

V-34

路面プロファイル測定への GPS の適用

ニチレキ株式会社 ○正会員 秋本 隆
 ニチレキ株式会社 若江 正幸
 室蘭工業大学 フェロー 斉藤 和夫
 北見工業大学 正会員 川村 彰

1.はじめに

道路管理者にとっては、建設省が独自に開発した道路管理指標 (Maintenance Control Index; MCI) に見られるように、舗装管理には路面性状のうちひびわれ、わだち掘れが重要な要因となっている。しかしながら、道路利用者にとっては、快適性、安全性が重要な要因となっている。言い換えれば、道路利用者は乗り心地性がよく、すべり抵抗性の高い舗装を望んでいるといえる。また、沿道住民にとっては、車両によって引き起こされる振動、騒音が重要な要因となっている。

道路利用者に影響を与える乗り心地評価方法としては、路面のプロファイルから直接乗り心地評価するライドナンバー (Ride Number), また比較的良く乗り心地を評価する国際ラフネス指数 (International Roughness Index: 以下 IRI と略す) が挙げられる。本来、これらの評価するためには、絶対的な路面のプロファイルが必要となる。このため、路面の絶対的なプロファイルを測定する装置が開発されている¹⁾。しかし、測定装置のもつ累積誤差のために、長波長成分をとらえることはできなかった。これを解消する手段として、汎地球測位システム (Global Positioning System: 以下 GPS と略す) の利用を考えた。この絶対的なプロファイル測定装置と GPS のについて発表するものである。

2.絶対的なプロファイル測定

絶対的なプロファイル測定装置は、Numerical Control 工作機械の案内板と被削面の真直度の測定用に設計された逐次 2 点真直度測定法の原理を採用したものである²⁾。この逐次 2 点真直度測定法の原理を模式的に図-1 に示す。

A, B 2 本の相対変位計 (以下変位計という) を設置したプロファイル測定装置を走行させることにより、A, B の 2 本の変位計の設置間隔毎に、路面と変位計の相対変位を測定データを収集することを繰り返す。この時、 X_k, Y_k, D_{kA}, D_{kB} の間には、次の関係式が成立する。

$$X_k = X_{k-1} + D_{k-1,B} - D_{k,A} \quad (1)$$

$$Y_k = X_k + D_{k,A} - D_{0,A} \quad (2)$$

ここに、

K : X と Y の間に関連している差異を測定する測定装置の変位計の位置

X_k : K における測定装置の直進運動による上下方向の変動

Y_k : K における路面の凹凸量

$D_{k,A}$: K における A の変位計で測定される相対変位

$D_{k,B}$: K における B の変位計で測定される相対変位

これらの式から測定装置と路面の直進精度を分離して、かつ同時に求めることができる。すなわち、 X_k が車両の上下の量、 Y_k が路面の凹凸量となり、結果的に路面の凹凸量のみを分離して、プロファイルを計測することができる。

さらに、この基本原理では、変位計 A, B の設置間隔ずつでの測定しかできないが、変位計の設置間隔より細かい間隔で変位データを読みとり、これを内挿補間法により補正することで 1 cm 間

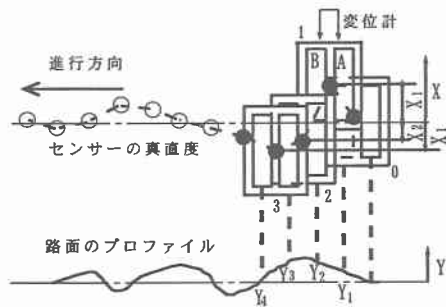


図-1 逐次 2 点真直度測定法の原理

隔で測定できるようにした。この基本原理が成り立つためには、2 個の変位計を上下に移動させてもよいが常に平行に移動しなければならない。このために常に 2 個の変位計が鉛直方向を向くようなジャイロ機構を設置している。

このプロファイル測定装置は短波長成分をとらえることは可能であったが、単独では長波長成分をとらえることは不可能であった。この理由は、測定装置のもつ誤差が累積するために、長波長では全体的に大きなゆがみが生じることによるものである。

3.GPS による補正

長波長成分の解析をも行うことができるようにするために、縦断プロフィロメータ測定装置に GPS を組み込み、これら 2 つのデータを合成することによって、短波長成分と長波成分を含めて絶対的なプロファイルデータを得ることができた³⁾。この測定の概要を図-2 に示す。

ここで用いた GPS はリアルタイムキネマチック (Real Time Kinematic :RTK)⁴⁾ というシステムを採用している。この方法は、基準点において受信した GPS 信号そのものを求点側に送信し、求点において受信した GPS 信号と合わせて解析計算することにより、基準点に対する求点の相対位置座標値を精密に求め、これを予め求めておいた基準点の正確な位置座標値に加えることにより求点の位置座標を求める方法である。

