

貨車重量過偏積測定装置の開発

Development of Measuring Apparatuses for Overload and Unbalance Load of Freight Car

近年の物資輸送の質的な向上を図るため、鉄道輸送の近代化が進められているが、この中で、脱線事故の未然防止を目的とした装置の開発は、我が国だけでなく、世界の鉄道界にとっても大きな命題である。

これら装置は、過偏積測定装置、車輪の軸箱過熱検出装置、タイヤフラット摩耗検出装置などがあるが、特に過偏積測定装置は我が国独自のもので、走行中の貨車の輪重を正確に測定し、貨車の過積や偏積の検出を行なうものである。従来の装置は、測定線の一部を秤構造としてあり、1点での測定であるため、車両運動の影響を受けやすいものであったので、レールのせん断応力を検出するものとし、車両のローリングによる影響を考慮し、測定点を多点化することにより従来の精度を大幅に向上した。

村戸 健一* Murato Ken'ichi
佐々木英昭** Sasaki Hideaki
広田 範昭** Hirota Noriaki
斉藤 国夫*** Saitô Kunio

1 緒 言

操車場に貨物列車が到着すると、到着検査掛が個々の貨車についてその状態を検査し、異常車の摘出を行なっている。到着検査の一つに積み荷の過積・偏積の検査がある。

従来から、日本国有鉄道では、我が国独自の脱線防止対策の一環として、貨車の重量を走行中に測定し、過積・偏積を検出する貨車偏積測定装置を開発して主要な操車場に設け、貨物列車の走行安全を図っている¹⁾。しかし、この装置は検出器にロードセルを使用し、測定線の一部を、1mの短尺レールの秤構造としてあるため、車両運動の影響を受けやすいものであったので、誤った検出のために再チェックの必要があり、能率的にも問題が多く、測定精度の向上を図る必要が出てきた。

このたび、日本国有鉄道の指導のもとに開発した過偏積測定装置は、中枢に制御用計算機を用いたものであり、新しい測定方法を用いてこれらの要望にこたえたもので、1号機は既に長町ヤードで稼動中であり、2,3号機を新鶴見ヤード、4号機を吹田ヤード、5号機を幡生ヤードにそれぞれ建設中である。このうち吹田ヤードの装置は、ヤードの特異性を考慮してコンテナ方式にした。

2 装置の特長

この装置は、貨車の輪重を測定することにより、積み荷の荷崩れや、積み荷の片寄りによる偏積車、積み荷の積み過ぎである過積車などの異常貨車を、貨車の走行状態でチェックし、輸送中の貨物列車脱線防止に寄与する装置である。その主な特長は次に述べるとおりである。

- (1) 輪重の測定、異常車のレポート作成などの事務処理を、制御用計算機を用いて自動化している。
- (2) 輪重の多点測定方式を採用しているため、走行中の車両運動による影響が少なく、測定精度が高い。
- (3) 列車速度に応じてフィルタのしゃ断周波数を切り換えることにより、フラット車輪による輪重信号への悪影響を除去し、輪重測定精度の向上を図っている。
- (4) この装置で使用している各端末器の状態を測定室からチ

ェックできるため、装置のメンテナンスが容易である。

- (5) 高速走行で測定が可能であるため、列車の運転効率が増大できる。

3 装置の構成と機能

図1にこの測定装置の機器構成図を、また図2にコンテナ方式機器室の例を示す。測定線のレールには、近接スイッチ、ひずみゲージなどが約50mにわたって設置してあり、その区間で走行車両の各輪重を測定するようにしている。

輪重信号は、測定線に取り付けたひずみゲージ式の輪重検出器によりアナログ量で取り込まれ、プロセス入出力装置内でA/D変換される。また、貨車進入検出、車両ごとの軸数検出、輪重測定のタイミング、貨車の速度検出などは近接スイッチにより行なっている。これらの信号は、プロセス入出力装置を経て中央処理装置に入力される。中央処理装置は、測定列車の進入により測定線の各端末器に測定を開始させ、端末器からの情報により各貨車の輪重値を計算して、過積、偏積、偏積率を算出し、基準設定値と比較して異常貨車の判定を行なう。

更に、異常貨車が検出された場合は、異常貨車を調査する検修線に入ってから目印として、該当する走行貨車の後輪の軸箱に、異常車マーク装置から着色グリスを吹き付ける。また、測定区間から列車が退出したとき、遠方監視室に設置してある出力タイプライタで異常貨車のデータを打ち出させるとともに、遠方監視盤にはその旨をランプとブザーで表示する。なお、測定されたデータはすべて測定室の磁気ディスク記憶装置に格納しておき、必要に応じて、過去のデータを入力タイプライタで出力できる。

更に、端末器の故障時や保守時には、機器室のシステムチェックの操作によって、装置の状態チェック、故障箇所検出などが行なえるようにしている。この装置の主な仕様を表1に示す。図3に輪重測定装置のブロック図を、図4に輪重測定のタイムチャートを示す。

* 日本国有鉄道工作局 ** 日立製作所水戸工場 *** 日立製作所日立研究所

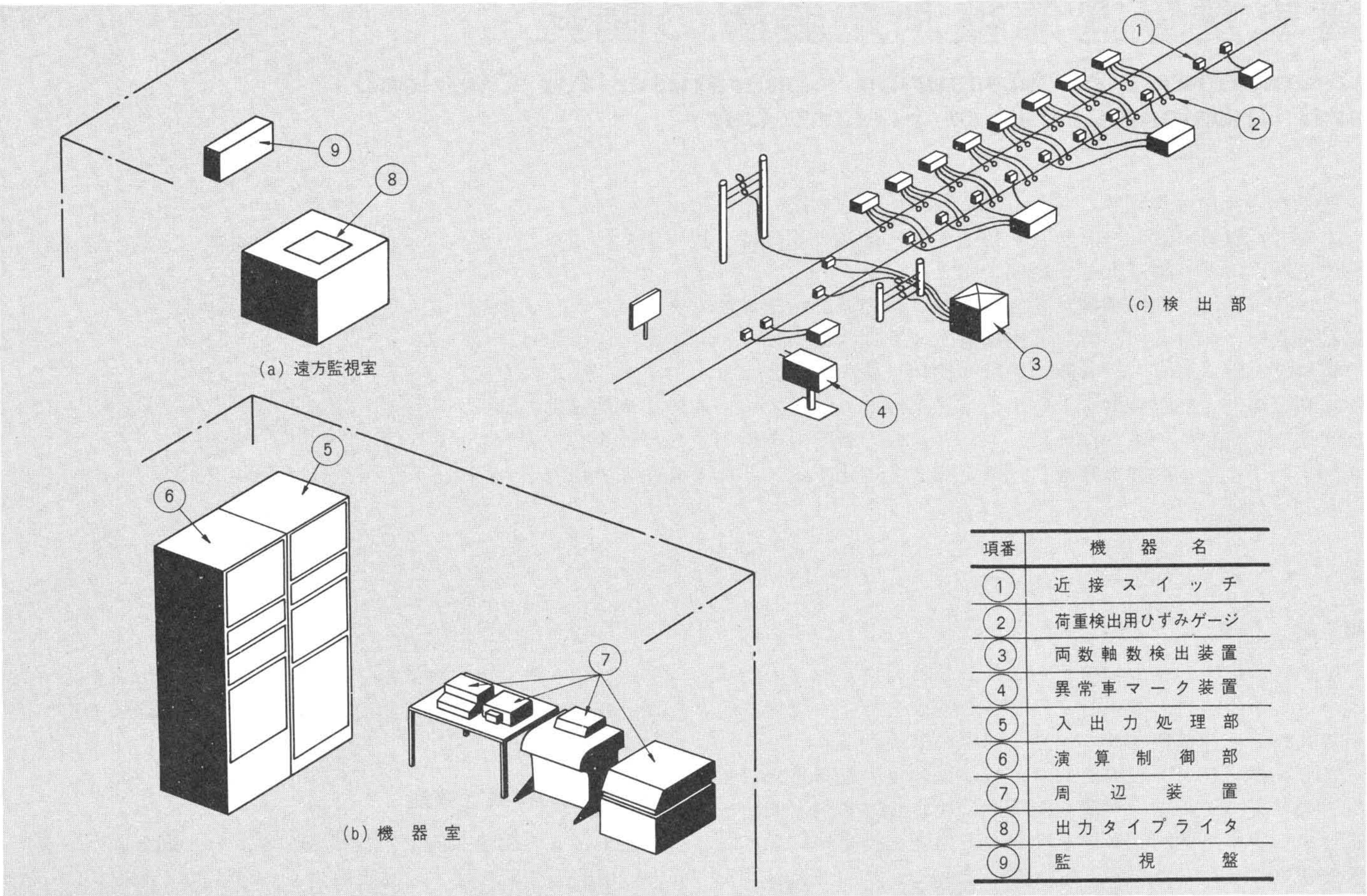


図1 機器構成図 測定線から得られたデータは、機器室の中央処理装置で処理され、結果は遠方監視室に出力される。

4 輪重測定方法と精度

4.1 輪重測定の方法

従来の装置は、測定線の一部を切断し、ロードセルを取り付けた秤構造となっているため、その秤に衝撃が加えられることから、測定する車両速度も25km/h以下という制限があった。この装置は、ロングレールの腹部に穴をあけ、特殊なひずみゲージを直接取り付けて、レールに生ずるせん断ひずみを検出することで輪重を測定しているため、レールを切断す

