

道路快適性マップの構築

(株) ニュージェック ○保田 敬一

論文要旨

近年改訂された舗装点検要領にも記載があるように、道路走行時の快適性向上策が重要視されてきていることから、既存の道路インフラはその有効利用・有効活用の観点から利用者の満足度を向上させるための施策が要求されるようになってきている。本論では道路使用者の快適性向上につながる方法として快適性マップを提案する。この快適性マップは路面の状態と走行時の道路景観の両面から指標化できるようにする。快適性マップの活用には道路管理者の視点と道路利用者の視点の両方が関係する。管理者は快適性マップをみて評価の低い区間を改善することにより道路利用者の増加対策とともに、維持管理の優先順位付けに適用することが可能となる。一方、道路利用者にとっては快適な路線を走行したいという訪問の動機付けに繋がる。また、快適性向上を図るために道路の点群データを用いて構築した3次元モデル上で道路構成要素を更新することにより、その評価を確認できることを示す。

キーワード：道路景観，快適性，維持管理

まえがき

戦後の高度成長期を中心に整備してきた既存インフラはその有効利用・有効活用の観点から、近年は利用者の満足度を向上させるための方策が求められてきている。例えば、道路の舗装については、舗装点検要領¹⁾にも明記されているように、道路走行時の快適性向上対策が近年では重要視されてきている。また、道路空間の快適性向上は国の重要な施策として位置づけられている²⁾。さらには、高速道路会社の方針でもアウトカム指標の中で快適性の向上を取り上げているし、快適性向上のための事故防止や渋滞解消施策、PA/SA施設の快適性向上などを目指している^{3)~4)}。

従来より、道路の快適性や道路景観については、道路内部景観構成要素と印象評価実験などが多数実施されてきており、景観構成要素とシークエンス景観の印象評価という観点からそれらの関連性が分析され、道路線形やのり面の状態、構造物の有無などが評価とどのように関係するかが論じられてきている^{5)~10)}。

このように、過去、快適性と景観構成要素との関係についての知見は主に道路新設時に快適性の観点から景観はこうあるべきという指標を提供することに主眼がおかれており、維持管理の視点はほとんど考慮されていない。道路供用後には周辺景観の変化や路面状態の変動、道路利用状況の変化など、新設時とは異なった状況になるため、道路新設時の設定条件とは異なった状況におかれることになる。こういった道路供用後に快適性を向上させるための施策という観点からの知見はほとんどない。

以上より、本論では維持管理上、道路管理者が快適性を

向上させる施策を立案するために複数の代替案を検討できるようにすることを目的として、道路走行時の快適性向上には路面の状態改善と道路景観の改善の両面から検討できることを示す。快適性向上に資する対策は舗装の切削オーバーレイ等による路面性状の改善と、もう一つ、道路走行時に視覚情報として入ってくる道路景観、すなわち、道路線形やのり面、植栽などの形状改善である。さらに、本論では道路の快適性向上の成果を評価する方法として快適性マップを新しく提案する。この快適性マップの活用には道路管理者の視点と道路利用者の視点の両方がある。道路管理者はこの快適性マップをみて快適性の低い区間の改善をすることで来場者の増加対策とともに維持管理の優先順位決定とも連動させることが可能となる。一方、道路利用者は快適性の高い路線や区間は訪問の動機付けとなり、国内需要に直結すると考えられる。

本論では、快適性マップを検討するために、箱根ターンパイクの特定区間の感性評価実験と路面平坦性をもとに、数量化理論Ⅰ類にて分析した景観に関するカテゴリスコアと加速度計により計測した路面平坦性指標(IRI)から両者により構成される快適性指標を求め、地図上にプロットする。次に、構築した快適性マップの公開と活用方法について検討するとともに、舗装路面改良による快適性向上と景観構成要素改善による快適性向上の効果を示す。

