

1. 基本事項

技術番号		BR030031－V0425			
技術名		衝撃荷重載荷試験機「SIVE」による床版たわみ計測			
技術バージョン		1		作成:	2025年3月
開発者		大日本コンサルタント株式会社 国立大学法人金沢大学			
連絡先等		TEL:	048-615-2224	E-mail:	yokoyama_hiroshi@ne-con.co.jp maki_yuji@ne-con.co.jp 大日本コンサルタント株式会社インフラ技術研究所 横山広, 牧 祐之
現有台数・基地		1台		基地	国立大学法人金沢大学 理工研究域社会基盤学系構造工学研究室 住所: 石川県金沢市角間町
技術概要		道路橋床版の載荷試験を橋面上から実施する技術で、重錘を落下させて発生する衝撃エネルギーの作用による床版たわみを、橋面上に配置した加速度計から得られる波形を積分処理することで変位換算して取得する。本試験法では、橋梁下側に足場等の設備が不要である。			
技術区分	橋種	鋼橋 コンクリート橋			
	対象部位	上部構造（床版）			
	損傷の種類	鋼			
		コンクリート			
		その他			
		共通	-		
	検出原理	加速度			
検出項目	床版たわみ				

2. 基本諸元

計測機器の構成		【基本構成と概要】 計測機器は衝撃加振部（図-1）と計測システム、及び移動装置から構成される。 ・衝撃加振部 鋼製の重錘（250kg）による衝撃荷重を作用させるために、重錘をコントロールするマグネットとウインチ、重錘が接触するクッションプレートと衝撃荷重を検出するロードセル、舗装に接する載荷板で構成される。クッションプレートには衝撃吸収型ゴムが固定されており（特許技術）、その効果によって、重錘が落下時にバウンドしないように工夫されている。 ・計測システム 橋面上の載荷板直下と主桁上、及びその中間点（複数可）に加速度センサを配置（図-1）し、カウンター式小型フォークリフトに固定した測定機に接続してパソコンでデータを処理するシステムを構成。 ・移動装置 衝撃加振部本体を任意の計測位置にセットするために、カウンター式小型フォークリフトを使用する。 （正面） 図-1 試験状況	
移動装置	機体名称	SIVE (Self-propelled Impact Vibration Equipment)	
	移動原理	【人力】 計測のための移動はカウンター式小型フォークリフトを使用。 任意の位置に移動可能。	
	運動制御機構	通信	-
		測位	-
		自律機能	-
		衝突回避機能（飛行型のみ）	-
	外形寸法・重量	分離構造：（カウンター式小型フォークリフト） 外形寸法（全長2050mm×全高1925mm×全幅：875mm（全方車輪位置が最大））、自重：約890kg（うち、約10kgはウインチとマグネット用の後付けの電源装置重量） ※衝撃加振部は基本構成のカウンター式小型フォークリフトの他にも任意のフォークリフトで移動可能	
	搭載可能容量（分離構造の場合）	フォークリフトのツメが使える範囲 積載能力：600kg	
	動力	・動力源：電気式 ・電気供給容量：バッテリー ・バッテリー容量：24V50AH/5HR	
	連続稼働時間（バッテリー給電の場合）	連続計測で6時間程度（0～+50℃） ※移動の他に、重錘用ウインチ、マグネット離脱用電源にも使用。スベアバッテリーを用意して交換すれば連続使用が可能。	
設置方法	移動装置と分離構造 ・衝撃加振部にはカウンター式小型フォークリフトのツメが差し込める枠を設定しており、それを利用して一体化する。 計測時には、フォークリフトのツメを下ろして無負荷となるためボルト固定等は不要。 ・測定機 東京測器製TMR-211はカウンター式フォークリフトに固定		
外形寸法・重量（分離構造の場合）	・衝撃加振部：外形寸法（高さ1660mm×幅700mm×奥行き600mm）、重量（約500kg） ・測定機：外形寸法（コントロールユニット+表示ユニット+4Gユニット（高さ100mm×幅200mm×奥行き100mm）、重量（1.9kg）		
センシングデバイス	・単軸加速度センサ 東京測器製 型番：ARF-500A、ARJ-200A ・ロードセル 東京測器製 型番：KCE-500kNA		
	床版上の任意の計測位置に加速度センサを設置し、衝撃荷重を作用させて波形データを取得する。1測点当たり3回程度測定して波形データが安定していることを確認する。取得した波形データは積分処理して変位（床版たわみ）に換算する。		

