繊維強化セメント系建材の凍害性に関する 細孔の構造学的検討[†]

中 村 雅 彦* 福 島 孝 弘**

Pore Structure and Frost Damage of Fiber Reinforced Cement Boards

by

Masahiko NAKAMURA* and Takahiro FUKUSHIMA**

Thirty one kinds of fiber reinforced cement boards (FRCB) were used to discuss the frost damage from the pore structural point of view. The complexity of a spacial distribution of pore size, expressed by the fractal dimension (D), was found to be correlated with the frost damage index (FD), in the same way as the samples of fired clay roofing tiles. The correlation analysis between FD and the specific pore volume in the respective fractionated pore size ranges has been carried out. As the result, it was found that the pores with larger radii than 50 nm cause the frost deterioration of the FRCB materials under the present freezing-thawing condition.

Key words: Fractal dimension, Pore structure, Frost damage,
Fiber-reinforced cement boards, Statistical analysis

1 緒 言

繊維強化セメント系建材 (Fiber Reinforced Cement Board, 以後 FRCB と略称) は屋根材や外装材として最近広く民間住宅に普及してきた。しかし、部材の形態が板状であるため施工や補修時の踏み割れ強度の確保や打釘性、鋸切断性など施工の容易さを要求され、比較的小型軽量性で比強度が求められる素材である。したがって、マスコンクリートのような粗骨材や鉄筋の活用や気泡連行薬剤を用いて数 10~数 100 μm の極めて粗大な気泡の導入により耐久性 (耐凍害性) の向上を図るには、本材料のような薄板建材の場合には無理がある。また、粉体や繊維を原料として材料を製造する関係上、最終 FRCB 製品は必然的に開口で三次元的に連結性のある細孔分散組織体とならざるを得ない。

このような多孔組織体内部で、吸脱水や凍結・融解が長期間にわたり繰返されると、組織破壊を起こし建材機能を喪失する。組織内水分の凍結・融解による組織破壊は“凍害”と呼ばれ、アルカリ骨材反応と並んで建材の寿命を決定付ける。アルカリ骨材反応は骨材の品質選択に注意を払えば人為的に回避可能である。しかし、気候条件によって建材の寿命が運命付けられる凍害の回避はそれほど単純な問題ではなく、寒冷地

方においては極めて深刻な問題である。

上述の付帯諸条件を満足しながら低温耐久性に優れる FRCB を設計するには材料内部の細孔組織、すなわち、細孔の空間的連結性の適切な調節が有効である。

一般に、細孔の空間的連結性の複雑さは、細孔径分布曲線より算出できるフラクタル次元や、連続的平行研磨面内での細孔分布画像のコンピュータによる積層 3 次元の連結構造解析あるいは定方向吸液特性による細孔連結構造性の解析などがある。

著者らは先に無機の代表的焼成建材である粘土瓦を試料として、その耐凍害性と細孔の空間的連結性との関連性について定量的に検討した。その結果、細孔の空間的連結性が複雑な組織構造体ほど凍害感受性が高いことを凍害の発生機構的考察から明らかにした。¹⁾

そこで本論文は、市販品および実験室で作製した 31 種の FRCB を試料として、それらの凍害性と細孔組織との関係を統計解析的手法やフラクタル性などの構造解析学的概念を用いて検討することを目的とした。

2 実 験

2・1 試料

実験には Table I に示す成形方法、細骨材種、養生法が異なる合計 31 種の市販および試作 FRCB 品を試料として用いた。耐凍害性試験には試料寸法は縦 80

[†] 原稿受理 平成 5 年 6 月 7 日 Received June 7, 1993

* 正 会 員 京都工芸繊維大学工学部物質工学科 〒606 京都市左京区松ヶ崎御所海道町, Dept. of Chem. & Mat. Tech., Kyoto Inst. of Tech., Sakyo-ku, Kyoto, 606

** 京都工芸繊維大学工学部物質工学科 〒606 京都市左京区松ヶ崎御所海道町, Dept. of Chem. & Mat. Tech., Kyoto Inst. of Tech., Sakyo-ku, Kyoto, 606

Table I. Specification of the fiber reinforced cement boards (FRCB) used as the experimental samples.

