

第8章 不安定要因とその影響

8.1 機械側条件による影響

自走中のくい打機の挙動に与える機械側の要因として、安定度、重心位置、走行速度の違いが揺動に与える影響を調べた。本節では、ウレタンフォーム模擬地盤に対して行った試験結果について述べる。

8.1.1 安定度の違いによる影響

(1) 傾斜角に与える影響

図8-1-1に上部搭載条件における $F_s=1.5$ （弾性支持条件）と $F_s=0.8$ （塑性支持条件）の安定度と傾斜角の関係を示す。図中には平均値をマークで示し、傾斜角の標準偏差をエラーバーで示した。なお、傾斜角はハイスピードカメラで記録した動画を解析したものである。

傾斜角の平均値は安定度の増加とともに低下し、標準偏差も小さくなっている。安定度が小さいほど機体は不安定になり、それに伴って揺れが大きくなったと考えられる。この傾向は、 F_s の違いにかかわらず、同じ傾向を示している。また、 $F_s=1.5$ と 0.8 を比較すると全ての安定度において、塑性支持条件である $F_s=0.8$ の標準偏差が大きいことが分かった。

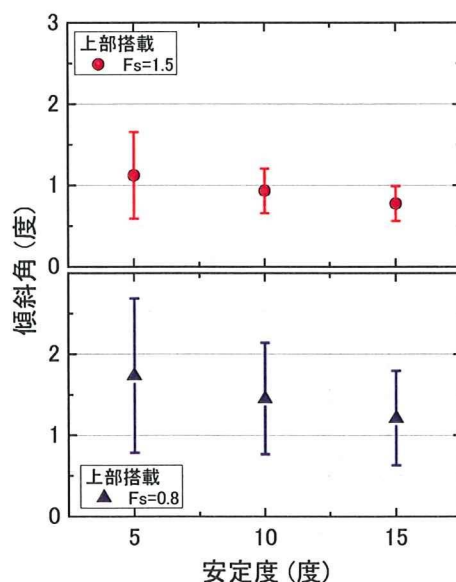


図8-1-1 安定度と傾斜角の関係（上部搭載）

図 8-1-2 に上部搭載条件における傾斜角の平均値と安定度の関係を示す。 $F_s=1.5$ に比べ、 $F_s=0.8$ の平均値は全体的に大きい。この原因は、 $F_s=1.5$ は弾性支持状態であるため、生じる沈下量が小さいのに対し、 $F_s=0.8$ は塑性支持状態であるため、生じる沈下量が大きいためと考えられる。沈下量が大きい $F_s=0.8$ では、傾斜角が大きく生じたものと推定される。

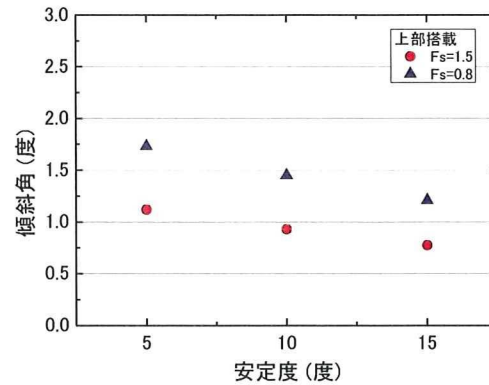


図 8-1-2 安定度と傾斜角の関係

搭載条件と同様に、安定度の増加に伴い傾斜角の平均値は減少傾向にある。 $F_s=1.5$ と $F_s=0.8$ では、 $F_s=0.8$ は安定度の増加に伴って大きく減少している。エラーバーで示した標準偏差に着目すると、 $F_s=0.8$ の標準偏差が大きく、平均値と同様に安定度の増加とともに標準偏差は減少している。

図 8-1-4 に傾斜角の平均値と安定度の関係を示す。 $F_s=1.5$ に比べ $F_s=0.8$ の傾斜角が大きい。この傾向は上部搭載条件と同じである。

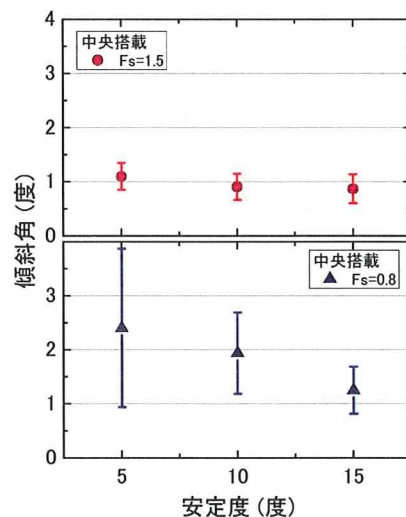


図 8-1-3 安定度と傾斜角の関係 (中央搭載)