1. 快適性の評価

(1) 快適性の定義

a) 快適性指標

快適性の評価は式(1)に示すように、路面の平坦性と道

路走行空間の景観性の両面から判断する。

$$C = f(F, L) \quad (1)$$

ここに、C：快適性指標、F：路面の平坦性、L：道路走行空間の景観性である。

快適性評価のイメージを表-1に示す。快適性を平坦性と景観の両面で評価すると、仮に、平坦性が悪くても景観性が良ければ総合評価としては表-1に示す標準ラインになる。逆に、平坦性が良くても景観性が悪ければ総合評価としては標準となり、同じになる。管理水準をもう少し高めなければやや重要ラインにセットすることを考え、快適性が重要と位置付ける路線ならば表-1でいう重要ラインになるように景観性能と平坦性を改良することになる。表-1中、ハッチングの箇所は不可領域となる。景観性能も平坦性も両方が悪い状態を指す。このような状態の箇所が路線中に多くなると快適性が悪い路線ということになるため、平坦性あるいは景観性能を向上させ、極力不可領域は避けなければならない。

b) 平坦性指標

本研究で IRI を取得するために用いた機材は、STAMPER, GPS, 自動車, ノート PC, ビデオカメラである。路面の平坦性は別途 STAMPER にて計測した 100m ごとの IRI を good

(IRI ≤ 3), fair (6 > IRI > 3), repair (IRI ≥ 6) の 3 ランクに分ける。ランク分けは NEXCO 西日本で用いている基準を引用した¹¹⁾。ただし、今回の研究では IRI ≥ 6 となる区間は存在しなかったため、ランクは 2 あるいは 3 となっている。

c) 景観指標

評価実験としては、マツダターンプイク箱根で撮影した道路景観の動画を編集し、北見工業大学が所有するドライビングシミュレータを用いて 5 段階の SD 評価を行った。本研究ではビデオ撮影した道路景観動画をドライビングシミュレータに入力することで走行状況を再現した。印象評価では、とても良い 5, 良い 4, 普通 3, 悪い 2, とても悪い 1 とした。この評価数値の合計を人数で割って求めた平均値を各区間の代表値とした。

次に、道路管理者から借用した設計図面および走行時撮影動画をもとにして、アイテムを検討した。景観に影響する要因として「のり面形状(進行方向左)」、「のり面形状(進行方向右)」、「のり面の状態(進行方向左)」、「のり面の状態(進行方向右)」、「縦断勾配」、「平面線形(R)」を路線全線にわたって整理した。次に、多重共線性の照査を行った後、数量化理論 I 類による分析を行った。

景観性はのり面形状・植栽情報と景観評価とを数量化理論 I 類により分析した結果を用いて、100m 区間ごとに式(2)により路線全線の景観指標を算定する。

$$L = \sum(cs \times ic) \quad (2)$$

ここに、L：景観性指標、cs：スコア、ic：アイテム・カテゴリ(0, 1)である。ランク分けは 100m 区間ごとに行った。評価単位としては、IRI や景観評価の最小単位は 100m であるが、舗装の最小補修面積や補修延長なども考慮して、快適性評価を行う評価単位は 100m × 5 区間の 500m 単位を設定した。

d) 平坦性と景観の組合せ

平坦性と景観を組み合わせる方法としては、式(3)に示す両者の加算による方法と、式(4)による両者の乗算による方法の 2 つがある。ここでは、2 つの方法を比較する。

$$C = F + L \quad (3)$$

$$C = F \times L \quad (4)$$

快適性指標(総合評価)はその値が高い方が快適性が高いとする方が自然であり、本論でもそのように処置している。表-2に IRI と景観のランク分けと加算・乗算による 500m 区間の快適性総合評価の一例を示す。

(2) 総合評価の結果

景観性能と平坦性を加算して総合評価する場合と、景観性能と平坦性を乗算して総合評価する場合との比較を行

表-1 快適性評価イメージ

		平坦性			
		良い	やや良い	やや悪い	悪い
景観	悪い	標準ライン ●	不可領域	不可領域	不可領域
	やや悪い	やや重要 ●		不可領域	不可領域
	やや良い	重要 ●			不可領域
	良い	最重要 ■			