Sample name	Forming method	Reinforce fiber	Aggregate additive	Curing method
P1	Pres.	Vinylon	Fly-ash	Steaming
P2	Pres.	Asbestos	Silica	Autoclave
P3	Pres.	Pulp	Silica	Autoclave
P4	Pres.	Vinylon	Fly-ash	Steaming
P5	Pres.	Vinylon	Fly-ash	Steaming
PT1	Pres.	—	—	Natural-set
PT2	Pres.	Glass	Fly-ash	Steaming
PT3	Pres.	Glass	—	Steaming
PT4	Pres.	—	—	Steaming
PT5	Pres.	—	—	Natural-set
PT6	Pres.	—	—	Steaming
S1	Cast.	Vinylon	Fly-ash	Steaming
S2	Cast.	Vinylon	Fly-ash	Steaming
S3	Cast.	—	Fly-ash	Steaming
S4	Cast.	Vinylon	Fly-ash	Steaming
S5	Cast.	Vinylon	—	Steaming
S6	Cast.	Vinylon	Fly-ash	Steaming
S7	Cast.	Vinylon	Fly-ash	Steaming
E1	Extr.	P. P.	Fly-ash	Steaming
E2	Extr.	P. P.	—	Steaming
E3	Extr.	Asb.+P. P.	Silica	Autoclave
ET1	Extr.	—	—	Steaming
ET2	Extr.	—	—	Steaming
F1	Filt.	Pulp+P. P.	Silica	Autoclave
F2	Filt.	Asbestos	Silica	Autoclave
F3	Filt.	Vinylon	Fly-ash	Steaming
F4	Filt.	Asb.+Pulp	Silica	Autoclave
F5	Filt.	Pulp+P. P.	Fly-ash	Autoclave
F6	Filt.	Asb.+Pulp	—	Steaming
F7	Filt.	V.+Asb.+P.	—	Steaming
F8	Filt.	V.+Pulp	—	Steaming

Pres.=Pressing in a die, Cast.=Casting into a mold,
Extr.=Extrusion by auger-machine,
Filt.=Filtration after scoop-processing,
P. P.=Poly propylene, Asb.=Asbestos,
V.=Vinylon, P.=Pulp.

mm, 横40 mm, 厚さ5~8 mmの矩形板状に統一して用いた。

2・2 耐凍害性試験法

耐凍害性試験は、ASTM (C-666A) 法に準拠した市販の1槽式コンクリート用自動凍結・融解試験機(株)マルイ製 MIT-682 型)を用いて15°C~20°C間を最大300サイクルまで凍結・融解を繰返した。試験には同種で同寸法の試料3個を用いた。試料の吸水は、室温静置水中で24時間浸漬保持によった。

凍害破壊の程度(FD)は300サイクルの凍結・融解後の試料を式(1)および式(2)で計算される動弾性係数(E)の変化率(E_{300}/E_0)を用いて式(3)により求めた。

$$E = CWf^2 \text{ (kgf/cm}^2\text{)} \quad (1)$$

$$E_{300}/E_0 = f_{300}^2/f_0^2 \quad (2)$$

$$\text{FD} = [1 - (E_{300}/E_0)] \times 100 \text{ (\%)} \quad (3)$$

ただし、Cは試料の形状によって決まる常数、Wは

試料の重量、 f_0^2 および f_{300}^2 はそれぞれ凍結・融解前および300サイクル後の含水板状試料のタワミ振動の1次共振周波数 f の2乗値を意味する。

2・3 細孔組織の解析法

細孔組織は、①水銀圧入法による細孔径分布データと、②得られた細孔径分布データから計算される細孔径分布フラクタル次元(D)の2種によって評価した。

上記①は約1 cm角の110°C, 24時間エアバス乾燥体を用いて細孔半径1.5 nm~100 μm の範囲に対して測定した。上記②については前報^{1),2)}と同様に次式を用いて細孔径分布に対するフラクタル次元(D)を計算した。

$$(V - V_{\min}) / (V_{\max} - V) = \{(R - R_{\min}) / (R_{\max} - R)\}^{D-3} \quad (4)$$

ここで、 $V_{\min}$ は微細孔側に累積算して描いた細孔径分布曲線上での最小半径 $R_{\min}$ (=1.5 nm)の累積細孔容積、 $V_{\max}$ および $R_{\max}$ は上記累積細孔分布曲線上で $R > R_{\min}$ の方向へ実測点(R, V)を $\ln \{(V - V_{\min}) / (V_{\max} - V)\}$ 対 $\ln \{(R - R_{\min}) / (R_{\max} - R)\}$ のプロットの直線性(相関係数)が最大となる点($V_{\max}, R_{\max}$)まで代入して得られる累積細孔容積と細孔半径を意味する。

