

下水道のコンクリート防食技術について



令和3年9月

JR JERコンクリート補改修協会

下水道用マンホールに関する基準の変遷

下水道用マンホール更生工法について

複合マンホール更生工法

自立マンホール更生工法

下水道用マンホール防食被覆工法について

モルタルライニング工法

平成14年5月

下水道管路施設腐食対策の手引き(下水協)

管路施設の腐食事例・腐食対策が示される

平成26年12月

「下水道用マンホール改築・修繕工法に関する技術資料」が発刊(下水道機構)

長寿命化計画の策定に必要な調査・診断方法や工法選定手順について示し、具体的な修繕・改築に関する設計手法や施工計画および施工管理に関する考え方を示すことを目的とする。

平成27年

下水道法が改正

改正内容(一例)
下水道の計画的維持管理の推進のために維持修繕を創設→腐食の恐れのある管きよの点検頻度を5年に1回と制定される

平成28年4月

「下水道ストックマネジメント支援制度」が創設(国交省)

下水道ストックマネジメント計画に基づいた「点検・調査、改築」に対して、財政的支援を目的とする。

～平成27年)

下水道管路施設腐食対策の手引き(案) 平成14年5月
マンホール内面への腐食対策として防食が紹介される。

4.2.5 マンホールの腐食対策

マンホールの腐食対策は、管きょと同様、次の2種類の方法が考えられ、「4.2.2 腐食対策の基本方針」に基づいて最適な手法を選択する必要がある。

(1) 硫黄酸化細菌の増殖抑制

防菌・抗菌コンクリートの使用。

(2) マンホールの耐硫酸性向上

1) 耐硫酸性を有するマンホール

樹脂製品、セラミック製品、レジンコンクリート製品等がある。

2) 耐硫酸性を有するマンホール内面

樹脂ライニング、セラミックライニング、シートライニング等がある。

下水道管路施設腐食対策の手引き(案) 平成14年5月ー引用

下水道マンホール改築・修繕工法に関する技術資料発刊

(公財)日本下水道新技術機構

下水道用マンホール改築・修繕工法に
関する技術資料

－ 2014 年 12 月 －

公益財団法人 日本下水道新技術機構

研究の背景

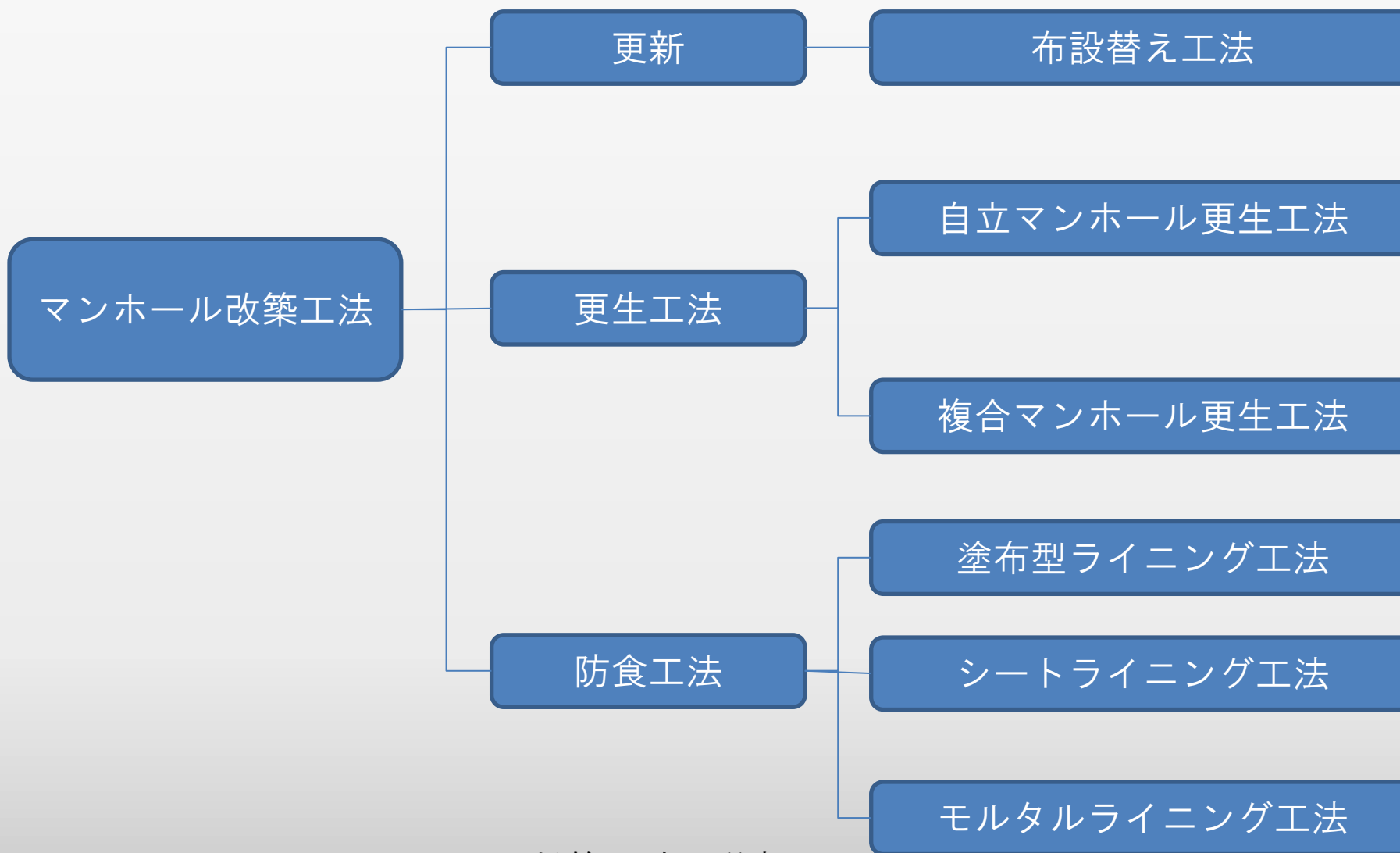
○マンホールのストック数が膨大となり、管きよと同様に老朽化や劣化が顕在している。

○改築更新の効率的な実施が必要。

○調査診断手法，設計手法，マンホール対策工法の定義や適用範囲などが統一化されていなかった。

○調査診断から計画，設計，施工管理までを網羅し長寿命化計画を効率的に策定できる。

⇒下水道用マンホール改築・修繕工法の適用範囲を明確化

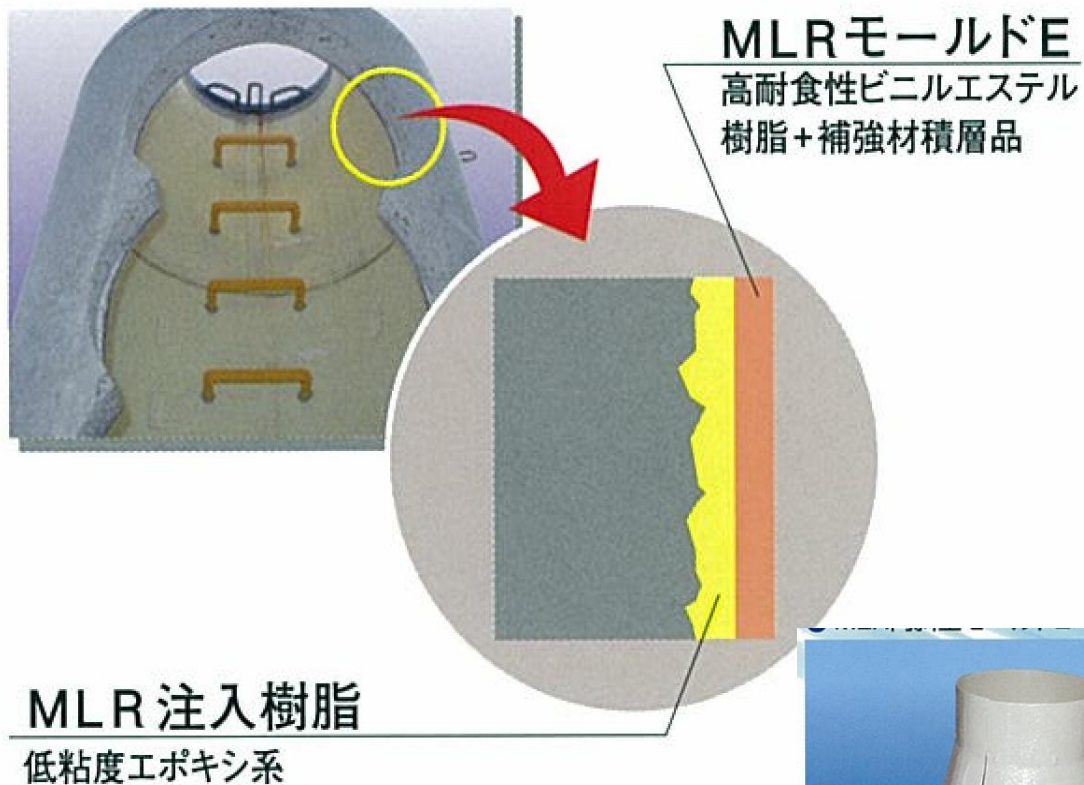
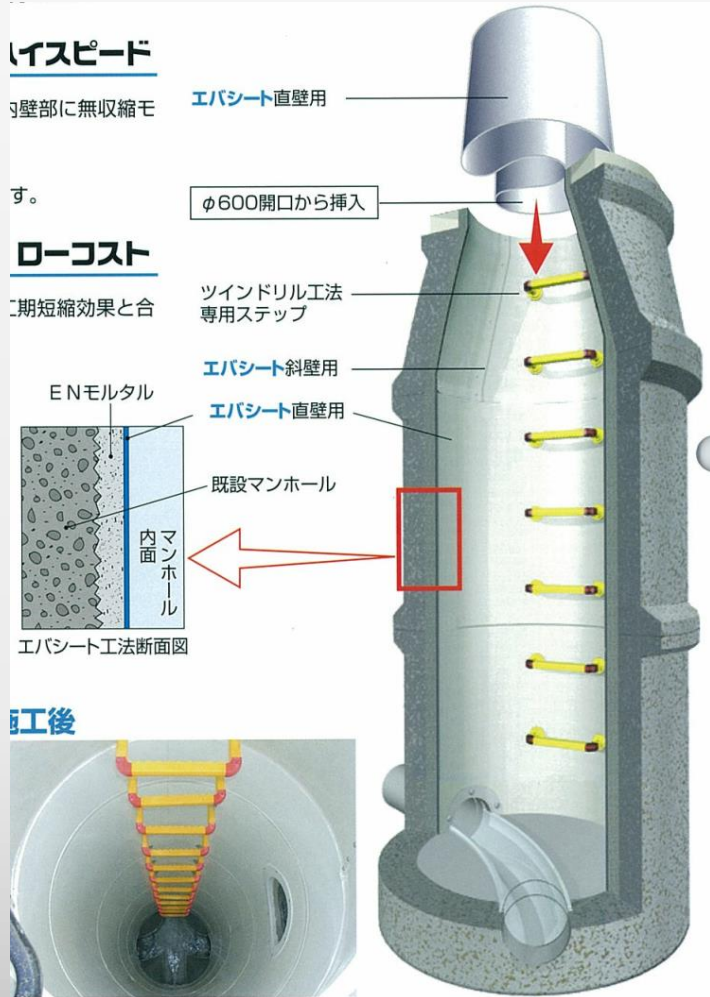


