

46. 掘削用機械のつり荷走行時におけるつり荷重の変動計測

(独)労働安全衛生総合研究所 ○堀 智仁

(独)労働安全衛生総合研究所 玉手 聡

1. はじめに

掘削用機械による荷のつり上げ作業¹⁾は、労働安全衛生規則第164条「主たる用途以外の使用制限」²⁾において原則的に禁止されており³⁾、その使用については限定されている。一方で、実際の現場では作業の性質上やむを得ず荷をつった状態で走行する、つり荷走行が行われていた。そのような背景のもと、クレーン作業を安全に行うために、一般社団法人日本クレーン協会(JCA)は、「油圧ショベル兼用屈曲ジブ式移動式クレーンのつり荷走行時の能力設定に関する指針」^{4),5)}を制定し、つり荷走行を可能とする条件を示した。その後、各メーカーにより JCA 規格に準ずる掘削用機械が開発され、広く普及するようになった。しかしながら、同建設機械による災害は多く発生しており、過去の災害事例を調査すると、クレーン作業中の転倒が多くみられた。JCA 規格では、つり荷走行の条件として、つり荷の重さを定格荷重の 1/2 以下とし、その走行路については「水平堅固で傾斜 1%以下の傾斜」⁶⁾としている。しかし、実際の建設現場には起伏や強度のばらつきも存在するため、そのような地盤を走行する際に、機械が不安定化することが考えられる。

そこで、本研究では、掘削用機械のつり荷走行時における荷重変動を計測し、安全作業に必要な条件について検討した。

2. 実験条件

2.1 実験条件

過去に発生した掘削用機械の転倒災害に関する調査の結果から、小型の機種で多く発生している⁷⁾ことから、本研究では、小型の機種を用いて実験を行った。実験に使用した機械を図-1に示す。機械の総質量は 43.5kN、平均接地圧 26kN/m²、最高速度は 4.2km/h である。

表-1に実験条件を示す。本実験では、作業半径やつり荷の重さ W_0 、走行速度 V 、走行路をパラメータとした。作業半径は旋回中心からフック先端までの水平距離を示し、本実験では作業半径を

2.1m および 3m の 2 種類とした。それぞれの定格荷重は 10kN と 5kN であったため、つり荷の重さ (W_0)は、その 1/2 であった。走行速度については、2km/h および 3km/h とした。

つり荷の荷重 (以下、つり荷重という) については、格納式フックにロードセル(共和電業製 定格荷重 10kN)を取り付けて計測を行った。

2.2 走行路の条件

本研究では、3 種類の走行路で実験を行った。その走行路は、水平堅固の理想的な走行路を模擬したコンクリート床と、関東ロームを盛土して作



図-1 実験に使用した掘削用機械

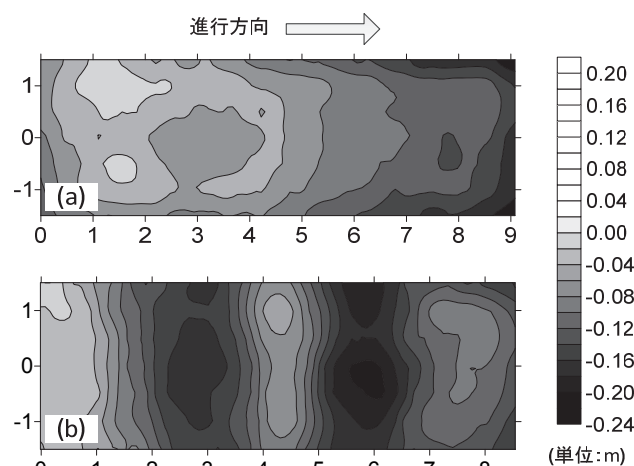


図-2 走行路の地表面形状

表-1 実験条件

実験名	作業半径 (m)	つり荷の重さ W_o (kN)	走行速度 V (km/h)	走行路
Cs1	3	2.5	2	コンクリート床
Cs2	3	2.5	3	コンクリート床
Cs3	3	2.5	2	平坦地盤
Cs4	3	2.5	3	平坦地盤
Cs5	3	2.5	2	起伏地盤
Cs6	3	2.5	3	起伏地盤
Cs7	2.1	5	2	コンクリート床
Cs8	2.1	5	2	平坦地盤
Cs9	2.1	5	2	起伏地盤

