

## 第7章 非脱線車両の車両挙動解析

本章では、東北地方太平洋沖地震時に走行中で脱線しなかった新幹線のうち、142B, 144B, 3027B, 59B 列車について、非脱線車両の挙動を解析した。解析に用いたシミュレーションプログラムは前章で用いたものと同じ車両運動シミュレーションプログラム (VDS) である。

### 7.1 解析条件

本章で解析対象としている列車および解析対象構造物を表 7.1 に示す。142B 列車の走行地点を除き、東北地方太平洋沖地震の観測地震動に揺れの大きな地震動 (主要動) が2回含まれており、それぞれの主要動が到達したときに走行していた構造物を解析対象とした。ただし、3027B 列車については第1主要動到達時の走行地点がトンネル間の瞬き区間であるため、解析対象から除外した。

#### 7.1.1 車両条件

E2, E3 および E4 系の車両挙動を解析するにあたり、以下の車両を代表車両として選定した。

E2 系：4号車 (J69 編成での脱線車両)

E3 系：R編成 15号車, L編成 16号車 (両先頭車を除いた、平均的質量をもつ電動車)

E4 系：6号車 (平均的質量の電動車)

空気ばね, 左右動ダンパ, 左右動ストッパについては大変位特性試験結果を用い、それ以外は設計諸元を用いた。また、東北地方太平洋沖地震遭遇時の各編成の乗車人数から各車両における乗客の質量を概算し、車体質量に加算した。

#### 7.1.2 軌道条件

軌道不整のない理想的な軌道とし、線形については現地の線形に従い以下の様に設定した。

142B, 3027B, 59B：直線

144B：半径 500m, カント 180mm の右曲線  
(主要動を受けたと推定される区間)

#### 7.1.3 入力地震動

前章における解析と同様、各構造物における推定地震動を4輪軸の直下に同時入力した。

### 7.2 車両諸元

E2 系, E3 系, E4 系の車両諸元を用いて車両モデルを作成した。なお、車両諸元のうち、空気ばね, 左右動ダンパ, 左右動ストッパについては、前章と同様、地震時に車両が大変位するときの条件に合わせたモデル化および性能データを用いた。

表 7.1 解析対象

列車番号	車両形式	第1主要動に対応する構造物			第2主要動に対応する構造物		
			キロ程	走行速度		キロ程	走行速度
142B	E4系(P52)	東久保 BI	163.5km	60 km/h	主要動1回のみのため無し		
	E3系(L53)						
144B	E4系(P3)	第一河原町 BI	322.2km	47 km/h	停車後のため除外		
3027B	E2系(J6)	瞬き区間のため除外			第一三本木トンネル	356.3km	102 km/h
	E3系(R26)						
59B	E2系(J68)	第二矢巾 BI	486.3km	211 km/h	第一赤林 BI	488.0km	122 km/h

表 7.2 乗客概算質量

列車番号	乗車定員 (人)	乗車人数 (人)	解析対象車両	乗車定員 (人)	推定乗車人数 (人)	乗客概算質量 (kg)
142B	1212	606	6号車(E4)	122	61	3660
			16号車(E3)	64	32	1920
144B	817	280	6号車(E4)	122	42	2510
3027B	1152	764	4号車(E2)	100	66	3980
			15号車(E3)	64	42	2550
59B	814	98	4号車(E2)	100	12	720

### 7.2.1 乗客質量

東北地方太平洋沖地震遭遇時の各列車の乗車定員、乗車人数、解析対象車両の乗車定員および乗客1人あたりの質量を60kgとしたときの乗客分の概算質量を表7.2に示す。車両挙動解析では表7.2に示す乗客概算質量を車両諸元の車体質量に加算した。

### 7.2.2 空気ばねパラメータ

乗客により増加するばね上荷重に対応し、空気ばねパラメータについては、地震時の大変位を考慮したモデル化を行い、そのパラメータを実験によって同定した。

### 7.3 入力地震動波形

車両に入力される各構造物の変位波形およびそのフー

リエスペクトルを図7.1～図7.5に示す。なお、変位波形については、注目する主要動近傍50秒間のみを表示している。波形は線路直角方向の揺れを表し、左右方向については車両進行方向左側、上下方向については上側を正に取っている。

### 7.4 解析結果

解析結果を表7.3にまとめる。また、参考として、第5章より入力地震動の最大応答総括表を表7.4に再掲する。表7.3より、本章で解析対象とした新幹線車両は脱線しなかった。また、いずれの条件でも左右動ストップ当たりが生じており、144Bおよび59B列車の解析では強い当たりが生じたことがわかる。車輪上昇量については、第一矢巾B1を除き0.5mmに満たず、車輪がレール

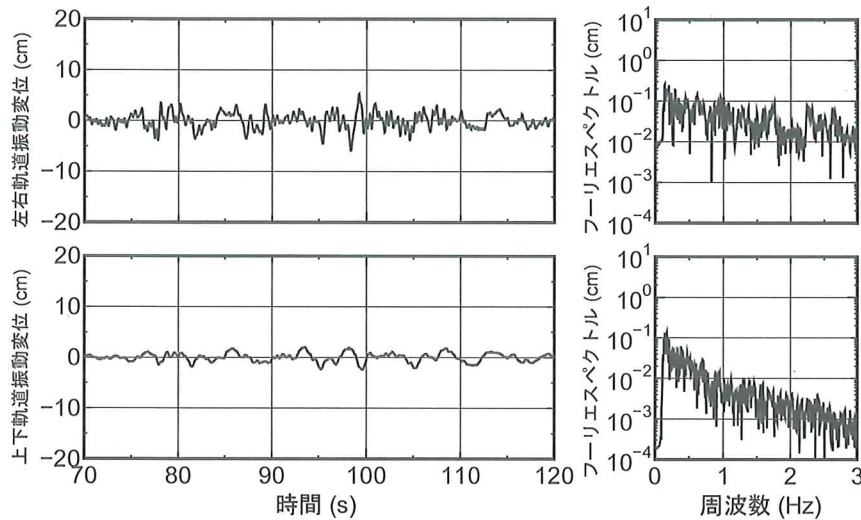


図7.1 東久保B1 (142B 列車走行地点) の高架橋天端の推定地震動 (主要動)

