

軽量・高速・大容量ポンプ施設 に関する研究

1. 研究目的

都市化の進展により、不浸透面が飛躍的に増加し、雨水流出係数が高くなってきたことや、短時間かつ局所的に想定を遥かに超える降雨が発生していることから、下水道への流入雨水量が多くなってきている。早くから雨水排水計画を策定し、雨水整備を進めてきた都市では、当初計画の雨水整備目標レベルでは治水安全を図ることが困難な状況になってきた。

これにより、雨水整備目標を再検討する必要性が生じてきた。再検討にあたっては、整備効果を早急に発揮でき、かつ経済的・効率的な雨水排水計画に見直すことが重要である。雨水排水対策の手法としては雨水管きよの増強や貯留・浸透施設の設置等があるが、管きよ内に流入した雨水を速やかに排除できるように排水ポンプ施設能力を向上させることも重要な手法の一つである。今までは現有排水能力を向上すると既設ポンプに比べポンプが大きくなり、既設躯体への「荷重」や「設置スペース」等で問題が生じていた。そこで使用条件等により設計コンセプトを見直し、軽量（K）・高速（K）・大容量（D）化を実現したポンプ（以降、KKDポンプという。）の適用を検討することとした。KKDポンプを適用すれば、既存の雨水排水ポンプ施設の既設躯体等を大幅に増改築することなく、これまで以上の排水能力を持たせることが可能となる。本研究は、この

KKDポンプを実際に導入するための手順や水理的問題の対策について検討を行い、設計資料としてまとめ、KKDポンプ施設計画・設計の標準化、効率化を図ることを目的とする。

2. 研究体制

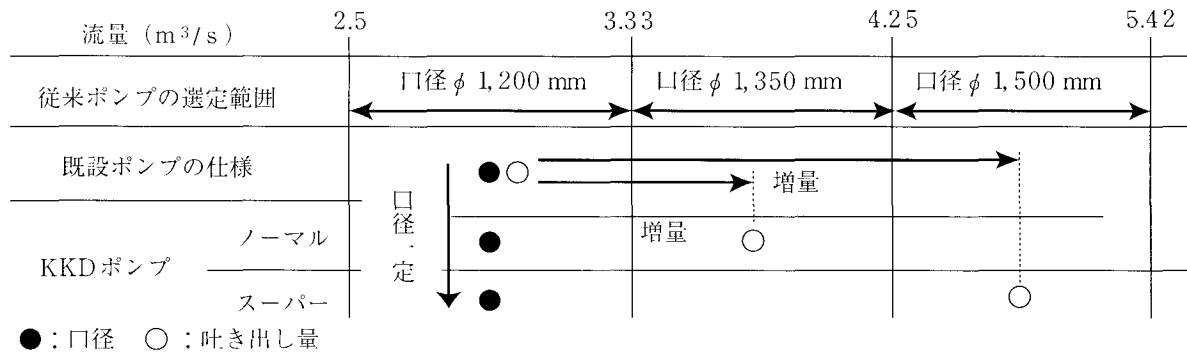
本研究は、(財)下水道新技術推進機構、(株)栗村製作所、石川島播磨重工業(株)、(株)石垣、(株)荏原製作所、(株)クボタ、(株)電業社機械製作所、(株)西島製作所、(株)日立製作所、三菱重工業(株)の共同研究として行われた。

3. 研究内容

3.1 概説

3.1.1 KKDポンプ

KKDポンプとは、既設のポンプ場で排水量を増量（大容量化：D）するために、従来型ポンプに軽量化（K）や高速化（K）を施したポンプのことである。既設の改修の場合は荷重や設置スペース等に制限が多い。それらの条件を満足し、排水量を増量させるために自由にメニュー（高流速化や高Ns化）を組み合わせることができるのが特徴である。KKDポンプのグレードは選択するKKDメニューに関わらず、増量後必要とする単機吐出し量が「従来のポンプの選定範囲をどれだけ超えているか」で区分するものとし、グレードは「ノーマル」と「スーパ