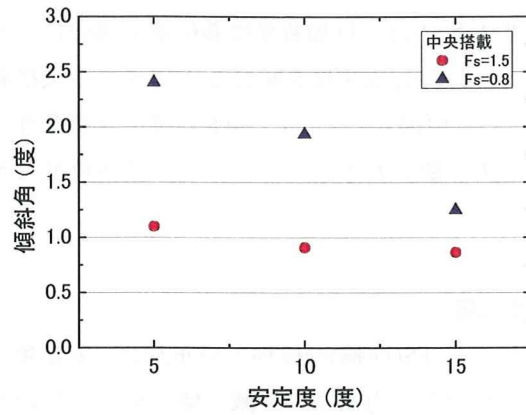


図 8-1-4 安定度と傾斜角の関係

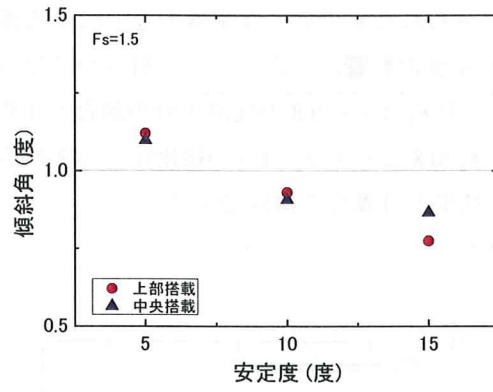


図 8-1-5 付加質量の搭載位置による影響 ($F_s=1.5$)

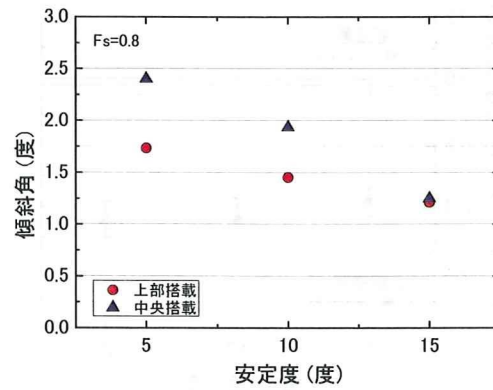


図 8-1-6 付加質量の搭載位置による影響 ($F_s=0.8$)

図 8-1-5 および図 8-1-6 に傾斜角と安定度に及ぼす付加質量搭載位置の影響を示す。 $F_s=1.5$ の結果を示した図 8-1-5 では、付加質量搭載位置の違いによる差は小さい、一方、 $F_s=0.8$ の結果を示した図 8-1-6 では、安定度 5 度および 10 度で中央搭載の傾斜角が大きい。 F_s の違いにより傾向が異なった原因として、 $F_s=0.8$ は塑性支持条件であり、安定度が小さく不安定な条件ほど生じる沈下量大きい。そのため、傾斜角が大きくなったと考えられる。

(2) 接地圧力変動に与える影響

図 8-1-7 に上部搭載条件での FS(前輪)の接地圧分布割合と安定度の関係を示す。安定度の増加に伴い、接地圧分布割合の平均値はやや減少傾向を示している。この原因は、安定度が大きくなるに従い、模型重心の水平位置が履帯中央に近づくため、FS に作用する接地圧の割合が小さくなるためと考えられる。次に、エラーバーで示した標準偏差に着目すると、 F_s の違いによる影響は見られるものの、安定度の違いによる差は小さい。すなわち、FS の接地圧変動に及ぼす安定度の影響が小さいことが明らかになった。

図 8-1-8 に上部搭載条件での $F_s=1.5$ と 0.8 の接地圧分布割合の平均値と安定度の関係を示す。全ての安定度において $F_s=0.8$ よりも $F_s=1.5$ の接地圧力分布割合は大きな値を示している。この傾向は、傾斜角の結果とは異なる傾向である。

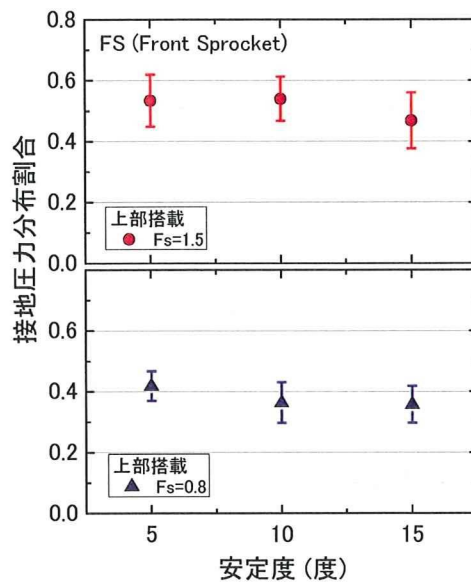


図 8-1-7 安定度と F_s の接地圧力分布割合の関係 (上部搭載)

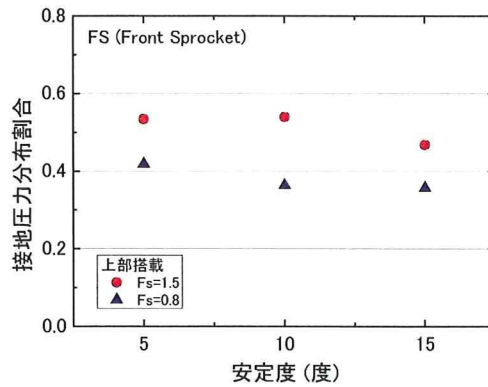


図 8-1-8 安定度と FS の接地圧力分布割合の関係（上部搭載）

図 8-1-9 に中央搭載条件での FS(前輪)の接地圧分布割合と安定度の関係を示す。試験結果の傾向は、上部搭載条件とほぼ同じであり、安定度の増加に伴い接地圧分布割合の平均値は減少している。