表-2 IRI と景観のランク分けと加算・乗算による 500m 区間の快適性総合評価の一例

地点 (Km)	IRI		景観		総合評価 (500m区間)									
	計測値	判定	rank	式(2)	rank	加算			乗算					
						+	平均値	最小値	最大値	*	平均値	最小値	最大値	
0.2~0.3	3.27	fair	2	0.1468	3	5								
0.3~0.4	3.03	fair	2	-2.368	1	3								
0.4~0.5	3.31	fair	2	-0.055	2	5	4.4	3	5	6	4.6	2	6	
0.5~0.6	2.39	good	3	-0.169	2	5								
0.6~0.7	2.33	good	3	-2.368	1	4								
0.7~0.8	2.27	good	3	0.1468	3	5								
0.8~0.9	4.35	fair	2	-1.172	1	4								
0.9~1.0	2.98	good	3	-0.764	1	4	4.6	4	5	3	4.8	3	6	
1~1.1	2.39	good	3	-0.368	2	5								
1.1~1.2	2.81	good	3	0.5427	3	5								
1.2~1.3	3.07	fair	2	-0.776	1	4								
1.3~1.4	2.23	good	3	-0.628	2	5								
1.4~1.5	2.65	good	3	-0.776	1	4	4.4	4	5	3	4.2	3	6	
1.5~1.6	2.5	good	3	-0.368	2	5								
1.6~1.7	2.41	good	3	-1.08	1	4								
1.7~1.8	2.96	good	3	-0.536	2	5								
1.8~1.9	2.4	good	3	-0.219	2	4								
1.9~2.0	3.12	fair	2	-1.08	1	4	4.6	4	5	3	5	3	6	
2.0~2.1	2.99	good	3	-0.052	2	5								
2.1~2.2	2.66	good	3	-0.219	2	5								

う。一般的には、加算するよりも乗算する方が両者の評価が高い場合などより傾向がはっきりするが、本論の結果でも同じ傾向がみえてくれる。区間内の平均値で見た方が全体の傾向が把握し易いといえるが、最小値や最大値の利用が適する場合もある。最小値は例えば、道路管理者はサービス水準維持の観点から最低利用水準を満足しているかどうかを把握する際には必要であろう。平均値に比べて最低値が大きく下回るようなら利用水準をもう少し上げるようにしなければならない。例えば、路面改良を施工するか、景観構成要素を変更して景観性能を向上させるかなどである。最大値は、例えば利用者向けに使用するもので、見どころや観光マップに記載できるように名所として利用者呼び込むことができる観光スポットとしての役割がある。この最大値を高めることが観光スポットを増やすことにつながると考えられる。

平坦性のランクと景観性のランクを 500m 区間ごとに散布図にしたものが図-1になる。図中の番号は 500m 区間の起点側からの連番である。図-1には快適性指標 (C) を IRI ランク (F) と景観指標 (L) の平面上にプロットした散布図を示す。図には $C=F+L$ (加算) および $C=F \times L$ (乗算) で評価した場合の C の等値線も併記している。C=5.5 の直線よりも右上にある区間 (No. 14, No. 16, No. 17) は快適性が非常に高い。一方、C=4.5 の直線よりも左下にある区間 (No. 1, No. 3) は快適性がかなり低いといえる。また、No. 7, No. 8, No. 21, No. 23 などは C=5.5 の直線にかなり近く、快適性もかなり高い。総合評価である快適性だけでは内訳がわからないので、その場合は図-1 のような散布図を描くことによって、IRI が低いのか高いのか、景観が低いのか高いのかが一目で判読できる。

(3) 快適性ベンチマーク

管理者あるいは道路利用者が当該道路の快適性を判断する場合、標準 (ベンチマーク指標) が必要となる。道路管理者側の視点でいうと、平坦性は補修しなくてもよいレベルである 2 が、景観もマイナスの評価 (良くない、あるいはやや悪い) 以外のランク 3 が最低レベルであると考えると、加算の場合は $2+3=5$ が、乗算の場合は $2 \times 3=6$ がベンチマークとなる。なお、図-1 より C=5.0 ライン (加算) と C=6 ライン (乗算) とがほぼ同じ位置となっていることが確認できる。表-3 に路線全体を 500m 区間で評価した 26 サンプルにおいてこのベンチマークをクリアしている区間の数を示す。

最小値でみると 12%の区間しかベンチマーク標準をクリアできていないが、最大値でみると全てベンチマークをクリアできている。また、平均値では $14/26=54\%$ と約 5 割がクリアできていることになる。道路を管理する場合や利用する場合、こういったベンチマーク (標準) は何かを判断

する際の一つの指標になるものであり、標準値をどの程度クリアしているかという見方は重要な視点になると考えられる。図-1における C=5.0 (加算) あるいは C=6.0 (乗算) のラインがベンチマークとして考えられる一つに挙げられよう。

