

1章. 通行車両の重量計測手法

1.1 概要

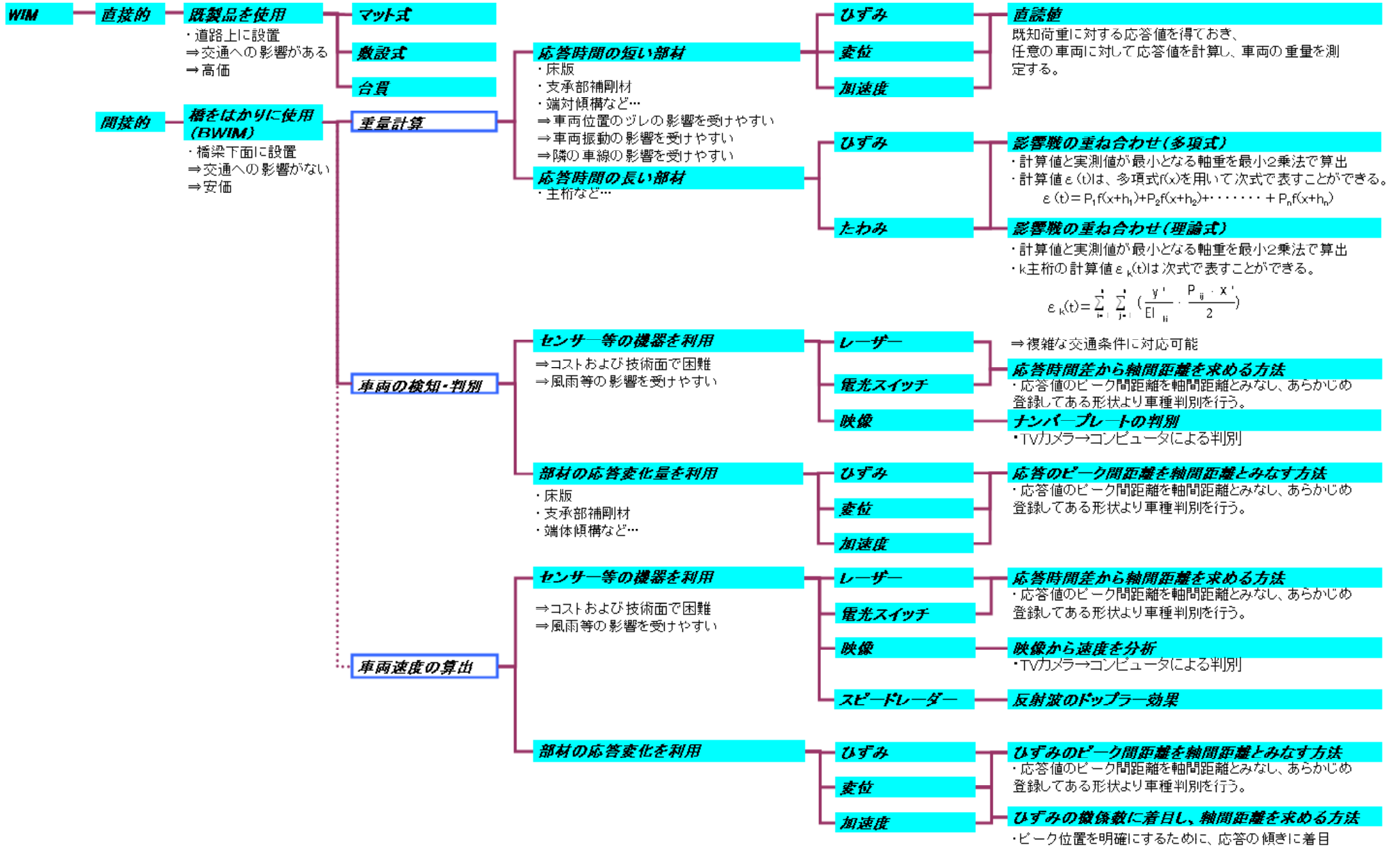
道路橋の通行車両の重量を自然走行状態のまま計測する手法には、図-1.1.1に示すように数多くの種類が存在する。一般的には、埋設型やマット式の重量計を路面に設置して直接的に車両重量を測定するケースが多いが、最近では、橋梁部材の応答を介して間接的に重量を推定する手法も数多く開発されるようになってきている^{9)~10)}。

このように、橋梁部材を介した間接的な計測方法が注目されるようになった背景には、路面上に軸重計などを設置する方式は、コストや交通への影響といった点で課題が多いのに対し、橋梁部材を用いる方式は計器類が路面にさらされず交通への影響が少ない他、汎用的な機器のみを用いて安価に計測できるといったメリットがあることが挙げられる。

橋梁部材の応答から通行車両の重量を求める手法については、国内外で様々な方法が提案されており、算定に用いる指標、測定に用いる部材、計算のアルゴリズムに関して様々な手法が存在する。しかしながら、橋梁部材の応答から車両重量を求める場合、測定に用いる部材の応答特性や計算上の仮定により、適用可能な橋梁形式や交通条件などに制約がある。したがって、それらの適用にあたっては、各手法の算定精度や適用範囲といった基本的な特性を適切に把握しておかなければならない。

国土技術政策総合研究所橋梁研究室では、全国レベルで大型車の通行実態の傾向を把握するため、橋梁部材の応答特性を実測データに基づいて分析し、それらをふまえて簡便に均質なデータを取得できる通行車両の重量計測システムを提案した。

