

令和元年5月21日現在

機関番号：12614

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2016～2018

課題番号：16K14302

研究課題名(和文) 海底鉱物資源の採鉱用の履带式重機のトラフィカビリティ評価システムの開発

研究課題名(英文) Development of trafficability evaluation system for crawler type heavy machines used for mining of submarine mineral resources

研究代表者

谷 和夫 (Tani, Kazuo)

東京海洋大学・学術研究院・教授

研究者番号：50313466

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,900,000円

研究成果の概要(和文)：海底地盤における履带式重機のトラフィカビリティ評価システムとして、ポータブルコーン貫入試験の代替となるサウンディング方法として油圧ショベルによるバケット載荷試験を提案した。室内及び屋外で載荷試験を行い計測技術や評価技術を検討し、バケットに作用する荷重とバケットの地盤への貫入量の関係からトラフィカビリティを評価する方法が好適なことが分かった。また、振動サンプリング兼コーン貫入試験(VS-CPT: Vibro-Sampling & Cone Penetration Test)も考案した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

これまで海洋開発が港湾などの浅い水深の沿岸域に限られていたため、海域の地盤調査に係る技術開発は陸域の調査・試験方法を援用していた。しかし、深海域の表層に賦存するエネルギー・鉱物資源の開発や、洋上風力発電などの水深がやや大きい海底への構造物の設置・固定のための経済的な調査技術の開発が期待されている。このため、海域の表層地盤に好適な地盤調査技術として、重機を利用した載荷試験やサンプリングとサウンディングを併用した新しい試験方法の開発は新技術として社会に歓迎される。

研究成果の概要(英文)：We proposed a bucket loading test using a hydraulic shovel as an alternative sounding method to the portable cone penetration test as a trafficability evaluation system of track type heavy equipment on the seabed ground. A series of loading tests were carried out both indoors and outdoors to establish instrumentation and evaluation technologies. The test results demonstrated that the proposed method was suitable to evaluate the cone resistance from the estimated relationships between the load acting on the bucket and the amount of penetration of the bucket into the ground. Furthermore, a vibration sampling and cone penetration test was also devised as a novel technique for economical sounding and sampling method for shallow ground of seafloor.

研究分野：地盤工学

キーワード：地盤工学 建設機械 海洋工学 海洋資源 海洋探査 トラフィカビリティ 油圧ショベル

1. 研究開始当初の背景

海底鉱物資源(マンガン団塊, コバルトリッチクラスト, 海底熱水鉱床, レアアース泥, 表層型メタンハイドレート)の開発プロジェクトでは, 一般に採鉱, 集鉱, 揚鉱, 採鉱母船, 運搬の各ユニットを組み合わせたトータルシステムの構築を目指している。そのうち, 採鉱ユニット及び集鉱ユニットでは, 深さ数百~数千メートルの深海底において鉱床の掘削や鉱石の移送・移動, 粉碎あるいは選鉱等の土工作业を海上から遠隔操作する履帯(クローラー)式重機で行うことが想定されている。

深海底には超軟弱な粘性土地盤が広く分布し, 鉱区(資源分布域)では不陸(凹凸)・傾斜や不均質性が顕著な場合があり, 重機の安全な走行には前方の表層地盤の性状を迅速に調べてトラフィカビリティ(履帯の走行性)と不陸・傾斜の程度を適切に評価する必要がある。しかし, コーン貫入試験が容易に実施できて運転者が表層の一様性や地表の不陸・傾斜を目視確認できる陸上とは異なり, 深海底においてこれらを実現する技術は確立されていない。そのため, 不陸・傾斜や不均質性が顕著な鉱区では, 走行不能に陥ることが懸念される。

研究分担者が所属する東亜建設工業(株)は, 海洋での建設技術に優れたマリコン大手であり, 写真1に示す大水深対応型水中作業ロボット「DEEP CRAWLER」を2014年に開発した。この履帯(クローラー)式重機に適用することを想定して, 前方の表層地盤のトラフィカビリティ及び不陸・傾斜の程度を連続的に評価する「ホイール・サウンディング(wheel sounding)」を新たに提案し特許を出願した(特願2016-096910)。図1にこの方法の概念を示す。



写真1: 大水深対応型水中作業ロボット「DEEP CRAWLER」(東亜建設工業(株))

