

長大支間長を有する鋼連続合成桁の列車走行性の検証

○鉄道・運輸機構 正会員 横山秀喜 正会員 中野雄哉 正会員 南邦明
鉄道総研 正会員 徳永宗正 日本交通技術 岡田裕二

1. はじめに

鉄道構造物は、部材に十分な耐荷性能を持たせると同時に適度な剛性を持たせ、構造物上を走行する鉄道車両の走行性や乗り心地が保たれるように構造物の変位を一定以内に収めなければならない。さらに、地震時においても列車走行性に有利な構造物であることを基本とし、適切な性能を定めて照査しなければならない。そのため、変位標準¹⁾では、L1地震動を尺度として立地条件や構造物の重要度、経済性等を考慮しながら、地震時の列車走行性に有利な構造物を採用することにより、脱線に至る可能性をできるだけ低減することとしている。

最近の整備新幹線の鋼構造物は、交差物件との交差角の影響により、長大な支間長を有する鋼連続合成桁を採用する事例が増えてきている。それらの構造物においても上記思想のもと設計を行っているが、長大支間長の連続合成桁は適用実績が少なく、常時および地震の列車走行性が不明であった。本稿は、長大支間長を有する鋼連続合成桁において、車両、軌道および構造物の動的相互作用を考慮した構造解析法（走行シミュレーション）により走行性に関する直接的な指標を用いて、常時および地震時の列車走行性の評価を行ったものである。

2. 検討内容

検討した橋梁は、複線の新幹線を支持する鋼連続合成箱桁(1箱断面)のA橋とB橋である(表1)。なお、走行安全性の数値解析には、新幹線車両と鉄道構造物の動的相互作用解析プログラムDIASTARSHI (Dynamic Interaction Analysis for Shinkansen Train And Railway Structures)を用いた。

表1.検討構造物(連続合成桁)の諸元

名称	橋長(支間長)(m)	桁高(m)	地盤種別	備考
A橋	335(66.65+2×92.00+81.65)	4.2(床板含む)	G2地盤	P3が柱間隔44.5mの鋼製門型橋脚
B橋	235(67.45+110.00+54.85)	5.2(床板含む)	G5地盤	

常時の列車走行性は、16両編成のH-11荷重を用いて50～550 km/hの96通りの速度および進入方向を変えた上下線単線載荷で構造物応答(曲げモーメント、たわみ)および車両応答(鉛直加速度、輪重減少率)を算定した。なお、構造物の安全性の評価は、構造物応答より求まる動的応答倍率(衝撃係数)を指標とし、整備新幹線の設計速度である260km/hの値で評価した。乗り心地の検証は、車両応答を指標として260km/hの値で評価した。

地震時の列車走行性は、各構造物の地盤種別に応じた耐震標準²⁾で示されている地盤種別に応じたL1地震動を入力地震波として用い、車両応答(脱線限界)により検証した。なお、入力地震動は、脱線脱限界加速度を評価するため、加振振幅を0.1～3.0倍の30通りに調整した。

3. 常時の検討結果

常時の構造物応答のうち、桁径間中央部の正曲げモーメントの値とその衝撃係数を図1.に示す。両橋梁とも側径間長が異なるため、その影響から載荷方向および径間によって応答値が異なるのが分かる。A橋は、上り線載荷、下り線載荷とも260km/h程度から曲げモーメントの値が上昇し始め、340km/hを超えると急激な上昇がみられ420～440km/hにピークを迎えている。特に退出側の径間に関しては、320km/h程度に小さな増幅の波形の後、急激に上昇した。衝撃係数は、340km/h付近で0.7を超える傾向があった。260km/hの衝撃係数は、0.054～0.264で