図 8-1-10 に FS の接地圧力分布割合の平均値と安定度の関係を示す。Fs=1.5 と 0.8 を比較すると、Fs=1.5 の接地圧分布割合の平均値が大きい。

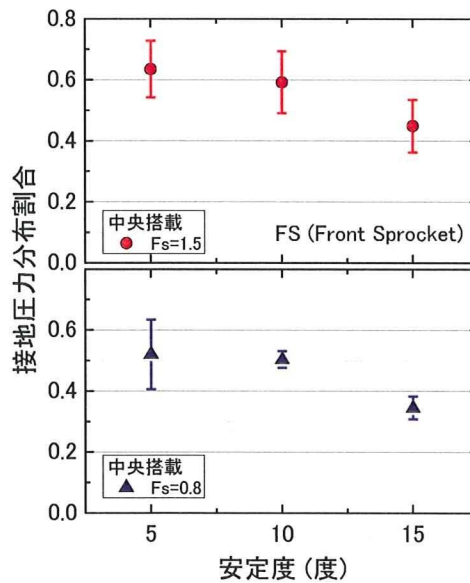


図 8-1-9 安定度と FS の接地圧力分布割合の関係（中央搭載）

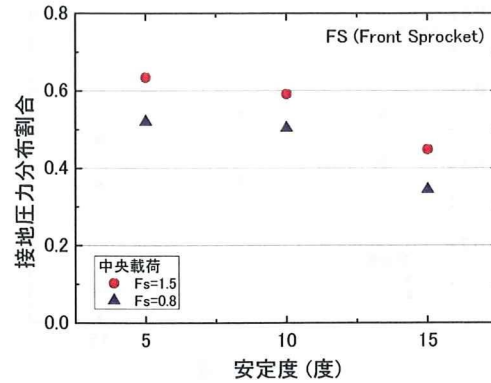


図 8-1-10 安定度と FS の接地圧力分布割合の関係 (中央搭載)

図 8-1-11 および図 8-1-12 に FS の実験値 (R_o) を理論値 (R_t) で除した値と安定度の関係を示す。 $F_s=1.5$ (弾性支持条件) の結果を示した図 8-1-11 では、付加質量搭載位置の違いにかかわらず、安定度 10 度および 15 度では R_o/R_t の値はほぼ等しく、その値は約 1.3 である。すなわち、安定度 10 度および 15 度では、走行中の揺動によって理論値よりも大きな接地圧が作用している。それに対して、安定度 5 度では、 $R_o/R_t \leq 1$ であり、傾向がやや異なる。

$F_s=0.8$ の結果を示した図 8-1-12 についても、 $F_s=1.5$ の結果と同様に、安定度 10 度および 15 度に比べ 5 度の R_o/R_t はやや低くなっている。 F_s の違いにかかわらず、安定度 5 度の R_o/R_t が 1 より小さくなった原因は、走行中に生じる揺動によって、前輪だけではなく後輪にも荷重が作用したため、前輪の接地圧力分布割合が小さくなったものと考えられる。なお、後輪の接地圧分布割合の R_r は 0 である。

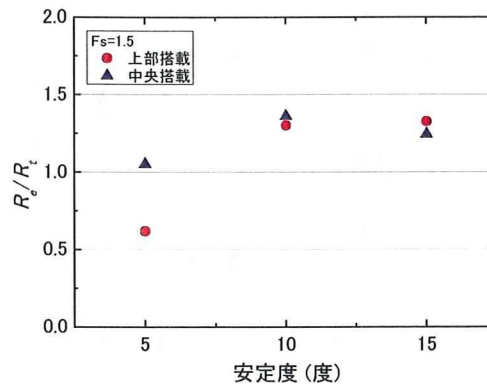


図 8-1-11 安定度と FS の R_o/R_t の関係 ($F_s=1.5$)

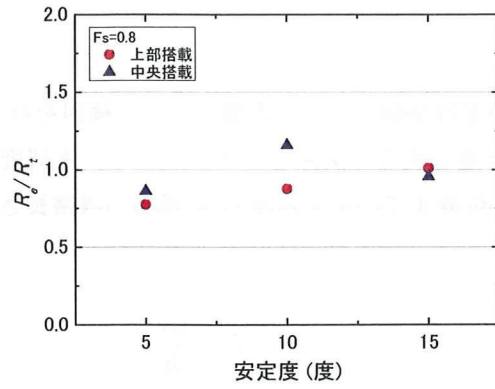


図 8-1-12 安定度と FS の R_o/R_t の関係 (Fs=0.8)

8.1.2 重心高さによる影響

(1) 傾斜角に与える影響

模型の重心位置の違いが走行挙動に与える影響について検討を行った。図 8-1-13 に上部搭載条件における傾斜角と重心高さの関係を示す。ここで、本研究では重心高さを示す指標として、地表面から重心位置までの鉛直距離 G_y を模型の履帯長さ B で除した値をトップヘビー指数 (I_T) と定義した。

$$I_T = \frac{G_y}{B} \quad (8-1-1)$$

傾斜角の平均値は、 I_T の増加に伴って増大している。また、エラーバーで示した標準偏差においても、重心高さが高くなるに従い大きくなっている。すなわち、トップヘビー指数が高くなるほど、走行中に生じる傾斜および揺動がともに大きくなることを意味している。

