

第4回 二層構造管の考え方

1. はじめに

下水道管きょにおける管路更生の設計および施工に関する標準的な考え方は、平成13年6月に(社)日本下水道協会から発刊された「管更生の手引き(案)」¹⁾に示されている。“二層構造管”とは、既設管と更生管の二層で構成された管として、この「管更生の手引き(案)」を発行する過程で生まれた定義である。平成16年1月から平成18年3月まで、(財)下水道新技術推進機構と当協会が、「二層構造管の研究」を推進し、その成果が「管きょ更生工法(二層構造管)技術資料」²⁾として、(財)下水道新技術推進機構より発刊された。

本稿は、この技術資料に沿って、“二層構造管”の概念と設計法などについて解説する。

2. 二層構造管とは

管路更生工法の分類を図1に示すが、「管更生の手引き(案)」の適用範囲は、①反転工法・形成工法の自立管(既設管の強度を期待しない構造)および②複合管(既設管と更生材が一体となる構造)とされており、強度を有する既設管に反転工法、形成工法で構築する“二層構造管”は、改築としての適用範囲には含まれていない。

当時の“二層構造管”は、既設管が土圧などの荷重を負担し、更生管は外水圧だけを負担すれば良いという修繕としての仕様が主流となっていた。

改築としての“二層構造管”は、既設管の損傷状

態によっては、既設管とその内部に形成した更生管がともに荷重を負担するか、既設管が更生管の変形を抑制する効果を見込むことができると考えられ、既設管の強度をゼロと想定する自立管よりも効率的な設計を行うことができると考えられる。

従って“二層構造管”の定義は、「損傷している既設管内に反転工法、形成工法で構築した更生管が内接しており、外水圧だけでなく、既設管と更生管がともに土圧などの荷重(外力)を負担する構造の管」とした。そして、“二層構造管”は、①新管と同等以上の耐荷能力および耐久性を有し、②既設管の劣化が進行した場合、繰り返し荷重が作用した場合の安全性を確保する機能が求められている。

3. 二層構造管の設計

3-1. 適用範囲

二層構造管の適用範囲は、管径が200～800mmの既設管(鉄筋コンクリート管)の腐食、既設管(鉄筋コンクリート管、陶管)の8mm以下の軸方向クラック、円周方向クラックおよび浸入水などの損傷状態にある管きょで、一定の損傷パターンを満足し、既設管の残存強度を期待できる場合に適用する。

