

## PCT桁鋼製型枠の振動伝播に関する一考察

(株)安部日鋼工業	正会員	工修	○中原 晋
(株)安部日鋼工業			湊 敬文
九州産業大学	非常勤講師		橋本 晃
九州産業大学		工博	水田洋司

キーワード：PCT桁，鋼製型枠，型枠バイブレータ，振動伝播

## 1. はじめに

一般に、PCT桁の製作におけるコンクリートの締固めは、その断面形状や鉄筋、PCシースなどの配置により内部振動機だけでは隅々にまで有効な振動力を伝えることのできない状況が多い。これを解消するため、鋼製型枠に型枠バイブレータを設置し、型枠を強制的に振動させて締固め作業を補助している。一方で、桁本体の構造条件や仮設動力設備、型枠構造やそのリース先の違いもあり、型枠バイブレータは、その仕様や使用台数、設置位置などがまちまちである。また、型枠内の充填状況を外部から目視確認できないため、コンクリートの締固め作業は、熟練工の経験則に委ねていることが多い。

以上を踏まえ、実際の鋼製型枠を用いて型枠バイブレータによる強制振動の伝播状況を把握し、併せて鋼製型枠の振動解析による評価を試みた。その結果、型枠バイブレータの位置や上フランジ幅止め材、加振振動数などが鋼製型枠の振動伝播に影響を及ぼすことが分かった。

本稿では、実機による測定結果および上記条件の違いによる振動伝播に関して一考察を述べる。

## 2. 鋼製型枠の振動測定

## 2.1 測定方法

本試験では、ポストテンション方式PCT桁橋の現場製作時において、コンクリート打設直前の鋼製型枠に強制振動を与えて型枠バイブレータの振動伝播状況を測定した。型枠バイブレータの仕様は、振動数115Hz，最大遠心力8.8kNを用い、実橋製作時と同位置に設置した。設置状況を写真-1に示す。測定は、型枠バイブレータによる強制振動が板厚方向に揺れることで鋼製型枠全体に振動が伝播されることから、鋼製型枠の板厚方向の加速度を測定し、1断面あたり6箇所で行った(図-1)。なお、加速度は、容量20.4Gの加速度計を用いて1ms(1/1000秒)間隔で10秒間測定した。

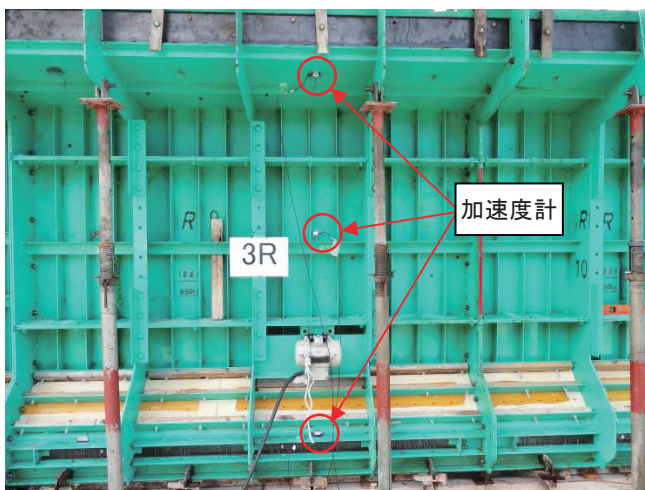


写真-1 加速度計の設置

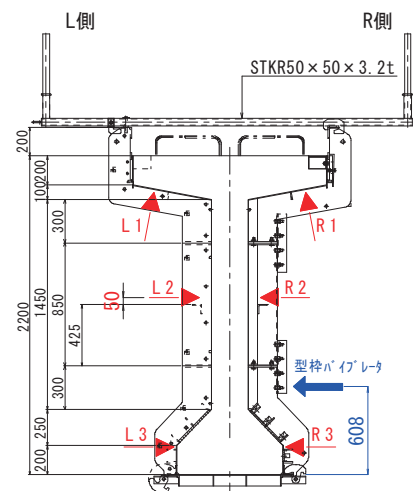


図-1 断面の測点

実機の型枠パイブレータは、ウェブ型枠のL側,R側 (図-1) 交互に1.8~3.2m間隔で設置され、その平均間隔が約2.4mと一般的な配置間隔<sup>1)</sup>であった。そこで、橋軸方向の測線は、型枠パイブレータ1基が受け持つ距離を2.4mと仮定し、中間点も含め1.2m間隔で6.0mまで測定することとした (図-2)。

