

構造物境界部におけるバラスト軌道の地震時残留変位

(株) テス 正○浅沼 潔 鉄道総研 正 曾我部正道 鉄道総研 正 桃谷 尚嗣
 鉄道総研 正 渡辺 勉 鉄道総研 正 後藤 恵一 鉄道総研 正 徳永 宗正

1. 目的 構造物上のバラスト軌道の地震時の変形挙動は、地震動による横揺れ、即ち構造物の応答加速度と構造物境界における不同変位（角折れ、目違い）の影響を同時に受けることとなる。特に構造物が非線形化する L1 レベルを超える地震動が生じた場合、不同変位の影響が大きくなり、バラスト軌道の地震後の残留変位が増加することが予測される。しかしながら、振動変位と不同変位は、構造物上において同時に連成して発生するため、その組み合わせは、構造物境界前後の構造物の振動特性、非線形性に依存することとなり、一般化を試みすることは必ずしも容易ではない。以上のような背景から、本研究では構造物の地震後の残留変位を予測するためのノモグラムを作成するとともに、延長 8km の高架橋モデル線区において残留変位の卓越箇所の抽出を試みた。

2. 地震後の残留変位に関するノモグラム (1) 解析手法 構造物不同変位の影響を考慮したバラスト軌道の地震時変形挙動に関する性状を把握するために、正弦波加振と単純な角折れ、目違いを組み合わせた検討を行いノモグラムを作成した。図-1 に地震後の残留変位に関する解析モデルを示す。筆者らが開発してきた解析プログラムは、任意形式のバラスト軌道及び構造物を三次元 FEM によりモデル化するとともに、常時及び地震時における道床横抵抗力特性を詳細に評価し、温度変化や地震動に伴う軌道の座屈・大変形挙動を定量的に検討することができる¹⁾。図-2 にバラスト軌道のモデル化の例を示す。地震時の道床横抵抗力特性は、加振開始時から構造物応答加速度最大時まで、時間経過に対して線形に最終道床横抵抗力を減少させることによりモデル化した。構造物境界の影響を受けない一般部については、一般部加振開始後最初のピークにおいて最終道床横抵抗力が 10kN/m から 8kN/m に低下するように道床横抵抗力を設定した。

構造物境界部前後に関しては、構造物境界を 2.5kN/m の最小値とし、一般区間に至るまでの距離に対して線形に減少させることとした。構造物境界の影響範囲は前後計 5m とした。

(2) 解析結果 図-3 に最大加速度、角折れ、目違いと残留変位の関係を示す。最大加速度を変化させた正弦波加振 5 波 (200～800gal)、及び構造物境界部に角折れ 10, 20, 40, 60mrad 又は目違い 20, 40, 60, 80mm を生じさせる動的変形挙動解析を行った。図から、最大加速度、角折れと残留変位の関係については、角折れが 40mrad 程度以上に達すると残留変位が大きくなる傾向を示すこと、角折れが 20mrad 程度の場合においても最大加速度が 600gal 程度以上に達すると残留変位は大きくなることなどが分かる。最大加速度、目違いと残留変位の関係については、目違いが 60mm 程度以上に達すると残留変位は大きくなる傾向を示すことが分かる。

