

# 歩道の凹凸評価方法に関する研究

牧 恒雄<sup>1</sup>・竹内 康<sup>2</sup>・松田 誠<sup>3</sup>

<sup>1</sup>正会員 博士(農学) 東京農業大学教授 農学部農業工学科(〒156東京都世田谷区桜丘1-1-1)

<sup>2</sup>正会員 東京農業大学助手 農学部農業工学科(〒156東京都世田谷区桜丘1-1-1)

<sup>3</sup>正会員 大阪市道路公社 理事兼施設部長(〒530大阪市北区曽根崎新地1-4-12)

快適な歩道をつくるにあたってその指標を考えた場合、快適要因を評価することは難しいため、歩道を歩いていて不快になる要因(歩道の凹凸)を評価の対象に取り上げた。しかし、歩道の凹凸を評価する適切な方法がないことから、車椅子に加速度計を取りつけ歩道を走行させ、車椅子が受ける振動を歩道の凹凸から得られた振動波形として解析する手法を試み、試験路を42種類作り検討した。振動波形は周波分析を行うとともに振幅積分値を求めたが、凹凸が多いと振幅積分値が高くなることや目地幅の大小より段差の影響が大きいことがわかった。そこで実際の歩道について、凹凸を測定した結果、凹凸が著しい歩道では振幅積分値が上昇し、実際の路線で凹凸評価が出来ることがわかった。

**Key Word:** sidewalk pavement, unevenness evaluation, wheel chair, FFT, integral value

## 1. はじめに

近年、歩道は都市の快適空間として高く評価され、街路樹の植栽や電線類の地中化など、歩道の美装化が積極的に行われている。特に、歩道舗装材は、都市景観との調和を考えて、色彩豊かでデザイン性のあるものが多く用いられているが、これらの舗装材が、歩行者にどのような快適性をもたらしているかは詳しく評価されていない。また、歩いている人々に共通した歩道の快適条件を見いだすことは、歩く目的や速度、あるいは履いている靴や体力などが異なることから不可能である。そこで、人々が歩道で不快適に感じる要因を取り上げ、不快適な要因を減少させることで、快適な歩道づくりが出来るのではないかと考えた。歩道を歩いて不快に感じることを取り上げてみると、次の様な項目があげられる。

- ・舗装面に段差や凹凸がある。
- ・舗装面は平坦であるが横断方向に傾斜している。
- ・雨にぬれると滑りやすくなる。
- ・雨の日に水が溜まる。
- ・舗装からの照り返しがある。
- ・舗装材の色彩が街の景観と合わない。
- ・歩行中に舗装面のテクスチャーが細かく変わる。
- ・ガムや埃で汚れている。
- ・夜間の舗装面が暗い。

本論文では、これらの不快適に感じる要因の中から、比較的数値化しやすく、歩行者の快適性や安全性に大きな影響を与えると思われる舗装の凹凸に着目し、舗装の凹凸を定量化する手法として、車椅子を用いた試験機を考案し、試験路を作製して評価を行うとともに、実際の歩道で凹凸評価試験を行った結果を報告する。

## 2. 凹凸測定試験機の開発

### (1) 歩道の凹凸と評価方法

歩道に凹凸が生じると、つまずいたり歩道に水が溜まるなど、歩行者にとって不愉快な現象が多く見られるが、車椅子の利用者にとっても走行性や乗り心地が悪くなり、段差が著しい場合は舗装を乗り越えられない時もある。このような歩道の凹凸は、利用する人や利用状況によってその評価が異なり、細かい部分の凹凸を評価する人や路線全体で凹凸を評価する人など、様々なケースが考えられる。そこで、歩道の凹凸の現状を調べ、凹凸が生じる原因を分析し、舗装面からどのように凹凸をサンプリングし評価するかを検討する必要があると考えた<sup>1, 2, 3)</sup>。

歩道舗装材は、2次製品型の平板やブロック、現場施工型のアスファルト舗装などいくつかに分類できる。特に平板やブロックなどの舗装材には目地が

あり、凹凸を生じやすい舗装材といえる。しかし、現場施工型の舗装材でも、視覚的には判別しにくい。が、歩行してみると細かい凹凸が生じていることがある。この様な歩道の凹凸を評価する場合、これらの凹凸を点の凹凸と見るか、面あるいは線の凹凸と見るかによってその評価方法も異なる。例えば、歩行者にとって足に当たる部分は点の凹凸であるが、歩いている前方に見える凹凸は線あるいは面として捕らえられ、歩行者はこれを避けて通ることによって直接足に不快感を感じることはないが、全体の歩行感は悪くなる。特に、歩道の切り下げ部は、舗装面が車道側に傾斜しており、面的には平面でも歩行者は段差と感じる。そこで、歩道の凹凸を評価する場合、どのような測定機を用いどのような方法で評価するかは非常に重要であることから、歩道の凹凸をどのように評価したら良いかを検討するために、歩道の凹凸の発生原因を整理した。

- ・歩道の縦横断勾配や排水勾配による凹凸
- ・車両乗り入れ部の歩道を切り下げた場所の凹凸
- ・舗装材自体の表面の凹凸
- ・平板やブロック材料で見られる目地部
- ・施工精度が悪いことが原因で生じる凹凸
- ・排水不良などが原因で、舗装面に部分的な沈下ができる凹凸
- ・街路樹の根上りが原因で生じる凹凸

