Two-Way ライニング工法

設計マニュアル

下水道設計編

◆はじめに

下水道管きょは、年々老朽化が進み、特に内部の腐食、クラック、接合部からの浸入水等様々な問題が発生しております。これを解決するため、非開削で更生管を構築し、あわせて本管と取付け管の接合部に水密性を高めた修繕を実施する事により浸入水を防止することができる更生工法を開発いたしました。

本工法は、施工条件により、水圧を利用して反転させる方法、空気圧を利用して反転する方法、水圧で反転施工後、空気圧反転に切り替える方法の３通りがあり、既設管が急こう配であったり、落差のある条件においても施工が可能であります。反転後は既設管の大きさに拡径した更生材を温水にて硬化させます。また、安定した硬化を実現するためにサイクルホースの内部のヨレ防止を目的としたスイベルジョイントを使用いたします。
施工方法においては、更生材の管きょへの挿入方法に水圧、空気圧、両者併用の３通りを選択することにより、異なる道路条件や現場条件で施工することが可能であります。

本設計マニュアルにて、各下水道施設の特性を考慮しながら、効率的な改築を計画するために活用していただきたいと考えております。

◆本設計マニュアル準拠図書

「管きょ更生工法における設計・施工管理ガイドライン」
－　2017 年版　（社）日本下水道協会　－

「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　－

目　　次

はじめに …………………………………………………… 1

第１章．概要
　１．１　目的 ………………………………………… 5
　１．２　適用 ………………………………………… 5
　１．３　材料特性 …………………………………… 7
　１．４　用語 ………………………………………… 9
　１．５．手順 ………………………………………… 13

第２章．設計
　２．１　条件設定 …………………………………… 15
　２．２　自立管 ……………………………………… 17
　２．３　二層構造管Ⅰ ……………………………… 24
　２．４　二層構造管Ⅱ ……………………………… 29
　２．５　使用機材 …………………………………… 30
　２．６　作業ヤード ………………………………… 33

第３章．耐震設計
　３．１　基本方針 …………………………………… 35
　３．２　耐震計算フロー、マトリクス …………… 38
　３．３　管路施設の設計地震動 …………………… 40
　３．４　液状化の判定 ……………………………… 46
　３．５　管軸方向の強度検討 ……………………… 47
　３．６　人孔と管渠の接続部の検討 ……………… 50
　３．７　追従性の確認においての許容値 ………… 53

第４章．今後の課題 ………………………………… 55

第１章　概要

１．１　目的

本設計マニュアルは、老朽化した下水道管路施設の機能を適正に維持するため、管きょ更生工法により管路の状況に応じた修繕･改築を実施するための考え方と設計手順を示すことを目的とする。

管きょ更生工事の調査、設計、施工管理に携わる、全国の下水道事業関連の方々を対象としている。

１．２　適用

本工法の適用範囲については、原則として以下に示す通りである。ただし、現場条件により対応できる条件もあるため、詳細については本工法協会への確認が必要。

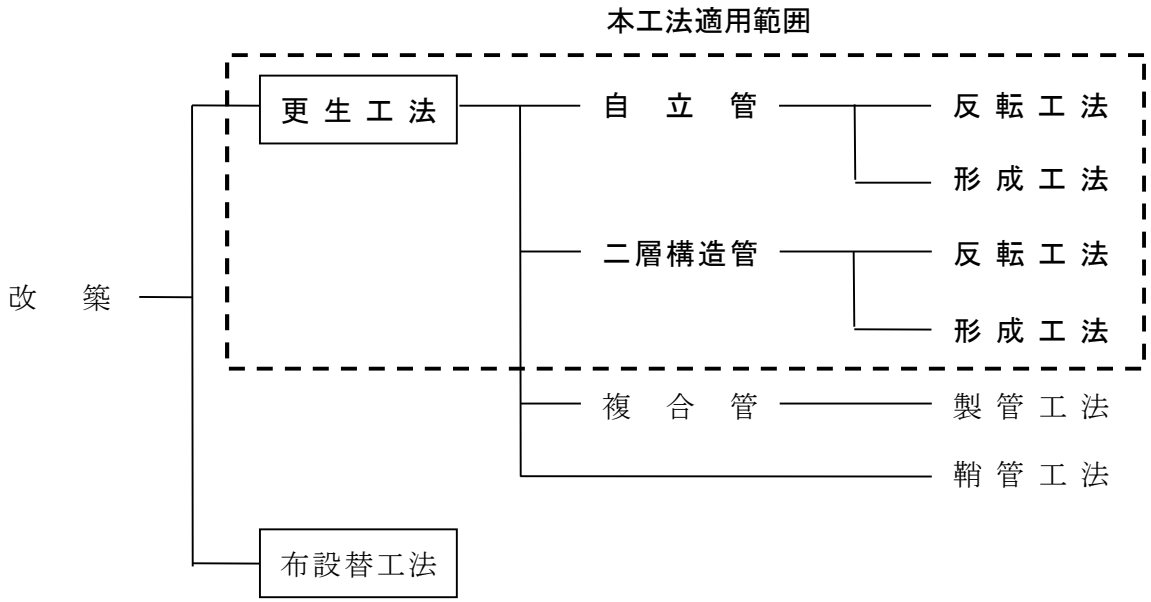


図 1-1　改築工法の分類

（１）適用管種

陶管、鉄筋コンクリート管、鋼管、ダクタイル鋳鉄管、硬質塩化ビニル管　等

（２）適用管径

本　管：◎７５～２６００㎜（２００～８００㎜）

取付管：◎７５～　２００㎜（１５０～２００㎜）

（３）適用施工延長

本　管：３００ｍ（９０ｍ）

取付管：　２０ｍ（１２ｍ）

（４）本管施工条件

① 段差 30 ㎜以下の継手部

② 隙間 100 ㎜以下の継手部

③ 屈曲角 10° 以下の継手部

④ 70 ㎜以下の部分的滞水

⑤ 水圧 0.03 MPa，流量 0.5 ℓ/min 以下の浸入水

⑥ 勾配落差 5 m 以下

⑦ 内圧 1.0 MPa

（５）取付管施工条件

① 段差 20 ㎜以下の継手部

② 屈曲角 10 ° 以下の継手部

③ 隙間 75 ㎜以下の継手部

④ 60 度以下の曲管

⑤ 水圧 0.03 MPa，流量 0.5 ℓ/min 以下の浸入水

⑥ 本管と取付け管との接合部の隙間 20 ㎜以下

（６）自然条件

特になし。

（７）現場条件

供用されている個所については、止水プラグ、排水ポンプなどで水替えを行うため、水替え可能な流量であること。また、車両駐車、作業スペースが確保できること。

※（）内は日本下水道新技術機構で認証された項目

１．３　材料特性

本工法の材料特性については、以下に示す通りである。本数値については、公的機関の試験結果にて確認している。材料は、スタンダード材（以下、ＴＷＳ）、グラスファイバー材入り（以下、ＴＷＧＩ）がある。

（１）強度特性

１）耐荷強度（偏平強さ）

①　φ600 ㎜以下

「下水道硬質塩化ビニル管（JSWAS K-1）」と同等以上の偏平強さ

②　φ700 ㎜以上

「下水道用強化プラスチック複合管（JSWAS K-2）2 種管」と同等以上の外圧強さ

２）曲げ強度

項　　目	ＴＷＳ	ＴＷＧＩ
①曲げ強度の短期試験値	50 N/㎟	150 N/㎟
②曲げ強度の長期試験値	10 N/㎟	45 N/㎟

３）曲げ弾性係数

項　　目	ＴＷＳ	ＴＷＧＩ
①曲げ弾性係数の短期試験値	3,000 N/㎟	8,000 N/㎟
②曲げ弾性係数の長期試験値	2,000 N/㎟	3,750 N/㎟

４）耐震性能に関わる強度特性

項　　目	ＴＷＳ	ＴＷＧＩ
①引　張　強　度の短期試験値	25 N/㎟	90 N/㎟
②引張弾性係数の短期試験値	3,000 N/㎟	9,000 N/㎟
③圧　縮　強　度の短期試験値	90 N/㎟	150 N/㎟
④圧縮弾性係数の短期試験値	2,500 N/㎟	7,500 N/㎟

（２）耐薬品性

更生管は，「下水道用強化プラスチック複合管（JSWAS K-2）」 と同等以上の耐薬品性を有する。

（３）耐摩耗性

更生管は，「下水道用硬質塩化ビニル管（JSWAS K-1）」 と同等以上の耐摩耗性を有する。

（４）耐ストレインコロージョン性

ＴＷＧＩの更生管は，耐ストレインコロージョン性を有する。

（５）水密性

ＴＷＳとＴＷＧＩの更生後の本管および取付管との接合部は，以下の条件における内･外水圧に耐える水密性を有する。

①本管：0.10 MPa

②取付管との接合部：0.03 MPa

（６）耐劣化性

ＴＷＳの更生管は，50 年後の曲げ強度の推計値の最小値が設計値を上回ること。

（７）既設管への追従性

ＴＷＳとＴＷＧＩの更生管は，地盤変動の伴う既設管変位への追従性を有すること。

１．４　用語

図 1－1 改築工法の分類に示した通り、本工法は、改築のうち更生工法の自立管、二層構造管に分類され、施工方法は反転工法、形成工法に分類される。

本設計マニュアルにて用いる用語は、以下に定義する。

（１）**「改築」**

排水区域の拡張等に起因しない「対象施設」の全部または一部（修繕に該当のものを除く）の再建設あるいは取り替えを行うこと。

１）**「更新」**

改築のうち、「標準的耐用年数」に達した「対象施設」の再建設あるいは取り替えを行うこと。

２）**「改良」**

改築のうち、「標準的耐用年数」に達していない「対象施設」の再建設あるいは取り替えを行うこと。

（２）**「修繕」**

「対象施設」の一部の取り替え等を行うこと。

（３）**「対象施設」**

一体として取り替える場合、他の施設や設備に影響を及ぼさない一個又は一連の設備の集合で小分類以上の単位をいう。

（４）**「標準的耐用年数」**

適正な維持管理が行われてきたことを前提として、対象施設ごとに定められた標準的な耐用年数のこと（改築通知）をいう。

（５）**「耐用年数」**

施設または設備の使用が不可能かまたは不適当となり、対象施設の全部または一部を再建設あるいは、取り替えるまでに要した期間をいい、下記の３種類の耐用年数がある。

①物理的耐用年数、②経済的耐用年数、③機能的耐用年数

（６）**「ライフサイクルコスト」**

施設における新規整備・維持修繕・改築・処分を含めた生涯費用の総計。

（７）「自立管」

更生材単独で自立できるだけの強度を発揮させ、新管と同等以上の耐荷能力、耐久性を有するものである。施工方法上の分類として、工場又は現場にて樹脂等を配合し、既設管渠内部に硬化させる反転工法、形成工法等がある。

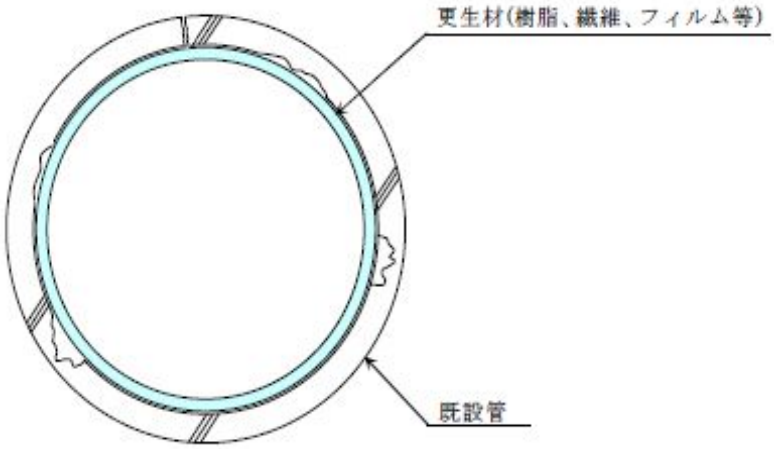


図 1-2　自立管概念

（８）「二層構造管」

残存強度を有する既設管渠と、その内側の樹脂で二層構造を構築するものであり、施工方法の分類として、工場又は現場にて樹脂等を配合し、既設管渠内部に硬化させる反転工法、形成工法等がある。

