

19. 車輪荷重走行時の地盤挙動に関する実験的研究

溝口 義弘
浅田 毅

要 旨

アスファルト舗装等の路床のたわみ量を測定する方法としてベンケルマンビームによるたわみ量試験などが用いられているが、これらの試験は、連続して地盤のたわみ量を測定できなかったり、試験にかなりの時間を要するなどの問題点がある。

この試験法に替わるものとして、連続的に地盤のたわみ量を測定できる簡易なたわみ量測定試験機の開発を進めているが、その第一段階として室内模型実験を行い、荷重車の車輪を走行させたときに発生する地盤のたわみ性状を調べた。その結果、車輪走行時における地盤のたわみ量と車輪の水平抵抗値の間には相関性があり、車輪走行時の地盤内応力はブーシネスクの弾性解析により推定できることがわかった。

キーワード

路盤・路床／たわみ量／模型実験／水平抵抗値／地盤内応力

目 次

1. はじめに
2. 室内模型実験
3. 実験結果
4. 地盤内の鉛直応力
5. ま と め
6. あとがき

19. AN EXPERIMENTAL STUDY ON SOIL BEHAVIOR UNDER THE LOAD OF RUNNING WHEELS

Yoshihiro Mizoguchi
Tsuyoshi Asada

Abstract

Simple deflection measurement equipment is under development which enables continuous measurement of soil deflection, which will replace Benkelman beams and other conventional equipment for measuring subgrade deflection of asphalt pavement. The conventional measurement cannot provide for continuous measurement of soil deflection or takes considerable time.

Laboratory simulation was carried out to investigate deflection properties of the soil under the load of running wheels. As a result, it was found that correlation existed between the soil deflection and the horizontal resistance of wheels under the load of running wheels, and that the stresses in the soil under the load of running wheels could be estimated by the Boussinesq's elasticity analysis.

1. はじめに

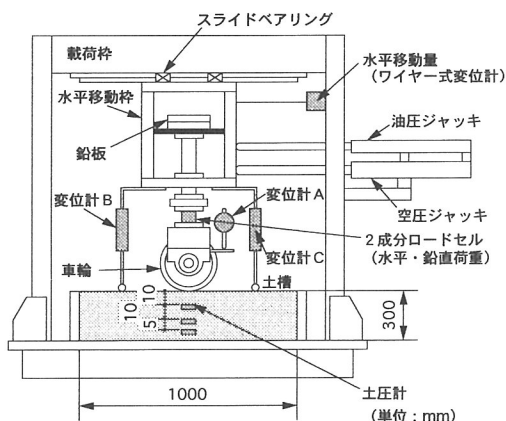
地盤が交通荷重を受けると表面にたわみが生じるが、そのたわみ量が小さいものほど、地盤の支持力は高く、耐久性があると言える。このようなことから、道路路床および下層路盤などの品質管理項目の中に、荷重車によるたわみ量の測定が挙げられている。

現在行われている一般的なたわみ量の測定方法として、ダンプトラックやタイヤローラーを用いた「プルーフローリング試験」や「ベンケルマンビームたわみ量測定試験」がある。このうち、「プルーフローリング試験」は、所定の荷重車を地盤上に走行させ、発生するたわみ量を目視によって調べる方法であり、正確な測定値が得られるとはいえない。一方、「ベンケルマンビームたわみ量測定試験」は、試験に使用する荷重車（8 t ダンプトラック）の調達が困難なことから、試験に熟練を要し手間がかかるなどの問題点が挙げられている。

