

2 . 道路構造

2 1 基本的な維持管理の考え方

維持管理は、通常、維持と修繕に区別されるが、その区分は必ずしも明確ではない。一般的には、「維持は道路の機能を保持する保存行為で、日常計画的に反復して行なう手入れまたは軽度の修理で、修繕は日常の手入れでは及ばないほど大きくなった損傷部分の修理や施設の更新である」¹⁶。舗装の打ち換えやオーバーレイ、構造物の補強など、在来の施設の機能を当初の水準まで回復させ、あるいは若干の機能を向上させる場合である。舗装は、交通荷重、気象条件などの外的作用を常に受け、また舗装自体の老朽化などにより、放置すれば供用性が低下し、やがて円滑かつ安全な交通に支障をきたす。これを防ぐために常に路面の状態を把握し、適切な維持管理を行うことが重要である。

舗装の維持修繕の目的は次の3つに大別できる。

舗装の耐久性を確保し、舗装の構造機能を保つ。

路面の走行性を確保し、交通の安全と快適性を保つ。

舗装に起因する沿道環境の悪化を防ぐ。

アスファルト舗装は、供用後路面性が変化すると降雨などによって路盤、路床が破損し走行性、安全性、快適性などが損なわれるので、舗装の特性をよく理解して維持管理を行わなければならない。特に降雨のとき、その弱点が現れやすく、破損が急速に進行する。従って、破損を発見した場合は時機を失わないように措置する。また大型車交通量の多い道路のアスファルト舗装は、アスファルト混合物の変形によって供用性などを阻害される。破損の原因は、性質と状態と構造が相互に関連し合い複雑なものとなっている。路面上の雨水は路側の排水施設により速やかに排水され、流末の河川まで導かれるようメンテナンス容易な雨水排水施設を整備することが必要である。舗装路面上における雨水の滞留は、舗装破壊の原因となるとともに、車両の安全走行にも支障をきたすからである。しかしながら開発途上国での排水路整備は、道路整備以上に遅れており、排水施設がまったくない地域も多数ある。排水不良による道路の崩壊や通行不可能区間の拡大、長期滞水によるマラリア蚊の発生など、道路の整備不良は地域住民の社会生活と衛生環境に大きな悪影響を及ぼす。

2 2 アスファルトの力学的特性

2 1 1 交通量の状況

路面に降った雨水は排水溝に誘導されるが、表層に透水性があると雨水の一部は内部に浸透していく。路盤や路床は水の影響を受けやすく、支持力が弱まったり空洞化し、舗装全体の破壊につながる。不透水性は表層の重要な条件である。

¹⁶ 布施洋一編著(1984)第一章 総論 1.1.2 維持と修繕より抜粋。

2 2 2 耐久性

表層は自然環境に直接さらされるため、混合物中のアスファルトがこの影響を受ける。その一つは、日光、空気などの作用でアスファルトが化学変化を起し、硬くもろくなる老化現象としてとらえられる。一方、水や水蒸気が混合物に接すると骨材とアスファルトを分離する働きをし、剥離現象が起きる。耐久性を増すには、アスファルト量を多くして混合物をよく締め固める。写真2 1、写真2 2は、ケニアの主要道路の随所に見受けられるポットホール（剥離現象）である。

写真2 1 ポットホール



写真2 2 ポットホール（再舗装部分）



2 2 3 変形に対する抵抗性

アスファルト混合物は、温度が高く、载荷速度が遅いほど変形に対する抵抗性が低くなる。夏の高温時に車両が停止したような状態で最も変形しやすくなる。また、「車両が高速で走行しても、これが繰り返されると微小な永久変形の累積として変形が現れわだちに発展する¹⁷」。東アフリカの気候では路面の温度が非常に高くなり、大型車両の車輪の通過頻度の高い位置に、表層、基層等のアスファルト混合物の塑性流動によって流動わだち掘れが発生する（写真2 3、写真2 4）。

変形に対する抵抗性とは逆に、低温時の瞬間的な载荷では、アスファルト混合物は弾性体のような挙動をし、許容の応力またはひずみ以上になると脆性破壊を起こす。「過大な交通荷重あるいは温度応力などによる破壊を防ぐには変形に対する抵抗性の強度を必要とする。アスファルト混合物は引張り強度が圧縮強度の1/8程度しかないため引張り強度が主として問題になる¹⁸」。写真2 5は亀甲状クラックであり、写真2 6はアフリカ・リフトバレー地帯における舗装破壊の一種（アリゲーター・クラック）である。

¹⁷ Ibid.第三章 舗装 3.2 アスファルト舗装より抜粋。

¹⁸ Ibid.第三章 舗装 3.2 アスファルト舗装より抜粋。

写真 2 3 わだち



写真 2 4 わだち (低速の重量級タンカー)



写真 2 5 亀甲状クラック



写真 2 6 アリゲーター・クラック



2 2 4 疲労抵抗性

「単一の荷重により発生する応力が引張り強度よりかなり小さくとも、これが数万回単位のオーダーで繰り返されると、アスファルト混合物は疲労し、ひび割れが発生する¹⁹⁾」。写真 2 7 は、ケニアの主要道路の全般に見うけられるひび割れである。

舗装の破損は、一般にはひび割れ、わだち掘れ、段差といった形状による分類を行うが、補修の要否を判断する基準として、ひび割れ率の占める割合が比較的大きい要素となっている。「破損の主体がひび割れの場合、ひび割れ率が5%程度以下の場合には日常の点検のみで補修は必要としない。これが15%程度では車両の走行にはさほど影響を与えないが、そのまま放置すると雨水がひび割れから浸透して路盤を傷め、破損の進行を早める恐れがある。ひび割れ率が35%程度を超えるような状況になると快適性の大幅な低下や、交通騒音による沿道環境への影響が大きくなること懸念され、一般にオーバーレイ、打換えなどの補修が必要となる²⁰⁾」。市街地・一般部・山間部のひび割れ率目安は次のとおりである。

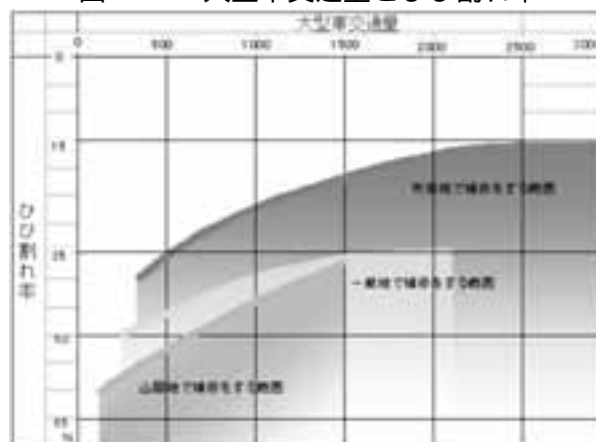
¹⁹⁾ Ibid.第三章 舗装 3.2 アスファルト舗装より抜粋。

²⁰⁾ Ibid.第三章 舗装 3.2 アスファルト舗装より抜粋。

写真 2 7 ひび割れ



図 2 1 大型車交通量とひび割れ率



出所：チャンネルながのホームページより

- 市街地部：ひび割れ率が概ね15%程度を超える区間のうち、交通特性（交通量、速度等）や沿道の利用状況を勘案し、破損の状況や危険度に応じ緊急性の高い箇所から順次補修を行う。
- 一般部：ひび割れ率が概ね35%程度を超える区間のうち、交通特性（交通量、速度等）や沿道の利用状況を勘案し、破損の状況や危険度に応じ緊急性の高い箇所から順次補修を行う。
- 山間地部：ひび割れ率が35%程度を超えた区間のうち、交通特性（交通量、速度等）や沿道の利用状況を勘案し、破損の状況や危険度に応じ緊急性の高い箇所の補修を行う（図 2 1）。