なお、円周方向の鉄筋露出や既設管の欠落は、既設管の残存強度を期待できないので、適用外とする。

3-2. 二層構造管の設計手順

二層構造管の設計フローを次頁に示し、解説する。

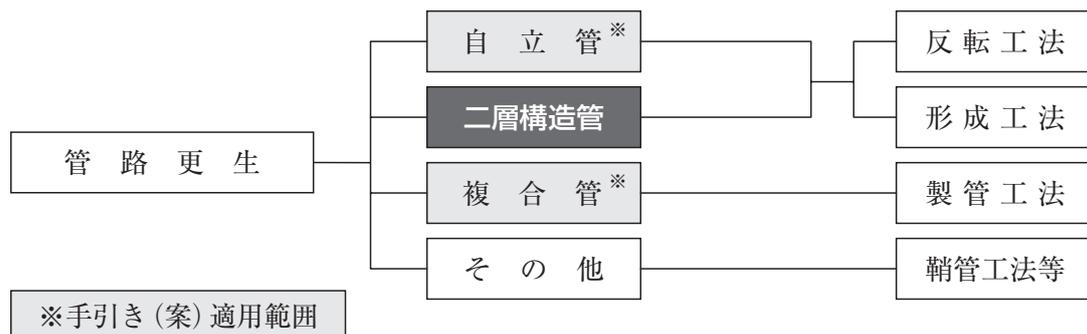


図1 管路更生工法の分類

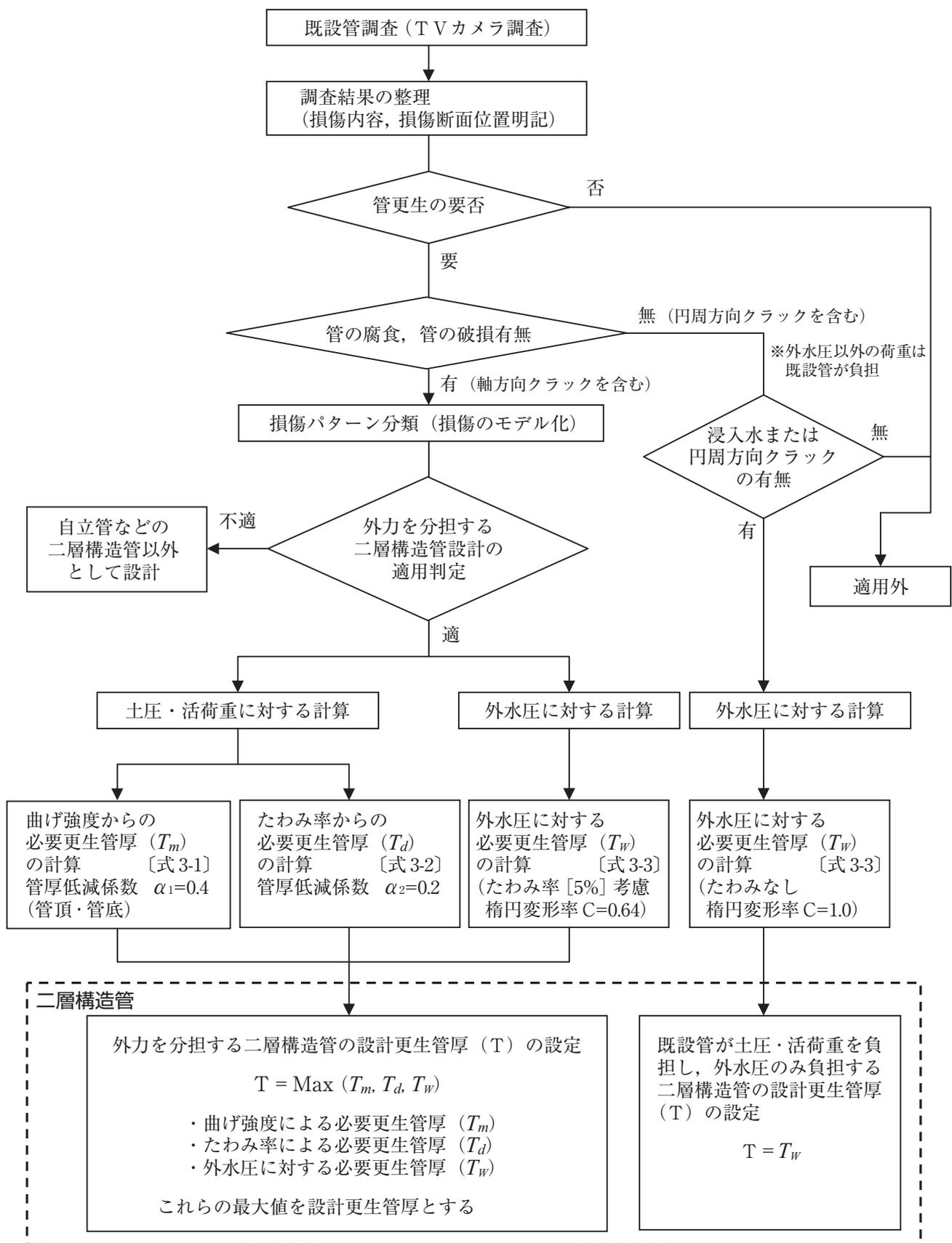


図2 二層構造管の設計フロー

3-3. 調査結果の整理 と 損傷パターン分類

既設管きよの状況をカメラ調査に基づいて、管1本ごと、および、スパンごとに整理する。整理のポイントは、クラックの損傷状態（方向、位置、量）、腐食、浸入水である。

調査判定時における既設管の損傷（軸方向クラック、腐食による鉄筋露出）は、更生後50年の間にも、ある程度進行すると考えられる。そこで、既設管の敷設後の経過年数、現状の損傷状態、土壌の性質などを勘案して、更生してから50年後の損傷状態を想定し、その状態を簡略化した損傷モデル（損傷パターン）に置き換える。損傷モデル化の例を図3に示す。

なお、「管きよ更生工法（二層構造管）技術資料」²⁾では、既設管が軸方向に完全に切断された損傷モデルの管での、静的載荷実験、繰り返し載荷実験、およびシミュレーション解析結果が示されている。