計測装置	計測原理	市販のロードセルによる荷重検出、加速度計による波形取得であり、特別なキャリブレーションを必要としないが、出庫前の動作確認として矩形銅板によるテストを実施する。
	計測の適用条件 (計測原理に照らした適用条件)	・計測に当たり橋面上の交通規制が必要である。 ・片側交互通行規制で試験を実施する際に、重錘落下時には試験機近傍に通行車両が無いことを確認してデータを取得する。 ・載荷面、加速度センサ接地面には凹凸が無く、載荷並びにデータ取得に問題ない平滑面である必要がある。 ・測定機やパソコンが防水仕様では無いため、降雨・降雪時の計測は避ける。 ・試験機移動は調査対象の範囲内のみであり、トラック等による試験機一式の陸送が必要
	精度と信頼性に影響を及ぼす要因	・データサンプリング周波数など基本値は床版構造用として設定済み。 ・データ記録のためのトリガーをロードセルの検出荷重にしているため、大型車通行による振動でトリガーが作動することがある。よって、データが確実に取得できているか、載荷毎に確認する必要がある。
	計測プロセス	①計測位置をマーキングする。 ②加速度センサを載荷位置、主桁上など計測点に配置する。 ③重錘を落下させ加速度の時刻歴を計測する。 ④加速度波形を確認して、積分範囲を設定し2階積分によって、床版たわみ(変位)に換算する。 ⑤床版たわみから主桁たわみを減じて、床版単体のたわみを把握する。各たわみ値は載荷点が最大値を示す時刻で抽出する。(荷重が伝播していく過程で、床版変位最大の時刻と主桁変位最大の時刻にはずれがあるため) 初期データ取得後、たわみ値が過小であるなど必要に応じて重錘落下高さを調整する。 ⑥取得データの整理としてたわみ分布を作成する。 (図-2 計測フロー) 図-2 計測フロー
	アウトプット	・計測で取得する加速度の時刻歴は測定機で数値化されてパソコンに取り込まれる。そのデータをエクセルなどで積分処理することで床版たわみの時刻歴を得る。 ・床版たわみまでを試験現場で確認する際には、データ処理に5分程度／1載荷を必要とする。通常は荷重の時刻歴波形を確認することでデータ取得の異常をチェックする。
	計測頻度	・計測位置毎に3回の載荷を実施
	耐久性	-
データ収集・通信装置	動力	・バッテリー式であり、移動用のカウンター式小型フォークリフトの電源と共有 ・カウンター式小型フォークリフトの動力源 ・動力源:電気式 ・電気供給容量:バッテリー ・バッテリー容量:24V50AH/5HR
	連続稼働時間 (バッテリー給電の場合)	・カウンター式小型フォークリフトと電源を共有しており、試験機の移動量に影響を受ける。 ・連続計測で6時間程度(冬期を除く) ※移動の他に、重錘用ウインチ、マグネット離脱用電源にも使用。スベアバッテリーを用意して交換すれば連続使用が可能。
	設置方法	・計測システム(加速度センサ)は衝撃加振部の設置位置近傍の任意のデータ取得位置に人力で配置 ・荷重検出のロードセルは衝撃加振部に組み込み
	外形寸法・重量 (分離構造の場合)	・外付け加速度センサ:外形寸法(高さ×125mm×直径79mm)、重量(約1.5kg) (有線で測定機に接続、最大6個使用可能)
	データ収集・記録機能	・計測データは、測定機で変換され有線接続されているパソコンに保存
	通信規格 (データを伝送し保存する場合)	-
	セキュリティ (データを伝送し保存する場合)	-
データ収集・通信装置	動力	・バッテリー式であり、移動用のカウンター式小型フォークリフトの電源と共有 ・カウンター式フォークリフトの動力源 ・動力源:電気式 ・電気供給容量:バッテリー ・バッテリー容量:24V50AH/5HR
	データ収集・通信可能時間 (データを伝送し保存する場合)	-

