

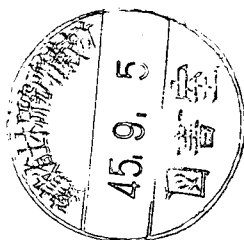
土木研究所資料

第606号

試験道路における試験調査

—自動路面たわみ量測定車—

(自動ベンケルマンビーム試験報告)



昭和45年5月

建設省土木研究所

道路事業調査費による調査試験（試験調査）

道路土工及び舗装に関する試験調査

試験道路における試験調査

— 自動路面たわみ量測定車 —

（自動ペンケルマンビーム試験報告）

機械研究室

磯 部 金 治

吉 田 六 三

目 次

ま え が き	1
1. 製 作 目 的	3
2. 路面たわみの理論的考察とペンケルマンビームたわみ量の舗装設計への適用	3
2-1. 路面の応力とたわみ	3
2-2. 路面たわみと C. B. R, K 値の関係	7
2-3. 多層構造体の応力とひずみ	9
3. 路面のたわみ量測定による各国の路面の設計, 管理の現状	11
3-1. A A S H O の道路試験	11
3-2. カナダにおける現状	13
3-3. 仏土木研究所の路面管理	14
3-4. 我が国の土木研究所の現状	16
4. 自動路面たわみ量測定車（土研式自動ペンケルマンビーム）製作の経過	17
4-1. 製作にあたっての検討事項（基本仕様の決定）	17
4-2. 製作の経過（各部試験, 改良の経過）	18

4-2-1.	基本仕様の検討	18
4-2-2.	各試験結果と改良項目及び経過	20
4-3.	各種ペンケルマンビームたわみ量測定法	24
4-3-1.	概 要	24
4-3-2.	各試験方法	24
(1)	土 研 法	
(2)	カナダ法(修正復元変位法)	
(3)	AASHO 普通たわみ(最大沈下法)	
(4)	AASHO 復元たわみ(復元沈下法)	
(5)	アスファルト舗装要綱の方法	
(6)	仏式デフレクトグラフ	
(7)	土研式自動路面たわみ量測定車 (今回の開発機)	
4-4.	仏式デフレクトグラフ(1964型)の構造・特徴	27
5.	自動路面たわみ量測定車(土研式自動ペンケルマンビーム)	31
5-1.	製 作 仕 様	31
5-1-1.	概 要	31
5-1-2.	仕 様	32
5-2.	各部構造・性能	37
5-3.	測 定 方 法	46
6.	性 能 試 験	48
6-1.	概 要	48
6-2.	定 置 試 験	49
6-2-1.	納 入 試 験	49
6-2-2.	ビーム作動試験	49
6-2-3.	ビーム校正試験	49
6-3.	走 行 試 験	50
6-3-1.	ペンケルマン式試験	50
6-3-2.	連続移動試験	52
7.	ま と め	53
	あ と が き	54

ま え が き

近年路面たわみ量を測定して舗装の診断をしようとする試みが各地で行なわれている。ベンケルマンビームを用いた路床または舗装盤各層のたわみ量の測定試験は舗装の構造設計や、施工管理に今後利用されていくことが予想される。しかし、その試験方法にはまだ未解決の問題が多く、設計施工に利用するためには各種の問題を解決しなければならない。⁽¹⁾ 路面のたわみを設計や施工管理に応用する方法は、Boussinesq の弾性理論並びにBurmister, Barber 及びNascimento 等の多層構造理論に基づき路盤のたわみから、弾性係数等の力学的性質の推定とか、C. B. R, K 値との相関をつかんでおかなければならない。

また、舗装の診断に利用する方法は、施工当時測定したたわみ量と、現在のたわみ量との関係を舗装の補修の判定に利用しようとするもので、AASHTOの道路試験・フランスの土木研究所で開発したデフレクトグラフによる路面管理等でも行なわれている。

我が国の土木研究所においても舗装研究室を中心として、主として試験舗装区間の路面たわみ量をベンケルマンビームによって測定し、試験舗装の追跡調査を行なって上記に述べた試験に対する検討を行なっている。ベンケルマンビームたわみ量の測定法は平板載荷試験やC. B. R. 試験に比べると取り扱いが容易である。したがって、長距離の路面管理には最適の方法であるので各地で利用されている。しかし、現在使われているベンケルマンビームの測定方法は、荷重載荷・ビーム挿入・たわみ量の読み取り等に多数の人員を必要とするうえに測定時における交通障害並びに人命の危険を伴っているので、安全かつ簡易な方法に改良する余地を残している。

また、路面の管理には大量のデータ収集と処理を短時間に行なう必要が生じる。したがって、これ等の測定作業を自動化し、しかも能率的に測定しようとする試みで、機械研究室において自動路面たわみ量測定車（自動ベンケルマンビーム）を開発した。自動路面たわみ量測定車は路面の沈下量を連続的かつ長時間にわたって測定できる装置である。

フランスに於いても、土木研究所が中心となって、ベンケルマンビーム沈下量を連続的にかつ統計的に解析できるデフレクトグラフを開発し、各地でたわみ量を測定し舗装の管理に利用している。

それ等の文献については、機械研究室を中心として検討を加えたのであるが、フランス式では舗装研究室の要求する測定方法を満足できないものであったので、新たに建設省土木研究所の要求に合った自動路面たわみ量測定車の開発を行なったものである。

この報告書は自動路面たわみ量測定車の開発に関する報告書である。開発にあたって各国のベンケルマンビーム測定が路面の設計とか管理に適用されている現状とか、各種測定機の構造

及び測定法について調査を行なった。この報告書にはそれ等の内容と製作の経過及び測定車の仕様及び構造・測定法ならびに性能試験結果と今後の問題点等について記したものである。性能試験結果に基づき一部改良を行っており、今後従来のベンケルマンビームとの比較その他の試験については別に報告の機会があると思われる。

1. 製作目的

路面の設計・施工管理や舗装の診断に用いるベンケルマンビームたわみ量測定機の測定作業を自動化し、短期間に大量の測定作業とデータ処理を行って、合理的・能率的な設計施工管理並びに舗装診断に役立てようとするものである。

2. 路面たわみの理論的考察と

ベンケルマンビームたわみ量の舗装設計への適用

2.1 路面の応力とたわみ

路面の応力状態あるいは変形を解析することは、路面構造が均質でない事を考えれば困難であるが、対象となる路面の物理的性質を単純化し、適当な仮定を設けると弾性理論による応力・変形を求めることができる。

Boussinesq 及び Timoshenko の弾性理論によると、⁽²⁾⁽³⁾ 鉛直の集中荷重がある固体の水平面に作用すると、その固体中の各水平面に一組の鉛直応力が生ずる。載荷された固体中の水平断面上の鉛直力の強さは荷重直下の載荷点で最大となり、圧力分布は図-1に示すように一種のドーム形を示す。

荷重によって生じた圧力は下方に拡がるので、その場合ドーム形圧力の最大高さで表わされる任意の水平断面上の最大圧力は載荷面下の深さが増すにしたがって減少する。釣合条件から任意の水平断面上の増加した全圧力は作用した荷重と等しくなければならない。したがって、その載荷面からの深さが増すにしたがい圧力ドームの形は高さが低くなり巾が広がる。理論によっても、経験によっても圧力ドームの形は載荷された地盤の物理的諸特性には全然無関係である。

ここで載荷された材料は弾性であり、等方・等質とい

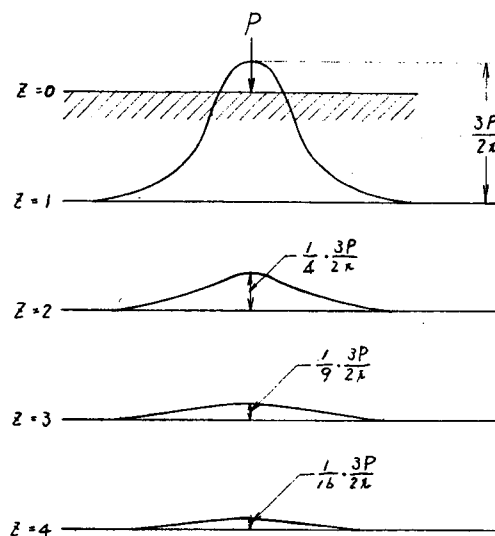


図-1 ドーム形圧力分布

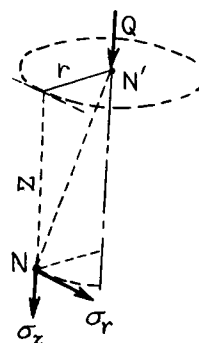


図-2

点荷重 Q が作用する半無限体内の N 点の鉛直圧力度

う仮定をもうけると図-2に示すように鉛直な集中荷重Qが半無限に広がった固体の水平面上に作用すると、この固体内のN点ではBoussinesqの理論により次の式で示される強さの全応力状態を求めることができる。

$$\sigma_z = \frac{3Q}{2\pi z^2} \left[\frac{1}{1 + \left(\frac{r}{z}\right)^2} \right]^{\frac{5}{2}} \dots\dots\dots (2-1)$$

ここに σ_z : z軸(垂直方向)にかかる応力

Q : 点荷重の強さ

r : 点荷重の位置から半径方向の距離

z : 点荷重の位置から垂直方向の距離

σ_z が主応力とすれば、z軸に平行な面にそれぞれ σ_x , σ_y の水平応力が生じ、それらの面は対称であるので $\sigma_x = \sigma_y = \sigma_r$ となる。

$$\sigma_r = \frac{Q}{2\pi} \left[(1-2\mu) \left\{ \frac{1}{r^2} - \frac{z}{r^2} (r^2 + z^2)^{-\frac{1}{2}} \right\} - 3r^2 z (r^2 + z^2)^{-\frac{5}{2}} \right] \dots\dots (2-2)$$

ここに μ : Poisson 比

せん断応力は

$$\tau_{rz} = \frac{3Q}{2\pi} \cdot \frac{r}{z^3} \left[\frac{1}{1 + \left(\frac{r}{z}\right)^2} \right]^{\frac{5}{2}} \dots\dots\dots (2-3)$$

今、上記条件のもとにおける固体にqなる等分布荷重が加わると、固体内任意点Nに於ける鉛直応力・接線応力は、その荷重面積を微小部分dAにわけて、(2-1)(2-2)式より導かれる。今dpが微小面積Aの中心に集中しているものとする、

$$dp = q dA \dots\dots\dots (2-4)$$

したがって

$$d\sigma_z = \frac{3q}{2\pi z^2} \left[\frac{1}{1 + \left(\frac{r}{z}\right)^2} \right]^{\frac{5}{2}} dA \dots\dots\dots (2-5)$$

$$d\sigma_r = \frac{q}{2\pi} \left[(1-2\mu) \left\{ \frac{1}{r^2} - \frac{z}{r^2} (r^2 + z^2)^{-\frac{1}{2}} \right\} - 3r^2 z (r^2 + z^2)^{-\frac{5}{2}} \right] dA \dots\dots\dots$$

..... (2-6) となる。

今、N点が図-3に示すように半径aなる円形をした等分布荷重pの載荷面の中央N'よりzなる深さの所にあるとすれば、N点での鉛直及び半径方向及び接線方向の応力は、(2-5)・(2-6)式を載荷面積全体にわたって積分することにより次式で示される。

$$\sigma_z = p \left[1 - \frac{\left(\frac{z}{a}\right)^3}{\left\{1 + \left(\frac{z}{a}\right)^2\right\}^{\frac{3}{2}}} \right] \dots\dots (2-7)$$

$$\sigma_r = \frac{p}{2} \left[1 + 2\mu - \frac{2(1+\mu)\left(\frac{z}{a}\right)}{\left\{1 + \left(\frac{z}{a}\right)^2\right\}^{\frac{1}{2}}} + \frac{\left(\frac{z}{a}\right)^3}{\left\{1 + \left(\frac{z}{a}\right)^2\right\}^{\frac{3}{2}}} \right] \dots\dots (2-8)$$

$\mu = 0.5$ とすると

$$\sigma_r = p \left[1 - \frac{3}{2} \cdot \frac{\left(\frac{z}{a}\right)}{\left\{1 + \left(\frac{z}{a}\right)^2\right\}^{\frac{1}{2}}} \right]$$

$$+ \frac{1}{2} \cdot \frac{\left(\frac{z}{a}\right)^3}{\left\{1 + \left(\frac{z}{a}\right)^2\right\}^{\frac{3}{2}}} \right] \dots\dots\dots (2-9)$$

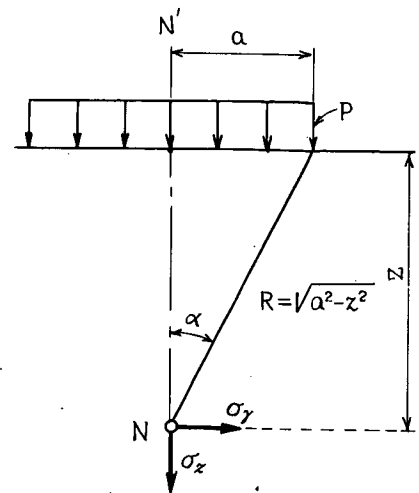


図-3 フレーリッヒの式の説明図

(2-7)・(2-8)式はそれぞれ方向の主応力であるからモール円より、

$$\tau_z = (\sigma_z - \sigma_r) / 2$$

$$= \frac{3}{4} \cdot \frac{\left(\frac{z}{a}\right)}{\left\{1 + \left(\frac{z}{a}\right)^2\right\}^{\frac{3}{2}}} \dots\dots\dots (2-10)$$

となる。以上の諸式で垂直応力 σ_z ・半径方向応力 σ_r (接線応力も同じ) およびせん断応力 τ_z を計算した結果が図-4に示されている。⁽⁴⁾ 図を見ると深さが増すに従って、 σ_z ・ σ_r ・ τ_z すべて減少

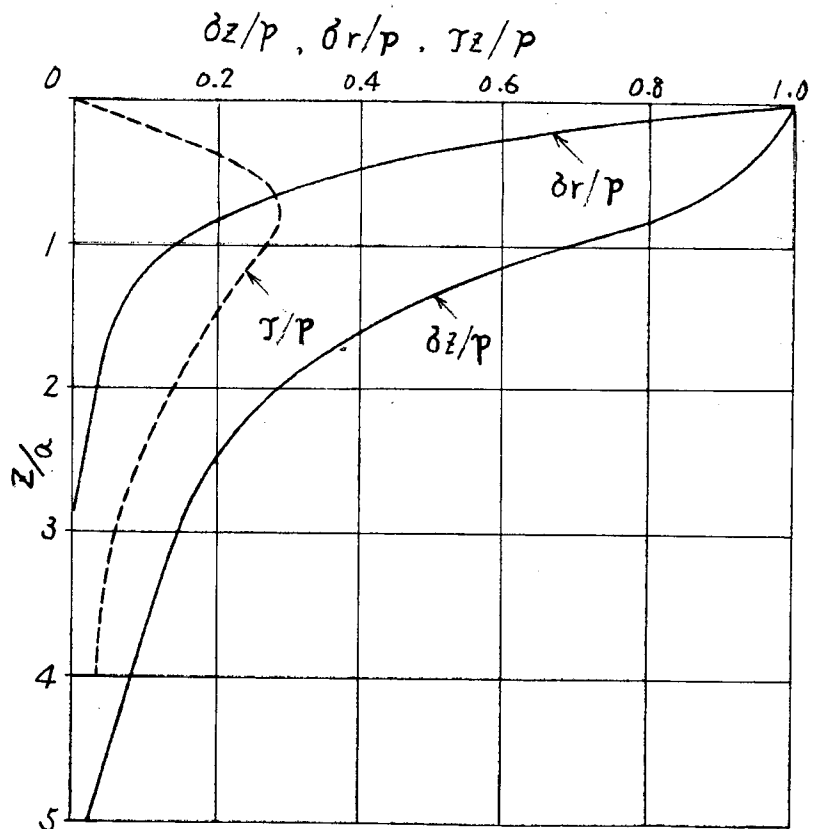


図-4 円形等分布荷重の中心軸上に生ずる垂直応力、半径方向応力、せん断応力 (Barber)

するが、 σ_r は σ_z よりも急激に減少している。 τ_z はある深さで最大になる。その値は(2-10)式の最大値(極値)を求めればよい。その結果は、 $z = 0.707a$, $\tau_{\max} = 0.289p$ となる。

地盤は完全弾性体でないので、応力式を地盤に適合するように補正する方法が考えられている。

図-3に示すように(2-7)式はフレリッヒ(Fröhlich)の式で示される。

$$\sigma_z = p(1 - \cos^{\nu} \alpha) \dots\dots\dots (2-11)$$

ここに α : 載荷面の中心軸上深さ z の点より載荷面の周辺をのぞむ角

ν : 応力集中係数といわれる常数

において、 $\nu = 3$ とした場合になる(普通の粘性地盤では Boussinesq の式となる)。一般に路盤は実測値に於いても荷重をとり除くと変形は元へ戻ることを考えると、弾性に近い応力歪関係を維持しているものと思われる。したがって、式(2-7)・(2-8)を利用してN点のたわみを求めてみる。地表面からの深さ z における単位体積の小エレメントを考える。円形面の中心下 z において、3軸荷重による弾性ひずみの垂直成分は、

$$\sum \epsilon = \int_z^{\infty} (\sigma_z - 2\mu\sigma_r) dz = \frac{p}{E} \left[(2-2\mu^2)(a^2+z^2)^{\frac{1}{2}} - \frac{(1+\mu)z^2}{(a^2+z^2)^{\frac{1}{2}}} + (\mu+2\mu^2-1)z \right] \dots\dots\dots (2-12)$$

非圧縮性材料と仮定してポアソン比 $\mu = 0.5$ とおくと、

$$\sum \epsilon = \frac{1.5pa}{E} \cdot \frac{1}{\{1+(\frac{z}{a})^2\}^{\frac{1}{2}}} \dots\dots\dots (2-13)$$

