

# 欧州の道路工事視察報告

技術本部 技術推進部 脇本 優

概要:2003年11月8日より21日まで14日間、欧州における環境に配慮した地域づくりと道路整備、都市・地域の再生のための道路整備、都市圏の交通円滑化対策などの調査を目的とした「第39回日本道路協会海外調査団」総員20名の一員としてオランダ、スイス、スペイン、フランスの4ヶ国の道路事情を視察してきた。ここでは、オランダの試験舗装施工現場、フランスの高架橋工事現場の概要を説明する。

**Key Words:** プレハブ式舗装、超低騒音舗装、8径間鋼斜張橋、世界一高い橋

## 1. オランダの試験舗装施工現場

### (1) 試験舗装の概要

オランダでは、未来(2030年)における新しい道路の構築を目的とした革新的プロジェクト「未来の道路」(Roads to the Future)を1996年に開始している。この革新的プロジェクトでは4つのテーマが取り扱われ、その中の1つである「未来の道路舗装」(Road Surface of the Future)は3つのパイロット事業で構成されている。そのうちの1つが「プレハブ式道路舗装」(Modular Road Surface)であり、舗装のプレハブ化による品質向上と施工の迅速化、および排水性舗装以上の騒音低減効果を目的としている。

このプレハブ式道路舗装の基本的な提案条件を表-1に、主要な要求性能を表-2に示す。



写真-1 ロール舗装巻取機

表-1 工法提案条件

表層機能を他の層と分離できる工法	工場生産できる工法
より低騒音効果の高い工法	品質保証が改善された工法
プレハブ生産できる工法	舗装上空間を利用できる工法

表-2 主要な要求性能

2000年9月に実施された設計コンペに応募した20案の中から、学識経験者などで構成された審査委員会によって4工法が選ばれ試験施工することが決定された。現在オランダ東部に向かって走るA50高速道路のサービスエリアの入出道路で耐久性試験が行われており、その現場を視察してきたので報告する。(写真-1参照)

特性	基準値
施工速度	100m / 時間以上 (現在よりも30%アップ)
騒音低減効果	密流度アスコンよりも5dB(A)以上の改善
透水量	ポーラスアスファルトと同程度
他の機能	センサー機能、発電機能など



脇本 優

## (2) 各工法の概要

### a) 超低騒音パネル舗装 (The Very Silent Noise Module)

この工法は、超低騒音を目的とした大型パネル機能層をプレハブ支持層に設置する工法である。(図-1 参照)

そしてこの工法の狙いは最大限の騒音低減で、そのために、機能層は表層に超低騒音性薄層透水性アスファルト混合物(ZSA)を使用し基層にヘルムホルツ共鳴器を設置したパネル構造となっている。

ヘルムホルツ共鳴器は、先が細くなった開口部を持つ空気を蓄えた容器である。内部の空気のバネ的性質により開口部近郊の空気が振動し、その摩擦によって音のエネルギーが熱エネルギーに変換され、音の吸収が生じる。この原理より低周波領域を対象とした吸音材料である。また、機能層パネル底面には数カ所の円形の凹部が設置されており、支持層の上面に設置された円形の凸部を付けたコンクリートパネルと重ねるだけで上下パネルを接続する仕組みである。

これらは完全接着しないので水平方向の移動が緩和され、従来のコンクリート舗装で必要であった目地は不要となる。また破損した場合は、機能層パネルのみを取り替えるだけで簡単に維持補修が可能である。

モデル計算によれば、ZSAとヘルムホルツ共鳴器の組み合わせで  $13 \pm 4\text{dB(A)}$  の騒音低減が実現可能であった。しかし、実際は  $5\text{dB(A)}$  しか下がらなかった。