対策工法の分類

マンホール更生工法分類

複合マンホール 更生工法

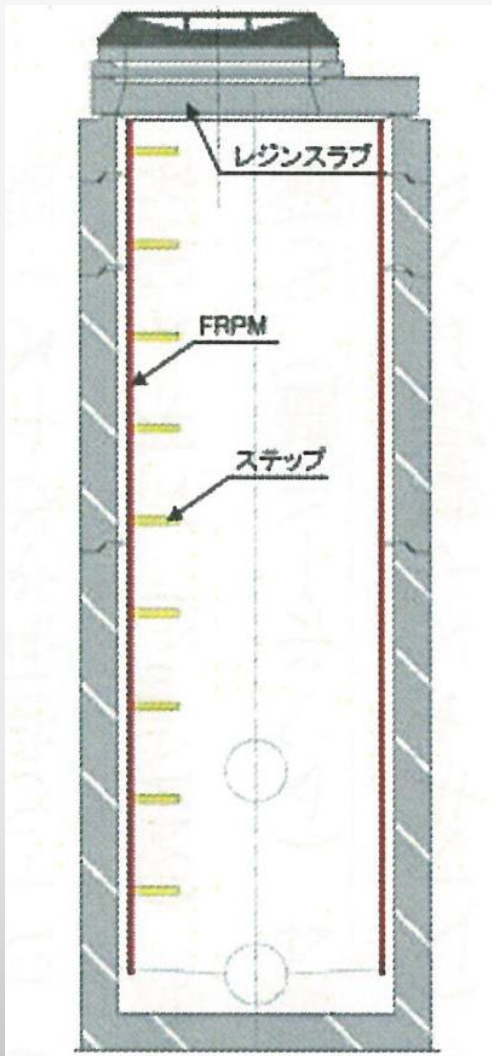
既設マンホールと更生材が構造的に一体となって外力に対抗するタイプ。



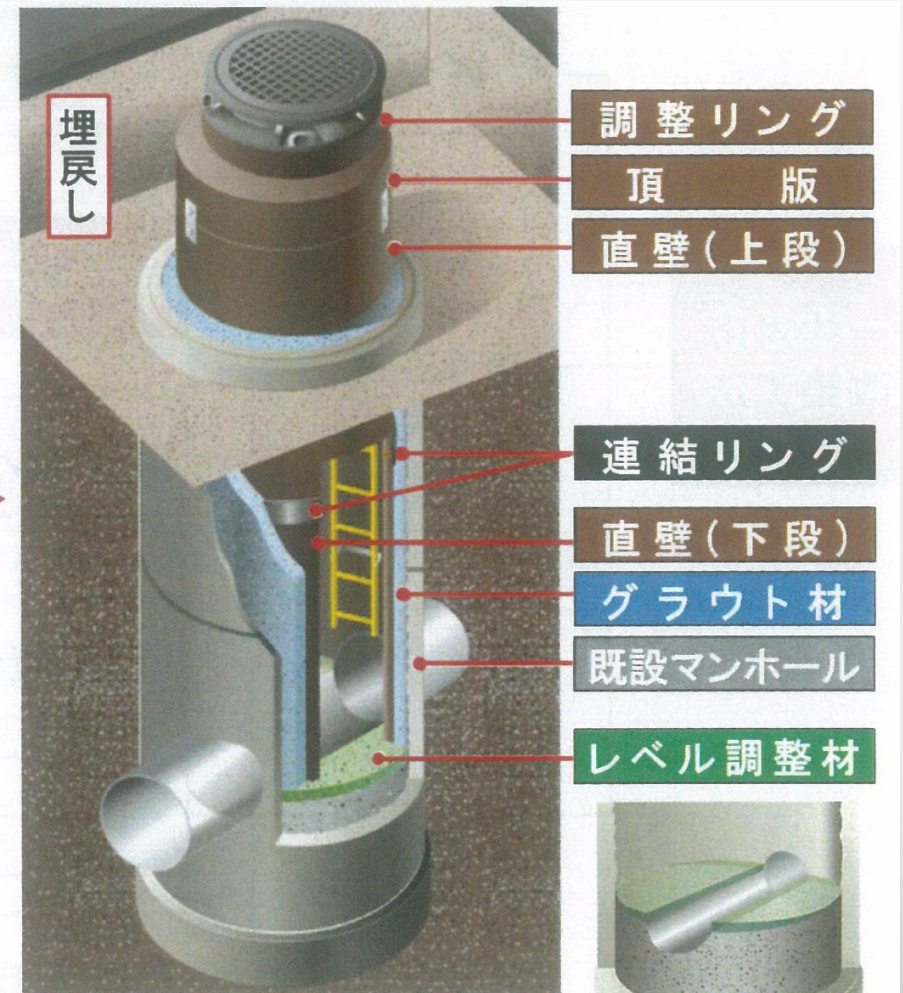
マンホール更生工法分類

自立マンホール 更生工法

既設マンホールの耐荷力を期待せず、更生材自らの耐荷力により外力に対抗するタイプ。



劣化マンホール



自立マンホール更生後

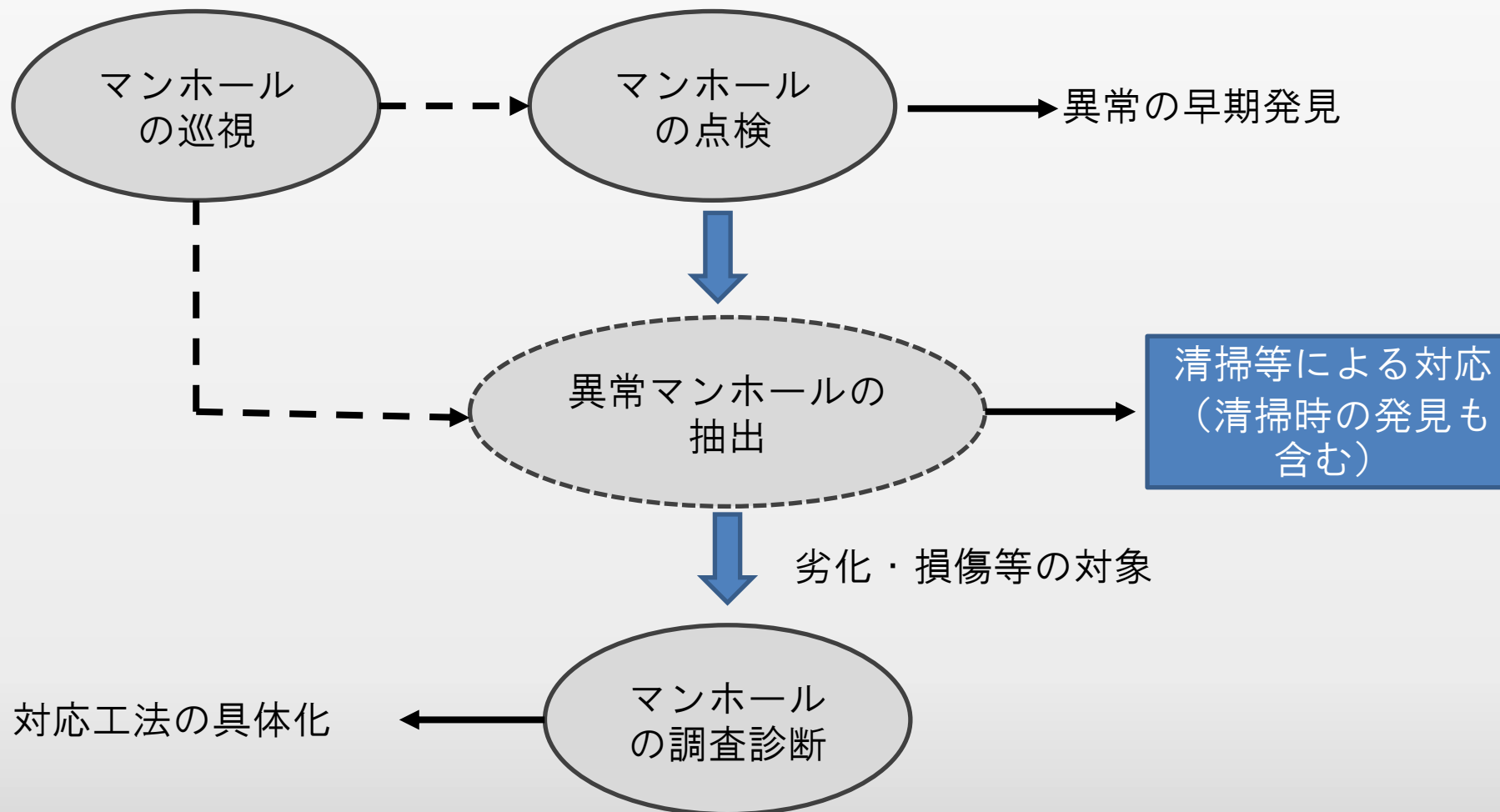
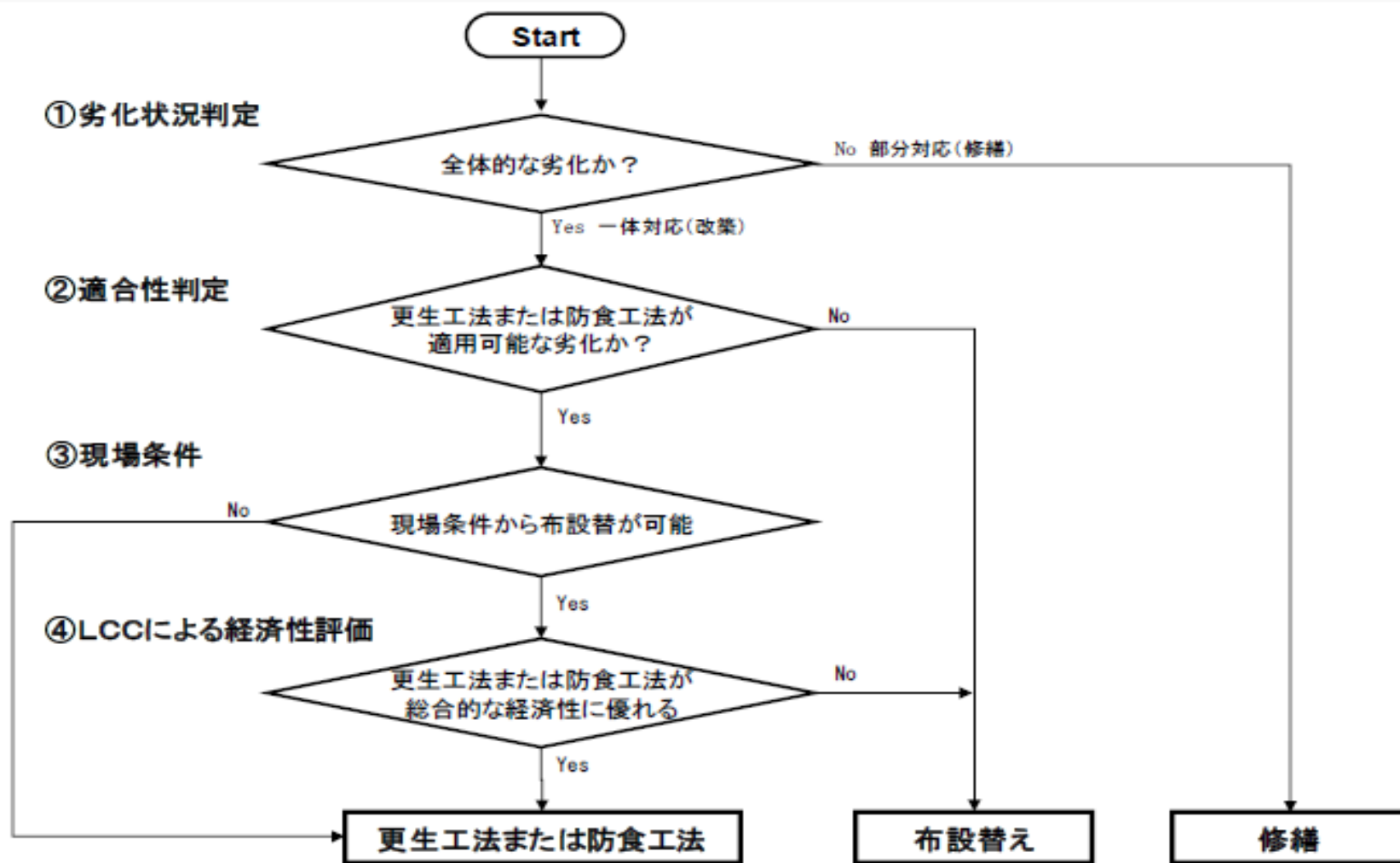


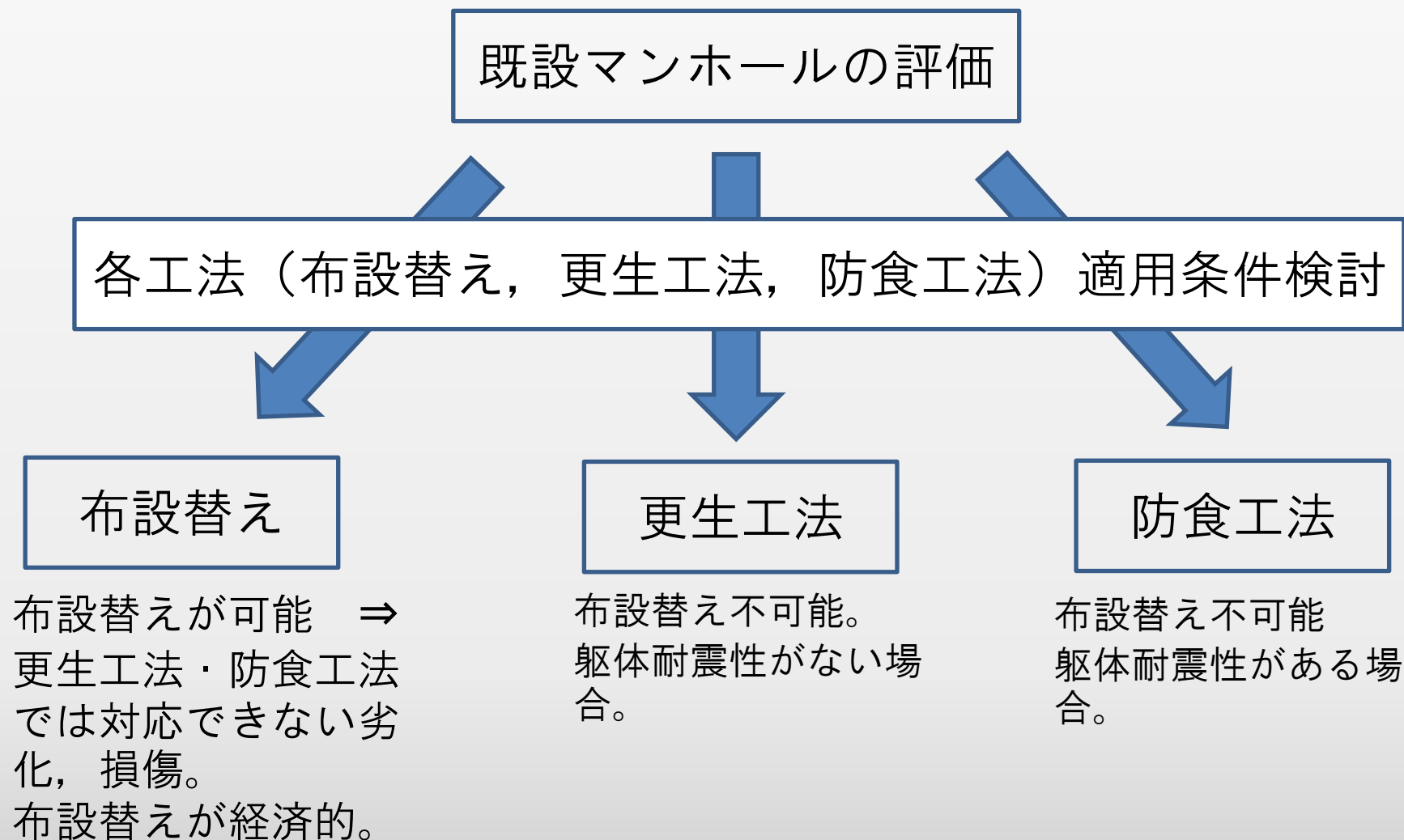
表 2-13 マンホール内部の詳細調査項目

| 詳細調査項目 | 調査内容 | 備考 |
|-----------|--|---------------|
| 目視調査 | マンホール内部の腐食、破損、クラック、隙間・ズレ、浸入水、木根侵入等の異常の有無の確認 | |
| コンクリート劣化度 | <p>○現地測定による劣化度調査 中性化深さ、推定圧縮強度、コンクリート表面 pH、鉄筋かぶり厚さ、鉄筋腐食度、鉄筋径、鉄筋ピッチ</p> <p>○採取試料による劣化度調査 硫黄侵入深さ、圧縮強度、中性化深さ</p> | |
| 腐食環境 | <p>腐食環境の測定</p> <p>マンホール内部の硫化水素ガス濃度、二酸化炭素、温度、流入下水の温度等</p> | |
| 維持管理特性 | <p>対象マンホールの対策工事の可否</p> <p>対象マンホールの残存供用期間</p> <p>当該地域の維持管理計画</p> | 現地踏査やヒアリングによる |
| 施工条件 | <p>接続施設の運転休止の可否（ポンプ施設の場合）</p> <p>施工環境（温度、湿度、表面水分、換気等）、施工規模</p> | 現地踏査やヒアリングによる |