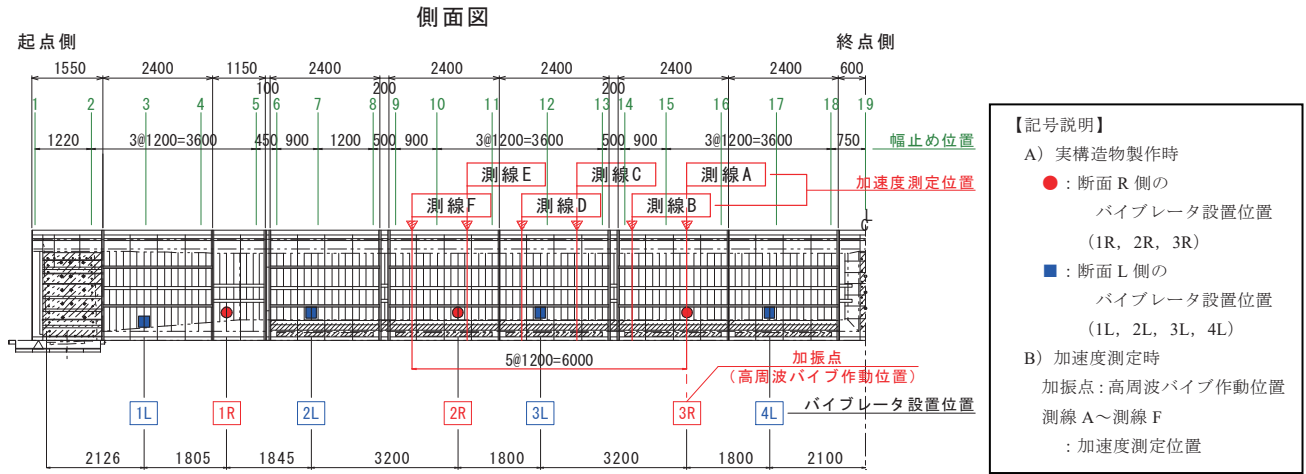


図-2 橋軸方向の測線

## 2.2 測定結果

測定した加速度のパワースペクトルを図-3に示す (R1~R3, L1~L3: 図-1 参照)。型枠パイブレータの振動は、測線A(0.0m)~測線B(1.2m)にかけて概ね伝播しているが、測線B~測線C(2.4m)間にかけて減衰している。測線C以遠では、振動がほとんど伝播していないことが分かる。コンクリートの充填・締固めが行いにくい下フランジ (R3, L3) では、型枠パイブレータの加振点から1.5m程度までが同等レベルで振動を伝播できる限界と考えられる。

