

## 第2章 管路の設計



## 第2章 管路の設計 目次

|        |                         |      |
|--------|-------------------------|------|
| 2.1    | 管路の区分                   | 2-1  |
| 2.2    | 管種                      | 2-2  |
| 2.2.1  | 管の種類                    | 2-2  |
| 2.2.2  | 管種選定                    | 2-5  |
| 2.3    | 配管方法                    | 2-6  |
| 2.4    | 管路の水理設計                 | 2-7  |
| 2.4.1  | 管路の水圧                   | 2-7  |
| 2.4.2  | 管径の決定                   | 2-7  |
| 2.4.3  | 平均流速公式                  | 2-7  |
| 2.4.4  | 許容流速                    | 2-8  |
| 2.5    | 水撃圧                     | 2-9  |
| 2.5.1  | 水撃圧の推定方法                | 2-9  |
| 2.5.2  | ポンプ圧送系の水撃作用             | 2-9  |
| 2.5.3  | ポンプ圧送系の水撃圧の算定           | 2-9  |
| 2.5.4  | 水撃圧対策                   | 2-10 |
| 2.6    | 管路の構造設計                 | 2-14 |
| 2.6.1  | 埋設深                     | 2-14 |
| 2.6.2  | 基礎及び埋戻し土                | 2-17 |
| 2.6.3  | 掘削断面                    | 2-21 |
| 2.6.4  | 管体の構造計算                 | 2-22 |
| 2.6.5  | 荷重                      | 2-25 |
| 2.6.6  | 硬質ポリ塩化ビニル管の管種選定         | 2-30 |
| 2.6.7  | ダクタイル鋳鉄管の管種選定           | 2-33 |
| 2.6.8  | 鋼管の管種選定                 | 2-34 |
| 2.6.9  | 水道配水用ポリエチレン管の管種選定       | 2-38 |
| 2.6.10 | 電食及び腐食対策                | 2-40 |
| 2.6.11 | 伸縮継手                    | 2-42 |
| 2.7    | 異形管防護                   | 2-43 |
| 2.7.1  | スラスト力の計算                | 2-43 |
| 2.7.2  | 離脱防止金具及びダクタイル鋳鉄管の離脱防止継手 | 2-44 |
| 2.7.3  | コンクリートブロックによる異形管防護      | 2-49 |
| 2.8    | 耐震設計                    | 2-52 |
| 2.8.1  | 耐震設計の適用範囲               | 2-52 |

|                      |      |
|----------------------|------|
| 2.8.2 施設の重要度         | 2-53 |
| 2.8.3 耐震計算           | 2-53 |
| 2.9 附帯施設             | 2-55 |
| 2.9.1 遮断用バルブ及び制御用バルブ | 2-55 |
| 2.9.2 空気弁            | 2-56 |
| 2.9.3 減圧弁            | 2-58 |
| 2.9.4 排水（排泥）設備       | 2-59 |
| 2.9.5 橋梁添架工          | 2-61 |
| 2.9.6 伏越工            | 2-70 |
| 2.9.7 水管橋            | 2-70 |

## 第2章 管路の設計

### 2.1 管路の区分

管路は、その目的により次のように区分される。

- |          |            |          |
|----------|------------|----------|
| (1) 導水管路 | (2) 送水管路   | (3) 配水管路 |
| (4) 給水管路 | (5) その他の管路 |          |

営農飲雑用水施設における管路は、全体のシステムにおける位置づけにより、次のように区分される。

#### (1) 導水管路

導水管路は、取水施設で取水された原水を浄水施設まで導くための管路である。導水管路を含む導水施設は、事故が発生した場合、導水の停止や導水量の低下により広範囲に影響を及ぼすおそれがあるので、必要量を確実に導水できるとともに、高い信頼性を有する施設であることが要求される。

#### (2) 送水管路

送水管路は、浄水場から配水池まで送水するための管路である。送水施設は、平常時の安定供給はもとより、事故時・渇水時等の非常時においても需要者の生活に著しい支障を及ぼすことのない程度の安定性を有することが望ましい。

#### (3) 配水管路

配水管路は、浄水を輸送、分配供給する機能を持ち、平常時には、適正な水圧で安定的に供給を行い、非常時には、水の供給を維持できるように整備されていることが必要である。配水施設の大部分は給水区域内に網の目のように布設された配水管で構成されていることから、特に、維持管理が容易で、かつ、管内の水質保持が十分に図れるように整備、構築されていることが必要である。

#### (4) 給水管路

給水管路は、配水管から分岐して需要者（受益者）へ浄水を供給するための管路である。給水管路を含む給水装置は、営農飲雑用水施設（水道施設）とは区分され、その設置及び所有は需要者（受益者）である。

#### (5) その他の管路

その他の管路として、浄水施設における場内連絡管路及び排水管、配水池における排水管などがある。

## 2.2 管種

営農飲雑用水施設に用いる管種は、「水道施設の技術的基準を定める省令」に定められた浸出基準を満足するとともに、水圧、外圧に対する安全性、環境条件、施工条件を勘案して最適なものを選定する。

### 2.2.1 管の種類

通常使用される管種としては、ダクタイル鋳鉄管、鋼管、ステンレス鋼管、硬質ポリ塩化ビニル管及び水道配水用ポリエチレン管等がある。主な管種の特徴及び規格等を、表-2.2.1～表 2.2.2(1)及び(2)に示す。

表-2.2.1 主な管種の特徴

| 材 質 別            | 長 所  | 短 所   |
|------------------|--|---|
| ダクタイル<br>鋳 鉄 管   | <ul style="list-style-type: none"> <li>(1) 管体強度が大きく、靱性に富み、衝撃に強い。</li> <li>(2) 耐久性がある。</li> <li>(3) K、T、U 形等の柔構造継手は、継手部の伸び、屈曲により地盤の変動に順応できる。</li> <li>(4) NS、S、US 形等の鎖構造継手は、柔構造継手よりも大きな伸縮に対応でき、さらに離脱防止機能を有するので、より大きな地盤変動に対応できる。</li> <li>(5) 施工性が良い。</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>(1) 重量は比較的重い。</li> <li>(2) 継手の種類によっては、異形管防護を必要とする。</li> <li>(3) 内外の防食面に損傷を受けると腐食しやすい。</li> <li>(4) K、T、U 形等の柔構造継手は、地震時の地盤の液状化や亀裂等の地盤変状により伸縮（伸び）量が限界以上になれば離脱する。</li> </ul>  |
| 鋼 管              | <ul style="list-style-type: none"> <li>(1) 強度が大きい。靱性に富み、衝撃に強い。</li> <li>(2) 耐久性がある。</li> <li>(3) 溶接継手により一体化ができ、地盤の変動には管体の強度及び変形能力で対応する。地盤変動の大きいところでは、伸縮継手の使用又は厚肉化で対応できる。</li> <li>(4) 加工性がよい。</li> <li>(5) 防食性の良い外面防食材料（ポリウレタン又はポリエチレン）を被覆した管がある。</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>(1) 溶接継手は、専門技術を必要とするが、自動溶接もある。</li> <li>(2) 電食に対する配慮が必要である。</li> <li>(3) 内外面の防食面に損傷を受けると腐食しやすい。</li> </ul>   |
| ステンレス<br>鋼 管     | <ul style="list-style-type: none"> <li>(1) 強度が大きい。靱性に富み、衝撃に強い。</li> <li>(2) 耐久性がある。</li> <li>(3) 耐食性に優れている。</li> <li>(4) ライニング、塗装を必要としない。</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>(1) 溶接継手に時間がかかる。</li> <li>(2) 異種金属との絶縁処理を必要とする。</li> </ul>   |
| 硬質ポリ塩化<br>ビニル管   | <ul style="list-style-type: none"> <li>(1) 耐食性に優れている。</li> <li>(2) 重量が軽く施工性がよい。</li> <li>(3) 内面粗度が変化しない。</li> <li>(4) RR ロング継手は、RR 継手よりも継手伸縮性能が優れている。</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>(1) 管体強度は金属管に比べ小さい。低温時において耐衝撃性が低下する。</li> <li>(2) 熱、紫外線に弱い。</li> <li>(3) シンナー類等の有機溶剤によって軟化する。</li> <li>(4) 継手の種類によっては、異形管防護を必要とする。</li> <li>(5) RR ロング継手は、使用期間が短く、被災経験もほとんどないことから、使用に当たっては十分な耐震性能の検証が必要である。</li> </ul>                 |
| 水道配水用ポ<br>リエチレン管 | <ul style="list-style-type: none"> <li>(1) 耐食性に優れている。</li> <li>(2) 重量が軽く施工性がよい。</li> <li>(3) 融着継手により一体化ができ、管体に柔軟性があるため、地盤変動に追従できる。</li> <li>(4) 内面粗度が変化しない。</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>(1) 管体強度は、金属管に比べ小さい。</li> <li>(2) 熱、紫外線に弱い。</li> <li>(3) 有機溶剤による浸透に注意する必要がある。</li> <li>(4) 融着継手では、雨天時や湧水地盤での施工が困難である。</li> <li>(5) 融着継手の接合には、コントローラや特殊な工具を必要とする。</li> <li>(6) 悪い地盤における被災経験がないことから、使用に当たっては十分な耐震性能の検証が必要である。</li> </ul> |

表-2.2.2(1) 主な管種一覧表

|                                      | 名 称            | 規 格           | 管 径         | 適 用  |  |                       |
|--------------------------------------|----------------|---------------|-------------|--|--|-----------------------|
| ダ<br>ク<br>タ<br>イ<br>ル<br>鑄<br>鉄<br>管 | ダクタイトル鑄鉄管      | JIS G 5526    | 75~2,600mm  | K形 75~2,600 mm 1~4.5種 <sup>※1</sup><br>T 75~2,000 1~4.5種 <sup>※1</sup><br>U 800~2,600 1~4.5種 <sup>※1</sup><br>UF 800~2,600 PF種<br>NS 75~ 450 1, 3種<br>S 1100~2,600 1~3種<br>US 800~2,600 1~4種 |  |                       |
|                                      | 水道用ダクタイトル鑄鉄管   | JWWA G 113    | 〃           |  |  |                       |
|                                      | ダクタイトル鑄鉄異形管    | JIS G 5527    | 75~2,600mm  |  | K形 75~2,600 mm<br>T 75~ 250<br>U 800~2,600<br>UF 800~2,600<br>NS 75~ 450<br>S 1100~2,600<br>US 800~2,600<br>フランジ 75~2,600 大平面座 溝付き |                       |
|                                      | 水道用ダクタイトル鑄鉄異形管 | JWWA G 114    | 〃           |  |  |                       |
|                                      | ダクタイトル鑄鉄管      | JDPA G 1042   | 75~1,000    |  |  | NS形 75~1,000 1, 3, S種 |
|                                      | 〃              | JDPA G 1042-2 | 75~150      |  |  | NS形 75~ 150 E種        |
|                                      | 〃              | JDPA G 1046   | 300~1,500   | PN形 300~1,500 1~4種   |  |                       |
|                                      | 〃              | JDPA G 1049   | 75~450      | GX形 75~ 450 1, S種  |  |                       |
|                                      | 推進工法用ダクタイトル鑄鉄管 | JDPA G 1029   | 250~2,600mm | T形 250~ 700 1~5種<br>U 800~2,600 1~5種<br>UF 800~2,600 1~4種<br>US 800~2,600 1~4種   |  |                       |
|                                      | 水輸送用塗覆装鋼管      | JIS G 3443-1  | 80~3,000    |  | 最高許容圧力 2.9MPa<br><br>最高使用圧力 1.0MPa   |                       |
|                                      | 水道用塗覆装鋼管       | JWWA G 117    |             |  |  |                       |
|                                      | 水輸送用塗覆装鋼管の異形管  | JIS G 3443-2  | 80~3,000    |  |  |                       |
|                                      | 水道用塗覆装鋼管の異形管   | JWWA G 118    |             |  |  |                       |
|                                      | ポリエチレン被覆鋼管     | JIS G 3469    | 15~2,000    | 最高使用圧力 1.0MPa  |  |                       |
| 水道用硬質塩化ビニルライニング鋼管                    | JWWA K 116     | 15~ 150       |             |  |  |                       |
| 水道用ポリエチレン粉体ライニング鋼管                   | JWWA K 132     | 15~ 100       |             |  |  |                       |
| 水道用エポキシ系樹脂コーティング管継手                  | JWWA K 117     | 1/2” ~6”      |             |  |  |                       |
| 水道用ライニング鋼管用管端防食形継手                   | JWWA K 150     | 1/2” ~6”      |             |  |  |                       |
| 水道用推進鋼管                              | WSP 018        | 350~3,000     |             |  |  |                       |
| 管端ステンレス鋼付塗覆装鋼管                       | WSP 068        |               |             |  |  |                       |