※上図のように既設ポンプと同口径で1ランクおよび2ランク上のポンプと同等の吐き出し量が得られる。ただし、これは選定の一例である

図-1 KKDポンプのグレード選定概念

表-1 KKDポンプメニューの効果

メニュー		効果の影響度		
		揚水管高流速化	高Ns※化	鋼板化
軽量化	床荷重の軽減	大	小	小
	吊り荷重の軽減	中	中	中
開口部寸法に対して		効果有	効果有	効果無

※Ns：比速度～羽根車の形状を表す特性係数のこと。回転数・吐出し量・全揚程の関数

ー」の二種類とした。

次頁に、グレード選定概念およびKKDの要素技術（以後「メニュー」）の効果を示す。

3.1.2 適用

KKDポンプは既設ポンプより排水量の増量を図る必要があり、既存構造物の床荷重などの制約がある場合に適用を検討する。

型式：立軸斜流ポンプ

流量範囲：1.17 m³/s～10 m³/s

全揚程：5 m～20 m

適用範囲は従来形ポンプで実績の多い範囲とした。なお、吐出し量が1.17 m³/s以下の場合、個別検討して効果があれば採用しても良い。

3.1.3 KKDポンプの種類

表-2に示すようにKKDポンプは既設ポンプの能力と増量後に必要とされるポンプ能力から「ノーマル」と「スーパー」に分かれる。「ノーマル」は揚水管口径を既設と同一口径とすると吐出し流速が～4 m/s程度になり、「スーパー」は～5 m/s程度になる。

表-2 KKDポンプの種類

揚水管口径 (mm)	既設ポンプ吐出し量 (m³/s)		KKDポンプ吐出し量 (m³/s)	
			ノーマル	スーパー
700	0.83超	1.17以下	1.17～1.50	1.50～1.92
800	1.17超	1.5以下	1.50～1.92	1.92～2.5
900	1.50超	1.92以下	1.92～2.5	2.50～3.33
1000	1.92超	2.5以下	2.50～3.33	3.33～4.25
1200	2.50超	3.33以下	3.33～4.25	4.25～5.42
1350	3.33超	4.25以下	4.25～5.42	5.42～6.67
1500	4.25超	5.42以下	5.42～6.67	6.67～8.00
1650	5.42超	6.67以下	6.67～8.00	8.00～10.00
1800	6.67超	8.00以下	8.00～10.00	

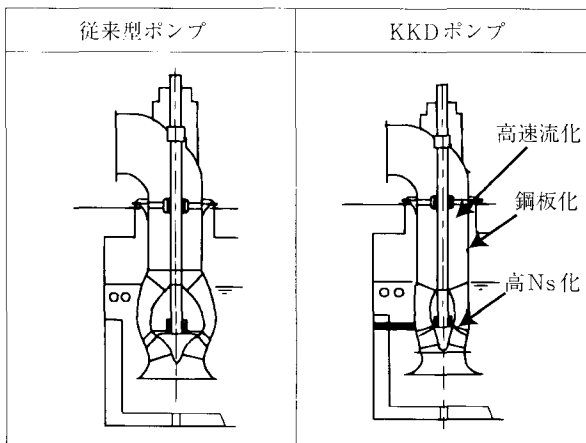


図-2 従来形-KKDポンプ比較図

3.2 設計

基本的には従来形ポンプの設計と同じである。異なる点および特に注意を有する点について述べる

3.2.1 対象台数

増量するポンプの対象台数は、増量計画水量を

基準として、全台均等に増量することを原則とする。ただし、増量の緊急性が高い場合や増量の場合は、対象台数を限定してもよい。

3.2.2 防振対策

KKDポンプは軽量化のために揚水管内高流速化や鋼板化を行う場合がある。そのため、従来形ポンプに比べ剛性が低くなり、振動が発生しやすくなる。振動を小さくするために揚水管やボウル部を既設土木構造物に固定する必要がある場合がある。土木構造物からサポートをとる場合は、個別に構造物の強度検討を行う必要がある。

3.2.3 KKDポンプメニューの選択

KKDポンプメニューの選択については、床荷重の軽減に大きな効果がある揚水管高流速化に他の項目（高Ns化、鋼板化）を組み合わせることを基本とする。

- ① 揚水管高流速化：増量に対して揚水管口径を大きくせず管内流速を上げることにより、揚水管重量増加を抑える。
 - ② 高Ns化：ポンプ回転速度を上げることで揚水量を向上することによりボウル径を抑える
 - ③ 鋼板化：通常、鋳物製である「揚水管」「エルボ」を鋼板化することにより重量増加を抑える。
- メニュー検討フローを図-3に示す。