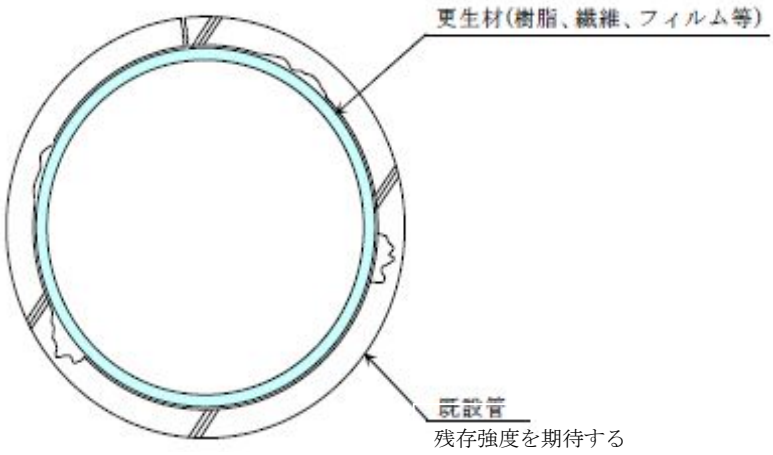


図 1-3　二層構造管概念

（９）「反転工法」

反転工法は、熱または光等で硬化する樹脂を含浸させた材料を既設人孔から管渠内に反転加圧させながら挿入し、既設管渠内で加圧状態のまま樹脂が硬化することで管を構築するものである。反転挿入時には、水圧、空気圧によるものがあり、硬化方法も温水、蒸気、温水と蒸気の併用、光等がある。

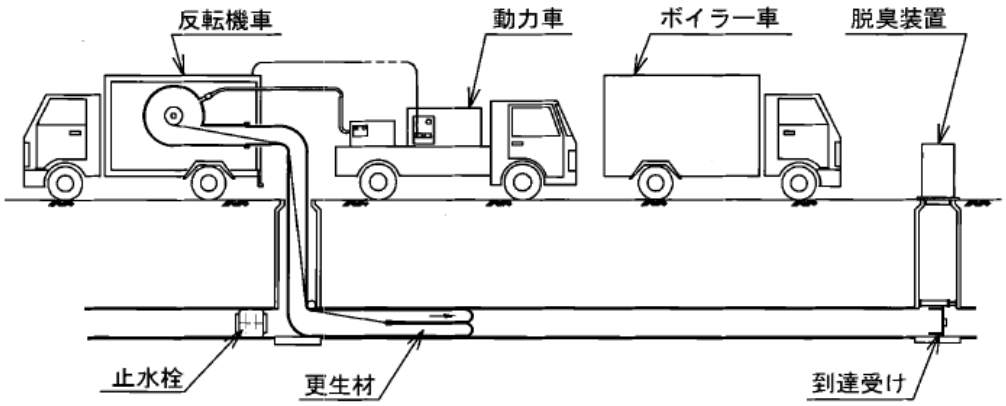


図 1-4　反転工法概念

（１０）「形成工法」

形成工法は、熱硬化性樹脂を含浸させたライナーや熱可塑性樹脂ライナーを既設人孔から管渠内に引き込み、水圧または空気圧等で拡張・圧着させたあとに硬化させることで、管を構築するものである。形成工法は、更生材を管内径まで加圧拡張させたまま温水、蒸気、光等で既設管渠内に圧着硬化、加圧拡張したまま冷却固化する工法である。

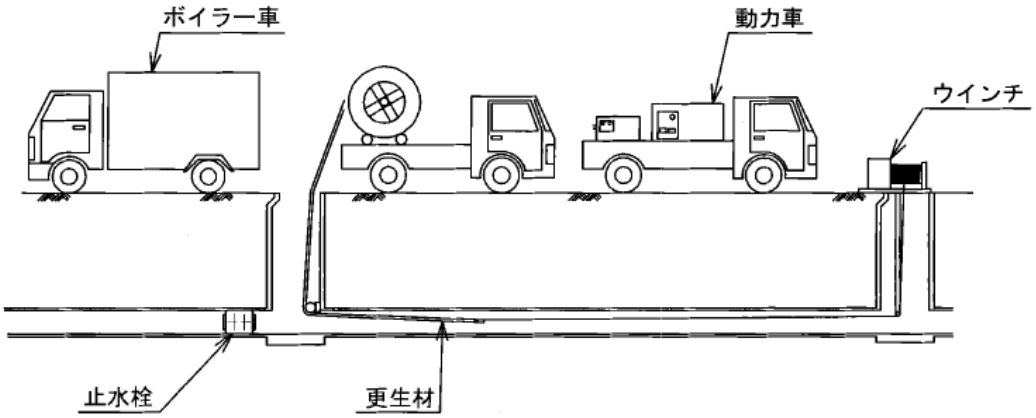


図 1-5　形成工法概念

（１１）「含浸」

多孔質に液状化物質を染み込ませること。更生材の場合、硬化性樹脂を含浸用基材（ガラス繊維、有機質繊維）に染み込ませる工程をいう。

（１２）「熱硬化性樹脂」

加熱すると網状構造となって不溶不融の状態に硬化する合成樹脂をいう。なお、含浸用基材にはガラス繊維と有機質繊維がある。

（１３）「設計更生管厚」

定められた計算式に材料強度等を代入して求められた、更生管の計算上必要な厚さを表す呼称。

（１４）「呼び厚さ」

設計更生管厚を下回ることがないように決められた仕上がり厚さをいう。

１．５　手順

本設計マニュアルを使用するにあたり、管渠更生の設計、積算、その他注意事項についてフローを図 1－6 に示す。

調査・評価

TV カメラ調査、目視調査にて既設管の損傷が認められ、その評価が「改築」が必要であると評価された場合、以下本マニュアルを用いて設計を行う。

▽

条件整理

「自立管」「二層構造管」の構造形式、既設管条件が施工可能かを確認した後、下記の現場条件を測定、または確認を行う。

- 既設管種
- 既設管径
- 活荷重
- 土被り
- 土の単位体積重量等

▽

管厚計算

上記条件を整理し、構造形式別に管厚計算を行う。

▽

耐震計算

設計条件に耐震計算が盛り込まれている場合、さらに現場条件を整理し、耐震計算を行う。

▽

設計図作成

管径、管厚、幅員などに応じ、下記を作成する

- 平面図
- 縦断図
- 横断図
- 断面図
- 更生材発進・到達人孔（立坑）ヤード図

▽

数量計算

上記設計図、本設計マニュアルより、工事に必要な数量、工程を算出する。

▽

設計書作成

発注用工事設計書を作成する。

図 1-6　フロー

第２章　設計

２．１　条件設定

老朽化した下水道管路施設の機能を適正に維持するため、管きょ更生工法により管路の状況に応じた修繕・改築を実施するための条件設定方法を示す。

（１）要求性能

改築の目的は、既設管の状態に応じて要求性能が異なる。Two-Way ライニング工法は、「自立管」「二層構造管」が対象となる。

よって、発注者の要求している構造形式、既設管条件を確認する。なお、一般的に要求性能は下記を参考にするとよい。

・「自立管」

更生管単独で新設管と同等以上の性能に回復させる。

「管きょ更生工法における設計・施工管理ガイドライン（案）」P43 参照

・「二層構造管」

既設管＋更生管で新設管と同等以上の性能に回復させる。

「管きょ更生工法（二層構造管）技術資料」P11 参照

（２）現場条件

現場条件については、「１．２　適用」の条件を原則とするが、さまざまな要因が考えられるため、協会にお問い合わせください。

（３）構造計算フロー

「自立管」「二層構造管」別の参考構造計算フローを次ページに示す。管厚計算方法は、後述の「２．２　自立管」、「２．３　二層構造管」で必要諸元、計算方法を記載する。

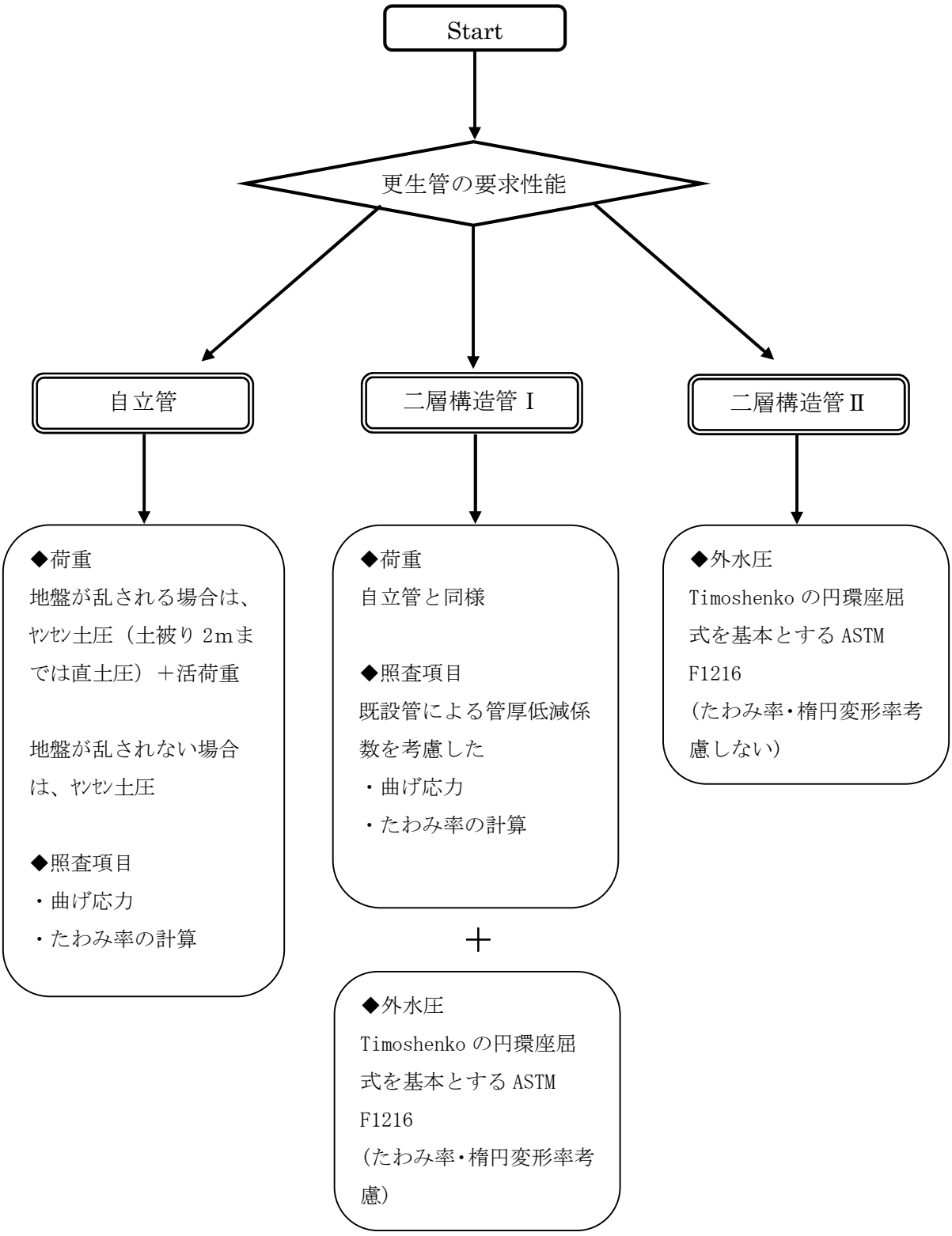

Start
更生管の要求性能
自立管
二層構造管Ⅰ
二層構造管Ⅱ
◆荷重
地盤が乱される場合は、ﾔﾝｾﾝ土圧（土被り 2mまでは直土圧）＋活荷重
地盤が乱されない場合は、ﾔﾝｾﾝ土圧
◆照査項目
・曲げ応力
・たわみ率の計算
◆荷重
自立管と同様
◆照査項目
既設管による管厚低減係数を考慮した
・曲げ応力
・たわみ率の計算
＋
◆外水圧
Timoshenko の円環座屈式を基本とする ASTM F1216
（たわみ率・楕円変形率考慮）
◆外水圧
Timoshenko の円環座屈式を基本とする ASTM F1216
（たわみ率・楕円変形率考慮しない）

