

# 1.1. 洗浄水を循環再利用する水循環式排水管清掃車の開発

国土交通省 中部地方整備局 中部技術事務所 機械課 : ○桜田 明彦

## 1. はじめに

国土交通省では、工事の施工にあたり新技術・新工法等を積極的に導入し、施工の効率化、安全性の向上やコスト削減を進めているが、維持管理分野においても取り組むべき課題は多い。

直轄国道を常時良好な状態に保ち一般交通に支障を及ぼさないために実施している道路修繕や維持作業のうち、道路側溝や排水管路内の土砂等堆積物を除去・清掃する「排水構造物清掃作業」においては、大型の専用車両3台を用いた作業となることから安全面や作業の効率性、コストの面で課題を抱えている。

中部地方整備局中部技術事務所では、平成14年度から新しい発想の排水管清掃機械の開発調査に着手し検討を進めていたが、平成17年度には開発成果に基づく実用機が導入されるに至ったことから、機械の開発経緯と現場適応性試験結果を紹介する。

## 2. 清掃作業の実態と開発目標

### 2.1 作業実態と課題

排水構造物清掃作業は一般に、①排水管清掃車からの高圧水で堆積物を洗浄、②側溝清掃車で洗浄後の泥水を吸引回収、③散水車(給水車)から排水管清掃車へ不足した洗浄水を給水、という各作業を3台の大型専用車両で実施している。このため作業に伴う交通規制範囲



写真-1 作業状況 (車両を連ねた状態での規制)

が広くなり国道を利用される方々の利便性を損ねているだけでなく、作業現場や作業車両に対する事故の危険性も高い。

開発調査にあたり作業の実態と課題を把握するために、国道156号(岐阜国道事務所)および国道1号(静岡国道事務所)において現地調査を実施した結果からも、安全性、施工性、コストの面での課題を確認・整理できた(図-1)。

### 2.2 新しい清掃車の開発目標

排水構造物清掃作業が抱えている課題を解決するために、清掃作業に不可欠な洗浄水に着目し検討した

- 作業者は・・・**  
清掃車3台の駐車スペースに苦慮。  
規制範囲が長く(広く)、安全確保に苦慮。
- 道路利用者は・・・**  
安全な通行に支障。
- 道路管理者は・・・**  
非効率な作業と安全確保のためコスト増。  
道路利用者へのサービス低下。



図-1 清掃作業の現状と課題



図-2 清掃作業の現状と新型清掃車導入イメージ

## 新しい清掃車の開発条件

1. 清掃作業能力を低下させないよう、新型清掃車に集約する各機能性能は、既存のそれぞれの専用車と同等程度とする。
2. 現場での利便性を確保するため、新型清掃車のサイズは既存の車両と同等程度とする。

図-3 新型清掃車の開発条件

結果、回収泥水を浄化し洗浄水として循環再利用することで、洗浄・吸引・給水の各作業機能を1台の車両に集約した新型清掃車を開発導入することとした(図-2)。なお、技術調査の過程で類似のコンセプトをもつ外国製品が存在することがわかったが、複雑な機構をもち、また車両のサイズが大きく一般国道で使用するメリットがないことから、図-3に示すように開発目標を設定し開発を進めることとした。

