

アフリカ（エチオピア、ガーナ、タンザニア）
資金協力事業による道路整備計画のあり方
（基礎研究） 報告書

平成 25 年 3 月
（2013 年 3 月）

独立行政法人
国際協力機構（JICA）

株式会社エイト日本技術開発
株式会社オリエンタルコンサルタンツ

| |
|--------|
| 資金 |
| JR |
| 13-004 |

序 文

独立行政法人国際協力機構は、アフリカ地域の3か国（タンザニア連合共和国、エチオピア連邦民主共和国、ガーナ共和国）を調査対象とした「アフリカ地域無償資金協力事業による道路整備計画のあり方基礎研究」を行うことを決定し、同研究を実施しました。

当機構は、平成24年2月から平成25年3月までの間、2回にわたり株式会社エイト日本技術開発と株式会社オリエンタルコンサルタンツの団員から構成される調査団を現地に派遣しました。

調査対象国の政府関係者と協議を行うとともに、対象地域における現地踏査を実施し、帰国後の国内作業を経て、ここに本報告書完成の運びとなりました。

この報告書が、無償資金協力事業の品質確保に寄与するとともに、アフリカ地域の友好親善の一層の発展に役立つことを願うものです。

終わりに、調査にご協力とご支援をいただいた関係各位に対し、心より感謝申し上げます。

平成25年3月

独立行政法人 国際協力機構
資金協力支援部長 坂田 章吉

目次

頁

1. 調査の概要

| | | |
|-----|------------|-----|
| 1.1 | 調査の背景 | 1-1 |
| 1.2 | 調査の目的及び対象国 | 1-2 |
| 1.3 | 調査の内容 | 1-2 |
| 1.4 | 調査工程 | 1-3 |

2. 協力準備調査の品質向上

| | | |
|-------|-------------------------|------|
| 2.1 | 無償資金協力における道路事業の協力準備調査とは | 2-1 |
| 2.1.1 | 道路の設計とは | 2-1 |
| 2.1.2 | 協力準備調査における道路設計 | 2-1 |
| 2.2 | 設計基準の考え方 | 2-3 |
| 2.2.1 | 設計基準とは | 2-3 |
| 2.2.2 | 各国の設計基準 | 2-3 |
| 2.2.3 | 仕様規定と性能規定 | 2-6 |
| 2.3 | アフリカ地域における道路設計に関連する課題 | 2-11 |
| 2.3.1 | アフリカ地域における舗装の典型的破損形態 | 2-11 |
| 2.3.2 | 低速重車両による損傷 | 2-13 |
| 2.3.3 | 流動わだち掘れ | 2-15 |
| 2.3.4 | 水を原因とする構造的破損 | 2-19 |
| 2.3.5 | 土を原因とする構造的破損 | 2-22 |
| 2.4 | 調査・設計段階における注意点 | 2-23 |
| 2.4.1 | 類似プロジェクトからの情報収集 | 2-23 |
| 2.4.2 | 自然条件調査 | 2-24 |
| 2.4.3 | 既存道路状況調査 | 2-27 |
| 2.4.4 | 材料調達事情調査 | 2-28 |
| 2.4.5 | 精度の高い交通量調査及び需要予測 | 2-30 |
| 2.4.6 | 道路設計 | 2-32 |
| 2.4.7 | 舗装設計 | 2-38 |
| 2.4.8 | 排水計画と水理検討及び排水施設設計 | 2-54 |

3. 事業実施段階の品質向上

| | | |
|-------|-----------------|-----|
| 3.1 | 詳細設計と入札図書作成の留意点 | 3-1 |
| 3.1.1 | 詳細設計の内容 | 3-1 |
| 3.1.2 | 入札図書の内容 | 3-1 |
| 3.2 | 事業実施 | 3-2 |
| 3.2.1 | 施工監理と施工管理 | 3-2 |

| | | |
|-------|-------------|------|
| 3.2.2 | 施工管理における留意点 | 3-8 |
| 3.2.3 | 施工監理における留意点 | 3-17 |
| 3.2.4 | 完工検査と瑕疵検査 | 3-19 |

4. 熱帯地域アスファルト舗装の解説 (試案)

| | | |
|-----|---------------------|-----|
| 4.1 | 舗装解説の概要 | 4-1 |
| | 熱帯地域アスファルト舗装解説 (試案) | 4-2 |

添付資料

資料－1：主な参考文献

資料－2：アフリカでの無償資金協力による道路案件の実績

資料－3：参考資料

- A. 路面温度の計測結果
- B. ライフサイクルコストの試算例
- C. AASHTO GUIDE (1993) による舗装の設計例
- D. 多層弾性理論に基づく舗装構成の照査例
- E. SUPERPAVE と Refusal Density を用いた配合設計 (例)
- F. アスファルト量と WT 試験値に関する試験結果
- G. その他設計上の参考資料

【 表 】

| | |
|---|-------|
| 表 2-1. 幾何構造基準 | 2- 3 |
| 表 2-2. 調査対象各国の舗装設計法 | 2- 4 |
| 表 2-3. AASHTO と Road Note の比較 | 2- 5 |
| 表 2-4. 調査対象各国の排水設計法 | 2- 6 |
| 表 2-5. 主な改訂点 | 2- 8 |
| 表 2-6. 性能規定の概念 | 2- 9 |
| 表 2-7. 性能規定値の例 (エチオピア) | 2- 10 |
| 表 2-8. 無償資金協力事業における代表的な舗装構成事例 | 2- 11 |
| 表 2-9. WT 試験結果 | 2- 14 |
| 表 2-10. 日本における調査結果事例 | 2- 17 |
| 表 2-11. 舗装設計基準の比較項目 (案) | 2- 24 |
| 表 2-12. 一般的な自然条件調査 | 2- 25 |
| 表 2-13. 調査対象各国の路床調査 | 2- 27 |
| 表 2-14. 主な道路インベントリー調査項目 | 2- 27 |
| 表 2-15. 少なくとも実施されるべき舗装の材料調査 | 2- 29 |
| 表 2-16. タンザニア国キルワ道路交通量 | 2- 30 |
| 表 2-17. エチオピア国連邦道路 3 号線交通量 (アディス～デブレマルコス区間) | 2- 30 |
| 表 2-18. 調査対象各国の交通量及び軸重調査基準 | 2- 31 |
| 表 2-19. 交通量の伸び率を予測するためのパラメータ (例) | 2- 32 |
| 表 2-20. 調査対象各国の交通事故状況 | 2- 33 |
| 表 2-21. 自動車登録台数の推移 (タンザニア ダルエスサラーム市) | 2- 33 |
| 表 2-22. 舗装の性能と設計のアウトプット | 2- 38 |
| 表 2-23. 我が国の塑性変形輪数の基準値 (国交省令第 103 号) | 2- 39 |
| 表 2-24. その他アスファルト混合物 (路面) の評価試験 (参考) | 2- 40 |
| 表 2-25. 調査対象各国における改質アスファルト等の使用例 | 2- 42 |
| 表 2-26. 改質アスファルト等の使用に関する基準 | 2- 42 |
| 表 2-27. プラントミックスタイプの改質材料 (例) | 2- 43 |
| 表 2-28. 舗装設計における交通量の区分 (旧区分) | 2- 44 |
| 表 2-29. 耐流動対策の動的安定度 (DS) の目標値 (回/mm) | 2- 44 |
| 表 2-30. 比較を実施する舗装設計基準 | 2- 45 |
| 表 2-31. 設計法の概要 (1) | 2- 46 |
| 表 2-32. 設計法の概要 (2) | 2- 46 |
| 表 2-33. 膨張土と問題土の判定マトリックス (1) | 2- 48 |
| 表 2-34. 土の分類チャート (1) | 2- 48 |
| 表 2-35. 膨張土と問題土の判定マトリックス (2) | 2- 49 |
| 表 2-36. 土の分類チャート (2) | 2- 49 |

| | |
|-----------------------------------|-------|
| 表 2-37. タンザニアにおけるブラックコットンソイルの分類 | 2- 49 |
| 表 2-38. 分類別に示される対策工 | 2- 50 |
| 表 2-39. エチオピアにおけるブラックコットンソイル対策例 | 2- 51 |
| 表 2-40. 他国におけるブラックコットンソイル対策工基準 | 2- 52 |
| 表 2-41. 登坂車線の設置基準 (エチオピア) | 2- 52 |
| 表 2-42. 排水設計に必要な調査 | 2- 55 |
| 表 2-43. 架橋により懸念される事項及び水理検討内容 | 2- 57 |
| 表 3-1. 道路案件の詳細設計報告書の構成 (例) | 3- 1 |
| 表 3-2. 施工監理体制に関する調査結果 (日本人常駐監理者数) | 3- 5 |
| 表 3-3. 施工監理体制に関する調査結果 (ローカル技術者数) | 3- 5 |
| 表 3-4. 施工管理体制に関する調査結果 | 3- 6 |
| 表 3-5. サンプル調査の結果 | 3- 8 |
| 表 3-6. パフォーマンスグレード (PG) の例 | 3- 11 |
| 表 3-7. 交通量及び走行速度による PG の割増 | 3- 12 |
| 表 3-8. SUPERPAVE における骨材形状の基準 | 3- 12 |
| 表 3-9. 混合物の最大骨材粒径毎の Superpave 制御点 | 3- 13 |
| 表 3-10. 最新基準 (SP2) では削除された制限領域 | 3- 13 |
| 表 3-11. 出来形管理基準の例 (舗装施工便覧) | 3- 18 |
| 表 3-12. 品質管理基準の例 (舗装施工便覧) | 3- 19 |
| 表 3-13. 出来形の合格判定値の例 (舗装設計施工指針) | 3- 19 |
| 表 3-14. 品質の合格判定値の例 (舗装設計施工指針) | 3- 20 |
| 表 3-15. 施工瑕疵に係る制度 | 3- 21 |
| 表 3-16. 瑕疵内容 | 3- 22 |

【 図 】

| | |
|---------------------------------------|-------|
| 図 1-1. 調査工程 | 1- 3 |
| 図 2-1. 道路事業の一般的な流れ | 2- 2 |
| 図 2-2. 温度-針入度の関係 | 2- 16 |
| 図 2-3. 抜けきらない空気概念図 | 2- 17 |
| 図 2-4. 試験法と空気量及び流動化の関係 | 2- 18 |
| 図 2-5. 骨材の大きさ と 表面積 の 関係 | 2- 19 |
| 図 2-6. 舗装へ影響を与える可能性のある水の動き | 2- 20 |
| 図 2-7. サグ部における水の流れ (舗装破壊のメカニズム) | 2- 21 |
| 図 2-8. 想定されるポンピング現象 | 2- 22 |
| 図 2-9. 舗装温度と動的安定度の関係 | 2- 26 |
| 図 2-10. 破壊係数 (ESAL) の本調査とりまとめ結果 (3ヶ国) | 2- 31 |
| 図 2-11 信号交差点をラウンドアバウトに変更した事例 | 2- 34 |
| 図 2-12. 歩道等乗り入れ部の構造 (中部地整道路設計要領より) | 2- 37 |

| | |
|---|-------|
| 図 2-13. 緩速車線の構成 | 2- 37 |
| 図 2-14. 舗装設計の流れ (案) | 2- 38 |
| 図 2-15. 舗装タイプ別動的安定度の計測結果 | 2- 41 |
| 図 2-16. 耐摩耗耐流動対策の選定フロー | 2- 44 |
| 図 2-17. ブラックコットンソイル対策工 (TANROADS 舗装設計マニュアル) | 2- 50 |
| 図 2-18. ブラックコットンソイル層の含水比の変化 | 2- 51 |
| 図 2-19. 排水施設の種類 | 2- 57 |
| 図 2-20. 米国における路盤排水の設計例 | 2- 59 |
| 図 2-21. 変更標準断面図 (ガーナ 8 号線プロジェクト) | 2- 60 |
| 図 3-1. 舗装の設計から施工まで | 3- 2 |
| 図 3-2. エチオピア道路プロジェクト施工監理体制 (計: 14 名) | 3- 6 |
| 図 3-3. タンザニア国道路プロジェクト施工管理体制 (例) | 3- 7 |
| 図 3-4. アスファルト骨材粒度分布品質管理 (ふるい通過率外れ量) と不具合の程度 | 3- 8 |
| 図 3-5. アスファルトの骨材粒度分布と損傷の事例 | 3- 9 |
| 図 3-6. 骨材粒度の設計と制御点 | 3- 12 |
| 図 3-7. 締固め度と DS の関係 (ホイールトラッキング試験) | 3- 15 |
| 図 3-8. 技術検査の種別 | 3- 18 |

【 写真 】

| | |
|---|-------|
| 写真 2-1. 地下水による舗装破壊の原因 | 2- 12 |
| 写真 2-2. 縦断勾配のサグ部における路盤内の水による舗装破壊の原因 | 2- 12 |
| 写真 2-3. アスファルトの流動化によるわだち掘れの事例 | 2- 13 |
| 写真 2-4. 急カーブ区間の速度低下 (10km/h 以下) | 2- 13 |
| 写真 2-5. 勾配が 10%程度: アスファルトの染み出しが見られる | 2- 13 |
| 写真 2-6. 縦断勾配の急な曲線区間に発生した舗装のずれ | 2- 14 |
| 写真 2-7. 低速で走行する大型車両により発生したコルゲーション | 2- 14 |
| 写真 2-8. タンザニア国: 都市部幹線道路で発生したわだち掘れ | 2- 15 |
| 写真 2-9. エチオピア国: 急峻な山岳部の地方部幹線道路で発生したわだち掘れ | 2- 15 |
| 写真 2-10. エチオピア国: サグ部の水の影響により支持力が低下し破損した舗装 | 2- 20 |
| 写真 2-11. エチオピア国: 地下水の影響により、支持力が低下し破損した舗装 | 2- 20 |
| 写真 2-12. ガーナ国: 水みち区間 (表流水の集中区間) における舗装の喪失 | 2- 20 |
| 写真 2-13. 路盤からポンピングにより泥水が噴出するアスファルト舗装 | 2- 21 |
| 写真 2-14. 湿った状態のブラックコットンソイル | 2- 22 |
| 写真 2-15. 乾燥状態のブラックコットンソイル | 2- 22 |
| 写真 2-16. エチオピア国: ブラックコットンソイルの影響によるわだち掘れ | 2- 23 |
| 写真 2-17. エチオピア国: ブラックコットンソイルによる舗装破壊の典型的初期症状 | 2- 23 |
| 写真 2-18. エチオピア国: 車道部のみ舗装を行い、路肩は未舗装処理としている | 2- 35 |
| 写真 2-19. エチオピア国: 街中の駐車帯と幅広路肩が多目的に使われている。 | 2- 35 |

| | |
|--|-------|
| 写真 2-20. ガーナ国：路肩を利用した駐停車が多い区間…………… | 2- 35 |
| 写真 2-21. ガーナ国：路肩部の簡易舗装の破損…………… | 2- 35 |
| 写真 2-22. エチオピア国：路肩の舗装構成を本線と同じにしている。 …… | 2- 36 |
| 写真 2-23. 緩速車線（大阪市） …… | 2- 37 |
| 写真 2-24. 不飽和状態のブラックコットンソイル…………… | 2- 47 |
| 写真 2-25. 飽和状態のブラックコットンソイル…………… | 2- 47 |
| 写真 2-26. 土砂で埋まった横断管…………… | 2- 58 |
| 写真 2-27. ゴミ捨て場と化した横断函渠…………… | 2- 58 |
| 写真 2-28. 重量車両により破壊された側溝蓋…………… | 2- 58 |
| 写真 2-29. 道路から離れた位置の流末（河川） の状況…………… | 2- 58 |
| 写真 3-1. タンザニア国：平坦な地形の都市部幹線道路で発生したわだち掘れ …… | 3- 8 |
| 写真 3-2. エチオピア国：急峻な山岳部の地方部幹線道路で発生したわだち掘れ …… | 3- 8 |

略語集

| | | | |
|--------|--|--------|--|
| AASHTO | : American Association of State Highway and Transportation Officials | GNI | : Gross National Income |
| AC | : Asphalt Concrete | GVW | : Gross Vehicle Weight |
| AfDB | : Africa Development Bank | HDM | : Highway Development and Management |
| As | : Asphalt | HIPCs | : Heavily Indebted Poor Countries |
| BBR | : Bending Beam Rheometer | HWL | : High Water Level |
| BS | : British Standard | ITP | : Inspection and Test Plan |
| CBR | : California Bearing Ratio | IRF | : International Road Federation |
| CIA | : Central Intelligence Agency | IRI | : International Roughness Index |
| CML | : Central Material Laboratory | ISOHDM | : International Study of Highway Development and Management System |
| Co | : Concrete | HGV | : Heavy Goods Vehicle |
| DANIDA | : Danish International Development Agency | JICA | : Japan International Cooperation Agency |
| DBM | : Dense Bitumen Macadam | JIS | : Japan Industrial Standard |
| DBST | : Double Bitumen Surface Treatment | JTF | : Joint Task Force |
| DCP | : Dynamic Corn Penetration | JV | : Joint Venture |
| DD | : Detail Design | LCC | : Life Cycle Cost |
| DFR | : Department of Feeder Roads | MDL | : Maximum density line |
| DMS | : Detail Measurement Survey | MGV | : Medium Goods Vehicle |
| DS | : Design Standard | NEXCO | : Nippon Expressway Company |
| DS | : Dynamic Stability | NMT | : Non-motorized Traffic |
| DSR | : Dynamic Shear Rheometer | NTP | : National Transport Policy |
| DT | : Direct Tension | OD | : Outline Design |
| DUR | : Department of Urban Roads | ODA | : Official Development Assistance |
| EN | : Exchange of Note | ORN | : Overseas Road Note |
| ERA | : Ethiopian Roads Authority | PAV | : Pressure Aging Vessel |
| ERCC | : Ethiopian Roads Construction Corporation | PFI | : Private Finance Initiative |
| ESAL | : Equivalent Single Axle Load | PG | : Performance Grade |
| EU | : European Union | PI | : Plasticity Index |
| FAR | : Federal Acquisition Regulation | PI | : Professional Indemnity |
| FIDIC | : Fédération Internationale Des Ingénieurs-Conseils | PIARC | : Permanent International Association of Road Congress |
| FS | : Feasibility Study | PMA | : Polymer-modified Asphalt |
| GA | : Grant Agreement | PSI | : Present Serviceability Index |
| GCW | : Gross Combined Weight | PQ | : Pre-qualification |
| GDP | : Gross Domestic Product | QAM | : Quality Assurance Manual |
| GHA | : Ghana Highway Authority | QAP | : Quality Assurance Plan |
| | | QC | : Quality Control |

| | | | |
|----------|---|-------|---|
| RCCP | : Roller—compacted Concrete for Pavement | TRH | : Technical Recommendations for Highways |
| RD | : Rate of Deformation | TRL | : Transport Research Laboratory |
| RFI | : Request for Inspection | TRRL | : Transport and Road Research Laboratory |
| RI | : Radio Isotope | TSDP | : Transport Sector Development Programme |
| RRL | : Road Research Laboratory | TSIP | : Transport Sector Investment Programme |
| RSDP | : Road Sector Development Programme | UEMOA | : Union Economique et Monetaire Ouest Africaine |
| SA | : South Africa | UN | : United Nation |
| SATCC | : Southern Africa Transport and Communications Commission | VEF | : Vehicle Equivalent Factor |
| SBS | : Styrene-butadiene-styrene | VHGV | : Very Heavy Goods Vehicle |
| SCS | : Soil Conservation Service | VMA | : Voids in Mineral Aggregate |
| SGC | : Superpave Gytratory Compactor | WB | : World Bank |
| SHRP | : Strategic Higway Research Program | WC | : Wearing Course |
| SN | : Structure Number | WT | : Wheel Trucking |
| TANROADS | : Tanzania Road Authority | | |
| TICAD | : Tokyo International Conference on African Development | | |
| TOR | : Term of Reference | | |
| TPB | : Treated Permeable Base | | |

1. 調査の概要

1.1 調査の背景

わが国の政府開発援助（ODA）における無償資金協力とは、開発途上国等に資金を贈与する援助形態であり、開発途上国が経済社会開発のために必要な資機材、設備およびサービスを購入するために必要な資金を贈与するものである。無償資金協力は、開発途上国及び国際社会のニーズを踏まえて、迅速かつ機動的な援助を実施するものであり、相手国にも高く評価されている点から、その外交的効果は極めて高いものとされている。

無償資金協力では、被援助国政府との契約先が日本企業に特定され、日本の高度な技術を活用した質の高い援助を行うことが可能であり、また、日本人が現地において、現地スタッフと協働することにより「顔の見える援助」を行うことができるとされている。また、無償資金協力は、開発途上地域の中でも比較的所得水準の低い諸国・地域を中心として実施されており、その中でも道路整備事業は無償資金協力の代表的な一形態となっている。

アフリカ地域においても、運輸交通の基盤整備が遅れているために、国の経済発展が進まず、貧困の一因ともなっている。このため、持続的な発展と成長には、人や物の移動手段である運輸交通インフラの整備が不可欠であり、特に、道路整備は経済レベルによらず高いニーズがある。道路建設には多大な資金が必要とされるため、アフリカ各国では幹線道路・都市道路・地方道路の多くがドナーによる支援により整備されてきており、国や地域の経済的な成長、人々の生活の持続的な向上に貢献してきている。

こうしたアフリカ各国に対し、我が国も長年、道路整備の支援を進めてきており、その中でも無償資金協力は本邦技術により実施されるため、品質管理、工程管理、安全管理等の点で高い評価がされている。我が国は1993年よりアフリカ開発会議（TICAD）を継続的に開催し、特に2008年の TICAD IV では2012年までの対アフリカ ODA の倍増を公約する等、アフリカへの支援を拡大させており、そのモメンタムの中で道路整備事業も多数が計画され、実施されてきている。

アフリカにおいては気象条件（温度、降雨等）や道路の供用条件（運転マナー、大型車混入率、軸重管理等）が我が国にない過酷な状況にある場合がある。また、維持管理も日本のような頻度・レベルは望めない。また、施工環境も日本とは異なり、材料は砕石の段階からアスファルト合材に至るまで施工業者が自前で生産することが多い。加えて技術力のある現地技術者の確保は容易でない、といった課題があるものと認識される。

このような環境下では、

- ① 我が国の経験に基づく設計・施工の基準や手法、ノウハウが求められているものの単純には適用できないことから、当該国における設計基準、設計手法、品質管理基

準、検査基準等の得失を十分理解し、活用することが求められる。

- ② 実施体制についても、下請け業者等の確保可能な現地リソースを理解したうえで、プロジェクト毎に構築する必要がある。
- ③ 資材、建機も同様であり、現地の調達事情を踏まえて計画されなければならない。

本業務はアフリカ地域での無償資金協力による道路舗装事業の設計及び施工の段階において、一般化が容易と考えられる上記①について JICA の担当者及び事業関係者が参考とできる基礎資料を作成することを目的とする。ただし、アフリカ諸国での調査を基にしていることから、特に舗装については、高温・湿潤な地域を念頭に置いた対策を中心にしており、寒冷地や高温であっても乾燥した地域については、別の考え方が必要であることに注意が必要である。

1.2 調査の目的及び対象国

1.1に述べた背景のもと、調査の目的は以下のように整理される。

【調査実施の目的】

JICA の担当者及び事業関係者向けに、対象国（エチオピア、タンザニア、ガーナ）における無償資金協力による道路舗装事業の設計及び施工段階で参考となる、設計基準、設計手法（及びノウハウ）、品質管理基準（及びノウハウ）、検査基準等を基礎資料としてとりまとめ、本基礎研究の成果を我が国が実施するアフリカ地域における道路整備事業に反映させることにより、事業効果の向上および事業の効率化に資することを目的とする。

【調査務実施の対象国】

対象国：タンザニア連合共和国、エチオピア連邦民主共和国、ガーナ共和国

【相手国側関係機関】

相手国側関係機関：運輸・交通および道路を主管する各国省庁

- ・ タンザニア：Ministry of Infrastructure Development, TANROADS
- ・ エチオピア：Ministry of Infrastructure, Ethiopian Roads Authority
- ・ ガーナ：Ministry of Road & Highway, Ghanaian Highway Authority

1.3 調査の内容

上記1.2に記載した調査目的を達成するために実施した調査の内容は以下のとおりである。

① 設計基準・設計手法・品質管理基準・検査基準の基礎資料の作成

JICA の担当者及び事業関係者向けに、対象国（エチオピア、タンザニア、ガーナ）における無償資金協力による道路事業の設計及び施工段階で参考となる、設計基準、設計手法（及びノウハウ）、品質管理基準（及びノウハウ）、検査基準等の基礎資料とし

て取りまとめる。

② 日本における舗装設計・施工関連基準と対策の収集・整理

道路舗装に関連する設計基準、品質基準に関する資料を収集するとともに、具体的な重車両対策、わだち掘れ対策、排水対策、契約書、施工監理計画書、施工計画書、完工時の検査項目、頻度、方法、瑕疵基準の資料についても収集を行い、これらを整理する。

③ 対象3か国における舗装設計・施工関連基準と対策の収集・整理

調査対象3ヶ国において、上記②と同様に資料の収集・整理を行う。

④ 対象3か国における道路整備事業に係るヒアリング／アンケートの実施

具体的なプロジェクトの担当者を対象に、調査対象各国において、具体的な都市内主要道路と地方幹線道路に携わる担当者（担当会社）を対象にヒアリングとアンケート調査を実施する。この結果に基づき、設計・品質管理において配慮した点、問題となった点、問題意識の把握を行う。

⑤ 室内試験による事象の分析

現地調査で得られた知見、及び発生している舗装の不具合に対して、その原因の一端であると想定される事項について国内において試験を実施し、その結果を提言、及び配慮事項の取りまとめに反映させる。

⑥ 比較分析および提言・配慮事項の取りまとめ

収集した資料を基に、我が国の基準を比較基準として分析し配慮事項を取り纏める。

1.4 調査工程

本調査は、2012年2月下旬から2013年3月までの約13ヵ月間で実施された。現地調査は二次にわたり実施され、第一次現地調査では調査対象各国（タンザニア、エチオピア、ガーナ）において、可能な限り資料の収集、関係者へのヒアリングを実施した。第2次現地作業では、「第一次現地調査」及び「第二次国内作業」結果を踏まえ、不足する資料の収集と追加のヒアリング、現地調査を実施した。

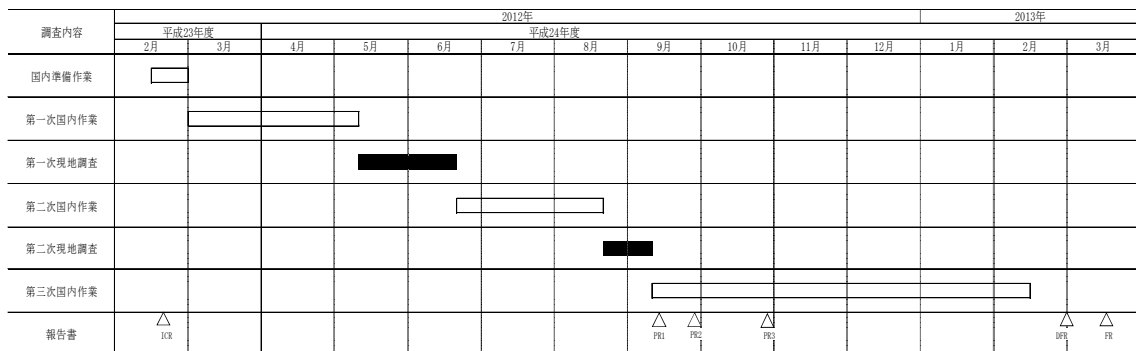


図1-1. 調査工程

2. 協力準備調査の品質向上

2.1 無償資金協力における道路事業の協力準備調査とは

2.1.1 道路の設計とは

道路の設計は、基本的に幾何構造設計と各種道路施設設計の2つに分けることができる。幾何構造設計とは、道路の線形（平面・縦断）を決めることであり、自動車の運動力学的特性と、これを運転する運転者および歩行者の人間工学的特性を基礎とした幾何構造基準に沿って行われる。

各種道路施設の設計とは、交差点やインターチェンジなどの交通施設、橋やトンネルなど道路の一部を形成する構造物、排水施設、舗装、安全施設（例えばガードレールや照明）など、道路を安全に管理・運用していくために必要な施設を設計することである。これらの設計は構造力学の他、水理・水文学、地質学、材料工学など、さまざま分野からその設計体系が構築されている。また、直接的な道路施設ではないが、道路用地を決定する幅杭設計も道路施設設計の一部である。なお、舗装の路面・構造設計については“2.4.7舗装設計”に記載する。

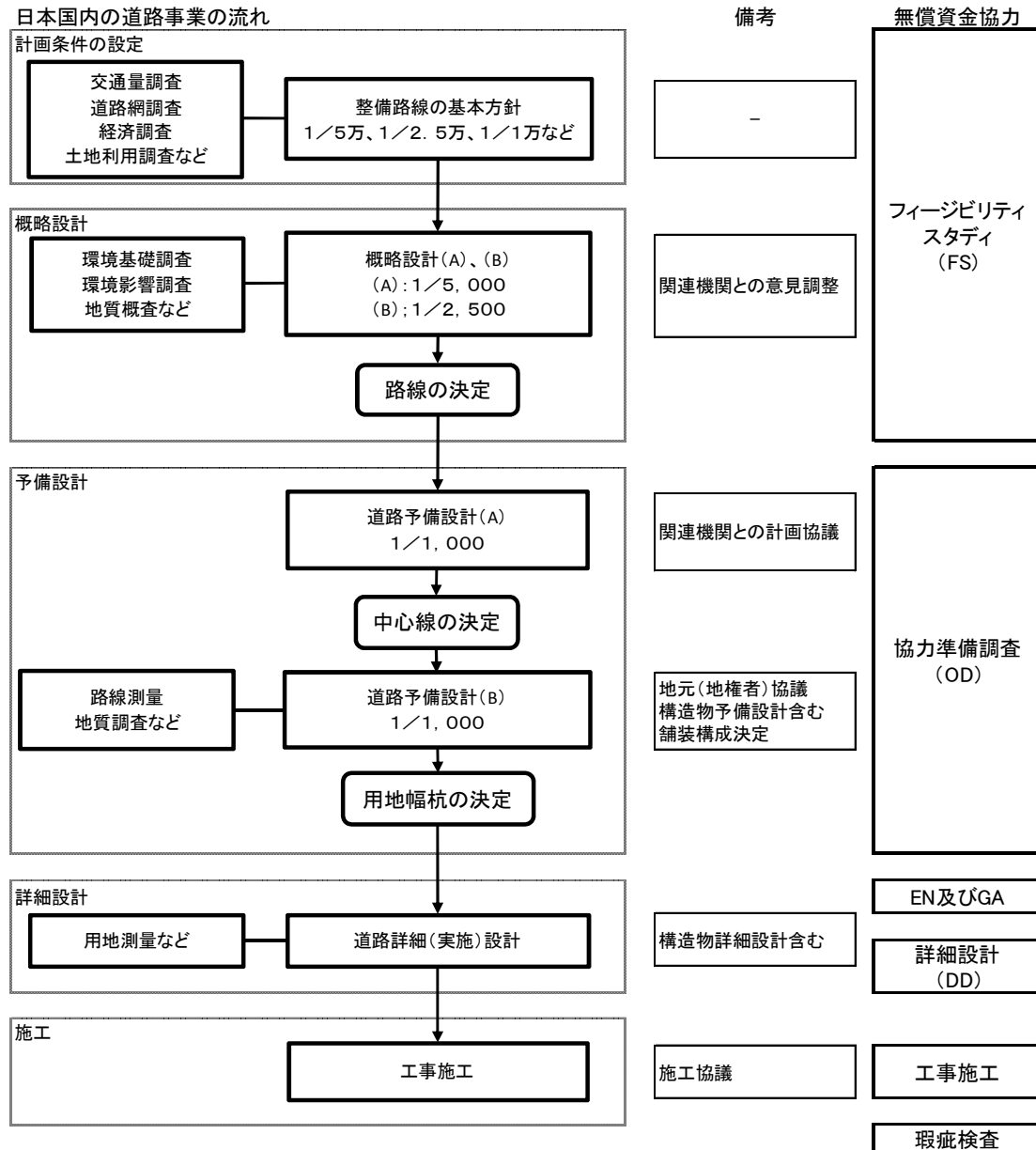
2.1.2 協力準備調査における道路設計

図2-1に、我が国における一般的な道路事業の流れを示す。また、無償資金協力事業の流れについても併せて示した。無償資金協力事業の準備調査で実施されなければならない内容は以下のとおりである。

- ① コンサルタントが、現地の状況、収集資料、及び他のプロジェクトの情報などを基に、道路の建設、運用に必要な設計条件の設定を行い、JICA 及び相手国政府の承認を受ける。
- ② その設計条件に基づいて、図2-1の日本国内の道路事業の流れの中の道路予備設計（A）及び（B）に相当する作業を行う。具体的には、実測測量図（縮尺1/500～1/1,000）に基づいて、平面線形、縦横断線形の比較案を策定し、施工性、経済性、維持管理、走行性、安全性及び環境等の総合的な検討と橋梁、トンネル等の主要構造物の位置、概略形式、基本寸法を計画し、技術的、経済的判定によりルートを中心線、及び用地幅を決定する。また、既存資料及び現地踏査の結果に基づいて用排水系統の計画、流量計算を行い、用排水構造物を設計する。主要な構造物（橋梁、函渠等）については、3案程度を比較工種とし比較検討を行い、最適案に対して基本形状を決定するために必要な概略設計計算を実施する。
- ③ 計画された道路に対して、実施（詳細設計、施工監理、施工）に必要な概算事業費を積み上げにより算出する。「無償資金協力本体事業にかかるガイドライン等」では、協力準備調査における概算事業費と本体事業の積算との差が±10%に収まるこ

とが必要とされているが、実際の運用上プラス側（増額）は困難なことが多いため注意する必要がある。

- ④ 概算事業費算定の際には、必要に応じて予め予期できない事態に対応するための追加支出の原資となる「予備的経費¹」の必要性について検討を行う。



注：無償資金協力事業においては、フィージビリティスタディが実施されていないこともある。

図2-1. 道路事業の一般的な流れ

¹予備的経費：無償資金協力事業における受注者（業者及びコンサルタント）が負うべきリスクをある程度軽減し入札参加者の誘引と案件の円滑な実施を図ることを目的導入された制度。対象となる事象は、1. 治安悪化、2. 自然災害、3. 自然条件等の設計との相違、4. 経済状況・市場の変化、5. 被援助国政府負担事項の遅れ・不履行による損害。（予備的経費試行運用マニュアル：平成22年12月22日より）

2.2 設計基準の考え方

2.2.1 設計基準とは

設計基準とは、設計者が異なっても、同程度の構造物が設計されるように規定された準拠すべき基準である。アフリカ地域においても、我が国と同様に土木構造物に対する設計基準が各種定められており、それらを適切に理解し運用することが重要である。

例えば、タンザニア国やエチオピア国の舗装設計基準のように、一定の交通量（累積軸重：ESAL）を超えると適用できないものや、地方道路を想定した幾何構造基準であるため、都市内道路の基準として適用できないような事例がある。このような場合に、類似事業にて適用された基準の採用経緯や、我が国の基準の適用の可能性について考慮することが必要となる。このように、各種設計基準制定にあたって参考とされた基準、基準として定められた数値の根拠や背景を理解し、その基準が対象事業ごとに適用できるかどうかを確認することも重要である。

特に、我が国の各種設計基準では、指定した資材や品質が間違いなく調達できることを前提としている。また、日本の工業規格（JIS規格）に適合した製品の使用を前提となっていることが多い。このような前提条件が適用できない地域において、我が国の基準を用いる場合には十分な注意が必要である。

2.2.2 各国の設計基準

（1）幾何構造基準

幾何構造基準とは、経済性に配慮しながらも交通の安全性や快適性、あるいは設定されたサービスの水準を満足するよう、道路の設計を行う際の基準であり、日本では道路構造令に道路の幅員、建築限界、線形、視距、交差または接続等の道路構造の最も重要な幾何構造基準が道路の規格とともに規定されている。また、調査対象各国においても、日本の道路構造令と同様の幾何構造基準が表2-1のように存在する。

表2-1. 幾何構造基準

| 対象国 | 日本 | エチオピア | ガーナ | タンザニア |
|------|-----------------------------------|---------------------------|-------------------------|--------------------------------------|
| 設計基準 | ・道路構造令（道路法に基づく政令） ・道路構造令の解説と運用 | Geometric Design Manual | Road Design Guide | Draft Road Manual |
| 発刊元 | ・上記は政令 ・「解説と運用」は日本道路協会 | Ethiopian Roads Authority | Ghana Highway Authority | Ministry of Communications and works |
| 発行年 | 2004年改訂 | 2002年 | 1991年 | 1989年 |

（2）舗装設計基準

調査対象各国で使用されている舗装設計基準は表2-2のとおりである。仕様設計法を適用しているエチオピアとタンザニアについては、使用する材料の仕様が規定されて

いるため、材料調査などにより規定の材料が入手できることを確認することが必要である。

表2-2. 調査対象各国の舗装設計法

| 対象国 | 日本 | エチオピア | ガーナ | タンザニア |
|-------------------------|--|--|--|---|
| 設計基準 | 舗装設計便覧 (平成 18 年 2 月) | Pavement Design Manual 2002 | Pavement Design Manual 1998 | Pavement and Material Design Manual 1999 |
| 参考とされた 基準類 | - | Transport Research Laboratory Overseas Road Note 3 and 31 AASHTO Guide 1993 | AASHTO Guide 1993 | AUSTROADS (1992): Pavement Design BOTSWANA ROAD DESIGN MANUAL (1994) TECHNICAL RECOMMENDATION FOR HIGHWAYS (TRH): South Africa |
| 適用限界 (標準軸重累 積通過数) | 無し | 30 x 10 ⁶ | 無し | 50 x 10 ⁶ |
| 設計法 | 性能規定設計法 | 仕様設計法 | 経験的設計法 (米国 AASHTO の設 計法を採用) | 仕様設計法 |
| 備考 | 要求される性能を満足すれば、どのような設計法を用いてもよい。参考として経験的設計法 (TA 法)、理論的設計法 (多層弾性理論) が記載されている。 | 社会情勢の変化、道路整備の拡大、交通量の増加の他、舗装技術の進化に対応するために、適用限界を無くした基準の改訂中。(2011 年版として発行予定。現在ドラフト版が完成している。) | 新たな舗装材料(改質アスファルト等)や試験方法 (Superpave、ホイールトラッキング試験等)に対応するため、基準の改訂予定あり。(構想中であるが、今年中に正式に決定する予定) | コンクリート舗装等の剛性舗装には対応していない。 |

また表 2-3 に各国の設計基準作成時に参考となった基準の内、世界的に最も広く普及し使用されている「AASHTO Guide 1993」と、各国の基準ができる以前のアフリカ地域における一般的な基準とされていた「Road Note 31」の設計思想の違いについて示す。アフリカ地域の多くの国が「Road Note 31」の設計思想に従っているのは、実際他に熱帯・亜熱帯諸国の実態を反映した基準がなく、使いやすさと相まって広く普及していることがその理由である。

現在、「Road Note 31」の適用限界が 30×10⁶と各国の舗装設計基準の適用限界以下であることから、交通量の多い都市部の道路の舗装設計に使用されることは少ないが、地方部の幹線道路や表層のアスファルトコンクリートを薄層 (5cm) とする場合には、「Road Note 31」が適用基準とされる場合がある。

表2-3. AASHTO と Road Note 31の比較

| 基準名 | AASHTO Guide 1993 | Road Note 31 |
|-------------|--|---|
| 作成国 | 米国 | 英国 |
| 作成年 | 1993年 | 1962年（初版） 1966年、1977年（改定） |
| 概要 | AASHTO 舗装設計法は、1950年代に実施された AASHTO 道路試験の結果に基づき、統計解析技術を駆使して作られた設計法であり、観測された破壊形態から、舗装構造と交通荷重の関係を見出した。この現場の経験に基づいた設計法を経験的設計法といい、AASHTO 舗装設計法はその代表格である。 | イギリスの Transport Road Research Laboratory (TRRL：現 Transport Research Laboratory) の作成した基準。これまでに多くのイギリス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 から 31 が基本である。 |
| 設計法 | 経験的設計法 | 仕様設計法 |
| 適用限界 (ESAL) | 無し (チャートの上限は 50×10^6) | 30×10^6 |
| 設計の流れと特徴 | ① AASHTO 道路試験で得られた経験的情報から、「交通量」「設計および供用性」に対する【信頼性】【路床の支持力】【舗装構成】が関係する基本式を作っている。 ② 舗装の構成は、各層ごとに求まる厚さと層係数および排水係数の積の総和が必要な構造指数を満足するように決定する。 | ①計画交通量および等価車軸荷重、設計期間の設定 ②路床となる対象地盤の支持力の評価 ③カタログより、①～②の条件、及び使用する材料に基づき舗装構成を選定。 |
| 荷重支持の考え方 | 表層のアスファルトは有力な支持層であり、各層の強度に応じて支持力を分担する。 | 表層のアスファルト層は雨水の侵入防止、防塵といったシールの機能であり、荷重は路盤以下で支持するものが主流（アスファルトコンクリートを主としたものも選択可能） |
| 荷重 | 18kip (8.2tf) 等価単軸荷重 (ESAL) | 8.2tf 等価単軸荷重 (ESAL) |
| 舗装の層構成 | 表層、基層、上層路盤、下層路盤からなる。 | 表層、基層、上層路盤、下層路盤からなる。 |
| 設計基本式 | 基本設計式は AASHTO 道路試験から導かれたもので、式から各舗装厚を決定している。(添付資料-C 参照) | 設計はすべてカタログ化され、軸重クラス、路床強度、使用材料から選定 |
| 各層厚の設計手順 | まず表層厚さを交通荷重と上層路盤の弾力係数から決定し、次に上層路盤は、表層で受け持つ力を差し引いた残りの荷重と下層路盤の弾力係数から決定、と順次決定していく。各層厚は一義的に決定する。 | 交通量と路床の支持力 (CBR 値) によって、経験から導かれた、カタログ (舗装構成図集) から選定。 |
| 路床 | 厚さの規定：記述なし。 路床の定義：その上に舗装構造あるいは路肩を施工する路床の上面(路床と路床土は区別されている)。 | 厚さの規定：記述なし。 路床の支持力が 2～7%の場合、路床上面に Capping Layer (CBR \geq 15%以上の材料) を設ける。(2%以下は良質材で置き換え) |
| 路床の評価法 | 従来の CBR 評価から、季節に含水比変化を考慮したレジリエントモデュラス (MR) による評価に移行している MRは室内試験等によって得られる。 | 支持力評価は CBR。 設計 CBRは調査結果を大きいものから並べた時の 90%値を使用。 S1-S6 (CBR2-30) で区分されている。 |
| 排水の考え方 | 排水は重要であり、表面排水、地下排水、構造的な排水への考慮を求める。 凍上は致命的であり特に注意を要するとの背景あり。 | 雨水が路盤に絶対入らないようにすることはできないので、路盤内の水をできる限り早く法面に排水することが肝要と明示。 |
| その他 | AASHTO 設計に比べて、路盤・路床の排水に注意が必要。 配合設計にも触れ、わだち掘れ対策としてリフューザル・デンシティー（骨材のかみ合わせを重視したもの）を導入。 | 構造設計（各層厚）は AASHTO のみで、米国では配合設計は Superpave（骨材のかみ合わせを重視したもの）によって対応することとなる。 |

（3）排水設計基準

舗装に要求される性能は排水施設の設置を前提として確保されている。排水施設の不備は舗装破壊の原因ともなることから、適切な排水施設の設置は道路（舗装）にとって重要である。表 2-4 に各国で使用されている排水設計基準を示す。

表2-4. 調査対象各国の排水設計法

| 対象国 | 日本 | エチオピア | ガーナ | タンザニア |
|---------------|---|---|---|---|
| 設計基準 | 道路土工 排水工指針 【S62日本道路協会】 | Drainage Design Manual 2002 (現在改定中) | Highway Drainage Manual (Second Edition) | なし |
| 流出量の 算定方法 | ①合理式 | ①合理式 ②SCS Synthetic Unit Hydrograph* | ①合理式 ②The Natural Resources and Conservation Service Methods* | ①合理式 ②The TRRL East African Flood Model |
| 算定方法の 適用範囲 | 備考参照 | ①< 0.5km ² ②> 0.5km ² | ①< 25.0km ² ②> 25.0km ² | ①< 1.0km ² 1.0km ² <②<200.0km ² |
| 降雨強度 | 「道路土工—排水工 指針」2-1-2による。 | マニュアル内に各 地域の短時間降雨 強度が確率年別に グラフにて示され ている。 | マニュアル内に各 地域（14 地域）の 短時間降雨強度が 示されている。 | ダルエスサラーム周 辺については、ダル エスサラーム空港の気 象観測所から限定的 に入手することができる。 |
| 備考 | 合理式の一般的な適 用範囲は、ほぼ 40 km ² 以下の流域とされる が、実用的には流域の 表層条件・降雨条件が ほぼ一様と見なされ る限り、200 km ² 程度 までは利用できると されている（河川砂防 技術基準）。200 km ² を超えるような流域 で使用する場合は、注 意を払わなければな らない。 | 降雨強度について は、Log Pearson III 型を使用して各確 率年の降雨強度を 算定することも推 奨されている。ただ し、少なくとも 10 年以上の降雨デー タが入手できる場 合に限られている。 | 短時間降雨強度のデ ータは、「Maximum Rainfall Intensity-Duration Frequencies in Ghana (1974)」に示 されたものであり、 およそ 40 年前に作 成された。 | East African Flood Model は東アフリカの 内陸部では有効な方法 であるが、降雨量の多 い沿岸部での使用には 適していないとの意見 もある。 |

※NRCS (Natural Resources and Conservation Service) の旧名称が SCS であり、アメリカ農務省の出版における算出式である。この算出式は全体の降雨流出量から浸透、蒸発、窪地による貯留等を考慮して流出量を算出する。合理式では流出係数でしか地表面の特徴を表すことができないため、流域面積によって算出方法を変えている。したがって、その国自体で対象流域の特徴による係数（地表面（土壌分類）による係数）を変えているため、流域面積による合理式の適用範囲も異なる。

2.2.3 仕様規定と性能規定

（1）性能規定とは

現在、我が国の土木設計基準は、仕様規定から性能規定へ移行している。仕様規定が対象施設の材料や工法、寸法を具体的に規定するものであるのに対して、性能規定は、構造物に要求される「性能」を規定するものである。性能規定は、構造物全体やある部位の要求性能を規定して、あわせて性能の検証方法や試験方法を示す。つまり、構造物の完成までのプロセスは求められずに結果を求める方法である。材料や工法等のプロセ

スを規定しない性能規定の導入によって、技術者の裁量が広がるといわれる。設計や施工の自由度が増し、新技術が導入しやすくなる。技術競争が盛んになり、工事期間短縮やコストダウンのチャンスが増す。半面、個人や会社の技術力の差が如実に表れ、格差も広がる。

（２）舗装の性能規定の導入

我が国の舗装は、アスファルト舗装やセメントコンクリート舗装の要綱等に基づき設計や施工がなされてきた。このため、完成品が目標となる性能を発揮できるように、材料や施工法について一定の条件を規定する「仕様規定発注方式」を採用してきた。しかし、「仕様規定発注方式」では：

- 新技術（材料、施工法等）が導入されにくい
- コスト低減が図りにくい
- 地域や条件によるニーズの違いに対し仕様規定は柔軟性に欠ける等

の課題が挙げられていた。このため、コスト縮減や新技術の導入を推進しやすい発注方式に移行すべく、平成10年度に、舗装の必要性能だけを規定し、舗装構成、材料、施工方法に関しては受注者の技術提案を受け入れるといった性能発注方式が初めて試行的に行われることになった。その後、平成13年4月の「道路構造令」の改正と同年6月の「舗装の構造に関する技術基準」の策定を経て、舗装の性能規定化が正式に定められた。性能規定での新たな変更点は以下の通りである。

- **性能規定の導入（設計方法を限定せず）：** 設計方法を限定しないで性能指標（疲労破壊輪数等）のみを規定することにより、それまでの T_A 法²で行われていた設計方法に自由度を与え、コスト縮減、新技術の導入を推進。
- **設計期間にライフサイクルコストの考え方を導入（設計期間を限定せず）：** 現在、原則として10年で設計している設計期間を、供用後の管理にかかる費用、施工時の当該道路交通および沿道への影響等を総合的に勘案して設定することにより、耐久性の向上、コスト縮減を推進するとともに、渋滞対策の一方策とする。
- **舗装の性能指標を設定：** 自動車の安全かつ円滑な交通を確保するために、車道および側帯の舗装が備えるべき性能指数（疲労破壊輪数、塑性変形輪数、平坦性、浸透水量）を設計する。

また、仕様規定から性能規定への変更に伴う、主な改訂点は表2-5の通りである。

² T_A 法とは路床の支持力と舗装計画交通量から必要とされる等値換算厚（舗装厚）を求め、この等値換算厚を下回らないように舗装構成を決定する方法である。

表 2-5. 主な改訂点

| | 新基準 | 旧基準 | 備考 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|--|--|-------------------|----------------------------|----------------------------|----------------|-----------|--------------|-----------|------------|---------|-------|--------|---|----|-----------------|-----|---------|-----|----------------|-----|--------------|-----|------------|-----|-------|----|
| 1. 性能規定の導入 | 設定された性能指標の値を満足するように行う。 主な性能指標 ・塑性変形輪数（路面設計） ・平坦性（路面設計） ・浸透水量（路面設計） ・疲労破壊輪数（構造設計） | 厚さ、締め固め度を規定すると共に、材料、作業標準等を限定する仕様規定としている。 | 変更 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2. ライフサイクルコスト | 維持、修繕を行いながら交通に供用するため、ライフサイクルコストの観点から設計期間を設定する。一般国道で20年が目安。 | 設計期間（一般値） アスファルト舗装10年 コンクリート舗装20年 | 変更 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 3. 舗装設計交通量の割り増し | 重要な道路については、状況に応じて、舗装計画交通量のベース（疲労破壊輪数）を割増し、信頼性を高めた設計を行う事ができる。 信頼性50% 交通量換算1倍 信頼性75% 交通量換算2倍 信頼性90% 交通量換算4倍 多車線道路においては、交通状況を勘案し、車線別交通量を用いる事もできる。 | 設計期間における平均の1日1方向あたりの大型車交通量を用いる。 （交通量の割増は行わない） | 変更 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 4. 疲労破壊輪数の採用 路面に49kNの輪荷重を繰り返し加えた場合に、舗装にひび割れが生じるまでに要する回数 | 舗装の構造設計は、下記に示す疲労破壊輪数によって行う。 <table border="1" style="margin-left: 20px;"> <thead> <tr> <th>舗装計画交通量 (台/日)</th> <th>疲労破壊輪数 (回/10年)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>3,000以上</td> <td>35,000,000</td> </tr> <tr> <td>1,000以上3,000未満</td> <td>7,000,000</td> </tr> <tr> <td>250以上1,000未満</td> <td>1,000,000</td> </tr> <tr> <td>100以上250未満</td> <td>150,000</td> </tr> <tr> <td>100未満</td> <td>30,000</td> </tr> </tbody> </table> *「L～D交通」の呼称は廃止した。 | 舗装計画交通量 (台/日) | 疲労破壊輪数 (回/10年) | 3,000以上 | 35,000,000 | 1,000以上3,000未満 | 7,000,000 | 250以上1,000未満 | 1,000,000 | 100以上250未満 | 150,000 | 100未満 | 30,000 | 交通量の区分 <table border="1" style="margin-left: 20px;"> <thead> <tr> <th>区分</th> <th>大型車交通量 (台/日)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>D交通</td> <td>3,000以上</td> </tr> <tr> <td>C交通</td> <td>1,000以上3,000未満</td> </tr> <tr> <td>B交通</td> <td>250以上1,000未満</td> </tr> <tr> <td>A交通</td> <td>100以上250未満</td> </tr> <tr> <td>L交通</td> <td>100未満</td> </tr> </tbody> </table> | 区分 | 大型車交通量 (台/日) | D交通 | 3,000以上 | C交通 | 1,000以上3,000未満 | B交通 | 250以上1,000未満 | A交通 | 100以上250未満 | L交通 | 100未満 | 追加 |
| 舗装計画交通量 (台/日) | 疲労破壊輪数 (回/10年) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 3,000以上 | 35,000,000 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1,000以上3,000未満 | 7,000,000 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 250以上1,000未満 | 1,000,000 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 100以上250未満 | 150,000 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 100未満 | 30,000 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 区分 | 大型車交通量 (台/日) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| D交通 | 3,000以上 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| C交通 | 1,000以上3,000未満 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| B交通 | 250以上1,000未満 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| A交通 | 100以上250未満 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| L交通 | 100未満 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 5. 塑性破壊輪数の採用 舗装の表層の温度を60℃し、舗装路面に49kNの輪荷重を繰り返し加えた場合に、当該舗装面が下方に1mm変位するまでに要する回数 | 下記の指標を満たす舗装構造および表層材料にするために、基準値（下限値）を設定した。 <table border="1" style="margin-left: 20px;"> <thead> <tr> <th>区分</th> <th>計画交通量 (台/日)</th> <th>塑性変形輪数 (回/mm)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>第1種・第2種・第3種1級および第2級・第4種第1級</td> <td>3,000以上</td> <td>3,000</td> </tr> <tr> <td>その他</td> <td>3,000未満</td> <td>1,500</td> </tr> <tr> <td>その他</td> <td></td> <td>500</td> </tr> </tbody> </table> | 区分 | 計画交通量 (台/日) | 塑性変形輪数 (回/mm) | 第1種・第2種・第3種1級および第2級・第4種第1級 | 3,000以上 | 3,000 | その他 | 3,000未満 | 1,500 | その他 | | 500 | 規定なし | 追加 | | | | | | | | | | | | |
| 区分 | 計画交通量 (台/日) | 塑性変形輪数 (回/mm) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 第1種・第2種・第3種1級および第2級・第4種第1級 | 3,000以上 | 3,000 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| その他 | 3,000未満 | 1,500 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| その他 | | 500 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 6. 浸透水量 | 排水性舗装、透水性舗装等の浸透水量（下限値）を規定した。 <table border="1" style="margin-left: 20px;"> <thead> <tr> <th>区分</th> <th>浸透水量 (ml/15秒)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>第1種・第2種・第3種1級および第2級・第4種第1級</td> <td>1,000</td> </tr> <tr> <td>その他</td> <td>300</td> </tr> </tbody> </table> | 区分 | 浸透水量 (ml/15秒) | 第1種・第2種・第3種1級および第2級・第4種第1級 | 1,000 | その他 | 300 | 規定なし | 追加 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 区分 | 浸透水量 (ml/15秒) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 第1種・第2種・第3種1級および第2級・第4種第1級 | 1,000 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| その他 | 300 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 7. 舗装材料の緩和 | 使用材料は、設計条件、施工条件および気象条件等から求められる要求性能に応じて選定する。 | 使用材料が規定されている。 | 変更 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