注) 最高使用圧力は、最大静水圧を示す。最高許容圧力は、最大静水圧に水撃圧を加えた圧力を示す。

※1 JWWA G 113 では、1~4種である。

表-2.2.2(2) 主な管種一覧表

|                     | 名 称                           | 規 格          | 管 径              | 適 用            |
|---------------------|-------------------------------|--------------|------------------|----------------|
| 硬質ポリ塩化ビニル管          | 水道用硬質ポリ塩化ビニル管                 | JIS K 6742   | 13～150           | 最高使用圧力 0.75MPa |
|                     | 水道用硬質ポリ塩化ビニル管継手               | JIS K 6743   | 13～150           |                |
|                     | 水道用ゴム輪形硬質ポリ塩化ビニル管 (HIVP、VP)   | JWWA K 129   | 50～150           |                |
|                     | 水道用ゴム輪形硬質ポリ塩化ビニル管継手 (HIVP、VP) | JWWA K 130   | 50～150           |                |
|                     | 水道用硬質ポリ塩化ビニル管のダクタイル鋳鉄異形管      | JWWA K 131   | 50～150           |                |
|                     | 水道用硬質ポリ塩化ビニル管                 | AS 20        | 200～300          |                |
|                     | 水道用硬質ポリ塩化ビニル管継手               | AS 21        | 13～100           |                |
|                     | 水道用ゴム輪形硬質ポリ塩化ビニル管 (HIVP、VP)   | AS 33        | 125, 200～300     |                |
|                     | 水道用ゴム輪形硬質ポリ塩化ビニル管継手 (HIVP、VP) | AS 34        | 125, 200～300     |                |
|                     | 水道用硬質ポリ塩化ビニル管のダクタイル鋳鉄異形管      | AS 35        | 50, 125, 200～300 |                |
| ポリ水道ポリエチレン配水管       | 水道用ポリエチレン二層管                  | JIS K 6762   | 13～50            | 最高使用圧力 0.75MPa |
|                     | 水道配水用ポリエチレン管                  | JWWA K 144   | 50～150           |                |
|                     | 水道配水用ポリエチレン管                  | PTC K 03     | 50～200           |                |
|                     | 水道配水用ポリエチレン管                  | PWA 001      | 50～200           |                |
|                     | 水道配水用ポリエチレン管継手                | JWWA K 145   | 50～150           |                |
|                     | 水道配水用ポリエチレン管継手                | PTC K 13     | 50～200           |                |
|                     | 水道配水用ポリエチレン管継手                | PWA 002      | 50～200           |                |
|                     | 水道配水用ポリエチレン管メカニカル継手           | PTC G 30     | 50～200           |                |
|                     | 水道配水用ポリエチレン管不断水分岐 T 字管        | PTC G 31     | 75～150           |                |
|                     | 水道配水用ポリエチレン挿し口付ダクタイル鋳鉄異形管     | PTC G 32     | 50～200           |                |
|                     | 水道配水用ポリエチレン管金属継手 (ISO 変換継手)   | PTC B 21     | 20～50            |                |
|                     | ステンレス鋼管                       | 一般配管用ステンレス鋼管 | JIS G 3448       |                |
| 配管用ステンレス鋼管          |                               | JIS G 3459   | 6～ 300           |                |
| 配管用溶接大径ステンレス鋼管      |                               | JIS G 3468   | 150～1,000        |                |
| 水道用ステンレス鋼管          |                               | JWWA G 115   | 13～ 50           |                |
| 水道用ステンレス鋼管継手        |                               | JWWA G 116   | 13～ 50           |                |
| 水道用波状ステンレス鋼管        |                               | JWWA G 119   | 13～ 50           |                |
| その他                 | 水道用ゴム                         | JIS K 6353   |                  |                |
|                     | 水道用ダクタイル鋳鉄管モルタルライニング          | JWWA A 113   |                  |                |
|                     | 水道用液状エポキシ樹脂塗料塗装方法             | JWWA K 135   |                  |                |
|                     | 水道用ダクタイル鋳鉄管合成樹脂塗料             | JWWA K 139   |                  |                |
|                     | 水道施設用ゴム材料                     | JWWA K 156   |                  |                |
|                     | 水道無溶剤形エポキシ樹脂塗料塗装方法            | JWWA K 157   |                  |                |
|                     | 水道用ダクタイル鋳鉄管用ポリエチレンスリーブ        | JWWA K 158   |                  |                |
|                     | ダクタイル鋳鉄管モルタルライニング             | JIS A 5314   |                  |                |
|                     | ダクタイル鋳鉄管内面エポキシ樹脂粉体塗装          | JIS G 5528   |                  |                |
|                     | 水道用ダクタイル鋳鉄管内面エポキシ樹脂粉体塗装       | JWWA G 112   |                  |                |
|                     | ダクタイル鋳鉄管外面特殊塗装                | JDPA Z 2009  |                  |                |
|                     | 水管橋外面防食基準                     | WSP 009      |                  |                |
|                     | 水道用塗覆装鋼管ジョイントコート              | WSP 012      |                  |                |
|                     | 水道用タールエポキシ樹脂塗料塗装方法            | JWWA K 115   |                  |                |
|                     | 水道用鋼管現地モルタルライニング              | WSP 001      |                  |                |
|                     | 水道用ポリウレタン被覆方法                 | JWWA K 151   |                  |                |
|                     | 水道用ポリエチレン被覆方法                 | JWWA K 152   |                  |                |
|                     | 水道用ジョイントコート                   | JWWA K 153   |                  |                |
|                     | 水輸送用塗覆装工管-第3部: 外面プラスチック被覆     | JIS G 3443-3 |                  |                |
|                     | 水輸送用塗覆装工管-第4部: 内面エポキシ樹脂塗装     | JIS G 3443-4 |                  |                |
| 水道用無溶剤形エポキシ樹脂塗料塗装方法 | WSP 072                       |              |                  |                |

注) JWWA: 日本水道協会規格、JIS: 日本工業規格、JDPA: 日本ダクタイル鉄管協会規格、WSP: 日本水道鋼管協会規格、AS: 塩化ビニル管・継手協会規格、PTC: 水道用ポリエチレンパイプシステム研究会規格、PWA: 配水用ポリエチレン管協会規格



## 2.2.2 管種選定

管種は、次の事項を基本として選定する。

- (1) 管の材質により、水が汚染されるおそれがないもの。

管は、材質に起因して、浄水が汚染するおそれのないもので、「水道施設の技術的基準を定める省令」に示された「浸出基準」を満たすとともに、安全性が確認されたものを選定のうえ使用する。

- (2) 内圧及び外圧に対して安全であるもの。

管は、内圧及び外圧に耐える強度をもつものでなければならない。内圧は、実際に使用する管路の最大静水圧と水撃圧を考慮する。水撃圧については、「2.5 水撃圧」を参照のこと。

外圧は、土圧、路面荷重を考慮する。

- (3) 埋設条件に適合しているもの。

埋設場所の諸条件、すなわち、土質状態、地下水の状況、他の地下埋設物の有無及び路面荷重等を考慮して、最適の管種を選定する。

腐食性の強い土質や地下水が予想される場所では、腐食に強い管種を選ぶ。有機溶剤の影響などがある場所では、硬質ポリ塩化ビニル管及び水道配水用ポリエチレン管の使用は避けなければならない。

- (4) 埋設環境に適合した施工性を有するもの。

管種によって継手の構造が異なり、これが施工の難易を支配する大きな要素になることから、他の地下埋設物が輻輳している場合や早期に埋戻しが要求されるような場合には、その継手構造に対する施工性も考えて管種を選ぶ。また、埋設環境によっては、可撓性のある伸縮継手管等を考慮に入れる必要がある。

なお、管種の選定に当たっては、災害時などの緊急的な補修・保全への対応を考慮して、JWWA（日本水道協会規格）等の規格に準拠し、市場性の高い管種を使用することが望ましい。

## 2.3 配管方法

営農飲雑用水施設の配水管路の配管に当たっては、配水区域の地形条件、集落形態や経済性、維持管理の考え方にも配慮し、適切な配管方法を選択する。

- (1) 配水管路の配管には、大別して①樹枝状配管、②管網配管の2つがある。これらの配管方法にはそれぞれメリット及びデメリットがある。

表-2.3.1 配管方式の概要とメリット、デメリット

| 方式区分  | 配管方式の概要   | メリット   | デメリット                                   |
|-------|---|--|---|
| 樹枝状配管 | 流路が幹線、支線及び派線と順次分岐し、水は上流から下流に向かって一定方向に流れる方式                    | 管路全体としては管網配管に比較して管路延長が短くてすむため、コスト面で有利                      | 管路の一部が遮断されると、その地点から下流の全ての地点で給水が全面的に停止する |
| 管網配管  | 分岐点が網目状に連結していて、使用給水栓の位置及び制御バルブの開閉等の関係により、管内の水は正逆いずれの方向にも流れる方式 | 管網の一部が事故等によって遮断されても、他の管路を通して給水することが可能であるため、安定した水量、水圧の確保に有効 | 管路の末端が連通されている必要があるため、管路延長が長くなる傾向がある     |

- (2) 配水管路については、「水道施設設計指針」において、単純な樹枝状配管とせずに可能な限り連絡された管網を形成することが奨励されている。しかし北海道の営農飲雑用水施設においては中山間地域が給水地域となることが多く、給水管路末端が集落の周縁部に至っているため、各給水管路末端部の接続には困難がある場合が多い。このような事情により、現在までに整備された営農飲雑用水施設の多くが、樹枝状配管を採用している。したがって、営農飲雑用水施設においては、布設する地域の地形や集落の形態等をふまえて、施設管理者（市町村等）と十分協議を行ったうえで配管方式を決定する。

## 2.4 管路の水理設計

管路の水圧及び流速を調整し、管径を決定するため、定常状態における水理設計を行う。管路の水理設計に当たっては、管の設計内圧の範囲内で、末端余裕水頭、許容流速を満足するよう、管径を調整する。

### 2.4.1 管路の水圧

- (1) 管路の水圧は、常に正圧となるようにする。
- (2) 管路の始点水位は低水位とする。導水・送水管の終点水位は、計画水位とする。
- (3) 配水支管から給水管に分岐後、用水利用地点（末端家屋・畜舎等に隣接した工事限界部）の土中における給水管内の最小動水圧は、原則として0.15MPa以上を確保する。
- (4) 配水管から給水管に分岐する箇所での配水管内の最大静水圧は、0.74MPaを超えないこと。
- (5) ポンプ圧送の場合には、ポンプ揚程と管径との間の経済的関係を考慮する。

### 2.4.2 管径の決定

管径の算定は、各区間の時間最大給水量に基づいて水理計算を行い、最小動水圧が2.4.1に示す計画最小動水圧を下回らない管径を求める。防火用水を見込んでいる場合には、最初に防火用水を除いて管径を決定し、次に防火用水を加えて最小動水圧が正圧を保っていることを確認する。

管径を決めるに当たっては、配水区域内の動水圧の分布ができるだけ均等になるように計画することが基本であるが、土地の高低の多いところでは、地盤の標高を入念に調査し、計画最小動水圧を下回らないように注意する。また、管内の水質劣化等、維持管理面から管内流速にも配慮する必要がある。

### 2.4.3 平均流速公式

管路の損失水頭の計算に当たっては、摩擦損失を始め、曲管部その他の損失を考慮する。ただし、曲管その他の異形管が少ない場合には、これらの損失を無視して計算して差し支えない。

管路の代表的な平均流速公式としては、下に示すヘーゼン・ウィリアムズ (Hazen・Williams) 公式があり、導水管、送水管及び配水管の損失水頭は原則として同公式により求めるものとする。

$$H = 10.666 \cdot C^{-1.85} \cdot D^{-4.87} \cdot Q^{1.85} \cdot L$$

$$V = 0.355 \cdot C \cdot D^{0.63} \cdot I^{0.54}$$

ここに、

$H$  : 摩擦損失水頭(m)

$C$  : 流速係数

$D$  : 管内径(m)

$Q$  : 流量(m<sup>3</sup>/s)

$L$  : 延長(m)

$V$  : 流速(m/s)

流速係数Cは、屈曲部損失などを含んだ管路全体の値として、次表の値を用いる。ただし、場内配管等で管路延長に対して屈曲部や分岐の数が多くなる場合等、屈曲部等の損失を別途積上げて管路損失を計算する場合には、直線部のみの流速係数Cは130としてよい。

表-2.4.1 設計時のヘーゼン・ウィリアムズ公式の流速係数 C の値

| 管 種           | 流速係数 C の値 |
|---------------|-----------|
| モルタルライニング 鋳鉄管 | 110       |
| 塗 覆 装 鋼 管     | 110       |
| 硬質ポリ塩化ビニル管    | 110       |
| 水道配水用ポリエチレン管  | 110       |
| ステンレス鋼管       | 110       |

#### 2.4.4 許容流速

導水管及び送水管の許容流速は、以下のとおりとする。配水管の許容流速は「水道施設設計指針」に規定されていないが、以下の制限を準用する。

(1) 自然流下系の場合は、許容最大限度を 3.0m/s 程度とする。

自然流下系の場合は、与えられた始点、終点間の落差を最大限度に利用して、流速をできるだけ大きくした方が管径が小さくなるが、流速が大きくなると、バルブ操作時の急激な流量変動により圧力が不安定になったり、管内面の摩擦等が生じるので、ダクタイル鋳鉄管、鋼管、硬質塩化ビニル管とも既往の実績を参考として許容最大限度を 3.0m/s 程度とした。

(2) ポンプ圧送系の場合は、経済的な流速とする。

ポンプ圧送系の場合は、経済的な管径に対する流速とすることが望ましい。

## 2.5 水撃圧

管路の設計水圧を検討する際には、静水圧のほかに水撃圧を考慮する。

### 2.5.1 水撃圧の推定方法

営農飲雑用水管路における水撃圧の推定方法は、以下の2つによる。

- ① 経験的な値による推定
- ② 計算による推定

自然流下系の管路における水撃圧は、コンピュータによる数値解析等の計算によって求めることもできるが、複雑な樹枝状配管や管網配管においては管の閉塞時間等の係数を得ることが非常に困難であるため、一般には経験的に得られた目安の数値を用いて水撃圧の値としていることが多い。水撃圧の経験的な数値としては、管種別に下表の値を用いてよい。

表-2.5.1 自然流下系における水撃圧の目安

| 管 種                           | 水撃圧 (MPa) |
|-------------------------------|-----------|
| ダクタイル 鋳鉄管<br>鋼 管<br>ステンレス 鋼 管 | 0.55      |
| 硬質ポリ塩化ビニル管<br>水道配水用ポリエチレン管    | 0.25      |

上表の目安の数値を用いる場合、静水圧の値に関わらず、水撃圧の値は固定値として扱うものとする。

### 2.5.2 ポンプ圧送系の水撃作用

ポンプ圧送系においては、停電等によるポンプの急停止が原因となって自然流下系とは異なった水撃圧の挙動を示す。複雑な配水管路での水撃圧の推定は、自然流下系と同様に困難であるが、分岐を伴わない導水路及び送水路については、ポンプ圧送系における水撃圧と、水撃圧の反作用である負圧の発生を簡易に推定する方法が確立されている。

### 2.5.3 ポンプ圧送系の水撃圧の算定

単純な管路系における簡易な水撃圧予測方法として、簡易計算図表（パーマキアンの線図）による方法を以下に示す。

- (1) 表-2.5.2 の計算手順にしたがって、与えられた条件から慣性効果等の数値を算出する。
- (2) 管路縦断図を作成する。
- (3) 管路損失とポンプ規定全揚程の比率  $\left[ \left( \frac{H_l}{H_n} \right) \times 100\% \right]$  から、配管損失図（図-2.5.2～2.5.4）のうち 0%、30%、60% のいずれか近い図を選ぶ。
- (4) この図表上で、 $K \cdot \mu$  値と管路定数  $(2\rho)$  曲線との交点から縦軸の  $H(\%)$  を読み取って、ポンプ

