

# トラフィカビリティー改善に関する現場実験 (その3)

齋藤 二郎  
若松 雍 継

## 概 要

最近の土工事は大型化とともにスピード化が要求されてきた。従来、軟弱土の土工事と言えば湿地ブルドーザの image があるが、これに代りタイマ系の建設機械によりどのような土質強度まで有効にまた経済的に施工することができるかを把握するため大型モータースクレーバによる現場実験を実施した。実験はスクレーバの自走時における沈下量とスリップ率および接地圧と土中応力の関係について調査した。測定結果、静止時の土中応力は Fröhlich (応力集中係数 4~5) の分布を示すが、走行により地盤が塑性変形を起こし浅い地表面 (約50cm) は逆に小さくなる。また接地圧分布は積荷の重量により変化する。すなわち空荷のときはタイヤ中央部分に集中し、荷を積むとタイヤの両端部において応力が大きくなる。したがって、スクレーバによる施工計画に当ってはスクレーバの走行性のうち、とくに走行地表面の土質およびスクレーバのタイヤ圧について十分調査検討をおこなう必要がある。

## 1. まえがき

軟弱な地盤上での空気タイヤの走行性は、接地圧の大きさ、推力発生に必要なタイヤ表面構造およびタイヤの径、タイヤ圧等のあらゆる要因について検討する必要がある。空気圧一つとっても接地圧を下げるためタイヤ空気圧を低くする方法がとられているが、この方法によるとタイヤ寸法を非常に大きくしなければならぬ上にカーカスの強さの影響がきいてきて次第に接地面周辺部の圧力が相対的に大きくなり不利な点が生じる。これら要因の因果関係が非常に軟弱な地盤上での走行性に影響をあたえる。したがってこれら要因が土中にどのような応力状態を発生するかを求め、各要因の因果関係の最適性を究明した。以上の観点より本現場実験において次の事項を対称として調査した。

- (1) 静止時 (接地圧, 土中応力)
- (2) 走行時 (通過回数とわだち堀れおよび土中応力, 土中応力と車速および重量, スリップ量, 接地圧および接線応力)
- (3) 堀削時 (土中応力)
- (4) 各自の強度特性 (コンペネトロメーター, ビバメーター, 平板載荷試験)

## 2. 実験方法

### 2.1. 計器埋設

現場実験は某宅地造成工事の一部で写真-1 に示すフィールドにておこなった。土中応力は走行面下に土圧計(BE-100A)を埋設し、接地圧および接線応力は図-1 に示すようにタイヤのトレッドの溝にモールドし

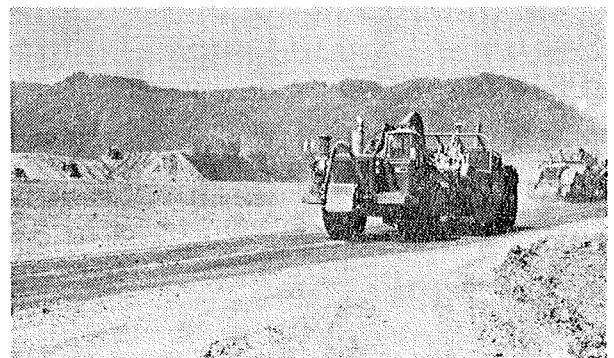
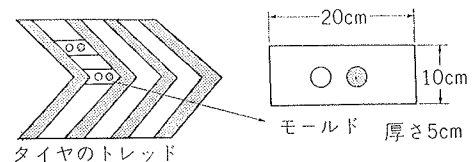
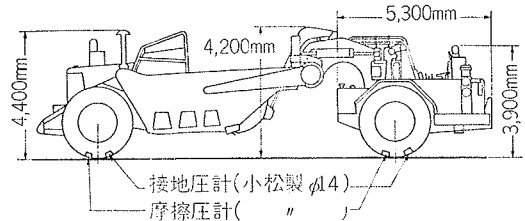


