

## 塩水散布暴露試験

日本道路公団名古屋管理局  
 保全部 堀江 悟  
 名古屋道路エンジニア株式会社  
 構造技術部 部長 小川 健  
 財団法人 日本塗料検査協会  
 技術顧問 岩井 弘

### まえがき

日本道路公団名古屋管理局ではコンクリート構造物用補修材料の試験検討を行っている。試験はアルカリ骨材反応が確認されているコンクリート試験体に塗装を施した後、反応を促進させる環境に暴露し、反応に伴う外観変化、膨張量変化の追跡を主体としている。各種試験の中で、試験体の約1/3を塩水で湿潤するように砂の中に埋設して行う塩水散布暴露試験は、塗膜の水蒸気透過性の大きさおよび透過方向と塗膜性能との関連の把握が可能であり、有効な試験方法と思われる。今回、試験体の膨張量の変化を中心に概要を紹介する。

### 1. 試験方法の概要

#### (1) 試験体

試験体の寸法は150×150×530mmの直方体とし、試験体の中央にU型鉄筋1本を入れ、コンクリート打設後1日間湿空養生した後に脱型し、2日間湿空養生し図1に示すように暴露時の南面および北面にプラグゲージを取り付け気中養生する。

その後、屋外暴露場に鉛直に立てて、7日間は周囲をビニールシートでおおった多湿状態で、次の7日間は周囲のビニールシートを取り除いて乾燥状態とした乾湿繰り返しを行い、ひび割れの発生を促進させた。試験体にヘアクラックが発生した時、さらにひび割れ幅が約0.2mmになった時点で、それぞれ塗装し、試験体とした。ここではヘアクラックが発生した時の試験体を対象に膨張量の経時変化を中心に記述する。

なお、試験体の伸びは打設1日後を基長とした。表1にコンクリートの示方配合を示した。

表1 コンクリート示方配合

水セメント比	58%
細骨材率	43%
セメント	300kg/m <sup>3</sup>
水	174kg/m <sup>3</sup>
細骨材	773kg/m <sup>3</sup>
粗骨材 (反応性チャート)	1024kg/m <sup>3</sup>
高性能減水剤	12.0kg/m <sup>3</sup>
Na <sub>2</sub> O	9.0kg/m <sup>3</sup>

#### (2) 試験体への塗布

コンクリート直方体の短面一面を除いた5面に各塗装仕様に従って塗装し20℃,65%RHの環境で28日間養生し試験体とした。

#### (3) 暴露方法

養生の終わった試験体は、御前崎暴露場で未塗装面を下にして図1に示すように下部180mmを砂中に鉛直に立てて1週間に1回の頻度で、10%食塩水を試験体の上面からじょうろで1試験体当たり約1リッターを散布しながら暴露した。

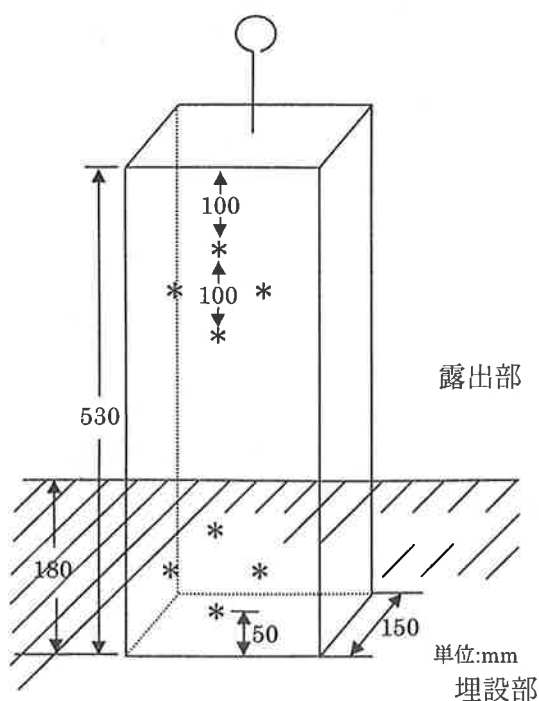


図1 橋脚用試験体

#### (4) 試験項目

##### ① 膨張量

規定の暴露期間を経過した試験体は20℃,65%RHの環境に24時間以上静置し、プラグゲージ間の長さを測定し、ブランクの長さ変化と比較して、試験体の塗装による膨張抑制効果を測定した。測定結果は膨張抑制率として記載した。

