

J-053

管内事故防止のための特定作業に着目した動作データ異常分析 Analysis of Abnormal Motion Focusing on Specific Tasks in Sewage Maintenance

中内 亮介[†] 林 利毅[‡] 原田 史子[†] 島川 博光[†]
Ryosuke Nakauchi Toshiki Hayashi Fumiko Harada Hiromitsu Shimakawa

1. はじめに

全国の下水管延長は約 40 万 km ある．その中でも施工から 50 年を経過した管延長が 7 千 km にも達しており，管の老朽化が進みつつある．下水道サービスを安定的かつ継続的に提供していくためには，定期的な点検・補修を行うことが不可欠である．この下水管内の点検・補修の作業において，転倒や埋設物破損などのさまざまな事故が発生している．下水管内の安全対策については過去の事故事例から検討し，実施されている．その結果，作業員が酸欠などの異常状態に陥らないような対策がなされている．しかしその一方，異常状態に陥った作業員に対する対策がとられていない．

本論文では，異常状態に陥った作業員をいち早く発見する手法を提案する．本手法を使うことで，管理者が作業員の異常状態を早期に発見することができ，作業員に適切な対処をすることで事故を未然に防止する．

2. 下水管内作業の現状

現在管内で点検や補修などの作業中に事故が多発している．これらの事故の原因のひとつに，作業員が異常状態に陥ったまま作業を続けることが考えられる．異常状態とは，ふらついているなどの，疲労や怪我などが原因で作業を正確にできない状態である．異常状態下では，作業員は普段通りの作業ができないため，作業中にミスが発生し事故に繋がる．さらに作業員は異常状態に陥っていても，その異常状態が疲労などの自覚しにくい異常状態であると，気付かずに作業を続けてしまう．管理者が作業員の自覚しにくい異常状態を発見することで，作業員に対して適切な対処をとれる．しかし現状では，管理者は管内の作業員の異常状態を発見できていない．

参考文献 [1] のように，作業員の異常状態の発見に有効なのは，カメラで作業員の状態を確認することである．しかし管内は暗く，電源もないためカメラを設置できない．さらに管内が満水になると，管内の設置物は流されてしまうので，カメラなどの機器を設置することは難しい．カメラなどを設置できるように，電源を管内に通す工事でも大規模すぎて非現実的である．事故防止のためには，地上から管内に持ち込むことができる機器を使い，作業員の異常状態を検出する方法が有効である．しかし，異常状態の発見に大掛かりな機器を使用すると，作業に支障が生じるおそれがあるので，作業に支障が出ない方法や機器を用いて異常状態を検出することが必要となる．

3. 動きに着目した異常状態の検出

3.1 小型センサによる異常検出

作業員が異常状態に陥ると，作業中の特定の動作における身体の動きに変化がでると考えられる．そこで本論

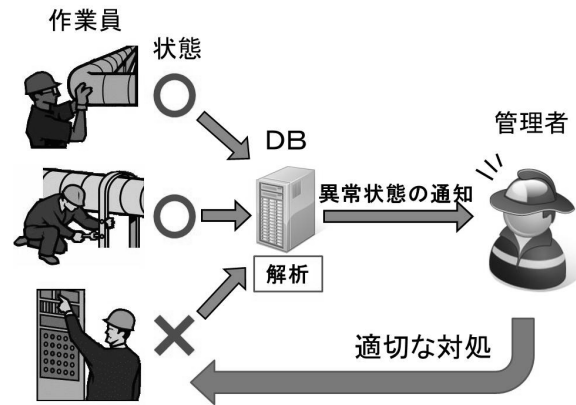


図 1: 管内事故防止までの流れ

文では，特定の動作中の身体の動きを分析することで，異常状態を検出する手法を提案する．図 1 に管内事故防止までの流れを示す．本手法では，作業員の身体に複数の加速度センサを装着することで，身体の動きを取得する．加速度センサは小型化が進んでいるので，作業に支障が出ないと考えられる．作業員の異常状態を管理者が発見し，作業員に連絡を取る．そのうえで管理者が作業員に対して休憩や帰還命令などといった適切な対処をとることで，管内の事故を未然に防止できる．

3.2 異常時の身体の動き

作業員が異常状態に陥った場合，身体の動きにさまざまな変化が現れることが予想される．

既存研究 [2] から異常状態下での歩行時に身体のバランスが悪くなるということが明らかになっている．バランスが悪くなるということは重心がぶれるということである．そのため歩行時には，身体の左右への揺れが大きくなることが予想される．また既存研究 [2] から異常状態下での歩行時に足が上がりにくくなるということが明らかになっている．

さらに，異常状態に陥った時に正常時と腕の動きに変化が出るか確認するための簡易実験を行った．実験では，管内作業で想定される，工具で配管を叩き配管の状態を確かめる動作を，10km 走る前と走った後の 2 つの状態下で取得した．今回は走る前の状態を正常状態，走った後の状態を異常状態とする．2 つの動作中の腕の動きをフーリエ解析してパワースペクトルを算出したところ，図 2 のように，異常状態時にはある周波数のパワースペクトルだけが高くなることがわかった．この実験結果より，異常時には配管を叩く動作の腕を振るときに，歯止めがきかなくなり大振りになっていることがわかる．