図-1.1.1 主な車両重量計測手法



1.2 橋梁部材の応答特性と車両重量計測

1.2.1 橋梁部材の応答特性

橋梁の部材応答を用いた通行車両の重量測定手法の基本特性は、車両の通過に対する橋梁各部の応答性状と密接な関係がある。そこで、独立行政法人土木研究所が所有する試験橋梁において、図-1.2.1 に示す3軸トラックおよび5軸トレーラタイプの大型車を5km/h、40km/h、80km/hの3通りの速度で走行させたときの橋梁各部のひずみ応答を計測した。図-1.2.2 に試験橋梁の概略とひずみの計測位置、図-1.2.3 に、支点部における計測器取り付け位置の詳細、表-1.2.1 および表-1.2.2 にそれぞれ試験橋梁各部の応答波形を示す。これらのひずみ応答波形から、床版のように応答時間の短い部材や、主桁のように応答時間の長い部材が存在し、部材によってひずみ応答の特性は異なっていることがわかる。

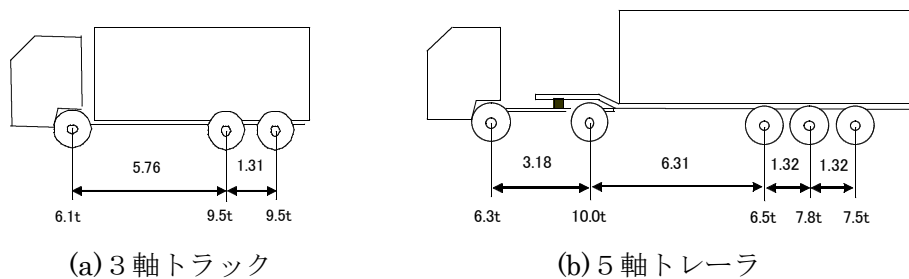


図-1.2.1 試験車両の概略

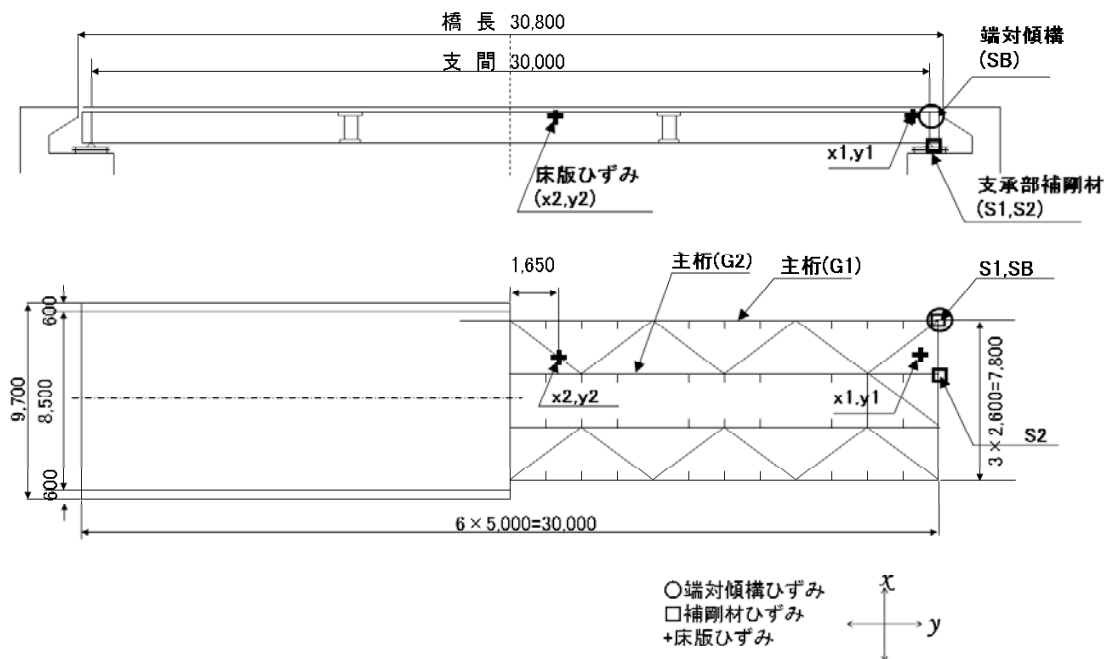


図-1.2.2 試験橋梁の概略とひずみの計測位置

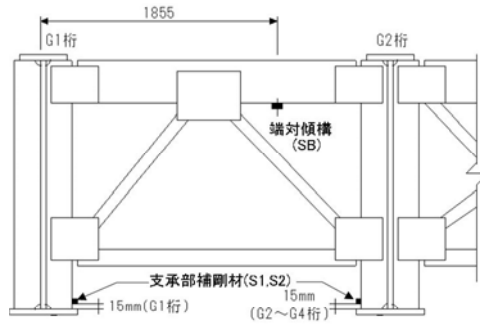


図-1.2.3 支点部におけるひずみ計測位置の詳細 (単位 mm)

表-1.2.1 試験橋梁各部の応答 (その1・3軸トラック, 走行速度 5km/h)

