土研センター

舗装の縦断凹凸等の評価法（IRI）の測定精度 ～クラス1、クラス2について～

安藤和彦・倉持智明

1. まえがき

自動車を運転するときの乗り心地や燃費等に、路面のプロファイル（路面の凹凸，路面の波形）は大きく影響する。プロファイルは、車線軸に沿った自動車進行方向の縦断プロファイルと、車線軸に直角方向の横断プロファイルに分けることができる。

これらのうち縦断プロファイルについては、乗り心地や舗装の損傷等と関連付け舗装の評価に用いる指標として、IRI（国際ラフネス指数；International Roughness Index）が世界銀行から提唱され[1]、現在世界各国で使われている。

我が国では、平成25年2月、国土交通省道路局より出された「総点検実施要領（案）舗装編[2]」により、今後の路面の縦断凹凸評価はIRIを用いることとされた。

IRIの特徴は、世界各国で用いる共通的な指標となるよう、高速で走行する整備された舗装道路から低速で走行する非舗装道路までの様々な道路に適用できることがある。このためIRIの測定方法も、水準測量を用いて高い精度で算出する方法から運転者が運転時に体感等から推測する方法まで、世界各国の事情に応じて4段階の方法が採用できるようになっている。

筆者らは、IRIの測定精度に着目し、クラス1からクラス4までの4段階の方法のうち、精度が高く実用的と考えられる小型プロファイル測定装置を用いた方法（クラス2）について、同一箇所を反復測定した場合の精度を調査するとともに、水準測量を用いた方法（クラス1）の再現性につても併せて調査した。以下では、これらの調査結果について報告する。

2. IRIの測定クラス

IRI を測定する 4 段階のクラスについて比較したものが表-1 である。

クラス 1 は、水準測量等により縦断プロファイルを求めるものであり、得られる IRI は、“真の

表-1　路面の凹凸等の測定方法と IRI の算出方法 [3]

クラス	路面の凹凸などの測定方法	測定速度	IRI の算出方法	備 考
1	水準測量	静止、微速移動	間隔 250mm 以下の水準測量で縦断プロファイルを算出し、QC シミュレーション[*a] により IRI を算出する。	真の IRI 値として評価される。WTP-46[1]では、英国式の装置(TRRL Beam)での測定方法をクラス1として認めている。
2	任意の縦断プロファイル測定装置	数km/h～80km/h 程度	任意の縦断プロファイル測定装置で縦断プロファイルを測定し、QC シミュレーションにより IRI を算出する。	比較的精度よく、またある程度効率的に測定する方法。
3	RTRRMS(レスポンス型道路ラフネス測定システム)	20km/h～80km/h 程度	RTRRMS(レスポンス型道路ラフネス測定システム)[*b] で任意尺度のラフネス指数[*c] を測定し、相関式により IRI に変換する。	所定の試験路において、クラス1またはクラス2の値と事前に相関関係を把握する。精度は多少落ちるが、測定効率がよい。
4	パトロールカーに乗車した調査員の体感や目視	20km/h～100km/h 程度	パトロールカーに乗車した調査員の体感や目視により IRI を推測する。点検要領案では、舗装の損傷レベル毎に舗装状態と IRI の関係を4段階の写真等を例示している。	概略の IRI を推定する方法。WTP-46 では、舗装道路、非舗装道路別に、快適に走行できる速度限界をもとに、5段階の評価軸を示している。

*a:クオーターカーモデル（自動車の 1/4(1輪当たり)の構造のモデル）を使ったシミュレーション
*b:走行中に車輪の上下の動き（変位量）を計測する装置であり、独立した測定機を牽引するタイプや、測定車の車軸に取り付けるタイプなどがある
*c:路面のプロファイルから移動距離と凹凸の量との関係を数値化したものであり、IRI もその一種

Accuracy and Repeatability of Class-1 and Class 2 Measuring Systems using the International Roughness Index (IRI)

