

|             |                                                                                |
|-------------|--------------------------------------------------------------------------------|
| 氏 名         | ハ許 ヨン テック 伶 宅                                                                  |
| 学位(専攻分野)    | 博 士 (工 学)                                                                      |
| 学 位 記 番 号   | 工 博 第 2708 号                                                                   |
| 学位授与の日付     | 平 成 18 年 9 月 25 日                                                              |
| 学位授与の要件     | 学 位 規 則 第 4 条 第 1 項 該 当                                                        |
| 研 究 科 ・ 専 攻 | 工 学 研 究 科 都 市 環 境 工 学 専 攻                                                      |
| 学 位 論 文 題 目 | CAVITY FORMATION AND ITS REMOTE SENSING IN SAND LAYER<br>(砂層内空洞形成とそのリモートセンシング) |
| 論文調査委員      | (主 査)<br>教 授 酒 井 哲 郎      教 授 関 口 秀 雄      助教授 後 藤 仁 志                         |

### 論 文 内 容 の 要 旨

本論文は、砂浜海岸の砂層内の空洞の形成機構および形成に及ぼす埋設管や側壁の影響を明らかにする一方で、その存在をリモートセンシングによって検出する技術の開発の基礎を明らかにしたものである。

論文は、砂地盤内の空洞形成のメカニズムの解明と砂層内に形成された空洞をリモートセンシングによって検出する技術の開発を柱として構成され、7章から成る。

第1章では、研究の背景が説明され、問題の整理が行われて、研究の構成が示されている。

第2章では、砂地盤内の空洞形成のメカニズムに計算力学的観点からアプローチするため、砂粒子塊を離散的な球要素として取り扱う個別要素法型の数値モデルが導入されている。はじめに、個別要素法型の数値モデルの計算原理について述べた後、MPIによる並列化に関して言及している。さらに、砂粒子塊間の摩擦接触と砂粒子の粘着性をパラメータとして、既往の水理実験における砂層内空洞の形状を良好に再現できるようモデル定数を決定するプロセスが示されている。

第3章では、決定されたモデル定数を用いて、地中に埋設された水道管が砂層内空洞の形成に与える影響を検討している。砂層内の水道管の位置を系統的に変化させてシミュレーションを繰り返し、水道管が空洞の支持機構としてのアーチ形成に与える影響について議論している。さらに、砂層モデル(計算領域)の大きさが空洞の安定形状に及ぼす影響に関しても複数の条件を比較して論じており、初期空洞が壁面に沿って形成される場合と壁面隅角部に形成される場合についても発達時の空洞形状の相違を示し、そのメカニズムに関して考察を加えている。また、空洞周囲に形成される3次元ストレスチェーンの存在を計算力学的に示し、空洞の安定メカニズムの一端を明らかにしている。

第4章では、砂層内空洞の存在を検出する技術開発のため、野外砂層内に0.5m角、高さ0.9mの断熱材による擬似空洞を設置し、砂層表面温度を5.0m上方から熱赤外線カメラで撮影している。空洞上砂層厚が14cm以下であれば、午前中は空洞上砂層表面温度は周囲より低く、午後は逆に高くなることから空洞の存在を検出出来ることを明らかにしている。その後0.6m角、高さ0.7mの金網と金属棒による人工空洞を設置して同様の実験を行い、空洞上砂層厚が11cm以下であれば、空洞の存在を検出できることを明らかにしている。

第5章では、砂層内空洞上の砂層表面温度の分布を説明するために、鉛直2次元非定常熱伝導の数値モデルを有限コントロールボリューム法を用いて開発している。第4章で測定された砂層表面温度分布が、同時に測定された隣接する砂層表面温度を入力として数値モデルによって計算された、砂層表面下3.0cmでの温度分布によって説明できることを示している。その後このモデルを様々な材質、大きさ、深さ、形状の人工空洞に適用し、空洞検出の可能性を検討している。

第6章では、実際の人工海岸の砂浜に人工空洞を設置し、第4章で用いたものと同様の熱赤外線カメラを用いて空洞検出の可能性を検討している。人工空洞は0.6m角、高さ0.75mで側面は木板、上部は金網と金属棒で作成している。カメラを人工空洞位置から約8.3m離れた位置に設置された高さ約6.0mの塔の先端に設置し、斜め上方から空洞上砂層表面周囲の温度を測定している。その結果第4章と同様の結果が得られ、空洞上部砂層厚が25cm以下であれば空洞検出が可能であ

ることを示している。

第7章では、得られた成果をまとめて結論とし、今後の課題や研究の方向性についても言及している。

## 論文審査の結果の要旨

本論文は、砂浜海岸の砂層内の空洞の形成機構および形成に及ぼす埋設管や側壁の影響を明らかにする一方で、その存在をリモートセンシングによって検出する技術の開発の基礎を明らかにしたものである。

第1章では、研究の背景が説明され、問題の整理が行われて、研究の構成が示されている。

第2章では、砂地盤内の空洞形成のメカニズムに計算力学的観点からアプローチするため、砂粒子塊を離散的な球形要素として扱う個別要素法型の数値モデルが導入され、既往の水理実験における砂層内空洞の形状を良好に再現できるようモデル定数を決定するプロセスが示されている。

第3章では、決定されたモデル定数を用いて、地中に埋設された水道管が砂層内空洞の形成に与える影響、砂層モデル（計算領域）の大きさが空洞の安定形状に及ぼす影響、さらには、初期空洞が壁面に沿って形成される場合と壁面隅角部に形成される場合についても発達時の空洞形状の相違が論じられている。

第4章では、熱赤外線カメラを用いた野外実験により、日照のある午前中は砂層内空洞上部砂表面の温度は周囲より低く、午後は逆に高いことから、空洞の存在を検出しうることを明らかにしている。

第5章では、熱伝導の数値モデルを用いて、空洞の大きさ、深さ、上部形状などが上記表面温度差に及ぼす影響を明らかにしている。

第6章では、前2章の結果に基づき、現地海浜砂層内の人工空洞の存在を熱赤外線カメラで検出することを試み、空洞上砂層厚が25cm以下であれば可能であることを明らかにしている。

第7章では、得られた成果をまとめて結論とし、今後の課題についても言及している。

数値モデルによる物理的なメカニズムの検討、リモートセンシングによる空洞探査の技術開発の2つのアプローチを軸として、災害科学および実務的対策技術の開発の両面から砂浜海岸の砂層内の空洞の検出技術の開発に取り組んでおり、学術上、実務上寄与するところが大きい。よって、本論文は博士（工学）の学位論文として価値あるものと認める。また、平成18年8月2日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行った結果、合格と認めた。