3 結果および考察

本実験で用いた全試料の凍結・融解300サイクル終了後の同種3個の試料の内でも最も凍害による外観的損傷が激しい試料を選んで比較してFig. 1に示す。これらの外観比較から明らかのように、成形法が同様であっても凍害損傷の程度は大きく相違する。しかし、抄造法によって作製された試料には、すき重ねによるラミネーションはく離が程度の差は有るが必ず認められるのが特徴的である。

Fig. 1に示した各試料の凍害損傷の程度を上式(3)を用いて定量化した同種3個の試料の平均値として求めた(FD)値と、式(4)から計算される細孔径分布の複雑さの指針値(D)をまとめてTable IIに示す。

Table IIの(FD)値とFig. 1の各試料の凍害による外観的損傷の程度とを対比して見ると、 $\text{FD} > \text{約} 40\%$ の損傷率の高い試料では外観的にも著しい表面はく離が見られ、外観目視による判定と動弾性係数の低下率で表した数値的損傷評価値との対応は良い。しかし、以下に示すように、成形法の違いによって内部組織に異方性がある試料の損傷の外観的目視判定と動弾性係数の低下率の数値的損傷評価値との対応関係は微妙に相違する場合がある。例えば、プレス成形による(PT2)試料では、 $\text{FD} = 65.2\%$ と極めて高い損傷率を与えている。外観的には激しいはく離損傷は見られないが、全体的に細かいき裂が集まり緩んだ組織体に変化している。注型成形による試料(S3)では、大きなき裂により組織が分断しているが、 $\text{FD} = 24.3\%$ とそ

れほど高い損傷率を示さない. 同様の注型成形の試料 (S4) や (S7) では, 試料 (S3) と同程度の損傷率を示しているが, 大きな破断き裂もなく部分的な素地のほく

離があるのみで, 試料全体がふくれたような組織的緩みは見られない.

抄造法による試料の場合には, 他の成形法とは異なる

Fig. 1. Comparison in frost-damaged feature of the FRCB samples after 300 cycles by the freezing-thawing test method (ASTM C-666 A). The most severely damaged sample among three specimens of the same kind was respectively shown.

Table II. Experimental results of frost damage index (FD) and fractal dimension (D) calculated from a pore size distribution curve.

Sample name	(FD) (%)	(D)	Sample name	(FD) (%)	(D)
P1	10.9	2.13	S6	13.3	2.09
P2	40.7	2.01	S7	36.9	1.99
P3	33.4	1.84	E1	0.0	2.11
P4	19.8	1.91	E2	13.3	2.27
P5	13.3	1.93	E3	8.7	1.49
PT1	79.5	2.29	ET1	50.3	2.33
PT2	65.2	2.43	ET2	74.7	2.28
PT3	71.5	2.23	F1	46.7	2.25
PT4	1.8	2.19	F2	61.0	2.22
PT5	54.9	2.26	F3	63.7	2.17
PT6	17.8	2.20	F4	57.1	2.08
S1	8.8	2.28	F5	35.3	2.03
S2	19.6	2.25	F6	37.4	2.04
S3	24.3	2.07	F7	44.9	2.22
S4	27.9	2.07	F8	19.5	2.32
S5	13.5	2.28			

る損傷状況が見られる。プレス法、押出法の試料 (PT1), (PT3), (PT5) や (ET1) および (ET2) では、試料の角や稜および側面の各部分から優先的にはく落して試料形状は丸みを帯びてやせ細るような損傷傾向を示す。しかし、抄造法による試料 (F1), (F3), (F5) および (F7) では、そのような損傷傾向は認められない。すなわち、抄造試料では製造時のすき重ね層間のラミネーションの緩みが起こり厚さ方向の膨張が顕著である。また、試料全体の形状の欠落など、外観的には著しい損傷は認めにくい、(FD) 値には 40~60% 程度の著しい組織劣化が検出される。したがって、コンクリート等で常用されている矩形試料のタワミ振動の 1 次共振周波数の値から求める動弾性係数値の変化は、本実験のような成形法の違いによって内部組織に大きな異方向性が現れる薄板建材の凍害組織劣化の定量的評価法としては必ずしも最善ではないのかもしれない。

