人道橋やホーム桁の振動使用性に対する振動測定と照査方法に関する検討

○東日本旅客鉄道株式会社　正会員　黒田 智也
東日本旅客鉄道株式会社　正会員　山田 正人

1. はじめに

一般的に人道橋やホーム桁は，道路橋や鉄道橋に比べて剛度が小さいため，歩行者等の活荷重に対して鉛直たわみや桁の固有振動数に対する照査を行っている．長支間の人道橋等を設計する場合，桁の固有振動数が人間の歩調域である 2Hz 前後になる事が多く，これまで，固有振動数調整法や桁の単位死荷重に着目した振動使用性の検討が行われている[1)2)]．

今回，筆者らは既存の人道橋やホーム桁を対象として，歩行者通行時の桁の振動測定を実施し，桁の振動数の把握と共に既往の検討[1)]で示される，振動速度と桁の単位死荷重との関係について実橋の測定結果を用いた検討を行ったので報告する．

2. 現状の問題点

桁の固有振動数は，一般的に文献[3)4)]に示されるたわみ振動の式を用い算出される．算出した桁の固有振動数が人の歩調域である 2Hz 前後(歩調域 1.5～2.3Hz，以下，歩調域)となった場合，桁の剛性を見直し共振の発生を避けるのが一般的である．

表-1 は桁の固有振動数が人の歩調域となったため，桁の剛性を見直した一例である．**表-1** に示すように，共振を回避するため桁剛性の増加を図ることは，上部工のコスト増（設計例では 3 割増）や鋼重増（設計例では 4 割増）に伴う下部工構造への影響等，不経済な設計となる場合もあるため好ましい対策とは言いがたい．よって，桁の振動使用性の照査について，従来の固有振動数による方法に加え，より効果的な照査方法を検討する事が有効である．

3. 振動測定概要

振動測定は，既存の桁の固有振動数を把握すると共に，既往の研究[1)]で示される，桁の単位死荷重と振動速度の関係を実橋による振動測定にて検証する事を目的とした．最終的には検討結果を用い，人道橋やホーム桁に対する新たな照査フローを検討・提案する．振動

表-1 桁剛性の見直しの例

No.	支間 (m)	主桁断面	固有振動数 f(Hz)	鋼重 (t/m)	コスト比率	備考
1	45.0	2100*500*16*28(SM490)	1.8	0.62	1.00	歩調域
2		2350*700*16*36(SM400)	2.4	0.89	1.33	見直し

表-2　振動測定対象　構造諸元

No.	橋梁	構造種別	構造形式	支間(m)		固有振動数 f(Hz)	m当たりの死荷重 (kN/m)	施工時期
1	A橋	こ線橋	2径間連続桁	46.2	12.4	-	-	平成10年
2					33.8	2.0	9	
3	B橋	こ線橋	単純桁	54.3		2.7	23	平成8年
4	C橋	こ線橋	単純桁	16.6		2.4	23	平成10年
5			2径間連続桁	72.7	47.8	1.7	42	
6					24.9	1.7	42	
7			単純桁	10.6		3.8	23	
8	D橋	ホーム桁	単純桁	29.2		5.3	21	平成24年
9				19.2		9.8	25	
10				11.4		9.3	26	

図-1　速度計と振動測定状況

測定の対象は，**表-2** に示す既存のこ線人道橋（A,B,C 橋）及びホーム桁（D 橋）の計 4 橋である．測定は，**図-1** に示すとおり歩行者が通行する日中時間帯において，通行床上に 3 成分速度計（NewPIC：ｼｽﾃﾑｱﾝﾄﾞﾘｻｰﾁ社製）設置し実施した．サンプリング周波数は 100Hz で 1 回 90 秒間/回を計 5 回連続計測した．

4. 振動試験結果

4.1 桁の（固有）振動数について

図-2 に桁の固有振動数と振動測定結果の相関を示す．ここで，桁の固有振動数（以下，計算値）とは，文献[3) 4)]にて算出した桁の固有振動数の事である．線形近似した結果，計算値 f' と測定結果 f は高い相関を示す事がわかる（相関関数 R^2=0.9211）．よって，計算値は，実橋の固有振動数を精度よく評価していると言える．ま

キーワード　固有振動数，歩行者共振，振動測定
連絡先　〒151-8512　東京都渋谷区代々木二丁目 2 番 6 号　構造技術センター　ＴＥＬ03-6276-1251

