

付属資料4 非脱線箇所のシミュレーション解析 (長岡駅付近)

1. 目的

本編では、新潟県中越地震における200系新幹線車両脱線現場周辺の地震動を推定し、構造物の動的解析および構造物上を走行する車両の挙動解析を実施した。

脱線した新幹線車両のシミュレーションとともに、脱線しなかった新幹線車両のシミュレーションを実施し、両者の挙動の違いを解析的に表現できるならば、一連の解析の妥当性を示す一つの手段となる。

そこで、地震発生時に長岡駅付近を走行中であったが脱線をしなかった200系新幹線の場合について、本編と同一の手法で地震動の推定から車両挙動解析までシミュレーションを実施し、本編の解析手法の妥当性を示す。

2. 地震波の推定

地震波の推定に関する基本的な考え方は、本編の第3章と同じ手法による。

まず、基準地震波を選定する。基準地震波として満

足すべき条件は、本編第3章でも述べたように、

- ① なるべく脱線地点（解析対象地点）に近いこと
- ② 地震記録に地形効果など特異な特性が含まれていないこと
- ③ ジャストポイントでの土質調査結果（PS検層）があること

である。これらの条件を勘案すると、K-NET長岡の地震記録が最適であることが分かった。観測点から解析対象地点まで、僅か数キロである。

次に、この地震動を用いて、基盤位置まで引き戻す必要があるが、K-NETの資料によると、地表面から僅か数mでせん断弾性波速度が400m/s相当の固い地層が存在しており、この間の地震動の増幅はほとんどないと想定されることから、地表面で観測された地震動が、基盤波として解釈できると判断した。

一方、解析対象地点は、建設当時の土質柱状図を参考にすると、柔らかい層が3~4m堆積し、その下にはN値が50以上の固い層が存在していることが分かった。この位置を基盤と考えた場合、地震動の増幅はほとんど無いと判断される。

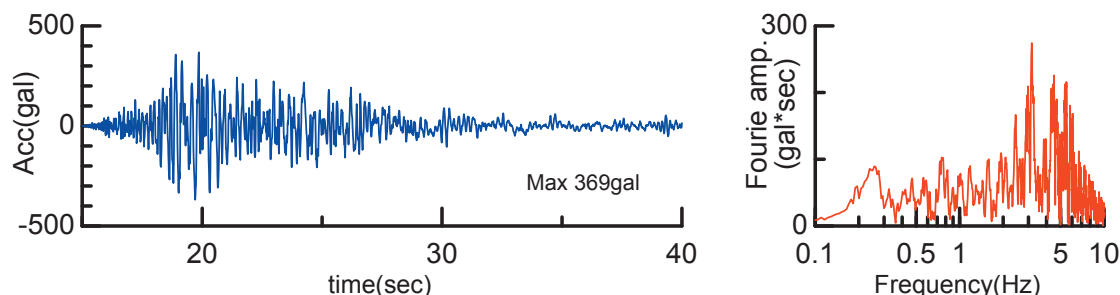


図1 K-NET長岡での観測記録（加速度波形とフーリエスペクトル）

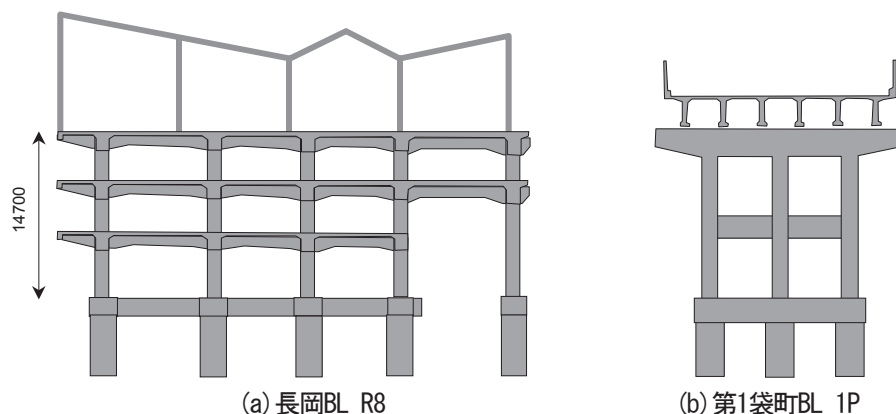


図2 検討対象構造物の概略図

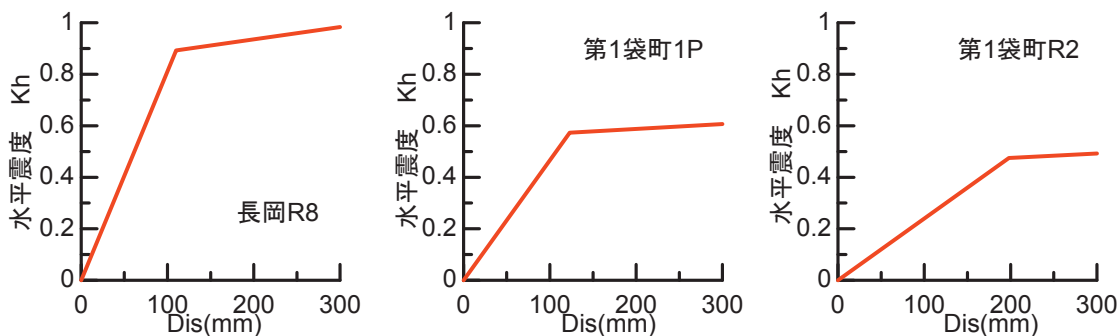


図3 構造物の静的非線形解析の結果（震度～変位関係）

以上のことから、K-NET長岡の地表面で観測された波形をそのまま、解析対象地点の地表面地震動と考えることとした。図1に加速度波形の時刻歴とフーリエスペクトルを示す。

3. 構造物の静的解析

3.1 対象構造物

ラーメン高架橋、壁式橋脚等の線路直角方向の静的非線形解析を行い、荷重-変位曲線を作成した。非脱線区間（長岡地区）の構造物全体を俯瞰し、構造物全体の挙動を再現できるように、長岡BLのR8、第1袋町BLの1P、R2を代表構造物として解析対象とした。

長岡BL R8は駅部の高架橋で、3層（直角方向には4径間）ラーメン高架橋、第1袋町BL 1PとR2は2層構造となっており、いずれも柱高さが10mを越える構造物となっている。図2に長岡BL R8と第1袋町BL 1Pの概略図を示す。

3.2 解析方法と結果

本編と同様に、鉄道構造物等設計標準・同解説(耐震設計)に準拠して、平面骨組モデル（部材は梁要素、地盤はばね要素）の静的解析を行った。荷重はラーメン高架橋の場合は柱と梁の接合部およびフーチング中心に、橋脚の場合はく体の天端とフーチングの中心に水平方向に集中荷重を変位制御により漸増荷重した。部材の寸法、配筋、コンクリート強度等は設計図書に従い算出した。用いた材料諸元を表1に示す。また、図3に静的解析の結果得られた、構造物全体の荷重～変位関係を示す。

表1 材料諸元

項目	強度	備考
コンクリートの圧縮強度 f_{ck}	27 N/mm ²	
鉄筋の降伏強度(SD345) f_{sd}	414 N/mm ²	SD345の規格値1.2倍