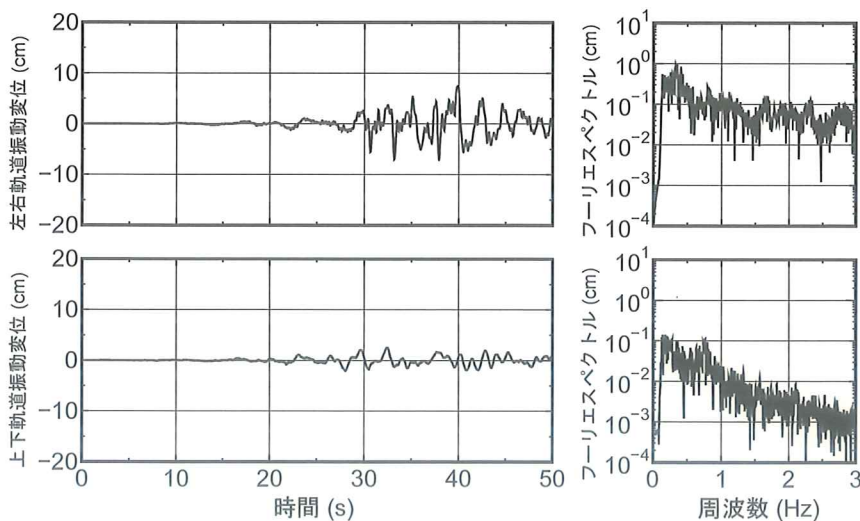


図7.2 第一河原町B1 (144B 列車走行地点) の高架橋天端の推定地震動 (第1主要動)

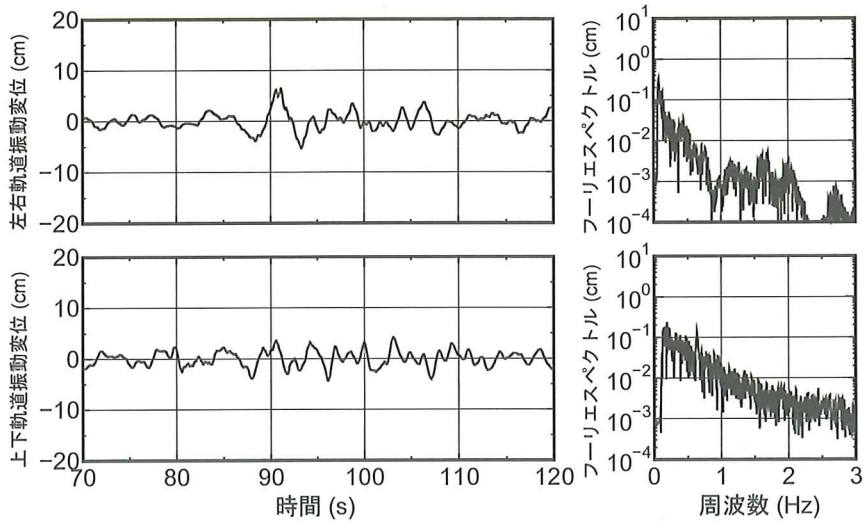


図 7.3 第一三本木トンネル (3027B 列車走行地点) の推定地震動 (第 2 主要動)

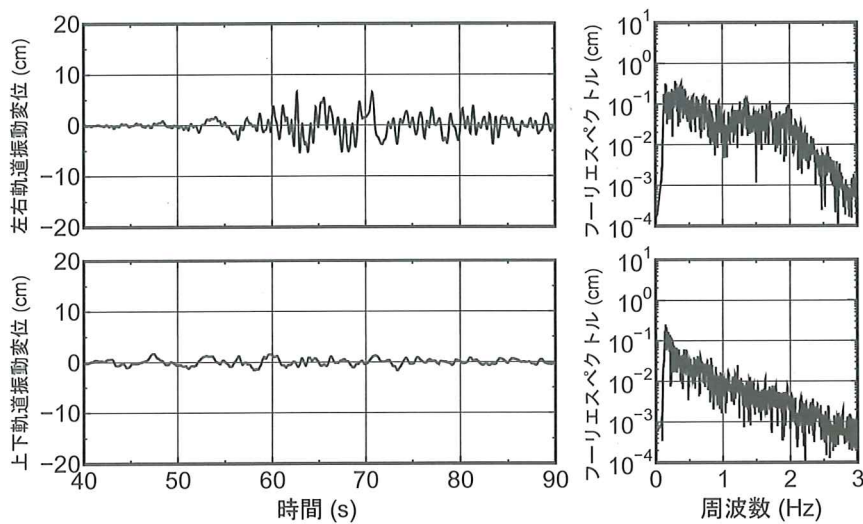


図 7.4 第二矢巾 BI (59B 列車走行地点) の高架橋天端の推定地震動 (第 1 主要動)

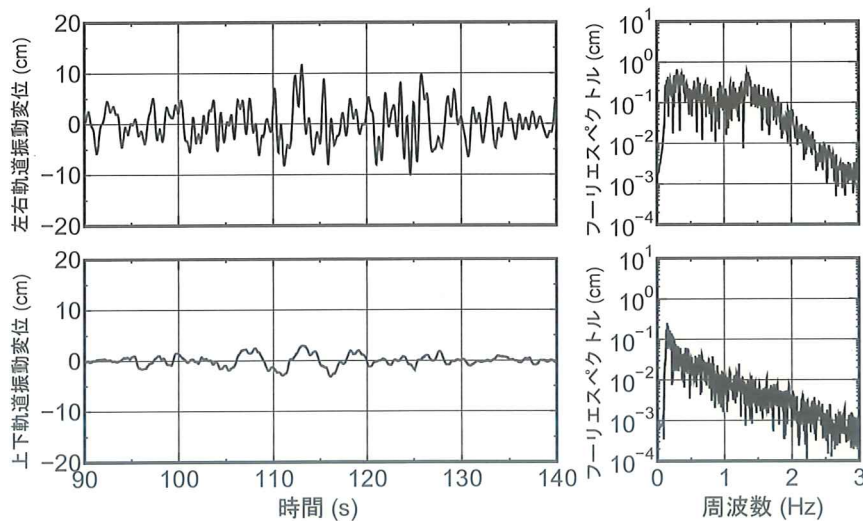


図 7.5 第一赤林 BI (59B 列車走行地点) の高架橋天端の推定地震動 (第 2 主要動)

から離れることはなかった。横圧については 144B およ  
び 59B 列車が大きな値となった。

図 7.6 に東北地方太平洋沖地震の震央と各列車走行地  
点の位置関係を示し、図 7.7～図 7.14 にシミュレーショ

表 7.3 非脱線箇所における新幹線車両挙動解析結果

列車番号	車両型式	解析対象 構造物	解析結果 (最大値を示す)			
			輪重 (kN)	横圧 (kN)	車輪上昇量 (mm)	左右動ストップ 作用力 (kN)
142B	E4系(P52)	東久保 BI	80	21.3	0.26	24
	E3系(L53)		60	13.7	0.26	4.5
144B	E4系(P3)	第一河原町 BI	125	132.4	0.30	250
3027B	E2系(J6)	第一三本木	68	6.7	0.05	1.8
	E3系(R26)	トンネル	58	5.9	0.11	1.5
59B	E2系(J68)	第二矢巾 BI	105	149.9	0.27	160
		第一赤林 BI	100	131.8	0.28	150
		第一矢巾 BI <sup>※</sup>	130	256.2	31.0	290