これら凹凸の発生状況は、舗装材の形状や歩道的环境によって異なるが、点や面で舗装の凹凸を見ると歩行の流れとしての評価ができなくなり、線で見ると点や面の凹凸が評価されないことになる。また、平板やブロックの舗装材には目地があり、この目地を凹凸と評価すると、これらの舗装材は凹凸が多い舗装材と評価されることになる。従って、歩道の凹凸を評価する場合、歩道を歩行動線的に評価するために、平均的な路線位置を往復して測定し、路線全体の凹凸として評価することが好ましい。

## (2) 凹凸の測定法

凹凸の測定は、現場で簡易に測定出来ることが重要で、次のような条件を考えた。

- ・簡易な測定法で再現性が高い。
- ・歩行動作と関連したデータが得られる。
- ・評価解析方法に理論的な裏付けがある。
- ・試験機が軽量で屋外でも使用できる。
- ・歩道環境に適した測定方法である。

現在までこの様な条件を満たした試験機は開発されていない。そこで、車椅子で歩道を走行したとき車椅子がかなりの振動を受けることに着目し、歩道の凹凸を振動波形として車椅子からサンプリングし、

この振動波形を解析することで歩道の凹凸を評価できるのではないかと考えた。しかし、車椅子で走行するという動作と、人が歩行するという動作では状況が違うことや、車椅子の車輪幅で舗装面全体の凹凸を評価出来るかどうかなどの疑問がある。そこで、本試験方法の内容を検討するために、次のような項目について評価検討を行った<sup>4)</sup>。

- ・車椅子のどの部分で、どのような方法で振動波形を測定し記録すると凹凸が評価できるか。
- ・車椅子に乗せる人の体重は測定値にどのような影響を与えるか。
- ・車椅子を押す速度が変わると、測定結果にどのような影響を与えるか。
- ・歩道のどの位置でどの程度の距離を測定すれば、代表的な路線の凹凸が評価できるか。
- ・凹凸をどのような方法で数値化し解析比較するか。
- ・測定結果がどのような傾向を持っているか。

## (3) 凹凸測定試験機と測定条件

### a) 凹凸測定試験機

凹凸測定試験機として用いた車椅子は、一般に市販されている標準的な折りたたみ式の車椅子で、前輪はソリッドタイヤで衝撃吸収のためのバネはついていない。後輪は空気タイヤで衝撃が吸収される構造になっている。歩道の凹凸を測定する場合、凹凸がなるべく車椅子で緩衝されないようにサンプリングする必要があることから、前輪の軸上に垂直方向と水平方向に加速度計（応答周波数DC～1kHz、共振周波数約1.35kHz）を取り付け、得られた波形はカセットデーターレコーダに記録した。（写真-1）

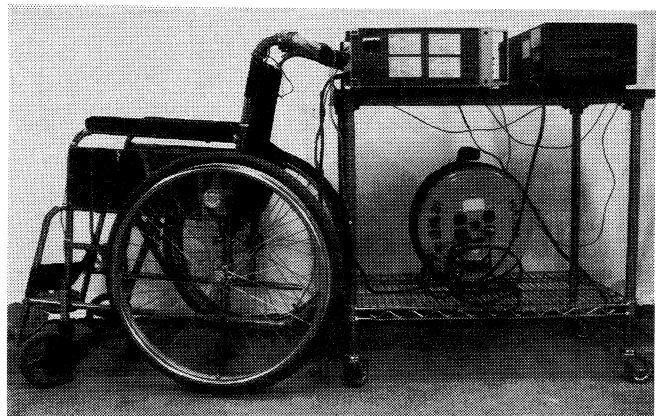


写真-1 車椅子を用いた凹凸試験機

### b) 測定条件

車椅子で測定する場合、車椅子に乗った人の体重や車椅子を押す速度が測定結果に影響すると考えられる。そこで体重の影響を知るために、表-1に示すような体重の4人で比較実験した。また、車椅子を