直後及び 1/2L 地点、3/4L 地点の H(%) を得る。

(5) それぞれの H(%) にポンプ規定全揚程  $H_n$  を乗じて、ポンプ直後及び 1/2L 地点、3/4L 地点の最低圧力を計算する。

$$\text{最低圧力} = \frac{H(\%)}{100} \times H_n \quad (\text{m})$$

(6) 前項で求めたポンプ直後及び管路途中地点の圧力低下の値を管路縦断図に記入する。

(7) 各最低圧力の値と最高吐出し水位の間を曲線で結ぶと、管路の最低圧力勾配線図を作成することができる。

(8) 最高圧力勾配線図は、最低圧力勾配線図を最高吐出し水位を中心に対称に描くことにより作成することができる。

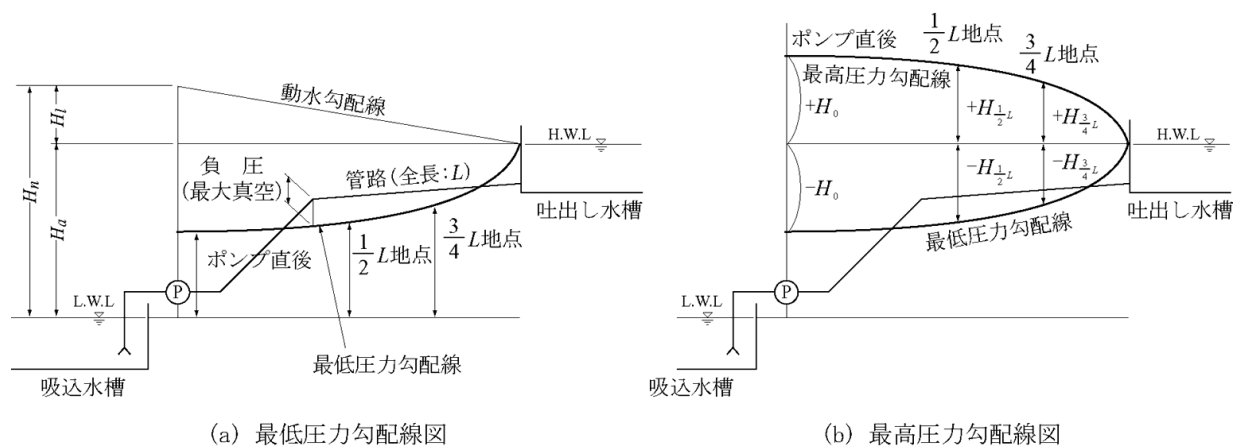


図-2.5.1 圧力勾配線図の例

以上により作成した最低圧力勾配線図において、最低圧力線が管路縦断線よりも 10m 以上低い位置 (負圧) になると、水柱分離が生じて管路が破損するおそれがある。また計算上の誤差等も勘案して、この負圧が 5~7m 程度に収まるよう、水撃圧対策を講じるものとする。

#### 2.5.4 水撃圧対策

ポンプ圧送系において水撃圧によって負圧の発生や管路破損のおそれがある場合には、次のような対策を施すものとする。

##### (1) 負圧対策の方法

- ① ポンプにフライホイールをつける。
- ② 吐き出し側管路にサージタンク (コンベンショナルサージタンク) を設ける。
- ③ 吐き出し側管路にワンウェイサージタンクを設ける。
- ④ 圧力水槽 (エアチャンバ) を設ける。

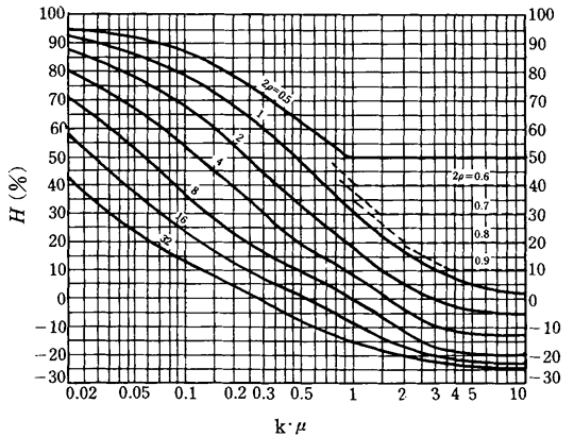
##### (2) 圧力上昇対策の方法

- ① 緩閉式逆止弁を用いる。
- ② コーン弁又はニードル弁を用いる。

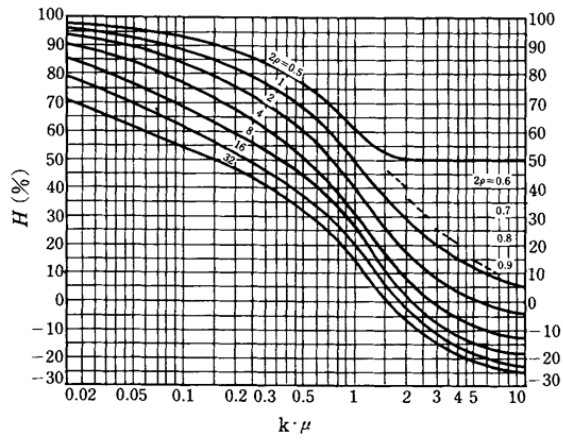
表-2.5.2 パーマキアン線図による水撃圧予測の計算手順

| No.  | 記号            | 計 算 項 目  | 計 算 式  | 備 考             |
|------|---------------|--|--|-----------------|
| (1)  | $N$           | ポンプ台数  |  |                 |
| (2)  | $Q_n$         | ポンプ規定吐出し量  | $\text{m}^3/\text{s}$  |                 |
| (3)  | $H_n$         | ポンプ規定全揚程   | $\text{m}$   |                 |
| (4)  | $N_n$         | ポンプ定格回転速度  | $\text{rpm}$   |                 |
| (5)  | $\eta_n$      | ポンプ効率  |  |                 |
| (6)  | $\gamma$      | 水の比重   |  |                 |
| (7)  | $P$           | 電動機定格出力  | $\text{kW}$  |                 |
| (8)  | $(GD^2)_2$    | 電動機の慣性効果   | 図-2.5.5~6 より求める $\text{N} \cdot \text{m}^2$                                      |                 |
| (9)  | $(GD^2)_1$    | ポンプの慣性効果   | 約 $(GD^2)_2 \times 0.1$ $\text{N} \cdot \text{m}^2$                              | (8)             |
| (10) | $(GD^2)_3$    | ポンプのフライホイール効果<br>(付随する場合のみ)  | $G \cdot \frac{D_f^2}{2}$ $\text{N} \cdot \text{m}^2$                            |                 |
|      |               | $G = \text{フライホイールの自重}$<br>$= \frac{\pi}{4} D_f^2 \cdot B \cdot \gamma_f$<br>$D_f$ : フライホイールの外径 (m) $B$ : フライホイールの幅 (m)<br>$\gamma_f$ : 比重量 (=76440N/m <sup>3</sup> )  | $\text{N}$   |                 |
| (11) | $(GD^2)$      | 回転部分の全慣性効果   | $(GD^2)_1 + (GD^2)_2 + (GD^2)_3$ $\text{N} \cdot \text{m}^2$                     | (8) (9) (10)    |
| (12) | $P_n$         | ポンプ軸動力   | $\frac{9.8\gamma \cdot Q_n \cdot H_n}{\eta_n}$ $\text{kW}$                       | (2) (3) (5) (6) |
| (13) | $M_n$         | ポンプのトルク  | $\frac{9545.2P_n}{N_n}$ $\text{N} \cdot \text{m}^2$                              | (4) (12)        |
| (14) | $K$           | ポンプの慣性係数   | $\frac{375M_n}{(GD^2) \cdot N_n}$  | (4) (11) (12)   |
| (15) | $Q$           | 管路規定流量   | $N \cdot Q_n$ $\text{m}^3/\text{s}$  | (1) (2)         |
| (16) | $D$           | 管路内径   | $\text{m}$   |                 |
| (17) | $L$           | 管路長さ   | $\text{m}$   |                 |
| (18) | $V_n$         | 管路規定流速   | $\frac{Q}{\frac{\pi}{4} \cdot D^2}$ $\text{m}/\text{s}$                          | (15) (16)       |
| (19) | $\alpha$      | 圧力波伝播速度  | $\frac{1425}{\sqrt{1 + \frac{\kappa}{E} \cdot \frac{D}{t}}}$ $\text{m}/\text{s}$ |                 |
|      |               | $\kappa$ (水の体積弾性率) = $2.07 \times 10^9 \text{kg} \cdot \text{m}^2$ $D$ (管内径) $\text{m}$<br>$E$ (管材料の縦弾性係数) $t$ (管厚) $\text{m}$<br>鋼 管: $2.1 \times 10^{10}$<br>ダクタイル鋳鉄管: $1.6 \times 10^{10}$<br>鋳 鉄 管: $1.0 \times 10^{10}$ 塩化ビニル管: $0.03 \times 10^{10}$ |  |                 |
| (20) | $2\rho$       | 管路定数   | $\frac{\alpha}{9.8} \cdot \frac{V_n}{H_n}$                                       | (3) (18) (19)   |
| (21) | $\mu$         | 圧力波往復時間  | $\frac{2L}{\alpha}$ $\text{s}$   | (17) (19)       |
| (22) | $K \cdot \mu$ | パーマキアンの係数  | $K \cdot \mu$  | (14) (21)       |
| (23) | $H_l$         | 管路損失   | 別途計算 $\text{m}$  |                 |
| (24) |               | 管路損失とポンプ規定揚程の比率 (%)  | $\frac{H_l}{H_n} \times 100$ %   |                 |

(1) ポンプ直後の最低圧力



(2)  $\frac{1}{2}$ L点の最低圧力



(3)  $\frac{3}{4}$ L点の最低圧力

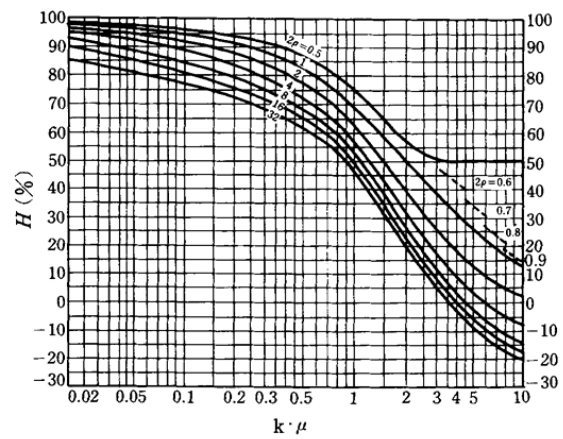
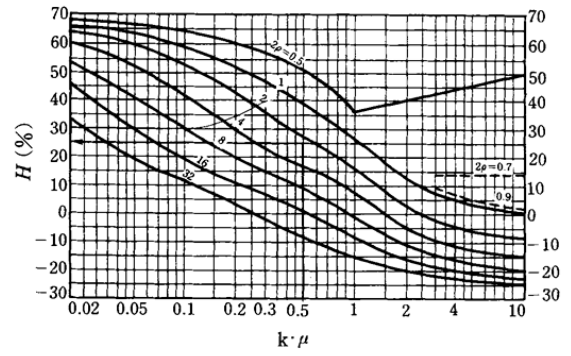
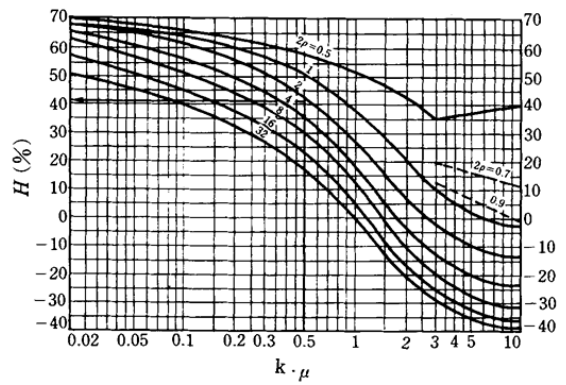


図-2.5.2 配管損失図0%の場合

(1) ポンプ直後の最低圧力



(2)  $\frac{1}{2}$ L点の最低圧力



(3)  $\frac{3}{4}$ L点の最低圧力

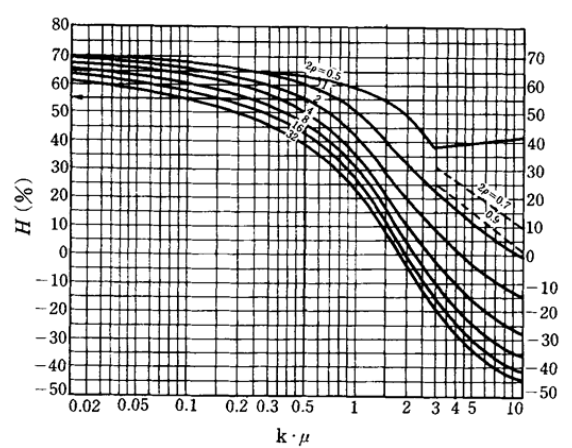
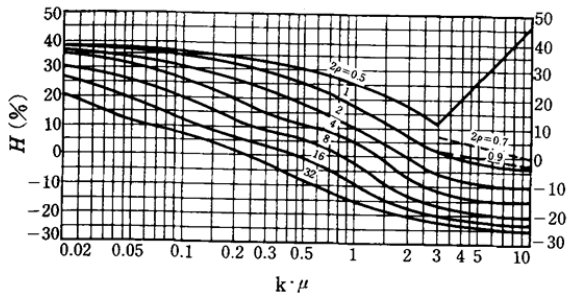