本論で算定した景観性指標はアンケート結果とも一致しており、総合評価で指標の一つとして使用することは妥当であるといえる。

2. 快適性マップの作成

前章までで検討した快適性の評価をマップ上にプロットすることを試みる。一般的な棒グラフや表でもどの区間が快適性が高いか、低いかは判読することは可能であるが、地図上にプロットした方が利用者のイメージはつかみやすい。ここでは 3 パターン (最大値, 最小値, 平均値) の表示を試みた。箱根ターンパイクの公開されている Web ページ (ロードマップ) に快適性ランクをプロットする。快適性の評価は乗算による方法を用いている。図-2 に平均値をプロットしたものを示す。図-2 より、平均値でも最低ランクの灰色表示区間はなく、快適性が高いランクとなる黄色と赤色を合わせると $14/26=54\%$ と半数以上が該当している。一方、管理者は最小値で管理する方が重要である可能性が高い。

3. 快適性マップの活用方法

(1) 道路管理者

道路管理者は、この快適性マップを使って維持管理に関

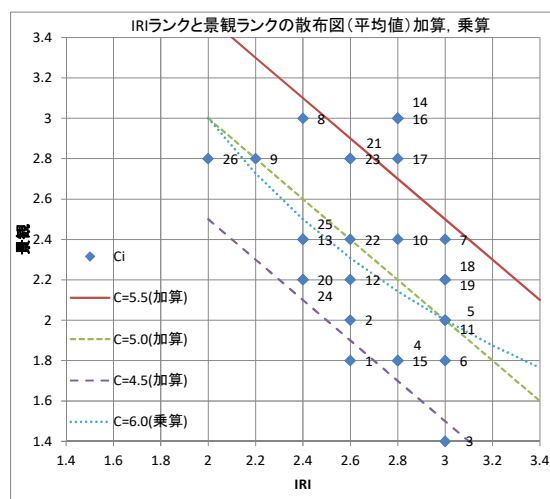


図-1 IRI ランクと景観ランクの散布図

表-3 ベンチマークとの比較

	平均値	最小値	最大値
景観+平坦性 (加算)	14/26 54%	3/26 12%	26/26 100%
景観×平坦性 (乗算)	14/26 54%	3/26 12%	26/26 100%

わる様々な業務に活用することができる。1章で示した快適性の定義より、快適性向上のための施策としては、(1) 切削オーバーレイなどの舗装路面改良、(2) 道路構成要素であるのり面・植栽形状の修景変更が考えられる。舗装の路面改良は、予算や補修工期の問題もあるので IRI の良くない区間から優先的に補修していくことになるが、この補修計画はインフラ修繕計画にて策定されることになる。景観はどの区間が良くないのかは、1章にて実施している数量化理論による分析で得られるスコアにより算定可能で

あり、景観評価のクラスの低い区間の高木や低木の変更、のり面の修景変更などの方法が考えられる。

a) 舗装全面改良による IRI 改善

ここでは、道路管理者が修繕計画にて費用対効果を算定する場合、舗装の切削オーバーレイによる全面改良を施工した場合を試算してみる。この場合、現在の IRI の状態から路面が全て新しくなるので、ランクは“good”になる。現在の IRI の状態から算定した快適性評価(平坦性と景観の組合せ)と、路線全体の IRI ランクを“good”にした状態で算定した快適性評価とを比較する。平坦性と景観とは乗算による組合せで行うものとし、図-3に平均値による比較を示す。図-3の左側が現在の IRI の状態での快適性ランクの割合、右側が平坦性を全て“good”ランクにした場合の快適性ランクの割合を表す。平均値でみると、IRI ランクを全て good に修正すると快適性ランクは向上することがわかる。特に快適性指標 8 以上(快適性特に高い)が約 3 割とかなり改善されることがわかる。

