

# FWD を用いた道路舗装の支持力評価

佐藤研一<sup>1</sup>・吉田信夫<sup>2</sup>・田中秀明<sup>3</sup>・出利葉 敦<sup>4</sup>・永谷謙治<sup>5</sup>

1 正会員 博士(工学) 福岡大学助手 工学部土木工学科 (〒814-0180 福岡市城南区七隈 8-19-1)

2 正会員 工修 福岡大学教授 工学部土木工学科 (同上)

3 東亜道路工業 (株) 九州支社技術センター (〒838-02 福岡県朝倉郡夜須町大字篠隈)

4 正会員 東亜道路工業 (株) 九州支社技術センター 課長 (同上)

5 北九州市建設局土木部道路建設課 (〒803 北九州市小倉北区内 1-1)

本研究では、路床、路盤の支持力管理を簡便にかつ経済的に管理できることを目的に、従来舗装体の構造評価に用いられてきた FWD と最近開発されたハンディタイプの FWD(HFWD)によって新設道路の構築に伴う現場計測を実施した。そして、計測結果をもとに路床、路盤の支持力評価を行い、同時に行った平板載荷試験から求められる  $K_{30}$  値と HFWD, FWD から求められる  $K$  値との関連性並びに適用性について検討を行った。また、FWD 試験装置から求められる弾性係数  $E$  と  $K_{30}$  値との関連性についての検討も行った。その結果、 $K_{30}$  と HFWD, FWD 試験から推定された  $K$  値および弾性係数  $E$  との間にかなり高い相関があることが確認された。

**Key words:** FWD, HFWD, Bearing Capacity, Elastic Modulus, Plate Bearing Test, Subgrade, Base Course, K-value

## 1. はじめに

道路舗装における路床、路盤の強度管理や支持力評価には、現場 CBR や平板載荷試験等が適用されている。しかし、これらの試験では、一日当たりの測点数に限りがあり、大型重機等による大きな反力が必要で、数百mに1個所の割合で測定を実施し、代表値としているのが現状である。したがって、代表地点前後の支持力の変動は明白ではなく、異なる挙動を示すことも考えられる。また、舗装の破壊に関しても、供用開始後、ある一定区間、同一舗装断面で同時に破損が進行する場合もあれば、部分的に早期に破損が進行する個所もあり、破壊に至るまでの経過および破壊原因もまちまちである。このようなことから、舗装各層を構築するにあたり、路床、路盤を支持力(強度)的な項目で多数点かつ高精度に管理することが必要な要素であるものとする。そこで、最近では路床、路盤の支持力を簡便にかつ経済的に管理できることを目的に、これまで舗装体構造の評価に用いらてきた落下重錘式の衝撃荷重による発生たわみ量と荷重が測定可能な Falling Weight Deflectometer (FWD)とこれを小型化したハン

ディタイプの FWD (HFWD)を用いて支持力管理を行うことが考えられている。このような FWD と HFWD を鉄道盛土に対する締固め管理に適用した研究では、締固め程度を表わす締固め密度比、空気間隙率や  $K_{30}$  値と FWD あるいは HFWD から求められる弾性係数、 $K$  値との間に一義的な関係が存在することが明らかにされている<sup>1), 2), 3)</sup>。また、阿部ら<sup>4)</sup>は、土槽及び現場実験の結果を用いて FWD と HFWD による路盤・路床の支持力評価方法について検討を行っている。そこで、本研究では新たに新設される道路の構築に際し、各舗装構成の各層において FWD と HFWD による現場計測を実施した。そして、計測結果をもとに路床、路盤の支持力評価を実施し、同時に行った平板載荷試験による  $K_{30}$  値と HFWD, FWD による  $K$  値および弾性係数との関連性について検討を行った。