写真-1 実験フィールド

てセットした圧力計および摩擦力計を接着剤にて取付けた。なお使用機種は caterpillar-631 のモータースクレーバ(MS-631)を使用した。



- 接地圧計
- 摩擦圧計

図-1 タイヤ計器取付図

2.2. 実験方法

現場実験は写真-1に示すフィールドにてMS-631の静止時、走行時および掘削時についてそれぞれの土中応力、接地圧(動的軸荷重、トルク)、沈下量、スリップ量、土の強度(コンベネ、ビバメーター、平板載荷試験)を測定した。測定は写真-1に示す現地盤上(以下No. 1の実験)と現地盤に約50cm盛土した地盤(No. 2の実験)での走行試験とNo.2のフィールド上での掘削試験の各々について実施した。No.1およびNo.2の実験は写真-1に示すフィールドにてMS-631の重量および車速を変え、タイヤ(片方)が計器道上を通過するよう走行させた。掘削試験はNo.2のフィールドにて走行試験後MS-631による掘削時の土中応力を測定した。引続き静止時の土中応力接地圧も同時に測定した。

3. 測定結果とその検討

3.1. 実験土の物理および力学特性

現場実験場の土質は礫混り砂質ロームで、その物理特性を表-1に示す。また力学特性は平板載荷試験を実施し等値弾性係数を(1)式より求めた。

土粒子の比重	2.669
自然含水比 (%)	20
液性限界 (%)	43
塑性限界 (%)	26
突き固め 最適含水比 (%)	19
最大乾燥密度 (kg/cm <sup>3</sup> )	1.715

表-1 物理、力学試験

$$E = \frac{1.18 \cdot P \cdot a}{\Delta} \dots\dots\dots(1)$$

ここでE=弾性係数(kg/cm<sup>2</sup>)、P=載荷重(kg/cm<sup>2</sup>)、Δ=沈下量(cm)、a=載荷板半径15cm

試験は図-2に示す断面にておこない表-2の結果を得た。ここでMS-631の接地圧が約3.4kg/cm<sup>2</sup>であるので載荷重 P=2.83kg/cm<sup>2</sup>の弾性係数を採用し、E<sub>2</sub>=E<sub>1.2</sub>=358kg/cm<sup>2</sup>、E<sub>0</sub>=179,250kg/cm<sup>2</sup>となる。

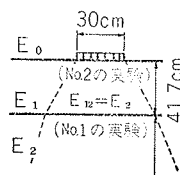


図-2 実験断面

盛土部の弾性係数E<sub>1</sub>は Nascimento の多層構造理論より、E<sub>1</sub>=0.35×E<sub>2</sub>=0.35×358=126kg/cm<sup>2</sup>となり、No. 2の実験終了後は転圧による密度増加により E<sub>1</sub>=209kg/cm<sup>2</sup>と大きくなる。

フィールド 弾性係数 載荷重 (kg/cm <sup>2</sup> )	No. 1 の実験		No. 2 の実験 (盛土後)		No. 2 の実験 (転圧後)	
	沈下量 Δ (cm)	弾性係数 E (kg/cm <sup>2</sup> )	沈下量 Δ (cm)	弾性係数 E (kg/cm <sup>2</sup> )	沈下量 Δ (cm)	弾性係数 E (kg/cm <sup>2</sup> )
0.708	0.053	236	0.11	114	0.09	139
1.42	0.085	296	0.18	140	0.14	180
2.83	0.140	358	0.28	179	0.20	250
3.55			0.40	157		

表-2 平板載荷試験結果

また、平板載荷試験時の土中応力を盛土直後および転圧後について図-3-4に示した。盛土直後の土中応力は図-3に示すごとく Fröhlich 理論とかけはなれた小さな値となっているが転圧されることにより盛土層の密度が増加し図-4に示すように載荷重が平均的に土中に分散されている。

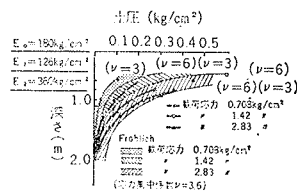


図-3 載荷重と土中応力 (盛土後)

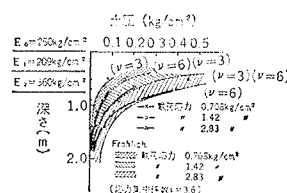


図-4 載荷重と土中応力 (転圧後)