※液状化による対応は対象外。

図 2-9 マンホールの対策範囲および対策の検討フロー案



硫酸腐食環境

穏やか

厳しい

- ・ 下水の流れが穏やか
- ・ 比較的新しいマンホール

- ・ 高湿度環境下
- ・ 腐食環境がⅡ種，Ⅲ種
- ・ 既設マンホールに耐震性がある
- ・ 工期，コストをかけたくない

モルタルライニング工法

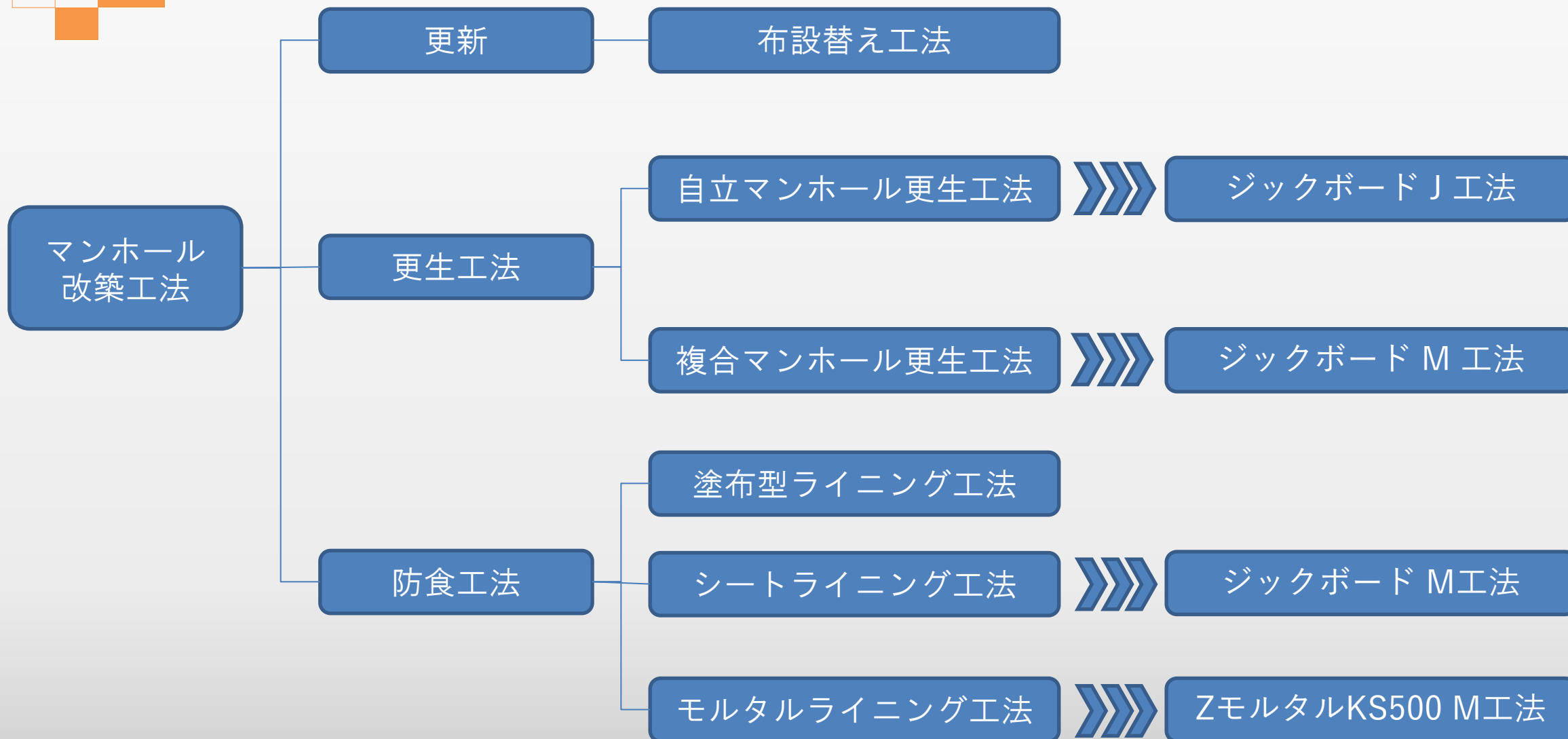


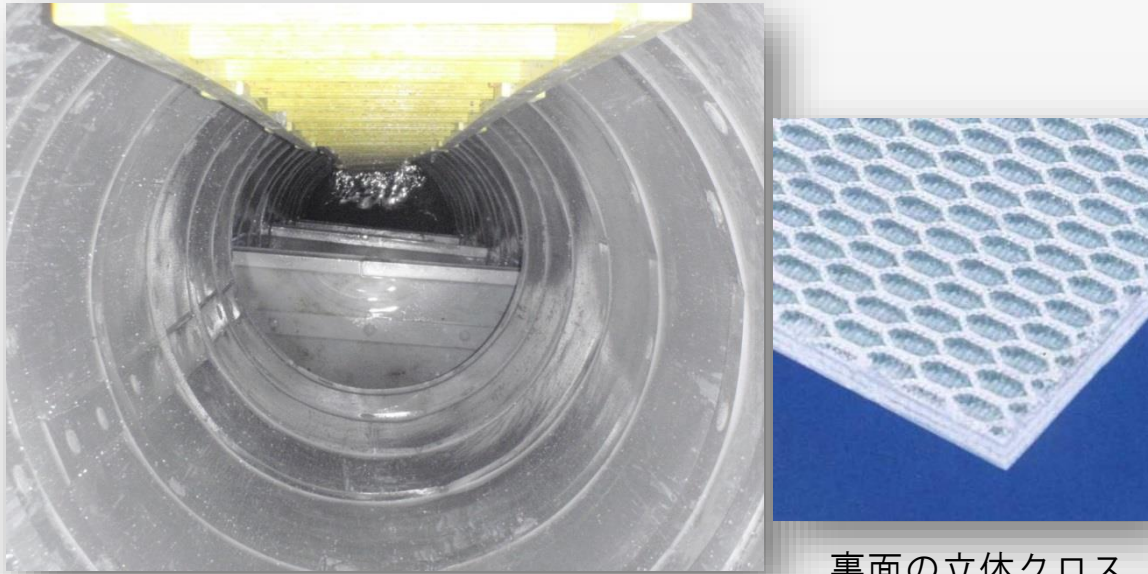
- ・ 圧送管吐出し口
- ・ 落差のあるマンホール

- ・ 高湿度環境下
- ・ 腐食環境がⅠ種
- ・ 既設マンホールに耐震性がない
- ・ メンテナンスフリーが求められる

複合マンホール更生工法 自立マンホール更生工法



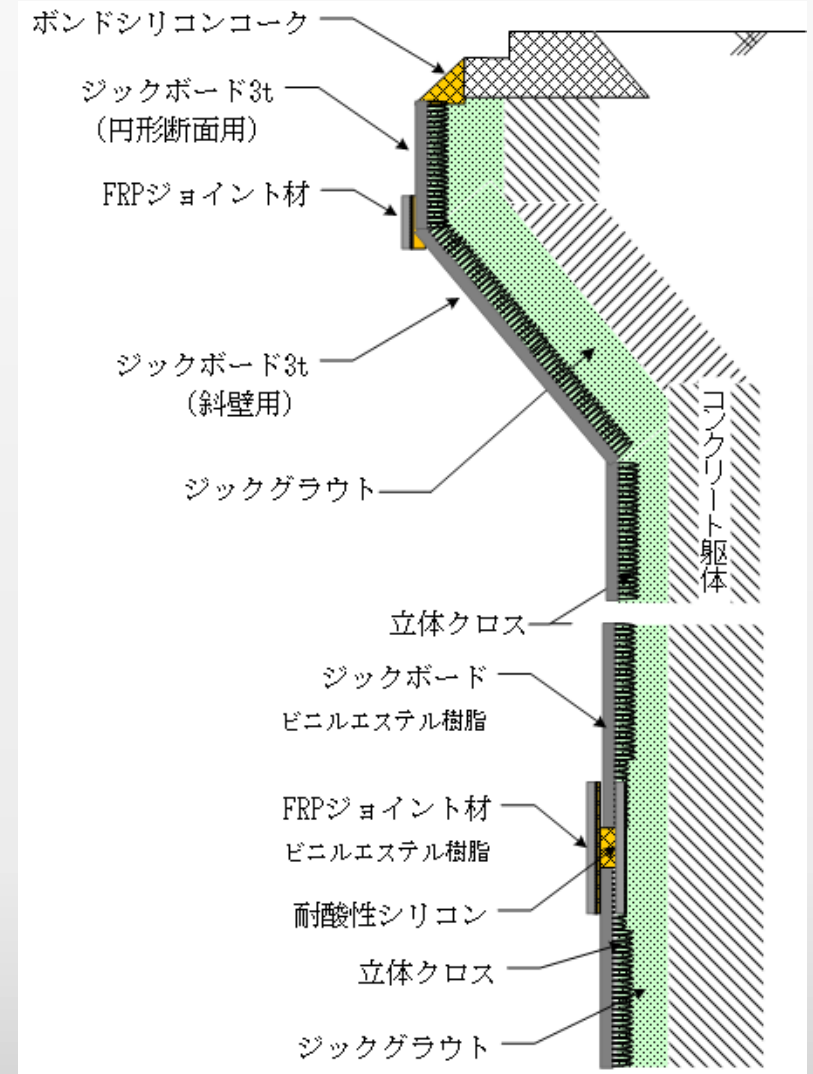




裏面の立体クロス

ジックボードM工法は、シートライニング工法によるマンホール改築工法で高耐食性のビニルエステル樹脂製FRP板の裏面に立体クロスを一体成形した複層板（ジックボード）を、既設マンホール内面に隙間を設けて設置し、この隙間に無機質系グラウト材を充填する。

これにより、ジックボード裏面の立体クロスと無機質系グラウト材が強固に絡み合い、ジックボードとマンホールが一体化し外力に対抗する工法。



断面図

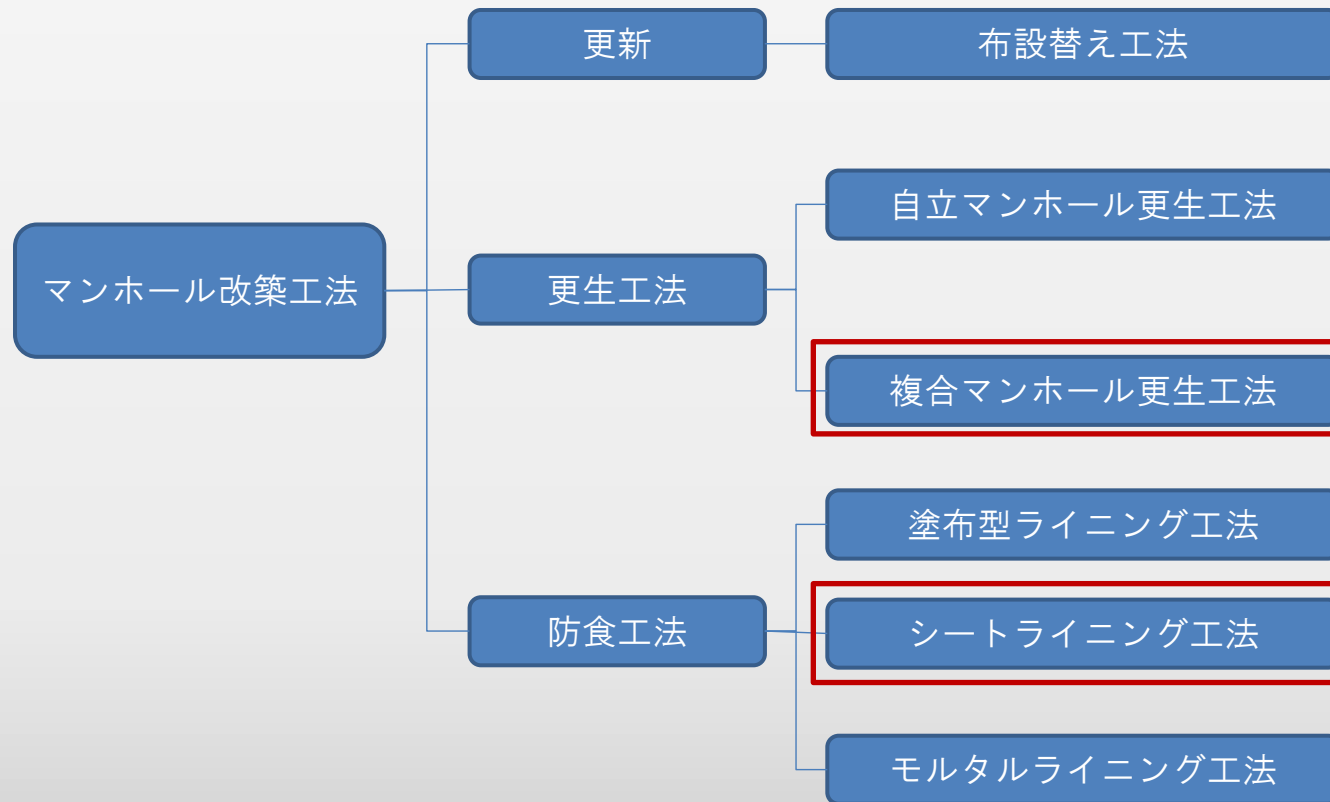
複合マンホール更生工法の適用範囲例

| | マンホール更生工法 | 防食工法 |
|-------------|--|-------------------------------------|
| 円形構造 | 組立てマンホール 1, 2, 3号 | 内径900mm以上のマンホール |
| 角形構造 | — | 内法寸法900mm×600mm以上で作業者が施工可能な規模のマンホール |
| 人孔深さ | 10m以下 | 制限無し |
| 既設マンホールの減肉量 | 鉄筋露出まで減肉 | — |
| 備考 | ※（下水道用マンホール改築・修繕工法に関する技術資料，2014年12月）に定める適用範囲は，人孔深さ5m以下 | — |