## 2. 調査概要

本調査路線は、表-1 および図-1 に示すような設計条件および断面により新設される北九州市の東海岸を通る重要な幹線道路である。写真-1 は、路床施工終

道路規格	4種1級
設計速度	V=60km/h
将来交通量	32500台/日
設計交通量	D交通
設計CBR	6%

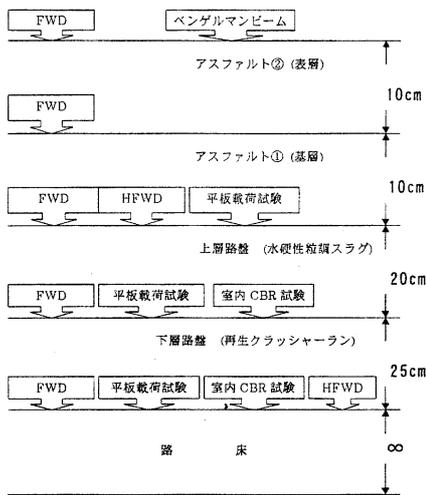


図-1 設計断面

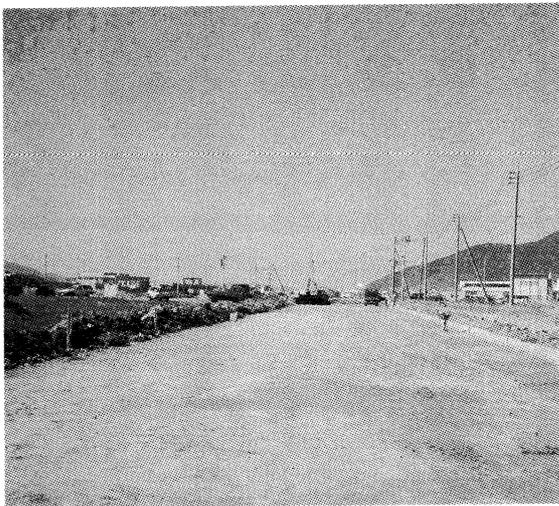


写真-1 路床施工終了時の計測現場

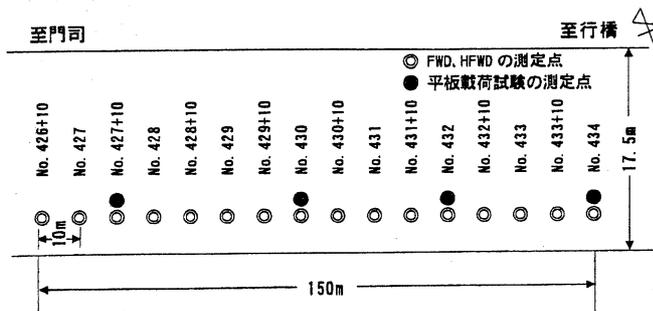


図-2 現場調査位置平面図

了時の計測現場の状況を示している。調査は、図-1に示すように舗装の各層を構築後に FWD, HFWD, 平板載荷試験により支持力調査を図-2 に示す現場調査位置にて実施した。ただし、HFWD については測定装置の調達の関係から下層路盤での計測を行っていない。

### 3. FWD 装置の概要およびK値の算出方法

FWD 試験装置は、図-3 に示すように載荷板とたわみセンサを地表面に設置し、重錘を所定の位置より落下させ地盤に生じる動的なたわみ量を測定する装置である。また、図-4 と写真-2 に HFWD 試験装置を示す。この HFWD は、舗装表面に落下高さ 50, 150, 300mm のそれぞれより 10kgf の荷重を加えたときに路面に生じるたわみを本体とその装置から 30cm 離れた所の 2 つのセンサで測定することが可能な装置である。また、測定時間が短く (1 地点約 1~3 分程度)、FWD 装置よりも簡易でかつコンパクトなため持ち運びが容易な装置である。