b) 道路景観構成要素の改善

もう一つ快適性を向上させる施策として、景観構成要素を改善する方法があるので、この方法の試算も紹介する。路面の平坦性を向上させる施策としては、前節で紹介したような切削オーバーレイなどの舗装の改善が一つの方法であるが、沿道の植栽を変更して景観評価を改善する方法もある。本節ではこの方法により快適性がどの程度改善するかを試算する。具体的には、数量化理論により分析した結果から、のり面状態のカテゴリである高木を無しに変更する。これは、のり面状態が“高木”である場合のスコアよりも“植栽無し”のスコアの方が高いためである。具体的には、景観判定ランクが最も低いランク 1 の区間を主に改善を図る。舗装修繕の連続性確保の観点から判定ランク 1 と 2 とが連続している 100m 区間(42ヶ所)を抽出した(500m 区間では 11 区間を改善)。部分的にランク 1 が点在するような区間は考慮していない。したがって、最小値による快適性判定では、改善していないランク 1 がそのまま残り、快適性も改善されないというケースあり得る。

高木を無しに改善した場合の現状との比較を図-4(平均値・乗算)に示す。図-4でみると、快適性指標 8 以上(快適性が特に高い)が 8%から 46%と IRI 改善による方法よりも改善効果は良くなっている。快適性指標 4~6 も改善後は 2 割になるなど、改善の効果は大きいといえる。

次に、この景観改善を実施するための概算費用を算定する。100m 区間を 42 か所改善したので、42 区間×100m(単位区間延長)×10m(高木植生幅)×3千円/m²(高木伐採搬出処分費用)=126,000千円が総補修費用として算定できる。実際は 100m×10m 範囲が全て高木が植生しているわけではないので高木の植生密度から算定した費用はもっと



図-2 快適性マップ(乗算, 平均値)

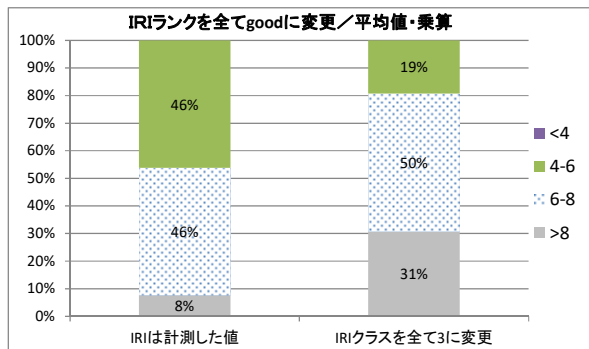


図-3 路面性状改善・平均値(乗算による組合せ)による快適性の比較

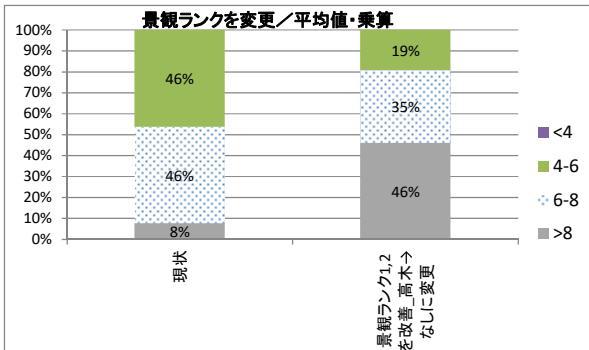


図-4 景観改善策による快適性の比較(平均値・乗算)

下がるとされる。道路管理者はIRI改善費用と景観改善費用の両面から費用対効果を見て適切と思われる修繕を実施すればよいことになり、維持管理上の選択肢は舗装改善と植栽修復という2つの選択肢から選定できるようになり、従来の舗装改善策だけという状態から改善のストックが増えることになる。

道路管理者にとっては例えば図-2に示すような快適性マップも重要であるが、管理する際は、図-1に示すIRIランクと景観ランクの散布図が重要になる。図-5には景観改善後の500m区間のIRIランクと500m区間の景観ランクを散布図にプロットしたものを示す。現状でC=5.5ラインを超える区間は図-1よりNo.14, No.16, No.17の3つしかなかったが(12%),改善後は13区間と50%が快適性が高い区間になる。よって現状からは大幅に改善されていることがわかる。

(2) 道路利用者

道路利用者は例えば図-2に示すような快適性マップを見ながら、道路走行の動機付けに利用することになると考えられる。快適性が良ければ少々遠方でも訪問して当該道路を走行してみようという動機が生まれる。逆に、快適性が悪ければ逆効果になるが、集客を目的とした快適性マップの公開はPRに有効に作用すると推察される。快適性マップに併記する形で、眺望スポットや観光名所などを記載するとさらに効果があると思われる(例:箱根ターンパイク)。箱根ターンパイクは現在有料道路となっているが、更なる付加価値(快適性向上)をプラスすることで有効利用に直結する効果が期待できる。

