新技術開発探訪

排水ポンプ車の機能改善に関する調査検討

1. はじめに

国土交通省では，台風や集中豪雨などの水害時における排水作業を迅速に効率よく行うことを目的に，排水ポンプ車を運用している。

しかし，近年の市街地域における集中豪雨の増加や河川堤防構造の多様化により，効率的・安定的な排水ポンプ車としての機能改善が必要となっている。

本検討は，既存の排水ポンプ車の機能改善を目的として，①排水ホースの取り扱いにより生じる損失要因の検証，②損失要因を改善するための対策案の検討および検証を行ったものである。

2. ホースの設置状態による損失要因の検証

国土交通省で運用している排水ポンプ車は，排水作業用設備に排水ホースを使用している。ホースは柔らかい材質であることから自在なルートで敷設することができ，また折りたたみができることで収納・運搬性が良いことから，排水ポンプ車の標準装備となっている。

しかし，ホースを使用した排水は，鋼管などの固形配管を用いたときに比べ，排水量が減少する場合があることが経験上知られていた。

ホースは柔らかいというメリットを持つ反面，折れ曲がる，つぶれる，またホース内の圧力が低下すると円形断面が保持できなくなり偏平状になるなど，結果として排水量が減じられてしまう「負の特性」を持っている。

しかし，ホースの「負の特性」による損失度合を定量的に把握できる公の技術資料等がほとんどなく，実際にどれだけの損失が生じているか解明されていなかった。

そこで，実際に水理実験を行い，代表的な次の損失の大きさと圧力の相関関係を明らかにするものとする。

・摩擦損失：直管部における損失を測定する
・形状損失：以下の形状について測定する
　① 屈曲（折れ曲がったもの）
　② 90°曲がり
　③ つぶれ（押しつぶされた形状）

3. 実験方法

(1) 基本式

流体圧力の損失は一般に次の式で表される。

① 管水路の摩擦損失

$$Hf_1 = 10.666 \cdot C^{-1.85} \cdot D^{-4.87} \cdot Q^{1.85} \cdot L$$

ここに，Hf_1：摩擦損失水頭（m），C：流速係数，D：管径（0.207m：ホース断面形状は圧力により変化するが，ここでは真円とみなす），Q：流量（m^3/s），L：管長（75m：実験に用いたホース延長長さ）。

② 形状損失

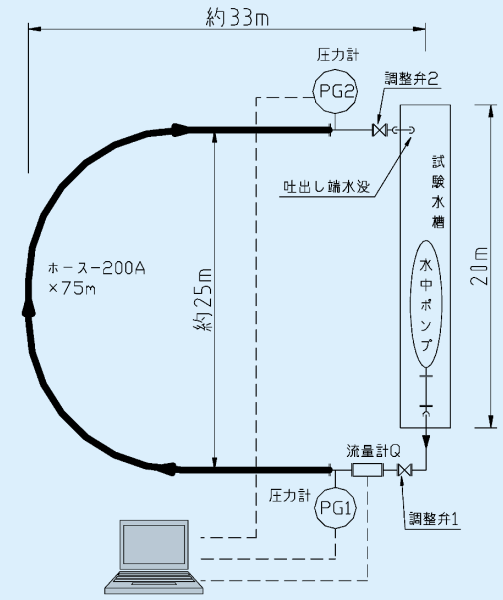
$Hf_2 = f \cdot V^2 / 2g$

ここに，Hf_2：形状損失水頭（m），f：損失係数，V：管内平均流速（m/s），g：自由落下の加速度（m/s²）。

今回の実験では見かけのC値およびf値を求め，圧力との関連づけを行い簡易にHfを算出しようとするものである。

⑵ 実験施設概要

実験施設の配置図を**図－1**に示す。



図－1　実験施設配置図

⑶ 使用資機材仕様

・水中ポンプ：口径200mm×出力15kW
　吐出量6.5m³/min，揚程10m
・流量・圧力調整弁：口径200mmバタフライ弁×2個
・計測器：超音波流量計，圧力計×2台

