24. 振動ローラの加速度応答による舗装工事の品質管理手法の合理化の検討

大林道路㈱　○根本　司
同上　高倉　拡
㈱大林組　古屋　弘

１．はじめに

現在、舗装工事における路床・路盤の締固め管理手法は、主にプルーフローリング、砂置換法または RI による密度測定、転圧回数により行われている。しかし、これらの管理手法は間接管理、局所管理であるため、測定箇所以外の品質の信頼性は低く、広い地盤面を効率的、客観的に判定することが困難である。また、測定に際し別途計測員が必要であり、多大な計測時間も要する。従って、効率的で合理的な品質管理手法が望まれている。

一方で、近年性能規定にもとづく「技術基準」をもとに総合評価落札方式や VE 提案、今後制度化される新しい発注方式などの様々な制度を活用した付加価値の高い工事が要請されている。また、将来的に舗装設計が理論設計法に移行した場合、地盤の変形係数 E を直接評価する必要もある。

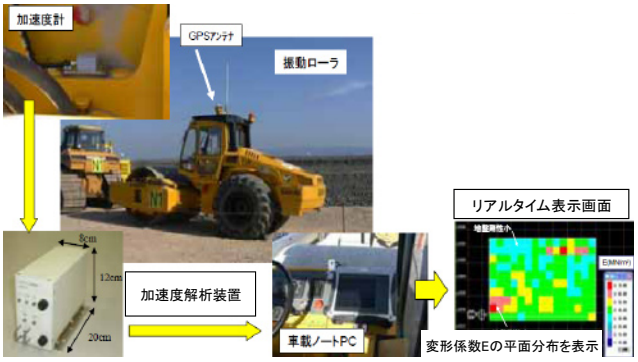
本文は、振動ローラの加速度応答による施工管理技術を、舗装の施工管理に適用することを目的とした試験施工から得た結果をもとに、合理的な締固め品質管理手法の構築の可能性を述べるものである。

２．振動ローラ加速度応答による地盤剛性評価[1)]

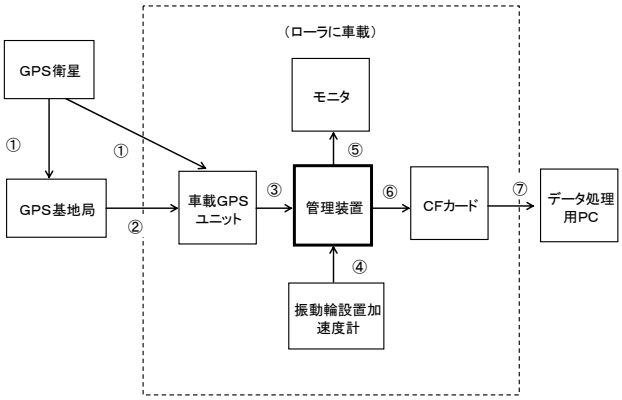
２－１　評価手法の概要

振動ローラの加速度応答は地盤の締固めの進行に伴って変化する。したがって、振動ローラの振動輪の加速度を計測することによって、地盤の剛性や密度を判定することができる。また、施工を行いながらリアルタイムに、かつ施工面全体にわたって品質を判定することが可能である。