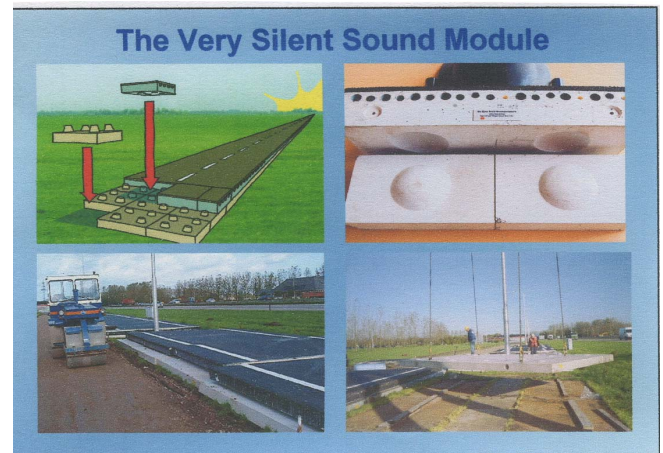


図-1 超低騒音パネル舗装

### b) 超低騒音ロール舗装 (The Rollable Road)

この工法は、道路表層に工場製のロール舗装をカーペットのように敷きならすことで施工の迅速化と低騒音を目指した工法である。(図-2 参照)

ロール状に巻かれた機能層は粒径が  $3 \sim 6\text{mm}$  骨材と柔軟性に富んだアスファルトバインダーから製造され、厚さ  $30\text{mm}$  透水性混合物に仕上げられている。さらに、タックコートとして透水機能を有したアスファルトシートが混合物底面に貼り付けられ、直径約  $2\text{m}$  のロール状で出荷される。

また支持層は高強度コンクリートが用いられ、上部にはヘルムホルツ共鳴器の空洞が設置され、浸透した雨水はこの空洞を伝わって端部に排水される。

施工は、リールに巻かれたロール舗装を特殊な機械で支持層に敷き広げ転圧するだけで可能となり工期の短縮が図れる。さらに路面白線表示もロール製作時に一緒に設置することで養生が不要ですぐに交通開放が可能となる。

騒音低減効果は全体の層構成でおおよそ  $10\text{dB(A)}$  の予定で、快適で長持ちする路面をもたらすはずであったが、実際は  $6\text{dB(A)}$  であった。また、この実験では  $5\text{m}$  の幅で  $50\text{m}$  の長さのロール層を作成し使用してみたが、気候的に対応できなくて壊れてしまった。今、別の場所で耐久性試験中である。

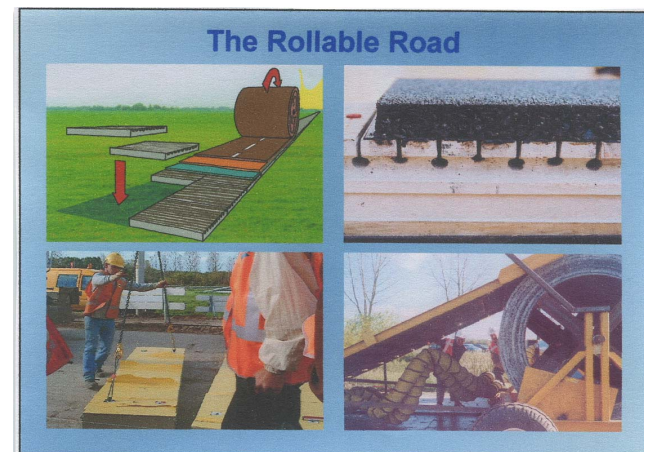


図-2 超低騒音ロール舗装

### c) 多機能パネル舗装 (Modieslab)

この工法は、耐久性が高く維持管理が容易な道路として、沈下を起こさないという概念で設計された工法である。

初期の建設費用は非常に高価であるが、維持費と交通障害によって発生する社会的コストを低減できるため、25年間のライフサイクルコストで見れば相殺されるとのことである。(図-3 参照)

大きな特徴は、支柱となる基礎杭を打ち込み、その上に横断方向に連結梁(横桁)を設置することである。さらにこの連結梁上に低騒音混合物と温度調整のできるコンクリートスラブが一体となった多機能パネル版を載せ、継ぎ合わせる。このため、地盤沈下しやすい場所に適用できるものとなっている。

多機能パネルの最上層には厚さ 15mm のポーラスなアスファルト混合物、第2層には車線に応じて厚さを 35mm から 55mm まで調整できるポーラス層が使用され、大型車が多い走行車線では厚めに、乗用車が多い走行車線では薄くすることで低騒音効果を高める構造である。

この多機能層下部のコンクリートスラブには、配管が内蔵されその端部に熱交換器が接続され温度調節が可能となっている。そして、冬には凍結を防止し夏には高温にならないように調節される。この温度調節をするセンサーは上部舗装と下部スラブの間に浸透した雨水を排出する導水管と共に設置されている。

