

# 公共下水道蔵王幹線 急勾配下水道管きよに関する 調査研究

## 1. 背景および目的

### 1.1 背景

山形市は、スキーや樹氷などのスポーツ、観光の拠点として有名な蔵王温泉地域の下水道整備を進めるため、同地域の汚水を約11km離れた流域下水道幹線に流下させる蔵王幹線の計画を行った。計画された蔵王幹線の布設ルートは、山形市の市街地と蔵王温泉を結ぶ主要地方道蔵王公園線（以下、主要道という）に占用する。この主要道は急峻な地形箇所や大小の曲線区間が大部分を占め、また道路勾配も平均7%と急勾配であることから従来の設計手法を用いると、工事費が高むばかりでなく長期に亘る工事期間を要すること、維持管理が困難であることなどの課題がある。

そこで、これら課題の対応策について、山形市と本機構は共同して当該ルートの地形特性を活かした急勾配下水道管きよの研究開発を進めてきた。

### 1.2 目的と検討項目

急勾配下水道管きよは、下水道としての機能の確保を前提として管きよ布設コストの縮減および工期の短縮を目的とした。これらの技術検討のうち、主な項目は次のとおりである。

- ① 蔵王幹線の短縮ルートの検討
- ② 管きよ施設の技術検討
- ③ 汚水が高流速で流下する管きよ施設の技術開発

および水理模型実験による検証

## 2. 対象地区の概要

本研究の対象とする幹線管きよは、山形市の市街地より南東方向約18kmに位置する蔵王温泉より西に下る主要道を主なルートとして、国道13号を横断し、蔵王産業団地に至る管路延長約11km、高低差、約720m、総汚水量0.108～0.140m<sup>3</sup>/秒の規模である。（図-1参照）

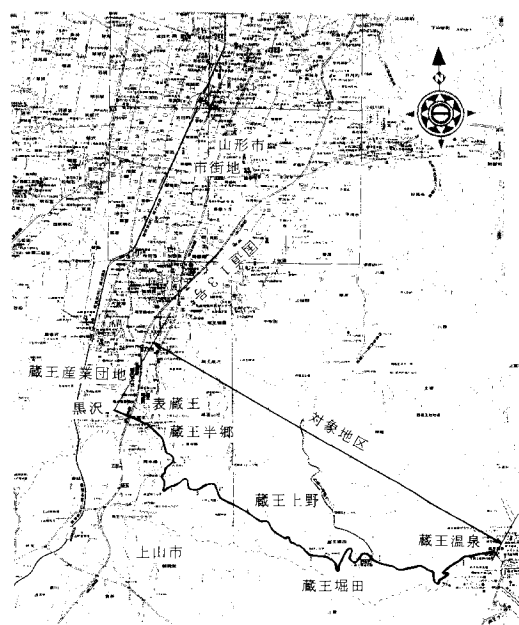


図-1 対象地区

既認可設計のルートは、蔵王火山地帯瀧山(りゅうざん、標高1,362m)の南西山脈西の比較的緩斜面に位置し、その勾配は3~9% (平均約7%)となっている。ルート中には下水道管きよの布設に対して悪影響を与えるような大規模な地滑り地形は存在しないが、湧水が見られる箇所が存在し、また、盛土区間も多数存在し、不等沈下の恐れのある箇所が見られる。

地質は、中生代白亜紀後期の花崗閃緑岩を基盤とし、その上には新第三系およびこれとほぼ同時代の火山岩類および第四紀に入って噴出した蔵王火山の碎屑物および沖積層が分布している。

下水道管きよを布設する地表から3m程度までの地層は、位置によって有機物混りのシルト、盛土、礫混り粘性土と変化し、地下水位もGL-1.2m~-12.0m程度と大きな差がある。

N値は砂礫層で30~50を示しているものの、それ以外の地層では2~25程度となっている。

### 3. 短縮ルートの検討

管きよの布設ルートは、最大流速を3.0m/秒という制約をもたせず、できるだけ地表勾配に沿うよう管きよ勾配を設定する方針とし、これに対応した高流速用管きよ施設の研究開発を進めた。土被りは、主要道にあって「山形市公共下水道の手引き」に準じ、1.5mとし、主要道以外は1.2mと設定した。