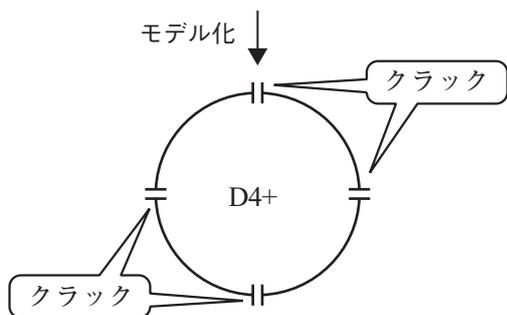


図3. 損傷のモデル化例

3-4. 二層構造管の適用判定

荷重を分担する二層構造管設計が適用できる損傷パターンは、基本的に図4に示すパターンである。

なお、1スパンの中で1ヵ所でも不適当な損傷パターンが存在する場合、例えば、全体型、集中型、図3(D4+)のような分散型などは、二層構造管の適用範囲外とし、自立管などの設計とする。

また、損傷位置が図4のパターンと異なる場合でも、単独型および分散型で上半部、または下半部の損傷が2ヵ所以下の場合には適用できるものとする。

3-5. 更生管厚の算定式

3-5-1. 土圧・活荷重に対する設計法

荷重を分担する二層構造管の土圧、活荷重に対する必要更生管厚は、「管更生の手引き（案）」¹⁾および「管路更生NO.3」³⁾で述べた自立管の管厚計算式と同様に「下水道用硬質塩化ビニル管（JSWAS K-1）」⁴⁾および「下水道用強化プラスチック複合管（JSWAS K-2）」⁵⁾に示す曲げ強度およびたわみ率の計算に準じて算出する。

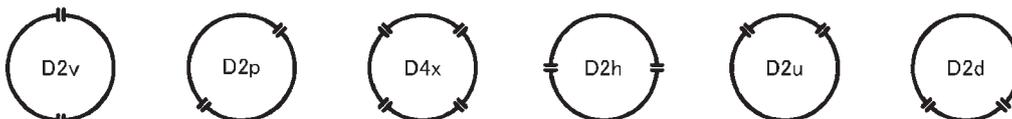
但し、荷重を既設管と分担するので、この更生管厚に、既設管による管厚を低減するための係数（ α_1 , α_2 ）を適用することで、既設管の寄与を考慮させた（式3-1, 式3-2）に基づき、必要管厚（曲げ強度： T_m 、たわみ率： T_d ）を求める。

(1) 曲げ強度から求めた必要更生管厚

$$T_m = \frac{D}{1 + \sqrt{\frac{2\sigma}{3 \cdot \alpha_1 \cdot (k_1 \cdot q + k_2 \cdot p)}}}$$

..... (式3-1)

・分散型



・単独型

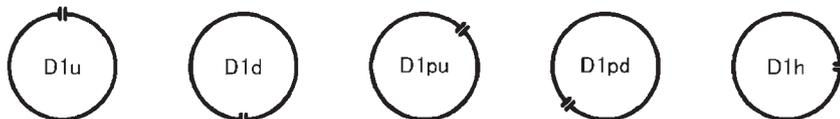


図4. 二層構造管として適用できる損傷パターン

ここに、 α_1 : 管厚低減係数($\alpha_1 = 0.4$)
 D : 更生管外径 (= 既設管内径) (mm)
 σ : 設計曲げ強度 (N/mm²) (表1)
 k_1 : 土による曲げモーメント係数 (表2)
 k_2 : 活荷重による曲げモーメント係数 (表2)
 q : 土による鉛直土圧 (N/mm²)
 p : 活荷重による鉛直土圧 (N/mm²)

(2) たわみ率から求めた必要更生管厚

$$T_d = \frac{D}{1 + \sqrt[3]{\frac{E \cdot V}{75 \cdot \alpha_2 \cdot (K_1 \cdot q + K_2 \cdot p)}}}$$

..... (式 3-2)

ここに、 α_2 : 管厚低減係数 ($\alpha_2 = 0.2$)
 E : 設計曲げ弾性係数 (N/mm²) (表1)
 V : たわみ率 (%) [$V = 5\%$]
 k_1 : 土によるたわみ係数 (表2)
 k_2 : 活荷重によるたわみ係数 (表2)

管厚低減係数 ($\alpha_1 = 0.4$, $\alpha_2 = 0.2$) は、該当する二層構造管の適用損傷パターンの中から、載荷実験およびシミュレーション解析を行うなどの研究により、導き出した値である。実際の損傷と損傷パターン

表1 曲げ特性の設計値の算出方法

更生材	曲げ強度	曲げ弾性係数
ガラス繊維を使用	長期曲げ強度を1.5で除した値	長期曲げ弾性係数を1.5で除した値
ガラス繊維を未使用	短期保証値を5.0で除した値 (= 長期曲げ強度)	長期曲げ弾性係数を1.6などで除した値