出典：改訂講習会資料より

（3）我が国の性能規定発注の現状

我が国では、舗装工事において「性能規定」が適用される場合、以下の発注方式が主なものとなっている。

① 性能規定発注

完成系の性能を性能指標により規定し、各層の品質・施工方法・設計方法は問わない。（場合によっては、各層の品質・施工方法・設計方法を規定することもある。）

表 2-6. 性能規定の概念

| | 仕様規定 | 性能規定（1） | 性能規定（2） | 性能規定（3） |
|--------|------------------|------------------|----------|---------|
| 性能の規定 | - | ○ | ○ | ○ |
| 出来形・品質 | 規定 | 規定 | 一部を事前に決定 | 規定せず |
| 施工方法 | 限定 | 限定 | | 限定せず |
| 設計方法 | T _A 法 | T _A 法 | 限定せず | 限定せず |

性能規定（1）：従前の仕様規定の舗装をその有する性能で規定する。

性能規定（2）：完成した舗装の性能は規定するが、設計方法や施工方法は限定しない。

性能規定（3）：完成した舗装の性能のみ規定するが、各層の出来形・品質も規定しない。

出典：調査団作成

性能規定（1）から（3）へは、順次移行していくこととなっており、現在点では性能規定（1）が主流である。

② 総合評価落札方式

新技術の導入は、初期の段階ではコスト高となる場合が多いため、性能指標の提案値と工事価格の両面から落札者を決定する方式。

ただし、性能規定の導入には課題もある。深刻な課題は、要求性能に達しているかどうかを確かめる検証方法や試験方法を確立するのが難しい。これに対して、合理的な構造物の耐久設計が重要になっている。さらに性能規定発注には、以下のような課題もある。

- 実績が多く、性能確認が容易な工法にシフトし、必ずしも新しい工法の適用へのインセンティブが十分には働いていない場合がある。
- 今後性能規定による発注が自治体レベルへ拡大していく中、気象条件・交通量等現地の条件に合わせた材料・工法の選定をよりの確に行う必要がある。
- 発注者側は、性能を正しく評価するための技術水準が要求される。
- 発注形態毎の評価方法の確立。（例えば、結果的に価格競争で決まる事も多いため、技術力に対する評点のアップ等）

出典：鋼橋における性能設計の調査・研究（H14-H16）

（４） 海外における性能規定発注の現状

性能規定による発注方式は海外でも採用されており、主な発注方式として以下のよう
なものがある。

①Performance Specification

舗装に関する要求事項や管理目標値が具体的に示された仕様

例：ラフネス、すべり抵抗、わだち掘れ等の項目について規格値を設定

②Performance-based Specification

性能を予測することの可能な要因の試験結果を用いる仕様

例：試験で確認された、年平均日交通量毎の値を規格値として設定

③Performance-related Specification

舗装の供用性に関連する舗装性能と材料の品質特性に基づいて作成される仕様

例：舗装性能の1つ、わだち掘れを、アスファルト量や空隙率で規定

その他の契約事例（スウェーデン）として、ある期間経過した後の性能が規格値内に
あれば報奨金を、規格値外は違約金を支払う契約ある。この場合、要求性能の達成度
により金額も変動する。アフリカ地域での適用事例として、以下 Box-2.1 に示したエチ
オピアの例がある。

Box-2.1：アフリカ地域における性能規定発注の例

エチオピア国にて、中国の融資で実施されている「Addis Ababa Adama Toll Motorway Project」
では、供用後1年間の瑕疵期間、その後4年間のメンテナンス期間が設定されており、建設
業者はその間の品質（性能）を保証しなくてはならない。施工監理を実施しているBES（中国
コンサルタント）によれば、施工監理の対象期間は瑕疵期間までであり、品質保証期間には
関与しないとのことであった。表2-7に規定される性能規定値を示す。

表2-7. 性能規定値の例（エチオピア）

| | |
|---|---|
| <p>評価項目</p> <p>平坦性 すべり抵抗値 舗装の損傷 (許容限界)</p> | <p>IRI* (m/km) : 供用直後 ≤ 2.0、保証期間 ≤ 2.5</p> <p>≥ 40</p> <p>横断クラック : 1セグメント当たり5以下 (長さ1.8m、幅0.5cm以上)</p> <p>縦断クラック : 1セグメントの10%</p> <p>亀甲クラック : 1セグメントの10%</p> <p>疲労クラック : 1セグメントの5%</p> <p>剥離 : 許容値無し</p> <p>ラベリング : セグメント当たり1%</p> <p>フラッシュ : セグメント当たり1%</p> <p>流動 : 平均深さ2cm</p> <p>*1セグメント : 起点から終点までを500m毎に分割した1区間</p> |
|---|---|

*IRI : International Roughness Index (乗り心地指数) の略。このIRI評価指標は世界道路協会が
正式採用している「路面の平坦性性能指標」で、世界の大半が採用している道路利用者立場に立った
「ユーザーサービス指標」である。その他に、路面の供用状況 (乗り心地) を表す指標として、AASHTO
のPSI (Present Serviceability Index: 現在サービス性能指数) がある。PSIの値は、舗装が建設され
た直後の良好な状態で4~5点くらいであり、供用開始後の舗装の劣化により徐々に低下していく。

2.3 アフリカ地域における道路設計に関連する課題

2.3.1 アフリカ地域における舗装の典型的破損形態

アフリカあるいはアジアの高温多雨の地域では、我が国のODAによる道路において、日本では見られなくなった舗装の破損形態が多く観察される。これを従来「維持管理が不適切」で片づけてきたきらいがなかったか、あるいは実際には設計・施工の改善点も多いのではないかと。

我が国においてはなぜこのような破損が発生しないのかという点に関しては次のように説明できる。第1は、我が国において大型トラックが走行するような幹線道路にあつては、アスファルト安定処理を含むアスファルト層が20～30cmに達していて、構造的に十分な耐久性を有することと、必要に応じて改質アスファルトが使われること、そして維持管理も組織的に行われていることである。一方途上国にあつては、アスファルトの表層は10cm以下と薄く、改質アスファルトの使用が限られ、路盤の排水に関しても十分に配慮して設計施工されていない例が多いからだといえる。

表 2-8. 無償資金協力事業における代表的な舗装構成事例

| 構成 | | タンザニア キルワ道路 当初設計 | エチオピア国道 3号線 (第3期:アス ファルト改良の無 い区間) | ザンビアリビング ストーン道路 (打替え区間) | 参考(日本の例) 首都高狩場線 切土部 |
|------------------|-------------------------|--|---|-------------------------------|---------------------------|
| 設計方法 | | タンザニア基準 ³ をSN ⁴ でチェック | エチオピア基準 をSNでチェック | 隣接工区断面を参 考にSNでチェック | (日本の基準) |
| 舗 装 構 成 | アスファルト舗装 (cm) | 7 | 5 | 5 | 4(表層)4(基層) |
| | 上層路盤(cm) | 20(粒状材料) | 30(粒状材料) | 10(粒状材料) | 16(粗粒度アス ファルト) |
| | 下層路盤(cm) | 26(発生材セメ ント安定処理) | 10* | 25-30(クラッシュラン) | 21(クラッシュラン) |
| 全舗装厚(cm) | | 53 | 45 | 40-45 | 45 |
| 路床CBR | | 9以上 | 15 | 15-30 | 路床改良あり |
| 舗装設計期間(年) | | 15 | 20 | 10 | - |
| 交 通 | 大型車台数(台/ 日・車線) | 1,987 (2023年) | 1,075 (2028年、両方向) | 955 (2007年) | - |
| | ESAL(W18 ⁵) | 12 x 10 ⁶ | 9.9 x 10 ⁶ | 3.3-7.9 x 10 ⁶ | - |

*国道3号線の下層路盤については、現地政府により実施された緊急改修のグラベル舗装の10cm分を下層路盤として見込んでいる。

³ タンザニア、エチオピアの基準は基本的には、英国TRL, Road Note 31に準拠するものである。設計の基本として、表層は路盤を保護するシール層で、構造的には健全な路盤で支持するという思想から出発しており、表層は薄くするものの雨水の路体への侵入防止や、路体からの排水の重要性を強調していることに注意する必要がある。

⁴ SN: Structure Number, AASHTOの開発した構造指数で、舗装の強さを示す。結果的に舗装構成はRoad Note 31準拠であり、全体の強度をAASHTOで確認していることになる。

⁵ 18kip=8.5tonの軸重換算値。設計期間の累積値で表示。

個別の要因ごとの分析のまえに、表 2-8 に示す途上国の事例と日本の舗装の構造に関する基本的な差異についてまとめておく。結果的にこの構造的な違いが耐久性における差異と、自然条件に対する挙動において根本的な差異を生むといつてよい。

- ① 一般的に、両者の車両の荷重に対する計算上の耐荷力において差異がない様に設計することが可能である。DBST（2層式表面処理工法）では事実上の耐荷力は砕石層が対応しているとみてよいが、十分重交通に耐えている例もあるくらいである。なお熱帯地域における流動わだち掘れと、構造的な強度の問題とは分けて考えることができる。
- ② 両者の最大の差異は雨水、地下水などの影響に対する強さであるといえる。途上国タイプの舗装に何らかの理由で水の侵入があると、支持力低下に繋がり、表面の亀甲クラックの発生を呼ぶ。このことでさらに間隙水の移動を促し、早い時期に間隙水のミクロな移動、そしてポンピング現象と呼ばれる内部の細粒分の移動を伴った間隙水の移動や噴出にいたると想定される。すなわち、アスファルト層が薄い場合は水に対してきわめて敏感な性格を有することになるというのが基本的な特徴である。一方我が国の舗装は上層路盤をアスファルト安定処理によっているため、雨水の侵入も少なく、また砕石層への応力の伝達は分散されるため、地下水や雨水によって下層路盤支持力低下を起こした場合も、当分の間必要とされる最小限の支持力を維持することが可能である。

これらの地域における典型的な破損は、大きく表層の流動化によるわだち掘れと、地下水等の影響による路盤の破壊と支持力不足による構造的破損に分けられる。（写真 2-1～3 参照）



写真2-1. 山側（写真の右側）から流下する地下水が山側車線の舗装破壊の原因となっている。側溝の大型化、あるいは暗渠設置などによる排水の改善が必要。



写真2-2. 縦断勾配のサグ部（一番低い部分）では、主として路盤内の水が飽和して舗装破壊の原因となっていると考えられる。橋梁を挟んで両側対称の位置に破損が見られる。



写真2-3. アスファルトの流動化によるわだち掘れの事例。勾配区間は走行速度が超低速となることもあって、わだち掘れが著しい。（エチオピア国道1号線）

2.3.2 低速重車両による損傷

今回の調査では、写真2-4, 5に示すような、低速で走行する大型車両が数多く見られた。



写真2-4. 縦断勾配は7%程度であるが曲線半径の小さな区間であるため速度は10km/h以下である。



写真2-5. 勾配が10%程度あり碎石を満載しているために速度は10km/h以下である。右側タイヤの通過線上にアスファルトの染み出しが見られる。

これらの車両の走行速度は20km/h以下であり、縦断勾配の急な区間では10km/h以下にまで落ちることが確認された。また、このような大型車両が多く通過する箇所では、アスファルト舗装のずれ(写真2-6)やコルゲーション(写真2-7)、又は後に示すわだち掘れが見られた。ずれとは、交通荷重により生じる舗装の層と層の間に生じるせん断力によってアスファルト混合物がずれ、舗装表面にひび割れと凹凸が発生することをいう。なお、ずれの原因は主に舗装層間の接着不良であり、低速大型車両の通行は現象の引き金である。コルゲーションとは、自動車交通の振動等の影響により路面が周期的に加圧されることで、路面に生じる波長の短い波上の凹凸のことである。車両が停止しない程度に振動をかける部分に発生しやすく、一カ所発生すると連鎖して波が発生する。



写真2-6. 縦断勾配の急な曲線区間に発生した舗装のずれ。



写真2-7. 低速で走行する大型車両が多く見られる山岳道路に発生したコルゲーション。

このように、低速で走行する大型車両が舗装へ与えるダメージは、40km/h 以上で走行する通常の状態より大きいと想定される。低速重車両は我が国では顕著ではなく、途上国で典型的な事象である。

このため、日本においてホイールトラッキング試験を実施し、低速重車両の影響を確認した。

表 2-9. WT 試験結果

| アスファルト量 (%) | 種類 | 上載荷重 | | 走行速度* (回/分) | 動的安定度 (DS) (回/mm) | 変動係数 (%) | 変形率 (RD) (mm/min) |
|-------------|-----|-----------------|-----------|-------------|-------------------|----------|-------------------|
| | | 試験輪荷重 (KN) | 接地圧 (MPa) | | | | |
| 5.3 | 標準 | 686 | 0.63 | 42 | 492 | 18.4 | 0.085 |
| | 重車両 | 980** (約 1.4 倍) | 0.90 | 42 | 348 | 17.7 | 0.121 (約 1.4 倍) |
| | 低速 | 686 | 0.63 | 21 (0.5 倍) | 294 | 6.8 | 0.143 (約 1.7 倍) |

*走行速度：載荷走行速度は、供試体中央部分長さ 22cm の区間を一樣な速さで走行することと規定されており、42±1 回/分が基準値。この数値は、英国 RRL (Road Research Laboratory) の試験基準をそのまま適用している。（走行速度の想定値は不明）

**試験機の限界値

本試験結果によれば、①上載荷重を1.4倍（0.63Mpa→0.90Mpa）とした場合の変形率（RD）は約1.4倍（0.085mm/min→0.121mm/min）となり、変形率は上載荷重に比例するものと考えられる。②走行速度を1/2（161.0mm/sec→80.5mm/sec）とした場合、試験輪荷重時間は2倍（0.14sec→0.27sec）となり、変形率（RD）は約1.7倍（0.085mm/min→0.143mm/min）に増加する。このことから、アスファルト舗装の変形は、車両の重量のみならず、走行速度の影響を大きく受けていることが推測される。

この試験結果から、低速時（通常状態の2分の1）の場合、約1.7倍の変形率すなわち「わだち」が発生する結果となった。世界道路協会（PIARC）の研究成果では、わだち掘れの絶対量推計の困難さは指摘されているが、その経過の議論は参考になる。例え

ばシェル・モデル⁶のようなものでは単純に、わだち掘れは標準軸重通過回数とその車輪通過時間の積の関数であって、通過回数の効きと通過時間の効きが同等であるとしている。つまり、通過時間が2倍になれば、2倍の通過輪数に相当する訳である。わだち掘れは主として粘性変形によって引き起こされると考えられているので、論理的なモデルであるといえる。

限られた事例ではあるが、走行速度が2分の1の場合は、1.7～2.0倍程度のわだちへの影響があることで、比例計算によれば、N分の1であれば、0.85N～1.0N倍の影響があると推定される。安全サイドの設計を考えれば、N倍の影響があるとすることができよう。実際には登坂のためのタイヤの作用、あるいは下り方向のブレーキ力から舗装内に発生するせん断力等を考慮するとさらに大きな力がかかっている可能性があるが、これらの定量化は困難である。

2.3.3 流動わだち掘れ

わだち掘れには、表層を中心に発生するものと、路盤の変形によって発生するものがある。表層に関しては、アスファルトの流動化によって、つまりアスファルト混合物がタイヤによって押しやられて発生するものと、スパイクタイヤなどタイヤによって摩耗して発生するものがあるが、今回の調査で見られたものは、主に高温時に交通荷重の繰返し作用により、アスファルト混合物が永久変形を起こして発生したもの、つまり表層の流動化によるものが中心であった（写真2-8,9）。



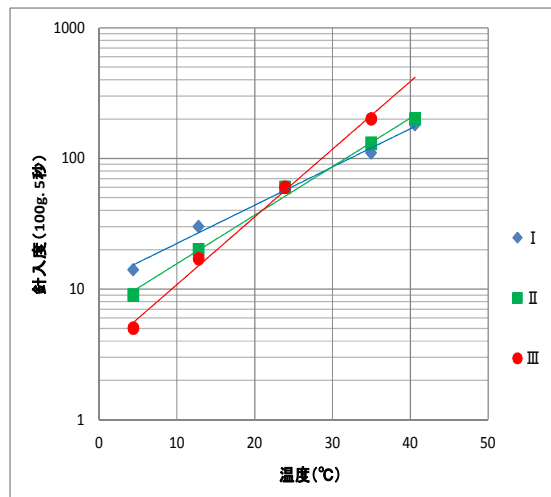
写真2-8. タンザニア国：ほぼ平坦な地形の都市部幹線道路で発生したわだち掘れ。車線表層部が中央側に流動している。



写真2-9. エチオピア国：急峻な山岳部の地方部幹線道路で発生したわだち掘れ。急勾配の曲線区間であり、表層が曲線の内側へ流動している。

⁶ PIARC（日本道路協会訳）、「耐流動アスファルト混合物」、丸善、1997年、P.61

表層アスファルトは、アスファルトの温度に敏感である。図2-2に3種類のアスファルトバインダー（針入度はいずれも50/60）の温度と針入度⁷の関係に関する試験結果を示す。このグラフが示すことは、温度が高くなれば針入度が大きくなる（アスファルトバインダーが柔らかくなる）ということである。また、Ⅰ、Ⅱ、Ⅲのアスファルトバインダーは、25℃で同じ針入度を示すが、温度が変わるとその傾きが異なった直線で表されている。これは、同じ針入度のアスファルトであっても、感温性がそれぞれ異なることを示している。



注：Ⅰ、Ⅱ、Ⅲはいずれも 50/60 のアスファルトバインダーであるが、感温性が異なる。

図 2-2. 温度-針入度の関係

このような流動わだち掘れ対策の一つに、アスファルトの配合設計による対策が考えられる。アスファルト混合物の配合設計は、舗装設計（路面設計と構造設計）により定められた表層のアスファルト混合物（例えば AC20など）の種類と塑性変形抵抗（DS：動的安定度）に対して、以下の手続きで構成されている。

1. 骨材粒度を選定すること（骨材とフィラーの配合割合を決定すること）
2. 骨材粒度に対して適当なアスファルトの量の決定すること
3. 動的安定度の基準を満たすアスファルトバインダーの種類を決定すること（例えば改質アスファルトの使用の必要性）

骨材の粒度分布については、使用するアスファルト混合物の種類により各国で基準が定められている。日本では「舗装施工便覧」に基準が示される。

マーシャル試験によるアスファルト混合物の配合設計方法においては、前述の通り骨材粒度配合を決定したのち、アスファルト量を変更しながら試験練りを行なって、空隙率（3～7%）ならびに飽和度（65～85%）の両者の規格を満たす共通領域の中央値をアスファルト配合量とすることが基本とされている。つまり、アスファルト混合物の配合については、最初に骨材粒度配合が決定し、次にその条件での適切なアスファルト量を決定するという過程が手続きとして定められている。マーシャル試験では、供試体を作成する際にマーシャルランマにて50～75回（高規格の道路では100回の場合もある）突き固められるが、この供試体から求めた空隙率等の特性値が、供用中のアスファルトコ

⁷ 針入度：石油アスファルトや石油ワックスの硬さを示すもので、一定温度に保った試料に規定の針が垂直に進入した長さ（mm）の10倍で表す。針入度が大きい試料ほど軟質ということになる。針入度の試験温度は石油アスファルトが25℃、荷重は100g、時間は5秒に決められている。針入度は用途決定に重要な役割を果たしており、40以下の硬質のものは工業用、舗装用の主力は60～80のものである。

ンクリートの真の品質を代表していないことが問題とされている。これは、規定の打撃回数では、供試体が最終の安定状態まで締め固められず中間状態にあるということである。アスファルト混合物は、施工した段階では完全に締め固められず空隙率が7%近くあり、その後、車両による繰返し荷重（ポストコンパクション）により空隙がつぶされる圧密が進行し、最終的に抜けきらない空気とアスファルトで骨材の空隙（骨材空隙）が満たされた状態になった時にわだち掘れが始まる。

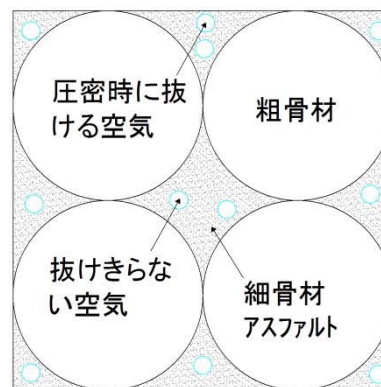


図 2-3. 抜けきらない空気概念図

一般的にいくら締め固めても抜けきらない空気は、最低1～2.5%程度存在する。また、この圧密が起こっている間は流動は発生しないこと、最初から完全に締め固まっていると直ちに流動が始まるということがアメリカの「2000年の NCAT 試験道路でのわだち掘れ供用性の評価」などで明らかにされている。実際、日本における幾つかの調査結果においても、わだち掘れが発生している区間では空隙率が小さく、非わだち区間では空隙率が大きくなっている（表2-10参照）。つまり、アスファルト舗装は空隙があるからわだち掘れを防げており、最終状態での空隙率が2.5%（安全のため3%程度を目安とする方がよい）よりも多ければ、抜けきらない空気以外の空気により流動化は発生せず、わだち掘れも発生しにくいといえる。

表 2-10. 日本における調査結果事例

| | 基 層 | 表 層 |
|-------------|-----|-----|
| 良好部平均空隙率(%) | 3.8 | 2.9 |
| 不良部平均空隙率(%) | 1.5 | 1.3 |

出典：耐流動を目的とした国道3号（原田地区）試験舗装；舗装；Vol. 19 No. 10（1984）

世界道路協会（PIARC）の報告⁸（1995年）でも、低い空隙は常に疲労強度に対して有益であるが、流動わだち掘れ抵抗性は低い。他方、高い空隙は骨材骨格が主要な役割を果たすので流動わだち掘れ抵抗性には良いが、高すぎた場合疲労抵抗性は低くなるとしている。報告の中に示されるフランスの配合設計事例では、アスファルト混合物の空隙率は、交通による締め固めによって2～3%以下になると安定性を失うので、4%以下であってはならない。一方、耐久性（疲労強度及び老化抵抗性）を確保するためには8%以上であってはならないとされている。

P3-11に述べる「SUPERPAVE」、あるいは「Refusal Density」による配合設計法は、設計時点で本来のアスファルト混合物の最終状態をシミュレートするものであり、最終安定状態の空隙率の最低基準として2.5%（ORN）、3.0%（タンザニア基準）等が示され

⁸ PIARC（日本道路協会訳）、「耐流動アスファルト混合物」、丸善、1997年、P. 26、42

ている。タンザニアの基準では、この最終状態を15年後と定めている。図2-4に空隙率と流動化、及び各試験法の関係図を示す。

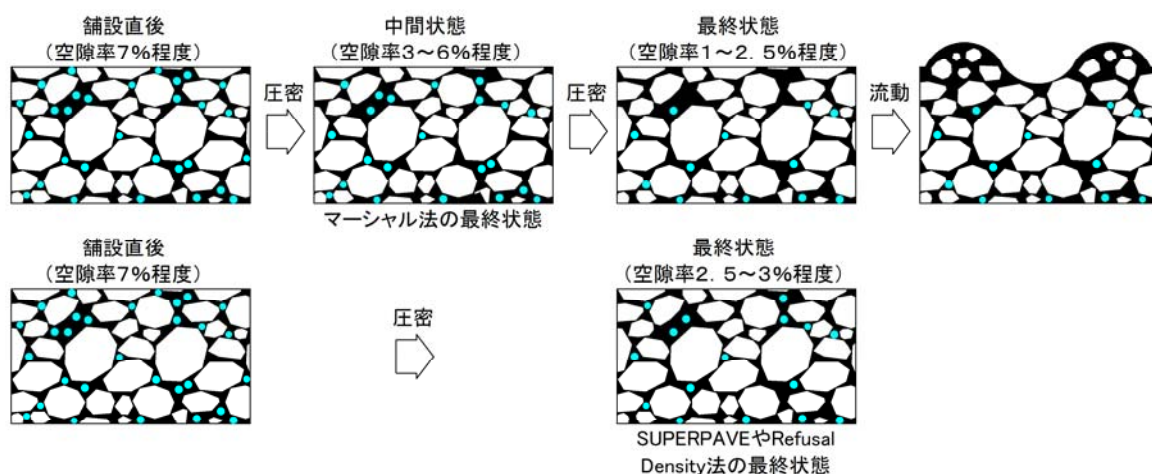


図2-4. 試験法と空気量及び流動化の関係

実際、現在主流となっている排水性舗装（空隙率の高い多孔質のアスファルト混合物を表層または表・基層に用いる舗装）では、空隙率が15～25%程度あり、塑性変形抵抗（わだち掘れへの抵抗）が非常に大きいことが知られている。ただし、高粘度のアスファルトバインダーを用いるため非常に高価なこと、タイヤの旋回、据え切りに弱く、骨材が飛散しやすいという課題もある。（このため交差点部での使用は限定的である）

次に、空隙率が3%以上あればよいかと言えばそれだけでは評価しにくい。アスコンの流動現象は粗骨材（2.36mmふるいに留まるもの）が相対的に位置を変えることによって生じるものである。逆に言えば、骨材のかみ合いは主として粗骨材に期待しているわけである。「SUPERPAVE」、あるいは「Refusal Density」による配合設計法は、適切な配合設計により過剰なアスファルトの弊害を除去して骨材のかみ合いを助長し、流動化を避けようとするものである。この場合、空気量が3%以上であっても、細骨材（2.36mmふるいを通過し0.075mmふるいとどまるもの）やフィラー（0.075mmふるいを通過するもの）が過大になると、図2-5に示すようにアスファルトバインダーで被覆される骨材の表面積が増加し、これにともなってアスファルト量も増加することとなるため注意しなければならない。

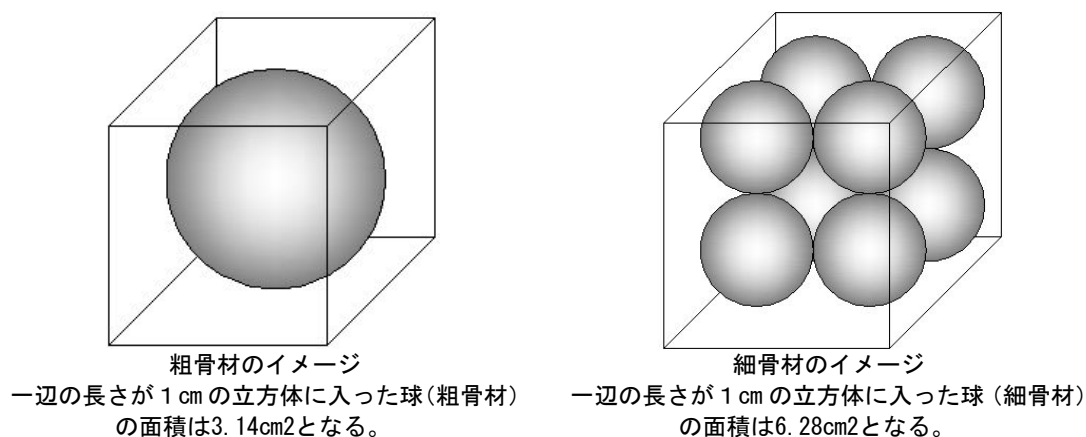


図2-5. 骨材の大きさと表面積の関係

したがって、わだち掘れを防止するためには、以下のようにまとめられる。

- ① 最終状態（15年後を目安）での空隙率が3.0%以上となるように配合設計を行い、十分に管理する。
- ② 骨材のかみ合わせを確実にすること、及びアスファルト量を極力少なくするために細骨材の量を抑える。

一方で、空隙率が大きすぎたり、アスファルト量が少なすぎる場合には、水の侵入によるアスファルトの劣化、施工性の悪化（粘性が無くバサバサの状態）が懸念されるため、この点にも配慮して配合設計を行うことが必要である。

また、アメリカにおける実験結果（滑走路におけるアスファルト混合物配合設計に関する実験：Construction of Rut-Resistant Asphalt Mixture, Transportation Research Record 1337, 1997）では、マーシャル試験法とジャイレトリー締固め法（後述）の二つの配合設計によって舗設されたアスファルト混合物について、マーシャル試験法による混合物は、直ちに大きなわだち掘れを起こし安定性が低いことを示し、一方、ジャイレトリー締固め法は良好な結果を示した。この実験では、マーシャル試験法による配合設計では、アスファルト量が過多になり供用性に差が出たと結論づけている。

2.3.4 水を原因とする構造的破損

以下に示す写真2-10～12は、構造的に破壊された舗装である。破損の原因は、主に排水不良によるものと想定される。



写真2-10. エチオピア国：地方部幹線道路
サグ部における水の影響により支持力が低下し破損した舗装。



写真2-11. エチオピア国：地方部幹線道路
右山側からの地下水の影響により、支持力が低下し破損した舗装。



写真2-12. ガーナ国：地方部幹線道路（2007年）
水みち区間（表流水の集中区間）における舗装の喪失。

道路の排水は表面排水と地下排水に大別される。本調査では、水の影響による特徴的な舗装の破損として、切土区間の地下水、サグ部付近での路盤内における地下水によるものと思われる舗装の破損が各所で確認された。これらは、予め予測可能であり、経済性の検討の上で、後に述べるような対策を講ずる。また、その他、表流水の流下、及び低地部の冠水による、路盤・路床の軟弱化も原因であることが知られている。図2-6に道路舗装に影響を与える可能性のある水の流れを示す。

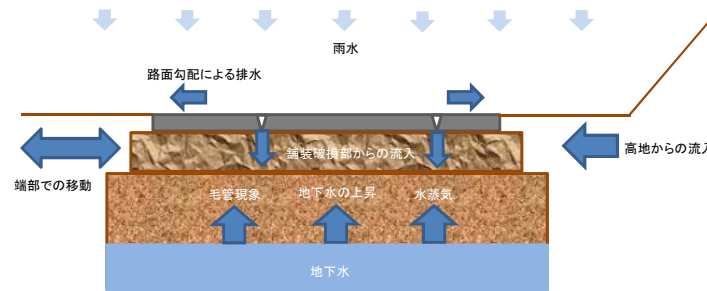


図2-6. 舗装へ影響を与える可能性のある水の動き

具体的には、高地側からの地下水に対し側溝の深さが不足しているため、地下水が路

盤内に入り込み強度を低下させているもの、雨期に上昇した地下水位や路盤内を流れた水が流速低下などによるサグ部における水位上昇をともなって、路盤の強度を低下させているもの等がある（図2-7参照）。

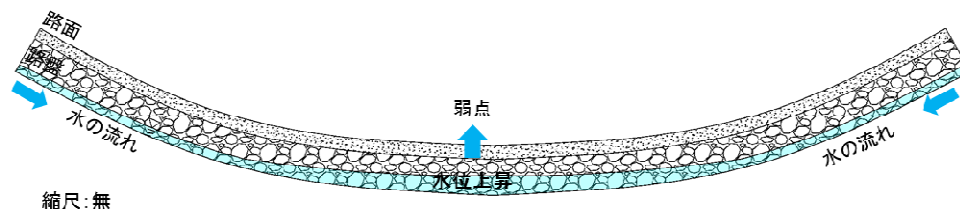


図2-7. サグ部における水の流れ（舗装破壊のメカニズム）

路盤、特にクラッシャーランの場合、透水係数は 10^{-3} 程度であって、もし外部から路盤内に雨水や地下水が流入しているとその水量は一雨季の期間中には十分飽和に至ると推定される⁹。水で飽和した路盤は上をアスファルト、下を路床と、いずれも透水係数のきわめて小さい層で拘束されているために、表層から荷重をうけた場合わずかな変形を生じて、路盤内の飽和水が小さな粒子を巻き込みながら移動する現象、すなわち一種のポンピング現象が発生すると考えられる。その表層にいったん小さなクラックが発生すると、そこに逃げ道を見出した被圧水が泥水となって噴出する（写真2-13、図2-8）して、急速に致命的な破損に至る。



写真2-13. 路盤からポンピングにより泥水（どこに由来するかは不明）が噴出するアスファルト舗装（エチオピア国道3号線）。

⁹ 仮に道路のサグ部に水が道路縦断方向に流下すると、勾配5%の場合 10^{-3} (cm/sec) の透水係数のもとでは、路盤の空隙率にもよるが、数十m以上の区間の路盤が飽和する可能性がある。

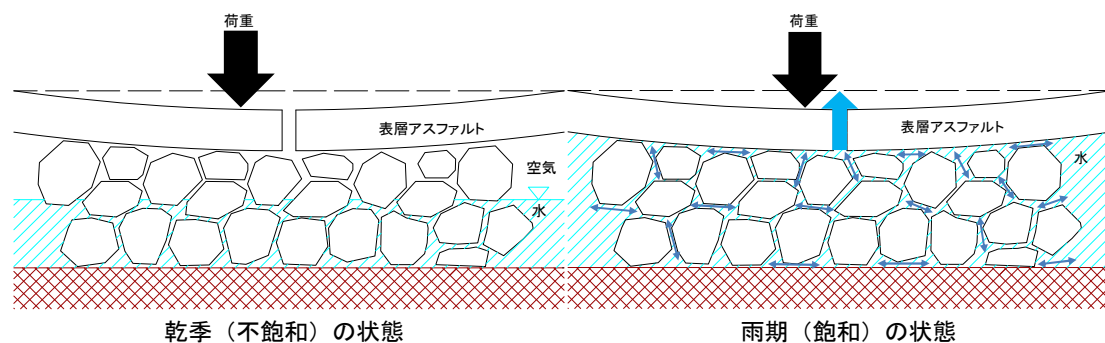


図2-8. 想定されるポンピング現象

2.3.5 土を原因とする構造的破損

ブラックコットンソイルは黒灰色の膨潤土であり、東アフリカ地域に広く分布し、綿花の作付けに適していることから、この名前が付けられた。

この土は乾燥状態においては硬く支持力も大きいですが、含水量が増すと粘土状となり膨潤し、乾燥時の強さを完全に失ってしまう。湿った状態から乾燥する過程において収縮クラックが生じ、道路建設上、深刻な問題となる材料である。ブラックコットンソイルについては、AASHTOの土質分類のA-7-6に分類される。また、膨張度の高いものになると30%を超える体積変化が見られる。構成物質の特徴として、黒灰色にもかかわらず有機性成分の量が少なく、モンモリロナイトのような膨張粘土鉱物が多く含まれる。また、アルカリ反応性が高い。



写真2-14. 湿った状態のブラックコットンソイル（粘土状）



写真2-15. 乾燥状態のブラックコットンソイル（CBR調査等では高強度を示す場合がある）

なお、ブラックコットンソイルによる道路の破壊の形態は、ほぼパターン化されており、初期に舗装端部で縦クラックが発生し、その後、そこを弱点として舗装の破壊が進行する。以下に示す写真2-16, 17は、ブラックコットンソイルにより破損に至った舗装である。



写真2-16. エチオピア国：都市部幹線道路
ブラックコットンソイルの影響により、舗装下部の支持力が低下し、表面にわだち掘れが発生したものの。



写真2-17. エチオピア国：地方部幹線道路
ブラックコットンソイルによる舗装破壊の典型的初期症状（舗装端部の縦クラック）。

2.4 調査・設計段階における留意点

これらの対象国における課題に対して、今後協力準備調査にて以下のような項目について留意する必要があると考えられる。

2.4.1 類似プロジェクトからの情報収集

(1) 収集すべき情報

無償資金協力事業の準備調査では、調査項目に「過去の類似案件及び他ドナー・機関の援助動向の調査」が含まれるが、この調査内容については「規模、事業費、設計条件（設計速度や標準横断構成等）、実施スケジュール」等の一般的な情報の収集に留まっており、類似案件の情報収集が必ずしも十分でなかった場合があった。このことから、今後の調査においては、横並びで案件の条件、最終アウトプットを比較するために対象国の類似案件の情報をできる限り収集することが望ましい。また、案件の比較を実施することにより、広い視野から設計の照査を行うことにも可能となる。表2-11に情報収集することが望ましい項目を示す。

表2-11. 舗装設計基準の比較項目（例）

| 大項目 | 中項目 |
|----------|---|
| プロジェクト概要 | <ul style="list-style-type: none"> ・道路の位置（地形） ・資金源 ・完成年 ・道路延長 ・車線数（幅員構成） ・設計速度 |
| 舗装設計 | <ul style="list-style-type: none"> ・設計基準 ・設計期間 ・交通量及び軸重調査の実施内容 ・交通量及び交通量の伸び率 ・軸重係数 ・累積軸重 ・設計 CBR 及び調査法 ・舗装構成及び舗装厚 |
| 配合設計 | <ul style="list-style-type: none"> ・配合設計方法 ・使用表層混合物（改質材使用の有無等） ・表層混合物の粒度分布 ・アスファルト針入度 ・アスファルト量 ・空気量 ・表層混合物の評価方法（WT 試験等） |

（2）業務指示書への記述例

道路の舗装構成を検討するに当たり、隣接事業や交通条件、自然条件、及び土地利用条件の類似した事業に採用されている舗装設計法や舗装構造の資料を入手する。また、カウンターパート機関の類似事業担当や関係するコンサルタントに対し、設計時の課題、問題点、及び解決方法等についてヒアリングを実施する。また、工事实施中の参考となる事業があれば、併せてヒアリングを実施し施工の問題を確認する。これらの情報を計画に反映させる。入手した設計資料については、本調査の計画・設計内容（設計条件とアウトプット）と横並びで比較し報告書へ反映させる。

2.4.2 自然条件調査

（1）自然条件調査とは

自然条件調査とは、道路の設計を実施する上で必要な自然条件を調査することであり、一般的に表2-12に示す調査で構成される。

表2-12. 一般的な自然条件調査

| 調査名 | 調査内容 |
|------|--|
| 測量調査 | 設計に必要な地形図を作成する作業のことである。地図の縮尺は一般的に1/1,000が用いられるが、細部の検討が必要な橋梁や交差点の場合、1/500の地形図が用いられることもある。道路の設計では、道路の縦断方向と横断方向（一般的に20m ピッチ）の地形データも併せて計測する。これを縦横断測量という。最近ではトータルステーション（GPS を用いた3次元測量）を用いた測量が主流であり、地形を三次元化することにより任意の個所で縦断と横断を自動で取得することができる。このため、縦横断測量を実施しないこともある。 |
| 地質調査 | 地質調査とは、計画道路が通過する地点の地質状況を把握するために実施される。地質調査は、既存の文献や現場で土や岩の露頭状況を確認する地質概査、及び現場から試料を採取して試験を実施する土質試験の2つの調査によって構成される。土質試験は、さらにその目的によって物理試験、力学試験、化学試験などに分類され、舗装構造を決定する上で最も重要な路床の調査は、土質調査の力学試験に分類される。 |
| 材料調査 | コンクリートや舗装に使用される骨材、道路を構築する際の土などには、使用目的に応じて必要な条件（強度など）が定められている。材料調査とは、この条件を満たす材料が入手可能であるか、または十分な量が確保できるかを現地調査と試料採取による土質試験（物理試験、力学試験、化学試験など）によって確認することである。 |
| 水文調査 | 山地、中山間地や平地に降った雨は、一部は表流水として水系に流出し、一部は地下に浸透し地下水となる。これらは相互にやり取りしながら徐々に陸域を流下して河川、湖沼および海域に流入し、それぞれの過程で大気中に蒸発して再び降雨となる。この連続的な一連のサイクルを「水循環（Hydrologic Cycle）」という。水文調査は、水循環過程のある部分での地下水および地表水に関する広範な情報を得ることにより、水の賦存・挙動・収支およびそれらの因果関係を明確にすることである。 |

（2）気温及び路面温度調査の重要性

自然条件調査としては一般的ではないが、本調査では対象各国において舗装表面温度の観測を行った。計測の結果、タンザニア、ガーナ両国では、計測された路面の表面温度は50℃程度であったが、エチオピアでは気温の低い雨期であったにもかかわらず60℃を超える路面温度が観測され、アフリカ諸国で、60℃を超える路面温度がごく日常的であることがうかがわれる（巻末添付資料－3：参考資料-A 参照）。

さらに気温と路面温度の関係に関する我が国の路面温度の関係式（巻末添付資料－3：参考資料-A 参照）を用いて推計するとはるかに低い温度となってしまう。この原因ははっきりしないが、少なくとも日本で想定される条件に比べ、調査対象地域の舗装温度に対する条件が過酷であることが伺える。

また、舗装温度とアスファルト舗装（ストレートアスファルト使用）の強度（DS 値）の関係について、ホイールトラッキング試験を基に以下の関係式が得られている。

$$\text{Log}_{10}(\text{DS}) = 8.656 - 0.07095T - 0.2285P$$

DS：動的安定度（回/mm）

T：温度（℃）

P：接地圧（kgf/cm²）

出典：舗装技術の質疑応答（第7巻上）

この関係式をグラフにしたものが図 2-9 である。これによれば、通常の試験温度（60℃）の DS 値 864 回/mm に対して、65℃で 382 回/mm、70℃で 169 回/mm とそれぞれ 44%、20%の強度に低下する。このことから、高温の日が続いた場合などには、アスファルト舗装がわだち掘れを起こしやすくなることがわかる。ここに路面温度の状況を調査する意味の重要性が理解される。

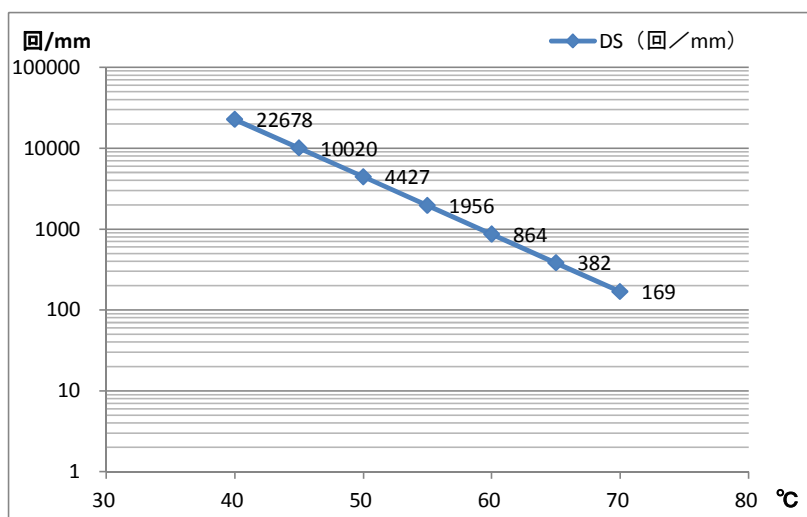


図2-9. 舗装温度と動的安定度の関係

(3) 地下水調査の重要性

降雨量や地下水は主として、路床、路盤の軟弱化による支持力不足に関わる重要な情報である。地下水については、舗装構造に影響を与える地下水の存在を現地調査、テストピット、必要に応じてボーリング調査などで把握し、可能な範囲で適切な対策を講じる必要がある。地下水の影響と対策については別途示すが、実務上の課題として、雨期及び乾期に渡る調査においても、現実的には地下水の状況を把握することは容易ではない。このため、工事期間中のモニタリングを通して、必要な対策工を実施していくことが必要である。

(4) 業務指示書への記述例

舗装設計を実施するために必要な自然条件を把握する。自然条件とは、気温、降雨量、路床強度などの他、路面温度、地下水の状況、及び問題土の性状の把握も含まれる。路面温度は、対象道路または近隣のアスファルト道路の路面温度を観測する。地下水や問題土については、舗装構造に影響を与える地下水や問題土の存在を現地調査、テストピット、必要に応じてボーリング調査および採取した試料の各種試験などで把握し、可能な範囲で適切な対策工を提案する。ただし、地下水の挙動を完全に把握することは難しいため、工事中のモニタリングの必要性と追加費用についても検討を行う。

Box-2.2 : 路床調査の各国基準

路床強度の調査については、調査対象各国に調査制度の基準が表 2-13 のとおり定められている。無償資金協力事業の準備調査段階では、実施段階（詳細設計）での追加調査を想定し、実際に以下の基準より粗めの精度で調査されることが多いが、準備調査の精度を考慮すれば、当初より基準通りの調査を行うことが望ましい。

表2-13 調査対象各国の路床調査

| 対象国 | 路床強度調査の基準 |
|-------|--|
| エチオピア | 室内 CBR 試験：1 試料/km 土質試験：500m ピッチ 土質試験の内容：コンシステンシー限界、粒度分布等 |
| ガーナ | 新設道路 室内試験：4 試料/km（幹線道路） 規格の低い道路では試料数の低減可能。 既設道路 FWD 試験：最大 50m ピッチ（DCP 併用） |
| タンザニア | 室内 CBR 試験：2 試料/km（舗装幹線道路）、1 試料/km（その他舗装道路）、1 試料/2km（グラベル道路） 土質試験：4 試料/km（舗装幹線道路）、2 試料/km（その他舗装道路）、2 試料/km（グラベル道路） |

2.4.3 既存道路状況調査

(1) 道路インベントリー調査

既存道路状況調査として、一般的に道路インベントリー調査が実施される。道路インベントリー調査は、表 2-14 に示す情報を得ることを目的に実施される。

表2-14. 主な道路インベントリー調査項目

| 調査項目 | 調査内容 | 調査方法 |
|----------|---|------------------|
| 道路形状 | <ul style="list-style-type: none"> 道路の幅員構成（車道幅、路肩幅、歩道幅） 構造物の形状（橋梁、函渠等） 道路形状（盛土高、切土高、法面勾配） サグ及びクレスト 交差（接続）道路や沿道乗り入れ部の形状 | 目視 計測 |
| 地形（自然状況） | <ul style="list-style-type: none"> 地形（平地、丘陵地、山地等） 交差河川 湿地帯 道路の冠水状況 植生 | 目視 聞き取り |
| 沿道状況 | <ul style="list-style-type: none"> 地形（平地、丘陵地、山地等） 沿道（市街地、集落、耕作地、原野等） 沿道の建物情報（家屋、店舗、学校等） 道路用地の状況（確保されているか否か） | 目視 聞き取り |
| 排水施設 | <ul style="list-style-type: none"> 排水施設の有無及び形状 排水施設の状況（破損状況や土砂等の堆積） 排水系統 流末 | 目視 計測 聞き取り |
| 舗装の状態 | <ul style="list-style-type: none"> 舗装の有無 舗装の状態 | 目視 計測 |

| | | |
|-------|--|-----------------|
| | ・舗装の構成 | テストピット |
| 公共施設 | ・電柱や架空線の状況 ・地下埋設物の状況 | 目視 管理者への聞き取り |
| 安全施設 | ・信号機の状況 ・交通標識の設置状況 ・ハンプの設置状況 ・区画線（横断歩道の設置状況等） | 目視 計測 |
| その他情報 | ・支障となる施設（例えば広告看板） ・車両の駐車状況 | 目視 聞き取り |

（２） 道路インベントリー調査の活用

道路インベントリー調査では、対象道路、及びその沿線状況を示す基礎資料となる。従来道路インベントリー調査では、道路を中心とした狭い範囲の情報を、主に表形式でまとめられることが多く、必ずしも十分に活用されていない場合がある。例えば、日本では「竹林のある場所は地下水位が高い」といわれるように、アフリカ地域においても「バナナの木がある場所は地下水位が高い」といわれている。このような植生の情報も道路インベントリー調査結果に反映させることが望ましい。このため、表形式による取りまとめだけではなく、測量で得られた地形図にインベントリーで得られた情報を写真情報とともに記録として残し、さらに自然条件調査（例えば地質調査地点情報）の情報も加えることで、関係者が共有できる有効な資料となる。また、実施段階の詳細設計における情報も追加していき、最終的には入札図書の一部として応札者に提供することも考えられる。

（３） 業務指示書への記述例

既存道路状況調査については、単に道路を中心とした狭い範囲の施設状況や土地利用の調査を行うだけではなく、広い範囲での沿道の自然状況（植生等）、湿地帯等の存在も調査する。また、最終的には、自然条件調査の情報（調査箇所、調査内容等）も加え、測量で得られる地形図に映像情報とともに取りまとめ、可能な限り現況情報を網羅したものとする。また、実施段階での情報の更新、及び入札図書の一部とすることも考慮する。

2.4.4 材料調達事情調査

（１） 材料調達事情調査とは

材料調達事情調査とは、施設の建設に必要な資材（鉄筋、セメント、砕石等）の調達が可能であることを裏付ける調査である。資材の内、コンクリートや舗装に使用される骨材、道路を構築する際の土等は、現地での生産、調達が一般的である。これらの現地で生産する資材にも、使用目的に応じて必要な仕様（強度など）が定められていることから、その仕様を満たす材料が入手可能であるか、または十分な賦存量があるのか等を現地調査と試料採取による土質試験（物理試験、力学試験、化学試験など）によって確認することも材料調達調査に含まれる。

（２） 舗装材料調査の重要性

日本国内の道路工事であれば、材料毎（アスファルト、砕石等）に生産会社（供給者）が有り、仕様と必要量を伝えれば材料が供給される仕組みができあがっている。しかし、アフリカ地域では、このような生産会社が存在しないことが一般的であり、施工業者自らが生産者を兼ねる場合がある。このため、準備調査の段階で、想定する材料が現場の近くで、さらに十分な賦存量があるのかを確認することが重要である。当初予定していた場所で予定の材料が確保できなければ輸送距離と輸送コストが増加し、予定の仕様を満たす材料が無ければセメントを混ぜる等の処理により同様にコストが増加する。材料調査は、このような工事中的コスト増加リスクを回避するために必要であり、総価契約である無償資金協力事業では非常に重要な調査である。

（３） 材料調査はどこまで実施すべきか

課題となるのは、準備調査の段階でどこまで材料調査をすべきかという点である。準備調査の期間と費用は限られているため、より効率的に材料調査を実施する必要がある。このため、道路管理者の保有する土取り場、採石場、あるいは近隣工事での材料調達実績等の情報を事前に入手するとともに、地域の地質等の情報に精通した現地コンサルタントの協力を得ることが必要である。このような事前準備、及び予想される舗装構造の概略検討を行った上で、少なくとも表 2-15 に示す材料調査を実施することが望ましい。

表2-15. 少なくとも実施されるべき舗装の材料調査

| 材料 | 調査項目 | 土質試験から得るべき情報 |
|--------|--|---|
| 盛土材 | <ul style="list-style-type: none"> ・採取位置 ・賦存量 ・土質試験 ・地権者 | <ul style="list-style-type: none"> ・最大乾燥密度 ・最適含水比 ・CBR 値（水浸） ・吸水膨張率 ・PI ・粒度 |
| 路盤材 | <ul style="list-style-type: none"> ・採取位置 ・賦存量 ・土質試験 ・地権者 | <ul style="list-style-type: none"> ・最大乾燥密度 ・最適含水比 ・修正 CBR 値（水浸） ・吸水膨張率 ・液・塑性限界及びPI ・粒度 セメント安定処理路盤を予定する場合 <ul style="list-style-type: none"> ・セメント量及びUCS |
| 表層（骨材） | <ul style="list-style-type: none"> ・採取位置 ・賦存量 ・土質試験 ・地権者 | <ul style="list-style-type: none"> ・10%破碎荷重 |

これらの調査結果から、材料調達が 50km を超える遠方となる場合や、調達そのものが非常に難しい場合には、実施段階（詳細設計）での再調査を提案するとともに、材料調達リスクについて準備調査報告書に記載することが望ましい。

（４）業務指示書への記述例

材料調達事情調査の目的は、施設の建設に必要な資材（鉄筋、セメント、砕石等）の調達が可能であることを裏付けるデータを得ることであり、このために必要な材料調査及び材料試験を実施する。ただし、調査期間や費用に限りがあることから、現地カウンターパート、材料調達事情に精通した現地コンサルタント等から情報を入手した後、必要な調査と試験を効率的に行う。調査及び試験の結果、材料調達にリスクがあることが判明した場合、そのリスクを報告書に記載するとともに、実施段階での再調査を提案するものとする。

2.4.5 精度の高い交通量調査及び需要予測

（１）予測交通量と供用後交通量の違い

タンザニア国キルワ道路、及びエチオピア国3号線における直近交通量調査結果と調査時の予測交通量の比較を表2-16と表2-17に示す¹⁰。

表2-16. タンザニア国キルワ道路交通量

車種別軸重計測結果

| 項目 | JTF調査 (7.8km地点) | | | 基本設計時 | | |
|-----------|-----------------|-------|---------|-------|-------|---------|
| | Nos | % | VEF | 数量 | % | VEF |
| バス | 3589 | 38.5% | 1.31 | 16 | 1.4% | 1.385 |
| 中型貨物 | 1924 | 20.7% | 1.04 | 737 | 62.9% | 4.67 |
| 大型貨物 | 1434 | 15.4% | 2.01 | 288 | 24.6% | 8.84 |
| トレーラ | 2365 | 25.4% | 2.39 | 131 | 11.2% | 10.84 |
| Sub total | 9312 | | EAL/day | 1172 | | EAL/day |
| | | | 15,251 | | | 7,430 |

* J T F : Joint Task Force=タンザニア政府、J I C A、コンサルタント、施工業者合同 T F、2011 年秋に交通量調査を行った。

** : 右の欄は、2005 年の調査時点での将来推計値である。この間バスに関しては政府の分類基準が変更されているので、2011 年にバスに分類される 3000 台程度の小型バスを差し引いても約 6,000 台と 6 倍近い値である。

表2-17. エチオピア国連邦道路3号線交通量（アディス～デブレマルコス区間）

| 年 | 単位: 台/日・両方向 | | | | | | 備考 |
|------|-------------|------|------|--------|---------|--------|-----------|
| | 小型車 | 小型バス | 大型バス | 貨物トラック | トラクトレーラ | 合計(大型) | |
| 1994 | 105 | 87 | 47 | 181 | 30 | 258 | 実測値(ERA) |
| 2000 | 111 | 92 | 50 | 191 | 32 | 273 | 予測値 |
| 2004 | | | 48 | 191 | 47 | 286 | 実測値(ERA) |
| 2005 | | | 51 | 204 | 50 | 306 | 予測値 |
| 2006 | | | 55 | 219 | 54 | 327 | 予測値 |
| 2007 | | | 59 | 234 | 58 | 350 | 予測値 |
| 2008 | | | 63 | 250 | 62 | 375 | 予測値 |
| 2009 | 243 | 146 | 114 | 274 | 73 | 461 | 実測値(ERA) |
| 2010 | 259 | 159 | 124 | 297 | 79 | 500 | 予測値 |
| 2011 | 250 | 276 | 129 | 478 | 129 | 736 | 実測値(JICA) |

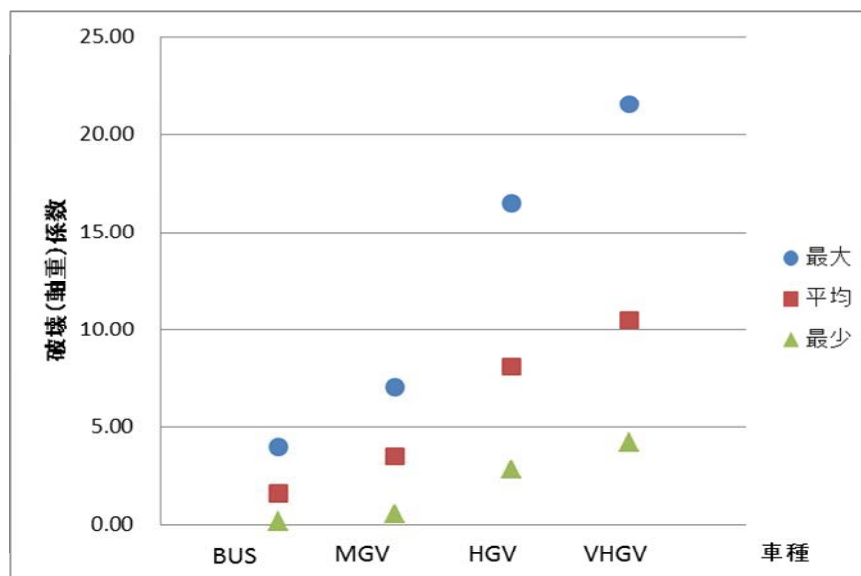
両道路ともに、供用後に設計段階の予測交通量を大きく上回る実測交通量が観測されている。このため、道路供用後の予想以上の交通量の増加が早期の舗装破損の原因の一つになる可能性がある。