4. 構造物の動的解析

4.1 検討方法

本編と同様に、構造物を図4で示したように、構造物を等価なバネ・マス系を有する1自由度系に置換して、構造物の応答値を算出した。等価なバネ特性は、静的非線形解析で算出した構造物全体形の荷重～変位関係（静的非線形解析）をもとに決定する。

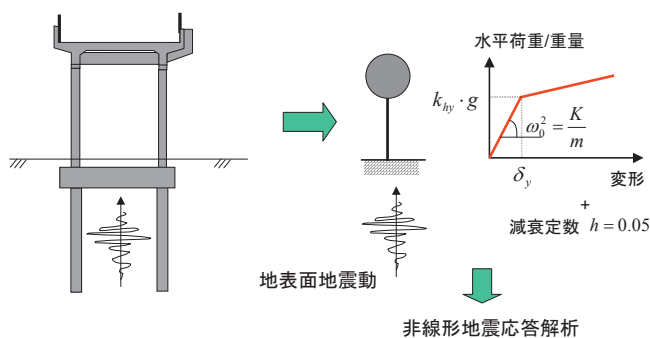


図4 解析方法の概念図

図5～図7に解析の結果得られた、絶対応答加速度、相対応答変位、および応答履歴を示す。これらの図から、以下のことがわかる。

- (1) 入力地震動の卓越振動数が3～5Hz付近である。一方、構造物の固有周期は、長岡BL R8が1.4Hz付近、第1袋町BL R2が0.8Hz付近であり、両者の周期帯域は離れており、その結果、構造物の応答は抑えられる傾向になる。

- (2) 脱線現場周辺の高架橋に比べて、長岡付近の高架橋は周期が長いわりに、変形量がそれほど大きくなっておらず、第1袋町BL R2でもせいぜい相対変位量は75mm程度になっている。
- (3) いずれの橋梁、高架橋も、降伏には至っておらず、実際の被害状況との整合性はとれている。

