

新幹線走行に伴う PRC 橋の共振現象の TMD による振動制御効果の検証

東京大学	学生会員	○山本 悠人
東京大学	正会員	水谷 司
東京大学	正会員	蘇 迪
東日本旅客鉄道株式会社構造技術センター	正会員	内田 雅人

1. はじめに

ある新幹線高架橋（PRC 4 主桁構造）で新幹線の走行に伴う桁の共振現象が報告されている．既報[1]によるとこの橋梁は新幹線通過時にひび割れを許容する設計となっており，車両の走行中にこのひび割れによる剛性低下によって橋梁の固有振動数（3.0Hz）が低下し，新幹線走行による加振振動数（時速約235km=2.6Hz）と近い値を示すことで共振が発生しているとされている．本研究ではひび割れが由来となる振幅による剛性低下といった非線形な構造システムを有する橋梁に対し，TMD（同調質量ダンパー）を用いた制振手法の効果の確認を行う．

2. 構造物モデル

図 1 に作成した構造物モデルを示す．有限要素モデルは主桁の上フランジ，RC スラブ，防音壁の基盤をシェル要素，主桁のウェブ+下フランジ，横梁，レールをはり要素で作成した．スラブ路盤はシェル要素を厚くすることでモデル化し，防音壁は重量のみを考慮した．境界条件は道路橋支承便覧[2]に基づきゴム支承をばね要素モデル化した．横梁とシェル要素との結合は節点を共有し，主桁上フランジとウェブのはり要素との結合は剛体を用いた多点拘束結合を行った．メッシュの橋軸方向代表長さは 0.05m，モデルの自由度は 65,262 となった．車両はレール上に移動荷重を分布させ動的解析の時間間隔を変化することで新幹線の 200～250km/h の各走行速度を再現した．このモデルで固有値解析を行うと 1 次曲げモードが 2.94Hz，1 次ねじれモードが 4.32Hz と衝撃応答試験から得られた固有値解析結果とほぼ一致する結果となった（表 1）．非線形性としてひび割れによる剛性低下を再現するため，ウェブ+下フランジをモデル化しているはり要素にひび割れ点周りの

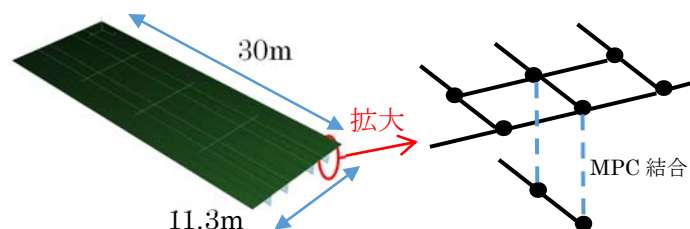


図 1 モデルの全景（左）とはり要素の結合（右）

表 1 固有振動数の比較

モード次数	固有振動数	
	解析値	実測値
曲げ 1 次	2.94 Hz	3.00 Hz
ねじれ 1 次	4.32 Hz	4.52 Hz
ねじれ 2 次	11.67 Hz	11.72 Hz

モーメント-曲率（ $M-\varphi$ ）関係をバイリニアの非線形弾性特性として導入した．

3. 解析結果：車両の走行応答結果

今回は汎用有限要素コードである Abaqus6.14 を用いて解析を行った．車両走行応答の再現はたわみが最大の応答を示す下り線走行を再現した．TMD を導入していないモデルを用いて走行応答の再現を行ったところ，主桁の最大たわみは速度 234km の時に 19.6mm となった．この結果と過去に行った計測データと比較したものが図 2 であり，概ね対象とする橋梁の新幹線走行応答を再現することができている．

4. TMD の導入と制振効果の確認

構造システムが非線形であるため，制振の対象とするべき振動数の範囲（共振領域）が線形の構造システムよりも広がる．STMD は質量を 1 次曲げモード質量の 1%，新幹線速度 235km/h を制御の対象として定点理論により剛性・粘性のパラメタを設定した．MTMD は合計質量を 1 次曲げのモード質量の 1%（約 6 トン）とし，210-250km/h まで 10km/h づつの速度を対象とした 5 つの TMD を桁中央に設置

