

落とし戸試験の底板変位に伴う粒状体アーチングが底板・側壁作用荷重にもたらす影響

東京大学大学院
東京大学生産技術研究所

学生会員 ○平能 礼嗣
フェロー会員 桑野 玲子
久野 洵

1. 背景

石炭や鉄鉱石等の粒状乾貨物をコンテナに積み込むばら積み貨物船の構造設計において、現行指針では底板に作用する荷重は底板一様として設計されている。一方で柳本ら¹⁾の DEM・FEM カップリング解析によると、底板のたわみにより粒状体の局所的な構成が変化し、底板端部で荷重増大、中央部で減少と底板作用荷重の再分配が行われることがわかり、底板の変位による粒状体のアーチング形成が示唆された。本研究では落とし戸試験装置を用いて、底板の変位に伴う模型砂地盤の底板作用荷重の変化を検討する。

2. 落とし戸試験の概要

図 1 に示す落とし戸試験装置を使用した。模型土槽の底部は幅 10cm の 5 枚の独立した可動底板で構成され、底板に作用する鉛直およびせん断応力は底板に幅 2cm ごとに設置した計 25 個の 2 方向ロードセルにより計測可能である。ロードセルの番号を左から 1-25 とする。地盤材料は珪砂 3 号 ($D_{50}=1.5\text{mm}$, $G_s=2.64$) を用いた。幅 700mm、高さ 400mm、奥行 300mm の模型地盤を、乾燥砂を 5cm ずつ突き固め、相対密度 70% で作製した。本研究では船体底板のたわみを対象としているため、5 つの移動底板で速度を調整（中央 0.3mm/min、両隣 0.2mm/min、端 0.1mm/min）し、最終的に中央 6mm、両隣 4mm、端 2mm となる V 字状の降下を行い、底板作用荷重分布の変化を観察した。

3. 底板作用荷重の変化

図 3 は中央底板の降下量を横軸、各ロードセルの鉛直荷重の初期値からの変化量を縦軸に、中央底板の降下量が 2,4,6mm 時の鉛直荷重の分布を図 4 に示す。

中央ブロックの荷重（ロードセル番号 12,13,14）に着目すると、降下の初期段階で荷重が大きく減少し、中央の降下量約 1mm で定常状態に至る。中央両隣の荷重（6,7,8,16,17,18）に着目すると、降下初期（中央降下量 0.5mm 前後まで）は荷重が微増する。中央ブロックで荷重が大きく減少していることから、この時点で粒状体のアーチが図 5a のように形成されていたと推測される。さらに降下を進めると中央両隣では荷

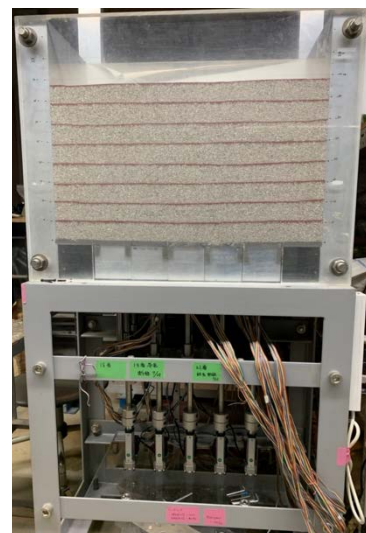


図 1 落とし戸試験装置

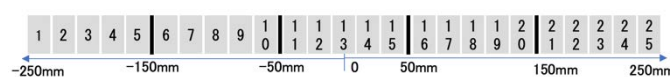


図 2 ロードセル番号

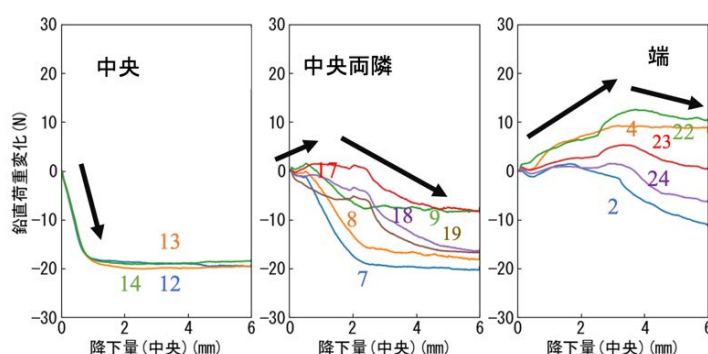


図 3 各ロードセルの鉛直荷重変化量

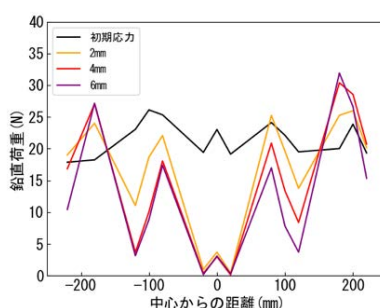


図 4 鉛直荷重分布（地盤高 40cm）

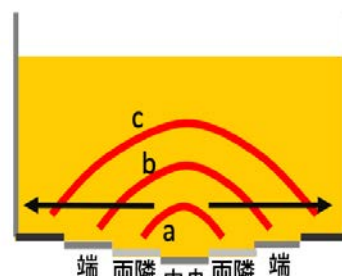


図 5 アーチ形成イメージ図

キーワード 落とし戸実験 アーチング 側壁作用荷重

連絡先 〒153-8505 東京都目黒区駒場 4 丁目 6-1 東京大学生産技術研究所

重が大きく減少する一方で、端のブロックの荷重(2,3,4,22,23,24)が増加しており、降下に伴いアーチが図5 b,cのように外側に波及していることがわかる。さらに最終形状まで降下を進めると端のブロックでも荷重が減少するが、この段階では底板のロードセルのない部分で荷重が増大していると考えられる。