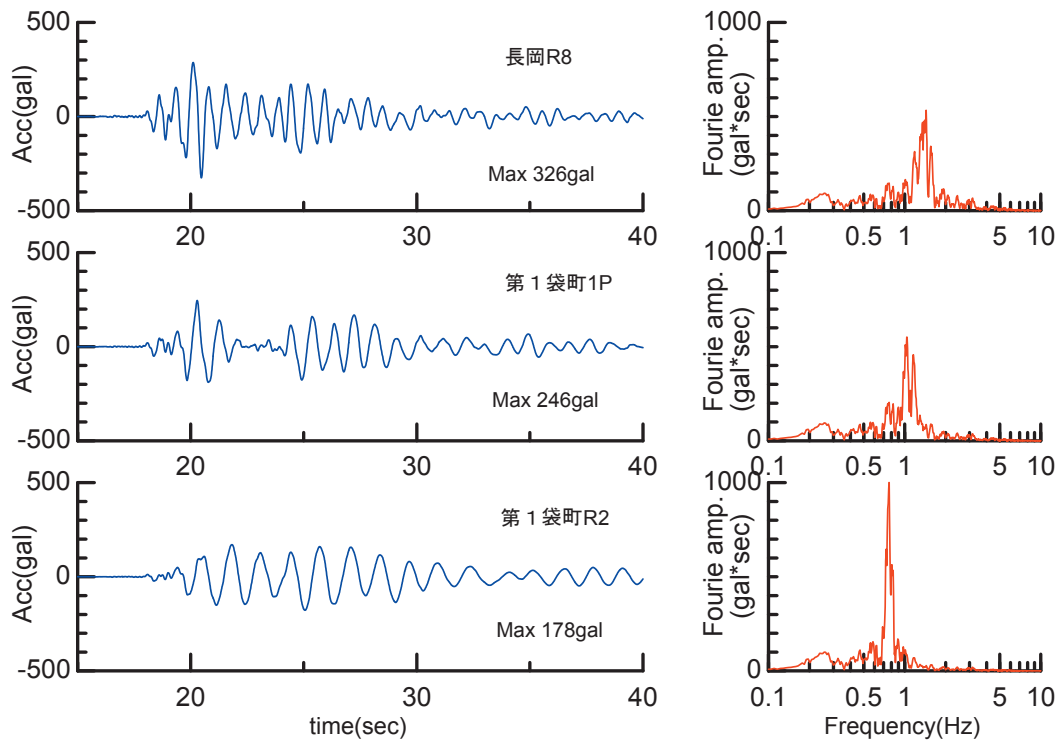


図5 構造物天端の応答絶対加速度波形とそのフーリエ振幅スペクトル

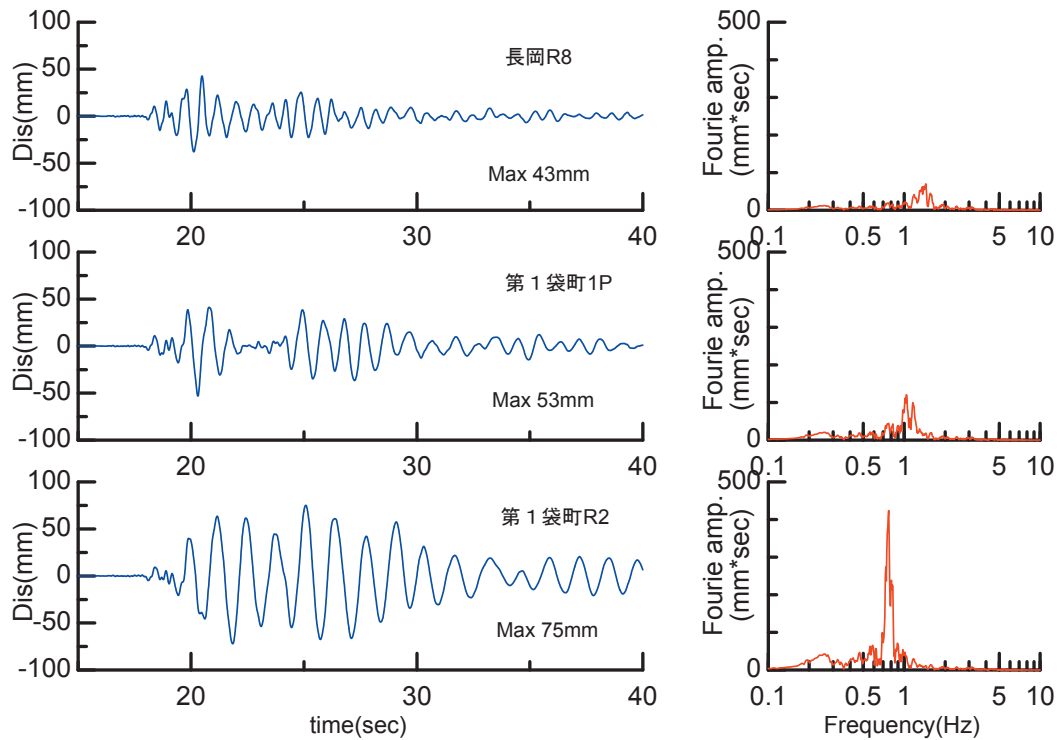


図6 構造物天端の相対変位波形とそのフーリエ振幅スペクトル

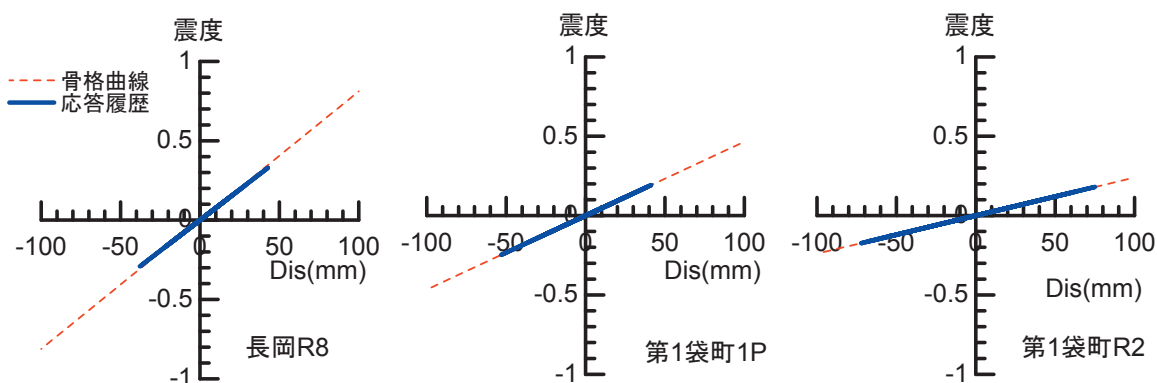


図7 構造物の応答履歴図

5. 車両の挙動解析

図8に示す構造物の応答波3種類を200系車両（走行速度204km/h）の車両運動シミュレーションに入力した際の結果から、各波で発生した車輪上昇量、輪重抜け割合、横圧の各最大値を表2にまとめた。各応答波のシミュレーション結果ともに、車輪がレールから離れるような車輪上昇は発生しなかった。輪重抜け割合、横圧最大値共に長岡R8応答波の場合が最も大きく、輪重抜け割合最大値0.81、横圧最大値155.4 kNとなった。

各波に対するシミュレーション結果の時系列波形を図9～図11に示す。各図(a)全軸の輪重・横圧、各図(b)には、車体左右・ロール、第1台車左右・ロール、第1軸左右・ロール、加振左右の各変位と車体中央（床面）左右加速度を、各図(c)には第1軸の輪重・

横圧、車輪/レール相対左右変位、車輪上昇量、加振左右変位を示す。

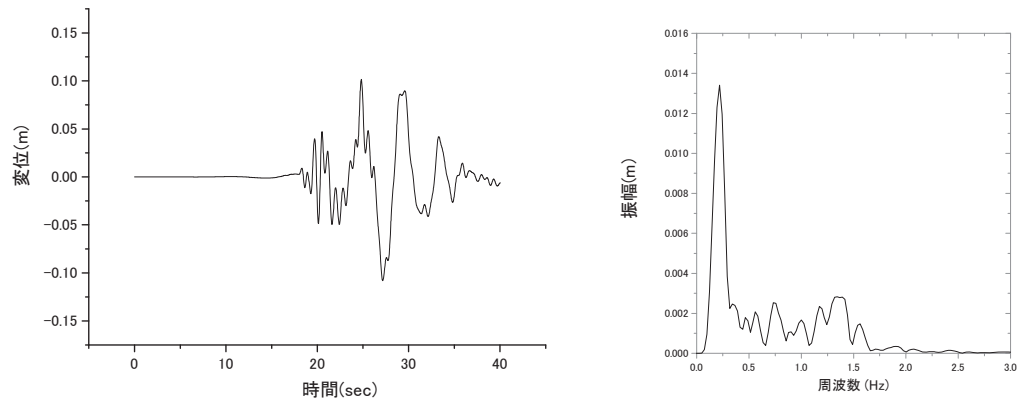
6. まとめ

新潟県中越地震の発生時に長岡駅付近を走行中であつたが脱線しなかつた200系新幹線について、本編と同様の手法により地震動の推定から車両挙動解析までのシミュレーションを実施した。

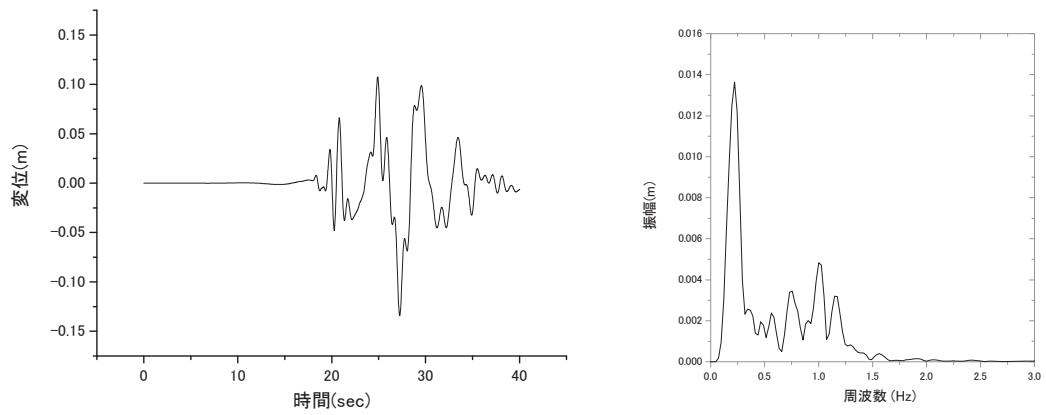
その結果、当該列車は脱線せず、本編におけるシミュレーション手法の妥当性がこの点において示された。

表2 非脱線箇所（長岡）のシミュレーション結果

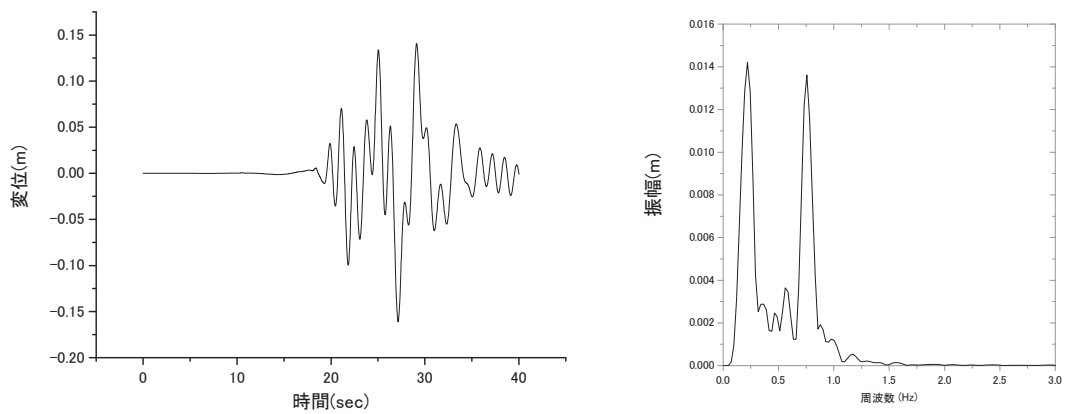
	車輪上昇量最大値 (mm)	輪重抜け割合最大値	横圧最大値 (kN)
長岡BL R8	ほぼゼロ	0.81	155.4
第1袋町BL 1P	ほぼゼロ	0.33	46.2
第1袋町BL R2	ほぼゼロ	0.58	30.0