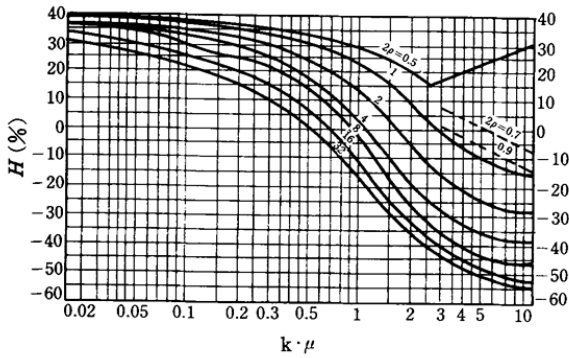
図-2.5.3 配管損失図30%の場合



(1) ポンプ直後の最低圧力



(2)  $\frac{1}{2}$ L点の最低圧力



(3)  $\frac{3}{4}$ L点の最低圧力

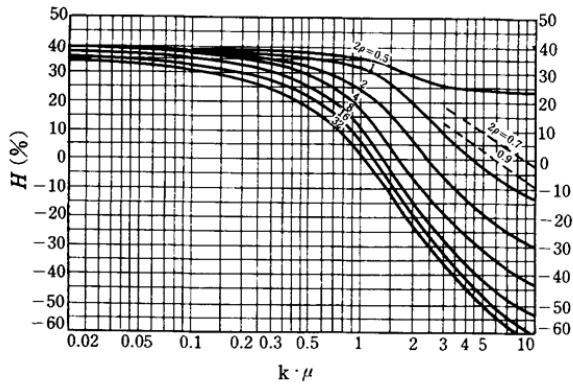


図-2.5.4 配管損失図 60%の場合

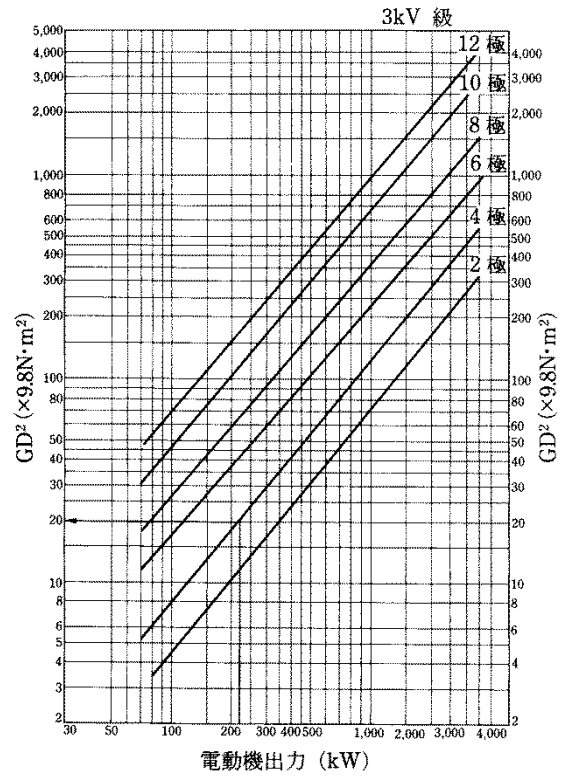


図-2.5.5 巻線形電動機出力-GD<sup>2</sup>線図

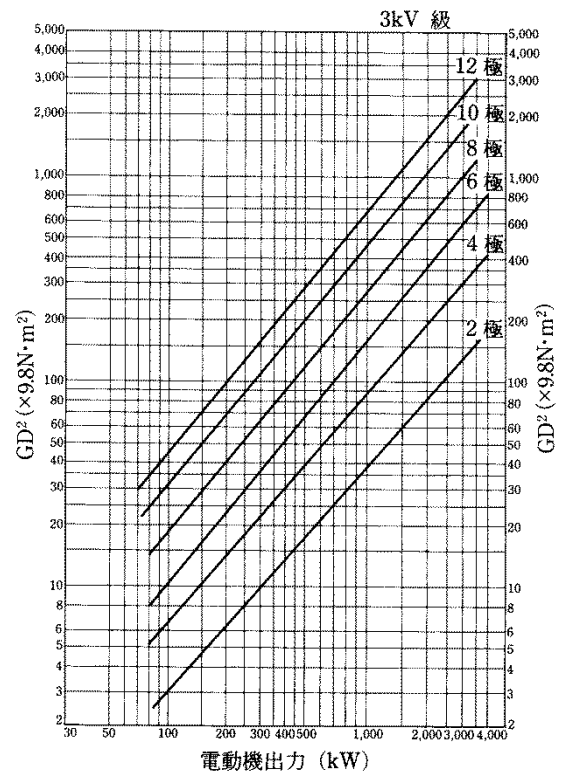


図-2.5.6 かご形電動機出力-GD<sup>2</sup>線図

## 2.6 管路の構造設計

管路は、内圧及び外圧に対して安全であることが確認されるよう、適切な管厚（種別）のものを選択する。また、冬期の凍結の影響を受けないよう、十分な埋設深を確保する。

### 2.6.1 埋設深

(1) 公道に管を布設する場合は、道路法及び関係法令によるとともに、道路管理者との協議による。

営農飲雑用水管路は、維持管理の容易性に配慮し、原則として道路（公道）に布設する。管路の布設位置は、給水管分岐の都合上、なるべく道路の片側寄りに布設するものとする。

埋設物の位置と深さについては、道路管理者との協議により定める。道路法施行令では、土かぶりの標準は120cmと規定されているため、管の埋設深は原則として120cm以上とする。

なお、水管橋取付部の堤防横断箇所や他の埋設物との交差の関係等で土かぶりを標準値までとれない場合は、道路管理者あるいは河川管理者との協議のうえ、土かぶりを60cmまで減少することができる。

(2) 管を他の埋設物と交差又は近接して布設する時は、少なくとも30cm以上の間隔を保つこと。

営農飲雑用水管路と他の地下埋設物との間に間隔がないと、維持補修が困難であり、事故発生の防止のため、布設する際の間隔の最小距離を30cmとする。

(3) 管の埋設深さは、凍結深度よりも深くする。

管内水の凍結による断水や管の破裂被害を防止するため、管の埋設深さは、布設する地域の凍結深度よりも深くする。

凍結深度は、各市町村において定められている水道施設の凍結深度によることを原則とする。市街地から離れていて気象条件が大きく異なっている等の理由により、市町村が定める凍結深度によりがたい場合については、以下の方法により凍結深度を算定する。

凍結深度を算定により求める場合、推定する凍結深度は概ね10年確率凍結深に相当する深さとし、積雪による断熱の影響は考慮しないものとする。

凍結深度は、次の式によって算出する。

$$Z = C\sqrt{F}$$

ここに、

$Z$  : 凍結深 (cm)

$C$  : 係数 (表-2.6.1 参照)

$F$  : 凍結指数 (°C・日)

凍結指数は、日平均気温が零下となった日の平均気温を積算した数値の絶対値をとったもので、秋口から初春にかけて積算気温をとった場合の最大値と最小値の差に相当する(図-2.6.1 参照)。

各年の凍結指数を算出し、少なくとも10年以上のデータをもとに10年確率凍結指数を推定する。推定の方法は岩井法や対数正規分布による方法などいくつかあるが、「舗装設計便覧」((社)日本道路協会)に示されている方法が適応性が広い。

1984年から2017年までの気象データを用いて道内各地の10年確率凍結指数及び凍結深を算出

した結果を表-2.6.2 に示す。

表-2.6.1 凍結深のための係数 C

| F | 100 | 200 | 300 | 400 | 500 | 600 | 700 | 800 | 900 | 1000 | 1100 |
|---|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|------|
| C | 3.7 | 4.1 | 4.4 | 4.6 | 4.7 | 4.8 | 4.9 | 5.0 | 5.0 | 5.1  | 5.2  |

注) 例 F が 501~600 の時、C の値は 4.8 とする。

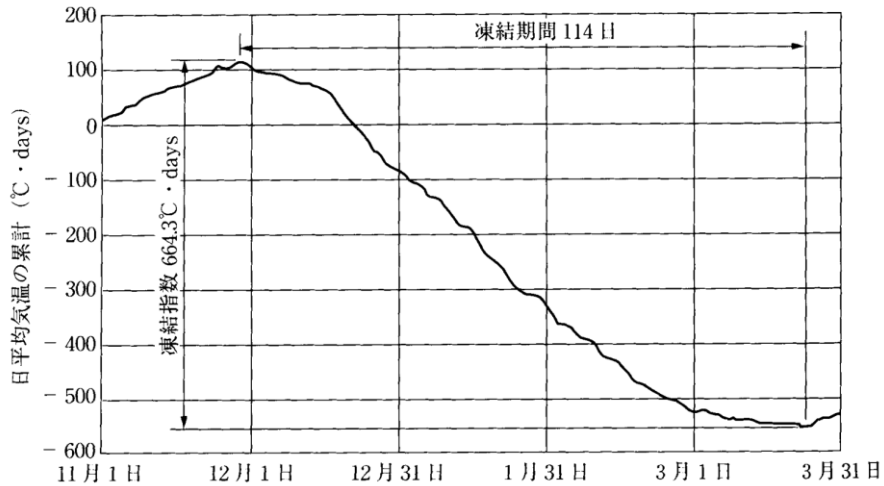


図-2.6.1 凍結指数

やむを得ず凍結深度が確保できない深さに管を布設する場合には、断熱マット等により適切な措置を講じるものとする。断熱マットを用いる際の凍結深の算出は、「道路土工要綱」（平成 21 年版、日本道路協会）「資料-10 多層系地盤の凍結深さの計算」を参考に行う。

また、道路の路肩等に管を布設する場合は、表面（法面）からの鉛直深度が所定の凍結深度を満足するよう埋設深を決定するものとする。

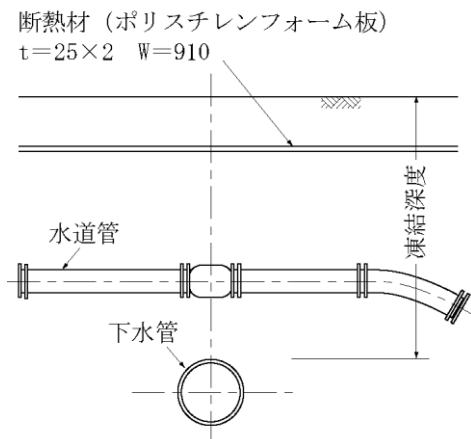


図-2.6.2 断熱マット設置例

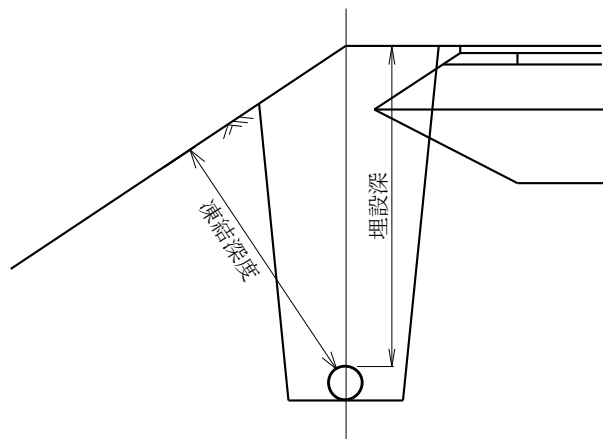


図-2.6.2.1 凍結深度

表-2.6.2 道内各地の10年確率凍結指数(°C・日)及び凍結深(cm)

| 振興局名 | 観測所名   | 10年確率凍結指数 | 凍結深 | 振興局名    | 観測所名  | 10年確率凍結指数 | 凍結深   |     |
|------|--------|-----------|-----|---------|-------|-----------|-------|-----|
| 渡島   | 函館     | 335       | 84  | 留萌      | 初山別   | 545       | 112   |     |
|      | 八雲     | 415       | 96  |         | 宗谷    | 稚内        | 544   | 112 |
|      | 森      | 417       | 96  |         |       | 北見枝幸      | 690   | 129 |
|      | 長万部    | 497       | 105 |         |       | 浜鬼志別      | 760   | 138 |
|      | 八雲(熊石) | 291       | 75  |         |       | 沼川        | 857   | 146 |
| 檜山   | 江差     | 284       | 74  | 豊富      |       | 742       | 136   |     |
|      | 鞆      | 436       | 98  | 中頓別     | 1,041 | 168       |       |     |
|      | 今金     | 433       | 98  | 歌登      | 1,003 | 165       |       |     |
| 胆振   | 室蘭     | 275       | 73  | 日高      | 浦河    | 307       | 81    |     |
|      | 苫小牧    | 425       | 97  |         | 日高    | 877       | 148   |     |
|      | 大岸     | 491       | 104 |         | 静内    | 417       | 96    |     |
|      | 登別     | 494       | 104 |         | 中杵白   | 718       | 134   |     |
|      | 大滝     | 870       | 147 |         | 十勝    | 帯広        | 743   | 136 |
|      | 白老     | 467       | 102 |         |       | 広尾        | 485   | 104 |
|      | 穂別     | 931       | 156 |         |       | 陸別        | 1,233 | 183 |
| 後志   | 寿都     | 315       | 82  | ぬかびら源泉郷 |       | 1,222     | 182   |     |
|      | 倶知安    | 648       | 125 | 上士幌     |       | 877       | 148   |     |
|      | 小樽     | 385       | 90  | 新得      |       | 694       | 129   |     |
|      | 黒松内    | 512       | 109 | 本別      |       | 928       | 155   |     |
|      | 蘭越     | 506       | 108 | 芽室      | 906   | 154       |       |     |
|      | 喜茂別    | 860       | 147 | 浦幌      | 758   | 138       |       |     |
|      | 余市     | 465       | 101 | 上札内     | 946   | 157       |       |     |
| 石狩   | 札幌     | 397       | 92  | オホーツク   | 大樹    | 954       | 158   |     |
|      | 石狩     | 533       | 111 |         | 雄武    | 749       | 137   |     |
|      | 厚田     | 454       | 100 |         | 紋別    | 653       | 125   |     |
|      | 新篠津    | 710       | 133 |         | 網走    | 650       | 125   |     |
|      | 恵庭島松   | 717       | 134 |         | 西興部   | 914       | 154   |     |
| 空知   | 岩見沢    | 607       | 121 | 滝上      | 967   | 159       |       |     |
|      | 深川     | 839       | 145 | 遠軽      | 934   | 156       |       |     |
|      | 滝川     | 797       | 141 | 佐呂間     | 1,042 | 168       |       |     |
|      | 芦別     | 733       | 135 | 白滝      | 1,018 | 166       |       |     |
|      | 美唄     | 752       | 137 | 留辺蘂     | 1,113 | 173       |       |     |
|      | 夕張     | 785       | 140 | 北見      | 940   | 156       |       |     |
| 上川   | 旭川     | 800       | 141 | 津別      | 1,019 | 166       |       |     |
|      | 音威子府   | 970       | 159 | 斜里      | 836   | 145       |       |     |
|      | 美深     | 1,028     | 167 | 宇登呂     | 692   | 129       |       |     |
|      | 名寄     | 1,041     | 168 | 釧路      | 釧路    | 559       | 113   |     |
|      | 下川     | 1,041     | 168 |         | 白糠    | 725       | 135   |     |
|      | 和寒     | 967       | 159 |         | 中徹別   | 900       | 150   |     |
|      | 上川     | 984       | 160 |         | 阿寒湖畔  | 1,194     | 180   |     |
|      | 美瑛     | 1,024     | 166 |         | 川湯    | 1,107     | 173   |     |
|      | 富良野    | 972       | 159 |         | 標茶    | 909       | 154   |     |
|      | 幾寅     | 986       | 160 |         | 鶴居    | 830       | 144   |     |
|      | 占冠     | 1,163     | 177 | 太田      | 674   | 127       |       |     |
|      | 朱鞠内    | 1,080     | 171 | 根室      | 根室    | 460       | 101   |     |
|      | 幌加内    | 985       | 160 |         | 厚床    | 716       | 134   |     |
| 留萌   | 留萌     | 489       | 104 |         | 別海    | 803       | 142   |     |
|      | 羽幌     | 513       | 109 |         | 中標津   | 805       | 142   |     |
|      | 天塩     | 668       | 127 | 羅臼      | 608   | 121       |       |     |
|      | 幌糠     | 769       | 139 |         |       |           |       |     |