なお、GPS からの信号は 1 秒間隔であり、測定車は移動距離であることから GPS の信号を距離に変換し、整合をとっている。

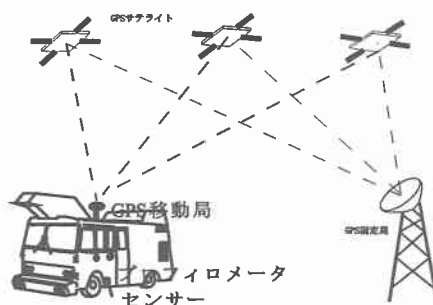


図-2 絶対縦断測定システムの概要図

4.GPS の精度

RTK-GPS による高さデータの精度を確認するために、直線道路で平均縦断勾配が 1 % の 500m 区間においてプロファイル測定装置の測定速度 30,60 km/h と 2 種類、同一速度で 5 回計測を行った。水準測量の結果と共に、その結果を図-3 に示す。なお、ここには水準測量は 30m 間隔の結果であり、RTK-GPS の測定誤差を考慮し ± 2 cm としたものを示している。ここで見られるように、速度に関係なく水準測量の結果 ± 2 cm の範囲に入っており、車両が振動することなどを考慮すると、RTK-GPS による高さデータの精度はかなり高いといえる。

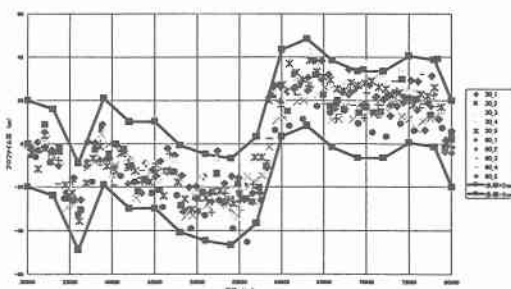


図-3 GPS の測定結果 (1)

また、測定速度や繰り返し回数を同一の条件とし、縦断勾配が 1.5 % 程度で曲線部の路線において測定した結果を、水準測量の結果と共に図-4 に示す。なお、30 km/h はトラブルがあり、1,2 回目はデータの収集はできなかったために、全体で 8 回分となっている。

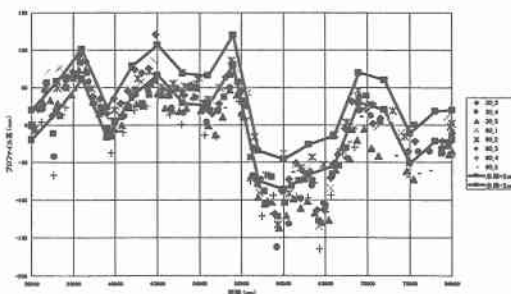


図-4 GPS の測定結果 (2)

この結果、水準測量との差が 10 数 cm と相当差があり、繰り返し精度も悪くなっている。また、直線に近い道路で、縦断勾配が 1.8 %

(距離で 450m から 800m 区間)における測定結果を図-5 に示す.この区間においては,水準測量の結果 ± 2 cmの範囲内にほぼ入っているといえる.このことから,図-4 に示されたばらつきは同一軌跡を走行できなかったことによる影響だと考えられる.

このように,縦断勾配があっても,走行軌跡が一定に走行できれば相当精度の高く RTK-GPS から高さデータが収集できるといえる.

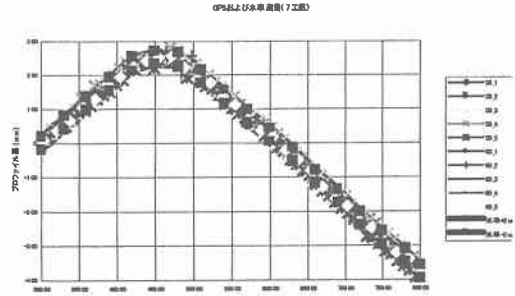


図-5 GPS の測定結果 (3)

5. GPS データ有無の比較

前述したように,逐次 2 点真直度測定法による測定されるプロファイルには,累積誤差が含まれるが,このデータを単独で扱った場合と,GPS データを用いて補正した場合の比較検討を行った.

5.1 プロファイル

A・B2 つの工区において,GPS データを用いた場合と,単独のプロファイルと比較したものを,図-6 に示す.

図-6 で示されるように,区間 A においては,延長 500m で高さ方向に累積誤差が 45m 程度と非常に大きくなっている.同一箇所を繰り返し測定したものは,同様に右肩上がりの状態であった.また,累積誤差は+側に増加していることがわかる.このような傾向になるのは,装置の初期設定によるものである.この図からは,高さ方向の縮尺が大きく,プロファイルの状態がどのように変動しているのが判読できない.そこで,区間 A にプロファイルがある程度判読できるように,最初と最後の高を 0 mm となるように,全体の勾配を補正したものを図-7 に示す.この図から,逐次 2 点真直度方式は累積誤差が単純に+側に増加するといった傾向がないことがわかる.このことから,絶対的な縦断プロファイルを得るためには,GPS データなどで補正する必要があるといえる.

