

路面たわみ測定機の試作/路面凹凸度および輪重による沈下量の同時測定装置

西 畑 勇 夫・嶋 友 三**

1. ま え が き

自動車交通の発達は、道路施工技術に幾多の改善と進歩をもたらしているが、地面盤、舗装面の凹凸度と、荷重によるたわみ量は、道路工事の施工管理、品質管理の面からも重要な問題であり、これらを施工途上や、工事完成後に測定するための計測機械の開発は、広く要望されているところである。

建設省中部地方建設局において、昭和 39 年度より、この種の測定機械の開発、試作が立案せられ、その業務が日本建設機械化協会中部支部に委任された。以来、同機械化協会中部支部の技術委員会が中心となり、各種の考察と検討を加え、最近試作品 1 号を開発し、その性能を実験しうる段階に達した。

これに関係した一員として、ここに、このたわみ測定機の機構概要とともに、試作上の検討問題および測定実績を紹介し、各位の御批判と御助言をいただきたいと思うものである。

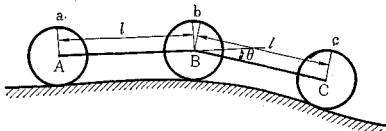
2. たわみ測定原理と試作機の機構

(1) たわみ測定の原理

図-1 のごとく、凹凸のある路面上を外径の等しい 3 個の無荷重輪 a, b, c が等間隔に連結されて移動するものとする。

連結バーは B 点をヒンジ構造とする。この連結車が路面上を移動するとき、路面の凹凸度に応じてバー AB の延長線と、バー BC のはさむ角 θ は変化し、その大きさは路面の凹凸の度合に比例する。したがって、角 θ の変化に対応する計測量が連続的に記録されるならば、測

図-1



* 正会員 工博 名古屋大学教授 工学部土木工学科
** 建設省中部地方建設局名古屋技術事務所

定区間の任意点における凹凸度を記録紙上で検出することができる。

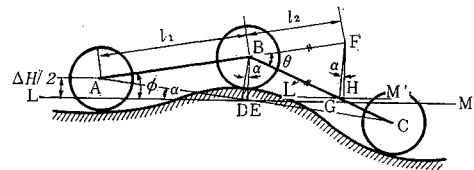
a) 凹凸度の測定

図-2 のごとく、一般的な場合として連結車の 3 輪の枢軸の位置を A, B, C とする。AC の 2 等分点を D とし、D をとおり路面の基準線に平行に引いた線を LM, B 点より LM に下した垂線の足を E とすれば、BE = Δh はその位置の凹凸量を示し、直線 LM と AC のなす角を α とすれば

$$BD = l_1 \sin \frac{\theta}{2} \dots \dots \dots (1)$$

$$\Delta h = BD \cdot \cos \alpha \dots \dots \dots (2)$$

図-2



つぎに、AB の延長上に $BF = l_2$ なるように F 点をと

り、また BC 上に $BG = l_2$ なるように G 点をとれば

$$FG = 2 l_2 \sin \frac{\theta}{2} \dots \dots \dots (3)$$

式(1)より

$$FG = (2 l_2 / l_1) \cdot BD \dots \dots \dots (4)$$

G 点をとおり、直線 LM に平行に L'M' を引き、これに F 点より下した垂線の足を H とすれば

$$FH = FG \cdot \cos \alpha \dots \dots \dots (5)$$

式(4)と式(2)より、

$$FH = (2 l_2 / l_1) \cdot BD \cdot \cos \alpha = (2 l_2 / l_1) \cdot \Delta h \dots \dots (6)$$

ここで角 α を検討するに、図-2 より明らかなように、直線 LM と AB のなす角を ϕ とすると、

$$\alpha = \theta / 2 - \phi \dots \dots \dots (7)$$

また角 α は、路面の基準線からの A, C の距離の差 ΔH , すなわち路面の凹凸状態により決り、A, C の水平距離が 3 m 程度では通常 30 mm 以内と考えられる。