現行の認可設計ルートは、主要道に占用するルートとなっており、急峻な地形の箇所では大きな曲線やS字カーブがある。本検討では、全線を対象として、そのうち短縮可能な樹氷橋ルート、蔵王堀田ルート、蔵王半郷ルートの3ルートを選定し、各ルートごとに経済性、施工性、維持管理等を勘案して検討を行った。これらのルートは、施工性、維持管理性

が容易な市道、林道への布設ルートとなっている。

ルートは、図-2~4に示すように樹氷橋ルートが1ルート、蔵王堀田ルートが4ルート、蔵王半郷ルートが3ルートを検討した。これらのルートの選定は、実施設計の際に行うこととした。検討したうちのAルートについて、認可設計ルートとの比較を表-1に示す。Aルートは認可設計に比べて管延長、掘削土工量で50~60%、人孔数で20%に減少し、また、管きよ布設位置のほとんどが市道、農道に布設されるため施工性は極めて良好といえる。

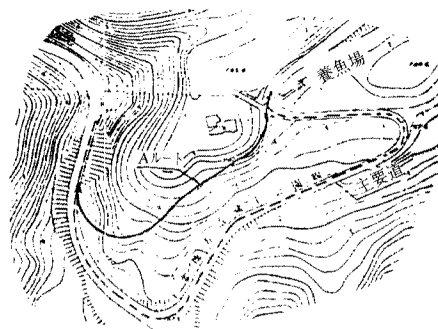


図-2 樹氷橋ルート

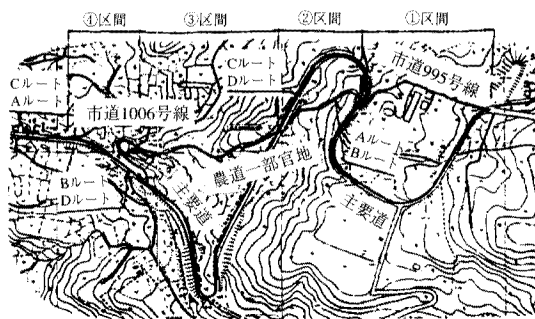


図-3 蔵王堀田ルート

表-1 認可ルートとAルート(短縮ルート)の比較

		樹氷橋 ルート	蔵王堀田 ルート	蔵王半郷 ルート	合計	比率	備考
管延長 (m)	認可設計	522.0	1,476.5	1,314.0	3,312.5	1.0	φ300
	短縮ルート(A)	290.0	1,000.0	712.0	2,002.0	0.6	φ250
人孔数 (個)	認可設計	16	45	42	103	1.0	1号人孔
	短縮ルート(A)	2	11	10	23	0.2	〃
掘削土工 (m³)	認可設計	1,320.7	4,433.7	3,355.2	9,106.6	1.0	主要道
	短縮ルート(A)	1,096.1	2,537.4	1,537.5	5,171.0	0.6	市道および農道

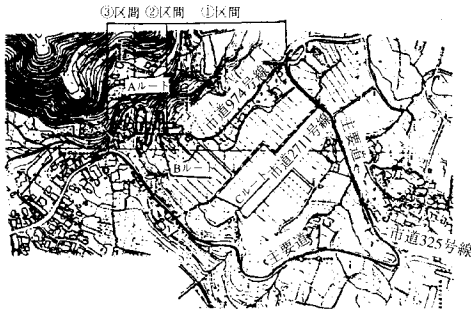


図-4 蔵王半郷ルート

## 4. 管きょ施設の検討

### 4.1 管種

本検討ルートは急勾配で急曲線の線形となり、汚水は高流速となる。布設ルートの大半を占める主要道には大型車両の走行があり、一方、短縮ルートは一部山林地内に布設されるため、木根等の侵入も考えられる。

管種の評価は、高流速で汚水が流下することから、管材料の摩耗試験を行った。試験方法は、図-5に示す回転式摩耗試験機のドラムに試験片を取付け、碎石と水道水を入れ、50rpmで回転させた。高密度ポリエチレン板、塩ビ板、モルタル板の比較をした結果（図-6参照）、高密度ポリエチレン板が優れた耐摩耗性を有することがわかった。