凍害による損傷が細孔組織と関連するか否かを調べる目的で、Table II 中の (FD) と (D) のそれぞれの値をプロットして Fig. 2 の結果を得た。Fig. 2 を見ると全プロット点が一直線に乗るような高い相関性はないが、(D) の増大に伴う凍害損傷の程度 (FD) の増大傾向、すなわち、正の相関性は十分に認められる。換言すると、FRCB 材料内での細孔径分布の多様性が高い材料内ほど水分の繰返し凍結による組織破壊は激しくなることが分かる。

細孔径の分布の多様性と凍害損傷の程度との関係は、別報の粘土瓦や建築レンガの場合と同様に、以下の^{1), 4)}ように解釈される。すなわち、次式で示されるような関係に従って冷却の進行に伴って粗大気孔内水から順に優先的に凍結し、冷却の進行と共に微細気孔水へと凍

Fig. 2. Plotting of (FD) with (D) listed in Table II.

結開始温度 (T_R) を降下させながら凍結開始時期がずれる。

$$T_R = T_0 \exp(-V_i \gamma_{wi} / q_m R_h) \quad (5)$$

ここで、(R_h) は細孔の水力半径、(T_0) は自由水の理想的凍結温度、(V_i) は氷のモル容積、(γ_{wi}) は氷/水界面エネルギー、(q_m) は水のモル凝固エンタルピーを意味する。

上述のような多孔材料内での部分凍結氷によって、一時的に水分が微細気孔内に閉塞される。閉塞状態の水は、冷却の進行と共に静水圧を受けた環境下であり、更に凍結を起こすと一層の静水圧増加をきたし、材料の引張り強度を越えたところで破壊が開始する。

したがって、多孔組織内での水の凍結による組織破壊は、上述の閉塞水分量に依存し、材料の細孔連結組織が上記の一時的閉塞水分量を多くする試料ほど激しい凍害損傷を示すものと考えられる。Fig. 2 で得られた (D) と (FD) との関連性は、上述の凍害発生をもたらす組織破壊のいくつかの駆動力の内、閉塞水凍結を駆動力とする組織破壊機構を裏付けるものであろう。

そこで本研究で実施した吸水条件および凍結・融解条件の結果得られた凍害損傷値 (FD) は、本実験で用いた FRCB 材料の細孔径分布の範囲内のどの細孔径領域と関連性が深いかを式 (6) から相関係数 (Ω_i) を求めることにより検討した。すなわち、細孔径の全測定範囲を次の 10 種 ($R_1 \sim R_{10}$) に分割して、それぞれの細孔径範囲に含まれる全 31 種類の試料の単位重量当りの細孔容積値 ($V_1 \sim V_{10}$) と各試料の (FD) との相関性を調べた。

細孔径の分割範囲は、 $R_1 = 1.5 \sim 2.5 \text{ nm}$, $R_2 = 2.5 \sim 5 \text{ nm}$, $R_3 = 5 \sim 10 \text{ nm}$, $R_4 = 10 \sim 50 \text{ nm}$, $R_5 = 50 \text{ nm} \sim 0.1 \mu\text{m}$, $R_6 = 0.1 \sim 0.4 \mu\text{m}$, $R_7 = 0.4 \sim 0.7 \mu\text{m}$, $R_8 = 0.7 \sim 1 \mu\text{m}$, $R_9 = 1 \sim 7.5 \mu\text{m}$ および $R_{10} = 7.5 \sim 100 \mu\text{m}$ である。

where $R_1=1.5\text{--}2.5\text{nm}$, $R_2=2.5\text{--}5\text{nm}$, $R_3=5\text{--}10\text{nm}$, $R_4=10\text{--}50\text{nm}$, $R_5=50\text{nm}\text{--}0.1\mu\text{m}$, $R_6=0.1\text{--}0.4\mu\text{m}$, $R_7=0.4\text{--}0.7\mu\text{m}$, $R_8=0.7\text{--}1\mu\text{m}$, $R_9=1\text{--}7.5\mu\text{m}$, $R_{10}=7.5\text{--}100\mu\text{m}$

Fig. 3. Relation between the range of classified pore size (R_j , $j=1, 2, \dots, 10$) and the correlation coefficients Q_j which were calculated by Eq. (6) from the data set of the specific pore volume (V_j) in the pore size range of (R_j) and the values of (FD_p , $i=1, 2, \dots, 31$) for all the FRCB samples.

