

京都大学農学部 正員 沢田敏男
 岡山大学農学部 正員 渡辺 忠
 同 正員 藤井弘章

1. はじめに

締固め機械としてブルドーザを用いた場合の地中応力の測定結果およびその応力発生の特徴についての考察結果について報告する。ブルドーザ(以後BULと略記)のような無限軌道型の車輛の走行性能の研究は比較的多く、農用⁸⁾、軍用面からは、トラフィカビリティを中心としたBekkar¹⁾の流れが一般的であり、施工面からもかなりの研究がある⁷⁾。また締固めという観点からの応力の測定例もス野ら⁴⁾、Bernhard²⁾ら先駆的な研究の他にもいくつかある。ここでは締固め機構を知ろうとして、フィルダムの締固めに用いる何種かの施工機械について、地中に発生する応力を測定した結果をそれと比較してとくにBULの特性について気づいた点を述べる。

2. ブルドーザの特殊性

BULは他のローラと異なり振動を発生させる。他のローラでも速度が大きくなったり、地盤が不整であると振動が生ずるが、一般に正弦波形の組み合せた型で表される。ところがBULの場合は既にいくつかの報告でみられるように一見不規則振動が多い(可Fig.4)。これは懸架系のばねの不足だけでなくBULの特殊な構造によるものとしてよい。BULの全荷重はトラックフレームに懸架された5ヶの下転輪を通じて数十枚の履板に伝達されている。起動輪、遊動輪はやや高い位置にあるので、完全に剛な平地であれば、接地圧は下転輪直下の履板のみに生ずるとしてよいであろう。しかし締固め中の地盤では土は沈下するので一般に起動輪、遊動輪下の履板にも接地圧が生じている。したがって地盤との接地状態によって接地圧は異なってくる。たとえは実験に供したBUL(三菱BD-11)は総重量11t、履板1枚は中46cm、進行方向の長さ19.5cm、履帯の接地長214cmである。総重量と履帯の接地面積で割ると、公称接地圧の 0.56 kg/cm^2 と等しく、下転輪の載荷され、その直下に1枚づつ履板があるとすれば ρ は 1.23 kg/cm^2 となり、起動輪、遊動輪も載荷していると考へれば、 ρ は 0.88 kg/cm^2 、さらに履が完全にWalk outしていれば、 11.95 kg/cm^2 に至る。

さらにBULは履板については同接荷重であるので、動輪と履板の関係は複雑な挙動をすると思われ、そこで地中の任意の点の応力変動を簡単なモデルをもとに考察する。すなわち動荷重に対しても静力学的な手法を用いて土中の応力伝播の手法を適用して、比較的好結果と得たので、ここでは静力学的な手法を適用する。次のように仮定する。(1)任意の履板のどこに転輪が載荷されても、その履板が撓まず、その荷重は等分布荷重として地盤へ伝わる。(2)ある転輪がある履板上にあるとき、その荷重には他の履板に無関係である。(3)転輪の載った履板は鉛直に沈下し、履は完全に埋没している。そしてこの地中の任意の点の地表面を厚 h に薄板、 Z は下向きを正とする、 ρ は(0,0,2)である。履板の大きさを $2a \times 2b$ 、この中心位置 (x_0, y_0) 、集中荷重 P_0 として作用する動輪の ρ に対する位置と $(X_0, Y_0, 0)$ とする。X方向の中心位置は、履板のそれと一致するから $x_0 = X_0$ である。よ

任意の履板を直して伝播される分布荷重 P_i は動輪の位置 (X_i, Y_i) によって定まり、ある瞬間 t の接地圧は次のように表わされる。

$$g = g(X_i, Y_i, y_i; t) = \begin{cases} P_k & : t_L(k) < t < t_{NL}(k) \\ 0 & : t_{NL}(k) < t < t_L(k+1) \end{cases}$$

ここで、 $t_L(k)$: 動輪 k が履板 i に移行する瞬間の時間、 k は整数で $k=1$ のとき $t_L=0$ 、 t_{NL} : 動輪 k が履板 i から離れる瞬間の時間、よって $t_{NL}(k) = t_L(k+1)$ 。動輪の間隔を l_t 、履板進何方向の長さを $2l$ 、動輪転輪の履帯に対する相対走行速度を v とすれば i に載荷されている時間、非載荷の時間はそれぞれ

$$t_{NL}(k) - t_L(k) = l_t / v, \quad t_L(k+1) - t_{NL}(k) = (l_t - 2b) / v$$

である。 $a \times b$ の等分布長方形荷重による $\sigma_z / q = f$ は
 $m = b/a$, $n = z/a$ とすれば

$$f = \frac{1}{2\pi} \left[\frac{mn}{\sqrt{1+m^2+n^2}} \cdot \frac{1+m^2+n^2}{(1+n^2)(m^2+n^2)} + \sin^{-1} \frac{m}{\sqrt{m^2+n^2} \sqrt{1+m^2}} \right]$$