図 8-1-14 は傾斜角の平均値を比較した図である。 $F_s=1.5$ (弾性支持条件) に比べ、 $F_s=0.8$ (塑性支持条件) の傾斜角は大きい。

図 8-1-15 に中央搭載条件におけるトップヘビー指数と傾斜角の関係を示す。中央搭載条件の $F_s=1.5$ (弾性支持条件) では、トップヘビー指数の違いによる差は小さく、トップヘビー指数の増加とともに傾斜角がやや大きくなる程度である。標準偏差においてもトップヘビー指数の違いによる差は小さい。それに対して、 $F_s=0.8$ (塑性支持条件) では、トップヘビー指数が高くなるに従い、走行時に生じる傾斜角および標準偏差が大きくなっている。

図 8-1-16 に示す傾斜角の平均値とトップヘビー指数の関係を示す。中央搭載条件では、 F_s の違いによる差は顕著であり、塑性支持条件では弾性支持条件の約 2 倍の傾斜角が生じている。

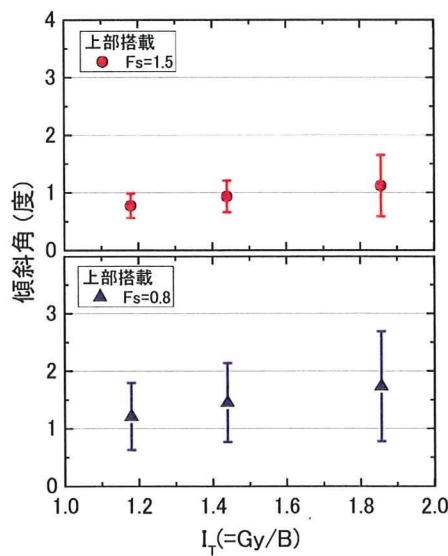


図 8-1-13 重心高さと傾斜角の関係 (上部搭載)

第 8 章 不安定要因とその影響

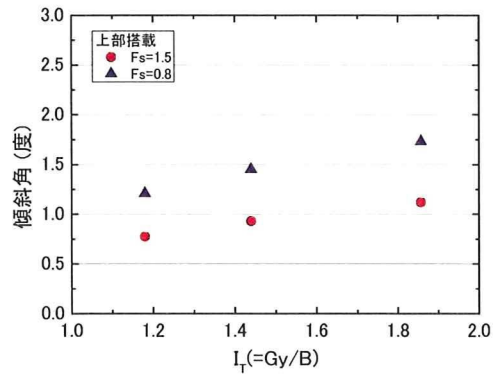


図 8-1-14 重心高さと平均傾斜角の関係 (上部搭載)

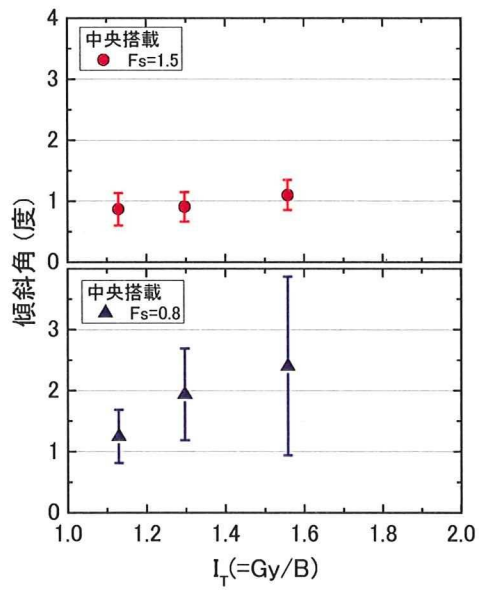


図 8-1-15 トップヘビー指数と傾斜角の関係 (中央搭載)

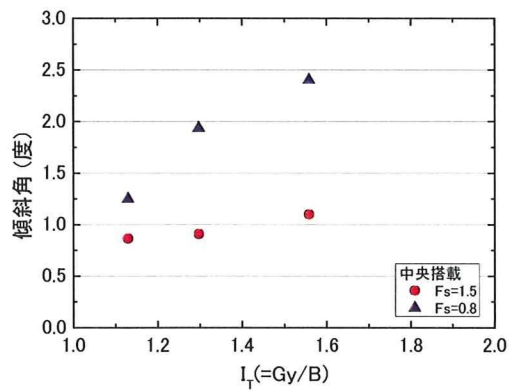


図 8-1-16 トップヘビー指数と平均傾斜角の関係 (中央搭載)

図 8-1-17 に弾性支持条件でのトップヘビー指数と傾斜角の関係を示す。弾性支持条件では、付加質量搭載位置の違いによる差は比較的小さく、トップヘビー指数の増加に伴い傾斜角がやや増加している。それに対して、塑性支持条件の結果を示した図 8-1-18 では、付加質量搭載位置の違いによる差が見られ、トップヘビー指数が高くなるに従い、傾斜角の平均値と標準偏差も大きくなっていることが分かる。

