

## モンゴル・ウランバートルの体験（後半）

早稲田大学理工学研究所客員研究員  
ハナコプラス株式会社 技術顧問  
郡司 保雄

### はじめに

日本海外コンサルタント（JOC : Japan Overseas Consultant）からの依頼で技術支援のためモンゴル・ウランバートルへ2回目の体験をしたので述べてみる。

前回は2004年4月であった。この時は Second Road Project というウランバートルー北京間の幹線道路でモンゴル工区200kmの新設道路の表層アスコン配合設計で1週間であった。この支援の経験から今回の依頼となったものであり、当初から決まっていた訳ではありません。

今回は2007年1月から3ヶ月の予定です。「ソフトコンポーネント」という名称の企画です。解かり難い名称ですが、要するに、東部幹線道路（ウランバートルから東部方面を結ぶ幹線道路）の維持・修繕（維持とは目地注入など軽度な補修、修繕はオーバーレイを含めた重度な補修をいう）に関する事項の設計です。破損状況を調査し、維持・修繕工法を決め、必要な資材、機械・器具、予算措置などを含めた一連の計画を決める業務の技術支援です。道路に関する幅広い経験と知識が要求される仕事です。

ウランバートルに到着後、関係機関の挨拶回りを行った。通訳は日本語学校の優等生と称し、日本に来た経験もあり、NHK番組にも出演したことのある日本語の非常に上手な20代の女性でした。日本領事館、JICA事務所、政府機関（建設局）などを案内して頂いた。この技術支援は各事務所からたいへん期待されているように感じた。



東部幹線道路（良好な舗装）

### 現地視察から開始

まず初めに東部幹線道路を車で視察した。ウランバートルからナライハ（一回目支援の Second Road はナライハから南方面へ分岐する道路）を經由し、テレルジ分岐、アグチンフートル間の約44kmをパイロット区間とする案があるので車で視察した。（チンギスハンはテレルジ分岐辺が生誕地と聞く、チンギスハン像建設中、巨大な像である。右写真）。調査個所で時々停車し車から降りたが、気温 $-30^{\circ}\text{C}$ では5分程しか外には居られずすぐ車に戻るようであった。



チンギスハン像（建設中）

道路全体の詳細は後の問題として、まず感じたことは、良好な部分はあるものの全体を通して悪い部分が多く、今すぐにでも修繕しなければならない部分もあった。車が走れないほどひどいところもあったが、路盤は破壊してないと感じた。

途中重車両を見かけた（写真）。この路線には石炭生産地があり、石炭を積んだ重車両が通るとのことであった。この石炭車が道路を壊しているのだと感じた。



3年前、表層アスコンの配合設計をした路線はナライハから分岐し南方面に行く道路である。道路視察の帰り道お願いしてその路線に入ってもらった。なんと素晴らしい舗装なのだろうと感じた。もう少し走ってくれとお願いし 30km 程で折り返したが不具合な部分は1箇所も見られなかった。本当に素晴らしい出来であった。

### 建設局長との会話

数日後、打ち合わせのためバーサンフー建設局長（ロシア・サンクトペテルブルク大学建設工学部卒と聞いている）にお会いした。打ち合わせ内容は以下のようなものだった。

- (1) ウランバートルー ナライハ間約 17km は 20 年程前ロシアが造ったコンクリート舗装で良く出来た舗装であり、部分的に補修が必要だがあまり費用をかけたくないとのこと。
- (2) ナライハから先アグチンフートル間には極端に悪いところがあるので、早急に補修しなければならないところがあるとのこと。  
私から、確かにそのとおりですが、極端に悪い箇所はアスコン表層部分が流動現象を起こしているのであって路盤はしっかりしているように見えますと述べたら――。局長は、そのとおりだと同感したようだった。この路線の路盤工は全線同断面で確かに良く出来ていると思うとのことである。
- (3) ナライハから南への Second Road は ADB の資金援助により 3 年前中国業者が施工したがたいへん良くできている。流動現象は起きていないようだと言われた。  
私から、その道路は 3 年前 JOC から依頼されて、私が来て配合設計をした道路のことですかとたずねたら――、ええという感じで、あなたが配合設計したのか――と改めて聞き返してきたのです。そうですと答えたら驚いた様子でうなずいていました。
- (4) 私もこちらにきてすぐ確認しましたが、確かに流動現象は起きてないようですねと云ったら――、何か特別なことをしたのかと聞き返してきたので、ただ配合を少し変えただけですと答えたら、うなずいていました。（通訳を通しての会話なので、どのように感じどう考えているのか細かいニュアンス的なところは分かりませんが、何か考えているようでした。）
- (5) 続けて、モンゴルではアスファルト舗装の流動現象で困っている。流動を起こさない技術が有るのならそれを教えてもらいたいということだった。すぐにでも国内全

