

## 4-2. 緊急度の判定

緊急度の判定は、「下水道長寿命化支援制度に関する手引き(案)」（国土交通省都市・地域整備局下水道部）に準じて行う。

本項は、改築エリア区分に関わらず、下水道総合地震対策事業に該当しない幹線に適用する。

- (1). 異常の程度の診断
- (2). 措置（維持か改築または修繕）の要否
- (3). 緊急度の判定

### (1). 異常の程度の診断

「調査判定基準」に基づき、スパン全体でランク付けを行う。

以下の項目ごとに評価を行う。

- ① スパン全体で評価する : 腐食、上下方向のたるみ
- ② 管一本ごとに評価する : 腐食、上下方向のたるみ以外の異常

#### ① スパン全体で評価する場合

評価のランク付けと判定基準を表2-2に示す。

表2-2. 評価のランク付け

診断項目	ランク（スパン全体で評価）			判定の基準
	重度	中度	程度	
管の腐食	A	B	C	A：機能低下、異常が著しい B：機能低下、異常が少ない C：機能低下、異常が殆どない
上下方向のたるみ				

## ② 管 1 本ごとに評価する場合

腐食、上下方向のたるみ以外の異常について管 1 本ごとに対して診断しランク付けを行い、次にそれを基にスパン全体の判定を行う。

スパン全体の判定は、管 1 本ごとの評価に基づき、1 スパン全体に対する不良管の割合（不良発生率）により定める。  
不良発生率に基づくスパン全体のランク判定基準を表 2-3 に示す。

表 2-3. 不良発生率に基づくスパン全体のランク判定基準表（腐食・たるみを除く）

スパン全体のランク	不良発生率		
	ランク a※1	ランク b※2	ランク c ※2
ランク A	20%以上	40%以上	—
ランク B	20%未満	40%未満	60%以上
ランク C	0%	0%	60%未満

※1 ランクの a, b, c, は「表 2-1 自走式テレビカメラ(本管)調査判断基準」参照

備考) ランク A: ランク a の不良発生率が 20% 以上ある、もしくはランク b の不良発生率が 40% 以上であるとき。

不良発生率は、次式により求める。

$$\text{不良発生率} = \frac{\text{a, b, c ランクそれぞれの合計本数}}{\text{1 スパンの管きょ本数}} \times 100 \quad (\%)$$

スパン全体の「破損」、継手ズレ、「浸入水」、「樹木の根侵入」のランク a が 1 箇所でもある場合、道路陥没等の社会的影響が想定されることから、上記の判定基準とは別に「ランク A」とする。

## (2). 措置（維持か改築または修繕）の要否

(1). の診断結果を総合的に判定し、通常の維持管理では対応出来ないと判断される。場合には、改築もしくは修繕を行う。

ランク A、B、C : 改築もしくは修繕  
上記以外 : 維持

### (3). 緊急度の判定

緊急度の判定は、改築又は修繕の措置が必要とされたものについて、その実施時期を定めるもので、(1). の診断結果全てを対象に判定する。

- i) スパン全体で評価する「管体腐食」
- ii) スパン全体で評価する「たるみ」
- iii) 「不良発生率に基づくランク」での最上位ランク

緊急度判定基準を表 2 - 4 に示す。

表 2 - 4. 緊急度の判定基準表

緊急度の区分	判定基準
緊急度Ⅰ	3つの診断項目におけるスパン全体でのランクで、ランク A が 2 項目以上ある場合。
緊急度Ⅱ	3つの診断項目におけるスパン全体でのランクで、ランク A が 1 項目もしくはランク B が 2 項目以上ある場合。
緊急度Ⅲ	3つの診断項目におけるスパン全体でのランクで、ランク A がなく、ランク B が 1 項目もしくはランク C のみの場合

緊急度Ⅰ： 速やかに措置することが必要

緊急度Ⅱ： 簡易な対応により必要な措置を 5 年未満まで延長できる

緊急度Ⅲ： 簡易な対応により必要な措置を 5 年以上まで延長できる

次頁に「図 2 - 5. 緊急度の判定フロー」を添付する。

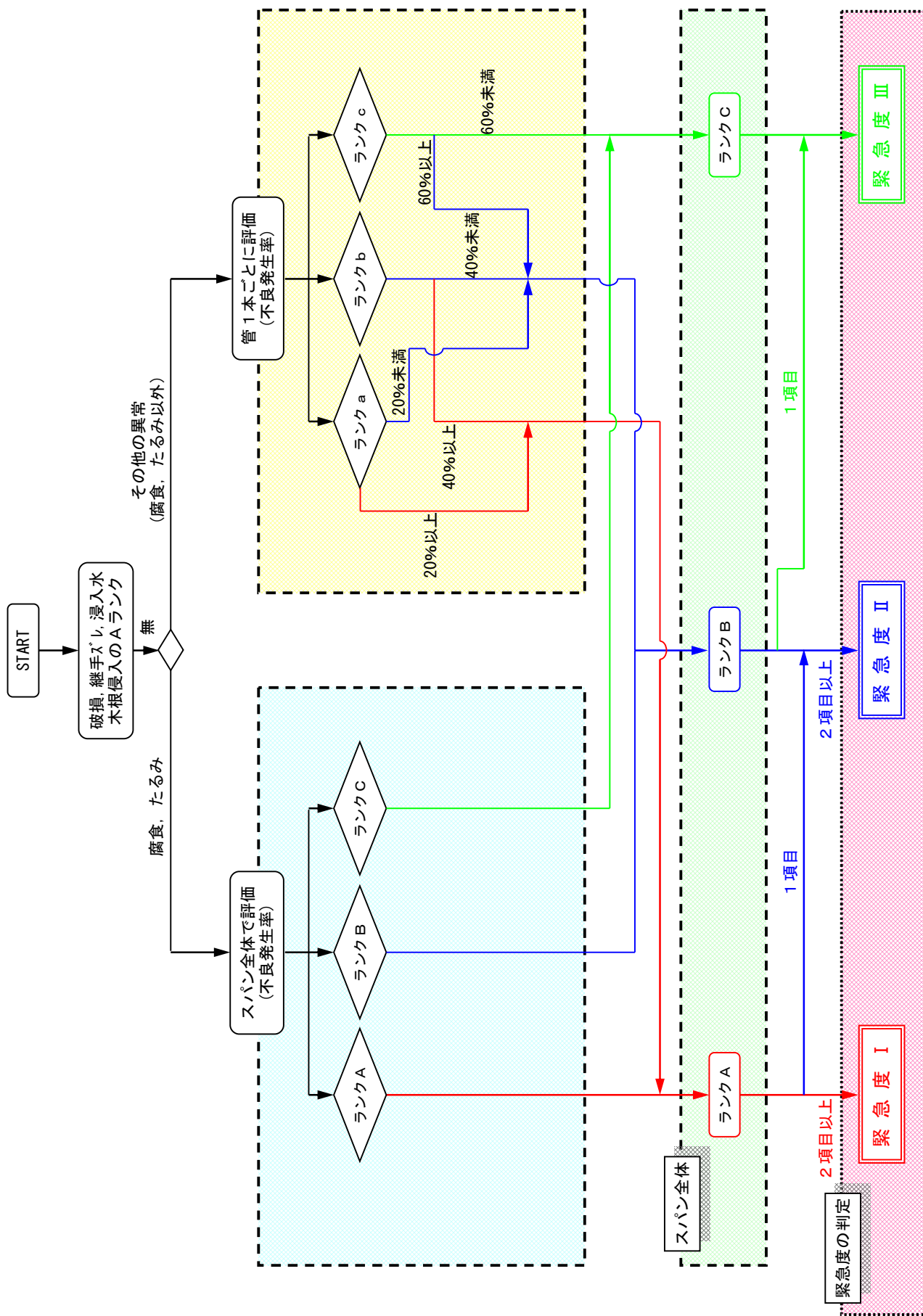


図 2-5. 緊急度の判定フロー

### 4-3. 改良設計の判定

本項は、既設管路調査を伴う、通常エリアにおける、下水道総合地震対策事業に該当しない幹線および枝線に適用する。

#### (1). 改良の必要性と基本工法の判定

調査項目毎にランク判別を行った結果から、改良の必要性の判定と、基本的な工法の選定を行う。以下に判定基準を示す。

表 2-5. 改良の必要性の判定基準

調査項目	判定の基本的な基準
C ランク	<ul style="list-style-type: none"> <li>・原則的に、C ランクの項目は緊急処置の必要性が無いと判断されるため、当面は修復対象とせず、「監視処置」とする。</li> <li>・破損E (人孔内より補修可能な管口部欠損)は「管口補修」とする。</li> </ul>
B ランク	<ul style="list-style-type: none"> <li>・原則的に更生工法として検討するランクとするが、管底深 1.50m 未満については、開削工法の検討も行う。</li> <li>・たるみL、蛇行Mについては流下能力に対する検討を必要とし、アウトの場合には施設の役目を果たさないため、開削等による布設替えとする。</li> <li>・継手部鉛直ズレGは、逆ステップで流下能力アウトの場合、開削等の布設替えとし、能力がOKなら管きょ更生の検討とする。</li> </ul>
A ランク	<ul style="list-style-type: none"> <li>・破損E、継手部鉛直ズレGについては、原則的に開削等の布設替えとする。</li> <li>・たるみL、蛇行Mについては、流下能力がアウトなら開削等の布設替えとする。</li> <li>・クラック(V、H)、継手部目地開きB、腐食F、木根侵入R、浸入水Dは、原則的に更生工法としての検討とするが、管底深 1.50m 未満については、開削工法の検討も行う。</li> </ul>

取付け管項目(SK~SS)、モルタル堆積Qおよびパッキン異常Pについては原則的に本管の改築の対象としない。(維持管理として除去は必要。)

ただし、その他の項目による工事に支障のある場合には、①モルタル・パッキン・取付け管突出は前処理(除去工)を実施する。②取付け管項目は詳細な調査工を実施する。(取付け管の改良が必要なケースがあるため。)

浸入水、木根侵入については、止水工または前処理(除去工)を実施する。

表 2-6. 調査結果による改良工法の基本的な目安

事項	ランク	記号	A	B	C
破 損		E	開削工法	更生工法	管口補修
継手部鉛直ズレ		G	開削工法	流下能力がアウト なら開削工法	(監視処置)
継手部目地開き		B	更生工法	更生工法	(監視処置)
			抜け出しの場合は開削工法	抜け出しの場合は開削工法	
クラック(鉛直)		V	更生工法	更生工法	(監視処置)
クラック(水平)		H	更生工法	更生工法	(監視処置)
た る み		L	流下能力がアウト なら開削検討	流下能力がアウト な ら開削検討	(監視処置)
蛇 行		M	流下能力がアウト なら開削検討	流下能力がアウト なら開削検討	(監視処置)
腐 食		F	更生工法	更生工法	(監視処置)
浸 入 水		D	更生工法	更生工法	(監視処置)
木 根 侵 入		R		—	
パッキン異状		P		—	
モルタル堆積		Q		—	
取付け管突出		SK		—	
取付け管破損		SE		—	
取付け管ズレ		SG		—	
取付け管パッキン異常		SP		—	
取付け管内木根侵入		SR		—	
取付け管内浸入水		SD		—	
取付け管内の その他の異常		SS		—	

凡 例 : 


 開削工法となる項目。  
 流下能力により開削工法検討の項目。  
 原則的に更生工法となる項目。

※既設管が陶管の場合は開削工法を適用とする。

※管底深が 1.50m 未満の場合は、更生工法と判定されても開削工法を適用する。

## (2). 二層構造管の適用損傷パターン

既設管の損傷状況によって、自立管および二層構造管に適した設計をするため、既設管の損傷状態により二層構造管に適するものかを判断する資料として、既設管の損傷を図 2-6 に示すように、全体型、分散型、集中型、単独型のうち、18 種類の損傷パターンに分類する。

