

排水ポンプ車の作業性向上に関する検討

安田 光男

関東地方整備局 関東技術事務所 施工調査・技術活用課 (〒270-2218 千葉県松戸市五香西6-12-1)

近年、各地で局地的集中豪雨が頻発していることから、内水排除のための排水ポンプ車の要請が増加している。排水要請は、従来の堤防周辺で排水作業に加え、地下構造物等の狭隘部での排水や道路冠水での長距離排水等、多種多様な排水作業を行っている。これら多種多様な排水作業の新たな課題として、排水ポンプ設置・撤去に対するより一層の省力化や、作業員の負担軽減、吐出能力を低下させない排水が求められている。

本検討は、多種多様な排水条件での排水ポンプ車及び排水ポンプ設置・撤去作業の課題抽出及び対応策の検討を行ったものであり、作業性向上を目的とした資材の開発について報告する。

キーワード 排水ポンプ車、排水サポータ、排水ホース、災害対応、性能評価

1. はじめに

排水ポンプ車は、排水作業に必要な排水ポンプ、発電機等を搭載しており、台風や集中豪雨による河川の氾濫などにより浸水した場所に出動し、溢れた水を排水することによって、浸水被害を最小限に抑える災害対策用機械である。

令和元年10月の台風19号にて出動した、千葉県内の下水処理場の浸水対応では、地下構造物内に溜まった水を排水する作業となった。建物内の狭隘部や図-1のような階段部では排水ホースが屈曲し、また、建物の壁を乗り越えるような箇所では、排水ホースの屈曲等を抑制する排水サポータの設置が困難になるなど、排水ホース等の設置作業で複数の課題が確認された。

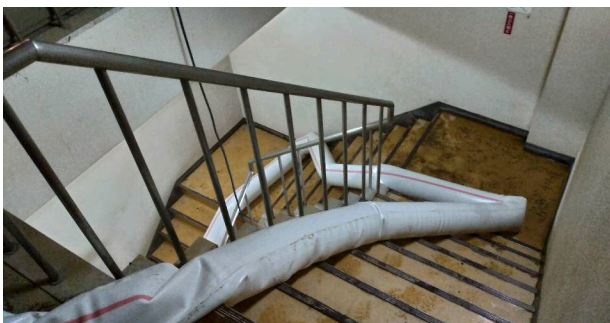


図-1 階段部での排水ホース屈曲状況

また、道路冠水等の排水作業では、冠水箇所から排水先までが長距離となる場合があるため、重量物である排水ポンプや排水ホース等の資機材運搬で作業員の負担が大きくなっている。

これらの課題を解決するため、排水作業の作業性を向上するための資材の開発を行った。

2. 資材の開発

(1) 排水作業の課題

国土交通省で運用している排水ポンプ車の排水ホースは、自在なルートで敷設することができる柔軟な材質であるが、ホースの屈曲やつぶれにより、形状損失が増し排水量を減じる負の特性がある。

地下構造物等狭隘部での排水作業は、ホース等の敷設スペースが限られるため、ホースの屈曲箇所が多くなり、角度も急になる場合が多い。排水ホースの形状損失対策として、関東地方整備局では過去に図-2のような排水サポータを開発し運用しているが、狭隘部での使用を想定した設計となっていない。また、既存排水サポータは、構造物等と接する底面が曲面となっているため、壁を乗り越えるような箇所では設置が安定せず、排水中にずれ落ちる等の課題がある。

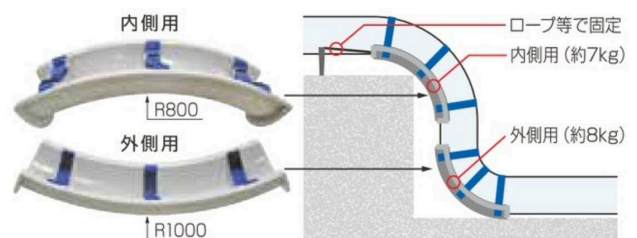


図-2 既存排水サポータ

一方、長距離排水に関する課題については、国土交通省の排水ポンプ車に搭載されている資機材は、人力のみで設置撤去を可能とするため、排水ポンプ本体は重量が23~38kg、電源ケーブルを含めると最大約60kg、また排水ホースは付属品込みで約27kgとなっている。しかし、災害復旧作業に従事する作業員の多くが高齢化しており、