である。 f の地中応力 $\sigma_z(x)$ は、この荷重により生じ、その載荷面形によって支配されるので $f(x_j, y_j, a, b, z)$ である。ここで f は長方形荷重によって生ずる地中応力を求める関数である。よって $\sigma_z(x)$ は

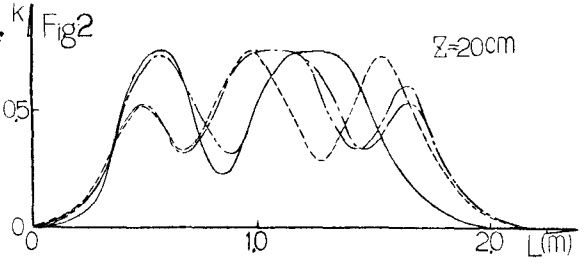
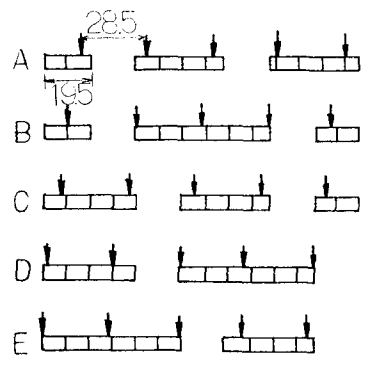
$$\sigma_z(x) = \sum_{i=1}^n g_i \cdot f_i = \sum_{i=1}^n g(X_i, Y_i, y_i; t) \cdot f(x_j, y_j, z, a, b)$$

であり、 n は動輪の位置をなす数である。これを図解法で求めてみる。地盤が完全に水平で、全荷重が5ヶの転輪に載荷され1枚の履板に1ヶの転輪があるとすれば、Fig 1のような5つの型が存せられ、この荷重型が t によって変化する。この5つの型を図のようにA~Eとすれば、CはAの、EはDのX軸対称の型であるから、基本型はA、B、Dの3つの型に限り、この $z = 20$ (9L - 20)cmの応力分布はFig 2のようなになる。 v が一定ならば、 $l_L = l_t / v$, $l_{NL} = t_{NL} / v$ として距離に換算できる。横軸に l ととり、縦軸に σ_z / q ととって、それぞれの l_L , l_{NL} に対する応力分布を求めると、Fig 3が得られる。与えられた荷重は、時間の関数であり、これによって生ずる応力はいくつかのパルスの重ね合わせたような矩形波応力になる。Fig 3-1は、下転輪のみは荷重がかかり履板中心と土圧計中心が一致している場合、Fig 3.2は同じく履板先端が土圧計直上にある場合の理論応力変動曲線である。このように簡単な仮定からでも応力はパルスの組合せによる一様の振動が生ずることがわかる。

3. 実験方法

5) 9) 実験は既述したようにアイルダムの現場で行ない、使用土はコア用土である粘性土(Cr)、ランダム用土であるレキ率の多い粘性土(Rm)、フィルター用土の砂(Fr)を4にトランジション用土であるロツク(R)の4種の土に対して、タンピングローラ(TA)の牽引の有無、速度、層厚、含水比などを換えて行った応力測定、地密度、沈下量、貫入抵抗を測定した。土圧計はカールソン型で電磁オシログラフ、データレコーダで記録解析した。

Fig 1



4. 実験結果および考察

応力の測定結果の例も Fig 4 に示す。Fig 4 のピークが Fig 3 のように階段状ではないのは A, B, C, D の力の波形が急激に変化するのではなく、動輪、履帯の関係からさらにいくつもの段階を経て徐々に力か変化すること、BUL 内部の Noise の発生、地盤の弾性的性質の影響などによるためと思われる。Fig 3 からみると BUL によって発生する大きな波はおおむね 5 ~ 7 個生じているとしてよく、とくに No 1

はピークの鋭さを除いては Fig 3 と似ているとしてよい。力の変動は前述のように動輪の移動によるとすれば、みかけの振動数は動輪と履帯との相対速度と密接な関係がある筈である。そこで関係を調べるため BUL の実測速度 (V_R) と振動数の関係を Fig 27 に示す。2 の①、②の仮定が有効とすれば、ある履帯に動輪が載荷されていない時間の最大は動輪周で、最小は動輪と遊動輪周

$$f = V / (0.295 - 0.195) = 11.5$$

$$f = V / (0.254 - 0.295) = 4.7$$

である。さらに動輪の移動によって、履帯が上下に移動するとすれば動輪の移動速度がそのまゝパルスとなるから $f = V / 0.54 = 1.85$ となる。

これらの式を Fig 6 に記入すると下限値とおおむね一致する。このように走時曲線の振動数の大きな波は、理論値 (Fig 2) から得られる

載荷のパルスによるかと思われ。振動数の大きな波は BUL の内部の影響、すなわちエンジン伝達系、および履帯のガタツキ、および履帯と地盤との衝撃、上下運動によって生ずる振動と思われる。振動数 f は、角速度 ω とすると一般に、 $f = \omega / 2\pi = v / (2\pi r)$ であり、 r が n 個の回転車の平均偏心半径であるとすれば、定数と考えられるから f はまた v に関する一次式になる。ここで共振の影響を考へてみる。