床版 ひずみ (μ) 橋軸方向	桁端(X1)	計測結果なし	支間中央(X2)	計測結果なし
	桁端(Y1)	計測結果なし	支間中央(Y2)	計測結果なし
床版 ひずみ (μ) 橋軸直角 方向	桁端(Y1)	計測結果なし	支間中央(Y2)	計測結果なし
	G1桁(S1)			
支承部 補剛材 ひずみ (μ)	G2桁(S2)			
	G1桁(SB)			
端対傾構 ひずみ (μ)	計測結果なし			

表-1.2.1 試験橋梁各部の応答 (その2・3軸トラック, 走行速度 40km/h)

床版 ひずみ (μ) 橋軸方向	桁端(X1)	支間中央(X2)
	計測結果なし	計測結果なし
床版 ひずみ (μ) 橋軸直角 方向	桁端(Y1)	支間中央(Y2)
	計測結果なし	計測結果なし
支承部 補剛材 ひずみ (μ)	G1桁(S1)	G2桁(S2)
端対傾構 ひずみ (μ)	G1桁(SB)	

表-1.2.1 試験橋梁各部の応答 (その3・3軸トラック, 走行速度 80km/h)

床版 ひずみ (μ) 橋軸方向	桁端(X1)	支間中央(X2)
	計測結果なし	計測結果なし
床版 ひずみ (μ) 橋軸直角 方向	桁端(Y1)	支間中央(Y2)
	計測結果なし	計測結果なし
支承部 補剛材 ひずみ (μ)	G1桁(S1)	G2桁(S2)
端対傾構 ひずみ (μ)	G1桁(SB)	

表-1.2.1 試験橋梁各部の応答 (その4・5軸トレーラ, 走行速度 5km/h)

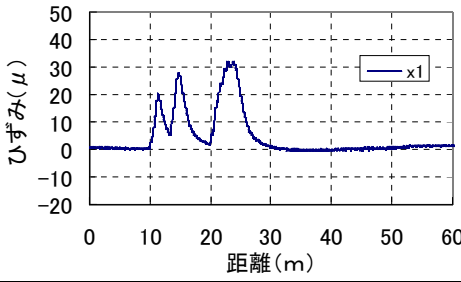
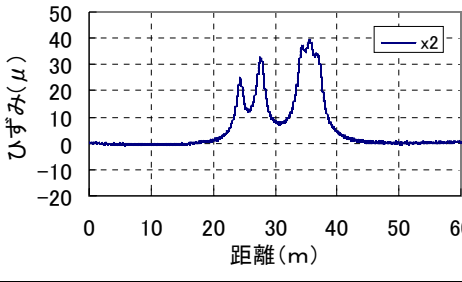
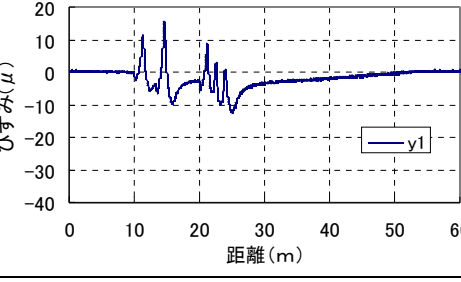
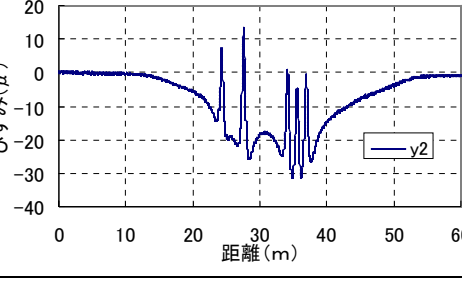
床版 ひずみ (μ) 橋軸直角 方向	X1 	X2 
	Y1 	Y2 
支承部 補剛材 ひずみ (μ)	S1 計測結果なし	S2 計測結果なし
	SB 計測結果なし	
端対傾構 ひずみ (μ)		

表-1.2.1 試験橋梁各部の応答 (その5・5軸トレーラ, 走行速度 40km/h)

床版 ひずみ (μ) 橋軸直 角方向	X1	X2
床版 ひずみ (μ) 橋軸 方向	Y1	Y2
支承部 補剛材 ひずみ (μ)	S1	S2
	計測結果なし	計測結果なし
端対傾 構ひずみ (μ)	SB	
	計測結果なし	

表-1.2.1 試験橋梁各部の応答 (その6・5軸トレーラ, 走行速度 80km/h)