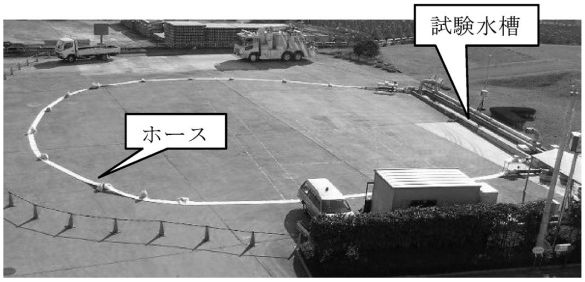
⑷ 実験方法

水中ポンプを用いて通水し，ホース入口側・出口側に設けた調整弁の開度を調節することにより，圧力や流量を設定した。

設定するとき，入口側調整弁1を絞ればホース内圧力が下がり，出口側調整弁2を絞ればホース内圧力が上がる。この両バルブの調整により多様な状況を設定し，測定を行った。

① 摩擦損失

損失の大きさは，ホース入口と出口の圧力低下量により損失水頭を求めた。配置状況を**写真－1**に示す。



写真－1　摩擦損失実験施設の配置状況

ホースは試験水槽に戻すため弧を描いているが，直径を約25mとし曲がりの損失としては無視できる半径の大きさとした。

② 形状損失

形状損失の測定は，このホースの中間位置に各損失となる形状を設け，①摩擦損失から増加した損失量を各形状の損失とした。配置状況例を**写真－2**に示す。

写真－2　形状部をホース中間位置に配置した状況

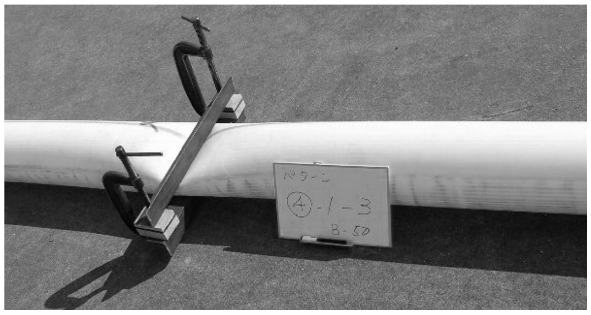
各形状損失の布設状況を**写真－3～5**に示す。

・屈曲：折れ曲がってホースが内側に大きく食い込んでしまい，断面を著しく阻害している状態。
・90°曲がり：排水の方向を変える場合，緩やかなカーブを描き曲がっていく状態。内側に浅く折れ曲がっている。

・つぶれ：現場で多数のホースが錯綜していると，他のホースと交錯する場合がある。下敷きになったホースはつぶされてしまうことがあり，その状態を表したもの。

写真－3　屈曲

写真－4　90°曲がり



写真－5　つぶれ

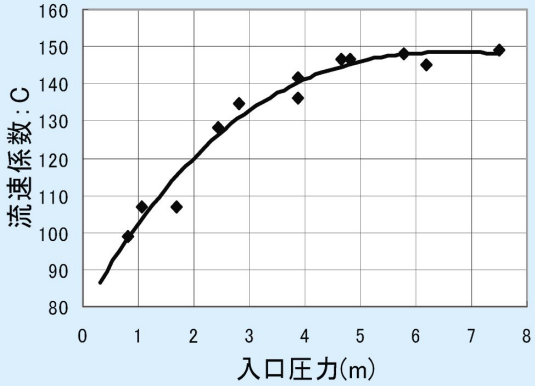
4.　実験結果

(1)　摩擦損失の係数と圧力の相関

損失水頭から算出された流速係数：Cと，ホース入口部での圧力の関連性を示すグラフを**図－2**に示す。

なお，ここでは圧力を水頭（m）の意味として用いる。

C値は約100～150に広がっている。C値は小さいほど損失が増加することを意味している。一般的に使われているC値と比較すると，高圧側では新しい鋳鉄管と遜色ないものの，低圧側では損失が大きくなることが見て取れる。代表的なC値の一例を**表－1**に示す。