※第一矢巾 BIについては、1自由度系モデルによる推定地震動を用いた解析結果である。

表 7.4 入力地震動の最大応答総括表

列車番号	対象区間	相対変位 (cm)	相対速度 (kine)	絶対加速度 (gal)	絶対速度 (kine)	絶対変位 (cm)
142B	東久保 BI	3.85	33.1	475.3	40.6	5.87
144B	第1河原町 BI	2.81	32.6	568.5	59.0	7.44
3027B	第1三本木T			198.0	16.1	6.46
59B	第2矢巾 BI	5.32	50.4	577.3	59.6	9.74
	第1赤林 BI	9.39	73.2	611.7	73.6	11.6
	第1矢巾 BI <sup>※</sup>	—	—	780.5	76.0	11.6

※第一矢巾 BIの推定地震動は1自由度系モデルにより求めた。

ン結果の主な時刻歴波形を示す。各列車が脱線しなかった理由について、入力地震動（構造物応答）および車両挙動の観点から以下に考察する。

(1) 142B 列車 (東久保 BI)

<入力地震動 (構造物応答)>

東久保 BI は、断層からの距離が仙台に比べると遠いこと、および地盤条件の影響により、仙台付近の記録と比較して地震動の振幅が小さかった。また構造物の減衰が他地点の構造と比較して大きく (9.9%)、結果として構造物の応答変位が小さくなっている。

<車両挙動> (図 7.7, 図 7.8)

構造物の応答変位について、最大 50mm 程度の振幅の波が 1 波ある以外、総じて振幅が小さかったため、車両は脱線しなかったと考えられる。

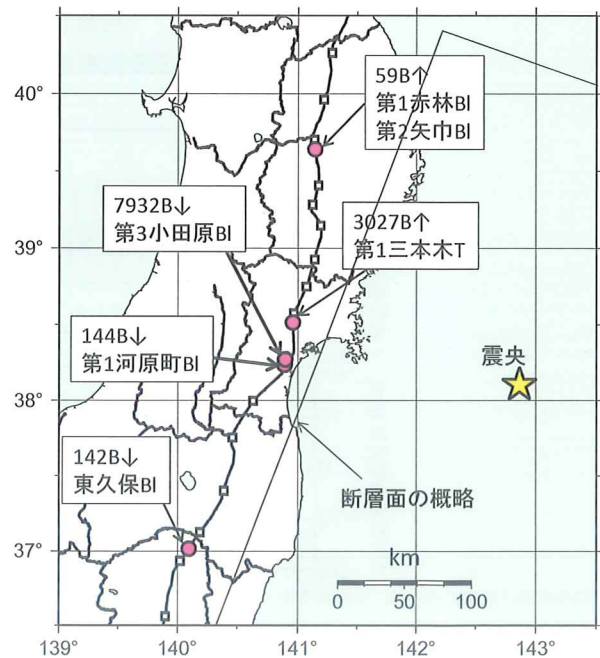


図 7.6 東北地方太平洋沖地震の震央と各列車走行地点の位置関係

## (2) 144B 列車 (第一河原町 BI)

### <入力地震動 (構造物応答)>

第一河原町 BI は、脱線地点である第三小田原 BI と距離が近く、今回の対象地点の中では震源からの距離が最も近い、そのため地表面で推定される地震動も大きくなっている。しかしながら第三小田原 BI と比較すると構造物の固有周期が短く、かつ減衰が3倍程度大きくなっているために、軌道面の応答変位、応答加速度はそれほど大きくなっていない。

### <車両挙動> (図 7.9)

低い加振周波数 0.4Hz (周期約 2.5 秒) の振幅 50~80 mm 程度の波に高い加振周波数の波が重畳しているが、車輪がレールから離れるほど大きな振動ではなかった。この低い加振周波数によって車両は車体左右変位と車体ロール変位が逆相の下心ロール振動で揺れながら、高い加振周波数の振動成分により、車体左右変位と車体ロール変位が同相の上心ロール振動を生じ、このモードが車輪を横方向へ強く押し大きな横圧や左右動ストップ作用力を発生させたものと考えられる。

## (3) 3027B 列車 (第一三本木トンネル)

### <入力地震動>

第一三本木トンネルは山間部に位置しており、地盤が非常に良好である。そのため地盤が硬質であり、地震動がそれほど増幅されず、加速度も小さな値となっている。なおかつトンネル内であり、高架橋による応答の増幅の影響を受けないために、応答変位としても非常に小さな値に収まっている。

### <車両挙動> (図 7.10, 図 7.11)

上述のように入力地震動が非常に小さかったため、車両は脱線しなかったと考えられる。

## (4) 59B 列車 (第二矢巾 BI, 第一赤林 BI, 第一矢巾 BI)

### <入力地震動 (構造物応答)>

第二矢巾 BI, 第一矢巾 BI (第1主要動) および第一赤林 BI (第2主要動) も震源からの距離が離れているため、第三小田原 BI や第一河原町 BI と比較すると地盤位置での地震動は小さくなっている。更に構造物の減衰が5~17%と比較的大きくなっているために、軌道面の応答変位が小さくなったものと考えられる。なお、第一矢巾 BI の構造物応答は1自由度モデルを用いて解析を行った。

### <車両挙動> (図 7.12, 図 7.13, 図 7.14)

第二矢巾 BI (第1主要動, 図 7.12) では、地震波上の時刻 62~63 秒に周期約 0.67 秒、振幅約 100 mm の波が1波生じている。このとき、車両は車体左右変位と車体ロール変位が同相で上心ロール振動を起こし、大きな横圧や左右動ストップ作用力が発生している。ただし、

1波で車輪がレールから離れるほど軌道面振動は大きくなかったと考えられる。

第一赤林 BI (第2主要動, 図 7.13) では、地震波上の時刻 110~130 秒に、周期約 0.7 秒、振幅 50~100 mm の波が断続的に含まれているが、1~2波程度で車輪がレールから離れるほど軌道面振動が大きくなかったと考えられる。なお、地震波上の時刻 125 秒付近で横圧が大きくなっているが、そのとき車両は第二矢巾 BI の場合と同様、車体左右変位と車体ロール変位が同相で上心ロール振動を起こしている。