となる。したがって、N点(地表面)のたわみは $z = 0$ とおけばよい。

したがって(2-13)は、

$$\epsilon_1 = \frac{1.5pa}{E} \dots\dots\dots (2-14)$$

となる。トラックの輪荷重では接地円(載荷円)の半径は、 $a = 12 + P$ で求められる。⁽⁴⁾ P は輪荷重で、 cm/ton で表示する。

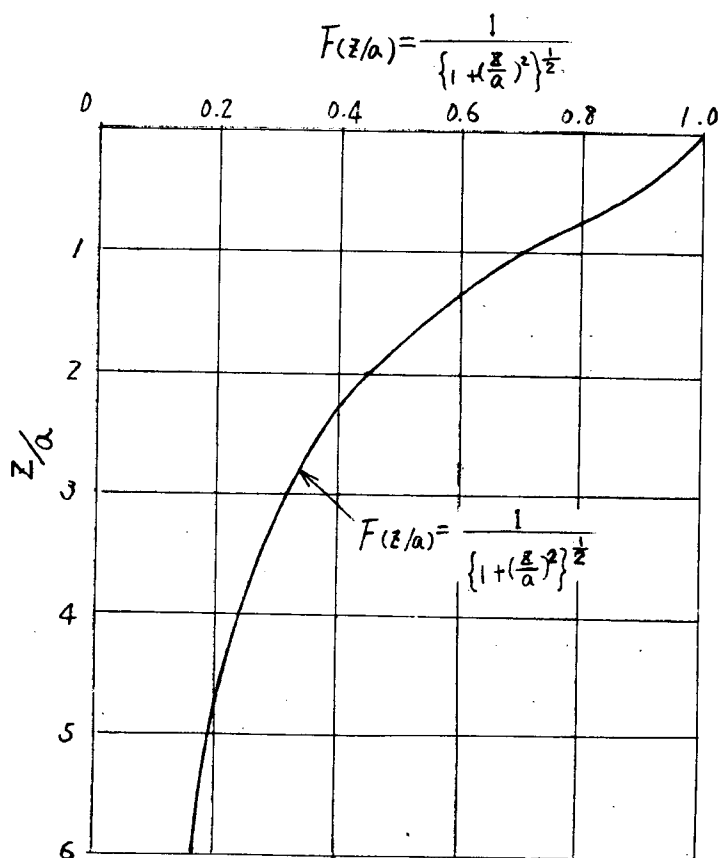


図-5 一様地盤の場合の沈下係数

沈下量は地表面において最大で、深さが増すに従って減少し、無限の深さにおいて沈下量が零となる。その状態は図-5に示す。

2.2 路面たわみとC. B. R. K値の関係

支持力係数K値は、我が国に於いては直径30cmの剛性載荷板を利用して、ある沈下量における荷重を断面積で割った値の沈下量に対する比として表わしている。

$$K = \frac{p}{d} \dots\dots\dots (2-15)$$

ここに K : 支持力係数 (Kg/cm²)

p : 載荷板上の荷重強度 (Kg/cm²) , 30cm載荷板を使用する時には,

$$p = P(\text{荷重}) / 707 \text{ cm}^2$$

d : 載荷板の沈下量 (cm) , コンクリート舗装用路盤の場合 d = 0.125cm

アスファルト舗装用路盤の場合 d = 0.25cm をとる。

載荷試験を行うのは剛性載荷板によるのであるから、地表面の沈下量は中心でも円形板の端の方でも同じである。載荷板がどこでも同じだけ沈下するためには、載荷板は地表面を等分布荷重で押すことにはならない。剛性円形載荷板で荷重をかける場合は、応力分布が載荷板の周辺において大きくなっており、Timoshenkoによれば、

$$\epsilon_2 = \frac{\pi}{4} (1 - \mu^2) \frac{2pa}{E} \dots\dots\dots (2-16)$$

ポアソン比 $\mu = 0.5$ とすれば、

$$\epsilon_2 = \frac{1.18pa}{E} \dots\dots\dots (2-17)$$

となる。したがって、剛性板の沈下量とタイヤのようなたわみ性の板(等分布荷重)の沈下とを比較すれば、式(2-14)・(2-17)より

$$\eta = \frac{\epsilon_2}{\epsilon_1} = 0.786 \dots\dots\dots (2-18)$$

となる。

(2-15)・(2-17)式より $\epsilon_2 = d$ となるから次式が導かれる。

$$K = \frac{E}{1.18a} \dots\dots\dots (2-19)$$

C. B. R. 試験を直径5cmの板による平板載荷試験と考えると、貫入量0.25cm (標準荷重強度70Kg/cm²)における板の荷重強度pは、

$$p = \frac{C. B. R.}{100} \times 70 = 0.7 C. B. R. \dots\dots\dots (2-20)$$

したがって、直径 5 cm の板による支持力係数 K_5 は次のようになる。

$$K_5 = \frac{p}{d} = \frac{0.7 C. B. R.}{0.25} = 2.8 C. B. R. \dots\dots\dots (2-21)$$

(2-19)・(2-21)式より、

$$C. B. R. = 2.14 K_{30} \dots\dots (2-22)$$

が得られる。現場 C. B. R. と K_{30} 値との相関についての調査結果が図-6に示されている。⁽¹⁾ 計算値とは多少ずれているようである。

ベンケルマン沈下量と K_{30} の関係について検討してみる。

式(2-17)・(2-19)より、

$$K 2a_1 \cdot d = \frac{a_2}{a_1} p \dots\dots\dots (2-23)$$

ここに d : たわみ量 (cm)

a_1 : 剛性載荷板の半径 (cm)

a_2 : タイヤの平均接地面の半径 (cm)

p : 後輪ダブルタイヤの平均接地圧 (Kg/cm^2)

上記の関係について現場調査結果が得られている。⁽¹⁾⁽⁶⁾ ベンケルマン沈下量はけん引車後部荷重輪のダブルタイヤの中央の沈下量であって当然タイヤ直下の沈下量より小さく、⁽⁵⁾ 輪荷重がダブルタイヤの外側を拘絡する面に一様に分布するとしたときの平均的な沈下量に等しいと仮定し、接地面は直径 45 cm・面積 1590 cm^2 の円形とし、輪荷重 5000 Kg の場合の接地圧 $p = 3.14 Kg/cm^2$ として算出している。図-7に K 値と d との関係について示す。⁽¹⁾

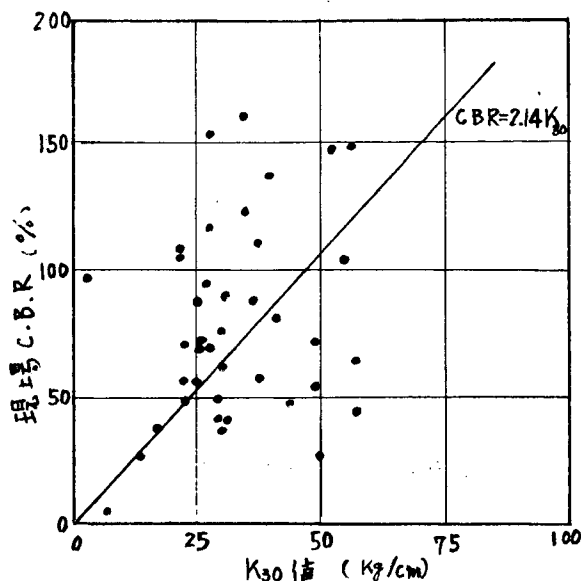


図-6 現場 C. B. R. と K_{30} 値の相関 (修正 CBR 80 以上)

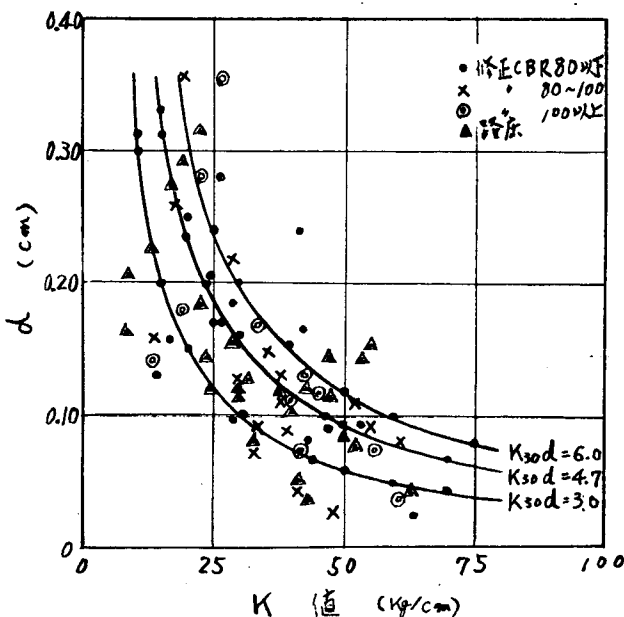


図-7 K 値と d との関係

2.3 多層構造体の応力とひずみ

実際の路面は各弾性係数の違いによる多層構造となっており、これらの解法については各研究者により発表されている。⁽⁷⁾ Barberの二層構造に対する近似解を利用して、多層構造に対する理論的な解法や沈下量の実測値とK値とかC. B. R. 試験との比較実験の発表もなされている。⁽⁶⁾⁽⁷⁾⁽⁸⁾

弾性率を異にする層が重なっている二層体内部の応力、および沈下を求める問題を二層問題という。

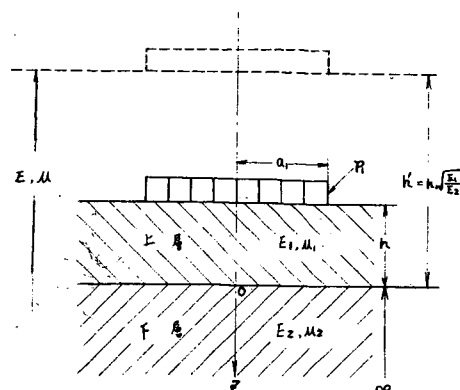


図-8 等値法の説明図

今、図-8のような二層体があるとする。両層の境界において載荷円の中心軸上に原点0をとる。路面の沈下量は下層上面すなわち原点0の沈下量と上層の圧縮量との和である。

原点0の沈下量を求めるには、まず上層と下層を同じ材料でしかも原点0の沈下量が同じになるような層と置き換える。置き換えた後の上層の厚さを h' とする。二つの層が中央部で同じ沈下を起すための条件は、板の曲げ剛性係数 (bending rigidity) が等しい事と仮定する。

$$\therefore D = \frac{E_1 (h_1)^3}{12(1-(\mu_1)^2)} = \frac{E_2 (h')^3}{12(1-(\mu_2)^2)} \quad (\text{Barber の等値法}) \quad \dots\dots\dots (2-24)$$

(2-24) 式より

$$h' = h_1 \left[\frac{E_1}{1-(\mu_1)^2} \div \frac{E_2}{1-(\mu_2)^2} \right]^{\frac{1}{3}} \quad \dots\dots\dots (2-25)$$

$\mu_1 = \mu_2 = 0.5$ とすれば

$$h' = h_1 \left[\frac{E_1}{E_2} \right]^{\frac{1}{3}} \quad \dots\dots\dots (2-26)$$

したがって、原点0の沈下 ϵ_s は式(2-13)より

$$\epsilon_s = \frac{1.5 p_1 a_1}{E_2} \cdot \frac{1}{\left[1 + \left(\frac{h_1}{a_1} \right)^2 \cdot \left(\frac{E_1}{E_2} \right)^{\frac{2}{3}} \right]^{\frac{1}{2}}} \quad \dots\dots\dots (2-27)$$

上層の沈下量についてはBarberは次のような等式を考えた。

$$\epsilon_c = \frac{1.5 p_1 a_1}{E_1} \left[1 - \frac{1}{\left\{ 1 + \left(\frac{h_1}{a_1} \right)^2 \cdot \left(\frac{E_1}{E_2} \right)^{\frac{2}{3}} \right\}^{\frac{1}{2}}} \right] \quad \dots\dots\dots (2-28)$$

以上により二層地盤の沈下量は、深さ h における沈下量と厚さ h の上層の圧縮量の和として示される。

$$\varepsilon = \frac{1.5 p_1 a_1}{E_1} + 1.5 p_1 a_1 \left(\frac{1}{E_2} - \frac{1}{E_1} \right) \left[\frac{1}{1 + \left(\frac{h_1}{a_1} \right)^2 \left(\frac{E_1}{E_2} \right)^{\frac{2}{3}}} \right] \dots\dots\dots (2-29)$$

こゝで、第一層と第二層との力学的性質を1つの等値弾性係数Eで表わす。今、

$$\frac{1}{\left[1 + \left(\frac{h_1}{a_1} \right)^2 \cdot \left(\frac{E_1}{E_2} \right)^{\frac{2}{3}} \right]^{\frac{1}{2}}} = f \left(\frac{h_1}{a_1}, \frac{E_1}{E_2} \right) \dots\dots\dots (2-30)$$

とおくと、表面の沈下量は、(2-14)・(2-29)・(2-30)より

$$\frac{1.5 p_1 a_1}{E} = \frac{1.5 p_1 a_1}{E_1} + 1.5 p_1 a_1 \left(\frac{1}{E_2} - \frac{1}{E_1} \right) \cdot f \left(\frac{h_1}{a_1}, \frac{E_1}{E_2} \right) \dots\dots (2-31)$$

こゝに E : 第一層以下の等値弾性係数

したがって、

$$\frac{1}{E} = \frac{1}{E_1} + \left(\frac{1}{E_2} - \frac{1}{E_1} \right) \cdot f \left(\frac{h_1}{a_1}, \frac{E_1}{E_2} \right) \dots\dots\dots (2-32)$$

となる。第二層上面の載荷半径を a_2 、載荷強度を p_2 とすると、第二層上面の沈下量は (2-14)・(2-27)より、

$$\frac{1.5 a_2 p_2}{E_2} = \frac{1.5 a_1 p_1}{E_2} \cdot f \left(\frac{h_1}{a_1}, \frac{E_1}{E_2} \right) \dots\dots\dots (2-33)$$

その場合の全荷重は、

$$\pi (a_1)^2 p_1 = \pi (a_2)^2 p_2 \dots\dots\dots (2-34)$$

式(2-33)・(2-34)より

$$a_2 = \frac{a_1}{f \left(\frac{h_1}{a_1}, \frac{E_1}{E_2} \right)} \dots\dots\dots (2-35)$$

$$p_2 = p_1 \left\{ f \left(\frac{h_1}{a_1}, \frac{E_1}{E_2} \right) \right\}^2 \dots\dots\dots (2-36)$$

となる。多層構造の場合は、式(2-32)・(2-35)・(2-36)を利用してとくことができる。

近年電子計算機の発達により、理論計算が容易となったので、理論的な解法が進められているが、現場測定によるつめが手薄のようなきらいがあり、ベンケルマンビームたわみ量は数多くの問題点を残しているが、⁽¹⁾⁽⁵⁾今後これ等の問題の解決が進むにつれて、上記理論にもとづく沈下量と実測値を比較し、路床及び舗装体の各層の弾性係数を測定し、路面の合理的な構造設計方法とか、管理に大いに利用されるであろう。したがって、こゝに紹介する測定機が大いに活用されるようになると思われる。

3. 路面のたわみ量測定による各国の路面の設計、管理の現状

3.1 AASHOの道路試験⁽⁹⁾

1952年より準備期間を含めて約10年間の年月と100億円の巨費を投じて行なわれたAASHOの道路試験は大規模なしかも厳密に実施された舗装と橋梁に関する試験であると云われている。AASHOの道路試験は次に述べるような項目について技術的資料を得るように考えられた。

- (1) 新しい舗装と橋梁の設計施工
- (2) 現実の舗装の管理と改良
- (3) 許容軸荷重や道路税に関する基準作成

舗装試験に関して、さらに具体的には次のような目的を有している。

- (1) ある路床土の上に種々の厚さや構成で施工されたアスファルトおよびコンクリート舗装に種々の軸荷重を繰返し走行させて舗装の破壊と軸荷重の関係を求めること。
- (2) 特殊な舗装や特殊な車輛について第1の目的と同様に調査すること。
- (3) 舗装の維持修繕の工法と労力や材料についての資料を求めること。
- (4) 試験の方法、器具および整理方法などを改良すること。

第1目的にある種々の設計の、舗装の供用成績(Pergormance)とこれに加えられる車輛の荷重との間の統計学上有意な関係を求めることに重点が置かれた。

AASHOの道路試験では第1目的の試験の特性値である供用成績を客観的に評価するため、サービス指数S. I. を用いた。これは各種のグループの人々に米国で供用されている道路を走行してもらって、個人の主観にもとづいて供用成績を評価し、各グループの平均値を求めれば、一般道路利用者の平均的な評価を得ることができる。舗装の供用成績の評価は主として路面の状態により決定される。したがって各グループにより評価された道路について路面の凹凸・わだちぼれ・および、ひびわれの状況などを測定し、これ等の測定値と道路利用者の評価との関係を求めることにより、サービス指数を決定した。

AASHOの道路試験のもう一つの特性値は、その舗装があと、どの程度の寿命があるかと云うことである。現在たわみ量やひずみ量の大きい舗装は、将来比較的早期に破壊に至ることが予想される。したがってAASHOの道路試験ではたわみ量やひずみ量を求めることにより今後の寿命を評価した。

コンクリート舗装では、動荷重(走行荷重)によるコンクリート舗装版縁部のひずみ・隅角部のたわみ・静荷重による縁部復元たわみおよび隅角部復元たわみを測った。

動ひずみは電気抵抗線ひずみ計、動たわみは差動変圧器により行なった。

静たわみはベンケルマンビームを路肩上において復元たわみを取り、次の結果を得ている。

ひずみおよびたわみと荷重の関係は一次式で示される。

ひずみおよびたわみと温度差（舗装盤表面温度と底面温度）の関係は双曲線となる。

ひずみおよびたわみと走行速度の関係は双曲線で示される。

他の調査は目で見えない程度の破壊が舗装に生じていない間に測定した縁ひずみを使って、舗装の寿命を推定することができた。

各ひずみ・たわみによる舗装の供用成績の推定式を導いた。

アスファルト舗装では、試験車を 3 Km/h で移動させた時のたわみを 4.3 で示したベンケルマンビームで測定した。各試験区間のたわみは内側車輪通過位置・外側車輪通過位置それぞれ 2 箇所、合計 4 箇所の平均値である。

たわみ測定は、施工後間もなく秋と春に行なった。これは多くの道路は秋に完成し供用が開始されることである。春期に行なったのは、凍結を生ずる地方のアスファルト舗装はこの頃に被害を受けやすいからである。この試験より次に述べる結果が得られている。

舗装のたわみより決まる舗装厚指数 Dd を測定結果より導いている。また、たわみ・単軸荷重・舗装構造の関係を表わす実験式を導いている。

春期における普通たわみも復元たわみも、ともに相関度が高い ($C^2 = 0.79 \sim 0.80$)。いずれの場合も、砂利および碎石上層路盤は、アスファルトおよびセメント安定処理上層路盤よりたわみがかなり大きい。

砂利および碎石上層路盤のたわみは春に最大になる。これはこの時期に路床の状態が悪くなるためである。アスファルトおよびセメント安定処理上層路盤のたわみは、理由はわからないが、夏に最大になった。

コンクリートと同じく差動変圧器を利用した走行速度とたわみの関係が求められた（双曲線）。

表層の温度とたわみは約 29° 以下になると減少し、以上では一定である。

たわみによる舗装の耐用期間の推定について次の結論を出している。

アスファルト舗装のたわみの測定の主目的は、ある時期に測定したたわみと、その舗装の将来の耐用期間との関係を見い出すことである。たわみは路床土・表層・上層路盤・下層路盤の強さを、その舗装の施工の仕様のいかににかかわらず、実際の施工の状態に応じ反映していると考えられる。荷重——たわみ関係の資料によって、荷重——舗装構造関係の資料から得られると同程度の精度で舗装の将来を推定できる。

単軸荷重を通した車線の資料によれば、ある一定のサービス指数までの軸荷重通過数の対数は単軸荷重よりたわみ量の対数を引いた関係にある。この関係は春期のたわみによる場合の方が推定精度がよい。 $C^2 = (0.66 \sim 0.78)$

3.2 カナダにおける現状⁽¹⁰⁾⁽¹¹⁾

カナダでは、Canadian Good Roads Association (C. G. R. A.) の最近の研究成果の一つとして舗装設計委員会 (Pavement Design and Evaluation Committee) のまとめた舗装設計指針があり、これはカナダにおける最も進んだ舗装設計^計の標準的な考え方をまとめており、AASHOの道路試験の結果をカナダ流に積極的に取り入れた現時点における、すぐれた指針と考えられる。ここではAASHOの道路試験にならって、Present Performance Rating (P. P. R.) と云う尺度を作り、積極的に舗装状態の評価と舗装設計法に利用している。

舗装の良好度 P. P. R. は道路の幾何学的条件を考慮に入れないで評価した判定委員団の意見の平均値として決められ、委員団の意見は 0.0 ~ 10.0 の範囲で示される。

P. P. R. の数値と良好度の関係は五グループにわけられている。

カナダにおける調査では新しい舗装は P. P. R. が 8.0 ~ 9.5 であり、P. P. R. が 4.5 になるとオーバーレイか舗装の打ちかえがおこなわれている。したがって、P. P. R. 4.5 が舗装の寿命と考えることができる。

舗装の P. P. R. 値は設計・施工・荷重条件・環境条件等によって変化するが、建設後ある割合でその値を減じていく。これを式で示すと

$$P = f(P_o, S_s, A, L) \dots\dots\dots (3-1)$$

ここに P : ある時期の P. P. R. 値

A : 施工後の経過時間

P_o : 施工直後の P. P. R. 値

S_s : タワミ舗装表面の弾性支持力

(路床上の強さ・舗装構造の等値厚さ・温度変動・降雨量等の環境条件による)

L : 施工直後通過した交通荷重

式(3-1)の左右の関係をすることによって既知の荷重条件・環境条件のもとで舗装の寿命やある時期の良好度を予知することが可能となる。建設費・補修費・利用率等経済的な好ましい寿命をもつ舗装の設計が可能となる。