図－2　C値と入口圧力（m）の関係

表－1　代表的なC値[1)]

管種	C値
新しい鋳鉄管	130～140
鋼　　管	100
ヒューム管	120～140
レンガ造り暗渠	100～130

(2)　形状損失の係数と圧力の相関

次の①～③の形状における損失水頭から算出された損失係数：fと，ホース入口部での圧力の関連性を示すグラフを**図－3**に示す。f値は大きいほど損失が増加することを意味している。

①　屈　曲

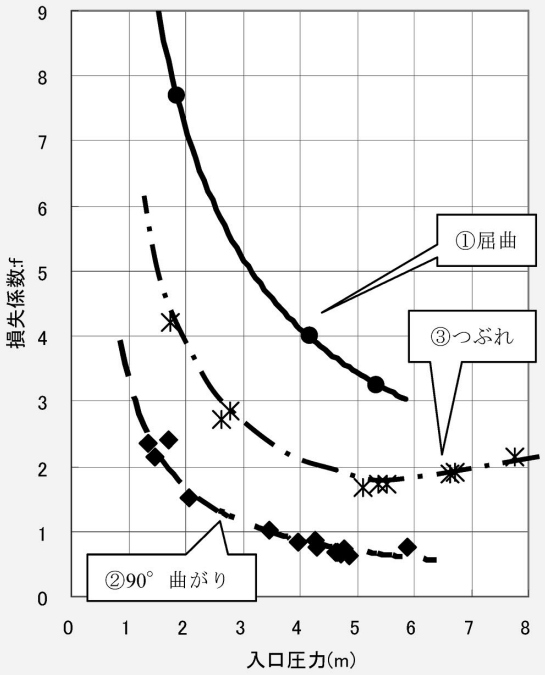
圧力が下がるにつれf値が大きくなり，損失が増していく傾向が認められる。

f値は，約3～8に広がっている。市販されている塩ビ製エルボ（内径0.202m，半径0.115m）のf値を計算すると1.3となり[2)]，屈曲における損失の大きさは際だっている。

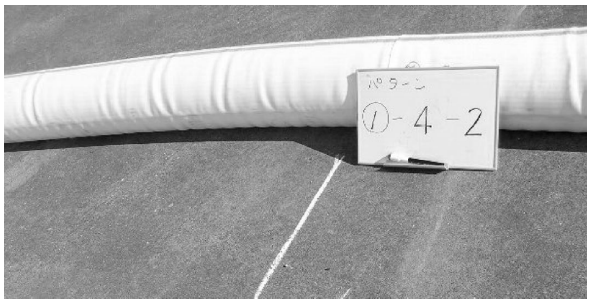
②　90°曲がり

f値は，約0.7～2.5に広がっている。

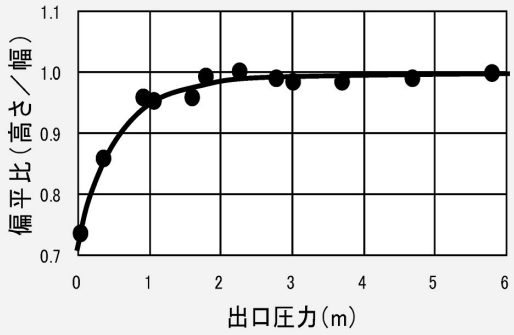
圧力が下がるにつれf値が大きくなり，損失が



図－３　各損失の*f*値と入口圧力（m）の関係



写真－７　低圧状態のホース



図－４　ホース偏平比と圧力の関係

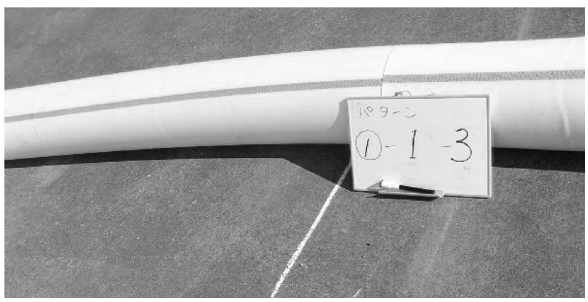
増していく傾向が認められる。しかし数値的には小さく，損失への影響は比較的少ない。