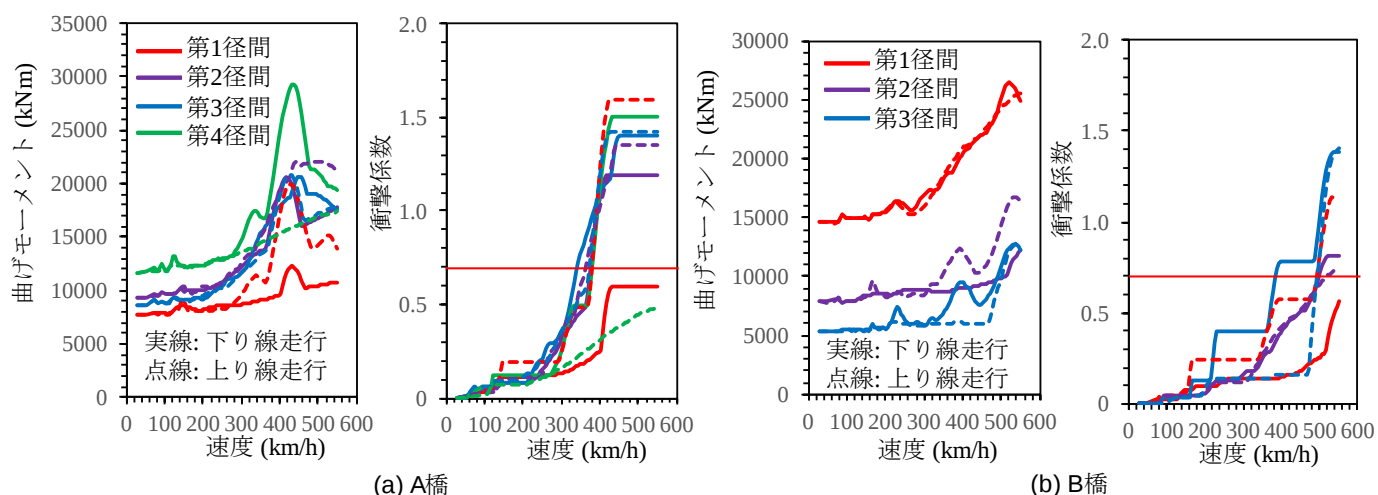


図1.常時の構造物応答および衝撃係数

キーワード：整備新幹線、高速鉄道、走行シミュレーション、衝撃係数、走行安全性

連絡先：〒231-8315 横浜市中区本町6-50-1 鉄道・運輸機構 TEL 045-222-9082

あり、設計で用いた衝撃係数0.142～0.459に比べ、小さい値であることが分かった。B橋は、進入側の径間は、450km/h程度まで概ね一定の値を示し、その後急激に上昇する。中央径間は260km/h程度から上昇に転じ、500km/hを超えてピークを迎えている。退出側の径間は、400km/h時に増幅の波形が生じた後450km/hから上昇し、500km/hを超えてピークを迎えている。衝撃係数は、380km/hで0.7を超える傾向があった。260km/hの衝撃係数は、0.059～0.396であり、設計で用いた衝撃係数0.114～0.503に比べ、小さい値であることが分かった。

常時の車両応答結果を表2.に示す。両橋梁とも260km/hの車体加速度および輪重減少率に関しては、乗り心地の限界加速度（2.0m/s²）および走行安全性の限界値（0.37）を下回る結果が得られた。

表2.常時の車両応答結果											
橋梁名	検証項目	载荷方向	30km/h	100km/h	150km/h	200km/h	260km/h	320km/h	400km/h	500km/h	制限値
A橋	車体加速度 (m/s ²)	上り線	0.01	0.07	0.14	0.21	0.34	0.65	1.14	1.38	2.0
		下り線	0.01	0.07	0.15	0.20	0.36	0.58	1.18	1.51	
	輪重減少率	上り線	0.001	0.010	0.020	0.048	0.052	0.123	0.127	0.277	0.37
		下り線	0.001	0.007	0.016	0.028	0.033	0.085	0.118	0.191	
B橋	車体加速度 (m/s ²)	上り線	0.00	0.03	0.07	0.10	0.19	0.31	0.54	0.85	2.0
		下り線	0.00	0.04	0.07	0.10	0.19	0.31	0.53	0.81	
	輪重減少率	上り線	0.000	0.003	0.006	0.010	0.017	0.026	0.044	0.064	0.37
		下り線	0.000	0.005	0.009	0.010	0.018	0.033	0.039	0.123	

A橋は、中間のP3橋脚に鋼製門型橋脚（柱はCFT柱）を採用している。整備新幹線の構造物において、44.5mの柱間隔および柱高さ19.3m、負担径間2x92mという巨大な構造物は初めての適用であり、これまで示した上部構造物の応答と同時に橋脚の構造物応答の影響も検討した。

