

粒状体の内部摩擦角と土圧係数の関係に関する DEM を用いた検討

清水建設(株)技術研究所 正会員 ○吉田 順

1. はじめに

内部摩擦角と土圧係数の関係については、古くより Coulomb, Rankine を初めとする、様々な理論式あるいは経験式が提案されている。しかし、土圧問題を釣合問題として考える場合には変形との相関を考慮することが困難であり、変形問題として捉えると極限釣合を求めることが容易ではない。これに対し、個別要素法 (DEM) を用いて粒状体地盤を表現した場合には、比較的良好に静止土圧状態から主働あるいは受働状態への移り変わりを表現できると共に、極限値を求められることが示されている¹⁾。また、ペア要素を用いた DEM によって、同じような粒度分布および要素間物性値を用いて、異なる内部摩擦角が表現できることが示されている²⁾。本報ではペア要素を用いた 2 次元 DEM 解析により、壁体の移動による土圧変化を算定し、内部摩擦角と土圧係数の関係を明らかにすることを試みている。

2. 解析方法および条件

図-1 に示すような形で、粒状体を矩形容器に詰め、その中心位置に擁壁を模擬した部材を設置する。その静止釣合状態から、部材上端を左右に振ることによって、壁面に作用する荷重（土圧）がどのように変化するかを検討する。解析モデルは、容器内にランダムに配置した粒子（粒度分布：図-2 参照）の釣合を求めたもので、それを初期状態として上記の载荷を行う。ここで、釣合状態において接触している要素を任意に組み合わせてペア要素とし、その数によって内部摩擦角の大きさを制御する。検討ケースを表-1 に示す。ただし、ここで示した内部摩擦角は推定値である。また、用いた物性パラメータを表-2 に示す。

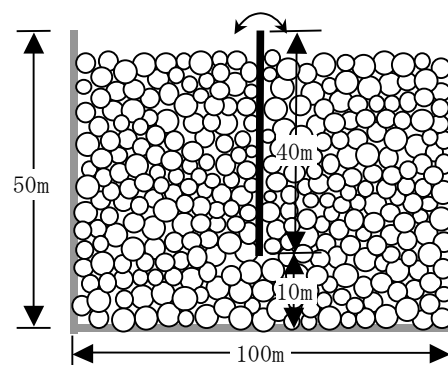


図-1 解析モデル模式図

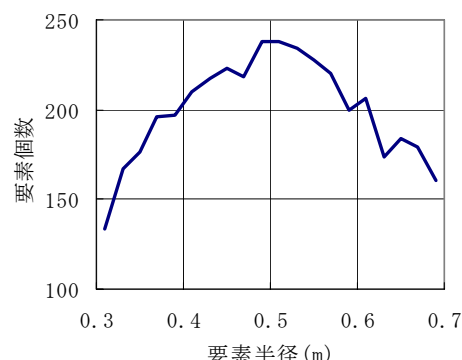


図-2 粒度分布

3. 解析結果および考察

3.1 初期状態

図-3 に重力下における釣合状態を求めた Case1 の結果を示す。擁壁の左右で高さに差が見られるものの、全体的にはほぼ均等な状態になっており、粒度分布に関しても左右で大きな差が見られない。これを初期状態として载荷を行う。この状態での擁壁左右に作用している荷重は静止土圧に近いものと考えられるが、その値は左右ともに約 12.7MN であり、平均高さは約 42m（擁壁下端から 32m）である。解析領域全体の平均嵩密度が 15.44kN/m³ となることから、初期の土圧係数は $K=1.6$ 程度となり、通常の静止土圧係数 K_0 と比較するとかなり大きい値である。

3.2 主働・受働状態

図-4 に各ケースの擁壁左右に対する土圧変化を示す。当然、右側に倒れた場合には擁壁右面が受働状態、

表-1 解析ケース

Case	ペア要素	単一要素	内部摩擦角
1	0	4000	約 20°
2	1099	1802	約 25°
3	1811	378	約 35°

表-2 入力パラメータ

材料定数	単位	数値
垂直ばね定数	N/m	1.0×10^{10}
せん断ばね定数	N/m	2.0×10^9
比例減衰定数	s	1.00×10^{-4}
粒子間摩擦係数(壁面)		0.70 (0.10)
単位体積重量	kg/m ³	2.0×10^3

キーワード：個別要素法，ペア要素，内部摩擦角，主働土圧，受働土圧

〒135-8530 東京都江東区越中島 3-4-17, tel:03-3820-8309, fax:03-3820-5959

左面が主働状態に移行し、左側に倒れた場合にはその逆となる。なお、図中の C1L は C(Case)-1-L(左面)を表す。

各ケースの変位と土圧の関係は、典型的な静止から主働・受働への変化を表しており、内部摩擦角が大きいほど受働土圧が大きく、主働土圧が小さい傾向が見られる。内部摩擦角と主働・受働土圧の関係を表-3 で $K_A=(1-\sin\phi)/(1+\sin\phi)$ 、 $K_P=(1+\sin\phi)/(1-\sin\phi)$ と比較すると、全体に大きい値を示しているが、これは静止土圧でも既に大きい値となっていたことと対応している。