複合マンホール更生工法 審査証明例

技術名称：ジックボードM工法

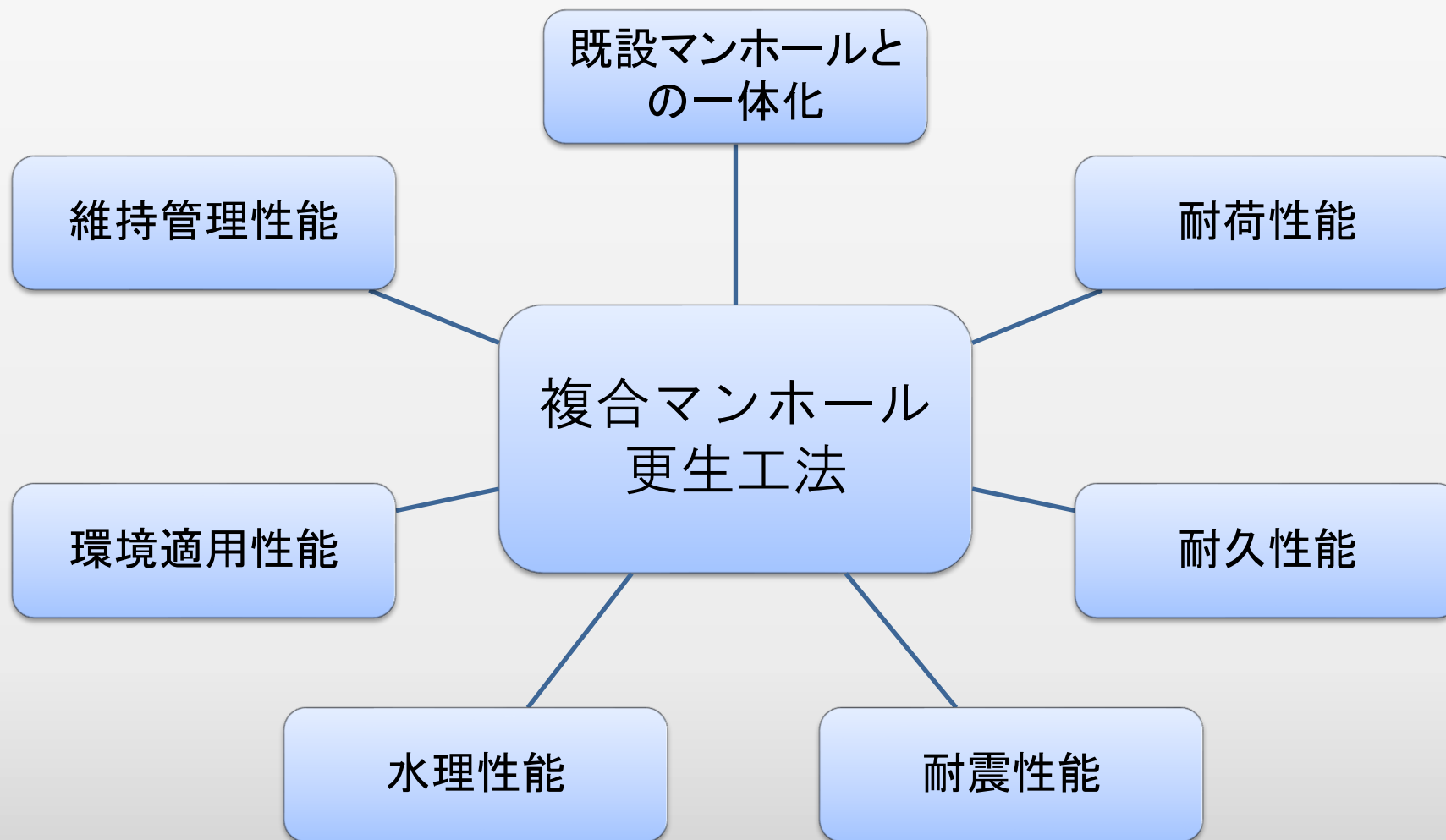
副題：下水道用マンホール更生工法および
防食工法（シートライニング）



対策工法の分類



平成29年3月 審査証明取得





ジックボード1800×900×3 (8) mm



8mmボード



3mmボード



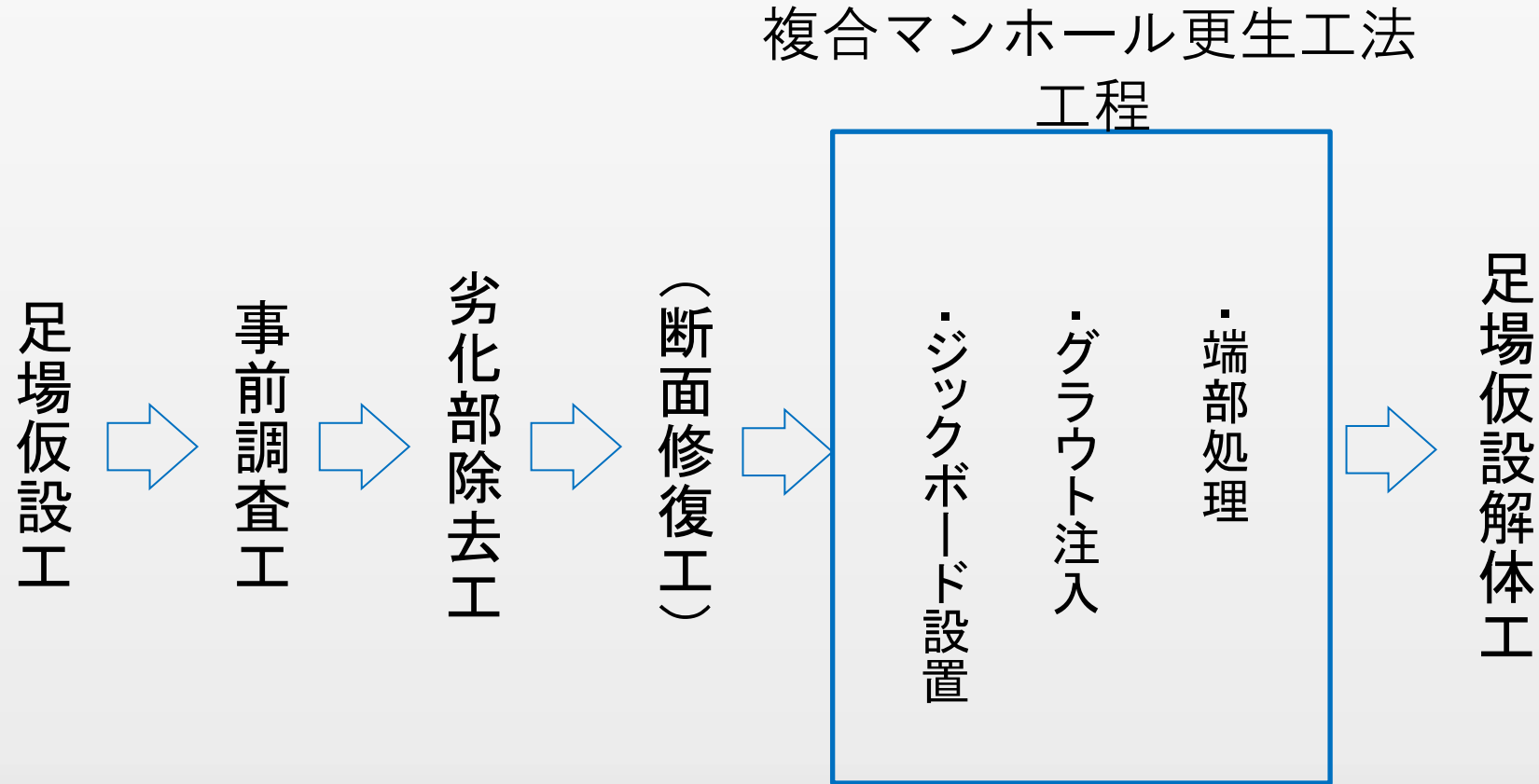
F R P ジョイント 80×2000mm



F R P アングル 50×50×3000mm



充てん材料 25kg/袋



劣化部除去工（150MPa超高压水処理の例）



150MPa超高压水処理状況



劣化部除去完了

断面修復工（修復用耐硫酸性モルタル塗付）



プライマー塗布
(テックス7)



練混ぜ状況



ZモルタルAR塗付状況

施工工程 円形構造① FRPジョイント～ボード設置



ボード搬入



ボード設置



FRP
ジョイント設置



ボード裏面隙間
15mm



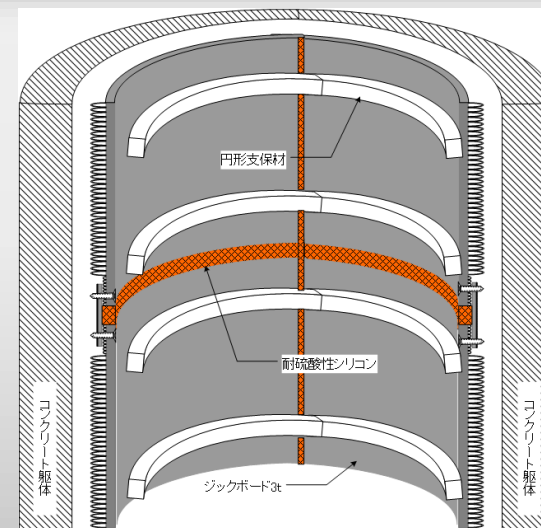
注入前シール



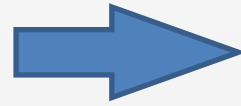
支保材設置



グラウト注入



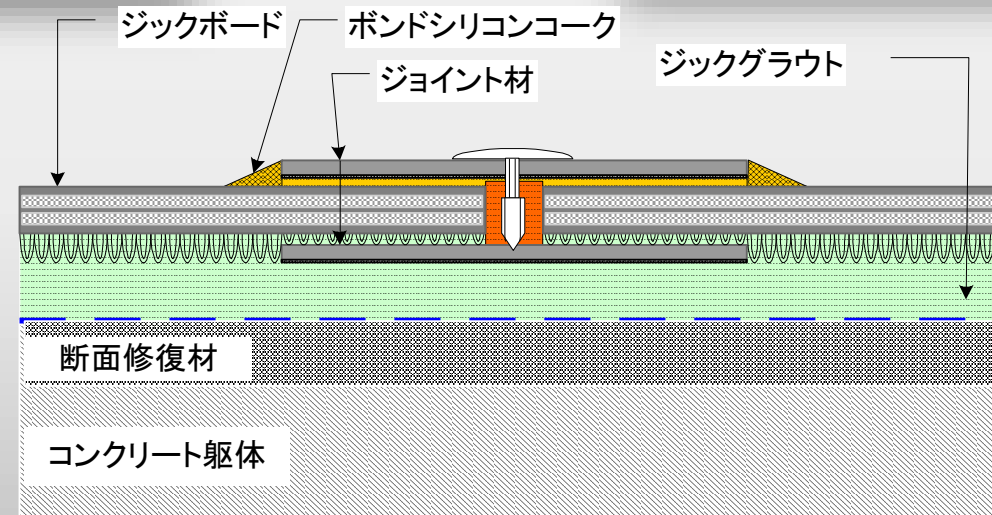
断面図



ジョイントカバー
設置

端部シール

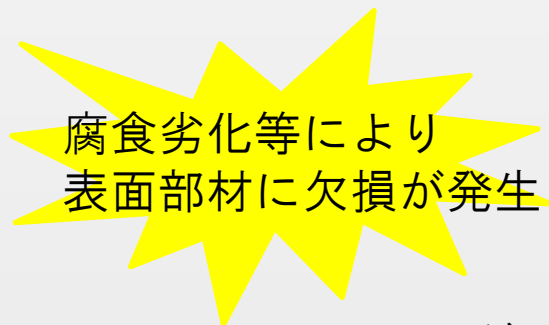
端部処理 断面図



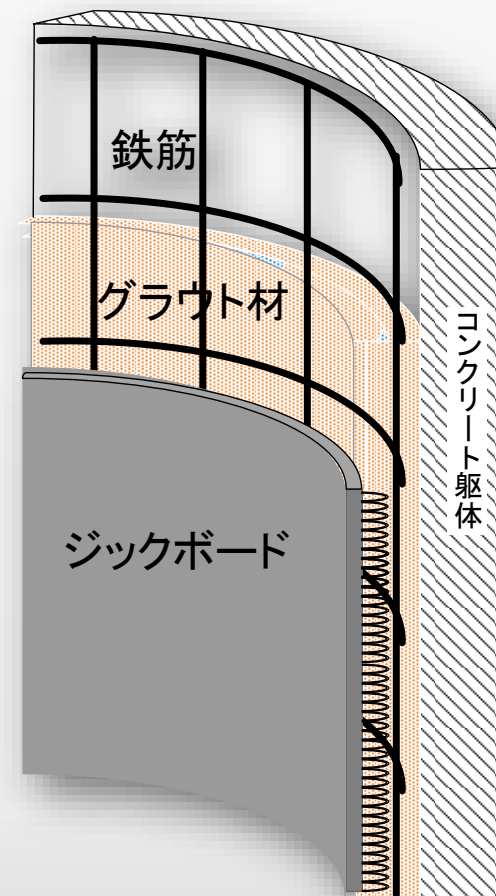
| 他社複合マンホール更生工法 | ジックボードM工法 |
|----------------|--|
| 表面部材のみで耐震性能を確保 | 表面部材で耐震性能を確保 ＋ グラウト材と補強部材（カーボン及び鉄筋等）で耐震性能を確保 |



耐震性能が失われる。



グラウト材＋補強部材の
補強効果で継続的に
耐震性能を維持できる。



イメージ図



軸方向耐圧試験



側方曲げ試験

鉄筋露出させ，破壊した現場打ちマンホールを更生後に耐荷性能を確認。

○軸方向試験

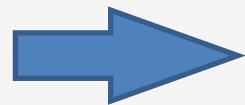
：破壊荷重 343 kN

○側方曲げ試験

：破壊荷重 16.7 kN/m



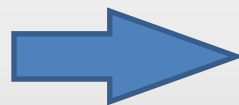
円形構造 施工前



円形構造
施工完了



角形構造 施工前



角形構造
施工完了

自立マンホール更生工法を開発した経緯 (自立マンホール更生工法の必要性)

複合マンホール更生工法で耐震性能を回復できない場合があった。

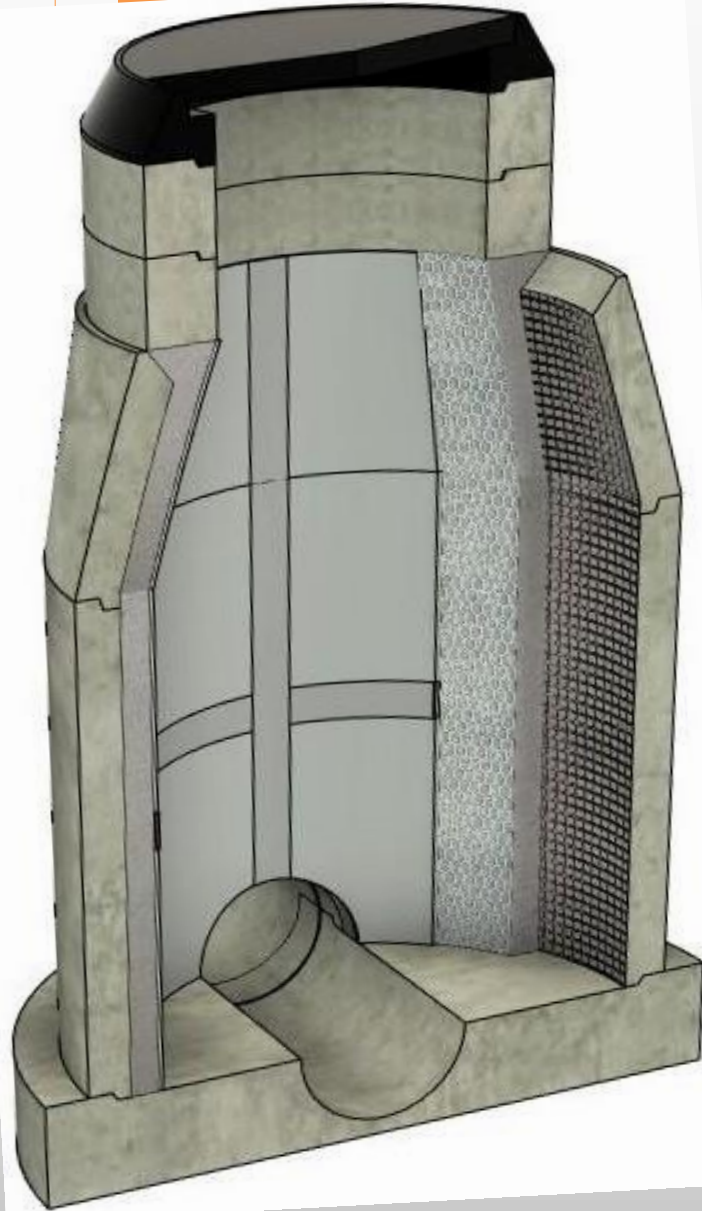
- 理由：①既設マンホールの強度が極端に低い。
②既設マンホールの諸元データが不明