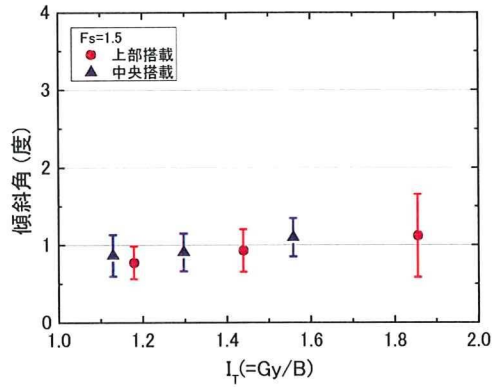


図 8-1-17 トップヘビー指数と傾斜角の関係 (中央搭載, $F_s = 1.5$)

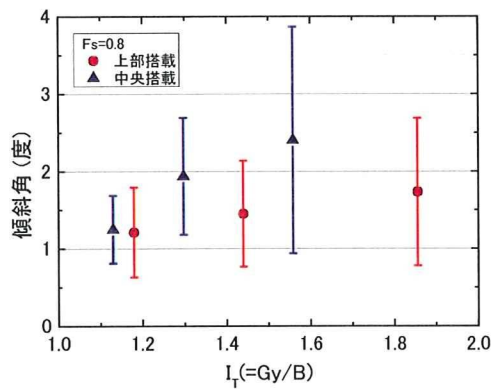


図 8-1-18 トップヘビー指数と傾斜角の関係 (中央搭載, $F_s = 0.8$)

(2) 接地圧力変動に与える影響

図 8-1-19 に上部搭載条件での FS (前輪) の接地圧力分布割合とトップヘビー指数の関係を示す。トップヘビー指数が高くなるに従い、FS の接地圧力分布割合に僅かな増加傾向が見られる。それに対して、エラーバーで示した標準偏差については、トップヘビー指数の違いによる大きな差は見られない。一方、図 8-1-20 に示した中部搭載条件では、トップヘビー指数の違いによる接地圧力分布の増加が明確である。

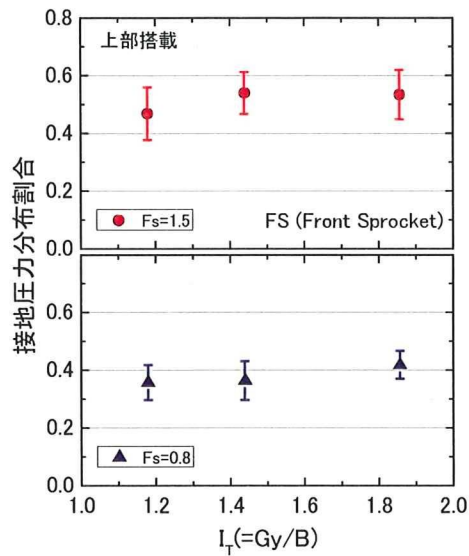


図 8-1-19 トップヘビー指数と FS の接地圧分布割合の関係 (上部搭載)

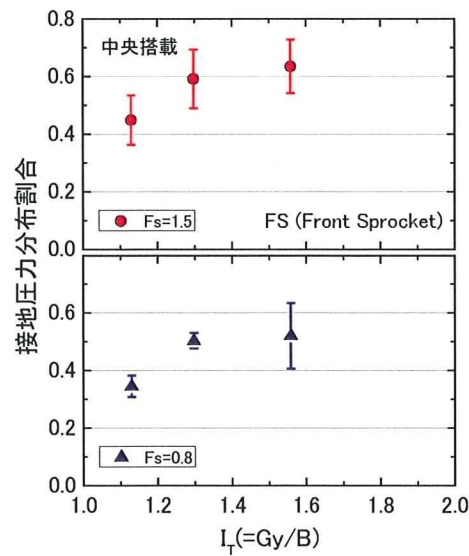


図 8-1-20 トップヘビー指数と FS の接地圧分布割合の関係 (中央搭載)

図 8-1-21 に弾性支持条件 ($F_s=1.5$) における FS の接地圧分布割合とトップヘビー指数の関係を示す。付加質量搭載位置の違いによる差は少なく、トップヘビー指数が大きくなるに従い、FS の平均値は増加傾向を示している。

図 8-1-22 に塑性支持条件 ($F_s=0.8$) の結果を示す。塑性支持条件では、弾性支持条件に比べ、全体的に標準偏差が小さい傾向を示している。

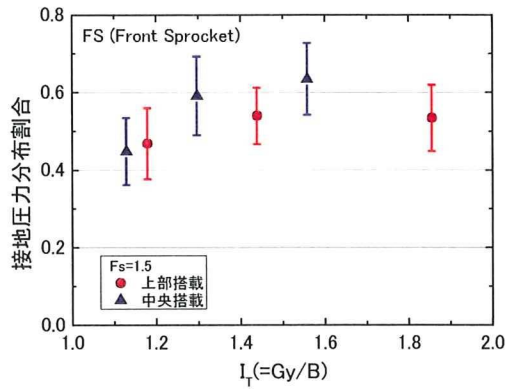


図 8-1-21 トップヘビー指数と FS の接地圧分布割合の関係 ($F_s=1.5$)