たわみ性舗装表面の弾性支持力を正確・迅速・経済的に測定するためにカナダ式ベンケ

ルマンビーム試験方法が考えられた。試験方法は4・3の図-11に示す。たわみ性舗装の設計や評価は面積と長さをもった舗装表面を対象としなければならない。そこである区間全体を代表する支持力状態を表現するため、試験地点を両車線において外側車輪の軌跡で乱数表により、フート単位の数値で10地点を選ぶ。ベンケルマンビーム試験の評価及び報告にはこの任意地点での測定結果の平均値($\bar{X}$)と標準偏差(σ_x)を用いる。対象区間の最悪部分を考慮するために($\bar{X} + 2\sigma_x$)なる復元変位量を設計及び評価に用いる。この($\bar{X} + 2\sigma_x$)はその区間の2%の部分がそれを越えるであろうと考えられる推測復元変位量である。

復元変位量($\bar{X} + 2\sigma_x$)の一定値に対して一日当りの一定交通容量(1000台/1日)の道路舗装に対するP. P. R. 値と供用年数の関係が発表されている。

3.3 仏土木研究所の路面管理⁽¹²⁾⁽¹³⁾

仏土木研究所では路面たわみ測定を舗装の診断ばかりでなく、進んでオーバーレイの設計方法に応用しようとする試みがなされている。1965年より地方道路研究所において、路面の沈下量を連続的にかつ統計的に解析する装置であるデフレクトグラフの応用を目的としたたわみ量測定運動を行ない、その結果より既設舗装をオーバーレイする際、どのような箇所を、どのような種類のものを、どのくらいの厚さで、またそれに要する予算はどのくらいに見積っておけばよいかという基準となる技術指針が未完成ではあるが示されている。その方法は平均1日当りの交通量に対して、許容限界たわみ量 d ($1/100mm$ 単位)と、基本区間2Km及び200m

表-1 2Km区間点数

区間における許容限界たわみ量に対する限界点数 N_0 、 N_0' の区分が表-1、表-2. に示すようにできている。これらの表より2Km基本区間において許容限界たわみ量を越える点数 N を記録紙より数え、規定の点数 N_0

平均1日当りの交通量 (台)	d =許容限界たわみ ($1/100mm$)	$N_0=2Km$ 基本区間の限界点数
>6000	100	15-20
3000-6000	125	20-25
1500-3000	150	25-35
750-1500	200	35-45

が $N \leq N_0$ であれば、この区間の道路は悪くないものと判断し、 $N > N_0$ であればこの区間は不良であると判定する。この不良な区間2Kmを200mずつの

表-2 200m区間点数

が $N \leq N_0$ であれば、この区間の道路は悪くないものと判断し、 $N > N_0$ であればこの区間は不良であると判定する。この不良な区間2Kmを200mずつの

平均1日当りの交通量 (台)	d =許容限界たわみ ($1/100mm$)	$N_0'=悪い区間内200m$ 小区間内の限界点数
>6000	100	2
3000-6000	125	3
<3000	150	4

小区間に分割する。分割した区間における許容限界たわみ量を越える点数 N' を数え、同じように規定の点数 No' と比較して悪いと判定された区間2kmのうち、良いと判定された200m小区間の数 M を除いた $(10-M)$ 区間について補強方法の検討を行なっている。しかし、これは一応の平均であって、交通条件・凍上条件等が特に異なる場合、修繕施工が困難な場合、また沈下量の測定条件が特別な場合には、技術者の判断を加味する必要がある。デフレクトグラフによるたわみ測定が簡単であるので、技術者は他の調査に注意が払われるのできめ細かい監視ができる。

測定作業は路肩から1m内側の所を測定車が走行し、左右2点ずつ測定していくが、一般に採用されるのは路肩側の方が沈下量が大きいため、路肩側のベンケルマンビーム沈下量を採用している。

既設舗装体の補強方法の種類の基準としては6種類があり、6種類の各方法について、ベンケルマンビーム沈下量と1日当り交通量より補強厚の関係について基準を示している。

表-3 ベンケルマンたわみ量と補強厚 (単位cm)

交通量台/1日 ベンケルマン ビーム沈下量 (1/100mm)	>6000	3000-6000	1500-3000	<1500
100-125	10	—	—	—
125-150	10	8	—	—
150-200	15	10	8	—
200-250	特別な研究が必要である	15	10	8
250-300	"	特別な研究が必要である	15	10
300-325	"	"	特別な研究が必要である	15
325-350	"	"	"	15

表-3に6種類のうちの1種類であるアスファルトコンクリートについての関係が示してある。補強された舗装体の寿命の基準は10年としている。なお、以上の関係はすべて電子計算機で処理を行なっているので、簡単に路面条件の判定と管理計画がなされている。

補強後の監視はデフレクトグラフ測定及び肉眼観察を行なっている。現段階では1日当りの平均交通量によって分類しているが、次の計画として、1967年までに補強する道路

を等値の車軸数に基づいて行なうため、重量測定運動が行なわれる予定ということである。

3.4 我が国の土木研究所の現状⁽¹⁾⁽⁴⁾

土木研究所舗装研究室での路面たわみ測定とたわみ量による路面管理は、仏土木研究所で行なっているような体系にはなっていないが、将来その方向に進むものと思われる。

ベンケルマンビームたわみ量試験は舗装の構造設計や施工管理のために有用な方法である。しかしその試験方法にはまだ未解決の問題が多く、設計施工に利用するためにはこれ等の諸点を早急に解決しておかねばならない。

現在の調査はベンケルマンビームたわみ量試験方法に対する検討とか、各地の試験舗装でのたわみ量測定運動を行なっている。ベンケルマンビームたわみ量試験方法に対する検討では、ベンケルマンビームたわみ量試験には種々の方法があるが、これ等を比較して簡易で正確な方法を決定すること。ベンケルマンビームたわみ量に関する因子、すなわち測定季節（舗装温度）・降雨・タイヤ圧・輪荷重・荷重の影響範囲・繰返し回数などの影響を明らかにし、測定方法の細部の規定と測定器の改良などのための資料を得ることである。後者についてはまだ充分な調査解析を行なっていないが、前者については土木研究所千葉支所構内の5種10ヶ所のアスファルト舗装及びコンクリート舗装上を土研法・カナダ法・AASHOの最大沈下法及び復元沈下法の四種の試験方法について各20点ずつ43年7月～44年5月に6回にわたって調査した中間報告がなされている。

その結果によると、

- (1) カナダ方法はたわみ量が土研法より0.1～0.5 mm程度大きい（ビームの前部の沈下を補正したため）。
- (2) 最大沈下法と復元沈下法による復元たわみ量の傾向はほぼ同様であり、たわみ量が2 mm以下ではほぼ土研法に等しい。しかしそれ以上のたわみ量では0.1～0.5 mm程度土研法より小さくなる。

土研法は測定値の変動係数が小さい（ $CV=1.3.8\sim2.0.6$ ）。最大沈下法の復元たわみ量が最も変動係数が大きい（ $CV=1.6.5\sim3.5.5$ ）。

- (3) タイヤ圧が大きい程たわみ量は大きくなるが、その差はわずかである。
- (4) 荷重の影響範囲はたわみ量の大きな場合3 m以上におよぶが、3 mにおけるたわみは0.05 mm以下である。
- (5) 最大沈下法の沈下たわみ量は2 mm以下では土研法より大きく、2 mm以上では土研法より小さくなる。
- (6) 中級以上のアスファルト舗装では夏期にたわみ量が大きくなるが、この傾向は舗装

の構成により異なる。簡易舗装や砂利道ではたわみ量と季節の関連はみられない。

(7) 荷重輪 4 t と 5 t ではほぼ荷重に比例したたわみ量が得られる。

以上の結果が報告されている。なお、ベンケルマンビーム測定 of 標準試験方法案が提案されている。また第 2 章で紹介したように 44 年度より建設省の技術研究会に「ベンケルマン沈下量による舗装各層の荷重分散効果の推定」が指定課題となり、路面たわみ量と K 値、C. B. R. の関係をつかみ舗装の支持力をベンケルマンたわみ量によって評価し、路面管理とか、路盤の設計方法に適用しようとする研究がなされており、2.3 の試験結果が発表されている。⁽¹⁾

4. 自動路面たわみ量測定車（土研式自動ベンケルマンビーム）製作の経過

4.1 製作にあたっての検討事項（基本仕様の決定）

測定車の開発にあたっては、構造・測定法・測定精度の検討のため各国で使われている従来のベンケルマンビーム測定機の構造・測定法の問題点及び路面の構造設計や路面管理等に利用されている現状調査を行ない今後の測定方法等について検討を行なった。更にフランス式のデフレクトグラフの構造及び開発中の問題点等を考慮し、下記の基本方針のもとに試作を行なったものである。

- (1) たわみ量は復元たわみ量の測定とする。
- (2) 測定対象路面は、アスファルトコンクリート舗装とし、最大たわみ量は 3 mm とする。
路面凹凸は最大 5 mm 以下である。
- (3) 測定ビームは後部より自動的に挿入し、たわみ量の測定ができる形とする。
- (4) 測定スピードは 2.7 km/h で連続長時間にわたって支障なく測定ができること。
- (5) 後軸荷重は 10 t とする。
- (6) けん引車のハンドルを切ったとき最小回転半径が 50 m まではビームがタイヤに接触しないようにする。（第三種山地道路では最少 50 R である）。
- (7) 測定ビームを路面上で保持する位置は荷重輪より 2 m 以上離すこと。
- (8) 測定区間は 2 m 以上とする。
- (9) 測定車がけん引トラックの後部へ出るのをなるべく少なくする。
- (10) 測定記録器はトラック（けん引用）の運転室におき、測定サイクルが連続的に行なわれるようにする。
- (11) 測定記録の横軸は移動距離に比例した値とする。
- (12) けん引車はダブルキャブ、小型クレーン付きとし、荷台へ荷重をのせて後軸荷重の

調整をする。

- (13) 測定装置はけん引車より切り離し荷台の上へ後部より積込み・積卸しができるものとする。

4.2 製作の経過（各部試験・改良の経過）

4.2.1 基本仕様の検討

製作にあたっては現地での試験条件が問題となり、交通量が確保でき、しかも簡単な測定で精度が高いものが望ましいわけである。最初は仏式のものを輸入し、国産車に架装しようとする予定であったが、測定車の輸入費が高価であり、今後の維持管理に問題があり、更に国産のけん引車へ架設できるかどうかの不安があった。そこで自国の技術の向上のため国内開発に踏み切った。機構上大きな問題点は、仏式のトラックでかかえるような方式のものと、今までのベンケルマン測定方式の自動化を行う土研方式について検討を行った。さきに製作の基本方針のところでも述べたように、測定ビームを路面上で保持する位置は、残留たわみの影響を除くため荷重輪より2 m以上引き離し、測定区間は2 mとし、たわみの検出は復元たわみとする、と云う基本方針であったので、ホイールベースが長く（6 m以上）、車の下部の空間が充分ある機種は国内に見当たらないし、しかも測定車が大型となるので、かかえ込むのは困難であったので後方より挿入する方法とした。したがってホイールベース並びにガイド車のなるべく短いものとした。しかし、残留たわみの影響をなくするためには、ガイド車は長い方が望ましいわけである。更に復元たわみ測定方式であるので、移動荷重による最大たわみ点へ正確に挿入するシステムについても検討がなされた。残留たわみの影響については図-9に示すように舗装研究室において土木研究所内の試験舗装路で測定を行い、2 mでは約2%の歪が残るが測定機の仕様を考慮して、影響度の少ない長さとして2 m測定・2 m支持はやむをえないものと決定した。6章の図-35に示す性能試験結果からも2%以下となっている。

路面たわみ量の周辺部影響度試験

測定年月日	S. 43年10月21日
測定場所	土木研究所内 試験舗装路
測定器	ベンケルマンビーム
測定車	ダンプトラック（8 t） 輪重4 t 空気圧5.6 kg/cm ²
測定者	舗装研究室 斉藤

舗装構造	C 区 間		D 区 間		表層 基層 路盤 砂 路床
	16 m		23.5 m		
	5 cm	ア ス コ ン	ア ス コ ン		
	15 cm	ソイルセメント	クラッシュラン		
	40 cm	切込み砂利層	切込み砂利層		
	10 cm	砂 層	砂 層		
	関 東 ロ ー ム		関 東 ロ ー ム		
路床上の C B R, K 値, 基層上の K 値及びクラッシュランアスファルト コンクリートの粒度は第 7 回日本道路会議論文集, 第 2 部会 98 を参照の事					

測定値	車軸直角方向の各位置に於けるたわみ量 単位(1/100mm)							
	復輪(荷重輪)軸 の直下より 測定点 No. の距離(m)		0	1.2	1.5	2.0	2.8	
	車軸 直 角 方 向	C 区 間	1	73	10	10	4	0
			2	70	10	8	4	0
			3	71	12	8	4	0
			4	68	10	8	2	0
			5	71	8	8	4	0
		平均値		71.6	10	8.4	3.6	0
		D 区 間	1	70	10	6	2	0
			2	70	12	8	2	0
			3	72	10	8	2	0
			4	72	10	6	2	0
	5		64	10	6	4	0	
	平均値		69.6	10	6.8	2.4	0	

測定値	車軸方向の各位置に於けるたわみ量 単位(1/100mm)								
	復輪(荷重輪)軸 の直下より 測定点 No. の距離(m)		0	0.5	1.0	1.25	1.5	軸 center 0.85	
	車軸 方 向	C 区 間	1	76	30	12	6	0	28
			2	72	28	10	6	6	28
			3	72	30	10	6	4	26
			4	74	26	10	6	6	26
			5	72	26	12	6	6	26
		平均値		73.2	28	10.8	6	5.6	26.8
		D 区 間	1	72	28	8	8	6	28
			2	70	26	4	6	4	24
			3	70	26	6	4	6	26
			4	62	24	6	6	4	24
	5		64	24	8	6	4	24	
	平均値		67.6	25.6	6.4	5.6	4.8	25.2	

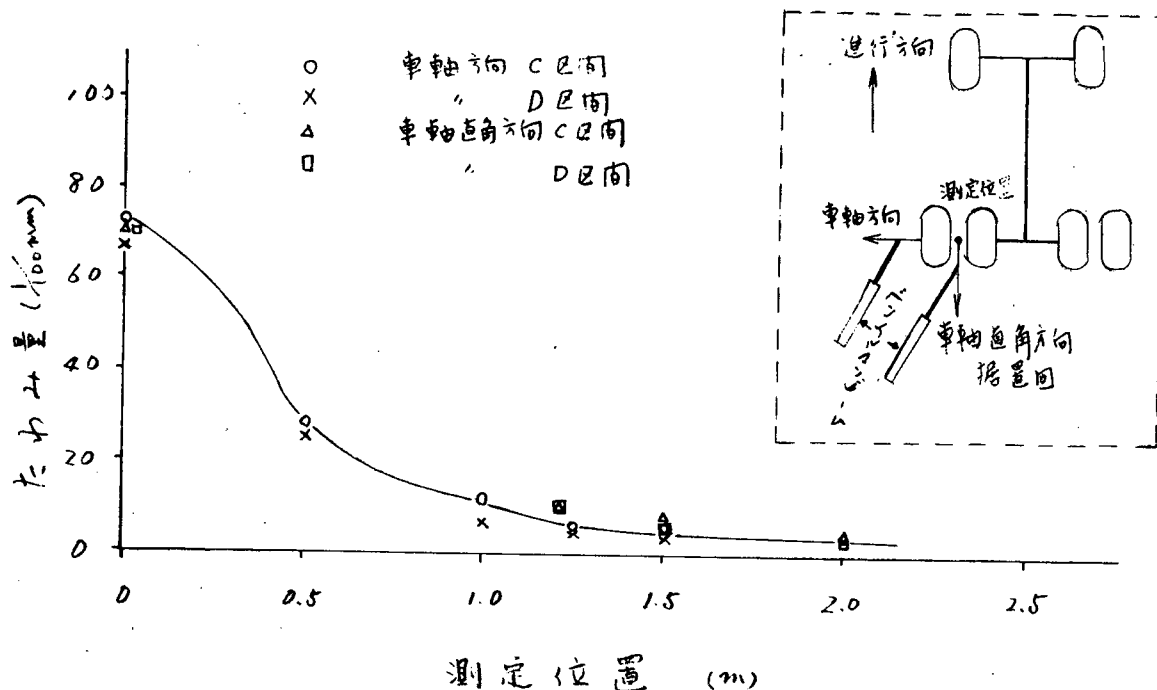


図-9 路面たわみ量の周辺部影響度曲線

又、舗装研究室の過去のデータによれば、簡易舗装で3mmたわみに対して、0.3mmと云う事である。今後ガイド車に長いものを使用すれば、2m以上のものが製作可能となる。製作については、5社に検討を依頼し、2社についての概略設計についての技術審査会を行い、谷藤機械工業KKのものが良と認められたので、提出された仕様と今までの文献、試験等を参考として4.1で示した基本仕様を決め、同社にて製作した。

4.2.2 各試験結果と改良項目及び経過

第6章に性能試験の結果について示すが、ここでは各種の性能試験の経過・改良点・問題点及びその処置等について説明する。

試験は引き込みによるトラブル(各スプリング力の不足・けん引装置の強度不足・ビーム挿入不良、ビーム振動の発生、差動トランス部のビーム測定ストロークの不足等)が起り、それ等についての細かい性能試験を行ない、障害を取り除いて行った。

(1) 測定路面条件とビーム

最初の仕様では最大たわみ量3mm、最大凹凸5mmの路面を想定して製作したのであるが、路面凹凸が現状の値より更に悪い場所の測定も考慮し、また、所内実験によるとビームの支持が四点支持となり、路面の平坦性とねじりにより、差動トランスのコアをつかむ位置の可動ストロークが大きくなったので、ビームのストッパーを上げ、かつ差動トランスコア固定のためのストロークを上側に大きく伸ばし40mm以上とした。また、ビームのレバー比を1:1より1:2と変更し、支点の位置

を下方へずらした。

(2) 保護装置・安全装置

測定機の保護装置及び安全装置はビームのタイヤ接触の防止、けん引時のオーバーロードの保護、後退時のビームの保護及び測定時の安全装置等がある。性能試験中タイヤ接触によるビームの変形やけん引装置のギアの破損があったので、ビームがタイヤへ接触するのを防止する方法として、次の4項目について検討した。

- (a) 複輪ヘスペーサーを入れて間隙を大きくする事。
- (b) 挿入時のガイドをせまくして正しくタイヤのセンターへ入るようにする。
- (c) ガイドは後方を広くしてけん引車のハンドルを切った時、ビームがタイヤへ接触しないようにする。
- (d) ビーム支点をなるべく下げ、タイヤの間隙の広い部分へ挿入するようにする。

(a)については構造上無理があり中止となった。(b)はガイドを改良し、試験を行なったが、今度はガイドローラーが測定時接触し、測定値に影響を与えたので制御装置により、測定中にはガイドローラーを倒すようにしてある。後部のガイドローラーの倒す方向がガイドの移動方向と反対であるので、摩擦抵抗により倒れないことがあったので方向を変更した。制御盤作動用のワイヤーのゆるみ、シーブのはずれ等があり、ガイドローラーを作動しないままけん引して、ビームをタイヤに接触させる事故が起こり、ワイヤーのはずれ止めの取り付け、ガイドローラー操作方向の変更等を行なった。(c)については道路構造令より、第三種山岳道路の山間部の最小施回半径が50mであるので、仕様では30mとした。ガイドの巾をせばめたので、もっと大きくなっていると思われるので、次の性能試験では最終チェックを行なう予定である。(d)はビーム支点を下げ、ビームの先端部分の構造を変更した。ビーム構造が変わった為に剛性が変わりビームの振動が出るので防振構造に改良を行なった。(ゴム及びオイルダンパーの取り付け)。

けん引時のオーバーロードの保護装置として、クランクアームとけん引ワイヤーの連結位置へシャープピンをとりつけた。現在、最大けん引力をどこまでとるべきか検討中なので、性能試験結果より決定し、チェーン・ギア・ワイヤー等の設計条件が決定できると思われる。