このような現状を踏まえ、このたび、車輪走行時の地盤のたわみ量を連続的に測定できる簡易なたわみ量測定試験機の開発に着手し、その測定手法の確立を目指すことにした。

本報告は、室内において模型地盤を作製し、荷重車の車輪を走行させたときに発生するたわみがどのような性状を呈するかについて行った実験結果を述べる。

2. 室内模型実験



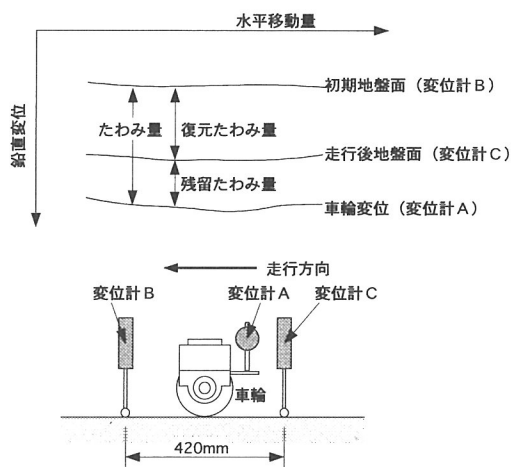
図－1 実験装置

1) 実験装置

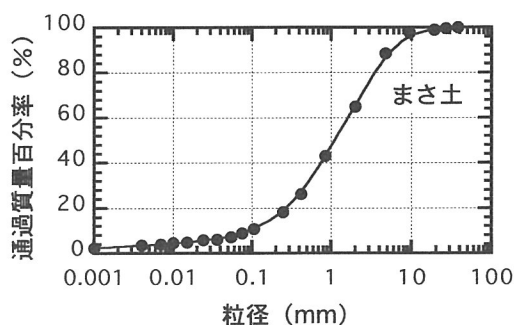
実験装置を図－1に示す。本装置は、車輪が一定の輪荷重（接地圧 $0.1 \sim 10 \text{ kgf/cm}^2$ ）を保って地盤の表面上を走行したとき、それに伴って生じる地盤のたわみ量と車輪の水平荷重・鉛直荷重を測定できるようにしたものである。車輪は、油圧ジャッキで走行させ、走行速度を $0.1 \sim 4 \text{ km/h}$ の範囲で調整することができる。図－2に示すように、車輪走行時に変位計A・B・Cで計測した変位量から模型地盤のたわみ量・復元たわみ量が求められる。

2) 模型地盤

実験に用いた試料は、図－3の粒径加積曲線に示す最大粒径 37.5 mm 、平均粒径 2 mm 、細粒分 8% の愛媛県



図－2 たわみ量の模式図



図－3 試料の粒径加積曲線

表－1 試料の物理・力学特性

土粒子の密度	ρ_s	2.659
均等係数	U_c	15.9
曲率係数	U_c'	1.46
最大乾燥密度	$\rho_{dmax} \text{ (g/cm}^3\text{)}$	2.013
最適含比	$w_{opt} \text{ (%)}$	8.7

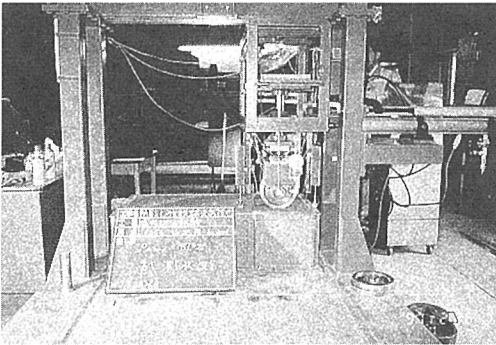
菊間産のまさ土である。その試料の物理・力学特性を表－1に示す。

模型地盤は、所定の密度で均質な地盤となるように、1層あたりの仕上がり厚さを5cmとして試料を締めめて作製する。土槽の中央位置に表面から深さ10、20、25cmの位置に小型土圧計（ $\phi 50\text{mm} \times t 5\text{mm}$ ）を埋設する。実験終了後、キャスポル（簡易支持力測定器）で模型地盤のCBR値を測定する。

3）実験方法

実験は、まず車輪を無載荷状態で走行させ地盤表面の初期状態（凹凸）を測定する。次に車輪に所定の荷重を載荷し、車輪を油圧ジャッキによって走行させながら、地盤のたわみ量、車輪の水平・鉛直荷重、および土圧を計測する。その実験状況を写真－1に示す。

実験条件を表－2に示すが、車輪幅、車輪径、および車輪の載荷荷重をそれぞれ変えて行く。



写真－1 実験状況

表－2 実験条件

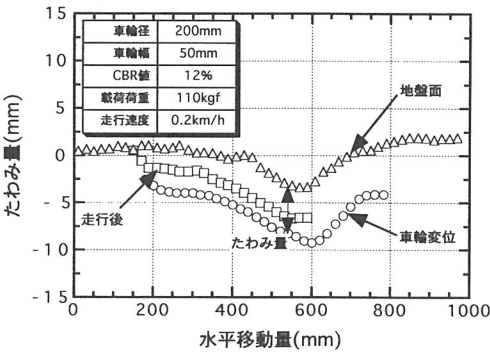
車 輪 幅 (mm)	50、75、100
車 輪 径 (mm)	150、200、250
載荷荷重 (kgf)	70、110、150、210