※ 1984年～2017年までの34年間についての気象官署及びアメダスにより得られた気象データをもとにして作成した。

## 2.6.2 基礎及び埋戻し土

### (1) 基礎

管の基礎は、地盤の状態、荷重条件及び使用管種の特徴を考慮して設計する。

管の基礎部分は、礫等によって点支持となって過大な応力が発生しないよう、砂又は良質土によって平滑な状態に保たれていなければならない。また、埋戻し部の土圧や活荷重を基礎の支承部（支持部）全体で受け止めるため、十分に締固めを行う。

礫を含まない良質な地盤においては、掘削後の平底溝の状態ですでに十分な基礎となっているとみなす。ダクタイル鋳鉄管以外の管路において、基礎の土質が礫質土及び岩盤の場合及び近傍実績により必要と判断される場合には、施設管理者との協議を踏まえて、掘削溝底に 0.10m 以上の砂又は良質土によって基礎を設ける。

管の構造計算における管底の支持角は、下表の値を目安としてよい。ただし表中の区分 B は、ダクタイル鋳鉄管のみ適用する。また、鋼管及びステンレス鋼管については、下表の値に関わらず管底の支持角を 90° とする。

表-2.6.3 管底の支持角

| 区分 | 埋設条件                   | 支持角 |
|----|------------------------|-----|
| A  | 一般的な地盤の場合              | 60° |
|    | 溝底が強固な場合で溝底に砂を置く場合     |     |
|    | 溝底が強固な場合で埋戻し土を砂で置換える場合 |     |
| B  | 溝底が強固な場合               | 40° |

注) 鋼管及びステンレス鋼管の支持角は 90° とする。

管底の支持角不足により管材の許容応力度やたわみ率を満足しない場合、管底の支持角を大きくとることを検討する。その場合、砂又は良質土によって基礎部分を置き換えるとともに、十分な締固めを行う。

### (2) 埋戻し土

管を埋設する際の締固めが適切に行えるよう埋戻し土を選定する。

埋戻し土は、現地発生土を利用することを基本とする。ダクタイル鋳鉄管以外の管路で、現地発生土が礫質土（最大粒径 20mm を目安とする）等の不良土である場合には、点支持による過大な応力の発生を防ぐため、埋戻し土を砂又は良質土によって置き換える。このとき、置き換えの範囲は少なくとも管頂までとする。

### (3) 軟弱地盤

軟弱地盤などに管路を布設する場合は、地盤状態や管路沈下量を検討し、それに適した施工法、管種、継手を用いる。

軟弱地盤では、布設後に管路が不同沈下を生じるおそれがある。そのため、地盤状態に応じて対策工法を施す必要がある。

「水道施設設計指針 2012」に示されている軟弱地盤の対策工法について整理したものを表-2.6.4 に示す。

表-2.6.4 軟弱地盤における対策工法例

| 地盤状態                                   | 対策工法例  |
|--|--|
| 軟弱層が浅い地盤                               | <ul style="list-style-type: none"> <li>管底以下、管径の1/5～1/2程度（最低0.15m）を砂又は良質土に置き換える。</li> </ul>   |
| 軟弱層が深い地盤<br>又は非常に軟弱な地盤<br>（重機械が入れない程度） | <ul style="list-style-type: none"> <li>薬液注入、サンドドレーン工法などによる地盤改良を行う。</li> <li>管径の1/3～1/1程度（最低0.50m）を砂又は良質土に置き換え、管の周囲も砂又は良質土で埋め戻す。</li> </ul> |
| 軟弱層が非常に深く、<br>予想沈下量が大きい地盤              | <ul style="list-style-type: none"> <li>伸縮可とう性が大きく、かつ、離脱防止性能を持った継手（ダクタイル鋳鉄管ではS形、NS形、GX形継手等）を適所に使用することが望ましい。</li> </ul>                      |

参 考

【 予想沈下量と継手の順応性の検討 】

管の布設に伴う沈下量の推定は、次の3種類の式により行うことができる。

$$\delta = \frac{e_0 - e}{1 + e_0} H$$

$$\delta = m_v \cdot \Delta P \cdot H$$

$$\delta = \frac{C_c}{1 + e_0} H \cdot \log \frac{P + \Delta P}{P}$$

$$\Delta P = I_\sigma \cdot \Delta W$$

ここに、

$\delta$  : 圧密沈下量 (m)

$e_0$  : 現地盤の初期間隙比

$e$  : 載荷後の間隙比

$H$  : 圧密される層の厚さ (m)

$m_v$  : 土の体積変化率 (体積圧縮係数) (m<sup>2</sup>/kN) (参考表-2.6.1 参照)

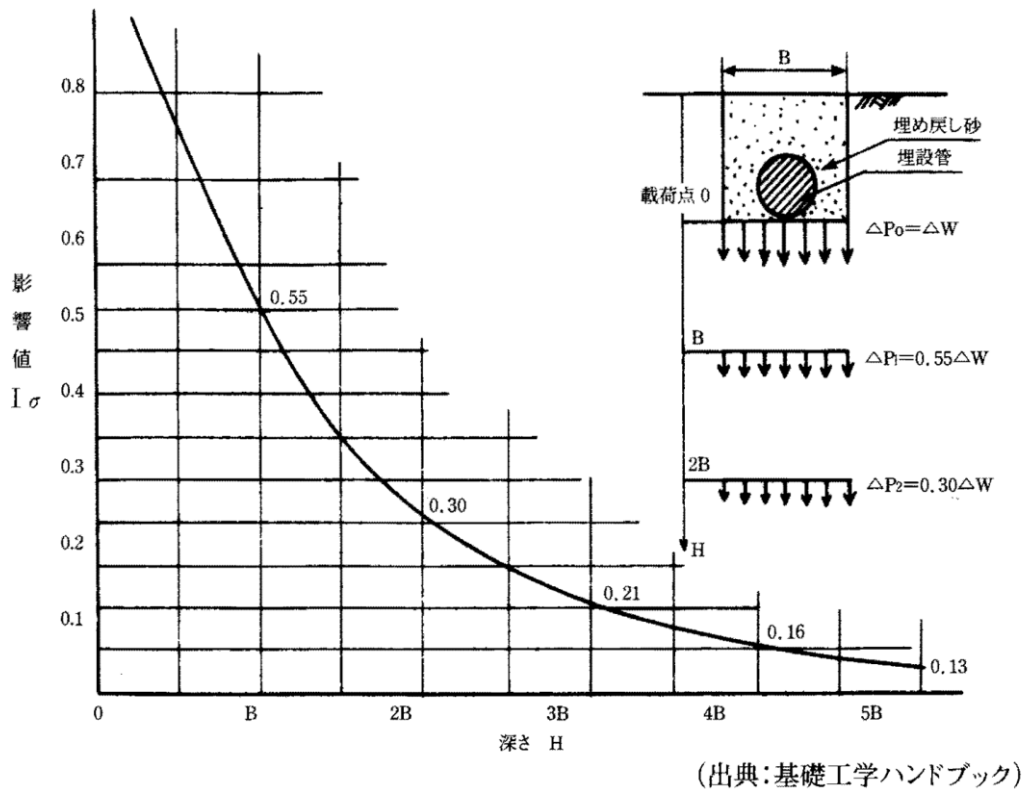
$C_c$  : 土の圧縮指数

$P$  : 原地盤での先行荷重 (kN/m<sup>2</sup>)

$\Delta P$  : 各層での増加荷重 (kN/m<sup>2</sup>)

$I_\sigma$  : 深さによる影響値 (参考図-2.6.1 参照)

$\Delta W$  : 載荷点の増加荷重 (kN/m<sup>2</sup>)



参考図-2.6.1 深さによる影響値  $I\sigma$ 。(「ダクタイル鉄管管路 設計と施工」)

参考表-2.6.1 体積変化率  $m_v$  の値 (例)

| 地盤の種類      | $m_v$ の値 ( $m^2/kN$ )                        |
|------------|--|
| 密な砂        | $2 \times 10^{-5} \sim 5 \times 10^{-5}$     |
| ゆるい砂       | $10 \times 10^{-5} \sim 20 \times 10^{-5}$   |
| 過密粘土       | $5 \times 10^{-5} \sim 8 \times 10^{-5}$     |
| 普通の粘土      | $50 \times 10^{-5} \sim 80 \times 10^{-5}$   |
| 腐植土を含む砂、粘土 | $100 \times 10^{-5} \sim 300 \times 10^{-5}$ |
| 腐植土        | $300 \times 10^{-5} \sim 700 \times 10^{-5}$ |

地盤沈下に対する管路の順応性は、変位吸収量として次式によって計算することができる。

$$\delta = \ell \cdot \left( 2 \tan \theta + 2 \tan 2\theta + 2 \tan 3\theta + \dots + 2 \tan \frac{n-1}{2} \theta + \tan \frac{n+1}{2} \theta \right)$$

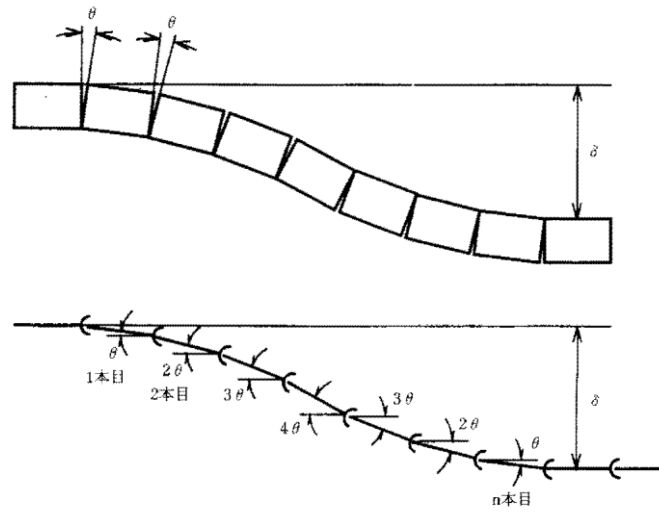
ここに、

$\delta$  : 変位吸収量 (m)

$\sigma$  : 継手の曲げ角度 ( $^\circ$ )

$n$  : 最大変位点までの管本数 (奇数)

$\ell$  : 管長 (m)

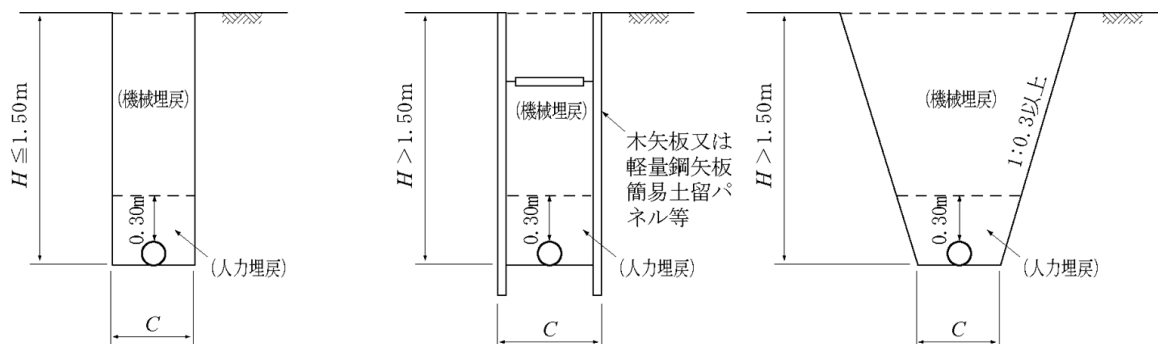


参考図-2.6.2 管路の順応性（「ダクタイル鉄管管路 設計と施工」）



### 2.6.3 掘削断面

(1) 管を埋設する場合の掘削断面は、車道や建物などの支障物がない限り、素掘掘削を基本とする。一般的な土質条件における掘削法面勾配は、「労働安全衛生規則」に示されている値(参考表-2.6.2を参照)を遵守したうえでさらに安全を見込むこととし、掘削深1.5m以下は90°、1.5mを超える場合は土質によって安全な勾配として1:0.3(73°相当)以上の緩い勾配とする。なお、より緩い勾配でなければ安全性が確保できない土質であることが明らかな場合は、土質試験結果等に基づいた安全な掘削勾配とする。



(a)  $H \leq 1.50\text{m}$  の場合

(b)  $H > 1.50\text{m}$  の場合

図-2.6.3 管路の掘削断面

参考表-2.6.2 明かり掘削の法勾配(通常の土質)

| 地山の種類              | 掘削面の高さ(m) | 掘削面のこう配(°) |
|--------------------|-----------|------------|
| 岩盤又は堅い粘土<br>からなる地山 | 5未満       | 90         |
|                    | 5以上       | 75         |
| その他の地山             | 2未満       | 90         |
|                    | 2以上5未満    | 75         |
|                    | 5以上       | 60         |

(「労働安全衛生規則」第356条)

掘削底幅は最小0.60mとする。一般的な施工条件においては、管径別に下表に示す掘削底幅としてよい。木矢板以外の土留工を用いる場合は「水道事業実務必携」により算定する。

表-2.6.5 掘削底幅の標準値C(m)

| 掘削方法<br>管種<br>呼び径 | 素掘掘削 |      |      |      |      |               | 矢板掘削(木矢板) |      |      |      |      |               |
|-------------------|------|------|------|------|------|---------------|-----------|------|------|------|------|---------------|
|                   | VP   | PE   | DCIP |      |      |               | VP        | PE   | DCIP |      |      |               |
|                   |      |      | K形   | T形   | NS形  | GX形、<br>NS形E種 |           |      | K形   | T形   | NS形  | GX形、<br>NS形E種 |
| 50以下              | 0.60 | 0.60 | —    | —    | —    | —             | 1.00      | 1.00 | —    | —    | —    | —             |
| 75                | 0.60 | 0.60 | 0.60 | 0.60 | 0.60 | 0.60          | 1.00      | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00          |
| 100               | 0.60 | 0.60 | 0.65 | 0.60 | 0.65 | 0.60          | 1.00      | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00          |
| 150               | 0.60 | 0.60 | 0.70 | 0.60 | 0.70 | 0.60          | 1.00      | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00          |
| 200               | 0.60 | 0.60 | 0.75 | 0.60 | 0.75 | 0.60          | 1.00      | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00          |
| 250               | 0.60 | —    | 0.80 | 0.60 | 0.80 | 0.65          | 1.00      | —    | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00          |
| 300               | 0.60 | —    | 0.85 | 0.60 | 0.85 | 0.70          | 1.00      | —    | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00          |

