

土/水連成解析によるベーンせん断試験における不均一性発現の解釈

中央復建コンサルタンツ(株) 竹越 祥継

1. はじめに

原位置試験のひとつであるベーン試験は十字型のベーンを地盤中で回転させ、地盤の非排水せん断強さを求めることができる。試験の原理が単純であり、原位置で強度計算が可能なることから、世界各地で利用されている。しかし、ベーンせん断試験から得られる強度と室内試験から得られる強度に乖離がみられることが知られており、補正係数を乗じて使用することが一般的である。この差が生じる要因として、ベーンせん断試験時の周辺地盤の乱れなどが挙げられており、試験原理で仮定する応力、ひずみ分布となっていないことが予想される。本研究では、土/水連成解析(DACSAR-MP)によってベーンせん断試験を模擬し、応力、ひずみの局所化について検討を行う。

2. 解析方法

図-1 に解析メッシュを示す。中心部の太線部分では隣り合う要素で接点を共有しておらず、縦横 120mm の十字型ベーンを想定し、回転前面および背面が分離されていることを示す。解析領域の上下左右境界およびベーン部は非排水境界である。ベーン回転方向は時計回りとし、回転前面の節点に強制変位を与えてせん断試験を表現する。このときベーン羽根先端部では、せん断応力が集中することから実際の変形モードと異なることを避けるため、回転前面のベーン羽根先端部に切欠きを表す様に、節点を共有しない要素を設けている。図-1 の様に中心部で鍵十字型のメッシュ分割を行った。

ベーンせん断試験で生じる不均一性へ及ぼす影響として、材料定数、回転方法に注目し、4 ケースの解析を行った。表-1 に CASE1, 2 で与えた解析入力パラメータの一覧を示す。ベーンの回転速度は毎秒 0.1° とした。CASE2 では材料の剛性の違いを表現するために CASE1 の 2 倍の圧縮指数 λ 、膨潤指数 κ を与えた。また、回転方法の違いについて検討するために、CASE3 では表-1 の材料定数を用い、毎秒 0.01° の回転速度を与えた。川尻ら¹⁾は CT スキャン

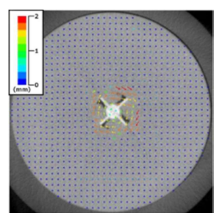


写真-1

による内部可視化によってベーンせん断時のひずみの局所化挙動を明らかにしているが、CT 撮影時にはベーンの回転を停止させる必要があるため、このときの水圧再分布によるリラクゼーションの影響を評価するために、CASE4 では、毎秒 0.1°

の回転速度を与え、 10° 回転ごとに 10 分間の放置時間を設けた。写真-1 に示すように、川尻ら¹⁾は CT スキャンによる内部可視化によってベーンせん断時のひずみの局所化挙動を明らかにしている。

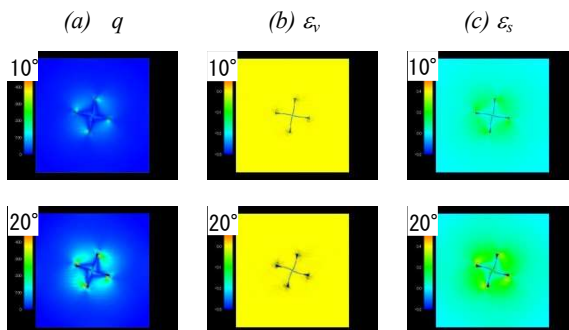
表-1 解析入力パラメータ

CASE1		CASE2	
λ	κ	λ	κ
0.76	0.076	1.52	0.152

	M	ν'	Sr_i	m	k_x	k_{ax}
	1.875	0.33	1.0	0.8	3.9E-8	3.9E-6
$e\theta$	a	N	nE	$Sr\theta$	k_y	k_{ay}
1.20	10.0	1.0	1.3	0.15	3.9E-8	3.9E-6