(「管きよ更生工法(二層構造管)技術資料」²⁾の資料3 参照)

表2 管厚算定に用いる係数

項目		土	活荷重
曲げモーメント	係数	k_1	k_2
	管頂の値	0.107	0.079
	管底の値	0.121	0.011
たわみ	係数	k_1	k_2
	値	0.070	0.030

(有効支承角は 120° を採用)

ンが必ずしも一致しないことなどから安全性と簡便性を考慮し、損傷パターンごとに設定するのではなく、各損傷パターンの最も厳しい条件のパターンの最大値を包括した統一の値として設定している。

土による鉛直土圧： q 、活荷重による鉛直土圧： p は、「管路更生 NO.2」⁶⁾に基づき、算出する。

3-5-2. 外水圧に対する設計法

既設管で拘束された更生管の外側に水圧が作用すると、更生管の周方向に働く軸力によって、図5に示すように、更生管が内側に座屈する可能性がある。従って、更生管の管厚は、座屈に対して安全となるように設定されなければならない。

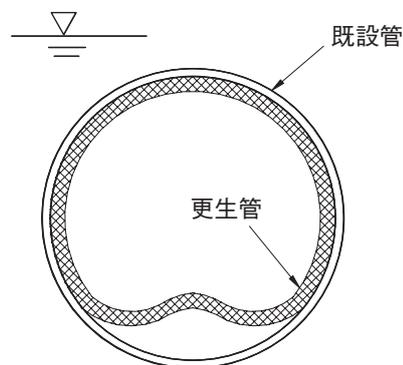


図5. 更生管の外水圧に対する座屈概念

外水圧による更生管の座屈に対しては、チモシェンコの薄肉円筒の座屈式が、地中埋設管の設計において広く用いられている。この式から導き出された(式 3-3)に基づき、必要更生管厚 (T_w) を求める。

$$T_w = \frac{D}{1 + \sqrt[3]{\frac{2 \cdot E_L \cdot K \cdot C}{P_w \cdot N \cdot (1 - \nu^2)}}}$$

..... (式 3-3)

ここに、 D : 更生管外径 (= 既設管内径) (mm)
 E_L : 更生材の長期曲げ弾性係数 (N/mm²)
 K : 支持向上係数 $K = 7.0$ [参考1]
 C : 楕円変形率 [表3]
 $= \{(1 - q/100) / (1 + q/100)\}^3$
 q : 変形率 [表3]
 P_w : 地下水による圧力 (MPa) [参考2]
 N : 安全率 $N = 2.0$
 [ASTM F1216-03⁷⁾ および ASTM F1867-98⁸⁾ の推奨値]
 ν : 更生材のポアソン比 $\nu = 0.3$

表3 変形率 & 楕円変形率

条 件	変形率 (q)	楕円変形率 (C)
① 更生管も土圧などの荷重を負担する場合	5%	0.64
② 更生管には外水圧のみが作用する場合	0%	1

【参考1】支持向上係数

更生管のように、既設管により外周を拘束された薄肉円筒管の実測座屈圧力は、更生管単体で荷重を受ける薄肉円筒管の座屈計算式による座屈圧力よりも向上する。このようなことから、更生管単体の計算式による座屈圧力と、既設管を有する管の実測座屈圧力の比率を支持向上係数という。

この係数は、海外の大学などの実験により得た値として、ASTM F1216に最小値7が推奨されている。国内においても、「管きよ更生の設計手法2002」⁹⁾で実測値が紹介されているが、「管きよ更生工法(二層構造管)技術資料」²⁾作成時にも試験を実施し、表4に示す値が得られた。最小値とバラツキを考慮し、 $K = 7$ を採用することとした。

表4 支持向上係数 (K) 試験結果

更生管の種類	NO.1	NO.2	NO.3
① 塩ビ系	12.2	10.9	9.6
② ガラス系	13.6	11.2	14.1
③ 非ガラス系	12.1	13.4	11.2

【参考2】更生管に作用する外水圧算出

地下水に対する外力は、「管路更生 NO.2」⁶⁾にも記載されているが、更生管底部に作用するものとし、(式3-4)に基づき、外水圧 (P_w) を求める。

$$P_w = (H + t + D - H_w) \times \gamma_w \dots\dots (式3-4)$$

- ここに、 H : 既設管の土被り (mm)
- t : 既設管の管厚 (mm)
- D : 更生管外径 (= 既設管内径) (mm)
- H_w : 地下水位 (mm)
(一般に $H_w = GL - 1,000$ mm)
- γ_w : 地下水の単位体積重量 (N/mm³)
(一般に $\gamma_w = 1.0 \times 10^{-5}$ N/mm³)

