

V-5 ハンディ・フォーリング・ウェイト・デフレクトメータによる舗装支持力評価に関する研究

不二建設(株) 正員 佐京 賢一
北海道工業大学 正員 笠原 篤

1. まえがき

近年、アスファルト舗装の計画・設計・建設・維持・修繕・評価・研究などに関する行為を包括し、総合的にとらえるPMS (Pavement Management System) が重要であるとの認識は、すでに世界的に広まっている。PMSは多くのサブシステムから成り立ち、その中でもサービス性能評価としての乗り心地、すべり抵抗、路面の損傷とともに重要である支持力による舗装構造評価がさかんにに行われている¹⁾。

このような背景のもと、舗装の支持力評価としてたわみ測定が行われている。世界的に見て、フォーリング・ウェイト・デフレクトメータ(以下、FWDと呼称)が、現在その主流を占めている。FWDは、走行車両による荷重に最もシミュレートした装置であることは広く認められている。このFWDたわみから各層の弾性係数を求める逆解析手法により舗装の支持力評価、耐久性評価が行われている。

本研究のたわみ測定に使用したハンディ・フォーリング・ウェイト・デフレクトメータ(以下、HFWDと呼称)²⁾は、荷重は小さいが従来の大型のFWDと同様に非破壊試験による舗装の支持力などを評価するために開発された携帯型のたわみ測定装置である。本研究においては、舗装の支持力に着目して、HFWDから得られたたわみを用いて、供用中のアスファルト舗装について得られた種々の測定結果について報告するものである。

2. HFWD概要

HFWDは、8kgf重錘をある高さから自由落下させることによって300~500kgfの衝撃荷重が得られ、載荷時の載荷板中心部の載荷荷重とそのときに生じるたわみを最大2つ(D₀、D_x)測定することができる装置である。ここでのたわみD₀とは載荷点位置のたわみである。

その特徴は、①持ち運びが容易である。②測定時間が短い(1回約1秒)。③室内でたわみ測定が行える。④アスコン層をコアカッタで穿孔後、既設路盤上でたわみを測定できる。などである。HFWDの基本構造を図-1に、測定状況を図-2に示す。

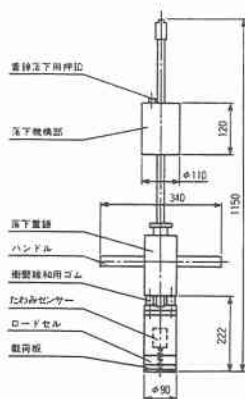


図-1 HFWD基本構造



図-2 HFWD測定状況

Evaluation of Bearing Capacity of Asphalt Pavement using Handy Falling Weight Deflectometer
By Kenichi SAKYO, Atsushi KASAHARA

3. 測定概要

本研究においては、HFWDを用いて次の示す目的で各種舗装のたわみ測定を行い、舗装体の支持力評価を行った。

- ①舗装構造が未知の場合、HFWDによって得られるたわみから舗装構造の区分ができるか判断する。
- ②供用中の車道（アスファルト舗装）において車線横断、縦断方向にたわみを測定し、支持力差を比較する。
- ③舗装構造を2層構造に単純化して、HFWDによる2つのたわみ量と荷重から E_1 （アスコン層の弾性係数）と E_2 （路盤以下の弾性係数）を推定し、さらにFWDとHFWDの逆解析弾性係数の比較を行う。
- ④現道の舗装補修工事において、HFWDによって横断方向に同一地点で各層のたわみ測定を行い、舗装支持力の改善効果を確認し、逆解析による E_2 を推定する。

尚、測定されたたわみデータから舗装構成層の弾性係数を推定するにあたり、多層弾性理論の逆解析プログラム（LMBS：北海道大学 姫野助教開発プログラム）を用いて推定した。

4. 測定結果と考察

4-1 HFWDによる舗装構造区分

HFWDを用いて住宅地の車道についてたわみを測定した。住宅地の車道（アスファルト舗装）では、6m間隔で78点測定した結果、図-3に示すようなたわみのプロファイルが得られた。たわみのプロファイルから、舗装構造の差異を2つに区分することができた。現地測定路線の舗装構造データは、①と③はアスコン厚8cm、路盤厚60cm、②はアスコン厚4cm、路盤厚65cmであった。

このことから、測定たわみのプロファイルより舗装構造の差異を区分できると言える。

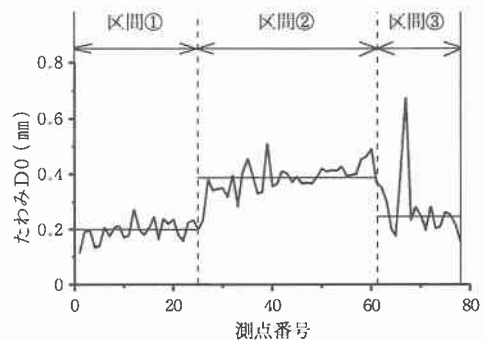


図-3 住宅地車道の測定たわみのプロファイル

4-2 HFWDによるたわみのプロファイル測定

HFWDを用いて供用中の車道（アスファルト舗装）において20m間隔で延長400mについて車線横断、縦断方向にたわみを測定し、その測定結果から支持力の変化と舗装体が受けるダメージを検討した。