2 2 5 路肩

「路肩の維持管理は、路体内への雨水の浸透を防ぐこと、横断勾配を整形し、路面の排水を良好にすること、駐車、退避などにより生じる自動車のわだちを整形するなど、路肩の機能を保持することにある」²¹が、ケニア国内のTrans African Highwayは路肩が持つ機能を発揮していない箇所が随所に見られ、路肩の管理はほとんど行われていない。写真 2 8、写真 2 9では段差は20cm以上あり路肩機能を全く果たしていない状況で、こういった箇所は多く見られる。写真 2 10は路肩部分に変形しているものである。写真 2 11、写真 2 12は、路肩の土が流され、アスファルト部分までえぐられている。写真 2 13は路肩が十分に整備されている状態であるが、こういった良い状態の路肩はほとんど見られない。

²¹ Ibid.第三章 舗装 3.7.1 路肩 より抜粋。

写真 2 8 路肩段差20cm以上 (1)



写真 2 9 路肩段差20cm以上 (2)



写真 2 10 路肩部分の変形



写真 2 11 路肩流失 (1)



写真 2 12 路肩流失 (2)



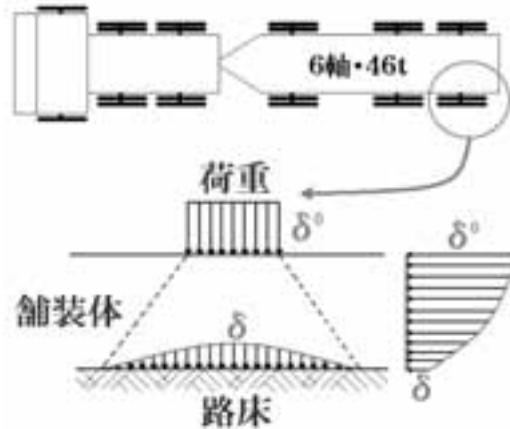
写真 2 13 正常な路肩



2 3 路床土

交通荷重は、舗装面を通して路床に伝達される（図2-2）²²。舗装の役割は、それ自体が破壊することなく、路床に損傷を与えない程度に荷重を分散させ軽減することにある。

図2-2 荷重と舗装体・路床の関係



出所：筆者作成。

路床土の支持力を判定する方法としては、一軸圧縮試験、三軸圧縮試験、平板載荷試験、せん断試験、貫入試験その他数多くの土質試験があるが、アスファルト舗装の路床土については、CBR (California Bearing Ratio) 試験が一般的である。路床は最終的に交通荷重を支える層で、支持力 (CBR) が大きいほど望ましい。表2-1に、東アフリカの一般的な路床材料の強度²³を示し、表2-2に日本の一般的な土の種類と現場CBR値²⁴を比較する目的で示した。

問題土と呼ばれる代表的な路床土は黒灰色の膨潤土 (Black Cotton Soil) であり、風化礫 (tuff, phonolite and trachyte) とラテライト系砂利 (lateritic gravel) を所々に含む。層厚は、0.3~1.0mが多い。一般に表層部は強風化され、まるで軟岩か土砂のようにになっている (写真2-14、写真2-15)。膨張率と収縮率の差が著しく (表2-3)、層厚の薄い盛土地では収縮クラックが起きる。道路建設に最も問題とされている土である。ただし、盛土厚が5m ($t=1.75t/m^3$) 以上の場合には盛土荷重によって膨張を阻止できるため、置き換え工法の必要はないとされている²⁵。

膨張力は下記の式によって求める。

$$s=4.4 \times 10^{-7} \times d^{2.75} \times (LL - W)^{3.27} \quad (\text{式})$$

s : 膨張力 (KN/m²) d : 乾燥密度 (KN/m³) LL : 液性限界 (%) W : 含水比 (%)

²² F.J.Gichaga and N.A.Parker (1988) Chapter 6 The Design Problem, 6.3.2 Analysis of pavement structureの解説に基づいて筆者が図化したものである。

²³ 国際協力事業団 (1998) 英文報告書からのデータによる。

²⁴ 財団法人全国建設技術研修センター編 (1979) 第5章 道路舗装工事 舗装厚の設計による。

²⁵ 国際協力事業団 (1988)

表 2 1 東アフリカ近隣諸国の一般的路床材料の強度

路床材料		CBR値	
		4日水浸	最適含水時
1	黒綿土 (Black Cotton Soil)	2 ~ 5	15 ~ 30
2	雲母を含むシルト (Micaceous Silts)	2 ~ 5	7 ~ 13
3	残積シルト (Eluvial Silts)	5 ~ 10	10 ~ 18
4	砕けやすい赤色粘土 (Red Friable Clays)	7 ~ 13	15 ~ 30
5	火山灰系砂粘土 (Sandy Clays on Volcanics)	7 ~ 18	15 ~ 30
6	軽石系砂 (Ash and Pumice Soil)	7 ~ 18	15 ~ 30
7	片麻岩と花崗岩が混じった粘土ローム (Silty Loams on Gneiss and Granite)	10 ~ 18	15 ~ 30
8	石灰質砂粘土 (Calcareous Sandy Soil)	10 ~ 18	15 ~ 30
9	砂粘土基盤 (Sandy Clays on Basement)	10 ~ 18	15 ~ 30
10	粘土基盤 (Clayey Sands on Basement)	10 ~ 30	15 ~ 30
11	砂丘の砂 (Dune Sands)	10 ~ 18	10 ~ 30
12	海岸の砂 (Coastal Sands)	10 ~ 18	15 ~ 30
13	風化した溶岩 (Weathered Lava)	10 ~ 30	15 ~ 30
14	珪岩 (けいがん) 砂礫 (Quartzitic Gravels)	10 ~ 30	15 ~ 30
15	軟凝灰岩 (Soft Tuffs)	10 ~ 30	15 ~ 30
16	石灰質砂利 (Calcareous Gravels)	10 ~ 30	15 ~ 30
17	ラテライト系砂利 (Lateritic Gravels)	15 ~ 30	30以上
18	海岸の砂利 (Coral Gravels)	15 ~ 30	30以上

出所：国際協力事業団 (1988)

表 2 2 日本の一般的な土の種類と現場CBR

土の種類	現場CBR
シルト分、粘土分が多く、かつ含水比の高い土	3 以下
シルト分、粘土分が多いが、含水比の比較的低い土	3 ~ 5
砂質土、粘性土	3 ~ 7
含水比の低い砂質土、粘性土	7 ~ 15
レキ、レキ質土	7 ~ 15
粒度分布がよい砂	10 ~ 30

出所：財団法人全国建設技術研修センター編 (1979) 土工・舗装工事

写真2 14 ブラック・コットン・ソイル(1)



写真2 15 ブラック・コットン・ソイル(2)



表 2 3 Black Cotton Soilの特性

パラメーター	分類		
	適度の膨張度	高い膨張度	非常に高い膨張度
乾燥密度： d (KN/m ³)	< 15	15 d 15.75	> 15.75
粘土含有量： $< 0.002\text{mm}$ (%)	< 40	40 0.002 55	> 55
液性限界：WLL (%)	< 48	48 LL 65	> 65
塑性指数：PI	< 30	30 P.I 40	> 40
収縮指数： $I_s = WLL - W_{st}$	0 ~ 20(小), 20 ~ 30(適度)	30 ~ 60	> 60
膨潤圧： s (KN/m ²)	< 120	120 s 600	> 600
膨潤性： $h/h_o = h$ (%)	< 4.5	4.5 < h < 13	20 < h < 13