図 2-1　構造計算フロー

２．２　自立管

自立管は、内空が適正に確保された既設管きょの内側に継手のない新たな管を形成する工法である。さまざまな荷重に対して必要な安全を確保するため、既設管の状況、更生管の要求性能、工法の特性等を考慮する。

（１）土による鉛直土圧

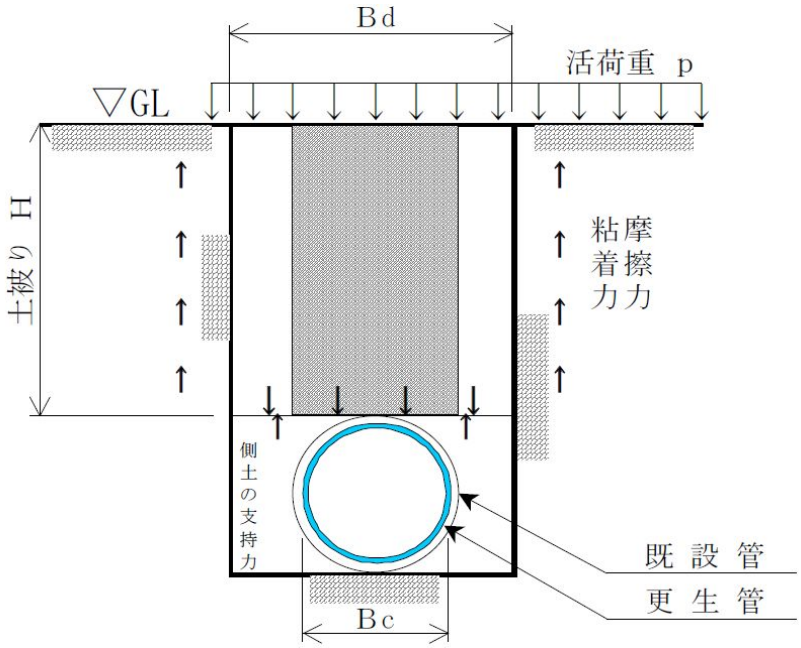
自立管の管厚の算定は、荷重として土による鉛直土圧と活荷重による鉛直土圧を考慮し、曲げ応力とたわみ率により設計を行う。土による鉛直土圧の算定は、「管きょ更生工法における設計・施工管理ガイドライン」－2017 年版　（社）日本下水道協会－に準じて計算を行うことを基本とする。水圧は浮力として安全側に作用するため、地下水位は考慮しない。

既設管きょ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）を用いることも考慮する。

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）

なお、埋戻し土の粘着力（ｆ）は、通常は 0.0kN/㎜^{2} とする。

①土による鉛直等分布荷重（ヤンセン公式により）



※更生管管厚計算時の土被りは、既設管土被り(H)+管厚(t)

図 2-2　ヤンセン土圧

鉛直等分布荷重は、次の通りになる。

$$q = \left(\frac{\gamma \cdot Bd}{2} - C\right) \cdot \left(\frac{1 - e^{-2 \cdot K \cdot \mu \cdot H/Bd}}{K \cdot \mu}\right)$$

ここに、

q　：土による鉛直等分布荷重（kN/m²）

K　：土の主働土圧係数

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

μ　：土と側壁との摩擦係数

$$\mu = \tan\phi$$

Bd　：仮想掘削溝幅（m）

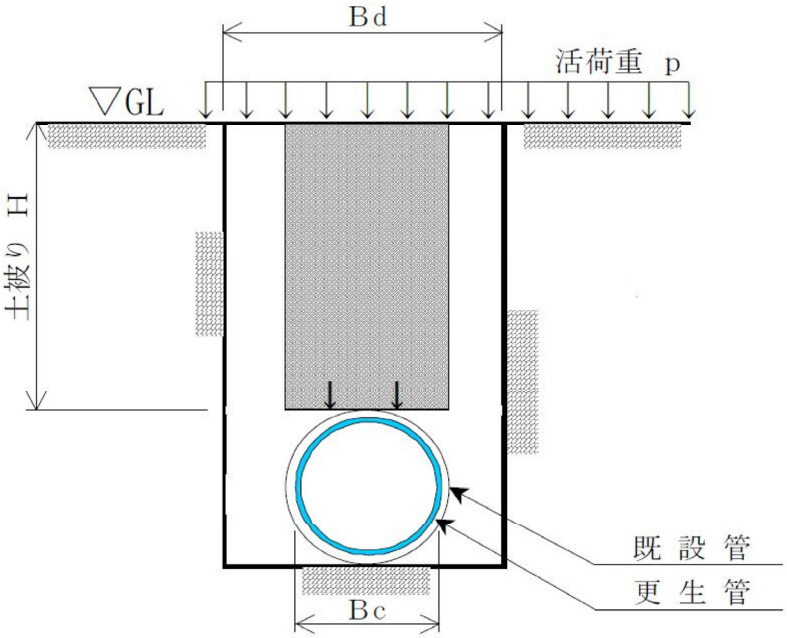
γ　：土の単位体積重量（kN/m³）

ϕ　：土の内部摩擦角(°)

C　：土の粘着力(kN/m²)

H　：既設管の土被り(m)

②土による鉛直等分布荷重（直土圧式により）



※更生管管厚計算時の土被りは、既設管土被り(H)+管厚(t)

図 2-3　直土圧

鉛直等分布荷重は、次の通りになる。ただし、土被りは最大 2.0(m) とする。

$$q = \gamma \cdot H$$

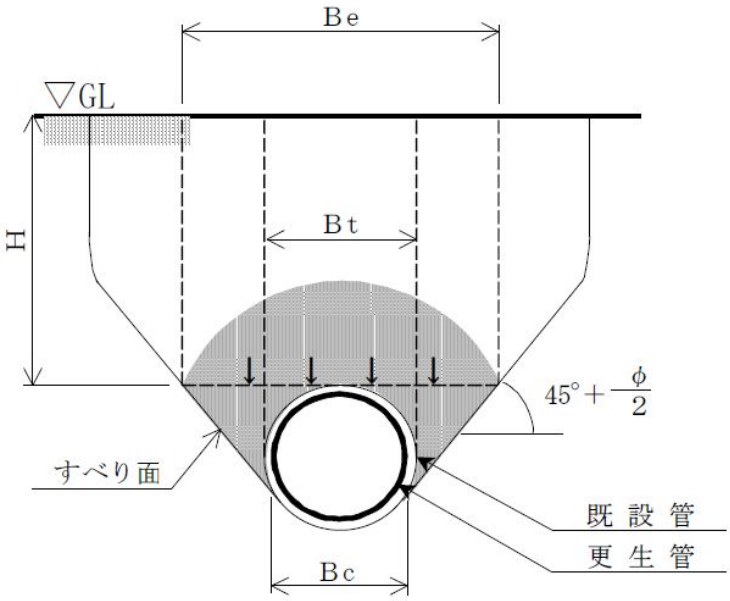
ここに、

q ： 土による鉛直等分布荷重 (kN/m^2)

γ ： 土の単位体積重量(kN/m^3)

H ： 既設管の土被り(m)

③**テルツァギー公式**による鉛直等分布荷重



※更生管管厚計算時の土被りは、既設管土被り(H)+管厚(t)

図 2-4　テルツァギー公式による土圧（参考）

$$w = \left(\gamma - \frac{2 \cdot C}{Be}\right) \cdot Ce$$

$$Ce = \frac{1}{\left(\frac{2 \cdot K \cdot \mu}{Be}\right)} \cdot \left\{1 - e^{-(2 \cdot K \cdot \mu / Be) \cdot H}\right\}$$

ここに、

- w　：土による鉛直等分布荷重(kN/m^2)
- Ce　：テルツァギーの土荷重の係数(m)
- Be　：土の緩み幅(m)
- Bt　：トンネル内径(m)
- γ　：土の単位体積重量（kN/m^3）
- C　：土の粘着力(kN/m^2)
- K　：テルツァギーの側方土圧係数
  （沈下する幅の中央上部で K=1 としている。）
- μ　：土の摩擦係数（=tanϕ）
- ϕ　：土の内部摩擦角(°)
- H　：土被り（m）
- Bc　：管外径（m）

（2）活荷重

活荷重による鉛直土圧の算定は、「管きょ更生工法における設計・施工管理ガイドライン」－2017 年版　（社）日本下水道協会－に準じて、「道路橋示方書・同解説」（平成 14 年 3 月(社)日本道路協会）に定められた後輪荷重を用いる。一般には前輪荷重の影響は無視するものとし、衝撃係数は土被りによって変化するもので、縦断方向には接地幅 0.2m で 45 度に分布するものとする。

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

ここに、

p ： 活荷重による鉛直等分布荷重(kN/m²)
H ： 既設管の土被り H(m)
P ： １後輪荷重 P(kN)
a ： 車輪接地長さ a(m)
C ： 車体占有幅 C(m)
θ ： 分布角度 θ(°)
i ： 衝撃係数

	H ≦ 1.5	1.5 ＜ H ＜ 6.5	H ≧ 6.5
i	0.5	0.65 － 0.1×H	0

β ： 断面力の低減係数

	H ≦ 1.0 かつ管内径 D≧4.0	左記以外
β	1.0	0.9

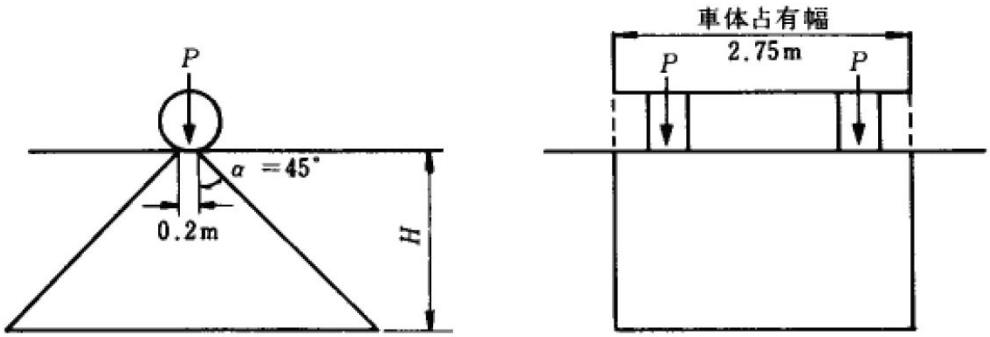


図 2-5　荷重図

（３）強度計算

材料の強度計算は、「管きょ更生工法における設計・施工管理ガイドライン」－2017年版　（社）日本下水道協会－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（例）

$$t_1 = \frac{D}{1 + \sqrt{\dfrac{2\sigma}{3\cdot(k_1\cdot q + k_2\cdot p)}}}$$

$$t_2 = \frac{D}{1 + \sqrt{\dfrac{2\sigma}{3\cdot(k_1\cdot q + k_2\cdot p)}}}$$

ここに、

t_1 ： 曲げ強度による管頂の更生管厚（mm）

t_2 ： 曲げ強度による管底の更生管厚（mm）

q ： 土による鉛直等分布荷重 q(kN/m^2)

p ： 活荷重による鉛直等分布荷重 p(kN/m^2)

k_1 ： 土による曲げモーメント係数（管頂）　k_1＝0.107

k_2 ： 活荷重による曲げモーメント係数（管頂）　k_2＝0.079

k_1 ： 土による曲げモーメント係数（管底）　k_1＝0.121

k_2 ： 活荷重による曲げモーメント係数（管底）　k_2＝0.011

D ： 更生管の外径（mm）

σ ： 曲げ強度(N/mm^2)

