

## 第1回 管路更生の概要と自立管の試験方法

## その1

## 1. はじめに

下水道等の管路更生の平成20年度実績は、約500kmで、その累計は4300kmに及ぶ（当協会集計）。国の補助事業の物件も増え、土木事業の一つとして、各種の文献や雑誌に紹介されるほどの事業に拡大しつつある。その初施工は古く、海外では35年以上、日本国内においても20年以上の歴史がある。

管路更生の試験方法の規格として、海外では、ASTM規格<sup>1)</sup>やBS<sup>2)</sup>、DIN<sup>3)</sup>など、国内では平成13年に下水道に対する「管更生の手引き（案）」<sup>4)</sup>が、平成17年に「管きょ更生工法の品質管理・技術資料」<sup>5)</sup>が発刊された。これらを参考に、昨年、(社)日本下水道協会から「管きょ更生工法の設計・施工管理の手引き（案）」<sup>6)</sup>（以下、手引き（案））が発刊された。また、世界には様々な試験方法があり、国際討議により、ISO規格として、制定されつつある。

このような状況を踏まえ、本連載講座は、この手引き（案）に記載されている各種の試験方法およびその課題について、これから7回にわたり、解説する。

## 2. 工法の分類

更生工法は、更生管の構造形式や成形方法により分類されている。手引き（案）を参考に、分類を簡単に図示すると、図-1のようになる。

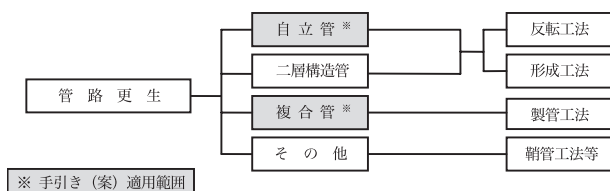


図-1 管路更生工法の分類

更生管の用語の定義を以下に要約する。

自立管 : 更生管単独で自立できるだけの強度を

発揮させ（自らで外力に抵抗する）、新管と同等以上の耐荷能力及び耐久性を有するもの（反転・形成工法が適用）

二層構造管 : 残存強度を有する既設管とその内側の樹脂等で二層構造を構築するもの（反転・形成工法が適用）

複合管 : 既設管とその内側の更生材がその隙間の充填材により一体構造となって外力に抵抗するものとし、新管と同等以上の耐荷能力及び耐久性を有するもの（製管工法が適用）

反転工法 : 熱又は光等で硬化する樹脂を含浸させた材料をマンホールから反転により挿入し、加圧状態のまま樹脂を硬化することで管を構築するもの

形成工法 : 硬化性樹脂を含浸させた材料や熱可塑性樹脂で成形した材料をマンホールから引込み、加圧し、拡張・圧着後、硬化や冷却固化することで管を構築するもの

製管工法 : 熱可塑性樹脂で成形した材料をかん合せながら製管し、既設管との隙間に充填材を注入することにより一体構造となり管を構築するもの

鞘管工法 : 既設管より小さな管径で製作された管（新管）を牽引等により挿入し、既設管との隙間に充填材を注入することで管を構築するもの

## 3. 更生工法の評価項目と試験方法（自立管）

手引き（案）には、更生後に新管と同等以上の耐荷能力および耐久性を有する更生管に求められる評価項目と試験方法が記載されている。自立管の評価項目と試験方法を表-1に示す。今回は、表-1の中から、耐荷強度試験、曲げ強度や曲げ弾性係数を