③　つぶれ

*f*値は，約２～4.3に広がっている。圧力が下がるにつれ*f*値が大きくなり，損失が増していく傾向が認められる。やや数値的に大きくなり，損失への影響が大きい。

⑶　圧力によるホースの変化

ホース外観上の変化として，圧力が２mを下回るとホースに「しわ」が寄り始めることが認められた。圧力が十分に高い（高圧）状態と，「しわ」が見られる（低圧）状態を**写真－６，７**に示す。



写真－６　高圧状態のホース

さらに，圧力が低下し張りが失われた結果，その円形断面が徐々に偏平状につぶれていく状態を**図－４**に示した。偏平の状態は偏平比とし，（高さ/幅）として表した。圧力の低下に伴い，急激に偏平化が進んでいくことが分かる。

また圧力2.3m程度では，外観上は高圧状態と変わらないが，押せば凹みホースの張りが失われている状態が感触として認められた。

5.　考　　察

⑴　損失係数を使い分ける必要性

ホースにおける損失計算に際し，損失係数が圧力により大きく変動する場合があり，係数を固定化すると計算結果と実状に著しい差が生じてしまう恐れがある。損失係数を圧力によって使い分けることができれば，大きな差を生じることはない。しかし排水現場では，圧力計などの計測器類が具備されていない場合がほとんどであり，その場で圧力を求めることはできない。

そこで現場で対処できる実用的な方法として，ホースの状態で低圧側か高圧側か判断し，係数を

使い分けることができるよう，基準を示すこととした。

⑵ 使い分けの判断基準

ホースの低圧側，高圧側は外観と感触から判断できる。外観上「しわ」が見える状態では低圧側とし，このときの圧力は２m以下と判断できる。また，感触として張りが弱くなっているようであれば低圧側とし，このときの圧力は2.3m以下と判断できる。

ホース外観に「しわ」がなく，また感触上も十分な張りがあり，押しても固く凹まないようであれば高圧側と判断できる。

⑶ 求められた低圧側，高圧側の係数

ホースの摩擦損失と３種類の形状損失について，**図－２**，**３**より圧力２mを目安に低圧側と高圧側の実用的な係数を得た。**表－２**に求めた係数を一覧にして示す。

表－２　損失係数一覧表

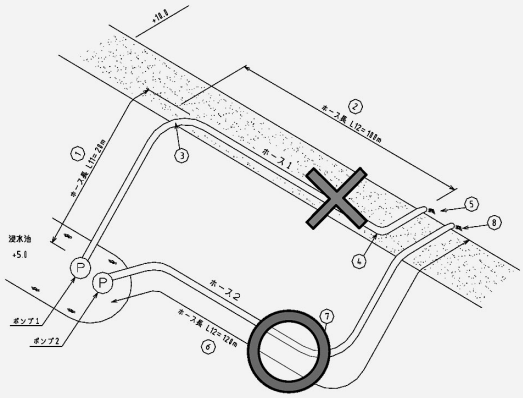
損失種類		低圧側	高圧側
流速係数：C		90	120
損失係数：f	・屈曲	8	5
	・90°曲がり	2.5	1
	・つぶれ	5	2

6.　排水ホースの損失改善対策の検討

実施した検証試験により排水ホースの損失要因について明らかになったが，実際の排水現場では損失を発生させない最適な敷設ができるとは限らないため，先の実験結果を踏まえ改善対策を検討した。

