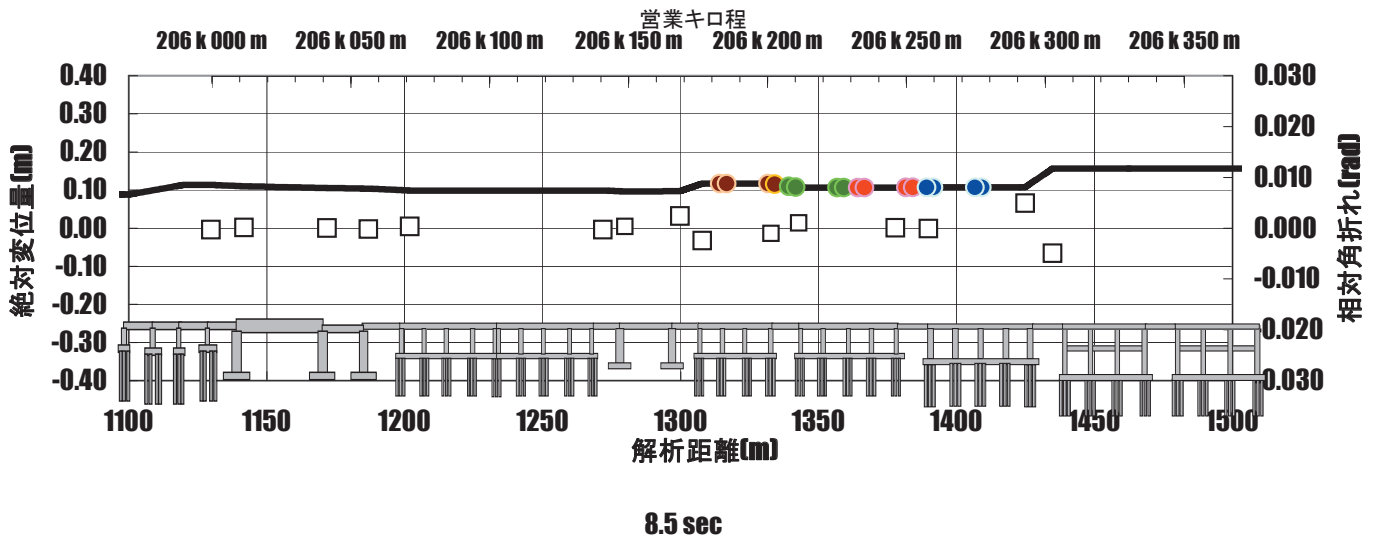
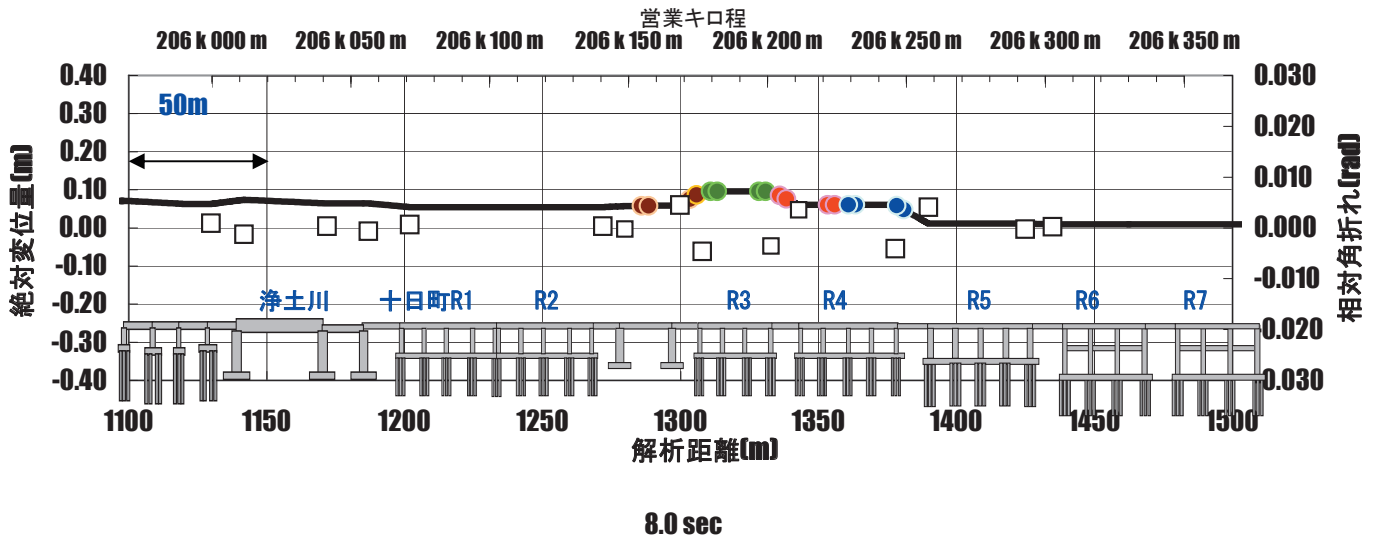