技術者を集めるから講義してほしいと言い出したのである。

(以下、私の想像だが――。流動現象を起こさない配合は、何か特別なことをするのではなく、骨材配合を少し変えるだけで出来ると言ったことに興味を持ったのではないかと思います。)

- (6) 私も少し考えて、講義するのは結構です。やりましょうと返事をしました。そこで付け加えました。講義だけでは解かり難いので、実際に配合試験を行って供試体を作成する実技を加えたらどうでしょうか――。それはたいへん良いことだと言われ、その場で実施することを決めたのです。
- (7) 配合試験の実技をするには、その前に試験室を確認しなければならないと申し上げると、リサーチセンター（バイルクーセンター長）に打ち合わせするよう指示をしておくとのことだった。

## アスファルト混合物の配合設計研修の実施

研修は試験員研修と技術者研修を分けて別々に行うこととなりました。場所と日付を変えて行いました。

### リサーチセンター長挨拶（バイルクーセンター長）

リサーチセンターを訪問する。バーサンフー局長からの指示があり話はスムーズに進んだ。打ち合わせ内容は以下のとおりである。

- (1) 表層アスコンが流動現象を起こさない配合について局長と話した概要を述べ、この研修の実施に至ったこと。これから研修実施方法を考えるので打ち合わせをお願いしたい。
- (2) 打ち合わせは順調に進み以下のように決まった。
  - ① 研修期間は4日間とする。研修場所はこのリサーチセンターで行う。
  - ② 研修員は何人程度になるか。約30人程度になるのではないか。
  - ③ 現在モンゴルで通常使用されている骨材（碎石、砂、石粉）の種類があればそれらを、各10kg程度を準備しておいてほしい。
  - ④ アスファルトは試験室で用いているもので良い。
  - ⑤ 骨材のふるい分け試験も実技として全員で行いデータ整理も行う。
  - ⑥ 配合設計は持参したパソコンでプロジェクター表示しながら行う。
  - ⑦ 供試体は実技として全員で作成する。
  - ⑧ 良い配合と悪い配合の両方を作成し、目で見て良し悪しを勉強してもらう。
  - ⑨ 講義と実技を織り交ぜながら進めることになる。

## 試験員研修の実施

研修の実施状況は写真をまじえて示します。

この種の研修を当初から予定していた訳ではなく、突然のことなので研修用資料など何の準備もしていなかった。パソコンは持参してきたのでデータ類は保存されているので、それらを有効に活用することとした。パワーポイントは台湾講演で使用したものがあったのでその一部を利用した。プロジェクターはレンタルを通訳が探してきた。モンゴルでもこの程度の準備はできることが解かった。

写真で見るとおり、モンゴルでは試験員のことを「マテリアルエンジニア」と称し、女性の仕事の位置づけであり、ほとんどが女性であり男性は少なかった。(右写真は配合試験状況、中央白衣姿はバイルークセンター長)

試験員の研修なので、ふるい分け試験、骨材配合計量、乾燥炉使用、マーシャルランマ、モールド準備、締固めなど、全員が交代で作業し、一応計画どおりに進んだ。

研修の最終日には建設局の幹部も参加していた。右の写真3名の左側はバーサンフー局長である。

局長は作成されたテストピースを手にとって見ながら、今までと違いだいぶ細粒配合になっていることに驚いた様子でした。こんなに細粒でも大丈夫なのかと聞いてきた。大丈夫ですと答えた。モンゴルでは粗粒配合が良いのだとの先入観があるように感じた。テストピースを高く掲げながら全員にこの様な配合になることを良くみて勉強していつてもらいたいと強く指示されていたようです。(通訳を通しての会話なのでこのような感じだった。)



## 技術員研修の実施（講演、質疑応答）

試験員研修とは別に技術員研修も行った。

局長の指示でナンザドルジュ道路部長と打ち合わせた。

舗装の歴史および舗装技術の変遷と現在の技術を柱にして、AASHTO、等値換算係数、マーシャル安定度試験法、SHRP-Superpave・容積配合設計法などについてやさしく解説することとした。これだけの内容を話せば膨大なものになるが、ほんの表紙だけ話し流したというものである。（講演詳細は割愛する。）