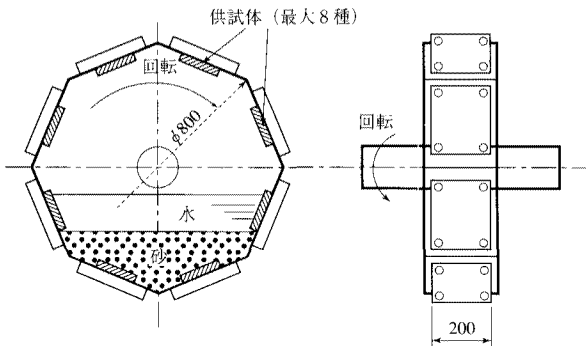


図-5 急地形部での布設

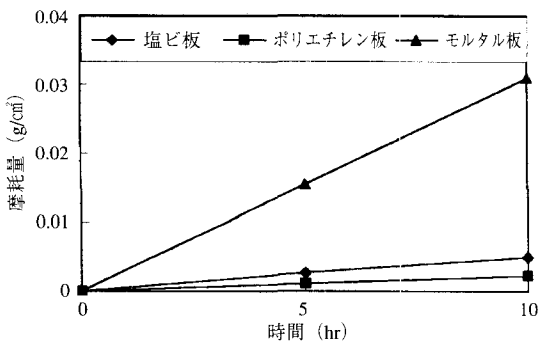


図-6 回転式摩耗試験の結果

これらの試験の結果を踏まえ施工性等を考慮すると、管種はポリエチレン管および硬質塩化ビニル管の適用性が高いことがわかった。

### 4.2 布設方法

短縮ルートは、林道等への布設があることから、特に以下の条件を考慮した。

- ・地表勾配が急であっても管きょの変位や滑落が生じない構造であること。(施設の安定性)
- ・積雪および倒木等の衝撃、山林火災等に耐える構造であること。(強度)
- ・小規模の地盤変位（滑動）にある程度対応が可能であること。(耐地盤変位)
- ・管きょに係わる中間マンホール、給気管等の施設が設置可能であること。(流下の安定性)
- ・管きょ布設により本構造が水みちとなり、地山の崩壊を招かないこと。(災害防止)

特に、急地形部での布設は、管きょの上部に土のうを積重ねることとし、また、土のうの滑落を防止するため、アンカー工を行うことなどが考えられた。(図-7参照)

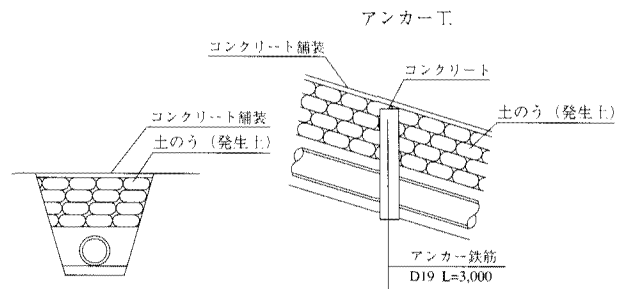


図-7 急地形部での布設

### 4.3 管径の設定

#### 4.3.1 流量計算

流量計算は「下水道施設計画・設計指針と解説」に準拠してクッター公式を用いた。

#### 4.3.2 断面決定の考え方

断面決定は「下水道施設計画・設計指針と解説」準拠し、分流式の汚水管きょの場合は対象流量に対して、管径350mm以下では約100%の余裕を見込むものとした。

#### 4.3.3 管径の設定

管径の設定は、対象流量と管きょの流下能力を検証し、設定する必要がある。急勾配下水道管きょでは、

- ① 緩勾配から急勾配への流下（急勾配管頂部への飛水）
  - ② 急勾配から緩勾配への流下（緩勾配、跳水の発生）
  - ③ 曲線区間の流下水面形（水面の片寄り）
- など、流速が変化する箇所および局部的に水面形が変化する箇所においては、管きよ内の汚水の流下現象を検証し、管径を決定する必要があるため、水理模型実験を実施し、安定した流下状況を確認した。