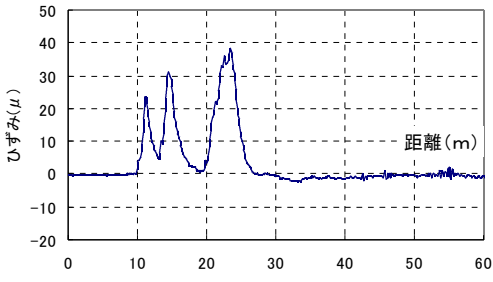
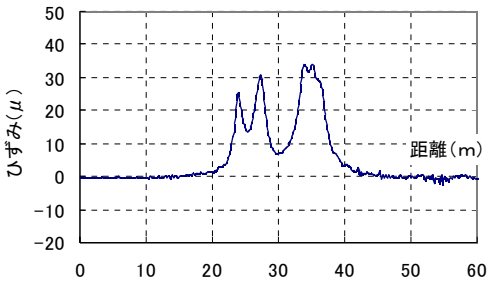
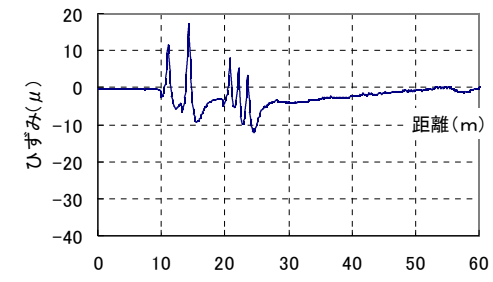
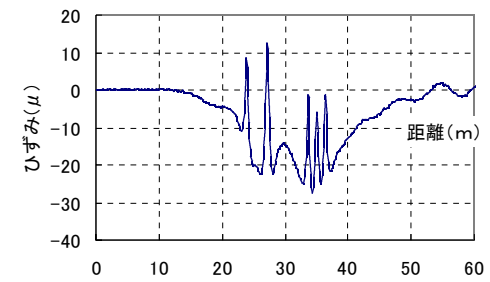
床版 ひずみ (μ) 橋軸直 角方向	X1 	X2 
	Y1 	Y2 
支承部 補剛材 ひずみ (μ)	S1 計測結果なし	S2 計測結果なし
	SB 計測結果なし	
端対傾 構ひずみ (μ)		

表-1.2.2 試験橋梁各部の応答 (その1・3軸トラック,走行速度 5km/h)

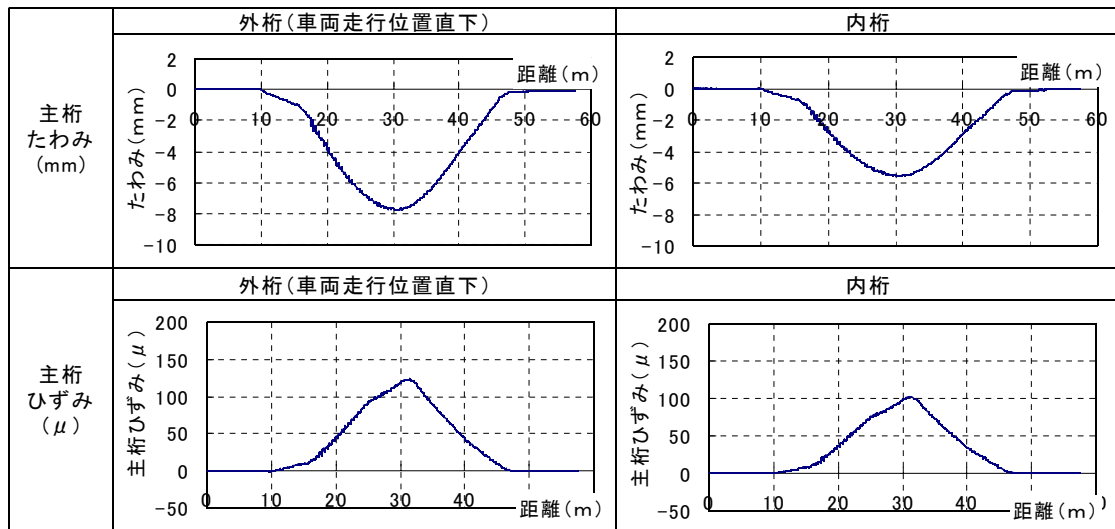


表-1.2.2 試験橋梁各部の応答 (その2・3軸トラック,走行速度 40km/h)

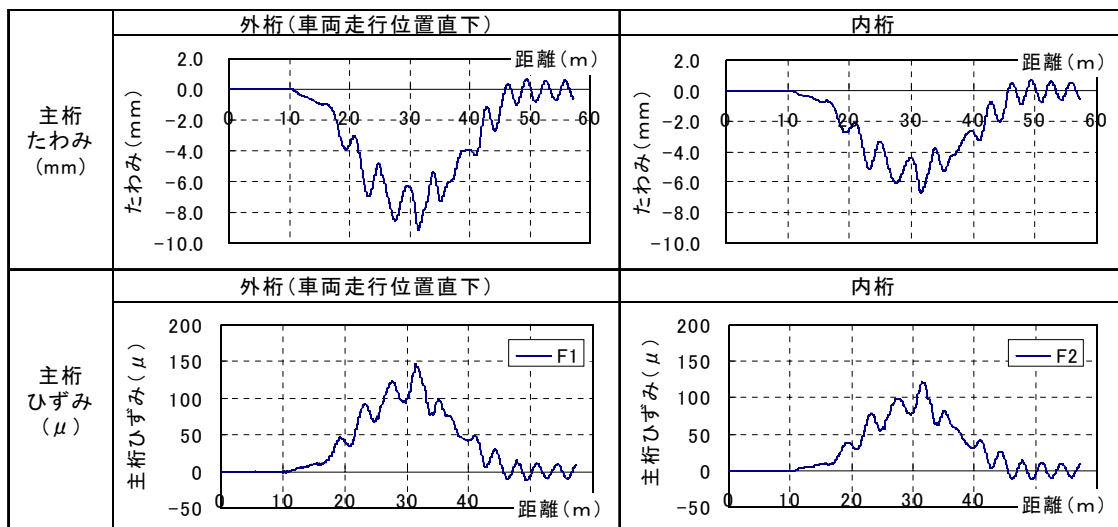


表-1.2.2 試験橋梁各部の応答 (その3・3軸トラック,走行速度 80km/h)