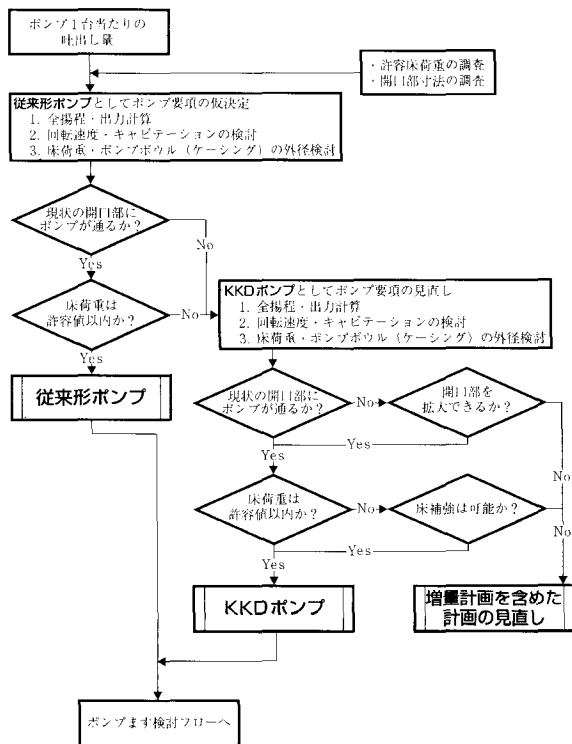


図-3 KKDメニュー検討フロー

3.2.4 既設構造物に対する検証

KKDポンプによる排水能力向上は、既設構造物の改造をできるだけ行わないところにメリットがある。そのためKKDポンプの選定は既設水槽形状や強度に制約を受けることになるので既設構造物に対する検証が必要となる。

① 計画水量増加に伴う水理計算

計画雨水量の増量に伴う既存施設的能力について、水理計算を実施して改造の有無を検討する。その項目については以下のとおりである。

- (1) 流入部の検討
- (2) 流入ゲート
- (3) 沈砂池容量計算
- (4) 吐口、吐出し水槽

計画雨水量の増量については、概ね20～30%増量である。したがって、流入部については流入幹線への影響、流入ゲートについては水位上昇時間と締切り時間への影響、沈砂池についても水位上昇による影響や水面積負荷の増大などが想定される。また、吐口や吐出し水槽などの水位上昇による影響などが想定されることから、十分な検討を必要とする。

したがって、実施段階では詳細な計算を実施することを原則とするが、計画段階では、過去のケーススタディから類推して、20～30%程度の増量であれば、構造物の大幅な改造は伴わないことが多いため、水理計算を省略することもできる。吐出し水槽などのサージング計算を行い、吐出し水槽の嵩上げの可否を決定する。

② 荷重増加に伴う構造物の安全照査

KKDポンプの口径を定めるために、既存施設の梁や床の断面性能を計算して「最大耐力（許容最大床荷重）」を求める必要がある。最大耐力で選定したポンプ口径でも増量計画雨水量を満足できない場合は、既存施設の補強も視野に入れることになるので補強による最大耐力も計算する。

また、耐震性能については阪神淡路大震災以降、耐震構造指針が見直されているため現在の指針に対してどのような状況にあるのかを検証する必要がある。

③ 機器発熱量増加に伴う換気設備の検討

KKDポンプは電動機容量が上がり発熱量の増加が想定される。そのため、既設換気設備の能力が改造後の発熱量に対応できるかを確認する。また、換気設備の能力増に伴い騒音の増大や、ダクトの吹き出し風速の増加なども想定されるので、実施設計段階で負荷計算をして対応する。

その他、電気容量や補機容量の検討も必要である。

3.3 ポンプますの渦流

KKDポンプは既設のポンプますを使い増量するため、増量した分、ポンプます内の流速が速くなり、渦流が発生しやすくなる。渦流が発生するとポンプは振動、騒音を発生し、排水不能となるため、渦流は防止しなければならない。特にKKDポンプでは軽量化を行っているため、ポンプの剛性は従来形ポンプに比べて低くなる。そのため渦流対策には十分配慮する必要がある。