(a) 長岡BL R8

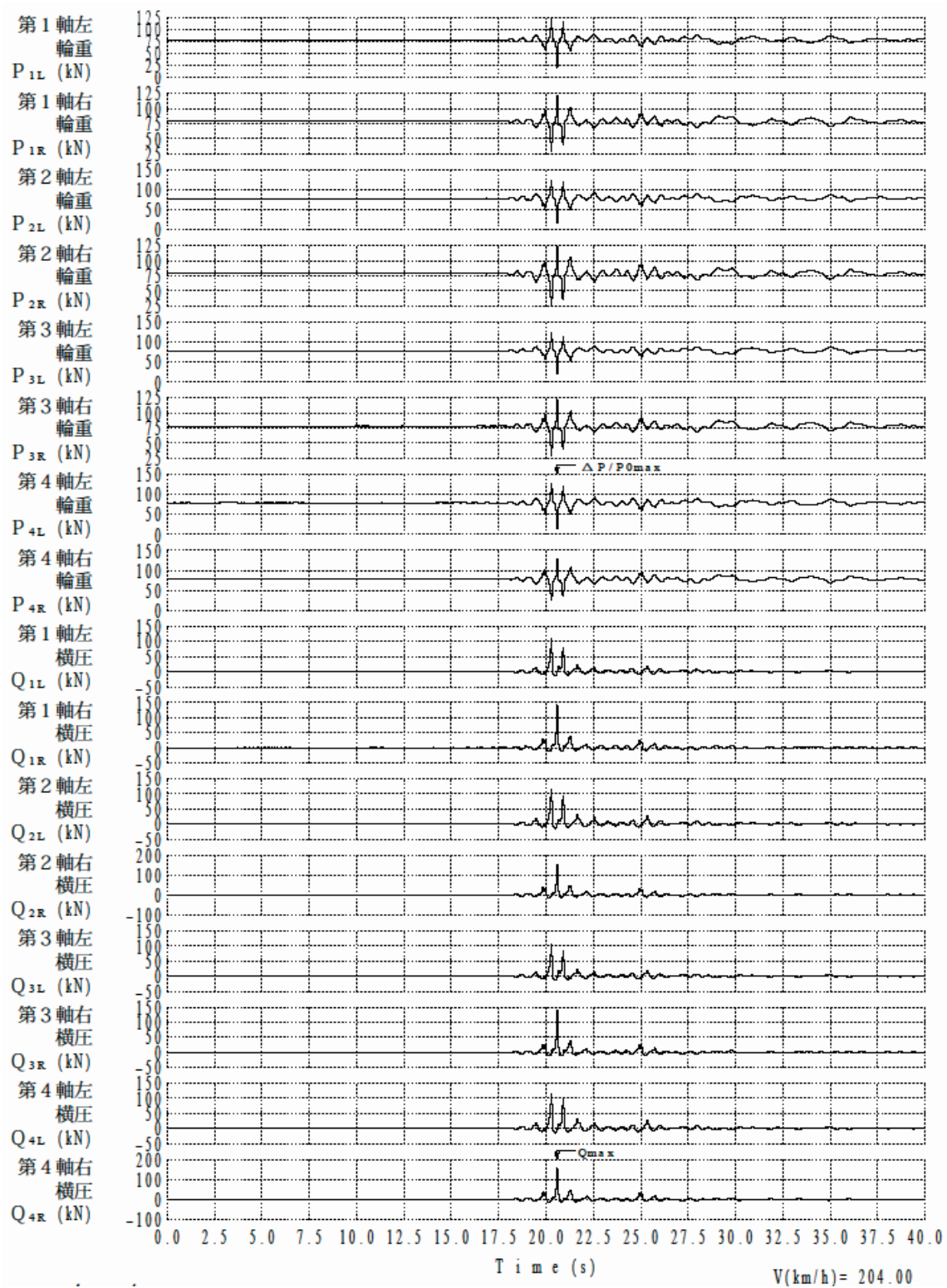


(b) 第1袋町BL 1P



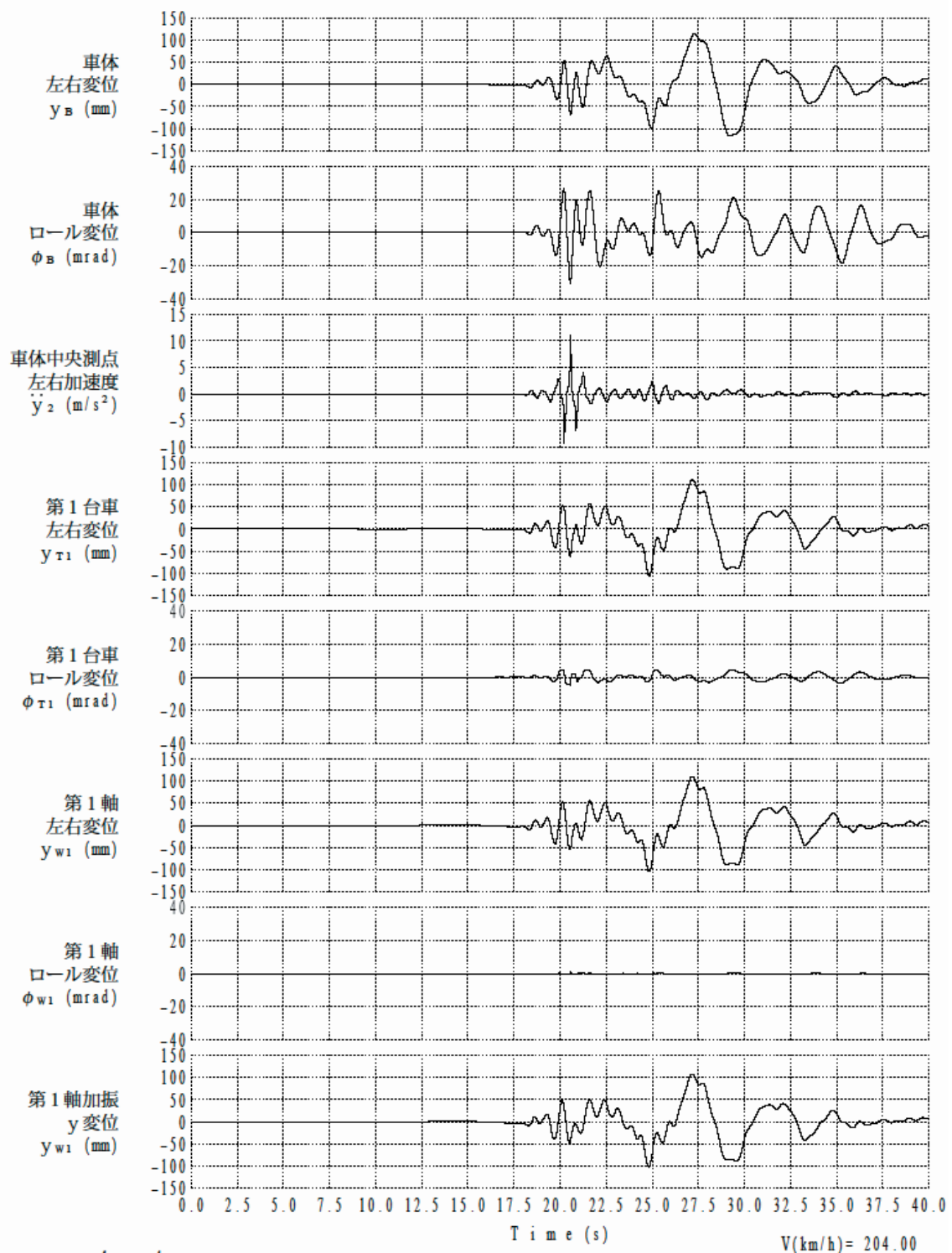
(c) 第1袋町BL R2

図8 構造物上の絶対変位波形と周波数特性