### 3. 要素技術の検討と機械設計

#### 3. 1 新しい清掃車に適した泥水浄化方式

##### 3. 1. 1 回収泥水の性状と浄化方式

新型清掃車の実現には、回収泥水を循環再利用するための浄化方法がポイントとなる。

そこで、国道156号(岐阜国道事務所)、国道1号(静岡国道事務所)及び国道41号(名古屋国道事務所)の清掃現場の泥水を採取し性状分析を実施したと

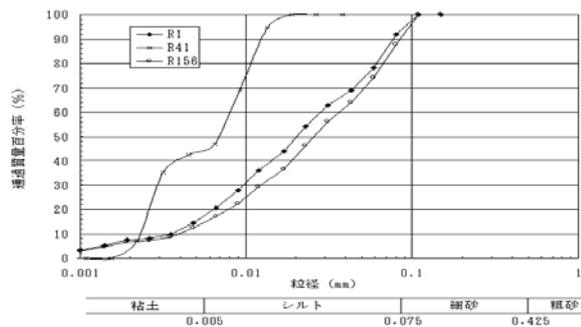


図-4 現場から採取した泥水の性状

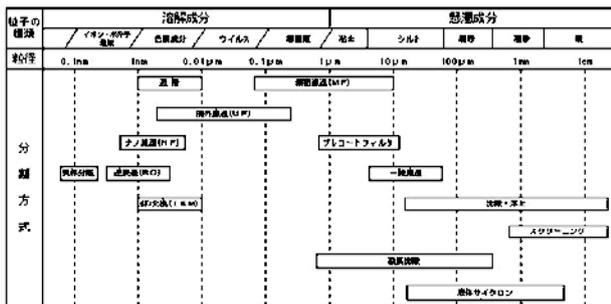


図-5 粒径と固液分離方式

ころ、泥水の粒径は1~100 $\mu$ mに分布していることがわかった(図-4)ため、この粒径に適合する浄化方式(図-5)から適切な方式の検討をすすめた。

今回開発する清掃車は1台の車両に浄化システムだけでなく高圧洗浄装置や吸引装置等も搭載するため、複雑な機械装置を持たずに固液分離できる凝集沈殿方式とするのが有利と考えられる。そこで、清掃現場で採取した泥水に凝集剤(PAC:ポリ塩化アルミニウム)を添加し凝集沈殿試験を行った結果、2,000~6,000mg/l程度のSS濃度を示していた3現場の泥水ともPAC添加率200ppmにおいて40分後のSS濃度が40~300mg/l程度まで低下することが確認できた(表-1)。また、凝集沈殿方式により新しい清掃車に必要な浄化性能が得られるものの、ある程度の反応時間がかかることもわかった。

#### 3. 1. 2 浄化の効率化

新型清掃車が効率的な作業を実施するための浄化性能は回収泥水の浄化時間の長短が影響する。そこで効率的な浄化方法を検討するため、実際の排水管清掃現場において実験を実施した。

表-1 PAC添加率とSS濃度

項目	採取場所	SS濃度(mg/L)		
		R1(沼津)	R41(名古屋)	R156(美濃)
回収泥水のSS		1,748	2,553	5,730
PAC添加率	40ppm	600	250	800
	100ppm	500	60	-
	200ppm	300	40	100

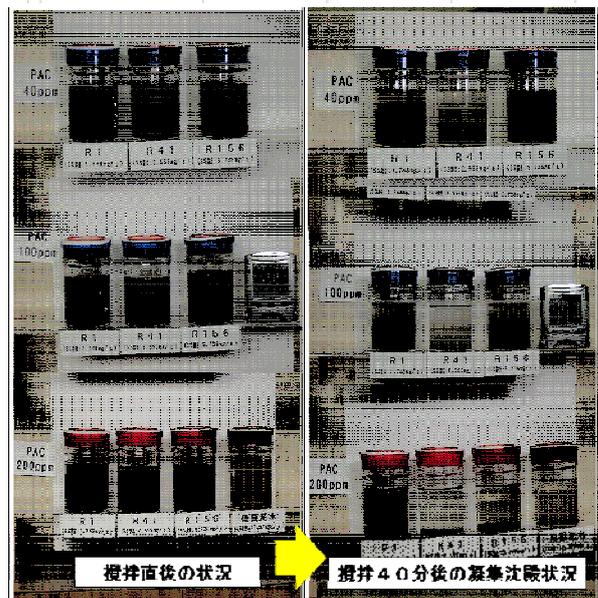


写真-2 凝集沈殿試験状況

### ①液体サイクロンの性能試験

ダム建設現場などでの濁水処理に用いられる、液体サイクロンに凝集剤を併用した浄化装置(写真-3)を清掃現場へ持ち込みその性能、機能を試験した。

試験の結果、次のような特徴が確認できた。

- i 泥水の吸引と浄化が同時に連続的に行われるため、処理速度は早い。(表-2)
- ii 固形物がサイクロンセパレータ本体とタンクの2ヵ所で発生するため、残土処分のための構造は複雑になる。