モンゴルの舗装技術の歴史は、ロシアの技術がベースとなっている。そこに JICA（国際協力機構：Japan International Cooperation Agency）が ODA（政府開発援助）としてモンゴルに援助してきた資金に付加されている技術指針は日本の舗装要綱の英訳である。その原典は米国の技術であり、今モンゴルではロシアの技術と米国の技術が入り混じって重なり合っているように感じられた。それは、路盤構造設計にはプーシネスク（ロシアの世界的に有名な応用力学）の弾性理論が基礎にあり、そこに CBR 設計法が ODA をとおして入ってきたと云う訳である。

また、AASHTO の等値換算係数の概念がまだ十分理解されていないように感じた。たとえば、Base Course は 15cm 厚と設計され、これが一定で決まったものとなっている例に代表される。

アスファルト混合物については ODA としての支援を受けてきた当初からマーシャル安定度試験が導入されており、アスコンの粒度範囲も日本の舗装要綱の規格を準用している。

参加者はセントラルラボ、リサーチセンター、道路運輸観光省などから、また、モンゴル科学技術大学の教授、学生など初日は計 36 名であったが、最終の講習終了証書の発行は 50 名となっていた。（終了証書にサイン）



今回の研修で試験員研修も含め、ここでアスファルト混合物（以下、アスコンとする）の配合設計についてどうしても述べておきたいことがあった。

それは 2004 年 4 月（3 年前）JOC の要請により Second Road Project（本工事はナライハ〜チョイル間、道路延長約 200 km、アスコン約 15 万トン）の新設幹線道路舗装工事の表層アスコン配合設計で 1 週間モンゴルに来たことです。この度モンゴルに来てすぐにこ

の舗装を見ました。表層アスコンは流動現象もなく非常に素晴らしい舗装であった。工事の施工管理は JOC ですが、施工は中国業者であった。

表層アスコンの配合設計を行って帰国したが、施工が始まってから一日 2 回（午前、午後）アスコンのサンプル採取、抽出ふるい分け試験を行ってそのデータをメール送信により管理しました。施工は非常に順調に進んで、データも予定していた設計範囲に収まっておりほぼ満足なものであった。このような話をしました。

この度モンゴルに来てバーサンフー局長との会話でこのことを申し上げたら、局長も驚いており、こんなことができるならこれをわが国の技術者に教えてもらいたいものだというので今回の研修になったのであります。施工が中国業者であったので、中国は良い舗装を知っているかと思っていましたが、今回この話ができ良かったと思っています。そのように思われていたのでは悔しい思いでありますので。

ここで、この配合について少し付け加えておきます。表層アスコン施工前に試験施工を行っているので、その配合の骨材配合率を少し変えただけで基本的に特別なことを行った訳ではありません。碎石 Cr20-10 を減らして Cr10-5 に置き換えただけであり、その他何も変わったことは行っていません。アスファルト量も 5.5% で同じであり、石粉も 3.0% で同じとしています。このような話もしました。

言ってしまうとこれだけのことなのですが、この背景には理論武装した根拠があるので。それは容積配合設計法と称するものであります。後段でその考え方の一部を述べます。アスコンは解り難い混合物と称されていますが、理論的に説明できることが証明されたことになるのです。という話もしました。

### 研修で行った講義内容（一部の記述）

講義内容は舗装工学全般の表紙部分を述べたようなもので、舗装の歴史的発展の解説からその推移と現在および今後の発展性について概観したものです。そのような話から、モンゴルに於いては路盤構築には問題が少ないと思われるので、当然、表層アスコン、特にアスコンの流動現象対策の話に焦点を絞った話になりました。

### 容積配合設計法

セメントコンクリートの配合は昔から現在でも「容積配合設計法」です。コンクリートは碎石や砂を混合し、そこにセメントを混ぜ、水を加えて練ります。そこでセメントと水が化学反応して固まります。

これを分解して考えてみると、碎石と砂を混合した混合骨材のすき間（間隙という）の中に、セメントと水が入った（これをセメントモルタルという）状態になります。

混合骨材（合成骨材ともいう）の間隙の中にセメントモルタルが入った状態になります。このことは、合成骨材の間隙を小さくすれば、セメントモルタルが少なくても済みます。即ち、間隙を小さくできればセメント使用量を少なくして同強度が得られます。

