

サイフォン機能廃止は流動化処理土充填で！

～観音川サイフォン撤去設計～

株式会社 建設コンサルタントセンター 設計部 細川 勝也

1. はじめに

昭和40年代後半、沼津港では、観音川(狩野川水系に属する一級河川)からの流入水による水質汚濁が目立つ状況にあった。この時期、沼津港を整備するにあたり、港内の環境保全の観点から、観音川の流水を港内ではなく、沼津港航路の地下を横断させ狩野川へ流すサイフォン(横断部：鋼管φ3.0m×L52m)を計画した(図-1.1)。

しかし近年、観音川流域の生活環境が変化し、例えば流域周辺の下水道の普及、水質汚濁に対する規制の厳格化、水産加工場等の減少から水質が改善され、狩野川へ流出させる必要性がなくなった。一方、サイフォンは建設から約40年以上が経過し、老朽化によるサイフォン管の破損に伴う航路の陥没などが懸念された。このため、不要となったサイフォンの機能を廃止し、航路の安全を確保するための方法を検討することとなった。



図-1.1 位置図

2. 現況の把握

■観音川サイフォン状況（写真-2.1）。



写真-2.1 観音川サイフォン部の全景

■サイフォン呑口部、吐口部の状況（写真-2.2, 2.3）



航路側から望む

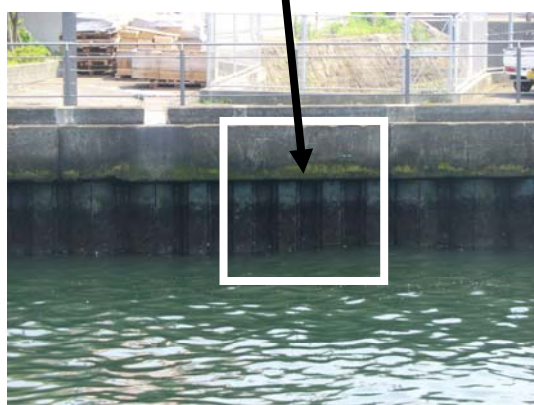


観音川の上流側から望む

写真-2.2 観音川サイフォンの呑み口部

函渠工(吐け口部):別途検討

Box カルバート B2.0×H2.0



航路側から望む



南側航路護岸から望む

写真-2.3 観音川サイフォンの吐け口部

■ サイフォン（当初計画）

○目的

サイフォン（伏せ越し）は沼津港港内の環境を保全する目的として、河川流水を港内ではなく、航路の地下を横断し狩野川に流出するために計画された（図-2.1）。

○流量配分

サイフォンの計画流量は $7.5\text{m}^3/\text{s}$ （平常流+時間最大10mm降雨量）であり、狩野川へ流出させ、計画を上回った流量は沼津港へ流出させる流量配分である（図-2.2）。