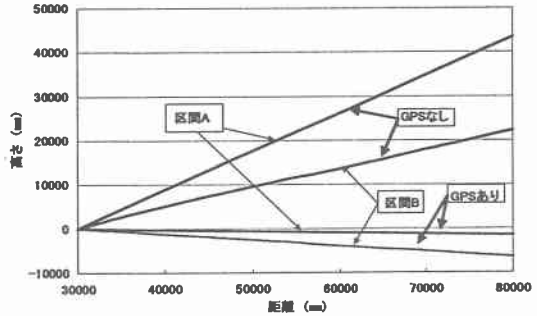


図-6 GPS データ有無の比較 (1)

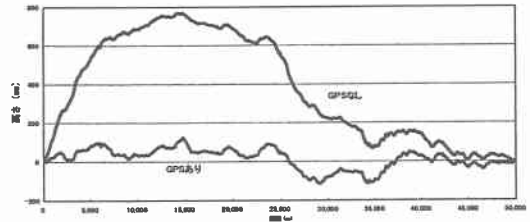


図-7 GPS データ有無の比較 (2)

5.2 路面評価

プロファイルの路面評価方法として,パワースペクトル密度 (Power Spectral Density:以下 PSD と略す) と IRI について,GPS を用いた場合と,使用しない場合の比較検討を行った.

5.2.1 PSD

区間 A について PSD を求めたものを,図-8 に示す.

ここに示されるように, 3×10^2 cycle/m (波長では,約 33m) 以下の短波長成分は,ほとんど同じで

あるが、それ以上の長波長成分の領域では GPS を利用した場合とそうでないときでは、相当違いが発生している。これからも判読できるように、GPS データを未利用の方が、大きなうねりがあることがわかる。このことは、図-7 で確認することができる。

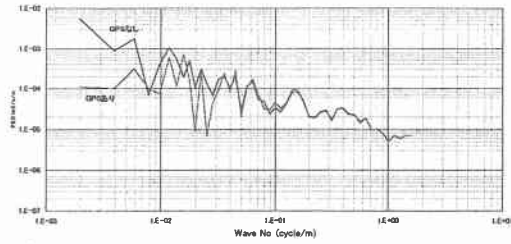


図-8 GPS 有無による PSD の比較

5.2.2 IRI

測定した 100m 毎の 55 区間において、GPS を利用した場合と、未利用の場合の IRI を比較すると、図-9 のようになった。

この結果から、IRI は GPS データを利用してもなくともほとんど差がないといえる。前節で述べたように、GPS データを利用しても短波長領域にはほとんど差がないことから、このような結果になったと考えられる。このことは、The Little Book of Profiling³⁾に、IRI は 4 ~ 100 フィート (1.2 ~ 30.5m) 波長が大きく影響すると記載されている。

よって、IRI を求めるためだけにプロファイルデータを用いるには、プロファイル測定装置による結果だけで、GPS データは不要であると考えられる。

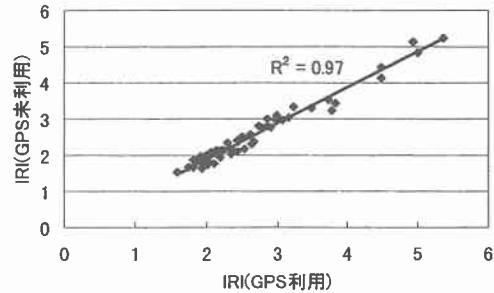


図-9 GPS 利用、未利用による IRI の比較

6.まとめ

車両の蛇行など、同一測線を測定した場合において、RTK-GPS は、水準測量によるレベルの読みと比較して ± 2 cm 以内に入り、測定精度はかなり高いといえる。しかし、曲線部など走行軌跡が異なる場合においては、水準測量と 10 cm 程度異なることがあった。

また、逐次 2 点真直度の原理によるプロフィロメータと RTK-GPS を組み合わせることにより、長波長成分も含めた絶対的なプロファイルを収集することが可能となった。

ただ、人工衛星の電波が届かない位置、例えばトンネル内、山岳地においては、GPS データが収集できないといった問題点がある。

しかし、GPS データを利用しても未利用でも、IRI は大きな差はなかった。このことから、IRI を求めるだけであれば、逐次 2 点真直度の原理を用いた測定のみでも問題はないと考えられる。

- 1) 秋本 隆, 姫野 賢治, 川村 彰, 福原 敏彦: 舗装路面の絶対プロファイルデータ収集システムの開発 土木学会論文集 No.606/V-41, 13-20, 1998.11.
- 2) 戸沢 幸一, 佐藤 寿芳, 大堀 真敬: 工作機械の加工精度の関連に関する研究, 日本機械学会論文集 C, Vol.47/No.419, PP.909-917.1981.
- 3) 姫野 賢治, 秋本 隆, 川村 彰, 福原 敏彦: 空港滑走路面のプロファイル特性に関する研究 土木学会論文集 No.606/V-41, 43-51, 1998.11.
- 4) RTK-GPS 実験推進協議会: RTK-GPS にかんする技術研究発表会資料, 1998.5.
- 5) Sauer, M. W. and Karamihas: The Little Book of Profiling, PRUG Meeting NHI Course 資料, Kansas. 1997.