資機材の運搬は相当の重労働となっている。

(2) 対応策の検討

地下構造物等狭隘部の作業性向上対策は、排水サポートを改良すれば、過去に開発した経緯もあり、比較的短期間に対応できると考えた。

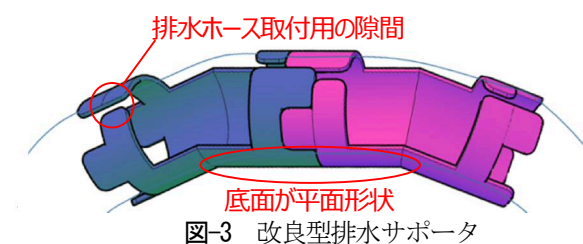
また、長距離排水に関する課題に対しては、作業員の負担軽減のため、資機材の軽量化について検討した。資機材の軽量化検討のうち、排水ポンプについて、排水ポンプと電源ケーブルを分離することで軽量できないか検討したが、潜水状態での使用に対して防水を保護するIPX8に相当する防水コネクタが市場調査の結果、確認できなかったため見送った。排水ホースの軽量化については、市場調査の結果、従来品より軽量のホース材料があることを確認したため、排水ポンプ車で使用する排水ホースに導入できないか試みた。

3. 設計・試作

(1) 改良型排水サポート

開発コンセプトは、排水損失を低減するため、既存サポートと同様にホース敷設時の屈曲形状を曲がり形状に抑えることで、既存サポートと同程度の排水損失低減効果を有することとした。また、材質や形状等を検討して、軽量化や作業の単純化を図ることで、作業員の設置労力の苦渋性に配慮しつつ、排水ポンプ車の搭載品として位置づけられるように、形状等の単純化を図り、製作コストを抑えたものとした。

これらのコンセプトを踏まえ設計・試作した改良型排水サポートは、図-3のとおり半円筒形状をしており、既存排水サポートの半分の大きさとし、底面は設置した際にサポートが安定するよう、縦断方向が平面となる形状とした。



改良型排水サポートの端部は凹凸形状とし、互にかみ合わせることで排水サポートを接続させるとともに、任意の向きで接続できる構造とした。排水ホースの取付は、半円筒形状のサポートに隙間を設け通すことにした。さらに、階段踊り場での使用を想定し、図-4のとおり複数組み合わせることで任意の向きに向けることができるよう設計した。なお、材質及び肉厚は既存排水サポートと同様の、ガラス繊維強化プラスチック（GFRP）、10mmとし強度的に問題ないかFEM解析及び実負荷試験で確認することとした。

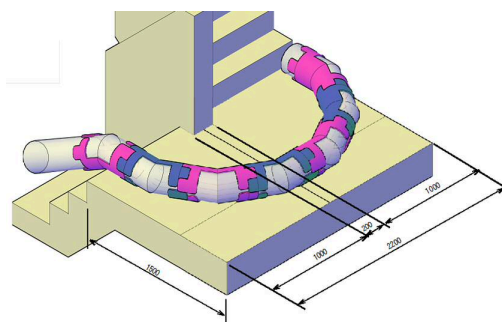


図-4 階段踊り場での使用イメージ

(2) 軽量ホース

排水ホースの断面構造は図-5のとおり、ポリエステル繊維の内外面に樹脂を被覆しており、内部樹脂層で水密を、ポリエステル繊維で使用圧力を確保し、外部樹脂層で外部からの摩擦を保護する構造となっている。

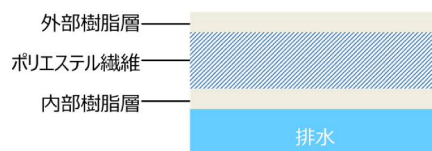


図-5 排水ホースの断面構造

軽量ホースで使用したホースは、ポリエステル繊維の密度を既存ホースより減少すること及び内部樹脂層を薄くすることにより約10%軽量している。また、排水ホースの継手部分は金属製となっており、その厚さを3mmから1.5mmとした。これらホースと金具を用いて20mの排水ホースを試作した場合、既存の排水ホース22.6kgに対して軽量化ホースは約20kgとなる見込みとなった。

4. 改良型排水サポート機能試験

機能試験は改良型排水サポートの機能が発揮できているかを確認し、使用上の課題を抽出するため実施した。

試験は、図-6のとおり建物の壁を乗り越える箇所や2.2×1.1mの階段踊り場でホースが180度屈曲する排水作業を擬似的に再現し実施した。



図-6 機能試験（左：壁乗り越え、右：階段踊り場）

なお、排水サポートやホースに作用する負荷が最大となるよう、吐出口をバルブで絞り、ホースの最大使用圧力である0.2MPaで試験した。また、実際に災害復旧作業に従事する方に作業を依頼することで感想等を聴取し、改良案の基礎資料とした。

5. 機能試験結果及び対策検討

(1) 建物の壁を乗り越える箇所を想定した試験

a) 接続部の挙動に関する確認

改良型排水サポータはそれぞれを接続して使用するため、排水作業中に接続部が外れないかを確認した。

その結果、設置高さが2m程度で使用した場合、充水したホースの重みで図-7のようにサポータが外れる事象が発生した。そのため、接続部の縦方向にベルトで固定したところ、外れは収まったため、この方法で対策することとした。