快適性マップはまだ一般的にはなっていないが、観光名所をいくつか保有している道路は集客力を高める意味で快適性マップ(観光スポット紹介付き)を是非公開してみると面白いと思われる。

利用者との相互コミュニケーションも重要である。道路

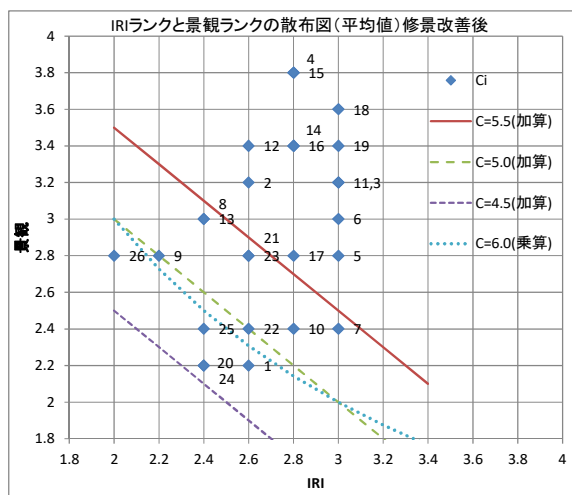


図-5 改善したIRIと景観の散布図

利用後のアンケートなどを実施し、快適性や景観、平坦性などを利用者に判断してもらうことで、管理者側の視点と利用者側の視点とが隔離することなく、より良い維持管理に繋がっていくことが期待できる。

4. 点群データを用いた道路構成要素の変更と評価

(1) 3次元モデルの作成

本章では現況の再現性に優れた点群データを用いて、道路構成要素を修景した際の評価を景観評価用3次元モデルにて行うことを検討する。この方法により、事前に景観構成要素の変更とその評価とを3次元モデル上で行うことが可能となり、合意形成や意思決定などに有効利用できることが期待できる。

まず、データ処理方法について述べる。点群データを編集・変換し、3次元景観モデルを作成する必要がある。本研究で使用したソフトウェアを表-4に示す。具体的には、MMSで計測した測量データ(点群データ)をPTSファイルに変換したデータを用いた。ファイルサイズは35,900MB、総点群数N=897,983,801である。3次元モデル作成にあたっては、国土地理院の基盤地図情報データ(世界測地系IX系)を用いて3次元現況地形モデルの作成を行った後、現況点群モデルを合成して可視化を行った(図-6参照)。

表-4 使用したソフトウェア

ソフトウェア名	使用内容
Autodesk ReCap	測量データ(点群データ)の編集・変換
AutoCAD Civil 3D	3次元地形作成(現況地形)、アニメーションの動線設定
Autodesk InfraWorks	3次元景観モデル構築、アニメーションの作成および書き出し

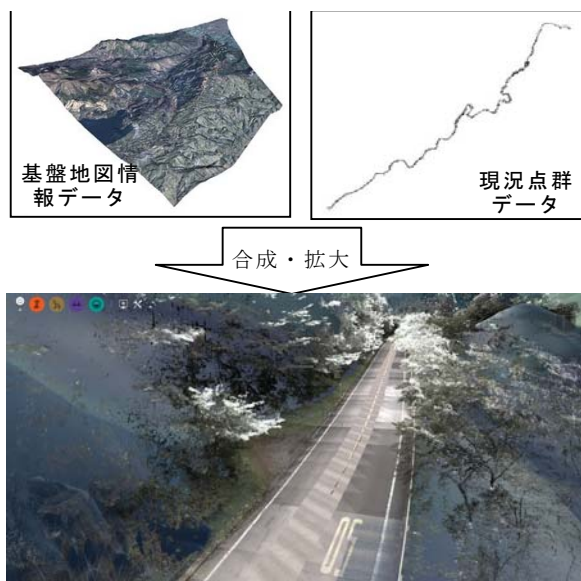


図-6 合成した3次元現況モデル(鳥瞰)