表－1 更生工法の評価項目と試験方法の抜粋〔自立管〕<sup>6)</sup>

項目		試験方法等			
1. 設計強度	耐荷強度 (偏平強さ又は外圧強さ)	φ600以下	JSWAS K-1による偏平試験		新管と同等以上
		φ700以上	JSWAS K-2による外圧試験(2種に対応)		
	曲げ強度	短期	JIS K 7171による曲げ試験		構造(管厚)計算で用いる設計値
		長期	ガラス繊維有	JIS K 7039による試験	
	ガラス繊維無		短期値÷安全率		
	曲げ弾性係数	短期	JIS K 7171による曲げ試験		
		長期	ガラス繊維有	JIS K 7035による試験	
ガラス繊維無	JIS K 7116による試験				
引張強度、引張弾性係数	短期	JIS K 7161による引張試験(強度及び引張弾性係数の算出)		耐震計算で用いる設計値	
圧縮強度、圧縮弾性係数	短期	JIS K 7181による圧縮試験(強度及び引張弾性係数の算出)			
2. 耐久性	耐薬品性	熱可塑性	JSWAS K-1による試験	質量変化度が±0.2mg/cm <sup>2</sup> 以内	
		熱硬化性	JSWAS K-2による試験	質量変化率が±0.3%以内	
	耐摩耗性	JIS K 7204、JIS A 1452等による試験		硬質塩化ビニル管(新管)と同等以上	
	耐ストレインコーロージョン性	JIS K 7034による試験(ガラス繊維有り対象)		JSWAS K-2に基づいて求められる値を下回らない	
	水密性	JSWAS K-2を準用した試験		0.1MPaの内・外水圧で漏水がない	
	耐劣化性	JIS K 7116を準用した1000時間水中クリープ試験(ガラス繊維無し対象)		50年後の曲げ強度の推計値の最小値が設計値(=申告値÷安全率)を上回る	
3. 水理性能	粗度係数	流下能力試験			
	成形後収縮性	更生管の成形後における軸方向及び内径方向の収縮性を確認する			

求める曲げ試験(短期)について述べる。

#### 4. 耐荷強度

自立管の耐荷強度は、呼び径別に定めた下記の試験方法に基づき、新管と同等以上の強度を確認する試験である。

- ① 呼び径600以下：JSWAS K-1-2002「下水道用硬質塩化ビニル管」<sup>7)</sup>の偏平試験
- ② 呼び径700以上：JSWAS K-2-2000「下水道用強化プラスチック複合管」<sup>8)</sup>の外圧試験

##### 4.1. 偏平試験〔呼び径600以下〕

偏平試験は、更生管単体の長さ300mm以上を切り出し試験片とする。試験方法は以下のとおりである。

- (1) 試験片より大きい2枚の平板間に試験片をはさ

み、管軸に直角の方向に毎分10±2mmの速さで基準圧縮量まで試験片を押し、その時点の荷重を測定する。基準圧縮量は、標準呼び径ごとにJSWAS K-1に定める数値とする(表-2に示す)。

- (2) 試験片の長さを1mに換算して線荷重を算出する。
- (3) 確認方法は、同一呼び径のJSWAS K-1に定める線荷重以上であることを確認する(表-2に示す)。

試験時の温度は23±2℃とし、事前に1時間以上状態調節する。試験状況を写真-1に示す。

この試験は、次頁に示す円環のたわみ式の関係が成り立ち、弾性係数(リング剛性≡曲げ弾性係数)と寸法要因(管厚と管径)および圧縮量が求まれば推定できる。

表-2 JSWAS K-1偏平試験の要求性能

呼び径	圧縮量 (mm)	線荷重 (kN/m)
200	11	4.28
250	13	4.61
300	16	5.52
350	19	6.17
400	21	6.61
450	24	7.55
500	26	8.18
600	32	10.20

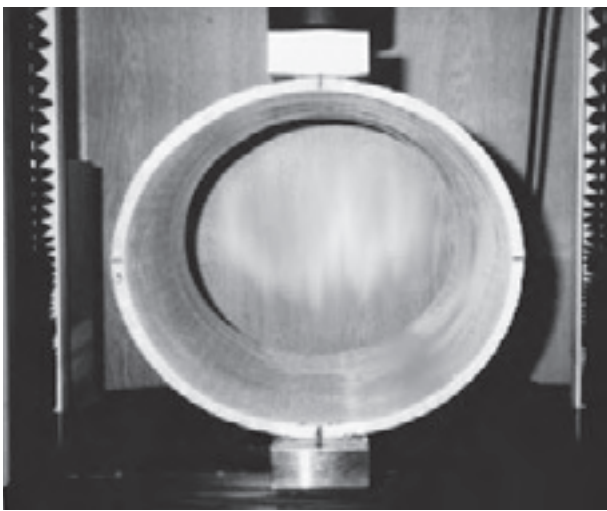


写真-1 偏平試験状況 (例)