3. 実験結果

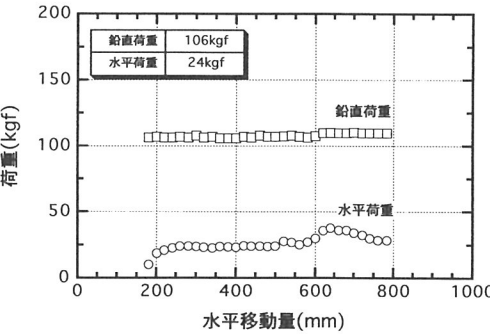
CBR値が12%の模型地盤上を直径200mm、幅50mmの車輪に、載荷荷重110kgf（接地圧5 kgf/cm²）を載荷して速度0.2km/hで走行させたときの実験結果を図－4に示す。この図の(a)から一部を除きたわみ量は6mm、復元たわみ量は2mm、残留たわみ量は4mmとほぼ一定の値を示していることがわかる。また、同図(b)から車輪走行時の車輪の鉛直荷重はほぼ一定であるにもか

わらず、水平荷重はたわみ量が大きくなっている部分で大きくなっていることがわかる。他の条件で行った実験結果にも同様の傾向が見られる。

車輪幅が75mmで、車輪径が150mm、200mm、250mmの場合の実験結果から、地盤のたわみ量と車輪の水平抵抗値T/P（水平荷重Tを鉛直荷重Pで除した値）の関係を求めたもの図－5に示す。この図からたわみ量が大きくなるほど、また、車輪径が小さくなるほど水平抵抗値T/Pは大きくなることがわかる。

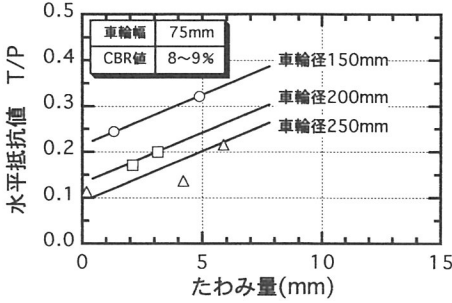


(a)たわみ量と水平移動量の関係



(b)荷重と水平移動量の関係

図－4 実験結果



図－5 水平抵抗値とたわみ量の関係(1)

また、車輪径が200mmで、車輪幅が50mm、75mm、100mmの場合の実験結果から、車輪幅と水平抵抗値T/Pの関係求めたものを図-6に示す。この図から車輪幅が広い方が水平抵抗値T/Pは小さいことがわかる。これは、車輪幅が広いと接地面積が大きくなるため、同じ載荷荷重であれば接地圧が小さくなり、たわみ量が減少すると考えられる。

図-7は、直径200mm、幅50mmの車輪を、載荷荷重を70~210kgf、地盤のCBR値を9~23%に変化させて実験したときの実験結果から、たわみ量と水平抵抗値T/Pの関係求めて図示したものである。この図から、CBR値の大小にかかわらずたわみ量が大きくな

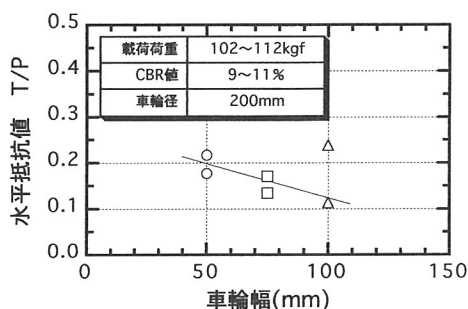


図-6 水平抵抗値と車輪幅の関係

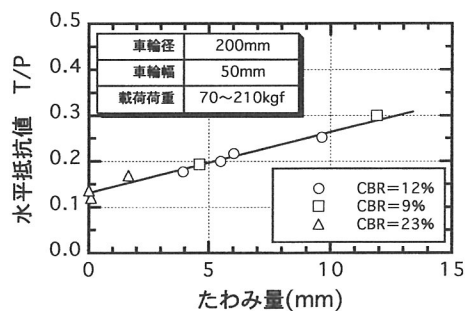


図-7 水平抵抗値とたわみ量の関係(2)