⑴ 敷設ルートによる対策

実験結果では直管損失・形状損失とも，「圧力が低下するほど損失が大きくなる」傾向が確認できている（逆に圧力が大きければ損失は小さくなる）。



図－５　敷設ルートの選択

ホースの敷設ルートを検討するに当たって，排水先までの敷設ルートが複数ある場合，ホースが高圧の状態を維持できるルートである方が損失が少ない。よって，なるべく低い位置にホースを敷設し，最後に立ち上げるルートを選択することが望ましい。

⑵ 形状損失の改善対策

排水ホースの損失を大きくしている形状損失の要因を改善し，排水ポンプ車の排水能力を最大限に確保するための対応策を検討した。検討は，先の検証試験で測定を行った形状損失のうち，特に大きい数値を示した「屈曲」に対して，以下の項目を基本条件として行った。

① 断面形状による阻害を少なくする。

「屈曲」における最大の損失要因は，ホースが内側に大きく食い込んでしまうことにより断面積が狭められ，水流を阻害してしまうためと思われる。

よって，断面形状を円形に保持できる形状とした。

② ホースの保護

屈曲が発生しやすい状況の一つに，コンクリートのエッジ等の切り立った個所を乗り越える場合がある。

このような場所にホースを敷設すると，ホース外面が損傷し，穴が空いてしまうこともあるので，外面保護の役割ができる形状とした。

③　作業性・運搬性

持ち運びやホースへの取り付け作業が，成人男性が１人で行える，また，排水ポンプ車の空いているスペースに積み込みができる形状とした。

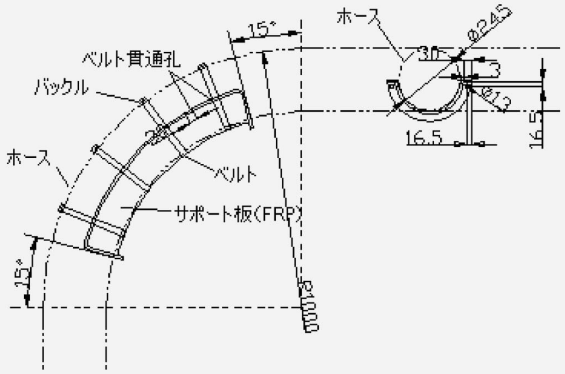
④　耐久性

現場での取り扱いでは，落下等による衝撃が想定されるので，衝撃に対する耐性を考慮した。

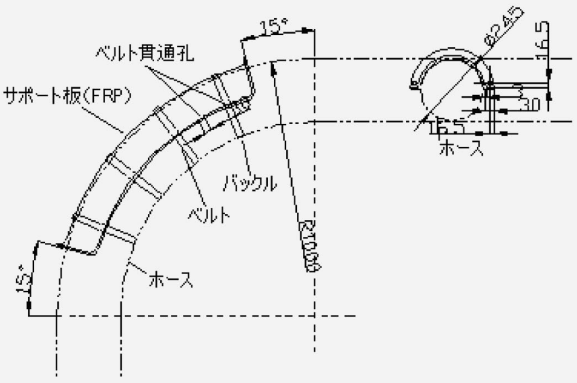
これらの条件を踏まえ検討を行った結果，次の物を「屈曲」の形状損失に対する改善対策とした。

・名称：ベルト掛けサポーター
・形状・寸法：**図－６，７**を参照
・材質：FRP
・厚さ：10mm
・幅：口径200mmの排水ホースに適用
・曲り半径：排水ホースの曲り角度90°，曲り半径1,000mmに適用可能