機器構成は、加速度計、加速度解析装置、GPS、ノートパソコンで構成される。図－１に機器構成、図－２にデータの流れを示す。



図－１　機器構成



図－２　データの流れ

図－２のデータの流れは次の通りである。

① GPS からの位置信号。

② GPS からの位置信号を受けて位置修正信号を車載 GPS ユニットに送信。

③ GPS からの位置信号と基地局からの修正信号により現在位置を確定し、管理装置に位置データを送信。

④ 振動輪に設置した加速度計からの信号を管理装置に送信。

⑤ 管理装置においてリンクされた位置データと加

速度データを表示。

⑥　リンクされた位置データと加速度データを受信して時系列に記録。

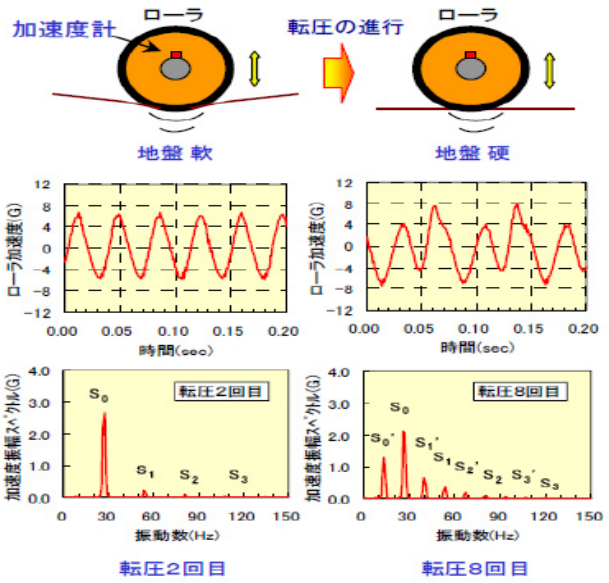
⑦　データを記録したCFカードを解析プログラム内蔵のPCに接続し、種々の解析を行う。

２－２　測定原理

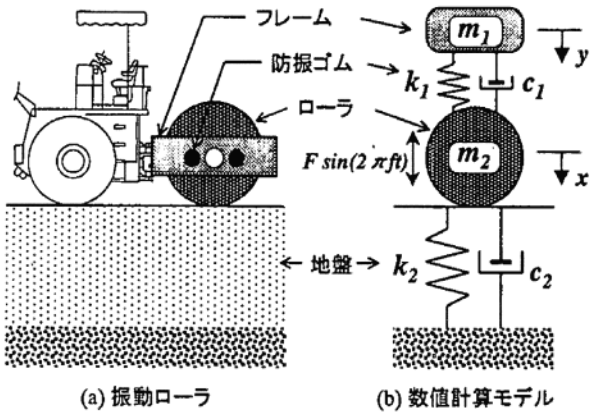
本検討では、藤山･建山による理論式[2]を採用し、地盤剛性評価を行った。これは、加速度応答を定量的に表す「乱れ率」なる指標から力学指標である地盤変形係数Ｅに換算するものであり、以下に概要を述べる。

図－３に加速度計測例および周波数分析結果の一例を示す。図－３より、転圧の進行による地盤剛性の増加に伴い、振動ローラの加速度波形が乱れ、その周波数解析において振動ローラの振動数以外の成分（高周波スペクトル $S_1, S_2, \cdots$, ならびに 1/2 分数調波スペクトル $S_1', S_2', \cdots$）が卓越する。この性質を利用して「乱れ率」を定義する。式－１に乱れ率の算出式を示す。乱れ率が大きいほど地盤が締固まっていることを表す。

また振動ローラの挙動を数値計算モデルを用いて解析し、乱れ率から地盤変形係数Ｅを算出する。図－４に振動ローラの挙動を数値計算するためにモデル化したもの、式－２に地盤変形数の算出式を示す。



図－３　加速度計測および周波数分析例



図－４　振動ローラ～数値計算モデル

$$\text{乱れ率} = \frac{\sum_{i=1}^{3} S_i + \sum_{i=1}^{3} S_i'}{\dfrac{S_0 + S_0'}{F/(m_1+m_2)g}} \qquad \cdots \text{式－１}$$

$$E = \frac{2\cdot(1-\nu^2)}{B\cdot\pi}\cdot\frac{\left(\frac{4}{3}\text{乱れ率}+1\right)^2\cdot(2\pi f_0)^2\cdot m_2}{1-0.32\alpha+\sqrt{0.1024\alpha^2-1.64\alpha+1}}$$

$$\alpha = 1-\left(\frac{F}{(m_1+m_2)g}\right)^2 \qquad \cdots \text{式－２}$$

３．舗装施工管理手法

土木工事における盛土施工では、層厚も大きく全体を一様な地盤として管理ができるが、舗装においては、1層の厚さが30cm以下で、各層で材料物性も異なる。

10t級の振動ローラの場合、その影響は深さ方向に60cm程度であり、転圧層ごとに物性の違う舗装体の施工管理においては、下層の影響を受けるため、適用方法は盛土と同様とはならないと考える。