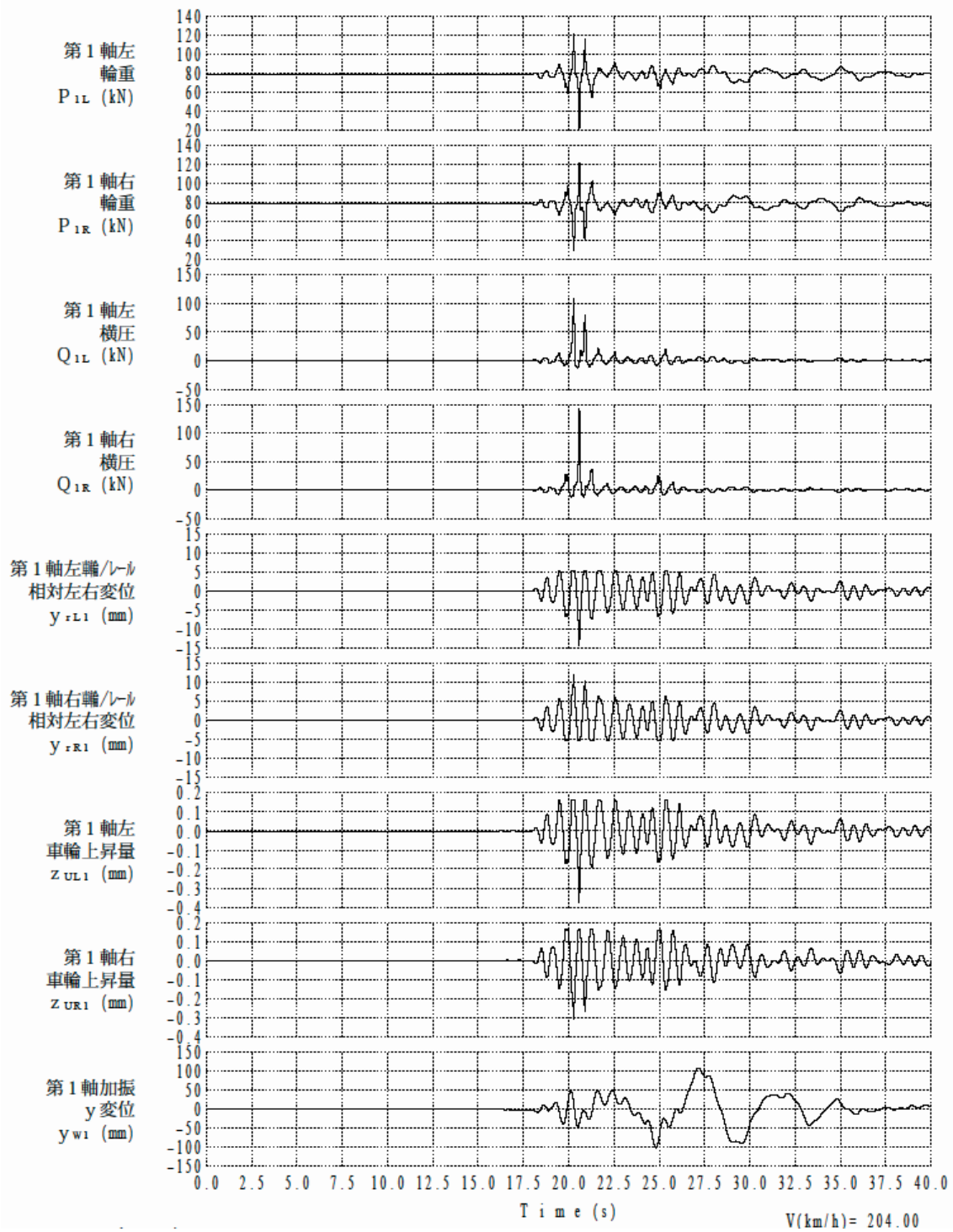


(a) 各軸の輪重・横圧

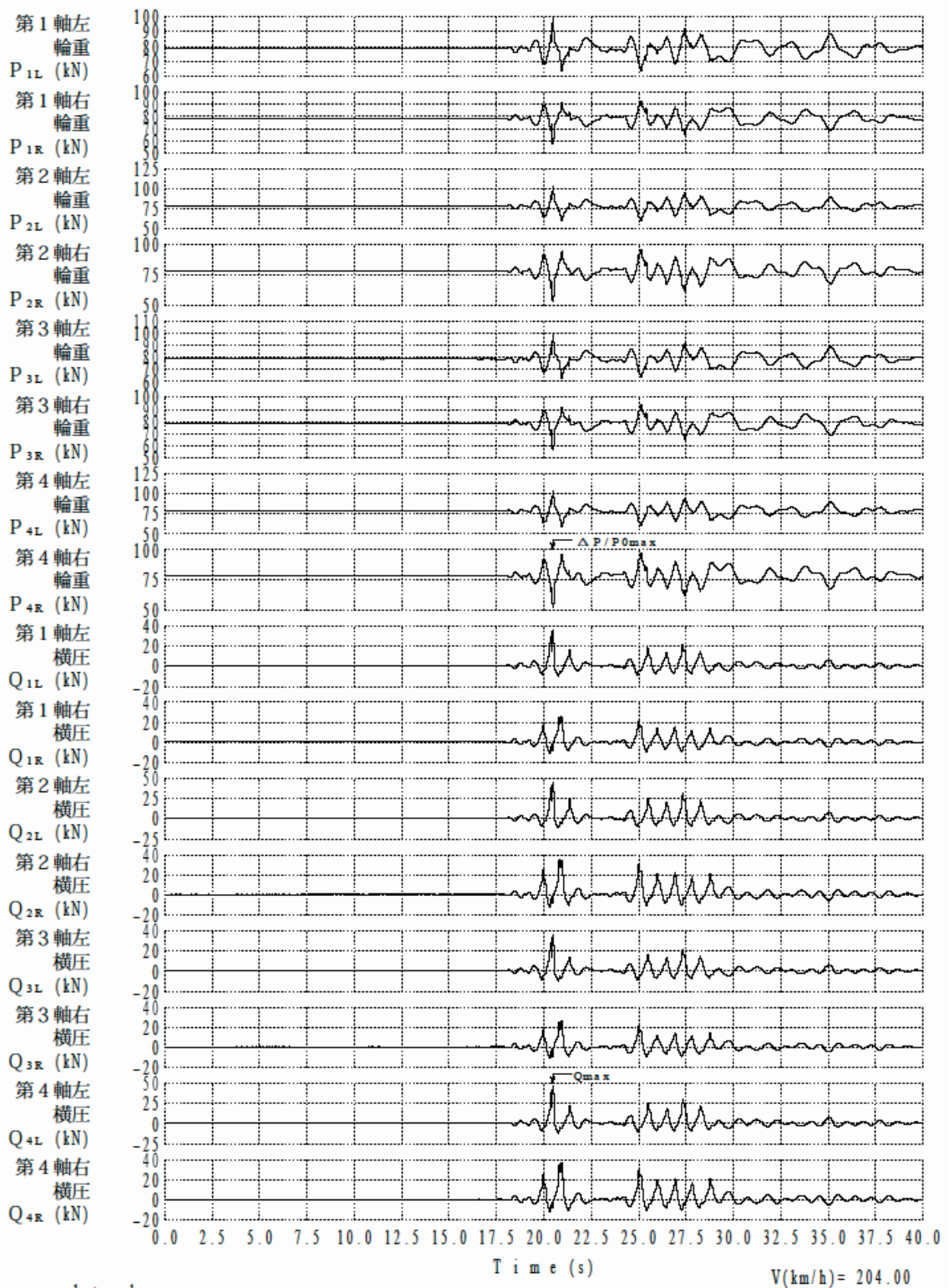
図9 (その1) 非脱線区間シミュレーション結果：長岡R8 200系空車 速度204km/h