$$Q_j = \frac{n \sum_{i=1}^{10} (FD)_i (V_j)_i - \sum_{i=1}^{10} (FD)_i \sum_{i=1}^{10} (V_j)_i}{\left\{ n \sum_{i=1}^{10} (FD)_i^2 - \left(\sum_{i=1}^{10} (FD)_i \right)^2 \right\}^{1/2} \left\{ n \sum_{i=1}^{10} (V_j)_i^2 - \left(\sum_{i=1}^{10} (V_j)_i \right)^2 \right\}^{1/2}} \quad (6)$$

上記の10種 ($n=10$) の分割細孔径範囲 ($R_1 \sim R_{10}$) 内の細孔量 ($V_1 \sim V_{10}$) と各試料の (FD) との相関係数 (Q_j) を Fig. 3 にまとめて示す。

Fig. 3 から半径 50 nm の細孔を境にして, 50 nm よりも径の大きな気孔量の増加は (FD) と正の相関性を示し, 逆に, 50 nm よりも径の小さな気孔量の増加は (FD) と負の相関性を示すことが分かる。したがって, FRCB 建材の耐凍害性を向上させるには, 50 nm よりも径の小さな気孔量を増加させる組織制御が有効である。

上述の半径 50 nm の細孔内の水の凍結について少し検討する。試料は -20°C まで冷却されるので, 式 (5) から $T_R = -20^\circ\text{C}$ となる細孔の水力半径を求めると, $R_h = 2.84\text{nm}$ が得られる。この水力半径に相当する球形 (あるいは円筒形) 細孔の幾何学的半径は, それぞれ 8.52 nm (あるいは 5.68 nm) である。しかし, 実際には Helmuth⁹⁾ が報告しているように, セメント硬化体中の水は細孔表面には不凍水膜が存在している。したがって, -20°C での不凍水膜厚さ 0.84 nm を上述の幾何学的細孔半径値に合計すると, 球形 (あるいは円筒形) 細孔では 9.36 nm (あるいは 6.52 nm) となり, 上述の Fig. 3 で得られた 50 nm に較べて極めて小さな細孔半径となる。この理由は以下のよ

うに解釈できる。

上述のように組織破壊を起こす一時的閉塞水は, 閉塞状態から更に系の温度低下に伴って少しずつ凍結を進めるために内部圧力は増加して行く。固/液系の相変化に対する Clausius-Clapeyron 式を水の凝固変化に当てはめて考えると, 次式が示される。

$$dT/dP = -0.0740 \text{ deg/MPa} \quad (7)$$

細孔内部の一時的閉塞水の凍結過程も式 (7) に従うので, 大気圧下であれば半径 50 nm の細孔内の水は当然凍結を完了しているはずである。ここで, 幾何学半径 50 nm の球形 (あるいは円筒形) 細孔内に不凍水膜を保持して水が凍結する温度を式 (7) から試算すると, 球形 (あるいは円筒形) 細孔では -3.57°C (あるいは -2.39°C) となる。この温度と最低冷却温度 -20°C との温度差は -16.43°C (あるいは -17.61°C) となり, 式 (7) からこの温度差に相当する内圧を求めると, 約 222 MPa (あるいは約 238 MPa) となる。実験建材の曲げ強度の範囲が 8~33 MPa 程度であることを考えると, 半径 50 nm の細孔内の水がこのような高圧力を維持して不凍状態で閉塞されたままで存在することはない。したがって, 実際には半径 50 nm の細孔内の水は凍結を起こすので, 半径 50 nm 程度の細孔がより粗大な気孔内の水の凍結によって一時的に閉塞され凍結する際に組織破壊をもたらしているものと考えられる。

FRCB 建材では上述のような耐凍害性向上に対して有益な細孔径範囲が得られたが, 焼成粘土瓦⁴⁾あるいは焼成建築用レンガの場合には Fig. 3 の結果と異なる細孔径範囲が求められている。上述の有益細孔径範囲が建材種によって相違する。現段階では有害細孔径の材料別相違については明確に説明はできないが, 建材を構成する化学成分固体表面と水との親和性, 例えば, 水和特性や濡れ性などの化学的因子の違いによってもたらされる水分の凍結挙動の相違が関係しているのかも知れない。