¹⁰ キルワ道路の交通量は、2011年に鹿島建設が独自に調査を行ったデータ、エチオピアの国道3号線は、第四次幹線道路改修プロジェクト（日本無償）の詳細設計時に実施された調査結果である。

舗装設計に用いる大型車交通量交通量の予測精度を向上させるためには、適切な交通量調査と軸重調査を実施することが必要である。特に都市部においては、「転換交通量」の影響が大きいことから、調査範囲の設定を慎重に行う必要がある。また、道路の性格により交通量の車種構成と同様に、同種の大型車であっても国によって軸重が大きく異なる（図2-10）。調査対象各国では、交通量及び軸重調査について表2-18のような基準を示しているが、費用の問題、調査期間の問題等から基準通りに実施される事例は少ない。

表 2-18. 調査対象各国の交通量及び軸重調査基準

| | |
|-------|---|
| エチオピア | 連続7日間（少なくとも1日は24時間）の交通量及び軸重調査を年数回実施 調査された過積載車両の軸重の適用については、協議により決定。 |
| ガーナ | 連続7日間の交通量調査、内4日間の軸重調査の実施（季節変動はGHAのデータを使用） 調査された過積載車両の軸重の適用については、協議により決定。 |
| タンザニア | 連続7日間（24時間）軸重調査の実施 調査された過積載車両の軸重を設計に反映することを規定 |



MGV: Medium Goods Vehicle, HGV: Heavy Goods Vehicle

VHGV: Very Heavy Goods Vehicle

一軸当たり破壊係数 = $(P/8t)^{4.5}$

車両の破壊係数 = $(P1/8t)^{4.5} + (P2/8t)^{4.5} + \dots + (Pn/8t)^{4.5}$

P: 軸荷重、n: 軸数

図2-10. 破壊係数（ESAL）の本調査とりまとめ結果（3ヶ国）

（2）業務指示書への記述例

舗装の構造設計に必要な累積軸重を算出するために、適切な交通量調査と軸重調査を実施する。調査については、曜日変動、季節変動、及び道路供用後の転換交通量を反映できる調査を計画し実施する。交通量の需要予測に使用するパラメータについては、道路の通過する地域の土地利用（例えば臨港地区）、広域的な道路ネットワークや道路密度等を十分検討し、安全率を見込んだ適切なパラメータを使用する。表 2-19 に想定されるパラメータを示す。

表2-19. 交通量の伸び率を予測するためのパラメータ（例）

| | |
|---------|--|
| 社会・経済指標 | <ul style="list-style-type: none"> ・人口伸び率 ・就業者人口伸び率 ・国内総生産の推移 ・所得の推移 ・農／工業生産高の推移 |
| 交通関連指標 | <ul style="list-style-type: none"> ・自動車保有台数の推移 ・大型車保有台数の推移 ・免許保有者数の推移 ・トラック輸送トン数の推移 ・港湾等の貨物取扱量の推移 |
| その他 | <ul style="list-style-type: none"> ・転換する可能性のある道路の交通量 |

2.4.6 道路設計

（1）アフリカ地域の交通事情

日本は、交通戦争と呼ばれた年間 16,000 人あまりの交通事故死者数を、10 年かけて半減させ、さらに現在でもその低減に努めている。以下に述べるように、途上国の交通事故は極めて喫緊の課題となっており、日本の ODA においても対応を考える必要がある。

表 2-20 に調査対象各国と日本の交通事故状況の比較を示す。なお、データの精度を合わせるため、出典である「IRF 道路統計 2010」の数値をそのまま使用した。この統計によれば、調査対象国の道路延長当たりの死傷者数は、日本の 8～10 倍程度である。自動車保有台数当たりの死傷者数については、エチオピア国で 156 倍、タンザニア国で 141 倍、ガーナ国で 39 倍となっている。各国ともに日本と比べ非常に高い事故率を示している。例えばエチオピアにおける 1 年間の交通事故死者数 2,517 名は、道路延長約 18km に一人の死者であって極めて高い数であると言える。

表2-20. 調査対象各国の交通事故状況

| | 日本 | | エチオピア | | ガーナ | | タンザニア | |
|------------------|-------------|------|------------|------|------------|------|------------|------|
| | 統計値 | 統計年 | 統計値 | 統計年 | 統計値 | 統計年 | 統計値 | 統計年 |
| 人口(人) | 127,704,000 | 2007 | 80,713,434 | 2007 | 23,350,927 | 2007 | 42,483,923 | 2007 |
| 自動車保有台数(台)* | 75,768,000 | 2007 | 236,929 | 2007 | 773,263 | 2007 | 302,632 | 2007 |
| 道路延長(km) | 1,200,858 | 2007 | 44,359 | 2007 | 57,614 | 2005 | 87,524 | 2008 |
| 交通事故数 | 766,147 | 2008 | - | 2007 | 12,038 | 2007 | 20,615 | 2008 |
| 負傷者数 | 945,504 | 2008 | 24,792 | 2007 | 14,373 | 2007 | 17,861 | 2008 |
| 死者数 | 5,155 | 2008 | 2,517 | 2007 | 2,043 | 2007 | 2,905 | 2008 |
| 死者数/人口(十万人当たり) | 4.03668 | | 3.11844 | | 8.74912 | | 6.83788 | |
| 死者数/道路延長(百km当たり) | 0.429 | | 5.674 | | 3.546 | | 3.319 | |
| 死者数/保有台数(一万台当たり) | 0.680 | | 106.234 | | 26.421 | | 95.991 | |

*自動車保有台数に自動二輪及び原動機付き自転車は含まない。

出典：INTERNATIONAL ROAD FEDERATION (IRF) WORLD ROAD STATISTICS 2010

また、ここ数年、中国製の安価な自転車、及び自動二輪がアフリカ地域に広まっている。これらは、自動車を保有できない所得者を購買層として急拡大しているとともに、渋滞の激しい都市部における交通手段として利用されるようになってきている。自転車について統計データはないが、タンザニア（ダルエスサラーム市）における自動二輪車の登録台数の推移を表2-21に示す。2005年に約15,000台であった年間登録台数が、2011年には約130,000台と8倍もの伸びを示している。

表2-21. 自動車登録台数の推移（タンザニア ダルエスサラーム市）

| 年 | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 |
|-----------|---------|--------|--------|--------|---------|---------|---------|
| 自動二輪(台) | 15,381 | 22,648 | 28,477 | 45,439 | 86,216 | 115,643 | 127,819 |
| 対前年伸び率(%) | | 147% | 126% | 160% | 190% | 134% | 111% |
| その他車両(台) | 88,498 | 66,641 | 42,234 | 50,008 | 61,320 | 62,745 | 62,716 |
| 対前年伸び率(%) | | 75% | 63% | 118% | 123% | 102% | 100% |
| 合計(台) | 103,879 | 89,290 | 70,712 | 95,449 | 147,538 | 178,389 | 190,536 |
| 対前年伸び率(%) | | 86% | 79% | 135% | 155% | 121% | 107% |

出典：ダルエスサラーム市役所

このことから、将来的にも課題となる自動二輪やNMT(Non-Motorized Traffic)の事故防止のために、信号機などによる交通制御を含めた交通安全対策を考慮していく必要がある。特にアフリカ地域では、WB、EU及びUNがNMTに対する安全対策や空間整備に着目しており、ケニア、エチオピア、ウガンダにおいてNMT-Corridorという概念の下、プロジェクトを実施しており調査が必要である。

さらに我が国においては、多くの道路で自転車の歩道走行が許されているが、諸外国では一般的に自転車は車道走行が原則である。道路設計に当たってはこの点を考慮して道路構造の検討を行う必要がある。

(2) 交差点改良

ラウンドアバウトは我が国では最近長野県下で事例がみられるものの、信号機による交差点処理が一般的であるが、欧米、あるいはアフリカにおいてはラウンドアバウトが多く活用されている。交通量の少ない交差点、複雑な交差点などの安全な処理方式とし

て、あるいは集落入り口等で速度低下を促す観点から、ラウンドアバウトが評価されている背景もあり、日本の ODA 道路関係者においても知見の集積が必要である。むろん頻発する停電にも強いことは途上国での最大のメリットである。図2-11は、信号交差点計画を地元の要請によりラウンドアバウトに変更した事例である。

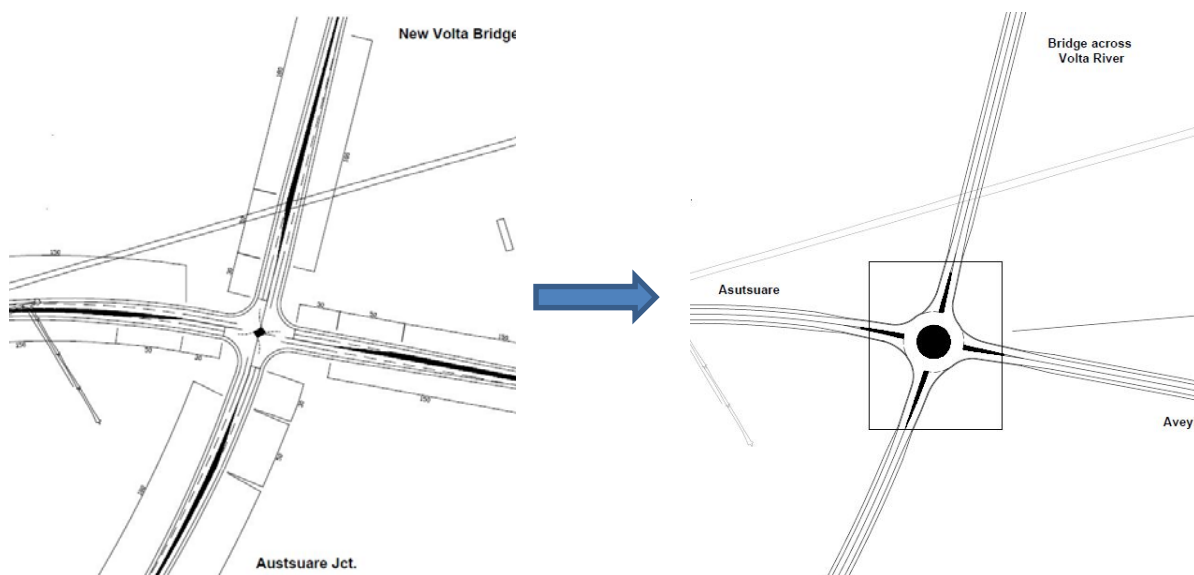


図2-11. 信号交差点をラウンドアバウトに変更した事例

（3）利用者特性を考慮した路肩整備

上記の自動二輪やNMTの交通安全対策の一環として、道路の路肩の使い方（使われ方）について配慮していく必要がある。路肩の幅や舗装タイプについては、道路の通過する地域（例えば市街地）、歩行者（自転車）の通行量、自動車の挙動（路肩走行の有無）等と安全性を勘案し、最も適切な幅と舗装構造が選定されなくてはならない。道路は自動車のみならず、歩行者、自転車、荷馬車、家畜など様々な利用者が存在する。今回調査を実施したエチオピア国では、幹線道路であっても路肩を未舗装としている場合があるが、これは結果として路肩を利用した自動車の無理な追い越しを抑制し、歩行者に安全な路肩（歩道空間）を提供することに貢献している（写真2-18）。また同路線上の市街地区間では、駐車帯（3.5m）と歩道兼用の幅広路肩（2.5m）が採用されており、多目的な利用と安全性確保に貢献している（写真2-19）。



写真 2-18. エチオピア国：国道 3 号線 Phase-I 区間
車道部のみ舗装を行い、路肩は未舗装処理としてい
る。



写真 2-19. エチオピア国：国道 3 号線 Phase-III 区間
街中の駐車帯と幅広路肩が多目的に使われている。

従って、2車線道路を多車線道路に拡幅する場合は、従来路肩を利用していた、多様な交通に配慮する必要がある。具体的には、AASHTO 基準などを参考に6~8フィート(1.8~2.4m)を確保することが望ましいケースも多いと考えられる。さらに現在の混合交通への配慮のみならず、将来的なバイクレーン、あるいはサイクルレーンの必要性等、多様な交通の安全性の確保について整理したうえで設計を行うことが望ましい。

一方、ガーナ国の幹線道路では、防塵処理のための簡易舗装を行っているが路肩走行や沿道からの車両の乗り入れが多いため、早期に破損するに至っている(写真2-20, 21)。



写真 2-20. ガーナ国：国道 6 号線市街地近郊
路肩を利用した駐停車が多い区間であるにもかかわらず、簡易舗装を採用した事例。



写真 2-21. ガーナ国：国道 1 号線（無償資金協力）
路肩部の簡易舗装はほぼ破損している。乗り入れ部
の車両に対しては本線と同じ舗装が必要。

このような状況から、路肩の舗装構成については、道路の通過する地域（例えば市街地）、歩行者（自転車）の通行量、自動車の挙動（路肩走行の有無）、及び沿道からの乗り入れ等を考慮することが重要である。また、今回調査を実施したガーナ国では、内部通達により幹線道路の路肩舗装にはアスファルトコンクリートを使用することを推奨している。また、タンザニア国では、舗装マニュアルの中で舗装道路への砕石路肩の使用を以下の理由から推奨していない。

- 道路の適切なパフォーマンスを維持するために、過度のメンテナンスが要求され

る。

- 舗装構造への水の流入リスクの増大
- 未舗装路肩は、交通の安全性を低減させる
- 舗装部本線から碎石路肩への移行時に段差により危険性が増加する

よって路肩の舗装構成については、相手国政府と十分な協議を実施し、適切な舗装構成を選定することが必要である。

また、我が国では民地からの出入りを許可するに当たっては、とにかくその幅を狭くする傾向にあるが、新規の道路に当たってはコスト上の問題もなく、少なくとも小型トラックが出入りできように、5m程度の幅員の確保が適切であり、また支線からの乗り入れ部に隣接する路肩は本線と同様の舗装構成を採用することが必要である。（写真2-22参照）



写真 2-22. エチオピア国：国道 3 号線市街地部で沿道からの乗り入れが多いため、路肩の舗装構成を本線と同じにしている。

（４） 業務指示書への記述例

道路の横断構成を検討するに当たり、交通量調査の中で自動二輪、自転車、歩行者の通行量についても調査するものとする。特に路肩については、現在の混合交通への配慮のみならず、都市部における将来的なバイクレーン、あるいはサイクルレーンの必要性等、路肩の目的と考え方、多様な交通の安全性の確保について整理する。また、WB、EU 及び UN 等の他ドナーにヒアリングを実施し、歩行者や自転車に対する安全対策、関連プロジェクトの有無について確認し、計画に反映させるものとする。

Box-2.3 : 日本における乗り入れ部の基準

国土交通省中部地方整備局の道路設計要領の、乗り入れ部に関する基準を図2-12に示す。

第3節 歩道等の乗り入れ部

1. 乗り入れ部の構造

歩道部の乗り入れは、原則として「道路法第24条に係る事務の取扱い」（平成17年3月31日国土部整道管第71号）によるものとする。

1-1 出入口の幅員

表3-1 出入口の幅員

| 出入口する車両 | | 法第47条第1項に規定する最高限度内の車両 | | | 左記最高限度をこえる車両用 | 備考 |
|--------------|------|-----------------------|----------------------------|-------------------------------------|---------------|------------------------|
| 出入口形状 | | A型 (乗用・小型貨物自動車用) | B型 (普通貨物自動車用 6.5t以下) | C型 (大型・中型貨物自動車用 6.5t以上をこえるもの) | | |
| 出入口角度 90° | W | 5m | 8m | 12m | | 出入する車両の諸元に基づき決定する。 |
| | R1 | 1.0m | 1.0m | 1.0m | | |
| | R2 | 1.0m | 1.0m | 1.0m | | |
| 出入口角度 60° | W | - | 7m | 8m | | |
| | R1 | - | 3.0m | 3.0m | | |
| | R2 | - | 0.6m | 0.6m | | |
| 対象車両 諸元 | 車種 | 乗用車 (3ナンバー) | 貨物自動車 (6.5t以下) | 貨物自動車 (6.5t以上をこえるもの、大型バス) | | |
| | 車長 | 4.840m | 8.62m | 10.415m | | |
| | 車幅 | 1.790m | 2.300m | 2.480m | | |
| | 円弧半径 | 5.700m | 9.400m | 10.300m | | |

注1) 申請者の都合により乗入幅は上記の値より縮小することができる。

注2) 地形及び沿道の利用状況により（出入口相互の間隔含む）別途考慮することができる。

図2-12. 歩道等乗り入れ部の構造（中部地整道路設計要領より）

Box-2.4 : コンプリートストリート¹¹（完備された道路）の動き

道路の機能・目的の多様性に関してはかねてより多くの議論が繰り返されてきた。日本でも自動車、自転車、荷車などの混合交通の時代には、「緩速車線（幅2.5mなど）¹²」が道路構造令（昭和33年）で定められていたことが参考になる（図2-13）。最近では、国交省社会資本整備審議会道路分科会の基本政策部会において、「クルマ主役から多様な利用者の共存へ」の方針が打ち出され、多様な利用者の共存が謳われている。



写真 2-23. 緩速車線（大阪市）

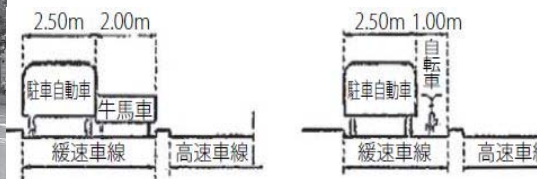


図2-13. 緩速車線の構成

出典：雑誌「道路」（2011-3）

¹¹ コンプリートストリート：「道路を自動車だけでなく歩行者や自転車にも優しいものにしよう」と訴えるアメリカでの動き。「全米『完備な道』同盟（National Complete StreetsCoalition）」は、現行の「自動車専用モデル」を問題として提起している。一部で政策として実施に移されている。カリフォルニア州では「Complete Streets法」が制定されて、すべての道路整備に当たって、全道路利用者に配慮するように義務付けがなされているという。

¹² 緩速車線：緩速車道は「主として自転車、荷車等の緩速の車両の通行の用に供することを目的とする車道の部分」と定義された空間で、今も大阪や名古屋の一部に空間としては残っている（写真2-23）。緩速車道は、その定義に「主として」とあるように、緩速車の通行以外の機能が含まれており、例えば昭和35年版「道路構造令の解説と運用」によれば、自動車の停車空間としての機能もあると捉えられていた。

2.4.7 舗装設計

（1）今後の舗装設計の進め方

2.3に示した舗装の破壊状況を考慮し、今後の舗装設計については「路面設計」→「構造設計」→「経済評価」という流れで実施していく。このためには、①舗装応答を予測する構造及び材料力学、②舗装材料の種類や性質、に関する知識を持った舗装を専門とするコンサルタント等からの要員の活用、舗装施工管理技士等の専門資格を有する人材の活用が有効であると考えられる。

（2）舗装の路面設計

舗装の設計とは、交通条件、路床条件、気象条件、及び材料条件の下で、所定の期間（設計期間）にわたって所定の性能（要求性能）を満足するように、舗装各層の厚さ、材料を決定することである。つまり、舗装の設計とは、その舗装に必要な機能から要求性能を明確にし、舗装がその要求性能を満足することを確認する作業である。舗装設計の内、要求性能を設定することを「路面設計」、舗装構成を決定することを「構造設計」という。我が国における舗装の性能、及び設計のアウトプットを表2-22に示す。

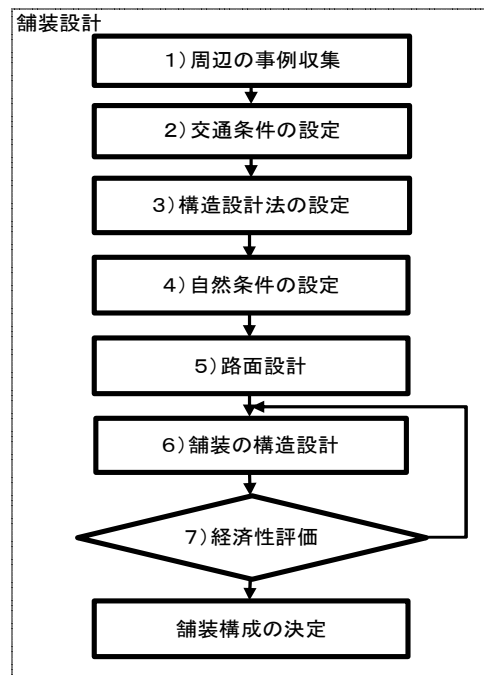


図2-14. 舗装設計の流れ（案）

表2-22. 舗装の性能と設計のアウトプット

| 設計の区分 | 舗装の性能の例 | | 設計のアウトプット |
|-------|-----------|--|---|
| 路面設計 | 路面（表層）の性能 | 塑性変形抵抗性 平たん性 透水性、排水性 すべり抵抗性など | ①表層の仕様材料 ②表層の厚さ |
| 構造設計 | 舗装構造の性能 | 疲労破壊抵抗性 透水性 その他 | 舗装構成 ①舗装を構成する層の数 ②各層の材料 ③各層の厚さ |

出典：舗装設計施工指針（H.18（社）日本道路協会）

① 路面設計では塑性変形抵抗性などを考える

アフリカ諸国等、年間を通じて高い路面温度が想定される地域では、表層の流動わだち掘れが大きな課題である。そこで、路面設計に用いる要求性能は、アスファルト舗装の場合には「塑性変形抵抗性」、コンクリート舗装の場合には「平たん性」を基本とす

る。塑性変形抵抗性の性能指標としては、「動的安定度（DS:Dynamic Stability）」を用いる。試験方法は、日本で実績のあるホイールトラッキング試験を活用する。本試験方法は実際の舗装表面での高温条件における繰返し輪荷重によって粘性流動が生じる現象を再現するものであり、我が国には既往の実績や蓄積データが豊富にある。コンサルタントが路面設計を行う場合には、我が国（相手国に基準がある場合は相手国の基準）の基準（表2-23）を参考にDSを交通条件、道路条件などから設定する。

表2-23. 我が国の塑性変形輪数の基準値（国交省令第103号）

| 日本の道路区分 | 舗装設計交通量 (単位：台/日・方向) | 塑性変形輪数:DS (単位：回/mm) |
|-----------------------------|------------------------|------------------------|
| 第1種、第2種、第3種第1級および第2級、第4種第1級 | 3,000以上 | 3,000 |
| | 3,000未満 | 1,500 |
| その他 | | 500 |

また、我が国では、ある期間における大型車交通量に対して、基準となるわだち掘れ深さを決めて、そのために必要なアスファルト混合物の目標となるDSの性能値を求める方法が提案されている。

$$DS = 0.679 \times \left(\frac{N \times W \times V \times Ct}{RD} \right)^{1.02}$$

ここに、DSは目標DS（回/mm）、Nは大型車交通量（台）、RDはわだち掘れ深さ（mm）である。Wは輪荷重補正係数で重い車が少ない場合1.0、多い場合2.0、非常に多い場合3.0をとる。Vは走行速度補正係数で一般部は0.4、交差点部は0.9の値をとる。Ctは温度補正係数で温度をTとすれば、 $\log Ct = 0.0003216T^2 + 0.0153T - 2.080$ となる。

出典：舗装工学の基礎（土木学会）

契約図書上は、施工業者の責任において提出する「舗装配合設計報告書」内に、配合設計結果と併せてホイールトラッキング試験結果を記載し、施工監理コンサルタント（および施主）が承認する手続きを標準とすることが考えられる。ただし、主設計法に「SUPERPAVE」を採用する場合は、「SUPERPAVE」が骨材のかみ合わせによるわだち掘れ抵抗を考慮した手法であることに鑑み、性能規定による手続きを必要としないことが考えられる。

Box-2.5 : その他のアスファルト混合物（路面）の評価試験法

表2-24. その他アスファルト混合物（路面）の評価試験（参考）

| 評価性能 | 評価試験 | 適用 |
|---------|--|--|
| 塑性変形抵抗性 | ホイールトラッキング試験 動的三軸圧縮試験 Asphalt Pavement Analyzer* Superpave Shear Tester* クリープ試験（繰返し間接引張試験） | ホイール型、我が国で標準的、動的安定度 動的モジュラス、静的クリープ、残留変形 ホイール型、わだち掘れ深さ せん断抵抗性の評価、静的、動的、繰返し 低温条件でのクリープ特性 |
| ひび割れ抵抗性 | 曲げ試験 曲げ疲労試験 直接引張試験 | 低温条件での破壊時ひずみ 繰返し曲げ作用に対する破壊回数 常温条件での破壊時ひずみ |
| 摩耗抵抗性 | ラベリング試験 | タイヤチェーンに対する評価 |
| 骨材飛散抵抗性 | カンタプロ試験 ねじれ抵抗性試験 | 衝撃荷重に対する評価 タイヤによる表面せん断作用に対する評価 |
| はく離抵抗性 | 水浸ホイールトラッキング試験 水浸マーシャル安定度試験 | 水分と繰返し荷重に対する評価 水分に対する評価 |
| その他 | 圧裂試験（間接引張試験） 一軸圧縮試験 | 凍結融解、劣化や老化に対する評価 レジリエントモジュラス、クリープ、他 |

*米国で実施されている試験

出典：舗装工学の基礎（土木学会）

② 構造設計では疲労破壊抵抗性を考える

舗装の構造設計では、疲労破壊抵抗性を考慮する。疲労破壊抵抗性に関しては、後述の「主設計手法と参照手法の適用」によって設計手法が決定されるため、その設計法に基づくものとする。したがって疲労破壊抵抗性の検討と設計はコンサルタントが行うことが想定される。この場合、構造設計はコンサルタントが担当するものであり性能規定は適用されない。さらに構造設計は、路床、排水構造と一体として考える必要がある。

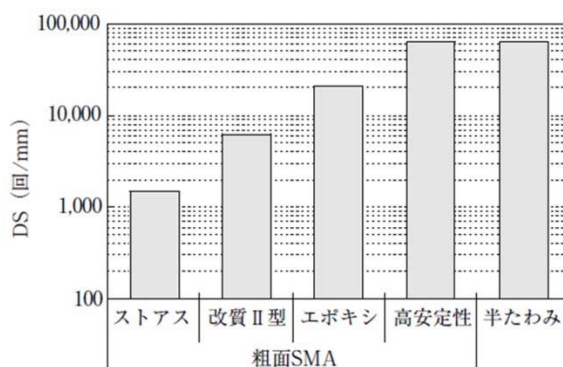
③ ライフサイクルコストの試算に基づく舗装タイプの選定

舗装の強度は、表層の路面設計によるわだち掘れ対策と、舗装各層の厚さ及び排水対策による構造体としての強さによって実現する。

多くの ODA 対象国では、供用後の維持管理が十分でないといった懸念もあり、初期の投資において可能な限り高い耐久性を見込むことが望まれる。一方これまでの我が国の資金協力事業においては、コスト（初期投資額）、材料の入手の問題などを理由として、ストレートアスファルトを用いた舗装を採用することが一般的で、一部の事例を除き、改質アスファルトやコンクリート舗装の採用が積極的に検討されることが少なかった。

しかし、本調査の現地調査の結果、表2-25に示す通り、調査対象国では既に改質アスファルト（プラントミックスタイプ）が積極的に使用されていることが明らかになった。また、コンクリート舗装も必要に応じ採用されている。

塑性変形抵抗を高める改質Ⅱ型を使用した場合、その効果は粒度分布などの諸条件によって異なるが、図2-15に示される例では、ホイールトラッキング試験による DS（動的安定度）値でストレートアスファルトの約1,500回/mm に対して改質Ⅱ型は6,000回/mm 以上となっている。



粗面 SMA：粗面タイプの碎石マッシュアスファルト混合物（13）

エポキシ：熱硬化性樹脂（エポキシ樹脂）を混合したもので、大きな耐流動性を発揮する。

高安定性：アスファルト混合物の耐油性を高める特殊添加材を混合したもの。添加材が骨材骨格に選択的に吸着し、骨材骨格の動きを繋ぎ止める。

半たわみ性舗装：アスファルト混合物の空隙に、特殊セメントミルクを浸透させた舗装。特殊セメントミルクの種類には普通タイプ・早強タイプ・超速硬タイプがある。（使用実績多数）

出典：ハイブリッドバインダによる高安定性アスファルト混合物の開発
（雑誌 道路建設23/7）

図2-15. 舗装タイプ別動的安定度の計測結果

本調査対象国の一つであるタンザニアでは、表2-26に示す通り既に改質アスファルト等の使用について「Pavement and Materials Design Manual, 1999」に規定がある。

表2-25. 調査対象各国における改質アスファルト等の使用例

| 国名 | 舗装タイプ | 備考 |
|-------|---|--|
| エチオピア | 普通コンクリート舗装 - バス停部（日本無償） - 発電所アクセス道路（中国） 半たわみ性舗装 - 駐車帯部（日本無償） 改質アスファルト - 国道1号高速道路プロジェクト（中国） - アワシユ橋（日本無償） | 最近までセメントの供給に問題があったため、高価であるコンクリート舗装は採用されてこなかった。しかし、中国資本によってセメント工場が3箇所建設されたことにより、セメントの供給が安定し、さらに金額が大きく下がったことを受け、これからコンクリート舗装の採用も進められるとのことである。 |
| ガーナ | 普通コンクリート舗装 - アクラ-テマ道路（1964年） - 主要路線上のバス停等 インターロッキング舗装 - 料金所など大型車の低速走行が発生する箇所 改質アスファルト - 国道1号ジョージブッシュ HW（MCA） - 他主要幹線道路 | 主要な国道では改質アスファルトが使用されており、国道1号線のジョージブッシュ道路（MCA）では、ビーズ入り改質アスファルトが使用されている。大手石油会社が改質アスファルトの供給を始める予定であり、供給には問題は無い。 |
| タンザニア | 転圧コンクリート舗装（RCCP） - タンザム HW（日本無償） 改質アスファルト舗装 - チャリンゼ～タンガ道路（DANIDA） - ネルソンマンデラ道路（EU） - キルワ道路補修（日本無償） | TANROAD へのヒアリングによれば、コンクリート舗装は補修に特別な技術が必要となることから、採用するのが難しいとのことである。また、コンクリート舗装を採用しても、セメントの使用料が少ないことから供給に問題があるとの認識である。（現在、建築ラッシュのために、セメント使用料の大きなビル建築にセメントが優先される。） |

表2-26. 改質アスファルト等の使用に関する基準

| | |
|--------------------|--|
| タンザニア 舗装設計マニュアル | 以下の区間に針入度「40/50」のアスファルトバインダー又は改質アスファルト使用を規定 <ul style="list-style-type: none"> ● 縦断勾配が6%を超える上り車線 ● 縦断勾配が4%以上であり、且つそれが1km 以上続く区間 ● 大交差点へのアプローチ区間 ● 全ての主要都市の路線 ● 交通が連続する区間、及び上記以外の理由で車両が低速走行となる地域 |
|--------------------|--|

また、調査対象各国で入手可能なプラントミックスタイプの改質材には、表2-27に示すようなものがある。

表 2-27. プラントミックスタイプの改質材料（例）

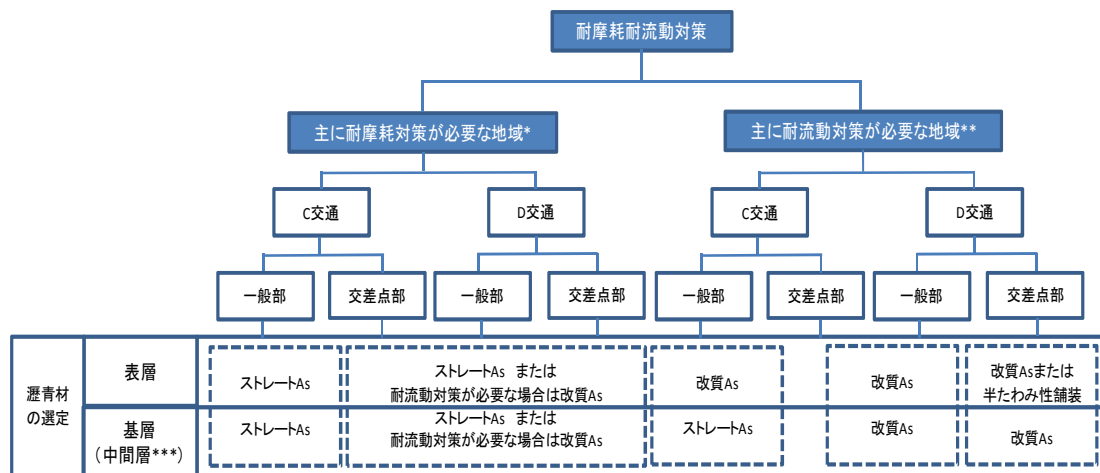
| 生産国 | 会社名 | 改質材 | 採用道路名 |
|------|-----------------------------------|-----------------------|--------------------------|
| フランス | PR Industrie | Plast S | キルワ道路（タンザニア） |
| アメリカ | Du Ponte | - | チャリンゼ～タンガ パッケージ I（タンザニア） |
| スペイン | Campi Y Jove Export | NOSBUR PLAST | - |
| 日本 | 前田工織 | かいしつくん | アワシュ橋（エチオピア） |
| 中国 | Yancheng Wantong Fiber Technology | Anti-rutting Additive | N1高速道路（エチオピア） |

前述の通り路面設計においては、我が国の基準に準拠して性能指標を取り入れていくことを前提とすると、DS値に1500（回/mm）以上を必要とする場合、必要に応じて「改質アスファルト」、「半たわみ性舗装」、あるいは「コンクリート舗装」を適宜必要とされる区間などに適用していくこととなる。ただし、アスファルト舗装のわだち掘れに対する耐力を確保するには、後に述べるように骨材のかみ合わせを確保することが肝要であり、改質剤の有無にかかわらず、現場における適切な品質管理によって骨材粒度の管理を行うことが前提となる。

また可能な限りライフサイクルコストの算定を相手国の材料価格などを考慮した上で実施し、補修材料の調達、メンテナンス体制などを総合的に判断し推奨される舗装構成と採用区間（箇所）を提案することが望まれる。ライフサイクルコストの算定事例（日本）を「ライフサイクルコスト試算例」として、巻末添付資料-3の参考資料-Bに示す。

Box-2.6 : 舗装タイプの選定フロー（国土交通省関東地方整備局「道路設計要領」）

参考までに、図2-16、表2-28, 29に国土交通省関東地方整備局の設計要領に示される、舗装タイプの選定フローを示すが、ここでは耐流動性対策が必要な地域のC交通以上の道路ではすべて改質アスファルトを使うことになっている。



*主に耐摩耗対策が必要な地域

積雪寒冷地域や路面の凍結する箇所では、タイヤチェーン等による路面の摩耗に対する対策として、耐摩耗性の高い混合物を表層に使用する。

****主に耐流動対策が必要な地域**

大型車交通量の多い道路及び交差点流入部等のわだち掘れが予想される区間では、とくに耐流動性を向上させた混合物を、【表層】または【表層+基層】に使用する。

*****中間層：**アスファルト舗装において、基層を2層に分けた場合（基層が厚い場合）の上の層。表層と基層には含まれているのでこの名称がある。

図2-16. 耐摩耗耐流動対策の選定フロー

表2-28. 舗装設計における交通量の区分（旧区分）

| 区分設計交通量の | 大型車交通量（台/日・方向）の範囲 |
|----------|-------------------|
| L交通 | 100 未満 |
| A交通 | 100 以上 250 未満 |
| B交通 | 250 以上 1,000 未満 |
| C交通 | 1,000 以上 3,000 未満 |
| D交通 | 3,000 以上 |

出典：アスファルト舗装要綱（（社）日本道路協会）

表2-29. 耐流動対策の動的安定度（DS）の目標値（回/mm）

| | C交通 | | D交通 | |
|----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|---|
| | 一般部 | 交差点部 | 一般部 | 交差点部 |
| 表層 密粒度アスコン（20） 厚さ5cm | 3000 程度 改質 アスファルト | 4000 程度 改質 アスファルト | 4000 程度 改質 アスファルト | 5000 程度 改質アスファルト または特にわだち 掘れの著しい箇所 は半たわみ性舗装 でもよい |
| 基層 粗粒度アスコン（20） 厚さ5cm | ストレートア スファルト | 4000 程度 改質 アスファルト | 4000 程度 改質 アスファルト | 5000 程度 改質 アスファルト |

出典：国土交通省関東地方整備局「道路設計要領」

（3）舗装の構造設計

舗装の構造設計を実施する際には、原則的として「設計・積算マニュアル（2009年3月）」に示される以下にしたがう。

設計基準及び積算基準類は、原則として、先方政府のものを使用するが、適切な基準がない場合には、日本の基準もしくは国際基準を参照する（JICA 協力準備調査 設計・積算マニュアル（2009年3月）、6 設計基準及び積算基準等）。

ただし、対象国の設計手法とともに、照査として他の手法による照査を実施する。照査に用いられる設計手法としては、世界的に使用される「AASHTO 1993」の設計方法、アフリカ地域においては英国の「Road Note」、南部アフリカ地域においては「SATACC」、日本で実績のある「T_A法」の他、アフリカ地域にて舗装設計の代替案として使用頻度の高い南アフリカの設計基準などが照査設計法の候補となるが、以下のように実施することが考えられる。

- ① 主設計手法は相手国政府による基準によるものとし、確立されていない場合は我が国の、「車道及び側帯の舗装の構造の基準に関する省令」および「舗装の構造に関する技術基準」（ともに平成13年6月）、AASHTO 設計法（1993）、荷重条件が満たされれば「Road Note 31」から自然条件、材料条件を考慮して選定する。
- ② 参照手法は、総合的な支持力の照査目的で行うものであるが、主設計手法の数値が必ずしも100%参照手法の結果を満たす必要はない。手法としては、適用限界が無く、確実性のある経験的設計法である我が国の手法（ T_A 法を中心とする）、諸外国で親しまれているAASHTO 設計法（1993）の他、荷重条件が満たされれば「Road Note 31」を標準とすることが考えられるが¹³、さらに我が国の構造設計法の多層弾性理論¹⁴など他の手法を加味することも考慮する。

「Road Note 31」による設計では、日本ではほとんど考慮されていない、路盤・路床に侵入した水をいち早く排除する仕組みと、舗装の支持力を砂利を中心とする路盤に期待している点に十分注意する必要がある。また、AASHTO 基準や T_A 法による設計であっても、路盤内あるいは路床排水に失敗すると舗装は急速に破損する危険性があることに注意すべきである。

また、報告書には必ず舗装構成の決定にいたる計算過程を明示する必要がある。

表2-30. 比較を実施する舗装設計基準

| 対象国 | 設計基準名 | 照査手法としての適用* |
|------------------|---|-------------|
| アメリカ | AASHTO Guide for Design of Pavement Structures 1993 | ◎ |
| 日本 | 舗装設計便覧（平成18年2月） | ◎ |
| 南部アフリカ (SATCC**) | Code of Practice for the Design of Road Pavements 1998 | ○ |
| 英国 (TRL***) | Overseas Road Note 31 A GUIDE TO THE STRUCTURAL DESIGN OF BITUMENSURFACED ROADS IN TROPICAL AND SUB-TROPICAL COUNTRIES | ○ |
| 南アフリカ | Draft TRH****-4 (1996) Structural Design of Flexible Pavement for Interurban and Rural Roads | ○ |

*：◎必ず実施、○条件を満たせば実施

**SATCC：Southern Africa Transport and Communications Commission

***TRL：Transport Research Laboratory

****TRH：Technical Recommendations for Highways

¹³ 【注意】AASHTO 法では、各層毎に厚さを決定しなければならないが、一部の報告書に誤りが見られたので手法の確認の上で適用することを推奨する。

¹⁴ 多層弾性理論の適用：本調査の対象国の設計基準、及び上記の基準は、経験に基づく経験的設計法、又は各層の厚さ、材料の品質、強度などを細かく規定し、それらを満足していく仕様設計法となっている。このため、多層弾性理論を用いた理論的設計も参考として実施することが望ましい。この方法では、舗装温度や材料特性（弾性係数、ポアソン比）を考慮することが可能であり、気象条件の厳しいアフリカ地域における舗装設計の照査に有効である。ただし、材料特性を正確に把握することは、費用や調査期間の観点から困難であることから、参考として取り扱う。多層弾性理論による照査例を資料-1「多層弾性理論による設計照査例」として巻末に示す。

表2-31. 設計法の概要（1）

| 設計指針 | AASHTO Guide for Design of Pavement Structures | 舗装設計便覧 | |
|------------|---|---|--|
| 作成国 | アメリカ | 日本 | |
| 設計手法 | 経験的設計法 | 経験的設計法 | 理論的設計法 |
| 適用限界 | 無し | 無し | 無し |
| 設計の流れと主な特徴 | <p>① AASHTO 道路試験で得られた経験的情報から、「交通量」「設計および供用性」に対する【信頼性】【路床の支持力】【舗装構成】が関係する基本式を作っている。</p> <p>② 舗装の構成は、各層ごとに求める厚さと層係数および排水係数の積の総和が必要とされる構造指数を満足するように決定する。</p> | <p>(T_A法による場合)</p> <p>①設計期間における大型車交通量から交通量区分を定める。</p> <p>②路床を CBR にて評価し、区間の CBR から設計 CBR を求める。</p> <p>③交通量区分と設計 CBR、及び信頼度から目標 T_A を定める。</p> <p>④各層の設計舗装厚と等値換算係数の積から等値換算 T_A を算出し、これが目標 T_A を下回らないように舗装構成を定める。</p> | <p>(多層弾性理論による場合)</p> <p>①計期間における大型車交通量から交通量区分を定める。又は 49kN 換算輪数の設定。</p> <p>②温度条件の設定。</p> <p>③材料条件（弾性係数、ポアソン比）の設定。</p> <p>④仮定の舗装断面について、多層弾性理論による計算を実施。</p> <p>⑤破壊基準式による破壊回数の計算により力学的安全性を満たすか確認し、舗装断面を決定。</p> |

表2-32. 設計法の概要（2）

| 設計指針 | Overseas Road Note 31 | Code of Practice for the Design of Road Pavements | Draft TRH-4 |
|------------|--|--|--|
| 作成国 | 英国 | 南部アフリカ (SATCC) | 南アフリカ |
| 設計手法 | 仕様規定法 | 仕様規定法 | 仕様規定法 |
| 適用限界 | 30 x 10 ⁶ | 30 x 10 ⁶ | 100 x 10 ⁶ |
| 設計の流れと主な特徴 | <p>①計画交通量および等価車軸荷重、設計期間の設定</p> <p>②路床となる対象地盤の支持力の評価</p> <p>③カタログより、①～②の条件、及び使用する材料に基づき舗装構成を選定。</p> | <p>①計画交通量および等価車軸荷重、設計期間の設定</p> <p>②路床となる対象地盤の支持力の評価</p> <p>③気象条件 (Dry or Wet) を選定</p> <p>④カタログより、①～③の条件、及び使用する材料に基づき舗装構成を選定。</p> | <p>以下の9つの検討項目によって舗装設計を実施する。</p> <p>①設計方針の検討</p> <p>②道路カテゴリーの決定</p> <p>③設計条件の設定</p> <p>④計交通量及び舗装クラス</p> <p>⑤材料条件</p> <p>⑥環境条件</p> <p>⑦経験からの配慮事項</p> <p>⑧構造設計及び舗装タイプの選定</p> <p>⑨経済分析</p> |

(4) 問題土（ブラックコットン）対策

【問題土の識別】

2.3.5 に示したように、ブラックコットンソイルは黒灰色であり、乾燥時には多数のクラックが生じている。このような状態の土を確認した場合には、最も簡易な方法として、試料に水を加えて膨張性を確認する方法がある。(写真 2-24, 25) また、ブラックコットンソイルが地表面に露出していない場合でも、乾燥時に表土に多数のクラックが見られる場合には、下層にブラックコットンソイルの存在を疑うべきである。



写真2-24. 不飽和状態のブラックコットンソイル 写真2-25. 飽和状態のブラックコットンソイル

その他、植生の特徴として、イネ科、キク科の草花、中・高木ではアカシア等の分布が多く見られる。これらは、事前にブラックコットンソイルの存在とともに現地の技術者との情報交換を実施することが重要である。

また、タンザニアの基準では現地調査と物理試験から、以下のようにブラックコットンソイルを判断する方法を提案している。

《一般的な調査》

- ・ 地理・地質学からの判断
- ・ 現地調査
- ・ 土の物理試験結果（コンシステンシー限界（液性/塑性限界、収縮限界）と粒度分布）
- ・ 土質試験結果からの解析

《膨張土の典型的な特徴》

| 項目 | 特徴 |
|--------|-----------------------|
| 土の分類 | 一般の粘性土より粘性が高く、膨張率が大きい |
| 乾燥時の状態 | 非常に硬く、変形しにくい |
| 湿潤時の状態 | 粘着性があり、非常に柔らかい |
| 見た目 | 表面にクラックがあり、面的な亀裂がある。 |

《物理試験結果》

以下のような特徴がある場合は、膨張土の可能性が高いとされることから、さらなる調査もしくは解析を行う。

- ・ 現場での評価の結果が膨張土の特徴を示した場合、及び PI（塑性指数）>20%

詳細な物理試験結果から、膨張土を識別する方法もいくつか提案されている。以下に、膨張土を判断するための物理特性と粒度特性の一例を表 2-33～36 に参考として示す¹⁵。なお、以下の表に示される判定法は広く一般化されたものではないことに注意する必要があるが、通常土質試験の結果の範囲内で判定が可能であることから、参考としては有効であると考えられる。この他、特殊な方法として成分分析器や X 線を用いた判定事例もあるが、使用は学術的な研究に用いられるなど限定的である。

¹⁵ 出典：「Evaluation of Swell Potential and Identification of Expansive and Problematic Soils in Civil Engineering Works by Newly Developed Matrices Based on Index and Grain Size Properties.」

表2-33. 膨張土と問題土の判定マトリックス（1）

| 行 ↓ | 列→ | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|--------|----------------|-------------|----------|----------------------------|-----------|-----------|-----------|
| | 土の分類 | 指 標 | | | | | |
| | | 自然含水 比 % | 比重 | 乾燥密度 gm/cm ³ | 液性限界 % | 塑性指数 % | 収縮限界 % |
| 1 | 膨潤性（高） | <14 | | | | | |
| 2 | 膨潤性（中） | 14-20 | | | | | |
| 3 | 膨潤性（小） | >20 | | | | | |
| 4 | 強度（大） | | 2.0-2.25 | | | | |
| 5 | 強度（中） | | 2.25-2.7 | | | | |
| 6 | 強度（小） | | >2.75 | | | | |
| 7 | 強度（小） 且つ支持力（中） | | | <1.5 | | | |
| 8 | 強度（中） 且つ支持力（大） | | | 1.5-1.75 | | | |
| 9 | 強度（大） 且つ支持力（小） | | | >1.75 | | | |
| 10 | 膨張度（かなり高） | | | | 60-70 | | |
| 11 | 膨張度（高） | | | | 40-60 | | |
| 12 | 膨張度（中） | | | | 30-40 | | |
| 13 | 膨張度（小） | | | | 20-30 | | |
| 14 | 膨張度（かなり高） | | | | | > 35 | |
| 15 | 膨張度（高） | | | | | 20-35 | |
| 16 | 膨張度（中） | | | | | 10-20 | |
| 17 | 膨張度（小） | | | | | > 10 | |
| 18 | 膨張度（かなり高） | | | | | | > 30 |
| 19 | 膨張度（高） | | | | | | 20-30 |
| 20 | 膨張度（中） | | | | | | 10-20 |
| 21 | 膨張度（小） | | | | | | < 10 |

表2-34. 土の分類チャート（1）

| 分類 | 対応（列・行） |
|-------------|---|
| 高い膨張性グループ | (1,1), (2,4), (3,7), (4, 10) & (4, 11), (5,14) & (5,15), (6, 18) & (6,19) |
| 中程度の膨張性グループ | (1,2), (2,5), (3,8), (4,12), (5,16), (6,20) |
| 低い膨張性グループ | (1,3), (2,6), (3,9), (4,13), (5,17), (6,21) |

表2-35. 膨張土と問題土の判定マトリックス（2）

| 行 ↓ | 列→ | 1 | 2 | 3 |
|--------|-------------------|---------|-----------|-------------|
| | 土の分類 | 粒度 | | |
| | | 粘土片(%) | コロイド結晶(%) | 活性度 |
| 1 | 膨張の可能性（かなり高） | > 28 | | |
| 2 | 膨張の可能性（高） | 20 - 28 | | |
| 3 | 膨張の可能性（中） | 12 - 20 | | |
| 4 | 膨張の可能性（小） | 0 - 12 | | |
| 5 | 膨張度（かなり高） | | > 28 | |
| 6 | 膨張度（高） | | 20 - 28 | |
| 7 | 膨張度（中） | | 15 - 20 | |
| 8 | 膨張度（小） | | < 15 | |
| 9 | 活性土及び体積変化の可能性（高） | | | > 1.40 |
| 10 | 通常の土及び体積変化の可能性（中） | | | 0.75 - 1.40 |
| 11 | 不活性土及び体積変化の可能性（小） | | | < 0.75 |

表2-36. 土の分類チャート（2）

| 分類 | 対応（列・行） |
|-------------|--------------------------------------|
| 高い膨張性グループ | (1,1) & (1,2), (2,5) & (2, 6), (3,9) |
| 中程度の膨張性グループ | (1,3), (2,7), (3,10) |
| 低い膨張性グループ | (1,4), (2,8), (3,11) |

【問題土の対策】

タンザニアでは、広く全土にわたってブラックコットンソイルが存在し、道路建設の際にしばしば問題となる。このため、TANROADSの舗装設計マニュアルの中に、ブラックコットン対策工が示されている。本マニュアルでは、ブラックコットンソイルを膨張係数によって表2-37のように分類し、それぞれに対して対策工を提案している。

表2-37. タンザニアにおけるブラックコットンソイルの分類

| 膨張率 ϵ_{ex} | 分類 |
|---------------------|--------|
| < 20 | Low |
| 20 - 50 | Medium |
| > 50 | High |

表2-38. 分類別に示される対策工

| 膨張率 | 対策工 | |
|-------------------------------------|--|--|
| | 幹線道路（舗装道路） | その他（舗装道路） |
| Low $\epsilon_{ex} < 20$ | 路肩シール 法面勾配 1:6 | |
| Medium $\epsilon_{ex} < 20 - 50$ | 図2-24上段参照 路肩シール、法面勾配：1:6以下 最少盛土厚：1.0m | |
| High $\epsilon_{ex} > 50$ | 図2-24中段及び下段参照 置換え厚：0.6m、最少盛土厚：1.0m、路肩シール、法面勾配：1:6以下 最少路肩幅：2.0m | |
| | 代替案：無 | 図2-24上段 参照 路肩シール、最少路肩幅：2.0m、最少盛土厚：1.0m、法面勾配：1:6以下 |

表 2-38 の対策工を図化したものが図 2-17 である。最上段の図は、膨張率（Low）に対応しており、盛土の高さは考慮されていない。下 2 段の図は、膨張率（Medium）と膨張率（High）のブラックコットンに対する対策工であり、盛土の高さ別に対策が規定されている。

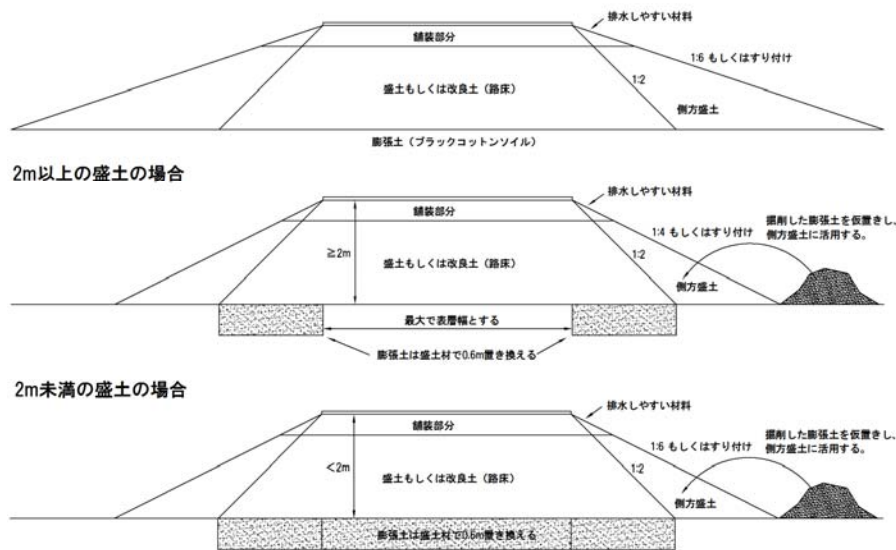


図2-17. ブラックコットンソイル対策工（TANROADS 舗装設計マニュアル）

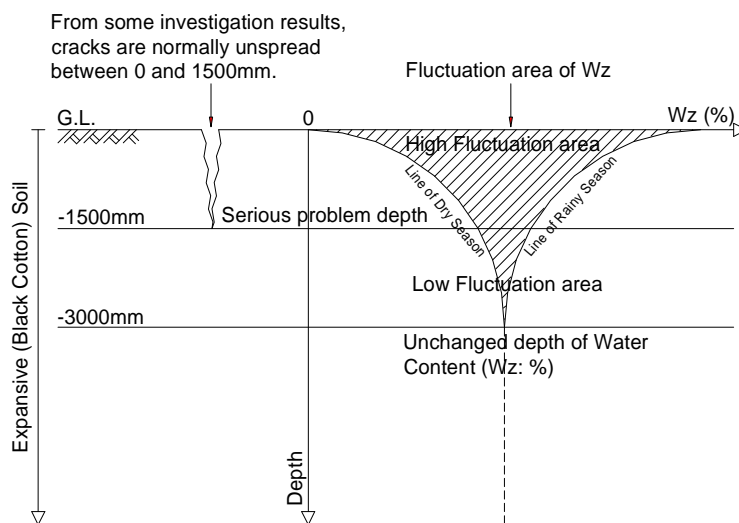
なお、上記の対策工を実施したにもかかわらず、対策後に変状が発生した事例も確認されている。

エチオピアでもほぼ全土に渡ってブラックコットンソイルが分布し、道路整備に対して大きな支障となっている。このため ERA のマニュアルには、(a) 線形改良、(b) 掘削・置換え、(c) 石灰安定処理、(d) 水分量変化の最小化、の 4 種類の対策が提案されており、置換え材料が入手できる場合には、掘削・置換えが最も経済的であるとしている。表 2-39 に直近で完了したプロジェクト、及び実施中のプロジェクトにおいて採用されたブラックコットン対策を表 2-39 示す。

表2-39. エチオピアにおけるブラックコットンソイル対策例

| 路線番号 | プロジェクト | 対策案 |
|-------------|--------------|--|
| 国道2号線 | アディス～タマベル間 | 800mmの置換え |
| 国道5号線 | アディス～ジンマ間 | 500 - 1500mmの置換え 低密度ポリエチレンシートによる縦壁の設置 |
| 国道3号線 | 第四次幹線道路改修 | 1000 - 3000mmの置換え 遮水シートによる縦壁の補強 |
| 国道1号線 | アディス～アダマ高速道路 | 800 - 1500mmの置換え |
| ERA 基準 (参考) | | 良質材料（CBR5 以上の材料）による 1000mmの置換え。下層に残るブラックコットンソイルについては、含水比の変化が生じないように対策する。 |