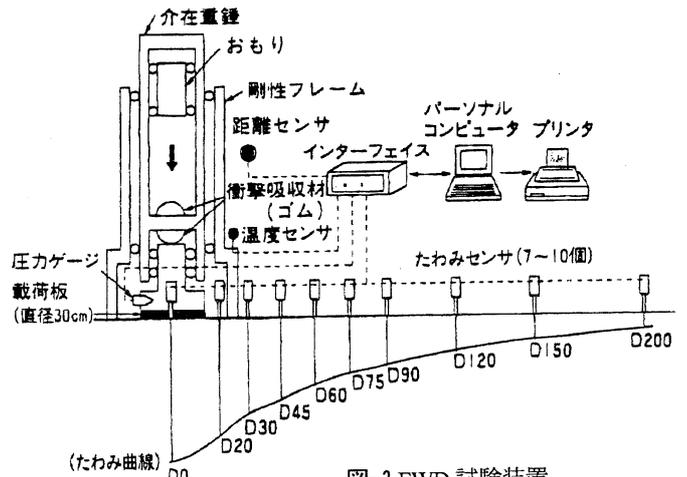


図-3 FWD 試験装置

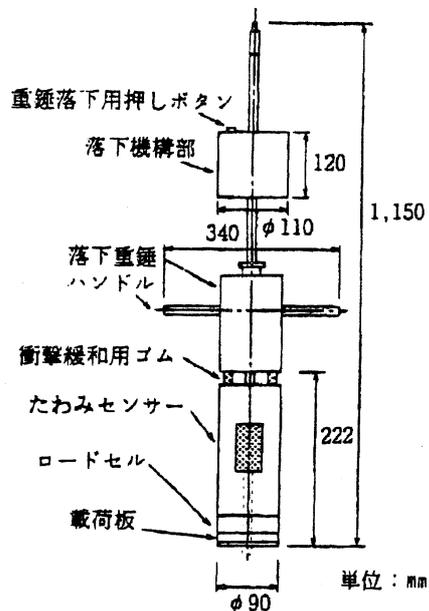


図-4 HFWD 試験装置

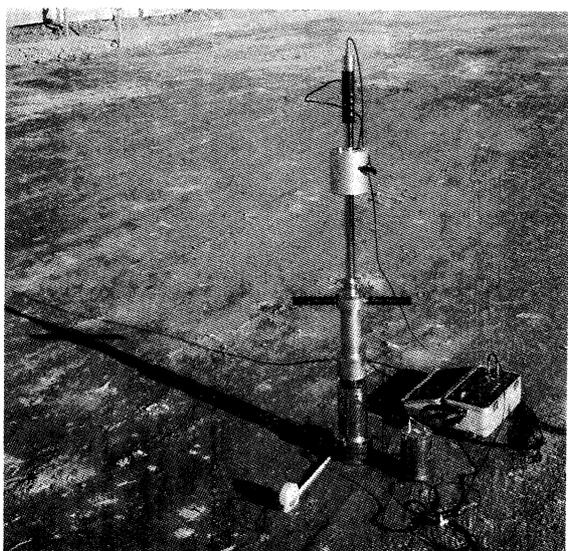


写真-2 HFWD 試験装置

表-2 FWD, HFWD 試験条件

項目	FWD	HFWD
載荷板直径 (mm)	300	90
落下質量 (kg)	250	10
落下荷重	3段階	3段階
落下高さ(mm)	50~250	50~300
落下回数	3~5	3~5
たわみセンサ数	7	2

今回の FWD および HFWD 装置の試験条件を表-2 に示している。本条件下における計測たわみ量と荷重を用いて地盤係数K値を算出した。FWD の載荷板の直径は、平板載荷試験と同じであるが、HFWD は載荷板が小さいため、(1)式<sup>1)</sup>・<sup>2)</sup>のように、載荷板の直径の比で線形的な補正を行い算出した。

$$K_{HFWD} = K_9 \times D_9 / D_{30} = K_9 \times 0.3 \quad (1)$$

ここに、 $K_{HFWD}$ :補正後の K 値(kgf/cm<sup>3</sup>)、 $K_9$ :HFWD から推定した K 値(kgf/cm<sup>3</sup>)、 $D_9$ :HFWD の載荷板の直径(9cm)、 $D_{30}$ :FWD の載荷板の直径(30cm)である。

また、道路の平板載荷試験では、沈下量 1.25mm の値を  $K_{30}$  としているため、上の条件からの K 値( $K_{FWD}$ )と HFWD からの K 値( $K_{HFWD}$ )も同一のひずみレベルとするために、FWD で 1.25mm、HFWD で載荷板の補正より 0.375mm のときの K 値を代表値とした。

#### 4. 結果及び考察

##### (1) 計測結果

図-5 に平板載荷試験の結果を示す。 $K_{30}$  値は、道路構築に伴って大きくなっていることが分かる。しかし、

上層路盤の水硬性粒調スラグにおける  $K_{30}$  値については、路床、下層路盤と異なった傾向を示している。これは、現場計測における路盤の平坦性等の問題による測定誤差と考えられる。