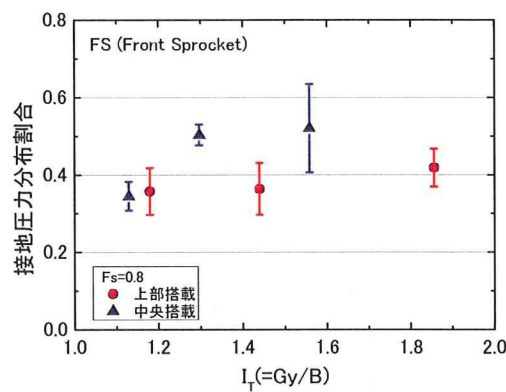


図 8-1-22 トップヘビー指数と FS の接地圧分布割合の関係 ($F_s=0.8$)

図8-1-23にFSの実験値 R_e を理論値 R_t で除した値とトップヘビー指数の関係を示す。トップヘビー指数が低い条件では $R_e/R_t > 1$ であり、理論値よりも実験値が大きい。しかし、トップヘビー指数が高くなるとともに、その関係は $R_e/R_t < 1$ になる。一方、塑性支持条件の結果を示した図8-1-24においても、トップヘビー指数が高くなるに従い、 $R_e/R_t < 1$ となっている。

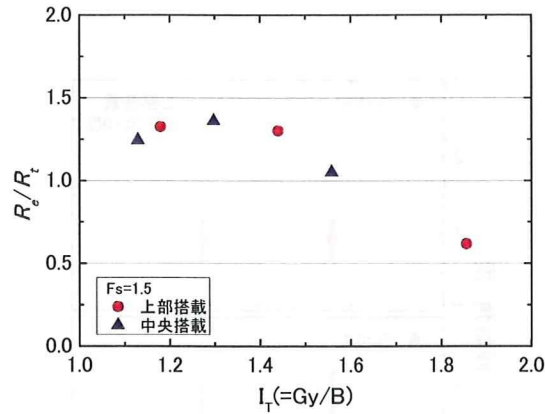


図8-1-23 トップヘビー指数とFSの R_e/R_t の関係 ($F_s=1.5$)

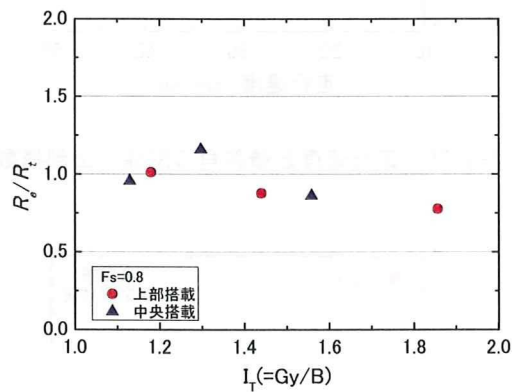


図8-1-24 トップヘビー指数とFSの R_e/R_t の関係 ($F_s=0.8$)

8.1.3 走行速度が与える影響

本項では、走行速度が揺動に与える影響について検証した。図 8-1-25 に上部搭載条件における走行速度と傾斜角の関係を示す。支持条件の違いおよび走行速度の違いによらず、傾斜角の平均値および標準偏差には差が見られない。中央搭載条件の結果を示した図 8-1-26 においても、同じ傾向を示しており、平坦で地盤支持力のばらつきが少ない地盤では、走行速度が試験結果に与える影響が小さいことがわかった。

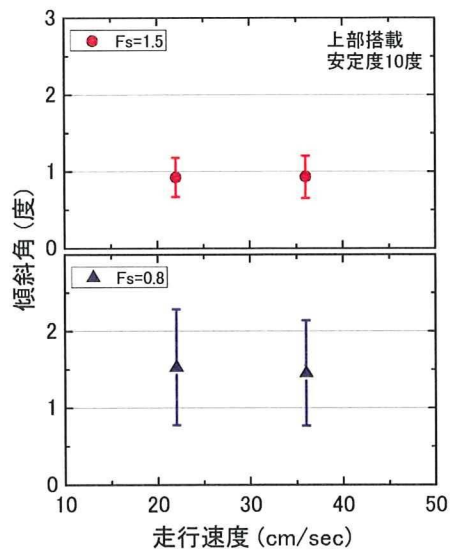


図 8-1-25 走行速度と傾斜角の関係（上部搭載）

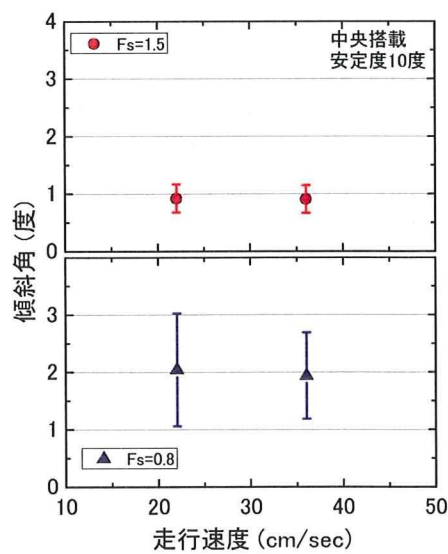


図 8-1-26 走行速度と傾斜角の関係（中央搭載）

図8-1-27に上部搭載条件における走行速度とFS(前輪)の接地圧分布割合の関係を示し、図8-1-28に中央搭載条件の結果を示す。前述した傾斜角の結果と同様に、FSの接地圧分布割合には、走行速度の違いによる顕著な差は見られない。

