

剛体と地盤の塑性衝突に関する研究

鳥取大学工学部 正会員 榎 明潔

鳥取大学工学部 学生会員 ○中村 雅博

1. はじめに

本研究は、塑性衝突に着目し、剛体が地盤と衝突した後の剛体の衝突貫入現象を解明することを目的としている。予備実験の結果に基づいて貫入中の剛体と地盤のモデル化を行い、貫入中の地盤反力を求める。また、Terzaghiの支持力理論に加速度を考慮した、動的な Terzaghi 式を用いて極限支持力を求める。この解析手法は、剛体の貫入により破壊する地盤内のすべり土塊の慣性力を考慮している。

2. 衝突後の剛体と地盤反力の関係

予備実験として、剛体と砂地盤の衝突実験を行った。実験装置概略図を図-1に示す。ロードセルで剛体底面に作用する力(以下地盤反力とする)を、加速度計でそれぞれの加速度を測定している。剛体は紐で吊りし、それを切ることによって地盤表面に落下させている。試料砂は豊浦標準砂を用いている。実験条件を表-1に示す。また、加速度の値は、剛体と地盤の衝突により加速度計が傾くということの影響が考えられ、その補正などを行った。さらに、地盤反力について、図-1の円部で囲まれた部分は測定されないため、その補正を行った。

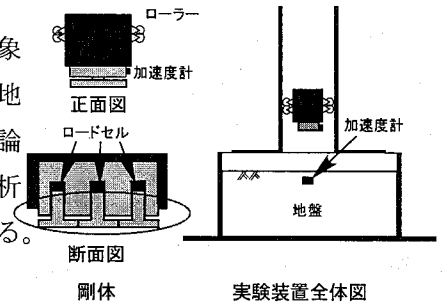


図-1 実験装置概略図

表-1 砂地盤での実験条件

間隙比	0.8	剛体の幅 (m)	0.09
内部摩擦角 $\phi(^{\circ})$	36	剛体質量(kg)	9.796
単位体積質量 (kg/m^3)	1467	剛体落下高さ (m)	0.05
見かけの粘着力 (kN/m^2)	0	加速度計 埋設深さ (m)	0.015

それぞれの時刻歴変化を図-2に示す。①の領域で剛体の自由落下、②の領域で剛体と地盤の衝突、③の領域で貫入から静止となっている。②の衝突領域は一瞬であり、③の貫入領域がほとんどであることが分かる。また、②の領域は③の領域と比べて瞬間的なものであることから、②の領域を無視し、衝突後すぐに剛体と直下の地盤の加速度が等しくなると仮定する。また、問題を単純化するため、地盤を剛塑性体と仮定する。この2つの仮定より、貫入中の剛体のモデル図は図-3のようになる。このモデル図より、運動方程式を以下に示す。

$$Q = M(g + \alpha) \quad (1)$$

この式を用いることで、貫入中の地盤反力を求めることが出来る。

また、Terzaghiの支持力理論式¹⁾に加速度を慣性力として導入した、次式を用いて加速度を考慮した極限支持力を求めることが出来る。

$$Q_u = \alpha_c B c N_c + \alpha_\gamma B^2 \frac{\gamma}{2} N_\gamma + \alpha_q B q N_q \quad (2)$$

ここに、 Q_u ：極限全支持力、 B ：基礎の幅、 c ：せん断強度定数

q ：すべり土塊に作用する分布荷重、 γ ：地盤土の単位体積重量

$\alpha_c, \alpha_\gamma, \alpha_q$ ：基礎の形状補正係数、 N_c, N_γ, N_q ：支持力係数

図-4に横軸を加速度とした、地盤反力と加速度を考慮した極限支持力の関係図を示す。この2つを比較して、交点が生じるとその点で塑性破壊が起こることを示した図である。これを考慮して加速度の時刻歴変化の模式図を図-5に示す。 α_{peak} で塑性破壊が起こると、その後は一定値で推移し、速度が0、即ち面積 A = 面積 B となる時刻で加速度は0となることを示した図である。しかし、図-2を見ると、剛体の加速度は山なりであり、一定値となっていない。このことより、塑

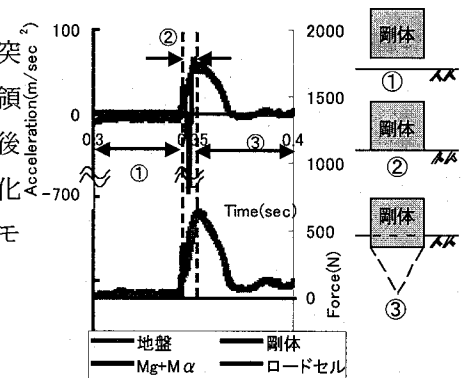


図-2 加速度と地盤反力の時刻歴変化

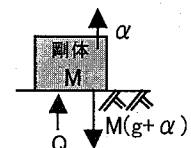


図-3 貫入中のモデル図

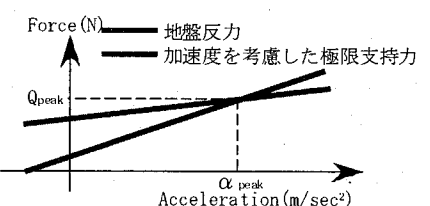


図-4 力の関係図

性破壊が起きていないと考えられる。

表-2 粘土地盤での実験条件・解析条件

内部摩擦角 $\phi(^{\circ})$	0		剛体の幅 (m)	0.09	
単位体積質量(kg/m ³)	①1750	②1710	剛体質量(kg)	9.796	
粘着力(kN/m ²)	①2.6	②4.1	剛体落下高さ (m)	①0.02	②0.04