円環のたわみ式

$$D_y = \frac{W \cdot R^3}{E \cdot I} \cdot (\pi / 4 - 2 / \pi)$$

よって偏平強さ (W) については以下となる。

$$W = \frac{D_y \cdot E \cdot I}{R^3 \cdot (\pi / 4 - 2 / \pi)}$$

ここに、

W : 基準圧縮時の単位長さ当りの鉛直荷重  
(N/m) { 線荷重 = 偏平強さ }

R : 更生管の中心軸の曲率半径 (mm)  
{ R = 管厚中心半径 = (外径 - 厚さ) / 2 }

D<sub>y</sub> : 鉛直方向の直径の減少 (mm)  
{ 基準圧縮量は、K-1 に定める数値 }

E : 弾性係数 (N/mm<sup>2</sup>)

I : 単位長さ当りの断面二次モーメント  
(mm<sup>4</sup>/m) { I = t<sup>3</sup> · 10<sup>3</sup> / 12 }

t : 更生管厚 (mm)

#### 4.2. 外圧試験 [呼び径700以上]

外圧試験も、更生管単体の長さ300mmを切り出し、試験片とする。試験方法は以下のとおりである。

- (1) 試験片を平らな台に置き、頂部および底部に厚さ10mmのゴム板を当てる。管軸に直角の方向に試験片に長さ方向に均等になるように荷重を徐々に加え (速さは規定されていない)、基準たわみ量に達する時点の荷重を測定する。基準たわみ量は、標準呼び径ごとにJSWAS K-2に定める数値とする (表-3 に示す)。
- (2) さらに荷重を加え、破壊した時点の荷重を求める。
- (3) 試験片の長さを1mに換算して基準たわみ荷重 (外圧) および破壊荷重 (外圧) を算出する。
- (4) 確認方法は、同一呼び径のJSWAS K-2 (2種) に示してある破壊荷重 (外圧) 以上であることを確認する (表-3 に示す)。

試験時の温度の規定は無いが、23 ± 2℃が望ましい。試験の概要図を図-2 に示す。

表-3 JSWAS K-2 (2種) 外圧試験の要求性能

呼び径	基準たわみ量 (mm)	基準たわみ外圧 (kN/m)	破壊外圧 (kN/m)
700	36	17.8	62.2
800	41	20.3	71.0

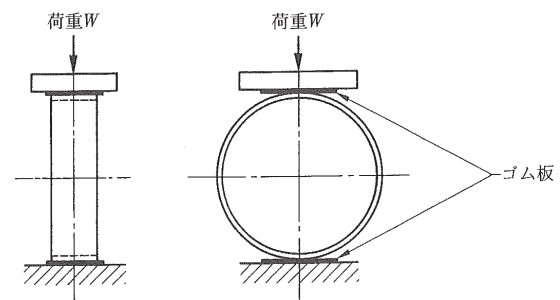


図-2 外圧試験概要図<sup>8)</sup>

#### 4.3. 耐荷強度試験の課題

- (1) 熱又は光硬化型や熱可塑性の更生管は、とう性管である。偏平試験の基準圧縮量 (呼び径の約5%) 程度は、繰り返し試験が可能であるか、確認が必要である。確認ができれば、許容たわみ率5%を十分満足している。
- (2) この偏平試験は、弾性係数と寸法要因を同時に判断できるので、管としての剛性を判断するのに、最も適切であるという意見がある。逆に、

それらが把握できておれば、不要の試験かもしれない。

- (3) この偏平試験を施工直後の品質管理試験として採用する場合、呼び径500を越すとマンホール口環から円形のまま取り出すことが困難であったという事例がある。
- (4) 新ISO規格は、この試験に類似した方法でリング剛性の試験値を求めており、剛性より弾性係数も算定できる。

## 5. 曲げ試験

### 5.1. JIS K7171 : 1994の曲げ試験

自立管の設計時に確認する短期保証値の曲げ強度および曲げ弾性係数の算出方法は、日本工業規格であるJIS K7171 : 1994「プラスチック-曲げ特性の試験方法」<sup>9)</sup>の3点曲げ試験方法を準用した値を用いる。短期保証値は、算出された短期試験値を安全率(現場硬化による品質のバラツキなどを考慮した値)などで除した値とする。

日本工業規格(JIS)の用語には、「曲げ強度」および「曲げ弾性係数」の記載は無く、「曲げ強度」⇒「曲げ強さ」または「曲げ応力」、「曲げ弾性係数」⇒「曲げ弾性率」と読み変えて、試験を行うことが必要である。以下、JIS用語で述べる。