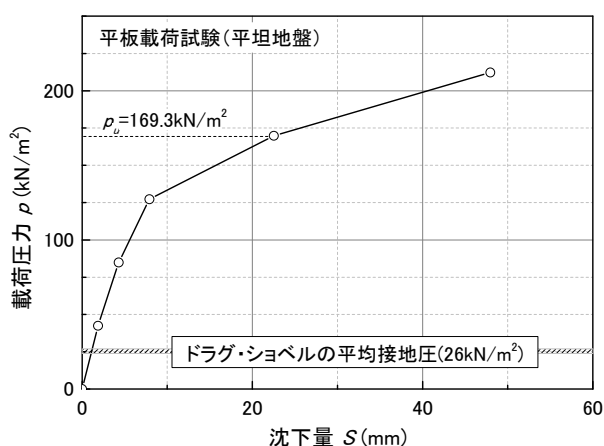


図-3 支持力試験結果

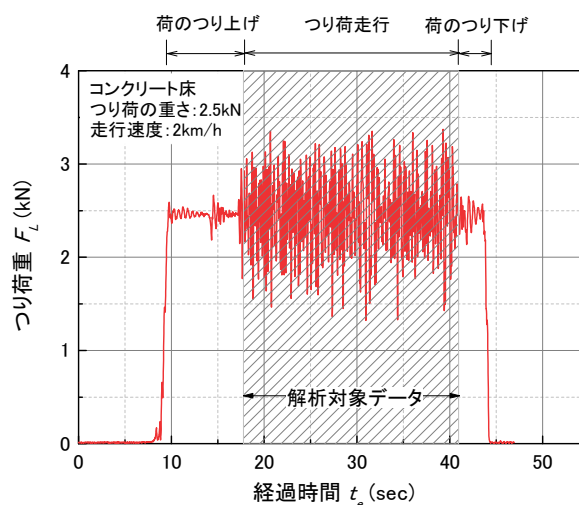
製した平坦な地盤(平坦地盤)と起伏を有する地盤(起伏地盤)である。盛土はまき出し厚 30cm とし、全 3 層で締固めて作製した。各層の締固めはハンドガイド式の振動ローラにより行った。図-2 に走行路の地表面形状を示す。平坦地盤の高低差は少ない。それに対して、起伏地盤には 2 箇所のくぼみがあり、その最急勾配は 4.5° であった。

関東ロームで造成した走行路の地盤強度を確認するために、平板載荷試験⁸⁾を行った。図-3 に平坦地盤における支持力試験の結果を示す。走行路の極限支持力 p_u は 169kN/m^2 であり、本実験で使用了機械の平均接地圧 (26kN/m^2) よりも大きな値であった。

3. 実験結果

3.1 つり荷重の解析

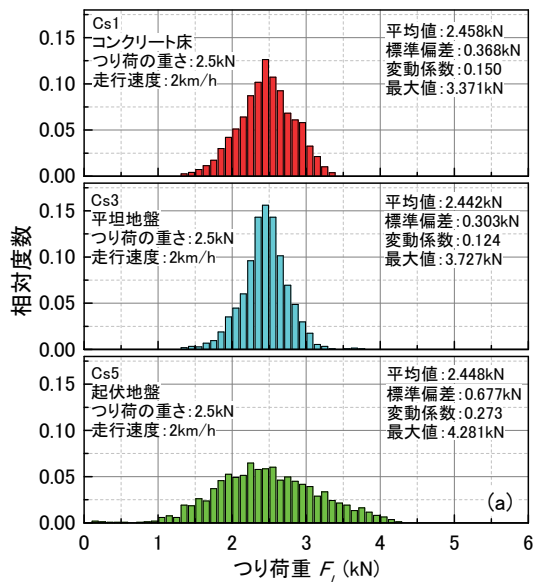
図-4 に Cs1 におけるつり荷重 F_L と経過時間 t_e の関係を示す。 $t_e=10\sim17$ 秒は、荷をつり上げた状態で機械は静止しているため F_L に変動はみられない。一方、 $t_e=17\sim41$ 秒はつり荷走行時のデータである。機械の前進に伴い F_L は大きく増減している。本研究では、荷重が大きく増減している範囲のデータを解析対象とした。