3. 剛体と粘土地盤の衝突実験

塑性破壊を起こるようになるため、粘着力 c が大きく、内部摩擦角 ϕ が小さい粘土地盤を用いた。実験装置概略図を図-1 に示す。試料は藤森粘土を使用し、圧密荷重約 19kN/m² で予圧密を行い、地盤を作製している。実験条件は表-2 とする。

・実験①

粘土地盤での極限支持力、実際の粘着力を測定した。載荷速度 0.015mm/sec で静的支持力試験によって極限支持力を、一軸圧縮試験によって粘着力を求めた。その結果、共にピークは出なかった。一軸圧縮試験において、ひずみ 15% で打ち切った時の粘着力は 2.6kN/m² となった。しかし、自立しにくく、破壊前に供試体が樽状になったため正確に測定できていない可能性がある。

次に衝突実験を行った。地盤を予圧密によって作製するため、地盤内に加速度計は設置できなかった。加速度と地盤反力の時刻歴変化を図-6 に示す。図を見ると衝突後、それぞれある一定値で推移していることがわかる。この加速度、地盤反力で塑性破壊が起きたのではないかと考えることができる。また、ロードセルの値が、落下中も、静止中と同じとなっているが、これは剛体とロードセルを剛結していないため、落下中の引張り力を測定することができないためである。

・実験②

衝突は一瞬の現象であり、非排水条件である。極限支持力においてもできるだけ同じような条件で測定したかったため、静的支持力試験は載荷速度を 4.03mm/sec で行った。また、粘着力は一軸圧縮試験では上述したような問題が発生したため、一面せん断試験によって求めた。静的支持力試験の結果を図-7 に示す。図より極限支持力は 373N となった。また、一面せん断試験の結果、粘着力は 4.1kN/m² となった。しかし試料の乱れによる強度低下が考えられる上、実験①と②で結果が異なり、信頼性に欠けるため、極限支持力の値を用いて考察を行う。

次に衝突実験を行った。加速度と地盤反力の時刻歴変化を図-8 に示すが、実験①と塑性破壊の起こる加速度、地盤反力が異なる。これは 2 回の実験において同じ地盤が作製できていなかったことが要因として挙げられる。しかし、2 回の実験において傾向は同じであると言える。

4. 実験結果と解析結果の考察

実験②で得られた動的な地盤反力を図-9 に示す。図で、加速度 30m/sec² 付近に集中してプロットされていることがわかる。静的支持力試験結果と比較すると、ほぼ極限支持力の値で破壊したと考えられる。また、解析で求めた加速度を考慮した極限支持力と比較すると、実験値と異なっていることがわかる。これは、解析で用いた Terzaghi 式は経験式であり、形状補正係数等の三次元補正も経験に基づくものであるということが考えられる。しかし、定性的には同じ傾向を示すことがわかる。

5. まとめ

- 加速度を考慮した極限支持力を求めることで、地盤反力がそれに達すると塑性破壊が起き、その時の加速度、地盤反力を求めることができた。

参考文献

- 1) 河野 伊一郎他：土の力学，技報堂出版，pp.159-166，1990。

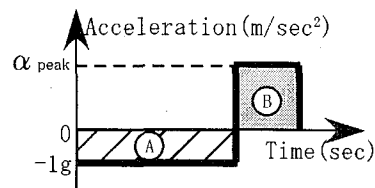


図-5 加速度の模式図

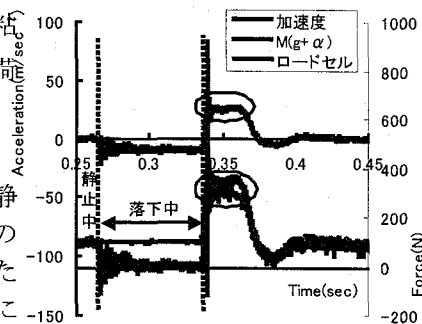


図-6 加速度と地盤反力の時刻歴変化①

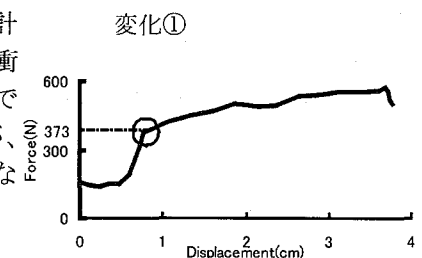


図-7 静的支持力試験結果

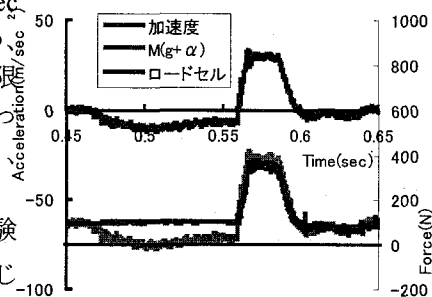


図-8 加速度と地盤反力の時刻歴変化②

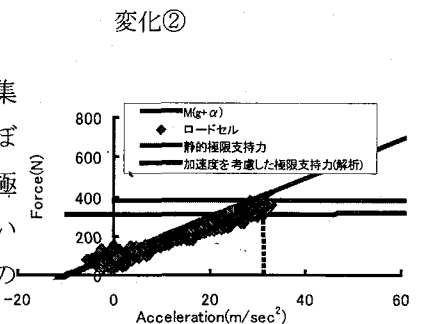


図-9 動的な地盤反力