また、第一矢巾 BI (第1主要動, 図 7.14) では、地震波上の時刻 60~68 秒に周期約 0.5 秒、振幅 50mm 程度の波が継続的に存在し、車両は上心ロール振動を起こし、この間に大きな横圧が生じるとともに車輪がレールから離れていたが、車輪上昇量はフランジ高さ程度であった。脱線に至らなかった主な理由は推定地震動の卓越周波数が高かった (約 2 Hz) ためと考えられる。

## 7.5 非脱線車両の車両挙動解析のまとめ

東北地方太平洋沖地震において脱線しなかった新幹線列車のうち、142B 列車, 144B 列車, 3027B 列車, 59B 列車について、車両挙動を解析した結果、いずれの車両も脱線しなかった。なお、いずれの解析条件においても左右動ストップ当たりが生じ、144B および 59B 列車の左右動ストップ作用力が大きかった。左右動ストップ作用力が大きいときは、車両は上心ロール振動を生じており、大きな横圧も発生していた。

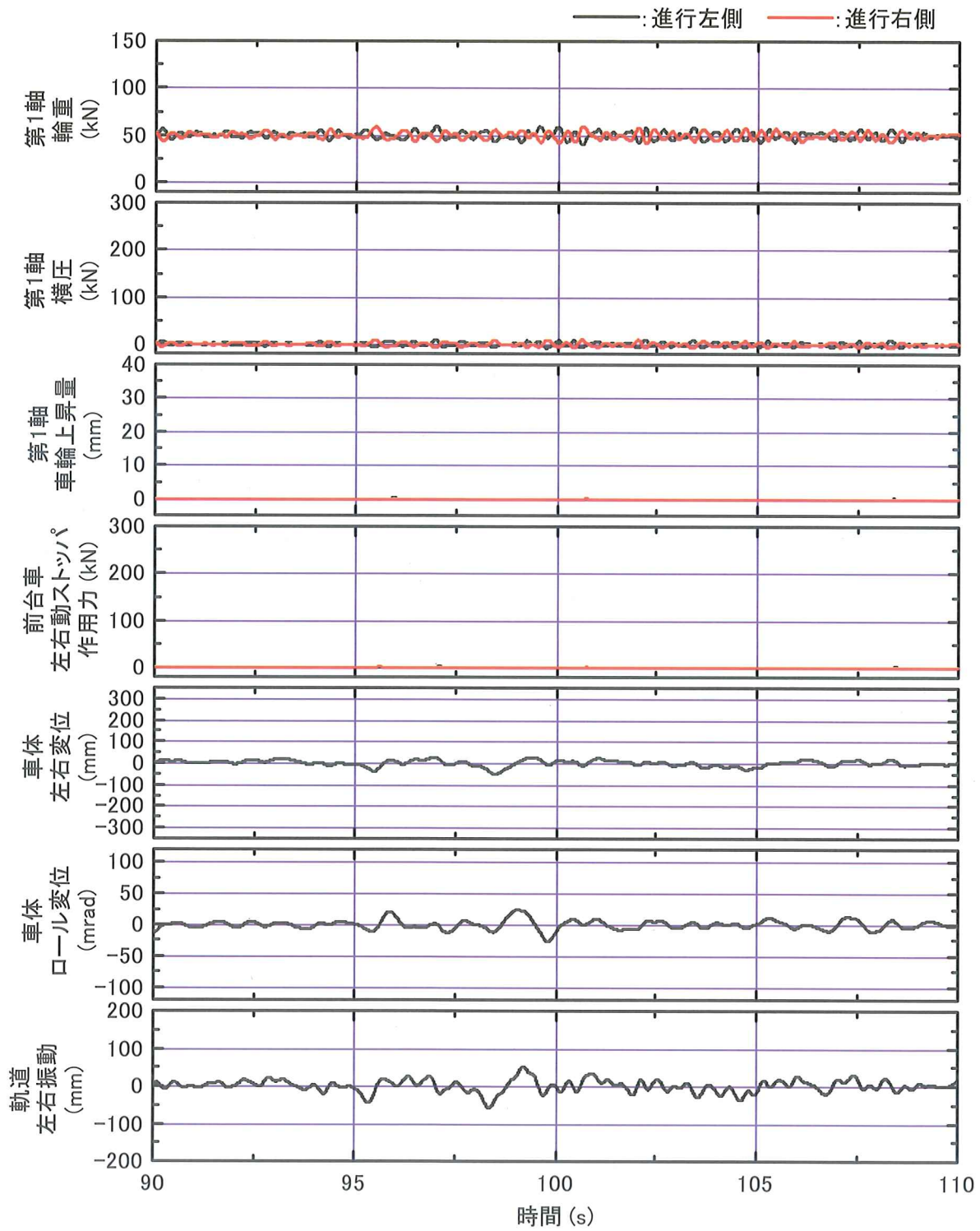


