

ゴム引布製起伏堰（ゴム堰）のゴム袋体損傷と維持管理

平成30年3月12日
(国研) 土木研究所 技術推進本部
先端技術チーム 主任研究員 中島淳一

ゴム引布製起伏堰（ゴム堰）のゴム袋体損傷と維持管理

▶ ゴム引布製起伏堰（ゴム堰）の概要

構造と機能、特徴と用途、設置状況、設置数・規模

▶ ゴム堰の材料であるゴム袋体とは

ゴム引布の特徴、使用環境

▶ ゴム袋体の主な損傷事例

空気漏れ、膨れ（丘状・凸状）、接合部外層亀裂・内面剥離
表面ひび割れ・剥離

▶ 損傷検知（内部剥離）の必要性、調査と試行結果

赤外線サーモグラフィ、非破壊打音解析装置

▶ ゴム袋体の状態監視予防保全

袋体接合部標点管理、損耗レベル標本管理、袋体品質・稼働傾向管理、
代表的な現場補修方法

▶ ゴム堰維持管理へのCIMの活用

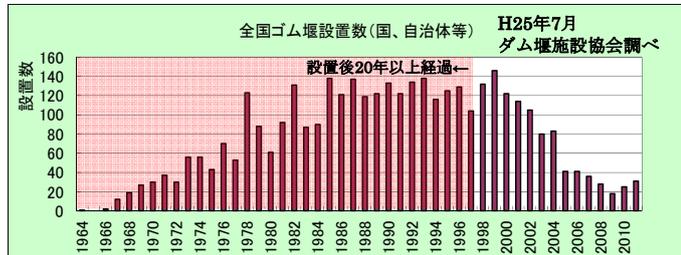
内部構造の可視化、変状・倒伏時の状態監視、FEM解析への応用

ゴム堰の設置数・規模

現況・規模

設置数: 3,700箇所 (H25.7月ダム堰施設協会調べ)
老朽化が顕著: 大半が設置から20年以上経過
設備規模 (国交省所管分)

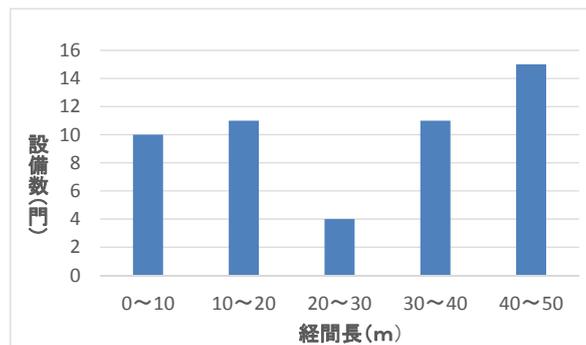
堰径間長: 20mまでと30~50mに2分
堰高: 5m級までであるが、2~3mが主流



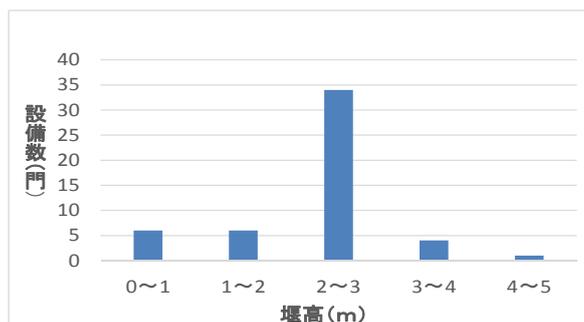
ゴム堰設置年の推移



ゴム堰の全景事例



堰径間長の分布



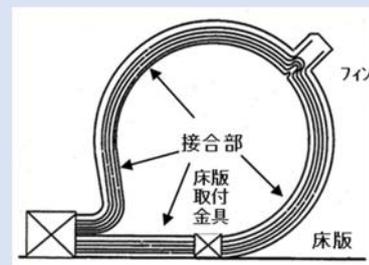
堰高の分布



ゴム堰におけるゴム袋体の構造・特徴・使用環境

ゴム袋体とは

- ・ゴム堰を構成するゴム袋体は、ゴム引布を貼り合わせ製作される。
- ・袋体は製造設備の制約から、堰規模により接合部(継部)を有する。
- ・接合部は熱加硫(化学反応)、圧力、接着剤を組合せ接合するが、メーカーや年代により製造工程は様々
- ・製造者はタイヤメーカー、ベルトコンベアメーカー等