IRI”として評価される。クラス 2 は、縦断プロファイル測定装置等により縦断プロファイルを求めるものであり、クラス 1 より多少精度は落ちるものの、移動しながら計測できることから、比較的精度良くかつ効率的に計測したいときに用いられる。クラス 3 は車輪等の上下移動量や上下加速度等から路面の凹凸の程度を数値化し、IRI に換算する方法である。IRI を直接算出する方法ではないので、測定精度は低下する。クラス 4 は調査員がパトロールカー等を運転しながら判断するものであり、およその IRI が推測される。

3. 舗装状態によるIRIの分布

舗装状態により IRI がどのような分布になるかは図 [1),3)]で示されている。この図から、概略の IRI 値を読み取ったものが表-2 である。舗装状態が悪くなるほど IRI は大きくなり分布範囲も広くなるが、舗装の損傷の発生は IRI＝4 程度が境界となっているように見受けられる。

表-2　舗装状態と IRI の分布範囲　(mm/m)

舗装状態	IRI の分布範囲
滑走路、高速道路	0.2～2 程度
新しい舗装	1.5～3.5 程度
古い舗装	2～6 程度
維持された非舗装道路	3.5～10 程度
損傷を受けた舗装	4～11 程度
粗い非舗装道路	8 程度以上

4. 反復性と再現性

測定精度は、使用する装置が適正に管理、較正されているかどうかによって大きく異なる。ここでは、これらについて適正な対応がとられていることを前提とした場合に精度上問題となる、反復性、再現性に着目する。なお反復性と再現性の定義は、M.W.Sayers等による文献[4)]に基づく。

4.1 反復性

反復性は、同一の方法で同一の縦断プロファイルを反復測定したときの数値の変動をみるものである。同一装置を使って時間を置かず繰り返し測定することが必要となる。クラス2やクラス3の装置を使った測定では、測定するたびに測定位置が若干変動する可能性があることや測定速度が変動する可能性があることから、測定誤差はクラス1より大きくなることが予想される。

4.2 再現性

再現性は、同一の測定原理の装置等において、装置間の機差を中心に測定値の変動をみるものである。

水準測量の場合は、測量パーティが異なることで再現性が問題になるものと考えられ、測定員の違いや水準測量機の違い、測定時の測定位置の微少なズレなどが影響することが予想される。

5. クラス2及びクラス1による現道測定

最も実用的な方法と考えられるクラス2の測定装置を用い、反復性がどの程度かを、現道において調査した。また比較のため、最も精度が良いクラス1の再現性についても併せて調査した。

5.1 測定場所および測定方法

5.1.1 試験場所および試験区間の設定

試験場所は、茨城県内の国道で、交通量1万台／日程度、大型車混入率10%程度（H22センサス）の片側2車線の道路（密粒アスファルト舗装）とした。

試験区間は、試験場所の第1車線で舗装の状態が同程度となっている200m長の区間を3箇所（A区間，B区間，C区間）選定した。プロファイルの測定線は、車線の中心線から1.0m路肩側の位置に基準測線を設け、また基準線から左右±0.15mの位置に補助測線を設けた。以下、基準測線より路肩側の測線を左測線、基準測線より中央分離帯側の測線を右測線という。

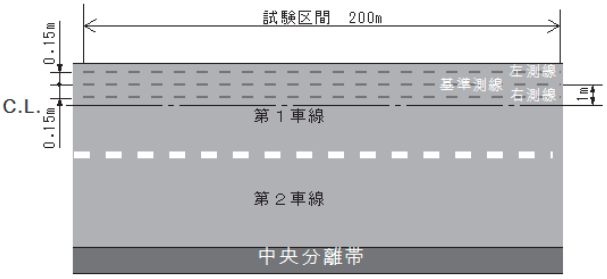


図-1　試験区間の設定状況

5.1.2 測定手法・装置

測定は、小型プロファイル測定装置（クラス2）1機種、水準測量（クラス1）2パーティにより行った。

IRIの算出は、小型プロファイル測定装置は内蔵の解析ソフトを、水準測量はProVAL（Transtec Group社ソフト）を用いた。

① 小型プロファイル測定装置（クラス2）

調査区間の10m手前より測定を開始し、調査開始地点から調査終了地点までは安定した一定速度を保つように測定し、調査終了地点を通過後徐々に減速し停止した。測定は、同一測線で3回行った。プロファイルの測定間隔は250mmである。