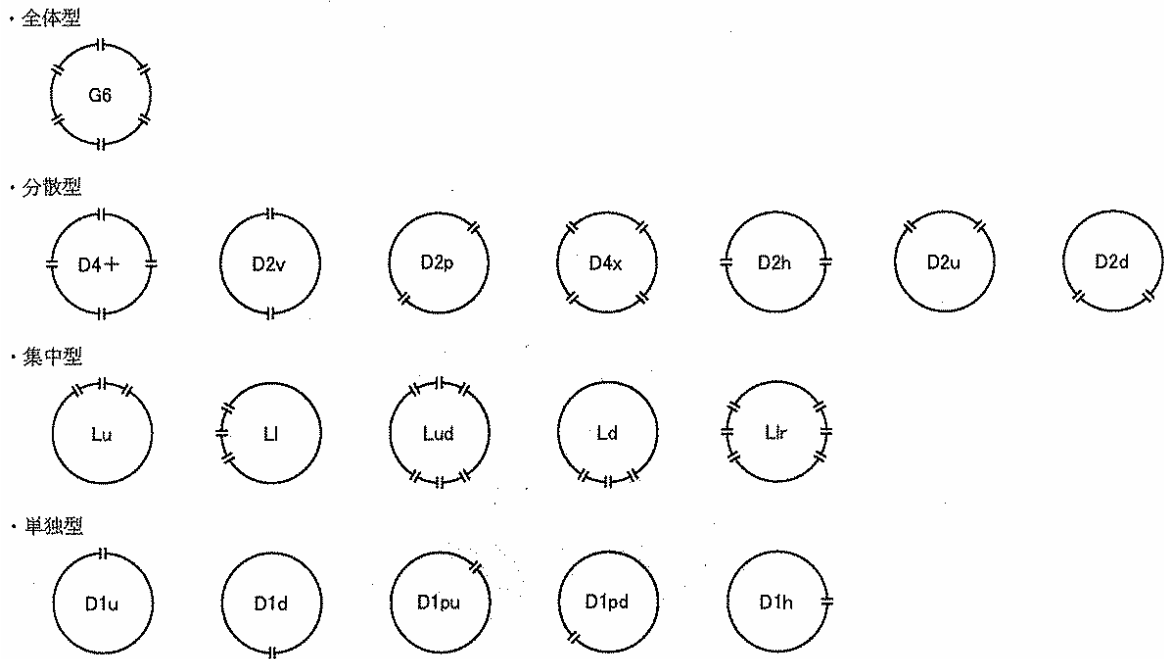


図 2-6. 既設管損傷パターンの分類

### (3). 二層構造管設計の適用判定

既設管の損傷状況が単独型および分散型で上半分の損傷が2か所以下のものについては、二層構造管として設計できるものとする。

既設管の損傷状況によっては、二層構造管として設計するよりも自立管として設計するのが適する場合もある。したがって、既設管が下記の損傷パターンのように管断面の上半分の損傷が2か所以下の単独型および分散型の場合に二層構造管として設計できるものとする。

損傷位置が下記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の損傷が2か所の場合には適用できるものとする。二層構造管に適するものかを判断するための資料として、既設管の損傷を図2-7に示す損傷パターンに分類する。

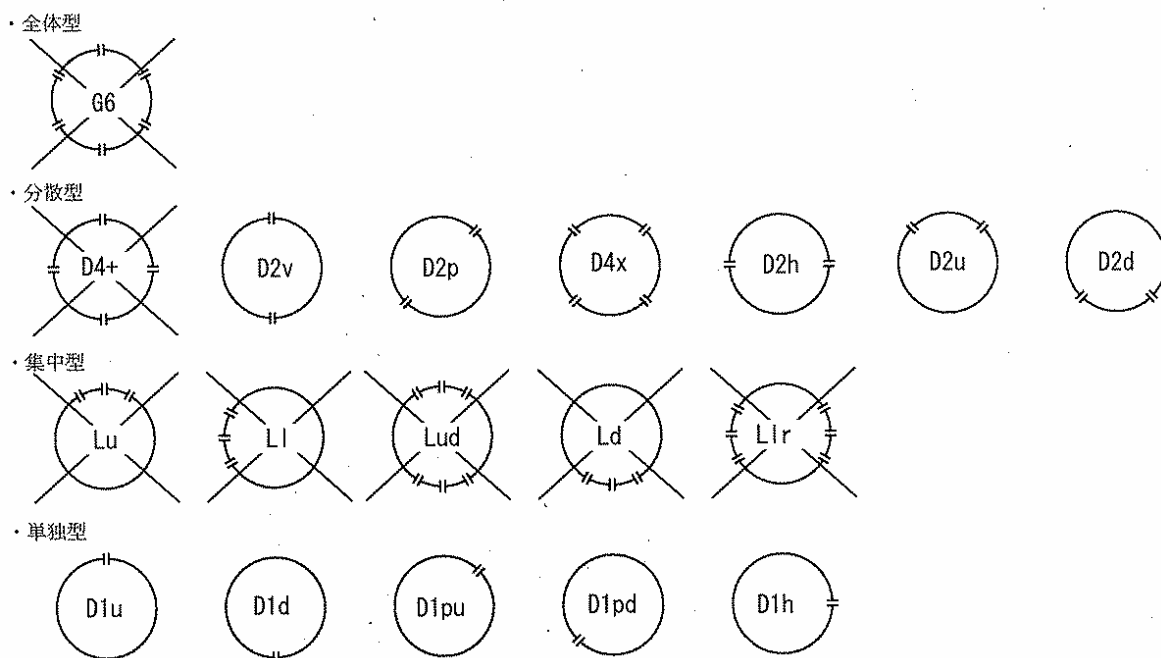


図2-7. 既設管損傷パターンの分類

出典：「管きよ更生工法（二層構造管）技術資料（案）」、2006年3月、  
 (財)下水道新技術推進機構

なお、1スパンの中で1箇所でも不適当な損傷パターンが存在する場合には、自立管で更生するものとする。

#### 二層構造管適用損傷パターン

分散型：D<sub>2v</sub>、D<sub>2p</sub>、D<sub>4x</sub>、D<sub>2h</sub>、D<sub>2u</sub>、D<sub>2d</sub>

単独型：D<sub>1u</sub>、D<sub>1d</sub>、D<sub>1pu</sub>、D<sub>1pd</sub>、D<sub>1h</sub>

#### (4). 改良設計の判定フローシート

既設管路調査結果による基本工法の判定は、前述の

「図2-3. 管きよ改築更新の判定フローシート【通常エリア（下水道総合地震対策事業に該当しない幹線）】」

「図2-4. 管きよ改築更新の判定フローシート【通常エリア（枝線）】」

に準じて行う。

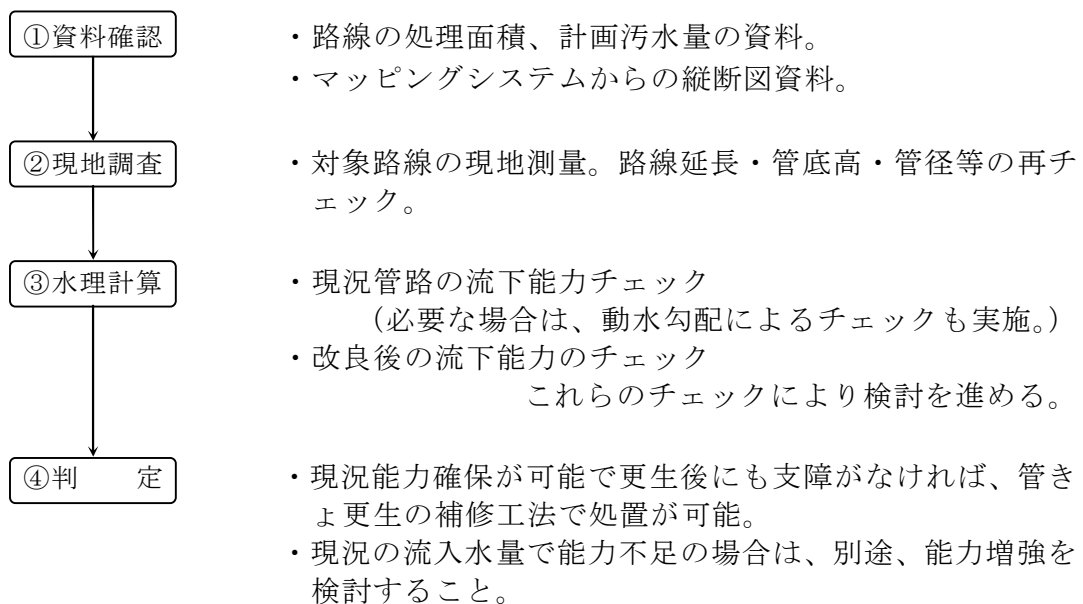
<b>項目判定 1</b>	<b>継手部ズレの改善 (G継手部鉛直ズレの判定)</b>
---------------	-------------------------------

ランク B (1cm～3cm 未満)の継手部鉛直ズレでは、正ステップの場合は問題ないが、逆ステップの場合は流下能力のチェックが必要となる。能力的に問題があれば、更生工法では改善が図れず、原則的に、開削工法等による布設替えを実施する必要がある。

**表 2-7. 継手部ズレの改善判定表**

種 別	ラ ン ク	判 定 工 法	
G 継手部鉛直ズレ	A	原則的に開削工法による布設替えを選定。	
	B	正ステップ	原則的に更生工法を選定。
		逆ステップ	<div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-right: 10px;">流下能力</div> <div style="margin-right: 10px;">=</div> <div style="display: flex; flex-direction: column; gap: 10px;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px;">支障有り</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px;">支障無し</div> </div> <div style="margin-left: 10px;">=</div> <div style="text-align: right;"> <p>原則的に 開削工法による設 替を選定。</p> <p>原則的に 更生工法を選定。</p> </div> </div>

◆ 流下能力の検討フロー ◆



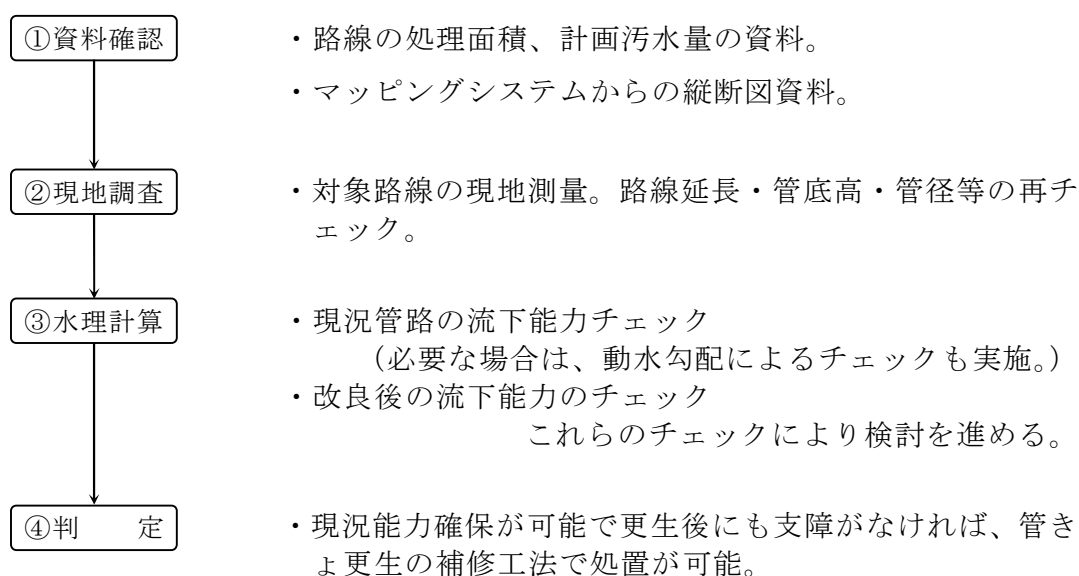
項目判定 2	たるみ・蛇行の改善（Lたるみ、M蛇行の判定）
--------	------------------------