後退時のビームの保護は手巻きウィンチにてつり上げ、ガイド車にかえるようにした。この状態では短距離の平坦地での移動は可能である。

交通の障害防止並びに人命の保護装置としては、後部へ黄色回転灯の設置、測定

中の監視ができるシート及び運転席との連絡用トランシーバー、けん引用チェーンのカバー等について考慮が払われている。

(3) けん引トラックの選択

けん引車は荷重・荷重、測定のための低速移動、測定車運搬の役目をはたすもので、使用範囲が低速から高速にわたっており、広い範囲の性能が要求される。1.5～2.7 km/hの低速で移動し、しかも5%登り勾配路面上を十分なけん引力をもって安定して走行できるものを必要とするので、二段のサブミッションをつけ、測定時はlowレンジにて移動できるようにした。サブミッションの改造のため駐車ブレーキの取付け位置、構造が不良であったので4輪ロック方式と内部拡張式パーキングブレーキの併用に改良を施した。荷重調節・測定車の積込・計測装置のスペースを考え、ダブルキャブ2.9 t吊りクレーン装置付とした。交通障害を考え、全長をなるべく短くするためにホイールベースの短いものをえらんだ。軸荷重は最大10 tとし、上記各構造を考慮して8 tシャシを選択した。後部よりガイド車と測定車と同時に積込む方法は、ガイド車の下部へ二本のレールをそわせてクレーンでレールを引き上げる方法をとった。

(4) ビームの振動・測定の零点確保

測定上大きな問題となったのはビームの振動である。連続的に移動して行くけん引車・ガイド車と切離して静止状態で、1/100 mmオーダーの測定精度で路面たわみを計る事は非常に困難であった。この部分は路面たわみ車の心臓部とでも云われるものである。性能試験では、ビームの落下時期をずらしたり・落下高を変えたり・レバー比及びビーム先端重量を変えたり・移動スピードを変えたり・差動トランスのコアーのつかみ時期をずらして見たり・ビームに振動防止装置（先端ローラ）及び吸収装置（ダンパー）を取り付けたり・測定車のガイドローラーのon-offの影響・ブレーキシューのすき間の影響等についての各要因の変化についてのくり返し実験を行い、ようやく振動防止の目途がついた。第6章にはそれ等の性能試験結果が示してある。ビーム支点の変更・レバー比・ビーム材質・ビーム落下時間の進め・ビーム挿入後の余裕時間の設定が必要となったのは、この試験結果からである。なおビームの上昇方式はソレノイドにて行なっていたが、つり上げ位置がずれるとソレノイドの振動がでたりストロークが短かいので、エアーシリンダーに変更した。四点支持はビーム振動にほとんど影響していないようである。

(5) けん引方式

測定車のけん引動力は図-22、写真-9に示すように左後輪軸よりチェーン伝動と増速機構によりとり出している。クランク装置によりトラックの連続移動に対して測定車の間けつ移動を行なった。ビームの振動防止のため、4.4 mピッチを5.0 mピッチにする為に、クランク機構等の改造を行なった。

ワイヤロープのゆるみによりサイクル(制御板の回転)が充分できない場合があったのでトーションスプリングの改良を行なった。保護装置の項で述べたが、測定車に異常な力がかかった時は、クランクアームのところでシャーピンが切断して測定車のギア類を保護している。

(6) ブレーキ装置

測定車のけん引開放と同時に測定車は接地し、ブレーキシューにて慣性スピードを減速し停止している。したがって、ブレーキシュー及び測定車前部ソリッドタイヤの摩耗が激しく、交換容易な方法に改良した。

(7) 測定計器

各計器類及びソレノイド作動のため、自動車バッテリー容量では不安があったので、1.25 KVA(本田E-1000)の発動発電機を後部荷台へ搭載した。

測定精度についてはベンケルマン式との比較実験を行っていないので、総合的な検討はできないが、ビーム振動の項で述べたように振動の防止対策中なので、これが終れば最終精度のチェックができる。

差動トランスの検出装置は、最初はビームつかみを手前へ引く形としたので、ビームの円弧移動の誤差を防ぐため、測定部の平行移動とスライドボールベアリングとしたが、このベアリングに大きな製作誤差があり、又それ以上精度向上が望めそうもないし、つかみが測定中すべりを起こすので、差動トランスのコアーつかみ方式を変更し、平行板にて固定するようにした。

コアーの零点よりマイナス側に大きな力が加わった時は平行板とコアーはすべるようになっている。

なお差動トランスの出力を20 mVから40 mVにし増幅度を向上させた。ガイド車に沿って動くコード類、エアーホース類についてはクランプの方法、移動方式は天井走行クレーンのコードのクリップ方式に変更した。運転席へ載せた記録装置類は運転中振動が大きかったので、固定装置の改良を行なった。

(8) 四点支持の問題

交通障害を防ぐ為なるべくガイド車を小さくしようとしたので、測定中ガイド車

後部のタイヤが測定車の内側を移動する構造としたため、三点支持が不可能であった。逆三点支持を試みたがバランスが悪く不安定となった。悪路では事実上三点支持となって一輪車が浮く事になる。測定車前部の車輪のスプリングは、はね上げ構造となっていて、測定車の重量配分に応じてスプリングで保持し、安定させる構造とした。測定車後部車輪はニューマチックタイヤであったが、振動防止のためソリッドタイヤに変更した。

(9) その他構造上の問題

スプリングのバネ力の低下により、けん引ストロークがずれるおそれがあるので容量の大きいスプリングに改良を行なった。第五輪はガイド車前部にあったものを後部へ取付け、後退、移動中は手動にてはね上げるようにした。

4.3 各種ベンケルマンビームたわみ量測定法

4.3.1 概 要

ベンケルマンビームたわみ量は、どんな状態で測定しているか、またそれらの問題点等については2章でも述べてある。各種のベンケルマンビームたわみ量測定法の共通の問題点については2～3の論文にも発表されているので、ここでは省くことにする。⁽⁵⁾ ベンケルマンビーム沈下量の測定は種々の方法がある。最も望ましい測定器の要件は測定が簡単でかつ精度の高いものが望ましいのは当然であるが、今まで行なわれている測定方法に各種あるのは、測定が簡単であることと、精度の高いことが相反した関係になりがちであるので、各種の特質を考慮していろいろなものが存在しているものと考えられる。ここでは、(1)土研法・(2)カナダ法・(3)AASHO最大沈下法・(4)AASHO復元沈下法・(5)アスファルト舗装要綱の方法・(6)仏式デフレクトグラフ・(7)土研式自動路面たわみ測定車の方法(今回の開発機)の7種の測定方法についてその概要を簡単に示す。(6)、(7)は今までの人力にてビームを挿入する定置式測定方法と違い自動的、連続的に測定できるものである。 $d_1 \cdot d_2 \cdot d_3$ は荷重輪がその場所へ行った時のビームの先端のたわみ量を示す。 μ はレバー比である。(1)～(4)についての比較試験結果は3.4に要約してあるが、くわしくは文末の文献に発表されている。⁽¹⁴⁾

4.3.2 各試験方法

(1) 土 研 法⁽¹⁴⁾

建設省技術研究会で従来用いてきた方法である。測定器はアスファルト舗装要綱に示されているものを使う。

図-10に測定方法を示す。

$$\mu = 2$$

$$\text{たわみ量 } TD = (d_1 - d_2) \cdot \mu$$

$$\dots\dots\dots (4-1)$$

(2) カナダ法(修正復元変位法)⁽¹⁰⁾⁽¹¹⁾

ビームは図-12に示すAASHOの道路試験に使われたものと同じである。測定法は図-11に示す。

試験方法は舗装の試験地点を車線巾によって舗装の縁から表-4に示す距離をへだてたところとする。

$d_1 \cdot d_2 \cdot d_3$ の値の測定はトラックを各位置にて止め、舗装の変位速度が $0.001 \text{ in} (0.025 \text{ mm}) / \text{min}$ 以下(ダイヤルゲージではその半分の速度)となった時に読みとる。もしこの変位速度基準が満足されなければビームを位置させてから3分後に各測定値を読む。

舗装中の温度測定のため、深さ $1.75 \text{ in} (4.5 \text{ cm})$ の孔を掘る道具を準備し、舗装中に直径 $0.5 \text{ in} (1.3 \text{ cm})$ の孔をあけ、その中へ水を満たして、その水温を少なくとも1時間ごとに記録する。同時に空気温度も記録する($0 \sim 120^\circ \text{ F}$ 温度計)。

タイヤ圧を2~3時間ごとに検査し、必要に応じ標準値となるように調整する。結果の整理は次式にしたがって復元変位量を算出する。

$$\text{たわみ量 } Y = (d_2 - d_3) \cdot \mu \dots\dots\dots (4-2)$$

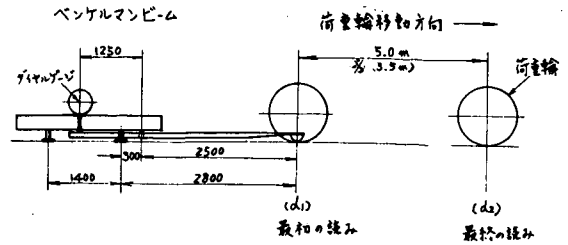
$$\text{最終の読み } Y < 2.5 \text{ mm} / 100 \text{ のとき}$$

$$\text{たわみ量 } TK = (d_1 - d_2) \cdot \mu \dots\dots\dots (4-3)$$

$$Y > 2.5 \text{ mm} / 100 \text{ のとき}$$

$$\text{たわみ量 } TK = (d_1 - d_2) \cdot \mu + 2.91 Y \dots\dots\dots (4-4)$$

舗装温度 $t^\circ \text{ F}$ で測定された上記値を次の経験式により $70^\circ \text{ F} (21.1^\circ \text{ C})$ の標準温度における復元量に補正する。



※直轄技術研究会の方法
(荷重輪 2.5 t 以上)

図-10 土研式測定法

表-4 舗装の試験地点

車 線 幅	舗装端よりの距離
フィート (m)	フィート (m)
9 以下 (2.74 以下)	1.5 (0.46)
10 (3.05)	2.0 (0.61)
11 (3.35)	2.5 (0.76)
12 以上 (3.66 以上)	3.0 (0.91)

$$TK_{70} = TK + \frac{70^\circ - t^\circ}{5000}$$

..... (4 - 5)

(3) AASHO 普通たわみ (最大沈下法)⁽⁹⁾⁽¹⁴⁾

この方法はAASHOの道路試験に用いられた方法で、普通たわみ測定で最大沈下法といわれるものである。

図 - 12 にその測定方法を示す。

たわみ量

$$TA_1 = (d_3 - d_2) \cdot \mu \dots$$

..... (4 - 6)

$$TA_2 = (d_1 - d_2) \cdot \mu \dots$$

..... (4 - 7)

(4) AASHO 復元たわみ (復元沈下法)⁽⁹⁾⁽¹⁴⁾

この方法は(3)と同じくAASHOの道路試験に用いられたもので、復元たわみ測定で復元沈下法といわれるものである。図 - 13 にその測定方法を示す。

たわみ量

$$TAA_1 = (d_3 - d_2) \cdot \mu$$

..... (4 - 8)

(5) アスファルト舗装要綱の方法⁽¹⁶⁾

この方法はアスファルト舗装要綱に示されているもので、路床、路盤は 4 ~ 5 t (空気圧 5.5 Kg/cm²), 表層は 5 ~ 8 t (空気圧 6.5 Kg/cm²) のトラックを 5 Km/h 程度で前進させて測定する。

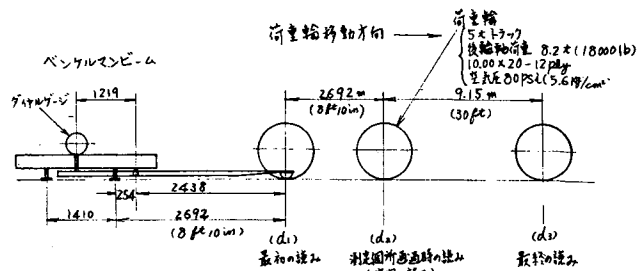


図 - 11 カナダに於ける測定法

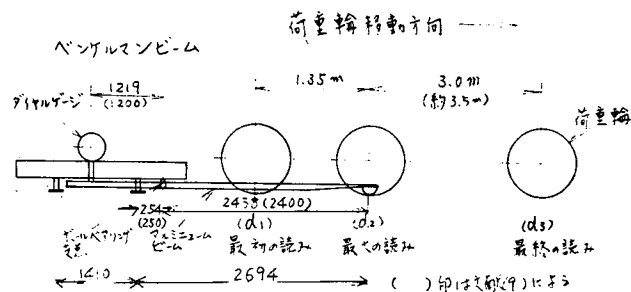


図 - 12 AASHO (最大沈下法) の測定法

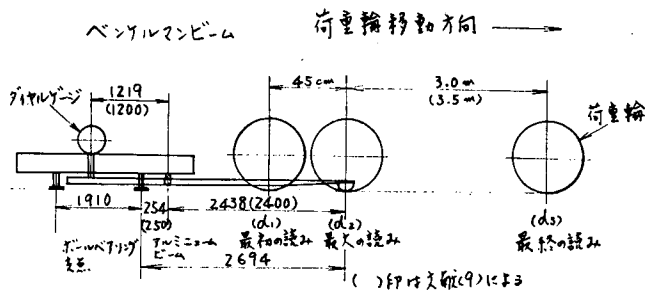


図 - 13 AASHO (復元沈下法) の測定法

図-14 にその測定方法を
示す。

最大たわみ量

$$TH_1 = (d_2 - d_1) \cdot \mu$$

..... (4-9)

残留たわみ量

$$TH_2 = (d_3 - d_1) \cdot \mu$$

..... (4-10)

弾性たわみ量

$$TH_3 = (d_2 - d_3) \cdot \mu$$

..... (4-11)

(6) 仏式デフレクトグラフ

図-15 に示すものが、仏式デフレクトグラフの測定方法である。

測定法及び構造については
4・4に示してある。

たわみ量

$$TF = (d_2 - d_1) \cdot \mu$$

$$= d_2 \cdot \mu (d_1 = 0)$$

..... (4-12)

(7) 土研式自動路面たわみ量測定車(今回の開発機)

図-16 に示すものが今回の開発機である、自動路面たわみ量測定方法である。なお、

6章に詳しい構造測定方法及び測定サイクルについて示してある。

4.4 仏式デフレクトグラフ(1964年型)の構造特徴⁽¹²⁾⁽¹³⁾

4.4.1 概要

仏土木研究所では、1963年に路面たわみ量を連続的に測定できる、デフレクトグラフの開発を行った。1964年改良を行いその後1968年(Berlier, GM1-1-1型

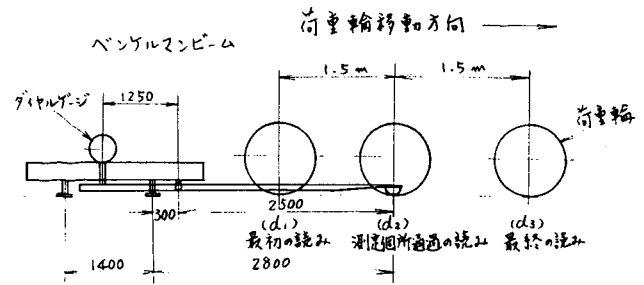


図-14 アスファルト舗装要綱の測定法

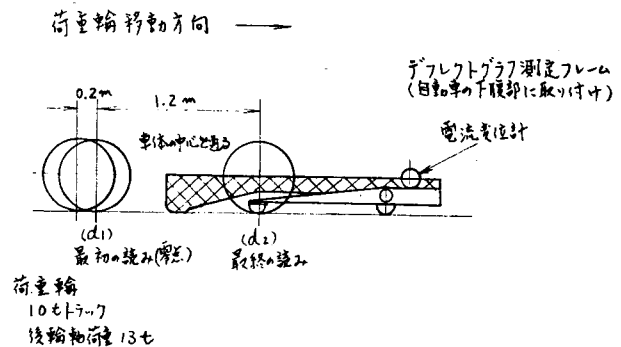


図-15 仏式フレクトグラフの測定法

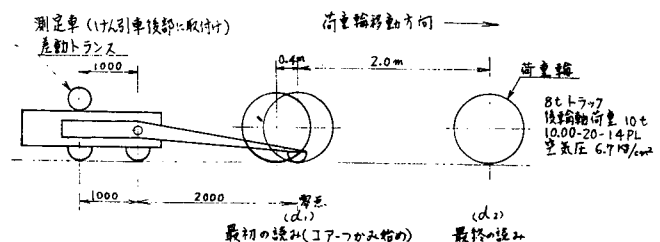


図-16 土研式自動ベンケルマンビーム測定法

トラックにとりつける)にも改良をほどこしている。改良機は、コンクリート舗装にも使用できるようになっている。ここでは、1964年の改良機の仕様・構造・特徴・性能試験報告及び今後の利用法等についての報告を文献より要約した。路面管理への応用については、

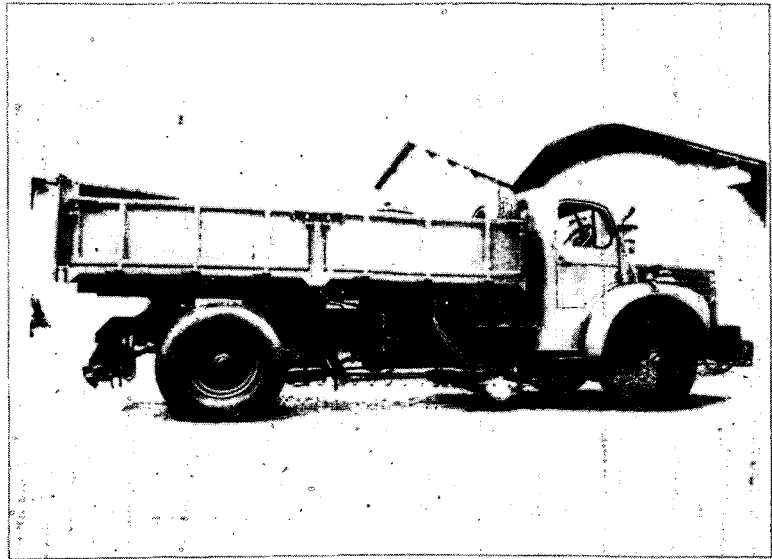


写真-1 フランス式デフレクトグラフとけん引車

3.3にのべてある。

4.4.2 仕様

(1) 名称 デフレクトグラフ・ラクルワ、(Deflectgraphe Lacrolx) 1963 年開発、1964、1968 年改良

(2) 型式 被けん引式(間けつ送り、3.2 m ピッチ連続移動自動たわみ測定)

(3) 性能

- (i) 測定ビームの数 2 本
- (ii) レバー比 1 : 7 (推定) 又は回転角検出
- (iii) 測定できる最小たわみ量 3 mm
- (iv) 試験速度 2 ~ 2.7 Km / h
- (v) 測定精度 誤差 10 % 以下 (推定)
- (vi) 測定ピッチ 3.2 m / 1 サイクル
- (vii) 測定許容最小回転半径 ステアリングハンドルと連動

(4) 記録器

型 式 電磁オッシログラフ

記録幅 8 mm / (たわみ、1 mm について) 1 号機

5, 10, 20 mm / (たわみ、1 mm について) 改良機

(5) けん引用トラック

規 格 Berlier GLM-10M3

1963 年型 (10M2)

1968年型 (GM1-1-1)