図 7.7 142B 列車 (E3 系) 東久保 BI における車両挙動解析結果の主な時刻歴波形

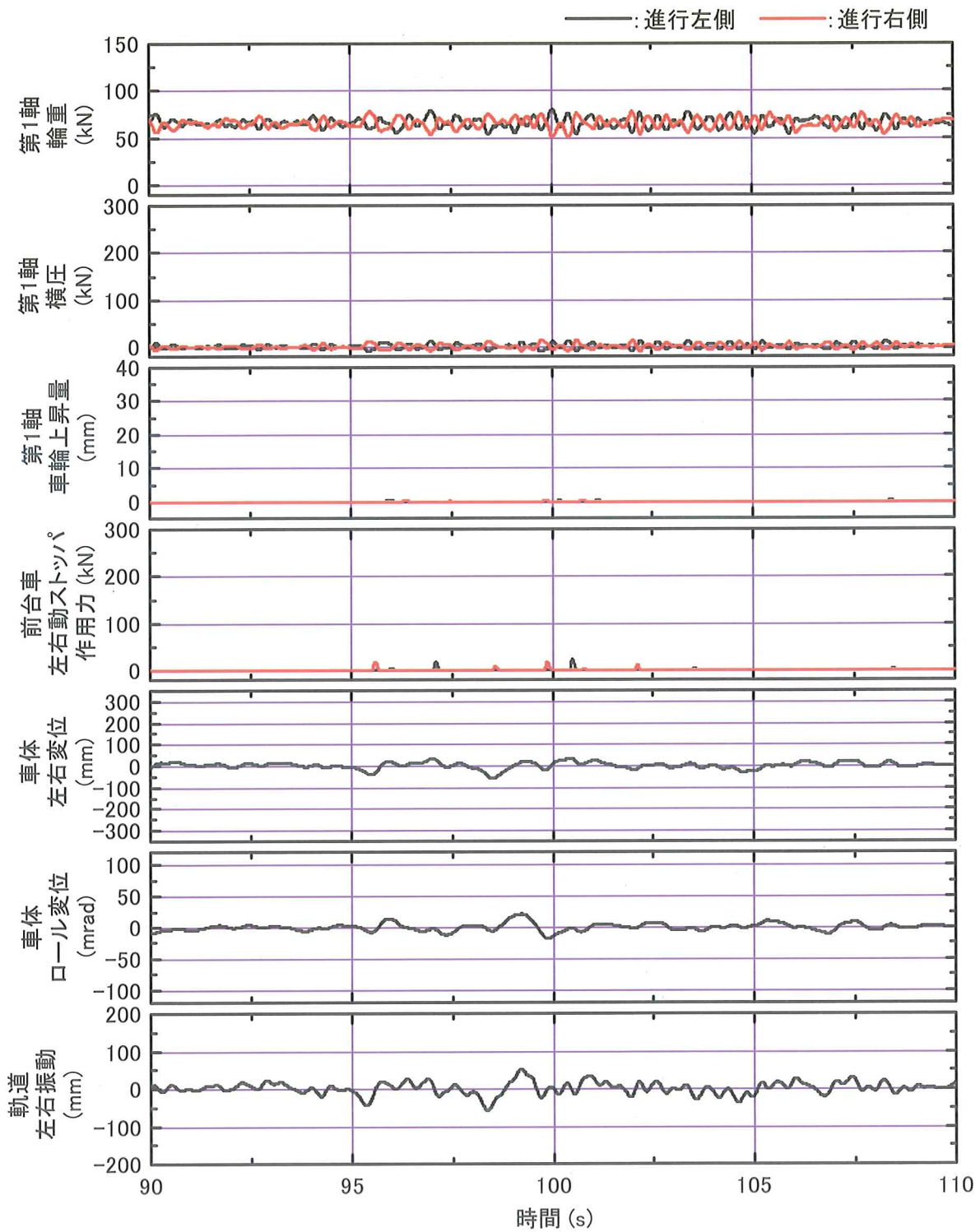


図 7.8 142B 列車 (E4 系) 東久保 BI における車両挙動解析結果の主な時刻歴波形

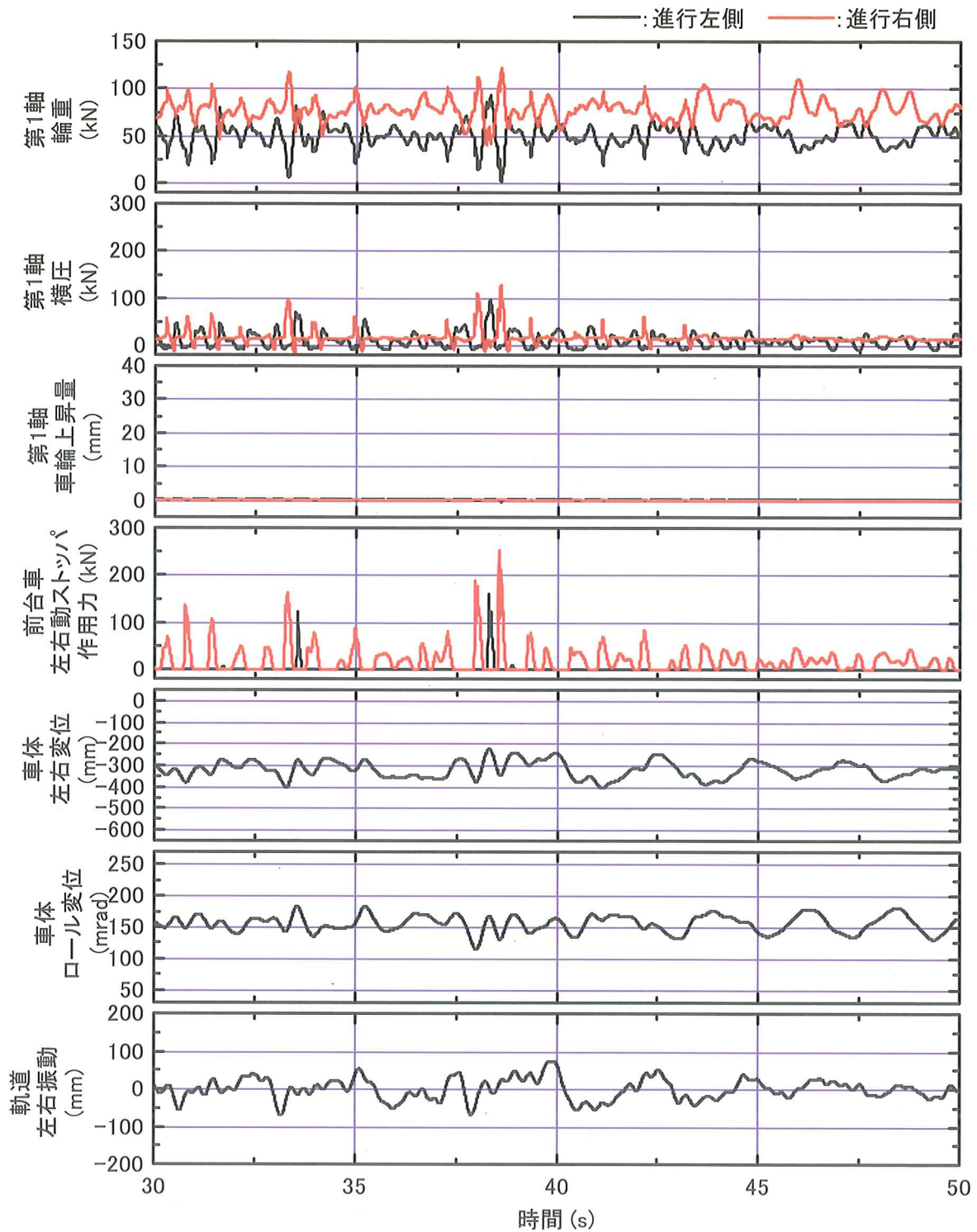


図7.9 144B列車 (E4系) の第一河原町BIにおける車両挙動解析結果のおもな時刻歴波形