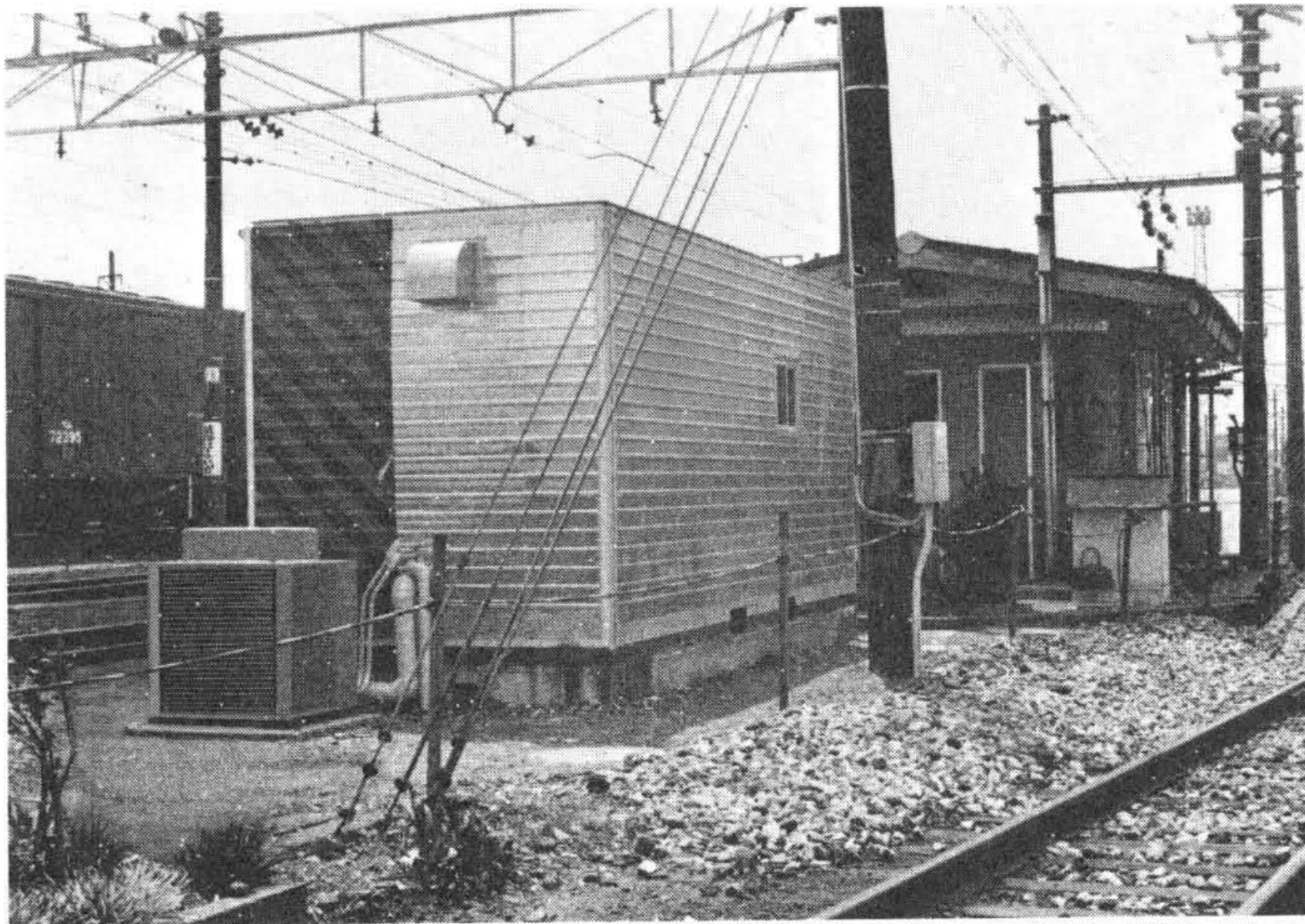


図2 コンテナ方式機器室 コンテナ内には、中央処理装置、その他周辺機器及び空調機が配置されている。

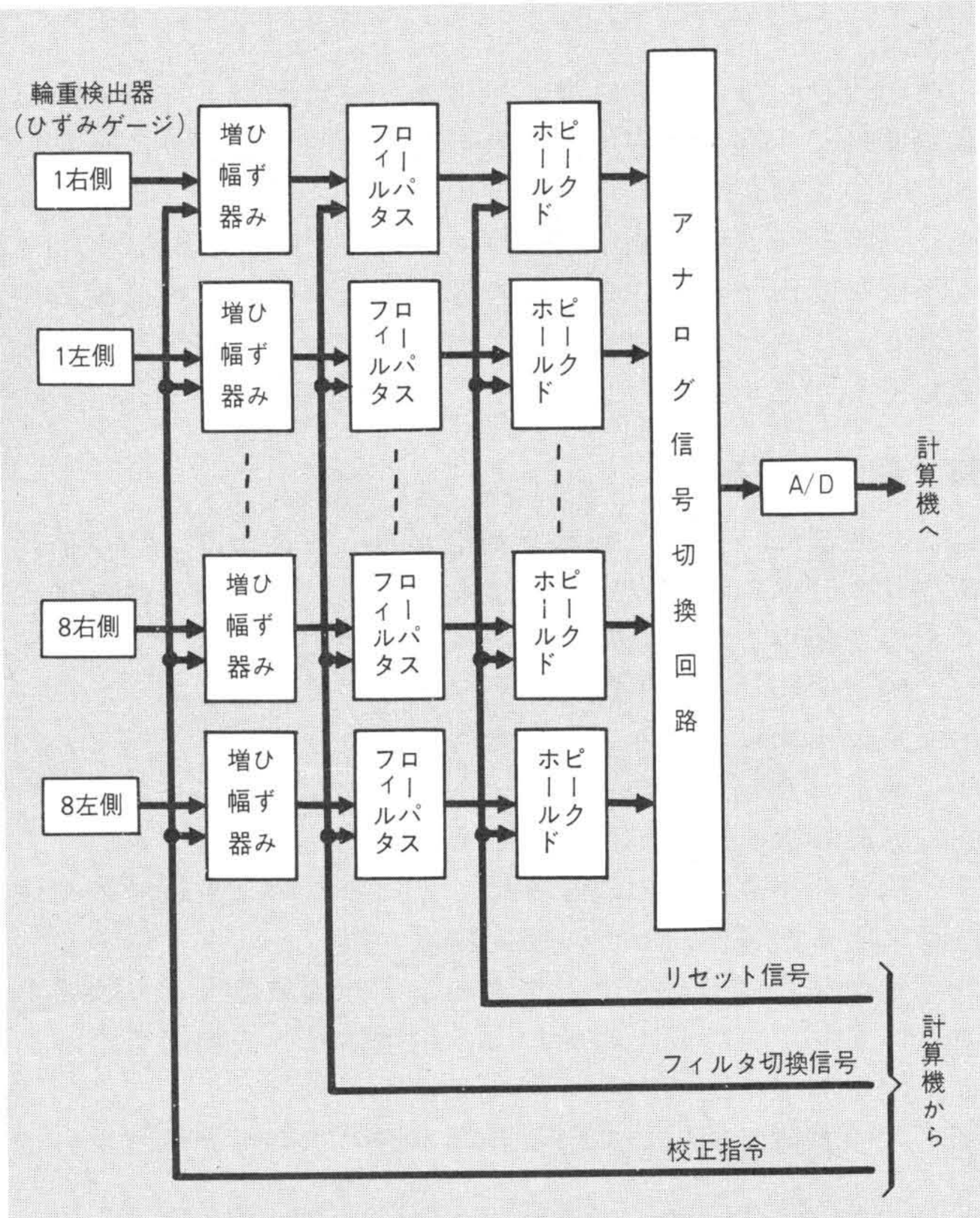
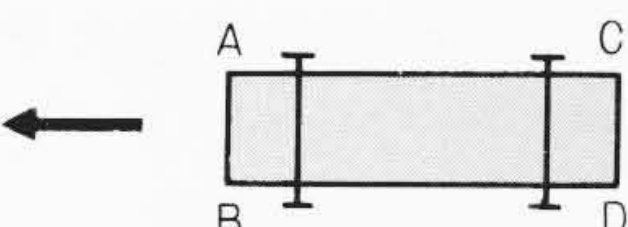