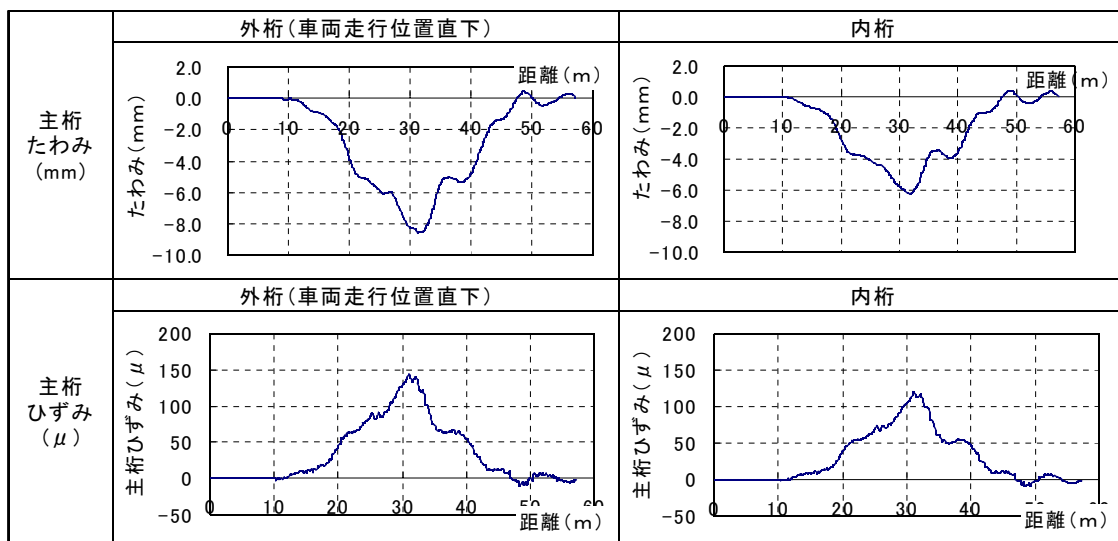


表-1.2.2 試験橋梁各部の応答（その4・5軸トレーラ,走行速度 5km/h）

主桁 たわみ (mm)	外桁(車両走行位置直下)	内桁
主桁 ひずみ (μ)	計測結果なし	計測結果なし

表-1.2.2 試験橋梁各部の応答（その5・5軸トレーラ,走行速度 40km/h）

主桁 たわみ (mm)	外桁(車両走行位置直下)	内桁
主桁 ひずみ (μ)	計測結果なし	計測結果なし

表-1.2.2 試験橋梁各部の応答（その6・5軸トレーラ,走行速度 80km/h）

主桁 たわみ (mm)	外桁(車両走行位置直下)	内桁
主桁 ひずみ (μ)	計測結果なし	計測結果なし

1.2.2 通行中の大型車が路面に及ぼす動的荷重

振動をはじめとする通行中の大型車の挙動は、橋梁部材の応答に大きな影響を与えるため、橋梁部材の応答から車両重量を測定する場合に留意すべき点の一つである。橋梁部材応答は、タイヤが路面に及ぼす荷重入力との関係が大きいと考えられるため、ここでは、車輪が路面に及ぼす一軸あたりの動的な荷重（以下、「動的荷重」という）に着目し、それが走行中どのように変化しているのか調査した結果を示す。

図-1.2.4 に前述した試験橋梁前後の路面性状、図-1.2.5 に試験橋梁上を図-1.2.1(b)で示した5軸トレーラが平均約40km/hで走行した時の駆動軸（2軸目）の動的軸重波形を示す。大型車が橋梁を通過する際には、絶えず大きく変動する荷重を路面に与え続けており、特に橋梁の伸縮装置付近でその変動幅が大きくなっている様子がわかる。

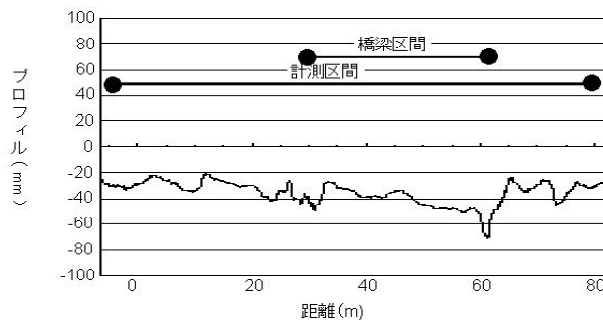


図-1.2.4 試験走路の路面性状(縦断線形)