ゴム袋体断面図

ゴム引布の特徴

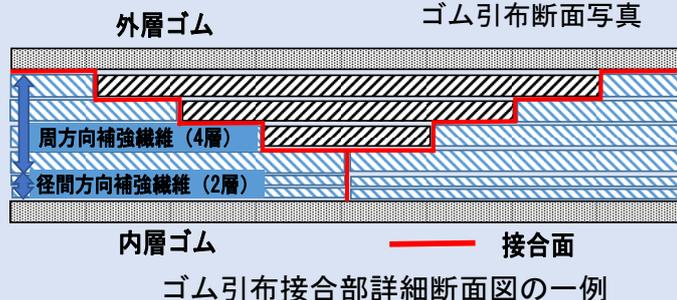
ゴム引布: 強度部材である織布を保護部材であるゴムで被覆した複合素材
ゴム材: CR(クロロプレンゴム)、最近ではEPDM(エチレン・プロピレン・ジエンゴム)が主流(耐候性、耐オゾン性)
補強材: ナイロン製の補強繊維(織布又は帆布とも呼ぶ)



ゴム引布断面写真

使用環境

ゴム袋体は、長期使用による老朽化で、損傷を誘発
・ドライ状態による高温環境、オゾンの照射
・内圧(1.2気圧)による張力、倒伏による繰返し応力
・流水圧力(越流、増水)、堆砂による偏荷重
・劣化や流下物損傷による水分の引布内部浸潤



ゴム引布接合部詳細断面図の一例



ゴム堰におけるゴム袋体の主な損傷事例

袋体空気漏れ

- 発生時期: 設置後4年程度
損傷状況: 倒伏時に床版にある袋体取付金具と袋体との接触面が貫通し、空気漏れが発生
発生原因: 金具に衝撃痕がみられたことから、突出金具と転石等の間に袋体が挟まり、貫通を誘発



袋体丘状膨れ

- 発生時期: 設置後20年程度
損傷状況: 周方向において、フィンを境に上面2.5m、下面1.4m、径間方向に4mと広範囲に及ぶ丘状膨れが発生
発生原因: 転石等の外部衝撃の影響で袋体内層部が損傷。内部エアが損傷部へ進入して外層部まで波及



ゴム堰におけるゴム袋体の主な損傷事例

袋体凸状膨れ

- 発生時期: 設置後18年程度
損傷状況: 堰端部フィン上流側上面に径間方向1.5m、周方向0.75m、高さ0.1mの凸状膨れが発生
発生原因: 老朽化やフィン部の繰返し応力により、外層ゴムと補強繊維の境界面に剥離が発生。内部エアが剥離部に進入し、凸状膨れを誘発



袋体接合部外層亀裂

- 発生時期: 設置後17年、23年程度
損傷状況: 径間方向に、0.25~0.5m、幅5mm、深さ10mm程度で、補強繊維に達するものも発生
発生原因: 老朽化や流下物衝突等による衝撃による接合面の剥離が亀裂を誘発



ゴム堰におけるゴム袋体の主な損傷事例

袋体接合部内面剥離

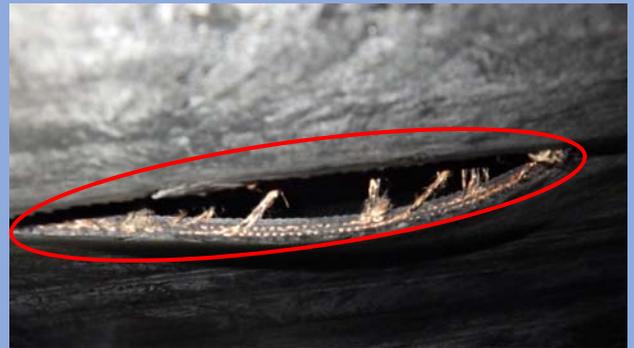
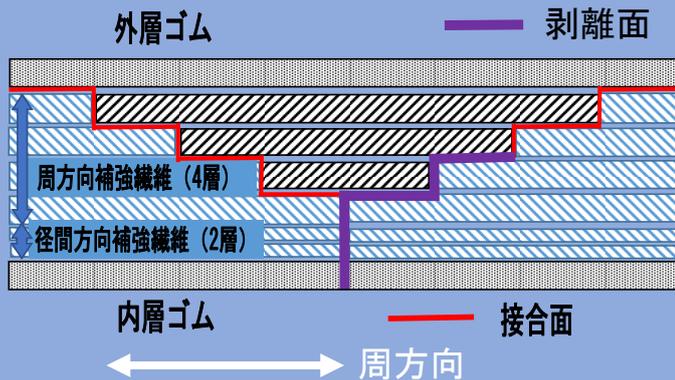
発生時期: 設置後17年程度