以上のことから，本手法では異常状態時に変化が大きいと考えられる以下の三つの動作における身体の動きを分析することで異常状態を検出する．

[†]立命館大学 情報理工学部

[‡]立命館大学大学院 理工学研究科

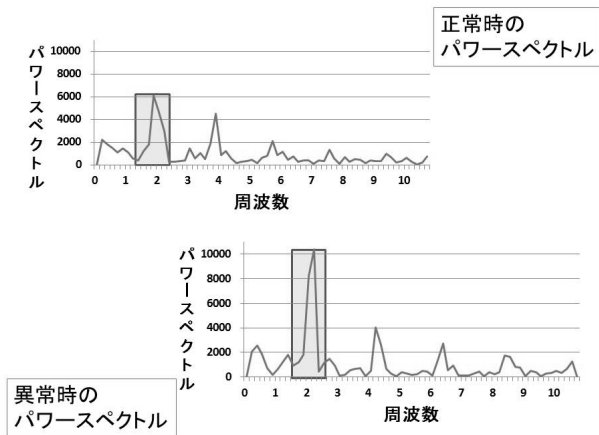


図 2: 配管を叩く動作時のパワースペクトル

- 歩行時の腰の水平左右方向への動き
- 歩行時の足の動き
- 配管を叩く動作の腕の振りの動き

3.3 異常指数

本手法では作業員の一連の行動履歴から特定の動作があらかじめ切り出されていることを前提とする。本手法は、図3のように、取得した動作中の身体の動きと事前に取得した正常状態の動作中の身体の動きを比較することで異常指数を算出し、その異常指数を用いることで異常状態を判定する。

異常指数とは異常状態を検出するための指標であり、以下のように、正常時と異常時の動作の変化率で表される。

$$\text{異常指数} = \frac{|\text{異常状態での分散} - \text{正常状態での分散}|}{\text{正常状態での分散}}$$

今回は腕の動き、足の動き、腰の動きで異常指数を算出する。腕と足は3軸加速度それぞれの分散の合計値、腰の動きは水平方向左右への加速度だけの分散を異常指数の算出に用いる。分散を見ることで動作中の加速度のばらつきがわかる。加速度のばらつきとは手、足、腰の動きであり、動きを数値化することで変化を捉えやすくする。腕や足の動きについては、分散を合計することで重力方向の向きに影響されないようにしている。配管を叩く動作は叩き始めから叩き終わりの動作全体を分析する。歩行は一定時間ごとに分析する。異常指数がある閾値を超えると異常状態と判定し、その閾値は実験を重ねることで決定する。閾値は特定の動作ごとに決定する。

人命がかかっているため、異常状態をすべて検出する必要があるので、そのために再現率を高めることが必要である。再現率を高めるには、閾値を悲観的に設定する必要があるため、ある程度誤検出は許容する。

さらに管の直径によって歩行時の姿勢が変わるように、作業員の動作中の身体の動きは作業している場所に影響されることが考えられる。作業員の下水管の現在地によって補正値を考えることが必要である。

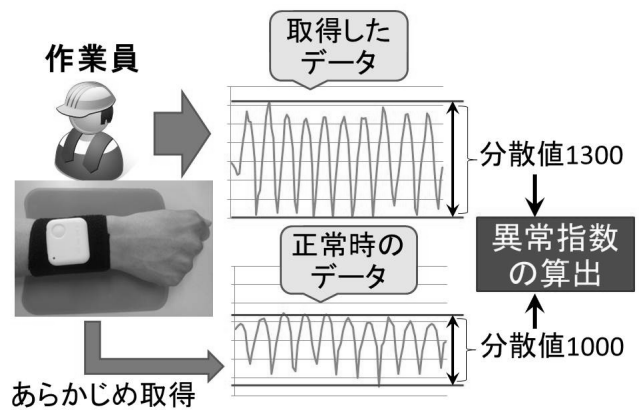


図 3: 検出の流れ

4. 既存研究との比較

既存研究 [2] では靴に取り付けた圧力センサを用いることで歩行時の疲労検知を行っている。研究の目的としては高齢者を対象とした転倒防止であるが、実験は22歳の男性を被験者として行っている。このことから高齢者に限らず疲労は歩行に影響することがわかる。しかし、怪我などで上半身に異常が発生したときに、下半身の動きに必ず変化がでるとは限らない。

既存研究 [3] は3次元加速度計を閉足直立状態の被験者の頭部に装着することによって、加速度での重心動揺評価の妥当性を証明している。この重心動揺は、身体のバランスの状態を確認する手段としては有効である。しかし、静止した状態でしか測れず、それでは作業を中断する必要があり、作業に支障がでしてしまう。

本手法は、手にセンサを着け分析することで、下半身に影響しない腕の異常状態も検出できるようにした。また、加速度センサを用いて作業中の動作に着目することで、作業に支障を出さないようにしている。

5. おわりに

本論文では、管内作業員の動作中の身体の動きに着目することで異常状態を検出する手法を提案した。今後は閾値や補正を決定し、本手法の有用性を検証するために、実装と評価を行う予定である。

参考文献

- [1] 南里 卓也, 大津 展之: 複数人動画からの異常動作検出, 情報処理学会論文誌・コンピュータビジョンとイメージメディア, vol.46, No.15, pp.43-50, 2005
- [2] 米川 賢治, 米澤 拓郎, 由良 淳一, 中澤 仁, 高汐 一紀, 徳田英幸: FASH: 圧力センサを用いた歩行時の疲労検知, 情報処理学会全国大会講演論文集, vol.71, No.3, pp.3-301, 2009
- [3] 柊 幸伸: 3次元加速度計による重心動揺評価, 理学療法科学, vol.19, No.4, pp.305-309, 2004