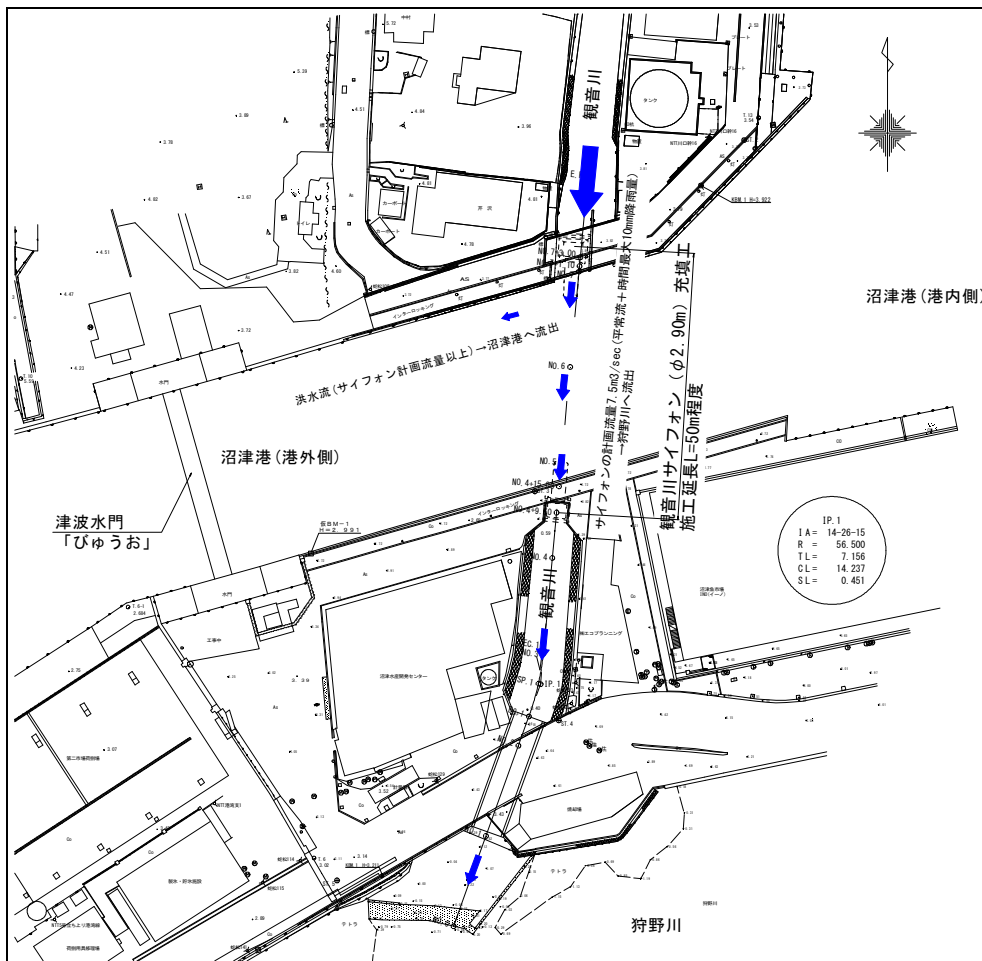
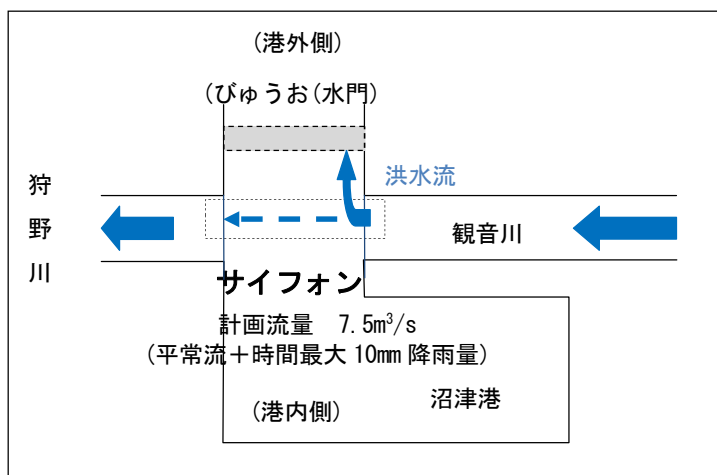


図-2.1 平面図



(図-2.2 サイフォンの流量配分模式図)

○サイフォンの規模と構造

図-2.3 はサイフォンの縦断面図、図-2.4 はサイフォン横断管路部である。

主要部の規模と構造を次に示す。

- ・ 上流側立坑(呑口) 内空 3.0m×4.0m、深さ 10.6m、RC 構造
- ・ 下流側立坑(吐口) 内空 3.0m×4.0m、深さ 10.6m、RC 構造
- ・ 横断管路 鋼管内径 ϕ 2.90m、L=50m 程度