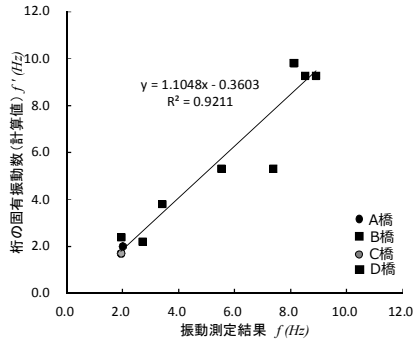

図-2 計算値と振動測定結果の相関

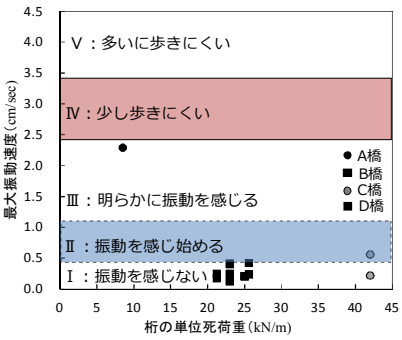

図-3 振動感覚の評価

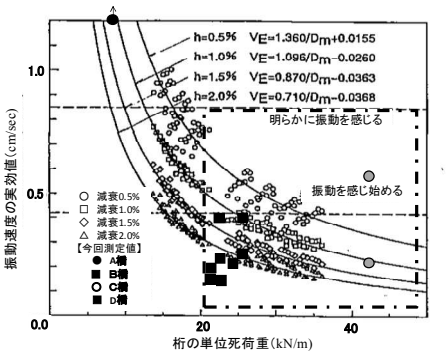

図-4 振動速度と単位死荷重の相関

た，計算値が歩調域にあった A 橋や C 橋では，測定の際 A 橋は強く振動を感じたが，C 橋はほとんど振動を感じなかった．振動測定の結果から歩調域にある桁においても，人が感じる振動に違いが見られ，桁の固有振動数以外の評価パラメータの検討が必要であることが明らかとなった．

4.2 桁の単位死荷重と振動速度の相関

既往の研究[1)]では，桁の単位死荷重や振動速度の相関が示されている．同様に今回の測定結果を桁の単位死荷重と振動速度で整理したものを**図-3** に示す．図中のⅠからⅣの区分は，振動に対する人の感覚を示している[1)]．今回，測定時に強く振動を感じた A 橋では最大振動速度 2.29cm/sec，振動をほとんど感じなかった B～C 橋の最大振動速度は 0.18～0.56cm/sec 程度で，桁の固有振動数が歩調域であった C 橋においては 0.22cm/sec，0.56cm/sec であった．A 橋の桁の単位死荷重が 10kN/m 未満に対し，C 橋は A 橋の 4.5 倍に当たる 42kN/m を有しており，両者の振動の感じ方の違いは，桁の単位死荷重が影響しているものと推測された．

次に，**図-4** は既往の研究[1)]において 2Hz 前後（1.5～2.5Hz）の固有振動数となる桁を対象とした固有値解析結果に本測定結果をプロットしたもので，桁の減衰定数を 0.5%～2.0%毎に単位死荷重と振動速度の相関を示している．ここで，桁の単位死荷重に着目すると，20kN/m 付近を境に振動の感じ方に違いが見られる．20kN/m 以上の領域（図中の一点鎖線の領域）では，解析値及び計測値を含めて「明らかに振動を感じる」のものは見られず，20kN/m 未満ではプロットが確認される．本測定でも 20kN/m 未満の A 橋は強く振動を感じ，20kN/m を超える B～D 橋は，振動をほとんど感じなかった．これは，振動には桁の死荷重比率が強く関係しており，死荷重比率が低い方がより振動を感じ易い傾向を示すと考えられる．以上より，振動使用性の照査において，桁の単位死荷重も評価パラメータとする事で，より効果的な照査が可能と考えられる．

5. 照査フロー

検討結果を踏まえ，**図-5** に人道橋やホーム桁に対する振動使用性の照査フロー(案)を示す．照査は従来通り固有振動数の照査を行い，固有振動数が歩調域になった場合は，桁の単位死荷重の照査を行う事とした．

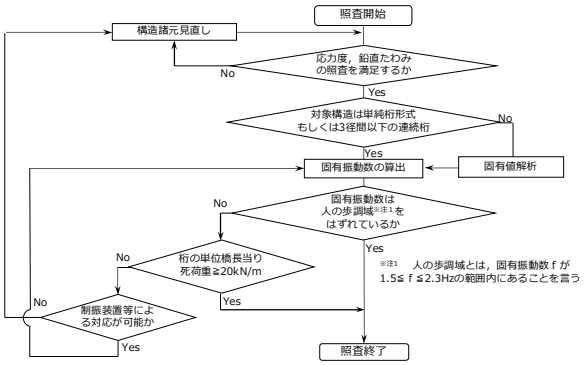

図-5 振動使用性照査フロー（案）

6. まとめ

本検討は，人道橋やホーム桁の振動使用性の照査について実橋に対する振動測定を実施し，既往の検討との比較行い，新たな照査フローを提案した．今後も引き続き振動測定等を行い，データを蓄積し，深度化を図っていく予定である．本報告が振動使用性の照査に関する検討の一助となれば幸いである．

参考文献

1)田中他:桁形式歩道橋の設計時振動使用性照査手法の提案,構造工学論文集 Vol40A(1994.3)
2)米田他:人道橋の固有振動数調整法の提案,川田技報 Vol.11/JAN.1992
3)日本道路協会：立体横断施設基準・同解説，1979.1
4)JR 東日本;旅客・保守施設構造物設計マニュアル，2014.12