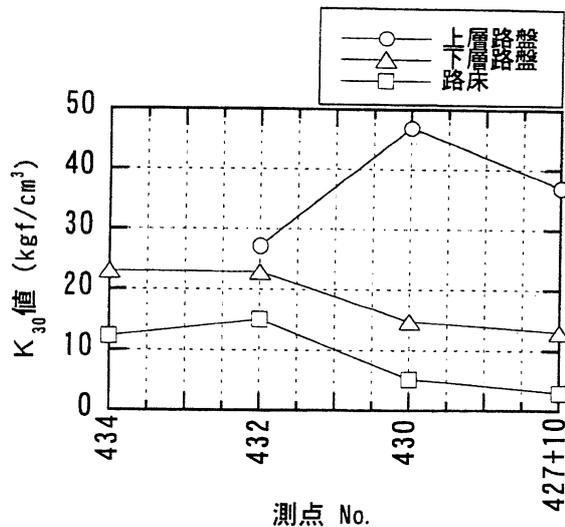


図-5 平板載荷試験結果

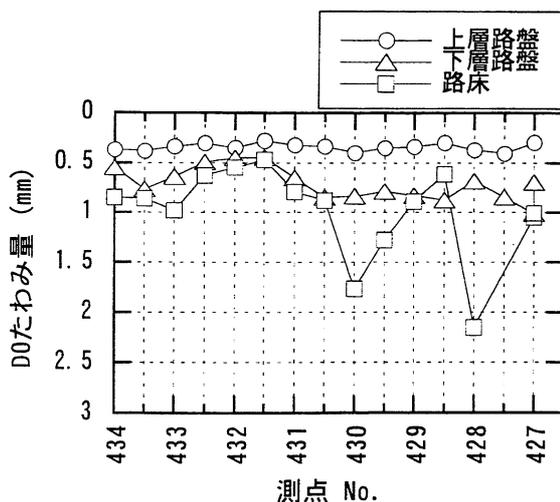


図-6 FWD 試験装置により計測された路床、路盤の DO たわみ量

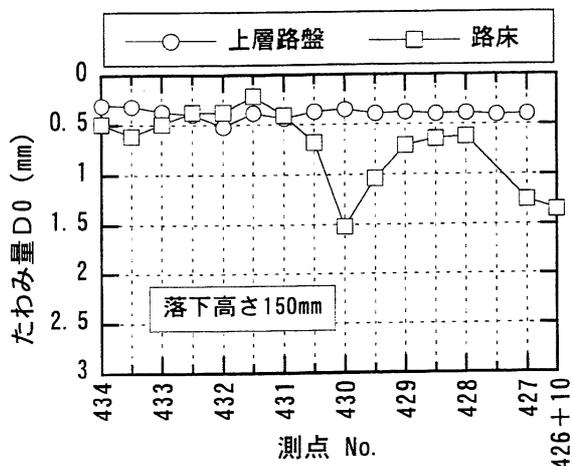


図-7 HFWD 試験装置により計測された路床、路盤の DO たわみ量

次に路床, 下層路盤, 上層路盤の各層構築直後の FWD 試験装置における載荷板中心たわみ量 (D0) の変動を図-6 に示す. また, 図-7 には路床および上層路盤における HFWD 試験装置により計測された各測点における D0 の変動を示している. いずれの結果ともに路床上におけるたわみ量はかなり大きな変動を示しているが, 層を構築するに従い, たわみ量の変動が小さくなっていくことがわかる. また, 両図を比較すると路床において大きなたわみ量を示した測点は, 2つの装置による結果がほぼ等しく, 測定位置(横断方向)のずれ等により, 部分的に異なる値を示す地点も見られるが, 両者の結果に概ね整合性があることが分かる. また, このときの3段階の荷重から得られた D0 たわみ量-荷重曲線から FWD で 1.25mm, HFWD で 0.375mm の時の荷重を算出し求められた  $K_{FWD}$  値と  $K_{HFWD}$  値の変動を図-8, 図-9 に示す.