#### (1) 試験片

標準試験片は、厚さ4mm、幅10mm、長さ80mmの平板であるが、管路更生の場合、設計時の均一材料では適用できるが、施工直後の品質管理試験や複合材料には適用できない。

平板を前提とし、適用できない場合の厚さごとの試験片寸法を表-4に示す。

試験前に、厚さは0.01mmまで、幅は0.1mmまで、試験片の中央部分を測定する。試験片の中央に線を記入すると測定および試験がし易くなる。試験数は、

表-4 JIS K 7171 : 1994 の試験片寸法

平均厚さh (mm)	幅b±0.5mm	
	熱可塑性及び熱硬化性樹脂板* (mm)	織物・繊維強化プラスチック材料 (mm)
1 < h ≤ 3	25	15
3 < h ≤ 5	10	15
5 < h ≤ 10	15	15
10 < h ≤ 20	20	30
20 < h ≤ 35	35	50
35 < h ≤ 50	50	80

※充填材や強化材入りコンパウンドを含む  
試験片の長さは、 $L = h \times (20 \pm 1)$  である。

5個以上と規定してある。

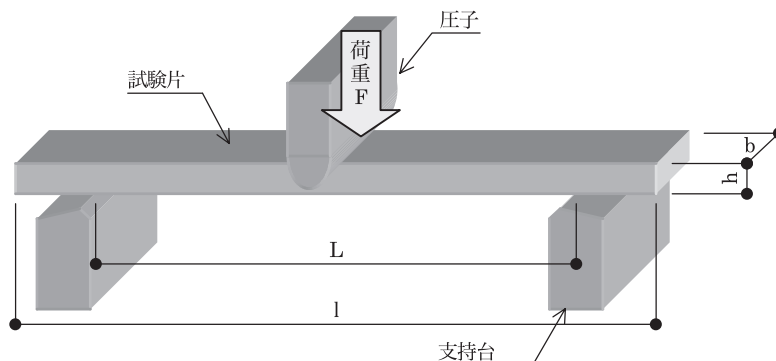
#### (2) 試験方法

JIS K7171 : 1994の試験状況の概念図を図-3に示す。

- 1) 支点間距離Lを $L = h \times (16 \pm 1)$ に合わす。hは一組の試験片の平均厚さである。
- 2) 試験速度を1%minに近いひずみ速度に合わす。これは、試験片の厚さ $h \times 0.4 \sim 0.5$ minの試験速度であり、試験機により近似値を使用する。
- 3) 試験片を左右の支持台に載せる。試験片の支点間中央に圧子で力を与える。
- 4) 試験中の荷重(力)およびこれに対応する試験片のたわみを記録する。このためには、「荷重-たわみ曲線」や「曲げ応力-たわみ曲線」を描く自動記録装置を使用する。最近では、曲げ弾性率の測定などが、簡易に扱えるコンピューター付の装置が一般的になってきた。

#### (3) 計算および試験結果の表現

JIS K7171に基づく、計算および結果については、以下のように表現する。荷重(力)とたわみ曲線の例を図-4に示す。



L : 支点間距離 (mm)  
l : 試験片の長さ (mm)  
b : 試験片の幅 (mm)  
h : 試験片の厚さ (mm)

図-3 JIS K 7171 の試験状況の概念図



1) 曲げ強さ (最大曲げ応力)

$$\sigma_{\max} = \frac{3F_{\max} L}{2bh^2} \quad \dots \quad (1)$$

- $\sigma_{\max}$  : 曲げ強さ (MPa) (N/mm<sup>2</sup>)
- $F_{\max}$  : 最大荷重 (N)
- L : 支点間距離 (mm)
- b : 試験片の幅 (mm)
- h : 試験片の厚さ (mm)

2) 曲げ弾性率

曲げひずみは次の式 (2) によって、まず、ひずみ  $\varepsilon_{f1}=0.0005$  と  $\varepsilon_{f2}=0.0025$  に相当するたわみ  $s_1$  と  $s_2$  を算出する。

$$s_i = \frac{\varepsilon_{fi} L^2}{6h} \quad (i=1,2) \quad \dots \quad (2)$$

- $s_i$  : たわみ (mm)
- $\varepsilon_{fi}$  : 曲げひずみ
- L : 支点間距離 (mm)
- h : 試験片の厚さ (mm)