(「水道事業実務必携」(全国簡易水道協議会)をもとに算定) ※矢板掘削は、木矢板と木製支保で算定

(2) 管路布設に用いる土留工としては、木矢板、軽量鋼矢板及び簡易土留パネル等がある。土留工を施す場合は、現地への適合性や経済性を考慮して工法を決定する。

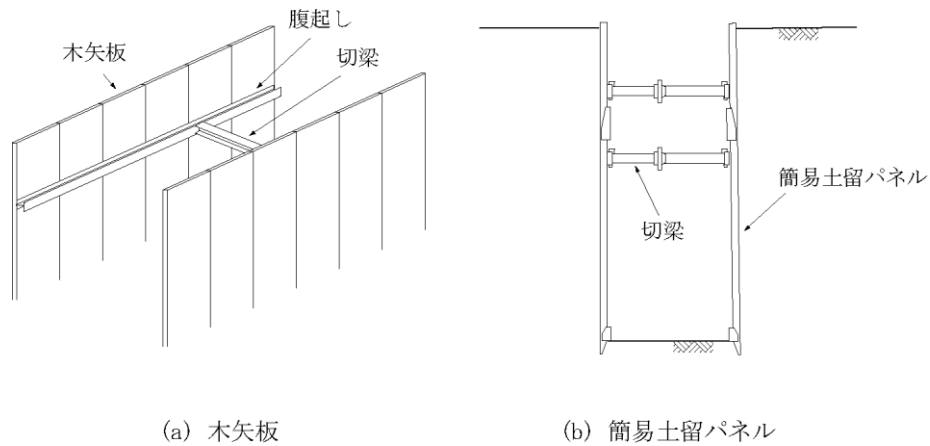


図-2.6.4 土留工施工例

## 2.6.4 管体の構造計算

管体の構造計算は、「水道施設設計指針」に参考として示されている、管種別の構造照査方法に基づいて行う。

水道用硬質ポリ塩化ビニル管及び水道配水用ポリエチレン管については、表-2.6.6 に示すような一般的な土質条件、及び施工条件においては構造計算を省略できるものとする（計算結果を、参考表-2.6.3～2.6.4 に示す）。ダクタイル鋳鉄管については、表-2.6.6 に示すような条件において、表-2.6.7によって管種を選定してよいものとする。

鋼管及び表-2.6.6 に示す土質条件、施工条件以外の硬質ポリ塩化ビニル管等については、「2.6.5 荷重」から「2.6.9 水道配水用ポリエチレン管の管種選定」に示す方法により、構造計算を行って管種を選定する。

表-2.6.6 構造計算を省略できる土質条件及び施工条件

| 管 種  |                              | ダクタイル鋳鉄管              | 水道用硬質ポリ塩化ビニル管 | 水道配水用ポリエチレン管          |
|------|------------------------------|-----------------------|---------------|-----------------------|
| 土質条件 | 土 質                          | —                     | —             | 砂～ローム                 |
|      | 土の単位体積重量(kN/m <sup>3</sup> ) | 18                    | 18            | 18                    |
|      | 土の内部摩擦角(°)                   | —                     | —             | 20～30                 |
|      | 埋戻し土の締固め条件                   | —                     | —             | 突固めなし<br>E' = 0       |
| 施工条件 | 輪荷重条件                        | 245kNトラック<br>2台並行同時通過 | T-25 荷重       | 245kNトラック<br>2台並行同時通過 |
|      | 土かぶり(m)                      | 1.2以上                 | 0.6以上         | 0.6以上                 |
|      | 基礎の支承角(°)                    | 60                    | 60・90・120     | 60・120                |

表-2.6.7 ダクタイル鋳鉄管の管種選定表

| 土かぶりm<br>静水圧 MPa<br>呼び径 | 3.0 |     |     |      |      | 2.4 |     |     |      |      | 2.1 |     |     |      |      |
|-------------------------|-----|-----|-----|------|------|-----|-----|-----|------|------|-----|-----|-----|------|------|
|                         | 2.0 | 1.5 | 1.0 | 0.75 | 0.45 | 2.0 | 1.5 | 1.0 | 0.75 | 0.45 | 2.0 | 1.5 | 1.0 | 0.75 | 0.45 |
| 75~300                  | 3   | 3   | 3   | 3    | 3    | 3   | 3   | 3   | 3    | 3    | 3   | 3   | 3   | 3    | 3    |
| 350                     | 1   | 3   | 3   | 3    | 3    | 1   | 3   | 3   | 3    | 3    | 1   | 3   | 3   | 3    | 3    |
| 400                     | 2   | 3   | 3   | 3    | 3    | 2   | 3   | 3   | 3    | 3    | 2   | 3   | 3   | 3    | 3    |
| 450                     | 2   | 3   | 3   | 3    | 3    | 2   | 3   | 3   | 3    | 3    | 2   | 3   | 3   | 3    | 3    |
| 500                     | 1   | 2,S | 3,S | 3,S  | 3,S  | 1   | 3,S | 3,S | 3,S  | 3,S  | 1   | 3,S | 3,S | 3,S  | 3,S  |
| 600                     | 2,S | 2,S | 4,S | 4,S  | 4,S  | 2,S | 3,S | 4,S | 4,S  | 4,S  | 2,S | 3,S | 4,S | 4,S  | 4,S  |

| 土かぶりm<br>静水圧 MPa<br>呼び径 | 1.8 |     |     |      |      | 1.5 |     |     |      |      | 1.2 |     |     |      |      |
|-------------------------|-----|-----|-----|------|------|-----|-----|-----|------|------|-----|-----|-----|------|------|
|                         | 2.0 | 1.5 | 1.0 | 0.75 | 0.45 | 2.0 | 1.5 | 1.0 | 0.75 | 0.45 | 2.0 | 1.5 | 1.0 | 0.75 | 0.45 |
| 75~300                  | 3   | 3   | 3   | 3    | 3    | 3   | 3   | 3   | 3    | 3    | 3   | 3   | 3   | 3    | 3    |
| 350                     | 1   | 3   | 3   | 3    | 3    | 1   | 3   | 3   | 3    | 3    | 1   | 3   | 3   | 3    | 3    |
| 400                     | 2   | 3   | 3   | 3    | 3    | 2   | 3   | 3   | 3    | 3    | 2   | 3   | 3   | 3    | 3    |
| 450                     | 2   | 3   | 3   | 3    | 3    | 2   | 3   | 3   | 3    | 3    | 2   | 3   | 3   | 3    | 3    |
| 500                     | 2,S | 3,S | 3,S | 3,S  | 3,S  | 2,S | 3,S | 3,S | 3,S  | 3,S  | 2,S | 3,S | 3,S | 3,S  | 3,S  |
| 600                     | 2,S | 3,S | 4,S | 4,S  | 4,S  | 2,S | 3,S | 4,S | 4,S  | 4,S  | 2,S | 3,S | 4,S | 4,S  | 4,S  |

注) 数値は、管種を示す。Sは、GX形およびNS形管（呼び径500~1000）のS種を示す。

参考表-2.6.3 水道配水用ポリエチレン管の構造計算結果

単位 最大曲げ応力 $\sigma_{max}$  : MPa、たわみ率 $V$  : %

| 埋戻し土              | 支承角  | 土かぶり | 0.6m           |      | 0.8m           |      | 1.2m           |      | 1.5m           |      |
|-------------------|------|------|----------------|------|----------------|------|----------------|------|----------------|------|
|                   |      | 呼び径  | $\sigma_{max}$ | $V$  | $\sigma_{max}$ | $V$  | $\sigma_{max}$ | $V$  | $\sigma_{max}$ | $V$  |
| 突固めなし<br>$E' = 0$ | 60°  | 50   | 7.73           | 2.97 | 5.75           | 2.21 | 3.96           | 1.52 | 3.34           | 1.28 |
|                   |      | 75   | 7.89           | 3.07 | 5.88           | 2.29 | 4.05           | 1.57 | 3.41           | 1.33 |
|                   |      | 100  | 7.85           | 3.05 | 5.86           | 2.27 | 4.03           | 1.57 | 3.40           | 1.32 |
|                   |      | 150  | 7.81           | 3.03 | 5.85           | 2.27 | 4.04           | 1.57 | 3.41           | 1.32 |
|                   |      | 200  | 7.77           | 3.03 | 5.85           | 2.28 | 4.06           | 1.58 | 3.43           | 1.34 |
|                   | 120° | 50   | 5.98           | 2.72 | 4.54           | 2.06 | 3.11           | 1.41 | 2.58           | 1.17 |
|                   |      | 75   | 6.10           | 2.81 | 4.64           | 2.13 | 3.18           | 1.46 | 2.64           | 1.21 |
|                   |      | 100  | 6.07           | 2.79 | 4.62           | 2.12 | 3.17           | 1.46 | 2.63           | 1.21 |
|                   |      | 150  | 6.04           | 2.78 | 4.61           | 2.12 | 3.17           | 1.46 | 2.63           | 1.21 |
|                   |      | 200  | 6.01           | 2.78 | 4.61           | 2.13 | 3.19           | 1.47 | 2.65           | 1.22 |

注) 内部摩擦角は20°として計算したが、20~30°の範囲においては計算結果に大きな変動は生じない。

参考表-2.6.4 水道用ポリ硬質塩化ビニル管の構造計算結果

単位 曲げ周応力 $\sigma$ : N/mm<sup>2</sup>、たわみ率 $\delta/2r$ : %

| 呼び径 | 支承角  | 項目          | 土かぶり (m) |       |       |       |       |       |      |
|-----|------|-------------|----------|-------|-------|-------|-------|-------|------|
|     |      |             | 0.6      | 0.9   | 1.2   | 1.5   | 1.8   | 2.1   | 2.4  |
| 40  | 60°  | $\sigma$    | 1.26     | 1.09  | 1.06  | 1.15  | 1.36  | 1.57  | 1.79 |
|     |      | $\delta/2r$ | 0.096    | 0.094 | 0.10  | 1.11  | 0.12  | 0.13  | 0.15 |
|     | 90°  | $\sigma$    | 1.24     | 1.06  | 1.01  | 1.03  | 1.07  | 1.14  | 1.29 |
|     |      | $\delta/2r$ | 0.090    | 0.085 | 0.089 | 0.096 | 0.11  | 0.12  | 0.13 |
|     | 120° | $\sigma$    | 1.22     | 1.02  | 0.961 | 0.964 | 0.992 | 1.04  | 1.10 |
|     |      | $\delta/2r$ | 0.086    | 0.078 | 0.079 | 0.084 | 0.091 | 0.098 | 0.11 |
| 50  | 60°  | $\sigma$    | 1.59     | 1.37  | 1.33  | 1.45  | 1.71  | 1.98  | 2.24 |
|     |      | $\delta/2r$ | 0.14     | 0.13  | 0.14  | 0.16  | 0.17  | 0.19  | 0.21 |
|     | 90°  | $\sigma$    | 1.56     | 1.33  | 1.27  | 1.29  | 1.34  | 1.43  | 1.62 |
|     |      | $\delta/2r$ | 0.13     | 0.12  | 0.13  | 0.14  | 0.15  | 0.16  | 0.18 |
|     | 120° | $\sigma$    | 1.53     | 1.28  | 1.21  | 1.21  | 1.25  | 1.31  | 1.39 |
|     |      | $\delta/2r$ | 0.12     | 0.11  | 0.11  | 0.12  | 0.13  | 0.14  | 0.15 |
| 75  | 60°  | $\sigma$    | 2.07     | 1.79  | 1.74  | 1.89  | 2.23  | 2.58  | 2.93 |
|     |      | $\delta/2r$ | 0.20     | 0.20  | 0.21  | 0.23  | 0.26  | 0.28  | 0.31 |
|     | 90°  | $\sigma$    | 2.03     | 1.73  | 1.66  | 1.69  | 1.75  | 1.87  | 2.12 |
|     |      | $\delta/2r$ | 0.19     | 0.18  | 0.19  | 0.20  | 0.22  | 0.24  | 0.27 |
|     | 120° | $\sigma$    | 1.99     | 1.67  | 1.58  | 1.58  | 1.63  | 1.71  | 1.81 |
|     |      | $\delta/2r$ | 0.18     | 0.16  | 0.17  | 0.18  | 0.19  | 0.21  | 0.22 |
| 100 | 60°  | $\sigma$    | 2.37     | 2.05  | 1.98  | 2.16  | 2.55  | 2.95  | 3.34 |
|     |      | $\delta/2r$ | 0.25     | 0.24  | 0.26  | 0.28  | 0.31  | 0.35  | 0.38 |
|     | 90°  | $\sigma$    | 2.32     | 1.98  | 1.90  | 1.93  | 2.00  | 2.14  | 2.42 |
|     |      | $\delta/2r$ | 0.23     | 0.22  | 0.23  | 0.25  | 0.27  | 0.30  | 0.32 |
|     | 120° | $\sigma$    | 2.28     | 1.91  | 1.80  | 1.81  | 1.86  | 1.95  | 2.07 |
|     |      | $\delta/2r$ | 0.22     | 0.20  | 0.20  | 0.22  | 0.23  | 0.25  | 0.27 |
| 150 | 60°  | $\sigma$    | 2.74     | 2.36  | 2.29  | 2.50  | 2.95  | 3.41  | 3.87 |
|     |      | $\delta/2r$ | 0.31     | 0.30  | 0.32  | 0.35  | 0.39  | 0.43  | 0.47 |
|     | 90°  | $\sigma$    | 2.69     | 2.29  | 2.19  | 2.23  | 2.31  | 2.47  | 2.80 |
|     |      | $\delta/2r$ | 0.29     | 0.27  | 0.28  | 0.31  | 0.34  | 0.37  | 0.40 |
|     | 120° | $\sigma$    | 2.63     | 2.21  | 2.08  | 2.09  | 2.15  | 2.25  | 2.39 |
|     |      | $\delta/2r$ | 0.27     | 0.25  | 0.25  | 0.27  | 0.29  | 0.31  | 0.34 |
| 200 | 60°  | $\sigma$    | 3.30     | 2.85  | 2.77  | 3.02  | 3.56  | 4.11  | 4.67 |
|     |      | $\delta/2r$ | 0.41     | 0.40  | 0.42  | 0.46  | 0.51  | 0.57  | 0.63 |
|     | 90°  | $\sigma$    | 3.24     | 2.76  | 2.64  | 2.69  | 2.79  | 2.98  | 3.37 |
|     |      | $\delta/2r$ | 0.38     | 0.36  | 0.38  | 0.41  | 0.44  | 0.49  | 0.53 |
|     | 120° | $\sigma$    | 3.18     | 2.66  | 2.51  | 2.52  | 2.59  | 2.72  | 2.88 |
|     |      | $\delta/2r$ | 0.36     | 0.33  | 0.33  | 0.36  | 0.38  | 0.42  | 0.45 |
| 250 | 60°  | $\sigma$    | 3.31     | 2.86  | 2.77  | 3.02  | 3.57  | 4.12  | 4.68 |
|     |      | $\delta/2r$ | 0.41     | 0.40  | 0.42  | 0.47  | 0.52  | 0.57  | 0.63 |
|     | 90°  | $\sigma$    | 3.25     | 2.77  | 2.65  | 2.69  | 2.80  | 2.99  | 3.38 |
|     |      | $\delta/2r$ | 0.38     | 0.36  | 0.38  | 0.41  | 0.45  | 0.49  | 0.54 |
|     | 120° | $\sigma$    | 3.18     | 2.67  | 2.52  | 2.53  | 2.60  | 2.73  | 2.89 |
|     |      | $\delta/2r$ | 0.36     | 0.33  | 0.34  | 0.36  | 0.38  | 0.42  | 0.45 |
| 300 | 60°  | $\sigma$    | 3.28     | 2.83  | 2.74  | 2.99  | 3.53  | 4.07  | 4.63 |
|     |      | $\delta/2r$ | 0.40     | 0.39  | 0.42  | 0.46  | 0.51  | 0.56  | 0.62 |
|     | 90°  | $\sigma$    | 3.21     | 2.74  | 2.62  | 2.66  | 2.77  | 2.95  | 3.35 |
|     |      | $\delta/2r$ | 0.38     | 0.36  | 0.37  | 0.40  | 0.44  | 0.48  | 0.53 |
|     | 120° | $\sigma$    | 3.15     | 2.64  | 2.49  | 2.50  | 2.57  | 2.70  | 2.86 |
|     |      | $\delta/2r$ | 0.36     | 0.33  | 0.33  | 0.35  | 0.38  | 0.41  | 0.45 |