この多機能スラブは道路全幅 12m を 1 枚でカバーする大きさであるが、道路方向の標準長を 3.5m とすることで、標準的な輸送手段で運搬可能となっている。

#### d) 接着性ロール舗装( The Adhesive Road)

この工法は、ロール状のアスファルト舗装の使用と革新的接着システムで迅速な敷設と撤去が可能な工法である。

この舗装はプレハブ工法の良い例であり、簡単に敷設することができるだけでなく、簡単に交換できることがより重要である。(図-4 参照)

ロール状にした厚さ 30mm のアスファルトマット(機能性混合物)を敷き広げた上に、マイクロ波を照射することで底面の接着シートのみを加熱し軟化させ、ローラで転圧するとアスファルトマットと支持層が接着し、すぐに使用できる状態になる。

ロール状にしたアスファルトマットの標準サイズは厚さ 30mm、幅 3.6m で長さ 50m であるが、現場条件や線形に応じてオーダーメイドも可能である。アスファルトマットの製造方法はベルトコンベアー上にアスファルトモルタルを一定の厚さで流し込んだ後、冷却し内径 1.5m のリールに巻き取る方式で製造される。

また補修時にはアスファルトマット表面にマイクロ波を照射し、接着シートを軟化させて支持層から剥がして専用リールに巻き取ることによって撤去され、工場で再処理される。将来的には、道路の交換速度は毎時 300m に達すると想定され、交通の障害が減少する。そのため、この方法は大規模に用いられる可能性があると考えられる。

高空隙を有するアスファルト混合物はこの試験計画のために開発された。30mm 厚さの層を使用することによって、騒音低減効果は 5db(A) を達成する予定であったが、実際は 6db(A) まで達成した。

この工法は、当初高速道路で使用するために設計された。しかし、この概念が示す多くの利点と自由度は、都市部での施工や、橋面や屋上駐車場などでの施工に適していると考えられる。

### (3) まとめ

オランダでは、我々現場視察者に丁寧に対応、失敗事例も隠すことなく説明してくれた。現状では、何が問題かという質問に対しては、コストの高いのが問題でこれから解決すべき課題の一つであるとの回答であった。

道路の近代化においてヨーロッパのみならず世界のリーダーを目指して、革新的な概念を工夫し、テストしているという奥の深さを感じられた。日本では、30 年先をターゲットとした長期的技術開発が可能か疑問に感じる。