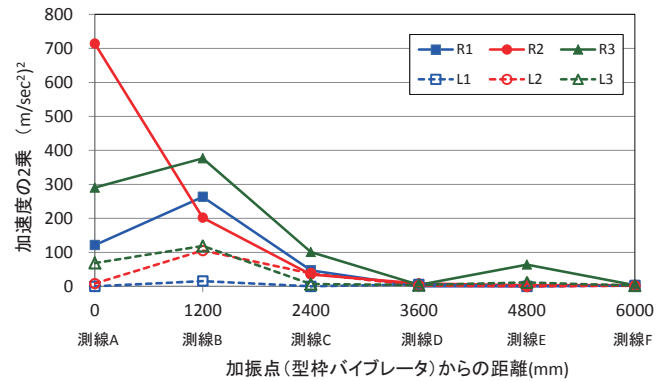


図-3 型枠パイブレータの振動伝播

## 3. 振動解析

### 3.1 解析モデル

解析モデルは、鋼製型枠3ブロック (1ブロック 2.4m) を取り出した部分モデルとし、有限要素法でモデル化した。型枠パイブレータで加振する鋼製型枠の振動解析は、Newmark の  $\beta=1/4$  法による時刻歴弾性解析 (1 サイクルを 100 分割し 3000 ステップ) とした。部分モデルの切断面の境界条件は、振動が反射しないようにオールフリーとした。底版の支持条件は、木製の角材に鋼製型枠を設置した状況を再現するために節点バネとした。減衰には Rayleigh 型減衰モデルを用いた。鋼製型枠の振動測定結果を用いて解析モデルの境界条件を設定できるよう、加振条件は振動測定試験の型枠パイブレータ仕様 (振動数 115Hz, 最大遠心力 8.8kN) とした。なお、質量および剛性に対する比例係数は、振動測定結果を踏まえて、両者 0.0001 とした。これは、115Hz における減衰定数 0.0361 に相当する。

### 3.2 パラメータ

パラメータは、型枠パイブレータの加振点の位置、上フランジ幅止め材の形状、間隔および接合位置、型枠パイブレータの振動数とした。加振点は、一般的に設置されているウェブ下段、下フランジハンチ部および振動の伝播に対して効果が得られる鋼製型枠のウェブ小縦リブ加振の3ケースとした。また、試解析において、幅止め材の接合位置や剛性、振動数が振動伝播に影響を与える傾向が見受けられたことから、表-1に示す検討ケースC4~C10を解析ケースに追加した。

表-1 解析ケース一覧

検討 ケース	着目点	加振点				上フランジ幅止め材		備考
		ウェブ 下段	下フランジ ハンチ	ウェブ中央		形状および 間隔 ※3	接合位置	
				縦リブ ※1	小縦リブ ※2			
C1	加振点	○				□50×3.2	縦リブ150mm離れ	
C2			○			〃	〃	
C3					○		〃	〃
C4	上フランジ 幅止め材			○			無し	
C5				○		□50×3.2	縦リブ ※1	
C6				○		〃	縦リブ間中央	
C7				○		□100×3.2	縦リブ ※1	
C8				○		L50×4.2	縦リブ ※1	
C9				○		□50×3.2	縦リブ ※1	幅止め間隔 ※3
C10	振動数	○				□50×3.2	縦リブ150mm離れ	振動数60Hz
C11	改善効果				○	〃	縦リブ ※1	

※1 縦リブ：ウェブ型枠のうち下フランジまで設置されたFB6×200ctc600

※2 小縦リブ：ウェブ型枠のうち、縦リブ間のウェブのみに設置されたFB6×65ctc150

※3 上フランジ幅止め材の間隔について 検討ケースC9：ctc600，その他：ctc1200

### 3.3 振動解析結果

#### (1) 加振点の影響

加振点をウェブ下段 (C1)，下フランジハンチ (C2)，ウェブ小縦リブ (C3) とした振動解析結果を図-4 に示す。なお、測線A～測線Cは、加振点からの距離を示し、それぞれ0.0m (加振点)，1.2m，2.4mである。ウェブに着目した場合、応答値は、加振側・裏側ともにウェブを加振するC1，C3がC2に比べて大きい傾向を示した。下フランジハンチを加振した場合、C1に比べて加振側の下フランジ側面や底面における振動伝播に改善効果が得られるものの、裏側ウェブへの振動が効果的に伝わっていないことが窺える。ウェブ鋼製型枠の小縦リブ (FB6×65ctc150) を加振した場合、加振側・裏側では距離2.4m以上まで振動伝播が大きく改善され、底面においてもC1，C2に比べて振動伝播範囲が拡がり、測線C (距離2.4m) 程度まで良好な傾向を示した。このことから、型枠バイブレータによる加振は、鋼製型枠のうち、剛性が大きい縦リブ (FB6×200ctc600) より小さい小縦リブ (FB6×65ctc150) を加振したほうがウェブや下フランジに効率良く振動を伝播できると考えられる。