損傷状況: 堰内部の内層接合部が、周方向に320~330mm、径間方向に約2m、深さ10mmに渡り剥離。

発生原因: 経年劣化による接合部接着力の低下により、ゴムと補強繊維間の剥離を誘発



堰内部剥離箇所



堰内部剥離状況

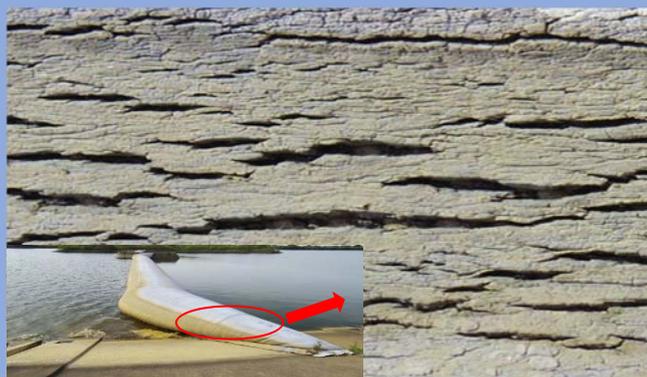
ゴム堰におけるゴム袋体の主な損傷事例

袋体ひび割れ

発生時期: 設置後26年程度

損傷状況: 折れじわ部にひび割れが発生。進行すると内部補強繊維まで達する場合がある。

発生原因: 厳しい使用環境下での経年劣化と繰返し応力集中が、ひび割れを助長



袋体表面剥離

発生時期: 設置後26年程度

損傷状況: 表層ゴムが経年劣化により、剥がれ落ち、ささくれ状態となる。ゴムの硬化(ゴム硬度90以上)が認められる。

発生原因: 厳しい使用環境下での経年劣化がその要因



ゴム袋体の損傷（内面剥離）検知手法

背景

ゴム袋体の接合部内面剥離が進行し、堰の機能維持に支障となる事例が発生。
現場補修が困難であり、更新までの維持管理が課題

開発目標

第1段階

ゴム袋体内面剥離の確実な検知

最終段階

内面剥離の診断
(剥離範囲の把握と剥離層の特定)

開発条件

- 外部からの非破壊測定
- 測定者による差異が生じない
- 現場管理者レベルでも測定可能
- 没水状態は対象外

非破壊内面剥離検知手法の調査と試行

人為的

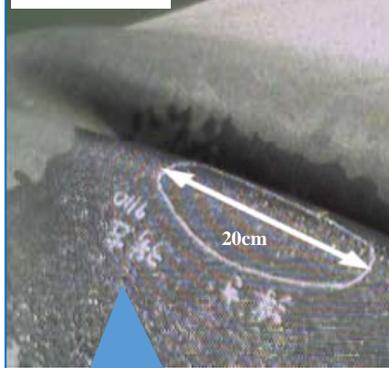
ゴム袋体外面からの目視による発見は困難。点検ハンマによる方法では、表層に近い場合に確認できるケースもあるが、深層では困難。