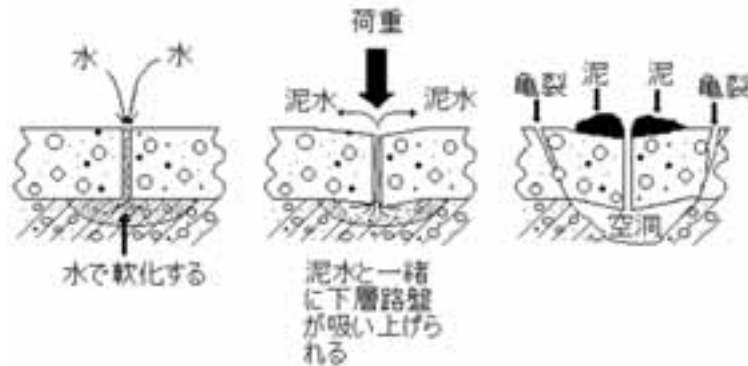
出所：F. J. Gichaga, B. K. Sahu, T. G. Visweswaraya (1987)

2 4 車軸荷重が及ぼす影響

舗装は直接車軸荷重が乗る大きな曲げモーメントを持つ舗装版と、舗装版によって分布された荷重を支持する路盤によって構成される。「舗装版はそれ自体で大きな荷重を受け持つが、版を支える路盤が軟弱化すると版の支持に不均衡を生じ破損に至る」²⁶。路盤の支持が低下しても直ちに舗装面が大きく破損することはないが、ポンピング作用(図2 3)によりヘヤー・クラックから浸透した水が破損を生み出し、最終的に広域な破壊につながる。

²⁶ 建設産業調査会編(1992)第5章 道路舗装より抜粋。

図 2 3 ポンピング作用



出所：筆者作成。

舗装の破壊は、通常ポンピング作用により、次の順序で発達する。

舗装面に車軸からの大きな曲げモーメントが働く。

大小のクラックが発生。

クラック先端が路盤・路床に達する。

クラック経由で水が路盤・路床に浸透する。

水が路盤・路床を軟弱化させる。

アスファルト床盤がもつ弾性力によるポンピング作用が発生する。

ポンピング作用により軟弱化した路盤・路床材料が泥水として表面に浮き上がる。

アスファルト床盤と路盤・路床の間に空洞が出来る。

空洞にアスファルト床盤が陥没し、連鎖的に破壊に至る。

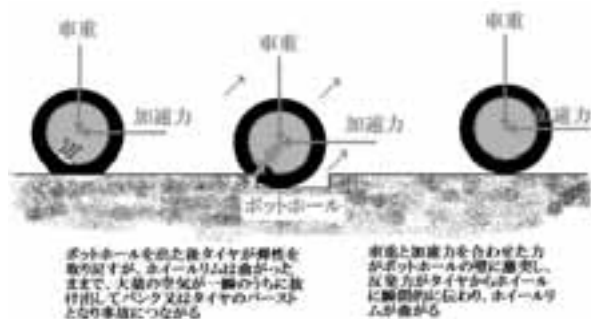
空洞がポットホールとなる。

2 5 ポットホールとタイヤの関係

ポットホールが路面上にできると交通事故の発生率が上昇する。これはポットホールの大きさとタイヤサイズに関係するものである。最近ではタイヤはチューブレスが主流であるので図 2 4 のようにタイヤがポットホールに落ち、その衝撃によってタイヤのリムが変形（写真 2 16）し、そこから空気が急激に漏れてバーストすることによる事故が起こったり、ポットホールを回避するために急ハンドルによって他の車と接触して起こる事故などがある。ヘヤー・クラックや路盤疲労は、設計車両から導き出された範囲内では設計寿命相応の発生となるが、範囲を超えると早い時期から発生し道路寿命が短くなる。大型車の軸重分布が舗装の疲労破壊に与える影響が大きいことは、日本道路公団の研究から判明している²⁷。Trans African Highwayの経由地であるケニアにおいては隣接する国々の軸重規制値が違うため軸重の規制があいまいで、過載大型車

²⁷ 飯田章夫・他（1999）の研究発表ではヘヤー・クラックや路盤疲労を設計車両から導き出すと、その範囲内では設計寿命相応の発生率で、その範囲を超えると早い時期から発生し道路寿命が短くなり、大型車の軸重分布が舗装の疲労破壊に与える影響が大きいと結論づけている。

図 2 4 ポットホールとタイヤの関係



出所：筆者作成。

写真 2 16 タイヤ・リムの変形



両が多い。

大型貨物車とタイヤの性能が向上し続け、過載量もますます増大し続けている状況である。これを規制するには、Trans African Highway を共有するCommon Market for East and South Africa (COMESA)、East African Community (EAC)、Organization Of African Unity (OAU) 等によるアフリカ各国共通の車両軸重規制を強化する方法以外に発展的解消方法はない。

2 6 表層材料と施工温度

表層材料のサンプル収集の現場調査結果(表 2 4)より1996年から3年目の1999年にオーバーレイされたアスファルトであり、短期の間に極端な老化が起こっているものの一部である。この極端な老化現象は、表層材料と施工温度が起因している。

表 2 4 路盤材料の現場調査結果

暫定規格の種類 (60~80)	現場調査結果	ケニア道路規格	日本道路協会企画
針入度 (25、~100g、5秒)	17 mm	60 mmを超え 70 mm以下	60 mmを超え 80 mm以下
軟化点	74.5	48 を超え 56 以下	44 を超え 52 以下
伸度(15)	4 cm	100 cm	100 cm

出所：筆者作成。

サンプリングした表層材料は針入度が17mm、軟化点74.5、伸度4cmと非常に硬い。短期間による硬化の原因は粗悪なアスファルト原料と熱、光、酸素、水などの自然現象が複雑に合成した変化である。「粗悪なアスファルト軽質油分が、空気中で次第に揮発して硬化、そして熱によりこの現象は更に促進され、更に空気中の酸素と太陽の光により酸化作用を受けて硬化、またアスファルトに吸収された水分がアスファルト中の水溶性成分を溶かし硬化させたもので、従って

表 2 5 マーシャル試験に対する基準値

大型車交通量(台/日・一方向)	1,000台未満	1,000台以上
マーシャル安定度(kg)	250以上	350以上
フロー値(1/100 cm)	10～40	
空隙率(%)	3～12	

出所：建設産業調査会編(1992)資料から筆者が作成。

短期間にもろくなり(老化)付着力を失ったものである²⁸。ケニアには十分整備された試験設備が整っておらずアスファルトの配合量について詳しく調査できなかった。空隙率については、かなり低いことから登坂部に多く見られるわだち掘れに大きく関係している。マーシャル試験値でアスファルト混合物の空隙率は3%以下(表2 5)ではないが、現場でサンプリングしたアスファルト・コアの空隙率は2.2%と基準以下である。半面、亜熱帯気候で重交通道路状況のアスファルト舗装配合設計についてマーシャル試験における突き固め回数が微妙に影響しているという研究発表²⁹にもあるように、すべての試験方法が亜熱帯気候・重交通タイプに適合するののかという問題が指摘されている。施工では、問題は施工温度が十分に管理されていないことにある。通常、敷きならし温度は85～130、転圧時の温度は80～100が基準である。アスファルト・プラントから施工現場へ時間的に非常に遠い所(2時間以上)にある場合、プラントからの輸送時に保温保護されていないアスファルトが基準温度以下に冷却されていることが多い。調査で幾度となく訪れた施工現場においては、温度計すら設置されておらず、午前10時と午後3時のティータイム及び昼食時には運搬されたアスファルトを放置したまま休憩に入るといわずさんな施工管理状態である(写真2 17、写真2 18、写真2 19)。また、施工現場で行われる施工チェックにおいても、資格のない技術員がマニュアルに定められたとおりの試験機材を使わずに規定以外の方法で施工チェックを行っている(写真2 20)。

写真 2 17 工事現場(1)