### ②凝集剤と凝集性能

凝集沈殿に用いる凝集剤は一般に有機系凝集剤の方が凝集性が高いとされているが、新型清掃車においてはコストの面及び浄化水を再利用することから毒性をもたない無機系凝集剤が望ましい。無機系凝集剤は一般にPACが用いられるが、近年石炭灰に由来する人工ゼオライト系凝集剤の性能の高さが注目されている。そこで、清掃現場の回収泥水に対して凝集沈殿試験を行い、次のような凝集沈殿速度向上等の効果を確認した。(写真-4)

- ①PACより大きなフロックが形成される。
- ②PACより沈降速度が速い。
- ③浄化水の透明度もPACより高い。

したがって、人工ゼオライト系無機凝集剤を使用す



写真-3 液体サイクロン式浄化装置

表-2 現場試験結果

項目	調査場所	国道22号	国道302号
回収泥水	SS濃度 mg/l	1690.0	4570.0
	平均粒径 μm	32.6	57.5
	最大粒径 μm	300.0	700.0
	性状	有機性排水	有機性排水
凝集剤	添加量 kg	0.6	3.6
	凝集時間 min	7.0	6.5
上澄水	上澄水量 ml	2.0	1.8
	SS濃度 mg/l	220.0	54.0

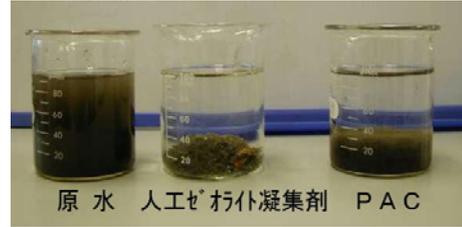


写真-4 凝集剤による沈降状況の違い

れば、作業効率向上の効果が高くなると考えられる。

### 3. 1. 3 回収泥水の浄化方式

浄化方式の検討結果から、液体サイクロンに凝集剤を併用した方式は処理速度は速いもののその構造から浄化・洗浄・吸引の機能を1台の車両に搭載した新型清掃車とするには検討事項が多いため、当面の導入を目指す清掃車は、自然沈降による凝集沈殿方式に凝集効果の高い無機系凝集剤を組み合わせる浄化方式として開発検討を進めるのが適当であると判断した。

また、凝集試験において回収泥水を概ね200mg/lまで浄化できることが確認できたことから、浄化性能の目標値は水質汚濁防止法に基づく排水基準のSS濃度である200mg/l程度に設定した。

### 3. 2 新しい清掃車の機械構造の検討

新型清掃車には、洗浄水と回収泥水を貯留するタンク、回収泥水を浄化する凝集沈殿タンクが必要となるが、これらを個別に設けるのは車両サイズと作業能力の面から現実的ではなく開発目標も達成できない。

そこで、ひとつのタンク内に油圧で可動する隔壁を設け洗浄水室と回収泥水室として分離し、泥水の浄化は回収泥水室で凝集沈殿させることで、清掃作業の進行に合わせて洗浄水室と回収泥水室の容量を変化させ必要な容量を確保することとした(図-6)。これによ