3. 運動性能

項目	性能		性能(精度・信頼性)を確保するための条件
3-1 安定性能	性能確認シートの有無 ※	-	
	性能値	-	-
	標準試験値	-	-
3-2 進入可能性能	性能確認シートの有無 ※	-	
	性能値	-	-
	標準試験値	-	-
3-3 可動範囲	性能確認シートの有無 ※	-	
	性能値	-	-
	標準試験値	-	-
3-4 運動位置精度	性能確認シートの有無 ※	-	
	性能値	-	-
	標準試験値	-	-

※「有」の場合は、付録2「技術の性能確認シート」に添付する。

4. 計測性能

項目		性能		性能(精度・信頼性)を確保するための条件
計測装置	4-1 計測速度(撮影速度)	性能確認シートの有無 ※	無	
		性能値	・18パネル(54回載荷):3時間 3分20秒/載荷 ・カウンター式小型フォークリフトの移動速度 2.9km/h(全負荷) 3.0km/h(無負荷)	・過去の実績 支間30m旧鉄桁18パネル(54回載荷):3時間 1載荷当たり3分20秒 ・カウンター式小型フォークリフトの移動速度 カタログ値:2.9km/h(全負荷)、3.0km/h(無負荷) ・降雨、積雪時には計測しない。
		標準試験値	未検証	-
	4-2 計測精度	性能確認シートの有無 ※	有	
		性能値	未検証	-
		標準試験値	標準試験方法 変位 床版たわみ(2021) 実施年 2021年 ・計測たわみ値/変位計のたわみ値: 0.88(平均値)	・計測たわみ値(SIVE)/床版下面からの変位計によるたわみ値=0.88(平均値) SIVEたわみ(平均):0.283mm 変位計たわみ(平均):0.323mm ・降雨、積雪時には計測しない。 ・中央の加速度計はブチルゴムテープで舗装上に接着固定すること。 また、1測点3回実施し、平均値から±10%を超える計測値を除いた平均値を計測値とする
	4-3 位置精度(移動しながら計測する場合)	性能確認シートの有無 ※	-	
		性能値	未検証	-
		標準試験値	未検証	-
	4-4 色識別性能	性能確認シートの有無 ※	-	
		性能値	-	-
		標準試験値	-	-
	計測レンジ(計測範囲)	性能確認シートの有無 ※	無	
		性能値	・測定機:±20,000 $\mu\epsilon$ ・加速度計:ARF-500A 500m/s ² ARJ-200A 200m/s ² ・ロードセル:許容荷重500kN、許容過負荷120% 定格出力 約1.25mV/V±10%	・測定機:±20,000 $\mu\epsilon$ ・加速度計:ARF-500A 500m/s ² ARJ-200A 200m/s ² ・ロードセル:許容荷重500kN ・測定機:使用時温度環境 0～+50℃ ・加速度計:使用時温度環境 -10～+50℃ よって、計測可能温度帯は 0～+50℃ ・湿度:85%RH 以下(結露を除く) ・降雨、積雪時には計測しない。
	感度	校正方法		・加速度計:試験成績書の校正係数使用 具体的校正はメーカー対応 ・ロードセル:試験成績書の校正係数使用 具体的校正はメーカー対応 ・計測器メーカー:東京測器
		性能確認シートの有無 ※	無	
		性能値	・加速度計:応答周波数範囲 500Hz ・ロードセル:固有振動数16kHz	・測定機のトリガ設定レベルで検出性能が決定される。 トリガ前時間:0.03秒 トリガレベル:-3.8555 $\mu\cdot\text{mV}\cdot^{\circ}\text{C}$ ・測定機:使用時温度環境 0～+50℃ ・加速度計:使用時温度環境 -10～+50℃ よって、計測可能温度帯は 0～+50℃ ・湿度:85%RH 以下(結露を除く) 降雨、積雪時には計測しない。
		性能確認シートの有無 ※	無	
			・加速度計:入出力端子間抵抗	・測定機:使用時温度環境 0～+50℃ ・加速度計:使用時温度環境 -10～+50℃

