

モンゴル・ウランバートルの体験（前半）

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・ウランバートルへ出張した体験を述べてみたい。

モンゴルへの技術支援は2回ありました。2回目は3年後でしたが、当初から決まっていたわけではありません。たまたま一度経験しているの、そのようなめぐり合わせになったものと思われま。ここで第1回目の話から述べてみたいと思います。

大学時代の同級生（野見山氏）がまだ JOC に在籍しており、彼からの依頼でありました。2004年3月（平成16年）のある日、突然、連絡がありモンゴルに行ってくれないかとのことでした。小生は既に現役を引退し自由な身であり、私で良ければいいですよと軽く返事をしました。———実はそれからの準備が予想以上にたいへんだったと今でも思い出します。（BIODATA の作成、パスポートおよびビザの取得、ADB（アジア開発銀行 : Asia Development Bank）への申請許可など、JOC の方にもたいへんお世話頂きました。）

事前の聞き取り調査

出発は何時になるか未定でしたがあまり時間が無いようでした。JOC 現地責任者であった佐藤氏（故人）が一時帰国して詳細を打ち合わせるので出席して下さいとの連絡がありました。お会いして現地の概要を伺いました。その内容は以下のようなものでした。

- （1） この工事は ADB の資金援助によるもので、施工管理を JOC が受注し、施工は国際入札で中国業者が受注しています。中国業者と云ってもほとんどが役所（日本の国交省に相当）の人であるようです。
- （2） 施工場所はモンゴル・ウランバートルから中国・北京を結ぶ幹線道路新設工事（Second Road Project と称します。）のモンゴル工区（ナライハからチョイルまで）延長 200km です。
- （3） 現在、3年前から橋梁、土工・路盤工事を施工し、全線ではほぼ完了に近づくまで進んでいます。
- （4） 今春から表層舗装工事を始める予定です。アスファルトプラントは3ヶ所設置する予定であり、ウランバートル側の1基が出来ており、試験舗装延長約 500m（500×6＝3000 m²）を昨年末に実施しました。
- （5） この試験舗装だがどうもあまり良くないのです。そこで日本から専門家に来てもらって指導してもらったらどうだろうか、との話が施工打ち合わせで出たとのこと。その後聞いたのだが、モンゴル政府幹部のオユンチメグ女史（その後 ADB 幹部として赴任したとのこと）という監督責任者が提案したとのこと。
- （6） 試験舗装はどのような状態だったのかとの質問に対し———
合材をフィニッシャーで敷き均し、ローラ転圧する際に、鉄輪ローラでは合材がズ

レテ（移動して）仕上がらないので、タイヤローラで仕上げたとのことである。このような舗装では、交通開放後に流動現象してしまうとの話になったとのことである。

- (7) 話は更に続けて、モンゴルの舗装は総てと云ってもよく、流動現象で苦しんでいるとのことであった。前回のプロジェクト（これとは別な路線）では全線で流動現象が起きほんとうに困っているとのことである。
- (8) 現在既に製造を続けている砕石（約 50,000 トン）が悪いのではないかとの問題も出ているとの話もあった。砕石の規格について勉強しなければならないと考えているとの話までしていた。

以上が佐藤氏の説明内容であった。この困っているモンゴルの現況は充分理解できた。わが国でも以前から場所により、これと似たような現象は起きており、繰り返されてきた経緯があり、私も経験してきたのでよく理解できた。しかし、この種の問題は現場を視ないとさらに詳細は解らないものであることは当然である。

出発に先立ち考える

モンゴルへのお出発は4月10日から1週間と決まり早速準備にとりかかった。その準備とは、どうしたらモンゴルの問題を解決できるかであり、ここで、中央道工事の成功が生かされると考え改めて整理し準備を進めた。

中央道工事の成功とは、「長期供用性良好な舗装」として日本道路公団（現 NEXCO）総裁から感謝状が贈られた工事です。同断面の隣接工区が交通開放後 25 年間に流動現象で 6 回の切削オーバーレイ修繕工事を行っていたことを踏まえてであります。その理由については別途報告があるのでそちらをご覧ください。ここでは VMA（骨材間隙率）を大きくするよう努力した施工であったことだけは確かな事実なので強調して述べておく。