4-2-1 車線横断方向のたわみプロファイル

測定位置及び横断方向測定結果のプロファイルは、図-4に示す通りである。車輪走行位置における測定たわみは非走行部（Between Wheel Pass：以下、BWPと呼称）に比べてそのたわみが大きく、特に外側車輪走行位置（Outer Wheel Pass：以下、OWPと呼称）において顕著であり、既設舗装体の横断方向に支持力差のあることが明らかにされた。このことから、車輪走行位置における舗装体の支持力の低下が推測され、OWPが内側車輪走行位置（Inner Wheel Pass：以下、IWPと呼称）に比べて大きいことも明らかにされた。これらのたわみ量変化の定量化については交通量、大型車混入率、走行速度、走行軌跡などについても影響因子として考慮する必要があり、今後の課題である。

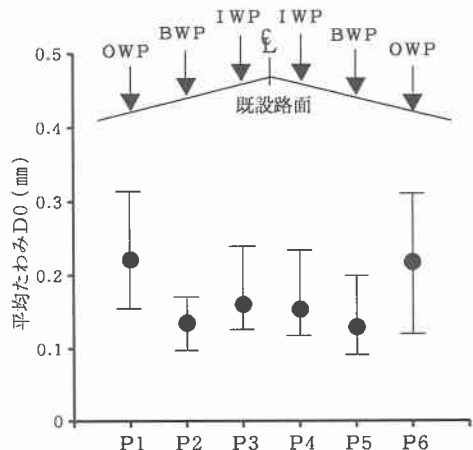


図-4 測定位置及び既設路面のたわみ結果

4-2-2 車線縦断方向のたわみプロファイル

測定位置及び縦断方向測定結果のプロファイルは、図-5に示す通りである。ほとんどの測定位置においてたわみ量の大きさは、OWP > IWP > BWPの順を示しており、IWP及びBWPのたわみ量に比べてOWPのたわみ量とその変動幅が大きく、車線縦断勾配の凹凸部変化点および急凸部におけるOWPのたわみが突出して大きいことが認められる。車線縦断勾配の凹凸部におけるOWPの支持力低下は顕著であり、既設舗装体の縦断方向に支持力差のあることが明らかにされた。

このことから、車線縦断勾配の変化点における舗装体の支持力低下が確認されるとともに、縦断勾配の比較的大きな箇所におけるOWPの支持力低下が大きいことも明らかにされた。

車線縦断勾配の変化にともなう舗装体を受けるダメージは、勾配の大小と勾配変化の程度により異なり、その定量化については、さらに舗装構造、車両の走行速度、車両性能などの点からもアプローチが必要と考える。

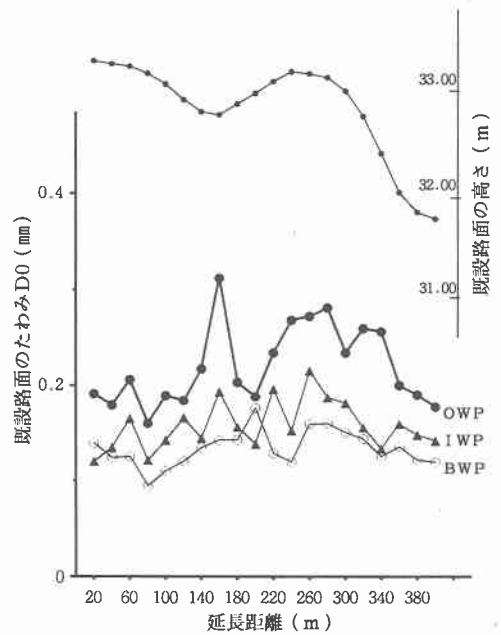


図-5 既設路面の高さとたわみ結果

4-3 FWDとHFWDによる2層構造解析

FWDとHFWDを用いて住宅地の車道（アスファルト舗装）について、同一地点においてたわみを測定した。車道は2つの異なった舗装構造、すなわち図-3に示されているように、区間①について24点、区間②について42点、区間③について30点、合計96点測定した。

それぞれの測定たわみを用い、舗装構造を2層構造と単純化し、逆解析弾性係数 (E_1 、 E_2) を算出することを試みた。

アスコン層の弾性係数 (E_1) は路面温度から既知量として、路盤以下の層の弾性係数 (E_2) を未知として逆計算で求め、その結果を表-1に示した。2つのFWDから得られた E_2 の値には差が見られ、FWDに比べHFWDの方が大きくなる傾向が見うけられる。このことは、FWDの荷重荷重が約5tであるのに対しHFWDの荷重荷重は約500kgであることから、 E_2 に応力依存性があると推測される。

アスファルト混合物の弾性係数が温度依存性であることは既に認められていることであり、同様に路盤以下の弾性係数については応力依存性の存在から、多層構造弾性理論における路盤材料、路床材料の強度評価に対して適切な変形係数の手法・導入が求められていることを意味している。

表-1 E_1 、 E_2 の逆計算結果 (kgf/cm²)