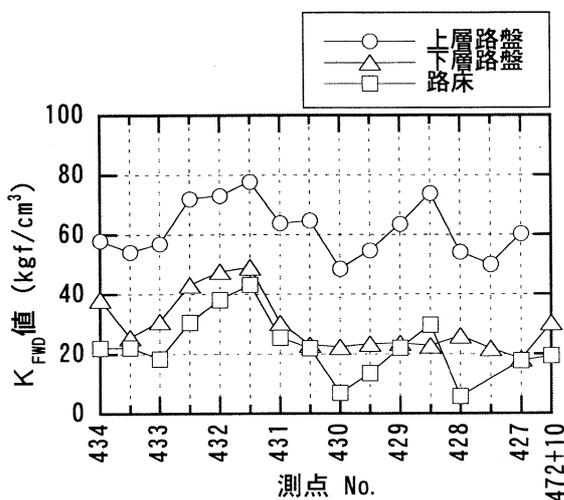


図-8 路床, 路盤の  $K_{FWD}$  値

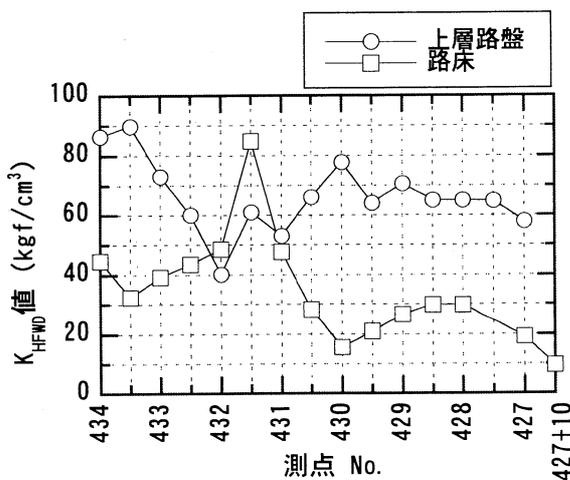


図-9 路床, 路盤の  $K_{HFWD}$  値

各  $K$  値はたわみ量の変動と同様な傾向を示し, 延伸方向に  $K$  値が一定でないことが分かる. 平板載荷試験は, 試験頻度が少なく, その代表値により管理しているので FWD や HFWD 試験装置を使うことにより, 比較的簡便にかつ経済的に多数点で締固め管理を行うことが有効的であるものと考えられる. また, FWD による測定結果を見ると路床の  $K_{FWD}$  値に依存するように下層路盤, 上層路盤の  $K_{FWD}$  値が推定求められている. すなわち, 均一な路盤材を構築しても, 舗装の基礎となる路床の支持力に大きく左右され, その材料の保持しうる支持力が最大限に発揮されていないことになる. このうち No. 434~No. 432 にかけては, 路床を良質な材料により 50cm 程度置き換えてある. 置き換え前の路床上で計測していないため明確ではないが, たわみ量,  $K_{FWD}$  値のそれ以降の値の変動状態から判断して, その効果が現れているのではないかと考えられる. また, 求めた  $K$  値が小さい No. 430 あるいは No. 427 付近においても, 事前に路床を構築した段階でその支持力を連続的に把握することで, No. 434~No. 432 で実施した置き換え等の処置により均一な支持力を有する路床構築が可能なるものであると考える.

## (2) 路床, 路盤への締固め管理への適用性の検討

図-10 に FWD と HFWD により求められた路床における  $K_{FWD}$  値と  $K_{HFWD}$  値との関係を示す. HFWD の結果は載荷板の直径の比で補正したものであるが, HFWD で求めた  $K$  値の方が FWD で求めたものより多少大きい値を示す傾向にある. これは, 載荷板の直径の違いによる荷重影響範囲や測定時のひずみレベルの差が影響していると考えられる. しかし, 両者の関係はほぼ一次式で推定可能な関係にあり, 載荷板の直径の比で線形的な補正で算出することが可能であることを示している.