ランク A だけでなくランク B も対象としたのは、ケースによっては、範囲が長く能力チェックが必要な場合もあるため、フローとして残した。

表 2-8. たるみ・蛇行の改善判定表

種 別	ランク	判 定 工 法
L たるみ M 蛇 行	A	<div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-right: 10px;">流下能力・維持管理</div> <div style="margin-left: 20px;"> <div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-right: 10px;">O. K</div> <div>= 監視処置とする。</div> </div> <div style="display: flex; align-items: center; margin-top: 10px;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-right: 10px;">N. G</div> <div>= 開削工法による布設替を選定。</div> </div> </div> </div>
	B	<div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-right: 10px;">流下能力・維持管理</div> <div style="margin-left: 20px;"> <div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-right: 10px;">O. K</div> <div>= 監視処置とする。</div> </div> <div style="display: flex; align-items: center; margin-top: 10px;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-right: 10px;">N. G</div> <div>= 開削工法による布設替を選定。</div> </div> </div> </div>

◆ 流下能力の検討フロー ◆



<b>異常箇所①</b>	<b>緊急処置異常箇所</b>
--------------	-----------------

緊急度の判定は、早急な改良処置を実施しなければ管路施設に支障を来すものを緊急処置異常箇所とする。

緊急処置の必要な異常箇所は原則として以下の項目とする。

**表 2-9. 緊急処置異常箇所**

項 目		ランク	処 置 の 定 義
E	破 損	A	緊急処置 開削工法
		B	緊急処置 自立管
		C	緊急処置 管口補修
G	継手部鉛直ズレ	A	緊急処置 開削工法
		B	緊急処置(能力不足) 開削工法
B	継手部目地開き	A	緊急処置(抜け出し) 開削工法
H	クラック(水平)	A	緊急処置 自立管
L	たるみ	A・B	緊急処置(能力不足) 開削工法
E	蛇行	A・B	緊急処置(能力不足) 開削工法
F	腐 食	A	緊急処置 自立管
		B	緊急処置(鉄筋露出) 自立管 または、二層構造管
D	浸 入 水	A	緊急処置 二層構造管
R	木 根 侵 入	A	緊急処置 二層構造管

<b>異常箇所②</b>	<b>強度低下異常箇所</b>
--------------	-----------------

既設管が、単体で周辺荷重を支えきれないと判断される場合は、**開削工法**または**自立管**としての管きょ更生計画として判定する必要がある。これに該当する箇所を「強度低下異常箇所」とし、原則として以下の項目とする。

**表 2-10. 強度低下異常箇所**

項 目		ランク	処 置 の 定 義
E	破 損	A	強度不足 開削工法
		B	強度不足 自立管
G	継手部鉛直ズレ	A	強度不足 開削工法
B	継手部目地開き	A(抜出)	強度不足 開削工法
F	腐 食	A	強度不足 自立管
		B	強度不足(鉄筋露出) 自立管
H	クラック(水平)	A	強度不足 自立管
	3カ所以上のクラック		強度不足 自立管 開削工法

#### 4-4. 構造計算（設計厚の算定）

##### (1). 構造計算フロー

小口径管路の場合の、更生管の構造計算は以下のフローにより計算するものとする。

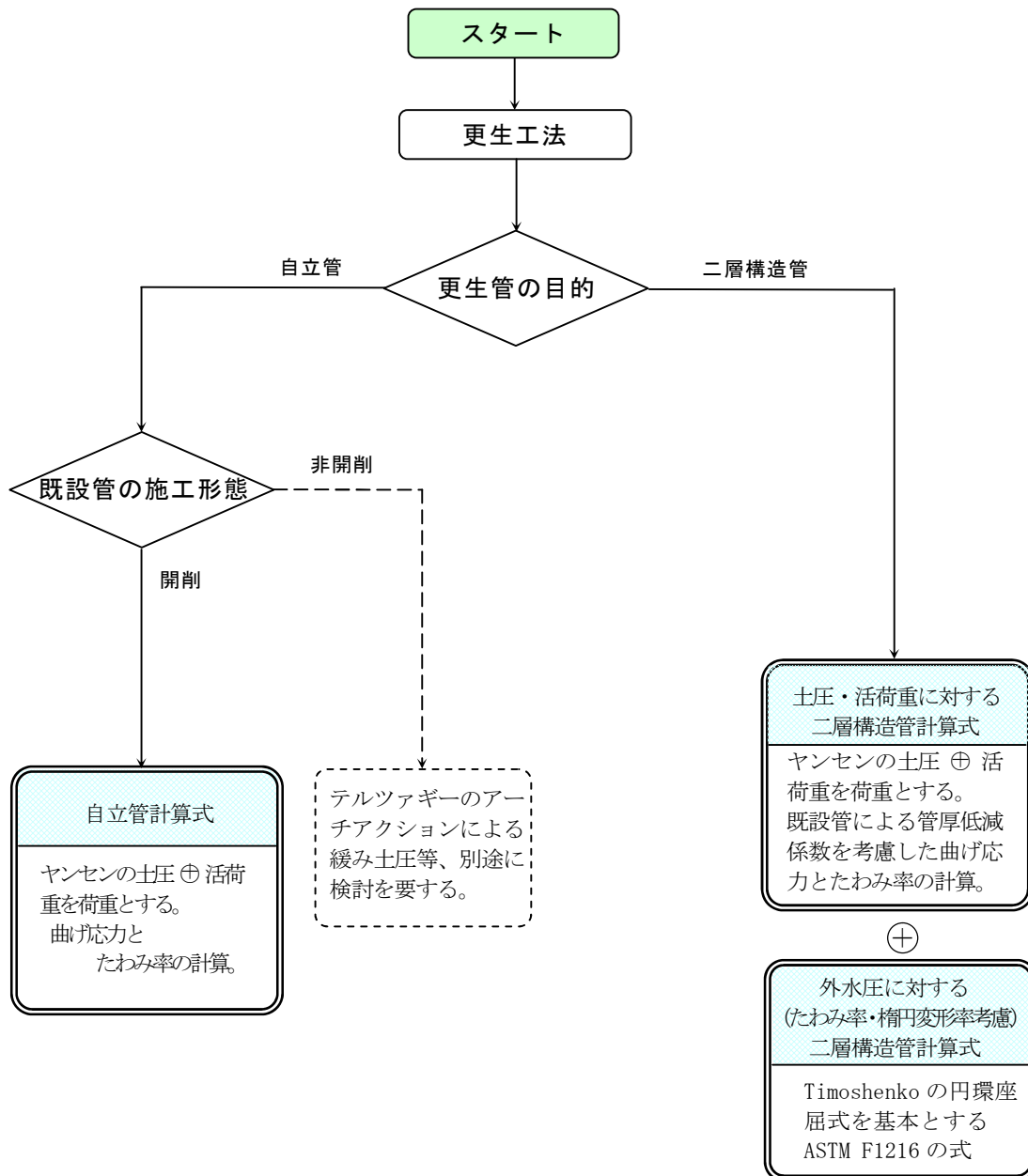


図 2-8. 更生管の構造計算フロー

## (2). 設計曲げ強度および設計曲げ弾性係数

更生材の設計曲げ強度および設計曲げ弾性係数は、「管きょ更生工法における設計・施工管理の手引き(案)」(平成20年9月(社)日本下水道協会)に準拠し、原則として長期試験値に更生材の現場硬化による品質のバラツキ等を反映し、現場状況に応じた各更生工法の安全率を考慮した保証値を採用する。

更生管厚の算定において、各工法の基本物性を確認しておく必要があるが、構造計算においては、各工法により物性値の算出根拠が違っても設計数値の信頼性が無くなる。このため、全工法に関して設計に用いる基本物性の数値は、その評価方法を統一し、同条件での設計が必要となる。

更生材の設計曲げ強度および設計曲げ弾性係数は、「管きょ更生工法における設計・施工管理の手引き(案)」(平成20年9月(社)日本下水道協会)に準拠し、原則として図2-9に示すフローにより、50年後の値を解析した長期試験値に、現場条件に応じて各更生工法の安全率(現場硬化による品質のバラツキ等)を考慮して算出した保証値を設計値として採用する。この場合の安全率の考え方についても「管きょ更生工法における設計・施工管理の手引き(案)」に基づくことを原則とする。