セメントコンクリートでは合成骨材の間隙を小さくする研究が昔から全世界で盛んに行

われてきました。骨材間隙を全容積で除したものを「骨材間隙率」といいますが、コンクリート材料研究者はこの間隙率の研究に今でも努力しているのです。

一方、アスコンを配合設計する際に、碎石や砂、石粉などの量は重量計で測って混合量を決めます。これを「重量配合設計」といいますが、アスコン配合はこの方法になっています。今ここで、アスコン配合を「容積配合設計」で考えてみましょう。

### 骨材間隙率 (VMA : Voids in Mineral Aggregate)

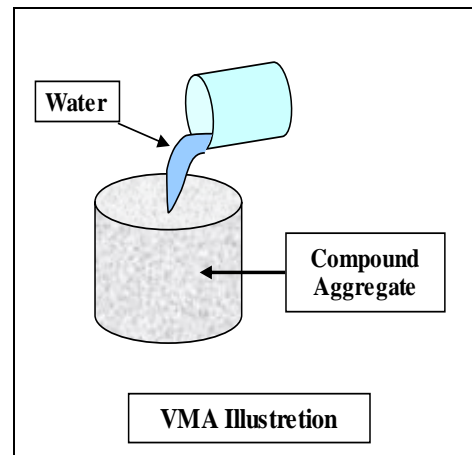
右図は骨材間隙率 (VMA) の説明図です。

合成骨材 (Compound Aggregate) を容器に入れ、そこに水 (Water) を注ぎます。水ですから水は骨材間隙の中の空気の全部と入れ替わります。

入った水の量を  $v$  (容積) とし、容器の容積を  $V$  とすると骨材間隙率:  $VMA = v / V \times 100 (\%)$  と計算されます。

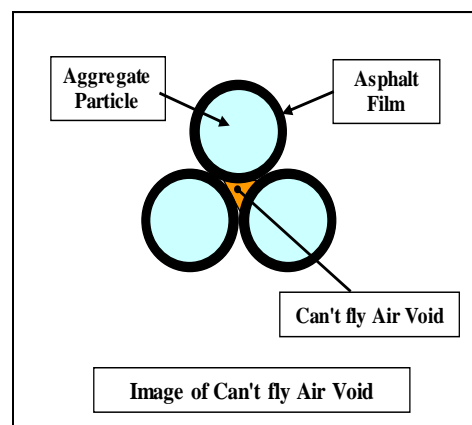
この VMA の大きさは碎石 Cr20-10 または Cr10-5 の単体だけの場合は約 35% 程度ですが、両者を半々 (50% : 50%) に混合すると VMA が減少しますが、どの程度の大きさになるのかは解りません。ここでは多分 25% 程度になるものと想定しておきましょう。さらにこれに Cr5-0 と砂を加えて、Cr20-10、Cr10-5、Cr5-0、砂の 4 種類を同量程度混合 (各、25% 程度) したとすると、VMA は相当小さくなるものと思われませんがこの大きさはどうなるのでしょうか。

アスコンの配合はこれら骨材を混合して、その合成粒度が所定の粒度範囲に収まるよう混合比率を決めますが、その VMA の大きさは解らなかつたのです。(今までは)



### アスコン配合と空隙率 (Air Void)

アスコン配合は前項 VMA の項で述べた合成骨材にアスファルト (以下、As とする) を混合したものです。通常、アスコンはアスファルトプラントで製造します。骨材をドライヤーで加熱し、加熱アスファルトを加えてミキサーで練ります。これでアスコンが出来上がります。このアスコンの品質の調査はサンプルを採取し、マーシャルランマで締固めて供試体を作成します。この供試体からアスコン品質を調べますが、ここで重要な項目は空隙率なのです。アスコンの空隙率には 2 種類あって、それは連続空隙と独立空隙です。