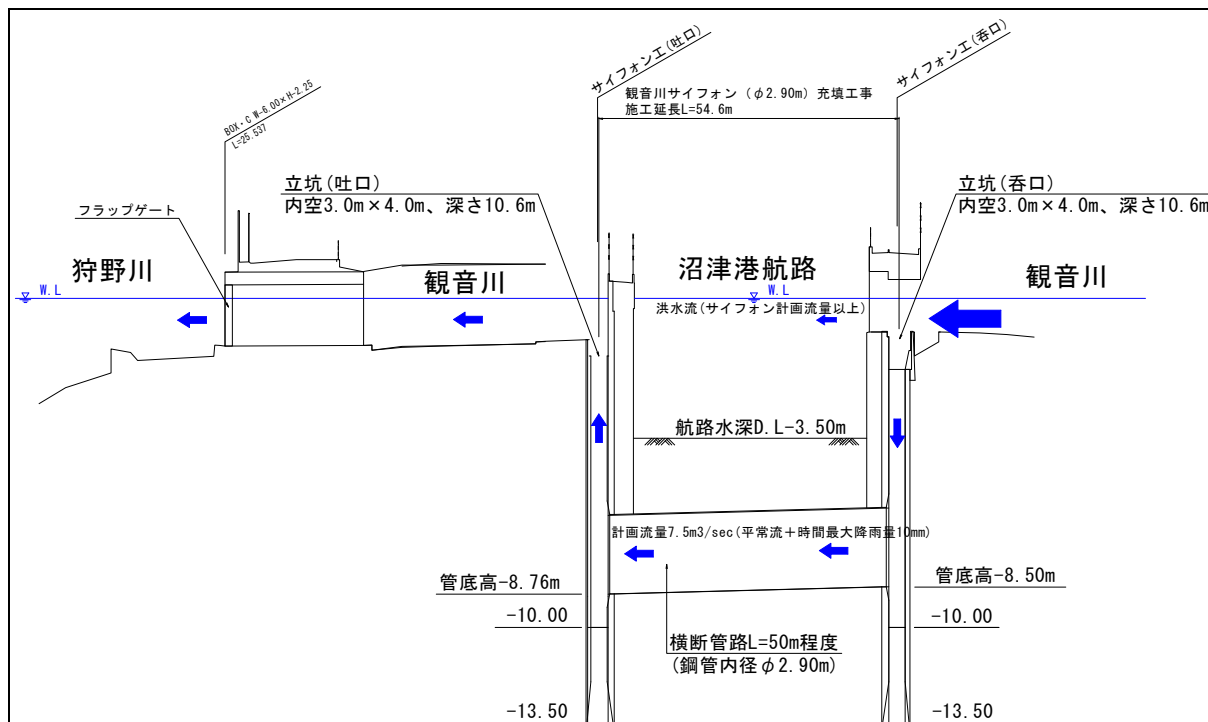


図-2.3 縦断面図

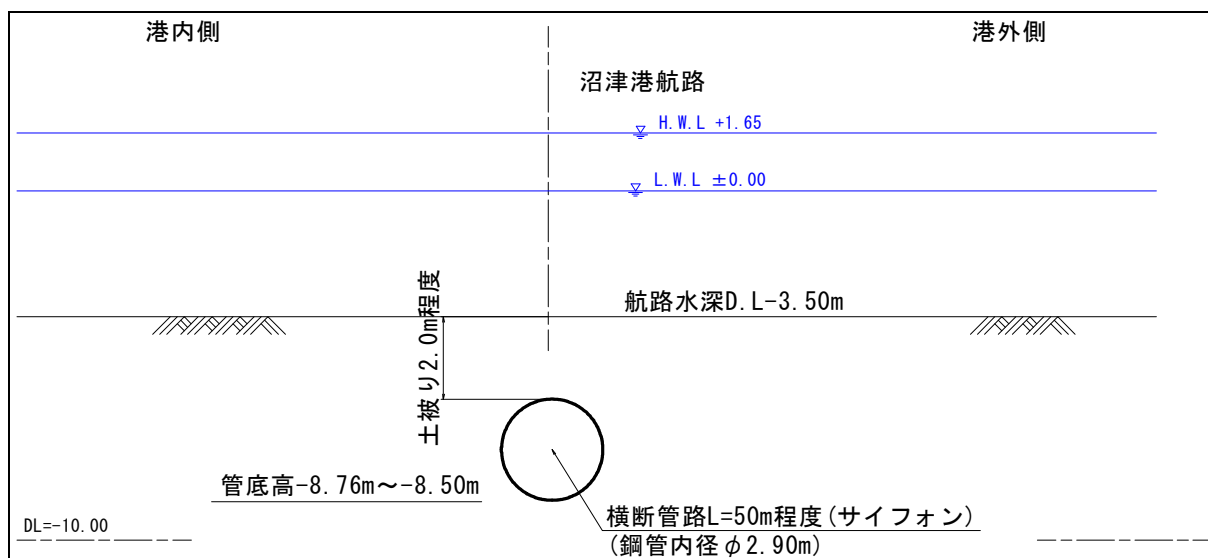


図-2.4 横断面図

3. サイフォン機能廃止の検討

(1) 観音川の整備計画

観音川河口部の河川整備については、平成 23 年から計画が始まり、観音川下流部の河川整備計画として、次の内容が策定されている。(図-3.1)

① サイフォン廃止 (本業務)

サイフォンは、河川の流水による港内水質汚濁防止という所期の目的に対し、近年、水質が改善されたことから、その必要性和施設の老朽化により廃止する。

② 箱型函渠 (ボックスカルバート) の整備 (本業務)