##### ② 水蒸気透過性

JIS Z 0208 による透湿度試験により評価した。

68Φ×10mmのモルタル試験体の一面(型枠に接した面)に各塗装仕様に従ってプライマー、主材、上塗りを塗布し28日間養生を行い、規定の期間暴露(今回は1年)した試験体を透湿度器にセットし、カップ内に蒸留水を満たし、温度20℃、相対湿度65%の環境条件下で240時間静置して、その間24時間ごとに試験体の質量を0.1mgまで測定する放湿試験に供した。

#### (5) 補修材の種類

試験に供した補修材は表2に示す10品種を取り上

げた。

各補修材は20℃,65%RHの環境でそれぞれの塗装仕様に従い塗装を行った。

表2 補修材の概要

試料記号	塗装工程に於ける材料の種類
A	防錆剤+シラン~シリコーン~シリコーン
B	ポリマーセメント系
C	防錆剤+シラン~ポリマーセメント~アクリル
D	エポキシ~柔軟エポキシ~柔軟ウレタン
E	エポキシ~エポキシ~ウレタン
F	エポキシ~柔軟エポキシ~柔軟ウレタン
G	エポキシ~アクリルゴム~ウレタン
H	ウレタン~ブタジエンゴム~ウレタン
I	ポリエステル~ポリエステル~ポリエステル
J	無機系

## 2. 試験結果

### (1) 膨張抑制率

膨張抑制率はそれぞれの試験片の膨張量のブランクに対する膨張量の比として表している。

したがって、1より大きい場合は、その試験片の膨張量はブランクの膨張量より大きいことを示している。

表3に橋脚対象試験体(2年暴露後)の暴露露出部と埋設部の膨張抑制率をそれぞれの補修材について示す。

### (2) 水蒸気透過性

水蒸気透過性は試験体を御前崎暴露場で1年間暴露した後に測定した。測定した水蒸気透過量を表4に示した。また、参考として暴露前(養生後)の透過量も併記した。

1年暴露後の水蒸気透過量は、暴露前（養生後）の5.4～28.6倍に増大している。

### 3. 考察

#### (1) 露出部に於ける水蒸気透過量（暴露1年後）と膨張抑制率

水蒸気透過量と膨張抑制率の関係を明らかにするため、暴露過程で塗膜層に著しいひび割れの発生が観察された補修材 I（無機系）のデータは除いて、相関傾向を検討する。

図2の相関係数は $-0.7268$ であり、負の相関が観察される。相関係数が負であることは水蒸気透過量が多い程、膨張抑制率は小さく、したがって、膨張量は小さいこと（膨張抑制効果がある）を示している。

アルカリ骨材反応は、水、アルカリおよびシリカの存在で生起するものであるから、水は反応の一つの要素である。したがって、コンクリート試験体内部の水分が外部に散逸できることが望ましいと言える。この限りでは補修材塗膜層の水蒸気透過量が多いものが良いと言える。

表3 2年暴露試験体の膨張抑制率

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
露出部	0.801	1.035	0.680	0.874	0.784	1.117	0.671	0.998	0.673
埋設部	0.955	0.978	0.908	0.759	0.875	0.818	0.804	0.924	1.275

表4 1年暴露後の各補修材の水蒸気透過性 ( $\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{d}$ )

		A	B	C	D	E	F	G	H	I
水蒸気透過量	養成後	1.29	0.65	1.78	0.30	0.35	0.85	0.92	0.48	1.90
	1年暴露後	16.77	6.07	9.90	7.57	10.00	4.61	12.15	6.51	23.57