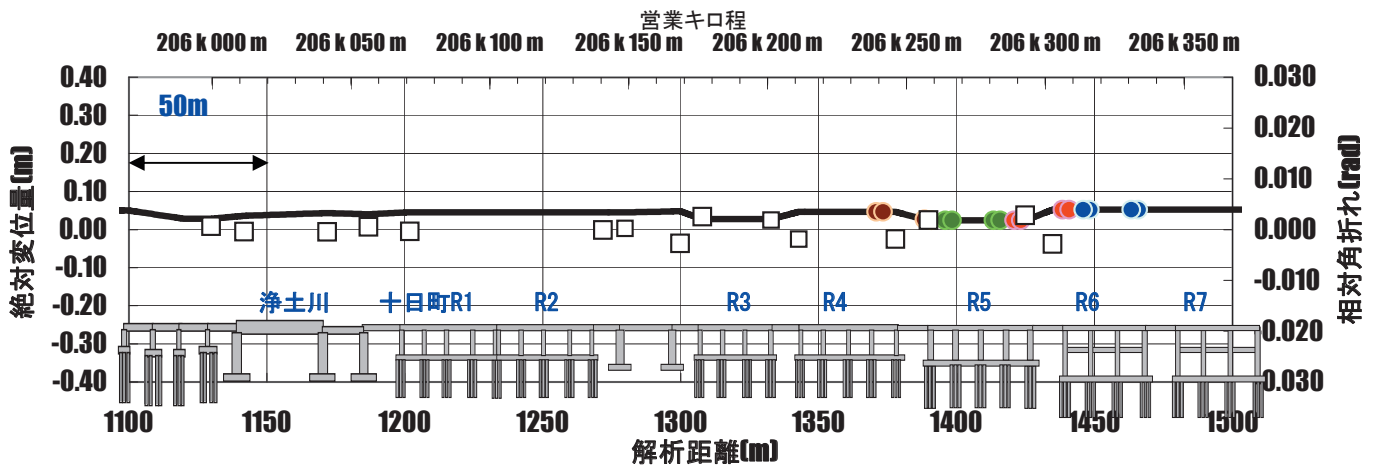
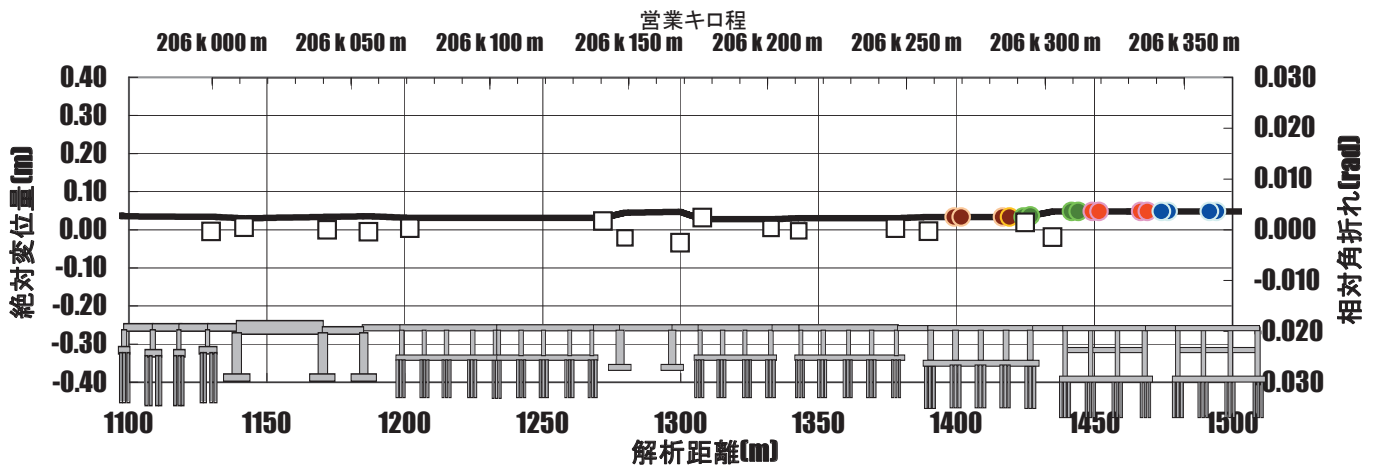