航路水門「びゅうお」を閉鎖した際には、観音川の流水によって沼津港内水位が上昇することが想定される。このため、航路と狩野川の間での既設の河道を放水路として使用するため、南側の航路護岸に箱型函渠を設置し排水口とする。

③ 津波対策施設整備 (他の業務)

観音川が狩野川へ合流する河口部は箱型函渠となっている。また、この河口部狩野川の右岸側護岸沿いには津波対策として防潮壁が整備されている。一方、港内への津波の進入を阻止するために、函渠吐口にはフラップゲートを設置する。

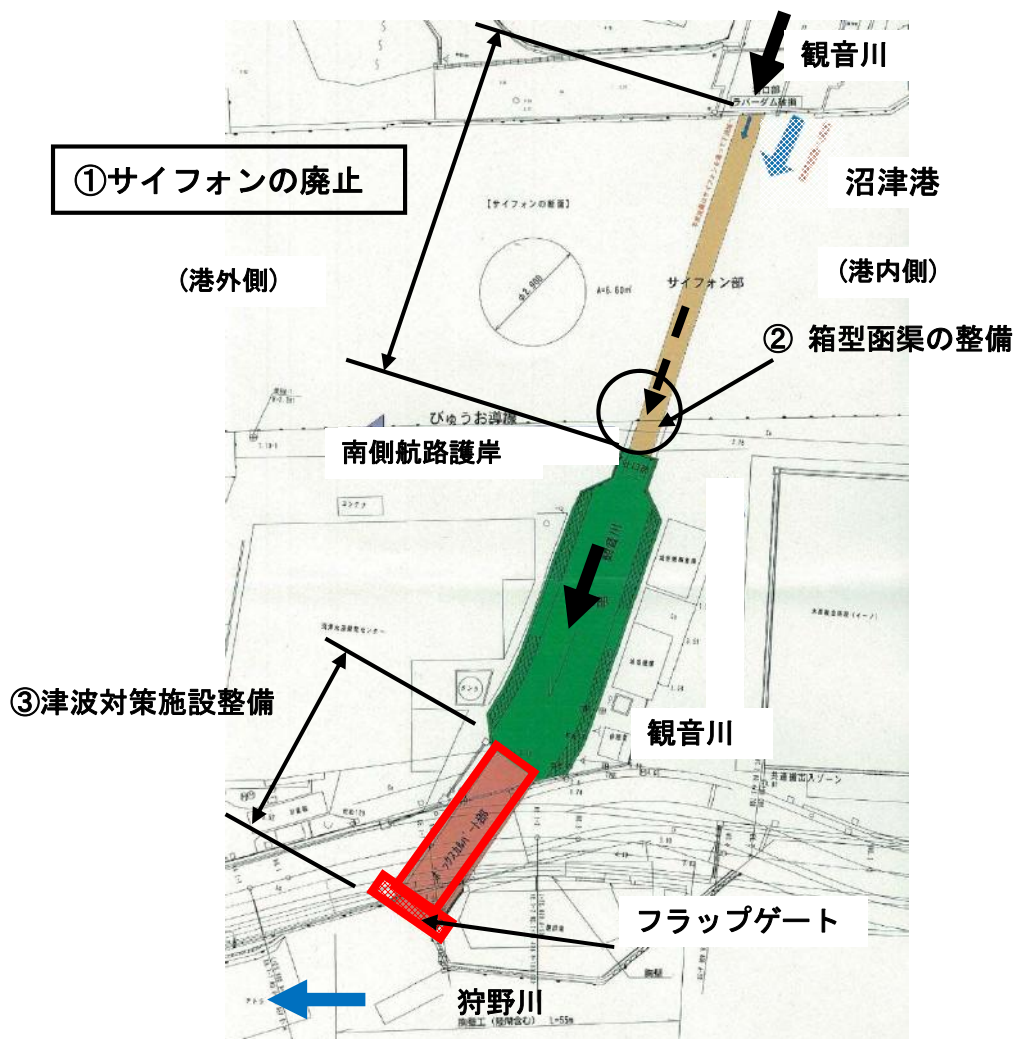


図-3.1 観音川河口部の河川整備計画平面図

(2) サイフォンの機能廃止方法における問題点

サイフォン機能を廃止する方法を検討するに当たり、主に、次の点について考慮する必要がある。

- 1) 施設が沼津港の航路に位置するため、工事は港利用への影響を極力少なくする。
- 2) 確実な方法により、長期にわたり港機能の安全性を確保する。
- 3) 工事中の海水汚濁を極力少なくする。

