

(株)オオベ 正豊 ○ 似内 政康 東海大 正豊 近藤 博
東海大 正豊 武石 勝 東海大 正豊 稲田 信穂

1. まえがき

粘土中に剛体棒を貫入させた場合、剛体棒の運動エネルギーがどのように粘土中に伝達されるのか、粘土のせん断強さが変わるといだけ貫入するかという問題について考察した。実際の貫入試験では抵抗体を押し込むことによって生じる土の抵抗を測定する試験であるが、従来より多くの研究が積み重ねられ土の強度定数などに関連づけられ利用範囲も広がっている¹⁾。しかし、貫入試験の個々の結果と土の強度定数などの関係は相当広く散らばっており、もっとほかの適当な試験の結果と直接比較されるのが普通である。

本文は貫入試験の結果と粘土のせん断強さの関係について検討を加えるために剛体棒の貫入過程を有限要素法の境界値問題としてとり扱うことを試みた。また、粘土のせん断強さを変えた数値計算を行い、剛体棒の貫入過程および貫入量とせん断強さの模様について解析した。

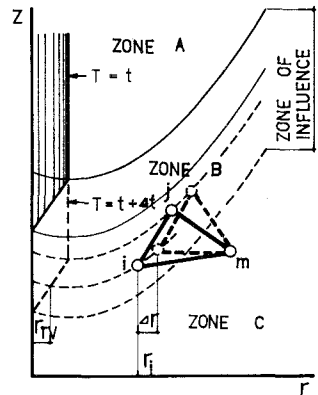
2. 剛体棒の貫入解析法

2.1 粘土要素の節点変位

有限要素解析は時間増分ごとに繰返し、貫入過程ですべての節点変位を仮定する手法を用いた。この手法は粘土要素の節点と剛体棒の位置から図~1のように表わされる。図~1は剛体棒が粘土に貫入後時間 t , $t+\Delta t$ における剛体棒の位置およびそれによる粘土の節点変位に影響を与える範囲を示した。粘土への影響は放物線によって図のようにゾーンA, B, Cに区分し、それぞれ時間 t までに節点変位が生じた、時間増分 Δt で節点変位が生じる、この過程ではまだ節点変位が生じないことを意味する。ゾーンBの節点変位は変位前の節点に放物線を適用し式(1)よりT方向の変位 Δr を求め、再度、放物線から Δr に対する

$$\Delta r = \sqrt{r_{TV}^2 + r^2} - r \dots (1)$$

Z方向の変位を算る。



2.2 仕事と運動エネルギー

要素 m の剛体棒が粘土に貫入後時間 t において

図~1 要素の節点変位

てその速度が V_t で貫入している場合の剛体棒の運動エネルギー(K.E.)は式(2)で表わされる。時間 t を $t+\Delta t$ に変えると、剛体棒の速度 $V_{t+\Delta t}$ はその間に剛体棒が粘土に与えた仕事 ΔW から式(3)によって与えられる。この解析では、 Δt の間に与えられた仕事 ΔW は剛体棒のK.E.が損失し速度の減少を生じさせるもので、要素のひずみ

$$K.E. = \frac{1}{2} \cdot m \cdot V_t^2 \dots (2)$$

$$V_{t+\Delta t} = (V_t^2 - 2\Delta W/m)^{\frac{1}{2}} \dots (3)$$

$$\Delta U = 2 \cdot G (e_r e_z + e_z e_\theta + e_r e_\theta - \delta \cdot \delta) \Delta V \dots (4)$$

エネルギー増分 ΔU と内部仕事の和によると考えた。要素のひずみエネルギー ΔU は貫入過程における粘土の非圧縮性を仮定すると、せん断変形によってのみ生じると考えられ、このような場合の ΔU は式(4)で与えられる。ここに、 G はせん断弾性係数、 e_r , e_z , e_θ はそれぞれ r , z , θ 方向のひずみ、 δ はせん断ひずみ、 ΔV は要素のリンク体積である。内部仕事は、Reeves²⁾がその中で用いた計算法によった。剛体棒の貫入によって粘土の自重に弾性変位をもった節点に変位したことによる仕事である。

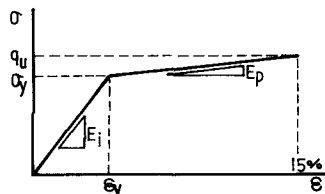
3. 数値解析

3.1 有限要素分割と剛体棒

剛体棒の中心を対称軸とした軸対称状態を考え、解析領域を三角形要素網に分割し解析を行った。また、貫入する剛体棒の形状は円柱で、貫入先端をコーン形にした。それらの性状を表~1に示す。