そこで本検討では、実際に行われた工事の一部分を利用して、以下の事項を確認した。

１）4t振動ローラの適用性の確認

盛土工事で使用される10t級以上の振動ローラは、舗装工事では使用されない。そのため、舗装工事で一般的に使用される振動ローラの適用性を確認した。

２）舗装工事における加速度応答データの妥当性の確認

路盤およびアスファルト混合物に適用した場合に、

どのようなデータが得られるか確認した。

3）舗装工事の品質管理に対する有効性の確認

現在行われている測点管理に対し、面的な管理の有効性を確認した。

4．舗装の適用試験施工

4 - 1　工事概要

1）　工事名：山陽自動車道宮島ｻｰﾋﾞｽｴﾘｱ改良　工事
（ｽﾏｰﾄ I.C 設置工事）

2）　工事場所：広島県廿日市市山陽自動車道宮島 S.A 敷地内
今回は上り線の約 140 ㎡で実施。

3）　使用機械：4t コンバインドローラ

外観を写真 - 1 に示す。

仕様を以下に示す。

①質量　機械質量：3,230 kg
前輪質量：1,990 kg

②性能　起振力（低振幅/高振幅）：26.5kN(2,700kgf)/34.3kN(3,500kgf)
振動数（低振幅/高振幅）：55Hz(3,300vpm)/55Hz(3,300vpm)

③寸法　締固め幅：1,300 ㎜
前輪（径×幅）：800 ㎜×1,300 ㎜

④起振装置　起振機：一軸偏心
装着位置：前輪

写真 - 1　4 t コンバインドローラ

4）　舗装構造（上り線のみ）：図 - 5 に示す。

表層(密粒度 As13)　t =40
基層(粗粒度 As20)　t =60
上層路盤(粒度調整砕石・M-30)　t =100
下層路盤(再生砕石・RC-40)　t =150
路　床 (路盤準備工・切土部)

図 - 5　舗装構成

4 - 2　調査試験

試験対象は路床面から路盤各層・基層までとした。測定レーンは 2 レーン設け、RI による密度の測定箇所は各車線ごとに 5 箇所、計 10 箇所設けた。なお、加速度応答データは 2 秒ごとに記録される。試験ヤードを写真 - 2、図 - 6 に示す。測定頻度は以下の通りである。

1）　路床

仕上った状態で測定。

2）　下層路盤・上層路盤

転圧回数 2,4,6,8 回ごとに路床と同位置で測定。

3）　基層

転圧時にすべて測定。転圧開始温度は、1 レーンは 120℃、2 レーンは 140℃とした。

アスファルト混合物で構成される基層については、混合物温度により物性値が大きく変化するため、温度も同時に測定した。

写真 - 2　試験ヤード

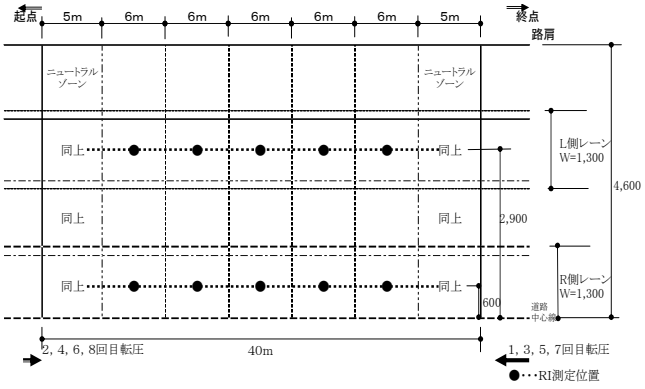


図 - 6　試験ヤード

5．試験結果及び考察

各層で測定した加速度測定データから地盤変形係数(Eroller)を求めた結果を以下に示す。

5 - 1　仕上がり面における試験結果

仕上がり面をローラで連続測定した Eroller の結果を図 - 7，8，9，10に示す。なお、基層面では、路面温度が 20℃程度まで下がった時に測定した値である。

図 - 7 の Eroller 分布(路床)

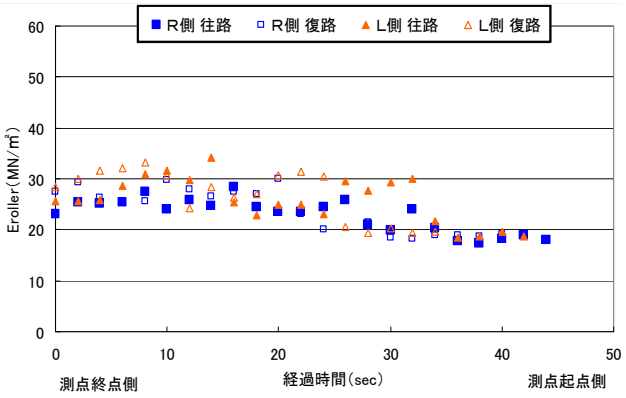


図 - 8 の Eroller 分布(下層路盤)