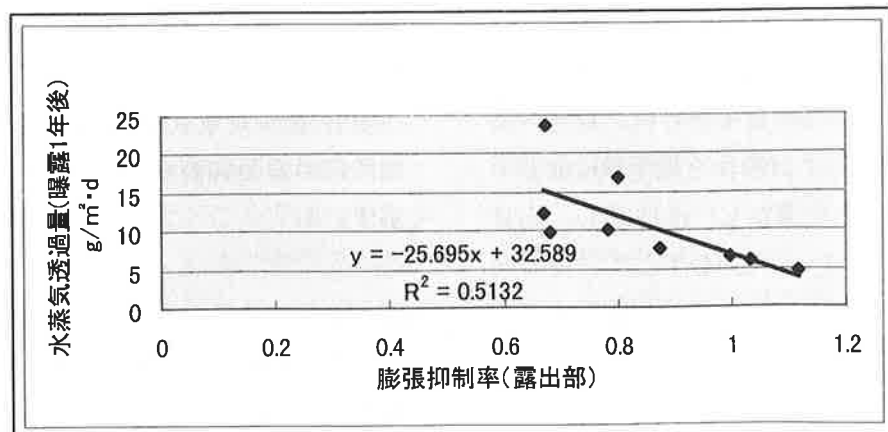


図2 膨張抑制率（露出部）と水蒸気透過性の相関

(2) 埋設部に於ける水蒸気透過量(暴露1年後)と膨張抑制率

膨張抑制率と水蒸気透過性との相関傾向を図3に示す。相関係数は0.7533であり、露出部と異なり、正の相関傾向を示している。これは、水蒸気透過性の大きい補修材ほど膨張抑制率は大きい、すなわち、膨張抑制効果は小さいことになる（膨張抑制率は「試験体の膨張量÷ブランクの膨張量」と定義しているため）。

露出部に於ける相関傾向は負であるが、埋設部に於いては正の相関となっている。ベクトルの方向

が逆になっており、水分の移動が露出部と逆になっていることを示唆している。埋設部に於いては、水蒸気透過性の小さい補修材を用い、試験体の外部から内部への水分の移動を抑制することが望ましい。