いま、 \overline{AB} , \overline{BC} の長さを 1.5 m とすると、

$$\sin \alpha \leq 30 / (2 \times 1500) = 0.01 \dots \dots \dots (8)$$

$$\therefore \alpha \leq 35'$$

ゆえに、式(2)より $\Delta h \approx BD$

式(5)より $FH \approx FG$

したがって、路面の凹凸度は FG の長さで代表させることができる。

b) たわみの測定

連結車の各車輪位置は図-3のとおりとし、この状態で車輪 C が荷重 (W) を受けて、 Δt だけ沈下し、その枢軸位置が C' になったとする。 C' 点をとおり路面基準線に平行な直線 LM を引き、これに D 点より下した垂線の足を E とすれば

$$DE = DC' \cdot \cos \alpha' = 2l_1 \sin \frac{\theta'}{2} \cdot \cos \alpha' \dots\dots\dots (11)$$

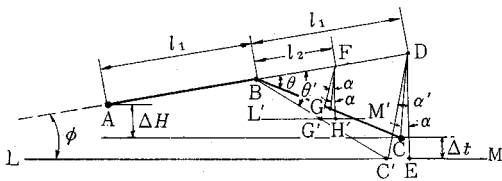
荷重 (W) によるたわみ量 Δt は

$$\Delta t = DE - DC \cdot \cos \alpha = DC' \cdot \cos \alpha' - DC \cdot \cos \alpha \dots\dots\dots (12)$$

ここに角 α は、式(7)により与えられる。つぎに角 α' を検討するに、図-3 から明らかなとおり、

$$\alpha' = \theta'/2 - \phi \dots\dots\dots (13)$$

図-3



いま $\theta' - \theta = \beta$ とおくと、式(7)と式(13)より

$$\alpha' - \alpha = \beta/2 \dots\dots\dots (14)$$

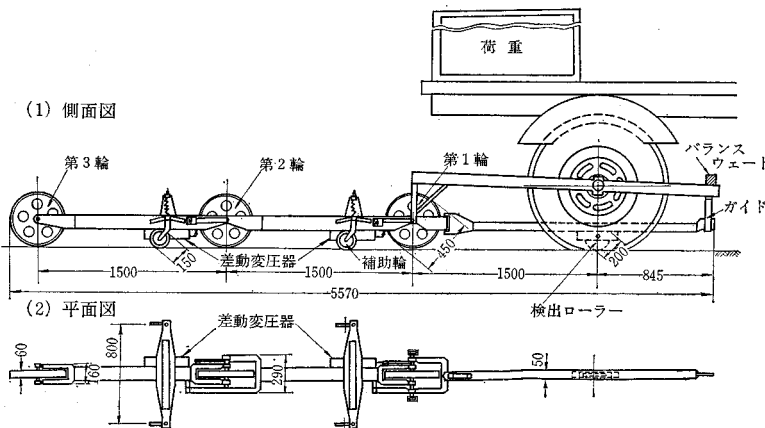
しかし、 β は荷重 (W) による路面の沈下量に対応する量で、通常の施工状況では一般の自動車荷重に対して、10 mm 内外と推定される。ゆえに、 $BC = 1.5$ m とすると、

$$\tan \beta \leq 10/1500 = 0.00667 \quad \therefore \beta \leq 23'$$

したがって、式(8)、(13)より

$$\alpha' \leq 57' \quad \therefore \cos \alpha' = 0.99986 \approx 1.0 \dots\dots\dots (15)$$

図-4 たわみ測定車



ゆえに、式(12)より、 $\Delta t \approx DC' - DC$

また 図-3 の相似関係から

$$\Delta t = (l_1/l_2)(FG' - FG) \dots\dots\dots (16)$$

となり、たわみ量 Δt を、荷重による FG' と凹凸度による FG の長さの差に比例する量として求めることができる。

(2) たわみ測定機の機構

上に述べた測定原理により、路面の凹凸度および荷重によるたわみ量を測定するためには 図-3 に示した FG 、および FG' が連続的に記録され、かつその差が求められなければならない。この記録を得るためつぎのごきと機構を考案した。