たわみ  $s_1$ 、 $s_2$  の荷重  $f_1$ 、 $f_2$  を測定し、次の式 (3) によって曲げ弾性率を算出する。

$$E_f = \frac{\sigma_{f2} - \sigma_{f1}}{\varepsilon_{f2} - \varepsilon_{f1}} \quad \dots \quad (3)$$

- $E_f$  : 曲げ弾性率 (MPa) (N/mm<sup>2</sup>)
- たわみ  $s_1$  で測定した曲げ応力

$$\sigma_{f1} : \sigma_{f1} = \frac{3f_1 L}{2bh^2} \quad (\text{MPa}) \quad (\text{N/mm}^2)$$

たわみ  $s_2$  で測定した曲げ応力

$$\sigma_{f2} : \sigma_{f2} = \frac{3f_2 L}{2bh^2} \quad (\text{MPa}) \quad (\text{N/mm}^2)$$

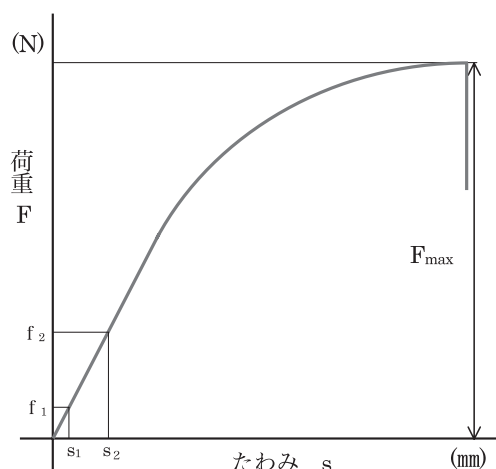


図-4 荷重-たわみ曲線

5.2. 曲げ試験の課題

- (1) JIS K7171は、平板が前提であり、管軸方向の円弧状材料の規定がないので、準用して使用する。図-5に示すように、平板と管軸方向の円弧状材料では、支持台にあたる面積により、荷重作用状況が異なる。

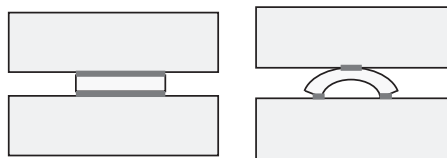


図-5 平板 (左) と管軸円弧状 (右) 試験片の曲げ試験時の荷重作用状況

当協会では、熱および光硬化型材料の平板試験片と管軸方向の円弧状材料の比較を同一呼び厚で行った場合、円弧状材料の方が低くなる傾向がある。工法協会によっては、平板試験片と管軸方向の円弧状材料をそれぞれ異なる基準値を設けている場合もある。

- (2) 更生管の管周方向の円弧状材料を使用した強さや弾性率を求めるには、JIS K7171ではなく、図-6に示す、BS EN 13566-4<sup>(10)</sup> の付属書Cに試験方法が記載されている。採用するかどうかについては、議論が必要である。
- (3) JIS K7171:1994は、ISOの改訂に伴い、2008年にJIS K7171:2008に改訂されている。管更生材料における大部分のGRP (ガラス繊維強化プラスチック) が適用外となっている。当面、ガラス繊維を使った管更生材料は、手引き (案) が改訂されるまで、1994版で実施する方が無難と考えられる。また、ISOに基づく、繊維強化プラスチックの曲げ試験であるJIS K7017:1999「繊維強化プラスチック-曲げ特性の求め方」<sup>(11)</sup> があるが、採用するかどうかについては、議論が必要である。
- (4) 曲げ弾性率の測定方法は、JIS K7171:1994に基づく、ひずみ  $\varepsilon_{f1}=0.0005$  と  $\varepsilon_{f2}=0.0025$  で測定した曲げ応力比によって、算出することになっている。

試験片によっては、ひずみが0.005に達するまでに直線状にならないものもある。この場合、応力-ひずみ曲線の初期の曲線部分をさけて、測定する必要がある。いわゆるtoe現象の防止である。

図-7に示すが、その場合、新JISであるJIS K7171

: 2008年には、あらかじめ力（予備荷重）を付加することが必要な旨が記載されている。

また、解説にもコンピューター処理で、離れた2点間の傾き求め直線を引き、補正する方法も記載されている。この方法は、廃止された旧JISの曲げ試験方法であるJIS K7203-:1995やJIS K7055:1995に記載されていた弾性率を求める直線を引く方法に類似している。

