

3. ブルドーザ作業部品の摩耗制御

愛媛大学 室 達 朗

1. まえがき 道路、宅地建設やロックフィルダム用原石山の掘削作業において、岩盤の機械化掘削が多くなってきた。ここでは、施工技術におけるロボット化を目的とし、ブルドーザの作業部品である履帯などの足廻り装置、ブレードやリッパチップなどの掘削装置の土岩による摩耗の機構を解析し、適切な摩耗量に制御していくための方策について考察する。すなわち、スリップ率を算定するためのセンサーの組合せと掘削力を検知するセンサーを開発し、過度なスリップ率と過大な掘削抵抗をこれらのセンサーによって把握し警告するとともに、ブレードやシャンク的位置を自動制御するためのシステム化について記述する。

2. 掘削刃の耐久性 チップの摩耗量は、岩盤の特性および金属材料等によって大きく左右される。まず実際の岩盤掘削現場11ヶ所を選定し、車輛重量45トン級の同一機種種のブルドーザのリッピング作業について、標準リッパチップの摩耗量の経時変化を計測した。それぞれの現場から採取した岩塊について、比重、含水比、吸水率、単軸圧縮強度、ロサンゼルスすりへり減量、ショア硬さ、および超音波伝播速度などの室内岩石試験を行なうとともに、現場のリッピング作業地点での弾性波速度を計測し、

岩盤のきねつ係数を求めた。つぎに、リッパチップの摩耗に対する岩盤の強度を評価する指標として、「摩耗に対する岩盤強度指数 σ_c 」を次式のように定義し、それぞれの作業現場の岩盤特性を定量的に評価した。

$$\sigma_c = K \sigma_{c0} (1 - Cr) \quad (1)$$

$$K = K_0^2 (K_1 + K_2 + K_3 + K_4) / 4$$

ここに、
 $K_0 = (\text{石英含有量}) + (\text{長石類含有量}) / 2$
 $K_1 = (\text{見かけ比重}) / 2.60$
 $K_2 = 30.0 / (\text{ロサンゼルスすりへり減量})$
 $K_3 = 2.00 / (\text{吸水率})$
 $K_4 = (\text{ショア硬さ}) / 60.0$

さて、チップの摩耗量の経時変化は 図1 に示すとおりで

あり、図中の数字は現場A~Kの摩耗に対する岩盤強度指数である。ここで、摩耗量はチップの初

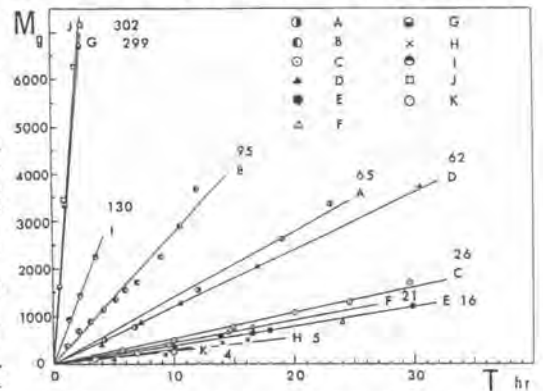


図1 リッパチップの摩耗量Mとリッピング作業時間Tの関係

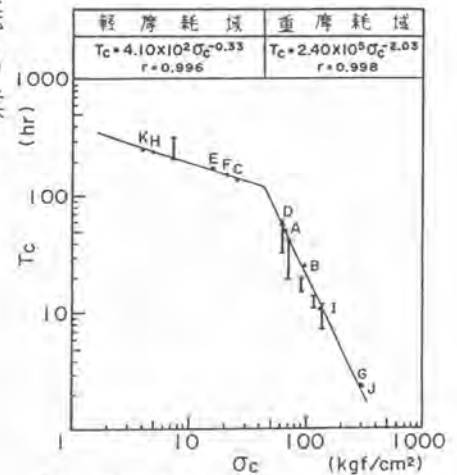


図2 摩耗寿命 T_c と摩耗に対する岩盤強度指数 σ_c との関係

期重量から各計測時においてシャンクから取りはずして測定したチップの重量を差引いた重量変化量である。また、リッピング作業時向とは、実際にリッピング作業を行なっている往復動の時向であり、ドーピングやプッシングなどに要する作業時向を除いたものである。なお、この試験に供されたリッパチップはいずれも長さ375mm、先端幅88mmの鍛造された特殊合金鋼である。金属材料は、引張り強度156.5 kgf/mm²、伸び6.2%、絞り27.8%、シャルピー衝撃値5.9 kgfm/cm²、ビッカース硬さ402、ショア硬さ55.1であり、その化学組成はC:0.27%、Si:0.29%、Mn:0.77%、P:0.018%、S:0.018%、Ni:0.61%、Cr:0.51%であった。