(3) 露出部に於ける水蒸気透過量（養生後）と膨張抑制率

養生後（劣化前）試験体の水蒸気透過量と2年暴露後の露出部に於ける膨張抑制率との間の相関傾向は図4に示す通りである。

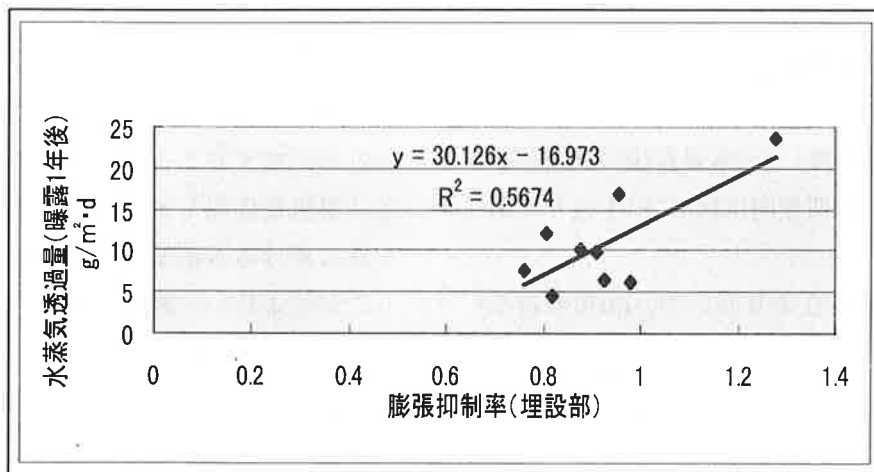


図3 膨張抑制率（埋設部）と水蒸気透過性の相関

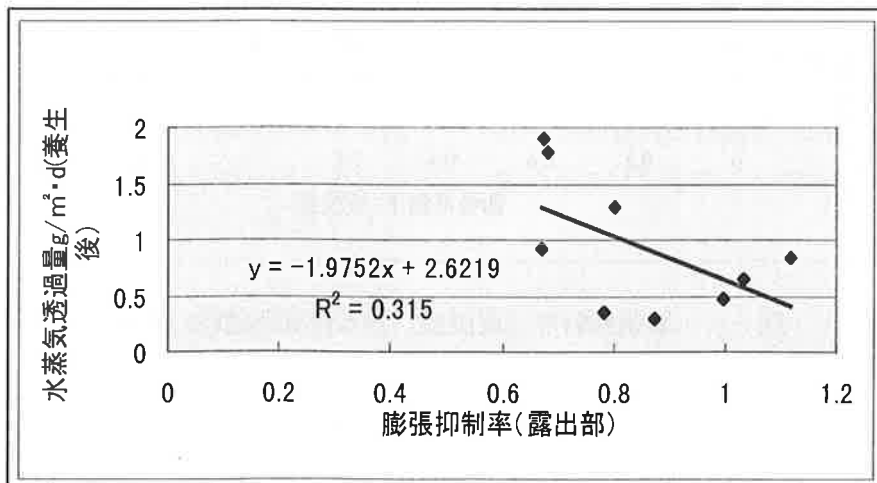


図4 膨張抑制率（露出部）と水蒸気透過性の相関

暴露2年後の膨張抑制率と養生後の補修材の水蒸気透過量との間の相関傾向は、相関係数で-0.5613となり、(1)項の場合より相関傾向は弱いものの一応の傾向は観察される。相関の方向は負であり、

(1)の場合と一致しており試験体の内部の水分を外部へ散逸出来るような水蒸気透過量の大きい補修材が膨張抑制効果の大きいことを示唆している。相関傾向が(1)項の場合より小さいのは塗膜が劣化していない養生後の水蒸気透過量との傾向比較であることから、劣化後の水蒸気透過量が塗膜の実効的な水蒸気透過量として働いていると推測できる。

(4) 埋設部に於ける水蒸気透過量（養生後）と膨張抑制率

水蒸気透過量（養生後）と2年暴露後の埋設部の膨張抑制率との間の相関傾向は図5に示す通りである。

相関傾向は(2)項の場合より弱い、(3)項の露出

部より、白亜化の原因となる紫外線の影響がなく、むしろ養生後の塗膜状態に近いと推定されることから妥当な傾向と言える。また、相関係数は正のベクトルであり、(2)項の場合と同様に試験体の外部より内部へ水分の移動を遮弊出来る補修材が好ましいことを示唆している。

4 まとめ

- ① 塗装した反応膨張性コンクリート試験体の一部を砂中に埋設し、定期的に塩水を散布しながら暴露する塩水散布暴露試験方法は、促進的に反応による試験体の膨張量変化を観測出来る効果的方法として推奨出来る。
- ② 試験体の膨張量変化と水蒸気透過性との相関関係を検討することにより、水蒸気透過の方向性を把握することが可能である。
- ③ 膨張量変化と水蒸気透過性の相関関係は、暴露に於ける水蒸気透過量の経時変化を考慮することにより、一層向上することが予測される。