後軸荷重 13 t

4.4.3 構造

デフレクトグラフの構造は次の5つの装置より成りたっている。写真-1, 2にその概要を示してある。

- (1) 測定フレーム
- (2) 誘導装置 (ガイド装置)
- (3) けん引装置及びけん引車
- (4) 制御装置
- (5) 計測装置

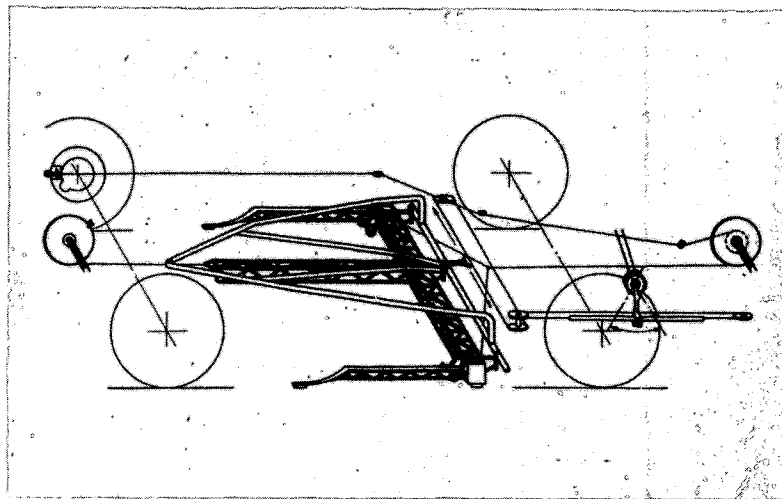


写真-2 フランス式デフレクトグラフ

(1) 測定フレーム

この装置は、ラティス構造T型フレームをしており、T型の左右両端にテーパ式軸受で支持された測定ビーム (ペンケルマンビーム) がとりつけてある。ビームは簡単にとり外しができる。測定ビーム先端は、路面接地用の触針子がついている。ビーム回転部分 (支点) は、青銅製の計測器保護ケースでおおわれその中にたわみ検出用ピックアップがとりつけてある。ビームにはソレノイドを利用したピックアップの固定装置がついている。T型フレームの前方固定点附近は左右に各々1個の車輪をもうけ、測定装置の移動時に使用される。測定時には、車輪にもうけられたスプリング装置により車輪をはね上げ、代りに二つの固定板により着地し、T型フレームは三点支持にて接地される。

(2) 誘導装置 (ガイド装置)

この装置は、測定車のビームが正しく測定位置におかれ、測定中進行してくるけん引トラックのタイヤに接触しないようにするためのもので、V型パイプ構造のガイドとステアリング装置に連動した保護装置より構成されている。走行中の誘導方法は次のようなものである。ステアリング・ギア・ボックスからキングピンの腕をのばし先端に横軸をとりつけてある。けん引車が、測定作業を行なうため移動し

ながらハンドルを切ったとき、キングピンが回転角 α だけ回転すると、キングピンの先端の横軸及びそれにエンドレスに結びつけてあるワイヤー及び滑車の作用によって、V型誘導装置の軸心が、けん引車の車軸に対して角 β の回転をとるようになっている。V型誘導装置の回転角 β は、 α と一致するようにしてある。測定フレームは、このガイド装置の作用のもとにけん引装置によって引きこまれ、V型誘導装置の前面におかれたストッパー（横軸）にあたりビーム先端が、タイヤ軸心の1.4 m前にくる位置で接地する。したがって、ビーム先端は、車軸に対して角 β を保った状態で接地される。この状態では、角 α は測定前後で変化しない。

(3) けん引装置（移動装置）及びけん引車

この装置は、測定車の間けつ送りのためのけん引動力取り出し装置とクランク機構及びけん引と荷重・荷兼用のトラックより構成されている。けん引装置は、10 tトラックの後車軸よりクランク機構にて動力をとり出し、ワイヤー、滑車を介して増速機より測定装置の二つの車輪にケーブルにて結ばれている。クランクの半回転180°の区間で測定装置をけん引し、後の半回転中にたわみ測定を行なうようになっている。移動量は、1サイクル3.2 m必要とするので増速装置によりクランクのストロークを拡大している。

(4) 制御装置

この装置は、測定動作の各段階をきめられた順序にしたがって制御するものである。トラックの後部にとりつけられた滑車に突起をつけ、固定部には、リミットスイッチをもうけてある。滑車は測定フレームの移動にしたがって各サイクルごとに往復回転を行う。動力は、ワイヤーロープを測定車のT型フレームのTの最後部へ連結して移動始めは複輪内のビームを持ち上げ測定フレームの動きにつれて滑車を回転させる。測定フレームの動きは、ステアリングハンドルと連動しているので、自動車の最小回転半径（10 m）まで移動可能である。たわみ測定中は測定車は停止し、トラックが前進するので滑車はスプリングにより逆転するようになっている。滑車の回転により各動作のリミットスイッチが働き各測定作業の信号のON-OFF動作を行ない配電盤を通してソレノイドで操作する。

(5) 計測装置

この装置は、たわみ測定用の検出装置と記録器及びその制御用配電盤よりなる。検出装置は、測定ビームの回転部分に左右各1組あり回転変位を電流に変える。供給電源は、直流電源（24 V）を用い、検出器及び配電盤は、補助バッテリーより

納装置及びクレーン装置
を取り付けている。構造
は下記の装置よりなりた
っている。(1)測定車、
(2)案内車、(3)けん引装置
(4)測定制御装置、(5)計測
装置、(6)けん引車

5.1.2 仕 様

(1) 名称 自動路面たわ
み量測定車

(1968年度開発
1969年度改良)

(2) 型式 被けん引式ベ
ンケルマンビーム

(間けつ送り, 5.0 mピッチの連続自動たわみ測定)

(3) 性能

(a)測定ビームの数	2 本
(b)ビームレバー比	1 : 2 (ビーム先端側 2.0 m)
(c)測定できる最大たわみ量	5 mm
(d)ビーム移動ストローク	水平に着地して下方へ 70 mm
(e)測定精度	路面たわみ 1 mm において 5 % 以下
(f)最小感度	1 / 100 mm
(g)測定許容最小回転半径	50 m
(h)路面勾配	登り 5 % まで異常なく測定できる
(i)試験速度	1.5 ~ 2.7 Km / h (変速機 1 速・副変速機低速・ エンジン回転 700 ~ 1174 r. p. m)
(j)測定ピッチ	5.0 m / 1 サイクル
(k)測定装置全重量 (ガイド車 及び測定車)	920 Kg
(l)全長 (けん引車を含む)	11000 mm
(m)測定装置全長	4250 mm

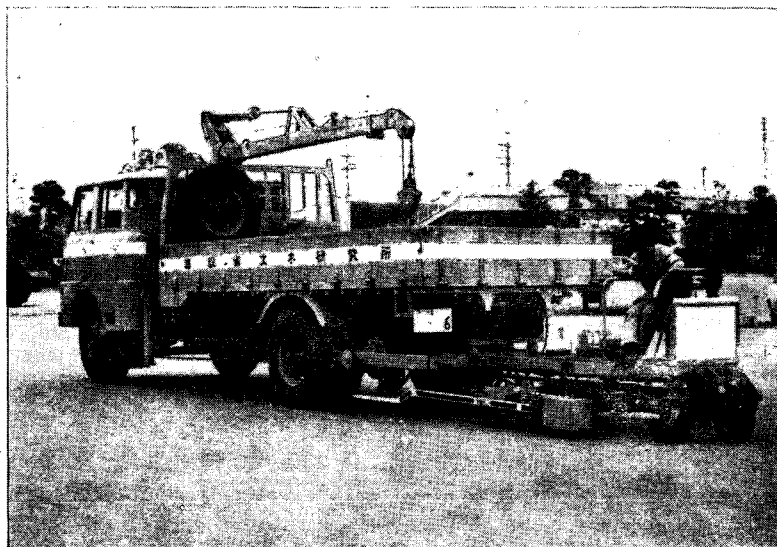


写真-3 たわみ量測定車 (土研式)

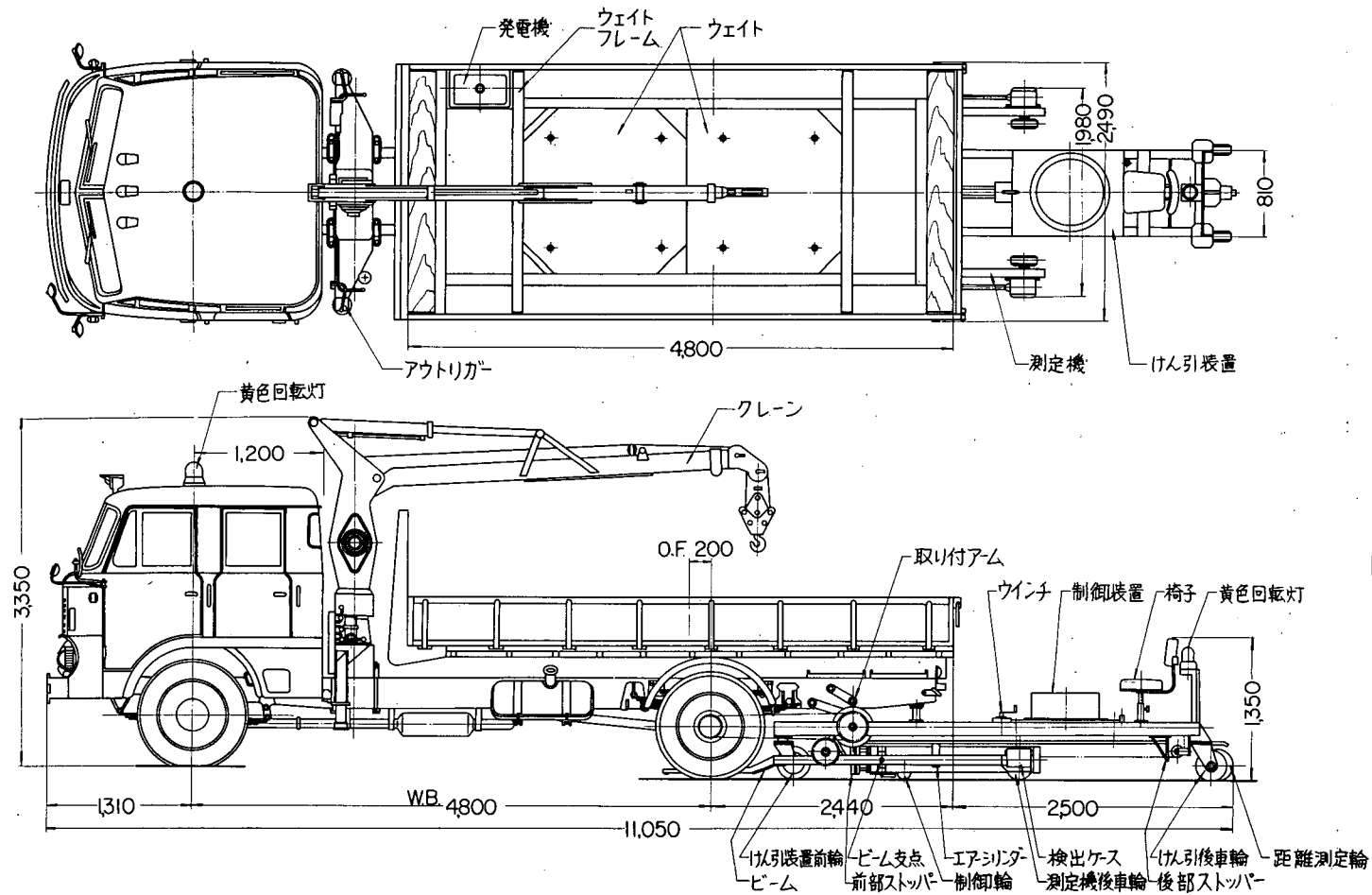


図 - 18 自動路面たわみ量測定車全体図

- (n)測定装置全幅 約2200 mm
- (o)けん引車後方より案内車後部までの距離 2450 mm
- (4) 計測器
- (a)記録器
- (i)名称 渡辺測器ペン書きオシログラフ(リニアコーダ)
- (ii)規格 WTR-281-S2H
- (iii)記録要素 たわみ量2要素
マーカー用2要素
(タイマー無し)
- (iv)ガルバノメータ G12型
- (v)記録巾 40 mm(フルスケール)
- (b)紙送り装置 第五輪とセルシン発信装置により移動距離と連動
紙送り減速比 $1/50 \cdot 1/200$ ・定送り 3 mm/1回
- (c)ピックアップ 差動トランス(36SL新光電子KK)
出力20 mmV(各レンジの最大振れ巾にて)
コアー固定用ソレノイド付き
- (d)アンプ 新光電子KK特殊2点変位測定器用増幅器
測定最大ストローク 5 mm
レンジ 1・2.5・5 mm 3段
- (e)配電盤 各計器・ピックアップ・アンプへの配電と制御動作信号の受・発信を受けもつ
- (f)付属品
- (i)発動発電機, 本田E1000, 交流出力1.25KVA, 100V,
50c/s
- (ii)インバータ(日進電波KK, SB-233)
- (iii)制御用ソミットスイッチ
立石電機KK, WL10FCA2, ローラーアーム型
- (iv)ビーム上下用エアーシリンダ
- (v)ガイドローラー上下用エアーシリンダ
- (5) けん引用トラック
- (a)型式 日野KB320改造型(KB320-11110)
ダブルキャブ・クレーン付

(b)乗車定員	6人(測定時4人)
(c)最大積載量	6t(改造前8t)
(d)車輛重量	7700Kg
(e)積載時全重量	14030Kg(載荷荷重6t・乗車人員6人)
(f)最高スピード	65Km/h(サブミッション1.00)
(g)全長	8420mm
(h)全幅	2490mm
(i)ホイールベース	4800mm
(j)全高	2675mm(アオリ先端) 3300mm(クレーン上端)
(k)最低地上高	250mm
(l)荷台寸法	4800×2320×450mm (長×巾×高)
(m)オフセット	200mm
(n)トレッド	1850mm(前輪中心間距離) 1790mm(後輪中心間距離)
(o)最小回転半径	8800mm
(p)機関	(i)規格 EB100ディーゼルエンジン (ii)総排気量 9.036ℓ (iii)最高出力 175PS/2350rpm (iv)最大トルク 58.5Kg-m/1400rpm
(q)副変速機	ZM100型用サブミッション(H, L2段) (サブミッション) 減速比1.778(普通車1.00に対して)
(r)デフアレ ン シ ャ ル 装 置	(i)規格 KB100用を使用 (ii)終減速比 6.833 (iii)変速比 1速6.562 (iv)全減速比 1速H4.4838
(s)後軸荷重	最大10t
(t)タイヤ	(i)規格 10.00-20-14PR (ii)タイヤ有効半径 0.5m (iii)空気圧(後軸荷重10tに対して) 6.7Kg/cm ²

(Ⅳ)接地面積(後軸荷重 10 t に於ける舗装面での測定片側複輪) $1,057 \text{ cm}^2$

(6) クレーン装置

- | | |
|-----------------|-------------------------------|
| (a)型式 | 共栄ユニッククレーン・U-300F 型 |
| (b)最大吊揚能力 | 2940 Kg |
| (c)定格荷重 | 2900 Kg (旋回中心より 2.2 m において) |
| (d)ブーム長さ(油圧伸縮式) | 3.7~5.7 m |
| (e)ブーム俯仰範囲 | 0~73° |
| (f)旋回範囲 | 360°連続 |
| (g)アウトリガ | 油圧式 2 基 |

(7) 付属装置

- | | | | | | |
|--------------|----------------------|----------------|-----|---------|-----|
| (a)後部吊揚装置 | U-300F クレーン併用ガイドローラ式 | | | | |
| (b)載荷荷重 | 鋼板式 | 1 t 用 | 5 個 | 0.5 t 用 | 1 個 |
| | | 0.25 t 用 | 1 個 | 0.1 t 用 | 1 個 |
| | | 荷重枠 (0.69 t) | | 1 個 | |
| (c)黄色回転灯 | (i)車輛用 | 小糸製作所 RB-4CY | 1 個 | | |
| | (ii)測定車用 | 小糸製作所 RB-3CY | 1 個 | | |
| (d)連絡用インターホン | 1 組 | | | | |

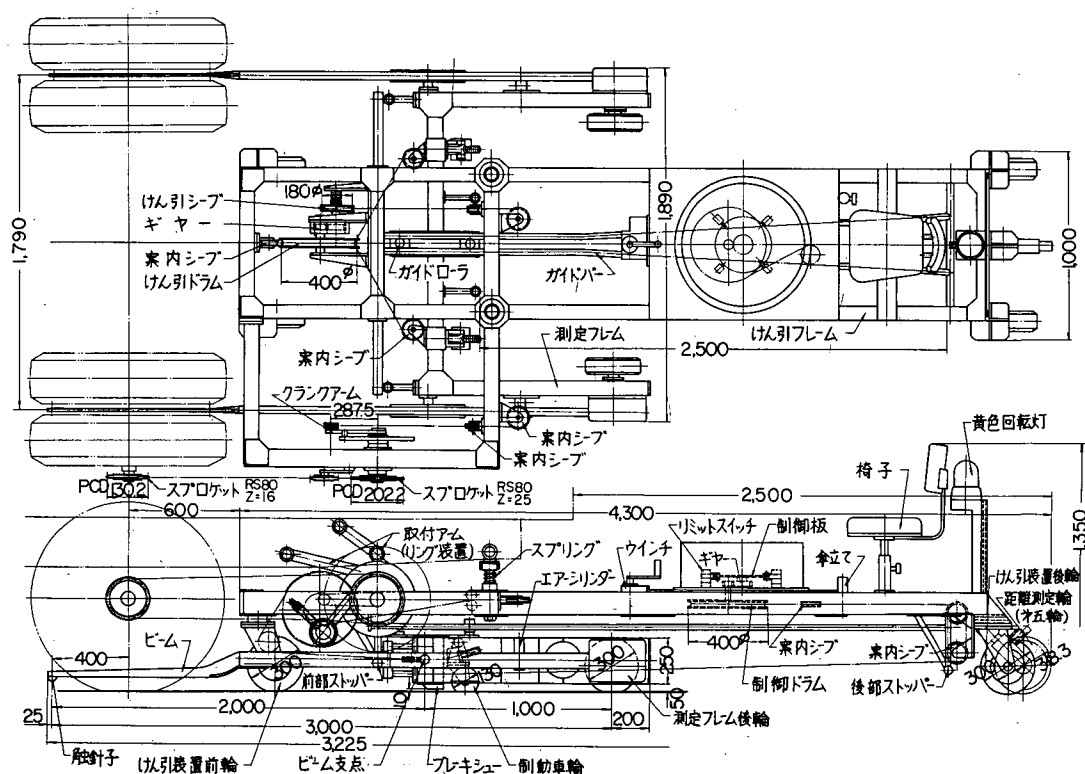


図 - 19 土研式自動ペンケルマン測定機全体図

5.2.1 測定車

写真-4 測定車

測定車前部は2組の硬質ゴム又はウレタンゴム製のブレーキシュー及び2組の移動用ソリッドタイヤ(125φ×50mm)を取り付けてある。このソリッドタイヤにはスプリングを設け、けん引用にはタイヤをはね上げるようになっている。測定時にはスプリングのバネ力により4点支持の不安定をカバーしている。図-20、21及び写真-5にその構造を示す。後部支持枠には同じく移動用ソリッドタイヤ(300φ×90mm)を取

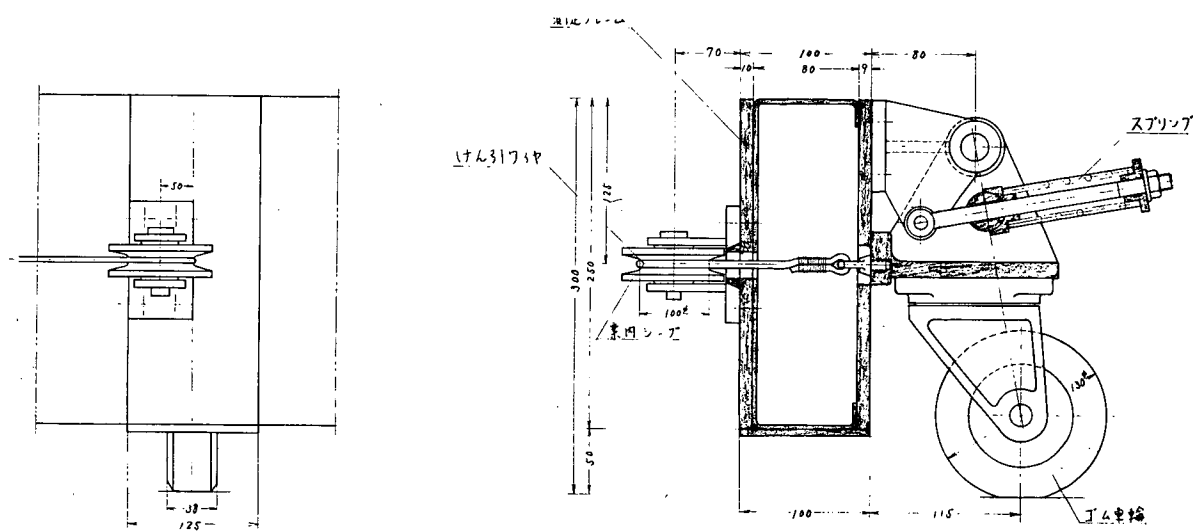


図-20 測定車前輪ハネ上げ装置

り付けている。支持枠の後部ソリッドタイヤ取り付け点の反対側には、写真-6, 14 に示すようにたわみ測定用差動トランス及びビーム上下用のエアシリンダを左右各1組ずつ取り付け付けてある。ビームの差動トランス測定部近くには差動トランスコアー固定用ソレノイドがあり、制御装置の制御信号によってコアーをつかむようになっている。