写真提供：飯田章夫

写真 2 18 工事現場(2)



写真提供：飯田章夫

²⁸ 財団法人全国建設技術研修センター編「道路の施工」土工・舗装工事 第5章 道路舗装工事 舗装厚の設計より抜粋。

²⁹ H.R.Smith, C.R Jones (1998)の研究によれば亜熱帯気候で重交通道路状況のアスファルト舗装配合設計についてマーシャル試験における突き固め回数が微妙に影響していると報告されている。

写真 2 19 工事現場 (3)



写真提供：飯田章夫

写真 2 20 工事現場 (4)

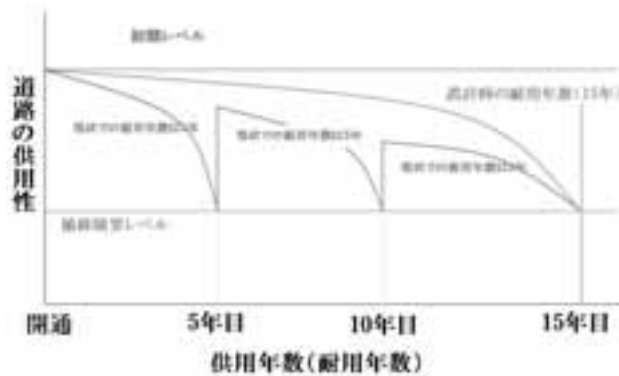


写真提供：飯田章夫

2 7 道路に作用する交通荷重・軸重

「舗装は道路構造の中で、最も厳しい外的作用を受ける部分である。舗装は主要な道路構造の中で、唯一の消耗品である³⁰」。「盛土や橋などが半永久的構造物として設計し、施工されるのとは異なり、舗装の設計にあたっては10~20年という供用期間を設定し、この期間内に通行すると推定される車種と台数に耐えるように条件を定める³¹が現状では、5年ほどで補修限界レベルに達している(図2 5)。

図 2 5 道路の供用性と供用年数の関係



出所：筆者作成。

このような考え方は、あくまで舗装が交通荷重に対する消耗品であるという事実に基づいて成立しているので、必要な時期に補修を加えるという条件がある。道路に作用する交通荷重は苛酷で複雑である。舗装の上を高速で走行する車両が及ぼす外力は動的であり、特有の振動を伴う。走行速度は一定ではなく、輪荷重も一定ではない。乗用車のような単輪もあれば、トラックのよ

³⁰ 財団法人全国建設技術研修センター編(1979) 第5章 道路舗装工事 舗装厚の設計より抜粋。

³¹ 布施洋一編著(1984)第一章総論 1.1.2 維持と修繕より抜粋。

写真 2 21 過載重量のタンカー



写真 2 22 過載重量のトレーラー



表 2 6 IRI指標

指標	メンテナンス工法
IRI > 2.0	通常メンテナンス
IRI = 6.0	オーバーレイによる再舗装が必要
IRI = 8.0	路上表層再生工事が必要
10.0 < IRI	打ち替え工事が必要

出所：建設産業調査会編(1992)資料から筆者が作成。

うな複輪もある。タイヤ型式も多くの種類があり、タイヤ内圧もさまざまである。交通荷重の他に、気象や土質の条件が舗装に及ぼす影響も大きい。同時に、このような外的条件を受ける舗装構造について、数多くの種類、工法がある。東アフリカ諸国の車両規則は最大軸重を設けているが、実際に走行している車両を調査すると20t以上(特にTrans African Highwayでは)という重い軸重のものが相当数混入しておりA104(モンバサ～ナイロビ間)では55%、A109(ナイロビ～ウガンダ間)では27%の車両が過載車量である(写真2 21、写真2 22)。

2 8 現場における各種の物理的調査

路面平坦性調査(International Roughness Index: IRI)³²は路面の平坦性、粗さを表す指標(表2 6)の一つで、車両に測定輪をつけ、路面の凸凹で測定輪が上がり下がりの合計を加算して、距離で割ったものを1kmあたり何cmで表す。指数によって道路の補修方法を見極める方法の一種である。現場の調査(図2 6)は1995年に全国道路マスタープラン調査で行われた路面平坦性調査(IRI)の結果を踏まえて修繕レベルに達しているセクション(IRI > 6)のベンケルマン・ビームたわみ試験(Benkelman Beam Test: BBT。写真2 23)の測定(写真2 24～写真2 34、表2 8～表2 11)を行った。

ベンケルマン・ビームたわみ試験では舗装表面に載荷したときに発生する「たわみ」は構造性のデータとなり、一般的に同じ荷重を舗装表面に載荷したときに、測定されるたわみの量が小さいほど舗装の耐荷性能が大きい(表2 7)。

³² 国際的に定められた計測方法で路面の平坦性を表す。

表 2 7 ベンケルマン・ビームたわみ試験指標

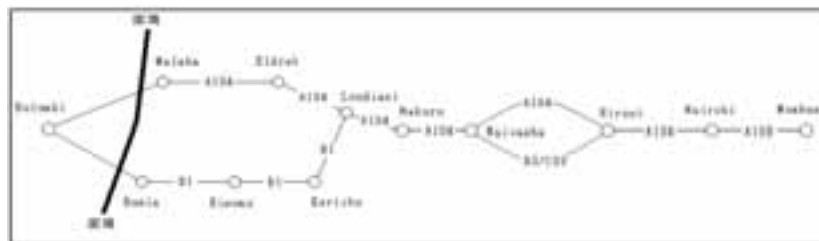
指標	破壊レベル
36 ~ 39 ($\times 10^2\text{mm}$)	クラック発生レベル
40 ~ 42 ($\times 10^2\text{mm}$)	修繕必要レベル
76 ~ 78 ($\times 10^2\text{mm}$)	極限レベル

出所：建設産業調査会編(1992)資料から筆者が作成。

写真 2 23 ベンケルマン・ビームたわみ測定



図 2 6 現場調査範囲



出所：筆者作成。

写真2 24 Mombasa-Nairobi (A109)



写真2 25 Nairobi-Rironi (A104)



写真2 26 Rironi-Naivasha (B3)



写真2 27 Rironi-Naivasha (C88)



写真2 28 Naivasha-Nakuru (A104)



写真2 29 Nakuru-Londiani (A104)



写真 2 30 Londiani-Kericho (B1)



写真 2 31 Kericho-Kisumu (B1)



写真 2 32 Kisumu-Busia (B1)



写真 2 33 Londiani-Eldret (A104)



写真 2 34 Eldret-Malaba (A104)



表 2 8 Mombasa-Nairobi(A109)のIRIとBBT

セクション番号*	延長(km)	車幅(m)	路肩幅(m)	CBR	IRI
11	17.8	7.1	1.5	-	3
12	6.2	8.0	1.4	-	3
21	48.1	7.1	1.4	-	3
31	54.2	6.8	1.5	-	8
41	105	6.2	1.6	13	5
51	47.5	7.3	2.0	2	3
52	220.4	6.5	1.2	12	3

*セクション番号はMOPWHによる
出所：国際協力事業団(1995)