図3 輪重測定装置ブロック図 測定線のレールに取り付けてある輪重検出器(左右で16個)からの信号は、輪重測定装置で処理されて計算機へ送られる。

表1 装置の仕様 測定室の中央処理装置で演算を行ない、異常車の判定を行なっている。

項番	項目	内容
1	測定車	二軸車、ボギー車及びその他
2	測定項目	二軸車 偏積、過積及び空車の偏輪重
		ボギー車、その他 過積
3	最大秤量	一輪当たり最大10t
4	精度	±2%（静止荷重において）
5	測定最大速度	列車通過最大速度50km/h （グリスガン使用の場合は35km/h）
6	演算	方法 貨車の輪重を測定した後、下に示す演算を行なう。
		種類 二軸車
		
		全重量 $A+B+C+D=\Sigma(\text{輪重})$
		前軸左右輪重差 $A-B$
		後軸左右輪重差 $C-D$
		一軸当たり重量 $\Sigma(\text{輪重})/2$
		前後軸重差 $(A+B)-(C+D)$
		前後偏重比 $\{(A+B)-(C+D)\}/\Sigma(\text{輪重})$
		左右偏重比 $\{(A+C)-(B+D)\}/\Sigma(\text{輪重})$
7	異常車の判定及び表示	方法 演算された値が、次に示す設定値を超えた場合は異常車と判定し、異常車マーク装置によって当該貨車の後軸軸箱にグリスを吹き付ける。
		基準設定値 偏積
		前後軸重差 4t 左右輪重差 3t 各種偏重比 20% 全重量が12t以下の場合は、空車の偏輪重と判定する。
8	出力方法及びその内容	過積
		一軸当たり重量 14t
8	出力方法及びその内容	異常車判定の結果、異常車と判定された貨車のデータ及び異常車がなかった場合は、その旨の出力を行なう。また、測定機器の故障の際の故障系統の出力を行なう。更に、日報の出力を随時行なう。

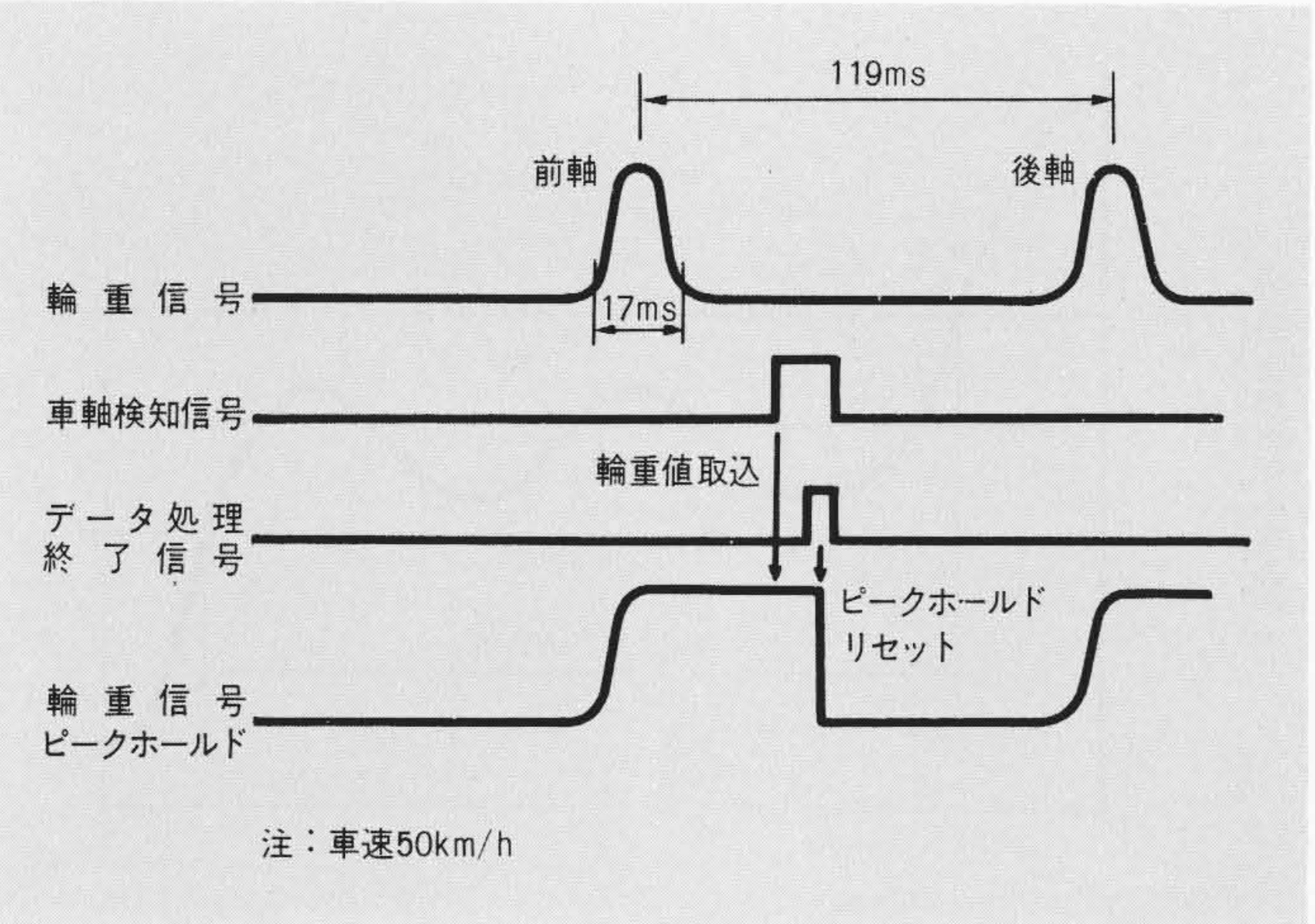


図4 輪重測定のタイムチャート 輪重測定は8箇所（左右で16箇所）で行なわれるため、輪重値取込処理速度は高速が要求される。

る必要もなく、かつ高速領域まで測定することができる。輪重測定の方法（原理図）を図5に示す。同図(a)に示すように、輪重 Q が支点 $R1$ 、 $R2$ をもつレール上を通過した場合、レール上の点 A と点 B に生ずるせん断ひずみは、同図(b)、(c)のようになり、点 A と点 B のひずみの差をとれば、同図(d)のような方形波状のひずみ出力が得られる。この出力を計測することによって、輪重値を知ることができる。