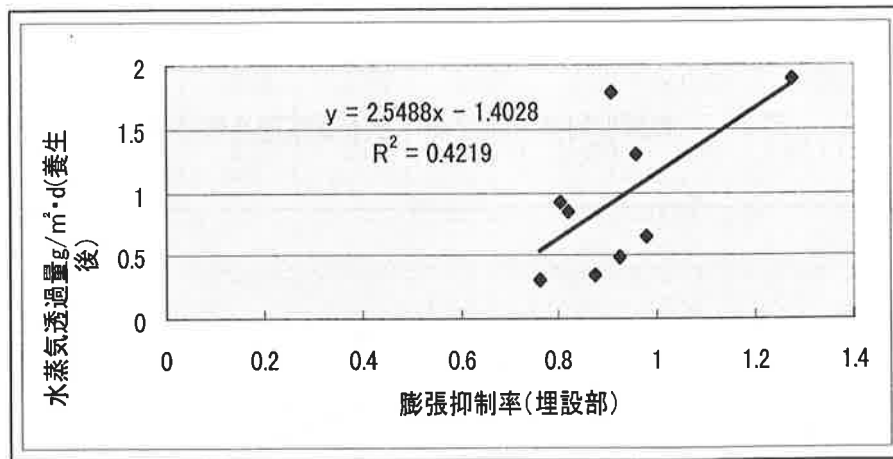


図5 膨張抑制率（埋設部）と水蒸気透過性の相関

## FSTC年次大会・ICE2000及び米国色材関連企業・施設視察団参加報告

財団法人 日本塗料検査協会

技術開発部課長 山田 卓司

アメリカの塗料・塗装関係協会の連盟であるFSCT (Federation of Societies for Coatings Technology) の第78回年次大会が2000年10月18日から20日まで、ICE2000 (International Coatings Expo 2000) が同16日から20日まで、シカゴのMcCormick Placeで開催されるため、(社)色材協会 主催の「FSCT年次大会・ICE2000及び色材関連企業・施設視察団」、畑 団長 ( (社)色材協会 副会長) 以下23名の一員として9日間の日程で参加させていただきました。簡単ですが、以下に視察団での活動報告をさせていただきます。

今回の訪問都市は、ワシントンD.C、ニューヨーク、シカゴの三都市で、各都市ともこの時期は気温が下がっているはずなのですが、「寒い」と感じたのは全工程の1日か2日程度であり、ワシントンD.CやシカゴではTシャツ姿の人も見受けられるほど暖かい日も有ったぐらいです。各都市での訪問先を以下に示します。

US Environmental Protection Agency (ワシントンD.C)

THE HOME DEPOT (ワシントンD.C)

New York City Department of Protection Agency (ニューヨーク)

Eastman Chemicals 特別セミナー (シカゴ)

Graham Paint (シカゴ)

FSCT年次大会・ICE2000 (ペイントショー) (シカゴ)

### 1. 米国環境保護庁

(U.S Environmental Protection Agency

以下EPA)

EPAは本部をワシントンに置き、全米10都市にオフィスを有している。今回訪問した本部はRONALD REAGAN BUILDING 内において厳重な警備がなされており、オフィスへ向かうまでの検査 (IDカードの提示・手荷物検査及び必要に応じてボディチェック) にかなりの時間を要した。(さすがは政府機関である)

ここではアメリカにおける環境問題の概況や、業界における環境問題に対する法規制についての説明が行われた。

新しい動きとしてWPEM (Wall Paint Exposure Assessment Model) が紹介された。これはオイルベース・ウォーターベース・室内Wall Paintの暴露

による排出物質・有機性混合物の排出などをモニタリングするシステムで、12月頃 (2000年) 発表予定という話しであった。これは、化学物質毎に評価を行い、総合的なVOCもさることながら個々のVOCの測定を重要視するものである。なお、これらの情報はホームページでも公開されているということで、「詳細についてはホームページをご覧ください」とのことであった。

EPA : <http://www.epa.gov>

### 2. THE HOME DEPOT

一般家庭で使用する塗料関係の流通現場を Dex Butler 氏と建築を含めたガーデン関係の修行にきている在米3年目の佐藤 氏の解説を交えて見学させていただいた。驚いたのは店舗の大きさもさるこ

とながら品揃えの多さであり、プロの職人さんが出入りするのも頷ける。一般に“家庭での塗装”は頻繁に行われているようで、日本のように“サンデーペインター”という具合に特別なことではないようだ。アメリカでは「古いものは古いものなりに手を加えて大事にする」という考えが、こういうところにも現れている。

店舗の内部は、日本のD.I.Y Shop に比べて塗料の種類・在庫が桁外れに多く、ソフト面も充実しており、その場で希望の色に調色してもらえる。(かなりアバウトのようですが、少なくとも私の知っているD.I.Y Shopではこういうサービスはない)