(2) 修正した動画による再評価

ここでは、合成した3次元モデルにて道路構成要素の修景を行う。別途利用者アンケートにより数量化理論Ⅰ類により分析した景観構成要素と評価との関係を用いてのり面状態の変更を行った。のり面がブロック積の景観評価に関するカテゴリスコアは低く、ネット張りモルタル吹付のスコアは高かったことをうけて、現状で黒ずんでいるブロック積に緑色のネットを覆うことを考える。また、のり面が高木の場合はスコアが低く、低木にする方がスコアが高くなることを利用し、現状で高木の区間を低木に変更することを試みた。対象区間はNo. 60+00～No. 61+00の100m区間である。図-7に現況の左側ブロック積モデルを、図-8には左側のり面のブロック積に緑色ネット(濃い緑色、格子サイズ60mm)で覆い、かつ、右側の高木区間を低木に変更したモデルを示す。緑色のネットは格子形状、ネットの太さ、格子間隔、色など様々な仕様があり、3次元モデル上ではこれらを自在に変更できることが特徴である。ネットの太さや格子間隔を変更するとかなり明るさや印象が変わったものになり、景観が改善されるのがよくわかるようになる。また、ネット張り区間も任意の範囲で設定可能である。図-7や図-8からわかるように、この変更によって現状の黒ずんだ汚れた印象をうける壁のようなブロック積擁壁表面が種子吹付けのような明るい印象をもった修景に改善されるようになる。

あとがき

本研究では、維持管理の視点から道路の快適性向上を目的として、快適性マップの構築を試みた。道路を維持管理していく上で管理者や利用者の快適性を評価するため、舗



図-7 現況モデル



図-8 ブロック積に緑色ネットを覆い、かつ、右側の高木区間を低木に変更したモデル

装路面の状態と道路走行時の景観性能を指標化し、快適性マップ上にプロットすることで、維持管理者や道路利用者にとって有効なマップになることが期待できる。

今後の課題は以下のとおりである。今回の研究では箱根ターンパイクという観光用道路にて評価実験などを実施したが、限定された景観構成要素および限られたアンケート数による分析になった。今後は出来る限り、サンプル数を増やしていく方が望まれる。快適性を表現するパラメータであるIRIと景観の組合せ方法は本論ではより特徴が明確になる乗算の方が優れていると判断しているが、今後の快適性マップの使用局面などを踏まえて精査していきたい。また、観光名所として知られている道路は他にも沢山存在するため、景観性向上のための共通する景観構成要素なども検討することでより汎用性が高まると思われる。

参考文献

- 1) 国土交通省 道路局：舗装点検要領，2016.10.
- 2) 中村俊行，大西博文，恒岡伸幸，時政 宏：道路空間の安全性・快適性の向上に関する研究，国総研プロジェクト研究報告，第7号，2006.2.
- 3) 東日本高速道路株式会社：NEXCO 東日本レポート2016（ウェブ版），
http://www.e-nexco.co.jp/csr/download/pdfs/2016/csr_all.pdf
- 4) 阪神高速道路株式会社：ドライバーズサイト，お客様満足度アッププラン，
<http://www.hanshin-exp.co.jp/drivers/manzoku/page03.html>
- 5) 深堀清隆，窪田陽一：高速道路走行中の継時的景観変化の特性分析と評価手法，土木学会，土木計画学研究・論文集，No.12，pp.357-366，1995.8.
- 6) 安藤義宗，齊藤 潮：高速道路走行における地域景観要素の視覚的展開に関する研究，東工大・社工・論部梗概集，No.33，pp.2-3，2002.
- 7) 中島久智，岩崎征人：道路景観の有無が運転挙動に与える影響，土木学会，第32回土木計画学研究発表会・講演集，2005.
- 8) 杉山和雄，八馬 智，張 挺：道路のシークエンス景観評価尺度に関する研究，国際交通安全学会誌，Vol.29，No.4，pp.246-254，2005.3.
- 9) 兵庫利勇，松田泰明，岩田圭佑：郊外部道路におけるシークエンス景観の印象評価に関する考察，第57回北海道開発技術研究発表会，2014.2.
- 10) 奥谷 巖，山崎英成，森下時麿：脳波による道路走行快適性要因の抽出，土木学会中部支部研究発表会講演概要集，pp.509-510，1996.
- 11) 西日本高速道路エンジニアリング中国株式会社：IRIを取り入れた道路管理画像システム，2013.9.