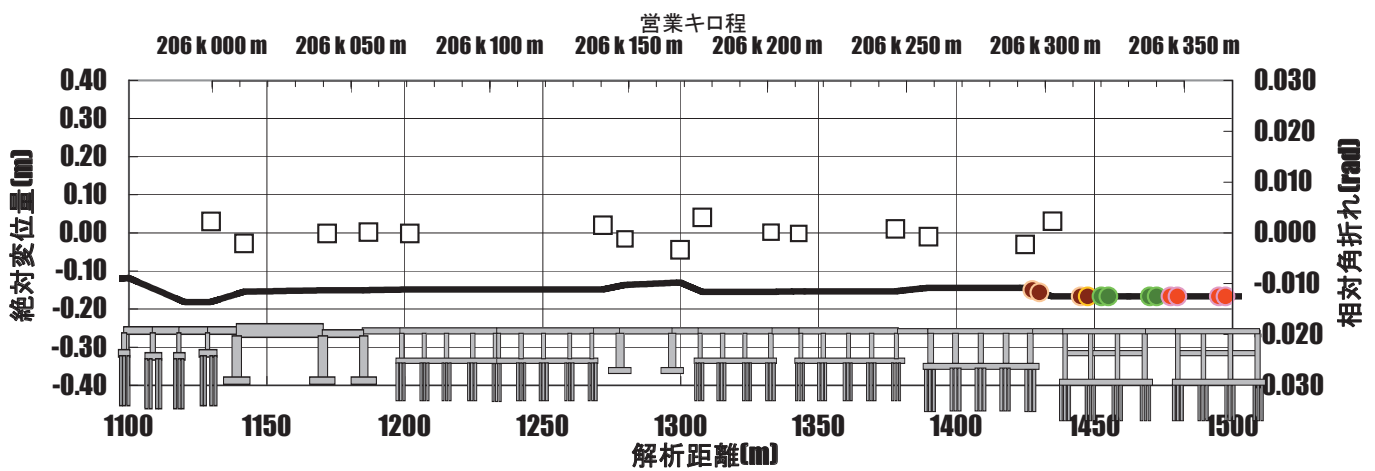
図6.3(c) 構造物及び緩衝区間の変形計算の例  
(解析キロ程930m, 営業キロ程205k800m, 渡沢北BL-70m走行開始)