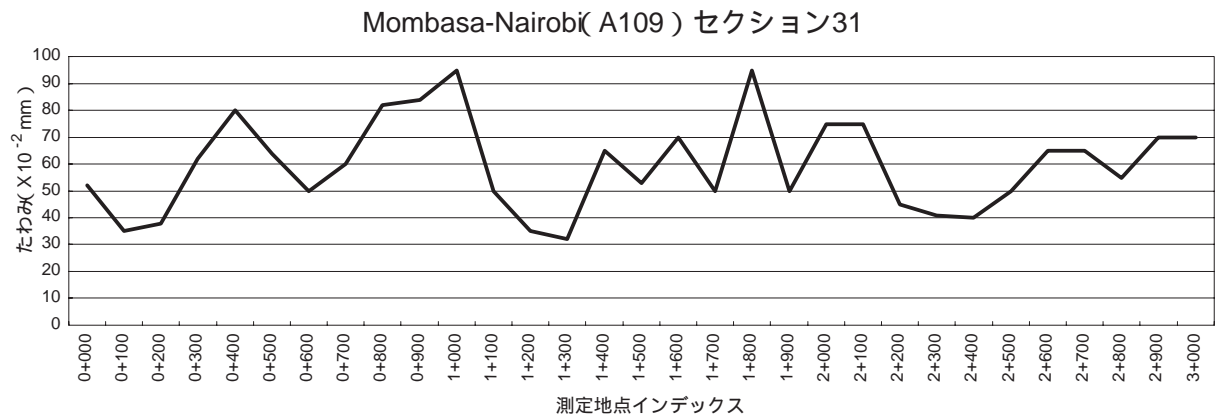
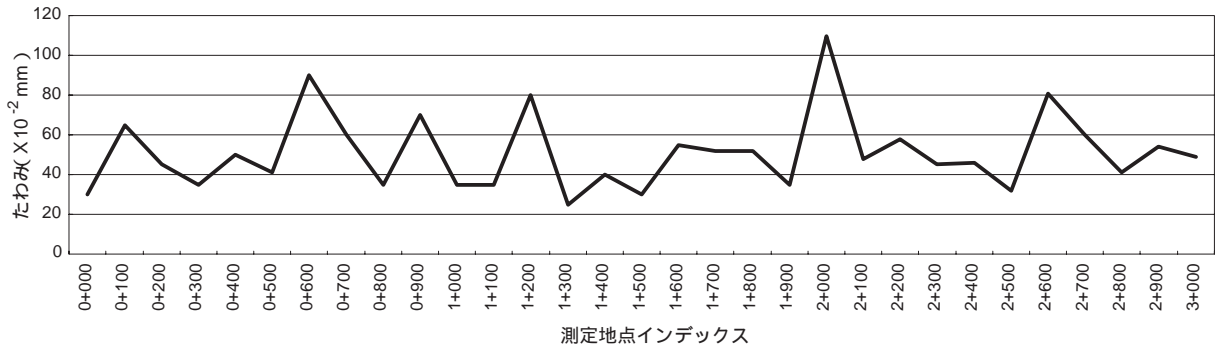


表 2 9 Nairobi-Malaba(A104)のIRIとBBT

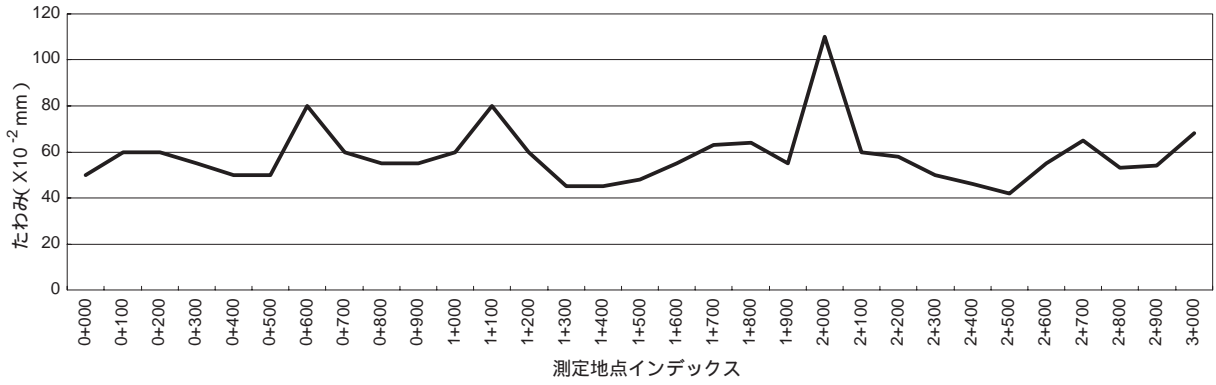
セクション番号*	延長(km)	車幅(m)	路肩幅(m)	CBR	IRI
1	131.5	6.4	1.2	-	6
10	15.3	7.2	1.9	11	2
21	30	8.7	1.7	-	3
22	25.1	7.7	1.5	-	3
31	50.8	7.7	1.5	-	6
32	4.3	9.2	1.4	-	8
41	156.1	7.5	1.4	-	10
42	16.9	7.2	2.6	-	6
43	2.7	7.2	2.7	-	6
51	116.3	6.8	1.9	10	4
52	7.1	6.8	2.3	10	3
61	34.1	7.0	1.4	13	3
71	51.8	7.0	2.0	11	-

*セクション番号はMOPWHによる
出所：国際協力事業団(1995)