測定車中央部には二本のガイドローラーがあり、エアにて上下作動ができる。制御信号により移動時にはガイドローラーを起こし測定時には倒すようになっている。

5.2.2 案内車(ガイド車)

ガイド車はけん引車後部にピン連結されていて、写真-5(a) 測定車前輪 写真-5(b) ブレーキシューけん引車と共に移動を行なう。これはけん引装置、測定制御装置が取り付けられている。ガイド車の構造は、型钢にて長方形の枠組となっていて、4個のニューマチックタイヤ3.50-50-4PR(290φ×93mm)を持ち、けん引車の後部フレームにスプリング及びリンク形式によって、ピン連結となっている。この装置はトラックの上下動を緩衝する役目をしている。取り付けは左右各3本、合計6本のピンにて簡単に取り付けられるので、積卸し、組立てまたは分解、積込時間は2人で30分くらいでできる。計測車はこのガイド車の下部で間け

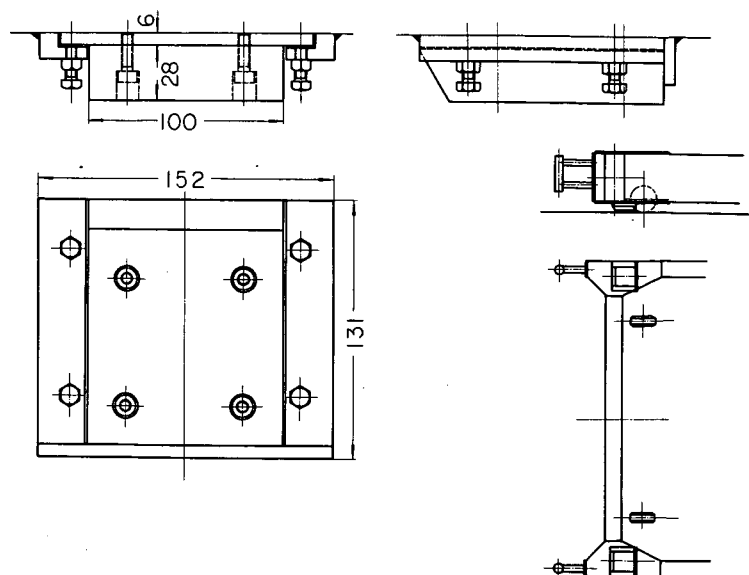
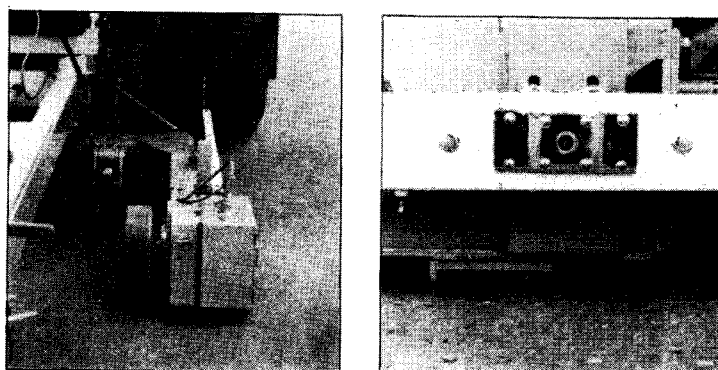


図-21 ブレーキシュー取付け図



つ移動動作を行なう。中央には測定車のガイドローラーがすべるようになったガイド装置がある。また移動時・後退時・積込運搬時には、測定車をかかえ上げるために手巻きウインチを取り付けている。ガイド車後部には紙送り用セルシンジェネレータ用の駆動力をとるため第五輪が取り付けられている。

5.2.3 けん引装置

この装置はトラックのけん引動力の一部を取り出して、測定車の間けつ送りに利用している。この装置はけん引動力取り出し装置とクランク機構による増速装置よりなっている。これらの装置はガイド車の前部に取り付けられ、けん引トラックの荷台下部に位置している。測定車のけん引動力は、トラック左後輪軸よりチェーンにて動力を取り出し、チェーンホイールを介して円盤とクランク機構によって増速を行

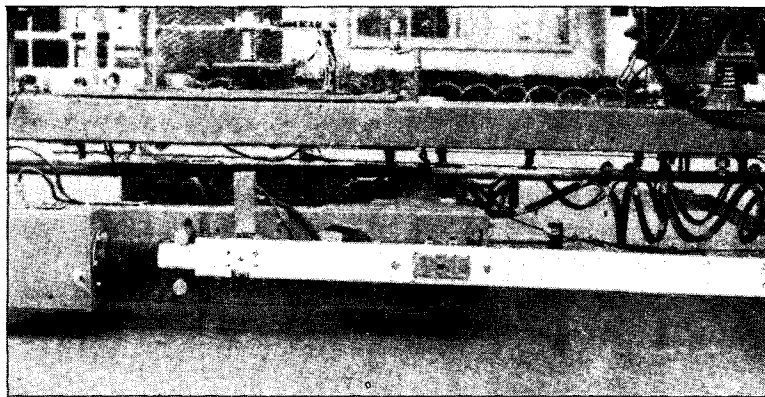


写真-6 ビーム上昇用エアシリンダ

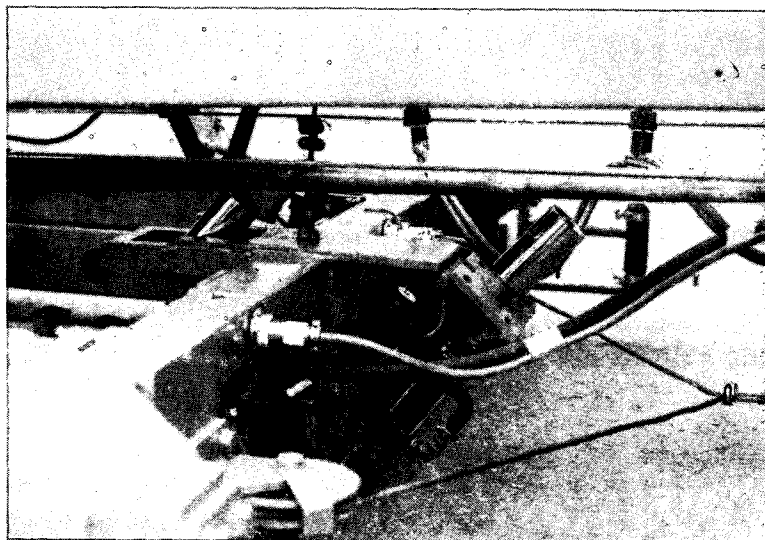


写真-7 ガイドローラー装置

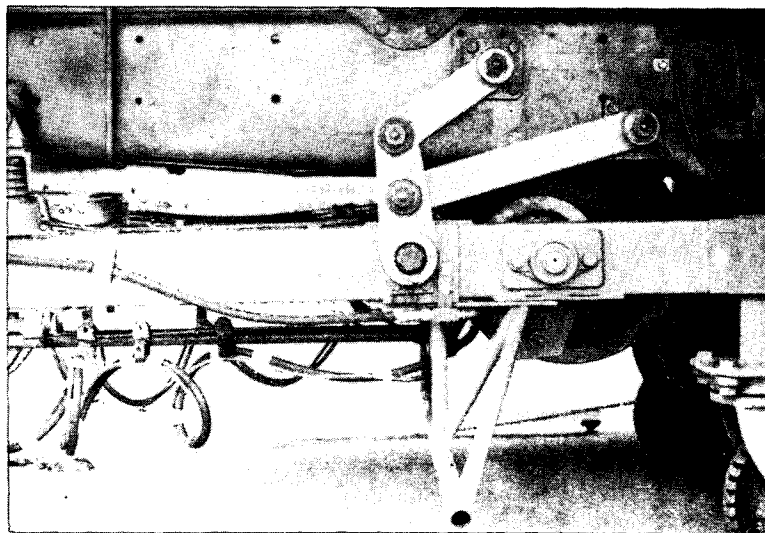
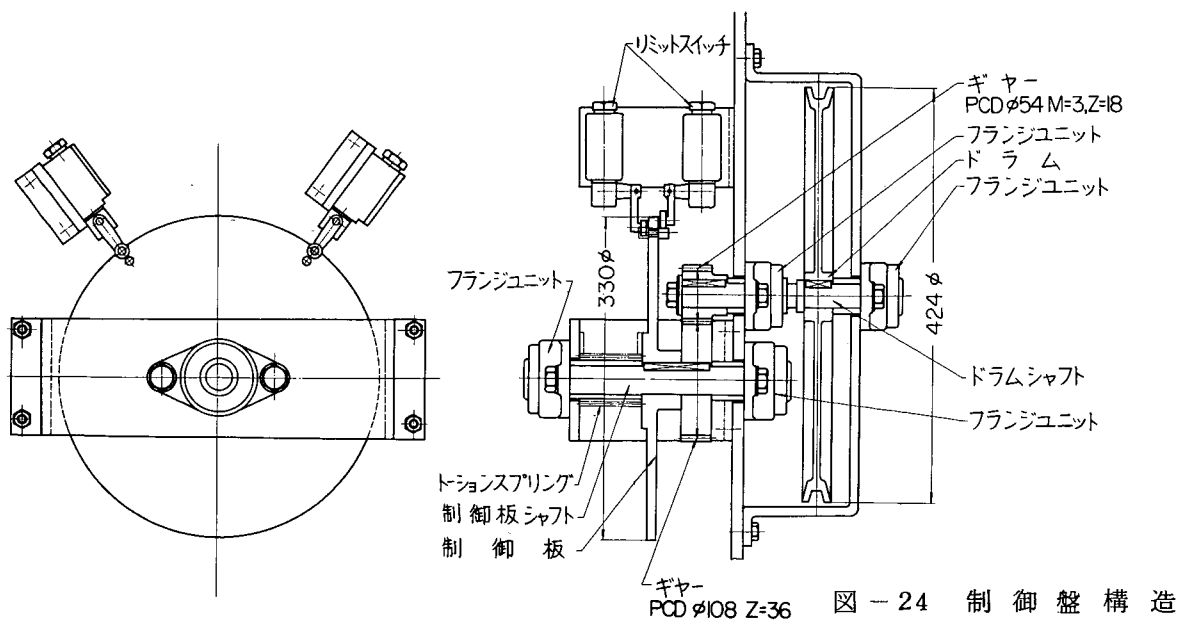


写真-8 ガイド車とりつけ



5.2.4 測定制御装置

ガイド車後部には制御盤を設け、リミットスイッチによって各測定動作の制御を行なっている。制御動作は差動トランスのコアのON-OFFビームの上下用エアシリンダのON-OFFガイドローラー用エアシリンダのON-OFF紙送りのON-OFF動作である。制御盤の回転と計測サイクルの同調は、測定車の後部にワイヤーロープを固定し、測定車の動きを制御盤へ伝えている。したがって、測定車がガイド車に対して保つ相対位置により制御盤が正逆の回転を行なう。図-24

写真-12 に制御装置の構造、5・2・5の図-25

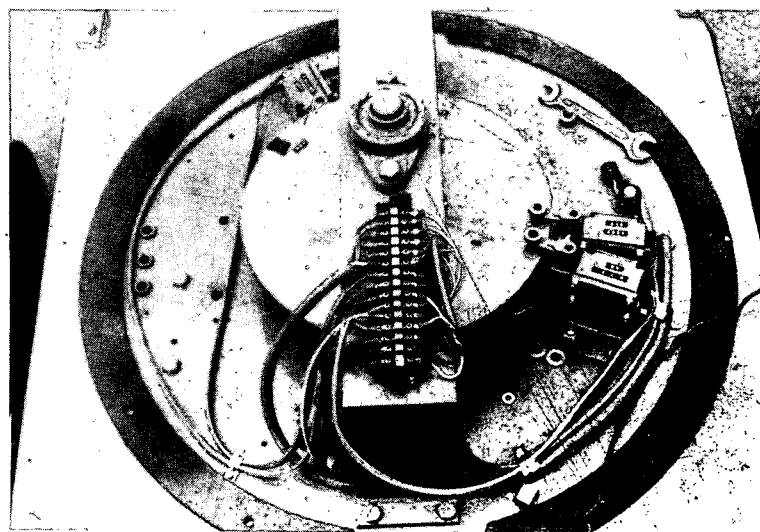


写真-12 制御盤

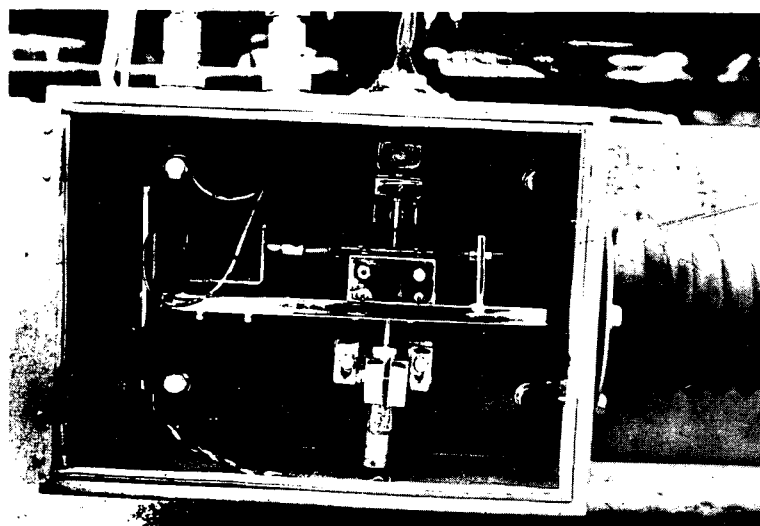


写真-13 ピックアップ

に制御動作のブロックダイアグラムを示す。

5.2.5 計測装置

計測装置は計測車後部の左右タイヤ附近に取り付けてある差動トランスと、計測車の左右のビームに取り付けてある差動トランスのコアー固定用ソレノイドを含めた、たわみ量測定用ピックアップと、けん引用トラックの運転室に置かれている差動トランス用アンプ・紙送り用セルシン駆動装置・制御動作用配電盤・たわみ量測定用ペン書きオシログラフ及び増幅器を含めていう。

その他紙送りパルス発信用第5輪・ビーム上下用エアー作動装置・ガイドローラ駆作用エア

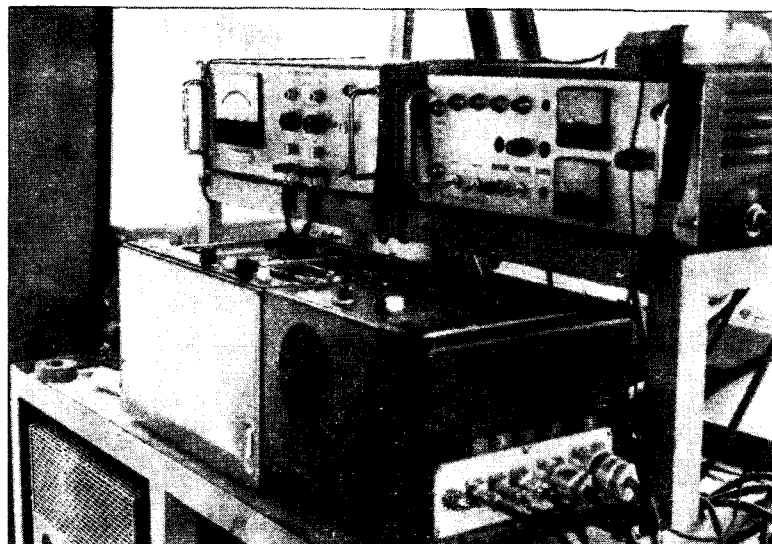


写真-14 計測器のレイアウト

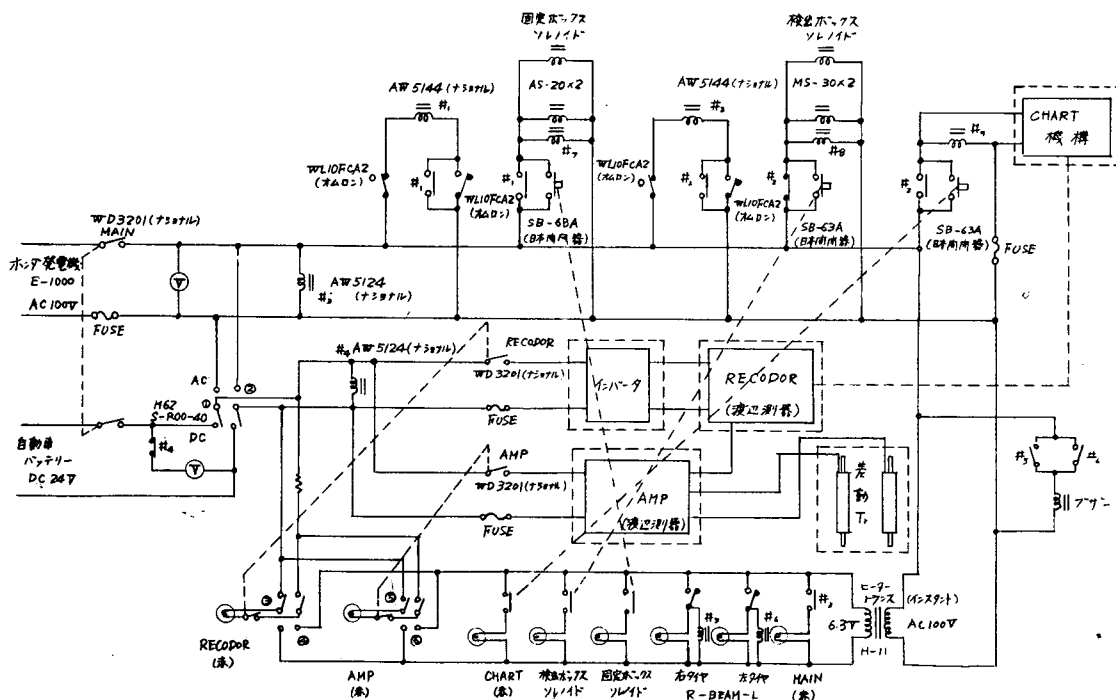


図-25 測定ブロックダイアグラム

一 作動装置・制御動作
リミットスイッチ等は測定
作業の補助を行なっている
が、これらについてはそれが
取り付けられている各装
置の項で述べる。

路面のたわみ量測定は
ガイド車に取り付けてあ
る制御装置の制御により、
ビームが着地安定してい
る間測定できるようにな
っている。図-25 には測定
のブロックダイアグラムを
示したものである。差動
トランスコアー用のソレ
ノイドにより、差動ト
ランスのコアーをつかみ
路面のたわみを測定す
る。測定信号はトラック
後部のコネクターを介
して、けん引車運転席
の計測器へ連結してある。
第5輪より導かれた回
転ケーブルは紙送り用
発信装置（セルシンジ
ェネレータ）へ連結さ
れ、ペンオシロのセル
シンモーターを駆動し
ている。図-26 にはセル
シン発信器のブロック
ダイアグラム、写真-13
にはコアー固定装置
及びピックアップを示
してある。