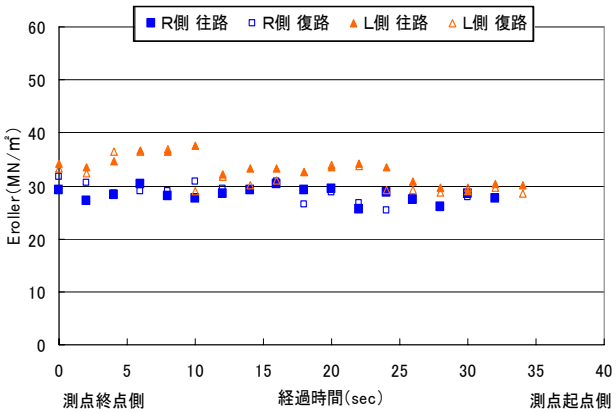


図 - 7 より、路床面では、L 側の Eroller が若干大きな値を示している。

図 - 8 より、下層路盤面では、L 側の Eroller が若干大きな値を示しており、路床の影響を受けている。

図 - 9 より、上層路盤面では、L 側の Eroller が大きい傾向が顕著になった。

図 - 10 より、基層面では、L 側が大きな値を示すが、往路・復路において値に差があり、変動幅が大きい。

以上より、次のような傾向が見受けられる。

1） 各層の R 側 L 側、往路復路においての Eroller は、基層を除いてほとんど同様な値を示している。

2） 各層において若干 L 側の値が大きいことから、路床の影響を受けていることを示している。

3） 基層面での Eroller は値にばらつきが見られ、仕上がり面での管理は難しいと判断できる。

図 - 9 の Eroller 分布(上層路盤)

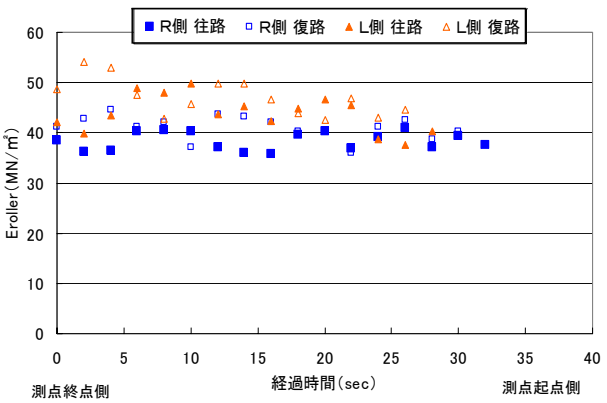
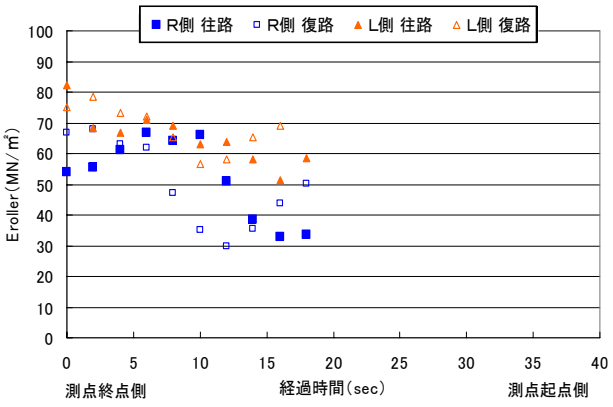


図 - 10 の Eroller 分布(基層)