(3) サイフォンの機能廃止の方法

サイフォンの機能廃止の方法として「サイフォンを取り壊し撤去する方法」と「サイフォン内に充填材を充填する方法」が考えられる。

前者は、不要な構造物を撤去し安定した既存の地形に戻す方法であり、後者は、既設構造物を撤去せずに、立坑部と横断管路の内部を安定した材料で充填し、老朽化等で既設構造が破損しても、周辺への影響がない状態とするものである。

このうち、「サイフォンを取り壊し撤去する方法」は、次の問題点が考えられる。

【問題点】

- 航路内での撤去作業となり、海上から起重機船等による大掛かりな工事となる。
- 工事中の沼津港航路を通行する船舶を始め、周辺の港湾活動への影響が大きい。
- 工事期間が比較的長期となる。
- 浚渫やコンクリート構造物取り壊し工事等による海水汚濁が生じ、その対策が必要となる。

これらの問題を解消するには、「サイフォンを取り壊し撤去する方法」は、不利な点が大きいと考えられることから、これらの問題への対応が可能であると考えられる「サイフォン内に充填材を充填する方法」を検討することとした。

(4) サイフォン管内の充填工法

「サイフォン内に充填材を充填する方法」は、先の問題点に対し、次の優位点がある。

【充填工法の優位点】

- 航路兩岸の陸上からサイフォン内に充填材を充填する方法であり、航路利用への影響はない。
- 施工規模を小さくすることができる。
- 施工期間が比較的短い。
- 工事中の海水汚濁はほとんどない。

なお、充填工法の問題点を次に示す。

【充填工法の問題点】

- 水中部での確実な充填が期待できる流動性や固化性に優れた材料の選定
- 海水汚濁への影響のない充填材料の選定
- 水中・狭隘部における工事の安全性確保
- 確実な充填工事に対する施工管理方法の確立

(5) 充填工法の選定

検討する充填工法として、一次選定から二次選定までを行い、最終的に 3 工法を検討した。次にその概要を記す。

1) 充填工法の一次選定

管内(上下水道管等)を充填する一般的な工法として、次の 6 案がある。

- ・流動化処理土による工法
- ・エアモルタルによる工法
- ・コンクリート打設+エアモルタル併用工法
- ・エアミルク工法
- ・粉体充填工法
- ・非エア系 1 液性可塑性注入工法

2) 充填工法の二次選定

充填工法の二次選定については、次に示す施工条件を満足する充填工法を選定する。

【施工条件】

- 水中施工が可能であり、管内を確実に充填できる充填工法とする。
- 管路内での人力作業は回避する。
管路の内径はφ2.90m、管底の標高はD.L-8.50mであり、管内で水中作業するには狭く困難であることと管路が老朽化し安定性に劣り危険あることから、作業の安全性を考慮し、管内作業は行わないこととする。
- 充填材は水質汚濁に問題がない性質のものを使用する。

充填工法として前述の施工条件を満足する次の 3 工法について比較検討した。

- ・流動化処理土による工法
- ・エアモルタルによる工法
- ・コンクリート打設+エアモルタル併用工法

検討の結果、**表-3.1 充填工法の比較表**のとおり、施工性(施工実績を含む)、環境への影響、各工法の特質及び経済性の検討の中で最も優位である次の充填工法を採用した。

・ **流動化処理土による工法** 12,500 円/m³(直接工事費)

流動化処理土(LSS)+打設手間

* 流動化処理土：静岡県リサイクル認定製品を使用した。

流動化処理土による工法の概要は**表-3.1**に示したが、主な施工概要について次に示す。

【流動化処理土による工法の施工概要】

固定プラントにて建設発生土や泥水等から比重や粒度、粘性などを調整した泥水を製造後、セメント系固化材を添加して流動化処理土を製造し、現場にミキサ車にて運搬する。空洞規模に応じて1次、2次充填を片側より行い、コンクリートポンプ車にて天上部の空隙を押し出しながら圧入を行う。空気抜き口からの充填材料の溢流を目視確認して作業を完了する。

なお、本工事における流動化処理土の品質管理方法及び項目は、建設省土木研究所編集の「流動化処理土 利用技術マニュアル」文中 適用用途別の要求品質に準じ、次のとおりとした。