我が国の無償工事で実施されている「エチオピア国第四次幹線道路改修計画」では、AAUの土質学の教授へのヒアリング結果を対策工に反映している。そのヒアリングによれば、雨期、及び乾期の水分量の変化により、ブラックコットン層で含水比の変化が生じるのは地表から3mまでであり、特に影響の大きい範囲は地表から1.5mまでとのことである。（図2-18参照）



出典：第四次道路改修計画調査報告書

図2-18. ブラックコットンソイル層の含水比の変化

また、本調査で実施したブラックコットンソイルに精通している現地コンサルタントへのヒアリングによれば、エチオピアのブラックコットンソイルの性質は、高地と低地で大きく異なり、低地である南部のブラックコットンソイルの CBR 試験結果では、4%という高い数字が出たこともあるとのことである。

その他、ブラックコットンソイルが問題となる国々での対策基準は表 2-40 のとおりである。

表 2-40. 他国におけるブラックコットンソイル対策工基準

| 対象国 | 推奨対策案 |
|------------|----------------|
| ジンバブエ基準 | 700mm の置換え |
| ケニア基準 | 1000mm の置換え |
| インドケーススタディ | 1000mm の置換え |
| SATCC | 1000mm の置換え |
| アメリカ | 最大 1500mm の置換え |

(5) 登坂車線設置による大型車の分散

大型車の速度低下が発生するのは、主に道路の上り勾配の区間である。このような区間に登坂車線を設置し、低速車とその他の車両を分離することは、追い越し機会を提供することによる安全性の向上の他、低速車両数の低減、多車線化による交通量の分散に寄与し、舗装の受けるダメージを緩和することができる。本調査の中では、我が国の無償で実施されたエチオピア国「第一次幹線道路改修計画」の山間部にて登坂車線を設置しており、供用後 10 年以上経過しているが、良好な舗装の状態を保っていた。

登坂車線については、日本の道路構造令では、一般道路で縦断勾配が 5% を超える区間に、必要に応じて（大型車の走行速度が設計速度の 1/2 以下に落ちる場合）設置することになっている。南部アフリカ地域の SATCC 基準では、大型車が通常走行速度から 20km/h 以上速度が落ちる場合に登坂車線の設置が要求される。調査対象国の一つであるエチオピア国では、道路のクラスにより表 2-41 のように規定されている。

表 2-41. 登坂車線の設置基準（エチオピア）

| 道路クラス* | 縦断勾配 (%) | 登坂車線設置を設置しない最少長 (m) | 特例値 (m) |
|------------|----------|---------------------|---------|
| DS2 & 3 | 4 | 300 | 900 |
| DS2, 3 & 4 | 5 | 240 | 800 |
| DS2, 3 & 4 | 6 | 200 | 700 |
| DS2, 3 & 4 | 7 | 170 | 600 |
| DS2, 3 & 4 | 8- | 150 | 500 |
| DS2, 3 & 4 | 9 | 130 | 400 |
| DS2, 3 & 4 | 10 | 要設置 | 400 |
| DS4 | 11 | 要設置 | 400 |
| DS4 | 12 | 要設置 | 400 |

*DS: Design Standard の略で数値が小さいほど道路の規格が高い。

（6）業務指示書への記述例

① 舗装の路面設計

舗装設計では、舗装の要求性能を明確にして、全体設計の合理化のために路面設計を行うこととし、改質アスファルトやセメントコンクリート舗装の適用についても検討を行う。アスファルト舗装では「塑性変形抵抗性」、コンクリート舗装では「平坦性」を重視する。

わだち掘れ対策としての改質アスファルト等の適用については、性能要求に対する試験を実施することが望ましいが、調査・設計段階においては施工時に用いられるアスファルト合材により供試体を作成することは困難であることから、対象国の基準、又は日本の基準により採用個所を選定する。ただし、わだち掘れ対策として骨材のかみ合いの確保が肝要であり、施工の品質管理によって、骨材粒度分布の適正化に努めることが基本である。また、ライフサイクルコストの概念を用いた検証も実施することが望まれる。

② 舗装の構造設計

道路の舗装構成を検討するに当たり、相手国政府の設計基準と併せ我が国のTA法、及びAASHTO1993の舗装設計法による比較を実施し、舗装構成の妥当性を確認する必要がある。また、多層弾性理論に基づく設計法による照査を参考までに実施することも考える。多層弾性理論に基づく設計法については、調査段階で材料特性を正確に把握することが困難であるため、マニュアル（例えば「舗装設計便覧（日本）」）等に示される一般的な値を用いる。

③ 問題土対策

現地調査の実施に当たり、現地の道路管理者や技術者から問題土の分布について事前に確認する。現地において問題土が確認された場合には、その分布状況をテストピットやボーリングにて確認するとともに、試料を採取して問題土の基本的性状（膨張率を含む）を土質試験により把握する。問題土か否かの判定が現地確認のみでは難しい場合には、現地技術者の同行及び簡易なサンプリング試験等により、問題土の可能性を先ずは検討する。対策工については、相手国側に基準がある場合にはそれに従うことを基本とするが、対策工の実施事例と現状の情報を収集し、標準とされる対策工の妥当性を確認する。標準とされる対策工の実施事例にて問題がある場合や対策工が標準化されていない場合には、他国の事例や土質調査結果に基づき対策工を提案する。

④ 低速重車両対策

低速車両は、交差点などの特定の区間を除く一般走行路では、勾配区間で発生すると言えるので、勾配区間の舗装設計に当たっては、走行速度の低下による影響、すなわち速度がN分の1になるとすると、N倍の影響となる低速車を考慮して、特に路面温度の上昇などが見られる場合、改質材などの利用が考えられる。またさらに可能な場合は登坂車線について採用を考慮する。

2.4.8 排水計画と水理検討及び排水施設設計

（１） 排水の種類

雨水等の水は直接、間接に道路に損傷を与える。例としては、のり面崩壊、排水溝の閉塞による土砂流出、排水不良による盛土や擁壁の崩壊、舗装の破損などである。また、道路に損傷を与えなくても、路面の排水が悪いと降雨や融雪などによって水溜りが生じ、交通の停滞やスリップ事故を引き起こすことになるため、道路の設計、施工および維持管理にあたっては、舗装や構造物と同様に排水施設にも十分な配慮が必要である。

排水の種類は、以下のように定義されている。

① 表面排水

降雨又は降雪によって生じた路面および道路隣接地からの表面水を排除することをいう。ただし、のり面を流下する水は表面水ではあるが、のり面排水の対象として扱う。

② 地下排水

地下水位を低下させること、および道路に隣接する地帯ならびに路面から浸透してくる水や、路床から上昇してきた水をしゃ断したり、すみやかに除去することをいう。

③ のり面排水

切土、盛土あるいは自然斜面を流下する水や、のり面から湧出する地下水によるのり面の浸食や安定性の低下を防止するための排水をいう。

④ 構造物の排水

構造物の裏込め部のたん水や構造物内の漏水および降雨、降雪により生じた橋面の表面水等を除去することをいう。

出典：「道路土工—排水工指針（日本道路協会 S62.6）」

（２） 道路排水計画の調査

道路排水計画のための調査は、下記に示すような点に注意しながら、表2-42に示す項目について実施される。また、海外業務においても基本的に同様の調査が実施される。

- 計画地域の気象状況
- 表面水が局部的に集中して流れるような箇所
- 地山からの湧水や浸透水の多い箇所
- 集めた水を排除する流末の状況

表2-42. 排水設計に必要な調査

| 調査項目 | 調査目的・趣旨 |
|---------------------------------------|---|
| ① 気象 | 流出量の決定 施工時の排水計画 凍上対策 除雪、融雪対策 |
| ② 地形および地表面の被覆状況 | 流出量の決定 地下浸透流予測 |
| ③ 土質と地下水など | 凍上対策 施工時の排水計画 地下排水工の決定 のり面排水工の決定 |
| ④ 同一排水系統に含まれる地域にある既設排水施設の断面と状況および排水系統 | 流出量の決定 新設排水系統の計画 |

出典：山梨県設計要領

① 気象調査

気象調査は排水施設の計画や、排水施設の構造、規模を決定する場合の基本となるものである。気象調査では、必要に応じ計画地域付近の降雨量、降雨日数、気温、凍結状況などについて調査する。

② 地形および地表調査

一般に地形および地表面の状況に関しては、現地踏査を行うことによって、地図の判読からだけでは得られない詳細な資料を得ることができる。例えば、集水区域内の地表面の状況や傾斜、あるいは周辺地域の開発などの人為的な要因による地表状態の変動等である。また、特にのり面排水、地下排水のためには、地すべり、崩壊の有無、斜面の浸食状況、植生の状況などもあわせて調査する。

③ 土質と地下水

土質と地下水に関する調査は、既往文献や現地踏査によりその概要を把握した後、必要に応じてテストピット、ボーリング、サンプリングなどによって土質および地層の状態を調べる。地下排水施設、のり面排水施設、およびトンネル、擁壁など構造物の排水施設の設計にあたっては、地下水位、地下水の動き、湧水の状況、透水層の位置と透水係数および不透水層の深さなども調査する。

④ 水系および湧水調査

現況の水路系統および湧水調査は、排水施設の設計において現況水路と道路排水の整合を保つことや、盛土の安定あるいは切土のり面の安定を図るための資料を得ることを目的とする。したがって、現況用排水路の種別、流下方向、水路構造の種類と断面寸法、水路の利用状況などの調査を行い、さらには、湧水のある地点や湿地帯の分布も調査する。

⑤ 関連機関との協議

排水施設の計画・設計においては、周辺地域の土地利用者や開発事業者あるいは流末処理にかかわる各々の管理者との協議を行い、相互に確認しておくことが重要である。日本におけるこれらの関連機関としては、次のような機関があげられる。

- 関連道路事業者
- 河川改修事業者
- 下水道事業者
- 土地区画整理事業者
- 土地改良事業者
- 砂防事業者
- 水利組合
- 地権者

（３） 道路排水計画調査の問題点

アフリカ地域で道路排水計画を実施する場合、特に大きな課題となるのがデータの不備である。雨量データは欠測が多く、河川の流量（水位）データは存在しない、また降雨強度データは更新されていないことが通常である。このため、準備調査段階の排水計画においては、可能な範囲でデータを収集するとともに、道路管理者のみならず、その他の河川関係機関等から幅広く情報を集めることが必要である。また、可能な範囲で水理解析を実施し、定性的な判断に留まらない論理的な裏付けを作成することが重要である。

特に、橋梁架設地点においては、橋梁を設置する河道の形状や河道幅、洪水特性、橋台・橋脚の形状、設置位置等、橋梁設置に関する様々な要素により異なるため、水理検討を行う際には各架橋地点の状況に応じて、一般的によく懸念される以下に示すような架橋により生じる水理的課題を想定し、それに応じた検討項目、検討手法を設定しておく必要がある。

- 橋脚堰上げによる架橋地点上流での水位上昇
- 流速増加、偏流による堤防への影響
- 掃流力変化に伴う周辺河床変動への影響
- 流速増・乱れに伴う河岸などの局所洗掘

河川の流速については、「河川砂防技術基準（日本）」にて流速を2～4m/s程度に設定することを目安とすることとなっている。都市内河川については、河床勾配も緩やかなことから2～4m/sとすることが望ましく、山間部などでやむを得ない場合でも5m/s程度に抑えることが望ましい。

上記の水理検討において最も重要なことは、架橋を原因とする堤防破壊や河床洗掘等

の現象に対し、橋台、橋脚の設置位置、設置方向等、架橋する側が変更することにより対応が可能なのか、護岸・護床工等の防護工の設置等、架橋により生じる影響に対し対策工を講ずることにより対処することが適切であるかを判断することである

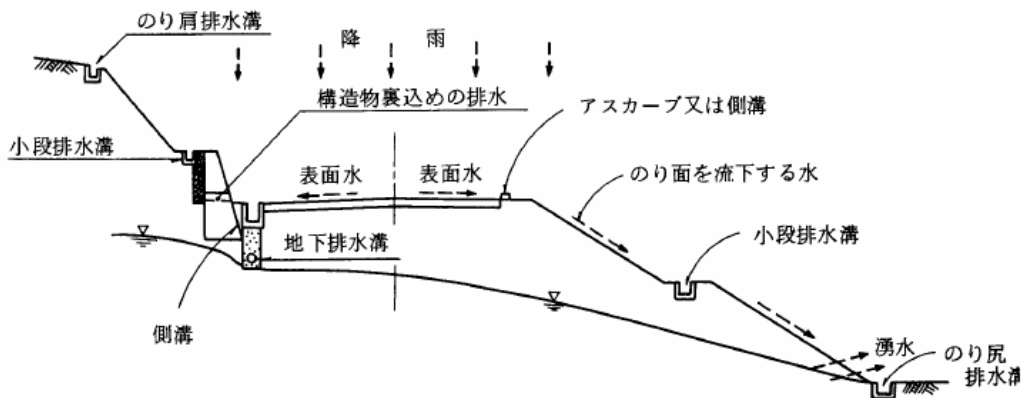
表2-43. 架橋により懸念される事項及び水理検討内容

| 検討事項 | 橋脚堰上げによる架橋地点上流での水位上昇 | 流速増加偏流による堤防への影響 | 掃流力変化に伴う周辺河床変動への影響 | 流速増・乱れに伴う橋脚・河岸の局所洗掘（1出水毎） |
|----------------|---|---|---|--|
| 水理検討の内容 | 架橋地点上流区間での縦断的な水位上昇量の予測 | 架橋地点周辺の平面的な流向・流速分布の予測 | 架橋地点上下流区間での短期・長期河床変動の予測 | 架橋地点周辺での局所洗掘の度合いの予測 |
| 水理検討における評価基準の例 | <ul style="list-style-type: none"> 架橋地点上流での予測水位が HWL 以下に収まる 架橋地点上流の既存堤防の安全性が確保されている 架橋地点上流の既設橋梁において、所定の桁下余裕高が確保されている 等 | <ul style="list-style-type: none"> 流速増分が設置前に比して大きくなる 河岸への偏流が生じない 堤防弱点箇所と想定される位置に、高速流が衝突しない 予測される水衝部に、護岸等が適切な範囲で計画されている等 | <ul style="list-style-type: none"> 河床低下が予測される区間で、新設・既設の構造物の安全性が確保されている 河床上昇が予測される区間で、洪水疎通能力が確保されている 等 | <ul style="list-style-type: none"> 予測される局所洗掘に対し、新設・既設の構造物の安全性が確保されている 予測される局所洗掘に対して、防護工が適切な範囲で計画されている等 |

出典：河川を横過する橋梁に関する計画の手引き（案）（H21：国土技術研究センター）に基づき調査団が作成

（４） 道路排水施設の計画

道路排水施設を計画する場合、対象となるのは表面排水と地下排水である。表面排水とは路面排水と隣地排水等を適切な流末に導く処理のことを指し、地下排水は路体、路床、路盤の軟弱化を防止するために地下水位の低下を目的に設置しされるものである。図2-19に一般的な排水の種類、及び排水施設の設置例を示す。



出典：道路設計要領（H. 20 中部地方整備局）

図 2-19. 排水施設の種類

表面排水は、一般的に路側に設けた側溝、横断排水施設、柵などを介しながら適切な流末へ導かれる。しかし、アフリカ地域においては、排水施設の維持管理（清掃等）が

頻繁に行われていないことから、写真2-26示すように施設に土砂が堆積したり、写真2-27に示すようにゴミ捨て場となったりする場合が多い。写真2-28は、重量車両により破壊された側溝蓋であるが、これらが改修されることはほとんどない。これらの維持管理の不備は、道路の冠水を引き起こし、道路の路盤や路床を軟弱化させる。



写真 2-26. 土砂で埋まった横断管。



写真 2-27. ゴミ捨て場と化した横断函渠。



写真 2-28. 重量車両により破壊された側溝蓋。



写真 2-29. 道路から離れた位置の流末（河川）の状況。

写真2-29は流末となる河川である。道路を横断する部分については、構造物により適切な処理がされるが、道路から離れた地点では「原始河川」のままである。このため、過度に水が流入すると頻繁に河道が変化することもある。また、流末周辺（下流部）に居住者等がいる場合には、道路横断構造物の整備による流出量の増加が生活に支障を与えることもあるので注意しなければならない。

このような表面排水上の問題は、十分な現地調査と設計時の配慮によりある程度回避することが可能である。第一には、極力断面の大きな横断構造物（少なくともφ900mm～1,000mm）を採用し、維持管理しやすい施設にすることが重要である。その他、土砂の堆積が想定される場合については、前後に小規模なチェックダム（土砂止め）を設置することが考えられる。また、ゴミの問題については、蓋やグレーチングによる対応も考えられる。急激な流出量の増加が、周辺の社会環境へ影響を与える場合には、調整池の設置についても検討が必要である。

（５） 路盤排水

表面排水の処理は、前述のように設計上の配慮で対応することが可能である。しかし、

地下排水対策を検討するためには、少なくとも雨期と乾期の地下水調査を実施することが必要となる。エチオピアでの地下排水施設に関するコンサルタントへのヒアリング結果では、このような地下水の流れを把握するために以下のように対応しているとのことであった。

- 雨水などの流れの傾向は、地元民や地方事務所職員から情報を得ている。また、水文技術者が現場で確認する。さらに必要であればテストピットを掘る。必要に応じてボーリングも行われる。

ただし、雨期及び乾期の調査においても、現実的には地下水の影響を把握することは容易ではなく、工事期間中のモニタリングを通して対策工を検討しつつ実施していくことが妥当な方法であると考えられる。

また、このような道路排水の問題に対して、欧米諸国では路盤排水という考え方が広く普及している。これは透水性の高い路盤材料を使用し、路盤層を排水層として道路端部へ排水する方法である。この路盤排水の方法は、TPB(Treated Permeable Base)と言われ、SATCC や Road Note31にも同様の考え方が示されている。

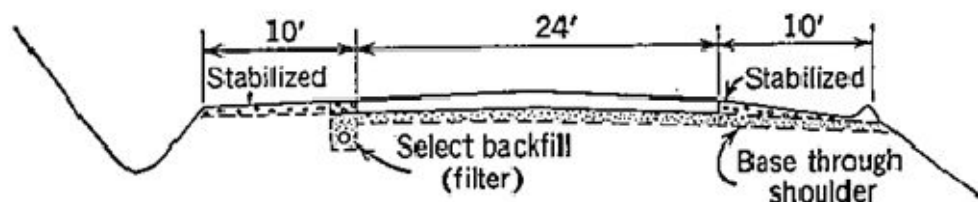


図2-20. 米国における路盤排水の設計例¹⁶

(7) 業務指示書への記述例

排水計画を検討するに当たり、道路の路面排水だけでなく、地下排水さらには隣接地排水の流域等を十分に調査するものとある。

また、道路横断する構造物（橋梁やカルバート）については交差部の形状のみならず、道路建設に伴う問題点を十分に把握し、その問題点を回避するための施策を計画に反映させるものとする。

¹⁶ 米国における一般的設計方法（Common Practice）で、山側の切土部に暗渠排水を、谷側の盛土は路盤材を路肩を貫いて敷設する。（ただし、路肩が広い場合や排水を確実にしたい場合、盛土側にも縦方向の暗渠を設置する。なお路肩材の‘Stabilized’は粒調砕石を含む。）また、路肩の路盤排水を有効ならしめるには、路盤材（一般的に下層路盤）の材料がクラッシャーランや礫材などの透水性の確保されたものである必要があり、またサイドへの排水は、すべての区間に設置せずとも特に縦断勾配の底部に設置すると良い。我が国道路土工排水工指針にも同趣旨の記述がある。

Box-2.7：路盤排水の採用例

現在、ガーナにて実施中の「国道8号線改修」プロジェクト（日本無償）においても、試みとして図2-21に示すように透水性の高い路盤材を路肩まで延伸し、横断方向の排水効率を高める設計とし、この設計に基づき事業が実施されている。

路肩部分への材料適用例

(1) 路肩に上層路盤同等材を用いるタイプ

メリット： 何らかの原因で舗装内に浸入された水に対し強い

デメリット： 建設費用の高騰

留意点1： 適用範囲を限定することで、コスト抑制は可能（例：サグ部への設置のみとする、など）

留意点2： 客土調達に制約がある場合は有効

留意点3： 方勾配部の側溝からの水の浸入に注意

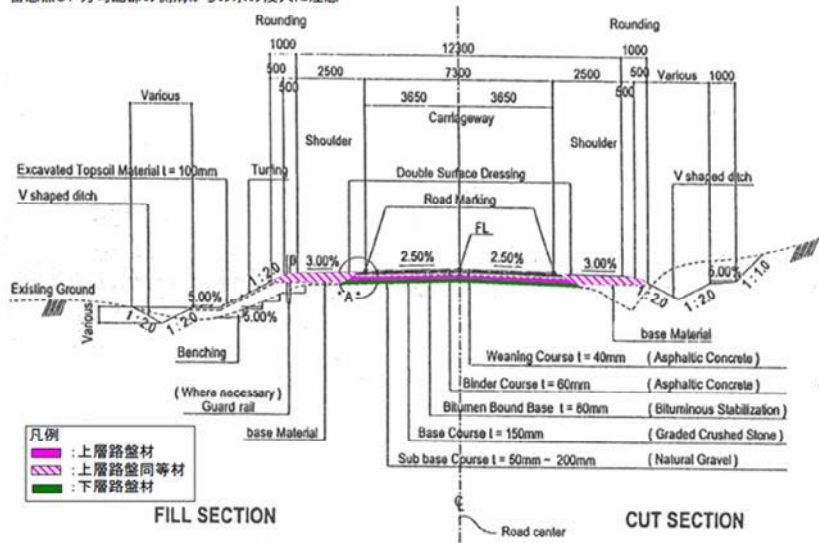


図2-21. 変更標準断面図（ガーナ8号線プロジェクト）

3. 事業実施段階の品質向上

3.1 詳細設計と入札図書作成の留意点

3.1.1 詳細設計の内容

無償資金協力事業の実施段階の詳細設計とは、準備調査で確定した中心線位置、用地幅に基づき、工事に必要な詳細構造を経済的かつ合理的に設計し、技術報告書と併せ工事発注に必要な入札図書を作成することを目的とする。また、経済的かつ合理的に工事の費用を予定するために必要な施工計画を立案し、併せて構造計算、断面計算または流量計算等を必要とする仮設構造物について、現場条件、設計条件に合致するよう設計し、施工計画書、図面及び数量計算書を作成することである。表3-1に詳細設計で作成される技術報告書、及び入札図書の構成（例）を示す。

表3-1. 道路案件の詳細設計報告書の構成（例）

| 項目 | 作成される報告書 |
|-------|--|
| 技術報告書 | 1. 詳細設計報告書 2. 詳細設計図面 3. 数量計算書 4. 交通量調査報告書（準備調査段階含む） 5. 軸重調査報告書（準備調査段階含む） 6. 地質調査報告書（準備調査段階含む） 7. 材料調査報告書（準備調査段階含む） 8. 構造計算書 9. 線形計算書 10. （必要に応じて用地関連データ（DMS等）） |
| 入札図書 | 1. Instruction to the Tenderers 2. Form of Contract 3. Particular Conditions of Contract 4. General Conditions of Contract 5. Specifications 6. Drawings 7. Construction Schedule 8. Form of Tender |

なお、実施段階で積算される工事金額は、準備調査段階で積算された工事金額を超えないようにすることが必要である。

3.1.2 入札図書の内容

我が国の無償資金協力事業を含め、一般的な工事入札図書の構成は表3-1に示した通りである。ただし、他ドナー、及び現地政府発注のプロジェクトにおいては、(5) Specificationの付属図書として、表3-1に示す技術報告書（詳細設計報告書、地質／材料調査報告書等）の関連技術資料が添付されるケースがある。我が国の無償資金協力事業では、このような関連技術資料を入札図書に含める事例が少なく、入札段階に質問（報告書等の提供について）があった場合のみ提供しているのが実状である。しかし、

応札者への公平な情報提供、応札内容の齟齬の回避等の観点から、技術関連資料を入札図書に含めることが必要である。

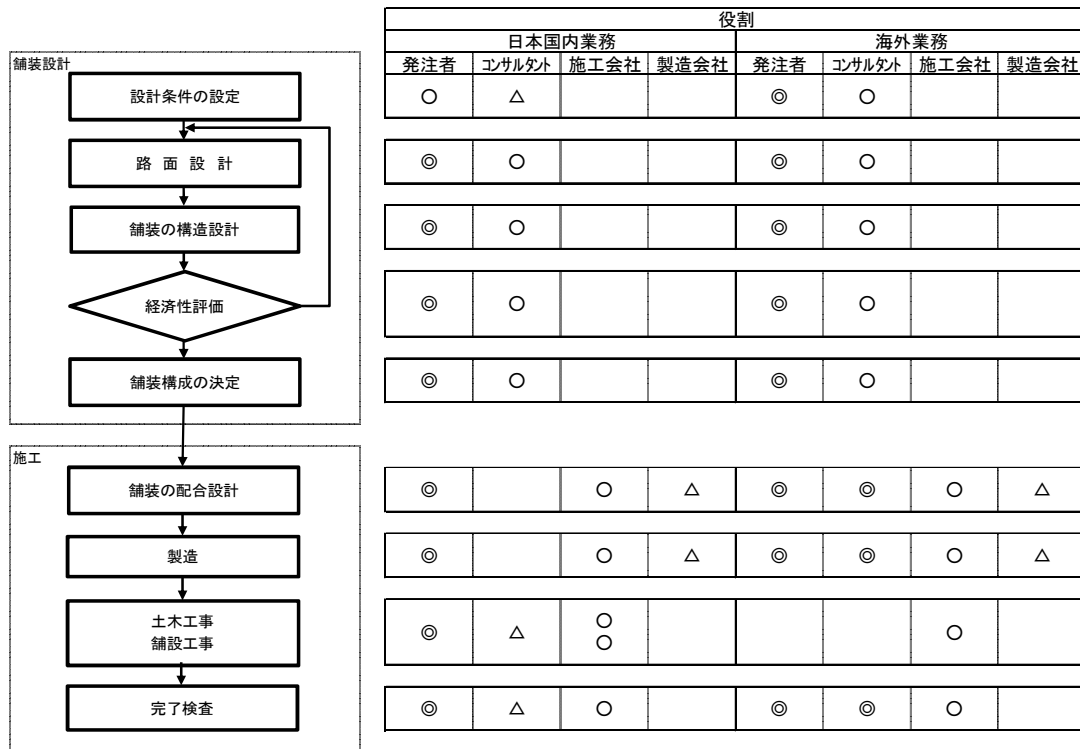
3.2 事業実施

3.2.1 施工監理と施工管理

施工管理とは建設工事において、工事現場における施工の全体の管理・監督することであり、施工監理とは法律上は設計図の通りに工事がなされているかを監督することである。

（1）コンサルタントと施工業者の責任範囲

図3-1に舗装の設計から施工までの日本国内、及び海外業務（無償資金協力事業）の一般的な流れと役割を示す。最も大きな違いは、施工段階でのコンサルタントの関与であり、日本国内業務では、一般的には発注者が自ら施工監理を行うため、コンサルタント（建設弘済会を含む）が施工監理に携わる場合は、あくまで発注者の補助者である。海外業務においては、コンサルタントが発注者の代理人として施工監理を実施し、仕様書や品質管理基準に基づき、使用材料やアスファルトの配合の承認、出来形や工程の監理など工事の品質などに一定の責任を持つ場合が多い。したがって、施工監理計画書を作成することによって、ここで発生するコンサルタントの権限と責任を十分に明確化、又は具体化して発注者（先方政府、関係機関）との間で確認しておくことが望ましい。



◎：監理者（承認者）、○実施者、△：補助者又は稀にみられるケース

図3-1. 舗装の設計から施工まで

なお、施工監理計画書は、契約上の正式な書類としては位置づけされておらず、コンサルタントが慣例的に相手国政府に提出しているのが現状である。については、コンサルタントと発注者の間の合意文書により、コンサルタントの権限と責任を明確にしておくことも可能と考えられる。

Box-3.1 : 海外業務における施工監理 TOR の例

3.0. OBJECTIVES OF THE ASSIGNMENT

The objective of this assignment to undertake consultancy services on behalf of the Tanzania National Roads Agency (TANROADS)-Coast, the Employer for the supervision works of Msoga-Msolwa Road to bitumen standard (10km).

The specific objectives of the consultancy services are:

- (i) Supervision of the works contract to ensure that the works comply with the approved design, drawings, specifications, conditions of contract and sound engineering practice.
- (ii) Approval of Contractor's working drawings.
- (iii) Preparation of final construction report and as built drawings of all completed works.
- (iv) Preparation of the project completion report.
- (v) Supervision of maintenance activities during the defects liability period.

4.0. CONSULTANT'S RESPONSIBILITIES

4.1 CONSTRUCTION SUPERVISION

The Consultant shall be fully responsible for the supervision of the construction in accordance Conditions of Contract. The Consultant shall, in general, exercise the powers of the Engineer in all matters concerning the contract and the execution of the works. He shall supervise the construction works with due diligence and efficiency and in accordance with sound technical, administrative, financial and economic practices. He shall perform all duties associated with such tasks to ensure that only the best construction practices are followed and that the final product is in all respects equal to, or better than that specified, at the most economic costs and is carried out in full compliance with the governing specifications.

In particular, the Consultant's duties and responsibilities shall include but not limited to:

- i. Checking and establishing that the contractor mobilizes and supplies to the contract all plant, equipment and machinery that have been committed in the tender or required for the completion of the works and ensure that all such items of plant remain on the contract until their release has been authorized.
- ii. Taking necessary measures and provision of appropriate advice to TANROADS-Coast at all times to enable the construction contract to be completed in a timely and cost effective manner, in conformity with the contract conditions and specifications.
- iii. Satisfying himself thoroughly as to the nature and scope of the works, of all information available and of documents and materials to be used by the contractor in executing the works as to enable him to perform his duties satisfactorily, studying and checking all documents associated with the projects, foreseeing possible problems, review existing design and identify any shortfalls and advising TANROADS-Coast appropriately during the construction and maintenance period.
- iv. Identifying and marking all utilities with the help of the competent authorities and TANROADS-Coast in effecting the removal/relocation (where necessary) of utilities within the right of way.
- v. Identifying and locating all beacons and benchmarks to enable the contractor set cut and construct the works and hand over to the contractor before commencement of the works.
- vi. Inspecting, testing and approving all materials and completed works to ensure compliance with technical specification requirements.
- vii. Keeping updated all records including reports, works diaries, correspondence, instructions given to contractor(s), test records, measurement and quantity calculations, payment records and all other relevant documents pertaining to the works operations and supervision contracts.
- viii. Preparing consolidated monthly reports on physical and financial status, site meetings, contractual matters, etc., with recommendations for action by TANROADS.
- ix. Monitoring the implementation of Social and Environmental Impact mitigation measures during the construction of the works in consultation with the Environmental Specialist of

TANROADS.

- x. Preparing control charts of the main activities and a project master schedule, indicating both past performance and forecasts for completion including time involved in each case.
- xi. Measuring quantities of works satisfactorily carried out and certify monthly and final payment certificates for consideration by the Employer. Monthly certificates to be submitted to the Employer for payment shall include the total cost of the works executed.
- xii. Recording, examining and evaluating all claims submitted by the Contractor and submit timely recommendation thereof for consideration by Employer.
- xiii. Preparation and submission of detailed progress report with updated cost of the civil works contract, implementation schedules and any substantiated request related to additional funding, needed for full completion for the project. The Reports shall be prepared when the implementation of the civil works contract reaches a value of 50% and 80% of the initial construction contract.
- xiv. Negotiating with the contractor the price of additional works in the contract (if any), In case of change(s) to the original contract and subject to the approval by the Employer.
- xv. Preparing and submit to Employer the final cost of executed works.
- xvi. Preparing final construction report and as-built drawings.
- xvii. Effecting changes that will improve design or specification for the works with prior consultation with the Employer. Such changes shall not increase the contract time nor shall the increase in contract sum resulting from such changes exceed a percentage to be agreed with Employer.
- xviii. Maintaining a site diary on a daily basis with the contents and format to be agreed with Employer.

7.0 REPORTING

7.1 INCEPTION REPORT

This reports shall give a brief description of the Consultant's establishment plan for the project, staffing, programme of executing the works and such remarks as deemed appropriate. The report shall be submitted in 6 copies and should reach TANROADS-Coast 30 days after the effective date of the Contract.

（２） 施工監理計画書の例

施工監理計画書には、少なくとも次の事項を記載することが考えられる。

A. 施工監理体制

- ① 施工会社の業務内容と責任範囲
- ② コンサルタントの業務内容と責任範囲
- ③ 施工監理組織図
- ④ 各担当者の分担と責任

B. 監理項目と内容

- ① 承認手続き
- ② 適用基準（許容値や合格ライン）
- ③ 品質監理（規格管理：試験・検測頻度、品質規格値の管理方法）
- ④ 工程監理

Box-3.2 : 海外業務における施工監理計画書の例

海外業務では、施工監理計画書を「QUALITY ASSURANCE MANUAL (QAM)」、又は「QUALITY ASSURANCE PLAN (QAP)」と呼ぶ。以下に海外業務における一般的な施工監理計画書の目次構成を示す。この目次構成からわかるように、コンサルタントの責任について、計画書内に明確に示している。

- 1. INTRODUCTION**
- 2. OBJECTIVE AND SCOPE OF QUALITY CONTROL**
 - 2.1 General
 - 2.2 PRE-REQUISITES OF EFFECTIVE QUALITY CONTROL
- 3. QUALITY MANAGEMENT FRAMEWORK**（コンサルタントの体制を明記）
- 4. RESPONSIBILITIES of the CONTRACTOR and the CONSULTANT**
 - 4.1 Contractor’s Responsibilities
 - 4.2 Contractors Construction Activities
 - 4.3 Consultant’s Responsibilities（各エンジニアの作業内容を規定）
- 5. QUALITY ASSURANCE SYSTEM**
 - 5.1 General
 - 5.2 Method Statement（工種毎の仕様、試験、合格ラインについて規定）
 - Clearing & Grubbing Annex 1
 - Earthwork Annex 2
 - Sub-base Annex 3
 - Base Course Annex 4
 - Asphalt Concrete Annex 5
 - Pipe Culvert, Drainage Annex 6
 - Bridge Annex 7
 - Fabrication of RC Pipe Annex 8
 - 5.3 Inspection and Test Plan (ITP)
 - 5.4 Request for Inspection (RFI) Book
 - 5.5 Support Documents (Same unique number as the RFI)
 - 5.6 Other Means of Communication, Confirmation and Action
- 6. QUALITY CONTROL TEST PRO FORMA**
 - 6.1. Pro forma for QC Tests
 - 6.2. Survey Strip Layer Chart - Key Plan

(3) 施工監理体制の強化

今日のコンサルタントへの調査結果では、無償資金協力事業に対する日本人常駐施工監理者の数は1～2名、ローカル技術者の数も1～2名であることが一般的であることが判明した。しかし、調査した各国舗装工事の事例では、主任常駐監理者、舗装技術者、品質管理技術者に経験豊富な人材を常駐技術者として配置しており、加えて一定規模のローカル技術者を雇用して施工監理を実施している。

表3-2. 施工監理体制に関する調査結果（日本人常駐監理者数）

| | | | | |
|----------|----|----|----|----|
| 日本人常駐監理者 | 1名 | 2名 | 3名 | 4名 |
| 回答数 | 8 | 2 | 0 | 2 |

表3-3. 施工監理体制に関する調査結果（ローカル技術者数）

| | | | | | |
|---------|----|----|----|----|----|
| ローカル技術者 | 0名 | 1名 | 2名 | 3名 | 4名 |
| 回答数 | 1 | 4 | 3 | 2 | 2 |

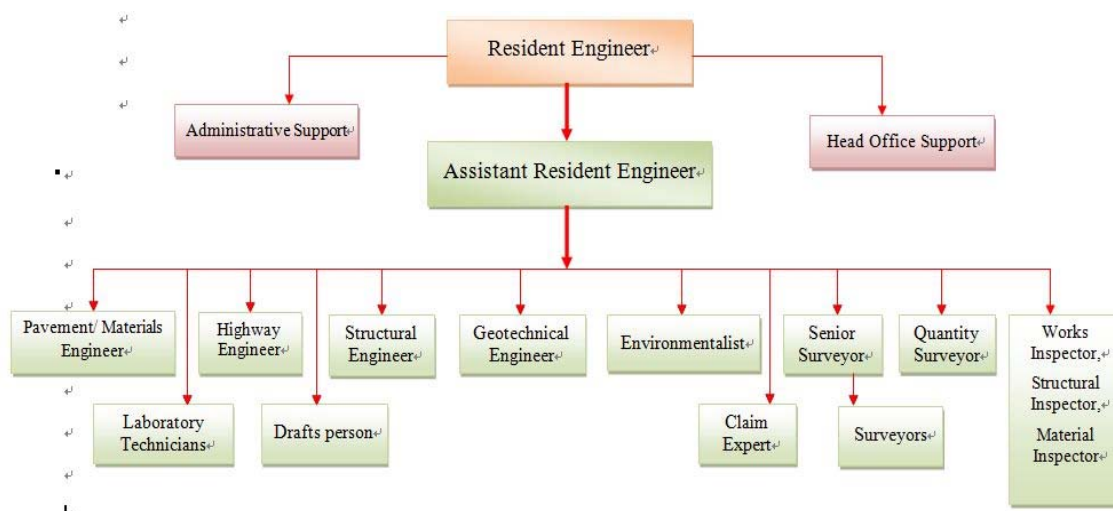


図3-2. エチオピア道路プロジェクト施工監理体制（計：14名）

（４） 施工管理体制の強化

施工管理とは、建設工事の施工手段(人・労力、材料、方法、機械、資金)を選定し、施工計画を立て、目的(適切な品質・工期・価格)を果たすために、原価管理・工程管理・品質管理・安全管理等を行うことである。

我が国の無償資金協力の道路事業を実施した経験のある日本国内の建設会社へのアンケート結果によれば、常駐する施工管理担当者は1～4名であるとの回答が最も多く、現場所長、事務担当者を除けば2名程度で現場の管理と試験等の品質管理を実施していることが判明した。工事の規模にもよるが、舗装工事については少なくとも舗装施工技術者（2名）、品質管理技術者、プラント技術者は常駐の経験と実績のある技術者であることが望ましい。図3-3にタンザニア国の道路プロジェクト（中国業者施工）の施工管理体制の例を示す。これによれば、少なくともキースタッフは、中国人技術者によって構成されている。

表3-4. 施工管理体制に関する調査結果

| 日本人常駐管理者 | 1～4名 | 5～9名 | 10～14名 | 15名以上 |
|----------|------|------|--------|-------|
| 回答数 | 8 | 2 | 0 | 2 |

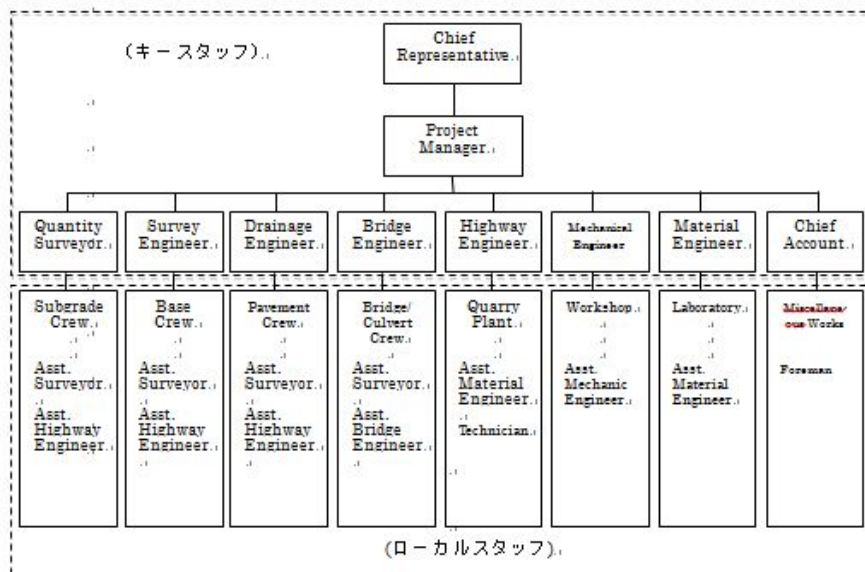


図3-3. タンザニア国道路プロジェクト施工管理体制（例）

（5）事前資格審査（PQ）条件の見直し

現在の無償資金協力事業の事前資格審査（PQ：Pre-qualification）段階では、会社の財務状況、会社の工事実績など、会社の経営状況と実績のみを条件としている。しかし、本調査で確認された舗装に関する問題は、会社規模や実績によらず発生していることから、実際に舗装工事（施工と品質管理）を担当する技術者には、以下のような知識が必要である。

施工管理：工程管理、出来形・品質管理、原価管理、安全管理などの知識が含まれる。

舗装種別ごとの施工方法：舗装の種類によって施工方法や使用する機材は大きく異なるため、これらに関する知識

材料の配合や製造方法：舗装が扱う材料は多岐にわたる。それらについて、設計で要求された性能を満足するために、調達可能な材料を適切に配合・調整して製造する方法に精通している必要がある。

このため、以下の要件を満たす技術者の配置を、事前資格審査の中で求めていくことが望まれる。

- ① 舗装施工管理技術者資格1級
- ② 同種気候地域（高温地域や寒冷地域）での舗装工事経験（国内外問わず少なくとも1件）
- ③ 同種道路（都市道路や山岳道路）での舗装工事経験（国内外問わず少なくとも1件）

なお、入札段階で評価することも考えられるが、最低応札者を交渉順位1位とすることが原則であること、価格評点と技術評点の基準を作成する必要があること、などから

PQ 段階での条件設定が妥当であると考えられる。

3.2.2 施工管理における留意点

（１）流動わだち掘れ対策の一般原則

第2章に示したように、アフリカ地域で見られる舗装の破損形態としては、主に高温時に交通荷重の繰返し作用により、アスファルト混合物が永久変形を起こして発生したもの、つまり表層の流動化によるものが中心であった（写真3-1, 2）。



写真3-1. タンザニア国：ほぼ平坦な地形の都市部幹線道路で発生したわだち掘れ。車線表層部が中央側に流動している。



写真3-2. エチオピア国：急峻な山岳部の地方部幹線道路で発生したわだち掘れ。急勾配の曲線区間であり、表層が曲線の内側へ流動している。

表3-5、図3-4は、あるアフリカにおける道路の**アスファルト切り取りコア確認試験¹**の事例であるが、スペックからの外れ具合と舗装の破損（ほぼわだち掘れであるが）の関係が明確に表れている。その実際の破損状況は図3-5の通りである。

表3-5. サンプル調査の結果

| 路面状態 | No. | サンプル位置 | 粒度外れ率*1 |
|-------------------|-----|-----------|---------|
| a) 深刻な不具合箇所 | 1 | 4.0km 左側 | 10.9% |
| | 2 | 12.5km 左側 | 29.5% |
| | 3 | 5.0km 右側 | 17.9% |
| | 4 | 4.0km 右側 | 18.2% |
| a)平均=19.1%(cの13倍) | | | |
| b) 部分的不具合箇所 | 5 | 7.5km 左側 | 9.9% |
| | 6 | 10.5km 左側 | 7.6% |
| | 7 | 1.5km 左側 | 14.3% |
| | 8 | 2.0km 左側 | 3.9% |
| b)平均=8.9%(cの6倍) | | | |
| c) 良好箇所(参考) | 1 | 5.4km 左側 | 2.0% |
| | 2 | -0.2km 左側 | 1.0% |
| c)平均=1.5% | | | |

備考：*1=仕様(スペック)上・下限範囲からの外れ率

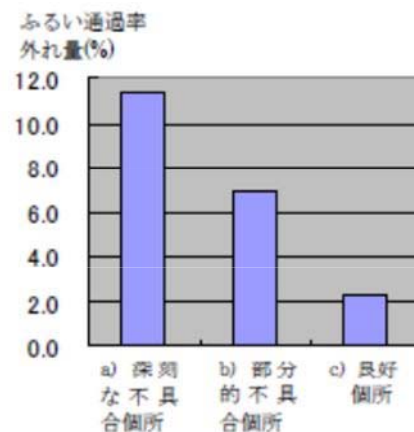


図3-4. アスファルト骨材粒度分布品質管理（ふるい通過率外れ量）と不具合の程度

¹ 確認試験：切り取りコアによるアスファルトの性状については、コア採取時のカッターによる骨材の破損等があり、施工時の性状を正確に表すものではないため確認試験と呼ぶ。

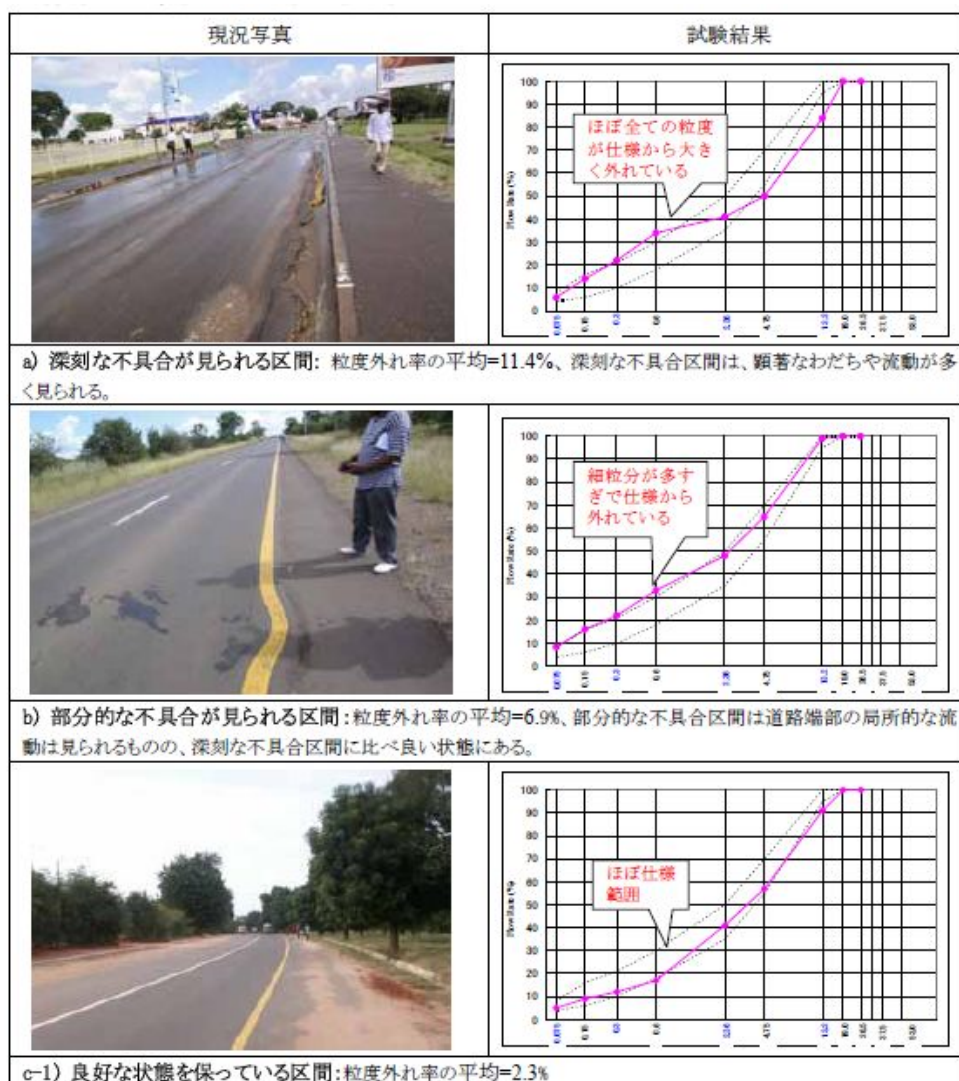


図3-5. アスファルトの骨材粒度分布と損傷の事例

ここで注意すべきことは、骨材の分布の外れ具合と破損率とは明確に関連している点である。この舗装の骨材間隙の推定計算はなされていないが、図3-5の a)において細粒分が多く、骨材のかみ合いが充分でなく破壊に至った可能性がある。このことから、わだち掘れの要因としての骨材分布、あるいは骨材のかみ合いが重要であることが示されている。

わだち掘れに関しては多くの研究が重ねられてきたが、国際道路協会（PIARC）による取りまとめと調査団の知見をもとに、対策の原則を以下のようにまとめておく。

- 1) 骨材のかみ合いが極めて有効であることを念頭に置いて、配合設計から施工の品質管理に至るまで意を配する。このためには、骨材の粒度分布において細骨材の量が過大とならないように注意するとともに、アスファルト量、空気量が重要であることに注意する。

- 2) また粗骨材の形状は大きな要素であり、ミクロ的に粗面で、できる限り粒形の立方体に近い硬い砕石を使用する。
- 3) 天然砂は丸い場合が多く、流動化の原因となるので、砕砂を使うことが望ましいが、天然砂を使用する場合は、形状に注意し、流出試験などにより確認することとし、また砕砂と混用する。
- 4) 強度等が規格を満たすものであるとともに清浄な材料を使用する。
- 5) アスファルトは針入度を低いものを選び、アスファルト量も過剰とならないように留意するが、施工性とのバランスを図る。

アスファルト混合物の仕様は相手国の仕様を基本とするが、仕上がりの性能はホイールトラッキング試験によって確認するものとする。この場合要求される性能に応じて、適宜改質剤を使用する。

Box-3.3：舗装施工便覧で提案されるわだち掘れ対策

我が国の「舗装施工便覧（平成18年：日本道路協会）P106 2)混合物の種類および配合」では、重交通道路における耐流動対策として、以下を提案している。

- ① 骨材の粒度は中央値以下を目標とし、75 μ mふるい通過質量百分率は小さめにする。
- ② アスファルト量は、「設計アスファルト量の設定」に準じ、共通範囲の中央値かそれ以下を目標とするとよい。なお、骨材によっては、アスファルト量を減少させると剥離しやすくなることがあるので注意する。
- ③ マーシャル安定度は75回突固めで7.35kN以上、安定度/フロー値は2,500kN/m以上を目標とする。
- ④ 75 μ mふるい通過分のうち、回収ダスト分は30%を超えないようにする。
- ⑤ ホイールトラッキング試験の結果、目標のDSが得られなかった場合は、骨材合成粒度のうち、2.36mmふるい通過百分率を小さくし、下限値へ近づける。同時に75 μ mふるい通過百分率も小さくする。さらに使用する瀝青材を再検討し、高いDSの得られるような瀝青材料に替える。この場合は、瀝青材料の種類によって、最適アスファルト量の値が変わる場合もあるので、注意する。

（2）新たな配合設計方法の知見の活用

世界的にアスファルトの配合設計に用いられる「マーシャル配合設計」は、粒度配合を決めてアスファルト量を変化させた多数の試験供試体を作成して確認試験を行うが、多くの研究レポートが、マーシャルランマで締め固めて作成した供試体から求めた空隙率等の特性値が、アスファルトコンクリートの真の品質を代表していないことを問題としている。実際は、供試体が最終の安定状態まで締め固められず中間状態にあるということであり、その状態の測定値から判断して決定配合とすれば、そのアスファルトコンクリートは舗設後交通に開放したとき、さらに車両による繰返し荷重により締固めが進行する。締固めが進行すればアスファルト混合物の中の空隙が減少し、また一部の流動化も加わってわだち掘れが発生する場合がある。このような課題に対して、粒度分布、

骨材のかみ合わせ、または空隙率の管理によってアスファルト混合物の強度を向上させる「SUPERPAVE」や「REFUSAL DENSITY」といった配合設計法が提案されている。両方法共にアフリカ地域での使用実績が確認されている。

なお、「SUPERPAVE」については、日本での実績が少なく経験者がほとんどいない。したがって、特に相手国政府の要望がある場合以外は、採用する例は少ないと考えられるが、骨材の形状、粒度分布（管理）に関する基準等は参考となるので、適宜参照することとする。

① SUPERPAVE

SUPERPAVE は、粘性流動抵抗性を意識した配合設計法であり、ジャイレトリーコンパクト（SGC）を用いて、マーシャル試験の課題を修正したものである。供試体を最終安定状態まで締め固め、密度、空隙率および飽和度を求めて判断しようとするものである。この方法によれば、アスファルトコンクリートが舗設され交通荷重を受け最終安定状態になることを試験段階で事前に再現させることにより、アスファルトコンクリートの真の品質を代表する特性値を導き出すことができる。これによりわだち掘れの発生は防止可能であり、クラックの起きにくい配合設計ができる。マーシャル試験との相違点は、前述の SGC を締め固め装置に用いること、バインダーの評価・選定に PG（Performance Grade）システムを採用し、舗装体最高温度で82℃まで対応していること、低速重車両を考慮している点（表3-7）である。

パフォーマンスグレード（PG）とは、「SUPERPAVE」で規定されるアスファルトの分類指標を称し、アスファルトの供用可能な最高温度（m℃）と最低温度（n℃）を PGm-n で表し6℃刻みで設定されている。例えば、パフォーマンスグレードが PG70-16 で表されるアスファルトは、供用最高温度が70℃以下で最低温度が-16℃以上の場所で供用できることを意味する。適用地域におけるパフォーマンスグレードは、その地域の舗装温度、気温、政策により設定され、気温による選択の場合、その地域の気温と緯度から舗装温度を導く実験式などより決定される。

表3-6. パフォーマンスグレード (PG) の例

| バインダーパフォーマンスグレード (PG) | PG46 | | | PG52 | | | | | | PG82 | | | | | |
|-----------------------------|------|-----|-----|------|-----|-----|-----|-----|-----|----------|-----|-----|-----|-----|-----|
| | -34 | -40 | -46 | -10 | -16 | -22 | -28 | -34 | -40 | -46 | -10 | -16 | -22 | -28 | -34 |
| 舗装体最高設計温度(°C) | <46 | | | <52 | | | | | | <82 | | | | | |
| 舗装体最小設計温度(°C以下) | ≥34 | ≥40 | ≥46 | ≥10 | ≥16 | ≥22 | ≥28 | ≥34 | ≥40 | ≥46 | ≥10 | ≥16 | ≥22 | ≥28 | ≥34 |
| オリジナルアスファルト | | | | | | | | | | | | | | | |
| 引火点最少温度(T48)、Min.°C | 230 | | | | | | | | | | | | | | |
| 粘度(T316) | 135 | | | | | | | | | | | | | | |
| 最大粘度 ≤ 3Pa·S試験温度(°C) | | | | | | | | | | | | | | | |
| 動的せん断試験(T315) | 46 | | | 52 | | | | | | 82 | | | | | |
| G/sinφ ≥ 1.0kPa | | | | | | | | | | | | | | | |
| 周波数10rad/sec試験温度(°C) | | | | | | | | | | | | | | | |
| RTFOアスファルト(T240) | | | | | | | | | | | | | | | |
| 重量損失率(%) | 1.00 | | | | | | | | | | | | | | |
| 動的せん断試験(T315) | 46 | | | 52 | | | | | | 82 | | | | | |
| G/sinφ ≥ 2.2kPa | | | | | | | | | | | | | | | |
| 周波数10rad/sec試験温度(°C) | | | | | | | | | | | | | | | |
| PAVアスファルト(R28) | | | | | | | | | | | | | | | |
| 促進加圧劣化試験試験温度(°C) | 90 | | | 90 | | | | | | 100(110) | | | | | |
| 動的せん断試験(T315) | 10 | 7 | 4 | 25 | 22 | 19 | 16 | 13 | 10 | 7 | 40 | 37 | 34 | 31 | 28 |
| G/sinφ ≥ 5,000kPa | | | | | | | | | | | | | | | |
| 周波数10rad/sec試験温度(°C) | | | | | | | | | | | | | | | |
| クリープティフネス(T313) | | | | | | | | | | | | | | | |
| S(t) ≤ 300,000kPa、m値 ≥ 0.30 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 60秒載荷試験温度(°C) | | | | | | | | | | | | | | | |
| 直接引張試験(T314) | | | | | | | | | | | | | | | |
| 破断ひずみ ≥ 1.0% | | | | | | | | | | | | | | | |
| 速度1.0mm/min 試験温度(°C) | -24 | -30 | -36 | 0 | -6 | -12 | -18 | -24 | -30 | -36 | 0 | -6 | -12 | -18 | -24 |