(b) 車体左右・ロール，第1台車左右・ロール，第1軸左右・ロール，加振左右の各変位
 図9 (その2) 非脱線区間シミュレーション結果：長岡R8 200系空車 速度204km/h

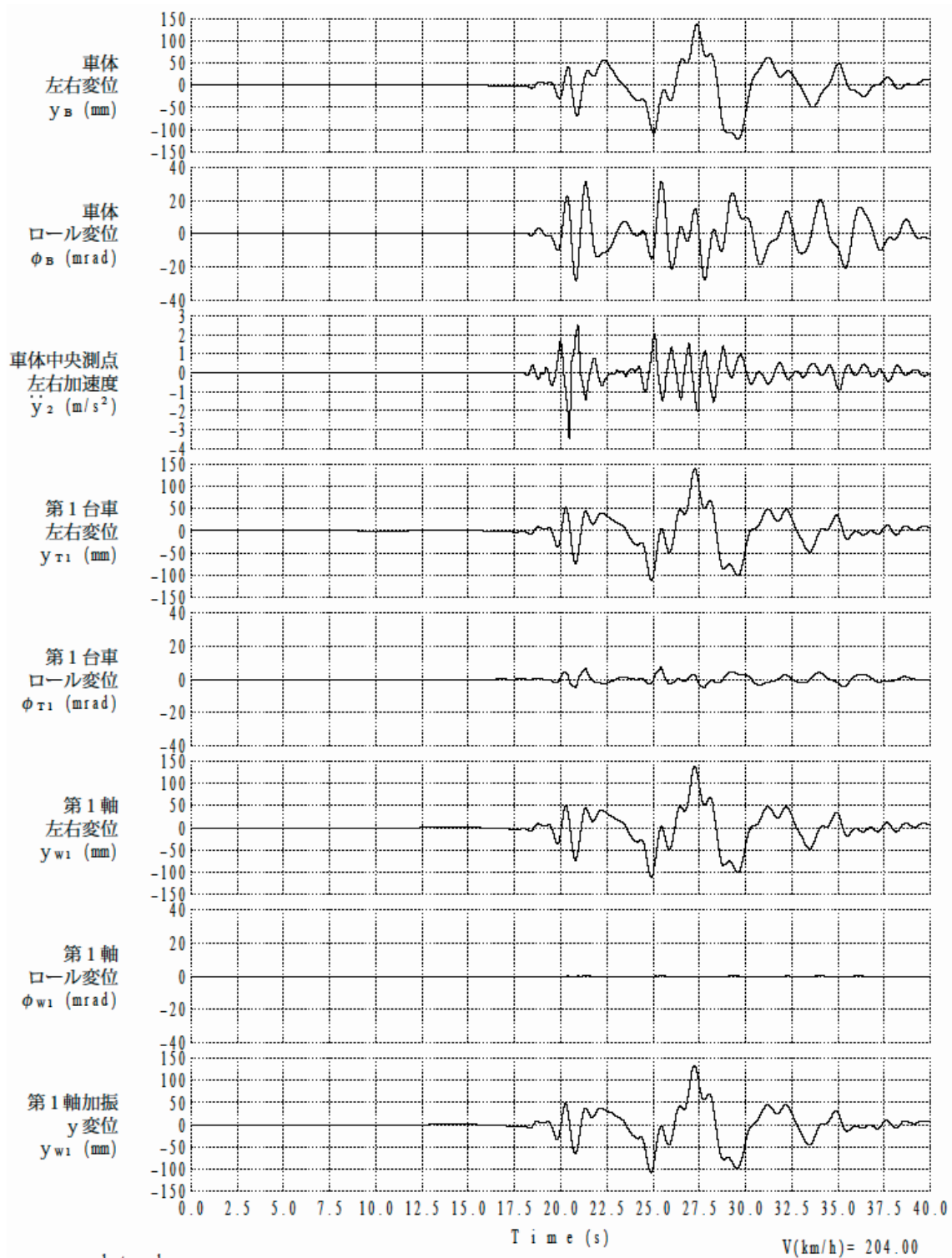


(c) 第1軸の輪重・横圧，車輪/レール相対左右変位，車輪上昇量，加振左右変位
 図9 (その3) 非脱線区間シミュレーション結果：長岡R8 200系空車 速度204km/h