図-4 Cs1 におけるつり荷重 F_L の時刻歴

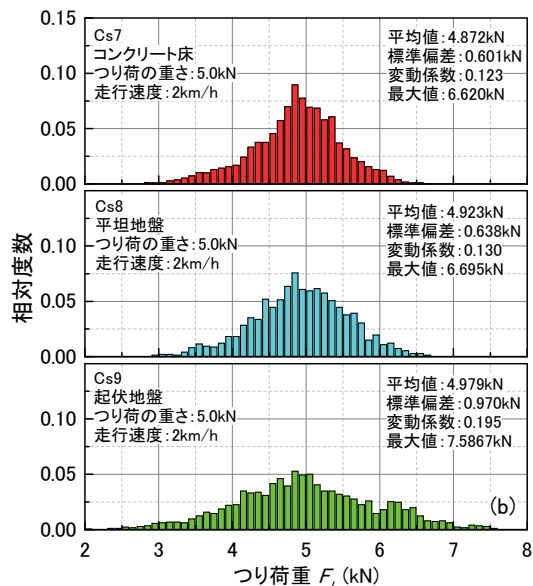
3.2 走行路の違いがつり荷重に与える影響

図-5 に各実験条件におけるつり荷重 F_L の度数分布を示す。 F_L の値はつり荷の重さ W_o を中心として、概ね左右対称に分布している。また、理想的な水平堅固条件であるコンクリート床を走行した Cs1 と Cs7 では、 W_o の約 1.3 倍が最大 F_L となっている。

図-5(a)に、 $W_o=2.5\text{kN}$ の結果を示す。Cs1(コンクリート床)と Cs3(平坦地盤)を比較すると、統計値に差はあるもののその分布に大きな違いは見られない。一方、Cs5(起伏地盤)の F_L は Cs3 よりも広く分布しており、地盤起伏の影響により荷重の変動が大きくなっている。この結果は、 $W_o=5\text{kN}$ の結果を示した図-5(b)においても、同様の傾向を示している。コンクリート床と平坦地盤の結果に大きな差がなかった理由は、地盤の支持力が機械の接地圧に比べ十分高く、コンクリート床と同等な「水平堅固地盤」であったためと考えられる。以上の結果から、走行路の起伏の存在は F_L の変動を大きくさせる要因であることがわかった。



(a) つり荷の重さ 2.5kN



(b) つり荷の重さ 5kN

図-5 各実験条件における F_L の度数分布

3.3 走行速度がつり荷重に与える影響

走行速度の違いがつり荷重の変動に与える影響について検討した。図-6 にデータのばらつきの程度を図示することができるボックスチャート⁹⁾を示す。図中には、1, 25(第一四分位), 50(中央値), 75(第三四分位), 99 パーセンタイルのほか、最小値、最大値および平均値を示している。走行速度 $V=2\text{km/h}$ と $V=3\text{km/h}$ の結果を比較すると、すべての条件において、 $V=3\text{km/h}$ の F_L が広く分布している。

表-2 に、各試験条件における変動係数と 99 パーセンタイルに相当する F_L の値(F_{L99})等を示す。 $V=2\text{km/h}$ と $V=3\text{km/h}$ の結果を比較すると、全てにおいて変動係数および F_{L99} ともに、 $V=3\text{km/h}$ の値が大きい。中でも起伏地盤の結果である Cs5 と Cs6