以上の結果から、平坦で均質な地盤では、走行速度の違いが傾斜角および接地圧分布割合に与える影響は非常に小さいことが明らかになった。

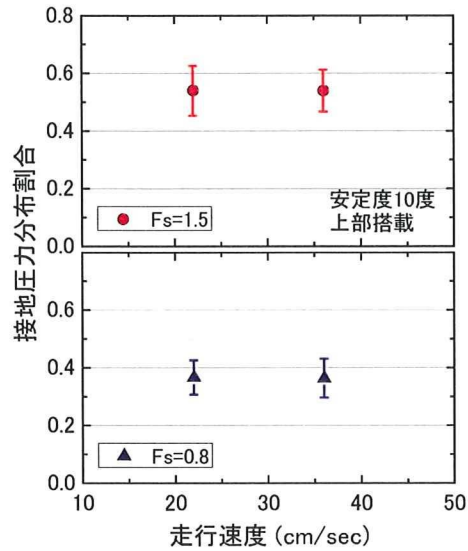


図 8-1-27 走行速度と前輪の接地圧力分布割合の関係（上部搭載）

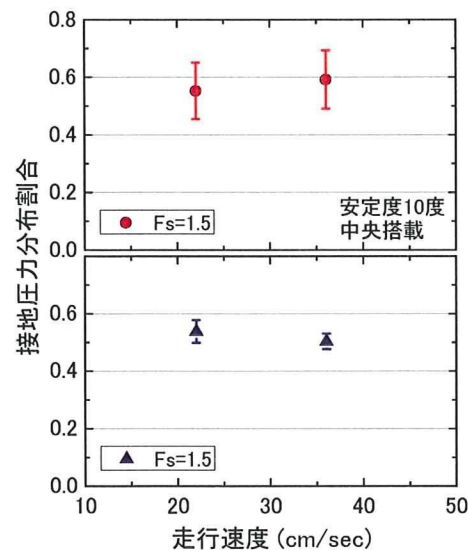


図 8-1-28 走行速度と前輪の接地圧力分布割合の関係（中央搭載）

8.2 地盤側条件による影響

本節では関東ロームを用いて、せん断強度のばらつきが大きい地盤とばらつきが小さい地盤を作製し、くい打機模型の揺動に与える影響について検討を行った。

8.2.1 傾斜角に与える影響

図 8-2-1 に平坦地盤における傾斜角と安定度の関係を示す。均質地盤および不均質地盤ともに、安定度の違いによる影響は小さいことが分かる。地盤条件と傾斜角の関係に着目すると、均質地盤の平均傾斜角が約 0.4 度であるのに対し、不均質地盤の平均傾斜角は約 1 度であり、均質地盤に比べ傾斜角が大きい。表 8-2-1 にハンドベーン試験の結果を示す。

両地盤条件のせん断強度の平均値はほぼ等しい。一方、標準偏差と変動係数は、均質地盤に比べ、不均質地盤は約 2 倍大きな値である。そのため、不均質地盤ではせん断強度のばらつきの影響により走行中に発生する傾斜角が大きくなったものと考えられる。

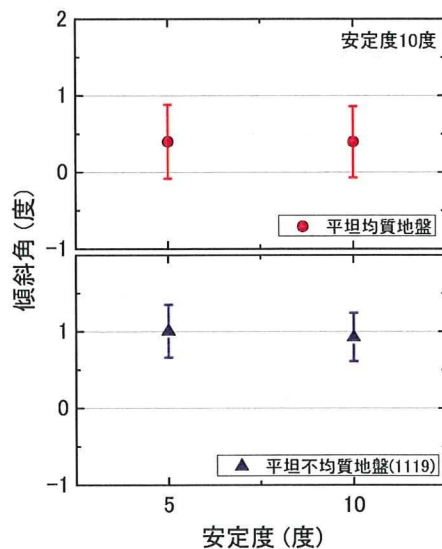


図 8-2-1 平坦均質地盤と平坦不均質地盤における傾斜角と安定度の関係

表 8-2-1 平坦地盤におけるハンドベーン試験結果

地盤条件	ハンドベーン試験結果		
	平均値 (kPa)	標準偏差	変動係数
平坦均質地盤	73.15	12.82	0.175
平坦不均質地盤	73.60	26.04	0.354

図 8-2-2 に平坦均質地盤および起伏地盤における安定度と傾斜角の関係を示す。平坦地盤と起伏地盤では結果に顕著な差が見られ、平坦均質地盤では平均傾斜角が 0.4 度であるのに対して、起伏地盤では 1.5~2.5 度である。また、エラーバーで示した標準偏差についても同様の傾向を示しており、起伏地盤の標準偏差が非常に大きくなっている。一方、それぞれの地盤条件での結果を比較すると、平坦地盤は安定度の違いによる傾斜角の差は小さい。それに対して、起伏地盤では、安定度の増加とともに生じる傾斜角は小さくなっている。標準偏差については、平坦均質地盤と同様に安定度の違いによる顕著な差は見られない。