$\sigma = \sigma_S / F_S = 50.0 / 5.0 = 10.0$(N/mm^2)・・・ＴＷＳ

$\sigma = \sigma_L / F_S = 45.0 / 1.5 = 30.0$(N/mm^2)・・・ＴＷＧＩ

σ_S ： 短期曲げ強度　$\sigma_S = 50.0$(N/mm^2)

σ_S ： 長期曲げ強度　$\sigma_L = 45.0$(N/mm^2)

F_S ： 短期曲げ強度の安全率 $F_S = 5.0$・・・ＴＷＳ

1.5・・・ＴＷＧＩ

②たわみ率（例）

$$t = \frac{D}{1 + \sqrt[3]{\dfrac{EV}{75 \cdot (K_1 \cdot q + K_2 \cdot p)}}}$$

ここに、

t ： たわみ率による更生管厚（mm）

q ： 土による鉛直等分布荷重（kN/m^2）

p ： 活荷重による鉛直等分布荷重（kN/m^2）

K_1 ： 土による鉛直方向のたわみ係数 K_1＝0.070

K_2 ： 活荷重による鉛直方向のたわみ係数 K_2＝0.030

D ： 更生管の外径（mm）

V ： たわみ率 V = 5(%)

E ： 曲げ弾性係数（設計値）（N/mm^2）

$E = E_L / F = 2000 / 1.6 = 1250 (N/mm^2)$ ・・・ＴＷＳ

$E = E_L / F = 3750 / 1.5 = 2500 (N/mm^2)$ ・・・ＴＷＧＩ

E_L ： 長期曲げ弾性係数 E_L = 2000(N/mm^2) ・・・ＴＷＳ

3750(N/mm^2) ・・・ＴＷＧＩ

F ： 長期曲げ弾性係数の安全率 F = 1.6 ・・・ＴＷＳ

1.5 ・・・ＴＷＧＩ

２．３　二層構造管Ⅰ

二層構造管は、更生管が既設管に内接して、既設管と更生管がともに外力を負担する構造のもので、反転工法および形成工法で改築された管きょである。さまざまな荷重、外水圧に対して必要な安全を確保するため、既設管の状況を考慮する。

（１）荷重条件

二層構造管Ⅰの管厚の算定は、既設管と更生管で外力を分担して負担するため、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い、外水圧に対し変形率、楕円変形率を考慮する。

土による鉛直土圧の算定は、「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－に準じて計算することを基本とする。

既設管きょ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）を用いることも考慮する。

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）

なお、埋戻し土の粘着力（ｆ）は、通常は 0.0kN/mm^2 とする。

①土による鉛直等分布荷重（ヤンセン公式により）

鉛直等分布荷重は、次の通りになる。

$$q = \left(\frac{\gamma \cdot Bd}{2} - C\right) \cdot \left(\frac{1 - e^{-2 \cdot K \cdot \mu \cdot H/Bd}}{K \cdot \mu}\right)$$

ここに、

q ： 土による鉛直等分布荷重（kN/m^2）

K ： 土の主働土圧係数

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

μ ： 土と側壁との摩擦係数

$$\mu = \tan\phi$$

Bd ： 仮想掘削溝幅（m）

γ ： 土の単位体積重量（kN/m^3）

ϕ ： 土の内部摩擦角（°）

C ： 土の粘着力（kN/m^2）

H ： 既設管の土被り（m）

②土による鉛直等分布荷重（直土圧式により）

鉛直等分布荷重は、次の通りになる。ただし、土被りは最大 2.0（m）とする。

$$q = \gamma \cdot H$$

ここに、

q ： 土による鉛直等分布荷重（kN/m^2）

γ ： 土の単位体積重量（kN/m^3）

H ： 既設管の土被り（m）

③テルツァギー公式による鉛直等分布荷重

$$w = \left(\gamma - \frac{2 \cdot C}{Be}\right) \cdot Ce$$

$$Ce = \frac{1}{\left(\frac{2 \cdot K \cdot \mu}{Be}\right)} \cdot \left\{1 - e^{-(2 \cdot K \cdot \mu / Be) \cdot H}\right\}$$

ここに、

- w ： 土による鉛直等分布荷重(kN/m^2)
- Ce ： テルツァギーの土荷重の係数(m)
- Be ： 土の緩み幅(m)
- Bt ： トンネル内径(m)
- γ ： 土の単位体積重量 (kN/m^3)
- C ： 土の粘着力(kN/m^2)
- K ： テルツァギーの側方土圧係数
  （沈下する幅の中央上部で K=1 としている。）
- μ ： 土の摩擦係数 (=tanϕ)
- ϕ ： 土の内部摩擦角(°)
- H ： 土被り (m)
- Bc ： 管外径 (m)

（２）活荷重

活荷重による鉛直土圧の算定は、「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－に準じて、「道路橋示方書・同解説」（平成 14 年 3 月(社)日本道路協会）に定められた後輪荷重を用いる。

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

ここに、

- p ： 活荷重による鉛直等分布荷重(kN/m^2)
- H ： 既設管の土被り H(m)
- P ： １後輪荷重 P(kN)
- a ： 車輪接地長さ a(m)
- C ： 車体占有幅 C(m)
- θ ： 分布角度 θ(°)
- i ： 衝撃係数

（３）強度計算

材料の強度計算は、「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－に準じて、曲げ強度とたわみ率、外水圧について行い、最大厚みを採用する。

①曲げ強度

$$t1 = \frac{D}{1 + \sqrt{\dfrac{2\sigma}{3 \cdot \alpha 1 \cdot (k1 \cdot q + k2 \cdot p)}}}$$

$$t2 = \frac{D}{1 + \sqrt{\dfrac{2\sigma}{3 \cdot \alpha 1 \cdot (k1 \cdot q + k2 \cdot p)}}}$$

ここに、

α1： 既設管による管厚低減係数（例 0.4）

②たわみ率

$$t = \frac{D}{1 + \sqrt[3]{\dfrac{EV}{75 \cdot \alpha 2 \cdot (K1 \cdot q + K2 \cdot p)}}}$$

ここに、

α2： 既設管による管厚低減係数（例 0.2）

③外水圧に対する管厚

外水圧による更生管厚はチモシェンコの薄肉円筒の座屈公式から導き出された以下の式より求める。

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

$P = hw \cdot \gamma w$ ・・・円筒の外側直角荷重（=外水圧）(kN/m^2)

$C = \left\{\frac{(1 - f)}{(1 + f)^2}\right\}^3$ ・・・偏平係数

ここに、

t ： 更生材の厚さ(mm)

E ： 更生材の長期曲げ弾性率 E = 2000(N/mm^2) ・・・ＴＷＳ

3750 ・・・ＴＷＧＩ

K ： 支持向上率 K = 7

ν ： ポアソン比 ν = 0.3

D ： 更生管の外径(mm)

N ： 安全率 N = 2.0

hw ： 水頭差(m)

γw ： 水の単位体積重量(kN/m^3)

f ： 偏平率 f = 5(%)

２．４　二層構造管Ⅱ

二層構造管は、更生管が既設管に内接して、既設管と更生管がともに外力を負担する構造のもので、反転工法および形成工法で改築された管きょである。さまざまな荷重、外水圧に対して必要な安全を確保するため、既設管の状況を考慮する。

（１）荷重条件

二層構造管Ⅱの管厚の算定は、更生管で外水圧を負担するため、外水圧に対し変形率、楕円変形率を考慮せず計算する。

（２）強度計算

材料の強度計算は、「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－に準じて、外水圧について行い厚みを採用する。

◆外水圧に対する管厚

外水圧による更生管厚はチモシェンコの薄肉円筒の座屈公式から導き出された以下の式より求める。

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

$P = hw \cdot \gamma w$ ・・・円筒の外側直角荷重（=外水圧）（kN/m^2）

$C = \left\{\dfrac{(1 - f)}{(1 + f)^2}\right\}^3$ ・・・偏平係数

ここに、

t ： 更生材の厚さ(mm)

E ： 更生材の長期曲げ弾性率 E = 2000(N/mm2) ・・・ＴＷＳ

3750 ・・・ＴＷＧＩ

K ： 支持向上率 K = 7

ν ： ポアソン比 ν = 0.3

D ： 更生管の外径(mm)

N ： 安全率 N = 2.0

hw ： 水頭差(m)

γw ： 水の単位体積重量(kN/m^3)

f ： 偏平率 f = 0(%)

２．５　使用機材

工事に使用する主要機材、使用目的を表 2-6 に示す。

表 2-6　主要機械器具と使用目的

名　　称	使　用　目　的
ボイラー搭載車	更生材硬化作業に用いるボイラー，ポンプ，温水槽その他必要機材を搭載した車両。
高圧洗浄車	管きょ内の洗浄作業に用いる。
給　　水　　車	更生材の硬化作業に用いる温水を供給するタンクを装備した車両。

ＴＶカメラ車	施工前後の管きょ内の状況を調査するとともに，施工の状況を確認するためのTVカメラを装備した車両。
管内作業用ロボット	取付け管の施工に使用する。 制御用油圧ユニットが内蔵されている。
穿孔ロボット	取付け管，本管施工後に取付け管口を穿孔するために使用する。 またモルタルの付着，取付け管の突出し等の事前処理にも使用される。（管内作業用ロボットのアタッチメント取り替え）
反転機	ライナー材を空気圧により反転する機材。 工場でライナー材，更生材を格納して出荷される。