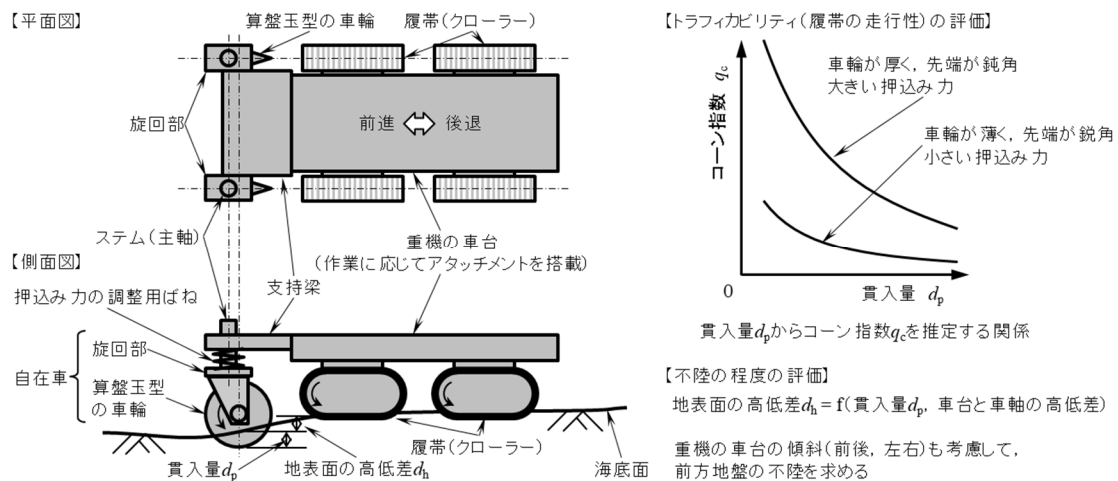


図1: 「ホイール・サウンディング(wheel sounding)」の概念

2. 研究の目的

海底鉱物資源の採掘用の履帯(クローラー)式重機を対象に、前方の表層地盤を連続的に調べるサウンディング技術を新たに提案して、トラフィカビリティと不陸・傾斜の程度に係る評価システムを開発する。

3. 研究の方法

研究期間は2016年度から3年間である。申請時の計画では、図1に示す「ホイール・サウンディング(wheel sounding)」の実用化を想定して、以下の研究方法としていた。

- 1年目(2016年度): 原理(計測データと地盤の力学特性の関係)を実験的に検討し、プローブの仕様(形状、寸法、重量等)を決定する。
- 2年目(2017年度): プローブを試作して模型地盤上で運転状況を再現する実験を行い、トラフィカビリティと不陸・傾斜の程度を評価する手法を開発する。
- 3年目(2018年度): 実機「DEEP CRAWLER」に実装し、開発した評価システムを検証して実用化を図る。

しかし、実際には開発の対象を「ホイール・サウンディング(wheel sounding)」から「バケット载荷によるサウンディング」に変更した。理由は、1年目の上期に実施したプローブの形状に係る文献調査によって、サウンディングのみに利用するホイールよりも土工にも利用するバケットをプローブとして利用した方が好適であると判断したからである。さらに、3年目には、重機を海底に降ろす前にトラフィカビリティを概略把握する調査技術も重要であるとの認識から、新たに考案した「振動サンプリング兼コーン貫入試験(VS-CPT: Vibro-sampling & Cone Penetration Test)」の開発にも着手した。

なお、研究方法として縮小模型を用いた重力場の室内実験と実物を用いた現場実験という物理モデル(physical modelling)による実証的な手法についての修正や変更はない。また、これらの実験作業は、研究分担者が所属する東亜建設工業(株)の技術研究開発センター(横浜市)と袖ヶ浦機材センター(袖ヶ浦市)で主に実施した。