管理項目	管理基準	許容範囲	頻度	試験方法
密度	1.4t/m ³	設定値以上	1回/日以上	一定体積の容器に流動化処理土を入れ重量を量り求める
フロー値	打設時 200mm以上	設定値以上	1回/日以上	日本道路公団基準「エアモタル及びエアミルクの試験法」シリンダ-法(JHS A 313)
ブリージング	3.0%未満	設定値以下	1回/日以上	土木学会基準「プレハブコンクリートの注入モタルのブリージング率及び膨張率試験法」(JSCE-1986)
一軸圧縮強さ	28日強度 0.3N/mm ²	平均値が 設定値以上	1回(3本)/日	地盤工学会基準「一軸圧縮試験」(JIS A 1216)

表-3.1 充填工法の比較表

充填工法	流動化処理土による工法	エアモルタルによる工法	コンクリート打設+エアモルタル併用工法
工法概要 技術的特徴	<ul style="list-style-type: none"> ■ 施工概要 固定プラントにて建設発生土や泥水等から比重や粒度、粘性などを調整した泥水を製造後、セメント系固化材を添加して流動化処理土を製造し、現場にミキサー車にて運搬する。空洞規模に応じて、1次、2次充填を片側より行い、コンクリートポンプ車にて天上部の空隙を押し出しながら圧入を行う。空気抜き口からの充填材料溢流を目視確認して作業を終了する。 ■ 主材料 建設発生土・固化材（セメント系固化材） ■ 密度が水より重く、固化後の透水係数が10-6程度と難透水係数層となる。 ■ NETIS登録工法（土工-埋戻土） 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 施工概要 現地プラントによる砂・セメント・水を混練りして製造したモルタルに気泡材を混合する方法と、ミキサー車で納入した生モルタルに気泡を混合する方法があり、気泡材による流動性をもった材料としてポンプにより圧送充填する。空洞規模に応じ、圧密対策として1層1m以下の打設で充填を行なう。打設量は一般的に流量計を使用して管理を行なうが、充填の確認は流動化処理土と同様に空気抜き口からの溢流による。 ■ 主材料 セメント・水・砂・起泡剤 ■ 水との接触で気泡が消泡してしまうため、地下水が溜まった部分や浸透水のある場所では対策が必要。基本的には水がある場所への打設は不可。 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 施工概要 エアモルタルより安価な汎用的に用いられるコンクリートを坑口より打設可能な高さまでポンプ打設し、残った空洞上部に流動性に富むエアモルタルを用いて全断面を充填する複合案。 ■ 主材料 コンクリート・エアモルタル（セメント・水・砂・気泡剤） ■ 水との接触で発泡させた気泡が消泡してしまうので、地下水が溜まった部分や浸透水のある場所では対策が必要。
構造特性	<ul style="list-style-type: none"> ■ 流動化処理密度 1.40 t/m3以上 ■ 一軸圧縮強度さ（σ28） 0.1~1.0N/mm2と配合にて設定自由 ■ フロー値 160~300mm ■ プリーディング 3%未満 （極めて充填性を必要とする場合は1%とする） 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 密度 1.04 t/m3程度 ■ 一軸圧縮強度さ（σ28） 1.0N/mm2 ■ フロー値 180±20mm ■ 空気量 46.5% ■ 水セメント比W/C= 123% 	<p>エアモルは左記の通り、以下はコンクリートの値を示す。</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ 密度 2.35 t/m3程度 ■ 一軸圧縮強度さ（σ28） 4.5N/mm2 ■ フロー値（スランプ） 120mm