この値が大きくなる原因の一つは、擁壁から左右の境界までの距離がやや短いことが考えられ、粒子間摩擦を0.7と比較的大きくとしていることも受働土圧が大きくなる要因となっている。また、左右の状態に極端な差がないにもかかわらず、受働土圧に大きい差が見られる事は今後の検討課題である。しかし、定性的には内部摩擦角と土圧の関係が良好に示されていると言える。

3.3 繰返し载荷

上部の変位を1.0m与えた状態から、変位の方向を逆転させて元の位置に戻す解析をCase3について実施した結果を図-5に示す。初期位置に擁壁が戻った段階で、主働状態にあったものは静止状態を通過して、受働状態となり、逆の面では反対の経過をたどっている。これは初期载荷においてかなりの塑性変形が生じたことを表している。また、载荷経路の先に初期载荷のカーブがあることも含め、擁壁の複雑な挙動を追跡する場合にDEMが有力な手段となることを示している。

4. まとめ

ペア要素を用いたDEM解析によって内部摩擦角が異なる場合の土圧を定性的にはうまく表現できることを示した。今後の課題も多いが、3次元への拡張、計測との比較等により、現象解明の可能性が広がるものと考えられる。

参考文献

- 1) 吉田順：壁体の移動による土圧変化に関する粒状体解析，第26回土質工学研究発表会，pp.1581-1582，1991
- 2) 吉田順：一面せん断試験に対するDEM解析の適用に関する一考察，第40回地盤工学研究発表会，2005

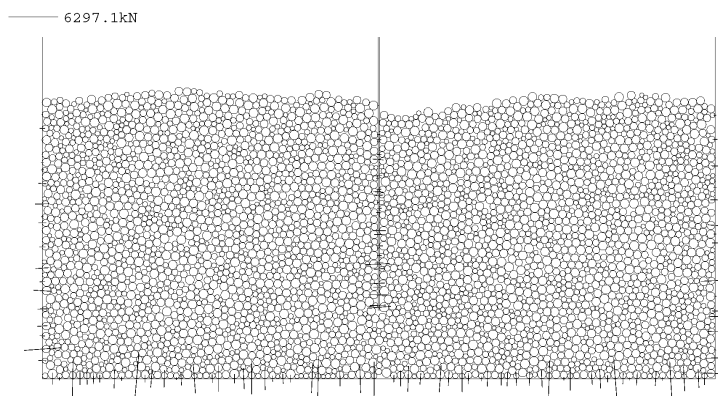


図-3 初期釣合状態 (Case1)

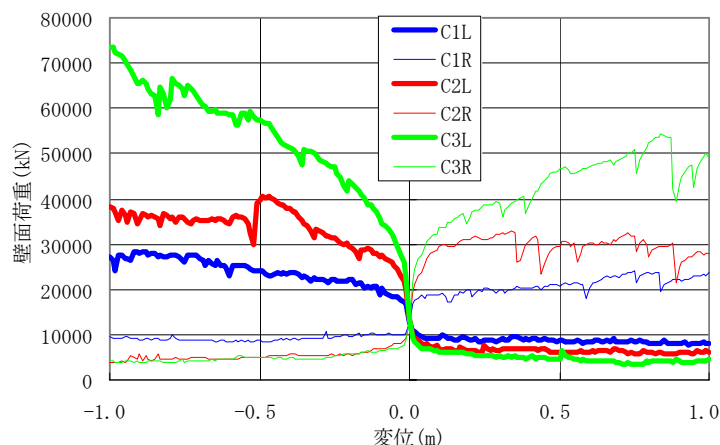


図-4 変位－壁面荷重の関係

表-3 内部摩擦角と土圧係数

内部 摩擦角	主働土圧係数			受働土圧係数		
	理論値	左面	右面	理論値	左面	右面
20°	0.49	1.00	1.00	2.04	3.59	3.03
25°	0.41	0.73	0.50	2.46	4.83	4.13
35°	0.27	0.44	0.48	3.69	9.30	6.86

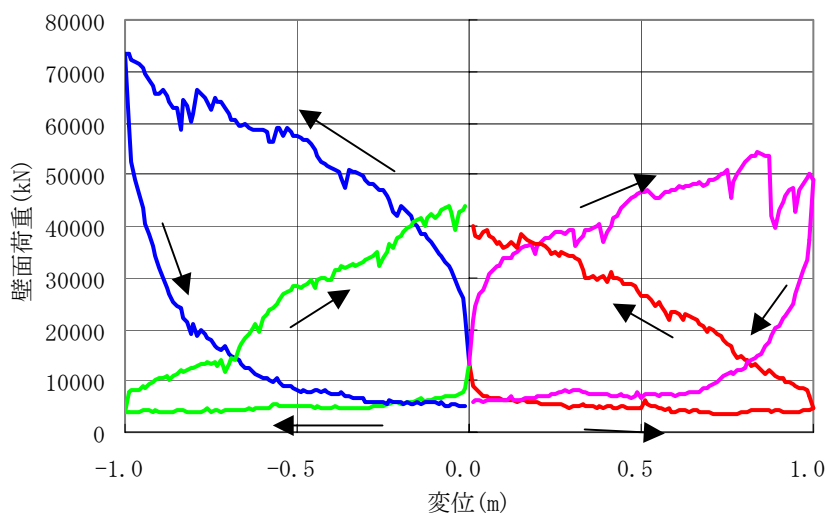


図-5 繰返し時の変位－壁面荷重関係 (Case3)