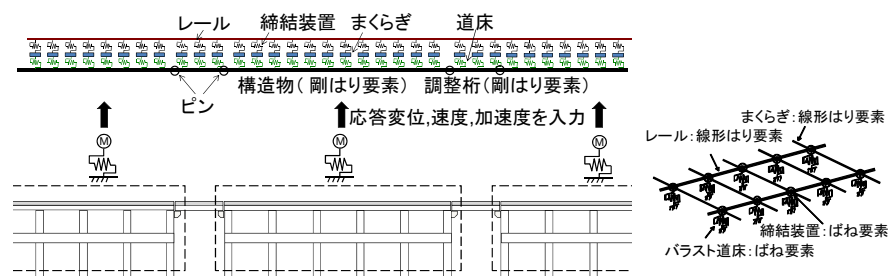


図-1 地震後の残留変位に関する解析モデル

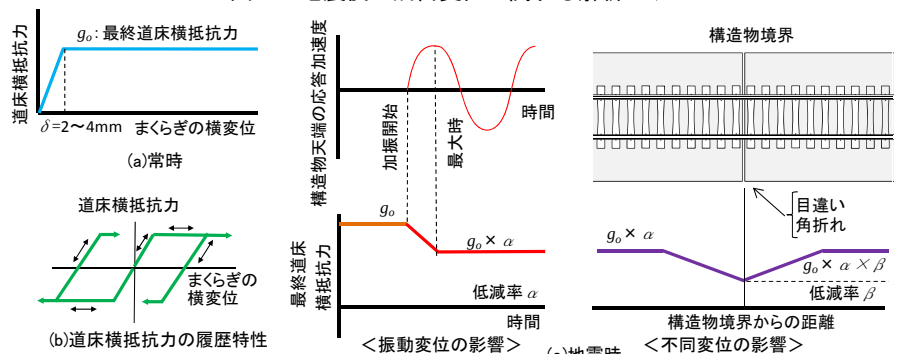


図-2 軌道の道床横抵抗力

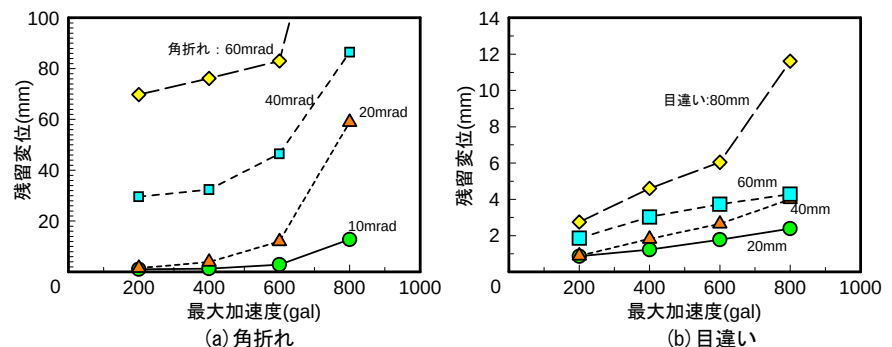


図-3 地震後の残留変位に関する解析結果

3. モデル線区における残留変位の推定

(1) 解析手法

バラスト軌道区間における座屈危険箇所を推定するため、延長 8km の高架橋モデル線区を作成して地震応答解析を行い、構造物の応答加速度と角折れ、目違いの関係を整理するとともに、これにより生じる残留変位を推定した。図-4 に解析モデルを示す。高架橋の構造形式や連続条件は、実際のバラスト軌道区間の構造物を参考に設定した。高架橋の柱の非線形性は、予めプッシュオーバー解析により骨格線を求めておき、これに基づき重心位置に標準型トリリニア型の非線形水平及び回転ばねを設けて考慮した。構造物

の減衰定数は 5% とした。地震動は、図-5 に示す鉄道構造物等設計標準・同解説（耐震設計）²⁾で示されている、海溝型の L2 スペクトル I 及び内陸活断層型の L2 スペクトル II とした。

(2) 解析結果

図-6 にノモグラムを用いた残留変位の算定結果を示す。残留変位を算定するノモグラムは、図-3 に基づき作成した。地震動の大きさを図-5 に示した波形の 15% から 50% に変化させた場合には、構造物の加速度と角折れ、目違いがともに線形に増加している。また、地震動の大きさが 50% から 100% に増加した場合には、構造物が降伏して角折れ、目違いが急速に増加すること等が分かる。これらの応答値を、ノモグラムと比較することにより、残留変位の生じやすい箇所を分析することができる。例えば海溝型 L2 スペクトル I の結果について着目すれば、角折れに関しては A, B, C の地点が、目違いに関しては a, b, c の地点が残留変位の発生しやすい箇所と推定できる。図-7 に構造物諸元と応答値を示す。図-7 及び図-4 に、図-6 に示した 6 地点が実際の線区ではどのような条件かを示した。これらの地点では、前後の等価固有周期の差が大きい、或いは降伏震度が高いなどの特徴が確認できる。図-6 で示したノモグラムは、推定法全体の精度を勘案すると、絶対量ではなくあくまで相対的な残留変位の生じやすさを推定するツールであると位置づけられるが、構造物の加速度と角折れ、目違いの複合要因を考慮した相対的な残留変位の発生しやすさの推定に関しては、一定の精度で活用できると考える。

4. まとめ

① 軌道の座屈・大変形挙動解析プログラムを用いて、構造物の天端の応答加速度と、角折れ、目違いから軌道の残留変位を推定するノモグラムを作成した。② 同ノモグラムを用いて、長さ 8km におけるバラスト軌道の残留変位発生箇所を試算し、当該箇所の構造物の諸元との関係を整理した。