追記：中央道工事については本ホームページに「AD can システム開発経緯」として前段のブログで述べているので是非ご覧ください。

中央道の経験から、アスコンの合成骨材粒度から VMA を求める計算方程式の開発を進めてきた。最後には土木学会論文集に発表できるまでになった。掲載までに 6 年の歳月を要した。その時、実験値と計算値の整合性を確認するため、エクセルシートに計算式を組み込んで、一応、VMA が計算できる「VMA 計算シート」ができていた。（後段で述べるが、この計算シートが威力を発揮することになるのである。）

その時の「VMA 計算シート」を原点として、現在では「AD can システム」となって安全なアスコン配合設計が出来るシステムとして完成している。しかし、その時点では設計したアスコンの合成骨材の粒度を計算シートに入力すれば、VMA が計算できるという初歩的なシートだった。この計算シートは計算式と実験値の整合性を検証するために使用したものであるが、VMA は正しく計算できていた。それを再度見直し再検証し、モンゴルに持参することにした。

モンゴル空港に到着

2004年4月10日（平成16年）夕刻、モンゴル・ウランバートル空港に到着。市内のレストランで食事後現場近くの宿舎に到着した。途中、小高い丘の上で車を止め夜空を眺めた。まわりは真っ暗だった。明かりは無かった。夜空はまさに「星が降る」とはこのことで感動した。北斗七星がひとときわ輝いていた。明日から本番だとの思いで就寝。初日が過ぎた。あと6日しかない。



技術支援開始

早速、現場で施工関係者の会議（施工委員会のような）が開かれ打ち合わせが行われた。短い期間なので効率良く進めなければならない。以下、基礎調査から始めることとする。

注意事項：

打ち合わせ時における説明として、まず、運転手付きの連絡車は準備する。調査現場までは遠距離であり、砂漠の中の道なき道のようなところに行くので時間がかかる。何回も行けないとのことである。また、日帰りで第三プラント予定地までは行けないのでサンプル資料は届けてもらう。



資材調査（アスファルト、砕石、砂、石粉）

1) アスファルト（以下、Asとする）

ロシア産 As でロシア語の製品保証書があったが詳細は分からなかった。しかし、針入度と伸度だけは確認できた。現物を見たが通常と変わらないものであり、使用には問題ないと判断した。ロシアの黒海近くの油田から起動輸送されるとのこと。これ以上のコメントは差し控える。



2) 砕石

ウランバートルから約 50km 地点に第2プラント予定地があり、そこに砕石生産基地があった。プラントはまだ無く、プラントのコンクリート基礎は出来ていた。既に砕石生産は進んでおり、広大な砂漠の原野の中に砕石の山（丘という感じ）があった。大規模に展開していた。

砕石製造プラントはジョークラッシャー、ジャイレトリクラッシャー、トロンメル（フルイ）という組み合わせであった。近くの原石山（あまり高くない丘山という感じ）から運ばれた原石がショベルローダでジョウクラッシャーに投入されていた。

この製造は日本の昔の光景と似たような感じであった。

碎石生産は3種類（Cr20-10、Cr10-5、Cr5-0：品質は末尾に掲載）に分級されていた。製造量の碎石山はほぼ同量のように思われたが、Cr20-10が多少多いようにも感じた。

この碎石については事前に問題があるのではないかとの噂が流れていたようである。噂とは粒形（扁平、細長比）のことであったが、見た範囲においては全く問題ないと感じたので「この碎石は問題ありません。」と言ったらその後話題にはならなかった。（単なる噂話であったようだ。）

以下は余談であるが――

碎石生産設備にトロンメルを使用しているの、その付近には白い石の粉が3cm程積もっていた。石質は石灰岩系のように感じた。また、同所に路盤用ミキシングプラントが設置されておりCr20-10を使用していると思われた。碎石生産量の残量の関係が理解できた。本来Cr20-10がもっと多い筈であると思ったからである。これら碎石サンプルを採取して持ち帰る。

3) 砂

まわりが砂漠なので砂は豊富にあった。その辺にある砂漠の砂がアスコンに使えるか？――使えないことはないでしょうと答えた。（調べてはいません。）

しかし、良い砂は川砂と云われている。砂漠の大平原であるが起伏があり、その起伏の低いところはその昔川であったと考えられるのではないか？――まさにそのとおりでそこを掘ると良い川砂があるのです。

この現場でも近くの少し低いところに案内して頂いた。見たところ良さそうな川砂であるように思われた。塊状のものがあつたが少し衝撃を与えると崩れるので問題はなさそうである。サンプルを採取して持ち帰る。