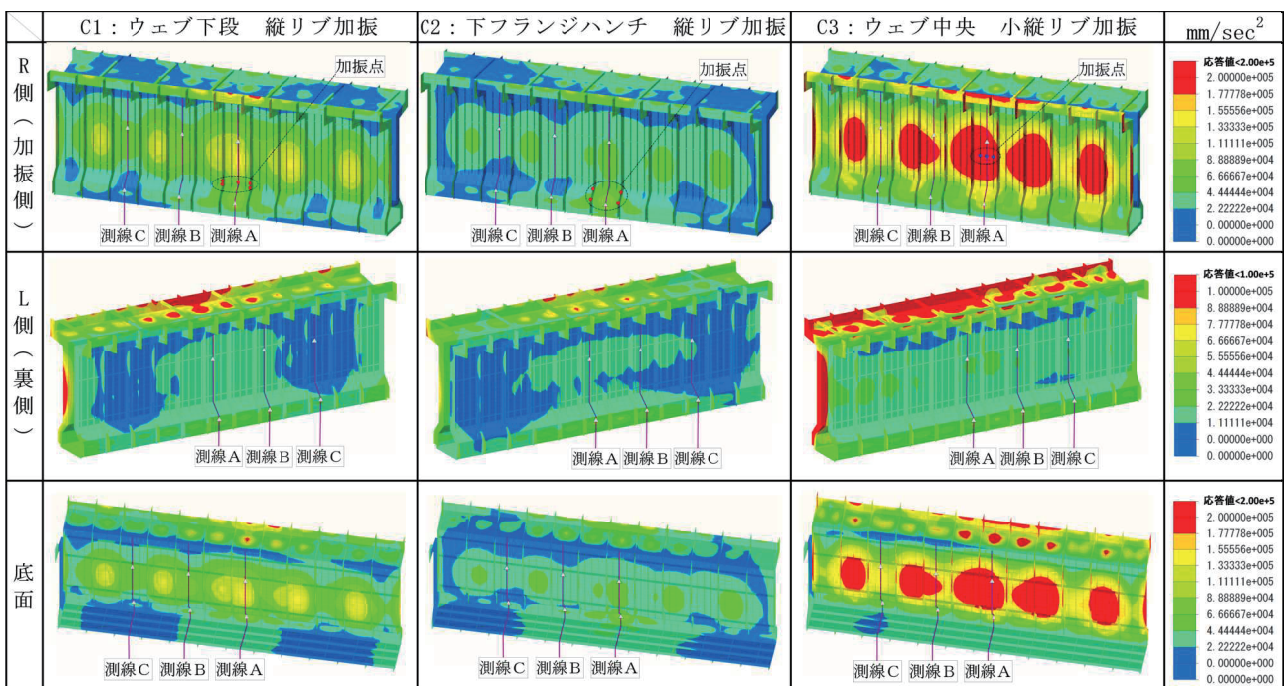


図-4 振動解析における加振点と加速度分布

(2) 幅止め材の影響

上フランジ幅止め材の取付け位置による影響(C4~C6:表-1参照)では,加振側(R2,R3:図-1参照)で有意な差は見受けられなかった。一方,ウェブ裏側に着目した場合,ウェブ(L2)では有意な差がないものの,下フランジ側面(L3)において縦リブに直接幅止め材を取り付けたC5がC4,C6に比べて2倍近い応答値を示した(紙面の都合により図を割愛する)。幅止め材剛性の影響(C4,C5,C7~C9)を図-5に示す。剛性の影響は,加振側(R2,R3)では大差ない結果であったが,裏側L3において応答値に差異が見受けられ,□50ctc600(C9) < 幅止め無し(C4) ≒ □100(C7) < L50(C8) < □50ctc1200(C5)であった。これより,ウェブ裏側への振動伝播には,幅止め材に最適な剛性が存在すると考えられる。

(3) 加振振動数の影響

加振振動数60Hz(C10:表-1参照)の解析結果を図-6に示す。加振振動数が低周波(60Hz)の場合,C1(加振振動数115Hz)に比べて下フランジ側面や底面において振動伝播が改善され,測線B~測線Cの中間付近にまで加振点(測線A)と同程度の振動が伝播していることが窺える。一方,ウェブに着目した場合,低周波(C10)は,測線A~測線Cのいずれの測線においても,高周波(C1)に比べて応答値が小さくなる傾向が見受けられた(図-4,図-6参照)。これより,型枠バイブレータの振動伝播は,鋼製型枠の剛性に影響され,剛性が大きい底版では低周波,剛性が小さいウェブ型枠では高周波が伝播しやすいと考えられる。したがって,PCT桁のコンクリート打設では,下フランジには低周波を用い,ウェブには高周波を用いるなど型枠バイブレータの加振振動数の使い分けを行うことが,充填性や締固めに対してより効果的であると考えられる。振動解析の傾向を踏まえ,改善を行ったケース(C11)の解析結果を図-7に示す。型枠バイブレータの振動伝播は,加振位置を小縦リブとし,幅止め材□50×3.2を1.2m間隔にてウェブ縦リブに接合すれば大きく改善されることが確認された。