また，検討結果を基に設計・製作した完成品が



図－６　内側タイプ



図－７　外側タイプ

手前：内側タイプ，奥：外側タイプ

写真－８

上記の写真のものである。

7.　損失改善対策品の検証

製作した改善対策品について，改善対策の適用性を検証した。適用性の検証は，以下の測定と観察を行う。

・対策品の有無による排水量の変化
・対策品の有無による「屈曲」の発生状況
・対策品の強度，取り付け・取り外しの作業性等

なお，検証試験は，損失要因の検証試験と同様の実験施設を使用して行った。

⑴　実験方法

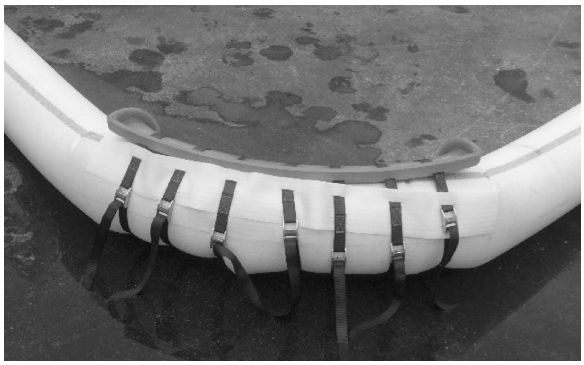
「5. 考察」で基準を示した“高圧側”と“低圧側”の状況を作り出し，それぞれにおいて対策品を使用しない状況と，使用している状況を測定した。

①　水平屈曲の測定

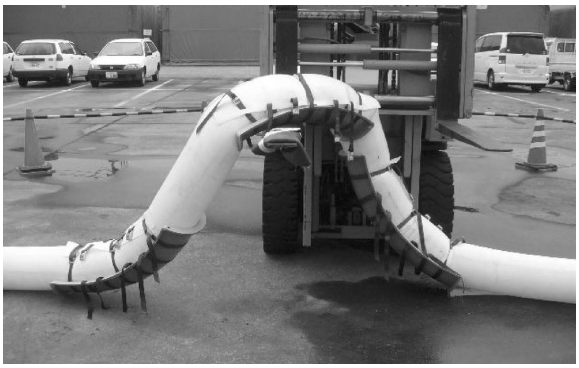
敷設したホースの途中に屈曲を１個所発生させ，対策品を使用する効果を検証した。

②　垂直屈曲の測定

実際の排水現場における堤防パラペットや手すり等を乗り越える状況を想定し，対策品を使用する効果を検証した。



写真－９　対策品（内側タイプ）の使用状況



写真－10　垂直屈曲に対する対策品の使用状況
（内側タイプを１個，外側タイプを２個使用）

⑵　**実験結果**

実験の結果は，**表－３，４**のとおりとなった。

いずれの状況においても，屈曲の発生はなく，損失改善の効果が確認できた。

表－３　水平屈曲の測定結果

圧力パターン ＼ 敷設パターン	低圧状態 流量（m³/min）	高圧状態 流量（m³/min）
対策品なし	2.5	6.2
内側タイプ１個使用	3.5	6.6
外側タイプ１個使用	3.5	6.6

表－４　垂直屈曲の測定結果

圧力パターン ＼ 敷設パターン	低圧状態 流量（m³/min）	高圧状態 流量（m³/min）
対策品なし	0.75	5.8
対策品使用	0.9	6.4

また，使用状況を観察した結果は以下のとおりである。

・水平屈曲部に対しては，内側タイプと外側タイプに改善効果および作業性に差はない。
・垂直屈曲部で手すり等の障害物を乗り越える場所では，内側タイプの方が効果的である。
・最高圧力運転を行っても，対策品，ホースともに損傷などの異常は見られなかった。

8.　おわりに

今回行った調査検討により，今まで不明だった排水ホースの損失要因の実態が明らかになり，損失要因を改善する手法を策定する事ができた。今後は，この結果を排水ポンプ車の運用手法として確立し，実際の排水現場で効率的な排水作業を行えるように整備を進めていく予定である。

【参考文献】

1)　社団法人日本機械学会，技術資料「管路・ダクトの流体抵抗」，p.51，1993年５月30日
2)　社団法人日本建設機械化協会，道路管理施設等設計指針（案），p.59，2003年７月20日

国土交通省関東地方整備局関東技術事務所　防災技術課　岡澤（おかざわ）　秀也（ひでや）
珎道（ちんどう）　昌宏（まさひろ）