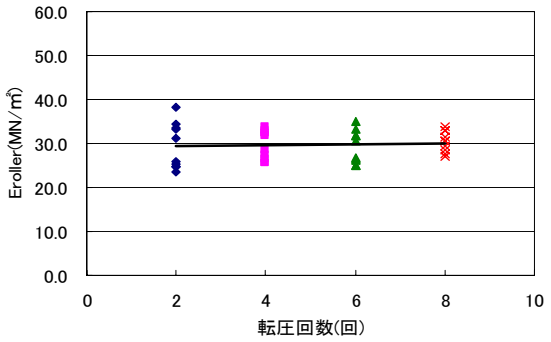
５－２　転圧回数ごとの試験結果

転圧回数ごとに測定したEroller の結果を図－１１，１２に示す

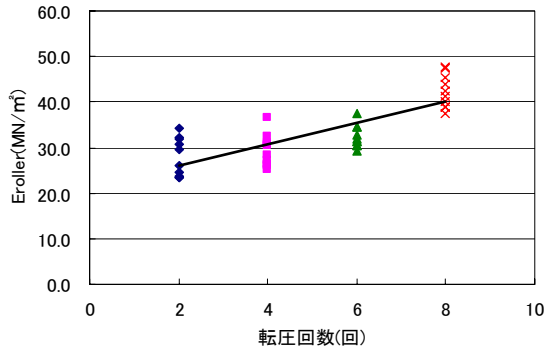
図－１１より、下層路盤面では、転圧回数ごとのEroller の差はほとんど見られないが、データの変動幅が転圧回数によって小さくなる傾向が窺える。

図－１２より、上層路盤面では、転圧回数ごとにEroller の増加が明確に見られる。

以上より、下層路盤面・上層路盤面ともに Eroller に変化が見られ、転圧による路盤の強度変化を感知していると認められる。



図－１１　転圧回数ごとの Eroller(下層路盤)



図－１２　転圧回数ごとの Eroller(上層路盤)

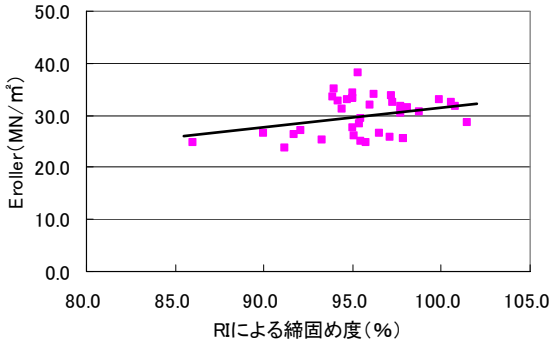
５－３　締固め度と地盤変形係数(Eroller)

締固め度と Eroller の関係を図－１３,１４に示す。

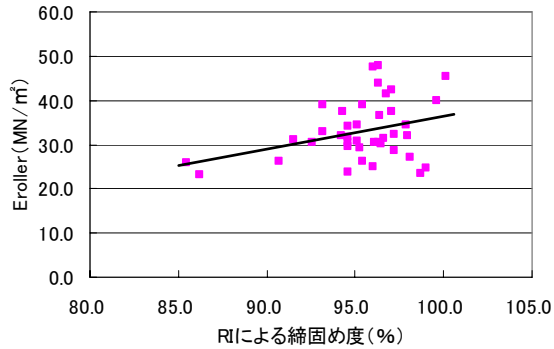
図－１３より、下層路盤面では、測定面が締固まる程 Eroller も増加傾向にある。

図－１４より、下層路盤面と同様に、上層路盤面でも測定面が締固まる程 Eroller も増加傾向にあるが、値にばらつきが見られる。

以上より、締固め度と Eroller の関係にはある程度の相関が見られる。



図－１３　締固め度との関係(下層路盤)

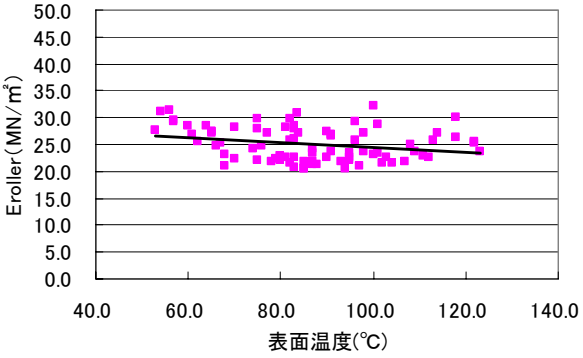


図－１４　締固め度との関係(上層路盤)

５－４　混合物温度と地盤変形係数の関係

混合物温度と測定した Eroller の関係を図－１５に示す。

図－１５より、Eroller は、混合物温度の低下とともに、増加する傾向を示している。従って、Eroller は、混合物の温度変化による強度の増加を感知していると認められる。



図－１５　混合物温度との関係(基層)

５－５　走行位置における試験結果

仕上がり面における走行位置と各層 Eroller の比較を図－１６に示す。

図－１６より、強度の大きい層が重なるごとに Eroller の値も増加する傾向が見受けられる。しかし、基層面での値はばらつきが大きく、温度が 20℃程度まで下がった仕上がり面での評価は困難である。