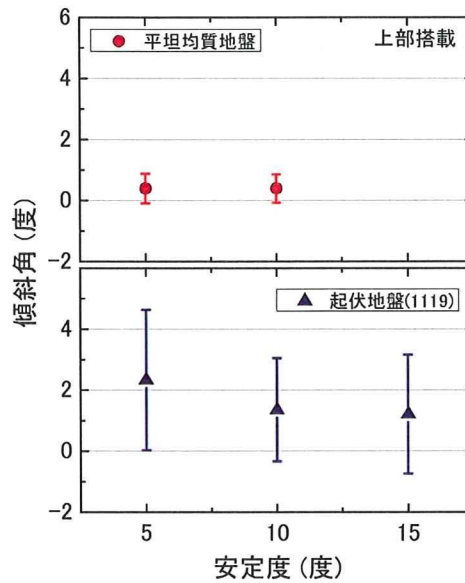


図 8-2-2 平坦均質地盤と起伏地盤における傾斜角と安定度の関係

図 8-2-3 に起伏地盤における付加質量搭載位置の違いが傾斜角と安定度に与える影響を示す。平均傾斜角を比較すると、上部搭載に比べ中央搭載条件の方がやや高い値を示している。標準偏差については顕著な差は見られないものの、中央搭載条件の方がやや大きな値を示している。安定度と傾斜角の関係については、付加質量の搭載条件にかかわらず、安定度の増加に従い、平均傾斜角がやや小さくなっている。

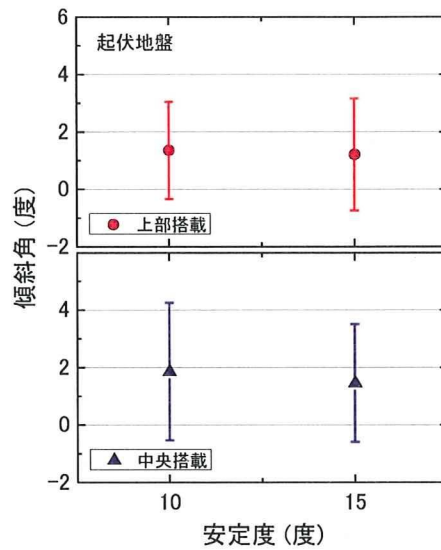


図 8-2-3 起伏地盤における付加質量搭載位置の影響

8.2.2 接地圧の変動に与える影響

図 8-2-4 に平坦地盤における FS の接地圧分布割合と安定度の関係を示す。平均接地圧力分布割合は安定度の増加に伴い減少する傾向を示している。均質地盤と不均質地盤を比較すると、平坦均質地盤の平均接地圧力分布割合は不均質地盤に比べ高い値を示している。

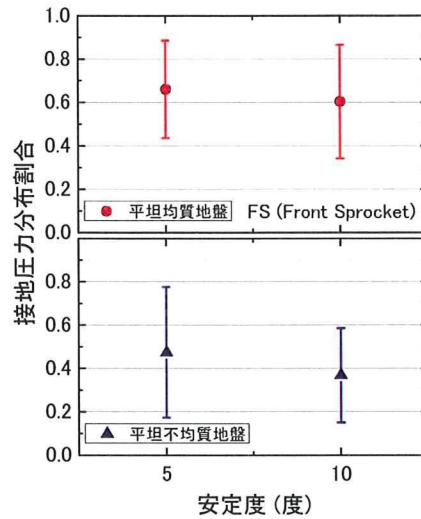


図 8-2-4 平坦地盤における FS の接地圧力分布割合と安定度の関係

図 8-2-5 に平坦均質地盤と起伏地盤における接地圧分布割合と安定度の関係を示す。安定度の増加とともに接地圧分布割合の平均値はやや低下している。また、平坦地盤と起伏地盤の結果を比較すると、平坦地盤の接地圧分布割合は起伏地盤よりも大きい。しかしながら、エラーバーで示した標準偏差を比較すると、起伏地盤の標準偏差は非常に大きく、自走による揺動の大きさを反映した結果であると言える。

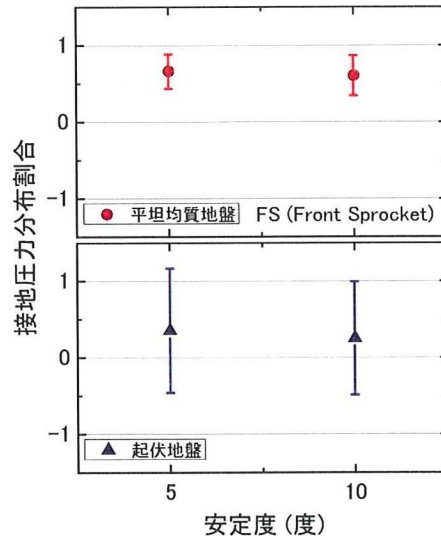


図 8-2-5 地盤条件の違いが FS の接地圧力分布割合と安定度の関係