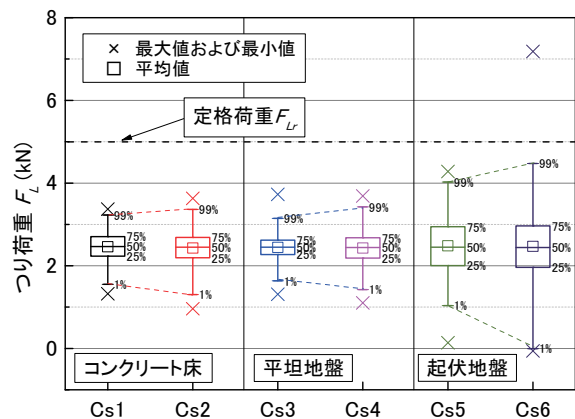


図-6 走行速度がつり荷重変動に与える影響

表-2 各条件における変動係数および F_{L99} 等

実験名	速度	変動係数	F_{L99} (kN)	荷重余裕度 I_a
Cs1	2km/h	0.145	3.23	1.55
Cs2	3km/h	0.169	3.36	1.49
Cs3	2km/h	0.124	3.15	1.59
Cs4	3km/h	0.160	3.42	1.46
Cs5	2km/h	0.273	4.03	1.24
Cs6	3km/h	0.341	4.48	1.12

の比較から、速度の影響が明確に見られる。 $V=3\text{km/h}$ の F_{L99} は $V=2\text{km/h}$ に比べ約 25%増加しており、その値は、つり荷の重さ(W_o)の約 1.8 倍である。ここで、 F_{L99} に対する定格荷重(F_{Lr})の割合を荷重余裕度 I_a と定義した。関係式を式(1)に示す。

$$I_a = \frac{F_{Lr}}{F_{L99}} \quad (1)$$

表-2 に各試験条件における I_a を示す。Cs5 と Cs6 の I_a はそれぞれ、1.24 と 1.12 であった。したがって、走行速度の増加に伴って荷重余裕度は減少するため、機械の安定性は低下することがわかった。

以上のことから、速度の増加に伴って荷重の変動は大きくなり、機体の安定性は低下することが確認された。したがって、安定した走行には遅い速度を選択する必要がある。

3.4 つり荷の重さの違いがその荷重に与える影響

つり荷重の変動量を相対的に比較するためにつり荷重 F_L をつり荷の重さ W_o で除した値を正規荷重 F_{LN} と定義した。図-7 に、各試験におけるボックスチャートを示し、表-3 に 99 パーセンタイルの値(F_{LN99})と最大値を示す。

コンクリート床を走行した Cs1($W_o=2.5\text{kN}$)と Cs7($W_o=5\text{kN}$)を比較すると、 F_{LN99} は Cs1 の方が広く分布している。また、 F_{LN99} の値は、Cs1 が 1.29 であるのに対して、Cs7 は 1.23 であった。すなわち、 W_o が小さい方が相対的に荷重の変動が大きくなっている。

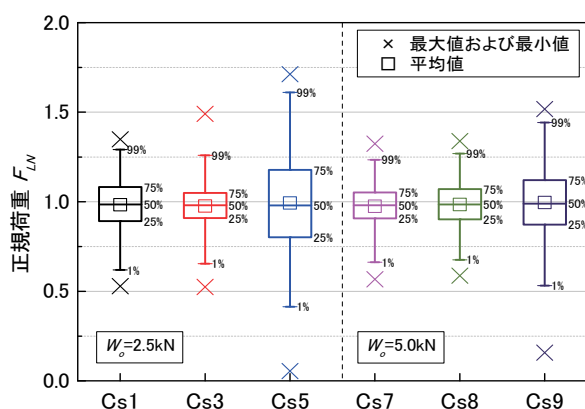


図-7 正規荷重 F_{LN} の比較

表-3 各実験条件における正規荷重 F_{LN}

実験名	正規荷重 F_{LN}	
	F_{LN99}	最大値
Cs1	1.29	1.34
Cs3	1.26	1.49
Cs5	1.61	1.71
Cs7	1.23	1.32
Cs8	1.26	1.34
Cs9	1.44	1.52