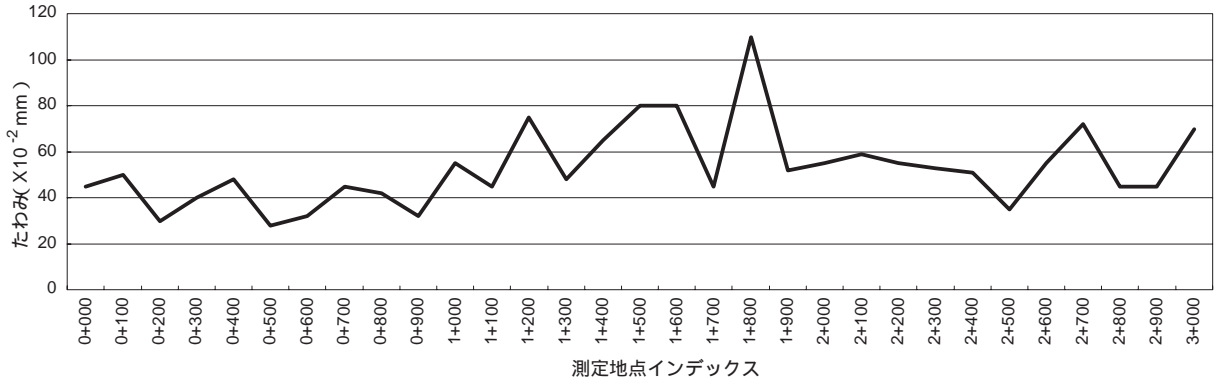
Nairobi-Malaba(A104) セクション1



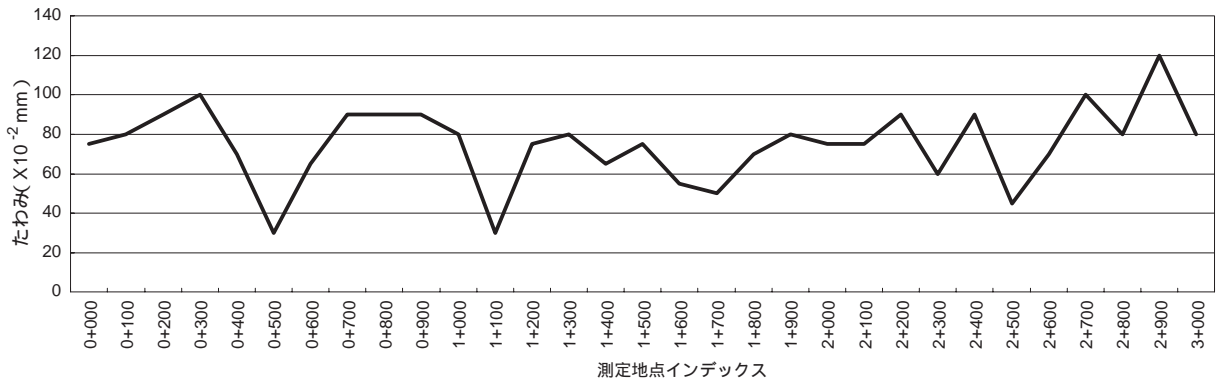
Nairobi-Malaba(A104) セクション31



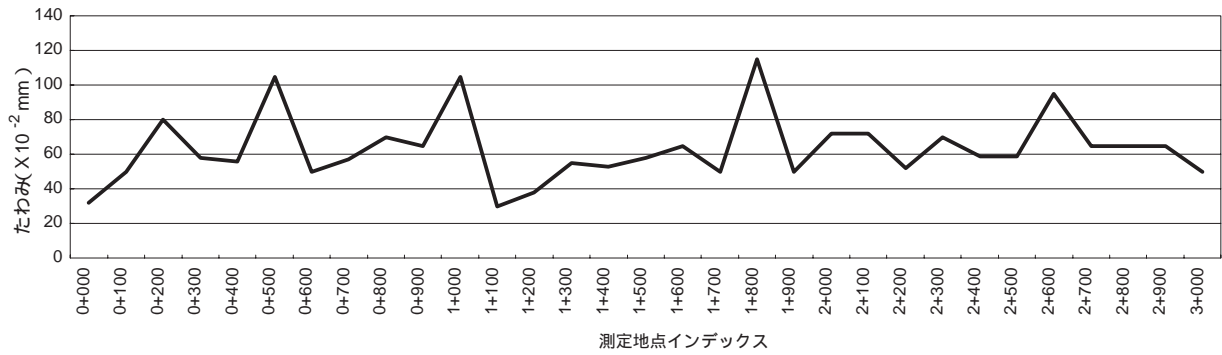
Nairobi-Malaba(A104) セクション32



Nairobi-Malaba(A104) セクション41



Nairobi-Malaba(A104) セクション42



Nairobi-Malaba(A104) セクション43

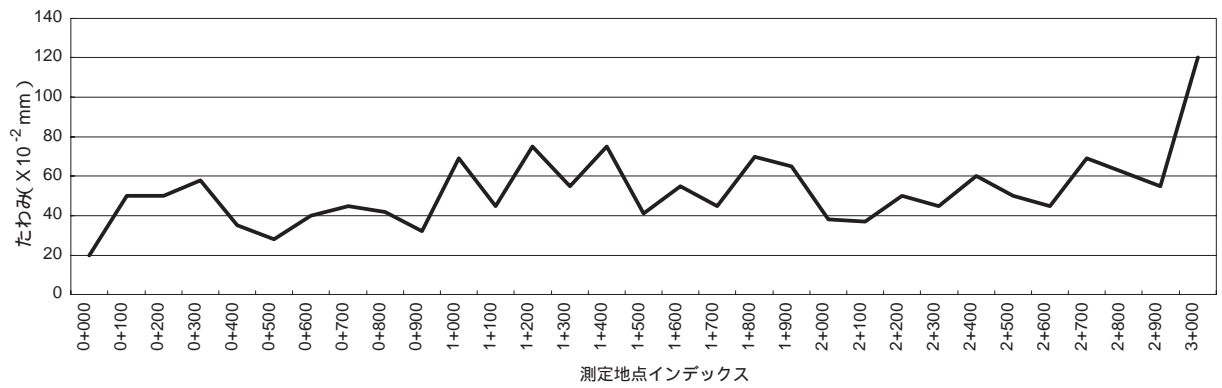


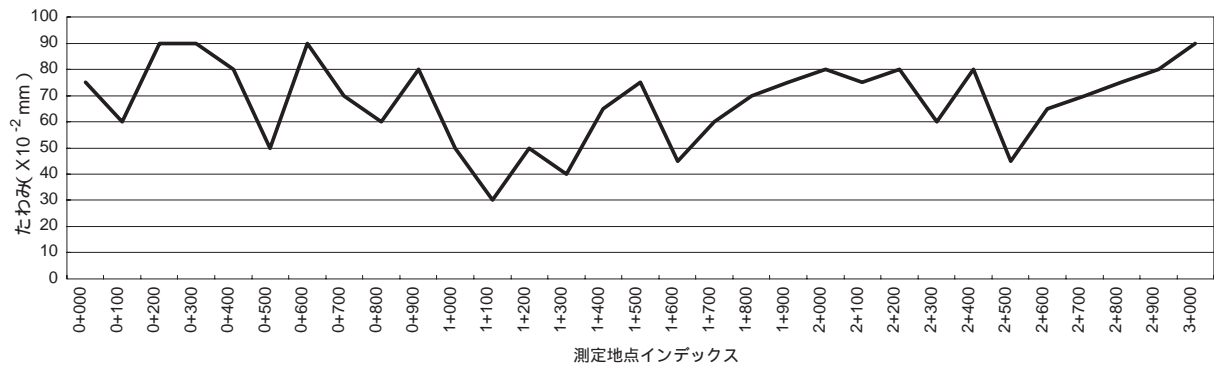
表 2 10 Londiani-Busia(B1)のIRIとBBT

セクション番号*	延長(km)	車幅(m)	路肩幅(m)	CBR	IRI
59	90.4	6.3	1.2	-	8
60	22.1	6.0	1.5	5	8
61	6.9	7.2	2.2	-	5
62	26.2	6.0	2.7	-	5
63	12.5	5.8	2.3	-	4
64	49.5	5.8	1.1	-	8
65	27.0	6.4	1.5	-	7
66	2.9	7.0	1.1	-	8