当協会の複合マンホール更生工法の実績，性能を生かし更生材自らの耐荷力で外力に対抗するジックボードJ工法を開発した。

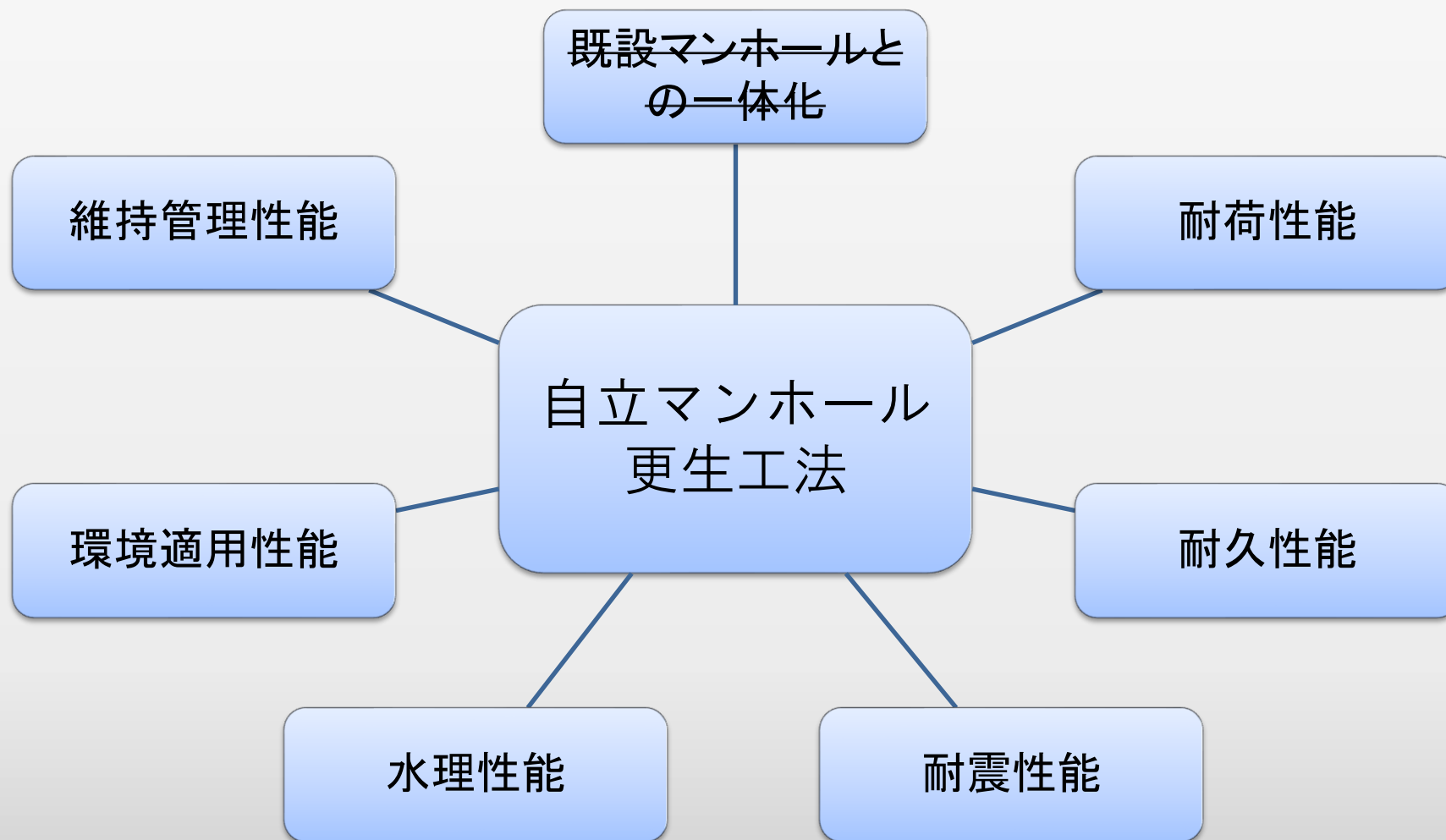
工法概略

当協会の自立マンホール更生工法は、腐食や老朽化により耐荷力が期待できない既設マンホールに対して、更生材のみで新設マンホールと同等の性能を有する更生工法

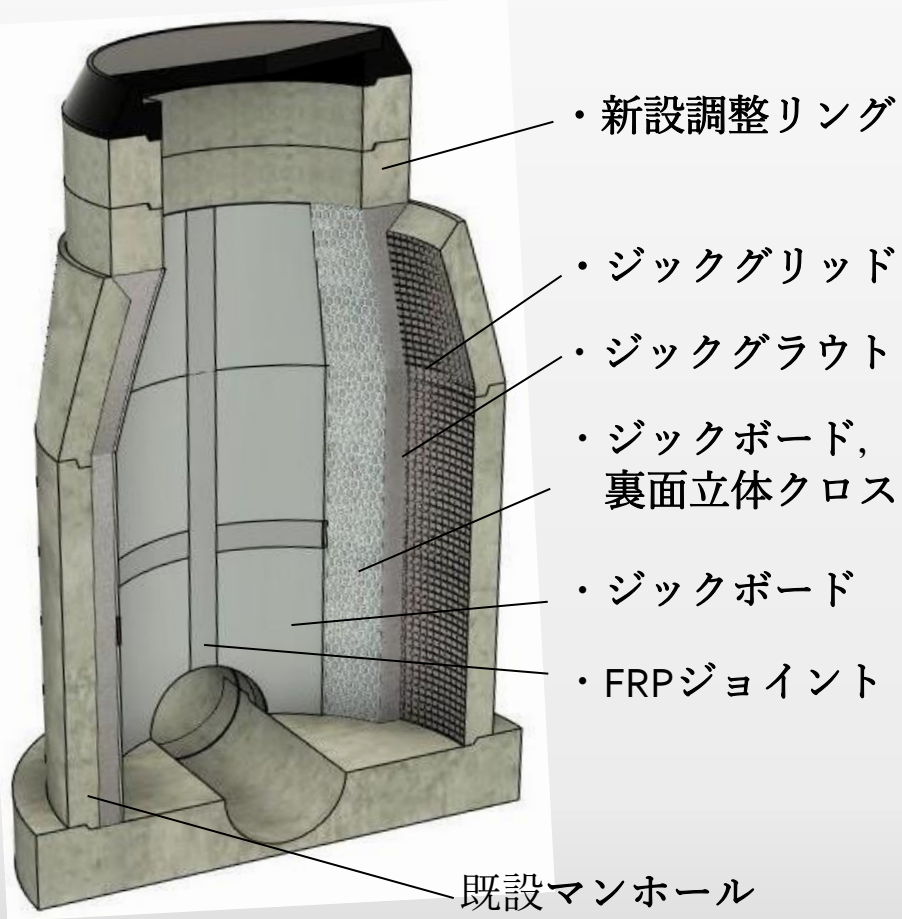


既設マンホール内部に設置した表面部材「ジックボード」、充てん材「ジックグラウト」およびカーボン繊維「ジックグリッド」が一体化した更生材の構成により新設マンホールと同等の耐荷性能・耐震性能等を有する。

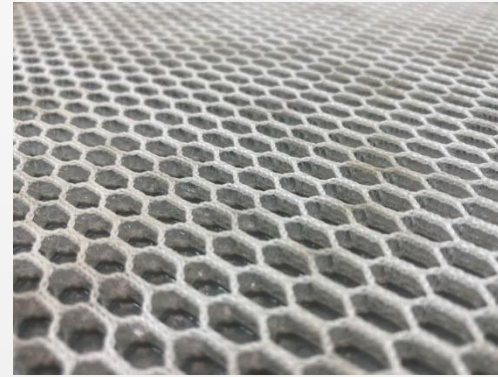




自立マンホール更生工法の一例



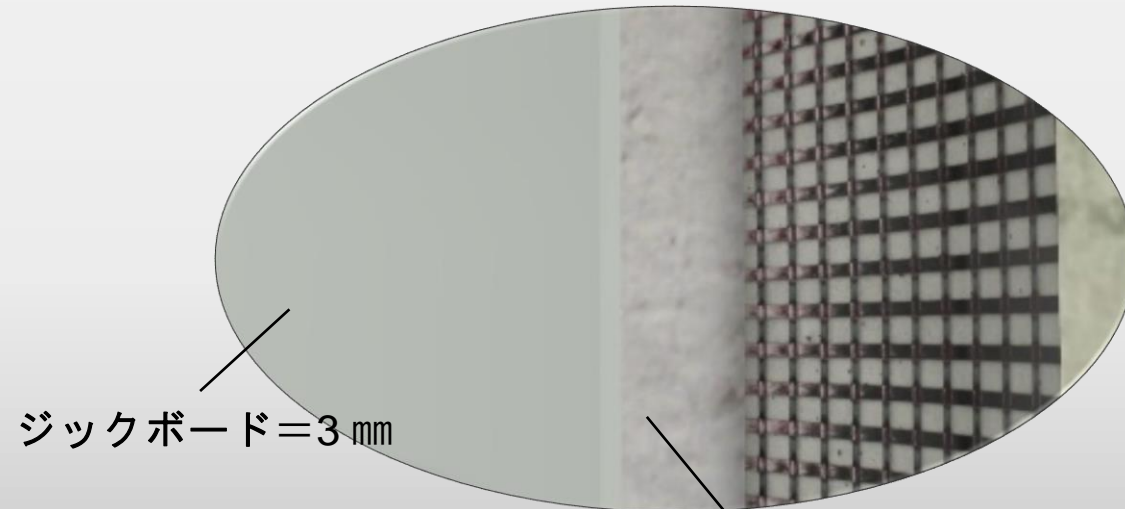
ジックボードJ工法の構成



ジックボード裏面立体クロス



外面からの断面状況



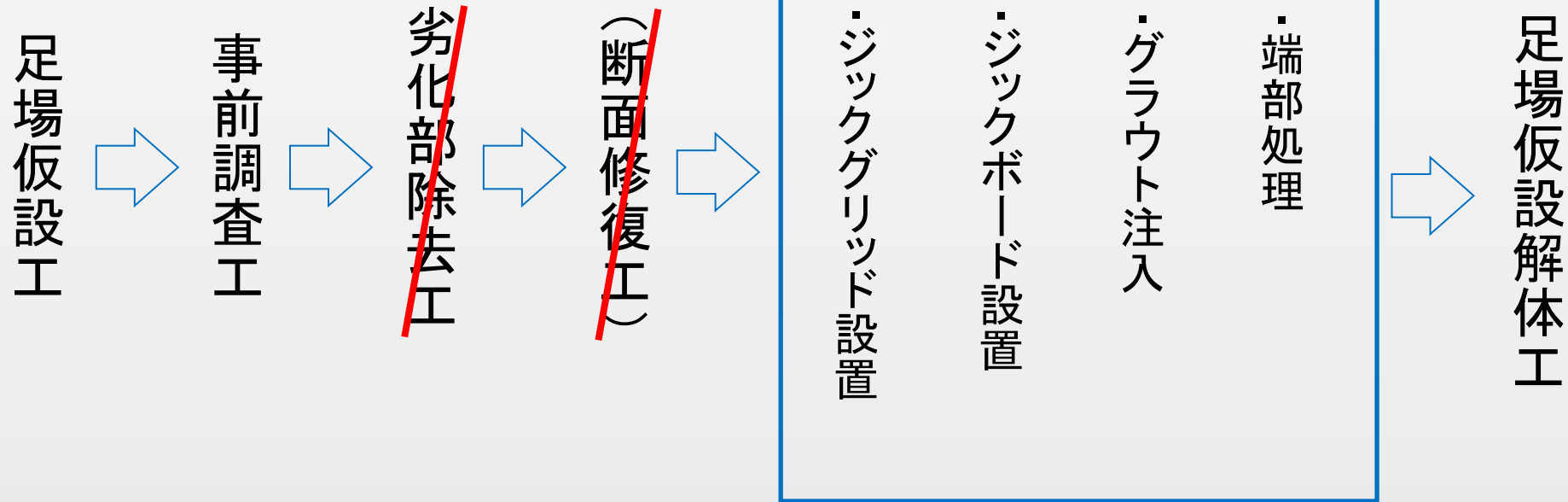
ジックボード=3mm

ジックグラウト=47mm

当協会所有更生工法の適用範囲の比較

| | JB-J工法（自立） | JB-M工法（複合） |
|----|----------------------|---------------|
| 種類 | 組立マンホール 現場打ちマンホール | 組立マンホール |
| 形状 | 円形 1号, 2号, 3号 | 円形 1号, 2号, 3号 |
| 深さ | 5m以下 | 10m以下 |