4. おわりに

本稿において得られた知見を以下に記す。

- 1) 振動測定より,鋼製型枠下フランジでは,型枠バイブレータの振動伝播は加振点から1.5m程度が限界と考えられる。
- 2) 型枠バイブレータの振動は,鋼製型枠ウェブの小縦リブを直接加振させたほうが良く伝播する。
- 3) 上フランジ幅止め材の接合位置や剛性により振動伝播性能を改善できる。
- 4) PCT桁鋼製型枠では,締固めを行う部位に効果的な振動を与える加振振動数が存在する。

参考文献

- 1) 現場技術者が教える「施工」の本(躯体編)建築技術,2006.9

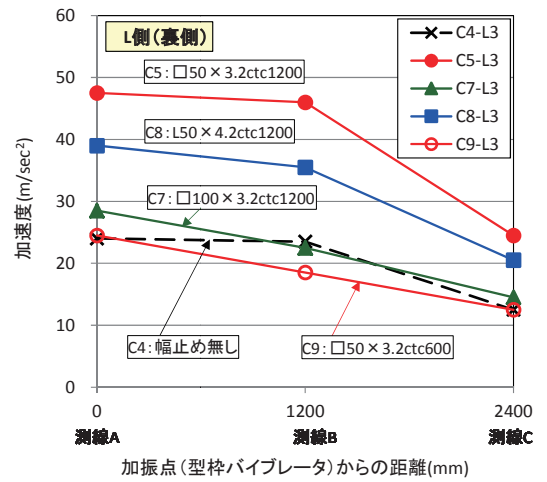
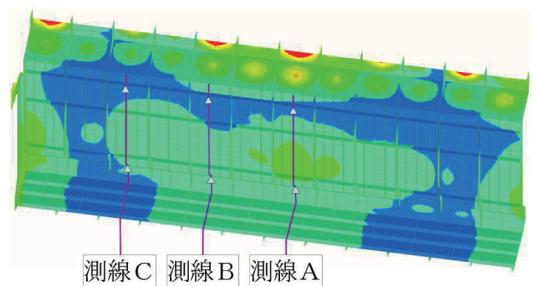
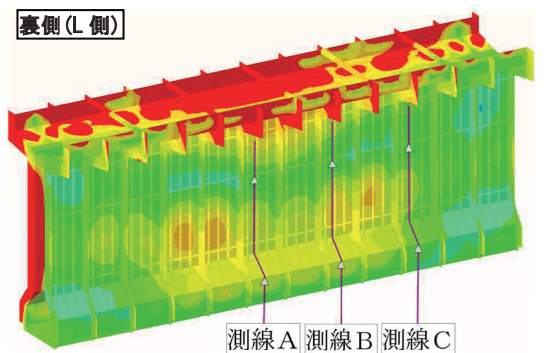


図-5 幅止め材剛性の影響

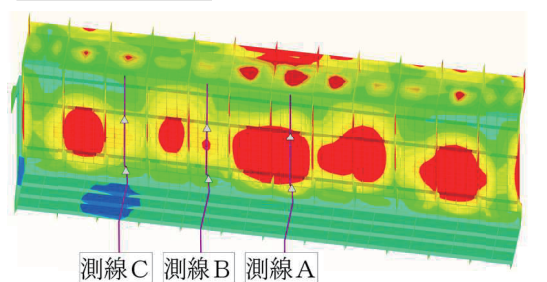


※ 応答値のバンド幅は図-4を参照

図-6 加振振動数 60Hz (C10) 加速度分布



加振側(R側)・底面



※ 応答値のバンド幅は図-4を参照

図-7 検討ケース C11 の加速度分布