機械的

超音波やX線による方法でも困難。表層近傍剥離で、界面に一定の空気層がある場合、赤外線サーモグラフィが、有効な場合あり。

赤外線サーモグラフィによる剥離検知事例

可視画像



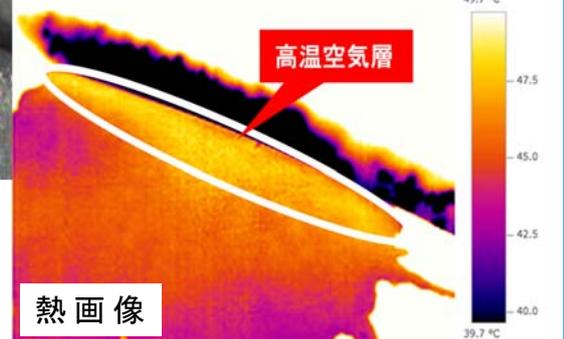
ゴム袋体表面に水噴霧

気温27.5℃、表面温度45℃



携行ハンディタイプ

項目	仕様
熱画像画素数	160×240ピクセル
温度分解能	0.05℃以下
赤外線測定波長	8~14μm
測定精度	±2℃
測定範囲	-30~100℃



ゴム袋体の損傷（内面剥離）検知手法

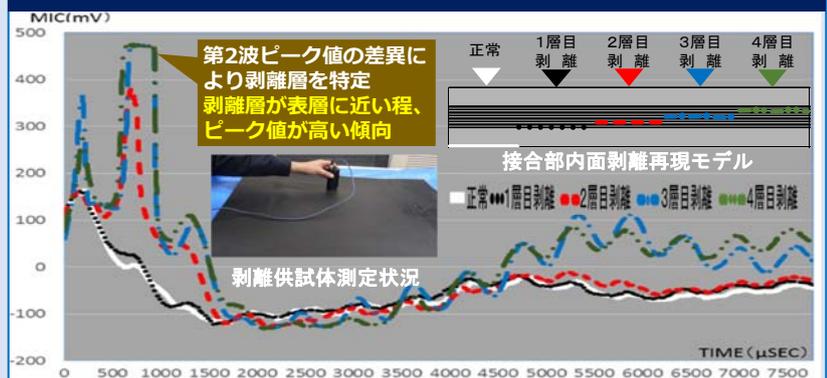
試作装置（非破壊打音解析装置）

タイル剥離やコンクリート空洞の打音検査装置をゴム複合材へ応用

音波検知特性を低周波領域にシフト

- 打撃・集音部、計測部、電源部、解析部(PC)で構成
- 打撃はソレノイド駆動による棒状ハンマ方式
- 防水型コンデンサマイクによる集音
- 打音応答電圧時間波形による損傷検知
- 計測・解析部間は、BLUETOOTHによる無線データ通信

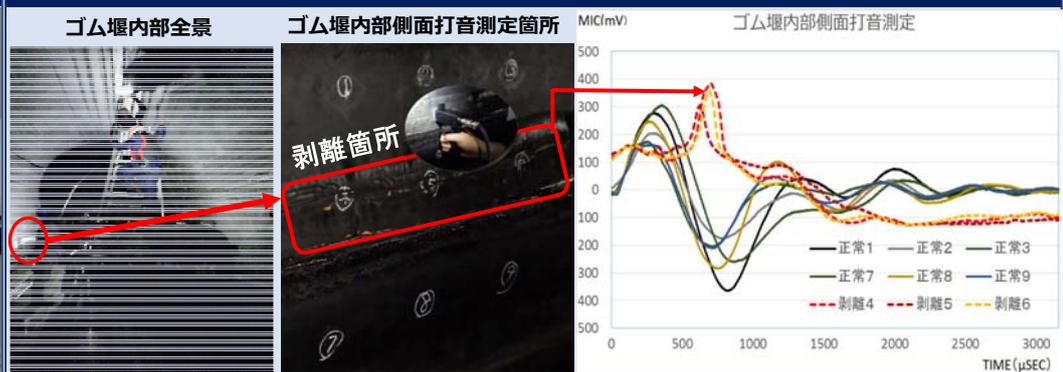
剥離供試体 打音応答時間波形



試作装置写真



ゴム袋体損傷検知 現場実証試験結果



ゴム堰保全で認識すべき事項

- ・ゴム堰のトラブルの多くはゴム袋体に発生する。
- ・ゴム袋体の経年劣化による品質低下は製造方法、使用環境、使用方法等により大きく左右され、固有の様態を示す。
- ・損傷や剥離が補強繊維まで達するとゴム堰の強度そのものに影響し、致命的レベルに発展（特に内面剥離は要注意）する可能性がある。
- ・ゴム袋体の現場補修は、当初品質の回復は困難であり進行を止める、又は遅延がその目標となる。