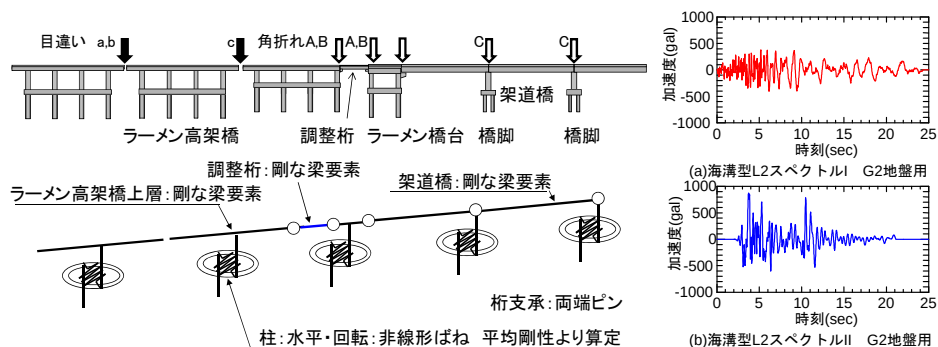


図-4 構造物の応答値の解析モデル

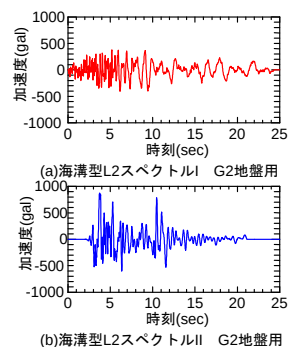


図-5 解析に用いた地震動

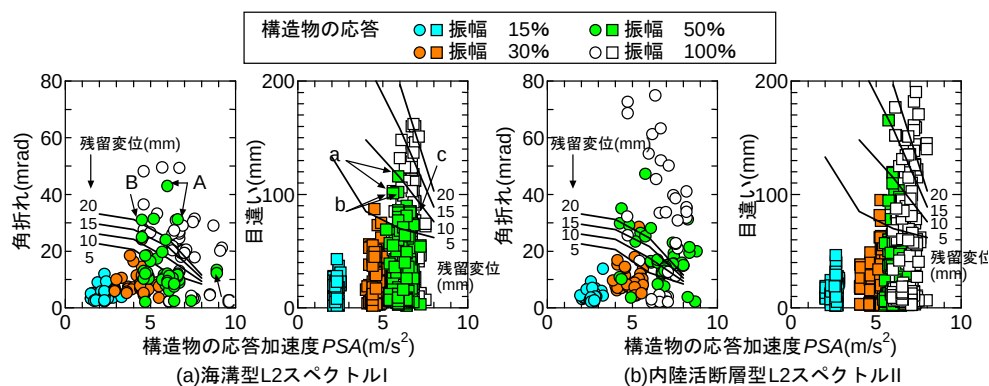


図-6 ノモグラムを用いた残留変位の算定結果

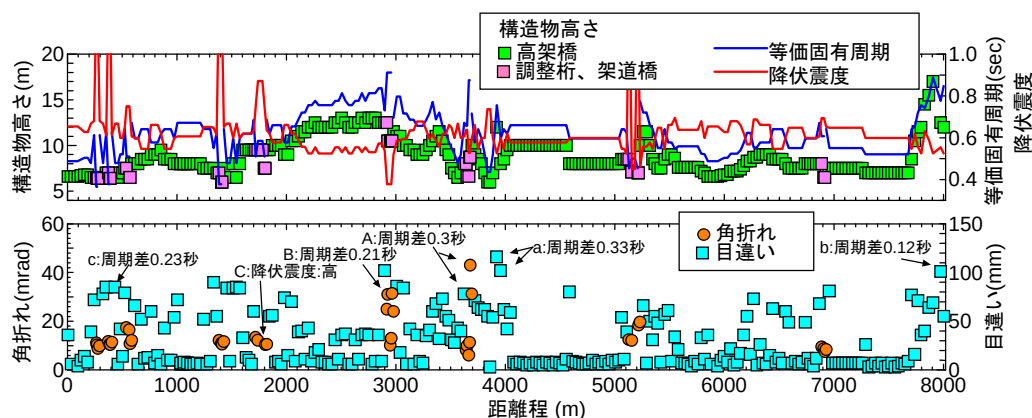


図-7 構造物の諸元と応答値