4) 石粉

当初石粉があるか、有ってもどのようなものか心配していた。実物を見てその心配は無くなった。粒度も全く問題ないものであつた。

いよいよ配合設計にとりかからなければならないが、まだ確認しなければならないことがあつた。次のような事項である。

試験室の確認

中国の業者が設置している試験室（現場宿舍の近くに一室が設けられていた）を確認した。結果はほぼ満足なものであつた。試験員も中国の技術者が中心におり、英語の試験用語は理解できるようであつた。あと現地採用らしき試験員が3名いた。日本の合材工場の試験室と比べて見劣りするものではなかつた。

プラント基地から採取してきた碎石サンプルのふるい分け試験をお願いした。

砂のサンプルは500ml ビーカー3本にサンプルを入れ、水を満たして振りドロ分を確認する方法をお願いした。翌日までに総て済ませることを約束する。

良い舗装と悪い舗装の例を視察

ウランバートルの周辺で「これはよく出来ている舗装」と「これは悪い舗装」であるという舗装の現場を見せてもらえないかを現場責任者の佐藤氏にお願いした。少々考えてから、何方かに相談したらしく案内して頂くことになった。

市内を車で走ってそれら現場に行く途中感じた印象は良い舗装はあまり無いように感じた。コンクリート舗装もあったが凍上破壊が起きているように見えた。アスファルト舗装が多いがほとんど流動破壊が起きているようであった。極度に悪い路線がありその流動破壊は延長も長くひどいものだった。日本の道路の基本設計は車線主義のため流動破壊はわだち掘れだが、ここでの流動破壊は波打ち破壊（コルゲーション）であり車が走れないほどひどいところもあった。

これは市内で良い舗装と云われています。と云う場所に来た。確かに良い舗装であった。流動現象は起きていなかった。表面は密に仕上がっており、アスコン合成粒度の 2.35mm 通過率で密粒度アスコンの中央粒度程度であるように感じた。

これら視察の結果から、密な配合が良い結果であるように感じた。この視察は非常に参考になったと思っている。

試験室にお願いした骨材サンプルの試験データも出そろった。事前調査で確認したいことはこれで良いとした。いよいよ配合設計の検討に入る。

提案配合の検討

早速、試験舗装を行った配合設定書の配合表を用い、持参したパソコンに入力してある VMA 計算シートに、各骨材の粒度、密度を入力し、それらの混合比率と As 量を入力した。その結果、VMA=14.7%、As 量を考慮した空隙率=1.9%と計算された。アスコンの残留空隙率 D を安全側に D=2.5%と暫定的に考えてみると $2.5 - 1.9 = 0.6\%$ 、即ち、VMA が 0.6% 不足していることになる。この配合では流動現象は避けられないと判断したのである。

追記：配合検討をするに際し考え方を再度整理する。

VMA の容積の中に As 量を入れて、As 量が VMA の中に入り切れない場合、流動現象が起きるアスコンであることは以前から常識として理解されていた。それはアスコン骨材がマカダム工法のような骨材の骨格構造が形成できないからである。アスコンでは必ず残留空隙 D があるので、As 量に D を加算した T ($T = As + D$) が VMA より小さい必要があった。この D の大きさだが、ここでは暫定的に D=2.5%と考えることにした。これらを整理すると、VMA の大きさが、As 量（容積）に 2.5%を加算した容積より大きければ良いと決めたのである。

このような考え方もその時まで十分に検討されたものでなく、その場の思い付きのようなものであった。これは、中央道など過去の経験からこの考え方で間違いないと考えたのである。尚、流動現象の起きた舗装からコアボーリング採取した供試体の空隙率は 2%程度であることも解っていた。

この土壇場でこのように考えて実行することは、かなりの勇気と決断が必要であったが、内心、これで良いと自信をもって決断したのであった。

持参したパソコンの計算シートにデータを入力しながら、思考錯誤を繰り返しているうちに、一つの現象があることを発見した。それは、Cr20-10を減らすとVMAが大きくなることだった。即ち、Cr20-10を減らしてその分をCr10-5に置き換えることであった。これがこの度の技術支援の最終的な結論となるのだが、それにしても、あまりにも単純な結末に驚きとあっけなさを感じた。これが結論だったのである。

方針は決まった。安全でさらにより良い粒度の配合になるよう検討を重ねた。若干気なる点があった。それは粒度の12.7mm部分が上限90%から若干外れる点であった。しかし、安全を優先する観点から無視することとした。(日本の密粒度(20)の規格の13.2mm通過率の上限規格は100%であった。ODAを通して日本の舗装要綱の規格を準用した筈だが少し異なっていたのである。)