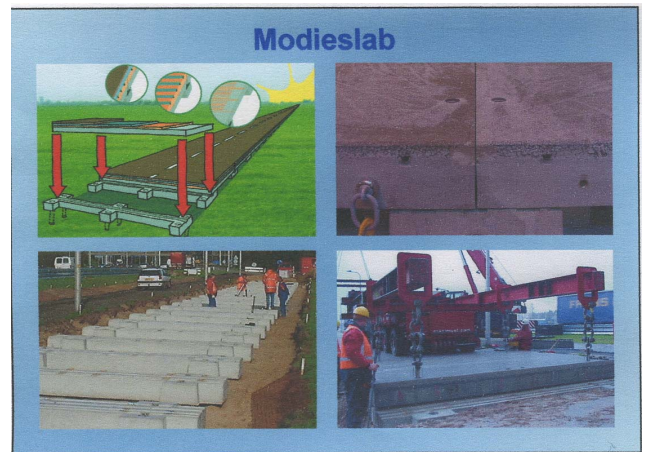


図-3 多機能パネル舗装

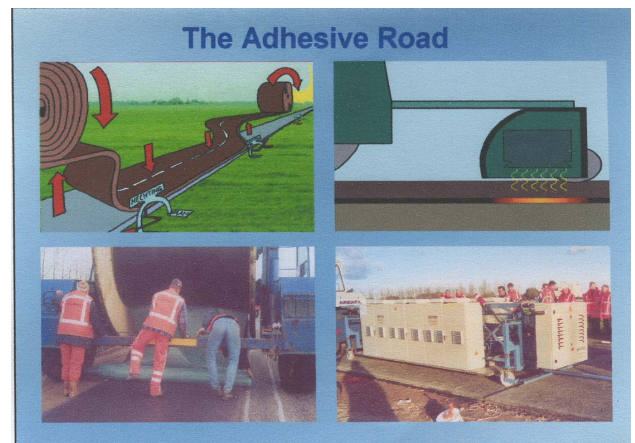


図-4 接着性ロール舗装

## 2. ミヨール高架橋 (Viaduc de Millau )

### (1) 道路建設概要

ヨーロッパではバカンスシーズン(7・8月)が訪れると地中海(南フランス～スペイン)を目指し、各地から車の大移動が始まる。

これによりフランス国内を通過する通称『太陽道路』(高速道路 A6 号線～A7 号線と有料の A9 号線)の渋滞は飽和状態となる。この渋滞の解決策としてフランス中央部を走り地中海地域を結ぶ無料の国営高速道路『A75 号線』が建設されている。クレルモンフェラン(Clermont-Ferrand)からベジエ(Beziers)までの A75 号線が完成すれば、パリ(Paris)～ベジエ間の走行距離が 100km 短く、所要時間が1時間短縮される。(図-5 中南仏高速道図参照)

さらに、通行料金も乗用車で約 2,000 円、トラックで約 5,000 円の節約となり、また渋滞が深刻な A9 号線の交通量の転換も見込まれ、早期完成が望まれていた。

この A75 路線の途中、南フランスの海岸都市モンペリエ(Montpellier)を目前にして標高 800m 級の台地に挟まれタルヌ(Tarn)川を擁するミヨール渓谷が姿を現す。

この道路建設において、この渓谷を迂回するか高架橋にて横断するかの選択が迫られた。迂回路では、起伏の激しい地形で大型車の高速走行には危険が大いに予想され、結局 2.5km を一気に越えていく高架橋案が採用された。

この 2.5km に及び長大高架橋の建設予算には約 410 億円が見込まれたが、財政難のフランス政府の直轄国営事業では進捗にかなりの工事年数が予想された。

そこでフランス政府はこの高架橋に限り民間資金活用による予算調達・建設・運営・維持管理を委託する方式を採用し、2001 年 10 月より 3 年あまりで完成に至る委託内容でフランスのエファージュ社(Compagnie Eiffage)との契約を成立させた。

エファージュ社は、欧州で 5 番目の建設会社でこの建設資金調達可能が受注理由で、この約 410 億円には橋の建設費とその他料金所の建設や観光誘致予算が含まれている。そして、このプロジェクトのために設立された運営子会社 CEVM(Compagnie du Viaduc de Millau)がコンセッション期間 75 年、保証期間 120 年の責任を受け持つこととなっている。

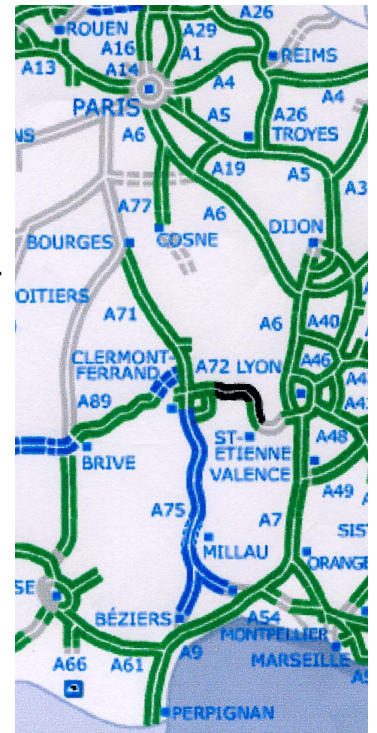


図-5 中南仏高速道路図

### (2) 橋梁計画

最初の橋梁計画では、下記に示すような様々な案が出されたが、最終的にはイギリス人の建築家ノーマンフォスター卿による斜張橋案が採用された。(図-6～図-9 参照)