表3-7. 交通量及び走行速度による PG の割増

| 平均走行速度 | 設計 ESAL (累積軸重) 単位：百万 | | | | |
|--------------------|----------------------|---------|--------|---------|-----|
| | <0.3 | 0.3 - 3 | 3 - 10 | 10 - 30 | >30 |
| 超低速 (<20km/h) | 注2 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| 低速 (20km/h~70km/h) | - | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 標準 (>70km/h) | - | - | - | 注2 | 1 |

注1：高温部のグレードを上げる際に低温部のクラスは固定する。

注2：高温部のグレードを上げる際には検討が必要

注3：高温部のグレードが82°Cを超えるアスファルトバインダーは使用せず、設計 ESAL を1レベル上げる。

この他特筆すべき点としては以下があげられる。

- 骨材の骨格構造を形成する粗骨材、及び細骨材の形状を定量的に評価している。

表3-8. SUPERPAVE における骨材形状の基準

| 累積設計軸重* (百万) | 粗骨材の角張(%) 最少値 | | 細骨材の空隙率(%) 最少値 | | 砂等(%) 最少値 | 扁平率(%) 最大値*** |
|-----------------|------------------|---------|-------------------|------|--------------|------------------|
| | ≤100 | >100 | ≤100 | >100 | | |
| T<0.3 | 55/- | -/- | - | - | 40 | - |
| 0.3≤T<3 | 75/- | 50/- | 40 | 40 | 40 | 10 |
| 3≤T<10 | 85/80** | 60/- | 45 | 40 | 45 | 10 |
| 10≤T<30 | 95/90 | 80/75 | 45 | 40 | 45 | 10 |
| T≥30 | 100/100 | 100/100 | 45 | 45 | 50 | 10 |

*累積設計軸重は、実際の設計交通量（20年間）と Ndesign Level にかかわらず、予測された1車線当たりの交通量で20年以上。

**85/80：85%は1つの破砕面、80%は2つ以上の破砕面を意味する。

***要求を満たさない比率。扁平率の基準は5:1としている。

出典：Chalrinze-Gegera-Tanga Road Specification

- 最大密度線 MDL (Fuller 曲線) に重ならないような骨材粒度を推奨している。
(SUPERPAVE では、図3-6に示すように、制御点 (表3-9参照) が規定されており、最大密度線から少しずらした S 字型の粒度曲線が推奨されている。

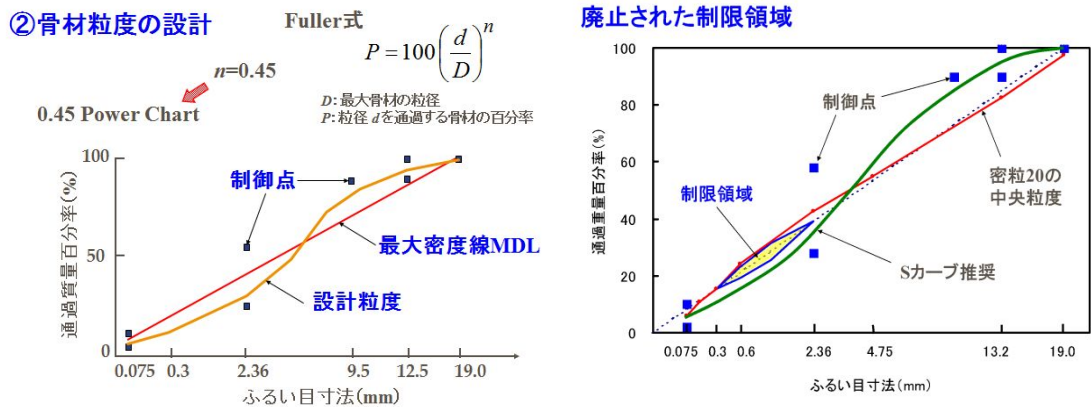


図3-6. 骨材粒度の設計と制御点

出典：アスファルト混合物の配合設計～Superpave 設計法～
 （長岡技術科学大学 高橋 修准教授作成資料）

表 3-9. 混合物の最大骨材粒径毎の Superpave 制御点

| 最大粒径 | 37.5mm | | 25.0mm | | 19.0mm | | 12.5mm | | 9.5mm | |
|------------|--------|-------|--------|-------|--------|-------|--------|-------|-------|-------|
| ふるい寸法 (mm) | 下限 | 上限 | 下限 | 上限 | 下限 | 上限 | 下限 | 上限 | 下限 | 上限 |
| 50.0 | 100 | | | | | | | | | |
| 37.5 | 90 | ~ 100 | 100 | | | | | | | |
| 25.0 | | 90 | 90 | ~ 100 | 100 | | | | | |
| 19.0 | | | | 90 | 90 | ~ 100 | 100 | | | |
| 12.5 | | | | | | 90 | 90 | ~ 100 | 100 | |
| 9.5 | | | | | | | | 90 | 90 | ~ 100 |
| 4.75 | | | | | | | | | | 90 |
| 2.36 | 15 | ~ 41 | 19 | ~ 45 | 23 | ~ 49 | 28 | ~ 58 | 32 | ~ 67 |
| 0.075 | 0 | ~ 6 | 1 | ~ 7 | 2 | ~ 8 | 2 | ~ 10 | 2 | ~ 20 |

出典：Asphalt Institute: Superpave No. 2 (SP2)

図3-6には制限領域（Restrict Zone）が示されているが、この制限領域については、この領域を避けた配合設計が困難であったことから、既に新基準（SUPERPAVE Mix Design SP2）から削除されている。表3-10に削除された制限領域を示す。

表3-10. 最新基準（SP2）では削除された制限領域

| 粒度 | 制限領域の最大及び最小値 (%) | | | | |
|--------|------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| | 37.5mm | 25.0mm | 19.0mm | 12.5mm | 9.5mm |
| 4.75mm | 34.7/34.7 | 39.5/39.5 | - | - | - |
| 2.36mm | 23.3/27.3 | 26.8/30.8 | 34.6/34.6 | 39.1/39.1 | 47.2/47.2 |
| 1.18mm | 15.5/21.5 | 18.1/24.1 | 22.3/28.3 | 25.6/31.6 | 31.6/37.6 |
| 600 μm | 11.7/15.7 | 13.6/17.6 | 16.7/20.7 | 19.1/23.1 | 23.5/27.5 |
| 300 μm | 10.0/10.0 | 11.4/11.4 | 13.7/13.7 | 15.5/15.5 | 18.7/18.7 |

- 骨材に付着しているものも含め、0.075mm 通過の細粒分（ダスト分）の量を制限している。
- 空隙率4.0%の基準値で設計アスファルト量を決定している。
- 空隙率、VMA を厳密に管理・評価している。

ただし、最終的な性能要求としてわだち掘れ量を意識した場合、例えば改質材が必要かどうかを PG システムで判定することになるが、その仕様は明示されていない。厳密に考えると WT 試験が必要と考えられる。

Box-3.4 : 2.36mm 通過量について

骨材合成粒度における 2.36mm 通過量は、粗骨材（2.36mm 以上）と細骨材（2.36mm 以下）の分岐点であり、アスファルト混合物は 2.36mm 通過量の多少によって、多い配合（耐摩耗重視タイプ）と、少ない配合（耐流動性重視タイプ）に分けることができる。また Superpave 法の当初は 2.36~0.3mm ふるい目において制限領域があつてその上方もしくは下方を通る粒度とせざるを得なかった。しかし実際に配合を組んで試験をしてみると、当然ながら上方を通る粒度（細かい粒度）は耐流動性に劣り望ましくない結果を示した。そのため制限領域の下方を通る粒度曲線（Sカーブ）となった。制限領域がなくなった現在も、その影響で Sカーブの粒度曲線となっている。

② Refusal Density (TRL:Road Notes 19,31)

Refusal Density 法は、マーシャル試験におけるハンマー打撃回数（75回）が、供用後に車輪によって締固められた最終状態を示していないとの評価により、その打撃回数を増加（500回程度）させた方法である。したがって、高温、大きな軸重荷重用、重車両の緩速走行等、厳しい荷重・走行条件の場合には、Refusal Density 法を採用することを提案している。また、Road Notes では、累積軸重が100万 ESA を超える場合には SUPERPAVE の適用、500万 ESA を超える場合には動的クリープ試験と弾性試験の実施も提案している。

なお、試験方法は、マーシャル試験の延長線上にあり、マーシャル試験を補完する試験と言える。以下にタンザニアの材料試験マニュアルに示される試験方法を示す。

- A) マーシャル試験（打撃回数75回）によって、最低空隙率が6%となる配合を決定する。
- B) 上記で得られたアスファルト量を中心に、 $\pm 0.5\%$ のアスファルト量による3点のアスファルト量で試験を行う。
- C) マーシャル試験と同様に供試体を作成する。この際の突き固め回数は、200回～500回程度とするが、500回突き固めることが望ましい。
- D) 供試体の密度を測定し、この密度により空隙率を求める。この際、最少空隙率が3%以上あればよい。もし、3%以下となった場合には、再度同じステップを繰り返す。（Road Note 31では、最終の空隙率を2%以上と規定している。）

(3) その他施工に起因する破損の予防策

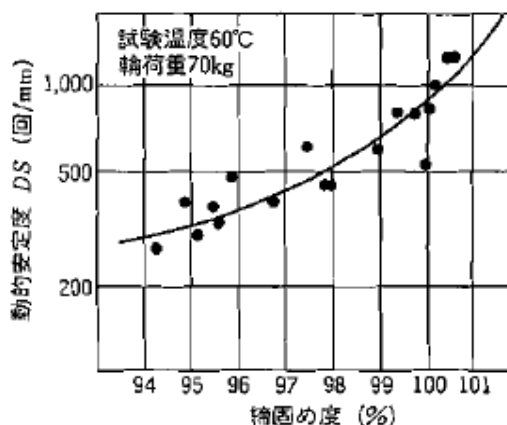
その他の舗装の破損原因の内、施工に関係する原因としては、路盤の締固め不足、アスファルト混合物の締固め不足などが挙げられる。これらの点に配慮することにより、より高い品質の舗装が構築される。

- 路盤の締固め不足

粒状系の路盤材料は、材料の含水比（最適含水比）と粒度が締固め特性に大きく影響する。したがって、施工中に含水比や粒度の変動が大きかった場合には、路盤の締固めが不足し、早期の舗装破損につながることもある。

- アスファルト混合物の締固め不足

図 3-7 は、密粒度アスファルト混合物の締固め度と DS（動的安定度）の関係を示したものであり、締固め度が高いほど DS 値も大きくなり耐流動性が向上する。



出典：雑誌 舗装 26-10 1991

図 3-7. 締固め度と DS の関係（ホイールトラッキング試験）

アスファルトプラントで製造した混合物は、現場までの運搬時に所定の混合温度から徐々に低下する。混合物の温度が低下すればアスファルトの粘度が増加し、作業性が悪くなり、転圧による十分な締固め度が得られなくなる。その結果、耐流動性に劣る混合物が舗装される可能性がある。

- 交通開放温度の問題点

アスファルト舗装の特徴は、施工時には粘性を小さくし施工性を向上させ、施工後は常温で粘性が大きくなって供用性を向上させることである。これはすべてアスファルトバインダーの特徴によるものであり、「温度管理」はアスファルト舗装の良し悪しを決定する重要な要因の一つである。このことから、交通開放時の混合物の温度の問題が考えられる。（社）日本道路協会「舗装施工便覧」によると、交通開放温度は、舗装の初期わだち掘れに大きく影響するため、転圧終了後舗装表面の温度がおおむね 50℃以下となつてから行なうこととしている。舗装表面の温度を 50℃以下とすることにより、交通開放初期の舗装の変形を小さくすることができるためとしている。

- 急勾配道路での問題点

アスファルト舗装を通常の施工体制で問題なく施工できる道路の縦断勾配は、通常 7～8%といわれている。縦断勾配が 7～8%を超える個所でアスファルト舗装を施工する場合の問題点として、施工機械のスリップや重機の荷重が路面に垂直に働かないこ

と等に起因する施工厚さの不均一、並びに転圧不足等が挙げられる。

出典：舗装技術の質疑応答第6巻

● 骨材比重の変化

アスファルト合材の製作中に骨材の比重が変化した場合に不具合が発生する。配合試験時よりも骨材比重が大きくなるとアスファルトバインダー量が増加し「わだち掘れ」が発生しやすくなることもある。逆に骨材比重が低くなると「バサバサのアスファルト合材」になる。これは現在の重量配合の理論からも考えられる。このため、骨材の比重について、採取地が変更になる等の場合以外においても、可能な範囲で骨材の比重を確認することが望ましい。

（４）問題土の管理

現場において問題土が発生し、その対策工を実施した場合には、その記録を詳細に残しておくことが望ましい。これは、瑕疵期間のみならず供用後に問題土区間で不具合が発生した場合の対策工実施の証明、及び対策工の妥当性の検証に用いられる。詳細に残す記録としては、以下のものが想定される。

① 施工方法

施工方法の妥当性を示すために、対策工実施の状況を写真で記録しておく。特にブラックコットンソイル等の膨張性粘土の場合、掘削区間をシート養生するなどして、掘削部の含水比の変化を防ぐことが重要である。また、同様の理由により、埋め戻し作業も極力早く（可能な限り1日以内）実施することが望ましい。このような場合には、施工状況等の記録を写真により残すことが重要である。

② 掘削土量

問題土と判定された土を置き換える場合には、掘削土量の記録を残しておく。前述のように、掘削後に早急に埋め戻す必要がある場合には、コンサルタントやクライアントの立ち会いをその都度要求することが困難なことも予想される。このため、50m程度毎に掘削断面の計測を写真撮影とともにを行い、平均断面法により掘削土量を把握する。

③ 品質管理

品質管理としては、埋め戻しに用いる良質材の品質記録（粒度分布、強度、必要に応じて透水係数等）、施工時の転圧管理（巻き出し厚、密度管理等）記録を残しておく。特に、埋土し・転圧作業が急がれ、通常の砂置換法による管理で

は時間がかかる場合には、RI 計器²を用いた管理が推奨される。

④ 残土処理

問題土と判定された土の中には、道路建設上は好ましくないが、農業用の適土となるものがある（例えばブラックコットンソイル）。このような土の処理については、現地政府及び地元代表者等と協議を行い、残土処理の方法を決定する。また、処理方法についての合意文書を記録として残しておくことが望ましい。

（５）品質管理の注意事項

無償資金協力事業では、一般的に建設業者に試験所（Laboratory）の設置を義務付けているが、特殊な試験や試験数が少量の場合、それらの試験を外部の試験機関へ委託することもある。しかし、アフリカ地域の多くの国では、試験機関に計量証明等の義務が無く、試験機の精度に問題がある場合も存在する。このため、施工期間中に外部委託していた試験結果では、全て仕様を満たす結果となっていたが、最終的に別機関で試験を実施したところ、仕様を満たしていないことが判明したという事例もある。このように試験を外部機関に委託する場合には、幾つかの試験機関を事前にチェックし、信頼性の高い試験機関に委託することが望ましい。また、複数の試験機関に委託し、ダブルチェックを実施することも考えられる。

今回の調査結果では、コンサルタントと施工業者の両者に試験所の設置を義務付けるガーナ国のような例もある。

3.2.3 施工監理における留意点

（１）施工監理技術者

舗装は一般の土木構造物に比べ、気象作用や外的荷重によって変化しやすく、また安全率も小さいので、品質管理を行いながら均一にしかも入念に施工しなければならない。品質管理とは仕様書に示された規格を満足する製品（たとえばアスファルト混合物）を、最も経済的に生産できるように、工程の段階で管理していくことであり、受注者はその完成物が設計図書の基準を満たすように管理を行い、その成果の判定のために施工監理者が発注者の代理人として検査を行う。品質管理の目的とするところは以下の通りである。

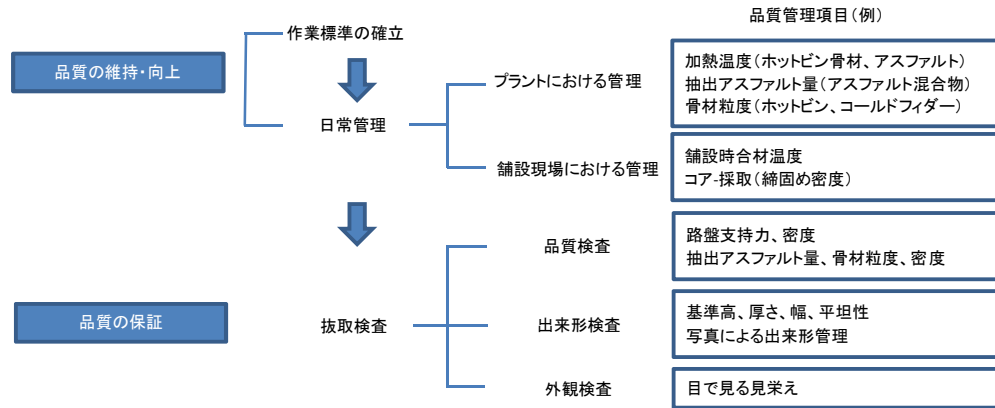
- ① 欠点を未然に防ぐ
- ② バラツキをできるだけ少なくする。
- ③ 工事に対する信頼性を高める
- ④ 作業標準を確立する。

²RI 計器： γ 線と中性子線の「R I（Radio Isotope）」を装備した装置であり、放出される γ 線及び中性子線を利用して土壌の水分・密度を測定する。

⑤ 新しい問題点の発見とそれへの対応

(2) 検査項目

技術検査の活動において、その種別と項目を示せば図3-8のようになる。



出典：アスファルト混合物の知識（技報堂出版）

図3-8. 技術検査の種別

① 出来形検査

出来形検査は、出来形が設計図書に示された値を満足しているかどうかを確認する検査で基準高、幅、厚さ、ならびに平坦性について行う。日本で用いられている出来形管理目標値の例を示す。（いずれも中規模工事の例）

表3-11. 出来形管理基準の例（舗装施工便覧）

| 工種 | 項目 | 頻度 | 代表的な管理の限界(mm) | 摘要 | |
|------------|-----------------|------------------------|---------------|-------|--|
| 下層路盤工 | 基準高 ▽ | 20mごと | ±40以内 | | |
| | 厚さ t | 20mごと | -45以上 | | |
| | 幅 w | 40mごと | -50以上 | | |
| 上層路盤工 | 粒度調整 | 厚さ t | 20mごと | -25以上 | |
| | | 幅 w | 100mごと | -50以上 | |
| | セメント,石灰安定処理 | 厚さ t | 20mごと | -25以上 | |
| | | 幅 w | 100mごと | -50以上 | |
| アスファルト安定処理 | 厚さ t | 1,000m ² ごと | -15以上 | | |
| | 幅 w | 100mごと | -50以上 | | |
| 工 | アスファルト・セメント安定処理 | 厚さ t | 20mごと | -25以上 | |
| | | 幅 w | 100mごと | -50以上 | |

出典：舗装施工便覧を基に調査団が作成

② 品質検査

施工監理者は、所定の品質を確保するために、各工種の品質検査を行う。

品質管理の項目、頻度、管理の限界は検査基準や過去の施工実績等を考慮し、最も能率的にかつ経済的に行えるように受注者が定める。日本で用いられている出来形管理目

標値の例を示す。（いずれも中規模工事の例）

表3-12. 品質管理基準の例（舗装施工便覧）

| 工種 | | 実施の有無 | 頻度 | 代表的な管理の限界(mm) | 試験方法 | | |
|----------|-------------|-------------------------|-------------------------|----------------|------------|------------|------------|
| 下層路盤工 | 含水比,PI,粒度 | △ | 観察により異常が認められた時 | — | 舗装調査・試験法便覧 | | |
| | 締固め度 | ○ | 1,000m ² に1個 | 最大乾燥密度の93%以上 | | | |
| | ブルフローリング | ○ | 随時 | — | 目視観察 | | |
| 上層路盤工 | 粒度調整 | 含水比,PI,粒度 | △ | 観察により異常が認められた時 | — | 舗装調査・試験法便覧 | |
| | | 粒度 | 2.36mm | ○ | 1～2回/日 | | ±15%以内 |
| | | | 75μm | △ | 1～2回/日 | | ±6%以内 |
| | 締固め度 | ○ | 1,000m ² に1個 | 最大乾燥密度の93%以上 | | | |
| | セメント・石灰安定処理 | 粒度 | 2.36mm | ○ | 1～2回/日 | ±15%以内 | 舗装調査・試験法便覧 |
| | | | 75μm | △ | 1～2回/日 | ±6%以内 | |
| セメント・石灰量 | | 定量試験 | △ | 1～2回/日 | ±1.2%以内 | | |
| 締固め度 | ○ | 1,000m ² に1個 | 最大乾燥密度の93%以上 | 舗装調査・試験法便覧 | | | |
| 含水比 | △ | 観察により異常が認められた時 | — | 試験法便覧 | | | |

出典：舗装施工便覧を基に調査団が作成

3.2.4 完工検査と瑕疵検査

(1) 完工検査

完工検査の目的は完成した製品（舗装）が設計書、仕様書を満足するものであるか否かを判定することであり、一般に抜取検査方式が用いられる。抜取検査とは製品（舗装）全体から一部の試料を抜き取って、計測、試験等をし、その結果を検査基準に照らし全体の合格・不合格を判定する検査方法をいう。舗装設計施工指針（(社)日本道路協会編）の検査における出来形・品質の合格判定値の例を示す。

表3-13. 出来形の合格判定値の例（舗装設計施工指針）

| 工種 | 項目 | 個々(mm) | X _{10(mm)} | 摘要 | |
|------------|-------------|--------|---------------------|------|--|
| 下層路盤工 | 基準高 ▽ | ±40以内 | — | | |
| | 幅 w | -50以上 | — | | |
| | 厚さ t | -45以上 | -15以上 | | |
| 上層路盤工 | 粒度調整 | 幅 w | -50以上 | — | |
| | | 厚さ t | -25以上 | -8以上 | |
| | セメント,石灰安定処理 | 幅 w | -50以上 | — | |
| | | 厚さ t | -25以上 | -8以上 | |
| アスファルト安定処理 | 幅 w | -50以上 | — | | |
| | 厚さ t | -15以上 | -5以上 | | |
| アスファルト中間層 | 幅 w | -25以上 | — | | |
| | 厚さ t | -9以上 | -3以上 | | |

出典：舗装設計施工指針を基に調査団が作成

表3-14. 品質の合格判定値の例（舗装設計施工指針）

| 工 種 | | 項 目 | X ₁₀ | X ₆ | X ₃ | |
|-----------------------|-----------------------------------|--------------|-----------------|----------------|----------------|--------|
| 下層路盤 | | 締固め度 (%) | 95以上 | 96以上 | 97以上 | |
| 上 層 路 盤 工 | 粒度調整 | 締固め度 (%) | 95以上 | 95.5以上 | 96.5以上 | |
| | | 粒度 (%) | 2.36mm | ±10以内 | ±9.5以内 | ±8.5以内 |
| | | | 75 μ m | ±4.0以内 | ±4.0以内 | ±3.5以内 |
| | セメント安定処理 石灰安定処理 セメント・瀝青安定処理 | 締固め度 (%) | 95以上 | 95.5以上 | 96.5以上 | |
| | | 粒度 (%) | 2.36mm | ±10以内 | ±9.5以内 | ±8.5以内 |
| | | | 75 μ m | ±4.0以内 | ±4.0以内 | ±3.5以内 |
| | | セメント・石灰量 (%) | -0.8以上 | -0.8以上 | -0.7以上 | |
| | 瀝青安定処理 | 締固め度 (%) | 95以上 | 95.5以上 | 96.5以上 | |
| | | 粒度 (%) | 2.36mm | ±10以内 | ±9.5以内 | ±8.5以内 |
| | | | 75 μ m | ±4.0以内 | ±4.0以内 | ±3.5以内 |
| アスファルト量 (%) | | -0.8以上 | -0.8以上 | -0.7以上 | | |

出典：舗装設計施工指針を基に調査団が作成

（２） 瑕疵検査

請負契約における「瑕疵」とは以下のような定義であり、従って、品質保証がなされていれば、その内容が保たれていない事が「瑕疵」となる。

【瑕疵の定義】

瑕疵とは目的物が通常有すると期待される性質または契約の当事者が特にその存在することを保証した性質を欠くために目的物の価値が減少すること。

なお、民法には、瑕疵の内容に関する規定は存在せず、また、瑕疵の類型化や定義付けもなされていないため、法律上は瑕疵の判断基準は明らかではない。

出典：瑕疵保証のあり方に関する研究会報告書（平成17年8月）

瑕疵に関する条項については、契約書に必ず記述されている。日本では国土交通省の標準工事請負契約書（以下、「契約書」）第44条に「瑕疵担保」について記述されており、発注者が請負者に請求可能なもの、不可能なものに分別されている。また、瑕疵期間については、ブランクで示されているが、最近の契約ではほとんどが2年である。一方、海外業務では、FIDICをベースに契約書が作成されていることが多く、4.1.2 11条に「Defect liability (欠陥補償責任)」としてその内容が記述されている。瑕疵期間は、以下に示す3か国では、我が国の無償資金協力事業と同様に、“工事完了の1年後”としている。

瑕疵に関する制度の中で、国内工事と海外工事における大きな違いは、瑕疵検査の実施と、最終支払いである。海外工事においては、瑕疵検査終了後に最終支払いが実施される。この工事完了から瑕疵検査終了後の最終支払いまでに、発注者が保有している契

約金を留保金（リテンションマネー）という。日本の無償資金協力事業は、海外工事であるが留保金の制度を採用しておらず、国内工事と同様に工事完了時に最終金の支払いが行われる。

表 3-15 に瑕疵の制度、及び瑕疵担保責任についての形で示す。また、アメリカ、イギリス、フランス及び韓国の瑕疵期間の事例も併せて記載する。

表3-15. 施工瑕疵に係る制度

| | 日本 | 海外業務 | |
|--------------|--|--|-------------|
| | | 一般 | 無償資金協力事業 |
| 瑕疵担保期間 | 2年 (土木道路工事) | 原則1年 | 原則1年 |
| 瑕疵検査 | 原則なし | 有り | 有り |
| 瑕疵基準 (数値) | 無し | 無し | 無し |
| 支払い方法 | 工事完了時に最終支払い | 瑕疵検査完了時に最終支払い (留保金制度) | 工事完了時に最終支払い |
| 備考 | 公共工事では民法が定める瑕疵担保期間を短縮する形で公共工事標準請負契約約款の規定が適用されている。 | 瑕疵担保期間については、構造物の種類など（例えば長大橋）で異なる場合がある。 | - |
| 主要国の瑕疵担保期間 | <p>アメリカ 連邦調達規則（FAR）には、瑕疵担保期間に関する規定は存在せず、連邦政府発注工事における瑕疵担保期間については、契約書や工事現場の州法の規定に従うことになり、実際には大部分が1年とされている。</p> <p>イギリス 英国の公共約款では、瑕疵担保期間を定めなければならないとする規定はあるものの、その標準的な期間については規定されていない。実際には、ほとんどの場合1年とされている。</p> <p>フランス フランスの民法（1978年の通称スピネッタ法により改正又は追加された規定）では、施工者、設計者、不動産開発者等は、建造物の耐久性を損なう瑕疵、建造物と一体不可分な設備の用途への適合を損う瑕疵等については10年、建造物と分離可能な設備の正常な機能に影響する瑕疵については2年の瑕疵担保責任を負うこととなっている。また、施工者は、1年の完全完成責任（発注者に引渡しの際に指摘された欠陥及び引渡後明らかになった欠陥を修補する責任）を負うこととなっている。</p> <p>韓国 韓国では、瑕疵担保期間は、国家契約法施行令及び施行規則により、ダム、トンネル、橋脚等の大規模な土木工作物及び大型公共建築物における主要構造部については10年、小規模な橋梁工事は7年、公共建築物の主要構造部以外は5年、内装工事は1年など、1年から10年の範囲で55の工事の種類ごとに詳細に規定されている。</p> | | |

また、今回の調査対象国では、FIDICの目次に掲載されている11.6「追加試験」の中に示され、発注者、コンサルタント、受注者によって実施される。瑕疵そのものの内容は直接的には記述されていないが、発注者の瑕疵に対する対応、請負者の瑕疵への対応などが契約書に記述されている。各国の瑕疵に対する内容を表 3-16 に示す。

表3-16. 瑕疵内容

| タンザニア国 | ガーナ国 | エチオピア国 |
|--|---|--|
| <p>TANROADS :</p> <ul style="list-style-type: none"> ・瑕疵の具体的な記述はなし。 ・契約書とタンザニアの Field Investigation Manual 2003 に基づき検査を実施する。 <p>EU :</p> <ul style="list-style-type: none"> ・瑕疵の具体的な記述はなし。 <p>WB :</p> <ul style="list-style-type: none"> ・施主（例えば TANROADS）が実施するものであり、関与しない。 | <p>GHA :</p> <ul style="list-style-type: none"> ・コンサルタントは工事期間中の設計不備に対するリスク、施工は請負者に施工品質に責任を負う。 ・瑕疵期間中の施工不良の補修は予備費（Contingency）で支払われる。 <p>EU :</p> <ul style="list-style-type: none"> ・施工前に請負者側で試験施工や設計計算をした結果、コンサルタントの設計に不備があると認められた場合は、施主に通知し、設計変更および工事金額の見直しを要求できるシステムとなっている。 | <p>ERA :</p> <ul style="list-style-type: none"> ・リテンションは5%（建設費用に対して）である。 ・請負者やコンサルタント、ERAの専門調査部署（少なくとも4人で構成されている。）、ERA 本体のチーム、などによって見つけ出される舗装の走行上不具合な部分と認識している。 ・設計に関しては ERA に瑕疵責任がある。 ・工事に関しては請負者に瑕疵責任がある。 ・瑕疵問題は主に WB のプロジェクトで多く発生している。 |

4. 熱帯地域アスファルト舗装解説

4.1. 舗装解説の概要

本解説は、本調査で実施したアフリカ地域の現地調査、国内事例の収集の他、調査過程で得られたアジア諸国で発生しているアスファルト舗装の問題等にも配慮し、本報告書 2 調査結果に基づく道路事業の進め方の改善点、および 3. 資金協力事業のシステムに対する提言のアスファルト舗装にかかる事項の解説として作成されたものである。

本解説は試案であり、今後、運用過程で発生する課題や新たな知見を反映しながら、より有効な解説としていく必要がある。

熱帯地域アスファルト舗装解説（試案）

本解説は JICA 事業を念頭に置いて、熱帯諸国の舗装を対象としており、我が国の舗装とは異なる技術基準、技術水準、生産体制、自然条件のもとで実施される舗装工事に携わる技術者向けに、その構造的破損及びわだち掘れを主な課題として、“アフリカ（エチオピア、ガーナ、タンザニア）資金協力事業による道路整備計画のあり方（基礎研究）：平成 25 年 3 月 JICA” からアスファルト舗装にかかる事項に関して注意すべき点を取りまとめたものである。なお本解説ではアスファルトコンクリート舗装を対象としており、浸透式マカダムや DBST などの簡易舗装及びセメントコンクリート舗装は対象外とする。

1. 構造的破損対策

- (1) 舗装の各層の構成（材料・厚さ）を決定することを構造設計という。舗装の構造設計に当たっては、先方政府の舗装構造設計基準その他の方針に従うことを基本にする。ただし、必要に応じて我が国基準や AASHTO 基準、英国基準等で補う。たとえば先方政府の基準等で構造設計する場合も、我が国の舗装構造設計法の一つである T_A 法あるいは米国の AASHTO 法で全体舗装厚さをチェックし一定の強度を確保する。
- (2) 構造設計は、換算軸荷重（ESAL 値）、又は換算輪荷重、路床 CBR、および地下水位を主な外的条件として行う。換算軸荷重の推計は単に現在交通量の外挿のみならず沿道土地利用、道路網、国の経済発展段階等を考慮して過小評価にならないように注意する。
- (3) 熱帯地域特有の長い雨季を有する諸国にあつては、雨期に路床の現場 CBR は室内 CBR 試験値よりも大幅に低下する事例もあり、設計に用いる設計 CBR は、路床の土質や地下水位などの条件によって、路床支持力が大きく変化することを考慮して設定する。
- (4) 道路側溝により適切に排水するとともに、路盤内排水設計を行うものとし、特に斜面途中の切り土部側や縦断勾配のサグ部、片勾配区間の低部では細心の注意を払う。同様に路体や路盤の締め固めはその後の舗装の強度に大きく影響するので施工管理に十分注意を払う。

（説明）

(1) 舗装の構造的な破壊に対する抵抗性は、日本の高規格な舗装では疲労破壊抵抗性として扱われる。一方表層の薄い途上国の基準では、路盤や路床の弱点が直ちに表層アスファルトの破損に直結する。英国系の基準に基づいている設計でも等価軸荷重（ESAL）を設計の目標とするわけであるが、近年日本企業が熱帯諸国で施工した舗装における破損の多くは繰り返しによる疲労破壊というよりも路盤内排水に起因するものが目立つ。つまり熱帯諸国の構造設計に関する日本企業の知見が十分とは言えない実

態がある。それならば日本の標準的な構造設計に従えば良いのでは、との指摘もあるだろうが、材料費の比較では大きな差があり¹、高速道路等高規格な道路以外では日本の基準はそのままでは採用しにくい。さらにこのような途上国基準に基づく舗装も現地ではそれなりに機能しているので、先方政府に対して日本の高価な舗装は無条件での推奨はできない。

道路は公共財であるので、先方政府は独自の基準であれ、または外国基準であれ一定の基準を活用しており、また当該国の技術者は慣れ親しんでいるものである。したがって一義的には相手国の基準によることになる²。

熱帯諸国はその多くが英国を元宗主国としており、またそれ以外の国にあっても他に熱帯諸国のデータに基づく総合的舗装基準が存在しないことなどから、英国のTRL³による、長い歴史と実績を有する Overseas Road Note 31（ORN31）もしくはORN31をベースとした基準用いることが多い。この基準による構造設計は、①主として簡易舗装（DBST）や5～10cm程度の比較的薄いアスファルト舗装⁴を活用する、②舗装表面からの水の浸入を防止するとしても、長い供用期間には路盤内に水が侵入することは完全には防げないとの思想から、路盤排水に細心の注意を払う⁵、③結果として低コストである、といった特徴がある。そのほかにアフリカにおいては南アフリカが豊富なデータを有しておりその基準もしばしば活用されている。

しかしながら、各国近代化の過程で急速に国際標準の大型車が増加する実態もあり、先進国の交通を反映していると考えられる我が国の舗装設計法であるT_A法等によって一定の評価を行うことが望ましい。これまでの経験では、ORN31による設計をT_A法の信頼度90%対応式⁶によって評価すると、70%～90%程度のT_A値にしかならない⁷。この原因の一つは十分な路盤排水によって支持力を担保しようとする思想であるとも考えられる。しかし品質のばらつき、さらには過積載など現地の様々なリスクを考慮すると、設計T_A値を我が国基準で必要とするT_A値に近づけることが好ましい。もし約80%が確保されれば少なくともT_A法における信頼度50%が担保され、約90%が確保されれ

¹ 資料1に材料費の比較を示す。

² JICA 資金協力案件に関しては、JICA 協力準備調査設計・積算マニュアル（2009年3月）により、「設計基準及び積算基準類は、原則として、先方政府のものを使用するが、適切な基準がない場合には、日本の基準もしくは国際基準を参照する。」と規定されている。

³ Transport Research Laboratory は英国政府の研究機関で、現在その中の Overseas Center で海外の道路技術の研究を行い、Overseas Road Note として数多く公表している。

⁴ 我が国では上層路盤にアスファルト安定処理というアスファルト混合物層を使うので事実上は20cm程度のアスファルト層となる。

⁵ 資料2に路盤排水の設計例を示す。

⁶ 舗装設計施工指針（平成18年）P56、式（3.3.1） $T_A=3.84N^{0.16}/CBR^{0.3}$

⁷ 資料3、4に実際の事例とORN31の設計例に対する試算値を示す。

ば T_A 法における信頼度 75% が確保されることになる⁸。

後に触れるが、 T_A 法では現場地質条件のリスクも含んだ形で関係式が導かれていると考えられるので、ORN31 や AASHTO 法と単純に対比すべきではないが、一定の目安として参照することを推奨している。

また従来の JICA 案件では、AASHTO 設計法（1993 年版）によって全体の舗装厚をチェックする方法も使われてきたが、一般的に T_A 法に比べて薄くなるので注意が必要である。たとえばパラメーターの採用根拠、中でも排水レベルによる修正値（mi 値）は雨季の路床・路盤中の含水率とその期間などを考慮し、的確な数値を選択して使用する必要がある。

これらの方法で舗装全体厚さのチェックはできるが、多くの途上国で採用する ORN31 系基準による薄いアスファルト層と、AASHTO 法や T_A 法により求められるアスファルト層の厚さとの差異は大きく、設計思想の違いとはいっても、実務上問題となる。特に国際標準の大型トラックや過積載車の多い地域にあつては、表層の薄さに一因があるとも見られる破損形態も報告されている⁹。

この問題に関しては、十分なデータの集積がなされていないので、当面は、例えば各国の基準による構造設計に対して、 T_A 法（あるいは AASHTO 法）により全体厚さのチェックを行い、さらに、多層弾性理論による設計法で表層厚さの確保を行うことも一つの方法である。多層弾性理論¹⁰は論理的な設計法と言え、南アフリカやその影響圏であるモザンビークでは主流となっている。ただし必ずしも十分に普及しているとは言えないので、使用に当たって施主へ丁寧に説明する必要がある。

（2）我が国の舗装設計は道路の交通量区分に応じた舗装計画交通量、すなわち 1 日 1 方向あたりの大型車交通量（台）及びこれに対応する疲労破壊輪数、すなわち 10 年間の 5 トン（49 k N）換算輪数（回）を対象にしている。これに対して多くの途上国では、実際の軸荷重分布に基づいて 10 トン換算軸重の累積値（ESAL 値）を推計して設計対象値としている。しかし舗装の計画年数を 10 年とすれば、疲労破壊輪数と ESAL 値は対応している概念である。

経済発展段階にある多くの途上国では、単に現在交通量に一定の伸び率を乗じて推計する累積荷重では過小評価になる場合が多い。我が国で実績のあるロジスティック曲線による推計法などの活用、沿道土地利用、道路網、国全体の経済発展段階等の考慮によ

⁸ 信頼度 75% 式 (3.3.2) ; $T_A=3.43N^{0.16}/CBR^{0.3}$ は信頼度 90% 式 (3.3.1) の 89.3%、信頼度 50% 式 (3.3.3) ; $T_A=3.07N^{0.16}/CBR^{0.3}$ は同じく 79.9% となる。なお我が国 T_A 法が ORN31 に比して厚い舗装となるのは、その根拠データとなる国内の現場では路盤排水設計が行われていないため路盤内の水の作用によるリスクを取り込まれているためとも解釈できる。

⁹ 典型的な事例は、セメント安定処理を上層路盤に使用した場合で、路盤と表層の付着の確保に課題があることもあり、10 cm 厚のアスファルトでも剥がれの事例が報告されている。

¹⁰ 南アフリカでは 1980 年代から多層弾性理論による舗装設計の研究が進められ、mePADs という多層弾性理論を用いた舗装設計ソフトウェアが開発されている。その影響圏にあるモザンビークでも、道路公社独自の舗装設計ソフトウェアの開発が行われている。

って過小評価になることがないように注意する必要がある。

さらにいくつかの事例から、たとえ一般の幹線道路であっても、港湾や鉱山などに連結していて重量車両の通行が明らかな場合は、単にトレンドによる交通量予測によらず、ネットワークとしての重要性から設計荷重、あるいは日本基準でいう「交通量区分」を1～2ランク上のもので設計する方が結局経済的になるのではないかと考えられる。もちろん、アスファルトとセメントの価格、あるいは技術水準から判断してセメントコンクリート舗装の採用も検討に値する。

（3）設計に使用する路床の CBR は一般に最適含水比で作成した供試体を使い4日間の水浸養生後に計測した値である。しかし実際の例では路床の現場 CBR が室内 CBR の半分以下という事例も報告されている¹¹。これは雨季の地下水位が高いなどの排水事情を反映していると考えられ、この点は ORN31 にもその現象を反映した設計法が見られる¹²。

同様に AASHTO 指針でも、排水条件によって路盤の支持力（SN 値）は標準値の 0.4 倍から 1.40 倍の範囲で変化するとされる¹³。一方日本国内では室内 CBR と現場 CBR の関係は諸説あり関係式も存在する¹⁴が、結局 T_A 法においては日本の条件下のこの程度のリスクはカバーして安全側の設計となっていると考えられる。従って逆に T_A 法の求める T_A 値以下で設計する場合は路盤排水が十分に良好であることが前提となろう。AASHTO によって全体舗装厚さを評価する場合も、路盤の排水レベルによる修正値（mi 値）の選定において、雨期の長い熱帯諸国にあっては 1.00 が確保されているかどうか慎重に決定する必要がある。

なお、路床 CBR を試験により求める場合、我が国の一般的な設計 CBR 試験とは異なり、修正 CBR 試験により実際の締固め条件を反映した路床の CBR を求めることが途上国では主流となりつつある。我が国では、NEXCO による高速道路事業で用いられている。¹⁵

（4）これまでに述べたように、ORN31 や AASHTO の設計法では、路盤の排水条件によって舗装の必要厚さが変化するなど、排水条件に徹底的にこだわりを見せることを理

¹¹ ラオス国道9号線のラテライト路盤（19地点平均）において雨季における現地 CBR が、室内 CBR の2分の1以下である例も報告されている。我が国の試験結果では、現場 CBR 試験は室内 CBR 試験の0.5～1.5の範囲にあると言われているが、熱帯地域の特に雨期における現場 CBR に関する知見の集積はなされていない。

¹² 資料5の脚注に ORN31 に示された地下水位と路床地質、CBR の関係を示す。

¹³ 参考文献7、表2.4

¹⁴ 日本鉄道施設協会、「建造物設計標準解説；土構物」および、地盤工学会、「地盤調査の方法と解説」

¹⁵ 通常的设计 CBR 試験の突固めが67回であるのに対し、修正 CBR 試験の突固め回数は17, 42, 92回となる。この突固め回数から、通常的设计 CBR 試験が「One Point Method」、修正 CBR 試験が「Three Point Method」と呼ばれている。なお、途上国で使用される「Three Point Method」は、BS1377又は AASHTO T 193-93を参考とされており、ランマーの重量、突固め回数が異なることに注意する必要がある。

解し、側溝排水や路盤排水の設計・施工に注意を払わなければならない。路盤の排水に関しては、その欠陥が典型的に表れるのは、切り盛り構造の切り土側や、縦断勾配のくぼみ（サグ部）あるいは曲線部の片勾配の低位置側であり、このような箇所においては、排水暗渠の設置などの対策に特に注意を払う必要がある¹⁶。

以上のように、この解説は我が国の舗装設計法と ORN31 など相手国基準から適正と考えられる部分を抜粋したものであり、また多くの熱帯諸国を念頭に置いた我が国基準の「現地仕様」化でもあるが、もちろん実績を重ねて修正してゆくことが必要であると考ええる。

¹⁶ 資料6に現場の写真と模式図を示す。また暗渠排水に関しては、日本の土工指針を参照のこと。

2. わだち掘れ対策

- (1) 熱帯諸国の道路にあって、わだち掘れは典型的な破損形態でありその対策は重要な課題である。これは我が国舗装設計手順では路面設計に含まれるものである。まず舗装計画交通量を推定し、1500台/日・片側以上であれば改質剤の使用を原則とする。その場合も、現場の粒度管理、特に細粒分（2.36mm以下）がなるべく許容範囲の下側になるように徹底した現場の品質管理を行う。
- (2) 舗装計画交通量が1500台/日・片側未満であれば、改質剤は使用せず、骨材の噛みあいを基本とする配合を行う。このためリフューザルデンシティー設計により最適配合設計を行うことを推奨し、アスファルトは針入度が小さく軟化点の高いものを使用する。現場配合に当たって、天然の砂を細骨材として使用する場合は粒形が流動化を起こしにくいものであることを確認するとともに、現場の粒度管理は細粒分（2.36mm以下）の重要性に配慮する。また舗装に当たって温度の低下による締固め不足などにも注意する。この場合も、急な坂道やロータリー、交差点、検問所など重量車の低速走行が予想される場合は、舗装計画交通量が1500台/日・片側以上の場合と同様に改質剤を使用することもできる。
- (3) 日本ではわだち掘れに対する要求性能は塑性変形輪数で定義され、ホイールトラッキング試験による動的安定度（DS値）で判定されるが、多くの途上国では試験機もないため、この方法は当面一般的には推奨できない。しかし可能な限り供試体を日本に送って試験し、日本基準を準用して目標値とすることが好ましい。

（説明）

(1) わだち掘れの対策は理論と現場の実態等を勘案して策定する必要がある。まず改質剤¹⁷の導入については当面日本の基準、すなわち舗装計画交通量が1500台/日・片側を境界値として使用することとした。熱帯独特の高い路面温度や低速車両を考慮するとさらに低い値が好ましいが、決定のためには今後とも裏付けデータの蓄積が望まれる。

改質剤を使う場合はリフューザルデンシティー設計¹⁸を使用しなくても良いが、相手国の骨材粒度分布の許容範囲から外れないように、現場の品質管理を徹底する必要がある。ちなみに2.36mmの骨材の場合、日本の「舗装設計施工指針（平成18年）」に示される現場配合からのずれの許容範囲¹⁹は3供試体平均で±7%だが、タンザニア、ザンビア等の基準では各テストで±4%範囲内とはるかに厳しい管理を求められている

¹⁷ 日本ではアスファルト精製工場で改質剤が混入されて改質アスファルトとして製品化されているが、多くの途上国では現地のアスファルト混合プラントで粒状の改質剤を混入するプラントミックスタイプである。参考資料9にタンザニア国のマニュアルに示される試験方法の手順を示す。

¹⁸ ORN31のAPPENDIX Dに設計手順がしめされている。これは世界的に普及しているマーシャル法における供試体の作製では50回ないし75回の突き固めによっているが、これを200回以上に増やして路上での最終的な状態を再現し、その場合でも最小の空隙率を確保するための配分設計を行なおうとするものである。

¹⁹ 日本国内でもNEXCOの高速道路事業の基準は2供試体平均で±4%以内となっている。

るので²⁰、現地プラントで追加スクリーニングを行うなどの工夫が必要なことに注意しなければならない。日本においては、アスファルト混合物は信頼できるプラントから購入するため、現場においては骨材の粒度管理にはさほど関心が払われていないこともあり、熱帯諸国での道路整備事業の経験が少ない企業にはこの点は特に注意が必要である。

（2）しかし舗装計画交通量が1500台/日・片側未満で、改質剤を使わない場合は骨材の噛み合わせを意図する配合設計を行う必要がある。このためにマーシャル法を改良した手法であるリフューザルデンシティー設計を使うことを提唱している。

旧日本道路公団時代のアスファルト舗装において、骨材の噛み合いを持たせたものが20年以上の長い寿命を示した事例がある²¹。関連して容積設計法などの提案もなされているが主流にはなっていない。現在世界的には、同じく骨材の噛み合いを確保する手順としてアメリカのスーパーペーブ、あるいはイギリスが提案したマーシャル法の改良法と言いえるリフューザルデンシティー設計などが採用されつつある²²。スーパーペーブは試験機械、アスファルト規格など完全に異なる体系であるため、直ちに導入することが困難であるが、米国以外でもガーナ、タンザニアなどで導入が進んでいる。わだち掘れ対策の視点から見ると、マーシャル試験は路上で起きる車輪による締固めを再現できないので適切ではないと広く認識されている²³。

骨材の噛み合いを担保するためには、細粒分（2.36mm以下）の量とアスファルト量の多寡を重視して骨材分布の中央値が決定される。しかし、これを実際に実現するためには現場の品質管理が同様に重要であり、コンサルタント、施工業者において十分に合意して施工にあたる必要がある。

経験的にはこのような方法をとっても、通常のアスファルトを使った場合動的安定度（DS値）で1500～2000回/mmが限度であり、海外での現場の品質管理を勘案し、さらに高温や低速走行重量車に対抗するには、上記のように重交通が多い場合は改質剤の採用が適切と考えられる。その際の判断基準は、当面我が国の「舗装構造に関する技術基準」に従って1500台/日・片側を採用したものであるが、高い路面温度など条件の違いがあり、データを蓄積して将来修正が必要である。

（3）様々な要素の組み合わせにわだち掘れのリスクが存在するが、それは結局ホイールトラッキング試験による動的安定性（DS値）によって集約的に判定されるであろう。したがって可能な限りこの動的安定性（DS値）を確認することを推奨する。

²⁰ 資料7に各国の基準の比較を示す。

²¹ 1967年に施工された、中央道府中舗装工事（調布IC～日野橋間11.4km）で、1992年に道路公団から感謝状が贈られた。

²² 資料8にマーシャル試験、スーパーペーブ/リフューザルデンシティー法の違いを図示する。前者と後者違いは結局最終的な状態で空隙率が確保されているかを再現できるかどうかである。リフューザルデンシティー設計では法最終的に2.5%程度の空隙が残されることが必要と考えられているが、試験では安全を見て3.0%以上確保することを目標値することが多い。

²³ 参考文献 No. 15

3. その他の破損対策

そのほかの破損としては、特殊土壌、たとえばブラックコットンソイルといった膨潤性の土壌上の舗装、橋梁などの特殊な構造に関連した舗装、あるいは水位の高い場所におけるセメント安定処理の劣化に伴うものなどがあるので必要な対策を講じる。

（説明）

セメント安定処理は広く使われている工法である。しかしセメント安定処理土壌からカルシウムイオンが流出して強度を失う現象は港湾の施設の基礎のような水中にあるもので注目され研究がされてきた²⁴。これによると路盤に使われるような数%といったセメント量の少ないものほどより劣化が進行するようである。現に JICA の現場で下層路盤での劣化が報告されており²⁵、またタイにおける簡易舗装の上層路盤に使われた事例でも路床が柔らかい場合や水位が高い場合は不適切との報告²⁶もあり、雨期が長く洪水にさらされる機会の多い JICA 案件の道路にあっては路盤排水の確保などに注意する必要がある。

セメント安定処理路盤の劣化は、乾燥した状態でも物理的な破壊で最終的に粒状体に戻るとされている。南アフリカでは、その劣化の進展を設計に反映することが基準で定められている。

上層路盤のセメント安定処理はセメント量が多くなると表層のアスファルト層におけるリフレクションクラックの恐れがあり、路盤のクラックに対する追随性に留意する必要がある²⁷。また原因は明確に解明されていないが、セメント安定処理上のアスファルト層の剥がれの事例も報告されているので、その点でも上層路盤にセメント安定処理を採用するときは、表層を十分厚くするなどの注意が必要と考える²⁸。

ブラックコットンソイルに関しては多くの国で対策の基準を持っており、あらかじめ政府や地元コンサルタント等から情報を得ておくことが肝要である。

²⁴ 参考文献19, 20, 21

²⁵ ラオス国道9号線の下層路盤にラテライトのセメント安定処理を利用。特にラテライトのP I >15程度以上の箇所劣化と表層の破損が著しかった。資料5、⑤、⑥に現地の写真を示す。

²⁶ 参考文献12

²⁷ NEXCO 設計要領（参考文献5）では、セメント安定処理路盤上のアスファルト層はアスファルト安定処理路盤も含めて15 c m以上確保するように求めている。

²⁸ 参考文献5によれば、セメント安定処理路盤上に直接アスファルト混合物を舗装する場合のアスファルト混合物層の合計厚は、15 c m以上でなければならない、とされている。

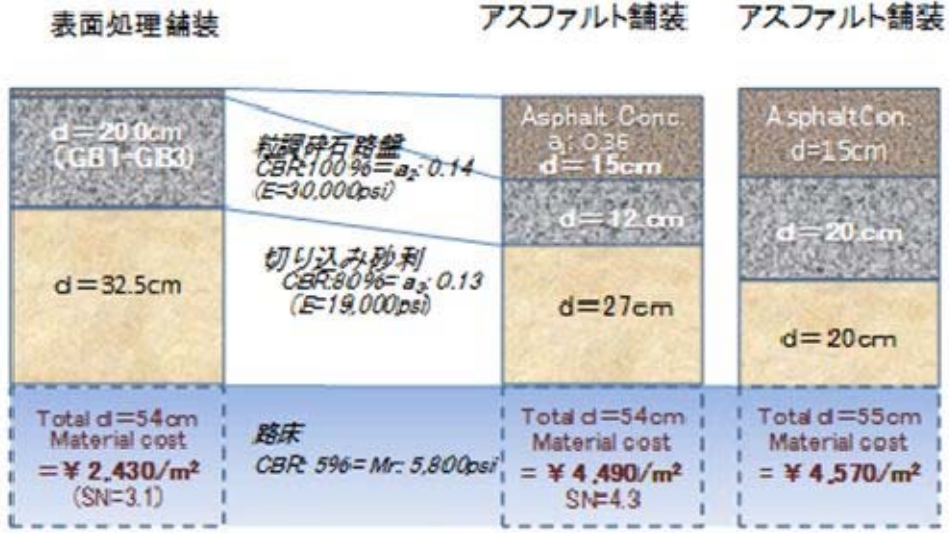
参考文献（基準類、教科書・参考図書、論文の順）

1. 舗装の構造に関する技術基準、都市・地域整備局長、道路局長通達、平成13年6月
2. 日本道路協会：舗装設計施工指針、平成18年
3. 日本道路協会：舗装設計便覧、平成18年
4. 日本道路協会：舗装施工便覧、平成18年
5. NEXCO：設計要領、舗装編、平成25年
6. Transport Research Laboratory, “Overseas Road Note 31,” 1993.
7. (社)セメント協会：舗装に関するAASHTO指針 1986年版、1990.11.
8. “Pavement Design Manual” Ministry of Transport and Roads, South Sudan, 2006
9. E. J. Yoder, “Principles of Pavement Design,” John Wiley & Sons, Inc. 1959.
10. Yang H. Huang, “Pavement Analysis and Design,” Pearson Education, Inc. 2004.
11. 土木学会：舗装工学の基礎、2012.3.
12. 松野三郎、養王田栄一、三浦裕二、飯島尚：道路舗装の設計、山海堂、1974.12.
13. 多田宏行：新編 語り継ぐ舗装技術、鹿島出版、2011.1.
14. H. R. Smith, “Bituminous Surfacing for Heavily Trafficked Roads in Tropical Climates,” TRB, 2000.
15. PIARCたわみ性舗装委員会著：耐流動アスファルト混合物、(社)日本道路協会、1997.1.
16. 国際建設技術協会：ラテライト系土質地域における道路建設に関する調査研究報告書、昭和58年3月
17. 郡司保雄、井上武美、「アスコンの容積配合設計への移行について」、WEBで入手可能
18. 山本泰幹ほか、「首都高速神奈川3号狩場線土工部舗装の排水対策検討」、地盤工学会誌、2010.7
19. 池上正春ほか、「セメント安定処理土の劣化進行に関する簡便予測手法」、土木学会第59回年次学術講演会（平成16年9月）
20. 中村 健、北詰昌樹、「セメント安定処理土の耐久性に関する室内試験」、港湾空港技術研究所資料、No.1128, June 2006
21. 藤川拓朗、佐藤研一、「石炭灰混入型セメント改良土の循環利用に伴う力学・溶出特性の解明」