提案配合の決定

以上、検討の結果をまとめて最終配合としたものを表-1に示す。

表-1 試験配合と提案配合の違い

項目	単位	配合		差	参考
		試験配合	提案配合		
Cr20-20	%	26	10	▲ 16	
Cr10-5	%	24	40	16	上下16%入れ替え
Cr5-0	%	33	27	▲ 6	
Sand	%	14	20	6	上下6%入れ替え
Filler	%	3	3	0	
Asphalt	%	5.5	5.5	0	
VMA	%	14.7	16.7	2.0	
計算飽和度	%	87.3	76.8	▲ 10.5	
計算空隙率	%	1.9	3.9	2.0	ポイント: この差

上記、表-1 から事前の試験配合と提案配合の根本的違いは碎石 Cr20-10 を 16%減じ Cr10-5 を 16%増量したことである。このことにより、計算空隙率が 1.9%から 3.9%と 2.0%も大きくなったのである。これで流動現象は起きないと判断した。尚、Cr5-0 と Sand の 6%の交換は生産量の関係であり計算空隙率には大きく影響しなかった。これら計算結果と粒度グラフを末尾に示しておく。

試験練りおよび試験施工

提案配合の試験練りおよび試験施工を実施した。試験練りは前年度に 500m の試験舗装を実施した第一プラントで行った。

プラントは中国製の最新のもので新品であった。日本で当時使用されているプラントと比べて外見上は見劣りするものでないと感じた。ミキサーは 1.5 ton/batch (100 トンプラント)、コンピュータ制御操作盤も見た目は良く、バグフィルターも装備されていたが、バグは入って無かった。

3 バッチ程練ってサンプルを採取した。見た目ではほぼ満足のものとして判断された。抽出試験の結果では粒度、As 量などは予定した範囲にあった。

翌日、試験施工を実施した。合材 20ton を敷き均しローラ転圧を行った。その結果は鉄輪ローラでも転圧時の収まりも良くほぼ満足できるものであった。

以上にてこの度の一連の配合設定作業は終了した。時間が無いので最終報告書は帰国してから一週間以内にまとめメールで報告する予定とした。

帰国後の施工管理確認

実施施工は5月からの予定とのことなので、施工を始めたら、合材のサンプル採取一日2回（午前、午後）抽出ふるい分け試験を行い、メール報告をお願いした。報告内容の書式も定めた。

施工を始めてから、この件に関しては確実に実行して頂きほぼ満足な結果であった。10日後、製造が安定状態に入ったと判断したので中止しても良いと連絡したが、現地では一日1回は続けた方が良いとアドバイスした。その後も順調に施工が進んでいる様子をメール受信していた。

施工に際し坂路部の施工方法、その他何回かの質問があり、その都度メールで回答を返信したが、これは本題から外れるので記述は差し控える。

あとがき

長々と述べてきた。モンゴルに於ける幹線道路舗装工事の全容を述べることはできないが、その舗装工事の概観は見えたとはいえますがどうでしょうか。それにしても一週間と短い期間に結論をださなければならないこの種の技術支援には問題があるのではないかと思った。過去に於いて実証された技術を持参しての支援であれば問題ないが、そのような技術支援ではなかったからである。例えば、このような場合はこう対処すれば良いのだ、という結論が出ているものではなかったからである。そのようなものであれば勉強してのぞめば良いだけのことである。

今回の場合、中央道工事の事例を述べたが、土壇場で泥縄式に出した結論は、ただ、碎石 Cr20-10 を Cr10-5 に 16%分を交換するだけのものであった。それ以外のことは何もしな
かたことになります。この対処方法の結末は3年後に確認できるのだが、素晴らしい舗装
が出来ていたことは誠に幸運の一語に尽きるものであった。