図-6 連続桁橋 A 案



図-7 アーチ橋案



図-8 連続桁橋 B 案



図-9 斜張橋案

(3) 橋梁概要

- 型 式 : 8 径間連続鋼斜張橋 (主桁は鋼床版箱桁構造)
- 橋 長 : 2,460m
- 支 間 : 204m + 6@342m + 204m
- 幅 員 : 全幅員 32.05m [片側 (2 車線 + 非常走行帯) × 2]
- 橋 脚 高 : 最高 245m (P2 橋脚), 最低 77m (P7 橋脚)
- 主 塔 高 : 87m (鋼製)
- 架 設 工 法 : 押出し工法
- 主 要 数 量 : 鋼重 36,000t (エッフェル塔 7 基分), コンクリート 85,000 m<sup>3</sup>, 鉄筋 12,600t
- 総 工 事 費 : 3 億 2000 万ユーロ (約 410 億円)
- 計 画 ・ 監 理 : フランス道路局 (SETRA)
- 施 工 ・ 運 営 : エファージュ社 (Compagnie Eiffage)
- 予 想 通 行 量 : 10,000 台 / 日 (繁忙期を含む通年予測)
- 通 行 料 金 : 乗用車 通常 4.6 ユーロ (約 600 円), トラック 通常 19 ユーロ (約 2,600 円)
- 着 工 : 2001 年 12 月 14 日
- 完 成 予 定 : 2005 年 1 月 10 日 (工期: 39 ヶ月)

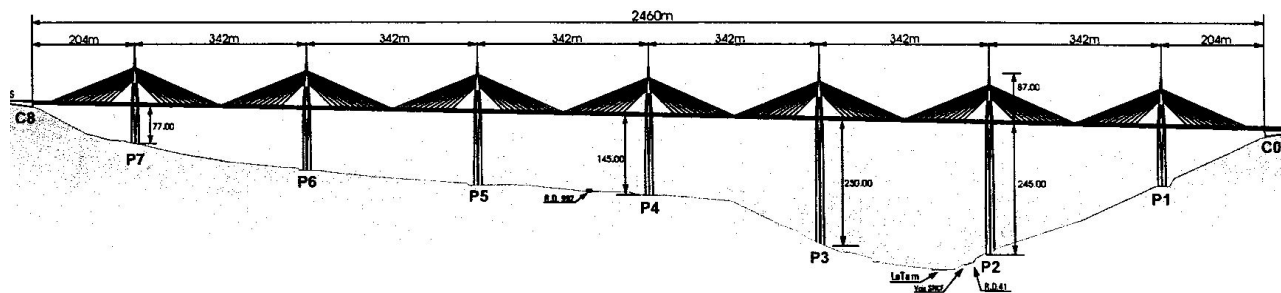


図-10 側面図

(4) 特徴

a) ノッポの橋

橋長 2,460m は、斜張橋としてはフランスのノルマンディー橋、ギリシャのリオン・アンティリオン橋を超え世界最長である。さらに、逆V字型の2本足で踏ん張り、主桁をワイヤーで支えている主塔の高さは、主桁より下に位置する橋脚の高さを加えると地表からの全高が 336m に及び東京タワーを超える世界一のノッポ橋である。(参考 明石海峡大橋 = 世界一の吊り橋: 橋長 3,911m, 主塔の高さ地表から 297m)

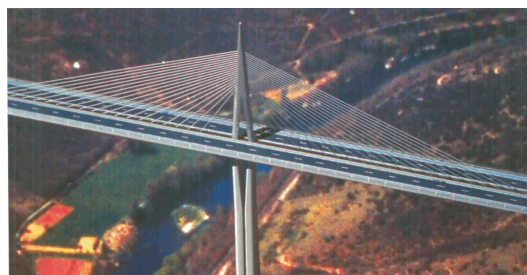


写真-2 主塔完成予想

b) スレンダーな橋

横風による耐風性を考慮して主桁は軽量化した鋼床版箱桁構造を採用して桁高を 4.2m に抑え、支間長 342m に対し 1:82 (桁高:支間比) の超スレンダーに仕上がっている。完成後の遠目に映る橋の姿は『天空を渡る回廊』のイメージである。



写真-3 完成予想写真

(5) 施工概要

コンクリートと鋼複合構造の建設に当たり、エファージュ・コンストラクション社(Eiffage Construction)がコンクリートの構造を担当し、エッフェル社(Eiffel)が国内3ヶ所の工場で鋼主桁と鋼製主塔を製造している。