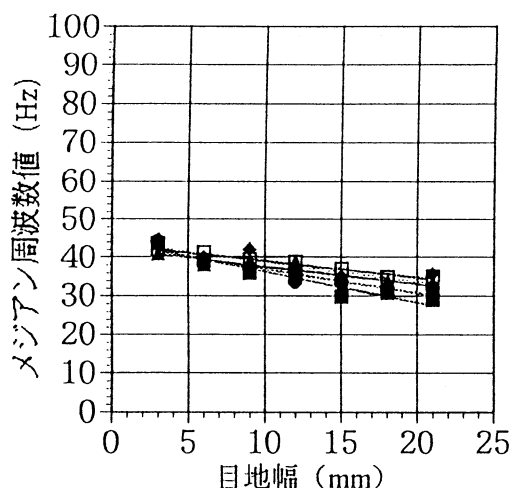


図-1 段差0mm, 体重60kgにおける垂直方向の周波数値

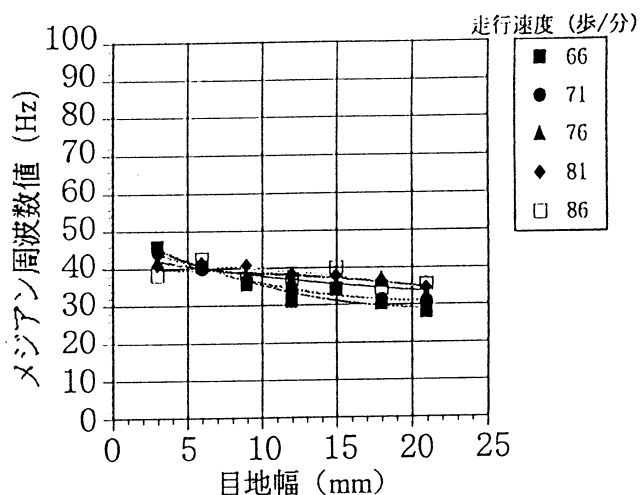


図-2 段差0mm, 体重72kgにおける垂直方向の周波数値

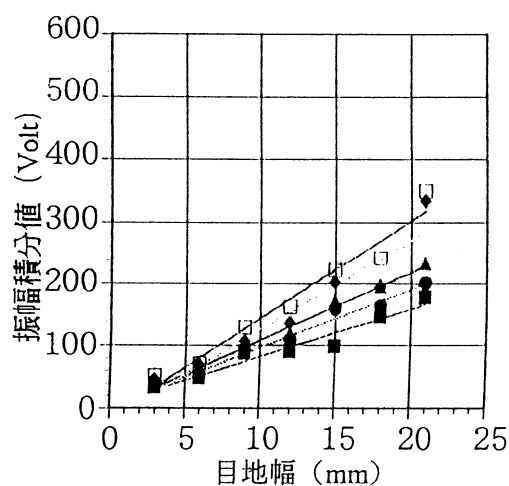


図-3 段差0mm, 体重60kgにおける垂直方向の積分値

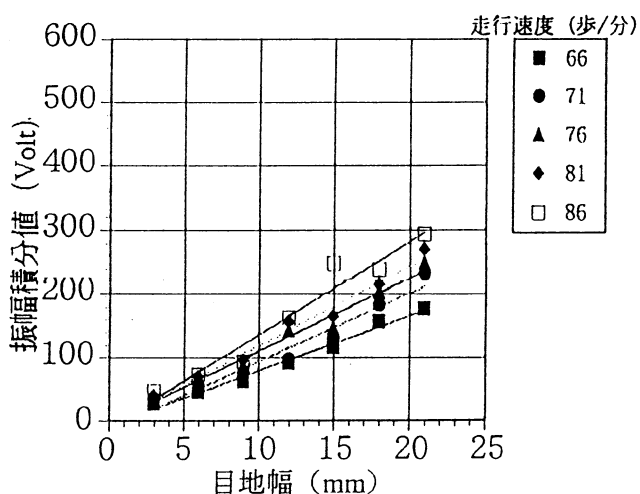


図-4 段差0mm, 体重72kgにおける垂直方向の積分値

表-1 測定条件

|                |                    |
|----------------|--------------------|
| 車椅子に乗る人の体重(kg) | 60, 64, 68, 72     |
| 車椅子を押す速度(歩/分)  | 66, 71, 76, 81, 86 |

表-2 試験路の条件

| 試験条件 | 寸法 (mm)                               |
|------|---------------------------------------|
| 目地幅  | 3.0, 6.0, 9.0, 12.0, 15.0, 18.0, 21.0 |
| 目地間隔 | 100.0, 300.0                          |
| 段差   | 0.0, 2.5, 5.0                         |

押す速度が早くなると、凹凸から受ける衝撃が大きくなる可能性があり、凹凸が大きいと車椅子の速度が変化する可能性が出てくる。そこで、車椅子を押す速度を表-1に示す5種類に設定しておこなった。なお、車椅子を押す人の歩幅は70cm程度とし、押す速度は押す人がメトロノームの音を聞きながら調整した。また、車椅子を歩道の中心部で走行させても、加速度計がついている車輪の位置は、歩道中心部にはならないことから、データを平均化させるために試験路を往復して測定した。