3.2. 土中応力の影響範囲

MS-631の走行による土中応力の影響範囲は図-5-6に示す。垂直土圧は図-5に示すように地表面より50cmまでは約130cmの巾で広がっているが深さが50cm以下になると放物線となって広がり深さ150cmで最大を示しこれ以下は応力作用が微小となっている。水平土圧は図-6に示すごとく地表面より50cmまでは垂直土圧同様約2.5mの影響範囲であり、深さ70cmにおいて5~6mの巾に応力が作用しこれ以下は収れんしている。また垂直土圧の応力作用は左右対称ではなく進行方向の方が約50cm長くなっている。しかし水平土圧については左右対称となっている。

以上の応力範囲を進行方向(x軸方向)と横方向(y軸方向)の分布をまとめると図-7のごとくなる。すなわち進行方向の応力範囲は地表面より50cmの点が分岐点となり塑性現象がみられるが横方向は直線的に応力が働きあたかも弾性的挙動を示している。

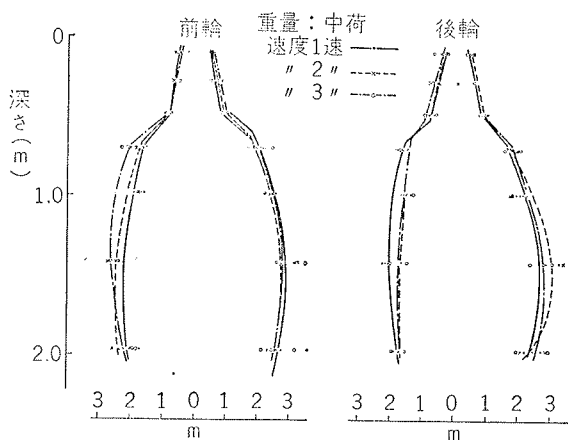


図-5 土中応力の影響範囲(垂直)

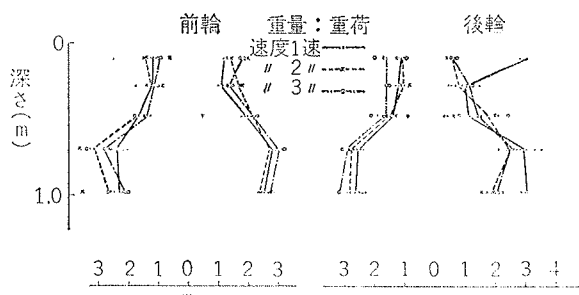


図-6 土中応力の影響範囲(水平)

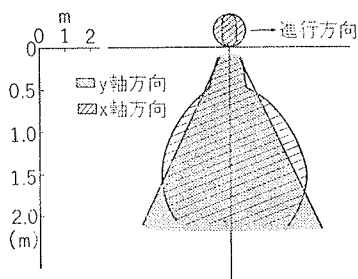


図-7 土中応力の影響範囲(XY方向)

車速による土中応力は図-8に示すように浅い所では測定値のバラツキがあり傾向をつかむ事ができないが一般的に車速が早くなると応力の影響が広がり深さ1mになると車速の影響はない。

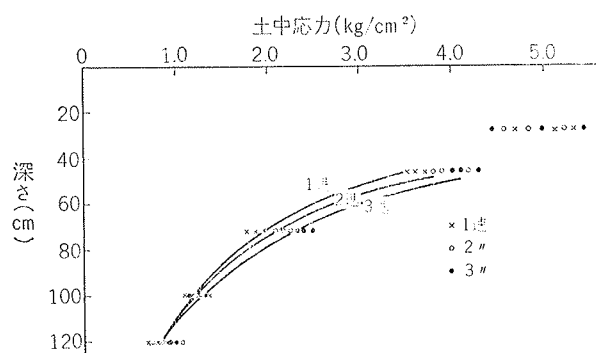


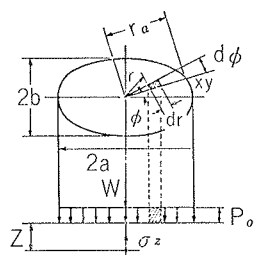
図-8 車速と土中応力

### 3.3. 土中応力分布

垂直土圧の最大値をプロットし図-9.10に示す。図はMS-631の重量、前後輪別に整理し、空気タイヤの接触面積は形状の上で随円と仮定されるのでFröhlichの式を随円面積下の応力分布の式(2)をプロットしてある。