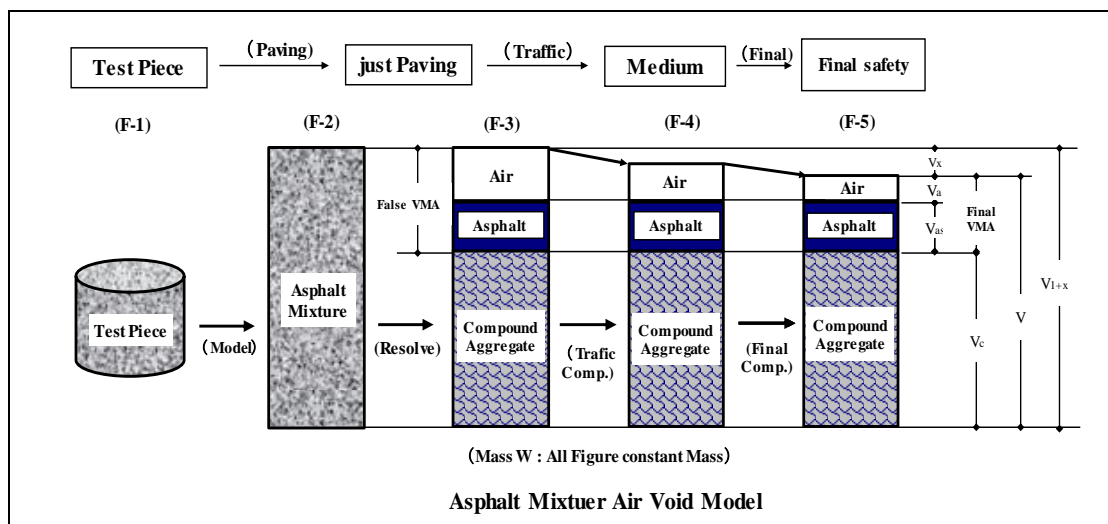
連続空隙は連続した空隙で外気と繋がっています。ですから締固めの程度によって変化します。

独立空隙は右図に示したとおり外気から遮断されて独立しており、如何なる締固めを行っても排除することはできません。この大きさは正確には解らないのですが、流動現象の起きた舗装からコア採取した空隙率が 1.5~2.0% 程度であるので、安全側に考えて 2.5%

と定めておきます。

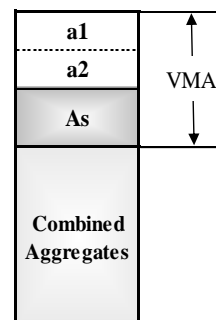
ここで見方を変えて考えると、アスコンの As 量を 5.5% に設定したとします。ここで、排除することができない独立空隙が 2.5% 存在していたとすると、このアスコンの As 量は  $5.5 + 2.5 = 8.0\%$  となり、見掛け上は非常に多量の As 量と想定されます。

ここで、アスコンの空隙率について、「空隙率変化モデル」を示します。



この「空隙率変化モデル」はアスコンを合成骨材、アスファルトおよび空隙に分解して図式化したものです。図 F-2 のアスコンが舗設 (Paving) され交通転圧 (Traffic) を受けて最終状態 (Final) になる過程を示しています。

ここで、アスコンを柱状に分解し空隙、As、合成骨材の量を右図に示し下記のように記号化する。(いずれも容積)  
 連続空隙： a1 (締固め程度で変化する)  
 独立空隙： a2 (2.5% に決めている)  
 アスファルト： As (設計 As 量：設定値、容積)  
 骨材間隙率： VMA (合成骨材の骨材間隙率)



上記設定により次式が成立する。

$$VMA = (a1 + a2) + As \quad \text{----- (1)}$$

$$a1 = VMA - (As + a2) \quad \text{----- (2)}$$

空隙率変化モデルの図 F-3 が舗設後、交通転圧を受けて図 F-4 から図 F-5 に変化する過程は、連続空隙 a1 が縮小するだけでその他 As および a2 は変化しません。

ここで a1 がプラス(+)と計算されている間は問題ないのですが、マイナス(-)と計算されると、これをどのように解釈するかの問題が生じます。a1 は空隙ですからマイナス空隙という状態は考えられません。

a1 がマイナスになることは式 (2) より、VMA の大きさより (As+a2) が大きくなることです。このことは、As 量と独立空隙 a2 を加算した容積が VMA の中に収まらない (入り



切れない) ということです。この容積を収容するため合成骨材の間隙が大きくならなければならない、そのため合成骨材の外見上の大きさが膨張する(膨らむ)こととなります。この膨張により骨材間の接触力が弱くなって交通荷重により骨材接触点でズレが生じ、アスコンの流動現象に繋がって行くという訳です。