9.5 sec

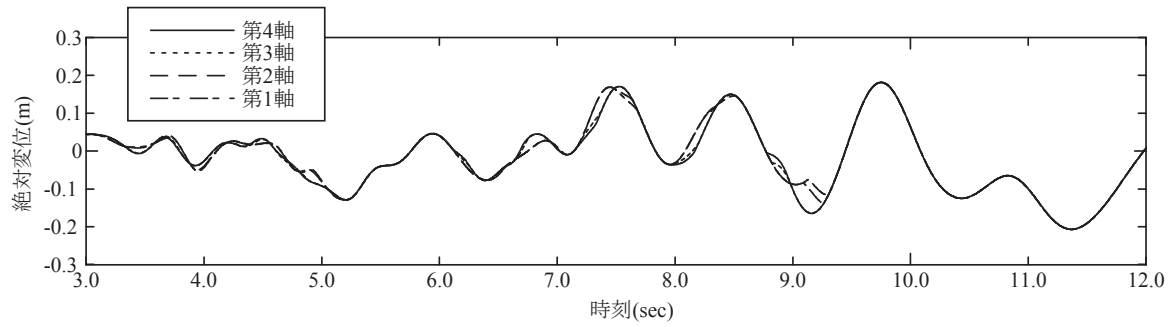


10.0 sec

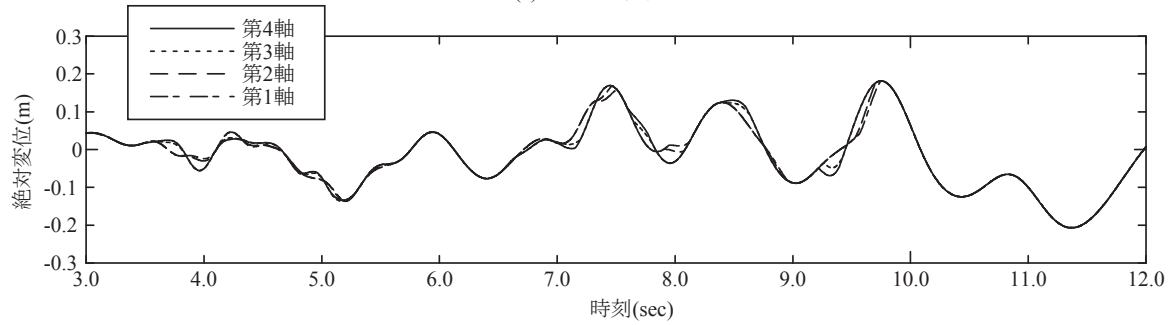


10.5 sec

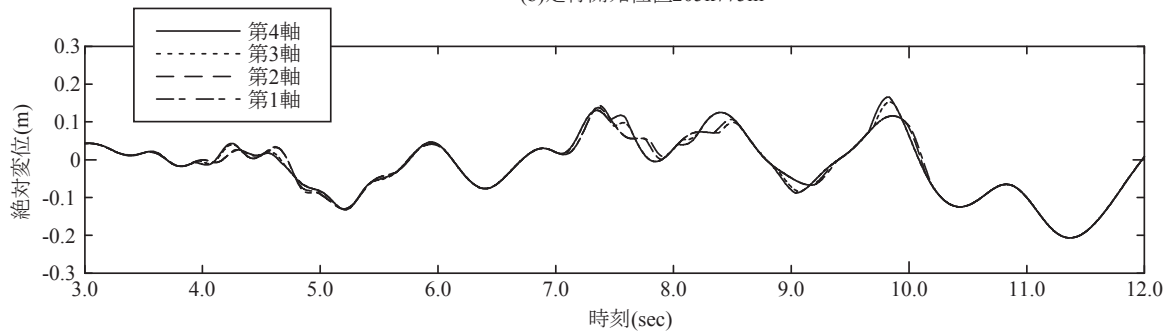
図6.3(d) 構造物及び緩衝区間の変形計算の例  
 (解析キ口程930m, 営業キ口程205k800m, 渡沢北BL-70m走行開始)



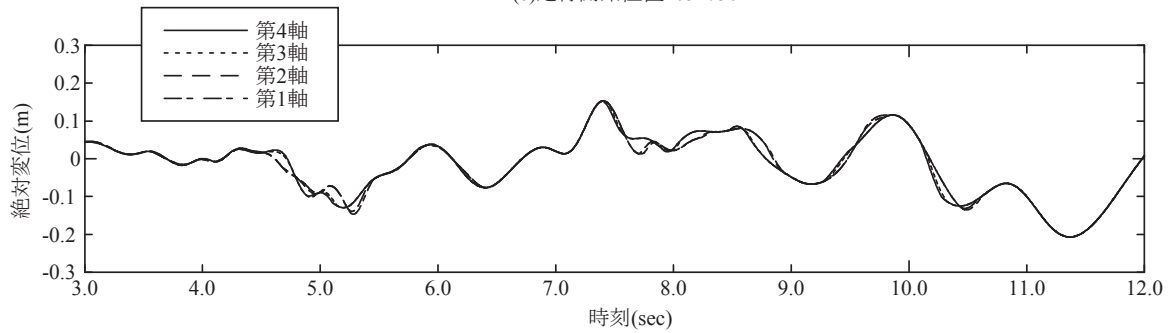
(a) 走行開始位置205k800m



(b) 走行開始位置205k775m



(c) 走行開始位置205k750m



(d) 走行開始位置205k725m

図6.4 輪軸位置における動的角折れを考慮した構造物の振動波形の例  
(解析キロ程930m, 営業キロ程205k800m, 渡沢北BL-70m走行開始)