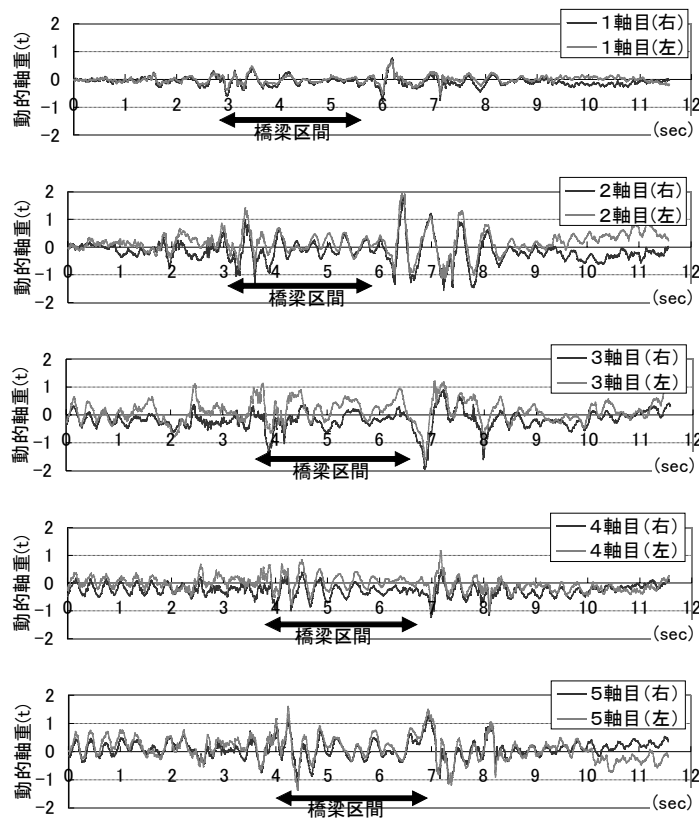


図-1.2.5 5軸トレーラ軸重変動(試験橋梁)

次に、動的軸重の変動の様子をより一般的に評価するため、前述の5軸トレーラを平均

約 35km/h で、標準的な管理状態にあり、橋梁部、土工部等多様な路面条件を有する一般道路上を走行させ、駆動軸の動的軸重の測定を行った。図-1.2.6 に走行経路中の測定区間における路面性状（縦断線形）、図-1.2.7(1)に動的軸重の波形、図-1.2.7(2)に動的軸重の頻度分布を示す。

これらの結果から、一般道路を比較的長距離走行した場合にも動的軸重は大きく変動しており、静的な値に対して± 40 %程度の変動が起こりうる事がわかる。そのため、軸重に対する瞬間的な応答値から軸重等を推定する手法においては、車両振動等に伴う誤差が避けがたいと推測される。

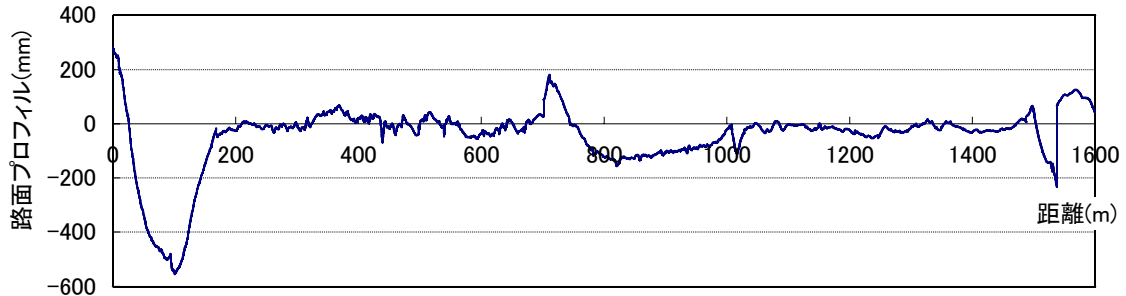


図-1.2.6 一般道路走行経路の路面性状(縦断線形)

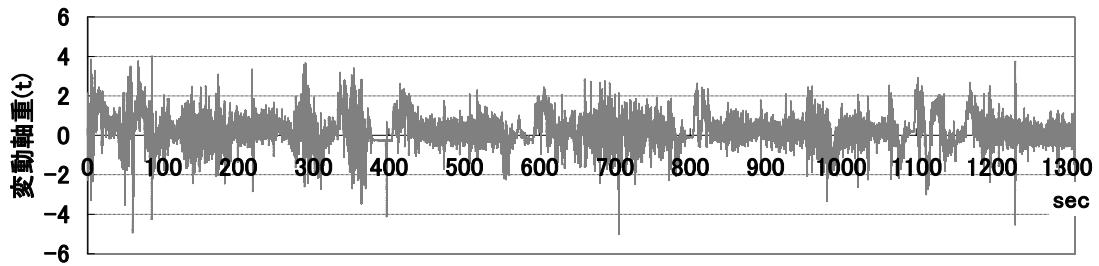


図-1.2.7(1) 一般道路走行時の5軸トレーラ駆動軸(2軸目)の動的軸重波形の例

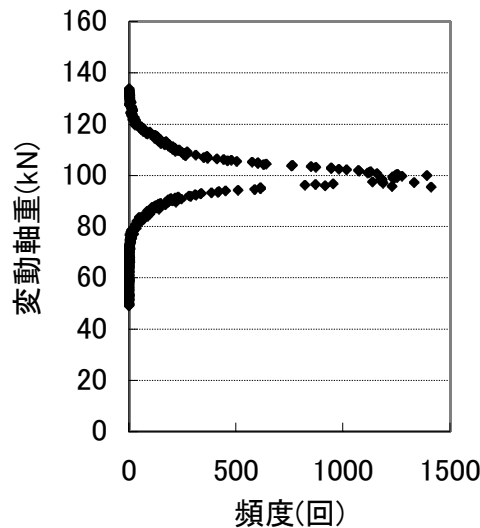


図-1.2.7(2) 一般道走行時の5軸トレーラ駆動軸の軸重頻度分布の例

1.2.3 応答時間の短い部材を用いた車両重量計測手法

床版のように車軸の通過に対する応答時間が短い部材は、図-1.2.8 に示すように、個々の車軸の通過に対して独立性の高い応答となる。また、応答量は軸重値との相関性が高いため、床版下面で計測したひずみ量やひび割れ開閉量から、各車軸の軸重を求めることができる。こうした方法は、重量の算定方法が単純でわかりやすい他、主桁や主構形式の影響を受けにくいなどのメリットがある。