自立マンホール更生工法 工程



複合マンホール更生工法ジックボードM工法と異なる点

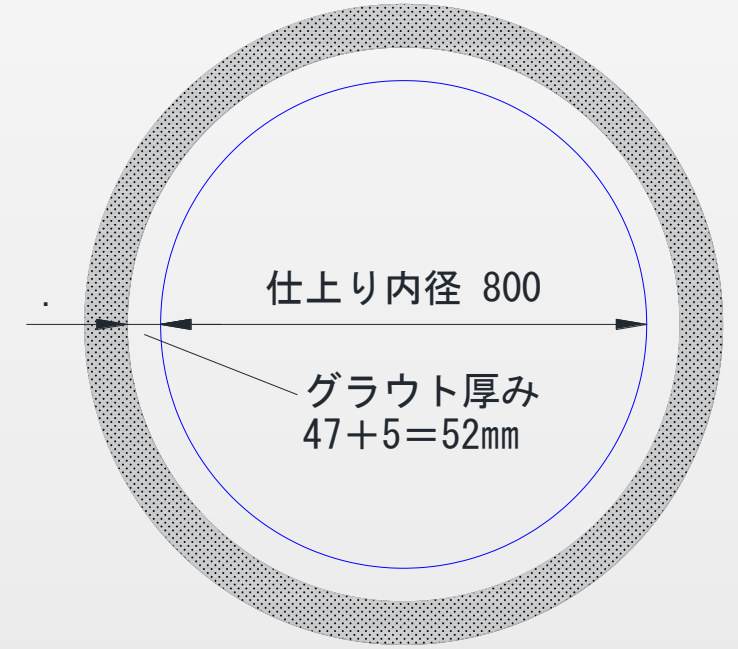
- ①ジックグラウトの厚み17 mm → 47 mm
- ②仕上り内径を固定で施工
- ③ジックグリッドの設置を標準化

| | 仕上り内径 |
|-------------|-----------------|
| 1号 (900mm) | → <u>800mm</u> |
| 2号 (1200mm) | → <u>1100mm</u> |
| 3号 (1500mm) | → <u>1400mm</u> |

※腐食深さは、標準グラウト厚さに加算する。

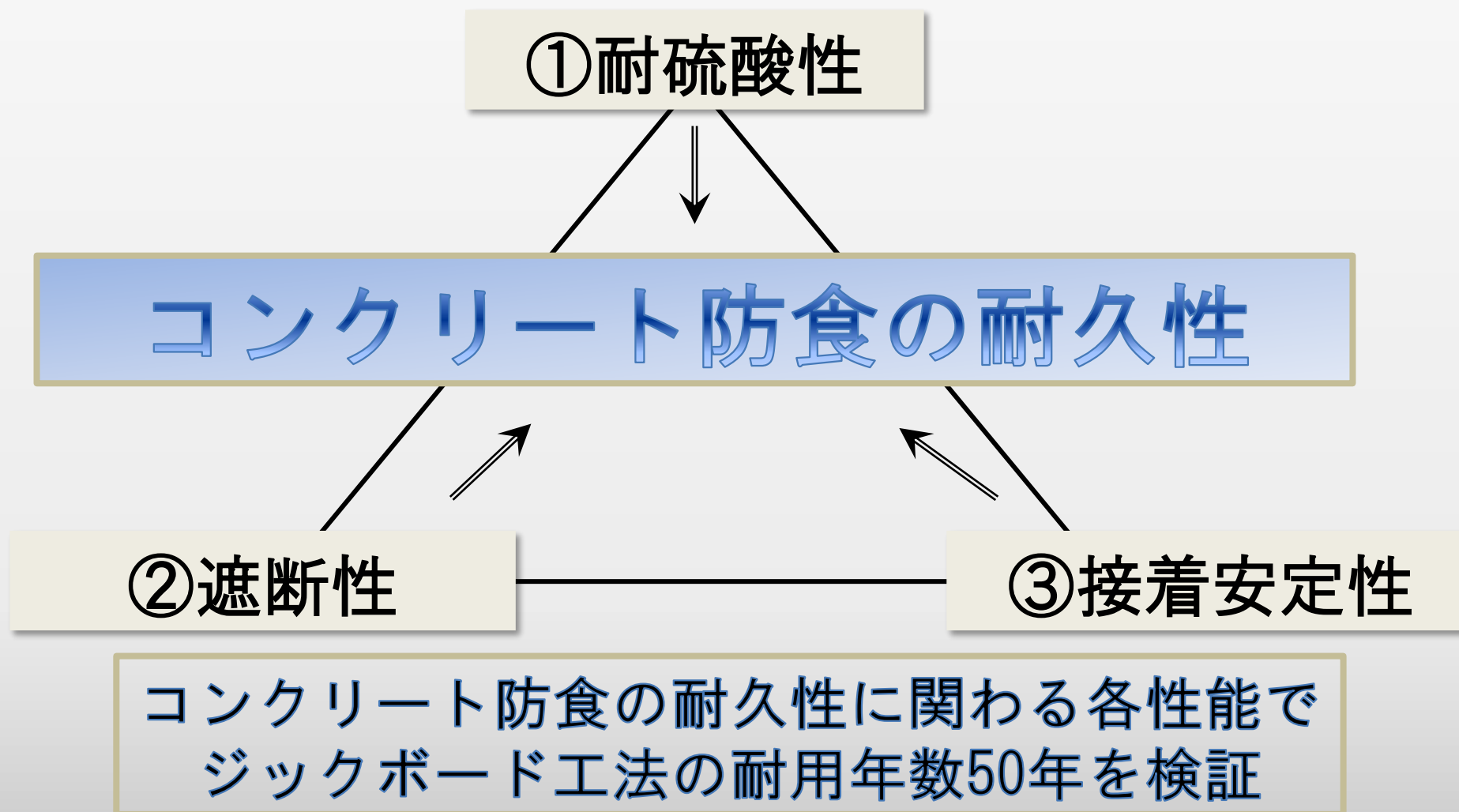


更生前



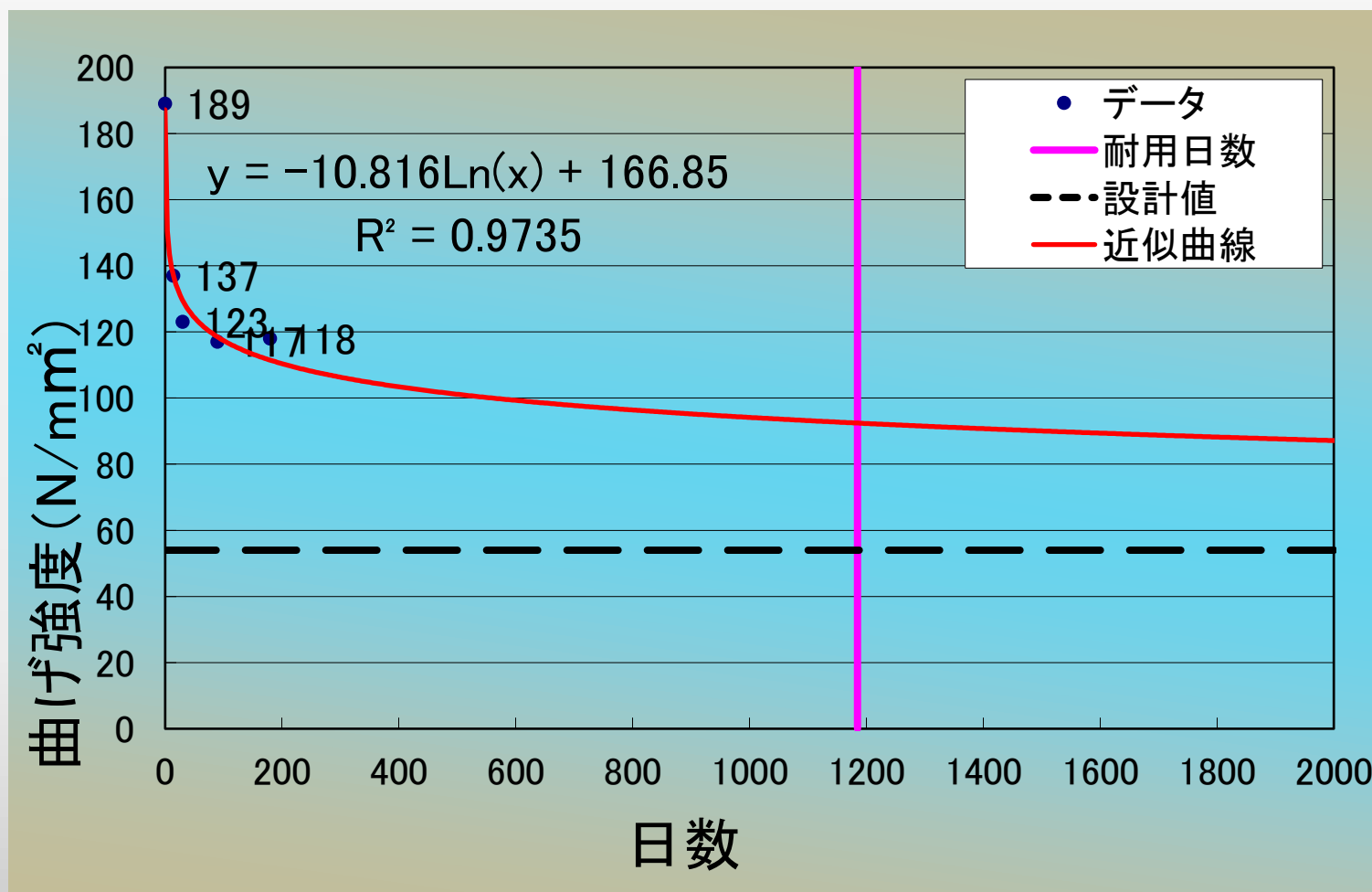
更生後

例 1号マンホールで腐食5mmの場合



①耐硫酸性 検証方法

試験方法は、JIS K 6258「加硫ゴム及び熱可塑性ゴム－耐液性の求め方」に示す酸の浸せき条件のもとにJIS K 7171「プラスチック－曲げ特性の求め方」の曲げ試験に準じて強度を測定し、50年後の曲げ強度を推定し長期耐久性を確認する。



成型品後貼り型シートライニング工法耐用年数について

前頁グラフより

曲げ強度近似式： $y = -10.816\ln(x) + 166.85$

$X = 50\text{年} \times 365\text{日/年} \div \text{促進率} (15.4) = 1185\text{日}$

50年に相当する1185日浸漬後の曲げ強度は、

$$y = -10.816\ln(1185) + 166.85$$

$= 90.29 \text{ N/mm}^2 > \text{設計曲げ強度} 54 \text{ N/mm}^2 : \text{OK}$

評価基準

設定温度40度，耐用年数50年，設計曲げ強度54 N/mm²

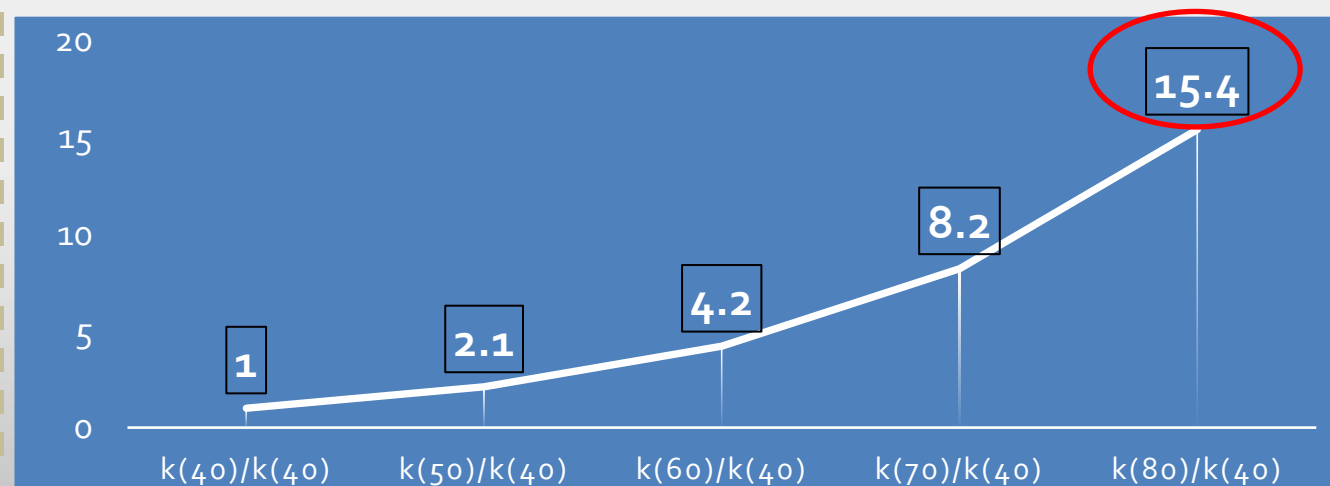
設計曲げ強度根拠：初期強度÷安全率（F）= 189÷3.5

※安全率 F(3.5)：F=F0×L1×L2×L3×L4×L5

F0：材料の破壊が基準となる場合の基本安全係数（1.3）

L1：材料特性値の信頼度係数（1.2） L2：用途重要度係数（1.2）

L3：外力荷重に関する係数（1.0） L4：構造計算での精度係数（1.28） L5：材料特性のばらつき（1.4）



②遮断性 検証方法

平成29年度版JSマニュアル公的試験結果より耐用年数50年を満足するか検証

前提として

分析条件の電子ビーム径が $2\mu\text{m}$ \Rightarrow 検出限界
安全側を考慮し，検出限界程度の侵入はある。

既往の研究では・・・

被覆層への物質の侵入は \sqrt{t} 則とされることが多い。

ここでは，安全側を考慮し t 則での検証

成型品後貼り型シートライニング工法耐用年数について



| 評価項目 | | 公的試験結果 | |
|--------|------|------------------------------------|----|
| 硫黄侵入深さ | シート部 | 設計厚さに対して 侵入深さ $2\mu\text{m}$ 以下 | 0% |
| | 目地部 | 設計厚さに対して 侵入深さ $2\mu\text{m}$ 以下 | 0% |

公的試験データより
シート部及び目地部の10%硫酸浸せき120日での硫黄侵入深さ： $2\mu\text{m}$
t則による硫黄侵入速度は，
 $2\mu\text{m} \div 120/365 = 6.08 \div 6.1\mu\text{m}/\text{年}$