輪重検出部としてのひずみゲージは、直交形のものを用いている。これらは、図6に示すようにブリッジに結ばれ、曲げに対する中立軸上のレール腹部に取り付けられる。

図7は、ひずみゲージを内蔵した輪重検出器をレール腹部にテーパリーマ穴をあけて、取付けた一例である。

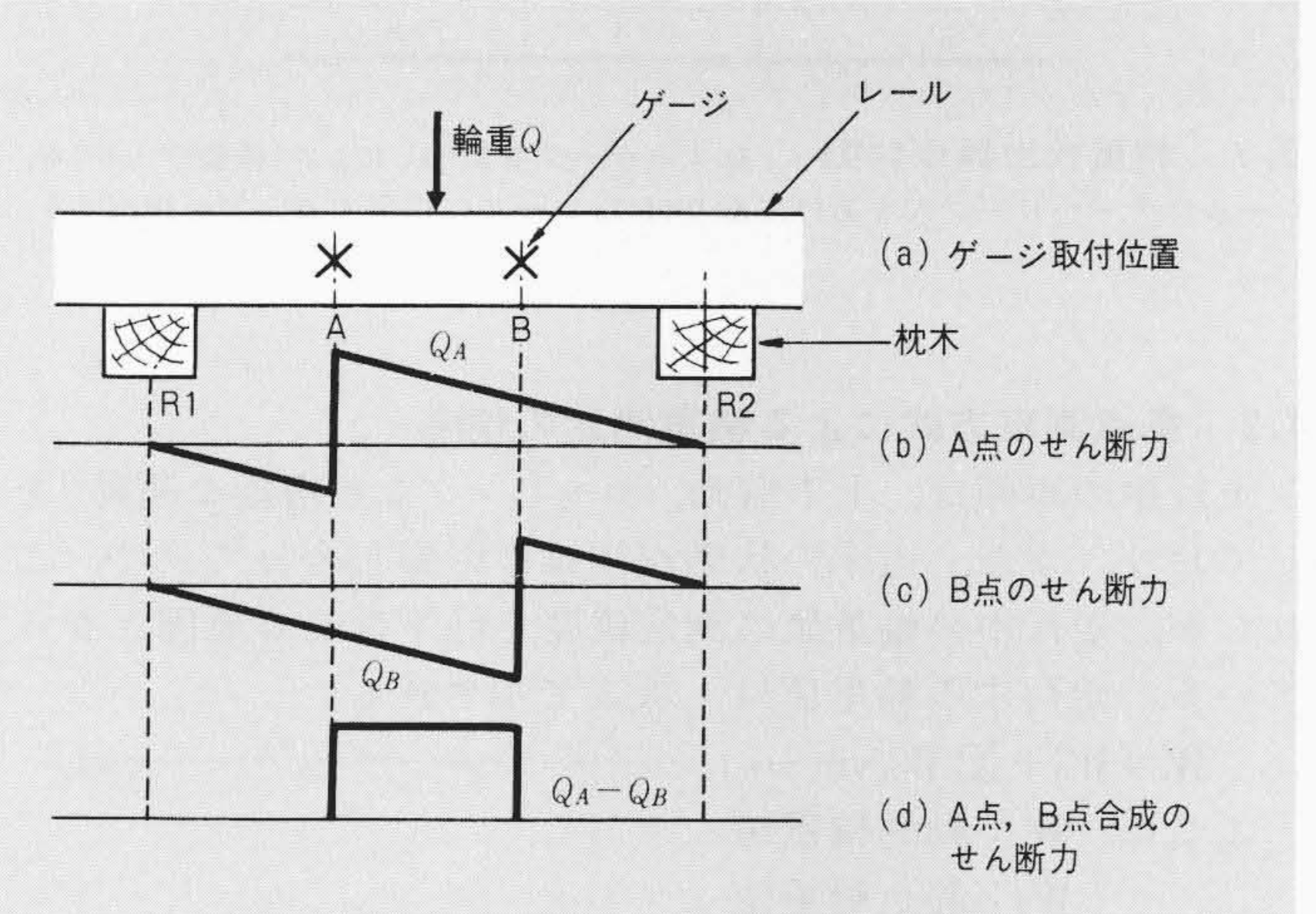


図5 せん断ひずみ測定原理図 レールを単純ばりと仮定し、枕木を支点とした場合のせん断力線図を示す。

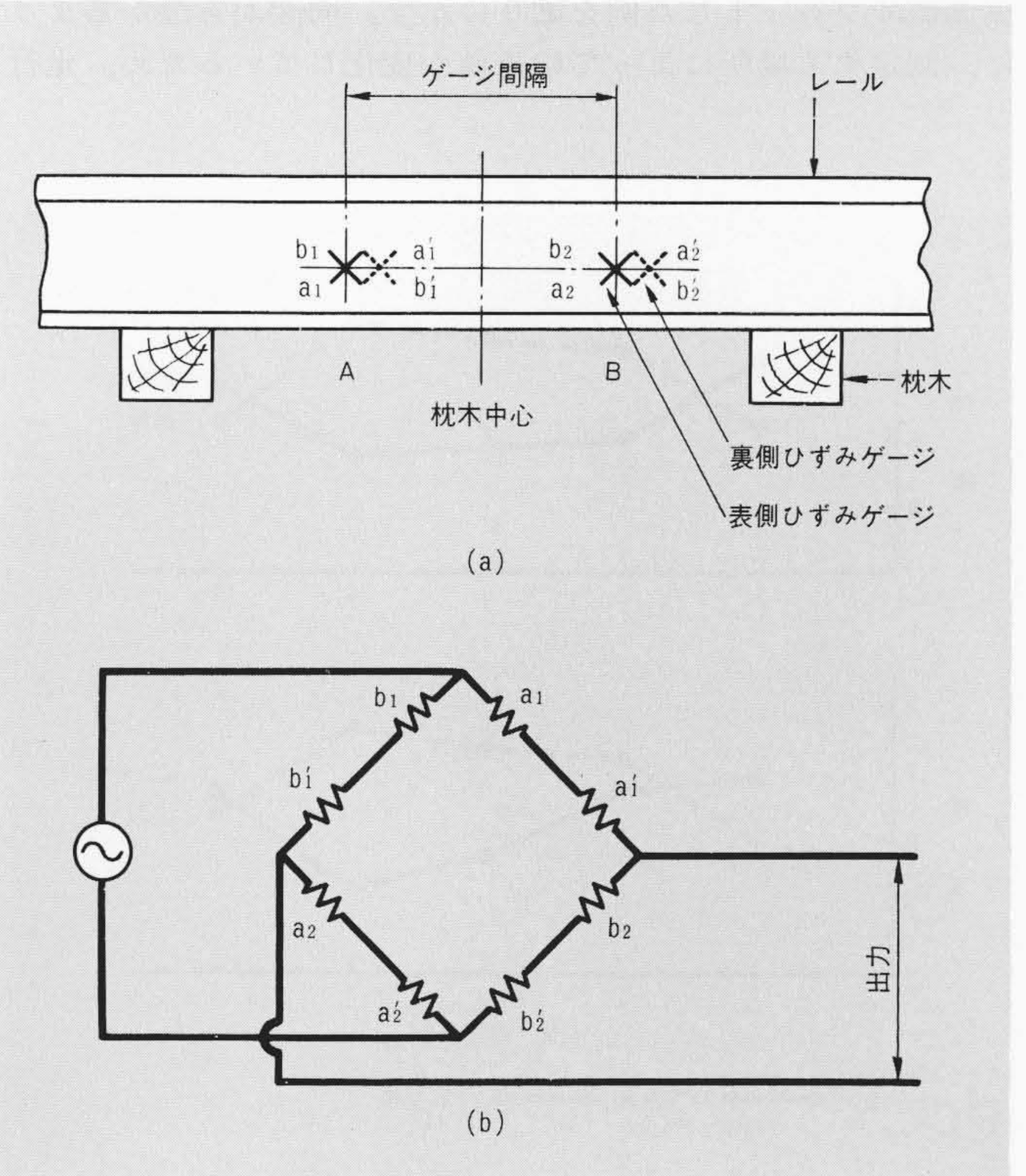


図6 ひずみゲージ配置と接続 ひずみゲージをブリッジに接続し、垂直荷重だけを出力するようにする。

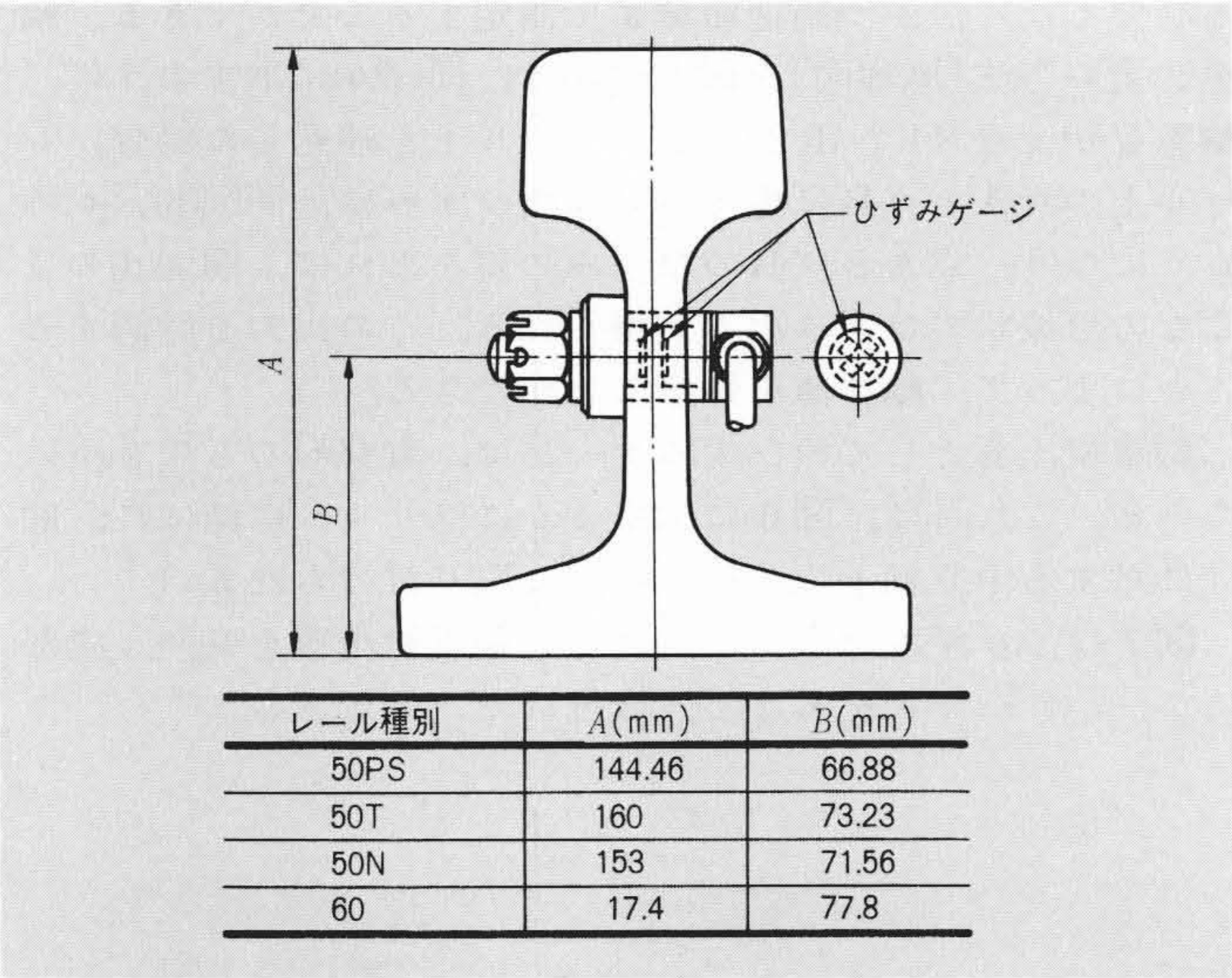


図7 輪重検出器取付図 ひずみゲージを封印したもの(栓型ゲージ)を、レールにテーパリーマ穴をあけて取り付け、レールに作用する応力を検出する。

4.2 多点測定方式による輪重測定の精度

走行中の車両は、上下振動、ローリングなど複雑な運動²⁾をしており、また、道床の状態が複雑に影響し合っていて、これらが、走行中の輪重値の測定精度を低下させる原因となっている。走行中の輪重値は、次式で示される。

$$W = W_0 + \sum W_n \sin \omega_n t \dots\dots\dots(1)$$

- ここに W : 動的輪重値
- W_0 : 静止輪重値
- W_n : 振動数 ω_n で変動する輪重変動成分
- ω_n : 固有振動数