BUL が 4 速 ($v = 3.0$ m/s) で振動数は 20 Hz にみえない。これに対して共振振動数、Cr 25 Hz ~ 29 Hz, Rom. 27 ~ 32, Tr. 30 ~ 33, Fr. 15 ~ 27 であり減衰比が大きいから地盤の共振による影響は、Cr 5 ~ 25%, Rom. 10 ~ 15%, Tr. 25 ~ 60% 増となるが、実測応力はさらに大きな値を示している。したがって BUL の地中応力は、地盤の共振振動数によるというより、BUL 内部で発生する力が増大するために生ずるとしてよいであろう。ただし Fr は共振の影響がかなり表われていると思われる。

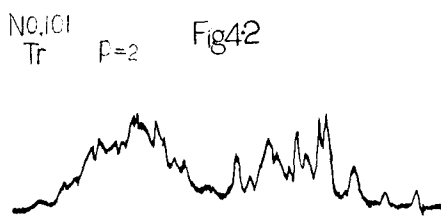
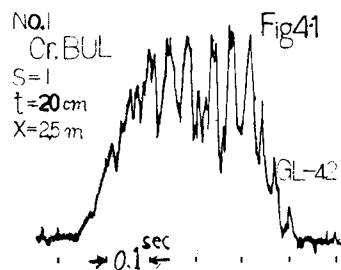
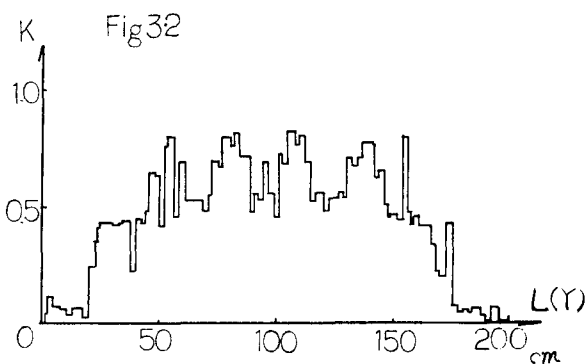
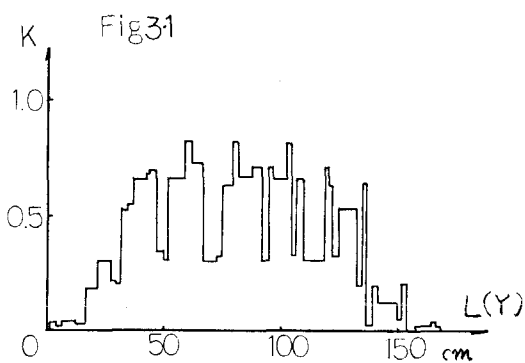


Fig6は、横軸にX方向の距離ととり、縦軸に Q_z ととって実測値をプロットした例である。ブルドーザ中心から右方に実測値による実線と、左方に接地圧を 0.5 kg/cm^2 とした時の理論値と記入している。いずれの場合も実測値の方が理論値、約10倍前後の値をとり、他の締固め機械の理論値と実測値の比より、著しく大きい。長方形垂直荷重のみによってこれらの地中応力が発生しているとすれば理論曲線から最大 $45 \sim 65 \text{ kg/cm}^2$ の荷重が地表に発生していることになる。また応力の大きさからみるかぎり、牽引と無牽引と大きい差はない。CrよりTrの方が、はるかに発生応力が大きくFrもまたかなり大きな値をとり、既述したようにTrが大きいのは地盤～車等の振動による影響によるものであり、Frが大きいのは次下および共振の影響によると思われる。

5. おわりに

このようにBULの振動は、いわゆる不規則振動の他に、構造的な規則振動とすべきものの比重が大きい。したがってBULを使用する時は締固めだけでなく一般の設計施工においては、公称接地圧だけでなく、BULの構造・駆動輪の間隔、履板の大きさ、リンクの形状、走行速度さらに土質せん断強さ→地耐力、動的性状などを合わせて考えるべきである。そして高速荷重とはいえず土性、走行状態によって、公称接地圧の10倍以上の値が生ずることがあり、BULの使用については、長短両用があることに注意すべきであろう。中四国農政局勝英南拓事業所および中国土木西原作業所の関係各位に謝意を表す。一部に文部省科学研究所を仰ぐべき事と謝す。

【参考文献】

- 1) Bekkar, (60): OFF THE ROAD LOCOMOTION, Univ. Mich. P.
- 2) Bernhard (52) Pt. HRB, 31, 563~
- 3) 藤井ら(72)農工論, 41, 42, 372
- 4) 久野・栗野(52) 東大理工研報 6-6 279~
- 5) 次田健彦(72): 7土質と深集 345~
- 6) 次田健彦(65): 土研発表 53~
- 7) 斎藤 若松木村(70): 大工技報 4, 78~
- 8) 田中孝(61): 学位論文
- 9) 渡辺 藤井ら(71) 6. 土質と深集 277~