図2.に、A橋P3橋脚の常時の結果を示す。衝撃係数の値は、検討したすべての速度域で0.7を下回った。260km/h時の値としては0.053～0.062であり、設計にて考慮した0.183を下回る結果であった。

4. 地震時の検討結果

橋梁位置における脱線限界入力地震動倍率を図3.に示す。図3.は、上り線载荷および下り線载荷の全ての値を記載しており、青い点が入力地震動倍率（縦軸）における脱線位置（横軸が線路方向）を示している。両橋梁ともL1地震動（入力倍率が1倍）では、脱線が生じない結果が得られた。なお、A橋は、上り線载荷時にP1付近において1.4倍程度で脱線が生じている。これは、橋梁からの退出時の折れ角が要因となって脱線限界入力倍率が低くなったものと考えられる。B橋は、上り線载荷時に第1径間において1.1倍程度で脱線が生じている。また、全体的に脱線限界入力倍率が低いところから脱線が生じている。これは、軟弱地盤であるG5地盤の影響が要因と考えられる。

5. まとめ

長大支間長を有する鋼連続合成桁（A橋およびB橋）において、走行シミュレーションにより常時および地震時の列車走行性の評価した結果、整備新幹線の設計速度260km/hにおいては、常時の走行安全性および乗り心地を満足し、L1地震動相当において地震時走行安全性を満足する結果が得られた。

参考資料：

- 1)鉄道構造物等設計標準・同解説 変位制限 鉄道総研 H18.2
- 2)鉄道構造物等設計標準・同解説 耐震設計 鉄道総研 H24.9

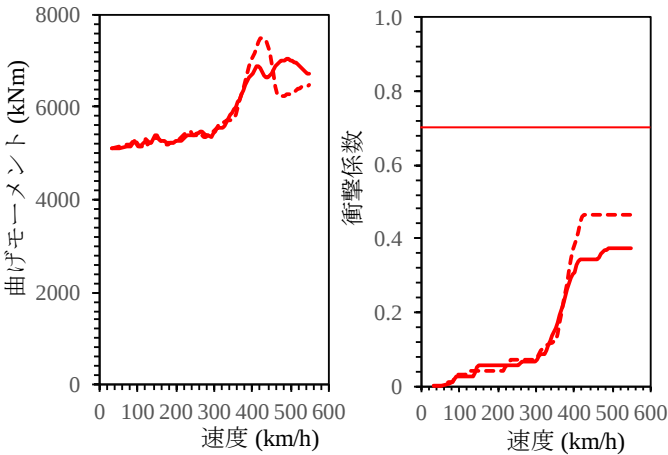


図2.A橋P3橋脚の常時の結果

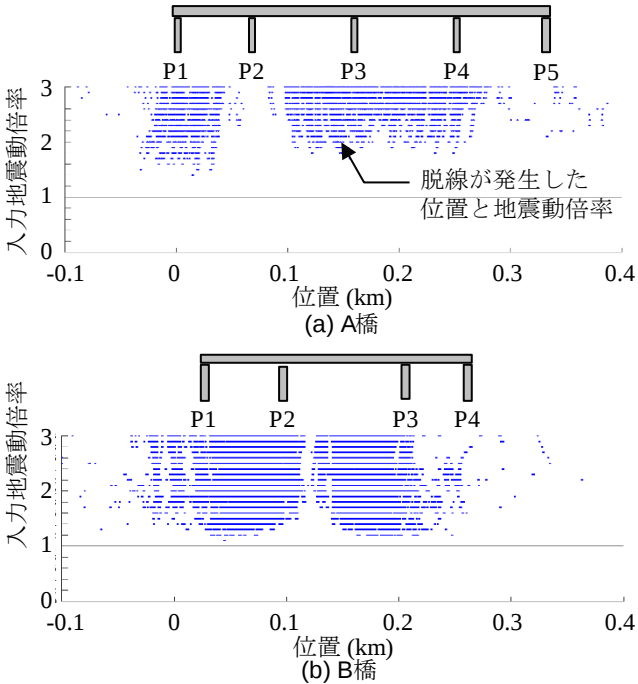


図3.橋梁位置と脱線限界入力地震動倍率の関係