### c) 試験路の条件

歩道の凹凸評価は、目地幅や段差が関係するが、同じ距離でもブロックと平板では目地の数や目地幅が異なる。そこで、本試験機による測定値の傾向を

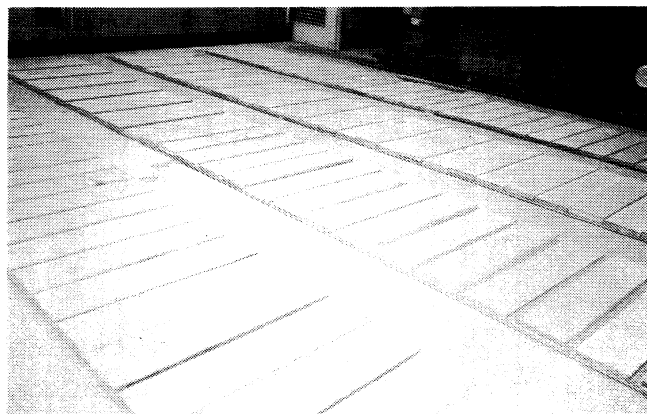


写真-2 実験に用いた試験路

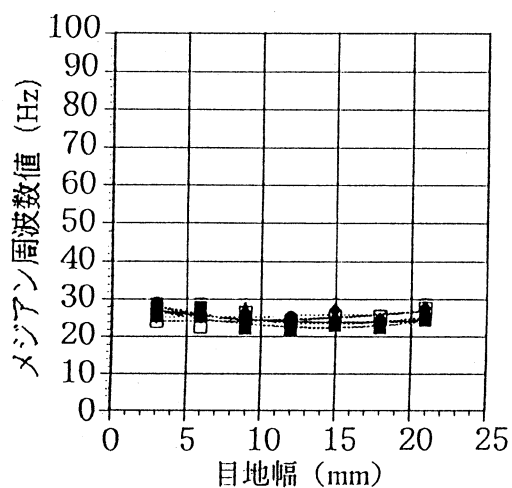


図-5 段差5mm, 体重60kgにおける垂直方向の周波数値

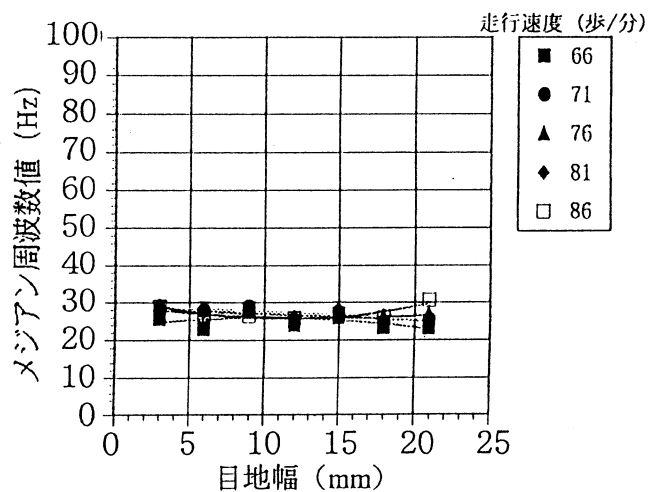


図-6 段差5mm, 体重72kgにおける垂直方向の周波数値

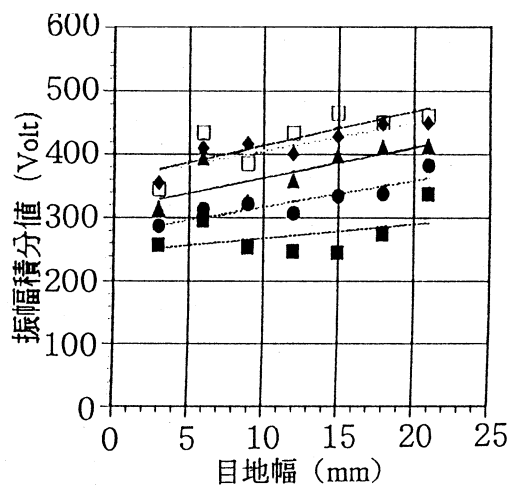


図-7 段差5mm, 体重60kgにおける垂直方向の積分値

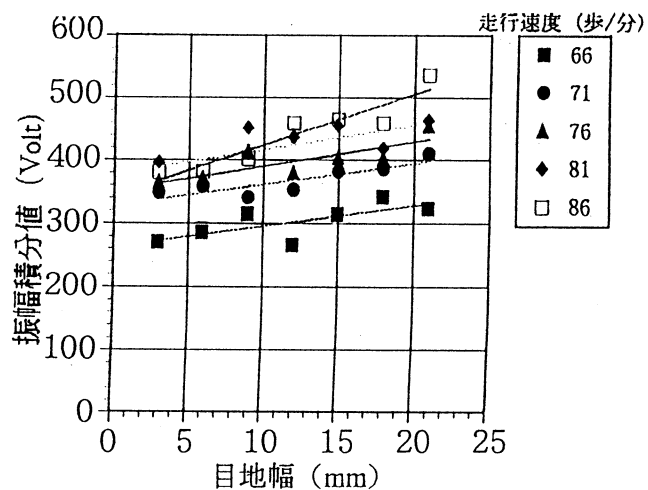


図-8 段差5mm, 体重72kgにおける垂直方向の積分値

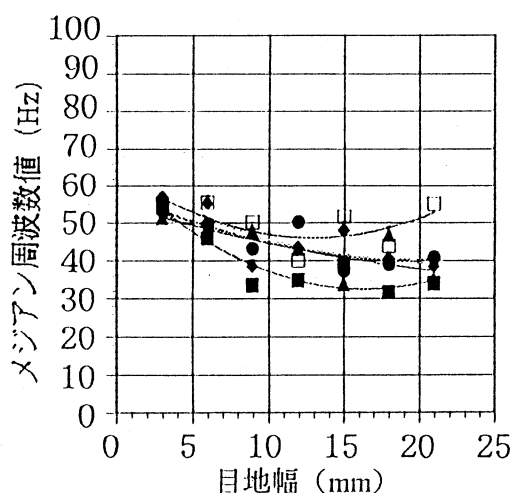


図-9 段差0mm, 体重68kgにおける水平方向の周波数値