次に、リッパチップの摩耗寿命と岩盤特性との関係について述べる。前図より明らかに、チップの摩耗量とリッピング作業時向は近似的に直線関係があり、限界摩耗量 $M_c = 7,000\text{g}$ において部品交換するとしてそれぞれの摩耗寿命を算定した。図2は、それぞれの現場におけるチップの摩耗寿命 T_c と摩耗に対する岩盤強度指数 σ_c の関係を両対数紙上にプロットしたものである。図より明らかに、これらの関係は $\sigma_c = 43\text{ kgf/cm}^2$ で折点をもつ2本の直線で表現することができる。すなわち、岩盤を大別して、摩耗に対する岩盤強度指数が 43 kgf/cm^2 より低い部分を軽摩耗領域、それより高い部分を重摩耗領域とすると、

軽摩耗域 ($0 \leq \sigma_c \leq 43\text{ kgf/cm}^2$) において

$$T_c = 4.10 \times 10^2 \sigma_c^{-0.33} \quad (r = 0.996) \quad (2)$$

重摩耗域 ($\sigma_c \geq 43\text{ kgf/cm}^2$) において

$$T_c = 2.40 \times 10^5 \sigma_c^{-2.03} \quad (r = 0.998) \quad (3)$$

が成立した。上式は相関性が高くなり、リッパチップの摩耗寿命を予測する式として高く評価されている。¹⁾

次に、リッパチップの金属材料がその摩耗寿命に与える影響について調査するため新たに6ヶ所の現場を選定し現地試験を行なった。なお、金属材料としては、Ni-Cr-Mo 鋳鋼品、Ni-Cr-Mo 鍛鋼品 STKS2、Si-Cr-Mo 鍛鋼品、Si-Mn-Cr-Mo 鋳鋼品、および高Mn-Cr 鋳鋼品 SCMnH11 を使用した。それぞれの現場の摩耗に対する岩盤強度指数に対して各チップの摩耗寿命の範囲を前図に追記した。その結果、高温における耐摩耗鋼を使用したチップ程、重摩耗域における摩耗寿命が長くなることが判明している。また、図より明らかに、リッパチップの摩耗を大きく支配するものは金属材料よりも岩盤強度であり、この摩耗に対する岩盤強度指数を低下せしめることが摩耗を制御するための重要な摩耗対策となるのである。

3. 掘削抵抗の計測 岩盤掘削を行なうリッピング作業において、リッパチップに作用する掘削抵抗は岩盤を構成する岩石の圧縮強度、き裂係数および節理の方向によって複雑な挙動を示し、



写真1 掘削力の計測

また、掘削深さやブルドーザのけん引力特性にも支配されるため容易に計算することは不可能である。ここでは、80トン級大型ブルドーザのリッパチップに作用する力の大きさと方向について計測する方法を示し、ある現場において実測した例について説明する。写真1に示したように、ツャンク上部に軸圧縮力および曲げモーメントを測定するためのストレインゲージを4枚貼り付け、ツャンク表面に発生するひずみよりチップに作用している水平力と鉛直力を算定するのである。なお、キャリブレーションに当たっては、50トン用ロードセルに種々の角度でセットしたツャンクを通してブルドーザの自重を載荷させ、両者の関係を求めた。

次に、実測を行なった岩盤は風化花崗岩であり、弾性波速度は1,005 m/secであった。また、岩石の圧縮強度は360 kgf/cm²、超音波伝播速度は1,761 m/secであったので岩盤のき裂係数は0.67と算定された。なお、この現場の摩耗に対する岩盤強度指数は40.6 kgf/cm²であり、軽摩耗域に属していた。

さて、当現場においてリッパチップの掘削深さを55cmと設定してリッピング作業試験を行なった。図3(a)(b)はそのときのツャンク上部に作用した軸圧縮力と曲げモーメントを実測した結果である。いずれも激しく変動する波形を示しており、極大値においては履帯はスリップを引き起している。これらの測定値をチップに作用する鉛直力と水平力とに換算して表示すると図4のようになり、平均合力は61トンでその作業方向は鉛直下方に向かって水平と74.8度をなしていることが判明した。

以上、押土および岩盤の掘削抵抗はブルドーザ本体の作業部分に貼り付けたひずみゲージにより直接計測することが可能となり、ブルドーザの操縦をより合理的に制御するための新しいセンサーとして使用できる。

4. スリップおよび掘削抵抗の制御 履帯のスリップによるシューグラウザの摩耗寿命とスリップ率の関係は、一般に反比例の関係にある。すなわち、履帯全長をL、グラウザの金属密度をρとし、その単位面積単位掘削距離当たりの摩耗量をmpⁿと表わすと、T時間後のグラウザの摩耗長hは次式で与えられる。

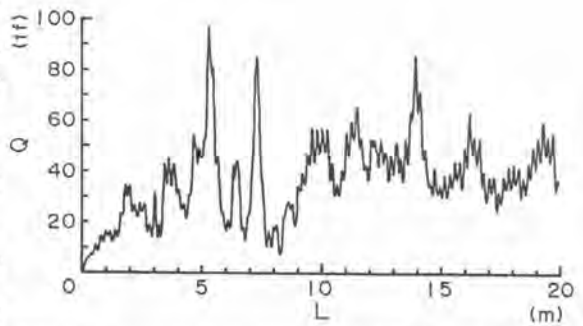
$$h = \frac{V'D}{\rho L} \cdot mp^n \cdot ST \quad (4)$$