６．まとめ

今回の調査を以下にまとめる。

１） Eroller と載荷面層の締固め度との間には相関性が認められる。

２） Eroller は、転圧を重ね、強度の大きい層を重ねた際の増加変動を感知している。

３） 基層面の Eroller は、温度低下(アスファルトの粘度増加)による混合物の強度変化を感知している。ただし、温度が 20℃程度まで下がると変動が大きくなるため、評価は困難である。

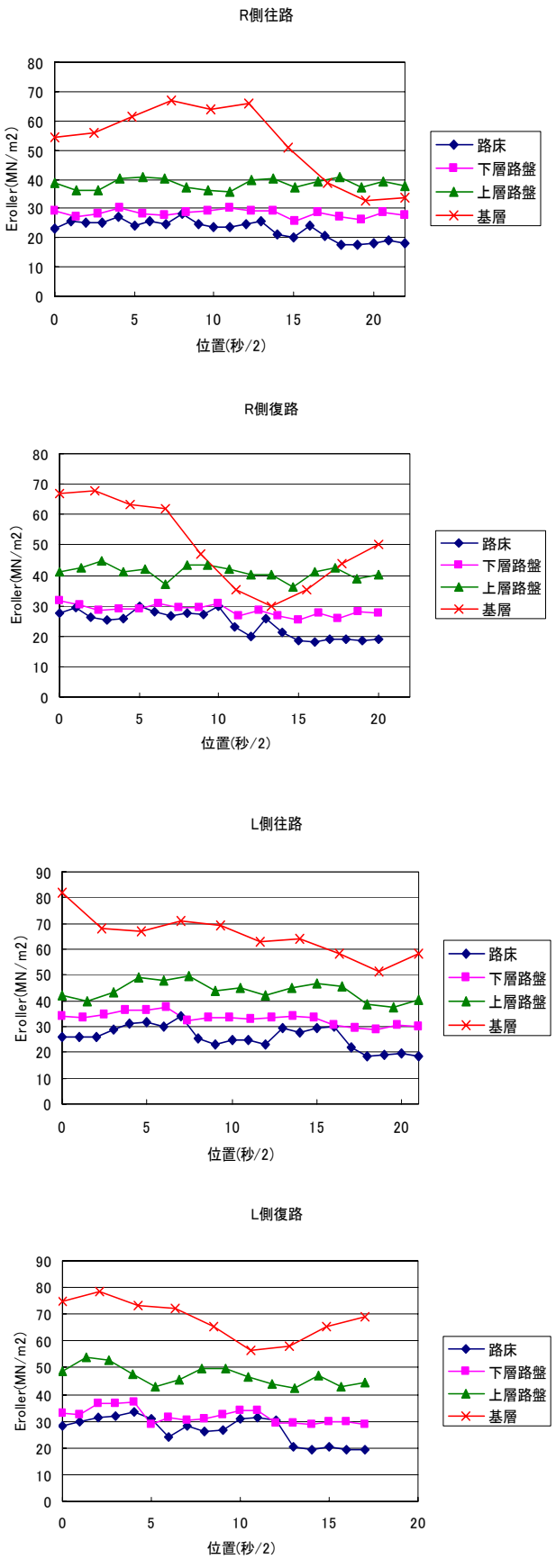
以上のことより、本検討は、振動ローラの加速度応答から得られた変形係数の変動状態を把握できる可能性を窺えた。従って、舗装の品質管理手法として加速度応答データを適用できる可能性が確認できた。ただし、今回のデータだけでは不明確なことがあるため、今後更にデータを収集し、検討を進める必要がある。

最後に、厳しい工程の中で今回の試験のために施工ヤードを提供していただいた、西日本高速道路㈱中国支社広島高速道路事務所および西日本高速道路メンテナンス中国㈱広島事務所の関係者の方々に厚く御礼申し上げます。

参考文献

１） 藤山哲雄、古屋弘：振動ローラ加速度応答を利用した地盤剛性評価装置の開発, 平成 16 年度管内技術研究発表会(近畿地方整備局),2004

２） 藤山哲雄、建山和由：振動ローラの加速度応答法を利用した転圧地盤の剛性評価手法, 土木学会論文集 No.652/Ⅲ-51,pp.115～123,2000



図－１６　走行位置と各層 Eroller の比較