一方、平坦地盤を走行した Cs3($W_o=2.5\text{kN}$)とCs8($W_o=5\text{kN}$)の比較では、 W_o の違いによる F_{LN99} の差はほとんど見られない。

起伏地盤における Cs5($W_o=2.5\text{kN}$)とCs9($W_o=5\text{kN}$)の比較では、Cs5の方が F_{LN} の分布は広く、 F_{LN99} についてもCs5は1.71であるのに対してCs9は1.52であった。この結果は、コンクリート床の結果と同様の傾向であり、 W_o が小さい方が相対的に荷重の変動量が大きくなることがわかった。

このことから、 W_o は定格荷重の1/2と同一条件であっても、 W_o は小さく作業半径が大きい場合には、荷重変動が相対的に大きくなり、機体は不安定になることがわかった。そのため、安定した走行には、作業半径を小さくする必要があることが明らかになった。

4. まとめ

掘削用機械のつり荷走行時における機械の不安定要因について検討し、以下の知見を得た。

- 1) コンクリート床のような理想的な水平堅固地盤においても、つり荷走行時にはつり荷の重さ(W_o)の約1.3倍の荷重が作用することがわかった。
- 2) 走行速度の違いがつり荷重 F_L の変動に与える影響を調べるために、走行速度 $V=2\text{km/h}$ と $V=3\text{km/h}$ で比較を行った。その結果、全ての

結果においてつり荷重 F_L の変動量は速度の増加とともに大きくなり、機械の安定性は低下することがわかった。

- 3) つり荷重の変動について、つり荷の重さに対する相対的な比較を行った。その結果、つり荷の重さの小さい方が、変動は相対的に大きいことがわかった。そのため、安定した走行には、作業半径を小さくする必要がある。
- 4) 掘削用機械のつり荷走行時のつり荷重の変動を小さくするためには、走行路の平坦さの確認と、走行路の低下が重要なことがわかった。

謝辞：本実験を実施するにあたり、三国智温氏(元東京都市大学大学院生)と石野貴裕氏(東京都市大学学部生)に協力いただいた。ここに記して感謝の意を表する。

参考文献

- 1) 厚生労働省通達：「車両系建設機械を用いて行う荷のつり上げの作業時等における安全の確保について」(平成4年10月1日基発第542号)，1992.
- 2) 労働調査会：安衛法便覧Ⅰ平成19年度版，pp.959-962,2007.
- 3) 労働基準局長通達：「荷役、運搬機械の安全対策について」(昭和50年4月10日基発第218号)，1975.
- 4) 一般社団法人クレーン協会：一般社団法人日本クレーン協会規格「油圧ショベル兼用屈曲ジブ式移動式クレーンのつり荷走行時の能力設定に関する指針」(JICAS2005-2005)。
- 5) 杉沢博：JCA規格「油圧ショベル兼用屈曲ジブ式移動式クレーンのつり荷走行時の能力設定に関する指針」について(屈曲ジブ式移動式クレーン委員会報告)，クレーン，vol.44，No.8，pp.23-26，2006.
- 6) ISO4305：1991 Mobile cranes determination of stability.
- 7) 吉川直孝，伊藤和也，堀智仁，清水尚憲，梅崎重夫，濱島京子，豊澤康男，玉手聡：掘削用機械に係る死亡災害の調査分析，安全工学シンポジウム2013講演予稿集，pp.396-399，2013.
- 8) 地盤工学会：地盤調査の方法と解説，pp.697-735，2013.
- 9) B.S.Everitt：統計科学事典，朝倉書店，p.184，p.338，2002.