

土木機械設備の機能回復能力の定量的評価について

国立研究開発法人 土木研究所 正会員 ○上野仁士
 国立研究開発法人 土木研究所 正会員 梶田洋規
 国立研究開発法人 土木研究所 正会員 中島淳一

1. はじめに

土木施設に導入されている各種の土木機械設備は、河川・道路において非常に重要な役割を果たしているが、施設数の増大、老朽化の進行、限られた維持管理予算の相反する条件下で、より適切なライフサイクルマネジメントの導入が進められている。

しかしながら近年、想定を超える天災による被災や、これまで重要と思われていなかった部品の故障により土木機械設備の機能喪失が見られることから、より実態に即した施設の信頼性評価も検討する必要がある。

これまでの信頼性評価では、設備の確実な稼働に対しての構成機器の重要度や故障頻度などが評価要素となっているが、万一不稼働に陥った際の機能回復の遅速については考慮されていなかった。しかし、実際の設備の維持管理・運用では、不稼働時からの早期機能回復が強く求められており、その定量的評価は重要な要素となり得ると考える。

そこで、土木機械設備のうち排水機場ポンプ設備について、不稼働からの機能回復能力の定量的評価を試みた。研究途上ではあるが、その内容について概説する。

2. 機能回復難易度の定量的化の試行と結果

土木機械設備の信頼性評価手法の一つとして現在、FMEA (Failure Mode and Effects Analysis : 故障モード影響解析) を活用している。概要を表-1に示す。

表-1 FMEA概要

| 機器区分 | 部品名 | 故障 | 故障モード | 原因 | a システムへの 影響度 | b 故障モード発見 の容易性 | c 故障発生頻度 | 危険指数 |
|------|------------|----------|------------|-------------|--------------------|----------------------|-------------|------|
| 本体 | ベンド(ケーシング) | 漏水(横軸) | パッキン・弁の劣化 | 経年劣化 | 4 | 1 | 1 | 1.6 |
| | | 排水能力低下 | 腐食 | 水質 | | | | |
| | | | 摩耗 | 設計の誤り | | | | |
| | 据付部 | 支持力低下 | 躯体変形 | キャビテーションの発生 | 3 | 1 | 1 | 1.4 |
| | | ポンプ位置のずれ | コンクリートクラック | 不適切な管理 | | | | |
| | | | 基礎ボルト破損 | 設計の誤り(強度不足) | | | | |
| | 組立用ボルト・ナット | 固定能力の低下 | 破断 | 経年劣化 | 3 | 2 | 1 | 1.8 |
| | | 漏水 | パッキン・弁の劣化 | 不適切な管理 | | | | |
| | | | 腐食 | キャビテーションの発生 | | | | |
| | | はずれ | 設計・施工の誤り | | | | | |

a,b,c各項目の評価基準は右表の通り

危険指数は右式で算出 $3\sqrt{a \times b \times c}$

| 評価点 | システムに対する影響 | 発見難易度 | 発生頻度 |
|-----|------------------------|--------|----------------------|
| 4 | 重故障 (運転停止を要する) | 検出困難 | 0.099E-6 (1/h)以上 |
| 3 | 軽故障 (短時間の運転可能) | 整備レベル | 0.066~0.099E-6 (1/h) |
| 2 | 軽微 (継続運転可能(運転後要点検)) | 年点検レベル | 0.033~0.066E-6 (1/h) |
| 1 | 冗長性あり (運転に支障なし) | 月点検レベル | 0~0.033E-6 (1/h) |

キーワード 土木機械設備, 維持管理, 信頼性評価

連絡先 〒305-8516 茨城県つくば市南原1番地6号 国立研究開発法人土木研究所先端技術チーム

TEL029-879-6757 E-Mail h-ueno@pwri.go.jp

今回試みた機能回復能力の定量化は、FMEA の手法をベースとして、評価項目を表-2のとおり設定して、その評価から機能回復指標を算出することにより行った。機能回復指標のうち、数値が高かったもの（＝早期の機能回復が困難）の抜粋を表-3に示す。