状態監視予防保全の適用

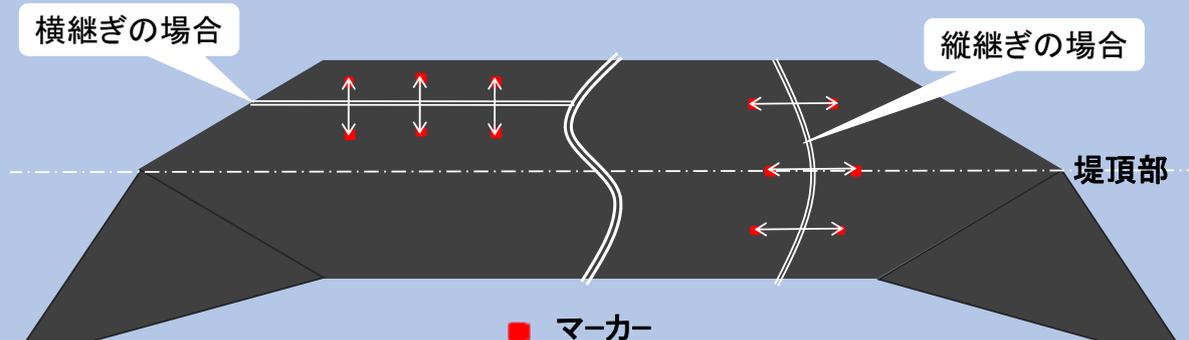
ゴム袋体の状態監視予防保全

1. 袋体接合部標点管理

目的 接合部剥離等の異常を早期発見

方法 ゴム袋体接合部を中違えとし、表層双方に標点（マーカー）を設置し、マーカー相互間の距離を定期的に観測することで接合部の変化を把握

条件 距離計測は誤差を招かないよう一定条件下（内部圧力、外気温）で実施



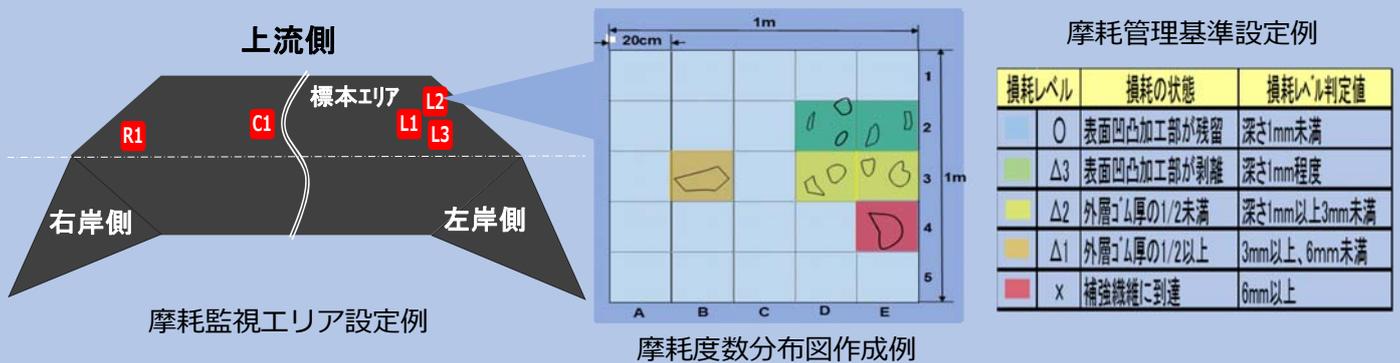
袋体接合部標点管理事例(俯瞰模式図)

2. 袋体損耗の標本管理

刈り 転石流入が多いなど、ゴム袋体の損耗が著しい現場での袋体管理には代表監視エリアを標本とする管理手法が簡便かつ効率的であり有効。

エリア設定 代表監視エリアは左岸・中央・右岸側を基本とするが、特に損耗エリアに偏りがある場合は、損耗度の高いエリアを優先して設定する。

摩耗管理基準 袋体の品質管理は損耗管理基準の作成が望ましく、損耗管理基準のレベル設定は損耗深度が補強繊維に達するまでを一つの目安とする。



ゴム袋体の状態監視予防保全

ゴム袋体品質の傾向管理

ゴム袋体は長期使用により経年劣化し、**品質低下は避けられない。**

品質の低下レベルは製造方法、現場使用環境等に大きく左右され、一概に使用年数だけでは決められない。

現品の品質低下を量る手法として、現地に堰設置時点から**暴露供試体を設置する**べきである。

- 品質低下は性状評価試験が有効
(引張試験の他、接合部剪断剥離試験・引剥がし試験等)
- 耐用年数分の確保
- 気中暴露の他、浸水暴露分の確保



気中暴露事例



浸水暴露事例

稼働状況の傾向管理

稼働履歴は異常原因特定や予防に**重要な役割を果たす**ことから、万が一のトラブルに備え、日頃から堰の稼働状況を記録する。

管理項目設定事例

- 越流状況 (各号機の日数)
→ 気中・没水環境影響度の推定
- 倒伏状況 (各号機の日数)
→ 折畳部繰返し応力影響度の把握
→ 各号機頻度の偏りの把握
- 袋体内圧 (各号機の圧力値)
- 給気装置稼働状況
(起動回数・時間)
→ 空気漏れ等の異常兆候の推定