#### 4.4 水理模型実験

緩勾配から急勾配、急勾配から緩勾配の水理模型実験を図-8、写真-1に示す。

#### 4.4.1 緩勾配から急勾配への変化部分の選定

緩勾配から急勾配への変化部は、凸型の縦断曲線となる。選定の理由は、緩勾配下流端から流出する水脈の自由落下軌道に対して計画される縦断曲線の半径が小さいと流れが管底より離れて管頂に飛水し、管きよ底面には空気の補給がなくなるので負圧が生じる可能性があるためである。

#### 4.4.2 急勾配から緩勾配への変化部の選定

急勾配から緩勾配部の変化部は凹型の縦断曲線となる。選定の理由は、水脈が曲管底面に当たるために負圧の発生は生じないが、緩勾配の水位が上昇することにより跳水現象が発生する恐れがあり、流況

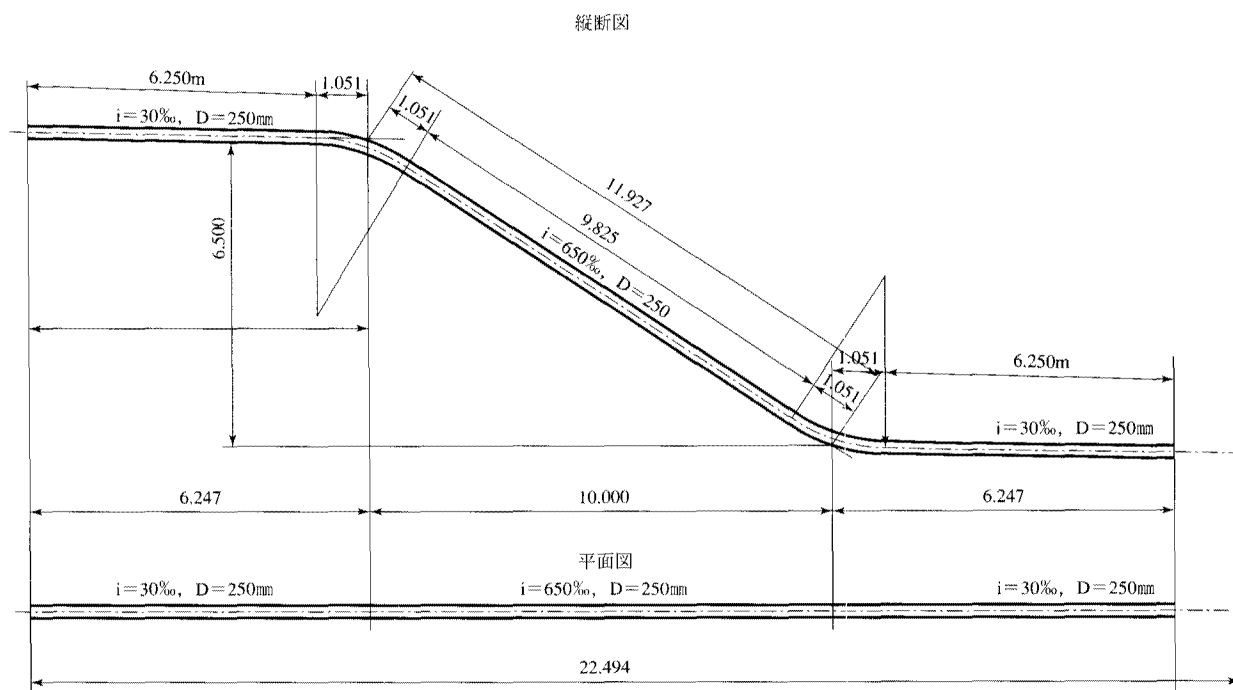


図-8 緩勾配→急勾配→急勾配→緩勾配変化部モデル

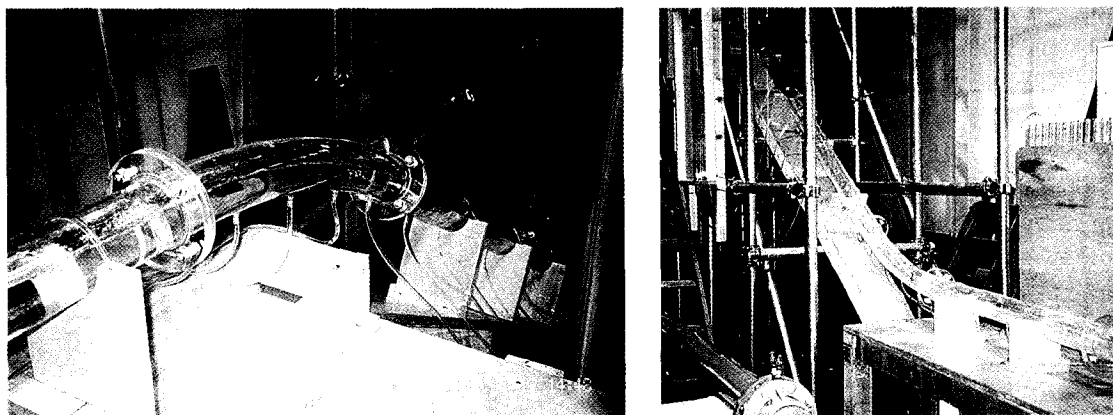


写真-1 急勾配下水道管きよ水理模型実験

を検証する必要がある。

#### 4.4.3 水理模型実験のモデルの作成

上記の内容を検証するために、以下の条件でモデルを作成した。

- ① 緩勾配： $i=30\%$  ( $D=\phi 250\text{mm}$ )  
急勾配： $i=650\%$  ( $D=\phi 250\text{mm}$ )
- ② 勾配変化部の縦断曲線： $R=3.75\text{m}$  ( $R/D=15$ )