また、陳列している塗料の種類が多いため、「一般ユーザーは塗料の選定に苦勞するのではないか」と尋ねたところ、アメリカでは“塗料の選び方”や“カラーリング”について数多くの手引書(入門編～応用編)が出版されており、「個人・個人の塗料(塗装)に対する認識レベルが高く、“塗料の選定”は割に困難でないのが実状だそう。なるほど“Home Painter”が多いわけである。THE HOME DEPOT をあとに、次の目的地であるニューヨークへと向かった。

### 3. New York City Department of Protection Agency (以下DEP)

都会の朝は何処も同じで、車・車・車の大渋滞を抜け、マンハッタン島からQueens Boro Bridge を渡り、DEP オフィスの視察へと向かった。



① 自然環境保護の規約作成 ② 緊急事態発生時対応の検討 が主な職務であり、約5000名程度の体制で取り組んでいる。



DEPでは、ニューヨーク市内で危険物等を保有している企業・店舗を全て把握しており、各企業は危険物の種類・数量及び保管方法を年に一回、報告する義務がある。また、その報告事項が正しいかどうかを年に1回程度抜き打ちの立ち入り検査で判断する(アナウンスは立ち入りの1~2時間前)。年間3000件を抜き打ちに調査を行ったところ、約760件が違反していた。違反に対しては、全て罰金の形で処分されている。違反が発見されると改善命令が出され、再び立ち入り検査が行われるが、その時点で不十分であれば更に罰金が課せられ、段階的に罰金額も上昇する仕組みである。また、ニューヨーク市約200箇所の貯水池の水質検査を毎日行っている。

DEPはあらゆるデータ等を保有しているため、緊



急事態発生時にはDEPから消防および警察へ連絡し、事態の収拾に努める。現場にいち早く駆けつけて対処するのはあくまでもDEPである。また、テロ防止のため連邦政府とも連絡を密にしている。ちなみに昨年度のアクシデントの発生件数は約2000件（大きいものから小さいものまで）であった。

ニューヨークはワシントンD.Cと同様に、古くからの建築物が大変多く、アメリカの習慣上建築物を非常に大切にしている。したがって、アスベストを使用した建築物および埋設管（温水を流すための）などが多く存在するため、いったん緊急事態が発生すると大変な騒ぎになるようである。

翌日シカゴへと向かった。

#### 4. Eastman Chemicals 特別セミナー

シカゴでの宿泊先であるHoliday Inn Chicago-City Centerより専用バスでユニバーシティクラブに向かい、Eastman Chemicals社主催の朝食会に出席した後、Hilton Hotelにて特別セミナー・ミーティングにはいった。



Business Market ManagerのMichael A Callahan氏より、同社の近況と環境対応商品の開発状況及び北米での環境規制状況の講演をいただいた。なお、通訳は山本 明彦 部長にご苦労願った。

同社では現在VOCだけでなく、HAPs溶剤をど

のように削減するかが大きな課題と考えている。

HAPs最新情報としてEPAより、次の3項目が示された。

- ① 新しいものは追加しない
- ② カプロラクタムは削除
- ③ MEK, MIBK, MeOH, ブチセロを削除申請中  
(ブチセロは2000年中に削除予定)

以上のように、アメリカでは各産業自体がVOCからはずしてほしい物質の安全性を示したデータをつけて削除の申請を行っている。このデータを基に、EPAではlisted or unlistedの判断を下している。なお、MACT (maximum achievable control technology) 施工後8年の時点で、EPAは更なる規制をかけることを明記している。