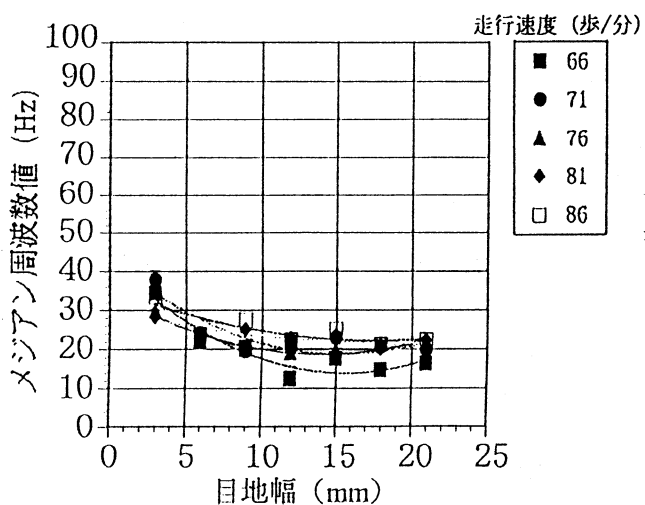


図-10 段差5mm, 体重68kgにおける水平方向の周波数値

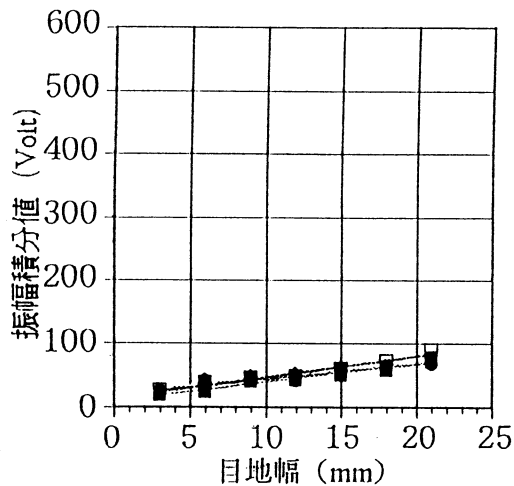


図-11 段差0mm, 体重68kgにおける水平方向の積分値

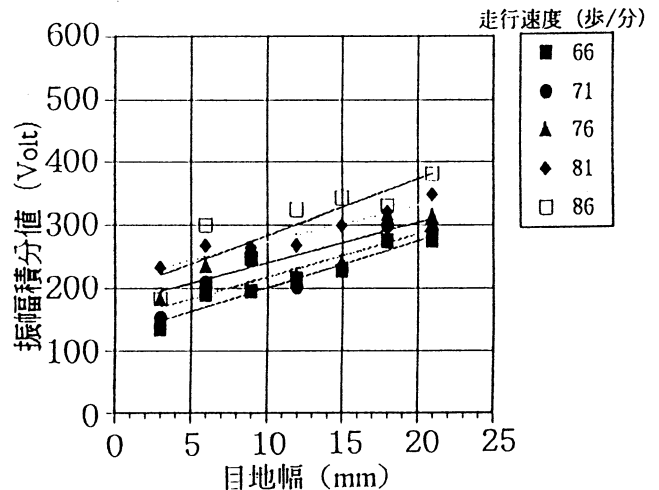


図-12 段差5mm, 体重68kgにおける水平方向の積分値

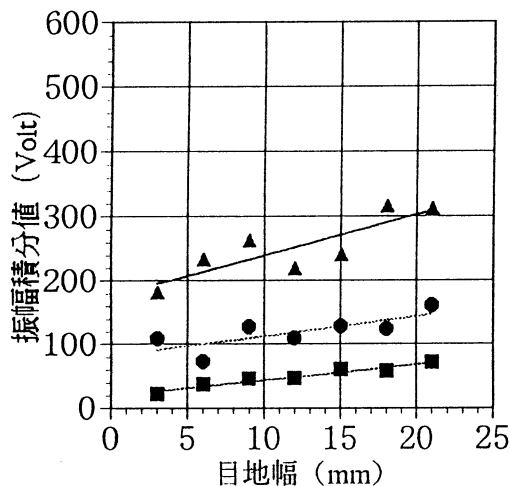


図-13 体重68kg, 速度76歩/分における水平方向の積分値

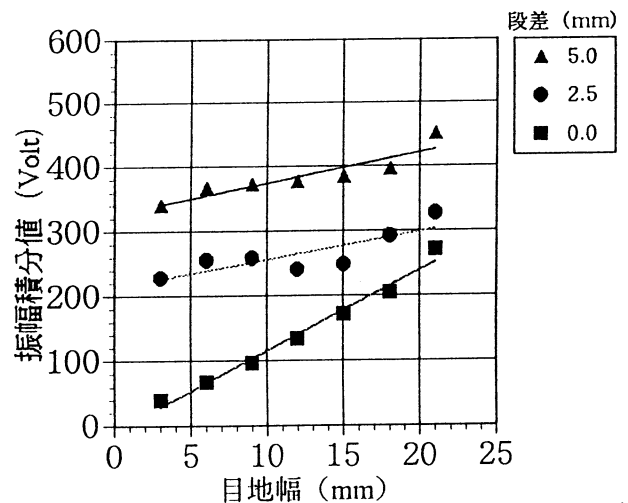


図-14 体重68kg, 速度76歩/分における垂直方向の積分値

知るために、屋内の平坦な場所に13mm厚の合板で、幅90cm長さ9mの試験路を作成し実験した。目地や段差は表-1に示す範囲で変化させ、目地幅7種類ブロック舗装と平板舗装を考えて目地の間隔2種類、凸凹の段差3種類を組み合わせ、合計42種類の試験を行った。（写真-2）