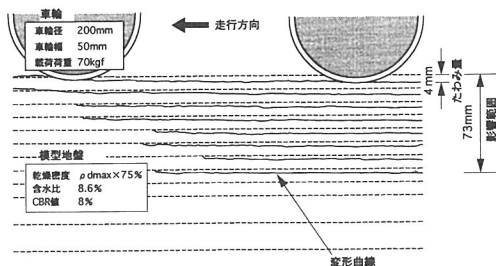


図-8 地盤の変形状況

るほど水平抵抗値T/Pは大きくなることがわかる。これらの結果から走行時の車輪にかかる水平・鉛直荷重の測定値から地盤のたわみ量を推定できるものと考ええる。

車輪走行後の模型地盤の変形状況をスケッチしたものを図-8に示す。直径200mm、幅50mmの車輪に70kgfの荷重を載荷した場合の地盤表面でのたわみ量は約4mmであったが、その変形は表面から73mmの深さのところまで及んでいることがわかる。

4. 地盤内の鉛直応力

CBR値が8%の模型地盤に、99kgfの荷重を載荷した直径150mm、幅75mmの車輪を走行(0.22km/h)させた時の地盤内に設置した土圧計の変化を図-9に示す。地盤面から10cmの位置にある土圧計の値は、車輪が土圧計の設置位置の真上より75mm、すなわち車輪径の半

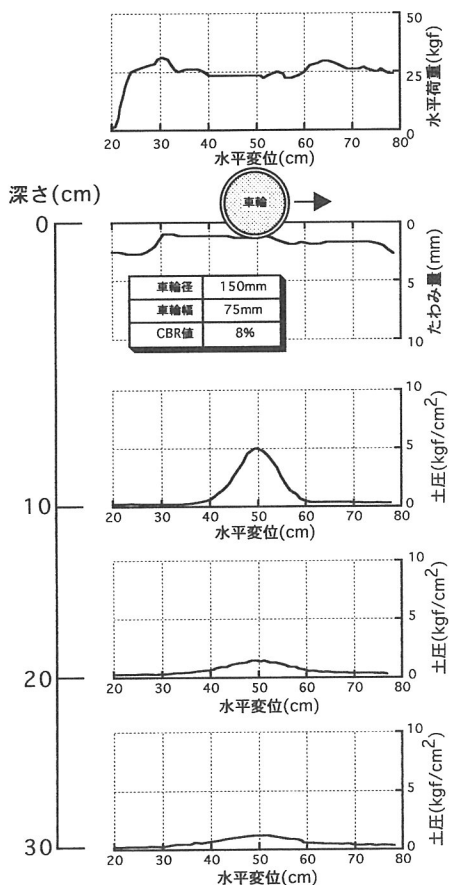


図-9 土圧分布

分ほど手前から急激に上昇し、車輪が土圧計の真上の位置にきたときピークに達して降下しており、軸対称形を示している。深さ20cmと25cmの位置にある土圧計の値も同様な形状で変化している。このことから模型地盤は、輪荷重の移動につれて弾性的な挙動を示していることがわかる。

図-9に示した土圧計の値から輪荷重を地盤に載荷したときの鉛直応力 σ_v の分布状況を図示したものを図-10に示す。ここに、輪荷重による接地圧は $P=4.7\text{kgf/cm}^2$ である。この図において、深さ10cmで $\sigma_v/P=1.0$ 、深さ20cmで $\sigma_v/P=0.26$ 、深さ25cmで $\sigma_v/P=0.21$ である。また、土槽の底部では、 $\sigma_v/P=0.1$ 程度で車輪荷重による影響は小さく、車輪荷重はおおよそ45度で分散していることがわかる。

模型地盤はほぼ均一に締固められており一様な弾性体と考えられるので、ブーシネスク(Boussinesq)による弾性解析を使って地盤内の鉛直応力分布を推定した。これは車輪走行時の接地面形状(75×28mm矩形)を円形等分布鉛直荷重 P_0 に換算し、中心点での深度方

向の鉛直応力 $\sigma_v^{(1)}$ を帯載荷形状に対する荷重分散係数⁵⁾で補正して求めたものである。その計算式を(1)式に示す。

$$(\sigma_v)_{r=0} = P_0 \cdot \left[1 - \frac{1}{(1 + a^2/z^2)^{n/2}} \right] \cdot \alpha \quad (1)$$