50年後の硫黄侵入深さ（Y）を想定すると，

$$Y = 6.1\mu\text{m} \times 50\text{年} = 305\mu\text{m}$$

ジックボードM（GR）工法 各部材厚さとの比較

ジックボード8 t 表面層 最小厚さ2mm（ $2000\mu\text{m}$ ） $>305\mu\text{m}$ ：OK

ジックボード2 t 製品規格最小厚さ1.7mm（ $1700\mu\text{m}$ ） $>305\mu\text{m}$ ：OK

FRPジョイント3 t 製品規格最小厚さ2.6mm（ $2600\mu\text{m}$ ） $>305\mu\text{m}$ ：OK

②遮断性 検証方法－2



コア採取状況



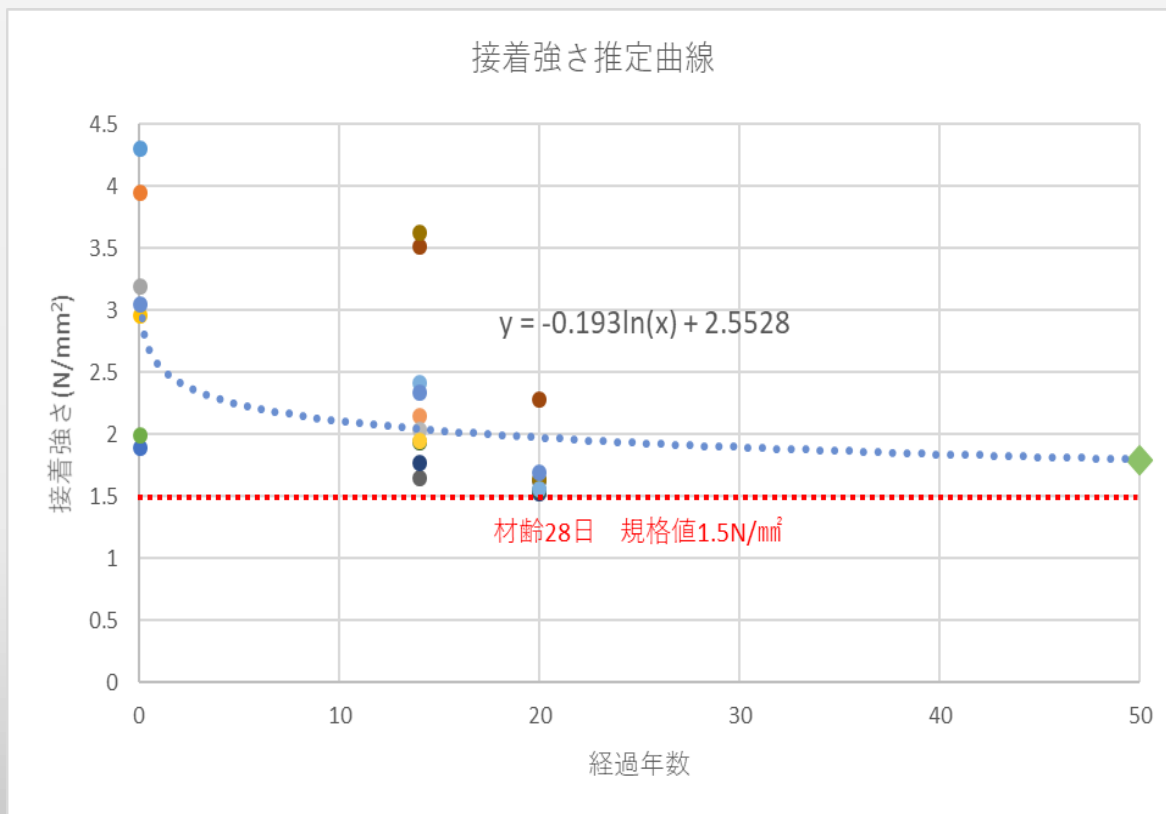
施工後14年経過したジックボード及びジョイント材採取サンプルの電子顕微鏡写真

施工実績からの硫黄侵入速度を計算する
ジックボード、FEPジョイント共に同じ樹脂を用いているためFRPジョイントで速度を算出
 $15\mu\text{m} \div 14\text{年} = 1.07 \div 1.1\mu\text{m}/\text{年}$
50年後の硫黄侵入深さは
 $1.1\mu\text{m}/\text{年} \times 50\text{年} = 55\mu\text{m}$

ジックボード工法 各部材厚さとの比較
ジックボード8t 表面層 最小厚さ2mm ($2000\mu\text{m}$) $> 55\mu\text{m}$: OK
ジックボード2t 製品規格最小厚さ1.7mm ($1700\mu\text{m}$) $> 55\mu\text{m}$: OK
FRPジョイント3t 製品規格最小厚さ2.6mm ($2600\mu\text{m}$) $> 55\mu\text{m}$: OK

接着安定性 検証方法

社内試験データ，公的試験データ，追跡調査から強度推定曲線を導く

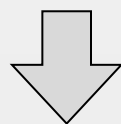


近似式 ($y = -0.193\ln(x) + 2.5528$) より
50年後の接着強さを推定すると

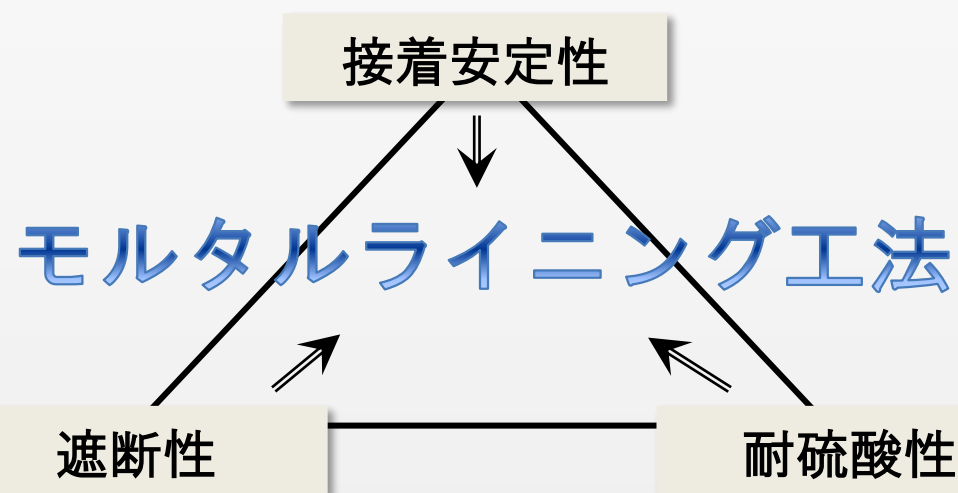
$$\begin{aligned} y &= -0.193\ln(50\text{年}) + 2.5528 \\ &= -0.193 \times 3.912 + 2.5528 \\ &= 1.798 \div 1.8 \text{ N/mm}^2 > 1.5 \text{ N/mm}^2 \\ &\quad : \text{OK} \end{aligned}$$

コンクリート防食の耐久性

①耐硫酸性, ②遮断性, ③接着安定性において
ジックボードM (GR) 工法は, 耐用年数 50年 を満足する性能を有していると推定しています。

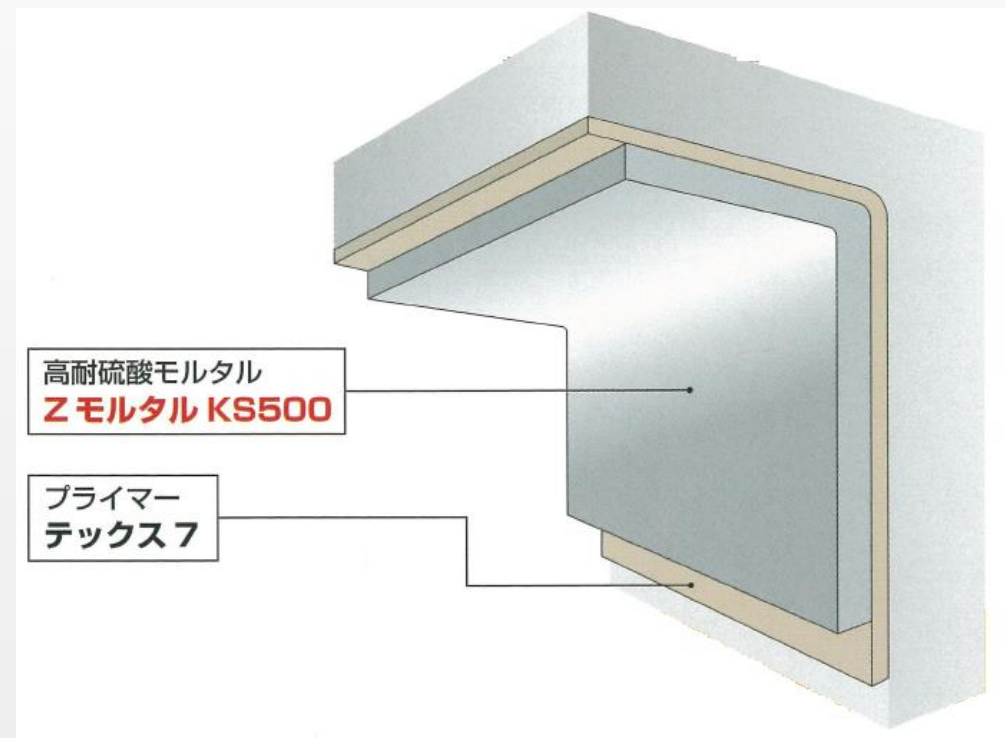


防食被覆工法の耐用年数50年でL. C. Cと補修コストの低減に寄与します。



モルタルライニング工法は、モルタルに付与した耐硫酸性により下水道腐食環境下で生成される硫酸から躯体を保護する高耐硫酸性モルタル防食被覆工法です。

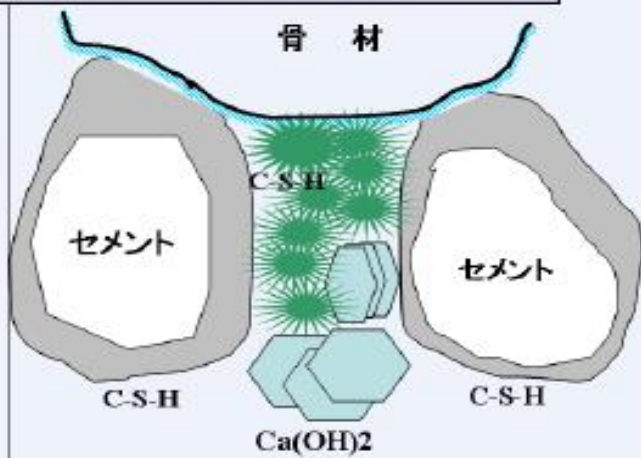
従来の防食ライニング工法に比べ施工の簡略化と施工日数の短縮を図ることが可能となります。



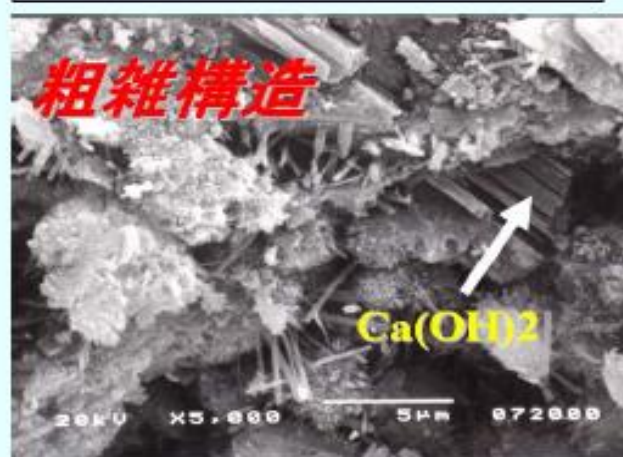
- 耐硫酸性能の向上
- 施工日数の短縮化
- 施工の簡略化
- 高湿環境下での防食被覆が可能

モルタルライニング工法の耐硫酸性について（例）

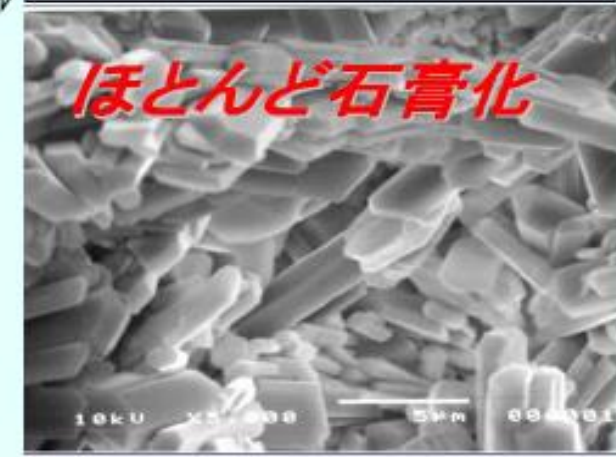
普通セメントの水和反応



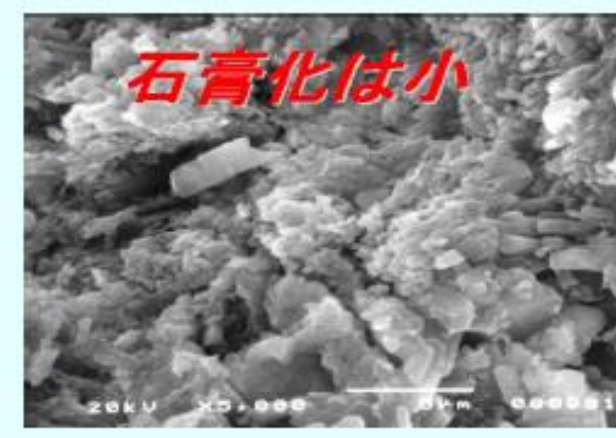
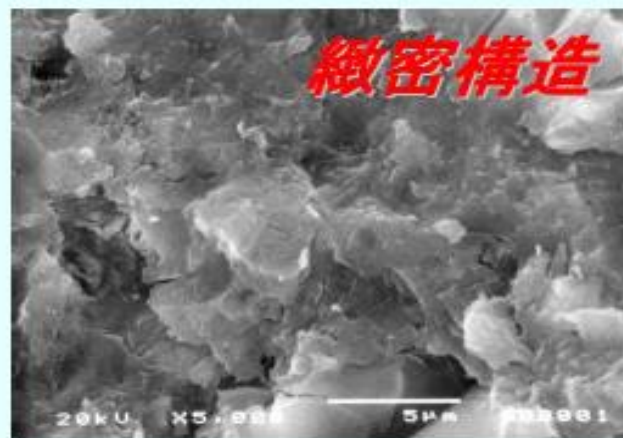
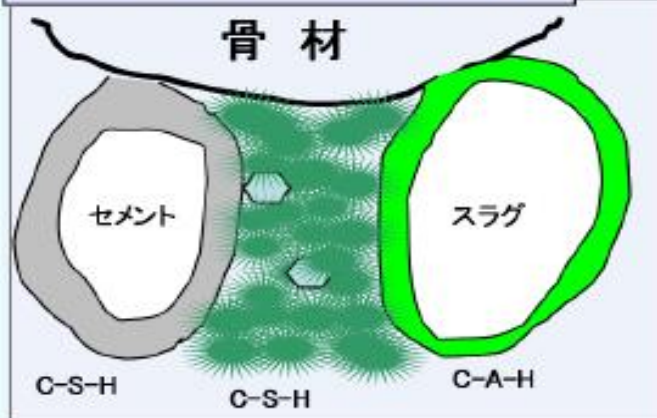
硫酸浸漬前