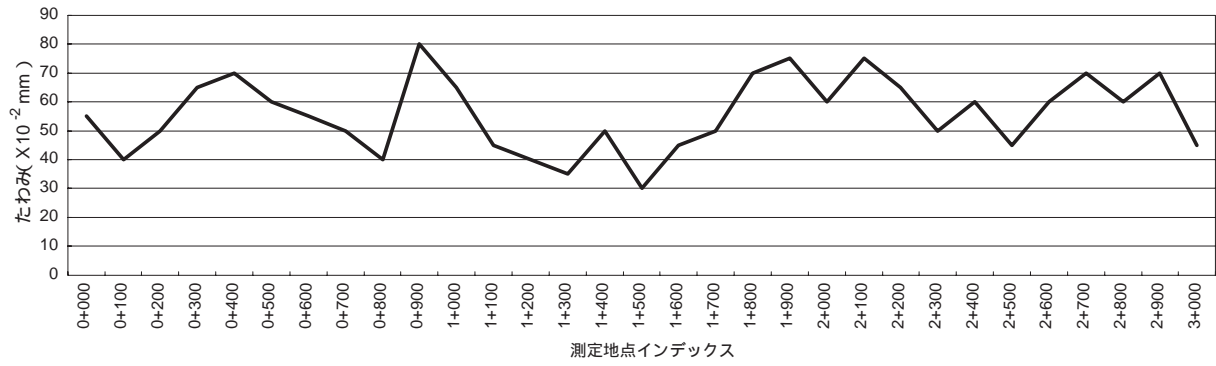
*セクション番号はMOPWHによる

出所：ケニア共和国道路網整備マスタープラン調査最終報告書

Londiani-Busia(B1) セクション60



Londiani-Busia(B1) セクション64



Londiani-Busia(B3) セクション66

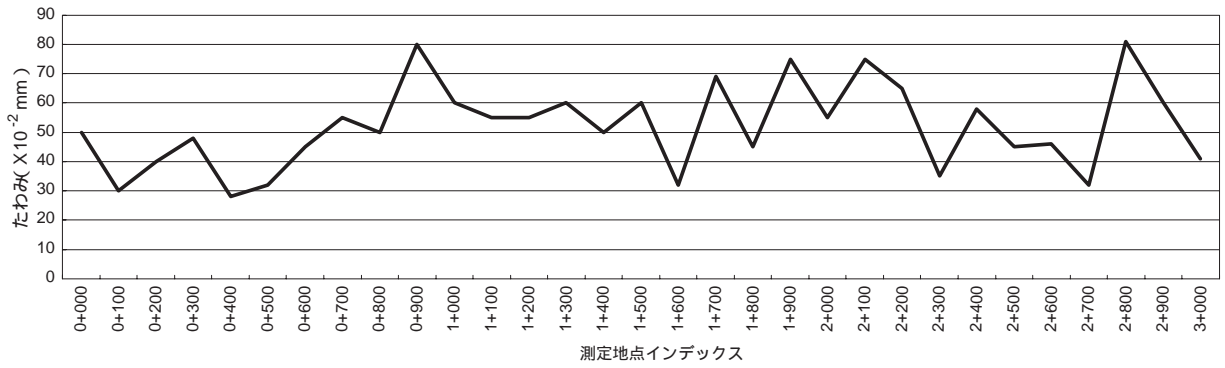


表 2 11 Rironi-Naibasha(B3/C88)のIRIとBBT

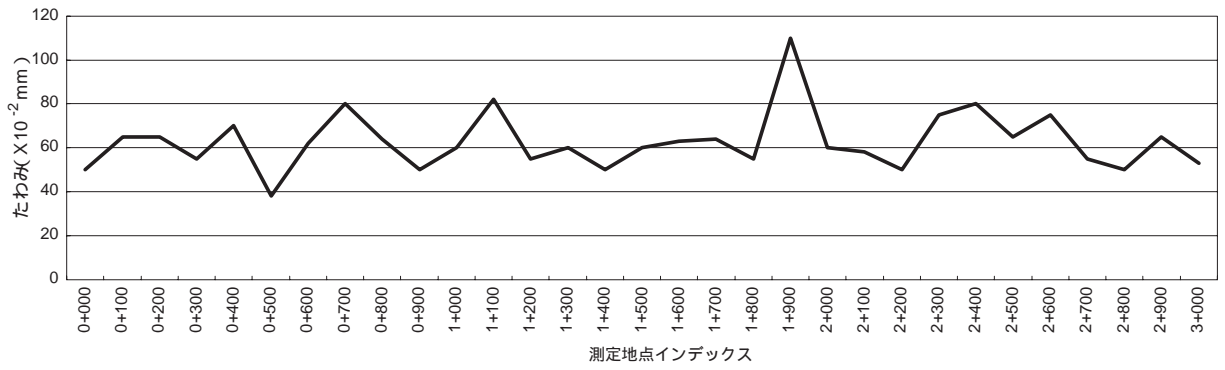
セクション番号*	延長(km)	車幅(m)	路肩幅(m)	CBR	IRI
59(B3)	90.4	6.3	1.2	-	8
60(B3)	22.1	6.0	1.5	5	8
61(B3)	6.9	7.2	2.2	-	5
62(B3)	26.2	6.0	2.7	-	5
63(B3)	12.5	5.8	2.3	-	4
64(B3)	49.5	5.8	1.1	-	8
65(B3)	27.0	6.4	1.5	-	7
66(B3)	2.9	7.0	1.1	-	8
189(C88)	39.9	6.3	2.1	-	5

*セクション番号はMOPWHによる
出所：国際協力事業団(1995)