資料 1. 舗装の材料費比較（東京単価で推定）

・路床 CBR 5%, ESAL: $W_{18}=5 \times 10^6$ 回, 信頼度=80%, $S_0=0.35$,
サービス指数低下 $\Delta PSI=2.0 (=4.2-2.2)$ として

① ORN 31 (S3, T5, Surface dressing) ② AASHTO ③ 日本

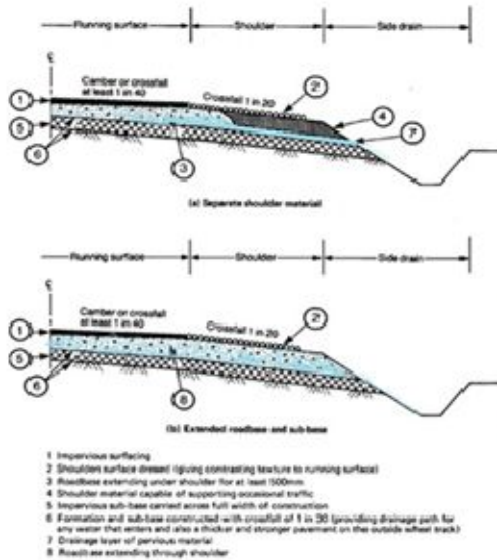


© M. Furuki

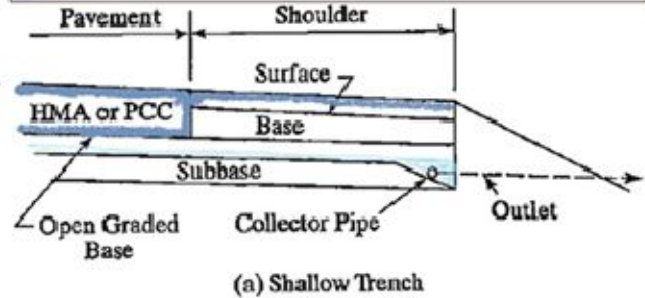
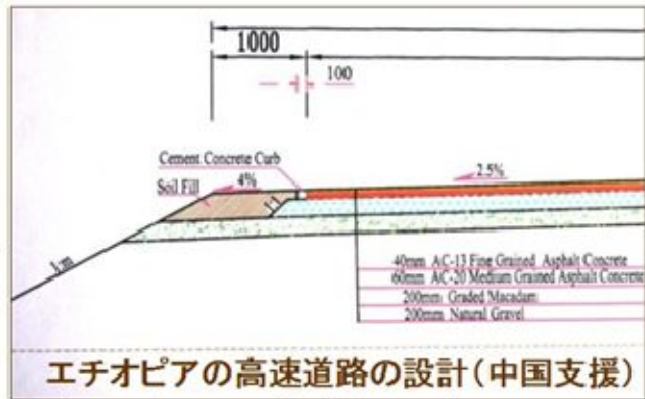
2

資料 2. 路盤排水設計の事例

■ 路盤排水設計事例



ORN31に解説されている
路盤排水設計事例



‘Pavement Analysis & Design’ (最新の
教科書)に例示された路盤排水設計

資料3 T_A法と ORN31 法の比較

ORN31 設計法を T_A 法で評価

| 条件 | | ① T _A 法による 必要等値換 算厚 | ORN31 カタログによる | |
|-----------------------------------|--------|--------------------------------------|-----------------------|----------|
| 交通量(10年間) ESAL 10 ⁶ | 路床 CBR | | ② T _A (平均) | ③=②/①(%) |
| 1 | 3 | 25.1 | 20.81 | 82.9 |
| | 8 | 18.7 | 15.94 | 85.2 |
| 10 | 3 | 36.4 | 26.35 | 73.1 |
| | 8 | 27.1 | 21.37 | 78.8 |
| 30 | 3 | 43.4 | 32.81 | 74.1 |
| | 8 | 32.3 | 27.44 | 84.9 |

資料4 アフリカ諸国における無償資金協力事業の代表的舗装構成事例

| 構成 | | タンザニア A 道路(当初設計) | エチオピア B 国道3期 | ザンビア C 道路 | (参考)日本の例 首都高狩場線切土部 ¹ |
|---|------------------------------------|-----------------------------------|----------------------------------|---------------------------------|------------------------------------|
| 無償資金協力における設計方法 | | タンザニア基準を SN ² でチェック | エチオピア基準 [□] をSNでチェック | 隣接工区参考に設 計SNでチェック | (日本の基準) |
| 舗装構成 | As 舗装(cm) | 7 | 5 | 5 | 8 4(表層)+4(基層) |
| | 上層路盤(cm) | 20(粒調碎石) | 30(粒調碎石) | 10(粒調碎石) | 16(粗粒度 As) |
| | 下層路盤(cm) | 26(発生材をセメ ント安定処理) | — | 25-30 (クラッシャーラン) | 21 (クラッシャーラン) |
| 全舗装厚(cm) | | 53 | 35 | 40-45 | 45 |
| 路床CBR(%) | | 9以上 | 15 | 15-30 | 路床改良あり (CBR30%想定) |
| 舗装設計期間(年) | | 15 | 20 | 10 | — |
| 交通 | 大型車台数 (台/日・車線) | 1,987 (2023年) | 1,075(2028年、 両方向) | 955(2007.11) | (8,600台/日、 1方向、2005年) |
| | ESAL(W18 ³) (交通量区分) | 12.3×10 ⁶ (N6-N7) | (1.0×10 ⁶) (N5) | 3.3~7.9×10 ⁶ (N6) | (98×10 ⁶) ⁴ |
| (参考)TA 値:設計/基 準 ⁵ (信頼度 90%) | | 20.5/27.0 | 15.5/15.5 | 16.0/21.2 | 28.3/26.3 |

(注)

- 1 山本泰幹、永井啓和、吉田充久、孫躍、平井哲、首都高速神奈川3号狩場線土工部の排水対策検討、地盤工学会誌、2010.7、pp.26-29
- 2 SN: Structural Number、AASHTO の開発した「構造指数」で、舗装各層の強さを表すことができる。Road Note 31 準拠の舗装構成全体の強度を AASHTO 式で確認していることになる。
- 3 18kip=8.15ton の軸重換算値、設計期間の累積値で表示。
- 4 舗装設計便覧、表 3.2.2 から外挿 5 基準とは、 $T_A=3.84 \times (N_{0.16}) / (CBR_{0.3})$ で設定。ここに N:疲労破壊輪数、CBR:路床 CBR、信頼性設計の信頼度 90%の場合。

資料5 路床CBRと疲労破壊輪数（N）1の関係及び地下水位への配慮の必要性

我が国では、疲労破壊輪数（N）と路床CBRに対応した必要な舗装厚を等価換算厚 T_A で表示し、その関係は信頼度90%²の場合以下のような経験式で表現する。

$$T_A = 3.84 \times (N^{0.16}) / (CBR^{0.3}) \quad \dots \text{式1}$$

信頼度を75%と設定するならば次のような式となる。

$$T_A = 3.43 \times (N^{0.16}) / (CBR^{0.3}) \quad \dots \text{式2}$$

（信頼度75%の等価舗装厚は信頼度90%の89%（3.43/3.84）、約9割である。）

信頼度90%の場合の必要な等価換算厚 T_A を計算すると下表のとおりである。

表 路床CBRと疲労破壊輪数(N)に対応する必要 T_A 値*（信頼度90%）

| CBR | 疲労破壊輪数($\times 10^6$) | | | | | |
|-----|-------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 1 | 2 | 4 | 8 | 15 | 30 |
| 2 | 28.45 | 31.78 | 35.51 | 39.67 | 43.87 | 49.02 |
| 3 | 25.19 | 28.14 | 31.44 | 35.13 | 38.85 | 43.40 |
| 4 | 23.11 | 25.82 | 28.84 | 32.23 | 35.64 | 39.82 |
| 6 | 20.46 | 22.86 | 25.54 | 28.54 | 31.55 | 35.26 |
| 8 | 18.77 | 20.97 | 23.43 | 26.18 | 28.95 | 32.34 |
| 12 | 16.62 | 18.57 | 20.74 | 23.18 | 25.63 | 28.64 |
| 24 | 13.50 | 15.08 | 16.85 | 18.83 | 20.82 | 23.26 |

（*注） $T_A = 3.84 \times (N^{0.16}) / (CBR^{0.3})$ （舗装設計施工便覧 T_A 式）

式1あるいはこの表からもわかるとおり、路床CBRの小さい範囲では、CBRが1下がると疲労破壊輪数は半分となる、すなわち寿命が半減することが分かる。

たとえば、CBR4では T_A が32あれば 8×10^6 の疲労破壊輪数に耐えるが、CBR3では半分の 4×10^6 となる。

このことは、実際の路床のCBR値が、現場での含水率に左右されるので、排水条件あるいは地下水位に注意を払うべきことを示唆している³。

¹設計等価換算軸重と考えて良い。耐わだち掘れの輪数である塑性変形輪数と区別するために使われる。

²信頼度90では、疲労破壊輪数によって10%の路面が疲労破壊すると考えられる。

³ORN31では、路床CBRが計測できない場合、地盤分類と地下水位から推計する方法を提示しており、地下水位がCBRを決定するファクターであることを認識している（ORN31、P13）。S1、S2等はCBRでクラス分けしたORN31の地盤強度の分類である。

| Estimated design subgrade strength class under sealed roads in the presence of a water table | | | | | | Subgrade strength classes (CBR%) |
|--|-------------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|--|
| Depth of water table* from formation level (metres) | Subgrade strength class | | | | | |
| | Non-plastic sand | Sandy clay PI=10 | Sandy clay PI=20 | Silty clay PI=30 | Heavy clay PI=40 | |
| 0.5 | S4 | S4 | S2 | S2 | S1 | S1 = 2 S2 = 3, 4 S3 = 5 - 7 S4 = 8 - 14 S5 = 15 - 29 S6 = 30+ |
| 1 | S5 | S4 | S3 | S2 | S1 | |
| 2 | S5 | S5 | S4 | S3 | S2 | |
| 3 | S6 | S5 | S4 | S3 | S2 | |

* The highest seasonal level attained by the water table should be used.

資料6 関連現場写真

| | |
|---|--|
|  |  |
| <p>① 山側からの地下水で山側のレーンが破損している(エチオピア)。</p> | <p>② サグ部に路盤内の水が滞留しポンピングを起こしている(エチオピア)</p> |
|  |  |
| <p>③ サグ部に路盤内の水が滞留する模式図(上)と雨季のポンピング模式図(下)</p> | <p>④ 典型的な流動わだち掘れ。勾配区間の低速重量車両も一因(エチオピア)。</p> |
|  |  |
| <p>⑤ 下層路盤の劣化に起因すると思われる亀甲クラック(ラオス)。</p> | <p>⑥ セメント安定処理の下層路盤が劣化して軟弱化(同左)</p> |

資料7 日本、タンザニア、ザンビアのアスファルト合材粒度の許容範囲

(1) 日本道路協会、舗装設計施工指針（平成18年）P314より

付表-10.1.2 品質の合格判定値の例

| 工 種 | | 項 目 | \bar{X}_{10} | \bar{X}_6 | \bar{X}_3 | |
|-------------|-----------------------------------|-------------|----------------|-------------|-------------|---------|
| 構築路床 | | 締固め度 (%) | 92.5 以上 | 93 以上 | 93.5 以上 | |
| 下層路盤 | | 締固め度 (%) | 95 以上 | 96 以上 | 97 以上 | |
| 上層 路盤 | 粒度調整 | 締固め度 (%) | 95 以上 | 95.5 以上 | 96.5 以上 | |
| | | 粒度 (%) | 2.36mm | ±10 以内 | ±9.5 以内 | ±8.5 以内 |
| | | | 75 μ m | ±4.0 以内 | ±4.0 以内 | ±3.5 以内 |
| | セメント安定処理 石灰安定処理 セメント・瀝青安定処理 | 締固め度 (%) | 95 以上 | 95.5 以上 | 96.5 以上 | |
| | | 粒度 (%) | 2.36mm | ±10 以内 | ±9.5 以内 | ±8.5 以内 |
| | | | 75 μ m | ±4.0 以内 | ±4.0 以内 | ±3.5 以内 |
| | セメント・石灰量 (%) | -0.8 以上 | -0.8 以上 | -0.7 以上 | | |
| | 瀝青安定処理 | 締固め度 (%) | 95 以上 | 95.5 以上 | 96.5 以上 | |
| | | 粒度 (%) | 2.36mm | ±10 以内 | ±9.5 以内 | ±8.5 以内 |
| | | | 75 μ m | ±4.0 以内 | ±4.0 以内 | ±3.5 以内 |
| | | アスファルト量 (%) | -0.8 以上 | -0.8 以上 | -0.7 以上 | |
| | アスファルト中間層 | 締固め度 (%) | 96 以上 | 96 以上 | 96.5 以上 | |
| | | 粒度 (%) | 2.36mm | ±8.0 以内 | ±7.5 以内 | ±7.0 以内 |
| | | | 75 μ m | ±3.5 以内 | ±3.5 以内 | ±3.0 以内 |
| アスファルト量 (%) | ±0.55 以内 | ±0.50 以内 | ±0.50 以内 | | | |
| 基 層 | 締固め度 (%) | 96 以上 | 96 以上 | 96.5 以上 | | |
| | 粒度 (%) | 2.36mm | ±8.0 以内 | ±7.5 以内 | ±7.0 以内 | |
| | | 75 μ m | ±3.5 以内 | ±3.5 以内 | ±3.0 以内 | |
| アスファルト量 (%) | ±0.55 以内 | ±0.50 以内 | ±0.50 以内 | | | |
| 表 層 | 締固め度 (%) | 96 以上 | 96 以上 | 96.5 以上 | | |
| | 粒度 (%) | 2.36mm | ±8.0 以内 | ±7.5 以内 | ±7.0 以内 | |
| | | 75 μ m | ±3.5 以内 | ±3.5 以内 | ±3.0 以内 | |
| アスファルト量 (%) | ±0.55 以内 | ±0.50 以内 | ±0.50 以内 | | | |
| 転圧コンクリート版 | | 締固め度 (%) | 97.5 以上 | 97.5 以上 | 98 以上 | |

(注) バー付の X_3 は 3 供試体の平均値であることを示す。

(2) NEXCO施工管理基準（平成22年7月）P24より

表 8-1 現場配合からのずれの範囲

| 種 別 | | 現場配合からのずれ | |
|-----------------------|------------------|--|---------------|
| | | 表層工、基層工、中間層工およびレベリング層工 | アスファルト安定処理路盤工 |
| 骨材の通過 質量百分率 (%) | ふるい目の開き | | |
| | 4.75 (mm) | ± 5 以内 | ± 8 以内 |
| | 2.36 (mm) | ± 4 以内 | — |
| | 600、300、150 (μm) | ± 3 以内 | — |
| | 75 (μm) | ± 1.5 以内 | ± 3 以内 |
| アスファルト量 (%) | | ± 0.3 以内 | ± 0.3 以内 |
| 混 合 温 度 (°C) | | ± 1.4 以内 | ± 1.4 以内 |
| 混合物の現場廃棄温度 | | 現場配合の規定温度より 20°C 以上低い場合 (フィニッシャに降ろす直前の温度) | |

注：2 供試体平均

(3) タンザニア標準仕様書

4212 CONSTRUCTION TOLERANCES AND FINISH REQUIREMENTS

(a) Construction tolerances

Construction tolerances and finish shall meet all relevant requirements in CLAUSE 7300. The riding quality of the final layer shall be to the satisfaction of the Engineer.

(b) Gradings

The combined aggregate and filler grading shall not deviate from the approved target grading for the working mix by more than that given in TABLES 4212/2 and 4212/3 respectively for Asphalt Concrete surfacing and bituminous base course materials.

**TABLE 4212/2
AGGREGATE AND FILLER GRADING FOR ASPHALT CONCRETE SURFACING**

| Size of aggregate: Material passing through the following sieves (mm) | Permissible deviation from the approved target grading |
|--|---|
| 37.5 | ±4.0 |
| 28 | ±4.0 |
| 20 | ±5.0 |
| 14 | ±5.0 |
| 10 | ±5.0 |
| 6.3 | ±5.0 |
| 5 | ±4.0 |
| 2.00 | ±4.0 |
| 1.18 | ±4.0 |
| 0.600 | ±4.0 |
| 0.300 | ±4.0 |
| 0.150 | ±3.0 |
| 0.075 | ±1.5 |

(4) ザンビア標準仕様書

5.6.1.7 Tolerances

(a) Composition of the mix

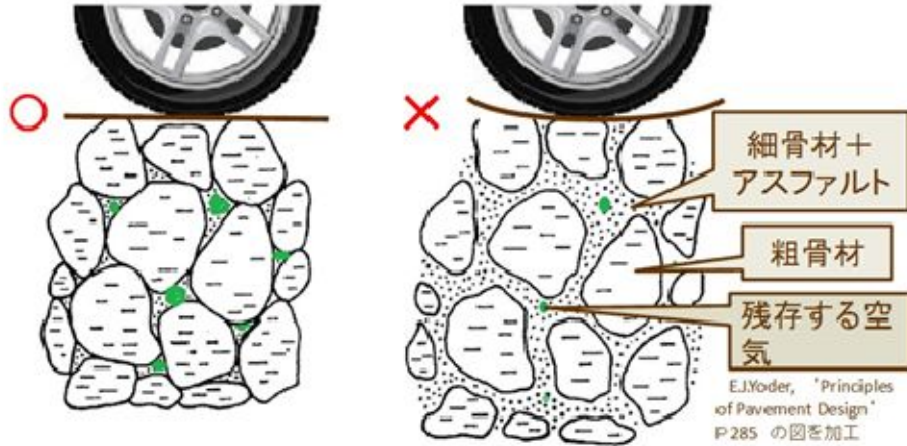
The Contractor shall maintain the composition of the mixture as determined from the laboratory and Site trials within the tolerances per single test, where the bitumen content is given in per cent by the total weight of mixture and the aggregate content is given in per cent of the total weight of dry aggregate:

| | |
|--------------------------------|----------|
| Bitumen Content | : ± 0.3% |
| Passing 10 mm sieve and larger | : ± 6% |
| Passing 2 mm and 1 mm sieve | : ± 4% |
| Passing 0.425 mm sieve | : ± 3% |
| Passing 0.075 mm sieve | : ± 2% |

資料8 骨材の噛み合わせによるわだち掘れ対策の概念図

(1) 骨材の噛み合わせにより支持力が発生する概念図

■骨材のかみ合わせによって支持力が発生



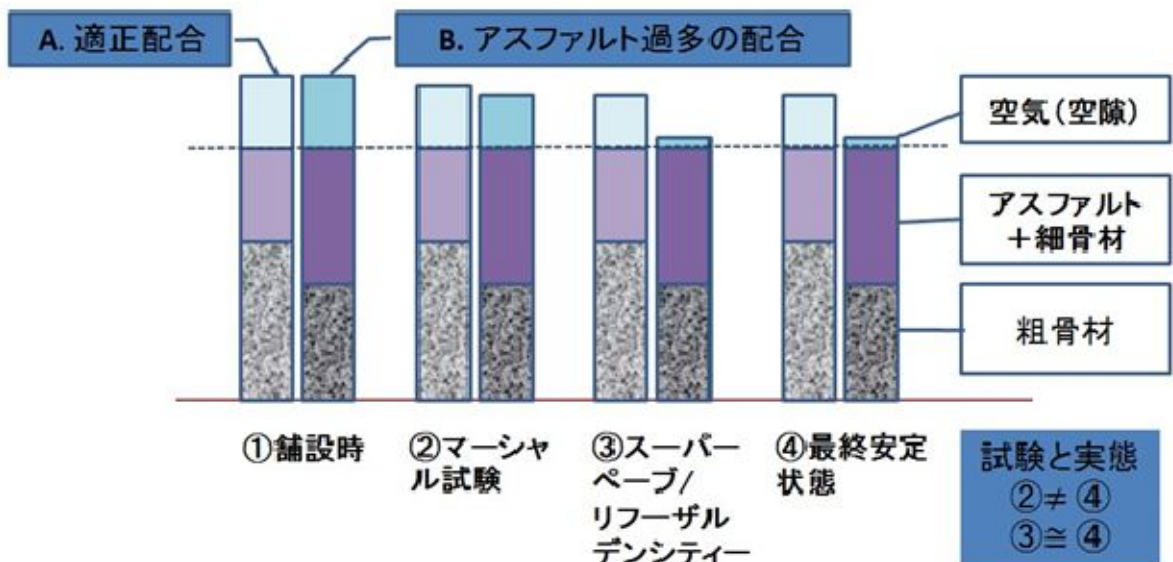
①十分に締固められた後も空隙がある。骨材同士がかみ合う。空気量が3%以上を維持する。(空気量は目的ではなく指標)

②十分に締固められた後、(アスファルト+細粒分)が多く骨材同士のかみ合いがない。空気量3%以下となる。

図 二つのアスファルト混合物のイメージ

(2) アスファルト量と試験法の違いの概念図

■アスファルト量の多寡と試験法による差異



■ 最適アスファルト量の決定のためには、最終安定状態におけるアスファルト量を推定したうえで決定することで、塑性流動化しないアスファルト量を決定できる。

■ ②と④とはずれがあるが、③と④とは近いと考えられる。従って③で空気量(空隙率)が2.5~3%以上であれば流動わだち掘れが起きにくい。

資料9 Refusal Density Mix Design リフューザルデンシティー法（限界密度法）によるアスファルト配合設計（Test No. 3.20）

出典：Laboratory Testing Manual 2000, Central Materials Laboratory, TANZANIA

試験目的

リフューザルデンシティー法による配合設計は、標準的なマーシャル試験法を補うものとして使用される。リフューザルデンシティー法の目的は、交通による（施工後の）二次的な圧縮後の最少空気間隙率を保つようなアスファルトの配合を設計することである。

原理

（リフューザルデンシティー法の）アスファルト含有量を変化させた試験配合は、マーシャル試験の締固め方法に従い、その回数を増やした方法である。マーシャル試験の締固め方法を供試体の密度がそれ以上増加しなくなるまで続ける。この最大密度の状態は”限界密度”と呼ばれる。最適なアスファルト含有量は、アスファルト含有量が通常のマーシャル試験の要求に合い、且つ限界密度の時の空気量が最低 3%という条件を満たす値で決定される。

マーシャル試験の締固回数を増やす方法の他の方法は”張振動ハンマー締固め法”があり、この方法も使用される。別途参照を確認のこと。

参照

TRL Overseas Road Note 31、補遺 D” リフューザルデンシティー法による配合設計”

試験用器具

マーシャル試験と同様の器具が供試体の準備に使用される。Test3.18 を参照。

試験方法

初期調査

ステップ 1

最初に打撃回数 75 回を使用した通常のマーシャル試験を実施する。これは、マーシャルの要求と配合が合致していることをチェックし、リフューザルデンシティー法の入力に使用できるようにするためである。Test3.19 を参照。図 3.19-2 に示すグラフを準備する。この時点では最適アスファルト含有量を決定しないこと。

リフューザルデンシティー試験法

ステップ 2

マーシャル試験法から空気量 6%に相当するアスファルト含有量を決定する。

ステップ 3

3 種類の異なるアスファルト含有量を持つマーシャル試験用供試体を準備する。この 3 種類

とはすなわち空気量 6%の時のアスファルト含有量のもの、その±0.5%のものである。これらの供試体は限界密度（マーシャル試験の締固め機材を使用して得られる最大の密度）まで締固めされる。

ステップ 4

限界密度条件が得られる締固め回数は供試体によって異なる。このため（3つのうち）低いアスファルト含有量で締固め回数を 200 回、300 回、400 回等の回数で増やししながら密度の増加がそれ以上発生しなくなるまで試行を行うことが推奨される。通常 500 回の締固めで十分なデータが得られる。

ステップ 5

アスファルト含有量に対する（限界密度での）空気量をプロットする。

ステップ 6

ステップ 5 で得られたプロットデータから限界密度での 3%の空気量に相当するアスファルト含有量を決定する。この値は外挿法ではなく内挿法により決定すること。必要であれば、これ（内挿法）が使用できるように、アスファルト含有量の範囲を上方もしくは下方に延長する。

ステップ 7

この方法で得られたアスファルト含有量がマーシャル試験の要求に合っているかどうか確認するために（ステップ 1 で得られた）マーシャル試験結果をチェックする。最終的に得られたアスファルト含有量はマーシャル試験の要求に合い、且つ限界密度の時の空気量が最少でも 3%でなければならない。

試験結果

試験精度

この方法に関する精度や偏りに関する記述はない。

報告書

試験報告書は以下の項目を含むこと。

- a) 試験手順
- b) 試験材料の種類と定義
- c) すべての供試体において限界密度での空気量
限界密度での空気量が 3%となる推定アスファルト含有量
- d) 試験日
- e) この方法から何か逸脱していることがあればその記述

実用上の注意点

（通常の方法より）回数を増やしたマーシャル試験法の締固めは骨材の破壊を生じさせる可能性がある。もしそれが大量に発生するような場合にはこの方法は使用できない。

この方法に関する国内外の規格は存在せず、経験則から得られたものであるため、今後のさらなる改良が期待される。

添付資料

資料－１：主な参考文献（日本の指針・便覧及び調査対象国の設計基準等を除く）

資料－２：アフリカでの無償資金協力による道路案件の実績

資料－３：参考資料

- A. 路面温度の計測結果
- B. ライフサイクルコストの試算例
- C. AASHTO GUIDE（1993）による舗装の設計例
- D. 多層弾性理論に基づく舗装構成の照査例
- E. SUPERPAVE と Refusal Density を用いた配合設計（例）
- F. アスファルト量と WT 試験値に関する試験結果
- G. その他設計上の参考資料

資料－１：主な参考文献（日本の指針・便覧及び調査対象国の設計基準等を除く）

1. Yang H. Huang, “Pavement Analysis and Design,” Pearson Education, Inc. 2004.
2. 土木学会：舗装工学の基礎、2012.3.
3. Transport Research Laboratory, “Overseas Road Note 31,” 1993.
4. Transport Research Laboratory, “Overseas Road Note 19,” 2002.
5. AASHTO 29th Edition, 2009
6. (社)セメント協会：舗装に関するAASHTO指針 1986年版、1990.11.
7. H. R. Smith, “Bituminous Surfacing for Heavily Trafficked Roads in Tropical Climates,”TRL, 2000.
8. E. J. Yoder, “Principles of Pavement Design,” John Wiley & Sons, Inc. 1959.
9. 多田宏行：新編 語り継ぐ舗装技術、鹿島出版、2011.1.
10. 松野三郎、養王田栄一、三浦裕二、飯島尚：道路舗装の設計、山海堂、1974.12.
11. PIARCたわみ性舗装委員会著：耐流動アスファルト混合物、(社)日本道路協会、1997.1.
12. 郡司保雄、井上武美、「アスコンの容積配合設計への移行について」、AWB 入手可
13. 秋山政敬、「アスファルト舗装体の温度に関する調査研究」1976.2.
14. 舗装技術の質疑応答(第6巻、第7巻上)、建設図書
15. 鋼橋における性能設計の調査・研究(H14-H16)
16. 阿部頼政：アスファルトの規格試験とその意義(1)
17. 国土技術研究センター：河川を横過する橋梁に関する計画の手引き(案)、平成21年
18. 高橋修：アスファルト混合物の配合設計 ～Superpave 設計法～
19. Asphalt Institute：SUPERPAVE No.2 (SP2)
20. 国土交通省：瑕疵保証のあり方に関する研究会報告書、平成17年8月
21. IRF：WORLD ROAD STATISTICS 2010
22. 国土交通省：道路統計年報2011
23. 交通工学研究会：交通工学ハンドブック2005
24. 国連大学：人間と社会の開発プログラム研究報告「日本における道路技術の発達Ⅱ」
25. 土木学会：「コンクリート舗装を賢く使う」、平成22年度全国大会 研究討論会 研-21
26. (社)道路保全技術センター：道路保全ハンドブック、平成23年
27. 小谷昇、井田敏行、森田幸義：アスファルト混合物の知識、技報堂出版
28. 饒波正史：沖縄に適した舗装技術に向けて、2001年
29. 国土交通省 HP
30. 日本アスファルト協会 HP
31. 雑誌「アスファルト」、「舗装」、「道路」、「道路建設」

資料-2：アフリカでの無償資金協力による道路案件の実績（1／3）（橋梁単独案件及び詳細設計のみの案件を除く）

| 国名 | 案件名（日本語） | 年度 | E/N供与限度額 （千円） | 協力の概要 |
|----------|---|------|------------------|-----------------------------|
| アンゴラ | ルアンダ道路網改善計画 | 1998 | 919,000 | ルアンダ市内主要道路2路線（7.3km）の改修 |
| | | 1999 | 772,000 | ルアンダ市内主要道路5路線（18.2km）の改修 |
| ウガンダ | カンパラ市内幹線道路改善計画 | 1998 | 736,000 | カンパラ市内交差点5か所の改修 |
| | | 2002 | 368,000 | カンパラ市内主要道路1路線と交差点1か所の改修 |
| | | 2003 | 332,000 | カンパラ市内主要道路1路線と交差点1か所の改修 |
| | | 2005 | 462,000 | カンパラ市内主要道路2路線と交差点4か所の改修 |
| | | 2006 | 316,000 | カンパラ市内主要交差点4か所の改修 |
| エチオピア | 幹線道路改修計画 第2次幹線道路改修計画 第3次幹線道路改修計画 第4次幹線道路改修計画 | 1998 | 1,271,000 | 国道3号線より2.0kmの改修と15橋の改修 |
| | | 1999 | 4,156,000 | 国道3号線より90kmの改修 |
| | | 2001 | 1,182,000 | 国道3号線より16kmの改修と7橋の改修 |
| | | 2002 | 3,380,000 | 国道3号線より75kmの改修と6橋の改修 |
| | | 2005 | 4,832,000 | 国道3号線より41kmの改修と1橋の新設 |
| | | 2011 | 4,158,000 | 国道3号線より30.5kmの改修 |
| | | 2003 | 2,776,000 | 国道1号線より41kmの改修 |
| | | 2004 | 3,763,000 | 国道1号線より57.2kmの改修 |
| ケニア | ナイロビ西部環状道路建設計画 ウゴンゴ道路拡幅計画 | 2009 | 8,714,000 | 国道8号線より59.9kmの改修 |
| | | 2010 | 2,507,000 | ナイロビ環状道路（8.3km）の拡幅と橋梁5カ所の改修 |
| コンゴ民主共和国 | キンシャサ市ボフ・ルー通り補修及び改修計画 キンシャサ市ボフ・ルー通り補修及び改修計画（第2次） | 2012 | 1,566,000 | ナイロビ市内主要道路（4.62km）の拡幅 |
| | | 2009 | 1,751,000 | キンシャサ市内主要道路（4km）の改修 |
| | | 2012 | 3,352,000 | キンシャサ市内主要道路（8km）の改修 |

アフリカでの無償資金協力による道路案件の実績（2/3）（橋梁単独案件及び詳細設計のみの案件を除く）

| 国名 | 案件名（日本語） | 年度 | EN供与限度額 （千円） | 協力の概要 |
|-------------------|----------------|-----------|-------------------------------|-------------------------------------|
| ザンビア | ルサカ市道路網整備計画 | 1995 | 838,000 | ルサカ市内主要道路12路線（30km）の改修 |
| | | 1996 | 1,404,000 | ルサカ市内主要道路（34.4km）の改修 |
| | | 2000 | 1,080,000 | ルサカ市内主要道路37路線（26.2km）の改修 |
| | | 2001 | 2,538,000 | ルサカ市内主要道路7路線（30.7km）の改修 |
| | 第3次ルサカ市道路網整備計画 | 2005 | 679,000 | ルサカ市内主要道路4路線（10.5km）の改修 |
| | | 2008 | 986,000 | リビングストン市内主要道路（13.0km）の改修 |
| | | 2009 | 2,692,000 | ンドラ市及びキトウェ市内主要道路23路線（24.4km）の改修 |
| | | 2011 | 2,776,000 | ルサカ環状道路（14.6km）の新設・改修 |
| | | 1997 | 1,996,000 | 国道1号線より5.1kmの拡幅と国道2号線より8.5kmの改修 |
| | | 1980 | 1,500,000 | ダルエスサラーム市内主要道路（1km）及び1橋の拡幅 |
| | | 1984 | 834,000 | ダルエスサラーム市内主要道路（2.7km）及び2橋の改修 |
| ジンバブエ | 首都圏道路網整備計画 | 1991 | 896,000 | ダルエスサラーム市内主要道路（27.4km）の改修 |
| | | 1992 | 987,000 | ダルエスサラーム市内主要道路（9.8km）の改修 |
| | | 1993 | 1,333,000 | ダルエスサラーム市内主要道路（5.7km）の改修 |
| | | 1994 | 886,000 | ダルエスサラーム市内主要道路（40.7km）の改修 |
| | ダルエスサラーム道路改善計画 | 1997 | 1,089,000 | ダルエスサラーム市内道路13路線（15.6km）の改修 |
| | | 1998 | 1,068,000 | ダルエスサラーム中央環状道路の拡幅（2.8km） |
| | | 1999 | 1,436,000 | ダルエスサラーム中央環状道路の拡幅（3.6km）及び新設（0.7km） |
| | | 2001 | 3,109,000 | 地方主要幹線道路（77.0km）の改修 |
| | | 2002 | 716,000 | 地方主要幹線道路（7.6km）の改修 |
| | | 2006 | 1,152,000 | ダルエスサラーム市内主要道路（5.0km）の拡幅 |
| | | 2007 | 1,497,000 | ダルエスサラーム市内主要道路（5.1km）の拡幅 |
| マサシーマンガンガ川間道路整備計画 | 2007 | 692,000 | 地方主要幹線道路（15.0km）の改修 | |
| | 2008 | 758,000 | 地方主要幹線道路（17.6km）の改修 | |
| | 2009 | 1,514,000 | 地方主要幹線道路（15.1km）の改修 | |
| | 2010 | 4,873,000 | ダルエスサラーム市内主要道路（12.9km）と3橋梁の拡幅 | |
| | 2012 | 1,108,000 | ダルエスサラーム市内主要道路（1.3km）と1橋梁の拡幅 | |

アフリカでの無償資金協力による道路案件の実績（3/3）（橋梁単独案件及び詳細設計のみの案件を除く）

| 国名 | 案件名（日本語） | 年度 | EN供与限度額 （千円） | 協力の概要 |
|---------------|---------------------|--------|-----------------|------------------------------|
| 中央アフリカ | 3号国道舗装計画 | 1990 | 800,000 | 国道3号線（9km）の改修（簡易舗装） |
| | | 1991 | 1,350,000 | 国道3号線（30km）の改修（簡易舗装） |
| | | 1992 | 1,254,000 | 国道3号線（27km）の改修（簡易舗装） |
| | | 1994 | 2,190,000 | 国道3号線（15km）の改修（簡易舗装） |
| | | 1995 | 1,415,000 | 国道3号線（27km）の改修（簡易舗装） |
| | | 1996 | 1,479,000 | 国道3号線（24km）の改修（簡易舗装） |
| | | 1998 | 1,267,000 | 国道3号線（15km）の改修（簡易舗装） |
| | | 1999 | 1,153,000 | 国道3号線（25km）の改修（簡易舗装） |
| | | 2000 | 988,000 | 国道3号線（23km）の改修（簡易舗装） |
| | | 2001 | 959,000 | 国道3号線（26km）の改修（簡易舗装） |
| | | マダガスカル | アンタナナリヴォ市道路改修計画 | 1996 |
| 国道7号線バイパス建設計画 | 2003 | | 3,127,000 | アンタナナリヴォ首都圏環状道路（15km）と2橋梁の新設 |
| マラウイ | ブランタイヤ市道路網整備計画 | 2007 | 854,000 | ブランタイヤ市内主要道路（7.9km）の改修 |
| | ブランタイヤ市道路網整備計画（第二次） | 2010 | 899,000 | ブランタイヤ市内主要道路（4.4km）の改修 |

資料－３：参考資料

- A. 路面温度の計測結果
- B. ライフサイクルコストの試算例
- C. AASHTO GUIDE（1993）による舗装の設計例
- D. 多層弾性理論に基づく舗装構成の照査例
- E. SUPERPAVE と Refusal Density を用いた配合設計（例）
- F. アスファルト量と WT 試験値に関する試験結果
- G. その他設計上の参考資料

参考資料 A. 路面温度の計測結果

本調査では、対象各国において舗装表面温度の観測を行った。計測の結果、タンザニア、ガーナ両国では、計測された路面の表面温度は50℃程度であったが、エチオピアでは気温の低い雨期であったにもかかわらず60℃を超える路面温度が観測された(表R-1)。

表 A-1. 舗装表面温度の計測結果

測定箇所:エチオピア国第三次幹線道路改修区間(ゴハチオン～アバイ間)

測定日:8月28日

測定時間:14:30～16:30時 天候:雨のち曇り

| 時間 | | 14:30 | 14:35 | 14:40 | 15:10 | 15:30 | 15:40 | 16:00 | 16:10 | 16:30 |
|---------|----|-------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 起点からの距離 | | 700m | 1200m | 3200m | 4900m | 10500m | 12000m | 14000m | 17800m | 19500m |
| 標高 | | 2410m | 2375m | 2253m | 2135m | 1760m | 1636m | 1493m | 1177m | 1070m |
| 計測 | 1回 | 25.6 | 25.4 | 43 | 48.7 | 48.4 | 48.6 | 48.6 | 48.4 | 44.6 |
| | 2回 | 25.2 | 25.2 | 43.9 | 49.1 | 48.6 | 48.8 | 48.4 | 48.4 | 44.8 |
| | 3回 | 25.5 | 26.4 | 44.9 | 49.1 | 48.4 | 48.9 | 48.5 | 48.9 | 44.7 |
| 平均(℃) | | 25.4 | 25.7 | 43.9 | 49.0 | 48.5 | 48.8 | 48.5 | 48.6 | 44.7 |

測定箇所:エチオピア国第三次幹線道路改修区間(デジェン～アバイ間)

測定日:8月29日

測定時間:11:00～12:30時 曇りのち晴れ

| 時間 | | 11:15 | 11:30 | 11:40 | 11:45 | 11:52 | 12:10 | 12:20 | 12:25 | 12:30 |
|---------|----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 起点からの距離 | | 39600m | 38000m | 34000m | 32000m | 29100m | 25300m | 22000m | 21550m | 20000m |
| 標高 | | 2445m | 2407m | 2120m | 1997m | 1823m | 1513m | 1261m | 1215m | 1070m |
| 計測 | 1回 | 36.9 | 38.1 | 37.2 | 48.6 | 51.1 | 54.5 | 58.9 | 57 | 61.6 |
| | 2回 | 37.1 | 38.2 | 36.9 | 48.4 | 51.6 | 54.3 | 57.8 | 57.2 | 59.8 |
| | 3回 | 36.8 | 38.2 | 37 | 48.5 | 51.6 | 55.1 | 58.3 | 58.1 | 60.5 |
| 平均(℃) | | 36.9 | 38.2 | 37.0 | 48.5 | 51.4 | 54.6 | 58.3 | 57.4 | 60.6 |

また、「アスファルト舗装体の温度に関する調査研究：1976年2月秋山正敬氏」の報文に気温と舗装温度の関係式が報告されている。この関係式は、東京都土木技術研究所の構内に設けた実物大のアスファルト舗装体の温度を主体に調査研究を行った結果である。

- 晴天時

$$y = 1.1 \times x + 1.5 + 0.17 \cdot e^{0.126x}$$

- 雨天時

$$y = 1.233 \times x + 0.833$$

y : 舗装表面温度

x : 気温

この関係式を用いて、タンザニア、ガーナの調査結果の比較を実施した結果が表 2-13 である。(エチオピアについては、対象地域の気温データが存在しないため比較を行っていない)

表 A-2. 気温と舗装温度

| 月 | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
|--------------|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| タンザニア:ダルエス市内 | | | | | | | | | | | | | |
| 月平均最高気温(°C) | | 31.8 | 29.3 | 31.6 | 33.5 | 32.6 | 31.6 | 30.3 | 29.8 | 30.1 | 29.4 | 28.3 | 26.3 |
| 舗装温度 °C | 計算値 | 45.8 | 40.5 | 45.4 | 49.9 | 47.7 | 45.3 | 42.5 | 41.6 | 42.2 | 40.7 | 38.6 | 35.1 |
| | 実測値 | | | | | | | | 50.8 | | | | |
| ガーナ:アクラ市内 | | | | | | | | | | | | | |
| 月平均最高気温(°C) | | 32.5 | 33.0 | 33.2 | 32.8 | 31.9 | 29.7 | 28.8 | 28.4 | 29.7 | 31.1 | 32.1 | 32.4 |
| 舗装温度 °C | 計算値 | 47.5 | 48.7 | 49.2 | 48.1 | 45.9 | 41.3 | 39.6 | 38.9 | 41.4 | 44.3 | 46.6 | 47.3 |
| | 実測値 | | | | | | | | | 49.7 | | | |

結果として、日本国内の調査研究結果との差異が非常に大きい。この原因を明確にするにはデータ数が不足しているが、少なくとも日本で想定される条件に比べ、調査対象地域の舗装温度に対する条件が過酷であることが伺える。

参考資料 B. ライフサイクルコストの試算例（日本）

（１） 舗装タイプ別事業費（m² 当たり）

関東地方整備局の設計要領に示される標準舗装構成（C 交通、設計 CBR＝8）について、ストレートアスファルト、改質アスファルト、コンクリート舗装、および RCCP（転圧コンクリート舗装）の直接工事費は以下のとおりである。算出地域は関東周辺とした。

表 B-1. 舗装タイプ別直接工事費（関東周辺）

| タイプ | 項目 | 直接工事費 (材料費込み) | ①を 1.00 とした 場合 |
|-----|---------------------------------|------------------------|---------------------------------|
| ① | 表層〔密粒度アスコン(20)5cm(ストレートアスファルト)〕 | 1,450 円/m ² | 7,130 円/m ² 1.00 |
| | 基層〔粗粒度アスコン(20)5cm(ストレートアスファルト)〕 | 1,430 円/m ² | |
| | アスファルト安定処理 9cm | 2,430 円/m ² | |
| | 上層路盤(粒調碎石 15cm) | 920 円/m ² | |
| | 下層路盤(クラッシュラン 15cm) | 790 円/m ² | |
| | 不陸整正工 | 110 円/m ² | |
| ② | 表層〔密粒度アスコン(20)5cm(改質アスファルト)〕 | 1,670 円/m ² | 7,350 円/m ² 1.03 |
| | 基層〔粗粒度アスコン(20)5cm(ストレートアスファルト)〕 | 1,430 円/m ² | |
| | アスファルト安定処理 9cm | 2,430 円/m ² | |
| | 上層路盤(粒調碎石 15cm) | 920 円/m ² | |
| | 下層路盤(クラッシュラン 15cm) | 790 円/m ² | |
| | 不陸整正工 | 110 円/m ² | |
| ③ | 表層〔密粒度アスコン(20)5cm(改質アスファルト)〕 | 1,670 円/m ² | 7,550 円/m ² 1.06 |
| | 基層〔粗粒度アスコン(20)5cm(改質アスファルト)〕 | 1,630 円/m ² | |
| | アスファルト安定処理 9cm | 2,430 円/m ² | |
| | 上層路盤(粒調碎石 15cm) | 920 円/m ² | |
| | 下層路盤(クラッシュラン 15cm) | 790 円/m ² | |
| | 不陸整正工 | 110 円/m ² | |
| ④ | 表層(半たわみ性舗装 5cm) | 3,810 円/m ² | 9,500 円/m ² 1.33 |
| | 基層〔粗粒度アスコン(20)5cm(ストレートアスファルト)〕 | 1,430 円/m ² | |
| | アスファルト安定処理 9cm | 2,430 円/m ² | |
| | 上層路盤(粒調碎石 15cm) | 930 円/m ² | |
| | 下層路盤(クラッシュラン 15cm) | 790 円/m ² | |
| | 不陸整正工 | 110 円/m ² | |
| ⑤ | コンクリート舗装(Co 版 28cm) | 7,910 円/m ² | 10,100 円/m ² 1.42 |
| | アスファルト中間層(4cm) | 1,160 円/m ² | |
| | 上層路盤(粒調碎石 15cm) | 920 円/m ² | |
| | 不陸整正工 | 110 円/m ² | |
| ⑥ | 転圧コンクリート舗装(RCCP25cm) | 5,040 円/m ² | 8,150 円/m ² 1.14 |
| | アスファルト中間層(4cm) | 1,160 円/m ² | |
| | 上層路盤(粒調碎石 15cm) | 920 円/m ² | |
| | 不陸整正工 | 110 円/m ² | |
| | 型枠工 | 920 円/m ² | |

注：改質アスは II 型

出典：調査団作成

直接工事費算出の歩掛、数量、機械稼働損料などは国土交通省土木工事積算基準の値を使用し、アスファルト混合物等の資材単価は、建設物価（財団法人建設物価調査会、平成24年2月号）の記載値（密粒10,100円、粗粒9,800円、密粒改質Ⅱ型11,800円等）を使用して算出した。

（2） 舗装タイプ別ライフサイクルコストの試算

舗装が存在し、その舗装の性能を一定レベル以上に保持する必要がある限り、舗装は建設（舗装の新設あるいは再建設）、供用され、交通荷重により性能が低下した場合には補修し、さらに補修によって必要な性能まで向上させることができない場合には再び建設（舗装の打換え）されることになる。このような舗装の建設から次の建設までの一連の流れを舗装ライフサイクルといい、これに係わる費用をライフサイクルコストという。わが国では、舗装のライフサイクルコストの算定手法について確立されたものはないが、ライフサイクルコストの算定に用いる一般的な費用項目は、道路管理者費用、道路利用者費用ならびに沿道及び地域社会の費用の3つに大別できる。各費用項目の代表的なものを表B-2に示す。ライフサイクルコスト算定においては、必ずしもこれらすべての項目について考慮する必要はなく、その目的や要求される精度、工事条件、交通条件、沿道及び地域条件等により算定項目を適切に選択して行う。

表B-2. 舗装のライフサイクルコストの費用項目例

| 分類 | 項目 | 詳細項目例 |
|--------------|------------|-------------------------------|
| 道路管理者費用 | 調査・計画費用 | 調査費、設計費 |
| | 建設費用 | 建設費、現場管理費 |
| | 維持管理費用 | 維持費、除雪費 |
| | 補修費用・再建設費用 | 補修・再建設費、廃棄処分費、現場管理費 |
| | 関連行政費用 | 広報費 |
| 道路利用者費用 | 車両走行費用 | 燃料費、車両損耗費の増加 |
| | 時間損失費用 | 工事規制や迂回による時間損失費用 |
| | その他費用 | 事故費用、心理的負担(乗り心地、渋滞)費用 |
| 沿道および地域社会の費用 | 環境費用 | 騒音・振動等による沿道地域等への影響 |
| | その他費用 | 工事による沿道住民の心理的負担 沿道事業者の経済損失 |

出典：設計施工指針（H.18 日本道路協会）

（3） ライフサイクルコストの試算条件

前述したように舗装のライフサイクルコストは、①道路管理者費用、②道路利用者費用（便益）、③沿道および地域社会の費用（便益）等の各項目より構成されるが、ここでは、最も簡易な舗装のライフサイクルコスト算定例として、道路管理者費用の一部（建設費用、維持管理費用、補修・再建設費用）のみに着目し、わが国におけるN6（旧C交通）交通量条件という制約条件で、表層混合物がストレートアスファルト、改質ア

スファルトによる2種類のアスファルト舗装とコンクリート舗装についてのライフサイクルコストを比較検討した。

① 計条件、設計断面

わが国におけるN 6 交通量（旧C交通）条件の舗装構成において、アスファルト舗装とコンクリート舗装のライフサイクルコストを比較検討する。設計条件、舗装構成の詳細を表B-3、図B-1、2に示す。

表 B-3. 設計条件

| | | |
|---------|------------|----------|
| 対象舗装 | アスファルト舗装 | コンクリート舗装 |
| 設計期間 | 10年 | 20年 |
| 舗装設計交通量 | N 6 (旧C交通) | |
| 設計CBR | 設計CBR 8 | |

| | | | | | |
|---|-----------------|-------|--|-----------------|---------------|
| 信頼性90% | CBR=8% | | H(cm) TA(cm) | | 撤去 ⇔ 構築 |
| | 1000 ≤ T < 3000 | 表層+基層 | 密粒度(20)(ストレートAs or 改質As) ⁵ 粗粒度(20) | 5 10.0 | |
| N6 | 設計期間10年 | 上層路盤 | 瀝青安定処理 粒度調整碎石 | 9 7.2 15 5.3 | ⇔ 構築 |
| | | 下層路盤 | クラッシュラン | 15 3.8 | |
| 路床 | | | 49 26.2 | | |
| 必要 T _A = 3.84 × N ^{0.16} / CBR ^{0.3} | | | = 25.7 | | |
| N = 7,000,000 CBR = 8 | | | | | |
| 必要 T _A : 舗装各層を表層及び基層用加熱アスファルト混合物で設計したときの必要厚さ | | | | | |

図 B-1. アスファルト舗装の設定断面

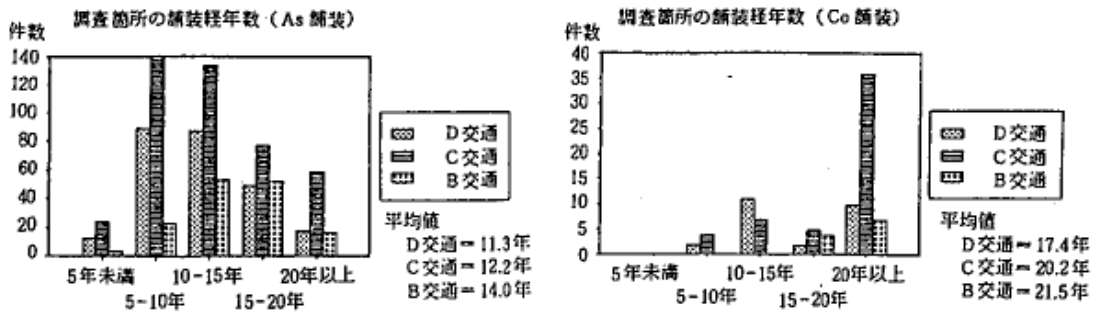
| | | | | | |
|--------|-----------------|-------|---------|----|---------------|
| 信頼性90% | CBR=8% | | H(cm) | | 撤去 ⇔ 構築 |
| | 1000 ≤ T < 3000 | 表層 | コンクリート版 | 28 | |
| N6 | 設計期間20年 | As中間層 | 密粒度(13) | 4 | ⇔ 構築 |
| | | 路盤 | 粒度調整碎石 | 15 | |
| 路床 | | | | | |

図 B-2. コンクリート舗装の設定断面

② ライフサイクルコスト算定における諸条件

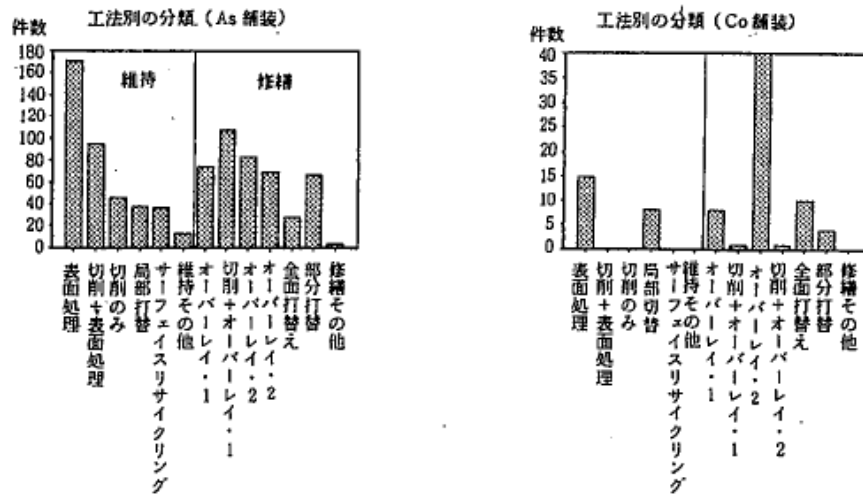
ア) 補修・再建設条件

わが国におけるアスファルト舗装とコンクリート舗装の補修に至るまでの経過年数、補修工法の分類を図 B-3、図 B-4に示す。また、図 B-5にストレートアスファルトと改質アスファルトの修繕に要するまでの期間を比較した図を示す。



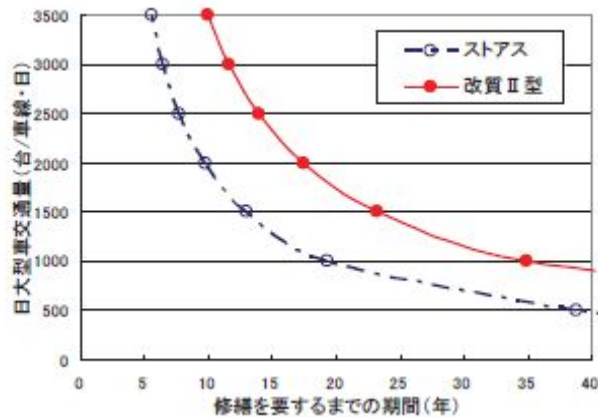
出典：「舗装の管理水準と維持修繕工法に関する総合的研究」
(第40回建設省技術研究会報告)

図 B-3. 補修に至るまでの経過年数



出典：「舗装の管理水準と維持修繕工法に関する総合的研究」
(第40回建設省技術研究会報告)

図 B-4. 補修工法の分類



出典：「寒地土木研究所月報」 (2006. 10)

