

III-49 剛性履帯の牽引特性に関するFEM解析

愛媛大学工学部 正員 ○河原 莊一郎
愛媛大学工学部 正員 室 達朗

1. まえがき 海底の超軟弱地盤上を走行する履带式建設機械の牽引特性を把握するため、従来¹⁾より有限要素法を用いて履帯と超軟弱地盤との相互作用を明らかにしようとしてきている。今回新たにモールクーロンの破壊基準を用いた解析を行うとともに、解析に用いる土の物性値の解析結果に及ぼす影響を調べた。

2. 解析方法 この解析では関連流れ則を仮定するとともに増分法を用いることによって大変形弾塑性解析を行った。降伏条件は、平面ひずみ状態における次式のC材に対するモールクーロンの基準を用いた。

$$\bar{\sigma} = \sigma_1 - \sigma_3 \leq q_u \quad (1)$$

$\bar{\sigma}$: 相当応力, σ_1 , σ_3 : 最大, 最小主応力,

q_u : 1軸圧縮強度

弾性限度を越えたところの応力増分-ひずみ増分関係は、山田の方法²⁾により次式のように求まる。

$$\begin{Bmatrix} d\sigma_x \\ d\sigma_y \\ d\tau_{xy} \end{Bmatrix} = \frac{E}{(1+\nu)(1-2\nu)} \begin{bmatrix} 1-\nu & \nu & 0 \\ \nu & 1-\nu & 0 \\ 0 & 0 & (1-2\nu)/2 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} d\varepsilon_x \\ d\varepsilon_y \\ d\gamma_{xy} \end{Bmatrix} \\ - \frac{4G^2}{\bar{\sigma}^2(4G+H')} \begin{bmatrix} (\sigma_x - \sigma_y)^2 & -(\sigma_y - \sigma_x)^2 & 2(\sigma_x - \sigma_y)\tau_{xy} \\ -(\sigma_y - \sigma_x)^2 & (\sigma_x - \sigma_y)^2 & -2(\sigma_x - \sigma_y)\tau_{xy} \\ 2(\sigma_x - \sigma_y)\tau_{xy} & -2(\sigma_x - \sigma_y)\tau_{xy} & 4\tau_{xy}^2 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} d\varepsilon_x \\ d\varepsilon_y \\ d\gamma_{xy} \end{Bmatrix} \quad (2)$$

E : 弾性係数, ν : ポアソン比, G : 剛性率, H' : ひずみ硬化率

弾塑性の構成方程式は、右辺第1項の弾性の構成方程式を第2項によって補正する形となっているが、この補正項は見掛けの応力増分として扱った。また、引張破壊した要素についてはEを弾性状態の1/200, ν を0.499として処理した。

3. 解析条件 解析対象の履帯モデルの形状及び寸法は図1の通りである。解析に用いた試料土の物性値を表1に示す。Cu ($=q_u/2$) 及びE ($=E_{50}$) はベーン試験結果より定めたが、ともに深さ方向に直線的に大きくなる。また、今回の解析ではCuを2通り用いたが、小さい方がベーン試験結果より求めたものである。ここで、試料土とは粉末のカオリンを海水と2:3の重量比で混合したのち、土槽で10日間自重圧密させたものである。なお、試料土の引張強度はCuと等しくした。履帯モデルと試料土とが接する節点では、その間の付着力によるスリップがないものとした。履帯モデルの移動は、接地圧を等分布载荷になるように与えたのち、その右端の2節点に強制変位として与えその節点力（反力）の和が牽引抵抗に等しいとした。

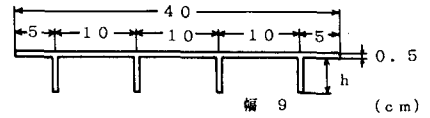


図1 履帯モデルの形状と寸法

表1 解析に用いた物性値

弾性係数 E_{50} (gf/cm ²)	1.73 Z
非排水せん断強度 Cu (gf/cm ²)	0.113 Z 0.225 Z
ひずみ硬化率 H' (gf/cm ²)	0.001 E ₅₀
ポアソン比 ν	0.490

Z : 深さ (cm)

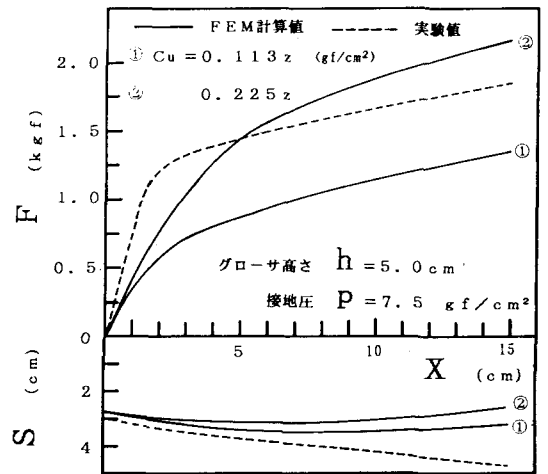


図2 牽引抵抗F, 沈下量Sと牽引距離Xの関係

4. 解析結果及び考察 図2に1例として $h=5\text{ cm}$, $p=7.5\text{ gf/cm}^2$ の場合の解析結果を示す。ベーンせん断試験より求めた C_u を用いた①の場合、FEM計算値の牽引抵抗 F_s は実験値のものより小さくなっている。これは、FEM計算値の沈下量 S が実験値より小さいため、グローサ先端でのせん断深さが浅くなるのでせん断強度が小さいことによる。実際、 $p=7.5\text{ gf/cm}^2$ ぐらいになると履帯モデルの上に試料土が覆い被さり、接地圧が設定値より多少大きくなるので、FEM計算値の沈下量 S は実験値より小さいと考える。