しかしながら、車軸の通過に伴う瞬間的な応答変化に着目する場合、部材は車輪が計測位置付近を通過するときだけ大きく応答するため、車両走行位置の変化や車両振動の影響に伴う誤差が避けられない。

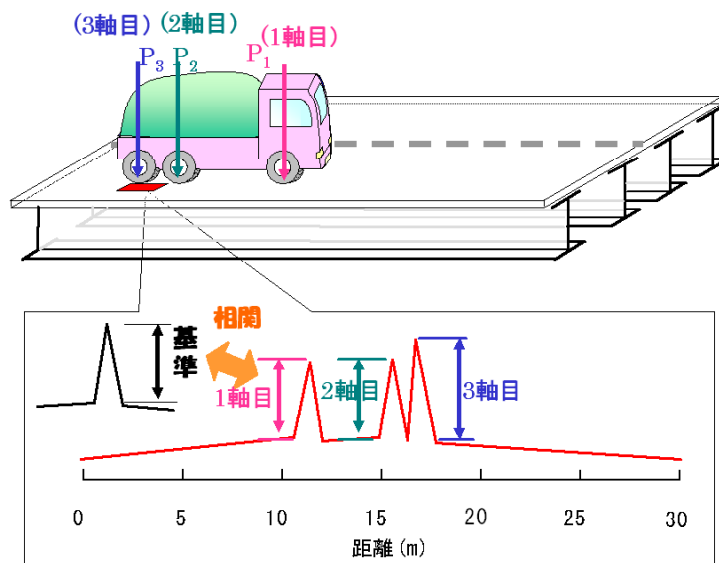


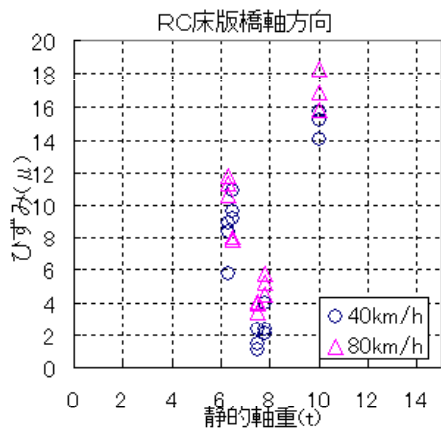
図-1.2.8 影響範囲の短い部材の応答を用いた重量算出のイメージ

ここでは、車両振動の影響により、床版のように応答時間の短い部材の応答変化量に着目して車両重量を算定した場合に、どの程度の算定誤差を生じうるのかを把握するため、試験橋梁を用いて走行速度や走行位置といった条件が同じになるように、計測を実施したときの、ひずみのピーク値を表-1.2.3 に示す。また、図-1.2.9 には、部材別に軸重とひずみのピーク値との関係を図示する。

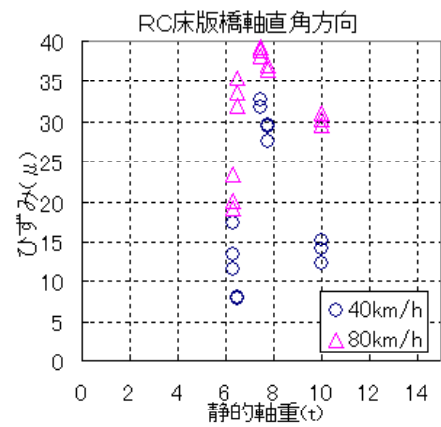
これらの結果より、応答時間が短い部材におけるひずみ応答のピーク値は大きくばらついていることが確認された。したがって、軸重に対する瞬間的な応答値から軸重等を推定する手法においては、車両振動等に伴う誤差が避けがたく、それらの値から軸重を精度良く推定するためには、センサーの設置箇所を増やすなどといった工夫が必要である。

表-1.2.3 応答の最大値(最小値)のばらつき

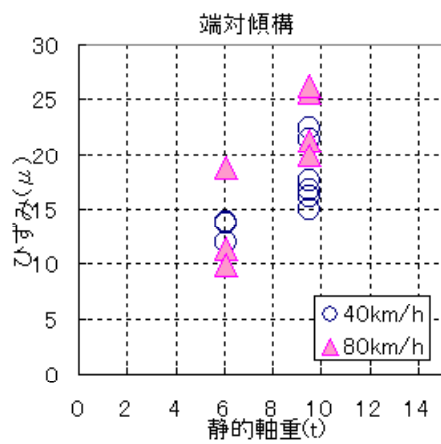
部材		車両	走行速度	ひずみ(μ)			1回目に対する割合(%)	
				回数	駆動軸	3軸目	駆動軸	3軸目
RC床版	橋軸直角方向	5軸トレーラ	40km/h	1	15.22	9.68	-	-
				2	14.09	10.19	93	105
				3	12.22	7.98	80	82
		80km/h	1	17.91	8.06	-	-	
			2	16.92	7.88	94	98	
			3	16.74	7.89	93	98	
	橋軸方向	5軸トレーラ	40km/h	1	23.69	22.61	-	-
				2	24.14	22.95	102	102
				3	26.01	23.05	110	102
80km/h	1	31.05	32.85	-	-			
	2	29.53	36.96	95	113			
	3	29.21	34.92	94	106			
端対傾構	3軸トラック	40km/h	1	13.90	16.05	-	-	
			2	13.69	17.91	98	112	
			3	11.22	22.43	81	140	
垂直補剛材	3軸トラック	40km/h	1	-85.24	-171.38	-	-	
			2	-90.51	-199.60	106	116	
			3	-71.90	-205.10	84	120	
横桁取付部 垂直補剛材	3軸トラック	40km/h	1	-173.87	-331.02	-	-	
			2	-199.62	-427.36	115	129	
			3	-162.27	-394.73	93	119	