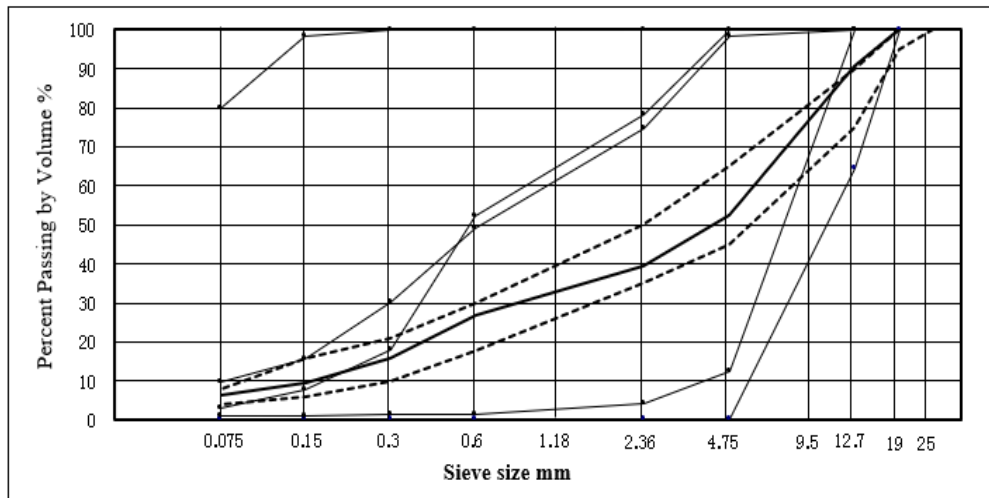
ただこれだけのことですが、見方を変えればこれが「技術」というものなのかもしれません。また、「骨材間隙率計算方程式」を組み込んだ「計算シート」が無ければこのような結論は出せなかった訳で、改めてこの「計算シート」のすごさ、有効性、素晴らしさを感じた次第であります。

（前半終り 後半続きあり）

Mix name	Test Pavement Mixture									Repoter		
Grading	Mixture Proportion									Grading		
Sesh	Cr20-10	Cr10-5	Cr5-0	Sand	Filler						Mass	Volume
25.000												
19.000	100.0										100.0	100.0
12.700	64.6	100.0	100.0	100.0							90.8	90.8
9.500												
4.750	0.4	12.4	98.3	99.8							52.5	52.5
2.360	0.3	4.1	74.6	78.2	100.0						39.6	39.6
1.180												
0.600	0.3	1.5	49.2	52.4	99.9						27.0	27.0
0.300	0.2	1.4	30.4	18.0	99.8						15.9	15.8
0.150	0.2	1.3	15.7	7.7	98.2						9.6	9.4
0.075	0.2	1.2	9.8	3.1	79.9						6.4	6.3
Density	2.614	2.591	2.589	2.595	2.738						2.601	
Mass %	26.0	24.0	33.0	14.0	3.0						100.0	

Mixed Aggregat	Specific Gravity	2.601
	Representative Size	2.016
	Aggregate Volume %	85.30
	Calculated Void Ratio	0.172
	Calculated VMA %	14.7

Asphalt Mixture	Bitumen Spec. Gravity	1.029
	Bitumen Content (A) %	5.50
	Bitumen Content (B) %	5.82
	Theoretical Density	2.399
	Maximum Density	2.355
	Bitumen Volume %	12.8
	Voids Filled with Bitu. %	87.3
	Calculated Air Void %	1.9



Mix name	Proposal Mixture								Repoter		
Grading	Mixture Proportion								Grading		
Sesh	Cr20-10	Cr10-5	Cr5-0	Sand	Filler					Mass	Volume
25.000											
19.000	100.0									100.0	100.0
12.700	64.6	100.0	100.0	100.0						96.5	96.5
9.500											
4.750	0.4	12.4	98.3	99.8						54.5	54.5
2.360	0.3	4.1	74.6	78.2	100.0					40.5	40.4
1.180											
0.600	0.3	1.5	49.2	52.4	99.9					27.4	27.3
0.300	0.2	1.4	30.4	18.0	99.8					15.4	15.3
0.150	0.2	1.3	15.7	7.7	98.2					9.3	9.1
0.075	0.2	1.2	9.8	3.1	79.9					6.2	6.1
Density	2.614	2.591	2.589	2.595	2.738					2.598	
Mass %	10.0	40.0	27.0	20.0	3.0					100.0	

Mixed Aggregat	Specific Gravity	2.598
	Representative Size	1.905
	Aggregate Volume %	83.32
	Calculated Void Ratio	0.200
	Calculated VMA %	16.7

Asphalt Mixture	Bitumen Spec. Gravity	1.029
	Bitumen Content (A) %	5.50
	Bitumen Content (B) %	5.82
	Theoretical Density	2.397
	Maximum Density	2.304
	Bitumen Volume %	12.8
	Voids Filled with Bitu. %	76.8
	Calculated Air Void %	3.9