- t : 時間

実際に輪重値が測定点によってどのように変化しているか、実測値でプロットした例を図8に示す。同図から分かるように、測定する場所によって輪重値が変化しているため、走行

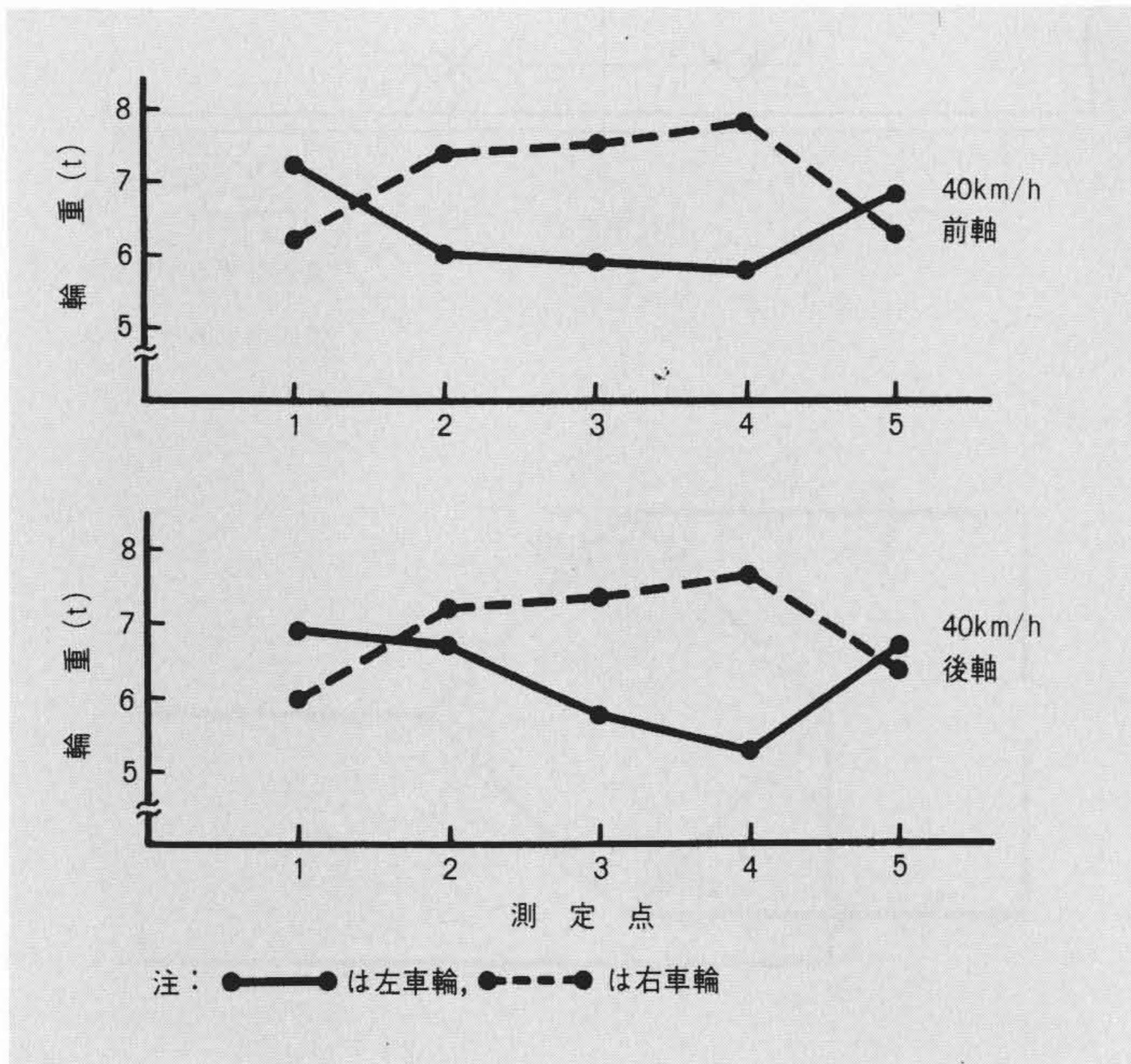


図8 測定点による輪重の変化(二軸車) 測定値の平均をそれぞれの輪重値とする。

中の輪重を精度よく測定するには、測定点を一定間隔で複数設け、その平均をとる方が輪重の振動成分を相殺することとなり、精度を向上させることができる。

いま、等間隔 a で設置した測定点に作用する動的輪重値 W を、振動成分の第1項までで近似し、測定点数 n で算術平均した値は、次式で表わすことができる。

$$W_{\text{mean}} = W_0 + K_n W_1 \sin \omega_1 t \dots\dots\dots(2)$$

$$K_n = \frac{1}{n} \left(1 + 2 \sum_{m=1}^{\frac{n-1}{2}} \cos 2m \cdot \frac{a \omega_1}{2V} \right), n: \text{奇数} \dots\dots\dots(3)$$

$$K_n = \frac{1}{n} \left\{ 2 \sum_{m=1}^{\frac{n}{2}} \cos (2m-1) \cdot \frac{a \omega_1}{2V} \right\}, n: \text{偶数} \dots\dots\dots(4)$$