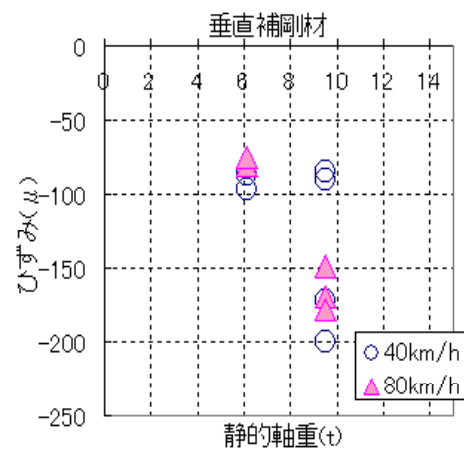
(a)RC 床版橋軸方向ひずみ



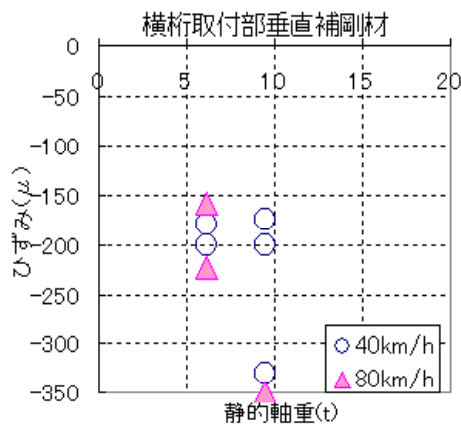
(b)RC 床版橋軸直角方向ひずみ



(c)端対傾構ひずみ



(d)垂直補剛材ひずみ



(e)横桁取付部垂直補剛材ひずみ

図-1.2.9 各軸のひずみ応答ピーク値と静的軸重の関係

1.2.4 応答時間の長い部材を用いた車両重量計測手法

図-1.2.10 に示す主桁のように、車両が橋梁上を通過する間、継続的に応答する部材の場合、応答は橋梁上に存在する各輪荷重の影響の総和となって表れる。そのため、軸重、軸距等の諸元が既知である車両を用いて、あらかじめ主桁ひずみの影響線を求めておくことにより、ある時刻に橋梁上に存在する各軸重（未知数）と影響線との線形和が、実際の応答に等しくなることを利用して連立方程式を作成し、軸重や総重量を求めることができる。

こうした方法では、走行位置の変化や車両の振動に対する感度は低く、固有の測定条件に支配されにくいのが特徴である。しかしながら、橋梁上に複数の車両が存在する場合には、連立方程式の未知数が多くなるため、軸重の算定精度には一定の限界がある。

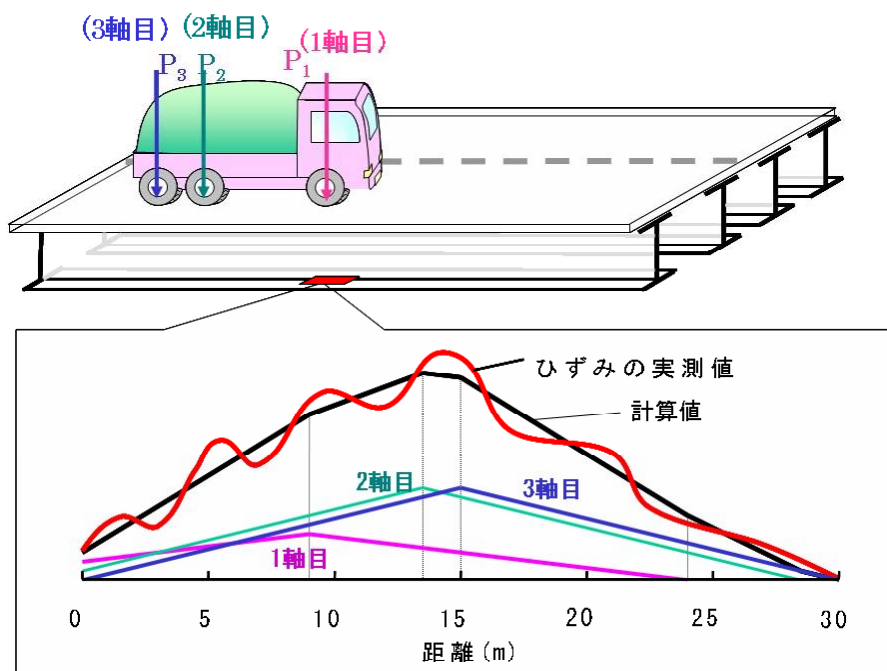


図-1.2.10 影響線を重ね合わせたひずみ応答近似のイメージ