図-4 は機構の概要を示したもので、荷重輪に相当する検出ローラーと、無荷重輪に相当する第1輪、第2輪および第3輪をそれぞれ 1.5 m の等間隔にパーにより、ヒンジで連結する。したがって、検出ローラー、第1輪および第2輪の連結部がたわみ計測にたづさわり、第1輪、第2輪および第3輪の連結部が路面の凹凸度計測を担当する。この連結車はトラックによりけん引されるが、荷重を積載したトラック後輪(後輪荷重が 10 t になるように載荷する)の複輪タイヤ間に検出ローラーが位置するようそう入された形で、連結車の第1輪軸とトラック後輪軸をけん引わくで接続する。

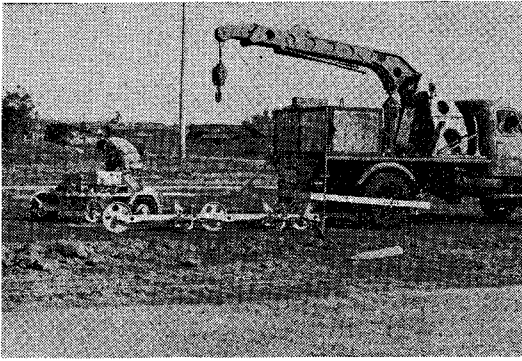
トラックが走行すると、後輪荷重による路面のたわみを検出ローラーがとらえ、図-3 に示した FG' の長さの変化を車わくに設けた第1差動変圧器により電気的変化量に変換し、これが台車上の記録装置に送られて増幅され、サーボモーターを働かせ、第1ペンを駆動させて、走行速度に比例した速度でまきとられる記録紙上に記録する。

同様に、第1輪、第2輪、第3軸の関係から生ずる FG の長さの変化を第2差動変圧器により電気的変化量に変換し、記録紙上の第2ペンが駆動される。この変化量は車軸間隔 1.5 m だけずれているので、記録紙送り速度に応じて第1ペンと第2ペンの取付位置を調整する。

このほか、記録紙には車速を知るための電接時計の時刻記録、距離マーキング用石灰点下位置の記録ができるようにし、さらに測定者が必要に応じて測定位置を任意に変えることが可能なような装置を加えている。

測定機の試作に当って検討す

写真-1 たわみ測定機



き点は多かったが、その主なるものをあげると、

- ① 無重荷輪の様式、寸法、重量
- ② 車輪間隔、けん引装置
- ③ たわみ検出ローラーの様式、構造
- ④ 記録装置、倍率、記録の追従性
- ⑤ 差動変圧器の性能

等、性能試験および現場試験を重ねて検討した結果、一応つぎの仕様を決定した。

(3) たわみ測定機仕様

a) たわみ測定車

全長：5570 mm、全高 465 mm、全幅 860 mm
 重量：170 kg
 検出ローラー：直径 200 mm、接地幅 40 mm
 ローラー踏面 鉄輪
 第1, 2, 3輪：直径 450 mm、接地幅 60 mm
 ローラー踏面 ソリッドゴム

b) 記録計

方 式：復調器を持つ自動平衡記録方式
 記録ペン：記録用ペン 2ペン方式
 ペン間隔 30 mm, 15 mm
 距離マーカー：10 m ごとに自動記録
 予備マーカー：電接時刻用および予備
 記録倍率：2, 4, 10 倍
 記録紙縮尺：1/50, 1/100 (2段切換)
 記録紙寸法：270 mm×20 mm
 電 源：D, C 12 V, 36 W

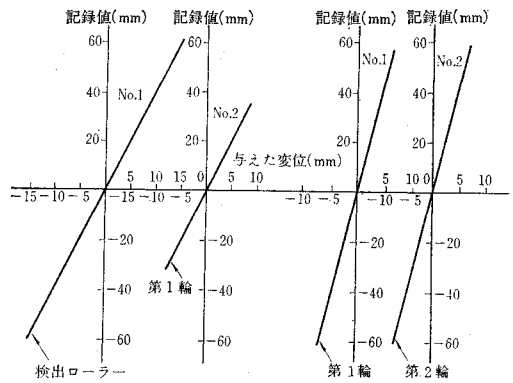
c) 記録計台車

台車全長：2125 mm、全幅 1330 mm、重量 300 kg
 走行車輪：ニューマチック タイヤ 3個
 タイヤ寸法：4.80-10-2P・R、軸距 1500 mm
 距離計測輪：直径 318.3 mm、幅 50 mm
 踏面 ソリッド タイヤ
 マーキング装置 (距離マーカーと連動)：
 方式 石灰落下方式、間隔 10 m ごと