施工性・施工実績	<ul style="list-style-type: none"> ■ 最長圧送距離 350m程度（実績として） ■ 標準日打設量 80~150m3（プラントからの距離） ■ 打設高さ制限 無し ■ 工期 3日 ■ 関東圏、関西、九州と全国に普及、県内でも防空壕から国道直下の暗渠、トンネル閉塞充填など実績多数有り。 ■ 静岡県内では東、中、西部にて公共インフラ等の充填や下水、情報管路の埋戻しに多数実績有り。 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 最長圧送距離 50~100m程度 ■ 標準日打設量 60~100m3 ■ 打設高さ制限 1m以内 ■ 工期 5日 ■ 空洞充填、トンネル裏込注入、軽量盛土等で多数実績有。 	<p>エアモルタルについては左記の通り。</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ 最長圧送距離 50m程度 ■ 標準日打設量 80m3 ■ 打設高さ制限 1m（エアモルのみ） ■ 工期 5日
環境への影響	<ul style="list-style-type: none"> ■ 固化後の透水係数が10^{-5}~10^{-7}と低いことから、水が流動化処理土中を浸透せず、地下水へのPHに与える影響は極めて少ない。 ■ 建設副産物の再利用が可能。（建設発生残土） ■ 再掘削が可能。 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 施工中の排水（高アルカリ：PH10~12）は地下水に影響を与える恐れがあるため、水処理が必要。 ■ 再掘削が可能だが掘削排出物は全てがれき類として産廃となる。 	<ul style="list-style-type: none"> ■ エアモル施工中の排水（高アルカリ：PH10~12）は地下水に影響を与える恐れがあるため、水処理が必要。 ■ 再掘削は不可能。
各工法の特質	<ul style="list-style-type: none"> ■ 有害物質を含まないあらゆる土質の発生土が利用可能。 ■ 打設後のプリーディングは3%未満であり、長期においても外気に触れなければ乾燥による体積収縮は極めて小さい。 ■ 直接打設やコンクリートポンプ車による圧送が容易である。 ■ 施工性、経済性に優れる。 ■ 製造施設が常設で運搬可能な距離にあれば最も安価な工法となる。 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 固化後は自立性を有する。 ■ 個結後の長期供用に対する信頼性は確保できる。 ■ 配管設置、坑口の閉塞壁設置の際に坑内作業を伴う。 ■ 圧送用配管はVP50で注入可能。 ■ 自重による消泡があるため、日打設高は1m以下。 	<p>エアモルタルについては左記の通り。</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ コンクリートは汎用的な材料で入手が容易である。 ■ 先行打設するコンクリートには流動性が期待できないことから、注入用の削孔数を増やすか、高流動化剤の配合が必要となる。 ■ 先行するコンクリートの締固めは不可能であり、打設時の飛散や材料分離が懸念される。
概算工事費：直接工事費 （材料+充填手間のみ）	<ul style="list-style-type: none"> ■ 直接工事費 流動化処理土+打設手間 12,500円/m3 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 直接工事費 流動化処理土+打設手間 25,000円/m3 	<ul style="list-style-type: none"> ■ コンクリート打設+エアモル（購入） 27,500円/m3
総合評価	採用 8	-	- 3
	上記にも記載したが、常設プラントがある場合は最も安価で確実な充填工法といえる。	材料及び工事費としては高いが、LSSが入手出来ない場合は有効である。	大断面の強度を必要とする埋戻しにはコンクリートは有効であるが、狭隘な部分への充填には不向き。