$$\sigma_z = \int_0^{r_0} \int_0^{2\pi} \frac{\mu}{2\pi r^2} \cos \mu \alpha P_0 \gamma r d\phi \dots (2)$$

ただし  $P_0$ : 載荷重 ( $\text{kg}/\text{cm}^2$ )  
No.1の実験は図-9に示すように深さ50cm以下ではFröhlichの応力集中係数4~5の間に入り砂質土の分布を示すが、50cmより浅い所では



理論値による粘性土分布を示している。したがって実験地盤は砂質ロームであり理論的な分布より浅い部分の応力が小さくなっているのは、地表部が転圧により塑性変形を起すためと推定される。

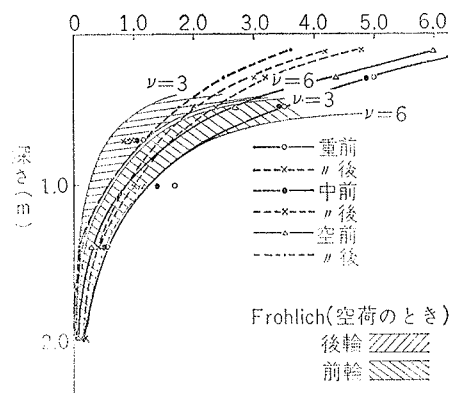


図-9 土中応力分布 (No.1の実験)

現地盤に約50cm盛土しその上を走行させたときの土中応力分布は図-10に示すごとくNo.1の測定値と比較するとかなり大きな値となってFröhlichの理論値とかけはなれている。このことは計器埋設時の値とスクレーパの走行回数が多くなったときの値には顕著な差がある。すなわち計器の周囲地盤密度が走行により変化をきたし走行回数が多くなると計器の反力が強くなり大きな応力となっている。

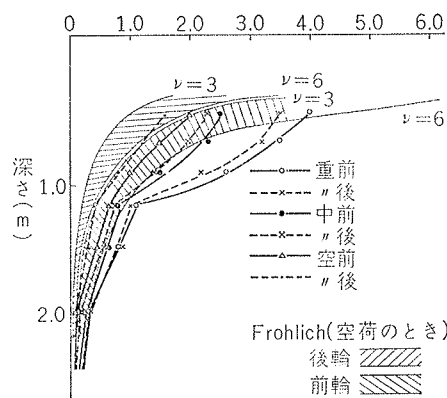


図-10 土中応力分布 (No.2の実験)

以上の土中応力のコンターを図-11に示す。図によると載荷接地長(47.2cm)とほぼ同じ深さまでは応力分散がなく50cm以下ではじめて分散をしている。Koglor理論によると載荷接地長の半分の深さまでは分散がなくそれ以下は深さに比例している。したがって実験結果は分散効果のない深さが2倍以上になっているが傾向としてKoglor理論の分布をしている。Koglor理論と異なった原因としては載荷面と地表面の剛度が小さいためと推定される。

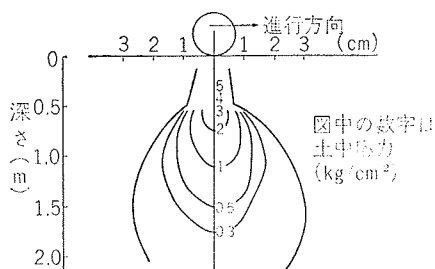


図-11 土中応力のユニター

### 3.4. 静止時の土中応力および接地圧

静止時の土中応力分布は図-12に示すごとく理論値 Fröhlich の応力集中係数4~5の間にある。走行時には深さ 50cm 以下において理論値と一致していたが静的には浅い部分でも一致し深さ方向による応力のバラツキがない。したがってMS-631の走行により臨界層は50cmと推定される。