	検出感度	性能値	ARF-500A 入力/出力:119.8Ω/119.8Ω ARJ-200A 入力/出力:983.2Ω/983.3Ω ・ロードセル:入出力抵抗 350Ω±1%		よって、計測可能温度帯は 0～+50℃ ・湿度:85%RH 以下(結露を除く) ・降雨、積雪時には計測しない。
		性能確認シートの有無	※	無	
	S/N比	性能値	・加速度計:- ・測定機:メーカー非公表		・加速度計:ひずみ式変換器でありS/N比の概念はない。 ・測定機:メーカー非公表
		性能確認シートの有無	※	無	
	分解能	性能値	・測定機 ±20000×10 ⁻⁶ ひずみレンジ(2×10 ⁻⁶ ひずみ分解能) ±10000×10 ⁻⁶ ひずみレンジ(1×10 ⁻⁶ ひずみ分解能) ±5000×10 ⁻⁶ ひずみレンジ(1×10 ⁻⁶ ひずみ分解能)		・測定機:使用時温度環境 0～+50℃ ・加速度計:使用時温度環境 -10～+50℃ よって、計測可能温度帯は 0～+50℃ ・湿度:85%RH 以下(結露を除く) ・降雨、積雪時には計測しない。
		性能値			

※「有」の場合は、付録2「技術の性能確認シート」に添付する。

5. 留意事項(その1)

項目		適用可否／適用条件	特記事項(適用条件)
点検時現場条件	道路幅員条件	試験機幅700mm以上の幅員が必要	-
	桁下条件	-	-
	周辺条件	重錘落下時には衝撃音が発生するので、それが問題になる場合には注意が必要。 例) 山間部での猛禽類繁殖期など	-
	安全面への配慮	重錘を落下させる際には、落下タイミングを関係者に分かるように発声する。 例) サン、ニ、イチ、ラッカ。等	-
	無線等使用における混線等対策	-	-
	道路規制条件	計測は橋面上で実施するため、交通規制が必要 車線規制で実施可能	-
	その他	降雨、降雪時には計測しない。	-

5. 留意事項（その2）

項目		適用可否／適用条件	特記事項(適用条件)
作業条件・ 運用条件	調査技術者の技量	計測に際し必要となる資格は無い。	-
	必要構成人員数	現場責任者1名、測定操作1名、センサ配置2名 合計4名 他に交通誘導員が道路の状況に応じて2名以上が必要	-
	作業ヤード・操作場所	3m×床版支間、床版支間が2.5mであれば7.5m ² 操作場所は、パソコンを固定するカウンター式小型フォークリフト周辺	-
	計測費用	橋種〔鋼橋鈹桁〕 橋長 30m級 幅員 8m級 部位・部材〔床版〕 検出項目〔床版たわみ〕 検出箇所数〔18パネル〕 計測頻度〔1パネル5回載荷〕 計測期間〔1日〕※条件によっては前日に載荷位置マーキング 〈費用〉合計3,210,000円（経費を含む） 床版1パネル当たり178,300円	-
	保険の有無、保障範囲、費用	-	-
	自動制御の有無	-	-
	利用形態：リース等の入手性	開発者に計測を依頼するか、試験機器の貸し出しを依頼	-
	不具合時のサポート体制の有無及び条件	不具合時は電話対応によるサポートを実施 経験者による計測を推奨	-
	センシングデバイスの点検	試験実施前（出庫前）の矩形鋼板によるテストで動作確認を実施	-
	その他	橋面の縦断勾配、横断勾配が3%を超える場合には要相談	-

6. 図面

計測状況写真



(テントは降雨対策として使用)