本研究では既設ポンプ場をモデルに模型実験を行い、渦流防止対策の検討を行った。

3.3.1 模型実験による渦流防止対策の検討

① 実験目的

既設ポンプ場の模型（1/15）を用いて渦対策の基本的な考え方を確立するとともに、増量可能量についても検証することを目的とする。諸元については日本機械学会基準「ポンプの吸水槽の模型実験」(J S M E S 004 - 1984) に準拠して決定した。

② 実験装置

(1) 全体形状

図-4に装置全体形状を示す。

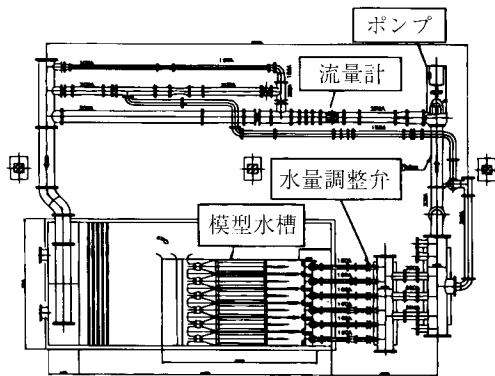


図-4 実験装置全体図

(2) 水槽形状

既設ポンプ場の水槽形状を基本に4種類の水槽形状において実験を行った(表-3参照)。

表-3 水槽形状

水槽名	形状特徴
A0	ポンプと後壁の距離が大きいためバツフルを設置(既設ポンプ場形状)
A1	A0に渦対策(十字スプリッタ等設置)
B0	ポンプと後壁の距離が一般的に推奨される寸法
B1	B0に渦対策(十字スプリッタ等設置)

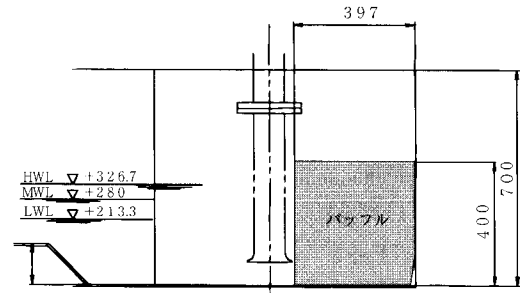


図-5 水槽形状A0(既設ポンプ場形状)

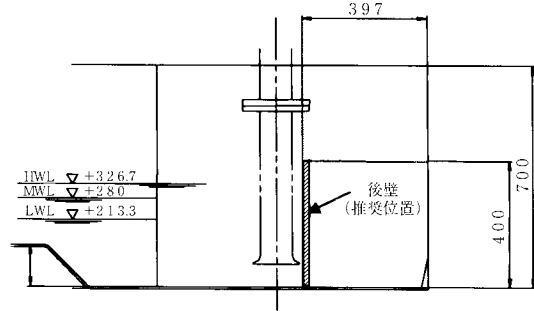


図-6 水槽形状B0(推奨後壁位置形状)

(3) ポンプ仕様

表-4にポンプ仕様を示す。

表-4 ポンプ仕様

仕様	既設ポンプ場	模型
口径(mm)	1,500	100
台数	6	1*

* 1台のポンプに6本の吸い込み管を接続

③ 実験条件

(1) 水位設定

下記水位設定で行った。

HWL: 既設ポンプ場のHWL(全台運転水位)

MWL: 従来ポンプ(φ1,500)1台の適用上限

(325 m³/min)時にマウンド上流速が

0.5 m/sになる水深。

LWL: 既設ポンプ上のLWL(1台の適用下限)

(2) 条件

「渦確認」「運転台数」「水位設定」を以下とする。

表-5 実験条件

渦	運転台数	水位
空気吸い込み	6台運転 均等増量	HWL
		MWL
	1台運転	MWL LWL
水中	3台運転	HWL以上

④ 流量

(1) 目標増量

従来形ポンプで1ランク上ポンプの最大流量にするためには約30%の増量が必要である。また、必要増量のヒアリングでも20~30%の増量という回答であり、それにより30%増量を目標とした。