3. 試験結果

(1) 定置試験

図-5 自記試験成績 (倍率=4)



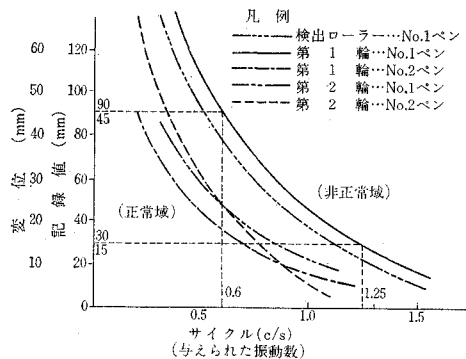
測定機の総合精度を調べる目的で特製の定盤上に位置し、検出ローラー、第1輪、第2輪、第3輪を昇降ジャッキで、それぞれ規定量上下させたとき記録紙上にどのような値が記録されるかを試験した。その結果の一部を示したものが図-5である。これらの結果からこの測定機の電氣的、機械的ヒステリシスも把握でき、大体満足すべき結果を得た。

(2) 追従試験

測定機が実際の路面上を走行する場合、その走行速度と路面の凹凸度に対応して、どの程度忠実に記録し得るかを検討するために行なった試験である。

測定機を定盤上に位置し、検出ローラー、第1, 第2および第3輪に順次可変モーターによる振動装置を設置し、振幅、振動数を変化させてそれぞれ記録紙上に自記させ、その追従性を試験した。この結果の一例を図-6に示す。各曲線はそれぞれの追従限界を結んで得た曲線である。振動数と記録可能変位量は反比例するが、不規則性はみられず、良好な結果が得られた。

図-6 追従性曲線 (倍率=2)



(3) 現場試験

たわみ測定機の実用性を確かめるため、名四バイパス、名岐バイパスの現場に適用したほか、屋外試験舗装および春日井バイパス コンクリート舗装工事現場で、凹凸

量およびたわみ量を測定し、あわせて従来のベンケルマンビームによるたわみ量測定値、ならびに 3m 定規による凹凸測定値と比較した。つぎにその測定結果の一部を紹介する。

a) 屋外試験舗装測定

この場合の舗装は、厚さ 33 cm の碎石層の上に 4 層のアスファルトを厚さ 22 cm に施したもので、試験項目はつぎの二つを行なった。

① たわみ量測定値とベンケルマンビーム値の比較

② 凹凸測定値と 3m 定規およびレベル測定値の比較

ここに、レベル測定は、たわみ測定機が通過した個所に 50 cm 間隔に測点を取り、その高さをレベルで求め、3m 定規測定値とも比較し得るようつぎの方法で算定した。

No. 4 凹凸量 = (No. 1 測定値 + No. 7 測定値) ÷ 2 - (No. 4 測定値)

整理結果の一例が図-7, 8 である。

b) 春日井バイパス測定

舗装構成は厚さ 4 cm のブラックベース上に厚さ 25 cm のコンクリートを施したもので、基層表面およびコンクリート表面で測定した。試験項目は前項 a) と同様である。

基層表面の凹凸度およびたわみ量のばらつき(標準偏差 σ)を比較したものが表-1 である。

ベンケルマンビームとの比較においてたわみ量の σ 値が大きく離れるのは計測方法の相違によると考えられるが、図-7 のように各測点でのたわみ量に余りよい相関がないこととともに、今後検討を要する問題である。また、コンクリート舗装面の測定には微小振動が多く現われ、測定値の読み取りが困難に