Eastman Chemicals Companyでは以上のようなVOC規制にあった原材料の開発を行っている。

#### 5. FSCT年次大会・ICE2000 (ペイントショー)

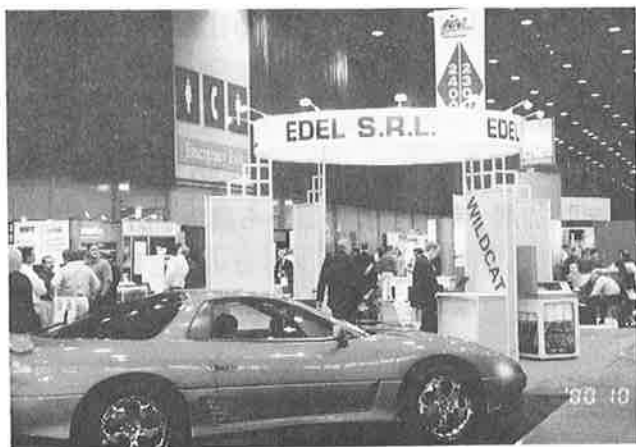
会場となったMcCormick Placeはミシガン湖に面し、近くにはシカゴ大学、バーンハムパークヨットハーバー、ノーザリーアイランド公園などがあり、非常に落ち着いた環境の中に一つの都市空間と思わせるほどの規模で存在している。

当初の予定では10月20日の終日 FSCT/ICE2000ペイントショーを視察する予定であったが予定が変更され、19日の午後および20日の午前の両日でペイントショーを視察しました。

日本のペイントショーとの大きな違いとしてICEの場合、対象が塗料メーカーであり、樹脂・顔料・添加剤・試験検査機器から調色・分散・缶詰め・包装に至る数多くのメーカーおよびPAINT RESEARCH ASSOCIATION-PPA(UK)のような公共機関等が参加しており、おおよそ400社近くの展示ブースが軒を並べていた。大・小様々なブースがあり、各ブースともデモ機を展示し、パンフレットを揃えている形式であるが、日本の機器展のように機器の説明をインストラクターが実演して



いるような光景は少なく、必要に応じ単独で詳細な説明を受けることができる。しかしながら、私のような英会話力の乏しいものにとっては、かなり神経を集中させなければならず、非常に辛いものでした。でも相手も良くわかったもので顔を見ればまず国籍を尋ね、日本人（中国・韓国ではなく）とわかると、割とゆっくりと話してくれ、更にもっと詳細且つ複雑な事柄になると単語を並べてくれる日本人なれ(?)した方もいらっしゃいました。そして更に話しが進み、詳細データや資料が必要となれば、ICEの登録カード（バーコードの付いたもの）を提示してバーコードリーダーで読み取り、後日送付してもらえるとというシステムであります。



展示物の多くはやはり環境をテーマにしているものが多く見られた。また色彩関係では、パール

マイカ・メタリックや今流行の“玉虫色調”のものなど、我々試験・検査機関としては業務のしずらい（中には試験・検査手法の確立されていないもの等）商品が多く出展されており、興味深いものであった。

今回、特に画像処理技術に関する調査を行ったのですが、画像処理技術の発展もすばらしく、塗膜表面の欠陥評価及び腐食部の評価が迅速且つオペレーターを問わず、変動なく評価できるシステムのように見受けられました。

展示内容とは別の話しになりますが、各ブースには各社の特徴（意気込み?）が現れているのか、ブースの大きさ・カーペット（絨毯）の質の違い・様々なアトラクション（いかにもアメリカらしい）などがあり、なんとなく違和感がありました。

ペイントショーを終え、バーンハム公園へ出るとミシガン湖が眼前に広がり、ジョギング・サイクリングする人・犬を散歩させる人・家族連れで弁当を広げている人など、とてもウィークデーとは思えないほどゆったりとした光景が目に入り一瞬の安らぎを覚えました。しかし、明日は“帰国”だという現実がその後すぐ頭をよぎり、現実に戻ってため息をつきながらMcCormick Placeをあとにしました。“やはりアメリカは偉大で強い国”を実感しました。

今回のFSCT年次大会・ICE2000及び色材関連企業・施設視察団に参加させていただき、視察団員の皆様と10日足らずの短期間ではありましたが、行動を共にして色々ご指導いただいたことを有意義に感じております。今後もこの繋がった接点を生かし、業務の幅を広げていきたいと考えます。

最後になりましたが、本視察団事務局の皆様、及び色々ご指導いただきました視察団員の皆様方に御礼申し上げます。