(2) 流量換算

空気吸い込み渦に関しては相似則を用いて口径毎に下式を用いて流量を換算する。

$$Q_P = \left(\frac{L_P}{L_M} \right)^{2.2} \times Q_M$$

ここに、 Q_P ：換算流量

Q_M ：モデル流量

L_P ：換算口径

L_M ：モデル口径

(3) 水位変動による流量変動

実際のポンプ上では計画実揚程より実揚程が下がる場合がある。(河川水面低下等) その場合、流量が計画より多くなってしまふ。その分を見込む必要があるため、ここでは15%程度を想定した。

⑤ 実験方法

電磁流量計により流量を確認しながら、インバーターによるポンプ回転数制御、バルブ開度により徐々に流量を変化させ渦発生および増量率を検証した。

⑥ 実験結果

既設ポンプ場のポンプ口径(φ1,500)に換算した値で検証する。

(1) A型水槽(既設ポンプ場形状)

表-6 A型水槽での増量値

渦	台数	水位	A0	A1
空気吸込	6台運転	HWL	112% (3号:×)	160%
		MWL	88% (1,3号機:×)	160%
	1台運転	MWL	1号機:80%以下 6号機:96%	1号機:160% 6号機:160%
		LWL	1号機:-(*1) 6号機:80%以下	1号機:160% 6号機:160%
水中渦	3台運転	MWL	80%以下	160%

*1 LWL 1号機はMWLでも渦流発生のため実験せず。
*2 表中の(3号:×)等は目標最大流量以下で渦発生した号機。
*3 この表の増量値は過大側15%を見込んでいない値である。

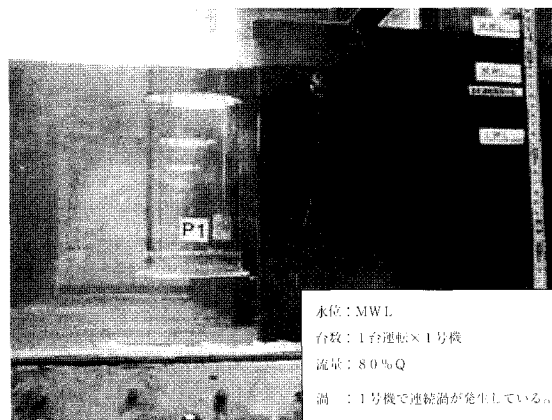


写真-1 空気吸込み渦(連続渦)発生状況

(2) B型水槽(後壁距離推奨値)

表-7 B型水槽での増量値

渦	台数	水位	B0	B1
空気吸込	6台運転	HWL	112% (波立大)	160% (波立大)
		MWL	120% (波立大)	160% (波立大)
	1台運転	MWL	1号機:160% 6号機:160%	1号機:160% 6号機:160%
		LWL	1号機:160% 6号機:80%以下	1号機:160% 6号機:160%
水中渦	3台運転	MWL	96%以下 (4,6号機)	160%

*1 LWL 1号機はMWLでも渦流発生のため実験せず。
*2 (波立大)は貯留槽内の流速が速くなり渦の判定が難しい状態。
*3 この表の増量値は過大側15%を見込んでいない値である。

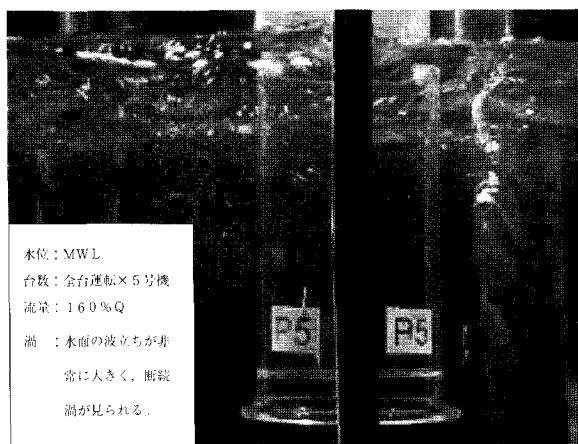


写真-2 空気吸込み渦(断続渦)発生状況

渦判定基準に則り、断続的な水中渦を許容すれば、適切な渦流対策を実施することにより口径φ1,500では160%まで増量可能である。

⑦ 実験結果のまとめ

相似則により換算した各口径別増量値を表-8に示す。(過大流量15%を見込んだ値)