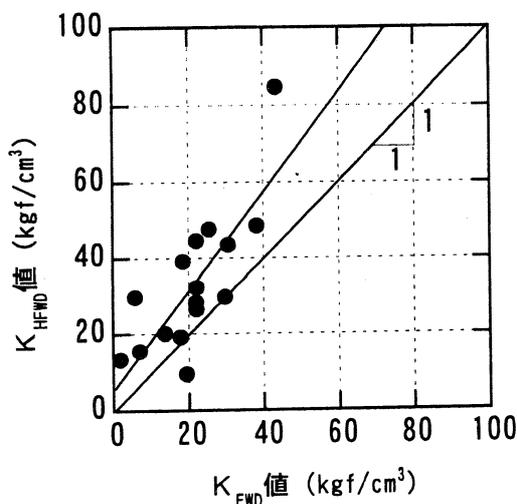


図-10  $K_{FWD}$  値と  $K_{HFWD}$  値の関係

次に、平板載荷試験における  $K_{30}$  値と  $K_{FWD}$  値および  $K_{HFWD}$  値の関係を図-11 に示す。両者の関係は非常に高い相関関係にあり、 $K_{30}$  値と比較するといずれも  $K_{FWD}$  値、 $K_{HFWD}$  値の値が大きくなっている。また、 $K_{FWD}$  値、 $K_{HFWD}$  値を  $K_{30}$  値に換算する補正係数をこれらの関係より求めることにより、FWD、HFWD により推定された  $K$  値から  $K_{30}$  値を求めることが可能である。このときの換算係数は路床で 3.0、下層路盤で 2.3、上層路盤で 1.9 であり、支持力の高い層あるいは舗装構成厚さが厚くなるに従い、両者の関係は  $X=Y$  に近づくような関係にあることが明らかになった。

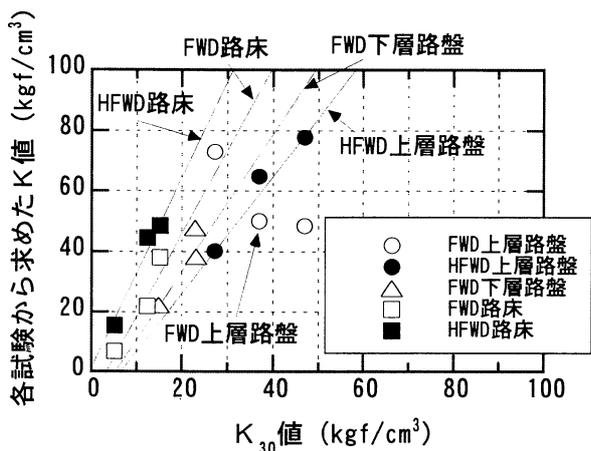


図-11  $K_{30}$  値と各試験からの  $K$  値との関係

各層構築後の FWD 試験から得られた測定たわみ量より、逆解析理論から推定した路床、下層路盤、上層路盤の各弾性係数  $E$  と  $K_{30}$  値の関係を図-12 に示す。各層とも弾性係数  $E$  と  $K_{30}$  値においても高い相関関係を示し、弾性係数  $E$  からの推定も可能であると考えられる。

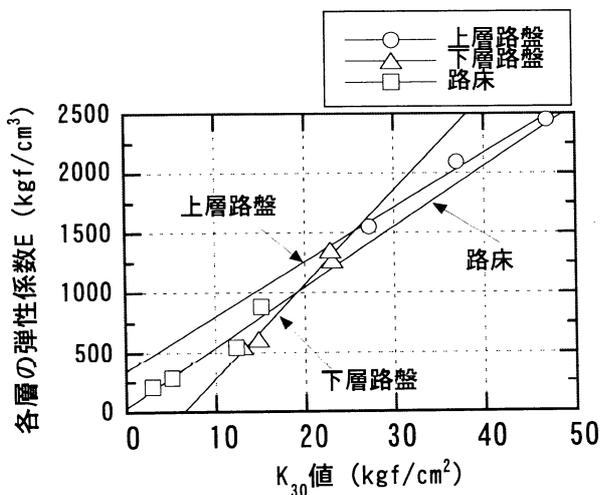


図-12  $K_{30}$  値と各層の弾性係数  $E$  の関係 (各層構築後)

次に、道路完成後に FWD 試験から推定された路床及び下層路盤の弾性係数  $E$  と  $K_{30}$  値の関係を図-13 に示す。各層構築後の各弾性係数  $E$  と  $K_{30}$  値の関係を示した図-12 の結果に比べ、弾性係数  $E$  と  $K_{30}$  値との関係に相関性があり、舗装表面から推定された弾性係数からも  $K_{30}$  値の推定がある程度可能であるものと考えられるが、その勾配が異なっていることが分かる。すなわち、各層構築後に測定した路床、下層路盤の弾性係数の値と比較すると、アスコン表面たわみ量から推定される弾性係数の方が大きな値として算出されることが分かる。これは、路床、下層路盤上に支持力の大きな材料(スラグ、アスコン層)が構築されたことにより、荷重伝達の影響が低減され、見かけ上の弾性係数が増加したものと考えられる。特に、最下層である路床に関しては、弾性係数に明確な差は見られず、構築後の関係と比較して勾配が異なったものと考えられる。このことから、各層構築後の弾性係数と  $K_{30}$  値の関係を用いて支持力評価を行った方が、路床あるいは下層路盤の支持力の差が明確に把握できるといえる。