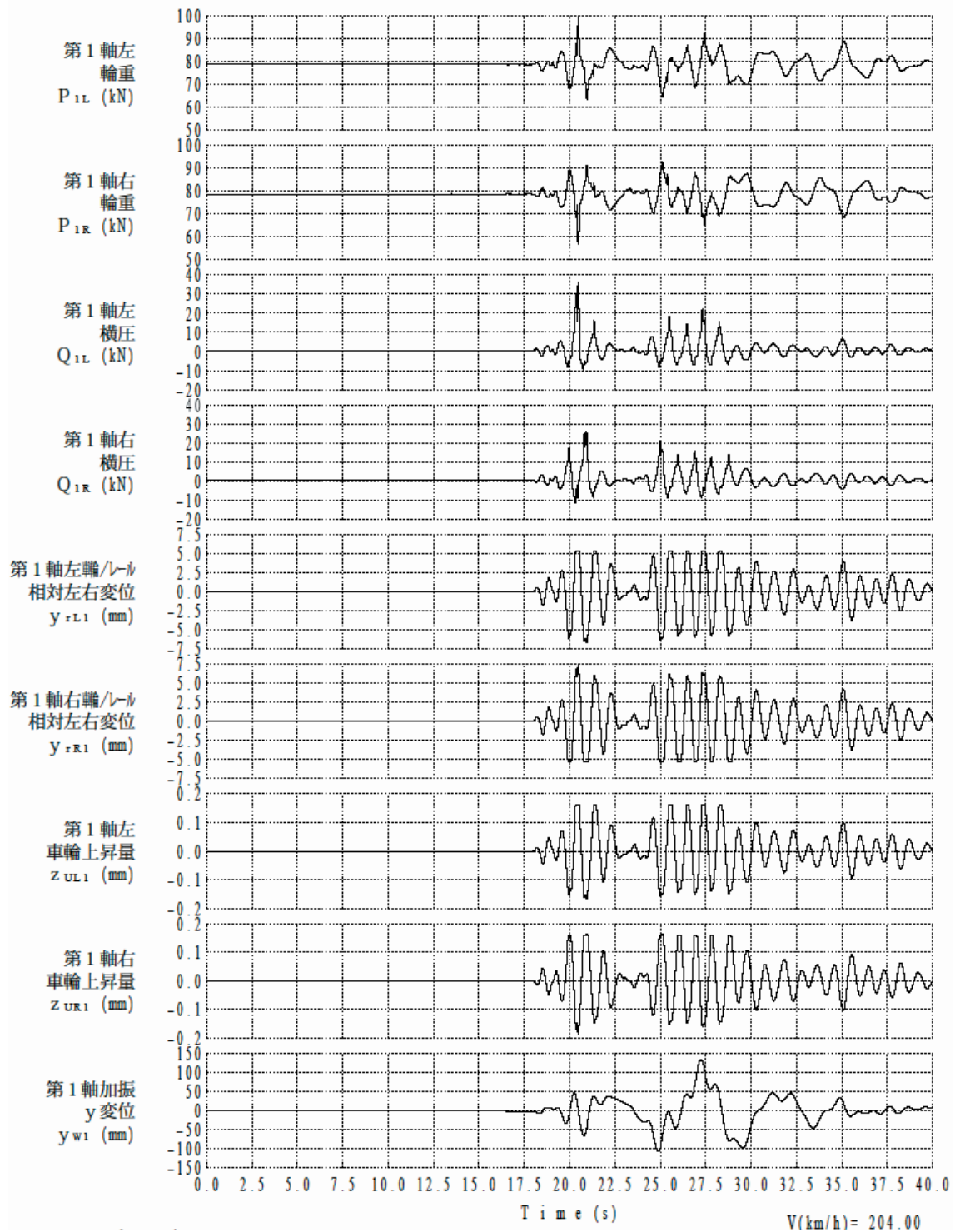


(a) 各軸の輪重・横圧

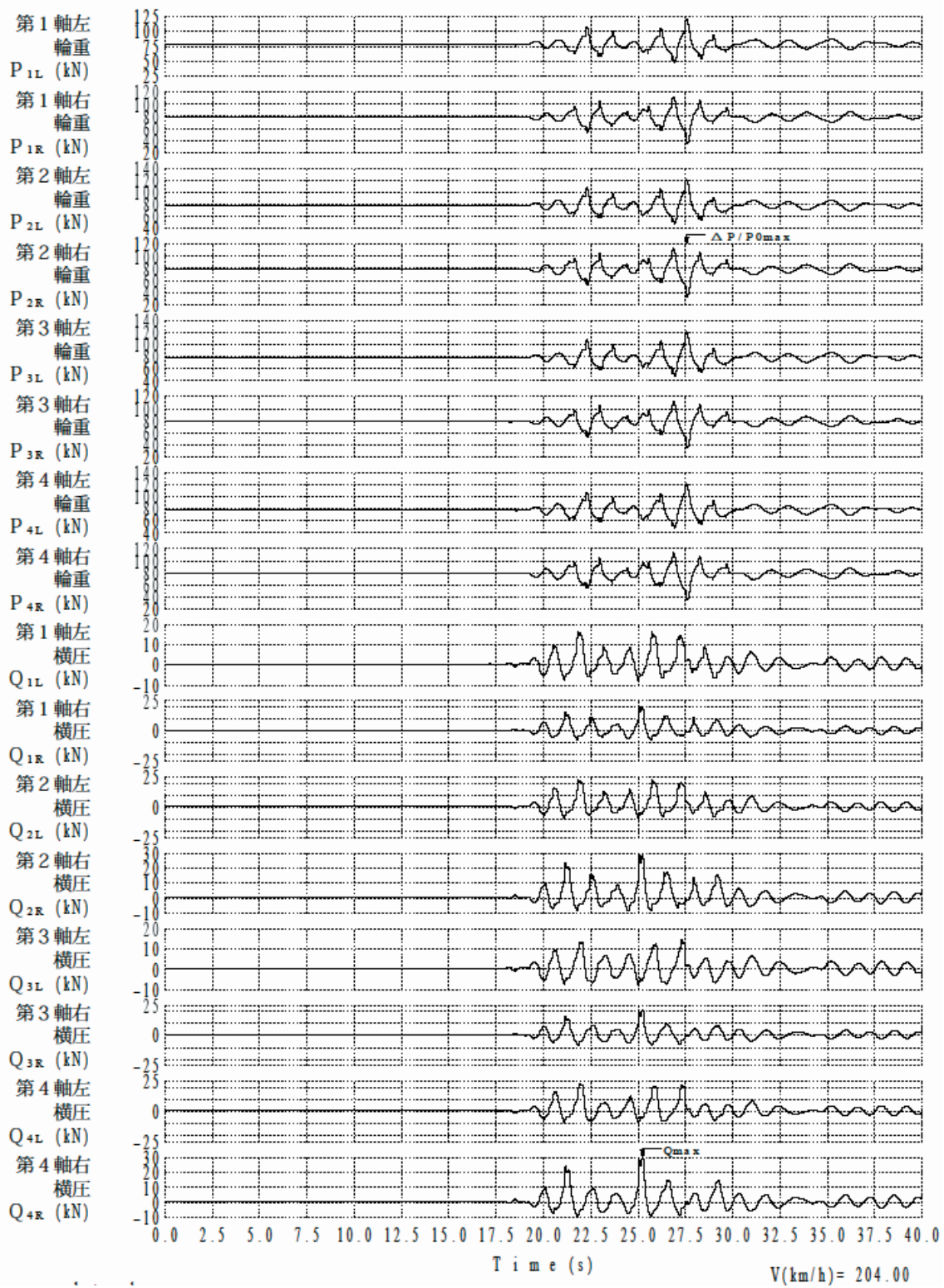
図10 (その1) 非脱線区間シミュレーション結果：第1袋町1P 200系空車 速度204km/h



(a) 車体左右・ロール，第1台車左右・ロール，第1軸左右・ロール，加振左右の各変位
 図10 (その2) 非脱線区間シミュレーション結果：第1袋町1P 200系空車 速度204km/h