#### （4）解析方法

舗装に凹凸があると、車輪が凹凸を乗り越えるときに速度が変化し、走行速度にばらつきが生じるが、これらは水平方向の加速度計で測定できると考えた。また、舗装の凹凸があると車輪が上下する事から垂直方向の加速度計で測定できると考えた。そこで、歩道を走行して得られたこれらの波形を数値化するために、テープに記録した波形を、再度コンピュー

タにサンプリング周波数1kHzで5秒間サンプリングし移動平均を行った。速度の変化状況を調べるために、FFTを用いてデータの周波数分析を行ない、メディアン周波数値を求めた。また、舗装面の凹凸によって生じた波形の振幅量を調べるために、波形の積分を行い振幅積分値を求めた。

#### （5）測定結果及び考察

##### a) 体重の影響

車椅子に乗る人の体重は、段差の評価に影響すると思われることから、垂直方向の周波数値及び積分値を用いて検討した。一例として体重60kgと72kgの人のデータで比較すると、図-1, 2, 3, 4に示すように、段差が0mmの舗装では、体重差が12kgあっても周波数値、積分値とも同じ傾向を示し、体重による影響

は認められなかった。また、図-5, 6, 7, 8に示すように、段差5mmの舗装では段差0mmの舗装に比べて、低い周波数値を示し、積分値は大きい値を示したが、著しい体重差の影響は認められず、他の体重でも同様の結果を得た。従って、本試験では、体重差の影響はほとんど無いと考えられ、車椅子に乗る人の体重の条件を一定にすれば、相対的に評価する場合問題はないと考える。

#### b) 速度の影響

車椅子を押す速度は、目地を通過する時や段差を乗り越える時に変化する。そこで、車椅子を押す速度の影響を検討するために、体重68kgの人のデータを対象に、水平方向の周波数値と積分値を検討した。その結果、図-9, 10, 11, 12に示すように、段差が0mmの舗装では、平坦な舗装面に凹の目地が刻まれている状態で、目地幅が小さい場合、速度に関係なく周波数値が一点に集まる傾向を示したが、目地幅が広がると速度が微妙に変化し、速度によって周波数値が異なる傾向にあった。また、積分値は目地幅が広がっても、速度の違いによる著しい差はなかった。次に、段差が5mmの舗装では、段差の影響で速度が変わると積分値が変化し、周波数値は低くなり積分値は大きな値を示した。従って、本試験では車椅子を押す速度を一定にして測定すれば、相対的に評価出来ると考えられる。また、測定時の速度のばらつきを調べるには、水平方向のデータを解析すれば良いことが分かった。

#### c) 段差と目地

舗装面の段差と目地の関係について、積分値を用いて解析した。その結果、体重68kg、歩行速度76歩/分で解析すると、図-13, 14に示すように、段差0mmと2.5mmの舗装では、水平方向の積分値は目地幅の影響はあまりないが、垂直方向の積分値は、目地幅が大きくなるにつれて積分値が増加する傾向にあった。特に段差0mmの舗装では、目地幅21mmの舗装は目地幅3mmの舗装に対して6倍の積分値を示した。また、この値は、段差2.5mm目地幅9mmの舗装の積分値に等しい値であった。段差5mmの舗装は、目地幅が3mmでも高い積分値を示し、目地幅の影響より段差の影響が測定結果に大きく現れることが分かった。

#### d) 目地間距離

歩道を一定距離測定しても、舗装材の目地数が違うと測定結果に影響を与えると思われる。そこで、目地間隔の違いによる影響を、段差5mm体重60kgの垂直方向の積分値で検討した。目地間隔100mmの舗装（図-7）と目地間隔300mmの舗装（図-15）では、目地数が少ない目地間隔300mmの舗装の積分値が小さいことが分かる。従って、当然の結果であるが、ブロック系の舗装では、違う種類の舗装材で凹凸を比較しても意味がないことが分かる。

### 3. 歩道における凹凸評価試験

#### (1) 試験方法

車椅子を用いた歩道の凹凸評価について、基礎的な評価試験を行った結果、本試験機で凹凸を評価出来る見通しがついたことから、現在供用されている歩道、及び本実験のために凹凸をつけて作成した試験路において、凹凸の試験を行った。試験では、車椅子に乗る人の体重68kg、車椅子を押す速度76歩/分、1回のサンプリング距離10mとし、歩道を往復して評価した。評価に用いた舗装材では、インターロッキングブロック（以降ILBと略す）で、ILBは、ブロックの面取り幅を3mmにした新型ILBと、面取り幅が5mmの従来型ILBがあり、形状も長方形と波形がある。路線の概要は表-2に示す。調査地点の中で、大阪市大正区鶴町の路線は、凹凸試験のために新型ILBで新しく作成したもので、備考に書いてある条件で施工してある。また、段差率の凹凸の発生位置はランダム関数を用いて決めた。