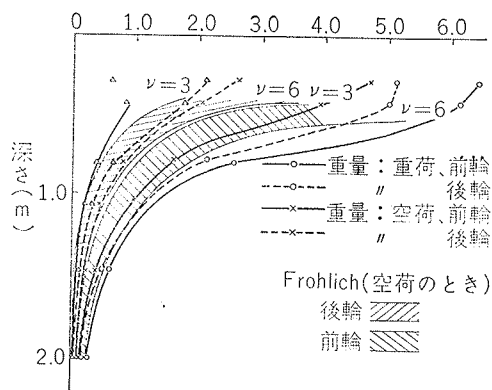


図-12 静止時の土中応力

接地圧は図-13に示すごとく、積荷により接地圧分布がちがう。Martin の研究によると硬い地表上の弾性タイヤ (空気タイヤ) の圧力分布は図-14に示すごとく接地圧分布は単に空気膨張圧によらないまたタイヤのカーカスの硬さにもよらないでもっと複雑な問題となり経験式として(3)式のごとくタイヤの膨張圧カーカス力およびタイヤの deflection に関係すると云っている。

$$W = (P_i + P_c) \frac{f^2}{f+1} \sqrt{2P_r - 2f[(P/2) + \gamma]} \dots (3)$$

ここでW: 載荷重 (kg/cm²) f: たわみ (cm) D/2およびγ: タイヤ半径 P<sub>i</sub>: 膨張圧 (kg/cm²) P<sub>c</sub>: カーカスの平均垂直圧

本実験においても空荷のときはタイヤの膨張圧によって載荷重を吸収しているため中央部分に接地応力が集中しているが載荷重が大きくなってくるとタイヤの膨張圧だけでは吸収できずにタイヤのカーカス部にも作用するため、接地圧が等分布となる。

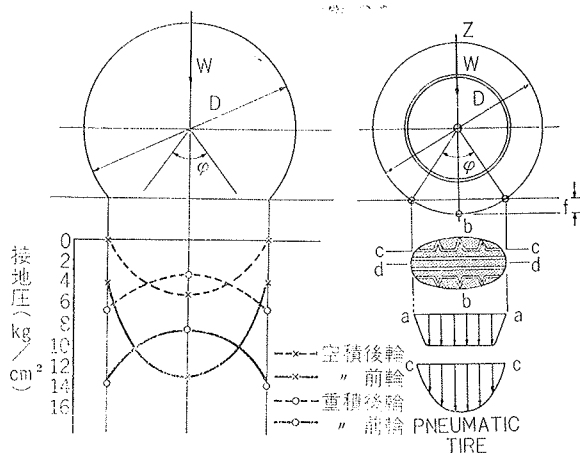


図-13 接地圧

図-14 Martinの接地圧

### 3.5. 掘削時の土中応力

掘削時の土中応力は走行時にくらべ約1/3となっている。これは掘削時においてスクレーバの重量が切刃部分に分散されることにより減少している。したがって掘削時はタイヤに作用する力は小さくなるがタイヤがスリップしタイヤの摩耗が問題となる。

## 4. まとめ

以上現場実験より判明したことは下記の通りである。

- ①土中応力の影響は、走行方向と横方向の分布を異にし、走行方向の方が土中応力の影響が大きくなる。
- ②車速のちがいによる土中応力は表層部では変化する。
- ③土中応力分布は静止時には Fröhlich の応力集中係数4~5の間に入るが、走行すると地表面50cmは正常な分布を示さず過大な応力が発生する。
- ④同じ土質でも土中応力は密度に影響される。
- ⑤タイヤの接地圧は、タイヤの空気圧、カーカス力、重量、たわみにより弾性的分布が塑性的分布になる。
- ⑥スクレーバの掘削時の土中応力は切刃部に集中し走行性はタイヤの摩擦力だけが問題となる。

### 参考文献

- 1) 榎大林組日生川西土質調査
- 2) M.G. Bekker. Theory of land locomation