これは自立管を基本とした考え方であるが、二層構造管についても、改築であることから同様の考え方とする。

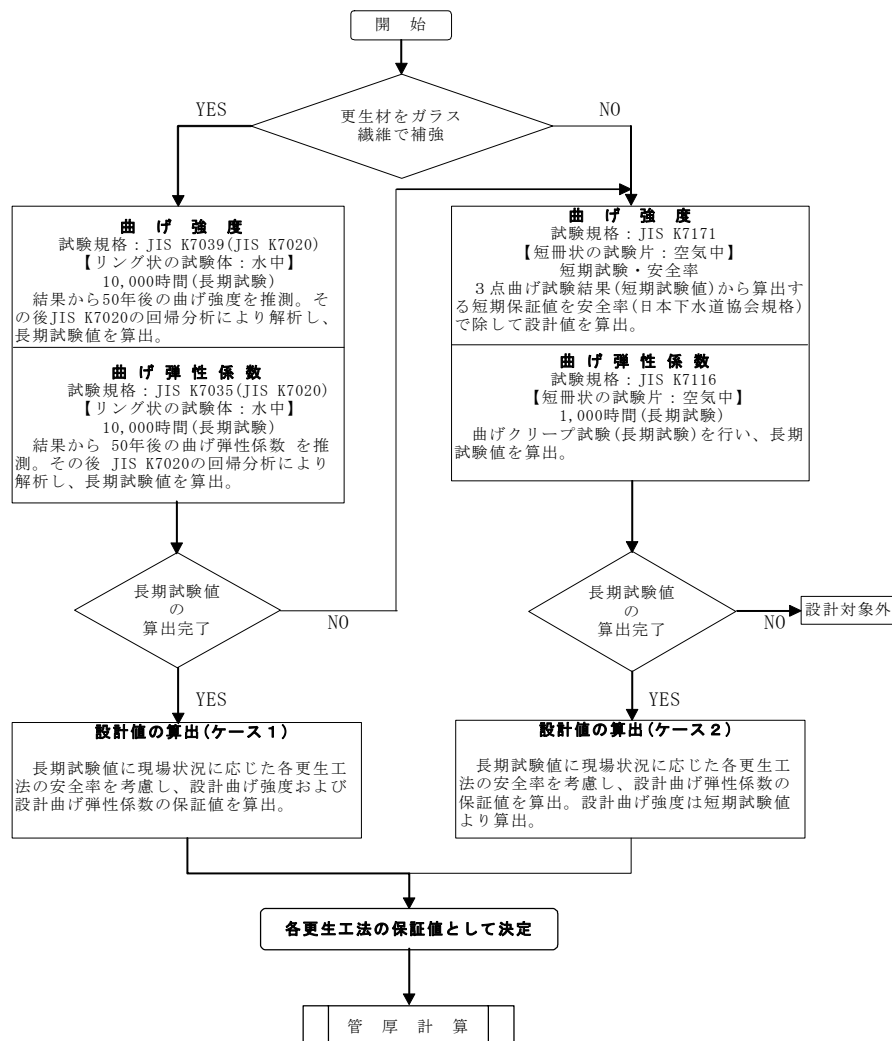


図2-9. 設計曲げ強度・設計曲げ弾性係数の算出フロー

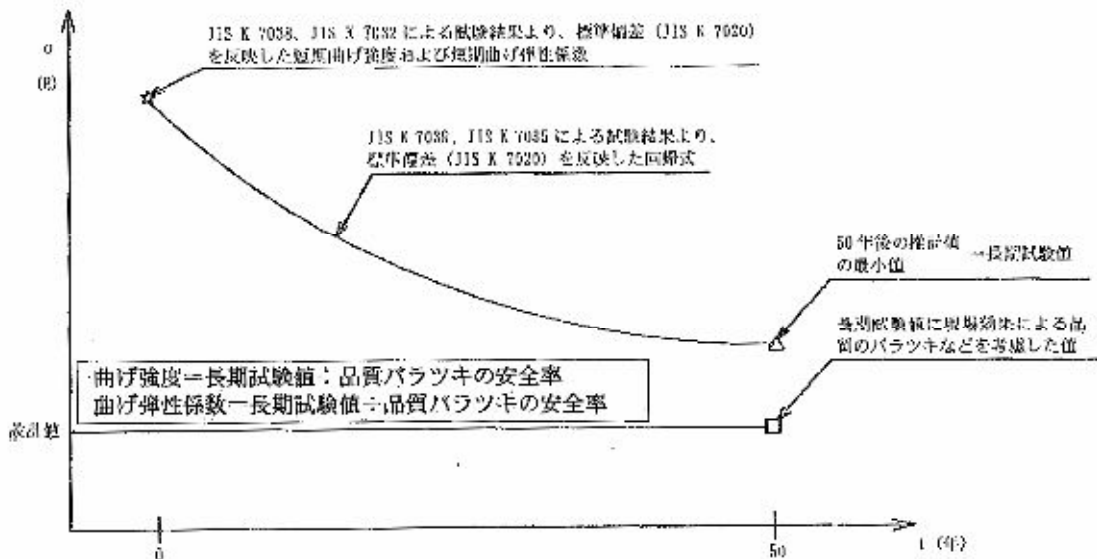


図 2-10. 曲げ強度および曲げ弾性係数の特性および設計上の考え方についての模式図(1)  
(ガラス繊維で更生材を補強している場合)

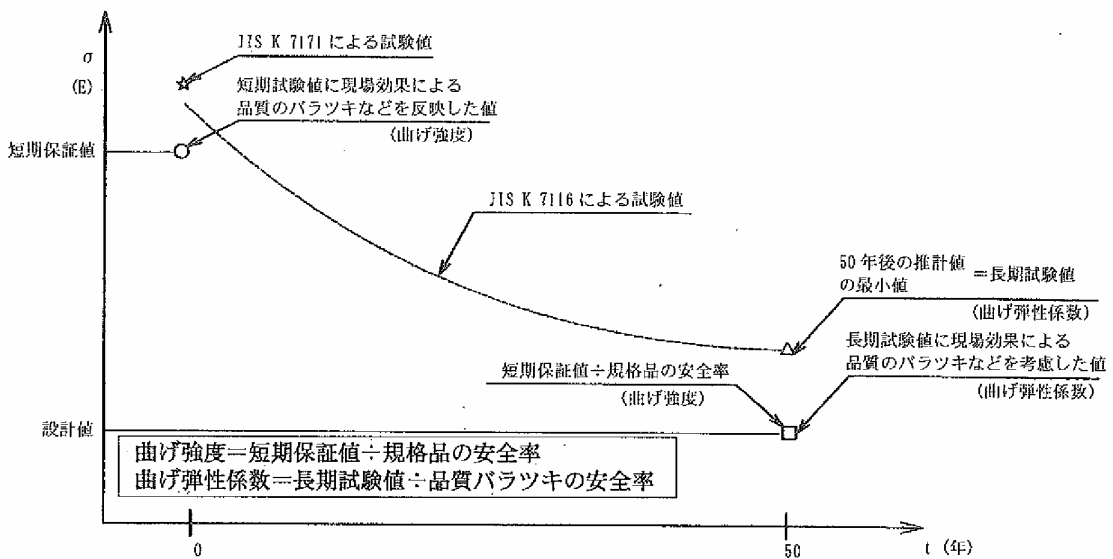


図 2-11. 曲げ強度および曲げ弾性係数の特性および設計上の考え方についての模式図(2)  
(ガラス繊維で更生材を補強していない場合)

出典：「管きよ更生工法における設計・施工管理の手引き(案)」

(平成 20 年 9 月 (社)日本下水道協会)

### (3). 自 立 管

自立管の管厚の算定は、荷重として土による鉛直土圧と活荷重による鉛直土圧を考慮し、曲げ応力とたわみ率により設計を行う。

#### 1). 土による鉛直土圧 (q)

土による鉛直土圧の算定は、「管きょ更生工法における設計・施工管理の手引き(案)」(平成20年9月 (社)日本下水道協会)に準じて、ヤンセンの公式による計算を基本とする。水圧は浮力として安全側に作用するため、地下水位は考慮しない。

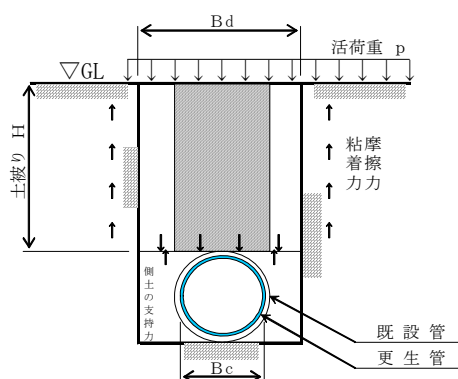


図2-12. ヤンセン土圧

既設埋設管の更生は非開削施工であり、更生管に影響する土荷重の想定としては既設管の直上のみと考える。このため、土圧の作用幅(Bd)は既設管内径(Bc)を仮想幅とする。(Bd = Bc)

ヤンセンの土圧算定式は、埋設管直上または掘削溝の直上の土柱の重量に、これに隣接する土柱との間の摩擦せん断力と粘着力を考慮して求めるものである。なお、埋戻し土の粘着力(f)は、通常は0.0kN/mm<sup>2</sup>とする。

$$\text{鉛直土圧 } q = \left[ \frac{\gamma \cdot Bd}{2} - f \right] \cdot \left[ \frac{1 - e^{-2K \cdot \mu \cdot H/Bd}}{K \cdot \mu} \right] \quad (\text{N/mm}^2)$$

q : 土による鉛直土圧(N/mm<sup>2</sup>)

γ : 土の単位体積重量(N/mm<sup>3</sup>) ※通常は18N/mm<sup>3</sup>

Bd : 仮想掘削溝幅 = 既設管内径 Bc (mm)

μ : 埋戻し土と側壁との摩擦係数 = tan φ

φ : 埋戻し土の内部摩擦角(°) ※標準30°

K : 埋戻し土の主動土圧係数

$$K = \frac{\sqrt{\mu^2 + 1} - \mu}{\sqrt{\mu^2 + 1} + \mu}$$

$$= \frac{1 - \sin \phi}{1 + \sin \phi}$$

H : 土被り (mm)

f : 埋戻し土の粘着力(N/mm<sup>2</sup>) ※通常は0.0N/mm<sup>2</sup>

ただし、既設管きよが推進工法またはシールド工法等により布設されている場合は、管布設時に採用した公式（テルツァギー公式等）を用いこととする。

（P 2 - 3 0（参考）自立管の計算例 参照）

## 2). 活荷重による鉛直土圧（p）

活荷重による鉛直土圧の算定は、「管きよ更生工法における設計・施工管理の手引き(案)」(平成 20 年 9 月 (社)日本下水道協会)に準じて、「下水道用硬質塩化ビニル管(JSWAS K-1)」((社)日本下水道協会)等の(社)日本下水道協会規格で用いられている式により算定し、設計荷重は「道路橋示方書・同解説」(平成 14 年 3 月 (社)日本道路協会)に定められた T-25 荷重の後輪荷重を用いる。

$$\text{活荷重 } p = \frac{2 \cdot P \cdot (1 + i) \cdot \beta}{C \cdot (a + 2H \cdot \tan 45^\circ)} \quad (\text{N/mm}^2)$$

p : 活荷重による鉛直土圧(N/mm<sup>2</sup>)

H : 土被り (mm)

P : 後輪荷重(T-25 100,000 N)

a : 車輪接地長さ (200mm)

C : 車体占有幅 (2,750 mm)

β : 低減係数 (0.9)

i : 衝撃係数

土被り	H ≤ 1.5m	1.5m < H < 6.5m	6.5m ≤ H
i	0.5	0.65 - 0.1H	0

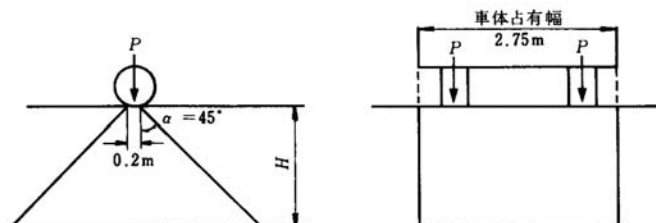


図 2 - 1 3 . 活荷重図

### 3). 強度計算

強度計算は、「管きよ更生工法における設計・施工管理の手引き(案)」(平成20年9月(社)日本下水道協会)に示す「JSWAS K-1」に準じて、曲げ強度とたわみ率について行い、両方を満たすことを確認する。

#### ①曲げ強度(応力)の算定

$$\text{曲げモーメント} M = (k_1 \cdot q + k_2 \cdot p) \cdot R^2 \quad (\text{N} \cdot \text{mm}/\text{mm}) \quad \text{-----} \quad (1)$$

$$\text{曲げ応力} \quad \sigma = \frac{M}{Z} \quad (\text{N}/\text{mm}^2) \quad \text{-----} \quad (2)$$

**表 2-12. 曲げモーメント係数**

施工支承角	$\theta = 360^\circ$	
有効支承角	$2\alpha = 120^\circ$	
曲げモーメント係数	$k_1$	$k_2$
管頂	0.107	0.079
管底	0.121	0.011

※地中のため有効支承角 $120^\circ$ とする。

ここで、(2)式を変形すると、

$$Z = \frac{t^2}{6} = \frac{M}{\sigma} \quad \text{-----} \quad (3)$$

となり、(3)式により曲げ応力をチェックする。

参 考

(1) (3)式より、更生管厚を求める式は、

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

となる。

t : 更生管厚 (mm)

D : 既設管内径 (mm)

R : 管厚中心半径 = (既設管内径 - t) / 2 (mm)

Z : 更生管単位長さ当たりの断面係数 (mm<sup>3</sup>/mm)

k<sub>1</sub>, k<sub>2</sub> : 曲げモーメント係数

p : 活荷重 (N/mm<sup>2</sup>)

q : 鉛直土圧 (N/mm<sup>2</sup>)

σ : 曲げ応力 (曲げ強度) (N/mm<sup>2</sup>)

②たわみ率の計算(V)

$$\text{たわみ量 } \delta = (K_1 \cdot q + K_2 \cdot p) \frac{R^4}{E_L \cdot I} \quad (\text{mm}) \quad \text{----- (4)}$$

$$\text{たわみ率 } V = \frac{\delta}{2R} \times 100 \quad (\%) \quad \text{----- (5)}$$

$$\text{たわみ係数} \quad K_1 = 0.070$$

$$K_2 = 0.030$$

$E_L$  : メーカーが保証する更生材の長期曲げ弾性係数 ( $\text{N/mm}^2 = \text{Mpa}$ )