図-7 たわみ測定機によるたわみ量とベンケルマンビームによるたわみ量の比較

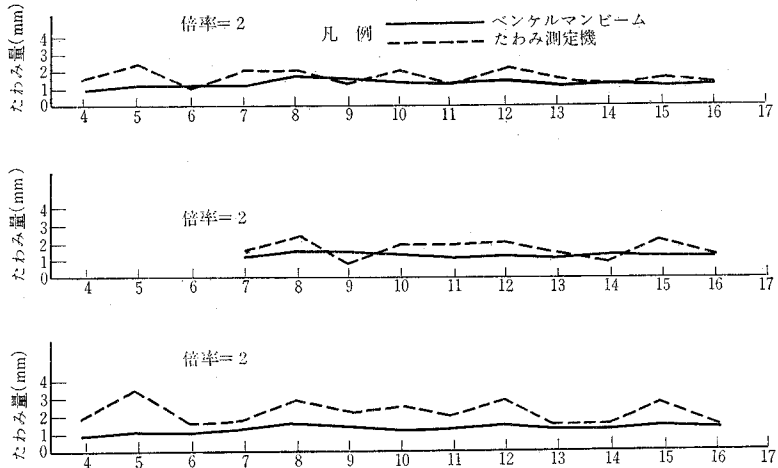


図-8 たわみ測定機による凹凸と 3m 定規レベルによる凹凸量の比較 (屋外舗装)

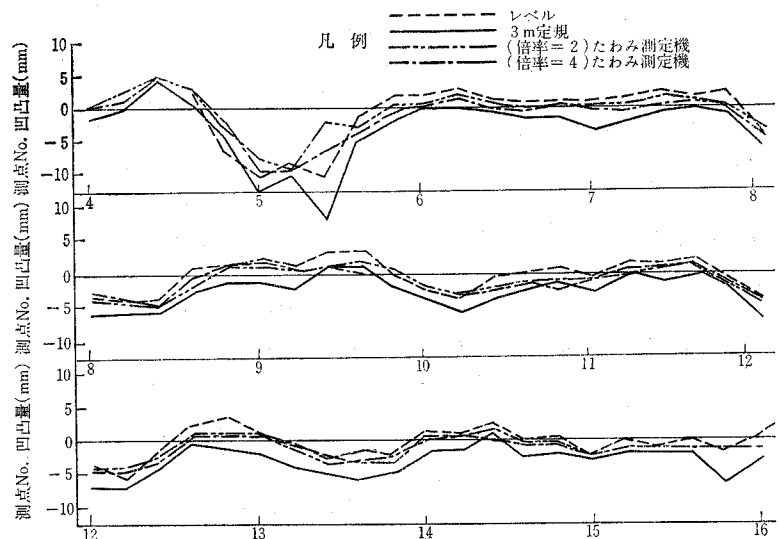


表-1 春日井バイパス凹凸度のばらつき

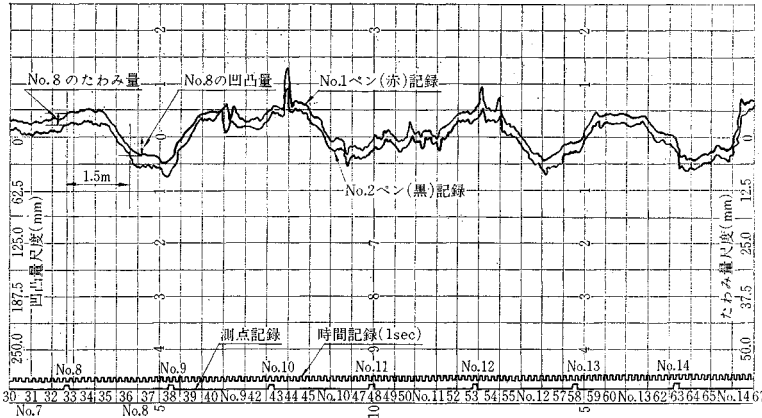
番号	ロットの種別	3m 定規		たわみ測定機		摘要
		6個の \bar{x}	σ (mm)	6個の \bar{x}	σ (mm)	
1	No. 4~No. 7 (中央)	2.1	0.83	2.27	0.90	定数 $d_2=2.53$ 測定点間隔 1.0m
2	" (路肩)	4.0	1.58	3.11	1.23	
3	No. 16~No. 19 (中央)	7.78	3.08	6.48	2.56	
4	" (路肩)	2.5	0.99	3.01	1.19	
5	No. 22~No. 25 (中央)	3.4	1.34	3.27	1.29	
6	" (路肩)	4.6	1.82	5.07	2.00	
	中央平均	4.32	1.71	3.85	1.62	
	路肩平均	3.7	1.46	3.93	1.47	
	全体平均	4.0	1.58	3.83	1.51	