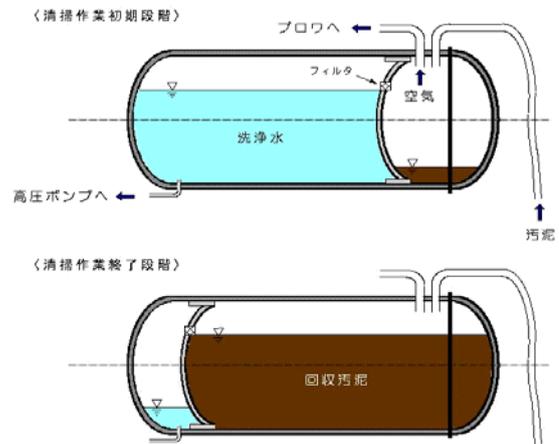


図-6 可動隔壁タンク構造

表-3 車両軽量化検討項目

No	軽量化の方法	内 容	軽減重量
1	タンク鋼板のSUS材	タンク鋼板の板厚は、通常の鋼板の場合10.5~11.0mmの鋼板が使用される。材質をSUS材に変更すれば鋼板代を減らすことができ、その分、重量軽減が図れる。	110kg
2	空気清浄装置の簡略化	通常の吸引車の場合、乾燥した土砂や粉体の吸引を行うことを想定して吸引用プロアの前部に吸引空気の清浄装置を装備しているが、排水洗浄作業は泥水の吸引が主であり、タンク外にオーバーフロー防止用の流量装置を増設し、空気清浄装置を省略することができる。	150kg
3	シャーシの選定	シャーシメーカー4社のシャーシの仕様を検討し、仕様を満足するシャーシの中から軽量のものを選定する。	100kg
4	凝集剤タンクの樹脂化	通常はSUS材で作成する凝集剤タンクを樹脂製に変更する。	10kg
5	高圧水ポンプの選定	高圧水ポンプを選定するにあたり、要求仕様を満たすポンプの中から軽量のものを選定する。	60kg
6	配管材の材質	吸引配管用の配管等を軽量のアルミ製に変更する。	5kg
7	アルミホイールの採用	標準の鋼製ホイールからアルミホイールに変更する。	90kg