	区間①		区間②		区間③	
	E_1	E_2	E_1	E_2	E_1	E_2
HFWD	24,000	1,392	23,500	914	22,000	1,347
FWD	24,000	815	23,500	959	22,000	883

4-4 HFWDによる補修経過の2層構造解析

HFWDを用いて現道（アスファルト舗装）の舗装補修工事において、各層同一地点（既設路面：アスコン厚10cm、基層面：アスコン厚18cm、表層面：アスコン厚22cm）でたわみを測定した。測定区間の舗装構造を図-6に示す。各層について各々120点、合計360点測定し、その測定結果を図-7に示す。

各層についてたわみ測定時の路面温度よりアスコン層の弾性係数 (E_1) を既知量として、路盤以下の層の弾性係数 (E_2) を逆解析によって求め、その結果を表-2に示した。

補修経過によって測定たわみの減少が確認され、舗装厚さの増加による構造強化が認められる。また、HFWDから得られた既設路面における E_2 には差が見られ、車輪走行位置の違いによる E_2 が確認される。さらに舗装厚さの増加に伴い、推定された補修前の既設舗装の E_2 よりも大きくなっており、補修によって E_2 が回復したことを示している。すなわち、このことは E_2 に応力依存性のあることを示している。

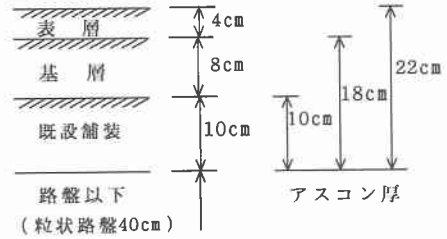


図-6 測定区間の舗装構造

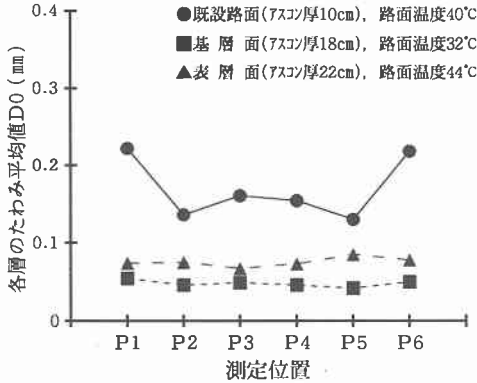


図-7 各層の測定たわみの変化

表-2 HFWDによる走行位置別 E_1 、 E_2 の逆計算結果

	OWP		BWP		IWP	
	P1	P6	P2	P5	P3	P4
既設路面 E_1	12,000	12,000	12,000	12,000	12,000	12,000
E_2	506	518	1,032	1,084	793	850
基層面 E_1	19,000	19,000	19,000	19,000	19,000	19,000
E_2	1,884	2,214	2,538	3,181	2,330	2,664
表層面 E_1	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000
E_2	2,531	2,209	2,699	1,917	3,509	2,782

5. 結論

以上のHFWDによるたわみ測定結果から、舗装体の支持力評価に関するいくつかの点が得られた。

- ① HFWDによるたわみ測定のプロファイルから舗装構造を区分できることが明らかになった。
- ② 車線横断方向において、車輪走行位置 (OWP、IWP) とBWPには舗装体の支持力に差が見られ、特にOWPのたわみが大きく、横断方向に舗装体が受けるダメージの異なることが確認された。また、車線縦断方向においては、縦断勾配の変化によって舗装体の支持力に差が見られ、特にOWPのたわみが大きく、縦断方向に舗装体が受けるダメージの異なることが明らかにされた。
- ③ HFWDのセンサーを2つに増設することにより、アスコン層の弾性係数 (E_1) を路面温度から既知数とし、路盤以下を1層とした場合の弾性係数 (E_2) を推定することが可能である。また、2層構造解析によると、応力依存性があるため同じ条件で求められたFWDの E_2 よりも大きくなる傾向が見られた。
- ④ たわみ測定結果から、路盤以下を一層とした場合の弾性係数 (E_2) は、車輪走行位置において低下することが確認され、舗装厚さの増加に伴って大きくなり、応力依存性のあることが明らかにされた。

以上、HFWDによるたわみ測定結果から得られた舗装体の支持力評価については、交通量が同一であっても舗装を構成する各層の支持力 (舗装厚さ、強度など)、舗装体の温度、荷重の大きさなどに依存する測定・評価時の考慮すべき点とともに舗装体の交通遍歴、補修遍歴、走行軌跡、路床土の均一性などといった交通・環境の点からのアプローチがさらに必要であり、今後の研究課題となる。また、HFWDを用いて供用中のアスファルト舗装のたわみ測定を行ったが、適切な構造評価のための手段の一つとして、手軽に支持力の評価指標となるたわみ測定が行えるHFWDの有効な活用を目指したい。

参考文献

- 1) 笠原ほか：舗装構造解析へのフォーリング・ウェイト・デフレクトメータの利用、土木学会論文集第420号、P43~49、1990
- 2) 笠原ほか：ハンディなフォーリング・ウェイト・デフレクトメータの開発、第19回日本道路会議一般論文集、P314~315、1991