- ここに W_{mean} : 測定点数 n の平均動的輪重
- $K_n W_1$: 上下動の平均振幅
- K_n : 上下動の平均振幅係数

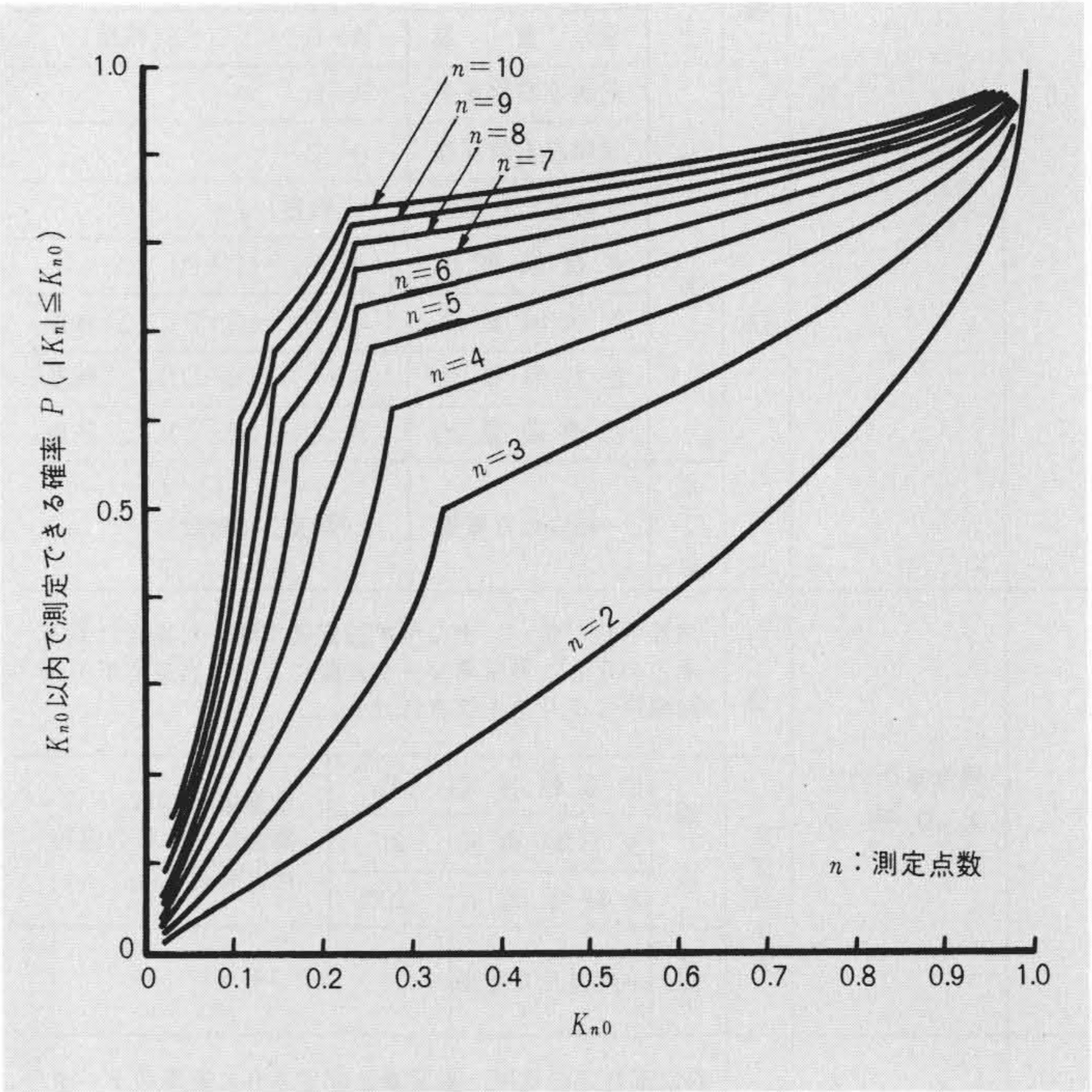


図9 平均振幅係数と確率との関係 平均振幅係数 K が小さいほど車両振動の影響は少なくなる。測定点数が多くなるほど平均振幅係数を小さくすることができるが、8測定点以上になるとその効果は少なくなる。

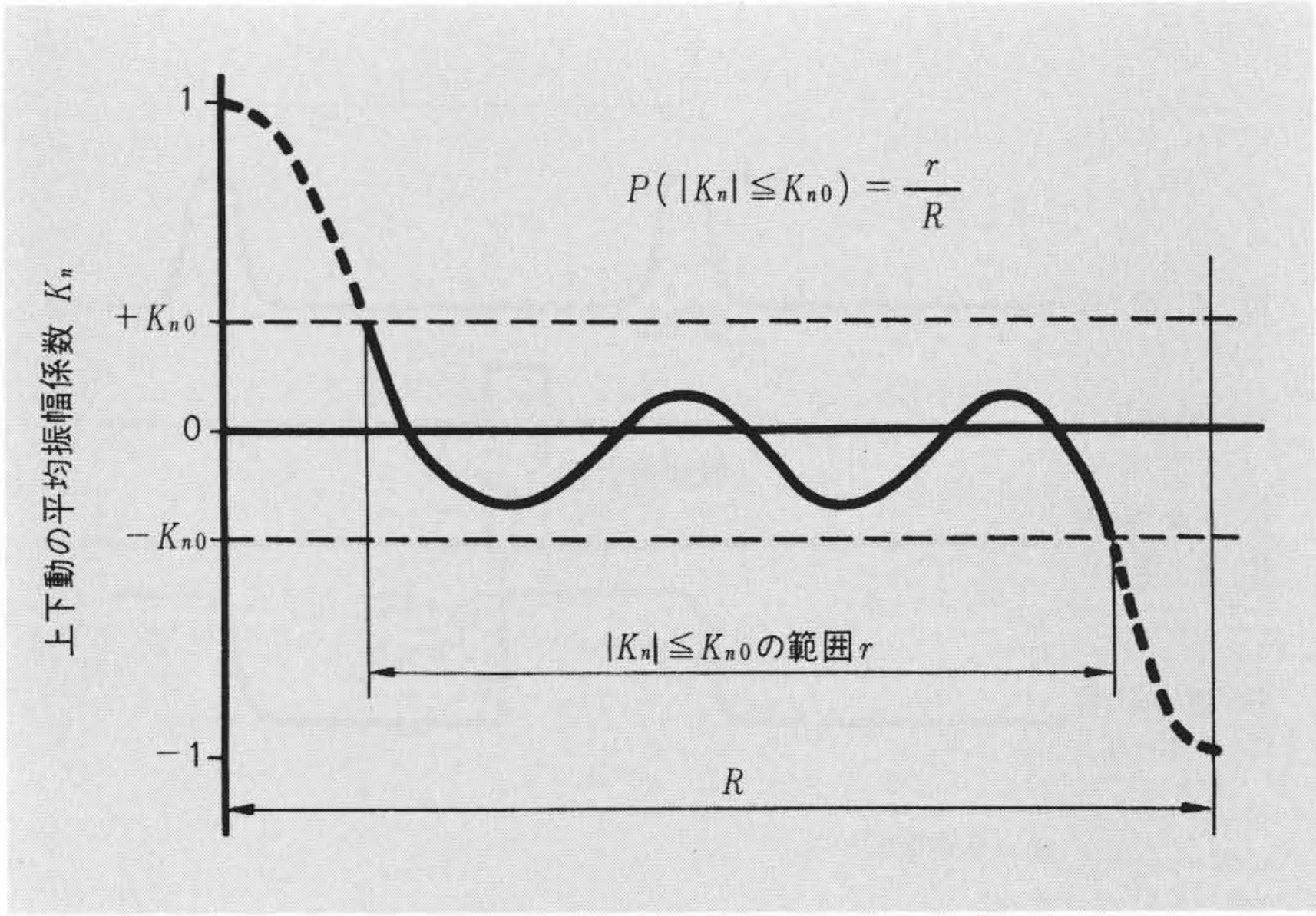


図10 確率 $P(|K_n| \leq K_{n0})$ $|K_n| \leq K_{n0}$ で測定できる確率は $\frac{r}{R}$ である。

n : 測定点数
 a : 測定点間の距離
 V : 車両の走行速度

上記(2)式から上下動による影響を小さくするためには、 K_n を小さくすればよいことになる。

$|K_n|$ をある値 K_{n0} 以下の値で測定できる確率 $P(|K_n| \leq K_{n0})$ を、図9に示す。

ここで確率 $P(|K_n| \leq K_{n0})$ は、図10に示すように $|K_n|$ の値が K_{n0} 以下となる範囲 r の全範囲 R に対する割合である。

図9から、測定点を増すことにより高い精度で測定できる確率 P は増大するが、その効果の増す割合はしだいに少なくなり、実用的には5～8測定点程度が投資面からも適当と思われる。