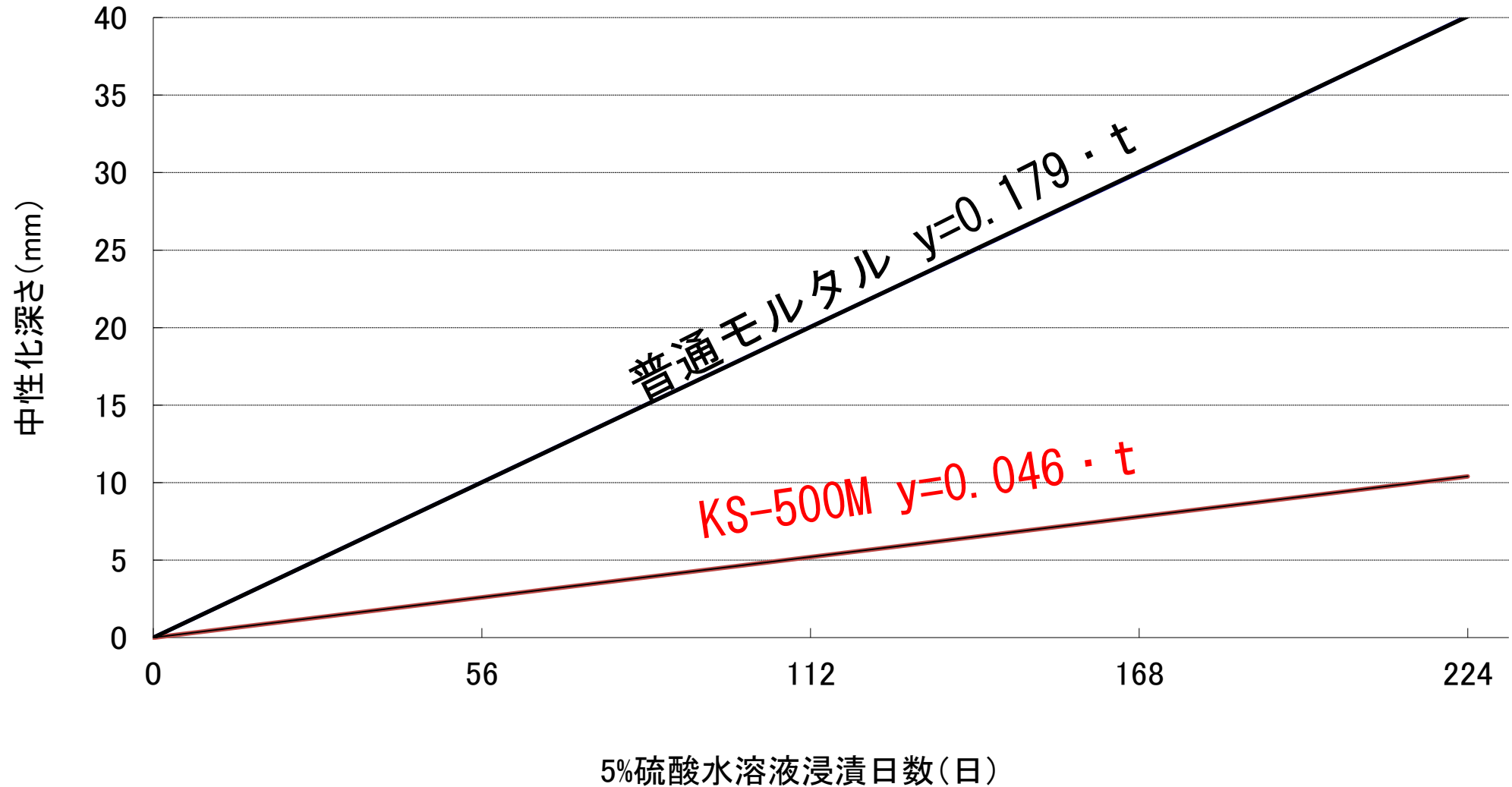
5%硫酸浸漬後(28日間)



高炉スラグの水和反応



高炉スラグは、水酸化カルシウムの低減と緻密な硬化体組織を形成することで硫酸の侵入を抑制する。



| 項 目 | | 試験結果 | 規格値 |
|--------|-------|-----------------------|---|
| 圧縮強度 | 材令28日 | 71 N/mm ² | 30 N/mm ² 以上 |
| 接着性 | 材令28日 | 3.1 N/mm ² | 1.5 N/mm ² 以上 |
| 長さ変化率 | 材令28日 | −0.08 % | −0.1 %以上 |
| 耐酸性 | | 1 % | 5%硫酸水溶液に112日浸漬した時の重量変化率±10 %以内であること。 |
| 硫酸浸透深さ | | 5.2 mm | 5%硫酸水溶液に112日浸漬した時のフェノールフタレインの非呈色深さがB種で10.5 mm以下，C種で6.0 mm以下であること。 |

圧縮強度がJSマニュアルに定める
断面修復材の圧縮強度規格値45 N/mm²もクリアしている場合



同一材料で断面修復を兼ねることが可能

JSマニュアルに基づいた設計厚み（処理場・ポンプ場）

【設計腐食環境Ⅲ類 B種の場合】

対象施設の劣化速度：4mm/年

KS-500Mの112日硫酸浸漬深さ4.5mm（公的試験データ）

$$y_d = 0.0145 \times 1.265 \times (4\text{mm/年}) \times (5.2\text{mm/112日}) \times (10\text{年} \times 365\text{日/年})$$

(係数) (安全率) (構造物の劣化速度) (KS-500M劣化速度) (予定供用日数)

$$y_d = 12.44 \Rightarrow 13\text{mm}$$

【設計腐食環境Ⅱ類 C種の場合】

対象施設の劣化速度：7mm/年

KS-500Mの112日硫酸浸漬深さ4.5mm（公的試験データ）

$$y_d = 0.0145 \times 1.265 \times (7\text{mm/年}) \times (5.2\text{mm/112日}) \times (10\text{年} \times 365\text{日/年})$$

$$y_d = 21.75 \Rightarrow 22\text{mm}$$

モルタルライニング工法の被覆層設計厚さ（管路施設）

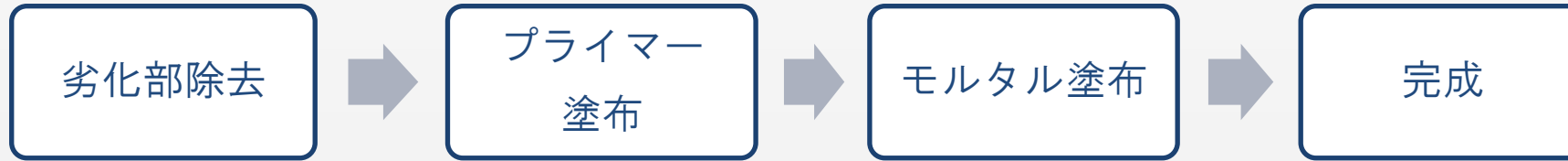
JSマニュアル記載応用編

| コンクリート年間 劣化速度 (mm/年) | 耐用年数10年 | |
|----------------------------|---------|----------|
| | 計算値(mm) | 施工厚(mm) |
| 1 | 3.11 | 5(最低施工厚) |
| 2 | 6.22 | 7 |
| 3 | 9.33 | 10 |
| 4 | 12.44 | 13 |
| 5 | 15.54 | 16 |
| 6 | 18.65 | 19 |
| 7 | 21.76 | 22 |



$$y_d = 0.0145 \times \gamma_{cd} \times \alpha_{sd} \times \alpha_{md} \times t$$

マンホール個々の劣化速度から必要な施工厚みを設定できる。



施工前



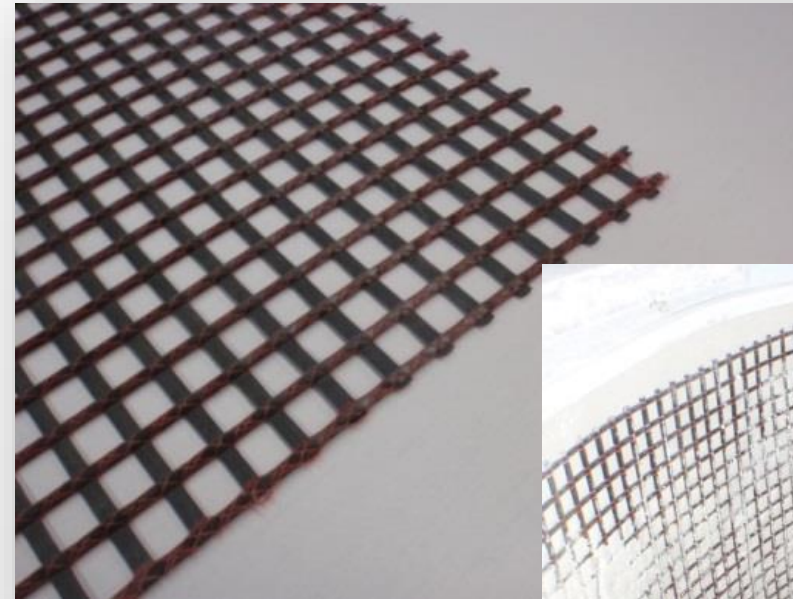
KS500塗布



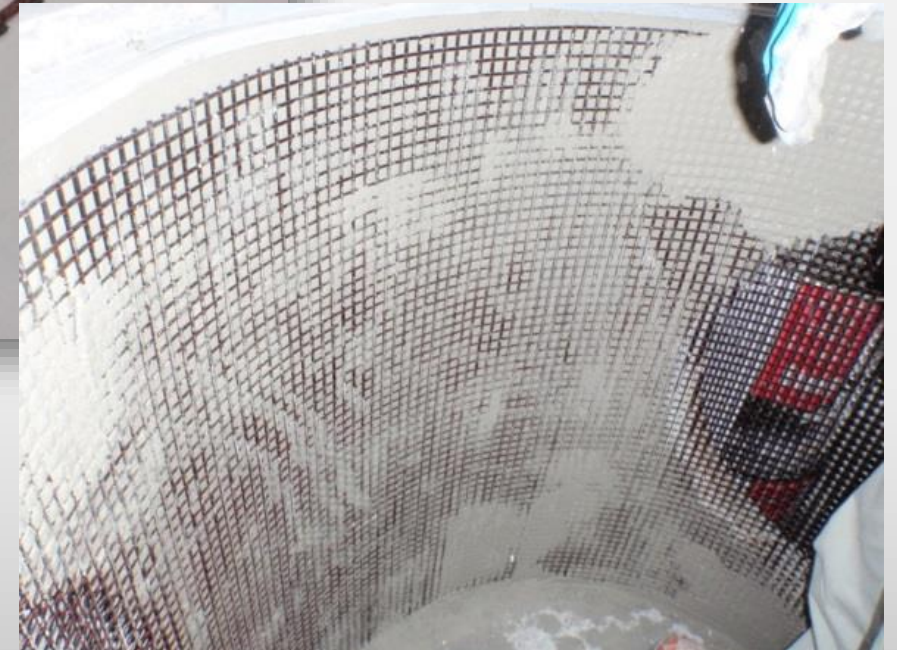
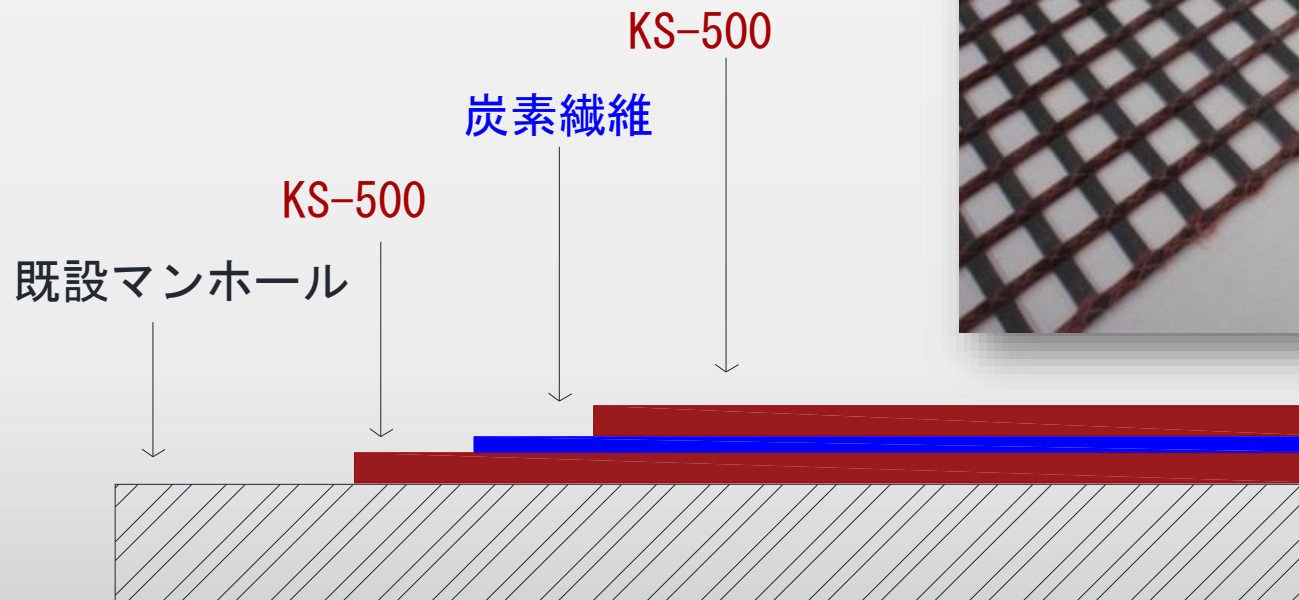
施工後

モルタルライニング工法の応用例

強度更生工法とは，技術資料における複合マンホール更生工法の要求性能の内，耐荷性能を満足し既設マンホールと一体化し耐荷力を有するモルタルライニング工法である。



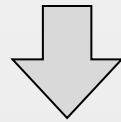
カーボングリッド



| 条件 | 試験項目 | 補強前 | 補強後 |
|---------------|---------|-----------|-----------|
| 現場打ち マンホール | 軸方向耐圧強さ | 150 kN | 200 kN |
| | 側方曲げ強さ | 6.9 kN/m | 16.6 kN/m |
| 組立 マンホール | 軸方向耐圧強さ | 277 kN | 331 kN |
| | 側方曲げ強さ | 11.3 kN/m | 52.1 kN/m |

※試験内容および結果は，（公財）日本下水道新技術機構「下水道用マンホール改築・修繕工法に関する技術資料」を基に試験を実施した社内試験結果である。

- ①施工の簡略化
- ②施工日数の短縮化
- ③対象施設にあわせた防食設計が可能
- ④高湿環境下での防食被覆が可能
- ⑤耐震補強化が可能



下水道施設の維持管理費・L. C. C. と補修コストの
低減に寄与します。



ご清聴いただき、ありがとうございました。

 JERコンクリート補改修協会