4 総 括

市販品および実験室で作製した31種の繊維強化セメント系板材 (FRCB) を試料として, 凍害性と細孔組織との関係を統計解析的手法やフラクタル性などの構造解析学的概念を用いて検討し以下の結論を得た。

(1) FRCB 材内部の細孔径分布の空間的多様性を表すフラクタル次元 (D) と凍害損傷の程度を示す指数 (FD) とは正の相関関係を示す。この結果は細孔径分布の空間的多様性が高いほど, 冷却過程に組織破壊源となる一時的閉塞水分量を多く生成させるために凍害を起こし易くなるという凍害発生機構を裏付ける事実であることが分かった。本結果は焼成建材である粘土瓦の組織体の凍害感受性と細孔組織との関連性と同

様であることが分かった。

(2) 本実験で採用した空気連行を施さない FRCB 材試料の含水率および凍結・融解条件では、上記(1)の一時的閉塞状態から凍結状態へ移ることにより組織破壊を起こす静水圧発生に関与する細孔径範囲は半径で 50 nm 以上であり、半径が 50 nm 以下の微細気孔が多くなるほど凍害を起こしにくいことが分かった。

参 考 文 献

- 1) M. Nakamura, T. Ohnishi and M. Kamitani, J. Ceram. Soc. Japan, **99**, 1114 (1991).
- 2) M. Nakamura, S. Urano and T. Fukushima, Ceram. Tr., **31**, "Porous Materials", Am. Ceram. Soc., 223 (1993).
- 3) M. Nakamura and T. Ohnishi, J. Ceram. Soc. Japan, **101**, 1175 (1993).
- 4) M. Nakamura, A. Hama, S. Matsumoto, S. Okuda and P. P. Hudec, Yogyo-Kyokai-shi, **94**, 1149 (1986).
- 5) M. Nakamura, S. Okuda and P. P. Hudec, Yogyo-Kyokai-shi, **92**, 105 (1984).
- 6) M. J. Setzer, Proc. Eng. Found. Conf. "Cement Production and Use", YMCA Potosi, USA (1988).
- 7) M. Nakamura, Am. Ceram. Soc., Bull. **67**, 1964 (1988).
- 8) M. Nakamura, H. Sakane and S. Tsujii, J. Soc. Powd. Tech., Japan, **30**, 843 (1993).
- 9) R. A. Helmuth, Proc. IVth Inter. Symp. Chem. Cement, Washington, II, 855 (1960).

書 評

“科学の目でみる文化財”

国立歴史民俗博物館（編）

(1993年, (株)アグネ技術センター発行, A 5 判, 286ページ, 2884円)

“文化財は、製作された当時から現在までの自然や社会の状況をさまざまな形で記録している”ために、人文、社会、自然科学、さらには文化、芸術の多くの分野の資料として重要である。ところで、資料として文化財を観るには、肉眼による熟覧観察のほかに、光学顕微鏡、赤外線テレビ、X線透視、X線CTなどのマクロ観察と、電子顕微鏡、質量分析などのミクロな研究やコンピューターによる再現研究があるという（以上、序文から適宜引用）。このように、科学の目を通して文化財を観るという立場から、西の国立民俗博物館と並んで、文部省の直轄研究機関として千葉県佐倉にある国立歴史民俗博物館が、1992年5月に開催した第11回歴博フォーラム“科学の目でみる文化財”での6人の講師の講演と討論の録音テープを起こしたものを軸に、7件のトピックスをコラムとして追加して編まれたものである。

講演は、文化財と自然科学との係わりについての一般論と、コンピューターとくにパソコンとグラフィックスとネットワークの話に続いて、文化財の保存科学の現状、ホログラフィーによる3次元的記録、資料の視覚情報処理、絵画とくに絵具による描き方の分析などである。展示や保存にあたっての最適な環境の設定や傷みつつある資料の修復などを、“保存科学”というすでに文部省科学研究費の重点研究としても認知されている立場から取り組んでいる様子がよくわかった。

とくに評者が関心をもったのは、大阪夏の陣で活躍した大砲を超音波解析した結果、砲身が薄板を巻いてつくられていたこと、稲荷山古墳から出土した辛亥銘鉄剣の金象嵌文字のX線による解読、電子顕微鏡による鍍金の解析、質量分析による青銅器の産地同定などである。また、X線で油彩絵画をみると、下塗りなどの違いで真贋が見分けられることがある点も、趣味の立場からおもしろく読ませてもらった。

(京都大学工学部 井上 達雄)