表-8 口径別増量率

	ポンプ口径 従来の適用上限流量	本実験での 対応可能流量	本実験での 増量可能率
モデル	φ100 1.34m³/min	1.34m³/min	-
実機	φ700 1.17m³/s	1.61m³/s	19%
	φ800 1.50m³/s	2.17m³/s	25%
	φ900 1.92m³/s	2.81m³/s	27%
	φ1,000 2.50m³/s	3.54m³/s	23%
	φ1,200 3.33m³/s	5.29m³/s	38%
	φ1,350 4.25m³/s	6.85m³/s	40%
	φ1,500 5.42m³/s	8.64m³/s	38%
	φ1,650 6.67m³/s	10.7m³/s	39%
	φ1,800 8.00m³/s	12.9m³/s	40%

この結果より、本実験と同類型の水槽で適切な渦流対策を行えば、概ね表-9に示す増量が可能と考える。

表-9 口径別増量可能率(まとめ)

既設ポンプ口径	増量可能率
φ700 ~ φ1,000	約20%
φ1,200 ~ φ1,800	約30%

3.3.2 ポンプます検討フロー

実験結果から適切な渦流対策を施せば増量可能であることが判ったが、実際のポンプ場では様々なポンプます形状がある。そのため、図-7に示すフローにしたがって検討し渦対策を行う。

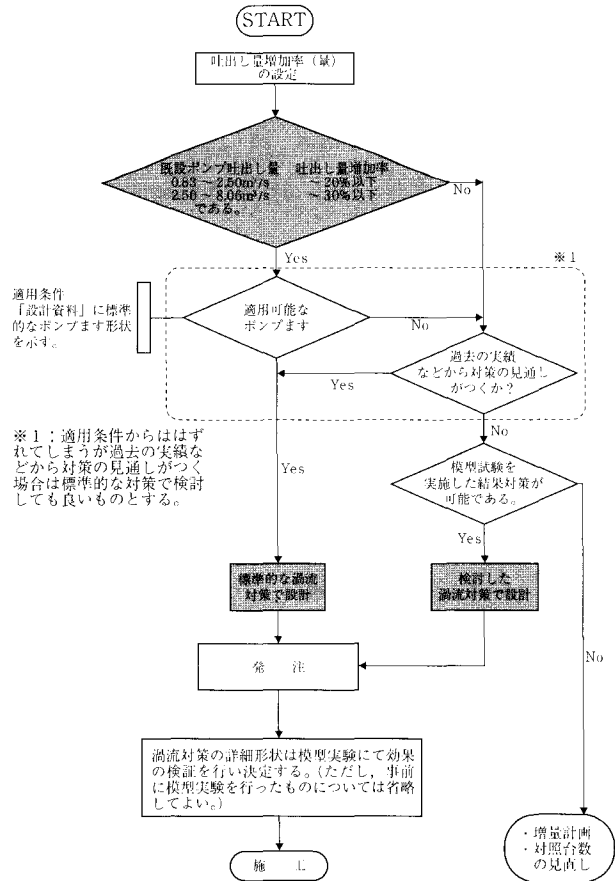


図-7 ポンプます検討フロー

4. まとめ

本研究は深刻化する都市型水害対策に対し、早急に対応できる排水能力向上方法として取り組んだものである。今後の下水道整備レベル向上に寄与できるものと考えられる。

ポンプますでの渦対策については今後、実績の積み重ねにより実験を行わずに渦流発生防止対策を行える範囲を広げていく必要がある。

●この研究を行ったのは

- 研究第二部長 中里 卓治
- 研究第二部長 高相 恒人
- 企画部事業課長 松本 征
- 研究第二部研究員 神谷 佳宏
- 研究第二部研究員 中西 康博
- 研究第二部研究員 岸田 裕
- 研究第二部研究員 城田 猛

●この研究に関するお問い合わせは

- 研究第二部長 高相 恒人
- 企画部事業課長 稲毛 順二
- 研究第二部研究員 岸田 裕
- 研究第二部研究員 城田 猛