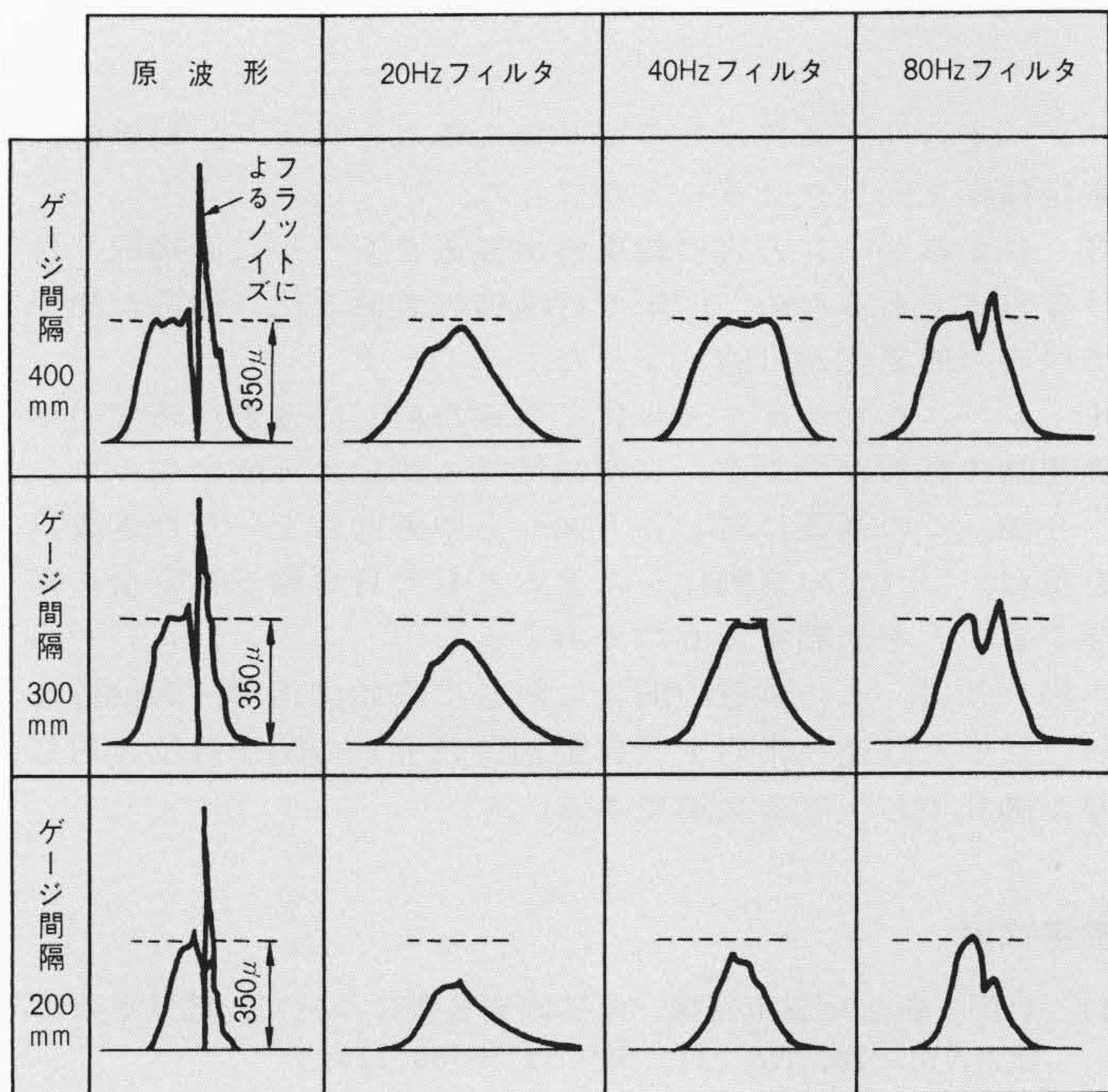
4.3 輪重波形に重畳するノイズの除去³⁾

輪重の測定精度を低下させる要因としては、先に述べた車両の振動のほかに、輪重波形に重畳するノイズが考えられる。そのノイズの主なものとしては、フラット車輪の影響がある。フラット摩耗を生じている車輪が、測定点に打ち当たったとき、図11の原波形にあるようなノイズが発生し、輪重の測定精度に悪影響を与える。

この装置では、このノイズを取り除くために、ローパスフィルタを使用しているが、その効果を図11に示す。

フィルタのシャ断周波数を低くとると、ノイズ除去の効果は上がるが、あまり低くすると波形は減衰してしまう。原波形を減衰させずに、ノイズ成分だけを効果的に除去するためのローパスフィルタのシャ断周波数は、貨車の通過速度及びゲージ間隔に応じて最適値を求める必要がある。輪重波形が、フィルタの遅れにより減衰しないフィルタのシャ断周波数と、貨車の速度、ゲージ間隔との関係を図12に示す。

図12(a)はフラット車輪によるノイズ成分の減衰特性を示したもので、ゲージ間隔を240mmにした場合の一例である。車速に応じて、フィルタのシャ断周波数を切り換えることによ



注：速度45km/h

図11 フィルタ効果の一例 ゲージの間隔が大きいほどフィルタのシャ断周波数を低くすることができ、ノイズ除去の効果も大きい。

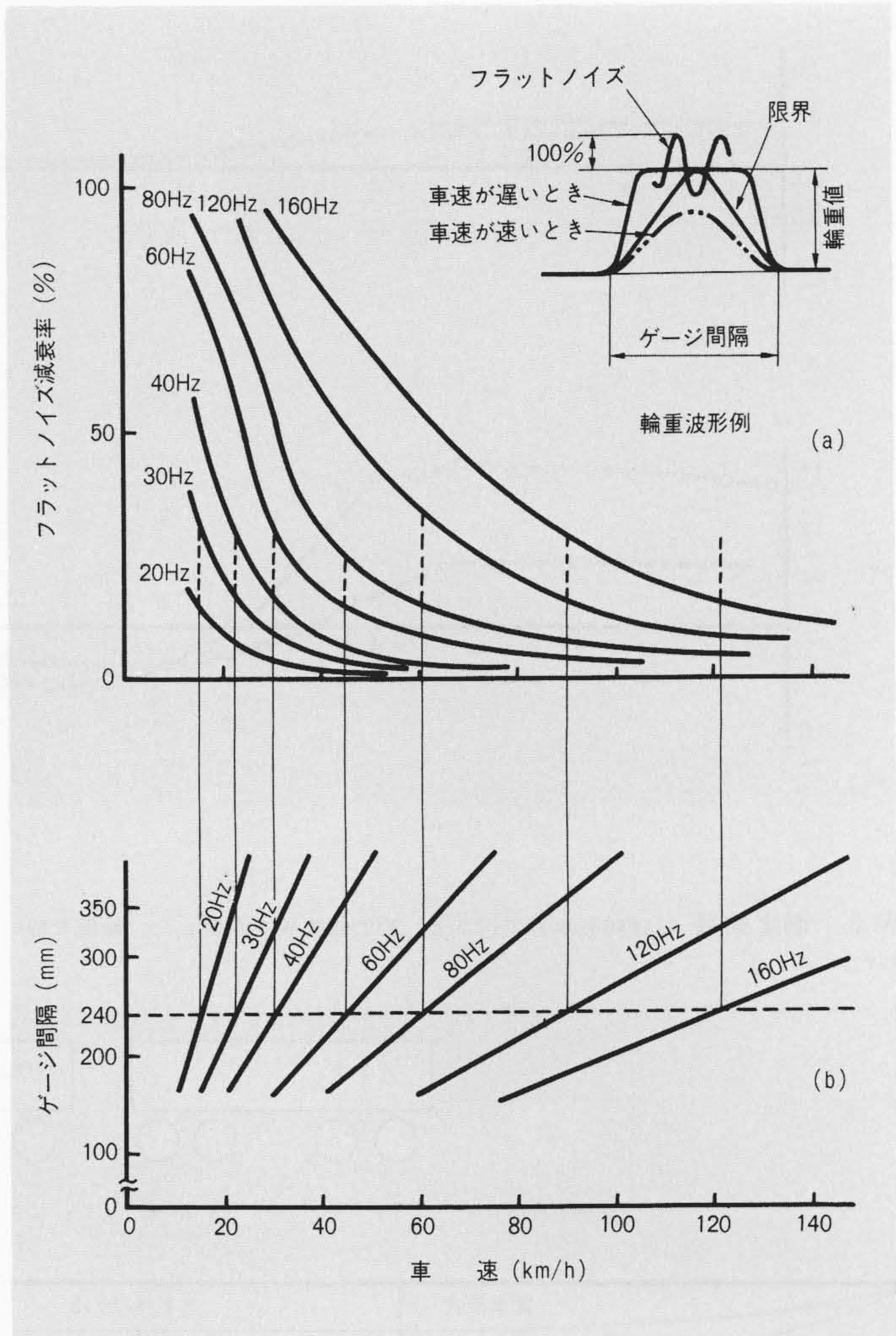


図12 車速とフィルタの関係 車速に対応して、フィルタのシャ断周波数を切り換えると、ノイズ除去の効果上がる。

り、ノイズ成分を約10～30%程度に減衰させることができる。また多点測定を行なうことにより、ノイズ成分は更に平均化され、ノイズの影響は少なくなり測定精度を向上することができる。