以下に実際に行った各年度の研究の方法を示す。

- 1年目(2016年度): 上期には、プローブの種類(コーン、バケット、リッパー、ホイール等)について、文献調査等に基づいた検討によりトラフィカビリティ評価システムの概念を具体化した。そして、下期には、上期の検討により有望と判断されたプローブ(バケット)について、縮小模型を用いた重力場の模型実験を行って鉛直方向に貫入した際の貫入抵抗と貫入量の関係を調べた。
- 2年目(2017年度): 油圧ショベルの実機を用いた実証的な実験を行い、バケット载荷試験における貫入抵抗と貫入量の関係を求めるための計測システムを開発した。この実物を用いた現場実験は、東亜建設工業(株)の技術研究開発センター(横浜市)と袖ヶ浦機材センター(袖ヶ浦市)で行った。前者では実験棟内のコンクリート床面上に置いた弾性地盤を模擬した载荷板を、後者では埋め立て地盤をバケットにより载荷した。
- 3年目(2018年度): 新たに考案した「振動サンプリング兼コーン貫入試験(VS-CPT: Vibro-sampling & Cone Penetration Test)」について室内模型実験と、実証用の原型機的设计・製作を行った。

4. 研究成果

(1) 1年目(2016年度)の研究成果

履帯(クローラ)式重機のトラフィカビリティ評価システムとしてサウンディングに用いるプローブの種類,形状と寸法,載荷方法,計測の項目と方法,計測結果の評価方法の各事項について概略のスペックを決定することを目標として以下の3項目を検討した。

- サウンディング方法の検討: 発明「トラフィカビリティの評価方法およびシステム(特願2016-096910)」を特許出願した。さらに文献調査,重機の縮小模型を用いたシミュレーションなど机上検討を行いプローブの種類として油圧ショベルのバケットが好適であると結論した。詳細は桑原ほか(2017)を参照されたい。
- 模型バケットを用いた支持力実験による調査性能の検討: 小型のバケットをプローブ(幅100mm)として内径280mmの円筒土槽内で鉛直に貫入し,貫入抵抗と貫入量の関係を調べた。降伏支持力と模型地盤のせん断強さの関係が概ね線形であることから,バケットの貫入抵抗がトラフィカビリティの評価指標に利用可能なことを確認した。詳細は田中ほか(2017)を参照されたい。
- 油圧ショベルの実機を用いた模擬実験による計測方法の検討: コンクリート床上に油圧ショベル(3ton未満)を設置して鋼製の模擬弾性地盤を0.1m³級のバケットで載荷し,荷重(バケットの押し込み力)と重機の運動(ブームやアームなどの角度,各支点の変位等)と制御(各部の油圧ジャッキの油圧)の関係を調べた。基本の制御方法については,ブームの油圧と傾斜が載荷重と押し込み量にほぼ対応していることを確認した。詳細は本間ほか(2017)を参照されたい。

(2) 2年目(2017年度)の研究成果

1年目(2016年度)の成果に基づいて提案された油圧ショベルによるバケット載荷試験において,バケットに作用する荷重とバケットの地盤への貫入量を求める計測技術について検討した。検討の方法は,油圧ショベル(3ton未満)を用いたバケット(容量は0.1m³級)の載荷実験とした。室内におけるコンクリート床上での予備実験と,屋外における埋め立て地盤上での本実験を実施し,以下の結論を得た。また,開発したサウンディング手法の計測方法について特許を出願した(特願2018-119490)。

- バケットに作用する荷重は,最も一般的なブーム操作のみによるバケット貫入の場合には,ブームシリンダに取り付けた圧力計による油圧の計測値から推定することが可能である。計測された油圧から求められたシリンダ荷重を基に,ブーム下端軸回りのモーメントの釣り合い条件からバケットに作用する荷重を計算することができる。詳細は本間ほか(2018)を参照されたい。
- バケットの地盤への貫入量は,ブームと機体本体に取り付けた傾斜計によるブーム及び機体の回転の計測値から推定することが可能である。なお,この推定の誤差がやや大きい理由としては,クローラ下の地盤反力の分布が載荷に伴って変化(合力が減少して重心が後方に移動)することにより機体本体の回転中心も鉛直方向に移動することが考えられる。詳細は大森ほか(2018)を参照されたい。

(3) 3年目(2018年度)の研究成果

新たに考案した「振動サンプリング兼コーン貫入試験(VS-CPT: Vibro-sampling & Cone

Penetration Test)」について特許を出願した(特願 2018-188589)。そして、このアイデアを実現するための室内模型実験と、実証用の原型機的设计・製作を行い、以下の結論を得た。