$I$  : 更生管 1mm 当たりの断面 2 次モーメント

$$I = \frac{t^3}{12} \quad (\text{mm}^4/\text{mm})$$

許容たわみ率を 5% とし、(5) 式によりチェックする。

$$\left( \begin{array}{l} \text{参 考} \\ (4) (5) \text{ 式より、更生管厚を求める式は、} \\ t = \frac{D}{1 + \sqrt[3]{\frac{E_L \cdot V}{7.5 (K_1 \cdot q + K_2 \cdot p)}}} \\ \text{となる。} \end{array} \right)$$

参考-5 自立管の更生管厚算定例

〈曲げ強度による更生管厚〉

計 算 諸 元

・鉛直土圧算定式	ヤンセン公式
・土の単位体積重量	$\gamma = 1.8 \times 10^{-8} \text{ (kN/mm}^3\text{)}$
・土被り	$H = 3000 \text{ (mm)}$
・埋戻し土の内部摩擦角	$\phi = 30 \text{ (}^\circ\text{)}$
・掘削面における溝幅	$Bd = 1100 \text{ (mm)}$
・埋戻し土の粘着力	$f = 0 \text{ (kN/mm}^2\text{)}$
・更生管外径	$D = 250 \text{ (mm)}$
・曲げモーメント係数 (管頂)	$k_1 = 0.107 \text{ (JSWASK-1 P41)}$
・曲げモーメント係数 (管頂)	$k_2 = 0.079 \text{ (JSWASK-1 P41)}$
・曲げモーメント係数 (管底)	$k_1 = 0.121 \text{ (JSWASK-1 P41)}$
・曲げモーメント係数 (管底)	$k_2 = 0.011 \text{ (JSWASK-1 P41)}$
・曲げ強度 (設計値)	$\sigma = 0.040 \text{ (kN/mm}^2\text{)}$

参考-3に示すA工法の長期曲げ強度の試験値を $0.060 \text{ (kN/mm}^2\text{)}$ とする。

ここに、設計値はP19表3-3に示す安全率の考え方に準じ、基本的安全率( $F_0=1.2$ )、および材料特性のばらつき係数( $L_s=1.2$ )を考慮した安全率1.5を長期曲げ強度の試験値に反映する。故に $\sigma = 0.060 \div 1.5 = 0.040 \text{ (kN/mm}^2\text{)}$

土による鉛直土圧算定式

$$q = \left( \frac{\gamma \cdot Bd}{2} - f \right) \cdot \left( \frac{1 - e^{-2K \cdot \mu \cdot H/Bd}}{K \cdot \mu} \right) = 3.34 \times 10^{-5} \text{ (kN/mm}^2\text{)}$$

$q$  : 埋戻し土による鉛直土圧 ( $\text{kN/mm}^2$ )

$\mu$  : 埋戻し土と側壁との摩擦係数 =  $\tan \phi = 0.577$

$K$  : 埋戻し土の主動土圧係数

$$K = \frac{\sqrt{\mu^2 + 1} - \mu}{\sqrt{\mu^2 + 1} + \mu} = 0.333$$

活荷重による鉛直土圧算定式 (T-25)

$$p = \frac{2P(1+i) \cdot \beta}{C(\alpha + 2H \cdot \tan \theta)} = 1.43 \times 10^{-5} \text{ (kN/mm}^2\text{)}$$

$p$  : 活荷重による鉛直土圧 ( $\text{kN/mm}^2$ )

$P$  : 後輪荷重 =  $100 \text{ (kN)}$

$\alpha$  : 車輪接地長さ =  $200 \text{ (mm)}$

$C$  : 車体占有幅 =  $2750 \text{ (mm)}$

$\theta$  : 分布角 =  $45 \text{ (度)}$

$i$  : 衝撃係数 =  $0.65 - 0.1 \times 3.0 = 0.35 \text{ (P15 表3-1)}$

$\beta$  : 低減係数 =  $0.9$

## 曲げ強度による更生管厚の算定

$$\begin{aligned}
 \text{更生管厚 (管頂) } t_1 &= \frac{D}{1 + \sqrt{\frac{2\sigma}{3(k_1 \cdot q + k_2 \cdot p)}}} \\
 &= \frac{250}{1 + \sqrt{\frac{2 \times 0.040}{3 \times (0.107 \times 3.34 \times 10^{-5} + 0.079 \times 1.43 \times 10^{-5})}}} = 3.3 \text{ (mm)}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{更生管厚 (管底) } t_2 &= \frac{250}{1 + \sqrt{\frac{2 \times 0.040}{3 \times (0.121 \times 3.34 \times 10^{-5} + 0.011 \times 1.43 \times 10^{-5})}}} = 3.1 \text{ (mm)}
 \end{aligned}$$

(たわみ率による更生管厚)

計 算 諸 元

・鉛直土圧算定式	ヤンセン公式
・土の単位体積重量	$\gamma = 1.8 \times 10^{-8} \text{ (kN/mm}^3\text{)}$
・土被り	$H = 3000 \text{ (mm)}$
・埋戻し土の内部摩擦角	$\phi = 30 \text{ (}^\circ\text{)}$
・掘削面における溝幅	$Bd = 1100 \text{ (mm)}$
・埋戻し土の粘着力	$f = 0 \text{ (kN/mm}^2\text{)}$
・更生管外径	$D = 250 \text{ (mm)}$
・たわみ係数 (管頂)	$K_1 = 0.070 \text{ (JSWASK-1 P41)}$
・たわみ係数 (管頂)	$K_2 = 0.030 \text{ (JSWASK-1 P41)}$
・許容たわみ率	$V = 5 \text{ (\%)}$
・曲げ弾性係数 (設計値)	$E = 2.69 \text{ (kN/mm}^2\text{)}$

参考-3に示すA工法の長期曲げ弾性係数の試験値を4.04(kN/mm<sup>2</sup>)とする。

ここに、設計値はP19表3-3に示す安全率の考え方に準じ、基本の安全率(F<sub>0</sub>=1.2)、および材料特性のばらつき係数(L<sub>s</sub>=1.2)を考慮した安全率1.5を長期曲げ弾性係数の試験値に反映する。故に $\sigma = 4.04 \div 1.5 = 2.69 \text{ (kN/mm}^2\text{)}$

・土による鉛直土圧	$q = 3.34 \times 10^{-5} \text{ (kN/mm}^2\text{)}$
・活荷重による鉛直土圧 (T-25)	$p = 1.43 \times 10^{-5} \text{ (kN/mm}^2\text{)}$

たわみ率による更生管厚の算定

$$\begin{aligned}
 \text{更生管厚 } t &= \frac{D}{1 + \sqrt[3]{\frac{E V}{75(K_1 \cdot q + K_2 \cdot p)}}} \\
 &= \frac{250}{1 + \sqrt[3]{\frac{2.69 \times 5}{75 \times (0.070 \times 3.34 \times 10^{-5} + 0.030 \times 1.43 \times 10^{-5})}}} = 6.1 \text{ (mm)}
 \end{aligned}$$

したがって、本設計で使用する更生管厚は、前頁に示す「曲げ強度による更生管厚(管頂および管底)」と本頁に示す「たわみ率による更生管厚」の大きい方である6.1mmを採用する。

(参考) 自立管の計算例 (既設管を推進工法等で布設している場合)

推進工法、シールド工法等で布設された既設管を更生する場合の鉛直土圧の算定は、一般的に開削工法の鉛直土圧算定式として用いるヤンセン公式および垂直公式を適用することが過大になると想定されるので、管布設時に採用した公式 (テルツァギー公式等) を用いる。

$$w = \left( \gamma - \frac{2 \cdot C}{B_e} \right) \cdot C_e \quad (\text{N/mm}^2)$$

$$C_e = \frac{1}{\left[ \frac{2 \cdot K \cdot \mu}{B_e} \right]} \left\{ 1 - e^{-\left[ \frac{2 \cdot K \cdot \mu}{B_e} \right] H} \right\}$$

w : 土による鉛直等分布荷重 (N/mm<sup>2</sup>)

γ : 土の単位体積重量 (N/mm<sup>3</sup>)

C : 土の粘着力 (N/mm<sup>2</sup>)

B<sub>e</sub> : 土の緩み幅 (mm)

B<sub>t</sub> : トンネル直径 = 既設管外径 (mm)

C<sub>e</sub> : テルツァギーの土荷重の係数 (mm)

K : テルツァギーの側方土圧係数 (K = 1)

φ : 土の内部摩擦角 (°)

μ : 土の摩擦係数 (= tan φ)

H : 土被り (mm)

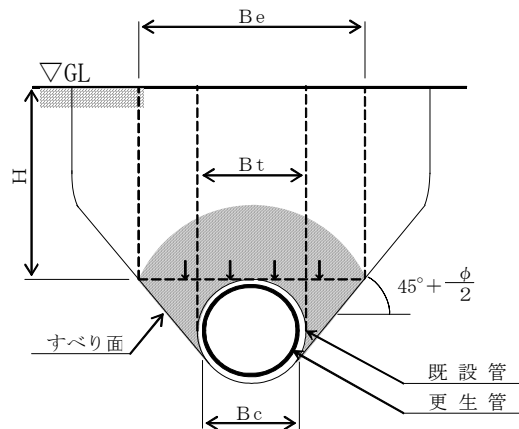


図 2-14. テルツァギー土圧

なお、活荷重の考え方は、P 2-3 1 (2). 活荷重 (p) により、管厚の算定は、P 2-3 2 (3). 強度計算によるものとする。

#### (4). 二層構造管

二層構造管の構造計算は以下のフローにより計算するものとする。

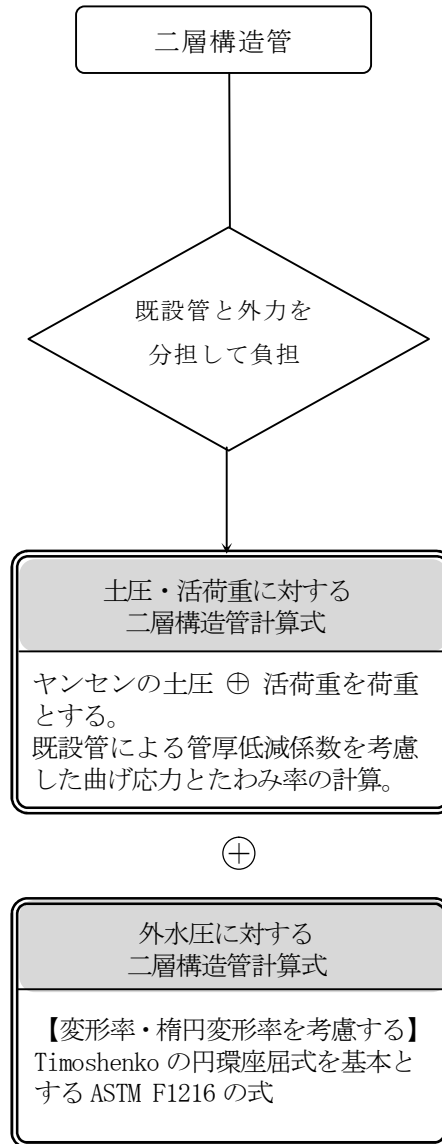


図 2 - 1 5 . 二層構造管の構造計算フロー

外水圧に対する二層構造管の管厚の算定は、ASTM F1216のTimoshenkoの薄肉円環座屈式により設計を行う。

既設管が強度を有する場合、土圧および活荷重は既設管が受け持ち、更生管には外水圧のみが作用すると考える。

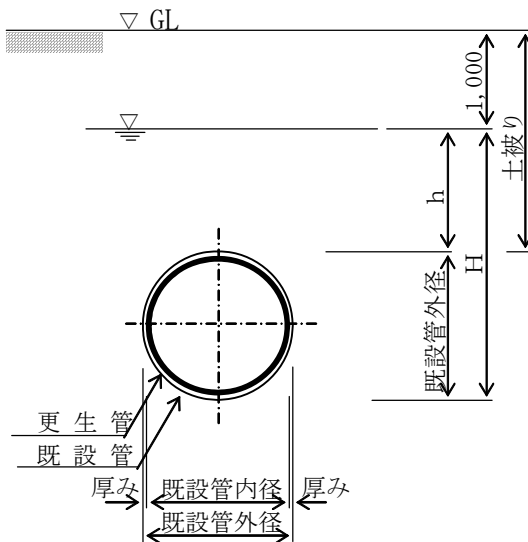


図 2-16. 地下水位の考え方

Timoshenko は、長い薄肉円環が外圧を受けるとき、円筒管が半径方向に座屈する理論的圧力が次式で表されることを示している。

$$P = \frac{E}{4(1-\nu^2)} \cdot \left(\frac{t}{r}\right)^3 \dots\dots\dots (1)$$