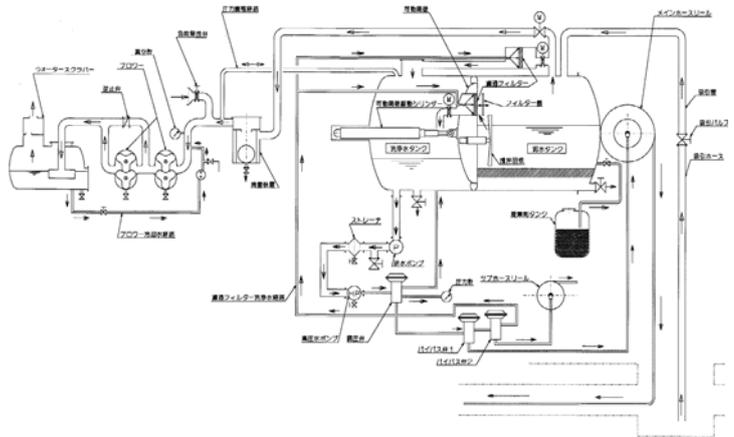


図-7 洗浄水の浄化循環システムフロー図

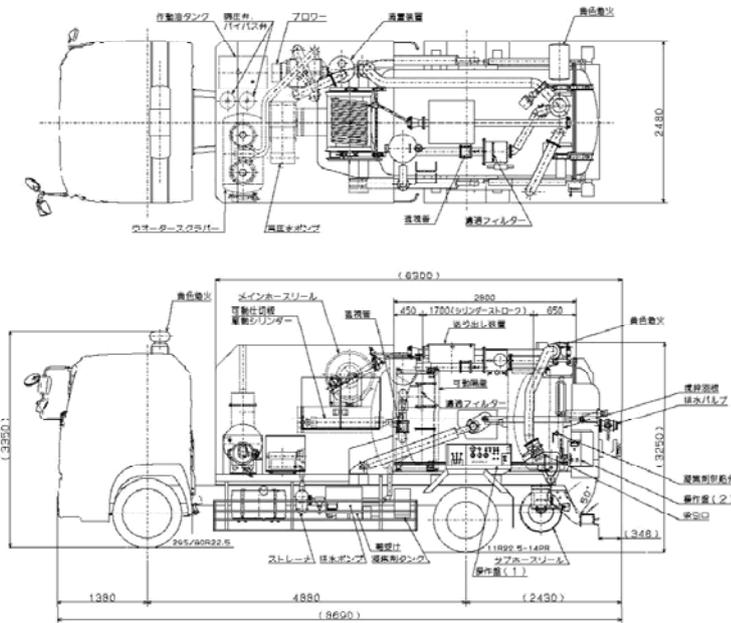


図-8 新型清掃車外観図

表-4 主要仕様

項目	仕様
1. 基本仕様	①高圧水により排水管や側溝を洗浄し、発生した泥水を吸引する。 ②回収した泥水を浄化し、洗浄水として再利用する。
2. 車両	①車種 8t級トラック ②車両総重量 17,000kg以下
3. 作業装置	①水浄化装置 i 浄化方式 凝集沈殿方式 ii 浄化性能 浄化水SS濃度200ppm iii 凝集剤 無機凝集剤(有害性のないもの) ②タンク i 構造形式 可動隔壁構造鋼板溶接円筒型 ii 容量 洗浄水室(最大)3.9m <sup>3</sup> 以上 回収泥水室(最大)4.7m <sup>3</sup> 以上 ダンプ式 iii 泥土排出 ③高圧水ポンプ i 最大吐出量 180ℓ/min以上 ii 最大使用圧力 20MPa以上 ④吸引プロア i 風量 40m <sup>3</sup> /min以上 ii 静圧 -90kPa以下

り、従来の専用機と同等のタンク容量(4 m<sup>3</sup>)を1台の車両のタンクで確保することが可能となった。

また、新型清掃車は、一般国道で使用することから既存の各種清掃車両と同等の8~10トン車に必要な機能を搭載することを目標としており、必要な機能とタンク容量を確保しつつ車両全体の軽量化を図ることが必須である。そこで、車両の軽量化手法を検討した結果、約500Kgの軽量化技術を整理した(表-3)。

### 3.3 新しい清掃車の設計と要求仕様とりまとめ

要素技術と機械構造の検討結果に基づき、新型清掃車の構造設計を行い実機導入のための要求仕様を平成16年度にとりまとめた(図-8、表-4)。

### 4. 実機導入と現場適応性試験

開発成果に基づく新しい清掃車は、「水循環式排水管清掃車」として平成17年度に中部地方整備局に実機導入された。そこで導入にあわせて、現場適応性試験を実施し、本清掃車の性能および作業現場における課題解決の有効性を有しているかを確認した。

#### 4.1 工場における機能確認

製作中の工場において、基本性能、機能を満足しているかどうか確認した。特に本清掃車の中心技術である水浄化能力については、清掃車のタンクに回収した泥水を凝集沈殿させた後に浄化水を採取し、SS濃度を測定し要求機能を満足していることを確認した。



写真-5 工場における性能試験状況



写真-6 現場作業状況  
(最小限の交通規制による作業状況)

#### 4. 2 実作業現場における調査

本清掃車による清掃作業を効率的に進めるためには、実作業現場での機能や作業性を評価し、施工歩掛や作業手順書等をまとめておく必要があるため、清掃車が配置される紀勢国道事務所管内の一般国道42号において作業を行い、各種調査を実施した。

##### 4. 2. 1 浄化性能の確認

泥水の浄化効果をタンクの観察窓で確認したところ、写真-8に示すような極めて明確な凝集沈殿効果を確認した。さらにタンクから浄化水を回収しSS濃度を測定し、開発目標とした浄化性能(SS濃度が200mg/l程度)を確認した(注: 2回目の作業における浄化性能は205mg/lであるが、これは凝集剤添加量と凝集反応時間の問題である)ことから、凝集



写真-7 現場作業状況  
(洗浄と吸引の同時作業状況)