ゴム袋体の代表的な現場補修方法

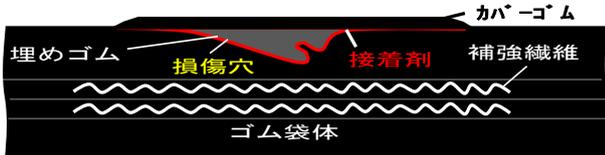
袋体補修の基本的な考え方

- ・ 損傷の早期発見・早期対応が基本
- ・ 損傷等の進行停止・遅延効果による延命化が目標
- ・ 現場補修時の施工管理の徹底が肝要

袋体補修の施工事例

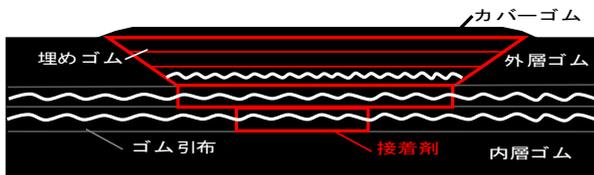
■ 被覆補修

損傷等が補強繊維まで達しない場合に適用



■ 更生補修

損傷等が補強繊維まで達した場合に適用
(損傷影響範囲の除去、熱加硫ではなく自然加硫)



施工管理項目事例

① 施工環境

天候、気温、湿度、堰の起伏、内圧

② 使用材料

ゴム (材質、寸法、数量)、接着剤 (種類、塗布量)

③ 使用機材

カッター (砥石#)、赤外線ヒータ、圧着用ローラー、締結具

④ 施工管理簿

施工工程、作業時間、材料温度、締結トルク値

⑤ 工程・品質管理写真

施工前損傷部の状況 (位置、影響範囲、規模、深さ)

使用材料・機材の状況 (現物、数量、寸法確認)

損傷部清掃状態、低温時防寒養生

目粗し等表面処理状態、補修材端部処理状態

接着剤塗布 (塗りむら)・乾燥状態 (半乾き)

補修材料貼付状態 (位置、重なり具合)

施工温度管理方法、圧着ローラー掛け状態

補修履歴の記録保管

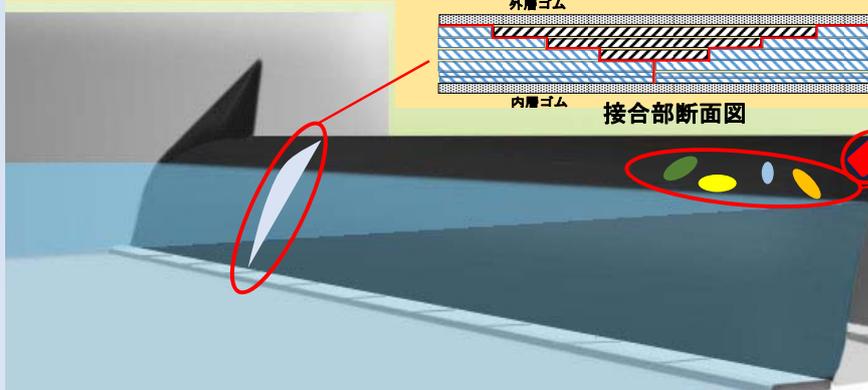
- ・ 今後の補修計画や維持管理に必要
- ・ 補修トラブル発生時の原因究明に有効
- ・ 補修履歴を反映した維持管理計画作成

ゴム堰維持管理へのCIM活用

CIMモデル；構造物モデル IFC2x3(buildingSMART JAPAN)及びデジタルファイル

スケルトンモード表示による内部構造の可視化

袋体接合部位置、接合部構造、補強部位置、補強部構造
給気配管配置、固定部締結位置・構造



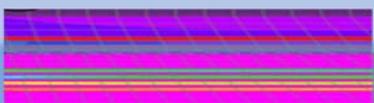
ゴム袋体変状の状態監視 (時間軸を追加し4次元化)

異常形態；接合部亀裂、損傷亀裂、穿孔、膨れ
異常状態；位置、規模 (大きさ、深さ、程度)
点検履歴；属性表示
補修履歴；位置、規模 (大きさ、厚さ等)

損耗レベル	損耗の状態	損耗レベル判定値
0	表面凹凸加工部が残留	深さ1mm未満
△3	表面凹凸加工部が剥離	深さ1mm程度
△2	外層ゴム厚の1/2未満	深さ1mm以上3mm未満
△1	外層ゴム厚の1/2以上	3mm以上、6mm未満
x	補強繊維に到達	6mm以上

FEM解析への応用

応力集中部位の把握
重点監視・点検箇所の把握



倒伏時の状態確認

応力集中部位の把握
ゴム袋体と固定金具接触面の把握