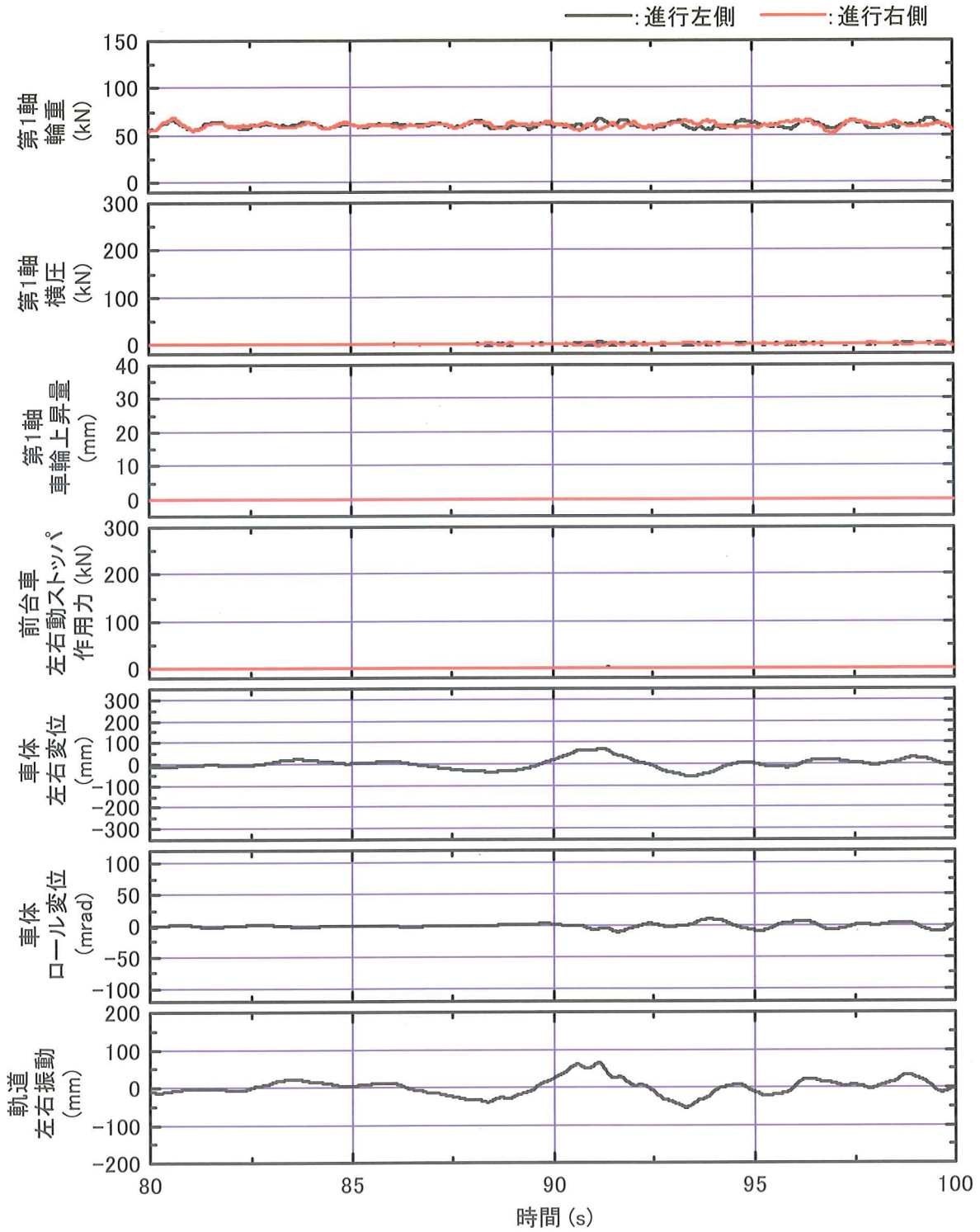


図 7.10 3027B 列車 (E2 系) の第一三本木トンネルにおける車両挙動解析結果の主な時刻歴波形

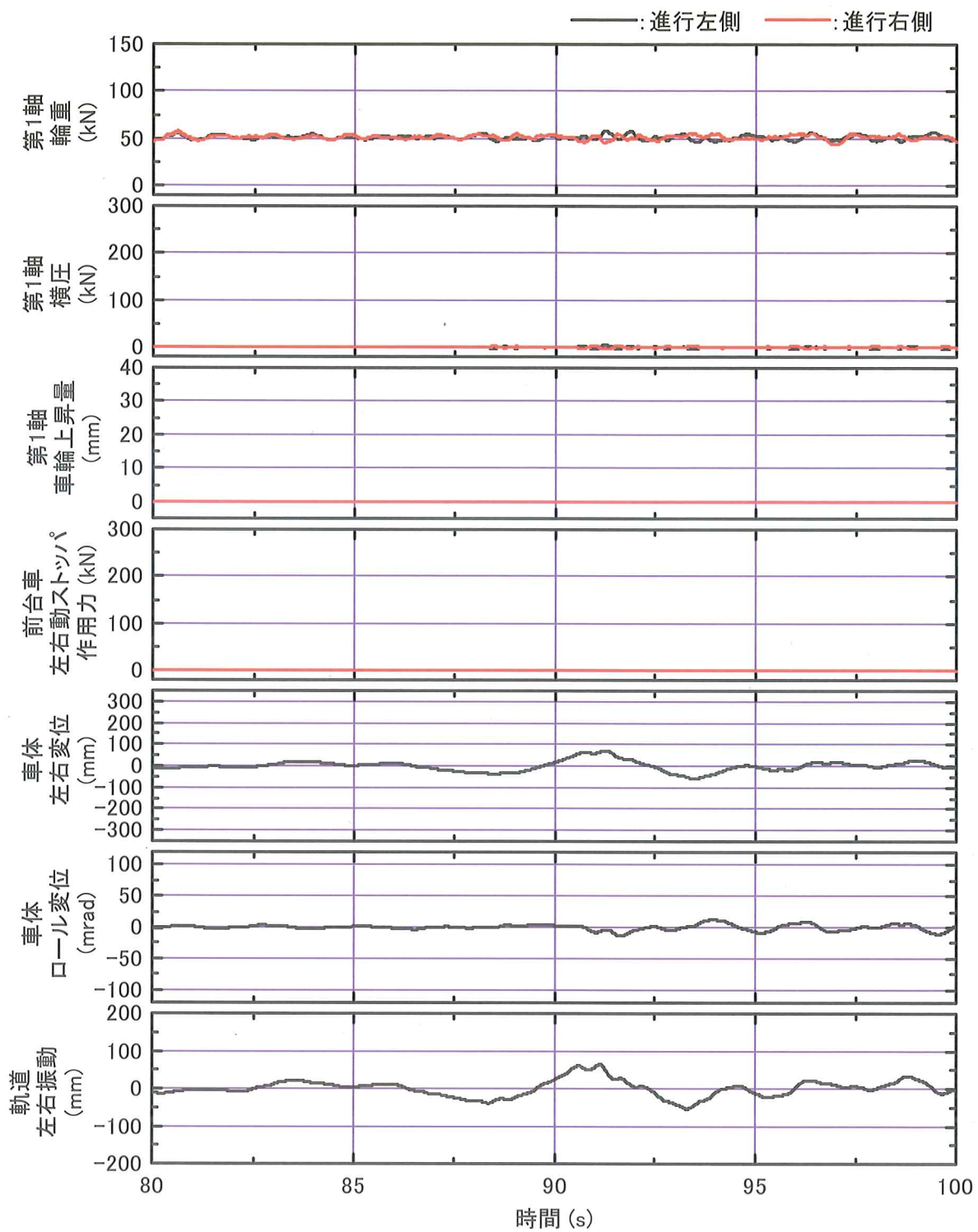


図 7.11 3027B 列車 (E3 系) の第一三本木トンネルにおける車両挙動解析結果の主な時刻歴波形

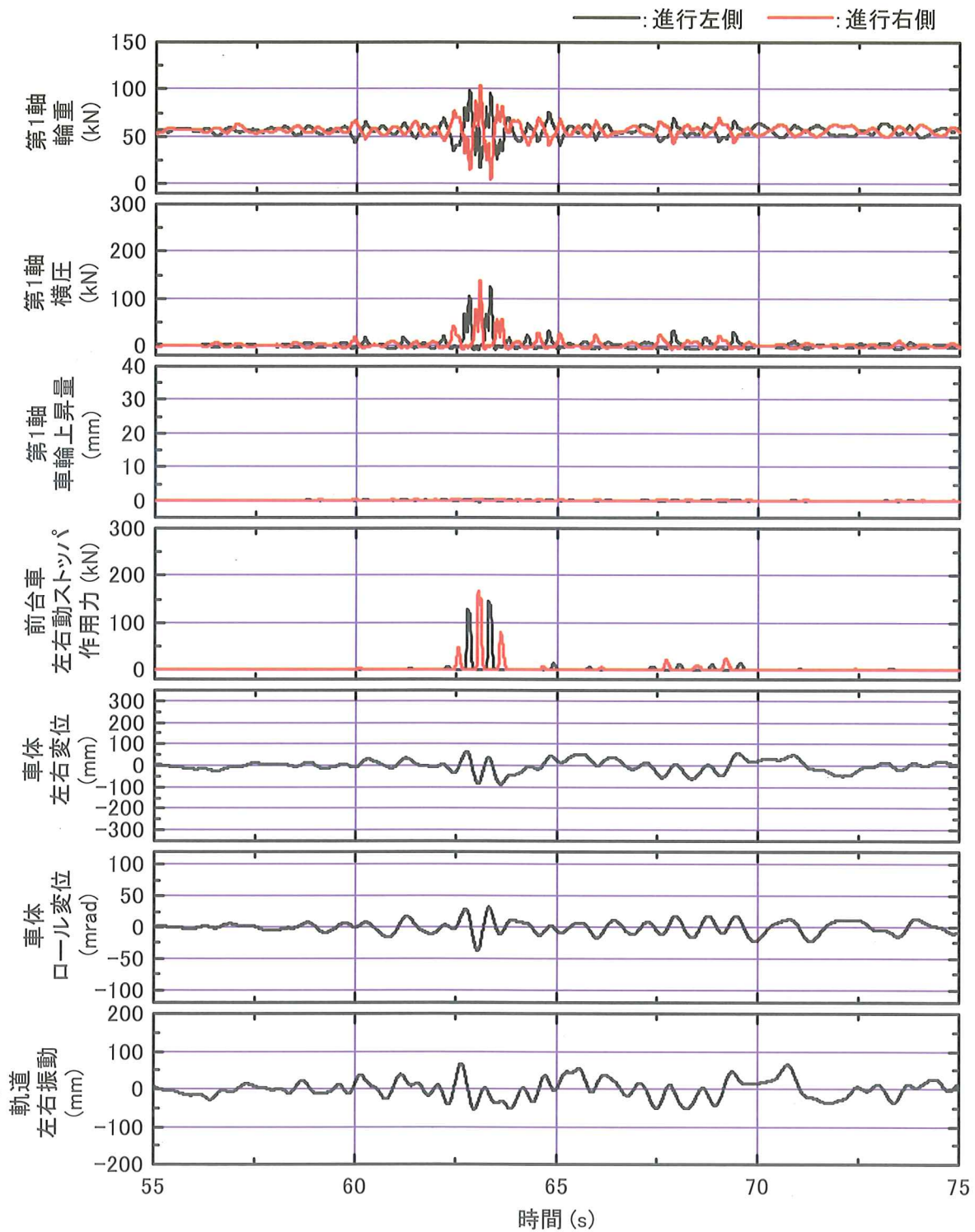