3.2 粘土の応力-ひずみ関係と土質特性

粘土の非排水条件における応力-ひずみ関係は図～2に示すバイリニア・モデルを用いた。解析に必要な粘土の土質定数を表～2のとおり設定し、表中、粘土の盛上応力 σ_y だけを変化させることで剛体棒の貫入量と粘土のせん断強度(一軸圧縮強度 q_u)の関係の考慮に用いた。



図～2 応力-ひずみモデル

表～1 剛体棒の性状

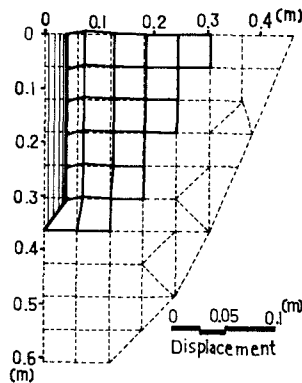
D	0.04 m
m	0.08 kg
V_0	60 m/sec

表～2 粘土の土質定数

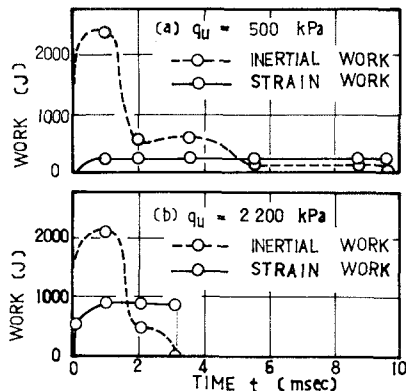
ρ_t	1,800 kg/m ³
ϕ_y	3.0 °
σ_y	500 kPa
E_p	98 kPa

3.3 解析結果 表～1, 2の計算

条件によって剛体棒が約0.3cm貫入した時の周辺粘土の変形状態を図～3に示した。この解析では、実線が示された範囲のリンク要素にひずみエネルギーおよび内部仕事が生じ剛体棒の速度を低下させるが、これら両仕事の経時変化を粘土のせん断強度 $q_u = 500, 2,200$ kPaに対して示したのがそれぞれ図～4, (a), (b)である。内部仕事の経



図～3 粘土の変形状態



図～4 仕事の経時変化

時変化はせん断強度を変えてもほぼ同じ形状を示すが、ひずみエネルギーの大きさには差違がうかがわれる。

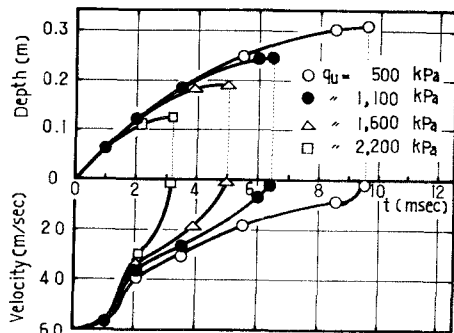
図～5は粘土のせん断強度をパラメータにし、剛体棒の貫入量と貫入速度の経時変化を示した。せん断強度の増加に伴って貫入量が小さくなることは経験的にも知られているが、計算によってもこのことが確かめられた。そこで、粘土のせん断強度が貫入量にどのような影響を与えているかを示したのが図～6である。両者の関係から、計算結果にほぼ直線的な傾向がみい出すことは可能であるが、ここに示した計算だけでは不明な点も多くせん断強度だけでなくその他のパラメータによる影響についても検討する必要がある。

4. おとがき

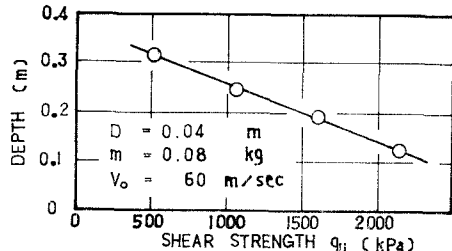
粘土中に剛体棒を貫入させた場合の貫入解析法について考察し、剛体棒の貫入過程を有限要素法の境界値問題としてとり扱うことを試みた。数値解析を行った結果、示した解析法によっても貫入過程をシミュレートできそうな傾向が窺われた。貫入試験の結果がこのよう数値解析によって強度定数などと関連づけられたなら便利であると思われるので今後は実際の貫入試験についても検討していく予定である。

5. 参考文献

- 1) 土質調査法, 第6巻 サウニマインツ, pp. 171～256, 昭和52年.
- 2) G.N.Reeves, A Finite Element Study of the Penetration of a Soil Half-Space by a Rigid Projectile, 1969.



図～5 貫入量・速度の経時変化



図～6 貫入量とせん断強度