図-7 接続部外れ状況(左)及び対策(右)

b) 設置の作業性に関する確認

凹凸形状を組み合わせる作業等が必要となるため、その作業性を確認した。その結果、凹凸部のクリアランスが小さいため、組み合わせ作業に時間を要した。そのため、図-8のように、凸部の先端を斜めに加工することで、凹部に差し込み易くする形状に改良することとした。

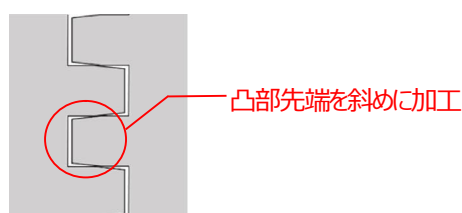


図-8 接続部拡大図

また、充水したホースの重みで排水サポータがずれた際、図-9のように角が点接触する恐れがあるが、先端を斜めに加工することで、接触面積を増加させ、応力の分散させる効果もあると考えた。

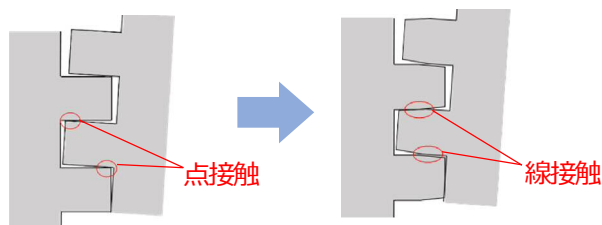


図-9 凸部先端加工前後の接続部比較

c) その他確認事項

サポータ端部が凹凸形状となっているため、充水したホースの重みにより図-10のようにホースへ食い込む事象が発生した。サポータ端部により排水ホースが傷付き、長時間この状態であると排水ホースが破れる恐れがある

ため、急遽対策を検討することとした。現地にあったベルトを試験的に巻くことにより、食い込みを緩和することができたため、この方法で対策することとした。



図-10 排水ホースへの食い込み状況(左)及び対策(右)

また、図-3で示した排水ホース取付用隙間について、隙間幅3cm、6cm、10cmで試験したところ、3cmでは手間取り、隙間幅が広いほど設置の作業性が高かったため、幅10cmを採用することとした。

(2) 階段踊り場を想定した試験

ホースを180度屈曲するためには、サポータを6個接続しないとイケないため、ホースの差し込み及び組立に時間を要したが、凸部先端を斜めに加工することで、対応できると考えた。なお、本試験においても排水サポータの亀裂や破損は確認されず、接続部の分解も無かった。

6. 総合実証試験及び評価

総合実証試験は、機能試験で改良した試作排水サポータと試作した軽量ホースを用いて、機能試験と同じく建物の壁を乗り越える箇所と階段踊り場での排水作業を擬似再現した試験を実施した。効果を評価するにあたっては、既存の排水サポータ及び排水ホースと比較して評価した。試験結果は表1～3とおりである。

表-1 壁乗り越え箇所を想定した試験結果

評価項目	既存排水サポータ	改良型排水サポータ
作業性	○ 排水サポータにホースを載せバンドで固定だけで作業性は良好	○ 設置時間が既存排水サポータとほぼ変わらないため良好
安定性	× 構造物等と接する底面が曲面となっているため安定しない	○ 構造物等と接する底面が流れ方向に平面となっているため安定した
排水性能	100% 4.73m ³ /min	101% 4.79m ³ /min
耐久性	○ ひび・割れは確認されなかった	○ ひび・割れは確認されなかった
ホースへの影響	○ 特に無し	○ サポータ端部にバンドを巻いても、高さ2m以上だと端部がホースに食い込む場合があるが、剛性の高いバンドを使用すれば緩和された

改良型排水サポータ端部にホースが食い込む現象については、設置高さが2m程度以上になると、ベルトを取り

付けても水の重みでホースにサポータ端部が食い込む場合もあったが、幅の広い剛性の高いベルトにすることである程度緩和することができた。

改良型排水サポータ本体について、強度的に問題無いか確認するため、FEM解析したところ、作用する最大応力は19N/mm²となる結果となった。また、改良型排水サポータにひずみゲージを設置し、実際に作用する応力を計測したところ、FEM解析結果と同箇所では19.3N/mm²が発生する結果となり、解析結果が妥当であることを確認した。GFRPの破断応力は172kN/mm²であるため、最大応力の計測値より約8倍の余裕があることが分かった。肉厚を10mm以下とすると、落下等の外力により破損する恐れがあること及び噛み合わせ部に大きな応力が発生するため、肉厚の設計は妥当であると考えた。