サイクルホース スイベルジョイント	サイクルホース：温水を噴射させるホース。 スイベルジョイント：サイクルホースのヨレを解消する機材。

２．６　作業ヤード

工事に必要な作業帯概要図について、図 2-7 に示す。

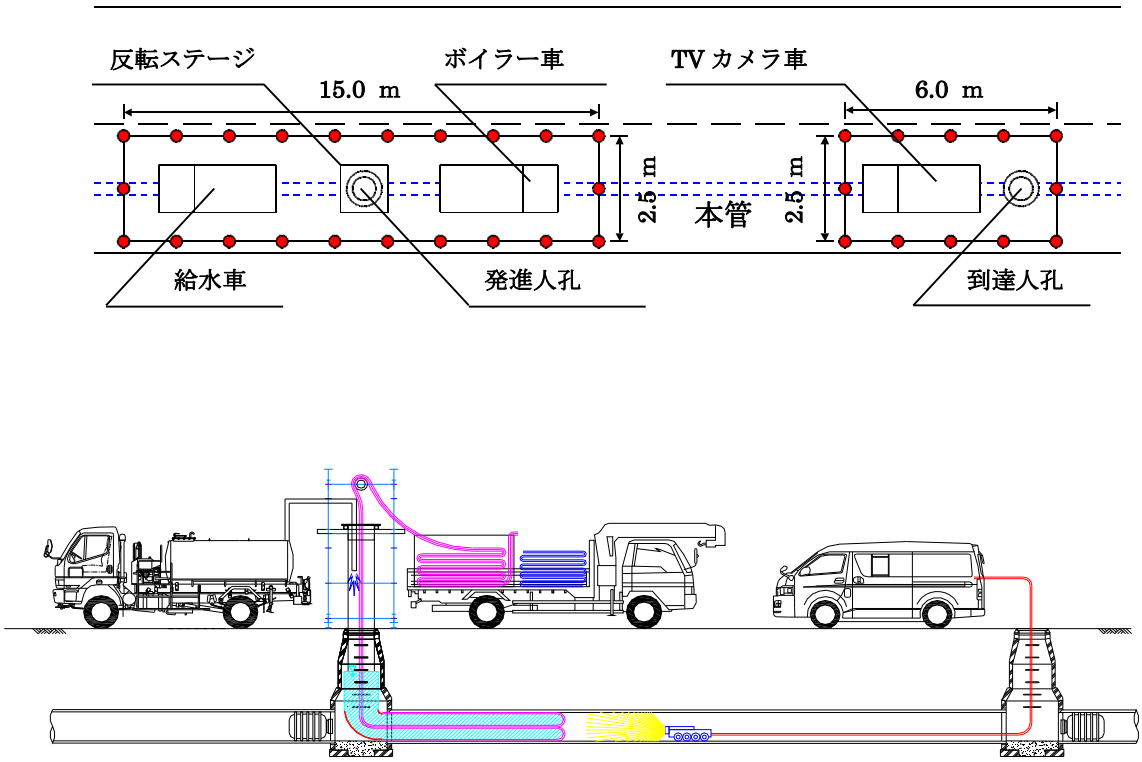


図 2-7　必要作業帯概要図

なお、φ600 以上を更生する場合、上部人孔蓋を撤去し行うなどの対策が必要となる。そのときの必要立坑等については、協会までお問い合わせください。

第３章　耐震設計

３．１　基本方針

下水道施設の耐震設計に当たっては、地域特性、地盤特性及び施設の特性や規模並びに類似施設の被害事例を考慮し、個々の下水道施設及び下水道システム全体として必要な耐震性を有するように配慮しなければならない。

(1) 地震動レベルの区分

表 3-1 耐震設計上の設計地震動（土木構造物）

想定地震動区分	想定地震動区分別の地震動の内容
レベル 1 地震動	施設の供用区間内に 1～2 度発生する確立を有する地震動
レベル 2 地震動	施設の供用区間内に発生する確率は低いが大きな強度を有する地震動

出典：「下水道施設の耐震対策指針と解説－2014 年版－（社）日本下水道協会」参照

(2) 施設の重要度

下水道管路施設においては、その重要度に応じて「重要な幹線等」と「その他の管路」に区分するものとする。また、処理場・ポンプ場施設については全ての施設を重要な施設とする。　下水道管路をその重要性に応じて、「重要な幹線等」と「その他の管路」に区分するものとする。

「重要な幹線等」とは、以下に挙げるものをいう。

ａ．原則として流域幹線の管路
ｂ．ポンプ場・処理場に直結する幹線管路
ｃ．河川・軌道等を横断する管路で地震被害によって二次災害を誘発する恐れのあるもの、及び復旧が極めて困難と予想される幹線管路等
ｄ．被災時に重要な交通機能への障害を及ぼすおそれのある緊急輸送路等に埋設されている管路
ｅ．相当広範囲の排水区を受け持つ吐き口に直結する幹線管路
ｆ．防災拠点や避難所、又は地域防災対策上必要と定めた施設等からの排水をうける管路
ｇ．その他、下水を流下収集させる機能面から見てシステムとして重要な管路

(3) 保持すべき耐震性能

「設計流下能力の確保」とは、地震動によって本管部のクラックや沈下等の被害が生じても、補修や布設替えの対策を講じるまでの間は、管路として上流から下流へ流せる状態をいい、具体的には、土砂の浸入を防ぐとともに、管渠断面等がひび割れを起こしているが破壊しない状態を指す。下水道の耐震対策において、下水道施設に求められる性能は、設計地震動のレベルと下水道施設の重要度に応じて、以下のように設定する。

①重要な幹線等→レベル 1 地震動に対して設計流下能力を確保すると共に、レベル 2 地震動に対して流下機能を確保する。

②その他の管路→レベル 1 地振動に対して設計流下能力を確保する。

表 3-2　新設する管路施設の耐震性能

<table>
<tr><th colspan="2">耐震性能Ⅰ</th><th colspan="2">耐震性能Ⅱ</th></tr>
<tr><th colspan="2">レベル１地震動</th><th colspan="2">レベル２地震動</th></tr>
<tr><td rowspan="2">重要な幹線
及び
その他の路線</td><td rowspan="2">設計流下能力を
確保できる性能</td><td>重要な幹線等</td><td>流下機能を確保できる性能</td></tr>
<tr><td>軌道や緊急輸送路
等下の埋設管路</td><td>流下機能を確保できる機能
交通機能を阻害しない性能</td></tr>
</table>

出典：「下水道施設の耐震対策指針と解説－2014 年版－（社）日本下水道協会」参照

(4) 準拠図書

準拠図書については以下とする。

『下水道施設の耐震対策指針と解説～2014 年度版～』

公益社団法人日本下水道協会

『下水道施設耐震計算例～管路施設編　前編～2015 年度版～』

公益社団法人日本下水道協会

『管きょ更生工法における設計・施工管理ガイドライン～2017 年版～』

公益社団法人日本下水道協会

３．２　耐震計算フロー、マトリクス

耐震照査における、その他の管路に対する耐震設計フローを図 3-3 に示す。また耐震照査項目を、表 3-4 耐震計算マトリクス表に示す。

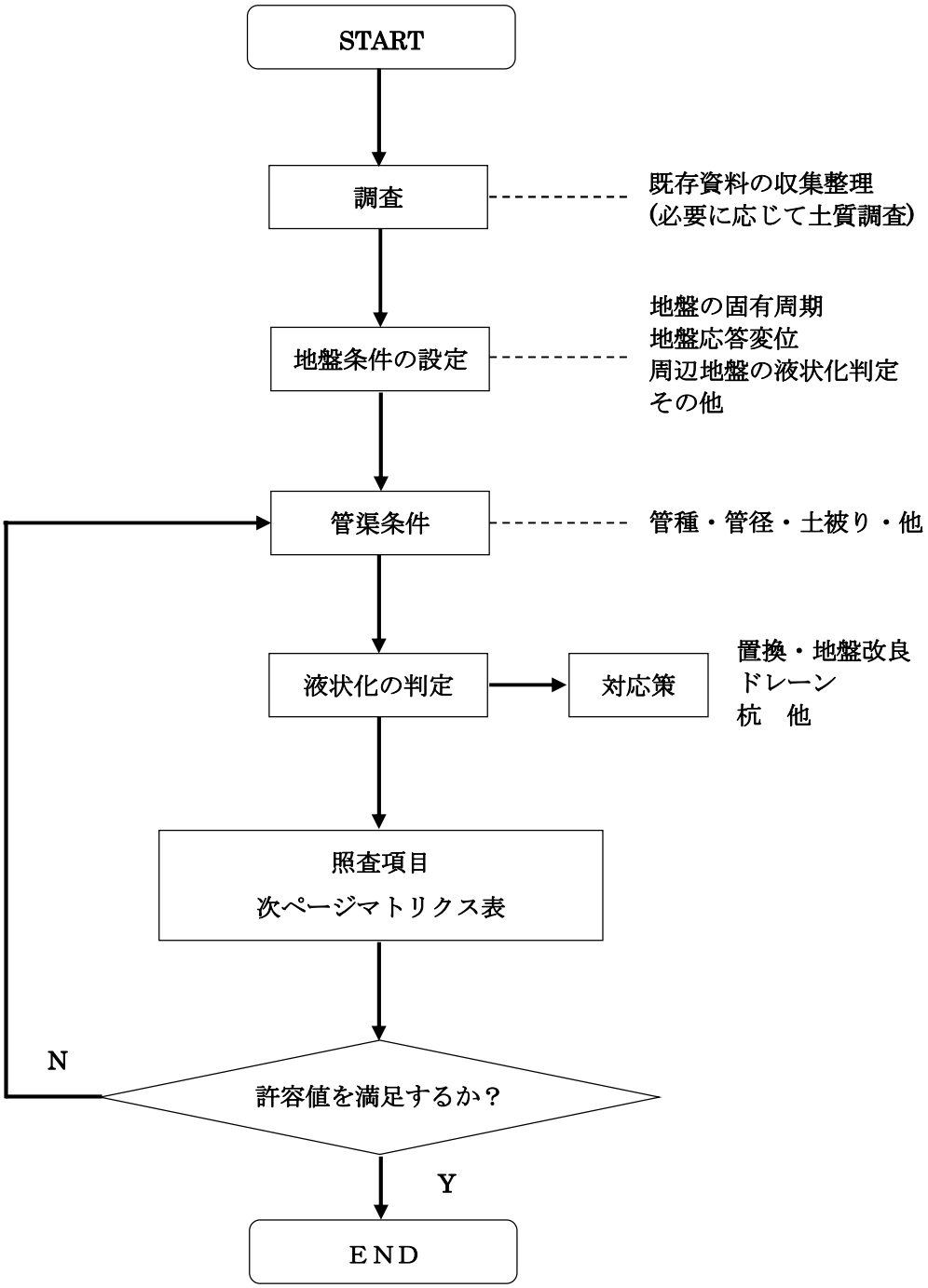


図 3-3　耐震設計フロー

「下水道施設耐震計算例－管路施設偏　前編－2015 年版－（社）日本下水道協会」参照

表 3-4 更生工法耐震検討項目一覧表(マトリクス表：自立管)（参考）

検討項目 ＼ 構造形式				更生工法(自立管) (円形管:小口径管を対象)		
				L1	L2	備　　考
重要な幹線等	a.マンホールと管きょの接続部	(地震動による)	屈曲角	△	△	※
			抜出し量	△	△	
	b.管きょと管きょの接手部	(地震動による)	屈曲角			
			抜出し量			
	c.鉛直断面の強度		耐荷力			
			応力度/耐力			
	d.管軸方向の強度		応力度	○	○	
	e.傾斜地(傾斜地盤)	(永久ひずみによる)	抜出し量		◇	斜面の安定性に懸念がある場合 マンホールと管の接続部は別途検討
	f.地盤の硬軟急変化・急曲線等		抜出し量			
	g.液状化の判定(FL値)			○	○	
	h.液状化地盤の場合(FL値≦1.0)	(永久ひずみによる)	屈曲角			※
			抜出し量		△	
		(地盤沈下による)	屈曲角		△	
			抜出し量		△	
その他の管路	a.マンホールと管きょの接続部	(地震動による)	屈曲角	△		※
			抜出し量	△		
	b.管きょと管きょの接手部	(地震動による)	屈曲角			
			抜出し量			
	c.鉛直断面の強度		耐荷力			
			応力度/耐力			
	d.管軸方向の強度		応力度			
	e.傾斜地(傾斜地盤)	(永久ひずみによる)	抜出し量			
	f.地盤の硬軟急変化・急曲線等		抜出し量			
	g.液状化の判定(FL値)			○		