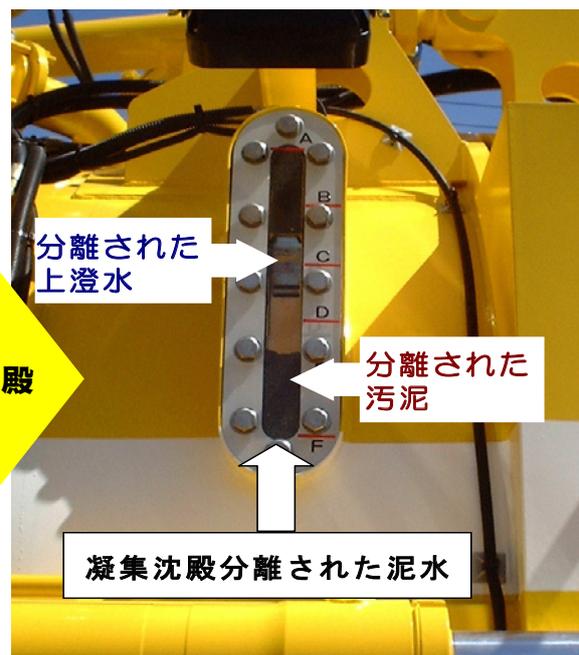
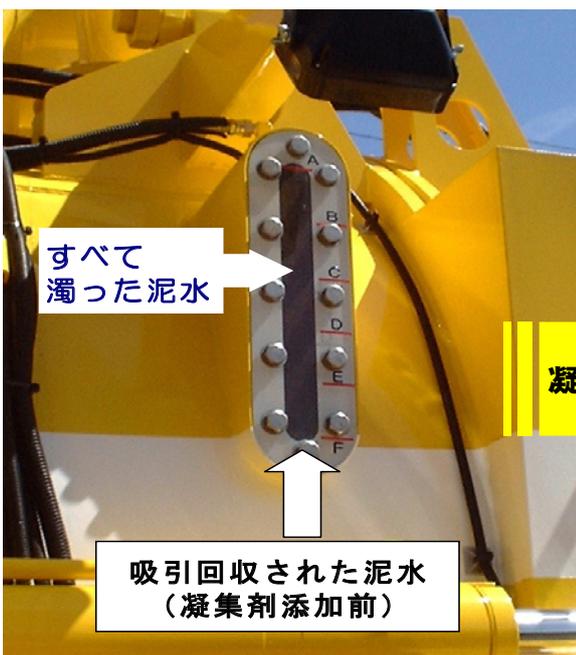


写真-8 タンク観察窓での浄化状況の確認

浄化	SS濃度	水素イオン濃度(pH)	浄化水の性状
1回目	55.2(mg/L)	7.5/(22℃)	
2回目	205(mg/L)	7.0/(23℃)	

図-9 現地浄化性能確認結果

沈殿方式による浄化システムの現場適応性は高いと評価できるものである。

#### 4. 2. 2 施工歩掛とコスト縮減効果

作業状況を分析した結果、水循環式排水管清掃車による清掃作業は、使用機械が本清掃車1台ですむことから作業人員も減少し施工歩掛が改善されるため、排水管清掃1日あたりの施工コストは現況作業に比べ約30%の縮減が期待できることがわかった(図-10)。さらに清掃車の購入費と維持費も含めた総コストを試算した結果、10年間で約29%のコスト縮減効果が予測される(図-11)。

なお、試算には交通規制に要する費用は含めていないため、現場条件によってはさらに大幅なコスト縮減効果が発揮できると考えられる。

#### 4. 2. 3 機械仕様の改良点

現場での作業状況の観察、国道事務所職員や維持

現況作業(組合せ作業)		水循環式清掃車による作業	
使用機械	排水管清掃車 側溝清掃車 給水車(必要時)	使用機械	水循環式清掃車
作業歩掛	世話役 1人 普通作業員 4人	作業歩掛	世話役 1人 普通作業員 3人