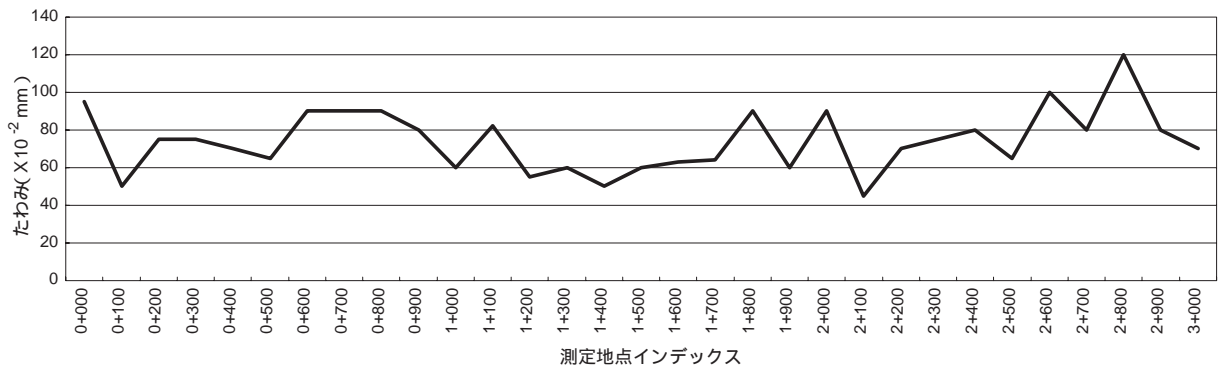
Rironi-Naivasha(B3) セクション59



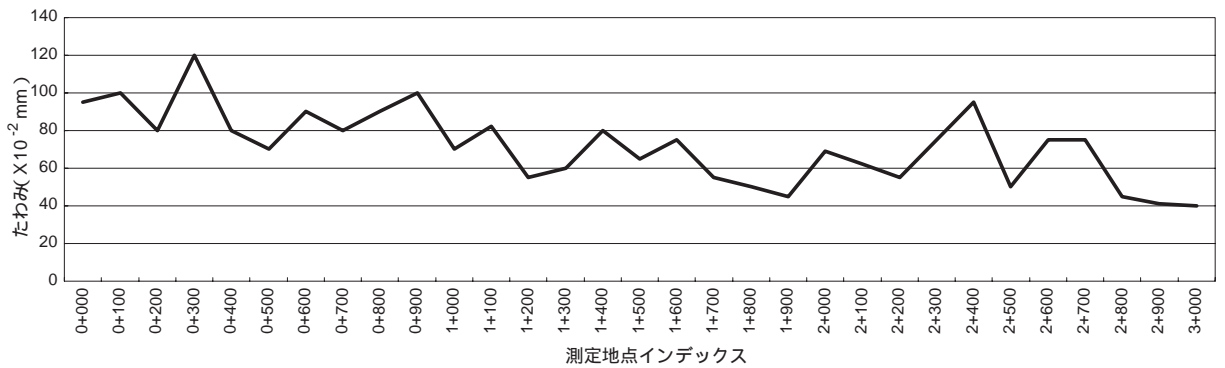
Rironi-Naivasha(B3) セクション60



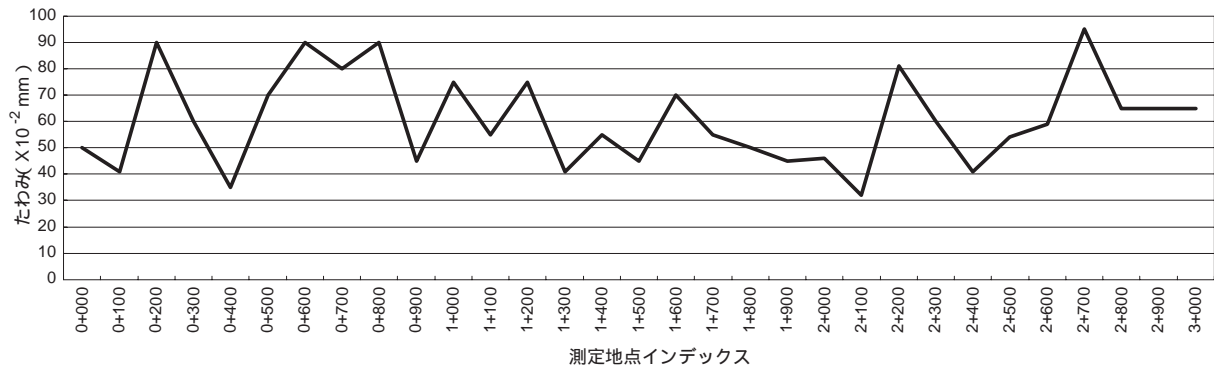
Rironi-Naivasha(B3) セクション64



Rironi-Naivasha(B3) セクション65



Rironi-Naivasha(B3) セクション66



2 9 舗装構造

2 9 1 舗装設計の概要

東アフリカ諸国の道路設計基準は英国の旧Transport Road Research Laboratory (現Transport Research Laboratory : TRL) のRoad Noteを基に設計されてきた。TRLによるRoad Noteはこれまでに多くの英国保護領で使われており、特に道路設計 (構造・舗装も含む) についてはRoad Note 29~31が基本である³³。1977~1980年に材料と舗装の供用性について広範囲な研究が行われ、ケニアでは1987年に道路設計指針が出来上がった。タンザニアでは1989年に道路設計指針が出来上がり、1999年に最新版の道路設計指針に改訂されている。ウガンダの道路設計指針は1991年に策定されている。ウガンダの道路設計指針はSouthern Africa Transport and Communication Commission (SATCC) の指針に準拠している。いずれの国に道路設計指針においても英国の旧Transport Road Research Laboratory (現Transport Research Laboratory : TRL) のRoad Note 29~31が基準として指針の根底にある。また、Trans African Highwayの建設当時は同指針によって道路が建設されていることから本調査ではRoad Note 29~31を道路設計指針の基本にしているケニア道路設計指針を対象に行った。ケニア道路設計指針及びRoad Note 29~31では舗装構造設計に用いる路床を表2-12から求め、設計交通量は、設計対象期間の車両交通の軸数を8t軸重に換算した値の累積値によって表2-13に分類している。

舗装の標準断面構成は上部路盤と下部路盤各種の材料 (14タイプ) 及び交通量分類との経済的面を組み合わせた37種のマトリックスから標準断面を決定する。

第3章でケニア・タンザニア・ウガンダの自然条件を示したが、東アフリカでは高原サバンナ地帯、ビクトリア湖岸地帯、砂漠地帯、海岸地帯 (ケニア・タンザニア) などさまざまな自然条

表2 12 CBRによる路床土の分類

路床分類	S1	S2	S3	S4	S5	S6
CBRの範囲	2 ~ 5	5 ~ 10	7 ~ 13	10 ~ 18	15 ~ 30	> 30

出所：国際協力事業団 (1995)

³³ F.J.Gichaga and N.A.Parker (1988), Chapter 6 The Design Problem, 6.3. The pavement designではTransport Research Laboratory (TRL) の研究結果とフランスが植民地統治時代に使った道路設計マニュアルを参考にしたという記述がある。

表 2 13 累積値による交通量の分類

交通量分類	T1	T2	T3	T4	T5
累積値	2,500～6,000	1,000～2,500	300～1,000	100～300	25～100

累積値：8 t標準軸重換算累積交通量に基づいて初年度における1日の交通量にしたもの
出所：国際協力事業団（1995）

件があるにもかかわらず、アスファルトの種類・種別にバラエティがなく交通量分類との経済的
面を組み合わせたマトリックスが限定的である。

2 9 2 路床支持層

37種のマトリックスから決定された標準断面によって舗装設計がされる。ケニアを経由する
Trans African Highwayはアフリカ特有問題土（Black Cotton Soil：黒灰色の膨潤土）地帯であ
り、現実問題として工事現場を最適含水比に保つには高度な技術と多額の建設費用が必要であ
る³⁴。写真2 35及び写真2 36は、大雨期時の道路工事現場が殆ど水没したもので、このよ
うな状態で最適含水比を保つことは難しい。こういった状況はアフリカの至る所で見られ、効果的
な対策はとられていない。今回の調査においてはボーリング調査を行っていないが、随所に見ら
れる道路全体の地盤沈下や地盤隆起（実際には地盤沈下を免れた部分が隆起しているように見え
る）は一定ではなく、路床がBlack Cotton Soil特有の著しい挙動をしてしていることから路床が
CBR値に準じた安定した状態でないことがうかがわれる。Black Cotton Soilに対するセメント安
定処理はあまり効果がなく、消石灰安定処理も行われているが、ロード・スタビライザー等の混
合用機械の不備により地盤沈下や地盤隆起が多々発生している。

写真 2 35 水没した道路工事現場



写真 2 36 雨上がり後の道路工事現場



³⁴ 浅野英一（1995）及び（1996）の試算結果よりアフリカ特有問題土（Black Cotton Soil: 黒灰色の膨潤土）を工
事現場で最適含水比に保つには高度な技術と多額の建設費用が必要であることが判明している。

2 10 路盤材料の現状

「交通荷重を支持する方法によって路面を分類すると、次の2種に大別される」³⁵。東アフリカのTrans African Highwayにおいては、殆どがたわみ性路面（アスファルト舗装）である。

たわみ性路面（Flexible Pavement）：基本的にせん断力には抵抗するが曲げには抵抗しない構造でアスファルト舗装はこれに属する（図2 7）

剛性路面（Rigid Pavement）：せん断力及び曲げに抵抗する構造で、盤として作用する。セメントコンクリート舗装はこれに属する（図2 8）

アスファルトは種々の土木材料のうち、道路舗装工事に主に使用されているが、他の材料と比較して非常に異なっている。その特異点の一つは強度特性で、これは温度と載荷時間の影響を受けて変化する。低温時や載荷時間が短いと弾性を示し、温度が上がると弾性を失い粘性を示すが、普通の状態では粘弾性体である。この強度特性をスティフネス³⁶で表すが、これはある温度と載荷時間の時の引っ張り応力と引っ張り歪みの比で、境界条件で変化する変形係数である。もう一つの特異点は老化現象である。アスファルトは一般の化学作用には比較的抵抗が強いが熱、光、酸素、水などの自然現象により種々の変化を受ける。軽質油分は、空気中で次第に揮発して硬化するが熱によりこの現象は促進される。また空気中の酸素により酸化作用を受けて硬化するが、光が作用するとさらに促進される。アスファルトに吸収された水分はアスファルト中の水溶性成分を溶かし硬化させる。アスファルトはこれらの作用を受け、次第にもろくなり（老化³⁷）付着力を失う性質がある。アスファルトをコア・カッターでサンプリング（写真2 37）して行った路盤材料の現場調査では、路盤材料が既に限界値を超えて硬化（老化）していた。

図2 7 たわみ性路盤

表層・基層：アスファルト混合物	
路	盤
路	床

出所：筆者作成。

図2 8 剛性路盤

コンクリート舗装盤	
路	盤
路	床

出所：筆者作成。

³⁵ 建設産業調査会編（1992）第5章 道路舗装より抜粋。

³⁶ 固さを表す言葉で、ヤング率または弾性係数と同じであるが、アスファルトの場合は温度が高いと小さくなり、載荷時間が短いほど大きくなるという性質がある。厳密な定義でアスファルトの固さをいう場合はレジリエントモデュラスresilient modulusが使われる。モデュラスmodulusは弾性係数で、レジリエントが付くと、アスファルトの弾性係数が温度、載荷状態によって変化していくのを繰返し載荷試験で変形の戻りから、そのときの弾性係数に相当するものを求めたものとなる。

³⁷ 老化の原因は骨材に含まれる物質が空中の空気、あるいは水分と反応して膨張し、骨材が爆発するように破壊するために生じるものが多い。原因になる物質によって、周りの色に変色する。骨材に硫化鉄が含まれていて、これが酸素、水と複雑に反応して膨張して骨材を破壊する場合はまわりが鉄さびの茶色になる。骨材の中に含まれている遊離石灰も、水と反応して膨張して骨材を破壊する。

写真2 37 コア・カッターによるアスファルトのサンプリング