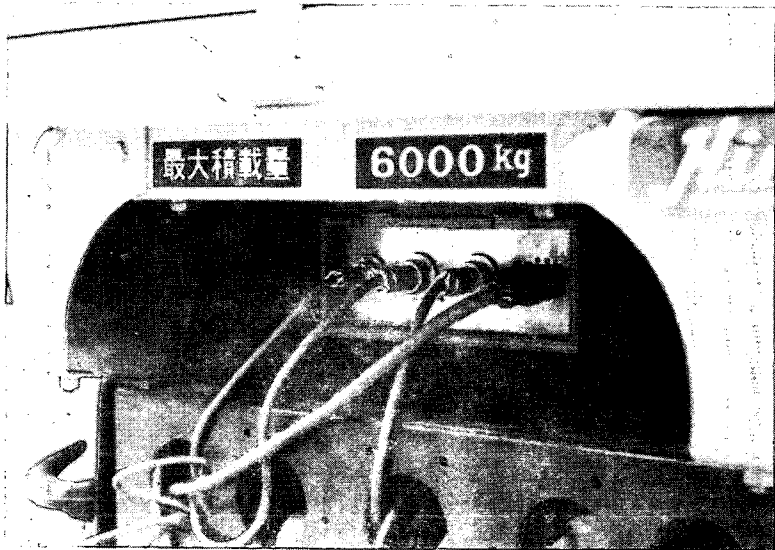


写真-15 計器用コードの配線

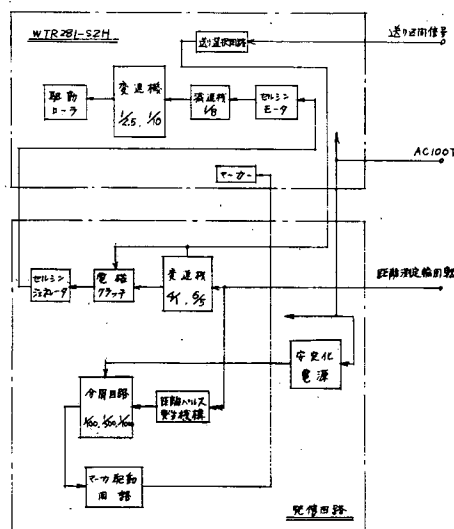


図-26 セルシン受・発信器動作
ブロックダイアグラム

5.2.6 けん引車

たわみ測定用けん引車は日野KB-320, 8t車をダブルキャブに改造し、運転席に測定器が備えつけられるようにした。測定スピードが低速長時間運転が予想されるので、2段切り換えができる副変速機を取り付け、今までの車より減速比を1/1.778に落とした。

高速走行時は副変速機レバーを高速レンジにして普通の車として使用できる。図-27, 28, 29, にけん引車の走行性能曲線図及び機関性能曲線図を示す。

トラック運転台後部に共栄ユニッククレーンU300F型、吊揚能力2,900Kgを取り付けた。載荷用の荷重の積卸し、測定装置(ガイド車及び測定車)の積卸しができるようにしてある。なお、測定装置は交通の幅狭している所でも作業ができるように、測定装置を後部より積み込みできるようにした。5・1・1の写真-3は自動路面たわみ量測定車の全体写真である。図-30にクレーン性能曲線、図-31にサブミッション改造図について示す。

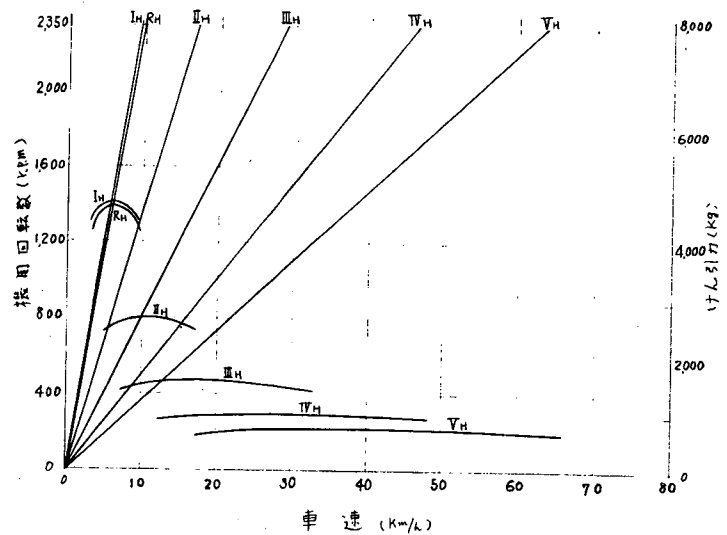


図-27 トラック走行性能曲線図(高速)

速度段	変速比	全減速比		機関型式	EB100	タイヤ有効半径	0.500m
		高速	低速				
1速	6.562	44.838	79.722	最高出力	175ps/2350rpm	動力伝達効率	0.9
2速	3.698	25.268	44.927	最大トルク	585kg-m/1400rpm	転ソ抵抗係数	0.01
3速	2.197	15.012	26.691	車輛重量	7700kg	空気抵抗係数	0.0035
4速	1.373	9.382	16.681	最大積載量	6000kg	前面々積	6.0m ²
5速	1.000	6.833	12.149	車輛総重量	14030kg		
後退	6.409	43.793	77.864				
副変速機変速比		1.000	1.778				
終減速比		6.833					

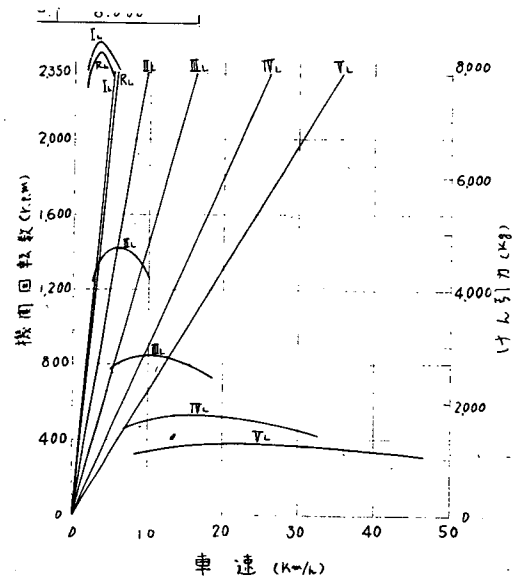


図-28 トラック走行性能曲線図(低速)

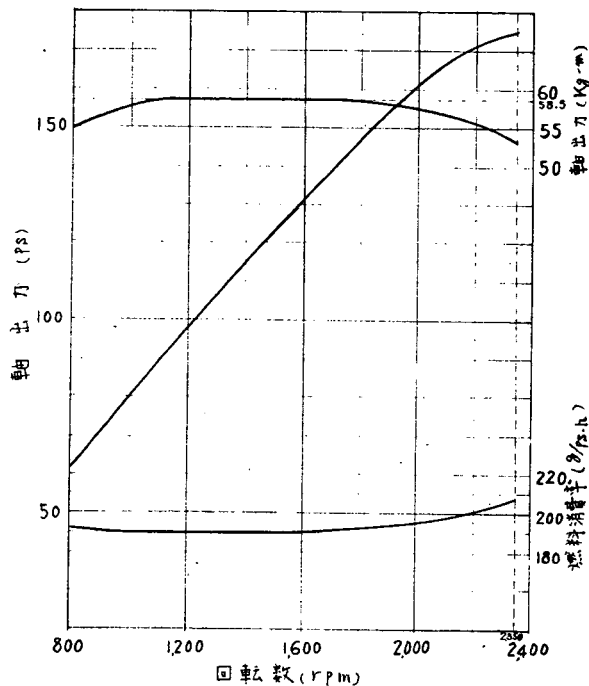


図-29 機関性能曲線図

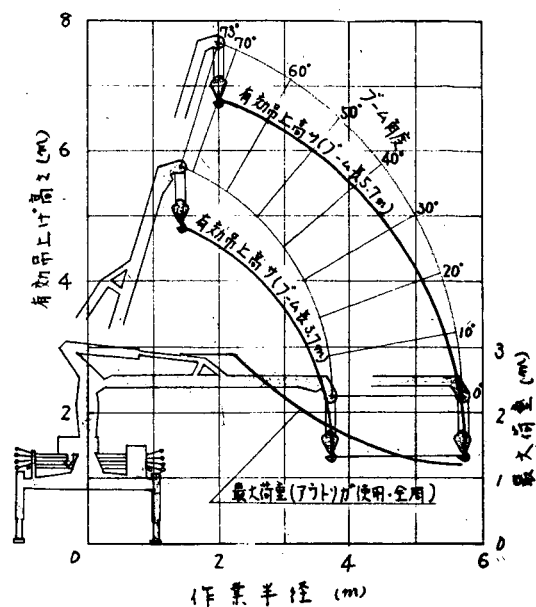
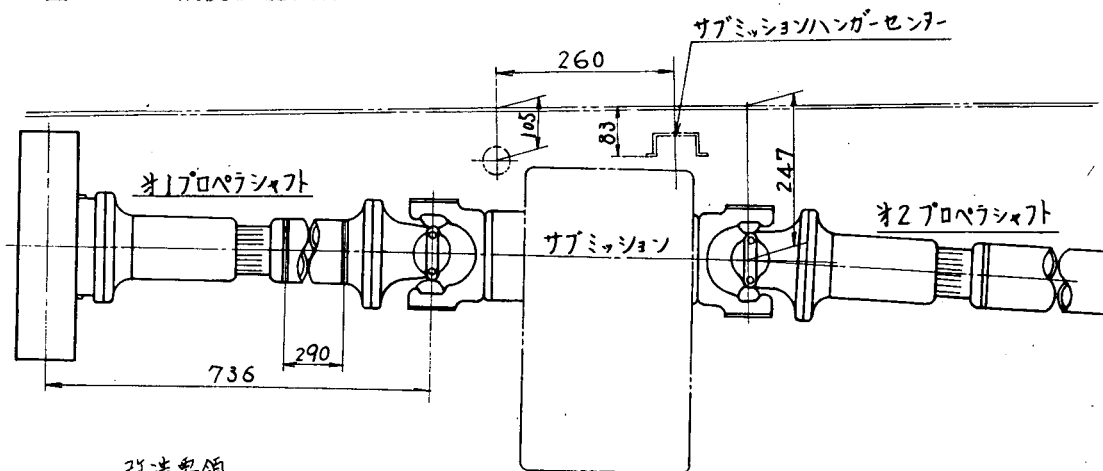


図-30 クレーン性能曲線



改造要領

- 1) オ1プロペラシャフトハ標準車ノオ2シャフトヲ切詰メ使用.
- 2) オ2 " ハZM1100&ZM1700ヲ切詰メ使用
- 3) オ2 " ノ後端ノフランジハKB320用ヲ使用
- 4) デフハKB100ヲ使用
- 5) サブミッションハZM1100用と使用.

図-31 サブミッション改造図

5.3 測定方法

図-32は今回製作した自動路面たわみ量測定車の測定サイクルについて示したものである。測定の1サイクルは測定車が連続的に移動しているトラックと共に移動する案内車に沿ってけん引トラックより取り出したけん引力をクランク機構と増速機構によって変換し間歇的に動くようになっている。クランク構造によって、ガイド車に沿って急速に引き込まれた測定車の2つのビームはトラックの複輪の間へ挿入される。測定中の振動を防ぐため、ビームは余裕時間をとるために図-32に示すようにビームを途中で落下させて路面を

滑べらせながらビーム先端は
けん引車複輪軸直下より約
40 cm 前方へ挿入する。規定
の位置に挿入されると、クラ
ンク機構によりけん引ワイヤ
ーがゆるみ、測定車はブレー
キシューにより着地停止する。

四点支持のため、前部移動用

タイヤ及びスプリングのバランスにより安定を保つようになっている。従って、けん引車の荷重輪の軸心がビーム先端位置へくるまでにビームの振動が減衰するようになっている。軸心がビーム先端位置へくると、制御盤のリミットスイッチの作動によって、ビームの一端に取り付けてあるソレノイドで差動トランスのコアをつかむ。その瞬間より路面たわみの測定が始まる。路面たわみは一般に荷重軸直下で最大であるので、ビームの零点は路面たわみの最大変位点となる。従って荷重輪が前方へ連続して移動するにつれて路面たわみは復元し、その変化量を差動トランスのコアの変位置で検出し、アンプを通じてペン書きオッシログラフに記入する。オッシロペーパーの駆動は、測定の ON-OFF 信号とガイド車の第五輪に取り付けたケーブルにより、紙送り用セルシンジェネレータを駆動させ、セルシンモーターを作動させて行なう。従って、距離移動量の $1/50 \cdot 1/200$ 及び 3 mm 定送りができるようになっている。

接地しているビームの先端が荷重輪軸心より 2 m 離れた時、制御盤の制御信号により、差動トランスのコアの固定を開放し、次の瞬間にビームをエアーシリンダにて持ち上げけん引の準備をする。ビーム先端が荷重輪軸心より 2.10 m までくるとけん引装置のクランクの上昇が始まり、測定車はけん引され始める。けん引時の測定車はけん引ワイヤーと前部車輪のスプリング装置で車輪を押し下げているので、移動中は測定車のブレーキシューは接地しないようになっている。以上の 1 サイクルにより 1 地点の路面たわみ量が測定される。この測定サイクルは約 5.0 m である。図-36 に性能試験の時の各動作サイクルの様子をとらえたオッシログラムを示す。

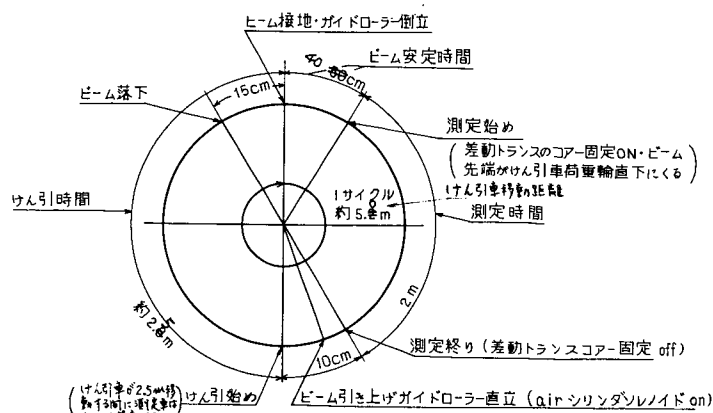


図-32 測定サイクル

表-5 試験項目及び測定方法

分類	分類記号	測定項目	測定細部項目	測定方法	測定年月日	使用計測器
国 際 試 験	納入試験	S-1	けん引車定置試験	けん引車の性能チェック(仕様書) けん引車各部寸法測定・作動試験附属品のチェック	44.3	仕様書、図面、巻尺、物指、ノギス、カメラ
		S-2	計測装置定置試験	引込み時のタイヤとビームの相対位置(両極限) 計器配置、配線のチェック、各ピックアップ、ガルバー等計器類の特性・規格、計器類の容量及び使用電力	44.3	仕様書、図面、テスト、巻尺、物指、ノギス、カメラ
	動作試験	P-1	動作力試験	ビームの上下動作力	45.3~45.6	パネ秤
		B-1	ビーム自然落下テスト	ビーム振動の影響(落下時間、振動数、振動時間)	"	ペンオシロ、加速度計、アンプ、ストレインメータ
		B-2	ビーム強制落下テスト(荷重状態)	" (")	"	重り(2, 5kg)
		B-3	ビーム制御盤落下テスト(荷重状態)	" (")	"	ペンオシロ、アンプ、ストレインメータ、差動トランス、加速度計、リミットスイッチ、エアータム
	ビーム校正試験	C-1	ビーム剛性テスト	支点ベアリングのガタ、ビームの横移動のチェック	"	ペンオシロ、アンプ、差動トランス・マグネットスタンド、ダイヤルゲージ及び微動装置
		C-2	差動トランス校正テスト	差動トランスの20mV出力状態と各レンジによる最大振れ状態の直線性	"	"
		C-3	ビーム移動量校正テスト	ビーム先端変位とダイヤルゲージとペンオシロの直線性	"	"
	走行試験	BE-1	ベンケルマン式測定	ビーム先端と荷重輪位置によるたわみ量の変化、測定場所のキャリブレーション	"	ペンオシロ、アンプ、差動トランス
		M-1	微速移動テスト	ビームとけん引車タイヤの関係、カーブの影響、ガイドの接触状況、上下限値、第5輪の差動状況等各部の作動点検	45.3~45.12	全計器、けん引力計
		M-2	緩速テスト	たわみ量と振動の影響、ベンケルマン式又は従来のベンケルマンビームで測定したたわみ量との比較	45.6~45.12	"
	試験			各計器をonにして微速にて測定する、ビームの振動と各動作点の確認、移動の状態、たわみの記録状態をテストする。カーブについてはビームを入れておいてハンドルをいっぱい切ってみる。		
				各計器類onにして1.5km/h付近で測定する。 2.7km/h 平坦地、登り勾配、下り勾配、横断斜にて測定		

6. 性能試験

6.1 概要

まえがきで述べた様に、今回の試験は試験機の改良を行なうために各種の性能試験を実施した報告である。

主としてビームの振動をいかにして止めるかについての試験を行なった。末だ試験機として完成していないので試験機としての普遍性を示すために、今までのベンケルマンビーとの比較試験等を行なう必要がある。

現在性能試験結果より一部改良を行っており、最終的な報告は第二報以後行なう予定で

ある。表-5に今回行なった性能試験の一覧表を示す。

6.2 定置試験

6.2.1 納入試験

納入試験はけん引車、測定機の各寸法、各機器の容量及び機能試験等を仕様書、図面に基づき行なったものである。測定作業の重要項目であるけん引車の荷重輪の空気圧、荷重分布、タイヤ接地面積等も測定した。なお各部の性能、構造については第5章にくわしく示してある。

6.2.2 ビーム作動試験

この項目は測定機の機能をチェックする重要なもので、試験機の構造上、後部から急速に引き込み、接地して安定させる方式であるので、ビームの振動をいかに早く止めるかが重要な問題となる。ビーム落下高さ、ビームのレバー比、ビームの材質、ビーム構造（先端へ重りとか、振動防止装置をつける）を変えて試験をくり返した。図-33に試験結果を示す。

6.2.3 ビーム校正試験

路面たわみ量はビーム先端変位量を差動トランスのコアの変位により電圧変換し、増巾器を通してペン書きオシログラフに記入させている。従ってビームの変位量等の校正が必要である。