【凡例】

○:強度計算により安全性を確保

◇:条件に応じて検討を実施

△:フレキシブルな構造等により安全性を確保

※　接続部をフレキシブルな構造等とする、弾性シール材の活用等による対応も可能

出展：「管きょ更生工法における設計・施工管理ガイドライン-2017 年版-日本下水道協」

３．３　管路施設の設計地震動

耐震照査を行う上で、耐震設計上の基盤面等を確定しておく必要があり、地盤特性（計算条件）を把握し検討を行う。

(1) 地域別補正係数

表 3-5 で、ｃＺはレベル１地震動の地域補正係数を示している。

なお、CⅡZは、レベル２タイプⅡ地震動の地域補正係数を示し、ＣＩＺはレベル２ タイプＩ地震動の地域補正係数を示す。下水道施設の耐震対策指針と解説の中では、レベル２　タイプＩ地震動 ＣＩＺ は適用外とある。タイプＩ地震動は、発生頻度が低いプレート境界に生じる海洋性の大規模な地震を想定した地震動であため耐震指針と合致しない。

表 3-5　地域別補正係数と地域区分（例）

地域区分	地域別補正係数			対象地域
	Cz	C_{IZ}	C_{IIZ}	
C	0.7	0.8	0.7	北海道のうち旭川市、留萌市、稚内市、紋別市、士別市、名寄市、上川郡（上川総合振興局）のうち鷹栖町、当麻町、比布町、愛別町、和寒町、剣淵町および下川町、中川郡（上川総合振興局）、増毛郡、留萌郡、苫前郡、天塩郡、宗谷郡、枝幸郡、礼文郡、利尻郡、紋別郡、 山口県、福岡県、佐賀県、長崎県、熊本県のうち荒尾市、水俣市、玉名市、山鹿市、宇土市、上天草市、天草市、玉名郡、天草郡 大分県のうち中津市、豊後高田市、杵築市、宇佐市、国東市、東国東郡、速見郡、鹿児島県（奄美市および大島郡を除く。）沖縄県

※出典「道路橋示方書・同解説　Ⅴ耐震設計編　平成29年11月　社団法人 日本道路協会」参照

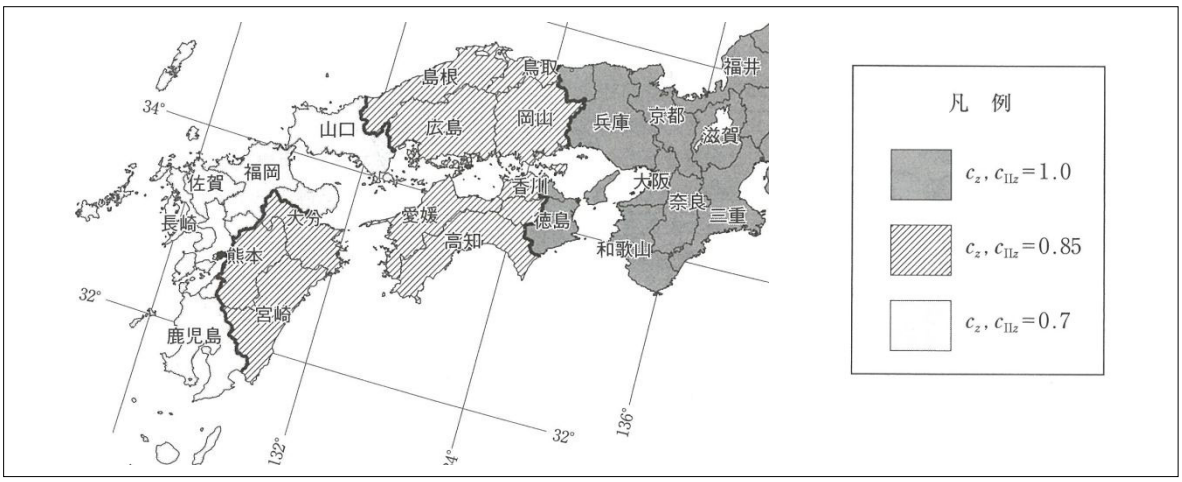


図3-6　レベル1地震動及びレベル2地震動（タイプⅡ）の地域補正係数(例)

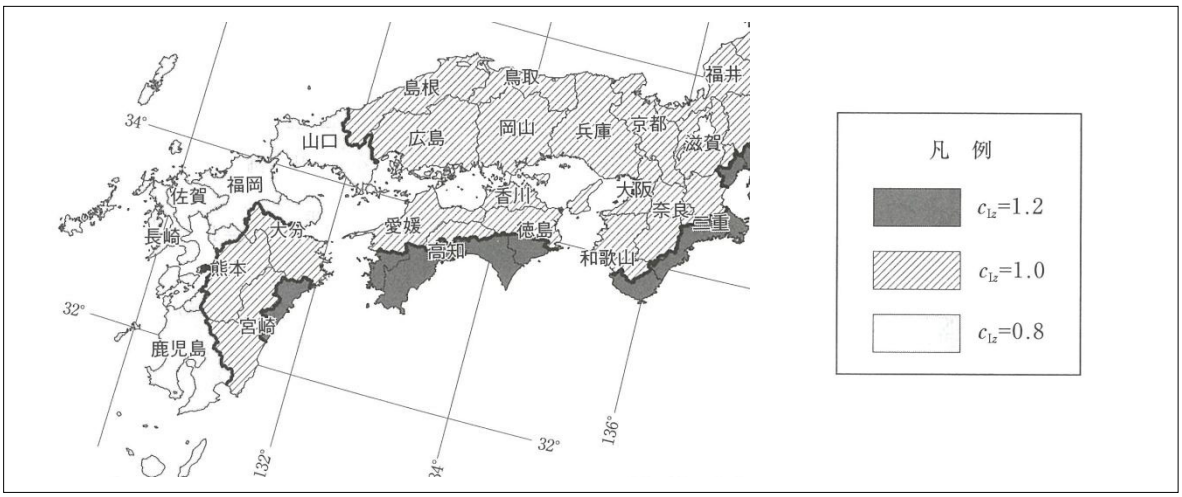


図3-7　レベル2地震動（タイプⅠ）の地域補正係数(例)

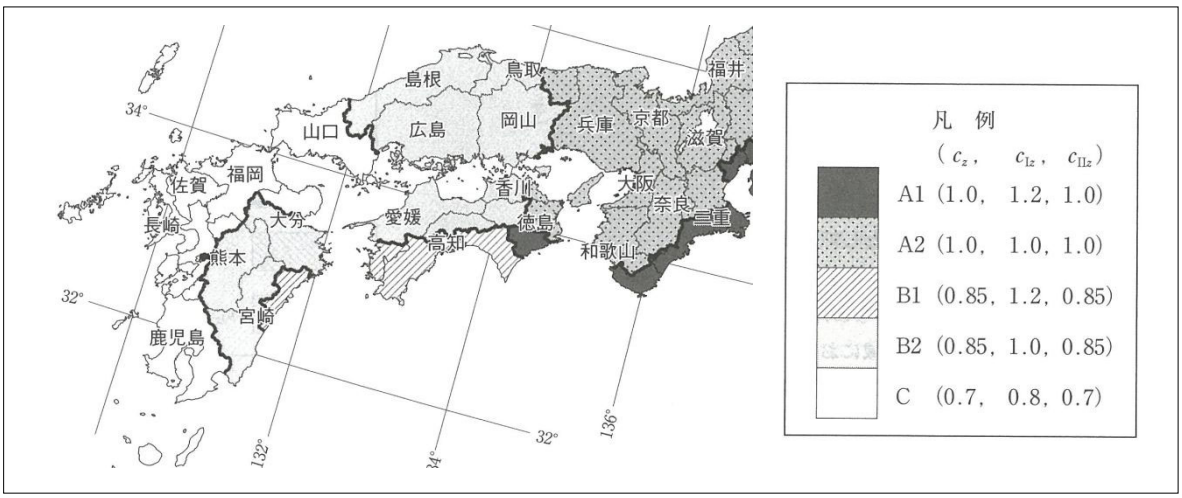


図3-8　「表3-5」の地域補正係数(例)

※出典「道路橋示方書・同解説　V耐震設計編　平成 29 年 11 月　社団法人　日本道路協会」

(2) 耐震設計上の地盤種別

耐震上の地盤種別は、原則として**式（-1）**により算出する地盤の特性値T_Gをもとに、**表 3-9** により区別するものとする。地表面が耐震上の基盤面と一致する場合はⅠ種地盤とする。

$$T_G = 4 \cdot \sum_{i=1}^{n} \frac{H_i}{V_{si}} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \text{式} \quad (-1)$$

T_G：地盤の特性値（ｓ）

H_i：ｉ番目の地層厚さ（m）

V_{Si}：ｉ番目の地層の平均せん断弾性波速度（m／ｓ）

粘性土層の場合　$V_{Si} = 100N_i^{1/3}$（$1 \leqq N_i \leqq 25$）

砂質土層の場合　$V_{Si} = 80N_i^{1/3}$　（$1 \leqq N_i \leqq 50$）

N_i：標準貫入試験よるｉ番目の地層の平均Ｎ値

ｉ：当該地盤が地表面から耐震設計上の基盤面までｎ層に区分されるときの地表面からｉ番目の地層の番号

表 3-9　耐震設計上の地盤種別

地盤種別	地盤の特性値T_G（ｓ）
Ⅰ　種	$T_G < 0.2$
Ⅱ　種	$0.2 \leqq T_G < 0.6$
Ⅲ　種	$0.6 \leqq T_G$

出典：「下水道施設の耐震対策指針と解説－2014 年版－（社）日本下水道協会」参照

Ⅰ種地盤は良好な洪積地盤及び岩盤、Ⅲ種地盤は沖積地盤のうち軟弱地盤、Ⅱ種地盤はⅠ種地盤及びⅢ種地盤のいずれにも属さない洪積地盤及び沖積地盤と考えてよい。ここでいう沖積層には、がけ崩れ等による新しい堆積層、表土、埋戻土ならびに軟弱層を含み、沖積層のうち締まった砂層、砂礫層、玉石層については洪積層として取り扱ってよいとされている。

(3) 設計地震動（応答変位法）

下水道管路の耐震計算には、原則として応答変位法を用い、レベル１地震動とレベル２地震動それぞれの設計地震外力を与えるものとする。

１） レベル１地震動

レベル１地震動に用いる設計地震外力は、「共同溝設計指針」に規定されている設計応答速度を用いる。地盤の変位振幅と地盤振動の波長は、管渠と類似の地中埋設構造物の設計指針である「共同溝設計指針」の手法を用いる。

２） レベル２地震動

応答変位法に用いる地震動の波長は、レベル１同様とする。

３）応答変位法による耐震計算法において、地表面からの深さｚにおける地盤の水平方向及び鉛直方向の変位幅は、以下の**式**（-2）・（-3）により求める。

$$U_h(z) = \frac{2}{\pi^2} S_V \cdot T_s \cdot \cos\frac{\pi z}{2H} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \text{式 (-2)}$$

$$U_V(z) = \frac{1}{2} U_h(z) \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \text{式 (-3)}$$