図12(b)は、輪重波形がフィルタの影響により減衰しないフィルタシャ断周波数の下限を示した理論値である。すなわち、ゲージ間隔が大きいほど、同一速度でシャ断周波数を低くすることができ、また同一シャ断周波数でカバーできる速度の範囲が広い。

4.4 零値ドリフトの影響

この装置は、ひずみゲージをレールに取り付けて、その点に生ずるせん断ひずみを検出することにより、輪重を測定するようにしているが、ひずみゲージは1日の気温の変化により零点の値が変化する。零点の変化(零値のドリフト)は、レールが太陽熱によって伸縮し、取り付けられているゲージにひずみを与えるために起こる現象で、その様子を図13に示す。

実際の車輪がゲージ上を通過すると、その零点の変化分だけ上積みされるため、測定する輪重値に誤差を生ずる。そのため、ドリフト量は小さいほうが望ましい。

図13(b)は、はり付方式のゲージで、吸湿によりドリフトが大きくなった例である。

したがって、今回取付方法を金属容器内にゲージを封入し、レール腹部に穴をあけ挿入固定する方式とした。

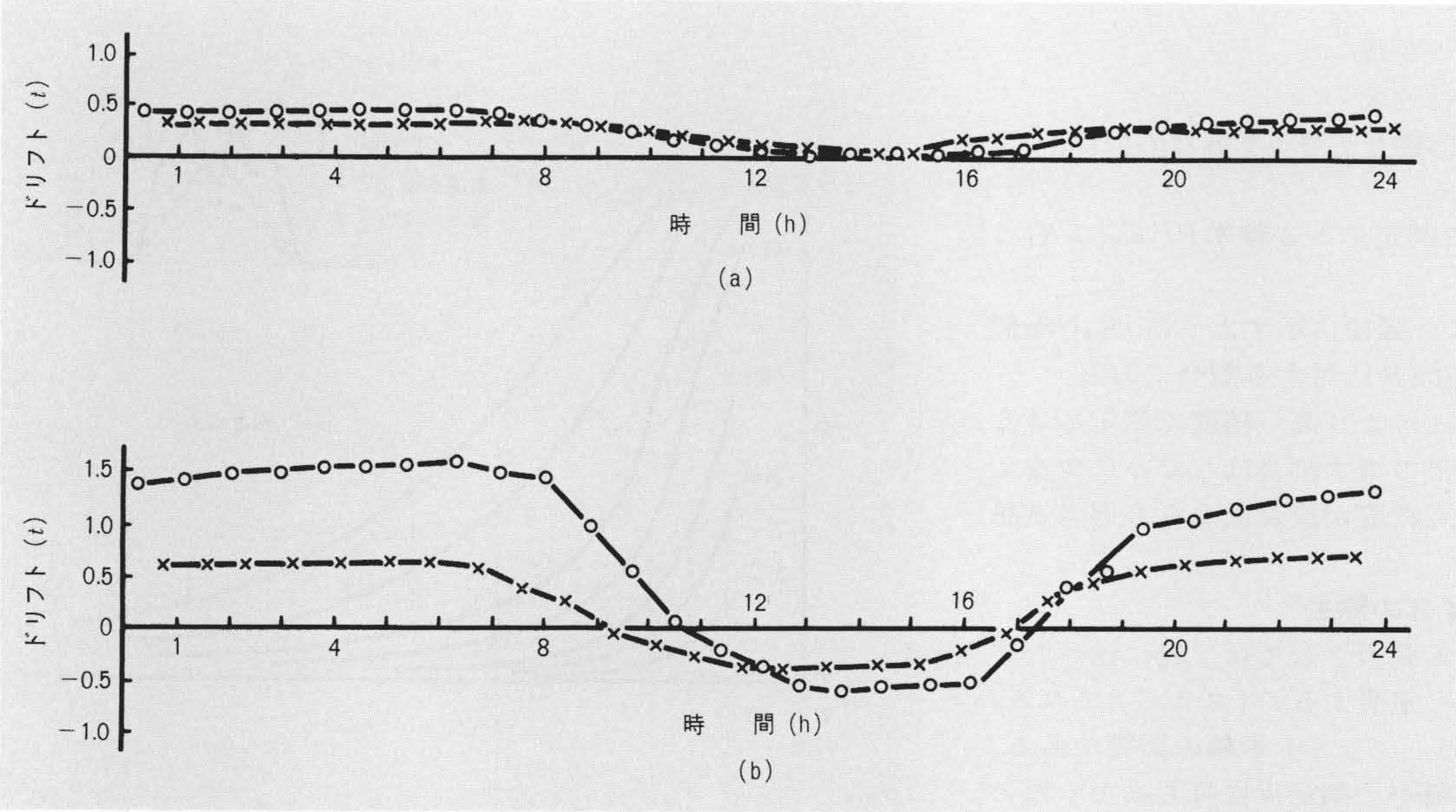


図13 零値ドリフト
レールに取り付けられた輪重検出器は、レールの収縮によりひずみを受けている。(a)はドリフトの小さい検型ゲージの例を、(b)はドリフトが比較的大きいはり付けゲージの例1日分を示している。

表 2 測定結果 試験列車を走行させ、動的輪重値を測定した。軸重で静的と動的では、4%の違いがみられた。

試験列車軸位											
貨車形式											
軸 重											
軸 位											
静 的 軸 重 (t)											
動 的 軸 重 (t)											
動的軸重 静的軸重 (%)											

この方式によると、吸湿の影響を受けず、図13(a)に示すように、零値ドリフト量を少なくさせることができる。

しかし、精度の高い輪重値を測定するためには、このドリフト量を完全に取り除くことが必要である。そこで、測定列車が進入する直前に無荷重状態のゲージの値をあらかじめ取り込んでおき、測定した輪重値から無荷重状態のゲージの値を差し引くことにより、真の輪重値を求めるようにした。

5 走行試験結果

輪重の測定点を8箇所として、試験列車を走行させ試験を行なった。この装置で測定した軸重は8箇所の測定点で測定した動的輪重値から平均して求め、静止時の軸重と比較した。その結果を表2に示す。同表に示すように、この装置で測定した動的軸重は、最大4%の誤差に収まっている。

6 結 言

以上、貨車脱線防止対策の一環として、貨車重量過偏積測定装置について述べたが、その主な成果は、

(1) 輪重の多点測定により、車両運動による動荷重の影響を少なくし、輪重測定結果の信頼性を高めることができた。

(2) フラット車輪によって発生するノイズを除去するフィル

タを、走行速度に合わせて切り換えることにより、輪重値の測定精度を向上させることができた。

(3) ひずみゲージ方式の輪重検出装置をレールに直接取り付け方式であるため、従来の秤構造の装置と比べ構造が簡単で保守の簡易化が可能になった。

(4) レールをロングレール化できるため、高速走行時での車両運動の影響が少なく、高速領域での測定が可能になった。

今後、この装置に対し各方面からの御助言をいただき改良を重ね、より良い自動化システムとして貨車輸送の安全に寄与することを願うものである。

終わりに、この装置の開発に対して終始御指導、御鞭撻をいただいた鉄道技術研究所自動制御研究室の関係各位に対し厚く御礼申し上げる次第である。

参考文献

1) 村戸：新しい貨車過積・偏積測定装置について、電気車の科学、Vol. 28, No. 11, 32~33 (昭50-11)

2) 大塚：鉄道車両、日刊工業新聞社 (昭32)

3) 斉藤、佐々木：貨車輪重測定におけるフラット摩耗車輪による誤差の抑制、昭和52年電気学会全国大会論文集、1393~1394 (昭52-7)