- P : 座屈圧力
- E : 弾性係数
- $\nu$  : ポアソン比
- t : 厚さ
- r : 半径

ここで、既設管が存在する場合、更生管は外側の既設管で拘束されることにより、式(1)で求まる座屈力よりも大きな圧力で座屈する事になる。このため、既設管の拘束による向上効果ならびに偏平による減少効果（継手部鉛直ズレの場合等）を考慮して、ASTM F1216 の式に基づく次式(2)により更生管の必要厚さを設計する。

なお、更生管も土圧などの荷重を負担する場合には、鉛直方向のたわみを 5% とする。

$$P = \frac{2 K E L}{(1 - \nu^2)} \cdot \frac{1}{(D/t - 1)^3} \cdot \frac{C}{N} \quad \dots\dots\dots (2)$$

P : 管底における最大静水圧 =  $\gamma_w \cdot H$  (N/mm<sup>2</sup>)

$\gamma_w$  : 水の単位体積重量 (=  $1 \times 10^{-5}$  N/mm<sup>3</sup>)

H : 地下水位 (mm)

K : サポート向上係数 (= 7.0)

EL : 長期曲げ弾性係数 (N/mm<sup>2</sup> = MPa)

$\nu$  : ポアソン比 (= 0.30)

N : 安全率 (= 2)

D : 既設管内径 (mm)

t : 更生管厚 (mm)

$$C : \text{楕円変形係数} = \left( \frac{1 - q/100}{(1 + q/100)^2} \right)^3$$

$$q : \text{既設管の楕円率} = \frac{\text{平均内径} - \text{最小内径}}{\text{平均内径}} \times 100$$

$$\text{または、} \frac{\text{最大内径} - \text{平均内径}}{\text{平均内径}} \times 100$$

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

※ 地下水位は GL-1.0m とする。

静水圧については、 $P < 15 \times 10^{-3}$  N/mm<sup>2</sup> のときは最小値として

$P = 15 \times 10^{-3}$  N/mm<sup>2</sup> を見込むこととする。

更生管厚を求めるために、式(2)を変形すると、式(3)を得る。

$$t = \frac{D}{\left[ \frac{2 C \cdot K \cdot E L}{P \cdot N \cdot (1 - \nu^2)} \right]^{1/3} + 1} \quad \dots\dots\dots (3)$$

土圧・活荷重に対する二層構造管の算定は、土による鉛直土圧・活荷重による鉛直土圧・既設管による管厚低減係数を考慮し、曲げ応力とたわみ率により設計を行う。

土圧および活荷重に対する二層構造管の設計においては、既設管による管厚低減係数を考慮した曲げ強さからの必要更生管厚（ $T_m$ ）と、既設管による管厚低減係数を考慮したたわみ率からの必要更生管厚（ $T_d$ ）のどちらか大きい方の値を必要更生管厚と考える。

「管きよ更生工法における設計・施工管理の手引き(案)」(平成20年9月(社)日本下水道協会)では、曲げ強さおよびたわみ率の計算から必要更生管厚を算出し、大きいほうの値を自立管の必要更生管厚としている。

二層構造管の必要更生管厚の算定では、これらの式に既設管による管厚を低減するための係数（ $\alpha_1$ 、 $\alpha_2$ ）を適用し、既設管の寄与を考慮する（式-（1）、式-（2））。管厚低減係数 $\alpha_1$ 、 $\alpha_2$ は、二層構造管の適用損傷パターンの中から、更生管にとって最も厳しい条件となる値から設定する。

曲げ強さの計算から求めた必要更生管厚（ $T_m$ ）

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

- $\alpha_1$  : 既設管による管厚低減係数（曲げ強さ）=0.4
- $q$  : 土による鉛直土圧（ $N/mm^2$ ）
- $p$  : 活荷重による鉛直土圧（ $N/mm^2$ ）
- $\sigma$  : 設計曲げ強さ（ $N/mm^2$ ）
- $D$  : 更生管外径（mm）
- $k_1$  : 土による曲げモーメント係数  
(管頂：0.107、管底：0.121)
- $k_2$  : 活荷重による曲げモーメント係数  
(管頂：0.079、管底：0.011)

たわみ率の計算から求めた必要更生管厚 (Td)

$$T_d = \frac{D}{1 + \sqrt[3]{\frac{E \cdot V}{75 \cdot \alpha_2 \cdot (K_1 \cdot q + K_2 \cdot p)}}} \text{----- (2)}$$

$\alpha_2$  : 既設管による管厚低減係数 (たわみ率) =0.2

q : 土による鉛直土圧 (N/mm<sup>2</sup>)

p : 活荷重による鉛直土圧 (N/mm<sup>2</sup>)

E : 設計曲げ弾性率 (N/mm<sup>2</sup>)

D : 更生管外径 (mm)

V : たわみ率=5%

K<sub>1</sub> : 土によるたわみ係数=0.070

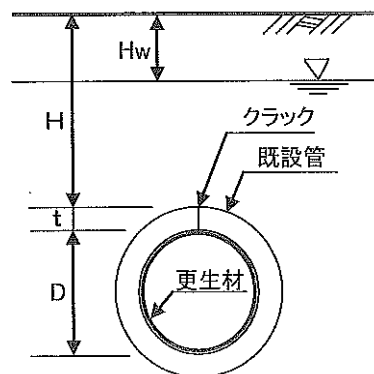
K<sub>2</sub> : 活荷重によるたわみ係数=0.030

※ 基礎条件の係数 (k<sub>1</sub>、k<sub>2</sub>、K<sub>1</sub>、K<sub>2</sub>) の有効支承角は、120° (施工支承角 360° )  
とする「管きよ更生工法における設計・施工管理の手引き(案)」(平成 20 年 9 月  
(社)日本下水道協会) 参照。

## 4. 二層構造管の管厚計算例

## (1) 計算条件

1. 既設管損傷状況	上半分損傷1か所(単独型: D1u)	
2. 更生管外径 (=既設管内径)	$D = 250$ (mm)	
3. 既設管管厚	$t = 28$ (mm)	
4. 既設管土被り	$H = 3,000$ (mm)	
5. 地下水位	$H_w = GL - 1,000$ (mm)	
6. 地下水の単位体積重量	$\gamma_w = 1.0 \times 10^{-5}$ (N/mm <sup>3</sup> )	
7. 土の単位体積重量	$\gamma = 1.8 \times 10^{-5}$ (N/mm <sup>3</sup> )	
8. 埋戻し土の内部摩擦角	$\phi = 30$ (°)	
9. 埋戻し土の粘着力	$f = 0$ (N/mm <sup>2</sup> )	
10. 掘削面における溝幅	$B_d = 1,100$ (mm)	
11. 管周辺の地盤の乱れの有無	有 (ヤンセン公式土圧または2m直土圧の大きい方を採用)	
12. 後輪荷重 (T-25)	$P = 100,000$ (N)	
13. 低減係数	$\beta = 0.9$	
14. 土による曲げモーメント係数 (管頂)	$k_1 = 0.107$ (JSWAS K-1 有効支承角120°)	
15. 土による曲げモーメント係数 (管底)	$k_1 = 0.121$ (JSWAS K-1 有効支承角120°)	
16. 活荷重による曲げモーメント係数 (管頂)	$k_2 = 0.079$ (JSWAS K-1 有効支承角120°)	
17. 活荷重による曲げモーメント係数 (管底)	$k_2 = 0.011$ (JSWAS K-1 有効支承角120°)	
18. 土によるたわみ係数 (管頂)	$K_1 = 0.070$ (JSWAS K-1 有効支承角120°)	
19. 活荷重によるたわみ係数 (管頂)	$K_2 = 0.030$ (JSWAS K-1 有効支承角120°)	
20. 二層構造管の既設管による管厚低減係数 (曲げ強度)	$\alpha_1 = 0.40$ (§14参照)	
21. 二層構造管の既設管による管厚低減係数 (たわみ)	$\alpha_2 = 0.20$ (§14参照)	
22. 外水圧による座屈に対する支持向上率	$K = 7.0$ (§15参照)	
23. 外水圧に対する安全率	$N = 2$ (§15参照)	
24. 許容たわみ率	$V = 5$ (%)	
25. 楕円変形率	$C = 0.640$ (§15参照)	
26. 更生管材の工法 (材質)	: A工法 (ガラス繊維強化プラスチック系)	
27. 更生管材の長期曲げ強度	$\sigma_L = 50$ (N/mm <sup>2</sup> ) (使用更生材による)	
28. 更生管材の短期曲げ強度 (保証値)	$\sigma_s = 105$ (N/mm <sup>2</sup> ) (使用更生材による)	
29. 更生管材の長期曲げ強度に対する安全率	$F_L = 1.5$ (使用更生材による)	
30. 更生管材の短期曲げ強度に対する安全率	$F_s = 5.0$ (使用更生材による)	
31. 更生管材の長期曲げ弾性係数 (長期値)	$E_L = 4,040$ (N/mm <sup>2</sup> ) (使用更生材による)	
32. 更生管材のポアソン比	$\nu = 0.30$ (使用更生材による)	



## (2) 更生部材の設計定数

## 1) 設計曲げ強度

長期曲げ強度を安全率1.5 (繊維強化プラスチック管JISK7013の考え方) で除した値とする (「管更生の手引き(案)」p.17参照)。

$$\text{長期曲げ強度 } \sigma_L = 50.0 \text{ (N/mm}^2\text{)}$$

$$\text{安全率 } F_L = 1.5$$

$$\text{設計曲げ強度 } \sigma = 50.0 / 1.5 = 33.3 \text{ (N/mm}^2\text{)}$$

## 2) 設計曲げ弾性係数

長期曲げ弾性係数を安全率で除した値とする (「管更生の手引き(案)」p.17参照)。

「管更生の手引き(案)」(p.17)に基づき、長期曲げ弾性係数に対する安全率を算定する。

基本安全率	$F_0 = 1.2$	(管構造としての剛性が基準となるため)
材料特性値の信頼度係数	$L_1 = 1.0$	(水中クリープ試験:1.0, 空気中クリープ試験:1.1)
用途重要度係数	$L_2 = 1.0$	(開削・推進工事等の考え方と同様:1.0)
外力荷重推定の不確かさ	$L_3 = 1.0$	(開削・推進工事等の外力計算の考え方と同様:1.0)
構造計算の精度係数	$L_4 = 1.0$	(開削・推進工事等の構造計算と同様:1.0)
材料特性のばらつき係数	$L_5 = 1.2$	(現場製作による材料特性のばらつき)
衝撃係数	$L_6 = 1.0$	(土被り等で衝撃負荷レベルが低い:1.0)

$$\begin{aligned} \text{設計安全率 } F &= F_0 \times L_1 \times L_2 \times L_3 \times L_4 \times L_5 \times L_6 \\ &= 1.2 \times 1.0 \times 1.0 \times 1.0 \times 1.0 \times 1.2 \times 1.0 \\ &= 1.44 \\ &\Rightarrow 1.5 \end{aligned}$$

$$\text{長期曲げ弾性係数 } E_L = 4,040 \text{ (N/mm}^2\text{)}$$

$$\begin{aligned} \text{設計曲げ弾性係数 } E &= E_L / F \\ &= 4,040 / 1.5 \\ &= 2,690 \text{ (N/mm}^2\text{)} \end{aligned}$$