次に、図3に5cm牽引後の牽引抵抗 F_s と接地圧 p との関係、図4に初期沈下量 S_0 と接地圧 p の関係を示す。①のFEM計算値の F_s は $p=4.5\text{ gf/cm}^2$ 以下の比較的低い接地圧では実験値とほとんど変わらない。しかし、それ以上の接地圧になると実験値よりかなり小さくなっている。また、①のFEM計算値の S_0 は前述した原因のため、 $p=7.5\text{ gf/cm}^2$ 以上の接地圧に達すると実験値より小さくなる。

ところで、今回新たに C_u を正規の値の2倍したものを用いて解析を行い、解析結果に及ぼす影響を調べた。②のFEM計算値の F_s は①のものの約2倍の値を示しているのに、 S_0 については $p=7.5\text{ gf/cm}^2$ 以上の接地圧で幾分相違が見られるだけである。

最後に、5cm牽引後の試料土の変形及び破壊状態を図4に示す。せん断破壊域はグローサ先端から約7cmに達している。これは実験では約6cmであったのでよく対応しているといえる。なお、 C_u を正規の値の2倍したものについては、せん断破壊域はグローサ先端から約3cmに達しており、強度が大きい分だけ正規のものより浅くなっている。

5. あとがき モールクーロンの破壊基準を用いて、超軟弱地盤上における剛性履帯の牽引特性に関して大変形弾塑性有限要素解析を行った。その結果、定性的に実験値との対応性が確かめられた。しかし、ベーンせん断試験より求めた C_u を用いた場合、 $p=7.5\text{ gf/cm}^2$ 以上の接地圧では F_s , S_0 とも過小に推定された。

今回、 C_u を正規の値の2倍したものの解析も行ったが、解析に用いる C_u の値の決定方法について検討を行いたい。参考文献 1) 室, 河原: 超軟弱地盤上の建設機械用履帯に関するFEM解析, 第19回土質工学研究発表会講演集, pp. 1493~1494, 1984.

2) 山田: マトリクス法材料力学, 培風館, pp. 37~53, 1980.

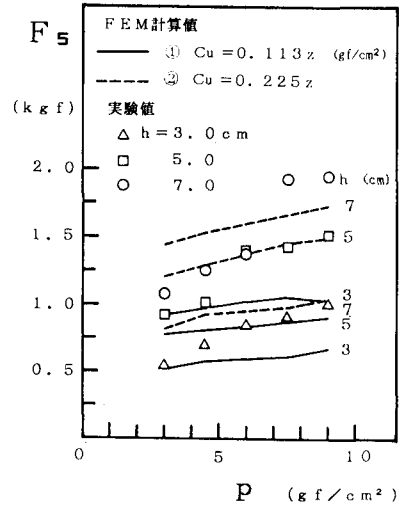


図3 5cm牽引後の牽引抵抗 F_s と接地圧 p との関係

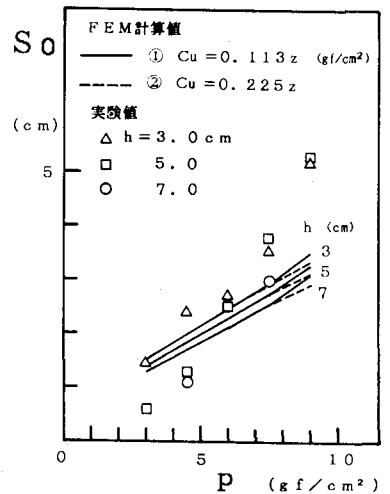


図4 初期沈下量 S_0 と接地圧 p との関係

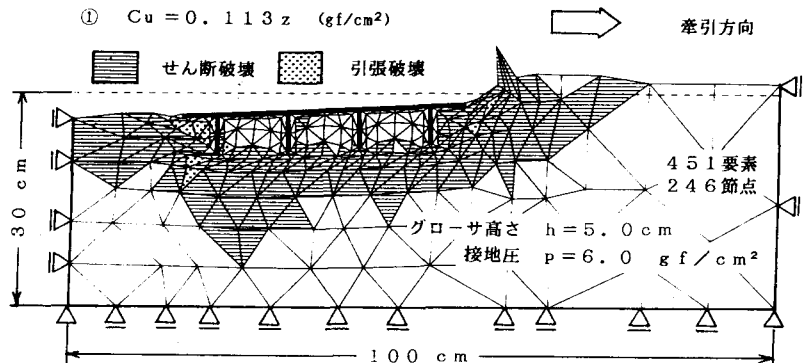


図5 5cm牽引後の変形及び破壊状態