ここに、

U_h（ｚ）：地表面からの深さｚ（m）における水平方向の変位幅（m）

U_V（ｚ）：地表面からの深さｚ（m）における鉛直方向の変位幅（m）

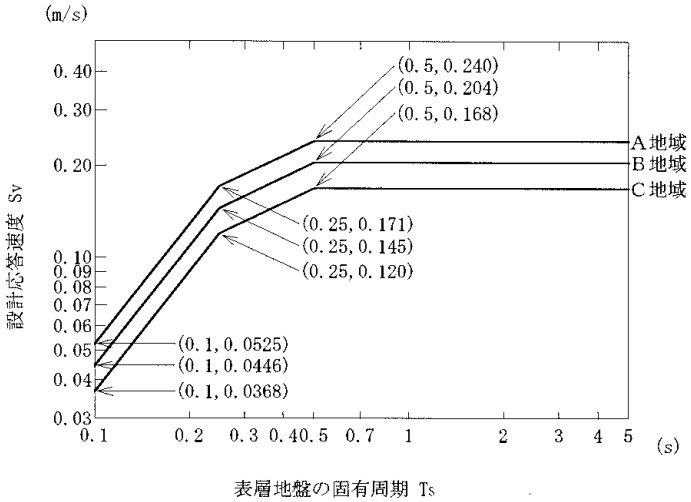
S_V：設計.応答速度（m/ｓ）であり、表層地盤の固有周期Ｔｓ及び地震活動度の地域区分に応じて求める。

T_s：表層地盤の固有周期（ｓ）であり、地盤の特性値T_Gを基準として地震時に生じるせん断ひずみの大きさを考慮して**式**（-4）により算出する。

$$T_s = 1.25 \times T_G \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \text{(-4)}$$

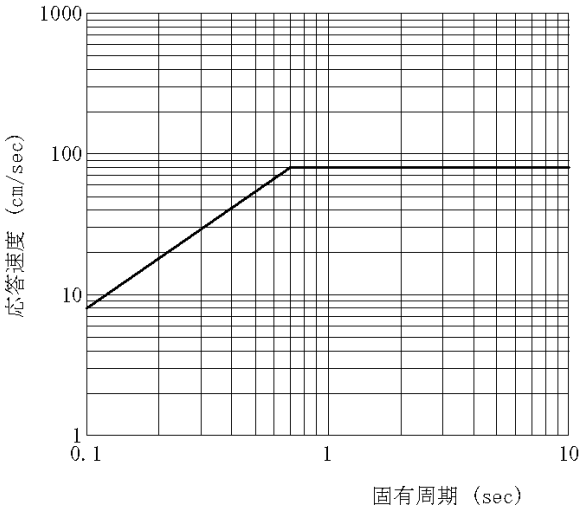
Ｈ：表層地盤の厚さ（m）であり、地表面から耐震設計上の基盤面までの厚さをとる。

Ｓｖは、**図 3-10**、**図 3-11** により算出する。これは地震動の速度応答スペクトルと呼ばれるものであり、固有周期Ｔ$_a$（ｓ）、減衰定数ｈ$_s$の１自由度系に表層地盤をモデル化し、種々の振動記録を地盤に作用させて計算により求められるもである。



出典：「下水道施設耐震計算例－管路施設編－前編－2001 年版－（社）日本下水道協会」参照

図 3-10　レベル１の設計応答速度



出典：「下水道施設耐震計算例－管路施設編－前編－2001 年版－（社）日本下水道協会」参照

図 3-11　レベル２の設計応答速度

４）地震動の波長は、**式（-5）**により算出する。

$$L = \frac{2L_1 + L_2}{L_1 + L_2}$$

$$L_1 = V_{DS} \cdot T_S = 4H \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \text{式（-5）}$$

$$L_2 = V_{BS} \cdot T_S$$

ここに、

V_{DS}：表層地盤のせん断弾性波速度（m/ｓ）

V_{BS}：基盤のせん断弾性は速度（m/ｓ）

T_s：表層地盤の固有周期

Ｈ：表層地盤の厚さ（m）

(4) 地盤の固有周期補正係数αD

応答変位法に用いる地盤の固有周期補正係数αD を設定する。ここで、**式（-2）**における表層地盤の固有周期 T_S は地震時に生じるせん断ひずみを考慮して、**式（-1）**で示される地盤の基本固有周期 T_G に対してαD の補正を行う必要がある。

αD は、地盤に応じて適切に評価することが重要であり、レベル２地震動に対するαD を地震時に生じる地盤のせん断ひずみに応じて 1.25～2.0 の間の値を適切に評価して設定する。

(5) 耐震設計上の基盤面

耐震設計上の基盤面は、常時における設計上の基盤面とする。ただし、地震時に地盤反力が期待できない土層がある場合は、その影響を考慮して適切に耐震設計上の基盤面を設定するものとする。

基盤面とは、地震波形の変化が少なく、一様に周囲へ伝播し得るような強度の高い岩盤のことをいう。本来の地質学で言う基盤層とは、一般にせん断弾性波速度Ｖｓが Ｖｓ≒3ｋｍ/ｓの強硬な岩盤を示すが、土木分野ではある程度Ｖｓ が小さくても、構造物が常時の設計強度で耐え得る点を踏まえ、Ｖｓ≧300m/s で割切っている。これをＮ値で言えば粘性土；Ｎ値≧25、砂質土；Ｎ値≧50 に相当する。**（下水道施設の耐震対策指針と解説－2014 年版－日本下水道協会より）**

３．４　液状化の判定

土木構造物における液状化の判定は、地盤が地下水で飽和した砂質土及び軟弱な中間土で構成される場合は、その地層の液状化の可能性の有無について判定を行う。液状化の判定結果により液状化の可能性があると判断された場合には、必要に応じて液状化の影響を考慮するものとする。

現地盤の液状化の判定は、「道路橋示方書・同解説　耐震設計編」により行う。ただし、判定に用いる地震動はレベル２地震動のタイプⅡとし、原則として次の通りとする。

$$\left.\begin{array}{l} \text{Ⅰ種地盤：} k_{hc}=0.8\times C_z \\ \text{Ⅱ種地盤：} k_{hc}=0.7\times C_z \\ \text{Ⅲ種地盤：} k_{hc}=0.6\times C_z \end{array}\right\} \cdots\cdots\cdots\cdots \text{（式-6）}$$

ここに、Ｃｚは地域別補正係数である。

液状化の判定を行う必要がある砂質土層は<u>沖積層の砂質土層</u>で以下の<u>３つの条件すべて</u>に該当する場合には、地震時に橋に影響を与える液状化が生じる可能性があるため、液状化の判定を行わなければならないとされている。

１）地下水位が原地盤面から 10m以内にあり、かつ原地盤面から 20m 以内の深さに存在する飽和土層

２）細粒分含有率 FC が 35%以下の土層、または FC が 35%を超えても塑性指数 IP が 15 以下の土層

３）平均粒径 D_{50} が 10mm 以下で、かつ粒径 D_{10} が 1mm 以下である土層。

３．５　管軸方向の強度検討

(1) 地盤の水平変位幅

自立管中心深度における地盤の水平変位振幅は、**次式(-7)**より求める。

$$U_h(z) = \frac{2}{\pi^2} \cdot S_V \cdot T_S \cdot \cos\frac{\pi \cdot z}{2 \cdot H_g} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \text{式 (-7)}$$

ここに、

$U_h(z)$ ： 自立管中心深度 z(m)における地盤の水平変位振幅(m)

z ： 自立管中心深度(m)

S_V ： 表層地盤の設計応答速度(m/s)

T_S ： 表層地盤の固有周期(s)

H_g ： 表層地盤の厚さ(m)

(2) 地盤変位の伝達係数

自立管の軸方向および軸直交方向の地盤変位の伝達係数は、次式 (-8) (-9) (-10) より求める。

$$\alpha_1 = \frac{1}{1 + \left(\frac{2 \cdot \pi}{\lambda_1 \cdot L'}\right)^2}, \quad \alpha_2 = \frac{1}{1 + \left(\frac{2 \cdot \pi}{\lambda_2 \cdot L}\right)^4} \quad \cdots\cdots \text{式 (-8)}$$

$$L' = \sqrt{2} \cdot L \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \text{式 (-9)}$$

$$\lambda_1 = \sqrt{\frac{K_{g1}}{Et \cdot A}}, \quad \lambda_2 = \sqrt{\frac{K_{g2}}{Em \cdot I}} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \text{式 (-10)}$$

ここに、

α_1 ： 自立管の軸方向の地盤変位の伝達係数

α_2 ： 自立管の軸直交方向の地盤変位の伝達係数

L' ： 地盤振動の見かけの波長(m)

L ： 地盤振動の波長(m)

K_{g1} ： 自立管の軸方向の地盤の剛性係数(kN/m^2)

K_{g2} ： 自立管の軸直交方向の地盤の剛性係数(kN/m^2)

Et ： 自立管の引張弾性係数(短期) (kN/m^2)

Em ： 自立管の曲げ弾性係数(短期) (kN/m^2)

A ： 自立管の断面積 (m^2)

I ： 自立管の断面二次モーメント(m^4)

(3) 自立管本体の管軸方向断面に対する照査

1）地震動による応力度の検討

地震動により軸方向断面に発生する応力度は、次式（-11）（-12）（-13）より求める。

$$\sigma_X = \sqrt{\gamma \cdot \sigma_L^2 + \sigma_B^2} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \text{式（-11）}$$

$$\sigma_L = \alpha_1 \cdot \frac{\pi \cdot U_h(z)}{L} \cdot Et \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \text{式（-12）}$$

$$\sigma_B = \alpha_2 \cdot \frac{2 \cdot \pi^2 \cdot D \cdot U_h(z)}{L^2} \cdot Em \quad \cdots\cdots\cdots\cdots \text{式（-13）}$$

ここに、

σ_X ： 自立管の軸方向応力度と曲げ応力度の合成応力度(N/mm^2)

σ_L ： 自立管の軸方向応力度(N/mm^2)

σ_B ： 自立管の曲げ応力度(N/mm^2)

α_1 ： 自立管の軸方向の地盤変位の伝達係数

α_2 ： 自立管の軸直交方向の地盤変位の伝達係数

$U_h(z)$ ：自立管中心深度 z(m)における地盤の水平変位振(mm)

L ： 地盤振動の波長 (mm)

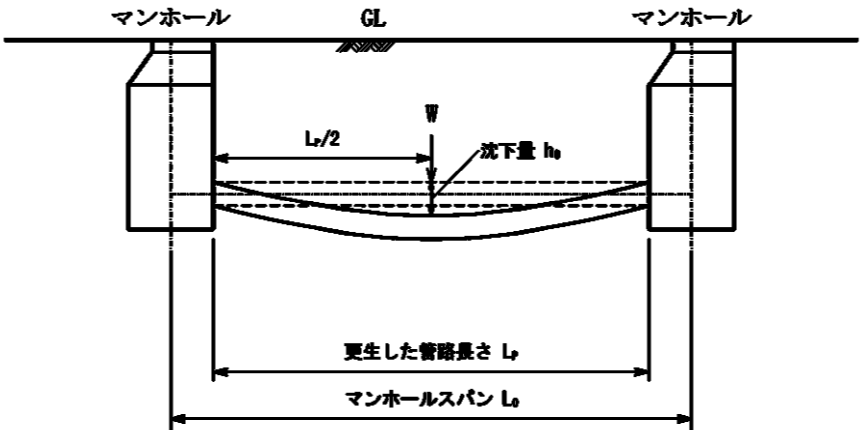
D ： 自立管の外径 (mm)

Et ： 自立管の引張弾性係数（短期） (N/mm^2)

Em ： 自立管の曲げ弾性係数（短期） (N/mm^2)

γ ： 重畳係数 γ = 3.12

２）地盤の液状化に伴う地盤沈下による応力度の検討



地盤の液状化に伴う地盤沈下により発生する曲げ応力は、上図のようにマンホール　間を単純支持梁と仮定し、中央部で地盤沈下が発生した時に生ずる応力(最大応力)とし、**次式（-14）**により求める。

$$\sigma = \frac{6 \cdot D \cdot Em \cdot h_0}{L_P^2} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad \text{式（-14）}$$

ここに、

σ ： 地盤沈下により発生する曲げ応力度(N/mm^2)