注) 曲げ周応力は、管頂と管底の計算値で大きい方を記載する。なお、網掛け部分は、管底の計算値であることを示す。また、曲げ周応力の許容値は 19.6kN/m<sup>2</sup>、たわみ率の許容値は 5%である。

## 2.6.5 荷重

管体の構造計算を行う際に考慮する荷重は、管頂上部の埋戻し土による土圧と、近傍を走行する自動車による活荷重とする。雪荷重や群集荷重等については、構造計算時に考慮する安全率に含まれているものとする。

土圧及び自動車荷重は、以下のように算定する。

### (1) 土圧

管体に作用する土圧を計算する式として主に使われているものには、垂直土圧公式、ヤンセン公式（マーストン公式の溝形と同形式）、スパングレー公式などがある。営農飲雑用水管路の設計に用いる土圧は、垂直土圧公式かヤンセン公式によって計算するものとする。

垂直土圧公式とヤンセン公式の使用区分は、次のとおりとする。

- ① 土かぶり  $h \leq 2.0\text{m}$  の場合、垂直土圧公式
- ② 土かぶり  $h > 2.0\text{m}$  の場合、土かぶり 2m 時の垂直土圧公式とヤンセン公式による結果の大きな方

なお、土圧の算定に用いる土の単位体積重量は、一般に  $18\text{kN/m}^3$  としてよい。ただしこれは普通の土砂の場合であり、この値と大きく異なる盛土材、埋戻し材を用いる場合は締固め試験などによって定めなければならない。

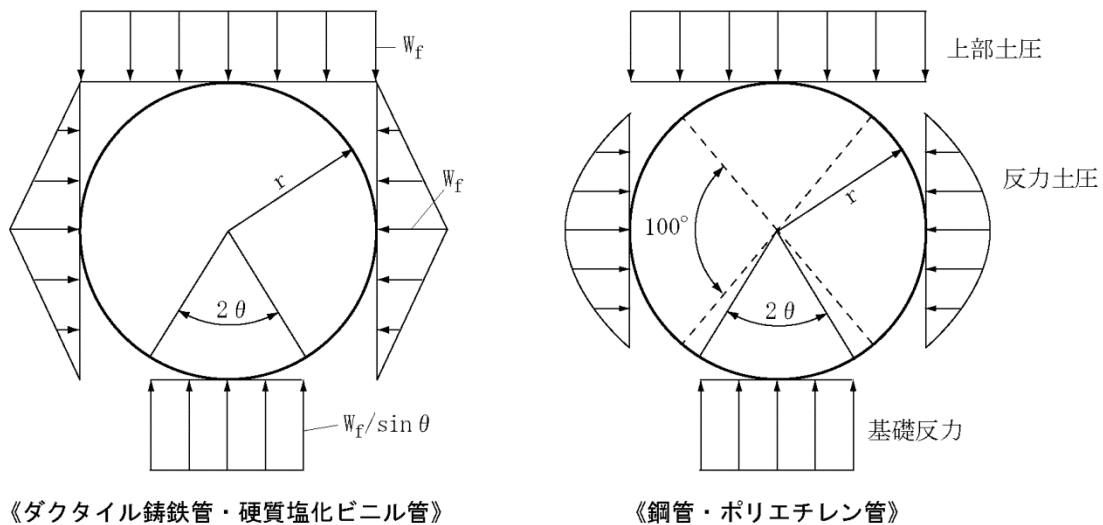


図-2.6.5 土圧分布図

#### A 垂直土圧公式

$$q_d = \gamma \cdot H$$

ここに、

$q_d$  : 鉛直土圧 ( $\text{kN/m}^2$ )

$\gamma$  : 土の単位体積重量 ( $\text{kN/m}^3$ )

$H$  : 土かぶり (m)

B ヤンセン公式（マーストン公式の溝形）

$$q_d = \frac{\gamma}{2K \cdot \tan \phi} \left( 1 - e^{-2K \cdot \tan \phi \frac{H}{B}} \right) \cdot B \quad \text{【ヤンセン（マーストン）公式】}$$

ここに、

$$K : \text{ランキンの主働土圧係数, } K = \frac{1 - \sin \phi}{1 + \sin \phi}$$

$\phi$  : 埋戻し土の内部摩擦角 (°)

$H$  : 土かぶり (m)

$B$  : 管頂溝幅 (m)

埋戻し土の内部摩擦角は土質試験の結果を用いるか、又は下表の値を目安として用いてもよい。

表-2.6.8 内部摩擦角

| 土の種類 |  | 内部摩擦角 (°) |
|------|--|-----------|
| ①    | 細粒子をほとんど含まない砂利、粗砂等<br>(GP、GW、SP、SW等細粒分5%未満を目安) | 30        |
| ②    | 細粒子を含んだ砂利、砂等<br>(G-F、S-F等細粒分5~15%を目安)          | 25        |
| ③    | シルト質細砂、粘土を含む砂利等<br>(GF、SF等細粒分15~50%を目安)        | 20        |

(2) 活荷重（輪圧）

管路に作用する活荷重は、自動車荷重を考慮する。

自動車荷重の計算方法は、「道路土工—カルバート工指針」による方法（簡略法）のほか、ブーシネスクの理論解による方法がある。一般的に使用されている自動車荷重の計算方法は管種によって異なっており、その区分は下表のとおりである。

表-2.6.9 一般的に用いられている自動車荷重計算式

| 管 種        | 自動車荷重計算式 | 備 考                         |
|------------|----------|-----------------------------|
| ダクタイル鋳鉄管   | ブーシネスク式  | 「ダクタイル鉄管管路 設計と施工」           |
| 鋼 管        | ブーシネスク式  |                             |
| 硬質ポリ塩化ビニル管 | T 荷 重    | 「水道用硬質ポリ塩化ビニル管技術資料<規格・設計編>」 |
| ポリエチレン管    | ブーシネスク式  | 「水道配水用ポリエチレン管及び管継手 設計マニュアル」 |

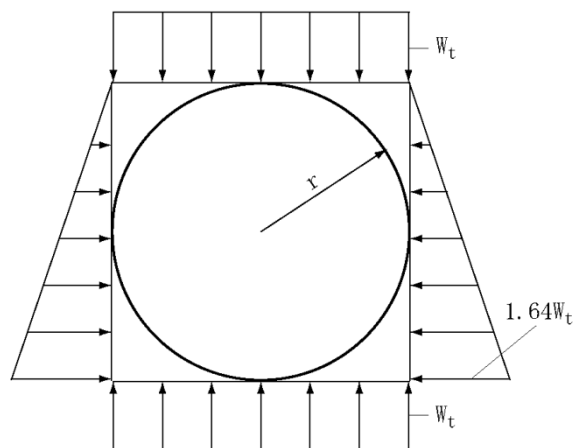


図-2.6.6 自動車荷重の分布図

A T 荷重（「道路土工—カルバート工指針」等による方法）

$$q_l = \frac{2P(1+i) \cdot \beta}{W(0.2+2H)}$$

ここに、

- $q_l$  : 自動車荷重による鉛直荷重 (kN/m<sup>2</sup>)
- $P$  : 進行直角方向単位長さあたりの後輪荷重 (表-2.6.10 参照)
- $\beta$  : 断面力の低減係数 (表-2.6.11 参照)
- $W$  : 後輪荷重の分布幅 (=2.75m)
- $H$  : 土かぶり (m)
- $i$  : 衝撃係数 (表-2.6.12 参照)

表-2.6.10 後輪荷重 P

|       |      |      |      |      |
|-------|------|------|------|------|
| 自動車荷重 | T-25 | T-20 | T-14 | T-10 |
| P     | 100  | 78   | 55   | 39   |

注) 道路法の適用を受ける道路にあつては、T-25 とする。

表-2.6.11 断面力の低減係数β

|       |      |         |
|-------|------|---------|
| 自動車荷重 | T-25 | T-20 以下 |
| β     | 0.9  | 1.0     |

表-2.6.12 衝撃係数 i

|           |         |                |         |
|-----------|---------|----------------|---------|
| 土かぶり h(m) | H < 1.5 | 1.5 ≤ H < 6.5  | H ≥ 6.5 |
| i         | 0.5     | 0.65 - 0.1 × H | 0       |

B ブーシネスクの式

$$p_t = \alpha(1+i)P \cdot \beta$$

ここに、

$p_t$  : 自動車荷重による鉛直荷重 (kN/m<sup>2</sup>)

$i$  : 衝撃係数 (表-2.6.12 参照)

$\beta$  : 断面力の低減係数 (表-2.6.11 参照)

$\alpha$  : 鉛直荷重係数 (m<sup>-2</sup>)

$$\alpha = \frac{4 \sum \sigma_H}{\ell D}$$

ここに、

$\sum \sigma_H$  : 自動車荷重によつて深さ H の平面上に作用する鉛直荷重の和 (kN/m<sup>2</sup>)

$H$  : 埋設深さ (m)

$\ell$  : 輪荷重の分布長さ (=2.0) (m)

$D$  : 輪荷重の分布幅 (=管外径) (m)

$\sum \sigma_H$  は次のように求める。

$$F(A, B, H) = 0.25 - \frac{1}{2\pi} \left\{ \sin^{-1} H \sqrt{\frac{A^2 + B^2 + H^2}{(A^2 + H^2)(B^2 + H^2)}} - \frac{A \times B \times H}{\sqrt{A^2 + B^2 + H^2}} \left( \frac{1}{A^2 + H^2} + \frac{1}{B^2 + H^2} \right) \right\}$$

とおき、

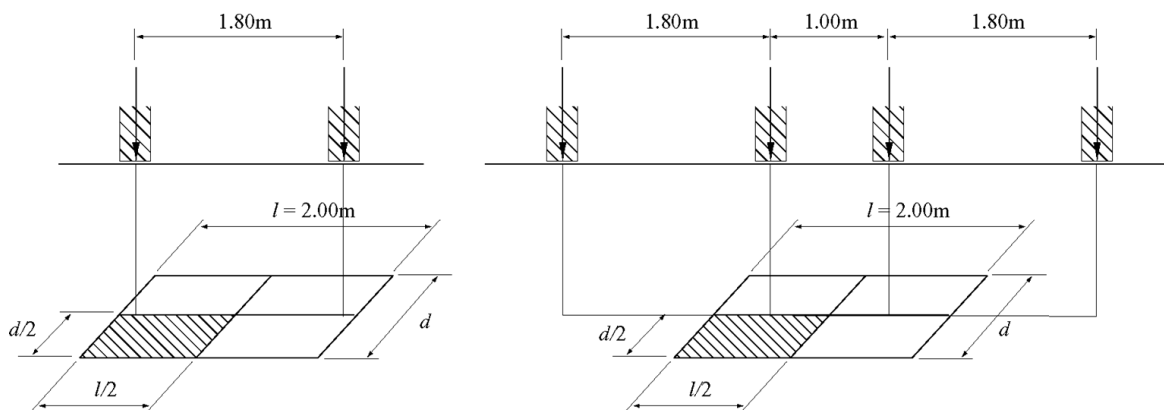
① トラック 1 台の場合

$$\sum \sigma_H = F\left(0.1, \frac{D}{2}, H\right) + F\left(1.9, \frac{D}{2}, H\right)$$

② トラック 2 台の場合



$$\sum \sigma_H = F\left(3.3, \frac{D}{2}, H\right) + F\left(1.5, \frac{D}{2}, H\right) + F\left(0.5, \frac{D}{2}, H\right) - F\left(1.3, \frac{D}{2}, H\right)$$



(a) トラック1台の場合

(b) トラック2台並走の場合

図-2.6.7 ブーシネス式の荷重モデル

## 2.6.6 硬質ポリ塩化ビニル管の管種選定

硬質ポリ塩化ビニル管の管種・管厚は、以下の3項目により照査する。

- ① 内圧による管厚計算
- ② 外圧による曲げ周応力の計算
- ③ たわみ率の計算

### (1) 内圧による管厚計算

内圧による管厚の照査は、次式により行う。

$$t \geq \frac{P \cdot D}{2\sigma + P}$$

ここに、

$t$  : 最小管厚 (mm)

$P$  : 使用圧力 (MPa)

$\sigma$  : 設計応力 (=10.8MPa : 長期静水圧強度 25.0MPa ÷ 安全率 2.3 ≒ 10.8MPa)

$D$  : 外径 (mm)

水道用ゴム輪形硬質ポリ塩化ビニル管 (JWWA K 127) の管種ごとの最小管厚  $t$ 、管厚中心半径  $r$ 、断面係数  $Z$ 、断面二次モーメント  $I$  を下表に示す。