- バイプロハンマを利用してプローブと共にサンプラーを打設する新たなサンディング方法のコンセプトを考案した。そして、模型実験を行って貫入性能と試料の採取性能についてプローブの好適な形状を検討した。詳細は林ほか(2018 & 2019)や谷ほか(2019)を参照されたい。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 1 件)

- (1) 谷 和夫, 池谷 毅, 林 史泰, 稲津大祐: 海域の表層地盤を調査するための振動を利用した貫入試験方法の提案と原型装置の開発, 土木学会論文集 B3(海洋開発), Vol.75, No.2, 6p, 2019 (掲載予定)。

〔学会発表〕(計 8 件)

- (1) 桑原拓馬, 谷 和夫, 田中洋輔, 森澤友博: 海底地盤でのトラフィカビリティの評価手法の開発 その 1: サンディング方法の検討, 第 52 回地盤工学研究発表会, pp.175-176, 2017/7/12-14.
- (2) 田中洋輔, 谷 和夫, 桑原拓馬, 森澤友博: 海底地盤でのトラフィカビリティの評価手法の開発 その 2: 小型のバケットを用いた支持力実験, 第 52 回地盤工学研究発表会, pp.177-178, 2017/7/12-14.
- (3) 本間莉花, 谷 和夫, 田中洋輔, 森澤友博, 大森慎哉, 桑原拓馬: 海底地盤におけるパワーショベルのトラフィカビリティを評価する方法の実験的な検討, 第 14 回地盤工学会関東支部発表会, pp.189-192, 2017/11/17.
- (4) 本間莉花, 谷 和夫, 田中洋輔, 大森慎哉, 桑原拓馬, 森澤友博: 油圧ショベルのトラフィカビリティを評価する方法を開発するためのバケット載荷実験 (1)バケットの荷重を推定する方法の検討, 第 53 回地盤工学研究発表会, pp.139-140, 2018/7/24-26.
- (5) 大森慎哉, 本間莉花, 谷 和夫, 田中洋輔, 桑原拓馬, 森澤友博: 油圧ショベルのトラフィカビリティを評価する方法を開発するためのバケット載荷実験 (2)バケットの沈下量を推定する方法の検討, 第 53 回地盤工学研究発表会, pp.141-142, 2018/7/24-26.
- (6) 林 史泰, 谷 和夫, 池谷 毅, 稲津大祐: バイプロ・サンプリング兼コーン貫入試験方法の貫入性と試料採取性に係る基礎的な検討, 第 15 回地盤工学会関東支部発表会, pp.340-343, 2018/11/2.
- (7) 谷 和夫, 池谷 毅, 林 史泰, 稲津大祐: 海域の表層地盤を調査するための振動を利用した貫入試験方法の提案と原型装置の開発, 第 44 回海洋開発シンポジウム, 土木学会, 6p, 2019/7/2-3.(掲載予定)
- (8) 林 史泰, 谷 和夫, 池谷 毅, 稲津大祐: バイプロハンマを用いた海底地盤調査方法の開発に向けた試験装置の製作, 第 54 回地盤工学研究発表会, 2p, 2019/7/16-18.(掲載予定)

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

○出願状況（計 3 件）

(1) 名称：トラフィカビリティの評価方法およびシステム

発明者：谷 和夫，田中洋輔，森澤友博

権利者：東京海洋大学，東亜建設工業（株）

種類：特許

番号：特願 2016-096910，特開 2017-203739

出願年：2016

国内外の別：国内

(2) 名称：地盤強度の推定方法およびシステム

発明者：谷 和夫，田中洋輔，森澤友博，大森慎哉

権利者：東京海洋大学，東亜建設工業（株）

種類：特許

番号：特願 2018-119490

出願年：2018

国内外の別：国内

(3) 名称：シュウ装置，水底地盤貫入試験装置，および水底地盤貫入試験方法

発明者：谷 和夫，池谷 毅

権利者：東京海洋大学

種類：特許

番号：特願 2018-188589

出願年：2018

国内外の別：国内

○取得状況（計 0 件）

〔その他〕

ホームページ等：なし

6 . 研究組織

(1) 研究分担者：1 名

研究分担者氏名：田中洋輔

ローマ字氏名：Yosuke Tanaka

所属研究機関名：東亜建設工業株式会社

部局名：技術研究開発センター 地盤・防災技術グループ

職名：研究員

研究者番号（8 桁）：30311666

(2) 研究協力者：なし