D ： 自立管の外径（mm）

Em： 自立管の曲げ弾性係数（短期）　(N/mm^2)

h_0 ： 液状化に伴う地盤沈下量（mm）

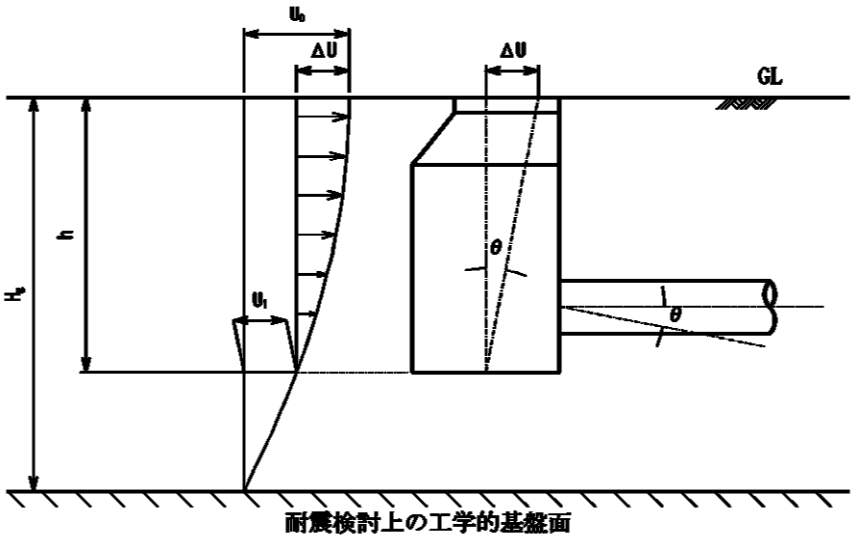
L_P ： 更生した管路長さ(≒ L_0)

L_0 ： マンホールスパン　(mm)

３．６　人孔と管渠の接続部の検討

(1) 地震動による影響

１）地震動による屈曲角の検討



地震動によってマンホールと自立管との接続部に生じる屈曲角は、周辺地盤の影響を無視して、マンホールと自立管の回転角と同値と見なし、上図に示すように**次式**（-15）（-16）（-17）より求める。

$$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{\Delta U}{h}\right) \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad \text{式（-15）}$$

$$U_h(z) = \frac{2}{\pi^2}\cdot S_V\cdot T_S\cdot\cos\frac{\pi\cdot z}{2\cdot H_g} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots \quad \text{式（-16）}$$

$$\Delta U = U_h(0) - U_h(h) = U_0 - U_1 \quad \cdots\cdots\cdots\cdots \quad \text{式（-17）}$$

ここに、

θ　：地震動によってマンホールと自立管との接続部に生じる屈曲角(rad)

$U_h(z)$：地表面からの深さｚ(m)における地盤の水平変位振幅(m)

h　：マンホール床付面の深さ(m)

S_V　：表層地盤の設計応答速度(m/s)

T_S　：表層地盤の固有周期(s)

H_g　：表層地盤の厚さ(m)

2）地震動による抜出し量の検討

地震動による自立管のマンホールからの抜出し量は、**次式**（-18）（-19）（-20）（-21）（-22）（-23）（-24）（-25）より求める軸方向継手伸縮量と同値とみな す。

$$|u_J| = u_0 \cdot \overline{u}_J \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad 式（-18）$$

$$\overline{u}_J = \frac{2 \cdot \gamma_1 \cdot |\cosh\beta_1 - \cos\gamma_1|}{\beta_1 \cdot \sinh\beta_1} \quad \cdots\cdots\cdots \quad 式（-19）$$

$$u_0 = \alpha_1 \cdot U_a \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad 式（-20）$$

$$U_a = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot U_h(z) \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad 式（-21）$$

$$\alpha_1 = \frac{1}{1 + \left(\frac{\gamma_1}{\beta_1}\right)^2} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad 式（-22）$$

$$\beta_1 = (= \lambda_1 \cdot L_P) = \sqrt{\frac{K_{g1}}{Et \cdot A}} \cdot L_P \quad \cdots\cdots\cdots \quad 式（-23）$$

$$\gamma_1 = \frac{2 \cdot \pi \cdot L_P}{L'} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad 式（-24）$$

$$L' = \sqrt{2} \cdot L \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad 式（-25）$$

ここに、

$|u_J|$ ： 軸方向継手伸縮量(mm)

$\overline{u}_J$ ： 継手変位の係数

u_0 ： 無限に連続する梁とした場合の軸方向相対変位量(mm)

U_a ： 自立管の軸方向の地盤の水平変位振幅(mm)

$U_h(z)$ ： 自立管中心深度 z(m)における地盤の水変変位幅

α_1 ： 自立管の軸方向の地盤変位の伝達係数

A ： 自立管の断面積 A （mm^2）

Et ： 自立管の引張弾性係数（短期） Et = 5000(N/mm^2)

L_P ： 更生した管路長さ(≒ L_0)

L_0 ： マンホールスパン L_0 （mm))

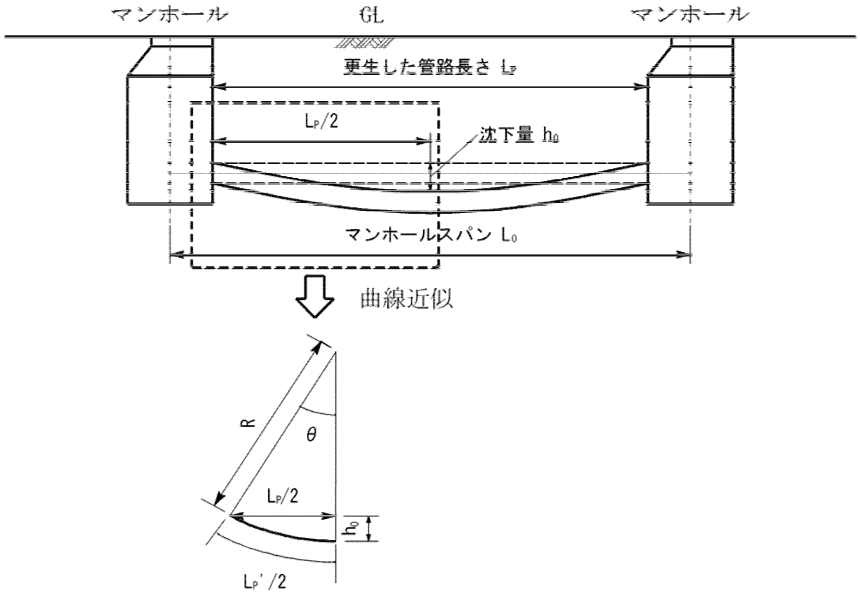
K_{g1} ： 自立管の軸方向の地盤の剛性係数 K_{g1} (N/mm^2)

L ： 地盤振動の波長 L （mm)

L' ： 地盤振動の見かけの波長(mm)

(2) 地盤の液状化に伴う影響

1）地盤沈下による抜出し量および屈曲角の検討



上図のような近似モデルを仮定すると、地盤の液状化に伴う地盤沈下による自立管　のマンホールからの抜出し量およびマンホールと自立管の接続部に生じる屈曲角は、**次式**（-26）（-27）（-28）（-29）より求められる。

$$\delta = \frac{L_P'}{2} - \frac{L_P}{2} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \text{式（-26）}$$

$$\frac{L_P'}{2} = R \cdot \theta \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \text{式（-27）}$$

$$\theta = \sin^{-1}\left(\frac{L_P / 2}{R}\right) \text{(rad)} \quad \cdots\cdots\cdots \text{式（-28）}$$

$$R = \frac{h_0^2 + \left(\frac{L_P}{2}\right)^2}{2 \cdot h_0} \text{(mm)} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots \text{式（-29）}$$

ここに、

δ ： 地盤沈下による自立管のマンホールからの抜出し量(mm)

θ ： 地盤沈下によってマンホールと自立管の接続部に生じる屈曲角(rad)

L_P ： 更生した管路長さ(≒ L_0)

L_0 ： マンホールスパン (mm)

h_0 ： 液状化に伴う地盤沈下量(mm)

３．７　追従性の確認においての許容値（考察）

管渠と人孔の接続部、管と管の継手部について、耐震計算を行う上で屈曲角度、永久ひずみが大きく関わる。本工法は下記実験により材料の地盤変動への追従性を確認しており、その値は審査証明書に記載されている。

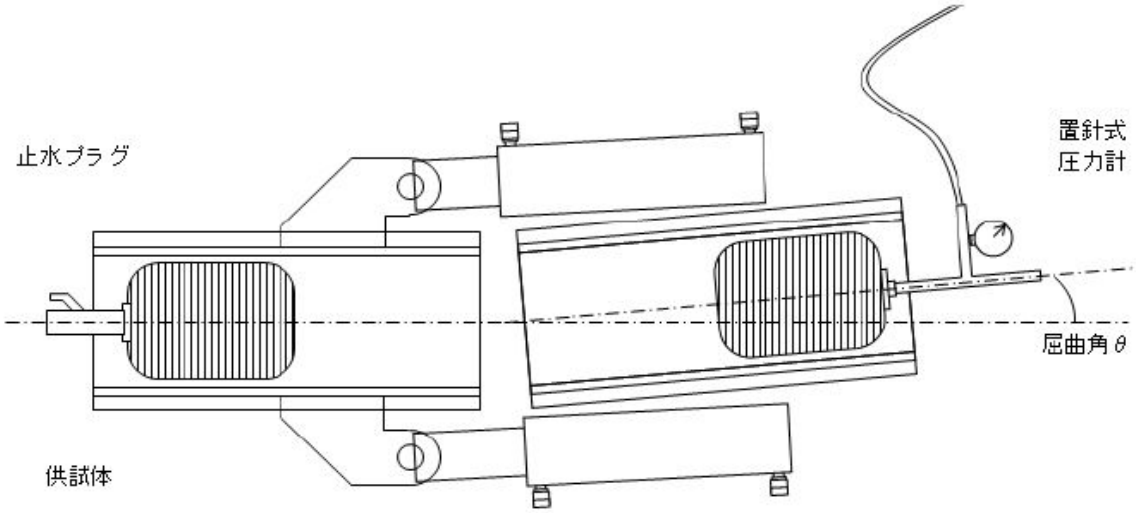


図 3-12　既設管への追従性試験図

また、抜け出し量については、人孔施設の壁厚、可とう継手を用いている場合はその材料許容値に影響されることから、下記の許容値を原則とする。

なお、各自治体での考え方がある場合はその限りではない。

項　　目	許容値	備考
永久ひずみ	1.5%	
屈曲角	1°	
抜け出し量	施設壁厚	1 号人孔 75 ㎜

第４章　今後の課題

４．１　更生管材料の強度

本工法は、他の工法よりも若干強度が高く、実験において証明されているが、より一層の強度改良が必要と考えている。特に長期強度については、施設の長寿命化が叫ばれている今日において特に重要であり、必要なことであると考え見直していく必要がある。

４．２　現場条件に対する施工の柔軟さ

本工法は、他の工法よりも現場条件に対し柔軟であることが特徴であるが、機器の開発、管理方法等を工夫し、現在よりも更に現場条件に対して柔軟に対応できる工法を目指すことを課題としている。

2020 年　6 月　改訂

2018 年　6 月　改訂

2016 年　6 月　改訂

2012 年　7 月　発行

Ｔｗｏ－Ｗａｙライニング工法

設計マニュアル　下水道設計編

編　　集　Ｔｗｏ－Ｗａｙライニング工法協会
発　行　所

TEL　　FAX

許可なく本書の転用・複写を禁止する。