- ③ 落差： $H=6.5\text{m}$  (IP間)

#### 4.4.4 実験結果

計画流量 $Q=0.108\text{m}^3/\text{秒}$ が流下するときの流速は $V=9.9\text{m}/\text{秒}$ 程度になり射流で流下する。また、超過流量の $Q=0.216\text{m}^3/\text{秒}$ が流下するときの最大流速は $V=11.5\text{m}/\text{秒}$ 程度になる。

緩勾配→急勾配 ( $D=\phi 250\text{mm}$ ,  $i=30\% \rightarrow 650\%$ )  
急勾配→緩勾配 ( $D=\phi 250\text{mm}$ ,  $i=650\% \rightarrow 30\%$ ) の

接続管きよとして中心半径を $R=3.75\text{m}$ , ( $R/D=15$ ) とし、計画流量 $Q=0.108\text{m}^3/\text{秒}$ を流下させた場合には、水理的に特に問題となる現象は観察されなかった。

したがって、急勾配緩勾配に変化する接続管(凹型)曲線の最小半径は、本実験の結果から $R/D=15$ で良いと考えられる。

## 5. 減勢工の検討

### 5.1 減勢工の検討

高速射流の水流が下流構造物にそのまま流下すると、水流の衝撃により振動、摩耗、洗掘等を生じさせ構造物が破壊したり、水流が構造物により漏れる恐れがある。そのため、下流の幹線管きよの接続部に悪影響が及ばないようにするための減勢工を急勾配管きよの下流端に計画した。(図-9, 写真-2 参照)