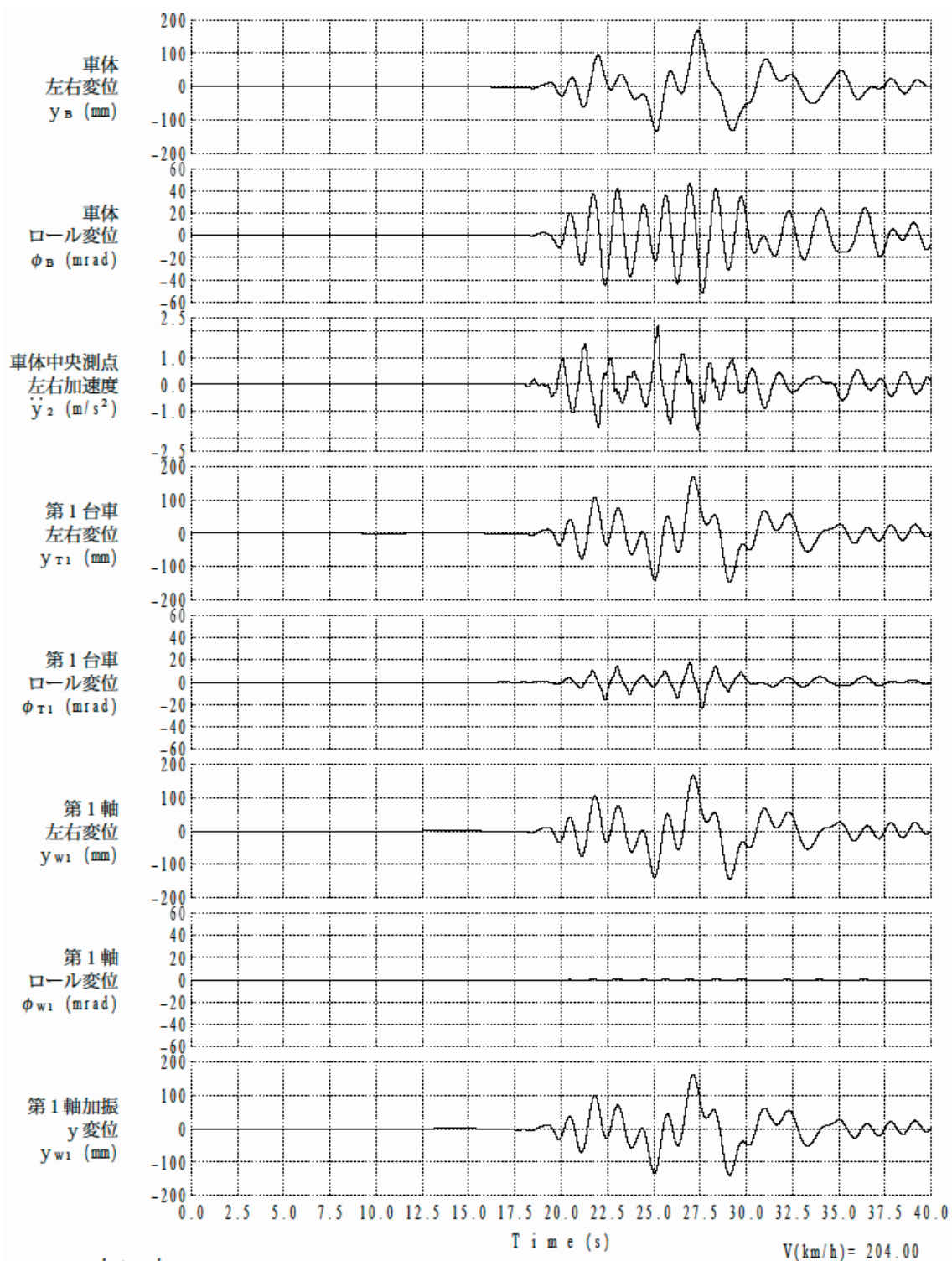


(b) 第1軸の輪重・横圧，車輪/レール相对左右変位，車輪上昇量，加振左右変位
 図10 (その3) 非脱線区間シミュレーション結果：第1袋町1P 200系空車 速度204km/h

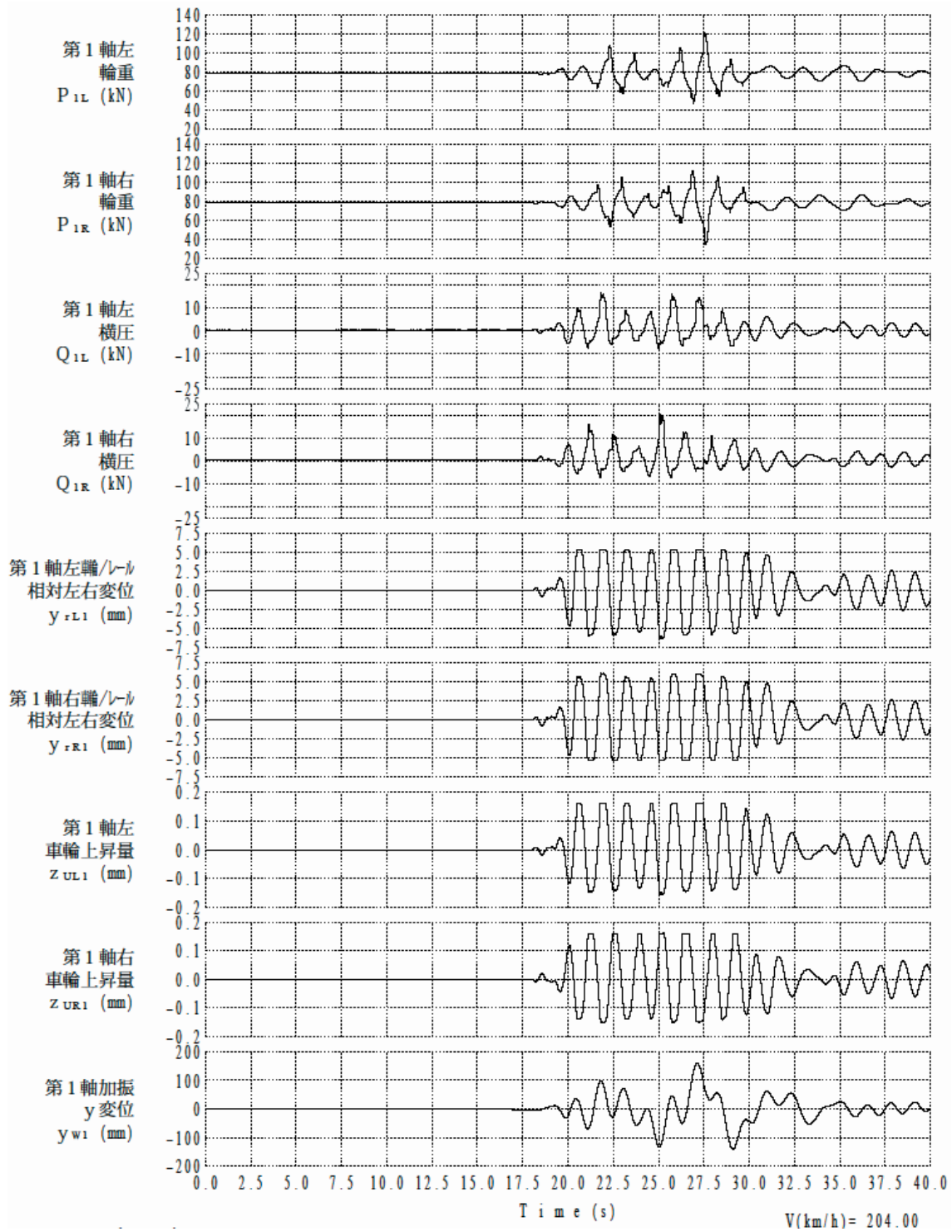


(a) 各軸の輪重・横圧

図11 (その1) 非脱線区間シミュレーション結果：第1袋町R2 200系空車 速度204km/h



(b)車体左右・ロール，第1台車左右・ロール，第1軸左右・ロール，加振左右の各変位
 図11 (その2) 非脱線区間シミュレーション結果：第1袋町R2 200系空車 速度204km/h



(c) 第1軸の輪重・横圧，車輪/レール相対左右変位，車輪上昇量，加振左右変位
 図11 (その3) 非脱線区間シミュレーション結果：第1袋町R2 200系空車 速度204km/h