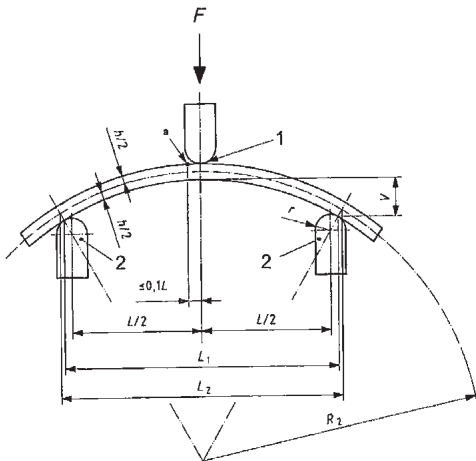
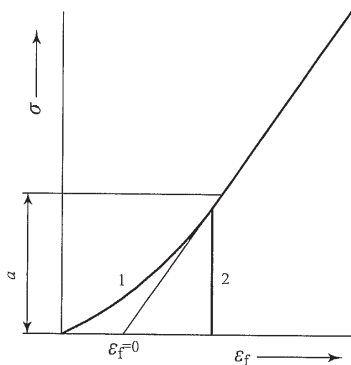


図-6 EN 13566-4付属書C試験方法<sup>6)</sup>



- 1: 応力-ひずみ曲線の初期の曲線部分
- 2: しきい値より上の力（予備荷重）を加えたときの応力-ひずみ曲線の初期部分（階段状）
- $\sigma$ :  $\leq 5 \times 10^{-4} E_f$  又は  $\leq 10^{-2} \sigma_f$

図-7 初期部の応力-ひずみ曲線

## 6. おわりに

管路更生工法の試験方法を紹介する第1回目として、管路更生の概要および自立管の試験方法の中から、耐荷強度試験（偏平試験・外圧試験）、曲げ試験（短期）について、その試験方法の解説と課題について述べた。次回以後、表-5に示す、自立管の試験方法を順次、述べていく。最後に、複合管の試験方法を述べる予定である。

表-5 次回以後の執筆予定

No.	内容	発刊
第2回	自立管 長期曲げ試験 耐劣化試験	2010年4月
第3回	自立管 引張試験 圧縮試験	7月
第4回	自立管 耐薬品試験 耐摩耗性試験	10月
第5回	自立管 ストレインコロージョン試験 水密性	2011年1月
第6回	自立管 粗度係数 成形後収縮	4月
第7回	複合管（特別のみ） 破壊強度・外圧強さ 充填材の圧縮試験 一体性 他	7月

〈略称の名称〉

- 1) ASTM規格：米国材料試験協会（American Society for Testing Materials）の規格
- 2) BS：英国規格（British Standards）
- 3) DIN：ドイツ工業規格（Deutsche Industrie Normen）

〈参考図書〉

- 4) 管更生の手引き（案）  
2001年 社日本下水道協会
- 5) 管きょ更生工法の品質管理 技術資料  
2005年 財下水道新技術推進機構
- 6) 管きょ更生工法の設計・施工管理の手引き（案）  
2008年 社日本下水道協会
- 7) JSWAS K-1「下水道用硬質塩化ビニル管」  
2002年 社日本下水道協会
- 8) JSWAS K-2「下水道用強化プラスチック複合管」  
2000年 社日本下水道協会
- 9) JIS K7171「プラスチック-曲げ特性の試験方法」  
2008年（1994年から改訂）財日本規格協会
- 10) BS EN-13566「埋設された無圧排水管と下水管路の修復用プラスチック配管系」  
2002年 英国規格
- 11) JIS K7017「繊維強化プラスチック-曲げ特性の求め方」  
1999年 財日本規格協会

連載講座小委員会

- 委員長 安井 聡 FFT工法協会・技術委員
- 委員 眞田 和彦 光硬化工法協会・技術委員長
- 委員 上垣 潔志 パルテム技術協会・技術部長
- 委員 大塚 孝 3SICP協会・技術部長
- 委員 池ヶ谷貴之 オールライナー協会・技術委員
- 委員 原田 孝知 EX・ダンビー協会・技術委員
- 委員 三浦 仁 EX・ダンビー協会・技術委員