春日井バイパスたわみ量ばらつき

番号		ベンケルマンビーム		たわみ測定機		摘要
		6個の \bar{x}	σ (mm)	6個の \bar{x}	σ (mm)	
1	中央	0.297	0.12	1.30	0.51	$d_2=2.53$ 測定点間隔 5.0m
2	路肩	0.337	0.13	1.214	0.48	
3	全体	0.338	0.13	1.245	0.49	

注: σ (標準偏差) = \bar{x}/d_2

図-9 屋外試験舗装における記録値
(昭和42年4月24日, 倍率=2, 軸重 10t)



なることも経験した。

このほか改良を急ぐべき点は、差動変圧器におよぼす温度の影響である。現在までの試験では 30°C 程度までは正常であるが、これより高温になると不正確になる。目下その改善策を考究中である。図-9 は走行速度 1.8 km/h で実施した測定記録値である。

5. あとがき

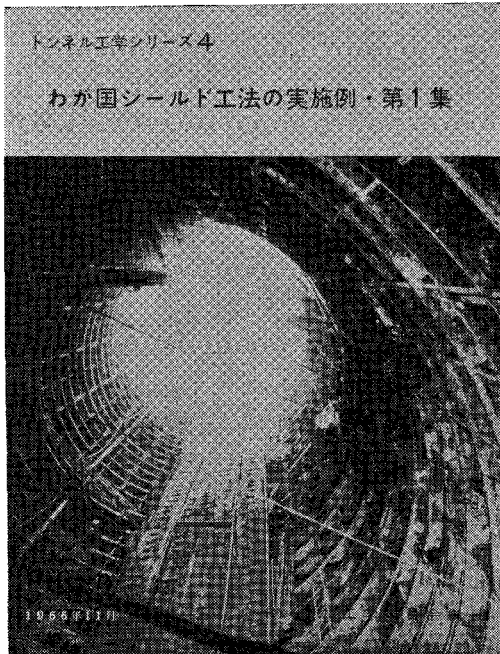
以上、試作したたわみ測定機の機構とその測定試験結果の一部を紹介したが、実績も少なく、実用化のために

ことが少ない。

- ③ 路面状態が刻明に認識される。
- ④ 機械の取り扱いがやや複雑であり、また適当な測定速度は追従性、凹凸度、路面構造によるたわみの復元速度などから検討すべきで、今後の重要課題である。

以上であるがこの試作機に対し、各位の御批判と御助言をお願いする次第である。なお本機の検査ならびに現場試験は建設省中部地方建設局名古屋技術事務所の御厚意におうものが多い。ここに付記して謝意を表する。

(1967.11.6・受付)



トンネル工学シリーズ 4

わが国シールド工法の実施例・第1集

最近のシールド工事にはめざましい進歩があります。日本における最も古いシールド工事は大正6年5月から大正13年4月にかけて国鉄折渡トンネルにおいて行なわれました。それから約半世紀を経た今日まで日本では158件のシールド工事が実施されております。

本書では、この158件の工事例を、まず項目別に第I部から第VI部までをそれぞれ「工事概要」、「設計および実績」、「セグメント」、「シールドおよび附属機械」、「工用機械その他」、「主要な図表類」とわけて分類し、つづいてこれらを企業別に「鉄道および道路」(計19件)、「下水道」(計53件)、「上水道」(計49件)、「電力および通信」(計30件)、「地下道その他」(計7件)に分け、これらを施工年次の古いものから配列し、巻末に付図として各データの相関関係がわかるように適宜プロットしたグラフを掲載してありますので非常に便利なデータブックであるとともに、シールド工事の歴史が一目で歴然とわかります。ぜひご覧の上活用下さるようおすすめします。

体 裁 : B 5判 338 ページ・表 117・図 218
定 価 : 2 200 円 (〒 100 円)
会員特価 : 1 800 円 (")