②水準測量（クラス1）

基準測線について、標尺とレベルを用いて、測定間隔250mmで、測定点における基準からの相対高さを0.5mmの精度で測定した。なお、標尺が舗装路面に接する部分は突起部を設け、標尺下面の設置面積を少なくするように工夫した。

2つの測量パーティが、A、Bの各区間に設けられた基準測線を1回測定した。

測定状況を写真-1、写真-2に示す。



写真-1　小型プロファイル測定装置(クラス2)



写真-2　水準測量(クラス1)

5.2 測定結果

5.2.1 小型プロファイル測定装置の反復性

測定結果を表-3に示す。

表内の‘変動係数（%）’は、測定された3回の値の標準偏差を、全体平均値で除しパーセント表示したものである。

各測線の変動係数をみると変動係数は0～4%の範囲にあり、全体的には2%程度となっている。米国材料規格協会規格ASTM E 1364-95（以下「ASTM規格」という。）ではクラス2の精度を5%未満としており、これを満足する結果となっている。

表-3　小型プロファイル測定装置による測定結果(反復性)

n=3

測 線	測定回数	A 区間	B 区間	C 区間
基準測線	平均値(mm/m)	1.26	2.15	1.29
	標準偏差(mm/m)	0.05	0.05	0.03
	変動係数(%)	4.0	2.3	2.3
左測線	平均値(mm/m)	1.34	1.98	1.40
	標準偏差(mm/m)	0.00	0.02	0.03
	変動係数(%)	0	1.0	2.1
右測線	平均値(mm/m)	1.50	2.08	1.30
	標準偏差(mm/m)	0.04	0.06	0.03
	変動係数(%)	2.7	2.9	2.3

表-4　水準測量によるIRI測定結果(再現性)

測定方法	区間	A区間	B区間
水準測量	測定1＊	1.36	2.31
	測定2＊	1.36	2.38
	平均	1.36	2.35
	測定1、2の偏差(%)	0	3
プロファイル測定装置	平均	1.26	2.15
	水準測量との偏差(%)	7.6	8.9

＊測定1は測量パーティ1、測定2は測量パーティ2の値

5.2.2 水準測量の再現性

測定結果を表-4に示す。

‘測定1、2の偏差（%）’は、測定1と測定2の差を、全体平均値で除しパーセント表示したものである。‘水準測量との偏差（%）’についても、上記と同様の方法で、プロファイル測定装置と水準測量の偏差を求めたものである。

水準測量は測定に時間を要することから、2パーティ各1回しか測定できずデータ数が少ないが、偏差は平均で1.5%程度であった。偏差が生じる原因として、水準測量は測定時間の制約が大きく、限られた時間で正確かつ効率的に測量作業をすすめる測定員の熟度が影響していることが考えられる。

また、表において水準測量とプロファイル測定装置との偏差をみると、プロファイル測定装置は水準測量より、2回とも8%程度小さくなっている。これは再現性における有意な差と考えることができる。

6. 既往資料に基づく測定精度の整理

現地調査結果と比較参考するため、既往資料をもとに測定精度を整理した。

なお測定原理として、小型プロファイル測定装置など手で押して測定する低速装置、車両に搭載し

走行して測定する高速装置のうちレーザーなどを用いた非接触型(高速装置Ⅰ)と車輪の上下動等をもとに測定する接触型（高速装置Ⅱ）の3グループに分けて検討を行った。

6.1 反復性

クラス2の装置の反復性について整理した結果を表-5に示す。なお表内の‘変動係数（%）’は、各測定装置で測定された値の標準偏差を、全体平均値で除しパーセント表示したものである。