ビーム先端と差動トランスのコア付近へダイヤルゲージを置き、ビーム

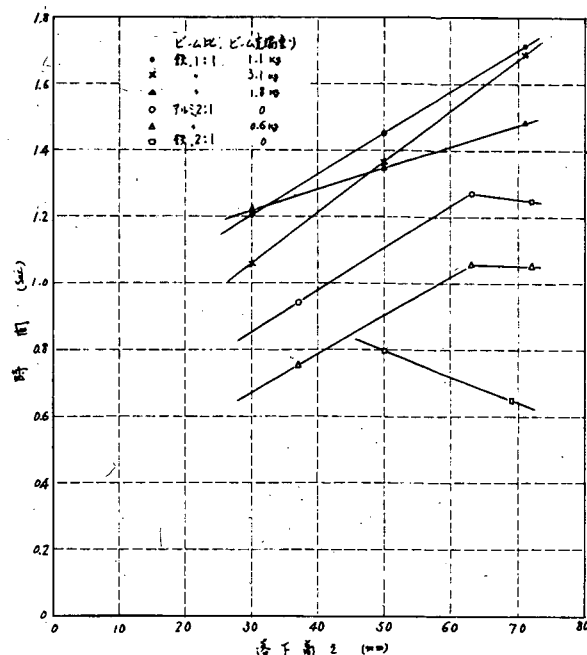


図-33 ビームの構造、落下高さの変化による振動時間

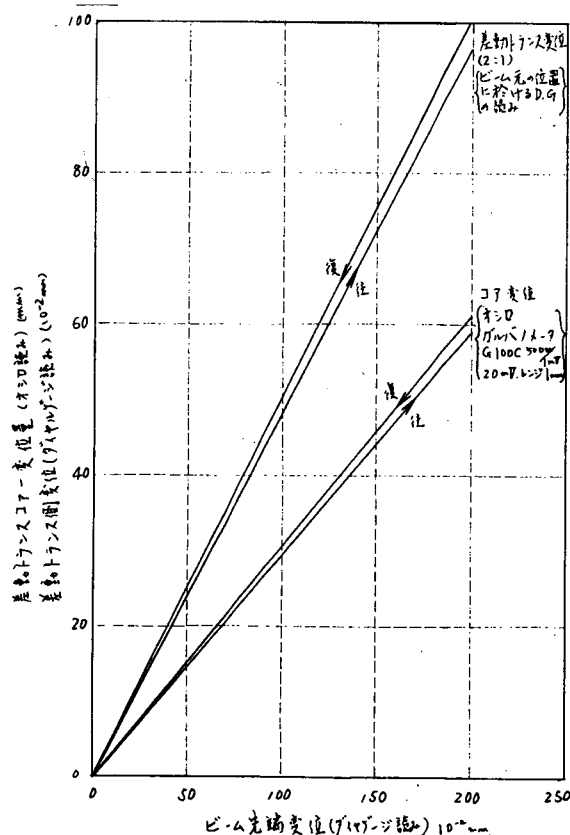


図-34 差動トランスとビーム変位量校正試験

の変位量とそれぞれの読みを測定

した関係が図-34 に示してある。

6.3 走行試験

6.3.1 ベンケルマン式試験

従来のベンケルマンビームとの比較とか、連続たわみ測定に必要な路面たわみの校正試験である。

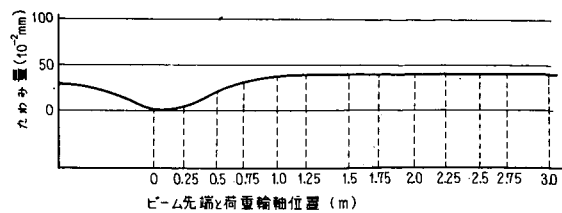


図-35(a) ベンケルマン測定式オシログラム

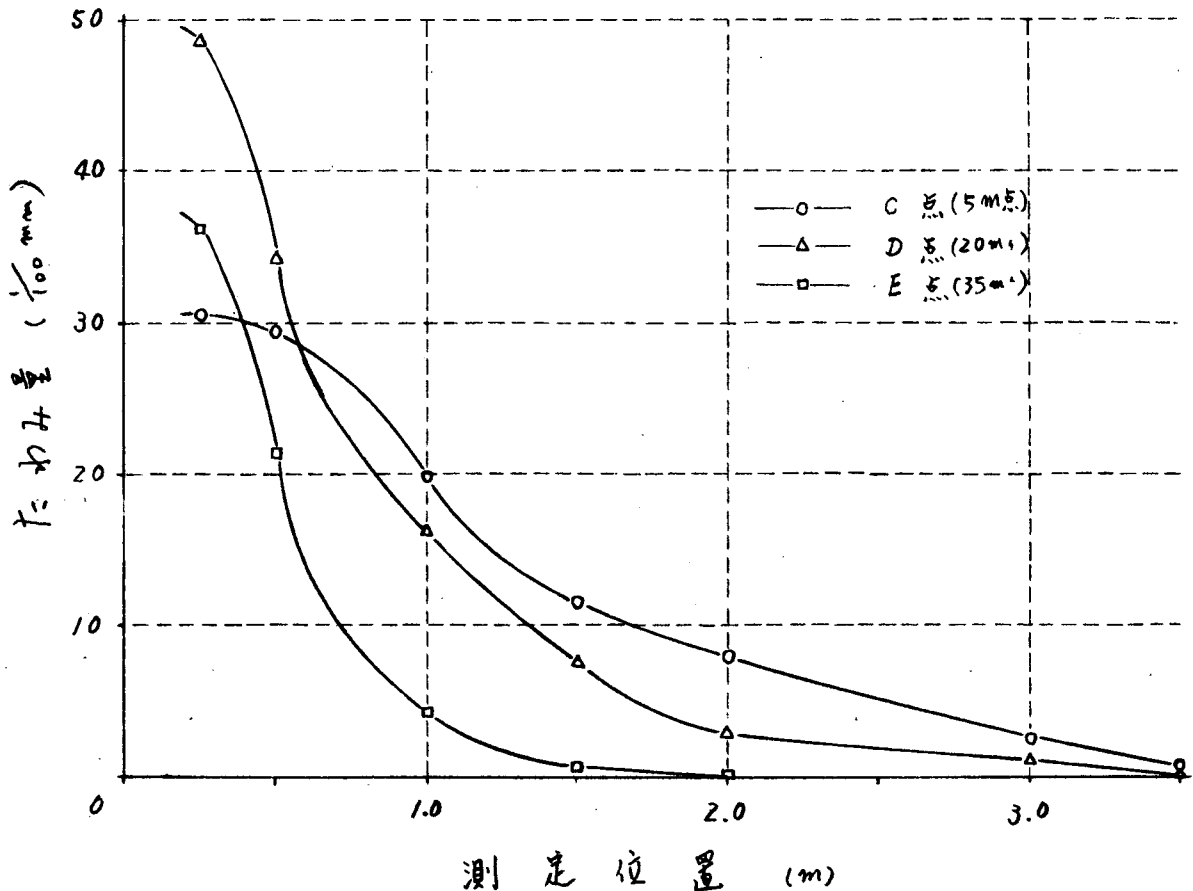


図-35(b) ベンケルマンビーム方式によるたわみ量影響度

クランク円盤からけん引動力を切断してビームを荷重輪軸直下より少し前方に入れ、けん引車をゆっくり前進させて、たわみを連続的に測定した。図-35(a) にベンケルマンビーム測定方式のオシログラムを示す。図-35(b) には図-35(a) の距離とたわみの関係を整理したものである。

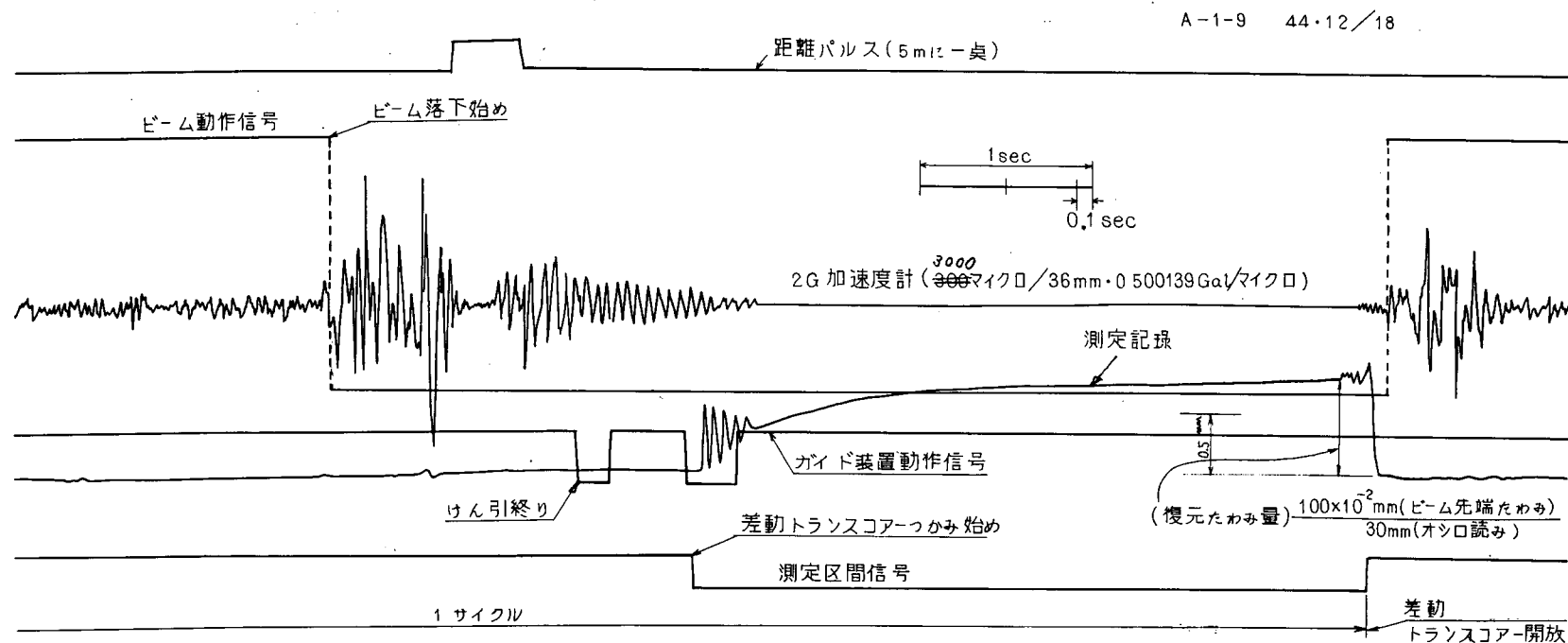


図-36 移動測定動作分析記録

6.3.2 連続移動試験

この試験の結果がたわみ測定器としての最終性能を示すものである。今回の試験は測定中ビームに振動が残り、測定記録が図-36に示す様に振動の影響を受けている。ビーム振動を止めるために差動トランスのコアのつかみ位置、ビーム落下位置、測定スピードを変化させて測定をくり返した。その結果ビームの落下位置、測定前の予裕時間の設定値がわかり改良を行なった。従来のペンケルマンビームとの比較、縦横断勾配路面での測定、測定可能最小回転半径、測定スピードの限界等については改良後試験を行なうことにしている。更に各種の路面構造・季節等の変化に対して比較検討ができれば測定機として完全なものであろう。

図-37(a) 図-37(b)には連続移動試験によるビーム振動の影響についての結果が示してある。零点は測定の始点であり、正の時間は測定の時に振動がおさまっていることを示している。現在はスムーズな測定はできないが、図-38、写真-16に最終的に記録されるたわみ量の記録例を示しておいた。

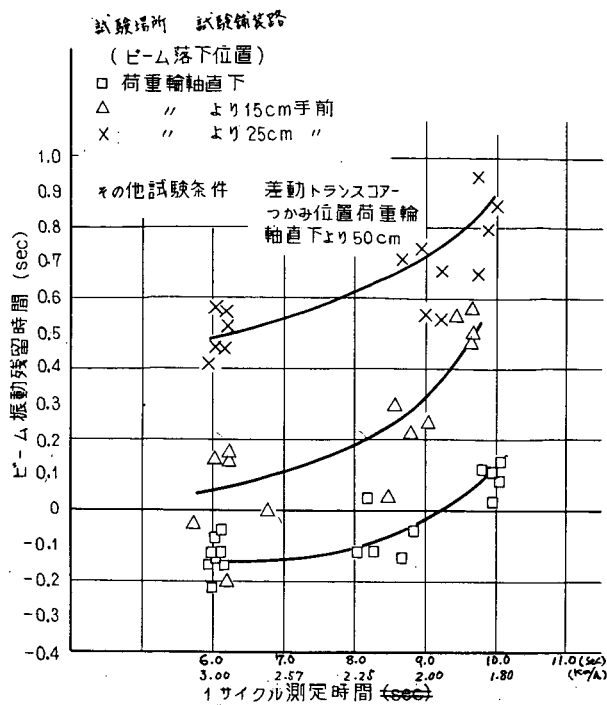


図-37(a) ビーム落下位置
の変化と測定時
ビーム振動残留時間

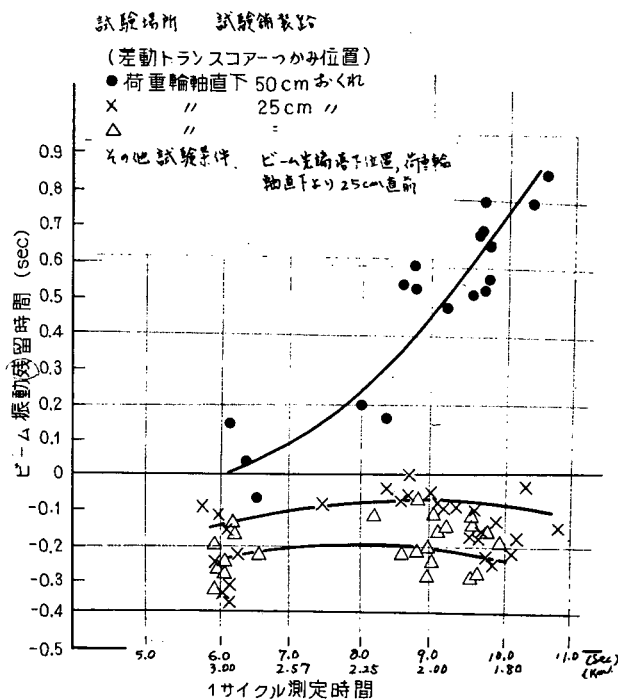


図-37(b) 差動トランスのコア
つかみ位置と測定時ビーム振動残留
時間

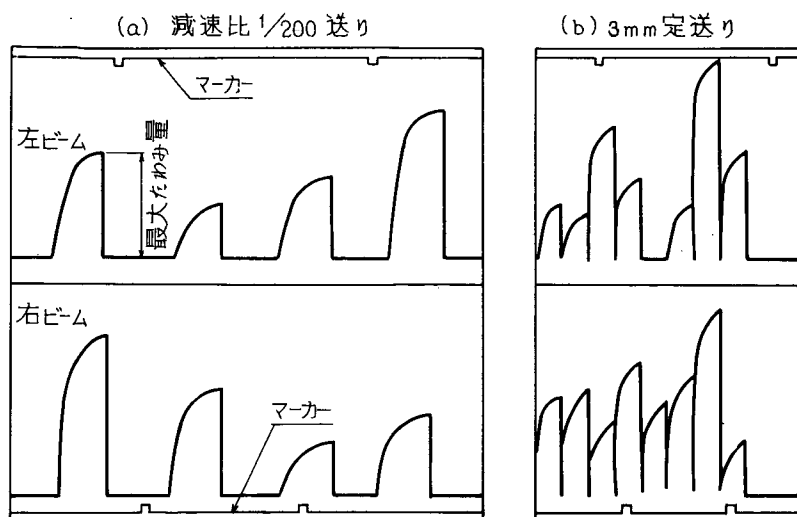


図 - 38 たわみ量記録例

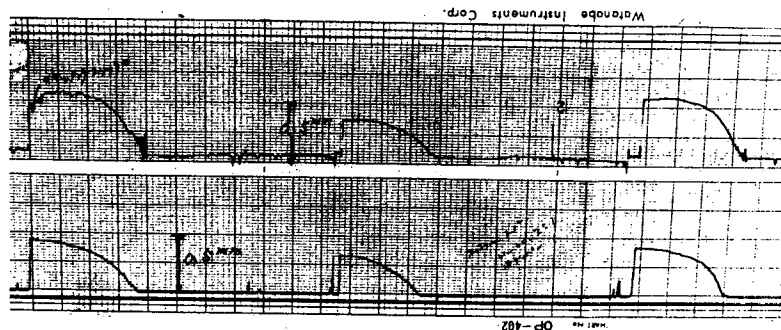


写真 - 16 たわみ量記録例

7. ま と め

現在までの性能試験は、改良を施すための試験で、主としてビームの振動をいかに止めるかについて行なわれた。従って、従来のペンケルマンビームとの比較試験は改良後に行なうことにしている。6.3.2の図-36に示す様に、ビーム振動により零点が不安定であるので、振動を除くために測定ストローク、ビーム落下位置等の改良中である。図-35にペンケルマンビーム方式で測定した時のたわみ曲線のオシログラムを示してある。最終的な測定記録は図-38に示す様な形となる。従って、復元たわみ量は各記録の山の高さの最大点となる。図-37

(a), (b) は各種測定条件

に対するビームの振動の影響について調査した結果である。ビーム振動残留時間とは、測定のための差動トランスのコアを固定した時、ビームの振動が残って測定に影響があった時間を示すもので、負の値の時が影響が残った時間である。2.7km/hのスピードで測定を行なうためには、ビームの振動防止のために少なくとも20cm手前でビームを落下させ、荷重輪軸直下より50cm以上手前へビームを挿入しなければならないことがわかる。先に述べた様に、今回の報告は試験装置の開発段階の報告である。従って、今までに行なった各種の性能試験結果より計測部、けん引装置部の改良を行なっている。完成後は、従来のペンケルマンビームとの比較実験を行なう必要があり、更に測定スピードの限界値・路面のカーブの測

定限界・路面の横断勾配に対する測定誤差・高速測定に対していつも最大たわみ点で差動トランスのコアをつかんでいるかどうか等についての最終性能チェックを行なう必要がある。従って、その結果は改めて報告する予定にしている。下記に現在までの性能の特徴をあげてみる。

- (1) 定置試験を行なった同じ場所において、連続移動測定を行なった時の路面のたわみ量とベンケルマンビーム方式で測定したたわみ量の差は振動の影響を除くとよく一致している。
- (2) 測定走行スピードは最大約 2.7Km/h, 最小約 1.5Km/h の範囲である。従って、5.0 m 間隔連続測定を行なえば、1 時間 300~540 点までの測定ができる。
- (3) オシロペーパーへは一定移動距離にしたがって、距離マーカーと 1 サイクルごとのたわみ量が連続的に記録されるので、各場所の復元たわみの様子が一目でわかり、路面の診断がやりやすい。
- (4) 測定者は、運転手と測定計器取扱い及び測定状況の監視員の各 1 名、合計 3 名で充分である。
- (5) 道路交通法上に問題がなければ、測定サイクルとかビームの支持点等の寸法は任意に伸すことができる。(けん引車の後方であるから)
- (6) 測定者が直接路面へ出て測定作業を行なわないので、安全な測定作業が行なえる。

あ と が き

まとめで要約した特徴を備えた試験機が完成したのであるが、今後更に従来のベンケルマンビームとの比較試験及び K 値, CBR 試験値との比較試験も必要であろう。

更に短時間大量のデータ処理を必要としており、データーレコーダによる記録とコンピューターを結びつけるか、小型計算機を乗せて現場で平均値、変動係数等のデータ処理と路面の診断ができる様になれば、更に威力を発揮する様になろう。この試験機の完成により路面の管理、舗装の設計の自動化が更に進むことと思われる。終りにこの装置の試作にあたっては、当研究所舗装研究室並びに谷藤機械工業 K K の関係者の協力を願ったものである。

参 考 分 献

- (1) 建設省土木研究所「舗装の支持力についての調査研究(ベンケルマン沈下量による舗装各層の荷重分散効果の推定)」, 44年11月, 第23回, 建設省技術研究発表会, (道路部門一指定課題)
- (2) テルザギー・ペック 「土質力学, 基礎編」 丸善 (小野他訳) 1960
- (3) 富山道三 「土質力学」 コロナ社 1959
- (4) 竹下春見 「解説, アスファルト舗装(1)」 アスファルト 9巻50号 41年6月
- (5) 齊藤, 木村 「ベンケルマンビーム試験方法の理論的問題について」
日本道路協会・第8回, 日本道路会議論文集 第2部会 150 P467
- (6) 齊藤, 木村 「ベンケルマンビーム試験方法による各路線調査結果の考察」
日本道路協会・第8回, 日本道路会議論文集 第2部会 149 P464
- (7) 上田, 西中村, 増井 「撓み性舗装に対する層構造の考え方」
日本道路協会・第7回, 日本道路会議論文集 第2部会 137 P432
- (8) 河野, 山崎 「路面たわみ量計算値と実測値の比較」
土木技術資料 43年11月 P16
- (9) 高橋国一郎外 「AASHO道路試験」 日本セメント技術協会 1966
- (10) 植下 「カナダにおける舗装設計の考え方」 道路 1966
- (11) Canadian Good Roads Association 「Pavement Evaluation Study in Canada」 part II
- (12) 青盛 「フランスの連続ベンケルマンビーム沈下量測定装置とその応用」
道路 1967, 6月 P63
- (13) H・NORET 「Le Deflectographe Lacroix Partie Mecanique」
Version 1964
- (14) 松野, 齊藤 「ベンケルマンたわみ量試験について」 日本道路協会
第9回 日本道路会議論文集, 第3部会 304 P101
- (15) 松野 「アスファルト舗装の基層について」 日本道路協会・第7回
日本道路会議論文集 第2部会 98 P332
- (16) 日本道路協会 「アスファルト舗装要綱」 改訂7版 44年6月 P139