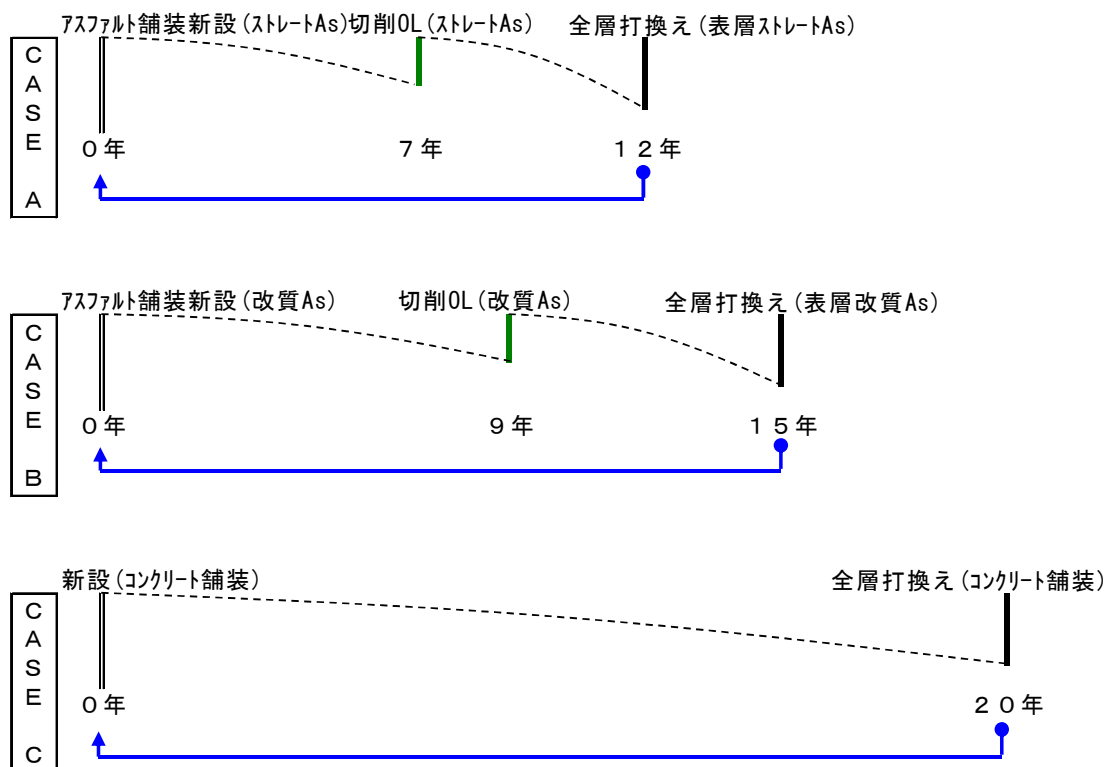
図 B-5. 修繕を要するまでの期間

図B-3より、C交通のアスファルト舗装の補修年数は5年～15年のケースが多く、補修工法は一層切削オーバーレイ工法が最も多い。図-5の寒冷地（北海道）における比較例によると改質アスファルトはストレートアスファルトに比べて約1.8倍の耐久性となるが、ここではわだち掘れの影響が大きい温暖な一般地域を想定し、改質アスファルトはストレートアスファルトに比べ1.3倍程度の耐久性と仮定する。一方、コンクリート舗装の補修工法は2層オーバーレイ工法が最も多く、その補修により20年以上となっているケースが多いと見られる。以上の結果を踏まえて図B-6に示すと通りの補修工法、時期を設定した。

CASE A：ストレートアスファルトによる舗装新設7年後に一層切削オーバーレイ工法により補修し12年後に全層打換えするサイクルを繰り返す。

CASE B：改質アスファルトによる舗装新設9年後に一層切削オーバーレイ工法により補修し15年後に全層打換えするサイクルを繰り返す。

CASE C：コンクリート舗装新設後20年でコンクリート舗装による全層打換えするサイクルを繰り返す。



出典：調査団作成

図 B-6. 設定した舗装のライフサイクル

イ) 建設費用、補修・再建設費用建設費用

建設費用、補修・再建設費用建設費用については、設定した各工法の施工単価を下表 B-4 の通り設定し、この単価に面積（10,000㎡；延長1km×幅員10m）を掛け、建設（新設）、補修・再建設（打換え）の費用を算定した。なお、表中の打換え工は既設舗装の路盤および表・基層すべてを廃棄し、再建設する方法としている。

表 B-4. 設定した舗装工法の単価

| 舗装工法 | 項目 | 直接工事費 (材料費込み) | |
|------------------------------|---------------------------------|------------------|------------|
| アスファルト舗装新設工 (ストレートアスファルト) | 表層〔密粒度アスコン(20)5cm(ストレートアスファルト)〕 | 1,450 円/㎡ | 7,130 円/㎡ |
| | 基層〔粗粒度アスコン(20)5cm(ストレートアスファルト)〕 | 1,430 円/㎡ | |
| | アスファルト安定処理 9cm | 2,430 円/㎡ | |
| | 上層路盤(粒調碎石 15cm) | 920 円/㎡ | |
| | 下層路盤(クラッシュラン 15cm) | 790 円/㎡ | |
| | 不陸整正工 | 110 円/㎡ | |
| アスファルト舗装新設工 (改質アスファルト) | 表層〔密粒度アスコン(20)5cm(改質アスファルト)〕 | 1,670 円/㎡ | 7,350 円/㎡ |
| | 基層〔粗粒度アスコン(20)5cm(ストレートアスファルト)〕 | 1,430 円/㎡ | |
| | アスファルト安定処理 9cm | 2,430 円/㎡ | |
| | 上層路盤(粒調碎石 15cm) | 920 円/㎡ | |
| | 下層路盤(クラッシュラン 15cm) | 790 円/㎡ | |
| | 不陸整正工 | 110 円/㎡ | |
| 切削オーバーレイ工 (ストレートアスファルト) | 切削 5cm | 590 円/㎡ | 1,900 円/㎡ |
| | 表層〔密粒度アスコン(20)5cm(ストレートアスファルト)〕 | 1,310 円/㎡ | |
| 切削オーバーレイ工 (改質アスファルト) | 切削 5cm | 590 円/㎡ | 2,120 円/㎡ |
| | 表層〔密粒度アスコン(20)5cm(改質アスファルト)〕 | 1,530 円/㎡ | |
| アスファルト舗装打換工 (ストレートアスファルト) | アスファルト舗装撤去工(不陸整正 110 円/㎡含む) | 1,400 円/㎡ | 8,530 円/㎡ |
| | アスファルト舗装工(ストレートアスファルト) | 7,130 円/㎡ | |
| アスファルト舗装打換工 (改質アスファルト) | アスファルト舗装撤去工(不陸整正 110 円/㎡含む) | 1,400 円/㎡ | 8,750 円/㎡ |
| | アスファルト舗装工(改質アスファルト) | 7,350 円/㎡ | |
| コンクリート舗装新設工 | コンクリート舗装(Co 版 28cm) | 7,910 円/㎡ | 10,100 円/㎡ |
| | アスファルト中間層(4cm) | 1,160 円/㎡ | |
| | 上層路盤(粒調碎石 15cm) | 920 円/㎡ | |
| | 不陸整正工 | 110 円/㎡ | |
| コンクリート舗装打換工 | コンクリート舗装撤去工(不陸整正 110 円/㎡含む) | 1,470 円/㎡ | 11,570 円/㎡ |
| | コンクリート舗装新設工 | 10,100 円/㎡ | |

出典：調査団作成

なお、今回の試算に使用した各工法単価は、2012.1 月現在の東京価格で行ったが、過去 10 年の価格データを調べた結果を表 B-5、図 B-7、図 B-8 に示す。

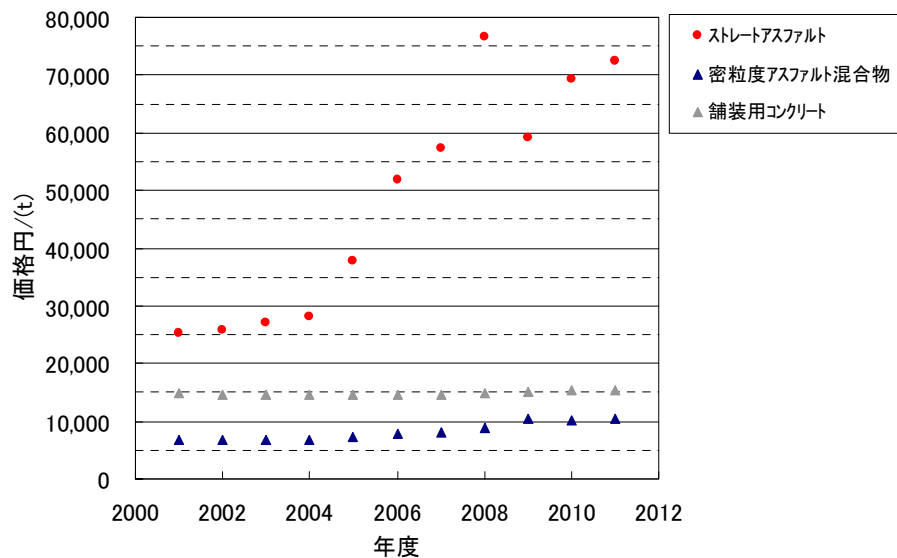
表 B-5. 過去10年の舗装資材、直接工事費の推移

| 適用地域 | 年度 | ストレートアスファルト | 再生密粒度アスファルト混合物 | 生コン | 密粒度アスファルト混合物 | 舗装用コンクリート | N6交通断面打換工（アスファルト舗装）単価 | N6交通断面打換工（コンクリート舗装）単価 | 出典 |
|---|---------|-------------|----------------|--------|---------------|---------------|-------------------------------------|-----------------------|-----------------|
| | | (t) | (t) | (m3) | (t) | (t) | (円/m2) | (円/m2) | |
| 東京 | 2012.1月 | 82,000 | 9,200 | 11,000 | 10,100 | 14,000 | 7,130 | 9,670 | 建設物価 2012.2月 |
| 以下に示す過去10年の密粒度アスファルト混合物、舗装用コンクリート価格は、再生密粒度アスファルト混合物、生コン価格より推定した。→ | | | | | 再生密粒 +900円 | 生コン +3000円 | 打換工単価は、密粒度アスファルト混合物、舗装用コンクリート価格より算出 | | |
| 全国平均 | 2001 | 25,330 | 6,000 | 11,910 | 6,900 | 14,910 | 5,610 | 9,940 | 積算資料 2011.4月 |
| | 2002 | 25,830 | 5,930 | 11,500 | 6,830 | 14,500 | 5,580 | 9,820 | |
| | 2003 | 27,000 | 5,900 | 11,500 | 6,800 | 14,500 | 5,560 | 9,820 | |
| | 2004 | 28,250 | 5,920 | 11,500 | 6,820 | 14,500 | 5,570 | 9,820 | |
| | 2005 | 37,670 | 6,280 | 11,500 | 7,180 | 14,500 | 5,740 | 9,820 | |
| | 2006 | 51,920 | 7,000 | 11,500 | 7,900 | 14,500 | 6,090 | 9,820 | |
| | 2007 | 57,420 | 7,220 | 11,500 | 8,120 | 14,500 | 6,190 | 9,820 | |
| | 2008 | 76,710 | 8,040 | 11,830 | 8,940 | 14,830 | 6,580 | 9,920 | |
| | 2009 | 59,080 | 9,430 | 12,030 | 10,330 | 15,030 | 7,250 | 9,980 | |
| | 2010 | 69,400 | 9,390 | 12,450 | 10,290 | 15,450 | 7,230 | 10,100 | |
| | 2011 | 72,500 | 9,400 | 12,500 | 10,300 | 15,500 | 7,140 | 9,980 | |

出典：調査団作成

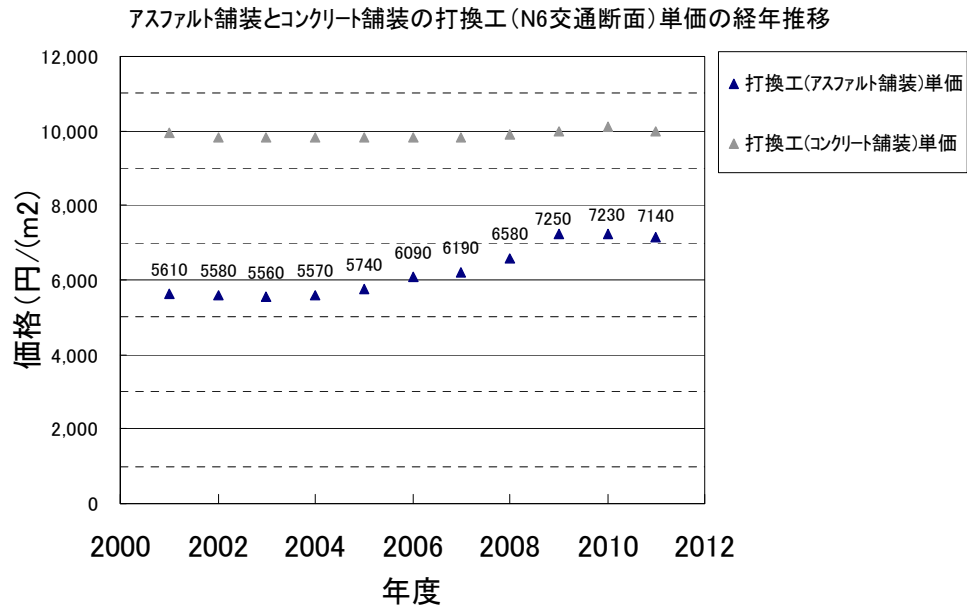
図 B-7に示すように、過去10年でみると、舗装用コンクリート価格は横ばいであるのに対し、アスファルト混合物単価は原油、アスファルト価格の高騰にともない価格が上昇していることがわかる。これを工法単価ベースでみると、図 B-8に示すように10年前はコンクリート舗装による打換工とアスファルト舗装による打換工の価格差が約4,400円であったが、ここ数年は約3,000円程度と価格差が少ない時期であることがわかる。このように、ライフサイクルコストによる長期的・総合的な検討においては、主要資材価格の変動も十分に考慮する必要があると考えられる。

アスファルト、アスファルト混合物、舗装用コンクリートの価格の推移



出典：調査団作成

図 B-7. アスファルト及び舗装主要資材の価格の推移（1）



出典：調査団作成

図 B-8. アスファルト及び舗装主要資材の価格の推移（2）

ウ) その他の設定条件

維持管理費：補助国道の維持管理費年間700万円/km¹（補修費除く額）を計上した。

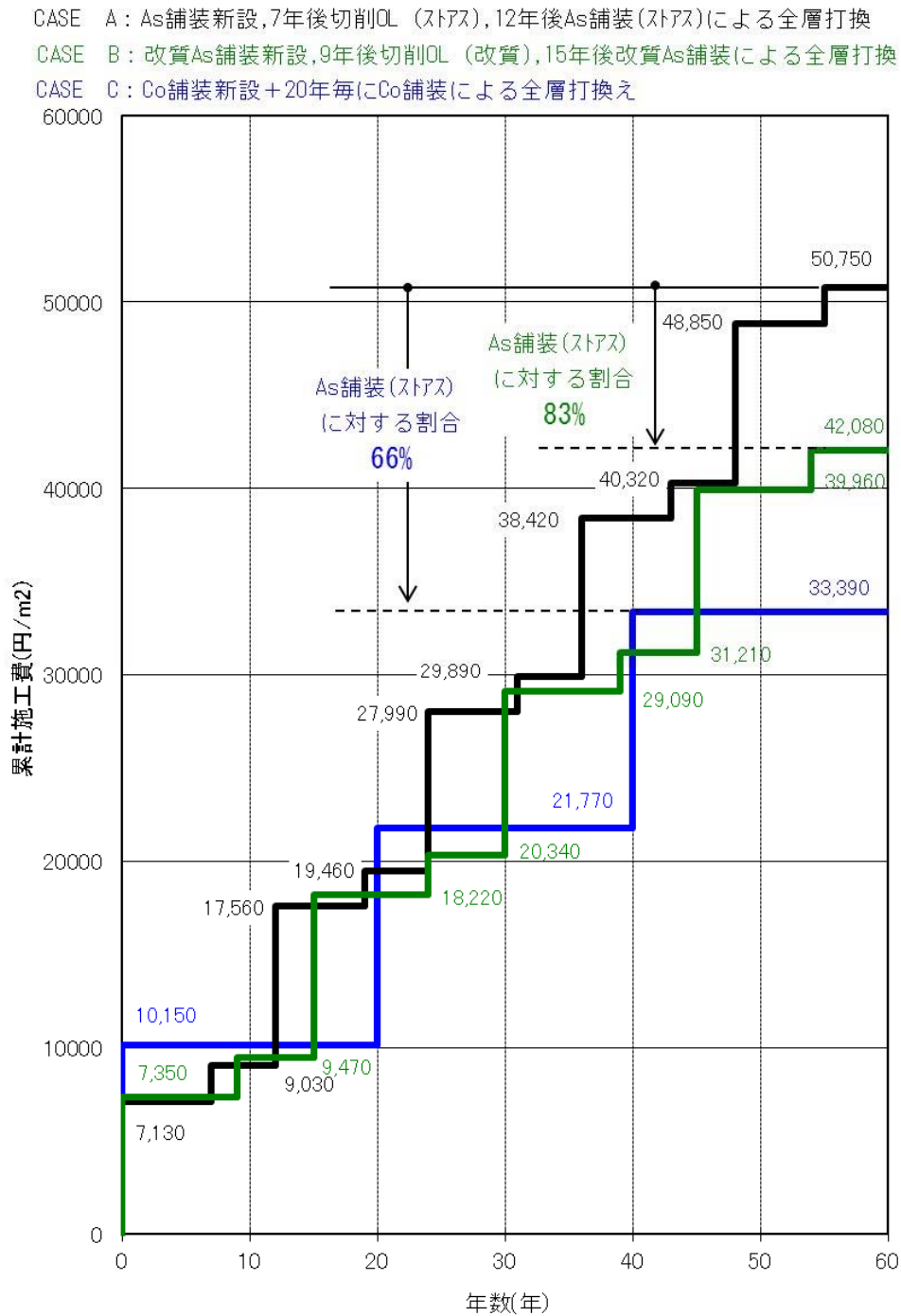
解析期間：解析期間は、設定した各サイクルの最小公倍数となる60年間とした。

割引率：各年度の費用を現在価値に換算するための割引率を4%に設定した。

¹ 維持管理費：「道路投資の評価に関する指針（案）」（財）日本総合研究所）に記載される維持管理費用（直轄国道）を使用。

（４） ライフサイクルコスト算定結果

累計工事費の比較結果を図 B-9に示すとともに、割引率4%で現在価値に換算したライフサイクルコスト（LCC）算定結果を表 B-6、図 B-10に示す。



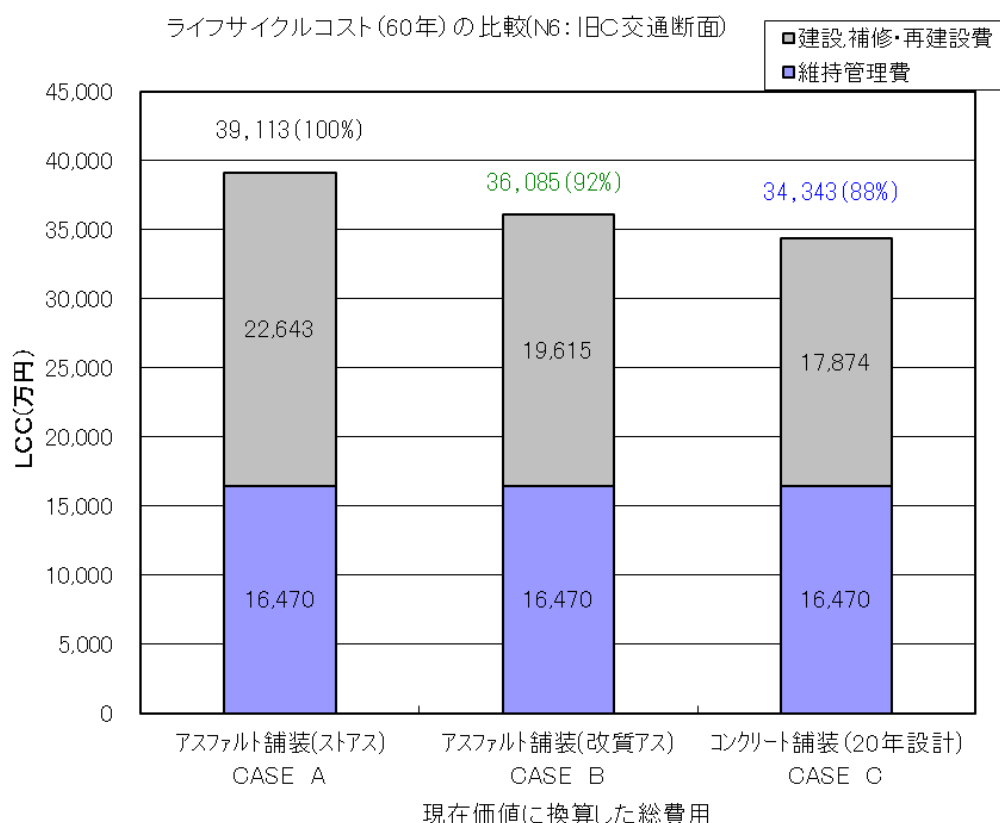
出典：調査団作成

図 B-9. 設定した舗装の累計工事費

表 B-6. 現在価値に換算した LCC 算定結果

| 年数 | アスファルト舗装(スラス) CASE A | | | アスファルト舗装(改質アス) CASE B | | | コンクリート舗装(20年設計) CASE C | | |
|-------------------------|-------------------------|-----------|--------------|--------------------------|--------|--------------|---------------------------|-----------|--------------|
| | 建設・補修・ 再建設費 | 維持管理 費 | LCC 計(万円) | 建設・補修・ 再建設費 | 維持管理費 | LCC 計(万円) | 建設・補修・ 再建設費 | 維持管理 費 | LCC 計(万円) |
| 0 | 7,130 | 700 | 7,830 | 7,530 | 700 | 8,230 | 10,150 | 700 | 10,850 |
| 1 | | 673 | 673 | | 673 | 673 | | 673 | 673 |
| 2 | | 647 | 647 | | 647 | 647 | | 647 | 647 |
| 3 | | 622 | 622 | | 622 | 622 | | 622 | 622 |
| 4 | | 598 | 598 | | 598 | 598 | | 598 | 598 |
| 5 | | 575 | 575 | | 575 | 575 | | 575 | 575 |
| 6 | | 553 | 553 | | 553 | 553 | | 553 | 553 |
| 7 | 1,444 | 532 | 1,976 | | 532 | 532 | | 532 | 532 |
| 8 | | 511 | 511 | | 511 | 511 | | 511 | 511 |
| 9 | | 492 | 492 | 1,489 | 492 | 1,981 | | 492 | 492 |
| 10 | | 473 | 473 | | 473 | 473 | | 473 | 473 |
| 11 | | 455 | 455 | | 455 | 455 | | 455 | 455 |
| 12 | 5,328 | 437 | 5,765 | | 437 | 437 | | 437 | 437 |
| 13 | | 420 | 420 | | 420 | 420 | | 420 | 420 |
| 14 | | 404 | 404 | | 404 | 404 | | 404 | 404 |
| 15 | | 389 | 389 | 4,859 | 389 | 5,247 | | 389 | 389 |
| 16 | | 374 | 374 | | 374 | 374 | | 374 | 374 |
| 17 | | 359 | 359 | | 359 | 359 | | 359 | 359 |
| 18 | | 346 | 346 | | 346 | 346 | | 346 | 346 |
| 19 | 902 | 332 | 1,234 | | 332 | 332 | | 332 | 332 |
| 20 | | 319 | 319 | | 319 | 319 | 5,303 | 319 | 5,623 |
| 21 | | 307 | 307 | | 307 | 307 | | 307 | 307 |
| 22 | | 295 | 295 | | 295 | 295 | | 295 | 295 |
| 23 | | 284 | 284 | | 284 | 284 | | 284 | 284 |
| 24 | 3,328 | 273 | 3,601 | 827 | 273 | 1,100 | | 273 | 273 |
| 25 | | 263 | 263 | | 263 | 263 | | 263 | 263 |
| 26 | | 252 | 252 | | 252 | 252 | | 252 | 252 |
| 27 | | 243 | 243 | | 243 | 243 | | 243 | 243 |
| 28 | | 233 | 233 | | 233 | 233 | | 233 | 233 |
| 29 | | 224 | 224 | | 224 | 224 | | 224 | 224 |
| 30 | | 216 | 216 | 2,698 | 216 | 2,914 | | 216 | 216 |
| 31 | 563 | 208 | 771 | | 208 | 208 | | 208 | 208 |
| 32 | | 200 | 200 | | 200 | 200 | | 200 | 200 |
| 33 | | 192 | 192 | | 192 | 192 | | 192 | 192 |
| 34 | | 184 | 184 | | 184 | 184 | | 184 | 184 |
| 35 | | 177 | 177 | | 177 | 177 | | 177 | 177 |
| 36 | 2,078 | 171 | 2,249 | | 171 | 171 | | 171 | 171 |
| 37 | | 164 | 164 | | 164 | 164 | | 164 | 164 |
| 38 | | 158 | 158 | | 158 | 158 | | 158 | 158 |
| 39 | | 152 | 152 | 459 | 152 | 611 | | 152 | 152 |
| 40 | | 146 | 146 | | 146 | 146 | 2,420 | 146 | 2,566 |
| 41 | | 140 | 140 | | 140 | 140 | | 140 | 140 |
| 42 | | 135 | 135 | | 135 | 135 | | 135 | 135 |
| 43 | 352 | 130 | 481 | | 130 | 130 | | 130 | 130 |
| 44 | | 125 | 125 | | 125 | 125 | | 125 | 125 |
| 45 | | 120 | 120 | 1,498 | 120 | 1,618 | | 120 | 120 |
| 46 | | 115 | 115 | | 115 | 115 | | 115 | 115 |
| 47 | | 111 | 111 | | 111 | 111 | | 111 | 111 |
| 48 | 1,298 | 107 | 1,405 | | 107 | 107 | | 107 | 107 |
| 49 | | 102 | 102 | | 102 | 102 | | 102 | 102 |
| 50 | | 98 | 98 | | 98 | 98 | | 98 | 98 |
| 51 | | 95 | 95 | | 95 | 95 | | 95 | 95 |
| 52 | | 91 | 91 | | 91 | 91 | | 91 | 91 |
| 53 | | 88 | 88 | | 88 | 88 | | 88 | 88 |
| 54 | | 84 | 84 | 255 | 84 | 339 | | 84 | 84 |
| 55 | 220 | 81 | 301 | | 81 | 81 | | 81 | 81 |
| 56 | | 78 | 78 | | 78 | 78 | | 78 | 78 |
| 57 | | 75 | 75 | | 75 | 75 | | 75 | 75 |
| 58 | | 72 | 72 | | 72 | 72 | | 72 | 72 |
| 59 | | 69 | 69 | | 69 | 69 | | 69 | 69 |
| 計 | 22,643 | 16,470 | 39,113 | 19,615 | 16,470 | 36,085 | 17,874 | 16,470 | 34,343 |
| アスファルト舗装(スラス)のLCCに対する割合 | | | | 92% | | | 88% | | |

出典：調査団作成



出典：調査団作成

図 B-10. 設定した舗装のライフサイクルコスト算定結果

図 B-9に示す解析期間60年の累計工事費比較より、ストレートアスファルトを表層バインダとしたアスファルト舗装が50,750円/m²と最も高く、次いで改質アスを表層バインダとしたアスファルト舗装(42,080円/m²)、コンクリート舗装の順である。ストレートアスファルトを表層バインダとしたアスファルト舗装のコストを100とした場合、改質アスファルトを表層バインダとしたアスファルト舗装は83%、20年設計のコンクリート舗装は66%程度(33,390円/m²)といずれも安価である。

また、図 B-10に示す割引率4%で現在価値に換算したライフサイクルコスト(LCC)算定結果で比較した場合も、ストレートアスファルトを表層バインダとしたアスファルト舗装を100として比べると、改質アスファルトを表層バインダとするアスファルト舗装が92%程度、20年設計のコンクリート舗装88%といずれも安価となる。

以上の試算結果は、過去10年でみると前述したように原油・アスファルト価格の高騰によりコンクリート舗装とアスファルト舗装の価格差が少ない時期において道路管理者費用の一部(建設費用、維持管理費用、補修・再建設費用)に限定した比較であるという制約条件において、60年という長期的視点で見るとストレートアスファルトを表層バインダとしたアスファルト舗装よりも、改質アスファルトを表層バインダとしたアスファルト舗装、20年設計のコンクリート舗装の方が経済的といえそうである。

【参考】：HDM-4の利用

ライフサイクルコスト(LCC)の算定に当たっては、世界銀行が主導し、ISOHDM (International Study Of Highway Development and Management System)が開発した汎用コンピュータソフトであるHDM-4(Highway Development and Management System)を用いることもできる。HDM-4は、主に道路投資選択を評価するための道路開発・管理システムであり、道路管理・道路工事計画の作成・融資条件の評価・予算配分の検討・道路ネットワーク性能の予測・プロジェクト評価・政策影響の検討が可能である。

また、HDM-4の中で用いられている道路劣化予測モデルは、カリブレーションのための係数（カリブレーション・ファクター）が与えられており、その値を調整することで地域特性や道路特性を考慮することができる。

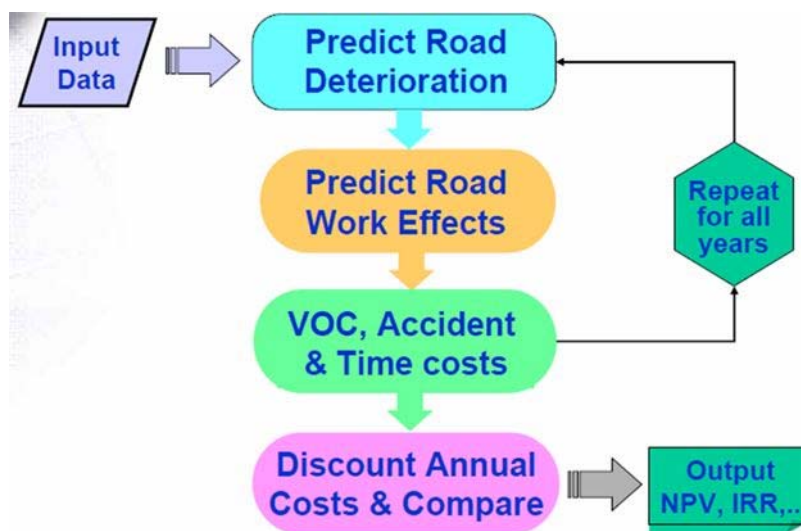


図 B-11. HDM-4による LCC の分析

詳細：<http://www.hdmglobal.com/>

参考資料 C. AASHTO GUIDE（1993）による舗装の設計例

（1） 設計例の引用文献

本設計例は、1990年に社団法人日本セメント協会が翻訳出版した「舗装に関する AASHTO 指針」（以下引用文献）から引用したものである。1993年に発行された AASHTO GUIDE の設計例と引用文献の設計例は同じものであることから、AASHTO GUIDE（1993）の設計例として参考資料とした。なお、図・表等で不鮮明なものがある場合は、引用文献を参照されたい。

（2） 付録 H アスファルト舗装の設計例

この設計例は、PART II 3.1 に示したアスファルト舗装の設計法を、具体的に説明するためのものである。

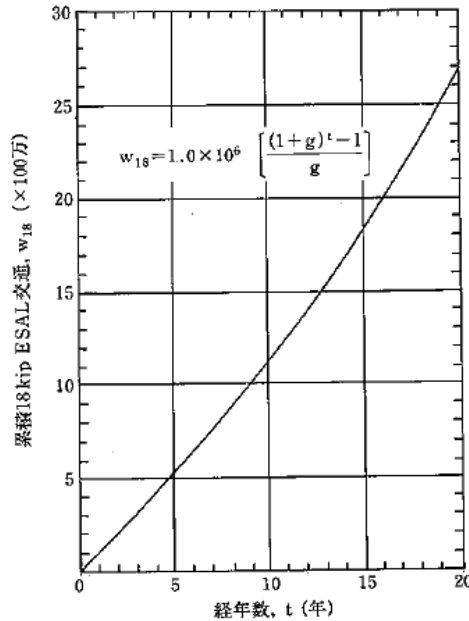
H.1 設計条件

供用期間

この設計例では、解析期間は 20 年とする。修繕前の最初の舗装の最大供用期間（すなわち供用寿命）は 15 年である。従って、解析期間を全うするためには、ステージコンストラクション（計画的な修繕施工）が必要である。

交通

計画の際に得られた平均月交通量および軸荷重のデータに基づけば、舗装の初年度の 2 方向 18kip 等価単軸荷重 (ESAL) は 2.5×10^6 、伸び率 (複式) 3% である。方向別分布係数 (D_D) は 50% に仮定する。また車線分布係数 (D_L) は、1 方向 3 車線の場合として 80% とする。従って、最初の年の設計車線における交通量は $2.5 \times 10^6 \times 0.80 \times 0.50$ 、すなわち 1.0×10^6 18kipESAL である。図 H.1 は、20 年間の解析期間における累積 18kipESAL 交通を示している。将来交通 (W_{18}) についてのこの曲線は、伸び率 3% で指数関数として成長すると仮定されている。



図H.1 18kip 累積交通の経年変化

信頼性

この道路は重交通の州道であるが、地方部に属し、その交通容量の%をこえるようなことはない。従って設計での信頼性水準は、90%を選択することにする。このことは、2回のステージコンストラクション(最初の舗装および1回のオーバーレイ施工)が行われるのであるから、それぞれのステージにおける信頼性は0.901/2 すなわち95%でなければならない。同様に3回のステージコンストラクション(最初の舗装と2回のオーバーレイ施工)の場合には、それぞれのステージでの信頼性は0.901/3 すなわち96.5%でなければならない。

信頼性を考える場合に必要なおう一つの条件は、全標準偏差(S_0)である。この数値を全ての設計要因のバラツキから解析で求めることは可能であるが(第2巻付録EE)、この設計例では0.35を用いる。

環境条件

16mileの道路計画区間において、約1,000ftに1箇所割合で現地の路床土を採取して試験を行った。路床土の分類試験によれば、最初の12箇所(約12,000ftの区間)は基本的には同じ種類の土であった。しかし他の区間から採取した路床土は、異なった性質であった。従って、一つの設計単位としてこの12,000ft区間は他の区間と別途に設計が行われる。

この道路計画区分は分類上、米国気候区分Ⅱ、すなわち降水量の多い凍結融解が発生する地域である。このようなことから、1日以内に過剰な水分を排除できる排水システムを設置する。

表H.1 アスファルト舗装設計例における路面隆起の計算

| (1) 試験番号 | (2) 区間長 (ft) | (3) 路床の深さ (ft) | (4) 塑性指数 (PI) | (5) 含水状態 | (6) 潜在的 隆起量 (in) | (7) 土粒子の 組成 | (8) 隆起速度 定数 |
|-------------|--------------------|----------------------|---------------------|-------------|---------------------------|-------------------|-------------------|
| 1 | 900 | >30 | 48 | 良好 | 0.82 | 比較的密 | 0.07 |
| 2 | 1200 | >30 | 56 | 〃 | 1.34 | 〃 | 〃 |
| 3 | 800 | >30 | 67 | 〃 | 2.20 | 〃 | 〃 |
| 4 | 1000 | >30 | 15 | 〃 | 0.00 | 〃 | 0.10 |
| 5 | 1000 | >30 | 46 | 〃 | 0.70 | 〃 | 0.07 |
| 6 | 1100 | >30 | 62 | 〃 | 1.86 | 〃 | 〃 |
| 7 | 1000 | >30 | 65 | 〃 | 2.00 | 〃 | 〃 |
| 8 | 900 | >30 | 71 | 〃 | 2.60 | 〃 | 〃 |
| 9 | 1200 | >30 | 38 | 〃 | 0.28 | 〃 | 〃 |
| 10 | 800 | >30 | 60 | 〃 | 1.80 | 〃 | 〃 |
| 11 | 900 | >30 | 19 | 〃 | 0.00 | 〃 | 0.10 |
| 12 | 1200 | >30 | 51 | 〃 | 1.04 | 〃 | 0.07 |
| 13 | | | | | | | |
| 14 | | | | | | | |
| 15 | | | | | | | |
| 16 | | | | | | | |
| 合計 | | 12,000 | | | | | |

しかしながら、この地域において、気温が0℃以下の継続期間は凍上を生じさせるほどではない。

表 H. 1 は、路床の膨張が舗装の供用性を損うかどうかを検討する際の解析を要約したものである。1 欄と 2 欄は、調査箇所の番号とこれに対応する区間延長を示している。道路計画区間における硬い地下基盤層までの深さは、実用上半無限の深さである（路床土の深さが 30ft 以上の場合には、半無限と考えられる）。

4 欄は路床土の塑性指数 PI の平均値である。PI が 40 以上の場合、その材料は容積変化を生じ易い。

5 欄は舗装施工後の路床材料の含水状態を推測したものである。ここでは“良好な”排水システムを設けることにしているので、排水状態は全区間について“最適”となっている。

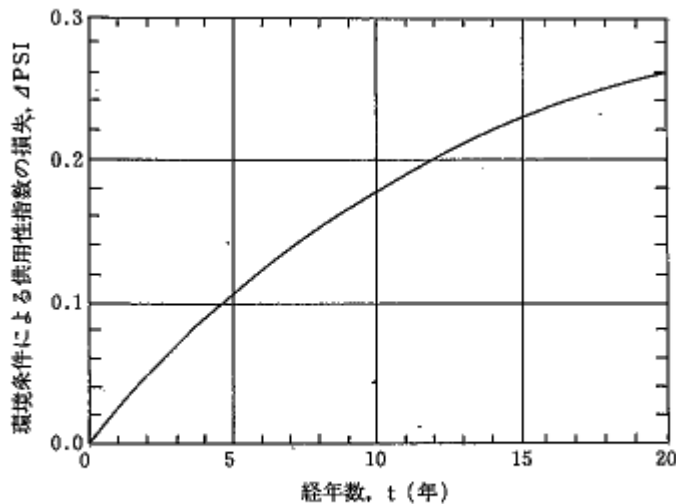
6 欄は付録 G の図 G. 3 を適用した結果を示したもので、それぞれの調査箇所における潜在的隆起量 (VR) の予測値を示している。

7 欄は土粒子の組成すなわち水分を吸収する程度を示している。不透水性の粘土は“密”である。この場合、排水システムを設けているので、水分の供給は比較的少なく、“密”な組成（すなわち PI が 20 以上）のこの現場の隆起速度定数は 0.07（付録 G の図 G. 2 を参照）と推定される。PI が 20 より小さい場合、透水性が良くなるので隆起速度定数 0.10 を用いる。

表 H.1 のデータによれば、隆起速度定数および潜在的隆起量の加重平均値は次のようになる。

隆起速度定数=0.075

潜在的隆起量(V_R)=1.2in



図H.2 路床が隆起する場合の供用性指数の損失

隆起確率は、0.2in以上の潜在的隆起量を持つ区間長の%値で表される。全区間長 12,000ftのうち、10,100ftが0.2in以上の V_R 値になっている。従って隆起確率は84%である。

これら要因は、図 H.2 の供用性指数値の時間的損失を示す曲線を作成するのに用いられる。図中の曲線は付録 G の図 G.4 に示した式を用いて作成した。こ

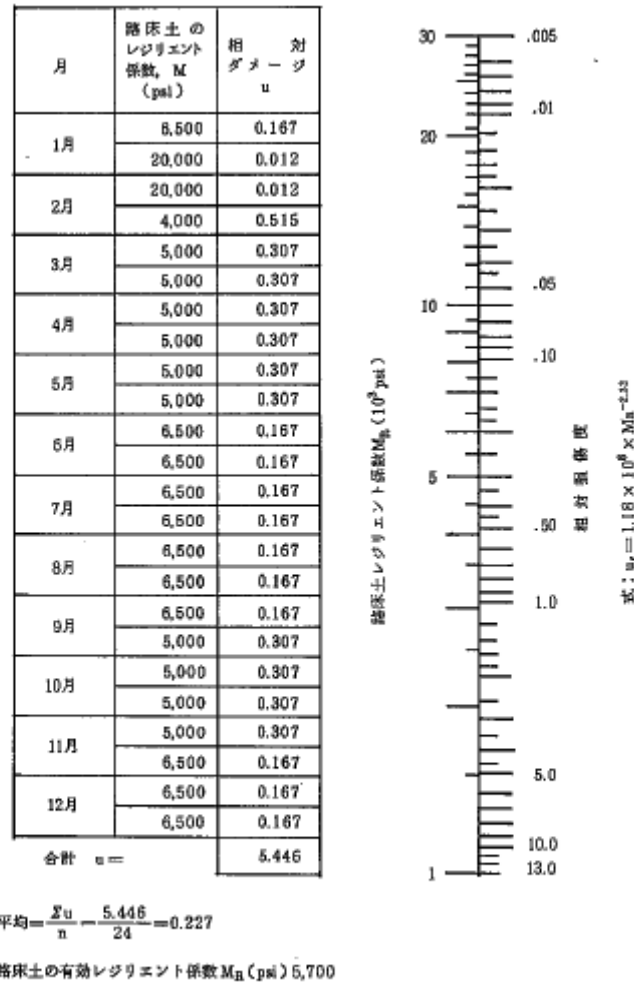
こでは凍上は考えていないので、この曲線が環境条件による供用性指数の全損失量を表している。

供用性指数

交通量およびこの道路の機能的分類における重要度(6車線の州道)を考慮して、最終供用性指数(P_t)は2.5とする。

これまでの経験によれば(この例題の場合に対しては)、アスファルト舗装の初期供用性指数(P_0)は通常の場合、AASHTO 道路試験の場合よりもかなり高い値である(42に対して4.6)。従って、この問題での全設計供用性指数の損失は次のようになる。

$$\Delta PSI = P_0 - P_t = 4.6 - 2.5 = 2.1$$



図H.3 路床土の有効レジリエント係数の推定

路床上の有効レジリエント係数

図 H. 3 は路床土の有効レジリエント係数を決めるために用いられる。半月ごとの1年間の係数を季節的影響を考慮するために示されている。これらの値は、良好な排水システムを設けた場合の改善された状態での路床土の支持状態も反映している。

| 路床上の含水状態 | 路床上のレジリエント係数 (psi) |
|----------|--------------------|
| 湿潤 | 5,000 |
| 乾燥 | 6,500 |
| 春における融解 | 4,000 |
| 凍結 | 20,000 |

凍結期(1月中旬～2月中旬)は1箇月、春の融解期(2月中旬～3月)は0.5箇月、湿潤期(3月～5月、9月中旬～11月中旬)の5箇月、乾燥期(7月～8月中旬、11月中旬～1月中旬)の5.5箇月である。路床土の有効レジリエント係数 M_R の推定結果は 5,700psi である。

舗装材料の特性

舗装を構成する 3 種類の材料について、試験によって得たレジリエント係数は次のようである。

アスファルトコンクリート： $E_{ac}=400,000\text{psi}$

粒状上層路盤： $E_{bs}=30,000\text{psi}$

粒状下層路盤： $E_{sb}=11,000\text{psi}$

これらは、舗装に排水システムが設けられていない場合に、一年間の平均的な含水状態で期待される値である（排水システムを設けた場合の効果は後で考慮される）。

層係数

前述のレジリエント係数に対応する層係数(a 値)は次のとおりである。

アスファルトコンクリート： $a=0.42$ (PART II, 図 2.5)

粒状上層路盤： $a_2=0.14$ (PART II, 図 2.6)

粒状下層路盤： $a_3=0.08$ (PART II, 図 2.7)

排水係数

アスファルト舗装の設計において、“舗装構造の特性”(PART II, 2.4)の中で考慮しなければならない唯一の項目は排水である。粒状上層路盤粒状下層路盤の場合に、湿潤乾燥期のある米国気候区分Ⅱに属する地域での“良好な”排水システムに対する排水係数(m 値)は 1.20 である (PART II 表 2.4 の 1~5%湿潤時間に対する排水係数の範囲は 1.15~1.25 である)。

H.2 最初の舗装構造の選択手順

推定される最大供用期間(15年)は解析期間(20年)より短いので、選択の対象となる舗装構造は、次のオーバーレイによって残余期間に耐えるものでなければならない。対象となる舗装構造の中で最も厚い設計は、15年の最大供用期間に対応して設計されたものである。ライフサイクルコスト解析によってより早い時期に厚いオーバーレイを計画する場合、同じ解析期間に耐えるより薄い舗装構造を初期の段階で設計することができる。

最初の舗装に必要な初期層構造指数(SN)は、路床土の有効レジリエント係数を 5,700psi、信頼性を 95%、全標準偏差を 0.35、設計供用性指数の損失を 2.1、最大供用期間における累積交通を $18,6 \times 10^6 \text{kipESAL}$ (15年に対して図 H.1 の値)として求められる。PART II, 図 3.1 により、初期層構造指数(SN)は 5.6 である。しかしながら路床の隆起による供用性指数の損失があるので、15年の設計供用期間に至る前にオーバーレイが必要になるであろう。PART II 3.1.3 に述べた逐次法により、供用寿命は実際には約

13年であることが分かる(表 H.2 参照)。従って、オーバーレイの設計は、解析期間の最後から7年間の18kipESAL 交通に見合うように行われる。

表 H.2 路床が隆起する場合の最初の舗装の供用寿命の損失

初期 SN 5.6

最大可能使用期間(年) 15

設計供用性指数の損失、 $\Delta PSI = p_0 - p_t = 4.6 - 2.5 = 2.1$

| (1) 反復回数 | (2) 仮の共用期間 (年) | (3) 隆起による供 用性指数の損 失 ΔPSI_{SW} | (4) 交通による供 用性指数の損 失 ΔPSI_{TR} | (5) 許容累積交通 18kip (ESAL) | (6) 対応する共用 期間 (年) |
|-------------|----------------------|---|---|----------------------------------|-------------------------|
| 1* | 13 | 0.21 | 1.89 | 16×10^6 | 13.2 |

*1 回反復して得られる収束値

H.3 最初の舗装構造の層構成の決定

路床上の舗装各層の厚さは、PART II, 3.1.4(図 3.2 参照)に述べた方法によって決定される。SN=5.6 であるので、層厚は次に述べるようにして決められる。

図 3.1(PART II)を用いて、上層路盤の上に必要な SN 値を求める。この際に路床のレジリエント係数よりは、上層路盤材料のレジリエント係数を使用する。EBS=30,000psi、最初の舗装の信頼性(R)=95%、 $W_{18}=16.0 \times 10^6$ 、 $\Delta PSI_{TR}=1.89$ (W_{18} および ΔPSI_{TR} は表 H.2 より)を用いると、 $SN_1=3.2$ である。従ってアスファルト混合物層の厚さは

$$D_1^* = SN_1 / a_1 = 3.2 / 0.42 = 7.6 \text{ (すなわち 8in)}$$

$$SN_1^* = a_1 D_1^* = 0.42 \times 8 = 3.36$$

同様に、上層路盤材料のレジリエント係数 11,000psi を路床土の有効レジリエント係数として用いて、 $SN_2=4.5$ が得られる。上層路盤材料の厚さは

$$\begin{aligned} D_2^* &= (SN_2 - SN_1^*) / (a_2 m_2) \\ &= (4.5 - 3.36) / (0.14 \times 1.20) \\ &= 6.8 \text{ (すなわち 7in)} \end{aligned}$$

$$SN_2^* = 7 \times 0.14 \times 1.20 = 1.18$$

最後に、下層路盤の厚さは

$$\begin{aligned} D_3^* &= (SN_3 - (SN_3^* + SN_2^*)) / (a_3 m_3) \\ &= (5.6 - (3.36 + 1.18)) / (0.08 \times 1.20) \end{aligned}$$

=11in

H.4 オーバーレイの設計手順

この設計例における最初の舗装の供用寿命は13年であるので、ライフサイクルコスト解析によって決まるオーバーレイの構造は、7年間の18kipESAL交通に耐えるものでなければならない。

この場合の厚さは、PART II に述べたオーバーレイ設計法を用いて決められる。アスファルト舗装のオーバーレイに必要な式は次のようである。

$$SN_{OL} = SN_y - (F_{RL} \times SN_{xeff})$$

ここに

SN_{OL} : アスファルトコンクリート・オーバーレイに必要な層構造指数

SN_y : 予測される将来交通, 路床条件に対して必要とされる“新しい”舗装の層構造指数

F_{RL} : 残存寿命係数

SN_{xeff} : オーバーレイが施工される時点で存在する舗装の有効層構造指数

SN_y は、PART II, 図 3.1 に解析期間の7年の残存期間をもたせるための、新しい舗装に関する諸パラメータをインプットすることによって求められる。13～20年間の18kipESALは 11.3×10^6 (図 H.1 より)、オーバーレイ後の信頼性(R)は95%、全標準偏差(S_0)は0.35、路床土の有効『レジリエント係数(M_R)は5,700psiである。PART II, 図 3.1 に用いられる交通による供用性指数の損失(ΔPSI_{TR})は、設計供用性指数の損失(ΔPSI)から環境条件による供用性指数の損失、この場合は路床の隆起による損失(ΔPSI_{SW})を差引いた値に相当する。

$$\Delta PSI_{TR} = \Delta PSI - \Delta PSI_{SW}$$

ここで

$$\Delta PSI = p_0 - p_t = 4.6 - 2.5 = 2.1$$

$$\Delta PSI_{SW} = 0.26 \text{ (図 H.2, 20年)} - 0.21 \text{ (13年)}$$

$$= 0.05$$

であるから、交通による供用性指数の損失は

$$\Delta PSI_{TR} = 2.1 - 0.05 = 2.05$$

従って、 SN_y は PART II, 図 3.1 により 5.2 である。

残存寿命係数(F_{RL})は、元の舗装のオーバーレイ時期における推定残存寿命(R_{Lx})と、オーバーレイのその最終供用性指数 2.5 に達した時の推定残存寿命(R_{Ly})によって決まる。

- 1) PARTⅢ, 図 5. 15 から SN_0 (元の舗装の層構造指数)=5, 6, 最終供用性指数(オーバーレイの時点)=2.5 に対して、 R_{Lx} =42%である。
- 2) PARTⅡ, 図 3. 1 から終局の破壊(すなわち供用指数が 2.0 となり, 残存寿命がゼロ)に至る 18kipESAL 交通(N_{fy})は 17×10^6 18kipESAL である。これは設計に用いる供用性指数の損失に、路床土の隆起による損失を含めていること以外は、 S_{Ny} を推定する際に用いたパラメータと同じパラメータによって求められる。

$$\Delta PSI_{TR} = (4.6 - 2.0) - 0.05 = 2.55$$

最終供用性指数 2.5 における将来交通量の予測値は 11.3×10^6 18kipEsAL であるので、オーバーレイの供用性指数が $p_t = 2.5$ に達した時のオーバーレイの残存寿命(R_{Ly})は、

$$\begin{aligned} R_{Ly} &= (N_{fy} - N) / N_{fy} \\ &= (17 \times 10^6 - 11.3 \times 10^6) / (17 \times 10^6) \\ &= 0.335 \text{ (33.5\%)} \end{aligned}$$

従って、 R_{Lx} および R_{Ly} の両者を PARTⅢ, 図 6. 17 に適用することにより、残存寿命係数(F_{RL})は 0.72 である。

オーバーレイに必要な層構造指数を求める前に決めなければならない最後の要因は、オーバーレイ時における元の舗装の有効層構造指数(SN_{xeff})である。これは舗装が施工されて 13 年後のオーバーレイのための設計条件を表すものであるから、 SN_{xeff} は次の関係で近似的に求める。

$$SN_{xeff} = C_x \times SN_0$$

ここに

SN_0 =元の舗装の層構造指数 (5.6)

C_x =舗装状況係数

C_x はオーバーレイ時における元の舗装の残存寿命(R_{Lx})によって』推定する。PARTⅢ, 図 6. 13 で R_{Lx} =42%とすると、 C_x =0.86 である。従って、有効層構造指数は

$$SN_{xeff} = 0.86 \times 5.6 = 4.82$$

S_{Ny} 、 F_{RL} 、 SN_{xeff} の値をオーバーレイ設計式に代入することによりオーバーレイの層構造指数が求まる。

$$SN_{OL}=5.2-(0.72 \times 4.82)=1.73$$

これをアスファルトコンクリート・オーバーレイの厚さに換算すると

$$D_{OL}=S_{OL}/a_1=1.73/0.42=4.1in$$

H.5 設計結果の要約

最初の舗装の SN 値は 5.6 であって、これは次の各層厚より構成される。

アスファルトコンクリート 8in

粒状上層路盤 7in

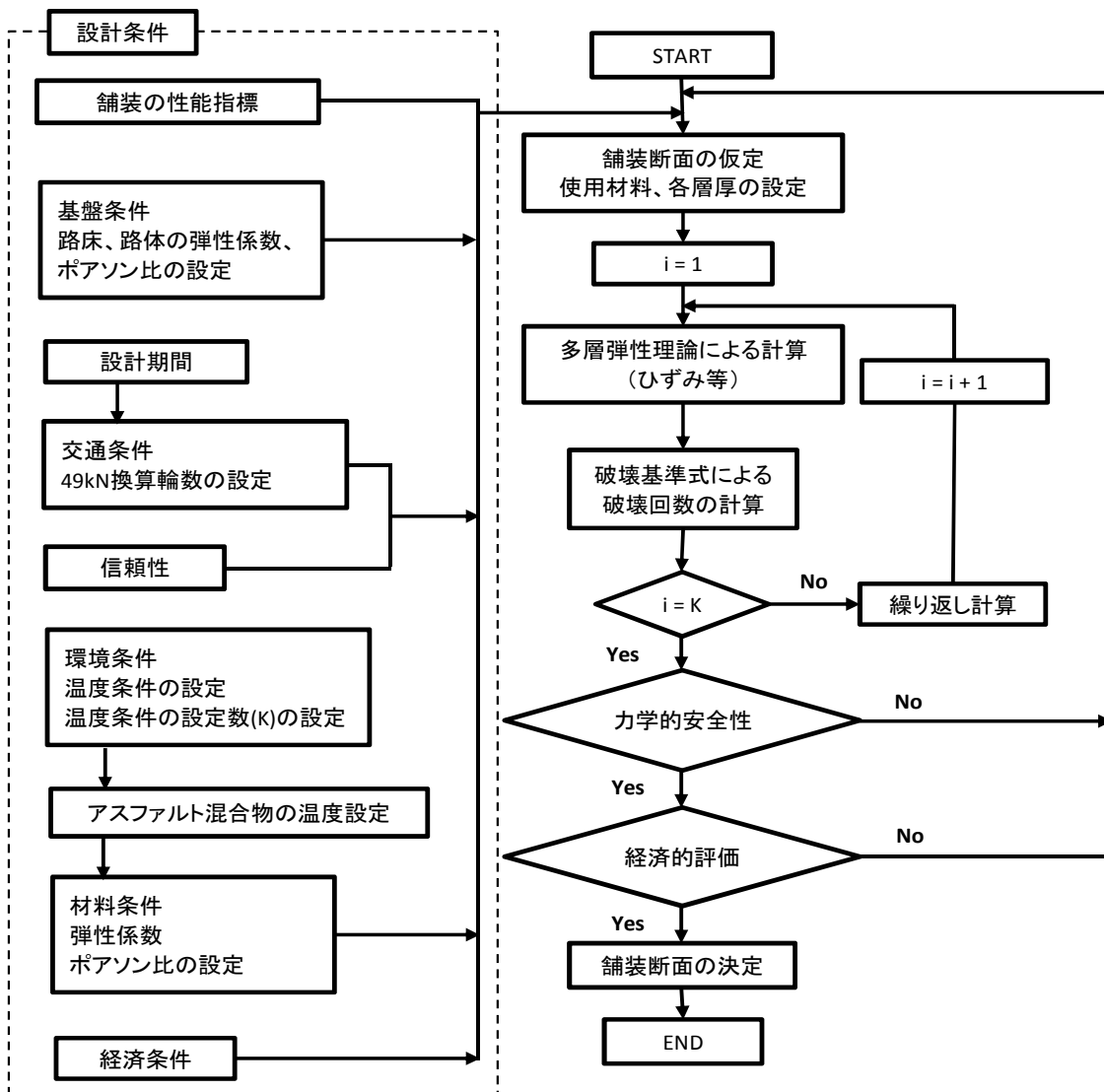
粒状下層路盤 11in

この舗装は約 13 年間に耐え、約 1,600 万回の 18kipESAL 交通に供用できる。解析期間 20 年の最後からの 7 年間に対して 4in のアスファルトコンクリート・オーバーレイが必要である。この 7 年間にこのオーバーレイをした舗装は約 1,100 万回の 18kipESAL の载荷が可能である。