低速装置と高速装置では反復性に差が生じており、低速装置では1.5%程度以内、高速装置では5%程度以内の変動係数となっている。

表-5　IRI測定装置の反復性に関する整理結果

資料	クラス	装　置	変動係数(%)	備考
5)	クラス2	低速装置 高速装置	最大1.5程度* 最大5　程度*	比較試験
6)	クラス2	低速装置 高速装置	最大1.5程度 最大5　程度	比較試験
7)	クラス2	高速装置	3　程度	現道測定

*測定値が集中した範囲での最大値

6.2 再現性

クラス2の装置について、装置間の再現性をみたものが表-6である。表内の‘装置間の偏差（%）’は、平均値が最も大きかった装置の値と平均値が最も小さかった装置の値との差を、全装置の平均値で除しパーセント表示したものである。

再現性として、精度を高めれば10%程度に装置間の差を抑えることができるが、一方で、30%までばらついている装置もある。

表-6　クラス2装置の再現性に関する整理結果

資料	クラス	装　置	装置間の偏差(%)	備考
5)	クラス2	低速装置 高速装置Ⅰ 高速装置Ⅱ	最大10程度 最大10程度 最大30程度	比較試験
6)	クラス2	低速装置 高速装置	最大1程度 最大2程度	比較試験

7. まとめ

以上の結果をまとめると、次のようになる。

① クラス2の反復性は、低速装置の場合2%程度の変動が見込まれる。

② クラス2の再現性は、10%程度の偏差が見込まれる。これより大きくなる装置は、再現性を高める工夫が必要になるものと考えられる。

③ 水準測量（クラス1）の再現性は、今回の測定では最大3%程度の偏差があった。

④ 反復性や再現性を考えた場合、クラス2の測定値は“真のIRI”に対して10%程度（例えばIRI=1～5で±0.1～±0.5mm/m程度）以上の変動や偏差による誤差を見込む必要がある。

8. あとがき

反復測定して多数のデータを収集できれば変動係数の影響が小さくなりIRIの測定精度を高めることができる。適正に管理・較正された同一装置が継続的に利用できればさらに測定誤差は少なくなる。しかし、実際の測定では、同一道路を反復測定するような舗装管理は困難であり、また、民間が所有している特定の装置を、継続的に指定して利用することも難しいと思われる。従って、IRIの測定値には反復性、再現性に関わる誤差が含まれることを前提として評価すべきである。

またIRIの評価基準値等を設定する際にも、これらを念頭に置く必要があるものと考えられる。

参考資料

1) M.W.Sayers et al:Guidelines for Conducting and Calibrating Road Roughness Measurements 、World Bank Technical Paper Number 46、1986
2) 国土交通省道路局：総点検実施要領（案）【舗装編】、平成 25 年 2 月
3) （社）日本道路協会：舗装調査・試験法便覧、〔第 1 分冊〕、平成 19 年 6 月
4) M.W.Sayers et al.:The Little Book of Profiling、The University of Michigan、1998
5) 中村 他：IRI 共通試験における基準プロファイルの測定方法および路面プロファイラの有効性、舗装、51-6、2016
6) M.J.Olson et al:Inertial and Inclinometer Based Profiler Repeatability and Accuracy Using the IRI Model, Oregon Department of Transportation, 2012
7) 諸橋 他：路面性状測定車による乗り心地評価の精度検証、先端測量技術、82-16、2002

安藤和彦



(一財)土木研究センター
技術研究所道路研究部
長
Kazuhiko ANDO

倉持智明



(一財)土木研究センター
技術研究所道路研究部
主幹研究員
Tomoaki KURAMOCHI