ここに a : 載荷面の半径 $a=14\text{mm}$

z : 深さ

n : 実験定数 $n=8$ ($n=3$ Boussinesq)

α : 帯載荷補正係数

荷重直下での鉛直応力を計算式から求めた値と土圧計の値を比べたものを図-11に示す。この図から、15cm以浅では計算値と実測値は一致していないが、それ以深では両者の値はほぼ同じであることがわかる。

5. まとめ

本実験から車輪走行時の地盤挙動について以下のことがわかった。

- ①水平抵抗値と車輪幅の間には相関関係があり、車輪幅が大きくなると水平抵抗値は小さくなる。
- ②水平抵抗値と車輪径の間にも相関関係があり、車輪径が大きくなると水平抵抗値は小さくなる。
- ③車輪幅とたわみ量の間には相関性が高く、車輪幅が大きくなるとたわみ量は小さくなる。
- ④水平抵抗値とたわみ量の間には相関性が高く、車輪走行時の地盤のCBR値が8%以上であれば、地盤はほぼ弾性的な挙動を示し、水平抵抗値からたわみ量が推定できる。
- ⑤地盤のごく浅い部分では載荷重によって塑性変形を起こしているが、概ね車輪径以深では地盤内の鉛直応力はブーシネスクの弾性解析で計算できる。

現時点では、得られているデータ数が不十分のため、相関式などを求められないが、今後、地盤の種類、車輪幅、車輪径などを変えた実験を行うことにより、相関式などの定量化が可能であると考えられる。

6. あとがき

現在、舗装の改修工事等の比較的小規模な施工現場にも使用できる、また連続的に地盤のたわみ量が測定できる簡易なたわみ量測定試験機の開発を進めている。今回、室内模型実験で得られた車輪走行時の地盤挙動について述べた。今後、荷重条件を変えた実験等を行うことで、たわみ量測定手法を確立していきたいと考えている。

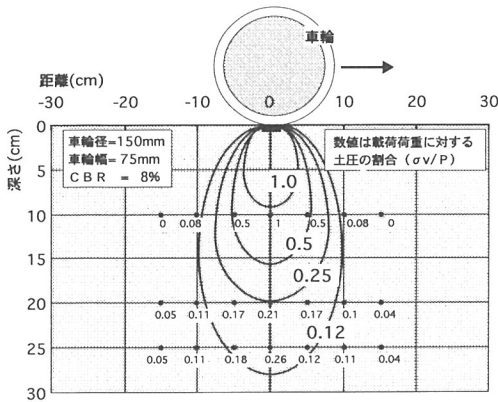


図-10 地盤内応力推定等曲線

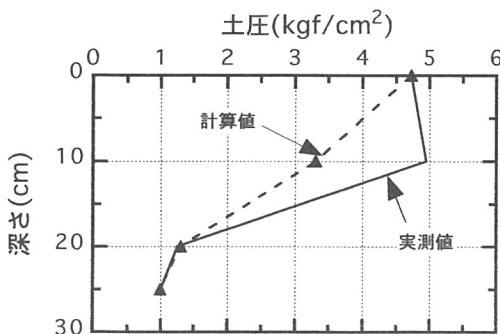


図-11 地中応力分布

なお、本実験は、近畿土質技術委員会ワーキンググループ（建設省近畿地方建設局近畿技術事務所、財大阪土質試験所、(株)浅沼組、(株)新井組、奥村組土木興業(株)、(株)松村組）により実施されたものであり、関係各位に深く感謝の意を表します。

〔参考文献〕

- 1) 簡易たわみ測定機開発調査業務報告書、平成9年3月、(財)大阪土質試験所
- 2) 伊東、他（1997）、車輪荷重走行時の地盤挙動－その1－（室内実験）、土木学会第53回年次学術講演会概要集、PP606～607
- 3) 西野、他（1997）、車輪荷重走行時の地盤挙動－その2－（実験結果）、土木学会第53回年次学術講演会概要集、PP596～597
- 4) 竹下春見、新編道路工学、PP134、金原出版
- 5) 山口柏樹（1988）、土質力学、PP338～339、技報堂