参考資料 D. 多層弾性理論に基づく舗装構成の照査例

(1) 設計方法の説明

多層弾性理論は、アスファルト舗装を構成する各層の材料を弾性体と仮定し、49kNの交通荷重を繰り返し載荷し、舗装体の任意の点に生ずる応力、ひずみ、および変位を弾性理論から計算し、舗装の設計断面を設計する方法である。図 D-1 に理論的設計法による構造設計のフローを示す。



出典：舗装設計便覧

図 D-1. 多層弾性理論による構造設計の具体的な手順

（２） 舗装構造のモデル

舗装構造については図 D-2 に示すようなモデルを作成する。舗装体の各層に弾性係数やポアソン比を設定し、任意の交通条件や気象条件等を考慮し、舗装断面を仮定する。仮定した舗装断面における予測疲労破壊輪数に対して、設計における 49kN 換算輪数が小さければ、力学的安定性を有していると判断される。

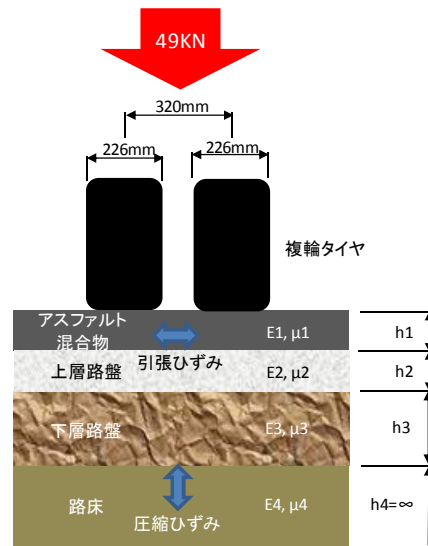


図 D-2 舗装構造のモデル図

（３） 構造設計条件の設定項目

1) 設定条件

構造設計に必要な設定条件は以下のとおりである。

表 D-1. 構造設計条件の設定項目

| 項目 | 明確にする必要のある設計条件 |
|------|---|
| 交通条件 | ① 疲労破壊輪数 ② 交通荷重（図-2参照） ・単輪荷重、複輪荷重の区分 ・タイヤ1輪の荷重 ・複輪タイヤの中心間隔 ・タイヤ設置圧と設置半径 |
| 基盤条件 | ① 路床条件を設定する際の路床厚を1mとする場合 ・構築路床、路床（原地盤）の弾性係数とポアソン比 ② 路床厚の設計を1m未満で行う場合 ・上記①とともに路体の弾性係数とポアソン比 |
| 環境条件 | ① 気温またはアスファルト混合物層の温度（年平均、月平均など） ② 凍結指数（寒冷地） |
| 材料条件 | 舗装各層の弾性係数とポアソン比 |

出典：舗装設計施工指針（H. 18（社）日本道路協会）

2) 疲労破壊輪数について

疲労破壊とは、荷重の繰返しによるひび割れの発生で舗装が破壊することであり、疲労破壊輪数は、「舗装路面に 49kN の輪荷重を繰返し加えた場合に、舗装にひび割れが生じるまでに要する回数・・・」と定義されている。疲労破壊輪数の基準値としては舗装計画交通量に応じ、以下のように規定されている。なお、舗装の設計期間が 10 年以外である場合の疲労破壊輪数は、下表に示される数値に設計間の 10 年に対する割合を乗じて求める。例えば設計期間が 20 年の場合は、20 年の 10 年に対する割合、すなわち 2 を下表の値に乗じる。

表 D-2. 舗装破壊輪数の基準値

| 区分 | 舗装計画交通量* (台/日・方向) | 疲労破壊輪数 (回/10年) |
|----|----------------------|-------------------|
| N7 | 3,000以上 | 35,000,000 |
| N6 | 1,000～3,000 | 7,000,000 |
| N5 | 250～1,000 | 1,000,000 |
| N4 | 100～250 | 150,000 |
| N3 | 40～100 | 30,000 |
| N2 | 15～40 | 7,000 |
| N1 | 15未満 | 1,500 |

*：舗装計画交通量とは、舗装の設計期間内の大型自動車の平均的な交通量

出典：舗装設計便覧（H.18（社）日本道路協会）

3）基礎及び材料条件

上記の内、舗装各層に使用する材料の弾性係数とポアソン比については、試験等によって設定されることが望ましいが、試験等によるデータ入手が困難な場合には、以下に示す値を用いることができる。

表 D-3. 舗装各層に使用する材料の弾性係数とポアソン比の例

| 使用材料 | 弾性係数 (MPa) | ポアソン比 | 測定方法、留意点 |
|-------------|---|-----------------------|---|
| アスファルト混合物 | 600～12,000 | 0.25～0.45 (0.35)** | ・舗装試験法便覧別冊「3-3-1T アスファルト混合物のレジリエントモデュラス試験方法」 など ・舗装温度と想定される走行速度を考慮 |
| 舗装用コンクリート | 25,000～35,000 (28,000) | 0.15～0.25 (0.20) | JIS A1149「コンクリートの静弾性係数試験方法」など |
| セメント安定処理混合物 | 1,000～15,000* 想定する圧縮強度から推定してもよい | 0.10～0.30 (0.20) | 舗装試験法便覧別冊「3-3-2T 路盤材・路床土のレジリエントモデュラス試験」など |
| 粒状材料 | 100～600 (粒度調整砕石：300) (クラッシュラン：200) 他の力学的な試験から推定してもよい | 0.30～0.40 (0.35) | 舗装試験法便覧別冊「3-3-2T 路盤材・路床土のレジリエントモデュラス試験」など |
| 路床材料 | 10 x CBR*** | 0.4 | JIS A1149「コンクリートの静弾性係数試験方法」など |

*：一軸圧縮強度は3～15MPaである。

**：（）内は代表的な値である。

***：CBR値が求められている場合に用いることができる。

出典：舗装設計施工指針（H.18（社）日本道路協会）を参考に調査団作成

4）環境条件

環境条件には、気温、降雨量などがある。（日本では寒冷地において凍結指数を考慮）気温は、アスファルト混合物の温度および弾性係数に影響を及ぼし、さらに舗装のひずみ、構造的な耐久性に影響を及ぼす。このことから気温データにもとづき、アスファルト混合物層（瀝青安定処理路盤材料を含む）の温度を適切に設定しなければならない。設計に用いる温度については、気温とアスファルト混合物層温度との実測データから設定することが望ましいが、アスファルト混合物層の温度

測定ができない場合は、以下の式を用いて気温データからアスファルト混合物層の温度を推定する。

$$M_p = M_a \left[I + \frac{2.54}{z + 10.16} \right] - \frac{25.4}{9(z + 10.16)} + \frac{10}{3}$$

M_p : 月平均舗装温度 (°C)

M_a : 月平均気温 (°C)

z : 温度を推定しようとしている点の表層上面からの深さ (cm)

なお、ある層の平均温度は、その層（厚さ= h' ）の上面から $h'/3$ の位置での温度とする。したがって、ある層の平均温度は、路面からその層の上面までの深さに、 $h'/3$ を加えた値を z とする。

(4) 舗装の破壊条件

アスファルト混合物の疲労ひび割れに対してはアスファルト混合物下層の引張りひずみが支配的な要因である。また、路床を含めた舗装各層の圧縮による永久変形に対しては路床上面の圧縮ひずみが支配的な要因であり、これらの値を多層弾性理論を用いて算出する。算出されたひずみに対し、ひび割れ率や永久変形量に応じて、暫定的に設定した破壊基準を適用して許容 49kN 輪数を求める。

舗装断面の（許容 49kN 輪数／信頼度に応じた係数）と疲労破壊輪数を比較し、（許容 49kN 輪数／信頼度に応じた係数） \geq 疲労破壊輪数であれば、力学的安全性を有し、設計条件を満足する舗装断面と評価する。以下に暫定破壊基準を示す。

① 路床の暫定破壊基準

$$N_{fs} = \beta_{s1} X (1.365 \times 10^{-9} X \epsilon z^{4.477\beta_{s2}})$$

N_{fs} : 路床の許容 49 kN 輪数

ϵz : 路床上面の圧縮ひずみ

β_{s1} : 2.134×10^3

β_{s2} : 0.819

経験による AI 破壊基準に対する補正係数

② アスファルト混合物の暫定破壊基準

$$N_{fa} = \beta_{a1} X (C) X (6.167 \times 10^{-5} X \epsilon t^{-3.291\beta_{a2}} X E^{-0.854\beta_{a3}})$$

N_{fa} : アスファルト混合物層の許容 49 kN 輪数

C : $C=10M$ ($M=4.84$ ($VFA/100-0.69$))

VFA : 飽和度 (%)

ϵt : アスファルト混合物層下面の引張りひずみ

E : アスファルト混合物の弾性係数 (MPa)

$$\beta_{a1} = K_a \times \beta_{ai}$$

$$\beta_{a1} : 5.229 \times 10^4$$

$$\beta_{a2} : 1.314$$

$$\beta_{a3} : 3.018$$

経験による AI 破壊基準
に対する補正係数

$$K_a = 1 / (8.27 \times 10^{-11} + 7.87 \times e^{-0.11H_a})$$

H_a : アスファルト混合物の厚さ (cm)

(5) 適用温度条件

多層弾性理論では、T_A法や AASHTO 1993 の計算式では考慮されていない「舗装温度」を考慮することとなっている。このため、弾性体である舗装では、舗装温度により設定される弾性係数が舗装厚さを決定する際に影響する。例えば T_A法や AASHTO で舗装厚を決定する際、温度における補正はなく、路床強度、累積輪荷重（軸重）、信頼性等により決定するため、各国の基準により差異はあるものの地域差は考慮されないのが実情である。（実際は使用する材料によって、層係数や等値換算係数を設定することが望ましいが、費用や時間の観点から一般値を使用している）

以下に試算に用いる材料のパラメータと温度条件を示す。

表 D-4. 多層弾性理論設計に必要な係数

| 使用材料 | 弾性係数 (MPa) | ポアソン比 |
|--------------------------------------|---------------------------------|----------|
| アスファルト混合物 | 表 3-20 参照 | 0.35 |
| セメント安定処理混合物 (下段は南アの設計基準を示す) | 4000 | 0.2 |
| | 500-3000 | 0.1-0.30 |
| 粒度調整砕石 | 300 | 0.35 |
| クラッシュ | 200 | |
| 路床材料 | 10 x CBR*** | 0.40 |
| C : アスファルト混合物層の最下層に使用する容積特性に関するパラメータ | 基層下面 : 1.56 ^{※1} | |
| | AS 安定処理下面 : 0.235 ^{※1} | |

※1 : パラメータに関しては H18 舗装設計便覧 P132 および P141 の参考値を利用

舗装温度と弾性係数は H18 舗装設計便覧 P129 の条件より算出した。また、着色部は前後の舗装温度から直線補完により算出した。

表 D-5. 舗装温度と弾性係数

| As 表層基層 | | As 安定処理 | |
|---------|-----------|---------|-----------|
| 舗装温度 | 弾性係数(Mpa) | 舗装温度 | 弾性係数(Mpa) |
| 9 | 9000 | 9 | 6100 |
| 11 | 8000 | 11 | 5500 |
| 13 | 7400 | 12 | 5200 |
| 17 | 6000 | 16 | 4200 |
| 19 | 5000 | 18 | 3700 |
| 20 | 4800 | 19 | 3500 |
| 21 | 4600 | 20 | 3300 |
| 22 | 4400 | 21 | 3100 |
| 23 | 4200 | 22 | 2900 |
| 24 | 4000 | 23 | 2800 |
| 25 | 3700 | 24 | 2625 |
| 26 | 3250 | 25 | 2450 |
| 27 | 2975 | 26 | 2275 |
| 28 | 2800 | 27 | 2100 |
| 29 | 2700 | 28 | 2000 |
| 30 | 2600 | 29 | 1900 |
| 31 | 2550 | 30 | 1800 |
| 32 | 2500 | 31 | 1700 |
| 33 | 2200 | 32 | 1400 |
| 34 | 1900 | 32°C以上 | 1400 |
| 35°C以上 | 1800 | | |

なお、「鉄道総研報告 Vol. 21, No. 6, Jun 2007」では弾性係数を以下のような算出式で導き出す方法も紹介されているが、今回は FWD の試験結果がないため「舗装設計便覧」の使用値を直線補完により算出した弾性係数により試算を行う。

$$E_1 = E_0 (t_1 / t_0)^\alpha$$

$$\alpha = 0.0095T + 0.0559$$

E_1 : 補正した弾性係数

E_0 : 基礎となる弾性係数 (FWD の弾性係数)

t_1 : 実際の载荷時間

t_0 : 基準となる载荷時間 (FWD の载荷時間)

α : 温度の補正係数

T : アスファルト混合物層の温度 (°C)

下表に対象国の気温と舗装温度を示す。

表 D-6. 対象国の気温と舗装温度

| 月 | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 年間平均気温 |
|-----------------|-----------------|----------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|----------|----------|
| ガーナ (アクラ) | Ma: 月平均気温 (°C) | 27.8 | 28.3 | 28.3 | 28.3 | 27.8 | 26.1 | 25.0 | 25.0 | 25.6 | 26.7 | 27.8 | 27.8 | 27.0 |
| | 舗装厚 (cm) | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | |
| | Z: 計算位置 (cm) | 1.67 | 1.67 | 1.67 | 1.67 | 1.67 | 1.67 | 1.67 | 1.67 | 1.67 | 1.67 | 1.67 | 1.67 | 年間平均舗装温度 |
| | Mp: 舗装温度 (°C) | 37 | 38 | 38 | 38 | 37 | 35 | 33 | 33 | 34 | 35 | 37 | 37 | 35.9 |
| | 舗装厚 (cm) | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | |
| | Z: 計算位置 (cm) | 3.33 | 3.33 | 3.33 | 3.33 | 3.33 | 3.33 | 3.33 | 3.33 | 3.33 | 3.33 | 3.33 | 3.33 | 年間平均舗装温度 |
| | Mp: 舗装温度 (°C) | 36 | 37 | 37 | 37 | 36 | 34 | 33 | 33 | 33 | 35 | 36 | 36 | 35.3 |
| | 舗装厚 (cm) | 14 | 14 | 14 | 14 | 14 | 14 | 14 | 14 | 14 | 14 | 14 | 14 | |
| | Z: 計算位置 (cm) | 4.67 | 4.67 | 4.67 | 4.67 | 4.67 | 4.67 | 4.67 | 4.67 | 4.67 | 4.67 | 4.67 | 4.67 | 年間平均舗装温度 |
| | Mp: 舗装温度 (°C) | 36 | 36 | 36 | 36 | 36 | 34 | 32 | 32 | 33 | 34 | 36 | 36 | 34.8 |
| | 舗装厚 (cm) | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | |
| | Z: 計算位置 (cm) | 5.00 | 5.00 | 5.00 | 5.00 | 5.00 | 5.00 | 5.00 | 5.00 | 5.00 | 5.00 | 5.00 | 5.00 | 年間平均舗装温度 |
| | Mp: 舗装温度 (°C) | 36 | 36 | 36 | 36 | 36 | 34 | 32 | 32 | 33 | 34 | 36 | 36 | 34.7 |
| | タンザニア (ダルエス) | Ma: 月平均気温 (°C) | 27.8 | 27.8 | 26.7 | 25.6 | 25.0 | 23.9 | 23.3 | 23.3 | 23.9 | 25.0 | 26.1 | 27.2 |
| 舗装厚 (cm) | | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | |
| Z: 計算位置 (cm) | | 1.67 | 1.67 | 1.67 | 1.67 | 1.67 | 1.67 | 1.67 | 1.67 | 1.67 | 1.67 | 1.67 | 1.67 | 年間平均舗装温度 |
| Mp: 舗装温度 (°C) | | 37 | 37 | 35 | 34 | 33 | 32 | 31 | 31 | 32 | 33 | 35 | 36 | 34.0 |
| 舗装厚 (cm) | | 7 | 7 | 7 | 7 | 7 | 7 | 7 | 7 | 7 | 7 | 7 | 7 | |
| Z: 計算位置 (cm) | | 2.33 | 2.33 | 2.33 | 2.33 | 2.33 | 2.33 | 2.33 | 2.33 | 2.33 | 2.33 | 2.33 | 2.33 | 年間平均舗装温度 |
| Mp: 舗装温度 (°C) | | 37 | 37 | 35 | 34 | 33 | 32 | 31 | 31 | 32 | 33 | 35 | 36 | 33.7 |
| 舗装厚 (cm) | | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | |
| Z: 計算位置 (cm) | | 3.33 | 3.33 | 3.33 | 3.33 | 3.33 | 3.33 | 3.33 | 3.33 | 3.33 | 3.33 | 3.33 | 3.33 | 年間平均舗装温度 |
| Mp: 舗装温度 (°C) | | 36 | 36 | 35 | 33 | 33 | 32 | 31 | 31 | 32 | 33 | 34 | 35 | 33.4 |
| 舗装厚 (cm) | | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | |
| Z: 計算位置 (cm) | | 6.67 | 6.67 | 6.67 | 6.67 | 6.67 | 6.67 | 6.67 | 6.67 | 6.67 | 6.67 | 6.67 | 6.67 | 年間平均舗装温度 |
| Mp: 舗装温度 (°C) | | 35 | 35 | 34 | 33 | 32 | 31 | 30 | 30 | 31 | 32 | 33 | 34 | 32.5 |
| 舗装厚 (cm) | | 22.5 | 22.5 | 22.5 | 22.5 | 22.5 | 22.5 | 22.5 | 22.5 | 22.5 | 22.5 | 22.5 | 22.5 | |
| Z: 計算位置 (cm) | 7.50 | 7.50 | 7.50 | 7.50 | 7.50 | 7.50 | 7.50 | 7.50 | 7.50 | 7.50 | 7.50 | 7.50 | 年間平均舗装温度 | |
| Mp: 舗装温度 (°C) | 35 | 35 | 34 | 32 | 32 | 30 | 30 | 30 | 30 | 32 | 33 | 34 | 32.3 | |
| 舗装厚 (cm) | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | | |
| Z: 計算位置 (cm) | 8.33 | 8.33 | 8.33 | 8.33 | 8.33 | 8.33 | 8.33 | 8.33 | 8.33 | 8.33 | 8.33 | 8.33 | 年間平均舗装温度 | |
| Mp: 舗装温度 (°C) | 35 | 35 | 34 | 32 | 32 | 30 | 30 | 30 | 30 | 32 | 33 | 34 | 32.1 | |
| エチオピア (アジス) | Ma: 月平均気温 (°C) | 16.1 | 17.2 | 17.8 | 18.3 | 18.3 | 16.7 | 15.6 | 15.0 | 16.1 | 16.7 | 15.6 | 15.6 | 16.6 |
| | 舗装厚 (cm) | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | |
| | Z: 計算位置 (cm) | 1.33 | 1.33 | 1.33 | 1.33 | 1.33 | 1.33 | 1.33 | 1.33 | 1.33 | 1.33 | 1.33 | 1.33 | 年間平均舗装温度 |
| | Mp: 舗装温度 (°C) | 23 | 24 | 25 | 25 | 25 | 23 | 22 | 21 | 23 | 23 | 22 | 22 | 23.3 |
| | 舗装厚 (cm) | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | |
| | Z: 計算位置 (cm) | 1.67 | 1.67 | 1.67 | 1.67 | 1.67 | 1.67 | 1.67 | 1.67 | 1.67 | 1.67 | 1.67 | 1.67 | 年間平均舗装温度 |
| | Mp: 舗装温度 (°C) | 23 | 24 | 25 | 25 | 25 | 23 | 22 | 21 | 23 | 23 | 22 | 22 | 23.2 |
| | 舗装厚 (cm) | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | |
| | Z: 計算位置 (cm) | 5.00 | 5.00 | 5.00 | 5.00 | 5.00 | 5.00 | 5.00 | 5.00 | 5.00 | 5.00 | 5.00 | 5.00 | 年間平均舗装温度 |
| | Mp: 舗装温度 (°C) | 22 | 23 | 24 | 25 | 25 | 23 | 21 | 21 | 22 | 23 | 21 | 21 | 22.5 |
| エチオピア (アワシユ) | Ma: 月平均気温 (°C) | 25.0 | 26.0 | 27.0 | 28.0 | 29.0 | 30.0 | 27.0 | 26.0 | 28.0 | 27.0 | 24.0 | 23.0 | 26.7 |
| | 舗装厚 (cm) | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | |
| | Z: 計算位置 (cm) | 1.67 | 1.67 | 1.67 | 1.67 | 1.67 | 1.67 | 1.67 | 1.67 | 1.67 | 1.67 | 1.67 | 1.67 | 年間平均舗装温度 |
| | Mp: 舗装温度 (°C) | 33 | 35 | 36 | 37 | 38 | 40 | 36 | 35 | 37 | 36 | 32 | 31 | 35.5 |
| | | | | | | | | | | | | | | |

z : 温度を推定しようとしている点の表層上面からの深さ (cm)

上表のとおり計算された舗装温度と月数の関係を下表に示す。

表 D-7. 温度条件と月数

| ガーナ | 温度(°C) | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | 31 | 32 | 33 | 34 | 35 | 36 | 37 | 38 | 39 | 40 |
|-------------|--------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| 舗装厚 (cm) | 5.0 | | | | | | | | | | | | | 2 | 1 | 2 | | 4 | 3 | | |
| | 10.0 | | | | | | | | | | | | | 3 | 1 | 1 | 4 | 3 | | | |
| | 14.0 | | | | | | | | | | | | 2 | 1 | 2 | | 7 | | | | |
| | 15.0 | | | | | | | | | | | | 2 | 1 | 2 | | 7 | | | | |
| タンザニア | 温度(°C) | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | 31 | 32 | 33 | 34 | 35 | 36 | 37 | 38 | 39 | 40 |
| 舗装厚 (cm) | 5.0 | | | | | | | | | | | 2 | 2 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | | | |
| | 7.0 | | | | | | | | | | | 2 | 2 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | | | |
| | 10.0 | | | | | | | | | | | 2 | 2 | 3 | 1 | 2 | 2 | | | | |
| | 20.0 | | | | | | | | | | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | | | | | |
| | 22.5 | | | | | | | | | | 4 | | 3 | 1 | 2 | 2 | | | | | |
| | 25.0 | | | | | | | | | | 4 | | 3 | 1 | 2 | 2 | | | | | |
| エチオピア | 温度(°C) | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | 31 | 32 | 33 | 34 | 35 | 36 | 37 | 38 | 39 | 40 |
| 舗装厚 (cm) | 4.0 | 1 | 3 | 4 | 1 | 3 | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 5.0 | 1 | 3 | 4 | 1 | 3 | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 15.0 | 4 | 2 | 3 | 1 | 2 | | | | | | | | | | | | | | | |
| エチオピア | 温度(°C) | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | 31 | 32 | 33 | 34 | 35 | 36 | 37 | 38 | 39 | 40 |
| 舗装厚(cm) | 5.0 | | | | | | | | | | | 1 | 1 | 1 | | 2 | 3 | 2 | 1 | | 1 |

注：エチオピアのみプロジェクト地域毎の温度差が大きいため2地点の気温データを採用した。

備考：

舗装厚さ毎に舗装の深さ方向の温度を算出している。
 月数とは1年間でその舗装温度が何か月該当するかを示している。したがって、行方向に示されている数値は「月数」でありその総和はすべて「12」となる。

例)ガーナ 舗装厚 5cm
 舗装温度 33°C : 2 か月
 舗装温度 34°C : 1 か月
 舗装温度 35°C : 2 か月
 舗装温度 37°C : 4 か月
 舗装温度 38°C : 3 か月

年間 2+1+2+4+3=12 か月

(6) 試算結果

表-8 に多層弾性理論による力学的評価の試算結果を示す。最終的に（許容 49kN 輪数／信頼度に応じた係数） \geq 疲労破壊輪数（備考欄に示す「>1.0」となれば力学的安全性を有し、設計条件を満足する舗装断面と評価する。（網掛けされた結果は、力学的安全性を満たしていないことを示す）

表 D-8. 多層弾性理論による力学的評価

| | ジョージブッシュハイウェイ | ネルソンマンデラ道路 | アジス〜タマベル道路 | C道路 | サムンジョマ道路 | テチマン〜キンタンボ道路 | 備考 | |
|----------------------------|---------------|------------|------------|---------|----------|--------------|--------|-----------|
| T _A | 29.1 | 28.5 | 28.0 | 26.0 | 25.0 | 23.3 | | |
| 舗装計画交通量 (台/日・方向) | 9,937 | 2,212 | 408 | 636 | 717 | 759 | | |
| 疲労破壊輪数×10 ⁶ (N) | 70.0 | 10.5 | 1.5 | 1.5 | 2.0 | 1.5 | | |
| 設計期間(年) | 20 | 15 | 15 | 15 | 20 | 15 | | |
| 信頼性90%の係数:a | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | | |
| CBR | 8 | 15 | 6 | 10 | 15 | 10 | | |
| 舗装厚 | 表層(cm) | As: 5 | As: 5 | As: 5 | As: 4 | As: 4 | As: 5 | |
| | 基層(cm) | As: 10 | - | - | As: 10 | As: 6 | As: 5 | |
| | 上層路盤(cm) | CS: 22.5 | DBM: 20 | DBM: 10 | CS: 20 | DBM: 12.5 | CS: 20 | |
| | 上層路盤(cm) | - | - | CS: 25 | - | - | - | |
| | 下層路盤(cm) | CM: 25 | GR: 30 | GR: 25 | GR: 20 | GR: 20 | GR: 25 | |
| 合計(cm) | 62.5 | 55 | 65 | 54 | 42.5 | 50 | | |
| NfAd(×10 ⁶) | 54.30 | 14.00 | 1.29 | 21.60 | 8.41 | 11.60 | | |
| NfSd(×10 ⁶) | 46.40 | 32.10 | 9.16 | 5.92 | 9.94 | 6.13 | | |
| アスファルト | 信頼性90% | 0.19 | 0.33 | 0.22 | 3.60 | 1.05 | 1.93 | > 1.0: OK |
| | 信頼性75% | 0.39 | 0.67 | 0.43 | 7.20 | 2.10 | 3.87 | |
| | 信頼性50% | 0.78 | 1.33 | 0.86 | 14.40 | 4.21 | 7.73 | |
| 路床 | 信頼性90% | 0.17 | 0.76 | 1.53 | 0.99 | 1.24 | 1.02 | |
| | 信頼性75% | 0.33 | 1.53 | 3.05 | 1.97 | 2.49 | 2.04 | |
| | 信頼性50% | 0.66 | 3.06 | 6.11 | 3.95 | 4.97 | 4.09 | |

| | B道路 | D道路 | A道路 | アンボゲド道路 | E道路 | チャリンゼ〜タンガ道路 | 備考 | |
|----------------------------|----------|---------|--------|---------|---------|-------------|-------|-----------|
| T _A | 21.3 | 22.3 | 20.5 | 19.1 | 11.6 | - | | |
| 舗装計画交通量 (台/日・方向) | 2,551 | 425 | 913 | 254 | 1,581 | 2,380 | | |
| 疲労破壊輪数×10 ⁶ (N) | 10.5 | 2.0 | 1.5 | 1.5 | 14.0 | 10.5 | | |
| 設計期間(年) | 15 | 20 | 15 | 15 | 20 | 15 | | |
| 信頼性90%の係数:a | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | | |
| CBR | 15 | 6 | 9 | 8 | 30 | - | | |
| 舗装厚 | 表層(cm) | As: 5 | As: 5 | As: 7 | As: 4 | As: 5 | As: 5 | |
| | 基層(cm) | As: 5 | - | - | - | - | - | |
| | 上層路盤(cm) | DBM: 10 | CS: 35 | CS: 20 | DBM: 11 | CS: 10 | - | |
| | 上層路盤(cm) | - | - | - | - | - | - | |
| | 下層路盤(cm) | CM: 13 | GR: 20 | CM: 26 | CM: 25 | GR: 13 | - | |
| 合計(cm) | 33 | 60 | 53 | 40 | 28 | - | | |
| NfAd(×10 ⁶) | 1230.00 | 1.52 | 7.26 | 306.00 | 4.99 | - | | |
| NfSd(×10 ⁶) | 9.51 | 2.73 | 19.60 | 15.50 | 3.41 | - | | |
| アスファルト | 信頼性90% | 29.29 | 0.19 | 1.21 | 51.00 | 0.09 | - | > 1.0: OK |
| | 信頼性75% | 58.57 | 0.38 | 2.42 | 102.00 | 0.18 | - | |
| | 信頼性50% | 117.14 | 0.76 | 4.84 | 204.00 | 0.36 | - | |
| 路床 | 信頼性90% | 0.23 | 0.34 | 3.27 | 2.58 | 0.06 | - | |
| | 信頼性75% | 0.45 | 0.68 | 6.53 | 5.17 | 0.12 | - | |
| | 信頼性50% | 0.91 | 1.37 | 13.07 | 10.33 | 0.24 | - | |

As: Asphalt, DBM: Dense Bitumen Macadam, CS: Crushed Stone, CM: Cemented Material, GR: Granular

NfAd: 仮定した舗装断面のアスファルト混合物層の破壊回数

NfSd: 仮定した舗装断面の路床の破壊回数

力学的安全性が確保できない。

【参考】南アフリカ（SA）の理論的設計法

理論的設計法については、日本の「舗装設計便覧（H18）」で示されている方法の他、南アフリカ（SA）で使用されている方法を使用することも考えられる。南アフリカの設計方法では、材料ごとに細かく「弾性係数」が設定されており、汎用性の高いものとなっている。以下に、粒状路盤の使用材料別弾性係数の例を示す。

表 D-9. 粒状材料の弾性係数:MPa（南ア基準）

| コード* | 材料 | 下部の材料 | | 湿った状態(強固な支持) | 湿った状態(脆弱な支持) |
|------|--------------|---------------------|------------------|--------------|--------------|
| | | セメント安定処理 | 粒状材料 | | |
| G1 | 碎石（高品質） | 250- 1,000 (450) | 150-600 (300) | 50-250 | 40-200 |
| G2 | 碎石（中品質） | 200-800 (400) | 100-400 (250) | 50-200 | 40-200 |
| G3 | 碎石（低品質） | 200-800 (350) | 100-350 (230) | 50-150 | 40-200 |
| G4 | 自然砂利（上層路盤相当） | 100-600 (300) | 75-350 (225) | 50-150 | 30-200 |
| G5 | 自然砂利 | 50-400 (250) | 40-300 (200) | 30-200 | 20-150 |
| G6 | 自然砂利（下層路盤相当） | 50-200 (150) | 30-200 (120) | 20-150 | 20-150 |

*コード：材料コード（TRH（TECHNICAL RECOMMENDATIONS FOR HIGHWAYS）に定められた材料コード）

また、日本の理論的設計法と異なる点として、セメント安定処理路盤が経年劣化により粒状に変化することを考慮していることが挙げられる。

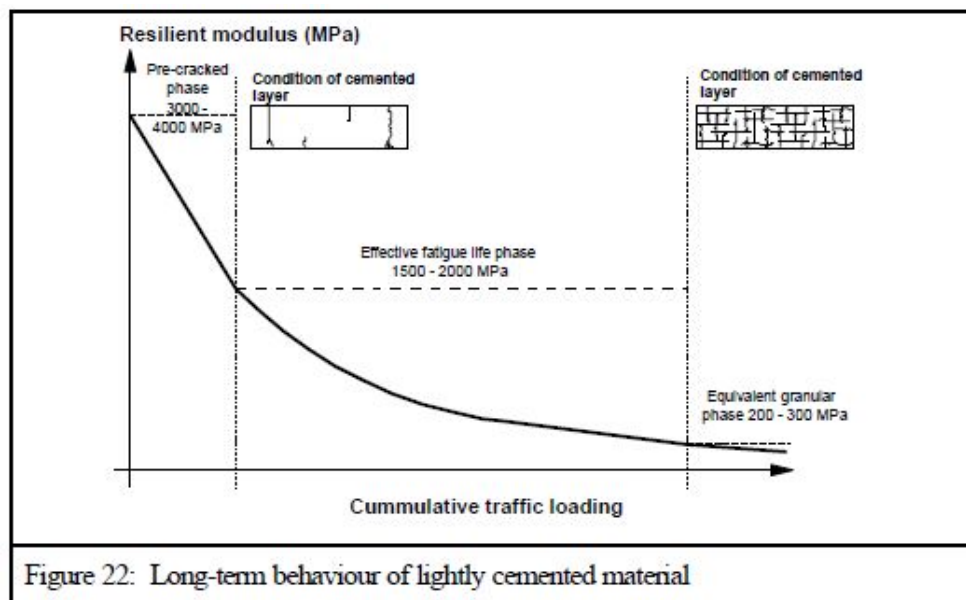


図 D-3. セメント材料の長期的な性状

この南アフリカの手法については、南部アフリカ地域において多くの実績があることから、相手国政府にとって受け入れやすいものである。

参考資料 E. SUPERPAVE と Refusal Density を用いた配合設計（例）

表 E-1、図 E-1, 2に SUPERPAVE と Refusal Density を用いた配合試験の結果（例）を示す。また、参考として、日本の舗装施工便覧に示される密粒（13）と粗粒（20）の基準値を合わせて示す。結果としては、アスファルト量が少ないことを除けば、粒度分布を含め日本の基準と大きな差はない。

表 E-1. SUPERPAVE と Refusal Density の配合結果

| 項目 | AC-14：密粒（表層） | | | AC-20：粗粒（基層） | | |
|---------|--------------|-----------------|--------|--------------|-----------------|---------|
| | ジョージブッシュ | ニューバガモヨ | 舗装施工便覧 | ジョージブッシュ | ニューバガモヨ | 舗装施工便覧 |
| 設計法 | SUPERPAVE | Refusal Density | 基準値 | SUPERPAVE | Refusal Density | 基準値 |
| As 量(%) | 4.8 | 4.3 | 5-7 | 4.2 | 4.0 | 4.5-6.0 |
| 空隙率(%) | 4.0 | 5.0 | 3-6 | 4.0 | 3.8 | 3-7 |
| バインダー | PG70-10 | 60/70 | - | PG70-10 | 60/70 | - |

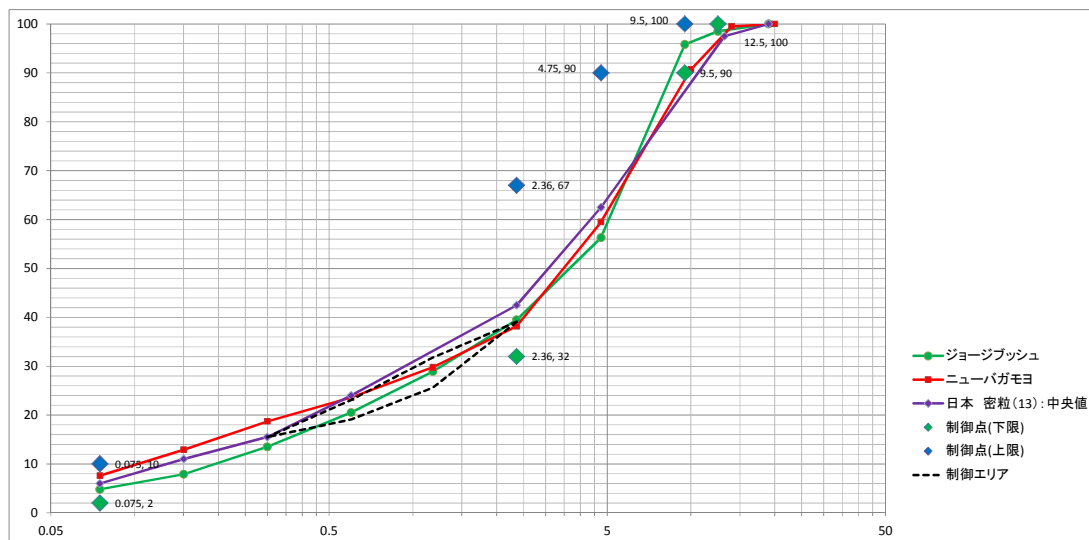


図 E-1. SUPERPAVE と Refusal Density の配合結果の比較（AC-14）

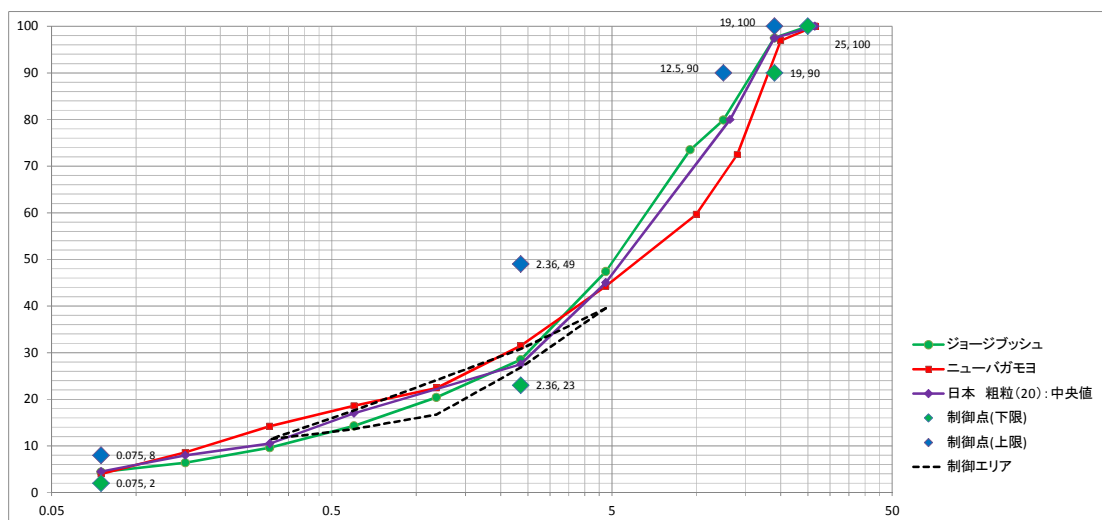


図 E-2. SUPERPAVE と Refusal Density の配合結果の比較（AC-20）

参考資料F. アスファルト量と WT 試験値に関する試験結果

WT 試験は、マーシャル配合試験によって求められたアスファルト混合物の配合に対して、動的安定度（DS: pass/mm）の基準値を満たしているか否かを判断するために行われるため、同条件下でアスファルト量のみを変化させ、DS が最大となるアスファルト量を求めた事例は見られない。そこで、アスファルト量と DS の影響を明らかにすることを目的として、同一配合においてアスファルト量を変化させ WT 試験を実施した。

WT 試験に使用する混合物は、国内で一般的に用いられている密粒度アスコン(13)とし、OAC(最適アスファルト量 5.3%)から基準値の最大となる空隙率6%となるアスファルト量(4.7%)に対して4点(5.3、5.1、4.9、4.7%)、最適アスファルト量-1.0%(4.3%)の1点、計5水準に対してWT試験を実施する。配合設計時のアスファルト量と空隙率の関係を図F-1に、アスファルト量と密度の関係を図F-2に示す。

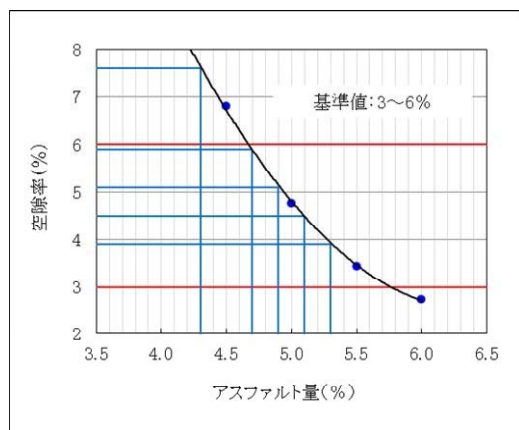


図 F-1. As 量と空隙率の関係

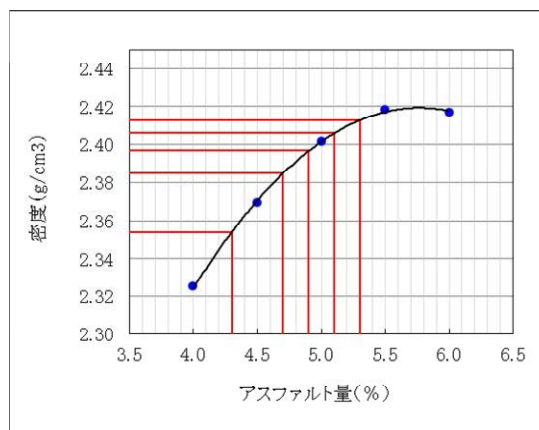


図 F-2. As 量と密度の関係

WT 試験結果を表 F-1、図 F-3～4 に示す。

表 F-1. WT 試験結果

| 空隙率 (%) | A s 量 (%) | 動的安定度 (DS) (回/mm) | 変動係数 (%) | 変形率 (RD) (mm/min) |
|---------|-----------|-------------------|----------|-------------------|
| 7.7 | 4.3 | 1,500 | 7.4 | 0.028 |
| 5.9 | 4.7 | 969 | 13.5 | 0.043 |
| 5.1 | 4.9 | 818 | 16.9 | 0.051 |
| 4.5 | 5.1 | 716 | 13.0 | 0.059 |
| 3.9 | 5.3 | 463 | 15.4 | 0.091 |

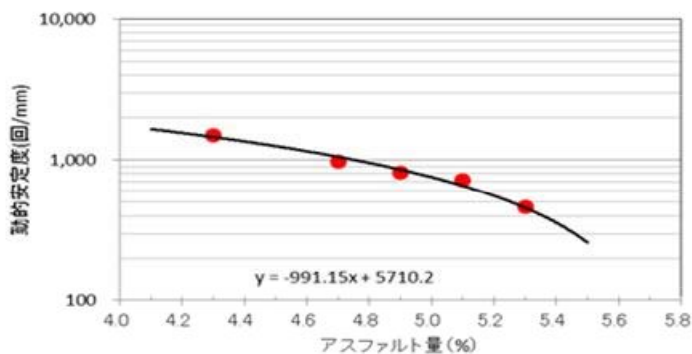


図 F-3. WT 試験結果（アスファルト量と動的安定度の関係）

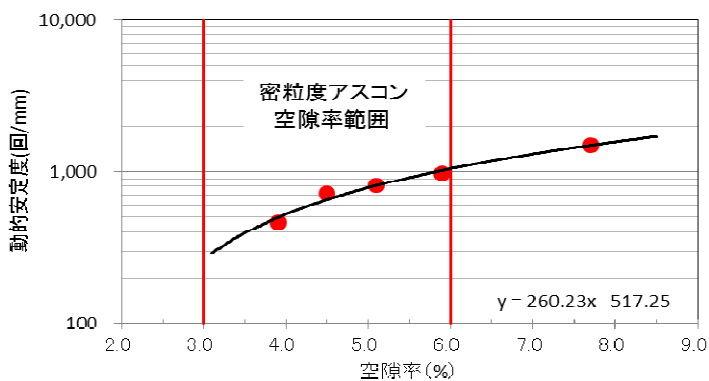


図 F-4. WT 試験結果（空隙率と動的安定度の関係）

図 F-3 の結果より、アスファルト量の減少に伴い DS 値は増加する傾向を示す。また図 F-4 より、密粒度アスコンの空隙率の基準値を超える空隙率（7.7%）でも、DS 値は増加することが確認された。

ただしアスファルト量が減少すると密度が低下し、空隙率が大きくなるため、水密性が確保されない、あるいは混合物の老化の進行も早くなり、アスファルト舗装自体の耐久性が劣る傾向を示すと言われている。このため、国内の事例においても、マーシャル試験により決定される最適アスファルト量から、感覚的に 0.3%程度低いアスファルト量を採用するケースもあるが、それ以上低くした場合には水密性に問題があると考えられている。

参考資料 G. その他設計上の参考資料

(1) 薄層 As 舗装と温度（気温）の関係

「アスファルト舗装体の温度に関する調査研究：1976年2月秋山正敬氏」の報文によれば、アスファルトの層厚と表面温度、及び層内最高温度の関係について以下のように報告されている。

層厚 25cm : $y = 0.802 \times x + 1.702$

層厚 20cm : $y = 0.804 \times x + 1.401$

層厚 15cm : $y = 0.854 \times x + 0.688$

層厚 10cm : $y = 0.981 \times x + 0.303$

層厚 5cm : $y = 0.981 \times x + 0.303$

y : 層内最高温度 (°C)

x : 舗装表面温度 (°C)

上記関係式を表にしたものが表 G-1 である。

表 G-1. 気温と舗装温度

| | | | | | | | | 単位:°C |
|----------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 表面温度 °C 層厚(cm) | 60 | 55 | 50 | 45 | 40 | 35 | 30 | 25 |
| 25 | 49.19 | 45.18 | 41.17 | 37.16 | 33.15 | 29.14 | 25.13 | 21.12 |
| 20 | 49.64 | 45.62 | 41.60 | 37.58 | 33.56 | 29.54 | 25.52 | 21.50 |
| 15 | 51.93 | 47.66 | 43.39 | 39.12 | 34.85 | 30.58 | 26.31 | 22.04 |
| 10 | 59.16 | 54.26 | 49.35 | 44.45 | 39.54 | 34.64 | 29.73 | 24.83 |
| 5 | 59.60 | 54.70 | 49.80 | 44.90 | 40.00 | 35.10 | 30.20 | 25.30 |

この結果からわかることは、厚層のものほど温度の低減効果が高く、薄層のものは表層温度と同程度の層内温度が接着層へ伝わるということである。また、報文では、薄層舗装は不安定な温度状態を呈することが定量的に示されたとされている。

(2) Invert Pavement

Invert Pavement とは、近年、南アフリカで標準的に用いられる舗装構成のことであり、前述の通り下層路盤にセメント安定処理を用い、上層路盤に高締固めの粒度調整砕石を用いた舗装のことである。この舗装は、ガーナ国の国道1号線（ジョージブッシュハイウェイ）でも採用され、以下の特徴がある。



*突固めの仕事量のこと。「Standard Proctor」 $E_c \approx 550 \text{kJ/m}^3$ と、「Modified Proctor」 $E_c \approx 2500 \text{kJ/m}^3$ がある。「Standard Proctor」は、路体や路床で、「Modified Proctor」は路盤で使用される。

図 G-1. Invert Pavement

(3) セメント安定処理路盤上のアスファルト舗装厚

NEXCO の設計要領第一集（舗装編）には・・・

「車線部の舗装で、セメント安定処理路盤上に直接アスファルト混合物を舗設する場合のアスファルト混合物層の合計厚は、15cm 以上でなければならない。」

という基準が示されている。この 15cm の根拠について、明確ではないが以下が参考になると考えられる。

- ① 旧建設省土木研究所による「ソイルセメントを用いたアスファルト舗装の供用成績調査」結果より
 - セメント量の多いソイルセメントを用いたアスファルト舗装には破損したものが多。
 - 圧縮強度が大きいソイルセメントの舗装では破損が発生しやすい。そのため、セメントは必要最小量を用いることにし、圧縮強度は 30kg/cm^2 以下にした方がよい。
 - ソイルセメントの厚さは 15cm 以上が望ましい。圧縮強度が 30kg/cm^2 を超えたソイルセメントで、ソイルセメント上部厚の薄いものは、道路の横断方向に入る幅の広いひび割れが発生しやすい。ソイルセメント上部層は、少なくとも 10cm 以上のアスコン層（表層、基層）を設けたほうがよい。
- ② 上記の結果を受けて、昭和 42 年のアスファルト要綱の改訂では、上層路盤にセメント安定処理を用いる場合には、セメント安定処理は舗装表面より 10cm 以上深い位置にあるようにし、一軸圧縮強度 30kg/cm^2 に相当するセメント量を選ぶ、とし

ている。また、セメント安定処理を舗装表面より 5cm 程度以下に用いると、表層部分が流動しやすく、ソイルセメントのひび割れが直接表面にあらわれやすいというデータをもとに 10cm 以下に用いることとした、と記述されている。

- ③ 「コンクリート舗装のオーバーレイにおけるリフレクションクラック防止工法」より
- コンクリート舗装にアスファルト混合物でオーバーレイした場合、コンクリート版の目地あるいはクラックがオーバーレイ表面にあらわれるリフレクションクラックが問題となる（これは、ソイルセメント路面上に、アスファルト舗装を一層施工したケースと同様と考えられる）。
 - その場合、コンクリート舗装上に 10cm 厚程度のアスファルト混合物によるオーバーレイしても、リフレクションクラックを防止することができず、結論としてアスファルト混合物は、3層で 15cm 程度あれば問題ない、と言われている。

（４） アスファルト舗装表・基層の合計最少厚の根拠

我が国の「舗装の構造に関する技術基準」（ともに平成 13 年 6 月）では、以下をアスファルト舗装（表層と基層を加えたもの）の最少厚さとして規定している。

表 G-2. 表層と基層を加えた最少厚さ

| 舗装計画交通量(台/日) | 表層と基層を加えた最小厚さ(cm) |
|------------------------|-------------------|
| $T < 250$ | 5 |
| $250 \leq T < 1,000$ | 10(5) |
| $1,000 \leq T < 3,000$ | 15(10) |
| $3,000 \leq T$ | 20(15) |

注

1. 舗装計画交通量が特に少ない場合は、3cm まで低減することができる。
2. 上層路盤に瀝青安定処理工法を用いる場合は、()内の厚さまで低減することができる。

この最少厚の規定の根拠は、昭和42年の「要綱」改定前の、竹下春見博士による以下の検討に基づいている。

半無限の一様地盤上の舗装表面に円形等分布荷重が載荷された場合の載荷点直下におけるせん断応力の分布を、式(1)に示すポアソン比を0.5とした場合のブジネスクのせん断応力公式より計算したものが図 G-2である。

$$\frac{\tau_z}{P} = \frac{3 \left(\frac{z}{a}\right)}{4 \times \left\{1 + \left(\frac{z}{a}\right)^2\right\}^{3/2}} \quad (1)$$

τ_z : 深さ z におけるせん断力 (kg/cm^2)
 P : 等分布荷重 (kg/cm^2)
 z : 深さ (cm)
 a : 設置半径 (cm)

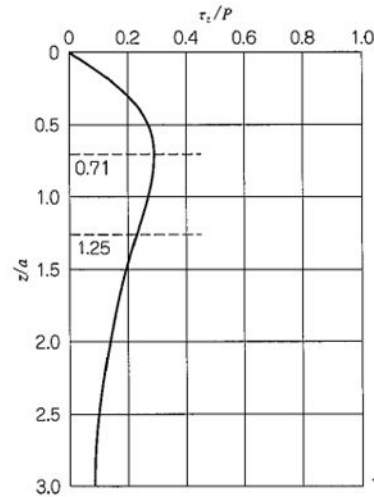


図 G-2. 円形等分布荷重が載荷された場合の荷重点直下のせん断応力分布

これよりせん断応力 ($\tau_{z_{\max}}$) の発生位置は a/z (設置半径と深さの比) が 0.71 となる深さで、そのときの $\tau_{z_{\max}}/P$ は 0.289 となる。アスファルト舗装は実際には一様地盤ではないが、ある地盤上に必要なアスファルト混合物層の厚さはこうしたブジネスクの式より得られるせん断応力の分布より近似的に求められるとして、 $\tau_{z_{\max}}$ がアスファルト混合物層の中に入るように決めるのが合理的であるとの考え方を採った。この見解に基づき、 $\tau_{z_{\max}}$ の 80% の大きさまでをアスファルト混合物層内に入れようとする、その場合のアスファルト混合物の必要厚さは式(2)で示される深さ z に相当するとしている。したがって、輪荷重 $P(t)$ とする設置半径 a は式(3)のように表され、アスファルト混合物層の必要厚さは式(4)で求められる。

$$\frac{z}{a} = 1.25 \quad (2)$$

$$a = 12 + P \quad (3)$$

$$z = 1.25(12 + P) = 15 + 1.25P \quad (4)$$

式(4)より各輪荷重に対して必要なアスファルト混合物層の厚さを計算したものが図-3である。ただし、この結果では、輪荷重が小さい場合にその厚さが非常に大きくなってしまうので、式(5)のマサチューセッツ公式、式(6)のダウンズ公式をも利用して必要厚さを別途計算している。

$$h = 0.5 \sqrt{\frac{P}{S}} \quad (5)$$

$$h = 0.564 \sqrt{\frac{P}{S}} \quad (6)$$

h : 舗装厚
 P : 輪荷重 (kg)
 z : 深さ (cm)

S: 地盤の最大反力 (kg/cm²)

これらの2つの公式による各輪荷重に対するアスファルト混合物層の必要厚さの計算結果が、図 G-3に併記されたものである。この3通りの計算結果から、輪荷重が小さい場合には式(5)、中程度の場合には式(5)、大きい場合には式(4)に基づく計算値を提案している。つまり、図-4に示すように、輪荷重が3t の場合には式(5)より10cm、5t の場合には式(6)より15cm、8t の場合には式(4)と(6)の平均である22cm、12t の場合には式(4)より30cm としている。この輪荷重3t、5t、8t、12t は以前のアスファルト舗装要綱の A 交通、B 交通、C 交通、D 交通に相当する。昭和42年の「アスファルト舗装要綱」では経済性を考慮したうえで、表G-2の規定が採用され、それが現在にまで至っている。

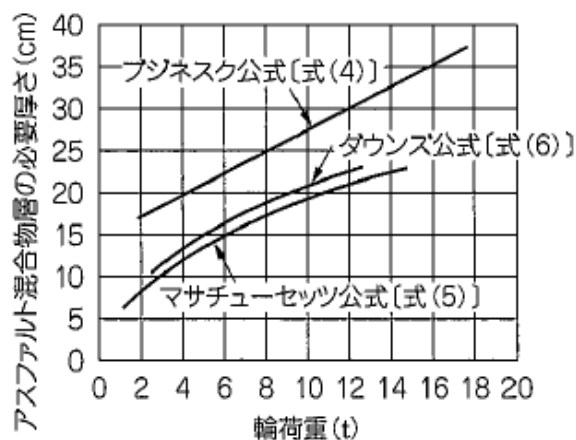


図 G-3. 輪荷重とアスファルト混合物層必要厚さとの関係

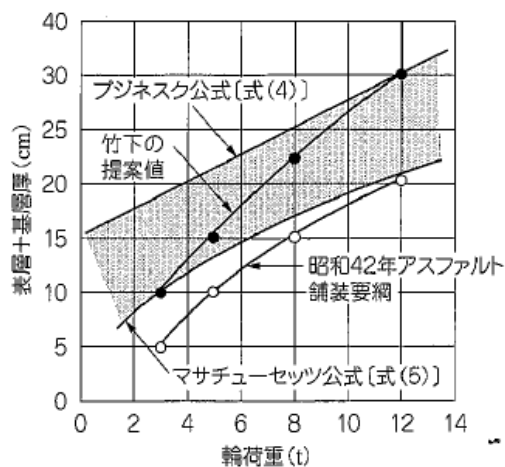


図 G-4. 輪荷重と表・基層の合計最少厚との関係