図3(a) ツャンクに作用する軸圧縮力Qとブルドーザの走行距離Lとの関係

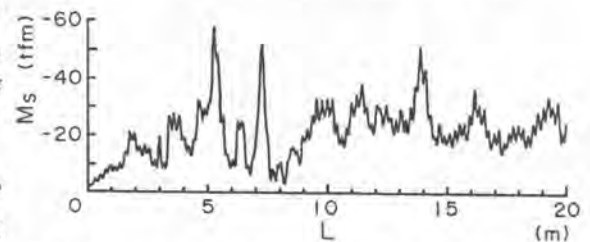


図3(b) ツャンクに作用するモーメントMsとブルドーザの走行距離Lとの関係

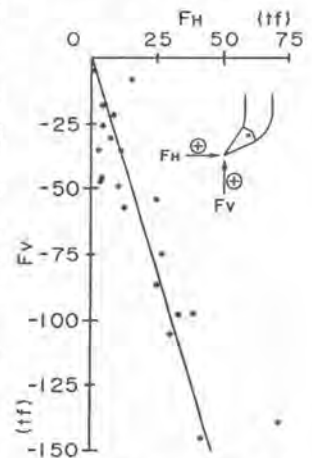


図4 リッパチップに作用する鉛直力Fvと水平力FHの関係

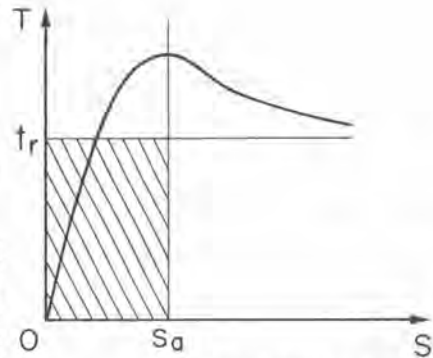
ここで、グラウザの限界摩耗長を h_c 、摩耗寿命を T_c とすると、

$$T_c = \frac{\rho h_c L}{V' D m p \pi} \cdot \frac{1}{S} \quad (5)$$

となるのである。

したがって、スリップ率を極力減少させることがツェーグラウザの摩耗寿命の向上に大いに貢献するのである。

さて、ブルドーザのエンジンより履帯に伝達される有効駆動力 T_1 は、スプロケット直前のトルクセンサによって計測することができる。また、スリップ率 S を算定するに必要な



ブルドーザの対地車速度 V および履帯の車体に対する回転速度 V は、ドップラ車速センサとスプロケットの駆動周速度を検出するトルコン出力軸回転センサとトランスミッション変速段位置検出センサによって検出することができる。これらの情報をマイクロコンピュータに入力し、有効駆動力 T_1 とスリップ率 S の関係を図5のようにグラフィック表示することができる。また、岩盤におけるリッピング作業においては、有効けん引力 T_4 をツェンクに貼り付けたストレインゲージより直接計測し、マイコンにインプットすると、 T_1 - S 曲線とはほぼ同様な曲線をえることができる。この場合、スリップ率 S が S_a を超過しないように制御すべきであり、超過したとき警告ランプで表示するとかりッピング深さを浅くするよう自動制御することも可能である。なお、リッパチップやブレードの摩耗寿命を向上させるため岩盤の掘削力を $T = t_r$ 以下に制御することも可能である。

すなわち、岩盤掘削作業時には

$$T \leq t_r, \quad S \leq S_a \quad (6)$$

なる条件を設定して、種々のけん引力-スリップ率曲線がその範囲を超過したときツェンクやブレードの位置を上昇させて掘削抵抗を減少せしめるよう自動制御することができる。

これらの限界値である t_r および S_a の値は、現場の土質、岩盤特性、機種などを十分に考慮して生産性向上を目指したより合理的な値を慎重に決定されるべきである。

5. あとがき ブルドーザなどの土工用機械のメカトロニクス化は、レーザ式レベルング装置、ドップラ車速センサや車体傾斜計などを車両にオプションとして設置することから始まり、トルコン回転センサ、リフトシリンダストロークセンサ、ミッションコントローラおよびロードセンサからの情報をマイクロコンピュータで制御して自動変速、油圧シリンダのストロークの自動制御やエンジンの電子制御など車両の一部として適用する可能性が増加してきた。さらに、土工分野ではきわめて重要な相手土砂や岩盤特性に関する情報を十分に考慮した制御システムを確立することにより、エンジン、足廻り装置、および掘削装置との複合制御化から車両全体の制御へと発展していくことを期待する。

6. 参考文献 1) S. Hata and T. Muro: Relation between wear life of rippertip and rock mass properties, Proc. of the 6th Int. Conf., I.S.T.V.S., pp.951-981, 1978.