4. 側面荷重の変化

既往の落とし戸実験では中央ブロックを上下させるケースが大半であるが、本研究では端部のブロックまで降下させ、上述のように底板の端から端にわたるアーチが形成された。この時アーチの足元が土槽の側壁に接し、アーチ橋のように鉛直反力に加えて水平反力が発生すると考えられる。そこで、図6のように4箇所ロードセルを設置した木板を土槽の側壁に設置し側壁作用荷重を観察した。



図6 側壁作用荷重の測定装置

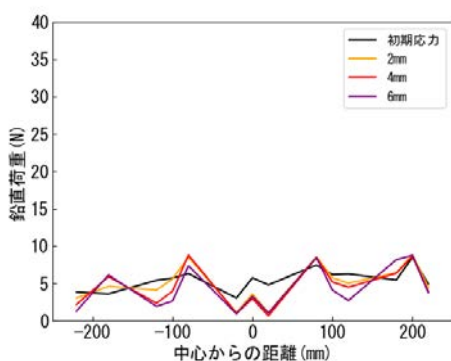


図7 鉛直荷重分布(地盤高10cm)

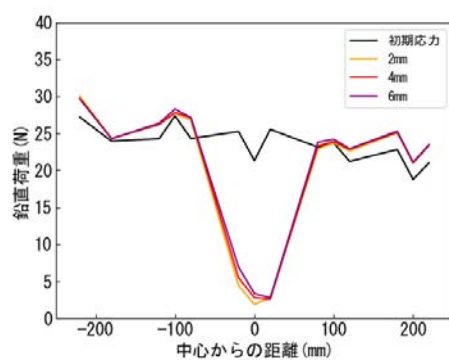


図8 鉛直荷重分布(中央のみ15mm降下)

端までアーチが形成される地盤高40cmのケースAに加え、アーチが側壁へ到達しないと考えられるケースB(地盤高10cm), C(地盤高40cm、中央底板のみ降下)も実施し側壁作用荷重を計測した。ケースBの鉛直土圧分布を図7に示す。中心に近い箇所(距離±100mm)での荷重の増大が最終形状でも見られることから、アーチの足元がより内側に来ていると考えられる。ケースCの鉛直土圧分布を図8に示す。中央両隣で荷重が増大、中央で荷重が大きく減少し、端部での荷重の増大は小さいことから、アーチは端まで達していないといえる。

以上の3ケースの側壁作用荷重の変化量を中央ブロックの降下量に対してプロットしたものを図9に示す。ケースA,B,Cともに降下初期は側圧が減少するが、アーチが外側に波及していくケースAのみ側圧が増加していき、ケースB,Cは降下量1~2mmで一定となる。また、側壁作用荷重が一定となる降下量は、中央の荷重が定常となる降下量と一致しており、初期の側圧の減少は、アーチ形成以前に中央ブロックの降下に伴い砂が底板中央方向に変位することによるものだと考えられる。

以上の結果より、底板全体にわたってV字状にたわむ場合、ある程度の地盤高が確保されていれば底板全体に渡ってアーチが形成され、そのアーチが側壁へ水平方向に荷重を伝達することで側壁作用荷重が増加することがわかった。

5. まとめ

ばら積み貨物船の構造設計を背景に、底板の変位に伴う粒状体のアーチング形成による、底板作用荷重の変化を落とし戸実験により検討し、V字状の降下に伴いアーチは外側へ波及することがわかった。また、アーチが底板端部へ到達するケースでは側壁作用荷重が増加することがわかった。

参考文献

- 1) Yanagimoto, F., Sugimoto, K., & Ishibashi, K. (2022). Numerical investigation of dry bulk cargo load during ship vertical motion. Ocean Engineering, 266, 112970.

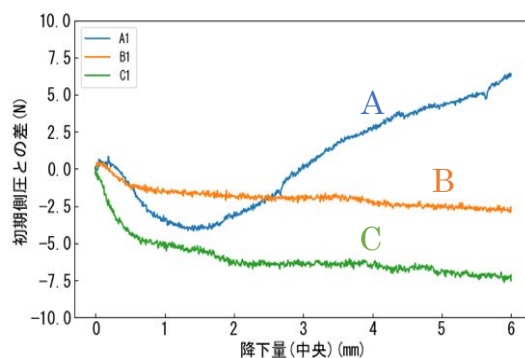


図9 側壁作用荷重の変化量