*各項目の評価は比較案における優劣を判断し、評価点として次のとおりとする。 ◎：2点、○：1点、△：0点とする。

4. 施工フローと施工状況

(1) サイフォン管内の充填の施工フロー

流動化処理土による充填工法の施工フローを **図-4.1** に示す。

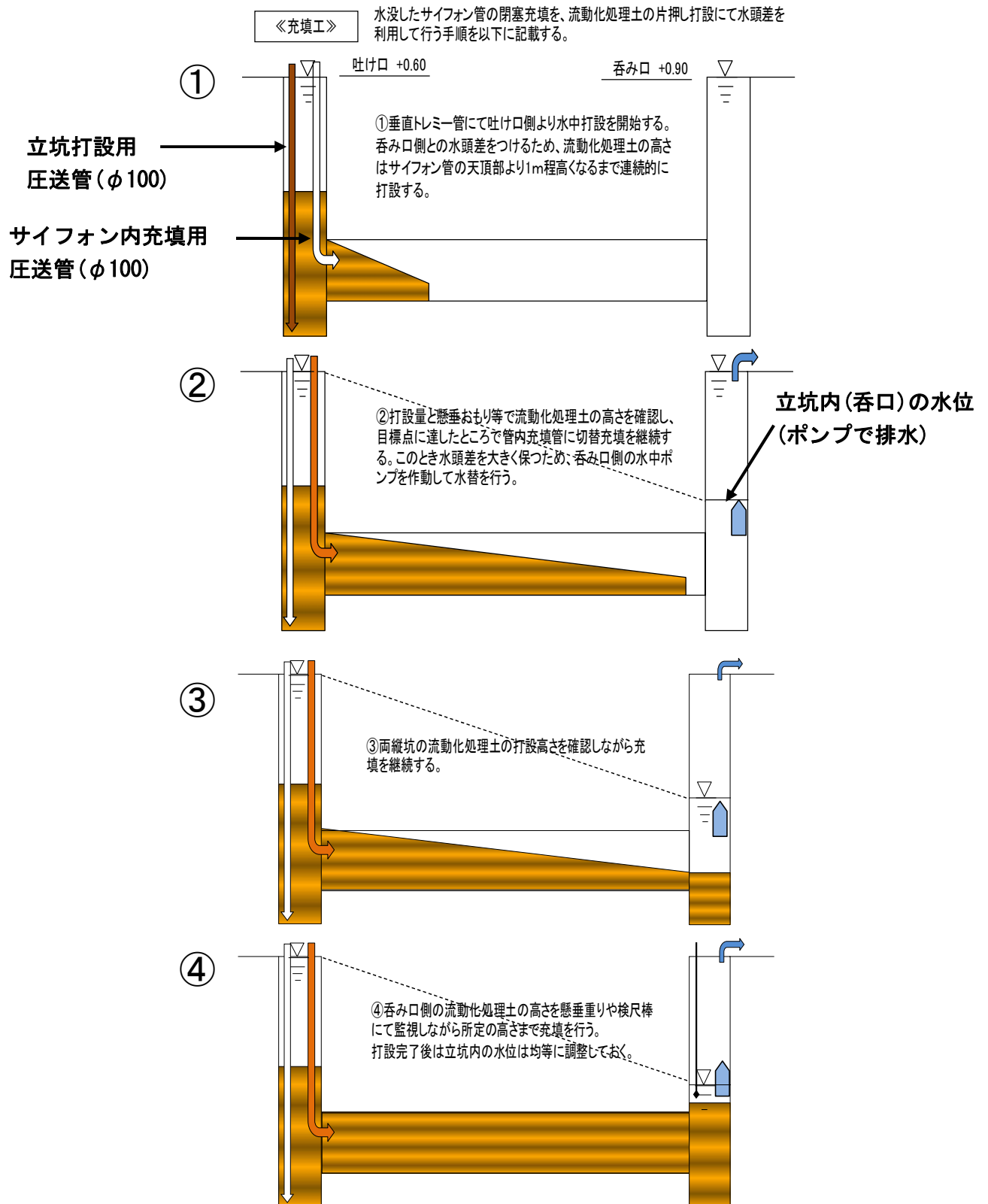


図-4.1 施工フロー

5. おわりに

今回、既設サイフォンの機能を廃止する方法を検討した結果「**流動化処理土による充填工法**」を採用した。その後、施工が完了したことから、施工における情報を踏まえ、検討結果を考察してみた。

(1) 水質汚濁

サイフォン内に充填する流動化処理土は、土、砂、セメント等を混合した充填材であることから、水質の汚濁が懸念されたが問題はなかった。

なお、本工法の採用に際し、流動化処理土による水質の汚濁に関して、発注者の方から懸念が示されていた。

その懸念の払拭のために、事前に流動化処理土の成分(セメント)がどの程度海水中に溶け出すか実験を行い、環境への影響がないことを証明し採用となった経緯があった。

なお、万が一、流動化処理土に含まれるセメント系が溜水に溶け出した(汚濁水の確認)場合には、泥水処理用タンクを設置し、希硫酸等の薬品添加で中和(水槽内のpH測定)しながら河川へ放流する対策を考えていた。

(2) 施工期間

実施した流動化処理土を充填する工事の施工期間は、準備を含め1週間以内で完了したとのことである。

今回の様に管路の機能を廃止する場合、構造物を残置することが容認されれば、「流動化処理土による工法」は施工期間の短縮に有効な工法であると考えられる。

(3) 施工を踏まえた現場周辺状況の確認

今回、施工計画では管内を流動化処理土で充填する際に管底の低い下流側から充填する一般的な施工方法を提案した。

しかし、工事実施では、現場の作業スペースから上流側から充填する方法に変更した。主な理由は、流動化処理土は時間の経過と共に硬化することから、継続的な充填作業を行う必要があったことによる。

充填作業を継続するためには、充填材を運搬するミキサー車が常に2台現地に常備する必要があり、ミキサー車を置くスペースを確保しやすい上流側から充填する施工方法に変更した。

設計時の施工計画と実施工事の施工方法の変更要因の一つとして、設計業務上の現場踏査の視点が、既設構造物の状況、周辺の状況の確認が主眼となり、施工を見据えた視点がおろそかであったと考える。

このため、施工計画では工事を見据えた視点から再度現場踏査を行う必要性を認識し、今後の業務において留意したいと考えている。