アスコンの流動現象が以上述べたような各要素の大小関係で説明できることは理解できたとして、この VMA の大きさはどのようにして求めるのでしょうか?——

答は、「骨材間隙率計算方程式」として既に開発されています。ここでは紙面の都合もあり詳細を述べることは割愛します。非常に難解な数学の問題でもあり、同時に開発した計算プログラムとの関連もあり末尾に参考資料として紹介しておきます。

長々と述べてきましたが、現在、モンゴルに於けるアスファルト舗装の在り方の焦点は、アスコン配合設計の流動現象対策に絞られています。路盤については現在でも不具合の発生はなく今まで通りで問題ないと考えます。

今まで述べてきましたが、合成骨材の骨材間隙率(VMA)の大きさが解れば、流動現象の起きないアスコンを造ることができる。これが結論です。

## 表層アスコン配合設計ガイドライン

モンゴルで現在用いている骨材としての砕石や砂などについて、3年前に経験した Second Road Project の配合設計を参考にして、この度、試験員研修で用いた砕石や砂などの品質(密度、粒度など)がほぼ同じようなものであったこともあり、モンゴルに於ける「表層アスコン配合設計ガイドライン」を以下のように提案し、この度の試験員研修および技術員研修の結論としました。(以上述べてきた配合設計の理論展開を考慮したものであります。)

### 1) Cr20-10 の使用について

砕石 Cr20-10 の混合量は 10% 以下に抑えたい。今迄の配合設計書を見てみると概ね 20% 以上となっているが、これでは VMA が小さく流動現象は避けられない。

追記：合成粒度の 2.36mm 通過率については、砕石 Cr20-10 と Cr10-5 を加算した量と細粒材の量によって決まるが、2.36mm 通過率は中央値 42.5% を目標にすること。今迄の配合設計書では 42.5% を目標としているようであるがそのようにはなっていない。さらに粗い配合となっています。粗い配合が良いと考えているようであるが、それは逆であり細かい配合が良いのです。

### 2) 細粒材の使用について

細粒材は砕石 Cr5-0 と砂の 2 種類でありこれを半々程度使用することを目標とする。合成粒度の 2.36mm 通過率は砕石使用量との関係で決まるが、2.36mm 通過率の中央値 42.5% を目標にすること。今迄の配合設計書では少な目で粗い配合となっている。

追記：砂については川砂を使用すること。本来、砂の粒度は VMA の大小にかなり影響するものであり粗目砂が良いが、砂が豊富に存在するモンゴルでは砂を特定することは無理なようである。但し、粗目砂が安全配合であることを付け加えておく。

### 3) Filler 混合量について

Filler 混合量は 3%とする。Filler 量は VMA の大小に大きく影響するが、現在まで行われてきた配合設計書を見ると Filler 混合量は 5%以上 7%になっているものもあった。マーシャル安定度はフィラービチューメン量が多ければ高安定度となり、1500kgf も出ているものもあった。これは流動現象の原因と深く関係している。安定度の規格は 600kgf 以上であるから 3%でも容易にクリアーできるが、安定度にこだわると流動現象は避けられない。

以上、3項目をモンゴルに於ける「アスコン配合設計」のガイドラインとして提案することとした。その後の状況については、JOC が別の工事の施工管理を担当しており、そこで実施した結果は良好であったと聞いている。

### あとがき

この度のモンゴル技術支援は「ソフトコンポーネント」と称するもので、ウランバートルから東部方面を結ぶ幹線道路の維持・修繕計画の策定であった。事前の道路調査でモンゴルの舗装は流動現象対策が最大の課題であり、路盤工には問題が少ないと判断した。そこで、この流動対策に焦点を当てることになったのである。

建設局長の提案により技術員研修を行ったが、受講者全員が真剣に聴講していたように思う。これは、Second Road が非常に良い舗装であることを知っており、その配合設計者が講演することで、その方法を知りたいということであったと思います。司会者からもこの様な意味合いの紹介がありました。

局長も当初は中国業者が施工した舗装は非常に良く、と云っていましたが、この研修により考え直して頂いたように思います。

この度のモンゴルへの技術支援は第 1 回目を含めて非常に有意義な支援であり、私としても良い経験を頂いたこと、たいへん感謝している次第であります。

以上

### 参考文献

郡司保雄，井上武美，赤木寛一：骨材粒度に基づく加熱アスファルト混合物の骨材間隙率推定法に関する研究，土木学会論文集，No.648/V-47，191-202，2000.5.]