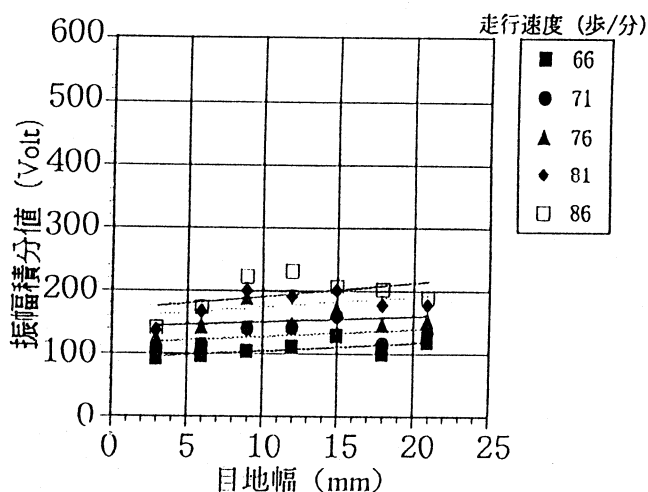


図-15 段差5mm, 体重60kg, 目地間隔300.0mmにおける垂直方向の積分値

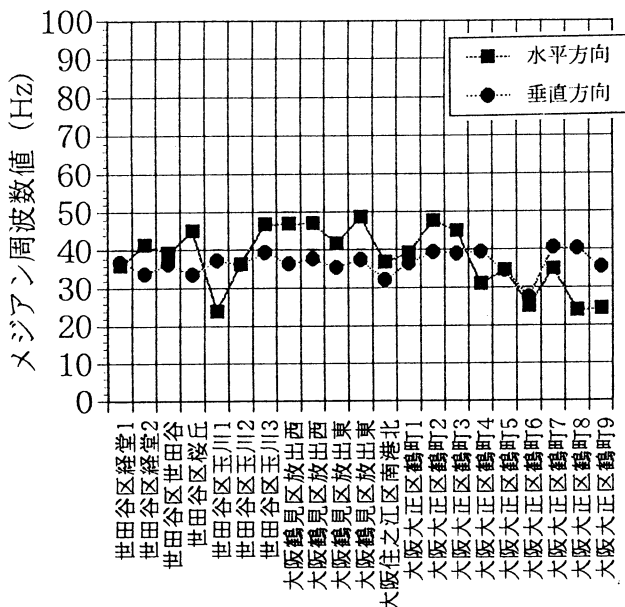


図-16 ILBの歩道における周波数値

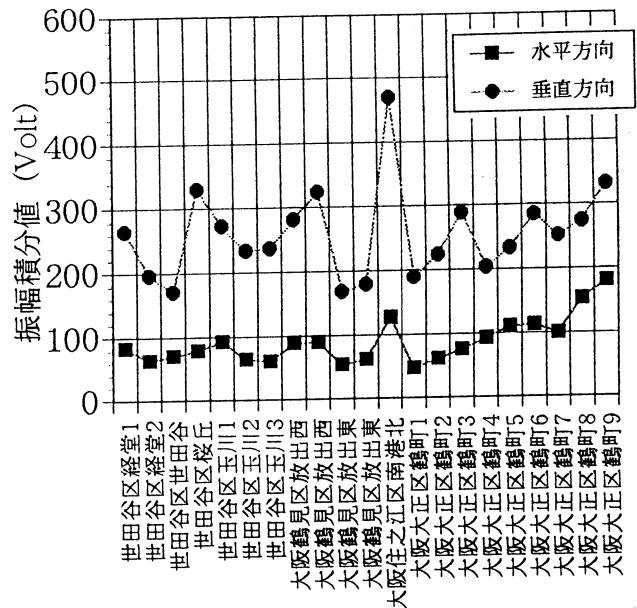


図-17 ILBの歩道における積分値

表-2 調査路線の概要(ILB)

| 路線名/施工場所  | 形状・並べ方 | 備考            |
|-----------|--------|---------------|
| 東京世田谷区経堂1 | 長方形-H  | 1986年施工       |
| 東京世田谷区経堂2 | 長方形-H  | 1990年施工       |
| 東京世田谷区世田谷 | 長方形-S  | 1985年施工       |
| 東京世田谷区桜丘  | 長方形-S  | 1986年施工       |
| 東京世田谷区玉川1 | 長方形-S  | 1987年施工       |
| 東京世田谷区玉川2 | 長方形-S  | 1991年施工       |
| 東京世田谷区玉川3 | 長方形-S  | 1993年施工       |
| 大阪市鶴見区放出東 | 波形-S   | 従来型           |
| 大阪市鶴見区放出西 | 波形-S   | 従来型           |
| 大阪市鶴見区放出東 | 波形-S   | 新型            |
| 大阪市鶴見区放出西 | 波形-S   | 新型            |
| 大阪住之江区南港北 | 波形-S   | 従来型           |
| 大阪市大正区鶴町1 | 波形-S   | 段差0mm 目地9mm   |
| 大阪市大正区鶴町2 | 波形-S   | 段差0mm 目地12mm  |
| 大阪市大正区鶴町3 | 波形-S   | 段差0mm 目地15mm  |
| 大阪市大正区鶴町4 | 波形-S   | 段差5mm 段差率10%  |
| 大阪市大正区鶴町5 | 波形-S   | 段差5mm 段差率20%  |
| 大阪市大正区鶴町6 | 波形-S   | 段差5mm 段差率90   |
| 大阪市大正区鶴町7 | 波形-S   | 段差10mm 段差率10% |
| 大阪市大正区鶴町8 | 波形-S   | 段差10mm 段差率20  |
| 大阪市大正区鶴町9 | 波形-S   | 段差10mm 段差率90% |