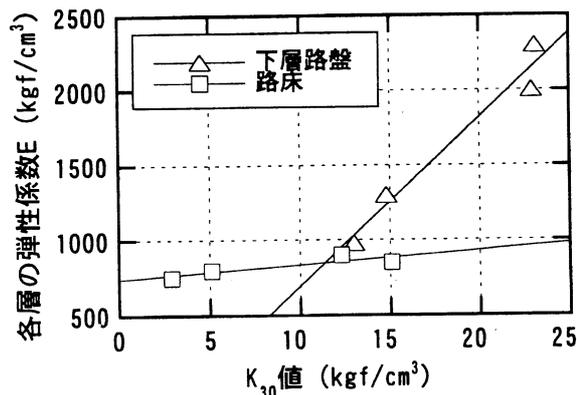


図-13  $K_{30}$  値と各層の弾性係数  $E$  の関係 (アスコン層構築後)

#### 4. 結論

本研究では、新設道路の構築に際し、路盤、路床における支持力評価を FWD を用いて行い、次のような結論が得られた。

- (1) 各層構築後において FWD、HFWD 試験装置により測定された載荷板中心でのたわみ量  $D0$  値および  $K_{FWD}$  値、 $K_{HFWD}$  値は、道路の延伸方向に一定値を示さず、 $K_{30}$  値の代表値を用いて設計を行うことは合理性に欠けることが明らかになった。
- (2) 平板載荷試験における  $K_{30}$  値と FWD、HFWD 試験装置から推定された  $K$  値との間にかかなり高い相関があることが確認された。また、換算係数を用いることにより FWD、HFWD により推定された  $K$  値から  $K_{30}$  値を求める

ことが可能である。

(3) FWD 試験より求められる各層構築後のそれぞれの弾性係数  $E$  と  $K_{30}$  値の関係は高い相関性を示し、弾性係数  $E$  から  $K_{30}$  値を推定することが可能であることが明らかになった。

今後は、舗装構成材料の違いあるいは設計条件の異なる現場からのデータを蓄積し、同時に現場 CBR あるいは現場密度等の他の締固め管理項目との関連性にも取り組み、FWD、HFWD 試験装置を用いた支持力管理手法の検討を図っていく必要がある。

#### 参考文献

1) 関根悦夫, 村田修, 木幡行広, 矢崎澄夫, 阿部長門, 雑賀義夫, 丸山暉彦: 礫材を用いた鉄道盛土の転圧試験(5),

第 31 回地盤工学研究発表会講演概要集, pp. 2347 - 2092, 1996.

2) 阿部長門, 丸山暉彦, 村田修, 関根悦夫: FWD による鉄道盛土の締固め管理への適用について, 土木学会第 51 回年次学術講演会概要集, 第 V 部門, pp. 40-41, 1996.

3) 関根悦夫, 村田修, 阿部長門, 雑賀義夫, 丸山暉彦: FWD による鉄道盛土の締固め管理に関する研究, 土木学会舗装工学論文集, 第 1 巻, pp. 121-128, 1996.

4) 阿部長門, 関根悦夫, 上浦正樹, 三枝長生, 丸山暉彦: FWD による路盤・路床の支持力評価方法, 土木学会舗装工学論文集, 第 2 巻, pp. 135-143, 1997.

(1998. 8. 31 受付)

## EVALUATION OF THE BEARING CAPACITY OF ROAD PAVEMENT USING FWD

Ken-ichi SATO, Nobuo YOSHIDA, Hideaki TANAKA, Atsushi IDERIHA, Kenji NAGATANI

The main object of this study is to estimate the bearing capacity of subgrade and base course using the FWD (Falling Weight Deflectometer) and HFWD (Handy type of FWD). Investigations were carried out on newly-established road pavement at Kitakyushu city.

The study has indicated that it is possible to be evaluated the bearing capacity  $K_{30}$ -value by the  $K_{KWD}$ -value,  $K_{HFWD}$ -value and Young's modulus  $E$ .