a) 下部工

各橋脚は、クライミングフォームを使用して連続的にリフトアップされており、各橋脚にはそれぞれ1基この形式の型枠が用意された。

そして、施工期間は基礎の整備も含めて22ヶ月間で完了している。

写真-4に示すP2橋脚は完成すると世界一の高さ245mとなる。

各橋脚は、橋桁から下90m部分は二つに分かれており風などに対して柔軟に抵抗できる構造である。

この地区は、風が強くフランス内では一番地震の危険性のないところであり、耐風設計が最重要であった。

したがって、この谷ではどんな風が吹くか10年間調査して風洞実験を行っている。また風に対するため主塔および主桁と橋脚は一体構造としている。



写真-4 P2橋脚施工写真

b) 上部工

主桁は、鋼床版からなる2層の箱桁構造で全幅32m桁高4.2mであり、工期を短くするため鋼主桁を現場で組み立てるプレハブ工法が採用されている。

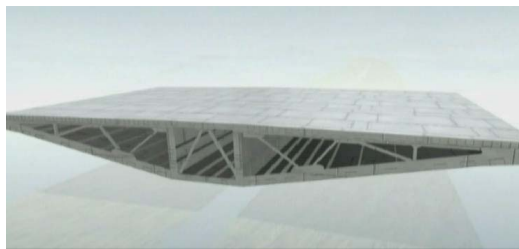


図-11 主桁パネル図

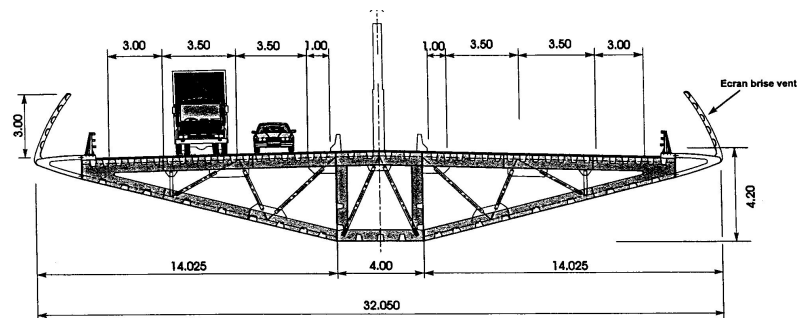


図-12 主桁断面図

中央箱桁部はマルセイユの工場で組み立てるが、1ブロックは長さ17mから23m、高さ4.2m、幅4.15mで運搬重量は約60tである。また、2,050枚の鋼プレートがアルザス地方の工場で作成され、1,450回を超える特別輸送で現場に運ばれる。

コンクリートの主桁を採用した場合には、主桁重量が120万tであったが、鋼主桁とすることで36,000tに抑えることが可能となった。



写真-5 主桁運搬写真



写真-6 主桁組立写真

## c) 架設工法

この地方は風が強いので地上で鋼桁を組み立てることができるのと工期短縮で押し出し工法が採用されている。上部工の施工は、2003年2月より着手された。施工方法は4.2mの主桁を持ち上げ約3分ごとに60cmを押し出すことのできるジャッキアップシステムを利用している。

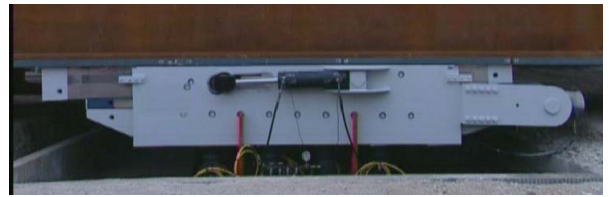


写真-7 押し出し装置

きわめて長い径間を跨ぐため主桁を支持する鋼製の仮ベントが各橋脚間中央に設置されている。しかし、タルヌ川には仮ベントが設置できないため、1700mの橋桁は南側橋台より、700mは北側橋台より押し出されタルヌ川上で連結され完成する予定である。

主塔は、押し出し時に必要なP2、P3の鋼製主塔は先行設置されているが、その他の鋼製主塔は完成後に主桁上を運搬され各橋脚上に設置される予定である。



写真-9 南側橋台からの押し出し状況



写真-8 北側橋台からの押し出し状況



写真-10 北側主桁先端部

## (6) まとめ

視察時は、橋脚部がほぼ完成し上部工の架設作業が順調に進んでいる状況で橋梁の外観が見え始めてきた絶好の時期であった。現場で説明してくれたフランス道路局技監の方とエファージュ社の施工責任者の方は、寒風吹きすさぶ架設工事現場をはじめ、事務所での工事説明も熱心行ってくれ夜の7時にまで及んだ。

世界一級品の完成に情熱を注ぎ、語りかけるその眼差しと姿勢に、『言葉の壁』を超えて、我々視察団は胸を打つ感動と本物に触れた達成感を覚えることができた。