表-2.6.13 水道用ゴム輪形硬質ポリ塩化ビニル管の管厚等諸元

| 呼び径 | 最小管厚 (mm) | 管厚中心半径 (mm) | 断面係数 (mm <sup>3</sup> /mm) | 断面二次モーメント (mm <sup>4</sup> /mm) |
|-----|-----------|-------------|----------------------------|---------------------------------|
| 50  | 4.1       | 27.75       | 3.375                      | 7.594                           |
| 75  | 5.5       | 41.55       | 5.802                      | 17.11                           |
| 100 | 6.6       | 53.45       | 8.402                      | 29.83                           |
| 150 | 8.9       | 77.70       | 15.36                      | 73.73                           |
| 200 | 10.8      | 102.3       | 22.04                      | 126.7                           |
| 250 | 13.3      | 126.4       | 33.61                      | 238.6                           |
| 300 | 15.9      | 150.5       | 48.17                      | 409.4                           |

### (2) 外圧による曲げ周応力の計算

土圧及び活荷重による管の曲げ周応力は次式により計算する。

$$\sigma = \frac{(K_1 \cdot Pe + K_2 \cdot Pt) \cdot r^2}{Z}$$

ここに、

$\sigma$  : 土圧及び輪圧によって生じる埋設管の曲げ周応力 (N/mm<sup>2</sup>)

$r$  : 管厚中心半径 (mm)

$Pe$  : 埋設管にかかる土圧 (MPa, N/mm<sup>2</sup>)

$Pt$  : 埋設管にかかる自動車荷重 (MPa, N/mm<sup>2</sup>)

$K_1, K_2$  : 曲げモーメント係数 (表-2.6.14 参照)

$Z$  : 断面係数 (mm<sup>3</sup>/mm)

$$Z = \frac{t^2}{6}$$

$t$  : 管厚 (mm)

表-2.6.14 曲げモーメント係数

| 曲げモーメント係数 | 支 承 角 | 60°   |       | 90°   |       | 120°  |       |
|-----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|           | 管の位置  | 管 頂   | 管 底   | 管 頂   | 管 底   | 管 頂   | 管 底   |
| $K_1$     |       | 0.132 | 0.223 | 0.120 | 0.160 | 0.107 | 0.121 |
| $K_2$     |       | 0.079 | 0.011 | 0.079 | 0.011 | 0.079 | 0.011 |

管の許容応力度は、規格により定められている管の材質の強さ 49MPa に対して安全率 2.5 を見込み、 $49 \div 2.5 = 19.6$  (MPa) とする。

計算により得られた曲げ周応力が、許容応力度 19.6MPa 以内となるかどうかを確認する。なお、曲げモーメント係数は管頂、管底それぞれについて定められているので、管頂及び管底の両方について曲げ周応力を計算し、大なる方を持って照査する。

### (3) たわみ率の計算

土圧及び活荷重によるたわみ率は次式により計算する。

$$\frac{\delta}{2r} = (K_3 \cdot Pe + K_4 \cdot Pt) \frac{r^4}{2r \cdot E \cdot I} \times 100$$

ここに、

$\frac{\delta}{2r}$  : たわみ率 (%)

$\delta$  : 土圧及び輪圧によって生じる埋設管のたわみ (mm)

$r$  : 管厚中心半径 (mm)

$Pe$  : 埋設管にかかる土圧 (MPa, N/mm<sup>2</sup>)

$Pt$  : 埋設管にかかる自動車荷重 (MPa, N/mm<sup>2</sup>)

$K_3, K_4$  : たわみ係数 (表-2.6.15 参照)

$E$  : 曲げ弾性率 (=3,334N/mm<sup>2</sup>)

$I$  : 断面二次モーメント (mm<sup>4</sup>/mm)

$$I = \frac{t^3}{12}$$

$t$  : 管厚 (mm)

表-2.6.15 たわみ係数

| 支 承 角<br>たわみ係数 | 60°   | 90°   | 120°  |
|----------------|-------|-------|-------|
| $K_3$          | 0.102 | 0.085 | 0.070 |
| $K_4$          | 0.030 | 0.030 | 0.030 |

計算により得られたたわみ率が、許容たわみ率 5%以内となることを確認する。

## 2.6.7 ダクタイル鋳鉄管の管種選定

ダクタイル鋳鉄管の管種・管厚は、静水圧、水撃圧、土圧及び活荷重を全て考慮した管厚計算式によって照査する。

管厚の計算式は以下のとおりとする。

$$t = \frac{(1.25P_s + P_d) + \sqrt{(1.25P_s + P_d)^2 + 8.4(K_f W_f + K_t W_t)S}}{2S} d$$

ここに、

$t$  : 計算管厚 (mm)

$P_s$  : 静水圧 (MPa)

$P_d$  : 水撃圧 (MPa)

$W_f$  : 土かぶりによる土圧 (kN/m<sup>2</sup>)

$W_t$  : 路面荷重による土圧 (活荷重) (kN/m<sup>2</sup>)

$K_f$  : 管底の支持角によって定まる係数 (表-2.6.16 参照)

$K_t$  : 係数 (管頂 :  $76 \times 10^{-6}$ 、管底 :  $11 \times 10^{-6}$ )

$S$  : 管材の引張強さ (=420N/mm<sup>2</sup>)

$d$  : 管口径 (mm)

さらに、公称管厚  $T$  は計算管厚に対して割増しを行い、

$$\begin{cases} T = (t+2) \times 1.1 \text{ (mm)} & \cdots \cdots t+2 \geq 10\text{mm の場合} \\ T = (t+2) \times 1.0 \text{ (mm)} & \cdots \cdots t+2 < 10\text{mm の場合} \end{cases}$$

とする。

計算は、管頂と管底についてそれぞれ行い、公称管厚が大きくなる方を採用する。

表-2.6.16 管底の支持角によって定まる係数值 (ダクタイル鋳鉄管)

| 位置 \ 管底の支持角 |   | 40°                  | 60°                  | 90°                  | 120°                 | 180°                |
|-------------|---|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|---------------------|
|             |   |                      |                      |                      |                      |                     |
| 管           | 頂 | $140 \times 10^{-6}$ | $132 \times 10^{-6}$ | $120 \times 10^{-6}$ | $108 \times 10^{-6}$ | $96 \times 10^{-6}$ |
| 管           | 底 | $281 \times 10^{-6}$ | $223 \times 10^{-6}$ | $160 \times 10^{-6}$ | $122 \times 10^{-6}$ | $96 \times 10^{-6}$ |

## 2.6.8 鋼管の管種選定

鋼管の管種・管厚は、以下の3項目により照査する。

- ① 内圧による管厚計算
- ② 外圧による曲げ周応力の計算
- ③ たわみ率の計算

### (1) 内圧による管厚計算

内圧による管厚の照査は、次式により行う。

$$\sigma_t = \frac{P \cdot d}{2t} \leq \sigma_a$$

ここに、

- $\sigma_t$  : 内圧による円周方向応力度 (N/mm<sup>2</sup>)
- $\sigma_a$  : 許容応力度 (N/mm<sup>2</sup>) (表-2.6.21 参照)
- $P$  : 内圧 (MPa)
- $d$  : 管の内径 (mm)
- $t$  : 管厚 (mm)

水道用塗覆装鋼管 (JWWA G 117) の管種ごとの最小管厚  $t$ 、管厚中心半径  $r$ 、断面係数  $Z$ 、断面二次モーメント  $I$  を下表に示す。下表にない規格・呼び径の管及び水道用ステンレス鋼管等については、(社)日本水道協会の規格書を参照のこと。

表-2.6.17 水道用塗覆装鋼管の管厚等諸元

| 種 類<br>呼び径 | 最小管厚(mm) |         | 管厚中心半径(mm) |         | 断 面 係 数<br>(mm <sup>3</sup> /mm) |         | 断面二次モーメント<br>(mm <sup>4</sup> /mm) |         |
|------------|----------|---------|------------|---------|----------------------------------|---------|------------------------------------|---------|
|            | STW 290  | STW 370 | STW 290    | STW 370 | STW 290                          | STW 370 | STW 290                            | STW 370 |
| 80A        | 4.2      | 4.5     | 42.45      | 42.30   | 2.940                            | 3.375   | 6.174                              | 7.594   |
| 100A       | 4.5      | 4.9     | 54.90      | 54.70   | 3.375                            | 4.002   | 7.594                              | 9.804   |
| 125A       | 4.5      | 5.1     | 67.65      | 67.35   | 3.375                            | 4.335   | 7.594                              | 11.054  |
| 150A       | 5.0      | 5.5     | 80.10      | 79.85   | 4.167                            | 5.042   | 10.417                             | 13.865  |
| 200A       | 5.8      | 6.4     | 105.25     | 104.95  | 5.607                            | 6.827   | 16.259                             | 21.845  |
| 250A       | 6.6      | 6.4     | 130.40     | 130.50  | 7.260                            | 6.827   | 23.958                             | 21.845  |
| 300A       | 6.9      | 6.4     | 155.80     | 156.05  | 7.935                            | 6.827   | 27.376                             | 21.845  |

### (2) 外圧による曲げ周応力計算

土圧及び活荷重による管の曲げ周応力は次式により計算する。

$$\sigma_b = \frac{2}{f \cdot Z} (W_v + W_l) \cdot \frac{K_b \cdot R^2 \cdot E \cdot I + (0.06146 K_b - 0.08303 K_x) E' \cdot R^5}{E \cdot I + 0.06146 E' \cdot R^3} \leq \sigma_a$$

ここに、

$\sigma_b$  : 外圧による管底部曲げ応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$R$  : 管の平均半径 (mm) (簡略化のため、呼び径の 1/2 を用いてもよい。)

$f$  : 形状係数 (=1.5)

$Z$  : 管の単位幅の断面係数 (mm<sup>3</sup>/mm)

$$Z = \frac{t^2}{6}$$

$t$  : 管厚 (mm)

$W_v$  : 鉛直土荷重強度 (MPa, N/mm<sup>2</sup>)

$W_t$  : トラック荷重強度 (MPa, N/mm<sup>2</sup>)

$K_b$  : 管底における曲げモーメント係数 (表-2.6.20 参照)

$K_x$  : 水平方向変形係数 (表-2.6.20 参照)

$E'$  : 埋戻し土の受働土圧係数 (MPa, N/mm<sup>2</sup>) (表-2.6.18 参照。「締固めなし」を標準とする)

$E$  : 鋼管の弾性係数 (=200,000MPa)

$I$  : 管の単位幅の断面二次モーメント (mm<sup>4</sup>/mm)

$$I = \frac{t^3}{12}$$

表-2.6.18 鋼管における土の反力係数  $E'$

| 土の種類  | 締固め度による $E'$ (N/mm <sup>2</sup> )                         |  |  |
|---|---|--|--|
|   | 締固めなし   | 軽度の締固め<br>締固め度で<br><85%<br>相対密度で<br><40% | 中度の締固め<br>締固め度で<br>≥85~90%<br>相対密度で<br>≥40~70% |
| 細粒土 (LL>50)<br>中程度の塑性から高塑性までの土<br>CH, MH, CH-MH   | 利用できるデータがない：有資格の土質技術者に相談のこと、<br>その他の場合は $E' = 0$ を使用すること。 |  |  |
| 細粒土 (LL≤50)<br>中程度の塑性から塑性のない土まで<br>CL, ML, ML-CL<br>(粗粒成分 25%以下)  | 0.35  | 1.4                                      | 2.8  |
| 細粒土 (LL≤50)<br>中程度の塑性から塑性のない土まで<br>CL, ML, ML-CL<br>(粗粒成分 25%以上)<br>細粒土を含む粗粒土<br>GW, GC, SM, SC<br>(12%以上の細粒土を含む) | 0.7   | 2.8                                      | 7.0  |
| 細粒土をほとんど含まないか全く含まない粗粒土<br>GW, GP, SW, SP<br>(12%以下の細粒土を含む)  | 1.4   | 7.0                                      | 14.0   |

注) LL : 液性限界 (%)

締固めなし : 地山程度

表-2.6.19 締固め程度と施工方法

| 締固め程度             | 管体側面の締固め方法                                    |
|-------------------|---|
| 締固めⅠ<br>(軽度の締固め)  | (タンバ又はコンパクト+突棒)で3回以上、<br>一層仕上り厚 30cm 程度       |
| 締固めⅡ<br>(中程度の締固め) | 過去の実績や現地試験等により施工方法とそ<br>れに伴う E' の値が確実に期待できる場合 |

表-2.6.20 支承角による係数

| 係 数                       | 支 承 角           | 60°                   | 90°                   | 120°                  | 150°                  |
|---------------------------|-----------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
|                           | 曲げモーメント係数 $K_b$ |                       | $189 \times 10^{-3}$  | $157 \times 10^{-3}$  | $138 \times 10^{-3}$  |
| 水平方向変形係数 $K_x$            |                 | $103 \times 10^{-3}$  | $96 \times 10^{-3}$   | $89 \times 10^{-3}$   | $85 \times 10^{-3}$   |
| ( $0.061K_b - 0.083K_x$ ) |                 | $3.07 \times 10^{-3}$ | $1.71 \times 10^{-3}$ | $1.07 \times 10^{-3}$ | $0.82 \times 10^{-3}$ |

管の許容応力度は鋼材の種類によって異なり、表-2.6.21 のとおりとする。

計算により得られた曲げ周応力が、許容応力度以内になるかどうかを確認する。

表-2.6.21 鋼管の許容応力

| 規 格 名 称              | 種類の番号   | 許容応力 (N/mm <sup>2</sup> ) |
|----------------------|---------|---------------------------|
| JWWA G 117 水道用塗覆装鋼管  | STW 290 | 100                       |
|                      | STW 370 | 125                       |
|                      | STW 400 | 140                       |
| JIS G 3101 一般構造用圧延鋼材 | SS 400  | 140                       |
| JIS G 3106 溶接構造用圧延鋼材 | SM 400  | 140                       |

(3) 変形率の計算

土圧及び活荷重による変形率は次式により計算する。

$$\frac{\Delta X}{D_m} = \frac{K_x \cdot (W_v + W_t) \cdot R^3}{E \cdot I + 0.06146 E' \cdot R^3} \times 100 \leq \Delta X_a$$

ここに、

$$\frac{\Delta X}{D_m} : \text{変形率 (\%)}$$

$$\Delta X : \text{水平方向の変形量 (直径分) (mm)}$$

$$\Delta X_a : \text{許容変形率 (\%)}$$

$$D_m : \text{管の平均径 (=2R) (mm)}$$

許容変形率は、内面塗装の種類別に表-2.6.22 のとおりである。



表-2.6.22 鋼管の許容変形率

| 内 面 塗 装 | 塗 装 | モ ル タ ル |
|---------|-----|---------|
| 許容変形率   | 5 % | 3 %     |

計算により得られた変形率が、上表による許容変形率以内となっていることを確認する。