表-2 機能回復指標 評価要素

| 機能回復難易度 | | | | 機能補充性 | | | | 修理費用 | | 故障検知難易度 (故障箇所特定の難易度) | | | |
|-----------------|-----|-----------|-----|-----------------|-----|----------------|-----|-----------------------|-----|---|-----|------------------------------------|-----|
| 復旧までの所要時間 | | 設備復旧者の違い | | 設備復旧場所 | | 機能補充性 (予備品の有無) | | 機能補充性 (近隣の他現場による機能補充) | | 修理費用 | | 故障検知難易度 (故障箇所特定の難易度) | |
| 評価基準 | 評価点 | 評価基準 | 評価点 | 評価基準 | 評価点 | 評価基準 | 評価点 | 評価基準 | 評価点 | 評価基準 | 評価点 | 評価基準 | 評価点 |
| 7ヶ月以上 | 4 | | | | | なし | 4 | 200万円以上 300万円以下 | 4 | 故障時に分解しても即時に特定困難 | 4 | | 4 |
| 4～7ヶ月 | 3 | 製造メーカーが対応 | 3 | | | 予備品対応 (重故障) | 3 | 不可能 | 3 | 地盤等の単位での調整の際に当該年度の維持管理費で修理できるレベル (目安：1,000万円以下) | 3 | 故障時に分解したら即時特定可能 (メーカーに問い合わせ不可) | 3 |
| 3～4ヶ月 | 2 | 点検業者で対応可能 | 2 | 工場修理 | 2 | 予備品対応 (軽故障) | 2 | 不完全 (能力不足) だが可能 | 2 | 事務所等での当該年度の維持管理費で修理できるレベル (目安：100万円以下) | 2 | 故障時に分解したら即時特定可能 (適量または地盤点検業者で分解可能) | 2 |
| 0～3ヶ月未満 | 1 | 職員・操作員で可能 | 1 | 現場修理 | 1 | 二重化可能 | 1 | 完全に可能 | 1 | 軽微な発注または点検の付帯作業で修理できるレベル (目安：30万円以下) | 1 | 故障時に目視または発生現象から即時特定可能 | 1 |
| A:上記3項目の合計 3～9点 | | | | B:上記2項目の合計 2～7点 | | | | C:1～4点 | | D:1～4点 | | | |

機能回復指標は $\sqrt{A \times B \times C \times D}$ で算出

表-3 機能回復指標 算出結果

| No. | 設備区分 | 機器区分 | 部品名 | 機能回復指標 |
|-----|------|-----------|-------------|--------|
| 1 | 主ポンプ | ベルマウス | 噴出口(ベルマウス) | 5.42 |
| 2 | 主ポンプ | 本体 | ベンド(ケーシング) | 5.42 |
| 3 | 主ポンプ | 本体 | 駆動部 | 5.26 |
| 4 | 主ポンプ | インペラ | 羽根車 | 5.42 |
| 5 | 主ポンプ | インペラ | 羽根車ナット | 4.90 |
| 6 | 主ポンプ | インペラ | キー | 5.26 |
| 7 | 主ポンプ | 主軸及び軸受 | 上部主軸 | 5.42 |
| 8 | 主ポンプ | 主軸及び軸受 | 下部主軸 | 5.42 |
| 9 | 主ポンプ | 主軸及び軸受 | 軸継手 | 4.58 |
| 10 | 主ポンプ | 主軸及び軸受 | スリーブ | 5.42 |
| 11 | 主ポンプ | 主軸及び軸受 | 水中軸受(セラミック) | 5.26 |
| 12 | 主ポンプ | 主軸及び軸受 | 封水パッキン | 5.26 |
| 13 | 主ポンプ | 主軸及び軸受 | 室内羽根 | 5.42 |
| 14 | 主ポンプ | 機関本体関係 | 金屋 | 5.05 |
| 15 | 主ポンプ | 機関本体関係 | シリンダヘッド | 4.90 |
| 16 | 主ポンプ | 機関本体関係 | ライナ | 4.68 |
| 17 | 主ポンプ | 機関本体関係 | フライホイール | 5.05 |
| 18 | 主ポンプ | 機関本体関係 | クラクケース | 5.05 |
| 19 | 主ポンプ | 機関本体関係 | クラク軸 | 5.05 |
| 20 | 主ポンプ | 機関本体関係 | クラク巻車 | 4.90 |
| 21 | 主ポンプ | 機関本体関係 | 連結器 | 4.90 |
| 22 | 主ポンプ | 機関本体関係 | ピストン | 4.58 |
| 23 | 主ポンプ | 機関本体関係 | 連接棒 | 4.58 |
| 24 | 主ポンプ | 機関本体関係 | クラククリングバル | 4.58 |
| 25 | 主ポンプ | 機関本体関係 | オイルパン | 4.90 |
| 26 | 主ポンプ | 潤滑油系統 | 潤滑油冷却器 | 4.58 |
| 27 | 主ポンプ | 潤滑油系統 | 潤滑油 | 5.05 |
| 28 | 主ポンプ | 冷却装置 | 熱交換器(淡水冷却器) | 4.90 |
| 29 | 主ポンプ | 冷却装置 | インタークーラ | 5.05 |
| 30 | 流体継手 | 作動油・潤滑油系統 | 流体継手油タンク | 4.58 |
| 31 | 流体継手 | 流体継手系統 | 流体継手ケーシング | 5.05 |
| 32 | 流体継手 | 流体継手系統 | 軸受 | 5.05 |
| 33 | 流体継手 | 流体継手系統 | プレート | 5.05 |
| 34 | 減速機 | 減速機本体 | 駆動部 | 4.70 |
| 35 | 減速機 | 減速機本体 | 巻車箱 | 5.05 |
| 36 | 減速機 | 減速機本体 | 巻車(大・小) | 5.05 |
| 37 | 減速機 | 減速機本体 | 入力軸スラスト軸受 | 5.05 |
| 38 | 減速機 | 減速機本体 | 出力軸スラスト軸受 | 5.05 |
| 39 | 減速機 | 減速機本体 | 軸受ナット | 4.90 |
| 40 | 減速機 | 減速機本体 | ディスタンスリング | 5.05 |
| 41 | 減速機 | 減速機本体 | 軸受押板 | 5.05 |
| 42 | 減速機 | 減速機本体 | サイドカバー | 5.05 |
| 43 | 減速機 | 減速機本体 | スラストカラー | 5.05 |
| 44 | 減速機 | 減速機本体 | スラストプレート | 5.05 |