また、地下水に対する外力は、更生管中心部に作用するものとし、(式3-5)に基づき、外水圧 (P_w) を求める、考え方もある。

$$P_w = (H + t + D/2 - H_w) \times \gamma_w \dots\dots (式3-5)$$

【参考3】更生管設計における外水圧について

下水道用硬質塩化ビニル管などの可とう性の円形管に“土による荷重および活荷重”(以下“荷重”とする)が作用すると、管には曲げモーメントが発生し、管内側、管外側に引張応力、圧縮応力が生じる。そして、管の曲げ強度に対しては、引張応力が支配的となる。これに対して、外水圧は管全周における管中心方向への力であり、管には主として軸圧縮力として作用する。従って、荷重と外水圧が同時に作用した場合には、外水圧による軸圧縮力が荷重による引張力を低減させることとなる。外水圧が非常に大きい場合は、外水圧による面内座屈を考慮して設計を行う必要があるが、一般的な下水道管きよが埋設されている深さにおいては、更生工法における管厚は土による荷重および活荷重で決定される。従って、自立管の設計においては、外水圧を考慮しないほうが安全側の設計となるため、土による荷重および活荷重により管の設計を行っている。

一方、二層構造管では既設管の寄与を考慮することから、荷重に対する必要更生管厚は自立管より薄くなるため、外水圧による座屈に対しても安全であるように設計しなければならない。よって、二層構造管の設計においては、既設管による低減係数を考慮した荷重に対する必要更生管厚と、外水圧に対する必要更生管厚から、設計更生管厚を決定しなければならない。

3-5-3. 更生管厚の最終設計

- ① 更生管も土圧などの荷重を負担する場合
曲げ強度による必要更生管厚 (T_m) およびたわみ率による必要更生管厚 (T_d)、変形率を考慮した外水圧に対する必要更生管厚 (T_w) を計算し、これらの最大値を設計更生管厚とする。
- ② 更生管には外水圧のみが作用する場合
外水圧に対する必要更生管厚 (T_w) を計算し、これを設計更生管厚とする。
- ③ 管更生の工事においては、これら設計更生管厚を超えるメーカー規格厚さと呼び厚さとし、採用する。

4. おわりに

これまで、反転工法・形成工法の“自立管”、“二層構造管”について、述べてきたが、今回は、製管工法の“複合管”の考え方について説明をしていく。

【参考図書】

- 1) 「管更生の手引き(案)」平成13年6月 (社)日本下水道協会
- 2) 「管きょ更生工法(二層構造管)技術資料」2006年3月 (財)下水道新技術推進機構
- 3) 「管路更生NO.3」2007年7月 日本管路更生工法品質確保協会
- 4) 「下水道用硬質塩化ビニル管(JSWAS K-1)」平成14年7月 (社)日本下水道協会
- 5) 「下水道用強化プラスチック複合管(JSWAS K-2)」平成12年5月 (社)日本下水道協会
- 6) 「管路更生NO.2」2007年4月 日本管路更生工法品質確保協会
- 7) 「ASTM F1216-03」
ASTM: American Society for Testing and Materials
F1216-03: Standard Practice for Rehabilitation of Existing Pipelines and Conduits by the Inversion and Curing of a Resin-Impregnated Tube (米国材料試験協会: 規格名称: F1216-03、樹脂含浸チューブの反転・硬化による既存の配管、導管の更生に関する標準方法)
- 8) 「ASTM F1867-98」
ASTM: American Society for Testing and Materials
F1867-98: Standard Practice for Installation of Folded/Formed Poly (Vinyl Chloride) (PVC) Pipe Type A for Existing Sewer and Conduit Rehabilitation, Appendix X1 (米国材料試験協会: 規格名称: F1867-98、既設の下水管及び導水管の更生のための折込ポリ(塩化ビニル)(PVC)管の標準仕様書)
- 9) 「管更生の設計手法2002」2002年3月 管渠更生工法連絡会(現日本管路更生工法品質確保協会)

連載講座小委員会

委員長	宮川 恒夫	EX ダンビー協会・技術委員
委員	安井 聡	FFT 工法協会・技術委員
委員	池ヶ谷貴之	オールライナー協会・技術委員
委員	上垣 潔志	パルテム技術協会・技術部長
委員	眞田 和彦	光硬化工法協会・技術委員長