図 7.12 59B 列車 (E2 系) の第二矢巾 BI における車両挙動解析結果の主な時刻歴波形

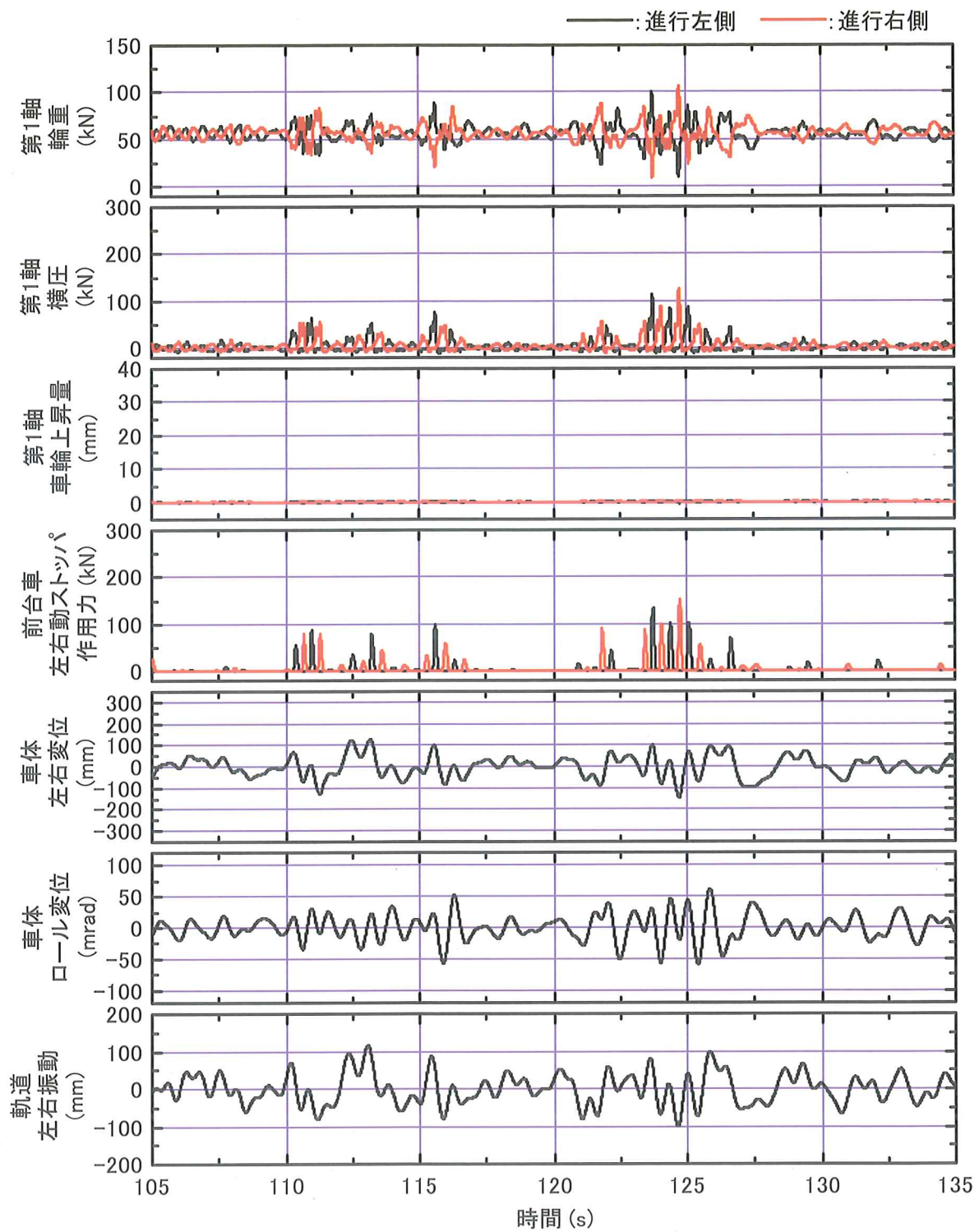


図 7.13 59B 列車 (E2 系) の第一赤林 BI における車両挙動解析結果の主な時刻歴波形

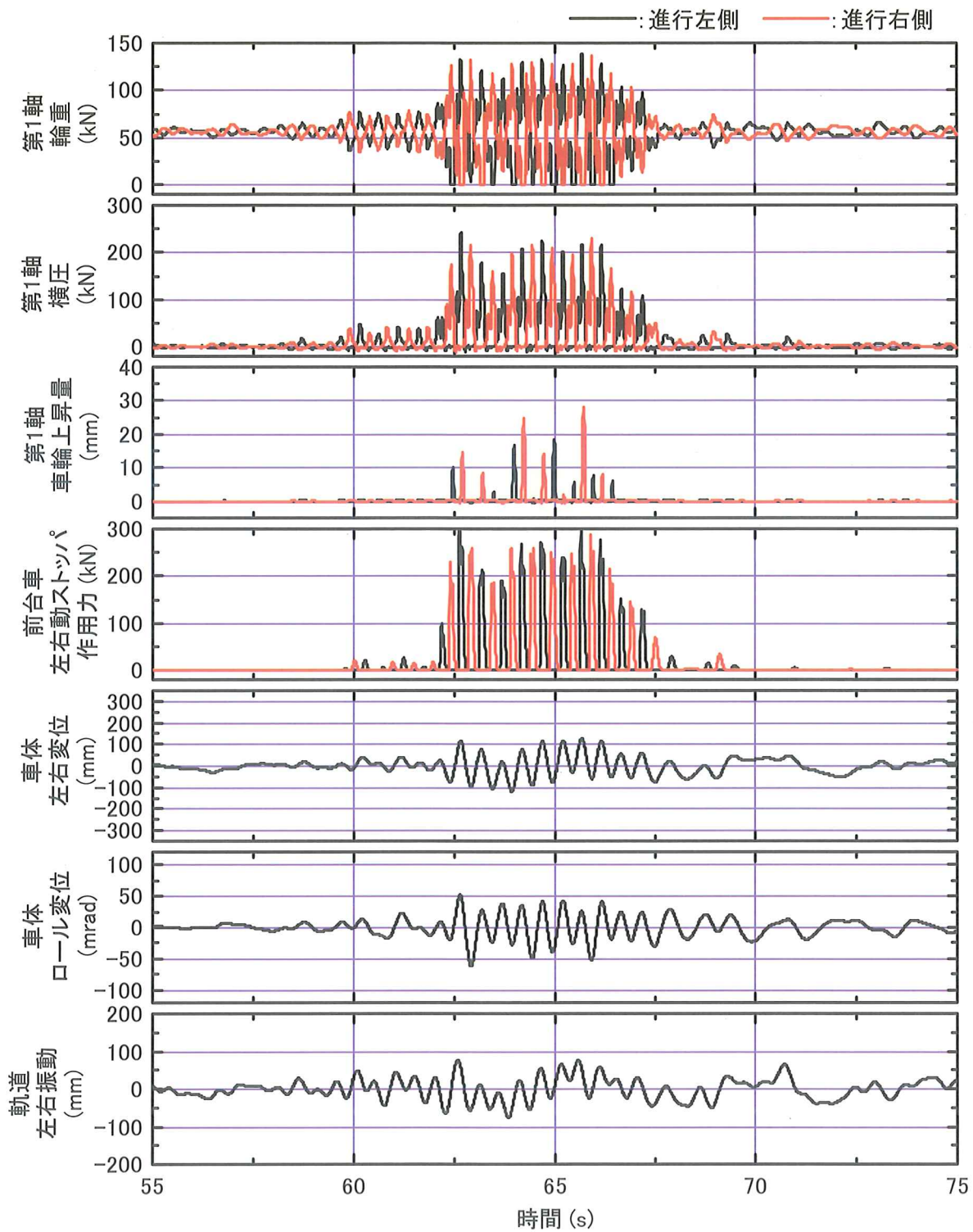


図 7.14 59B 列車 (E2 系) の第一矢巾 BI における車両挙動解析結果の主な時刻歴波形