キーワード 非線形解析 振動制御 TMD 新幹線高架橋 PRC 桁

連絡先 〒113-8654 文京区本郷 7-3-1 東京大学本郷キャンパス TEL：03-5841-6099

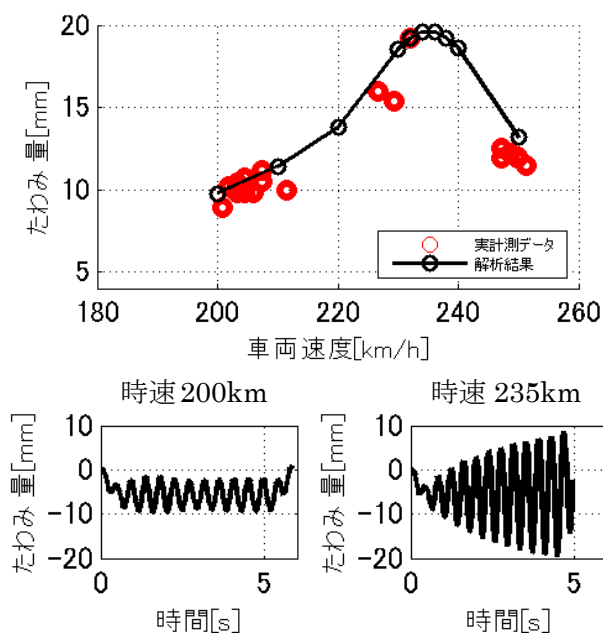


図 2 走行応答結果の比較と非共振，共振時波形
表 2 TMD の設計諸元

	制御速度 [km/h]	剛性[kN/m]	減衰[N/m・s]
STMD			
TMD	235	1750	13000
MTMD			
TMD1	210	279	2320.9
TMD2	220	307	2434.6
TMD3	230	335	2543.2
TMD4	240	365	2654.6
TMD5	250	396	2765.1

した．各 TMD のパラメタを表 2 にまとめる．

各 TMD の制振効果は図 3 のようになった．STMD，MTMD 共に最大変位となる走行時速 235km では最大変位が 40%以上低下し，約 10mm となった．これは STMD，MTMD を適用することで今回対象とする PRC 桁の乗り心地指標 17.6mm の変位以下にできる可能性があることを意味している．他の速度では例えば走行速度が 240km/h では MTMD に比べ STMD が高い制振効果を持ち，設計通りの制御対象となる速度の範囲が広い振動制御を持っていることを確認することができた．新幹線の桁上空間には走行のための建築限界があり，TMD の鉛直方向の変位を 1.8m 以下，幅を 0.6m 以下にする必要がある．MTMD を導入したモデルでは，例えば中央の TMD3 の新幹線速度 230km/h での応答が図 4 のようにな

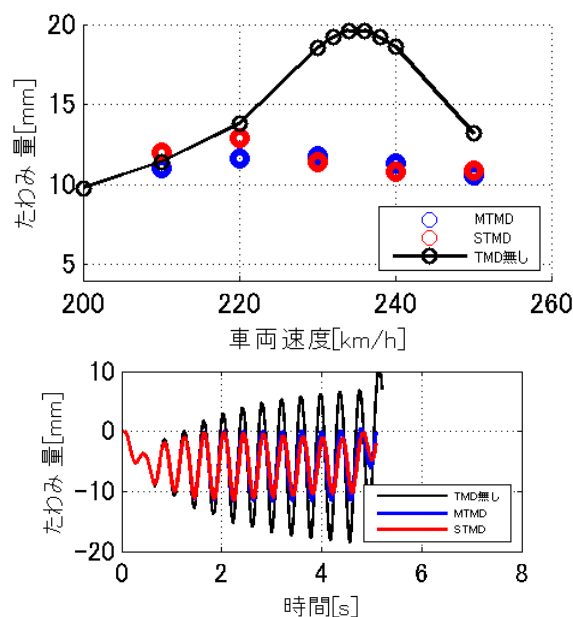


図 3 車両速度とたわみ量の関係(上)と 235km/h での制振効果 (下)

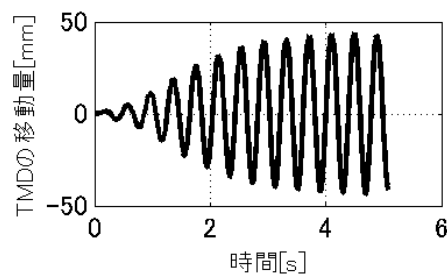


図 4 時速 235km における TMD3 の移動量

っており，TMD の最大変位は±約 40mm である．このため MTMD は十分に適用可能な振動制御装置であることが確認できた．

5. まとめと導入に向けた課題

通常使用状態での活荷重(新幹線の車両の荷重)が 50t であるのに対し，総重量が約 6t である TMD を用いて十分に走行に伴う共振を制御できることを確認した．実際に TMD を導入する際に考慮すべき事項としてこの橋梁が気温により最大で 3%ほど固有振動数が変化し，最大応答を示す走行速度が変化すると報告されている[1]ことに注意する必要がある．この原因はわかっていないが，判明した後に対応するパラメタを変更し，今回の設計が変わらず高い振動制御効果を発揮するか確認する必要がある．

参考文献

- 1) 中須賀ら：新幹線高架橋 PRC 桁の大振幅振動メカニズムの解明と構造特性の長期トレンドの分析，構造工学論文集 Vol.62A，42-50，2016
- 2) (社) 日本道路橋協会：道路橋支承便覧，2004