表-2 階段踊り場を想定した試験結果

評価項目	既存排水サポータ	改良型排水サポータ
作業性	○ 曲り部にサポータを設置するだけのため作業性は良い	○ 接続部のクリアランスが大きく、組立・設置の作業性は良い
排水性能	100% 4.71m ³ /min	103% 4.85m ³ /min
耐久性	○ ひび・割れは確認されなかった。	○ ひび・割れは確認されなかった
ホースへの影響	○ 特に無し	○ サポータ端部のへのホースの食い込みは無い

階段踊り場を想定した試験では、設置作業も手間取ることなく設置できた。また、排水中も排水サポータの接続が外れることが無く、排水量も既存排水サポータと比較して向上していることを確認した。

表-3 軽量ホースに関する試験結果

評価項目	現行排水ホース	軽量ホース
荷下ろし・運搬・撤去時間	100% 12分36秒	84% 10分39秒
耐久性	○ 水漏れ・水しみ等は確認されない。	○ 水しみが発生したが、内部樹脂層を厚くすることで対応できた
重量	100% 22.6kg/20m	90% 20.4kg/20m

軽量ホースについて、作業員に使用した感想をヒアリングした結果、2.2kg程度の重量軽減でも負担軽減となり、非常に好評であった。特に撤去時等、疲労が蓄積された状態での効果が高かった。また、試験中ホース表面に水しみが確認されたため再検討した。その結果、ホースを軽量化するため、内部の樹脂層を薄くしたことにより、耐久性が低下しクラックが発生し、ポリエステル繊維に水がしみ出したことが分かった。この対策として、内部樹脂層の厚みを増すことで改めて試験した結果、水しみを抑えることができ、最大使用圧力である0.2MPaでの使用でも、ホースの亀裂等が確認されず、外部摩擦による目立った外傷は確認されなかった。

7. 製作仕様

総合実証試験の結果に基づき改良検討した、改良型排水サポータと軽量ホースの製作仕様を表-4、5に示す。

表-4 改良型排水サポータ製作仕様

項目	改良型排水サポータ	【参考】既存排水サポータ
材質	サポータ : ガラス繊維FRP 接続ベルト: ポリエステル繊維 端部ベルト: ポリエステル繊維	サポータ: FRP ベルト : ポリエステル繊維
本体重量 (kg)	3.55±1.0	7.0±2.0
本体厚み (mm)	10.0±2.5	10.0±2.5
曲げ強度 (N/mm ²)	98以上	98以上
取付方法	・接続ベルトを用いて、サポータの分解防止 ・端部ベルト用いて、ホースへの食い込みを防止	メンファスナー付ベルト固定方式
ベルト寸法 (mm)	・接続ベルト 幅50以下、厚さ3以下 ・端部ベルト 幅55以下、厚さ3以下	幅55以下、厚さ3以下

表-5 軽量ホース製作仕様

項目	軽量ホース	【参考】現行排水ホース
材質	繊維 タテ糸 ポリエステル繊維 ヨコ糸 ポリエステル繊維 被覆材 ポリマーアロイ	繊維 タテ糸 ポリエステル繊維 ヨコ糸 ポリエステル繊維 被覆材 ポリマーアロイ
重量 (g/m)	760±150	890±150
ホースの折り畳み幅 (mm)	325±8	330±8
ホース内径 (mm)	204±6	207±6
ホースの厚み (mm)	1.2±0.3	1.5±0.3
最大使用圧力 (MPa)	0.2	0.2
破断圧力 (MPa) ※1	0.4以上	0.6以上
ホースの筒長方向の引張強さ (N/mm)	75以上	100以上
内面被覆材と織物層との層間剥離強さ (N/mm)	1.0以上	1.2以上
ピンホール検査	放電式ピンホール検査機で検知されないこと	放電式ピンホール検査機で検知されないこと
(参考) ホース一式標準重量 (kg) ※2	23.4kg (20m両端金具付き) 15.8kg (10m両端金具付き)	27kg (20m両端金具付き) 18kg (10m両端金具付き)

※1 円周方向のホースの引張り試験から破断圧力を算出する。

※2 クランプバンド、漏水カバー、固縛バンドの重量を含む

8. おわりに

本検討にて、作業性向上に資する資材を開発することができたが、実現場で使用していないため、実際の災害現場での使用や、多くの方が使用することでさらなる改良点が出てくると考えている。そのため、関東技術事務所では、講習会を通して多くの方に使用してもらうとともに、災害現場で使用することで新たな課題を確認し、それらをもとにさらに改良していきたいと考えている。

参考文献

関東地方整備局関東技術事務所: 排水ポンプ車の機能改善に関する調査検討, 建設マネジメント技術(2009年5月号) pp. 60~66