## (3) 土による鉛直土圧の算定

既設管の土被りが2m以上あり、既設管の上部等で他事業により管周辺の地盤が乱される場合が考えられるので、ヤンセン式による土の鉛直土圧と、土被り2mまでの垂直公式による鉛直土圧の、どちらか大きい方の値を鉛直土圧とする。

## 1) ヤンセン式による鉛直土圧

$$q_y = \left[ \frac{\gamma \cdot Bd}{2} - f \right] \cdot \left[ \frac{1 - e^{-2K_a \cdot \mu \cdot H/Bd}}{K_a \cdot \mu} \right]$$

$q_y$  : 土による鉛直土圧 (ヤンセン式) (N/mm<sup>2</sup>)

$\mu$  : 埋戻し土と側壁との摩擦係数 =  $\tan \phi = \tan 30^\circ = 0.577$

$K_a$  : 埋戻し土の主働土圧係数

$$K_a = \frac{\sqrt{\mu^2 + 1} - \mu}{\sqrt{\mu^2 + 1} + \mu} = \frac{\sqrt{0.577^2 + 1} - 0.577}{\sqrt{0.577^2 + 1} + 0.577} = 0.334$$

$$q_y = \left[ \frac{0.000018 \times 1,100}{2} - 0.00 \right] \times \left[ \frac{1 - \exp(-2 \times 0.334 \times 0.577 \times 3,000 / 1,100)}{0.334 \times 0.577} \right]$$

$$= 0.0334 \text{ (N/mm}^2\text{)}$$

## 2) 垂直公式による鉛直土圧 (2m)

$$q_v = \gamma \cdot H$$

$q_v$  : 土による鉛直土圧 (垂直公式) (N/mm<sup>2</sup>)

$\gamma$  : 土の単位体積重量 (kN/mm<sup>3</sup>) =  $1.8 \times 10^{-5}$  (N/mm<sup>3</sup>)

$H$  : 土被り = 2,000 (mm)

$$q_v = 1.8 \times 10^{-5} \times 2,000 = 0.036 \text{ (N/mm}^2\text{)}$$

3) 採用鉛直土圧  $q$ 

$q_y < q_v$  より、垂直公式による鉛直土圧を採用する。

$$q = 0.036 \text{ (N/mm}^2\text{)}$$

## (4) 活荷重による鉛直土圧の算定

$$p = \frac{2P(1+i) \cdot \beta}{C(\alpha + 2H \cdot \tan \theta)}$$

p : 活荷重による鉛直土圧 (kN/mm<sup>2</sup>)

P : 後輪荷重 (T-25) = 100,000 (N)

$\alpha$  : 車輪接地長さ = 200 (mm)

C : 車体占有幅 = 2,750 (mm)

$\theta$  : 分布角 = 45 (°)

H : 土被り = 3,000 (mm)

$\beta$  : 低減係数 = 0.9

i : 衝撃係数 = 0.35

H (m)	$H \leq 1.5$	$1.5 < H < 6.5$	$6.5 \leq H$
i	0.5	$0.65 - 0.1H$	0

$$p = \frac{2 \times 100,000 \times (1 + 0.35) \times 0.9}{2,750 \times (200 + 2 \times 3,000 \times \tan 45)} = 0.0143 \text{ (N/mm}^2\text{)}$$

## (5) 曲げ強度による二層構造管の必要更生管厚の算定

$$\begin{aligned}
 \text{必要更生管厚 } T_{m1} \text{ (管頂)} &= \frac{D}{1 + \sqrt{\frac{2\sigma}{3 \cdot \alpha_1 \cdot (k_1 \cdot q + k_2 \cdot p)}}}} \\
 &= \frac{250}{1 + \sqrt{\frac{2 \times 33.3}{3 \times 0.40 \times (0.107 \times 0.0360 + 0.079 \times 0.0143)}}}} \\
 &= 2.35 \text{ (mm)}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{必要更生管厚 } T_{m2} \text{ (管底)} &= \frac{D}{1 + \sqrt{\frac{2\sigma}{3 \cdot \alpha_1 \cdot (k_1 \cdot q + k_2 \cdot p)}}}} \\
 &= \frac{250}{1 + \sqrt{\frac{2 \times 33.3}{3 \times 0.40 \times (0.121 \times 0.0360 + 0.011 \times 0.0143)}}}} \\
 &= 2.23 \text{ (mm)}
 \end{aligned}$$

## (6) たわみによる二層構造管の必要更生管厚の算定

$$\begin{aligned}
 \text{必要更生管厚 } T_d &= \frac{D}{1 + \sqrt[3]{\frac{E \cdot V}{75 \cdot \alpha_2 \cdot (K_1 \cdot q + K_2 \cdot p)}}}} \\
 &= \frac{250}{1 + \sqrt[3]{\frac{2,690 \times 5.0}{75 \times 0.20 \times (0.070 \times 0.0360 + 0.030 \times 0.0143)}}}} \\
 &= 3.66 \text{ (mm)}
 \end{aligned}$$

## (7) 更生管に作用する外水圧

$$\text{更生管底部に作用する外水圧 } P_w = (H + t + D - H_w) \times \gamma_w$$

$$H : \text{既設管の土被り (mm)} = 3,000 \text{ (mm)}$$

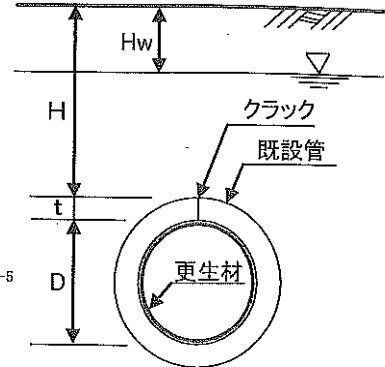
$$t : \text{既設管の管厚 (mm)} = 28 \text{ (mm)}$$

$$D : \text{更生管外径 (mm)} = 250 \text{ (mm)}$$

$$H_w : \text{地下水位} = \text{GL} - 1,000 \text{ (m)}$$

$$\gamma_w : \text{地下水の単位体積重量 (kN/mm}^3\text{)} = 1.0 \times 10^{-5} \text{ (N/mm}^3\text{)}$$

$$\begin{aligned} P_w &= (3,000 + 28 + 250 - 1,000) \times 1.0 \times 10^{-5} \\ &= 0.0228 \text{ (N/mm}^2\text{)} \end{aligned}$$



## (8) 外水圧に対する必要更生管厚の算定

$$\begin{aligned} \text{必要更生管厚 } T_w &= \frac{D}{\left[ \frac{2 \cdot E_L \cdot K \cdot C}{P_w \cdot N \cdot (1 - \nu^2)} \right]^{1/3} + 1} \\ &= \frac{250}{\left[ \frac{2 \times 4,040 \times 7.0 \times 0.64}{0.0228 \times 2 \times (1 - 0.30^2)} \right]^{1/3} + 1} \\ &= 2.59 \text{ (mm)} \end{aligned}$$

## (9) 二層構造管の設計更生管厚の決定

以上の計算結果をまとめると、二層構造管の必要更生管厚は、次のとおりである。

- ・ 曲げ強度による二層構造管の必要更生管厚 (管頂)  $T_{m1} : 2.35 \text{ (mm)}$
- ・ 曲げ強度による二層構造管の必要更生管厚 (管底)  $T_{m2} : 2.23 \text{ (mm)}$
- ・ たわみによる二層構造管の必要更生管厚  $T_d : 3.66 \text{ (mm)}$
- ・ 外水圧に対する二層構造管の必要更生管厚  $T_w : 2.59 \text{ (mm)}$

これらの最大値は、たわみによる二層構造管の必要更生管厚の 3.66mm である。

以上より、二層構造管の設計更生管厚は、

$$T = 3.7 \text{ (mm)}$$

とする。

なお、呼び厚さは、設計更生管厚以上のメーカー規格厚さとする。

参 考 資 料

更 生 管 の 許 容 管 厚

流下能力の算定は、実施設計の場合はマニング公式により算定する。硬化性樹脂やプラスチック材質の更生管の粗度係数は、 $n=0.010$  と考える。また、既設 HP 管や陶管の粗度係数は、 $n=0.013$  と考える。

更生後の流下能力は、既設管の流下能力を下回らないことを原則とする。

$$\text{更生後の流下能力 } Q_0 \geq \text{既設管の流下能力 } Q$$

ここで、既設管の内径を  $D$ 、更生管の等価最小内径を  $D_0$  とすると、更生管の仕上り内径は、この等価内径以上を確保しなければならない。これ以上の更生管厚を必要とする工法は原則的に採用しない。

$$\begin{aligned} 1/0.010 \cdot (R_0)^{2/3} \cdot (I)^{1/2} &\geq 1/0.013 \cdot (R)^{2/3} \cdot (I)^{1/2} \\ 1.3 (R_0)^{2/3} &\geq (R)^{2/3} \\ 1.3 (D_0 / 4)^{2/3} &\geq (D / 4)^{2/3} \\ D_0 &\geq 0.9063 \times D \end{aligned}$$

**表 2-13. 水理上の更生管の等価最小管径と上限厚**

既設管		更生管		
管 径 D (mm)	粗度係数 n	粗度係数 n	等価内径 D <sub>0</sub> (mm)	厚 T (mm)
200	0.013	0.010	181.2	9.4
250			226.6	11.7
300			272.0	14.0
350			317.2	16.4
400			362.6	18.7
450			408.0	21.0
500			453.2	23.4
600			543.8	28.1
700			634.4	32.8

#### 4-5. 更生材の要求性能

更生材の要求性能は、「下水道用硬質塩化ビニル管(JSWAS K-1)」(1985年(社)日本下水道協会)、「下水道用強化プラスチック複合管(JSWAS K-2)」(2000年(社)日本下水道協会)および日本工業規格等に準じ、設計強度(耐荷重強度、曲げ強度、曲げ弾性係数、引張強度・引張弾性係数、圧縮強度・圧縮弾性係数)、耐久性(耐薬品性、耐摩耗性、耐ストレインコロージョン性、耐劣化性、水密性)、水理性能(粗度係数、成形後収縮性)、施工性および環境適用性とし、さらに、設計強度では、サポート向上係数が、耐久性では、耐高圧洗浄性が保証される材料とする。

現在採用されている更生工法の技術内容は工法ごとで異なる点が多く、工法自体も比較的歴史が浅く、施工後の実態把握、経年的な検証が十分行われていない。

このため、以下のような留意事項も踏まえ、更生後に新管と同等以上の耐荷能力・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等を表2-14のとおり整理する。

なお、以下に示す審査証明等とは、(財)下水道新技術推進機構の建設技術審査証明等、公的機関によるものとし、設計強度等を定める場合に基準とする試験値は公的機関で証明された数値以上であることを確認する。