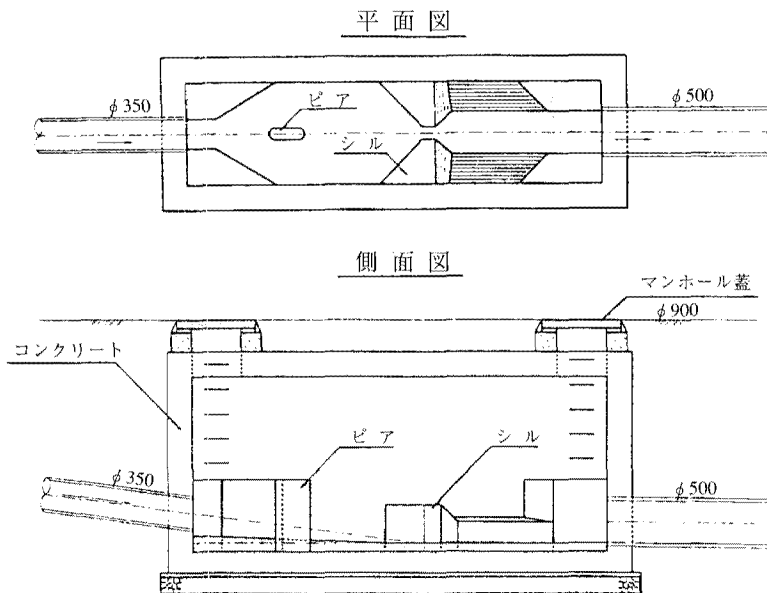


図-9 減勢工構造図 最終案

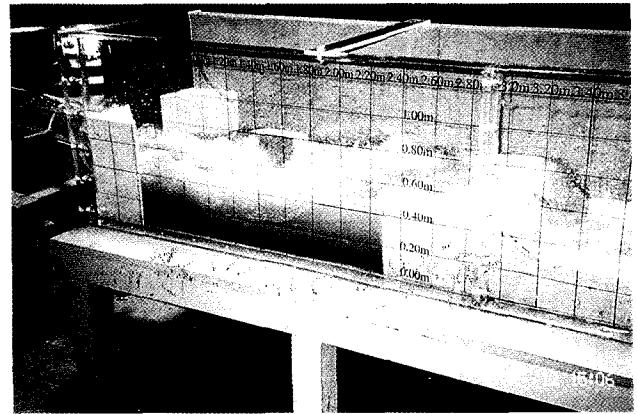
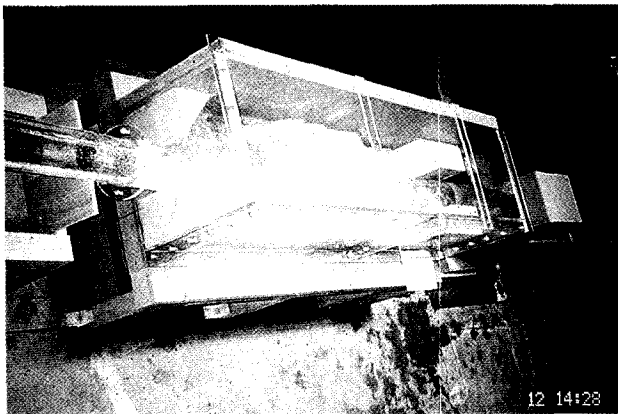


写真-2 減勢工の水理模型実験

減勢工の型式は種々の方法を比較し、跳水型とした。また、寸法はこれまでの減勢工の実績等から数値計算を行い決定した。詳細な寸法については水理模型を製作し、種々の流況を観察し、形状変更を行った。

流入する射流の水脈を減速させるための跳水は、流入水脈に対する下流の水深（対応水深）を確保することが必要条件となる。この対策として、シルの堰上げを行った。

また、減勢工は流水の減勢を満足させ、しかも夾雑物や砂の沈殿を防止する必要があるため、シルにスリットを設けて少流量時でも流れが滞留しないようにした。また、減勢工内に流入する水脈を分散させるピア等の付加構造物が必要であった。

## 6. まとめと今後の課題

急勾配下水道管きよの施工事例は、大津市および

長野市と本機構との共同研究で実施した2例がある。  
〔長野市（施工済み） 大津市（施工中）〕

本件は上記の事例で得た知見を基に、さらに水理特性、材料、施工法等の検討を行った。なかでも水理模型実験で、平面急曲線部の中心半径を $D = \phi$  250mmにおいて $R = 3.75m$ 、 $R/D = 15$ としたが、特に水理的な問題はないと判断した。この結果は、急曲線部への対応がさらに広まったといえる。

減勢工の模型実験において、減勢工へ接続する流量管きよ勾配が $i = 128.7\%$ と、減勢工に対しては勾配が緩いため、減勢工に流入した水脈は十分に拡散されなかったが、種々検討の結果、最終案形状を見出すことができた。

今後、急勾配下水道管きよ施設への期待は大きくなり、研究や設計が多くなると考えられる。本機構ではそれらの研究の積み重ねにより急勾配下水道管きよ施設についての技術を確立したい。

---

●この調査研究に関する問い合わせは

事務局次長	鈴木 茂
技術部主任研究員	村田 清次
技術部研究員	間瀬 毅
研究第二部研究員	久保 善央