3. 機能回復難易度の適用性評価

機能回復指標の適用性について、国土交通省「河川ポンプ設備点検・整備・更新マニュアル（以下「マニュアル」と表記）に示されている設備構成機器の致命的機器と、表-3に示す機能回復困難な機器との比較を行うことで検証した。図-1にその結果を示す。

その結果、マニュアルでは非致命的機器であったベンド（ケーシング）、据付部が、機能回復指標での評価では致命的と判断された。理由は、マニュアルでの評価では、システムへの影響度は高いが、故障発見は容易で発生頻度も低いためである。しかし、万一これらが故障した際は容易に修復困難であることから、このような結果になったと考える。

どちらの評価が適切であるかは、今後研究を進めて検証したい。

4. あとがき

機能回復能力の定量化は、設備構成機器の致命・非致命機器の判定や保有すべき予備品の選定等に活用できるものとする。しかし現時点では研究途上であり、先述の評価の適切性の他、評価項目が多く評価自体が難しい、あるいはより実態に近づけるためには評価項目毎の重み付けをどうするか、等、課題も多い。

今後は設備維持管理マネジメントに資するべく、研究を進めていきたい。

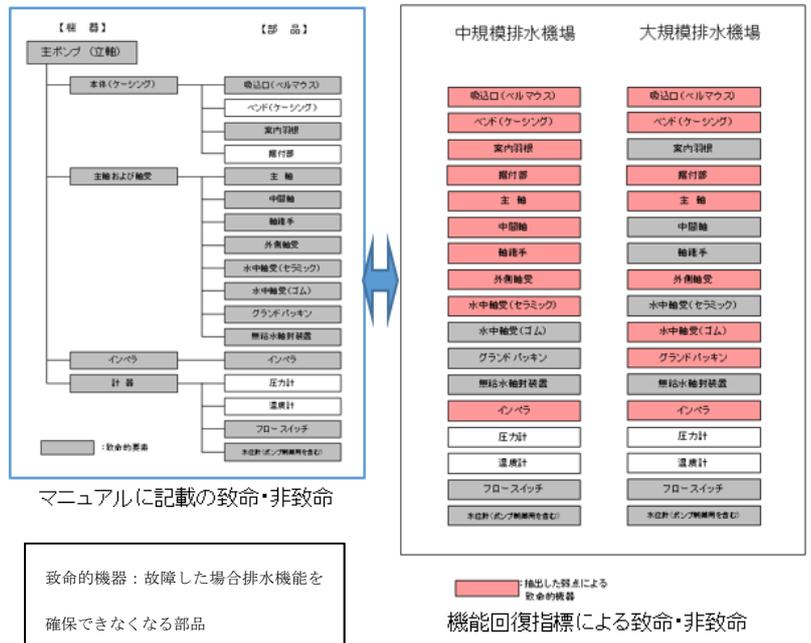


図-1 致命度評価の比較検証