- ① 更生工法の技術内容は工法ごとによって異なるため、工法の特性により、一部評価項目が異なる。
- ② 使用材料は、工場管理による品質確保が可能であるが、成形品は現場製作のため、施工時における品質確保も重要である。
- ③ 既設管の管種、状態等を前提に、更生を実施するため、施工性に関する評価項目も必要である。

表2-1-4. 管きよ更生工法の評価項目と試験方法等

項目		試験方法等		
1. 設計強度	1) 耐荷強度 (扁平強さ又は外圧強さ)	φ600mm以下 φ700mm以上	JSWAS K-1 による扁平試験 JSWAS K-2 による外圧試験 (2種に対応) 新管と同等以上	
	2) 曲げ強度	短期	JIS K7171 による曲げ強度試験	
		長期	ガラス繊維あり JIS K7039 による曲げ強度試験 ガラス繊維なし 短期値を安全率で除した値	
	3) 曲げ弾性係数	短期	JIS K7171 による曲げ弾性係数試験	構造 (管厚み) 計算で用いる設計値
		長期	ガラス繊維あり JIS K7035 による曲げ弾性試験 ガラス繊維なし JIS K7116 による曲げ弾性試験	
	4) 引張強度、引張弾性係数	短期	JIS K7161による引張強度等試験	耐震計算で用いる設計値
短期		JIS K7181による圧縮強度等試験		
5) 圧縮強度、圧縮弾性係数	二層構造管	サポート向上係数測定試験方法(案)またはそれぞれに準じた方法	更生管のサポート向上係数 K=7.0以上	
2. 耐久性	1) 耐薬品性	熱可塑性	JSWAS K-1 による試験 質量変化量が±0.2mg/cm <sup>2</sup> 以内	
	2) 耐摩耗性	熱硬化性	JSWAS K-2 による試験 質量変化率が±0.3%以内	
		JIS K7204、JIS A1452 等による試験	下水道用硬質塩化ビニル管(新管)と同等以上	
	3) 耐ストレイノクロロージョン性	JIS K7034による試験 (ガラス繊維ありのみが対象)	JSWAS K-2に基づいて求められる値を下回らない	
	4) 水密性	JSWAS K-2に準拠した試験(内外水圧に対する水密性)	0.1MPaの水圧で、漏水がない	
	5) 耐劣化性	JIS K7116を準用した1,000時間水中曲げクリープ試験を行う。 (ガラス繊維なしのみが対象)	50年後の曲げ強度の推定値の最小値が設計値 (= 申告値÷安全率) を上回ること。	
3. 水理性能	6) 耐高圧洗浄性	洗浄圧15MPaの高圧洗浄で更生管内を洗浄	更生管に損傷や剥離等の異常が発生しない	
	1) 粗度係数	流下能力試験		
4. 施工性	2) 成形後収縮性	成形後における軸方向及び内径方向の収縮性を確認		
	1) 適用許容範囲 [段差、ずれ、曲がり、継手隙間]	審査証明等の資料で確認		
	2) 管径・延長	審査証明等の資料で確認		
5. 環境適用性	3) 既設管種・管断面	審査証明等の資料で確認		
	1) 粉じん対策	大気汚染防止法等の関連法及び条例を遵守出来ることを確認		
	2) 臭気対策	悪臭防止法等の関連法及び条例を遵守出来ることを確認		
	3) 騒音・振動対策	騒音規制法及び振動規制等の関連法及び条例を遵守出来ることを確認		
	4) 防暴性	審査証明等の資料で確認		
	5) その他[温水対策等]	審査証明等の資料で確認		

(1)設計強度

①耐荷重強度

耐荷重強度は、表 2-15 に示す既設管きょ口径別に定めた試験方法に基づき、新管と同等以上の強度を確認する。

**表 2-15. 耐荷重強度試験方法**

φ 600 mm以下の既設管	φ 700 mm以上の既設管
JSWAS K-1 による扁平試験	JSWAS K-2 による外圧試験 (2種に対応)

なお、基準たわみ量は K-1 または、K-2 に定める数値とする。

②曲げ強度

更生材料の区分にしたがって、表 2-16 に示す試験結果に基づき、構造 (管厚み) 計算で用いる設計値を確認する。

**表 2-16. 曲げ強度試験方法**

	ガラス繊維有り	ガラス繊維無し
短期	JIS K 7171 による保証値	JIS K 7171 による保証値
長期	JIS K 7039 による設計保証値	短期値を安全率で除した値(設計保証値)

注1. 保証値とは、試験結果データに基づき提示される申告された保証下限値である。(以下、同じ)

2. 設計保証値とは、試験結果データに基づく構造 (厚み) 設計に使用できる申告された値である。(以下、同じ)

③曲げ弾性係数

更生材料の区分にしたがって、表 2-17 に示す試験結果に基づき、構造 (管厚み) 計算で用いる設計値を確認する。

**表 2-17. 曲げ弾性係数試験方法**

	ガラス繊維有り	ガラス繊維無し
短期	JIS K 7171 による保証値	JIS K 7171 による保証値
長期	JIS K 7035 による設計保証値	JIS K 7116 による設計保証値

④引張強度および引張弾性係数

JIS K 7161 による試験に基づき保証値を確認する。

⑤圧縮強度および圧縮弾性係数

JIS K 7181 による試験に基づき保証値を確認する。

⑥サポート向上係数測定試験 (二層構造管の場合)

サポート向上係数測定試験方法(案)またはそれに準じた方法により、更生管のサポート向上係数  $K=7.0$  以上であること。

①～⑤の試験データについては、審査証明等で証明されることを原則とする。

(2) 耐 久 性

①耐薬品性

更生材料の区分にしたがって、表 2-18 に示す試験結果に基づき、規格値を超えていないことを確認する。

表 2-18. 耐薬品性能試験方法

熱可塑性材料	熱硬化性材料
JSWAS K-1 による耐薬品性試験 (質量変化度が±0.2mg/cm <sup>2</sup> 以内)	JSWAS K-2 による耐薬品性試験 (質量変化率が±0.3%以内)

②耐摩耗性

JIS K 7204、または、JIS A 1452 による試験に基づき、硬質塩化ビニル管（新管）と同等以上の耐摩耗性を確認する。

③耐ストレインコロージョン性

ガラス繊維有りの工法のみが対象で、JIS K 7034 による試験結果に基づき、JSWAS K-2 に基づいて求められる値を下回らないことを確認する。

④水 密 性

JSWAS K-2 に準拠した試験に基づき、内・外水圧（0.1 MPa 以上）に対する水密性を有することを確認する。

⑤耐劣化性

ガラス繊維無しの工法のみが対象で、JIS K 7116 を準用した 1,000 時間水中曲げクリープ試験を行う。また、曲げ破壊が生じにくい材料を使用している工法は、JIS K 7115 を準用した 1,000 時間水中引張クリープ試験を行う。

この結果から得られる 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）を上回ること。JIS K 7115 による場合は、その試験結果を使用して 50 年後の引張強度の低下率を求め、それを曲げ強度の申告値に乗じた値が設計値（＝申告値÷安全率）を上回ること。

⑥耐高圧洗浄性

洗浄圧 15MPa の高圧洗浄で更生管に損傷や剥離等の異常が発生しないこと。

①～⑤の試験データについては、審査証明等で証明されることを原則とする。

(3) 水理性能

①粗度係数

更生管きよの粗度係数を測定し、この結果を評価する。これは、更生管きよ施

工で流下断面の縮小を伴うため、水理試験等による流下能力試験を行い、流下能力を確認する。

そこで、更生管における水理性能の確認では、水理実験等の流下能力試験から粗度係数を測定し、 $n = 0.010$  以下であることを確認する。

#### ②成形後収縮性

更生管きょ材料が成形後に体積収縮を伴う場合、軸方向および内径方向の収縮を検査し、流下能力低下、既設管との密着性に対して影響をおよぼさないことを確認する。

①～②の試験データについては、審査証明等で証明されることを原則とする。

### (4) 施 工 性

#### ①適用許容範囲

審査証明等の資料で確認する。確認対象としては、許容限度の状態に対する施工安定性を確認することとし、管きょの段差、ずれ、曲がり、継手すき間（何れも具体的な数値を申告）のある条件下で、施工厚みの確保やシワやよ（撚）り、削傷等の内面平滑性を妨げる状況がないことなどである。

#### ②管径・延長

審査証明等の資料により、施工時間（通常は8時間）内での着手から完了、または、仮復旧に至るまでの施工条件（既設管口径、延長、取付け管箇所数、土盛り、周辺環境等）を確認する。

#### ③既設管種・管断面

下水道管きょとして採用されている管材料（陶管、（鉄筋）コンクリート管、硬質塩化ビニル管、強化プラスチック複合管等）、および管断面形（円管、く（矩）形きょ、馬てい（蹄）形きょ等）に対する適応性を審査証明等の資料で確認する。

①～③の試験データについては、審査証明等で証明されることを原則とする。

### (5) 環境適用性

#### ①粉塵対策

材料搬入、注入、更生管材端処理、清掃等に際しては、粉じんを発生させないような対策を講じて作業にあたり、大気汚染防止法等の関連法、条例等を遵守されていることを確認する。

#### ②臭気対策

作業帯内にあつては労働安全衛生法に定める悪臭物質濃度限度の遵守、施工現場周辺敷地境界（通常は道路端）にあつては悪臭防止法および環境確保条例に準

ずる措置を図ること。

これは、熱硬化系樹脂を使用した工法では指定悪臭物質である溶媒等が材料に使用されているため、その施工時の臭気濃度、または、強度調査、施工後の残留臭への影響を排除するためである。

### ③騒音・振動対策

発電機、コンプレッサー、ボイラーなどの騒音、振動源となる機器が配置される場合においては、施工現場周辺の環境基準に適合すること。

### ④防爆性

作業帯内にあつては労働安全衛生法の遵守、施工現場周辺敷地境界にあつては環境条例等に準ずる措置を図ること。

特に、自立管工法で硬化系樹脂を使用した工法では引火・爆発性を有する溶媒等が材料に使用されているため、施工中に爆発等事故が発生しないことの技術的な裏付けを技術検討書等で明確にすること。

### ⑤その他

温水等の熱排出が行われる場合においては、排出水温を条例に定める40°の温度に冷却して所定の排出先に放流されることを明確にすること。

また、高圧洗浄水を使用する場合に取付け管を逆流して、各戸に対して影響が出ないように対策できることを確認する。

#### 4-6. 更生管口の適切な処置

更生管は、その材料特性として施工後の収縮の可能性があるため、より確実な止水性・耐薬品性を確保することと、更生管切断面の耐薬品性能低下対策のため管口の適切な処置が必要となる。

##### ①マンホール管口

本管を全線ライニングする場合、マンホール内に5～10cm程度更生管を出して施工し、エポキシ系樹脂によるパテ仕上げを行う。また、浸入水が多い場合にはより確実な止水を行うため、既設管と更生管の隙間に水膨張性シール等の併用を考慮する。

##### ②取付け管口

本管を全線ライニングする場合の取付け管口および取付け管ライニングを施工する場合は、原則として本管との接合部に部分ライニング(一体型)を併せて施工するものとする。

ただし、取付け管ライニングについては、工法により止水ゴムの設置やツバ付きの更生材の使用等、部分ライニングとは別の止水対策を標準とする工法もあるため、積算に際しては注意すること。

また、取付穴削孔穴切断面保護が施工標準パターンに無い工法については、取付穴削孔穴切断面へのコーティング剤の塗布、もしくは部分ライニング(本管・取付管口一体型)等の処置を実施するものとする。