ILBの並べ方 H: ヘリツボツボット S: スレッチャーボット

段差率: 歩道に段差が異なるブロックがある割合を示しており

「段差5mm 段差率10%」は、5mm下がった舗装材が全体の10%あることを意味している。

## (2) 調査結果および考察

ILBの調査結果を図-16, 17に示す。垂直方向の周波数値は多くの路線が30~40Hzの値を示し、著しい差はなかった。水平方向の周波数値は、世田谷区玉川1(1987)の値が低下しており、大阪大正区鶴町の段差が10mmある舗装と同じ様な値を示していた。従って、段差が大きい舗装であるか、測定時に何らかの条件で車椅子を押す速度が変化したかを知る必要がある。そこで、これを積分値で検討すると、水平方向と垂直方向の積分値は、他の一般路線と比べて、特に高い値を示していないことから、測定時に何らかの速度変化があったと推察できる。また、鉛直方向の積分値は、一般の供用されている歩道では、およそ160~340(Volt)の値を示しているが、世田谷区桜丘や大阪市鶴見区放出西の従来型では、段差が10mmある大阪市大正区鶴町9と同程度の値を示し、舗装面はかなり凹凸があることがわかる。しかし、大阪住之江区南港北の舗装は、積分値が470(Volt)と高い値を示しており、この舗装面は補修が必要と思われる。また、大阪市鶴見区放出の新型ILBと従来型ILBの比較を見ると、新型ILBの積分値がかなり小さくなっており、新型ILBを使った大阪市大正区鶴町の段差0mmの舗装と同じ程度の値を示していることから、ILBの目地幅を狭くするだけで舗装面の凹凸がかなり少なくなることが分かった。また、大阪市大正区鶴町の試験舗装における測定結果を見ると、段差0mmの舗装では、目地幅が広くなるにつれて積分値が大きくなっており、段差5mmや10mmの路線でも、段差率が多くなると積分値が大きくなり、事前の試験結果と一致する。

#### 4、まとめ

歩道舗装材の凹凸について、車椅子を用いた凹凸測定試験機を作成し評価を行った。その結果、車椅子に乗る人の体重や車椅子を押す速度は、一定の条件を決めて評価すれば問題はないことが分かった。

また、車椅子を押す速度に変化があると、水平方向の周波数値が変化し、舗装面の段差が大きいと垂直方向の積分値が大きくなることがわかった。これを利用して、供用されている歩道で評価試験を行ったところ、舗装路面が荒れている歩道や改修が必要な歩道を見分けることができて、凹凸の評価が可能になったと考える。しかし、どの程度の値なら快適な歩道と言えるのか、どの程度の凹凸なら改修が必要なのか、あるいは他の舗装材ではどのような評価が出るのかなど、今後多くのデータを蓄積して評価する必要がある。

謝辞：本研究を行うにあたり、多大なご協力いただいた大阪市建設局、大阪市道路公社、当研究室の卒業生である北沢佳一君（現キッセイコムテック）及び当研究室の学生諸君に心から御礼申し上げる。

#### 参考文献

- 1) 寺元博明, 牧恒雄, 村井哲夫, 今村美喜男: 歩行者系道路舗装材の快適性に関する検討(その1) 凹凸評価方法について, 土木学会第49回年次学術講演会概要集V, pp98-99, 1994
- 2) 牧恒雄: 竹内康: インターロッキングブロックの凹凸評価について, 土木学会第50回年次学術講演会概要集V, pp608-609, 1995
- 3) 牧恒雄, 竹内康: 歩行者系道路舗装材の快適性に関する検討, 舗装第30巻6号, pp16-20, 1995
- 4) 竹内康, 牧恒雄: 車椅子を用いた歩道の凹凸評価試験方法について, 土木学会第50回年次学術講演会概要集V, pp610-611, 1995

## A STUDY FOR UNEVENNESS EVALUATION OF SIDEWALK PAVEMENT

Tsuneo MAKI, Yasushi TAKEUTI, Makoto MATUDA

To produce comfort sidewalk, it is necessary to evaluate unevenness of sidewalk pavement. We used wheel chair with acceleration meter on its frame as a apparatus for unevenness evaluation. In laboratory test with the apparatus, we have done frequency and integral analysis of measured vibration wave. As the results of vibration analysis, the apparatus was able to evaluate unevenness of pavement in comparative assessment.

In field test with the apparatus, the integral values of the area needing repair were higher than those of normal area. From this result, we found out that we could also evaluate unevenness of pavement by the apparatus.