日あたり施工単価  
が約30%縮減

図-10 施工歩掛とコスト縮減効果

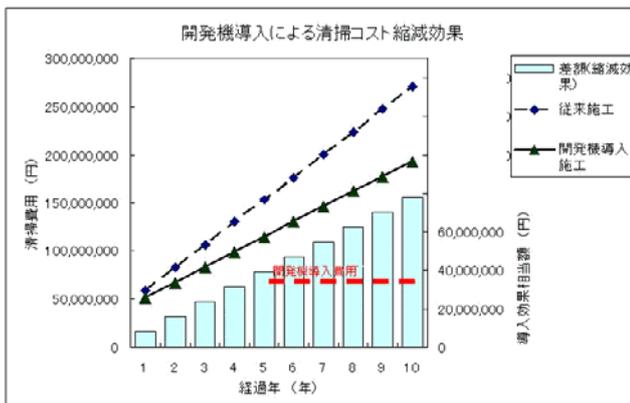


図-11 総コスト縮減効果

表-5 今後検討が必要な改良項目

改良・改善点	課題
タンク内部の視認性向上	効率的に回収した泥水を浄化するためには、タンク内部の凝集沈殿の状況や水位を把握することが重要になる。そのためにはタンク内部の様子を目で観察できることが望ましい。単に水位だけなく、沈殿の様子や上澄水の清濁度まで視認できるよう工夫した確認窓を設置することが必要。
水質や濁度の検出の自動化	効率的に作業するためには、泥水を吸引回収した後に泥水の水質や濁度を検出後、これに応じた適切な量の凝集剤を添加し凝集沈殿状況を判定する必要があるが、水質や濁度は目で確認し凝集剤を添加するための経験が必要となる。この作業を現場作業員が判断するのは難しいと思われ、監視や添加を合理的に行える工夫が必要である。
凝集剤添加の自動化	今回の試験では使用した凝集剤は現場の泥水によく適合していたといえるが、多種多様な現場で高い凝集性を発揮できる凝集剤、さらには環境に優しい凝集剤についても選定作業を縮減する必要があると思われる。
凝集剤の選定	今回の試験では使用した凝集剤は現場の泥水によく適合していたといえるが、多種多様な現場で高い凝集性を発揮できる凝集剤、さらには環境に優しい凝集剤についても選定作業を縮減する必要があると思われる。
タンク操作の自動化	タンク内の洗浄水と回収泥水の容量に応じた隔壁の移動が水位等に応じて自動化できれば、作業の効率性が向上する。
遠隔操作機能の追加(安全性向上)	洗浄ノズルや吸引ノズルを扱う作業員がポンプ、プロフを遠隔操作できれば、作業の安全性や迅速性が向上する。
高圧洗浄装置の仕様	今回導入した清掃車の高圧洗浄装置の仕様は現行排水管清掃車より高く設定しているが、適正な使用とすればさらに車両をコンパクト化できる。

作業会社担当者等の意見等から、改良検討が必要な点を整理した(表-5)。他の操作性向上対策も含め今後の本清掃車導入時の仕様に反映していく必要がある。

#### 4. 3 普及促進に向けた資料のとりまとめ

現場適応性試験の結果、新たに開発し現場導入した「水循環式排水管清掃車」は、排水構造物清掃作業が抱えている課題の解決に効果があることが確認できたことから、本清掃車の今後の普及促進を図るため、購入仕様書(案)、施工歩掛(案)と施工歩掛調査票(案)、作業手順書(案)のとりまとめを行った。

#### 5. おわりに

排水構造物清掃作業の改善に高い効果があることを確認した「水循環式排水管清掃車」が今後広く普及し利用されるためには、道路管理者が標準歩掛や施工マニュアル等を策定するなど利用環境の整備をすすめ、各現場での活用を促進することが必要である。

一方、本清掃車をさらに小型化・高機能化したり操作性向上や低価格化などを図るために技術開発を進めることも、現場改善効果の向上だけでなく清掃車の導入意欲を誘発するなど本清掃車の普及に不可欠であるため、今後の各清掃車メーカーの取組を望むものである。

また、本清掃車は車両1台のみで移動し濁水を効率的に処理できる特徴を持つことから、開発目的とした「国道の排水構造物清掃作業」以外にも有用であると思われるため多様な活用方法についても検討され、本清掃車がより広く普及し利活用されることを期待したい。

最後に、中部地方整備局関係事務所・出張所並びに各作業現場の関係者の皆さま及び(社)日本建設機械化協会施工技術総合研究所のご協力により本報告をとりまとめることができたことを記し、謝意を表します。