3. 解析結果

図-2 に CASE1 の解析結果を示す。上から 10, 20, 30, 45° 回転時の分布を示す。ベーンの回転とともにせん断応力、せん断ひずみが発達していくのが分かる。ベーン羽根背面の黒い部分は空洞となっている。ベーンせん断試験の仮定では、ベーン回転内部では土塊がベーンとともに一緒に回転し、回転土塊と周辺土塊の摩擦力を非排水せん断強度として評価することになっている。しかし、ベーン羽根背面の空洞は 45° 回転時でも残留しており、回転周長を摩擦長とする過程とは異なることが明らかである。また回転初期では応力分布もひずみ分布も円周状に発達するのではなく、正方形に近い形で発達しており、回転の進展とともに円周状に近い形状になることが分かる。そのため、 45° 回転時でも回転円周上で不均一であり、ベーン羽根に近い部分で最大せん断応力となっている。ここで、体積ひずみに関しては、解析領域内での水分と考えることができ、圧縮部(正の値)から膨張部(負の値)への水分移動があったことが示唆される。図からは確認しづらいが、回転前面で圧縮、背面で膨張となっている。



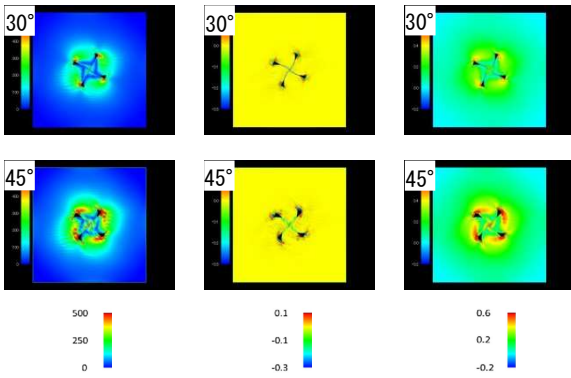


図-2 解析結果 (CASE1)

図-3にCASE2の解析結果を示す。CASE2はCASE1に比べて軟らかい材料を表しており、せん断応力、せん断ひずみ分布が回転早期に円周状に近い形状になっているのが確認できる。その結果、ベーン羽根背面の空洞が小さく、体積ひずみの分布も一樣になっている。つまり、よりベーンせん断試験で理想とされている状態に近いと言える。

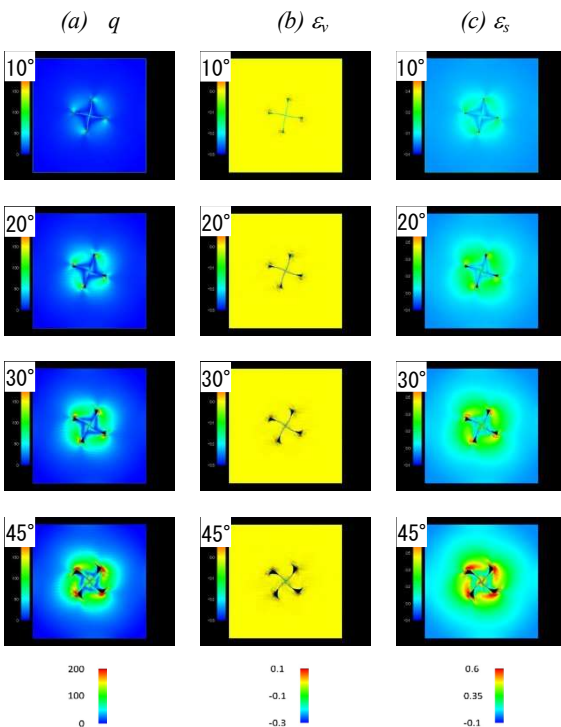


図-3 解析結果 (CASE2)

図-4はCASE3のせん断応力分布である。回転速度が十分に遅く、内部での間隙水圧の発生が抑制されることから、CASE1と比較するとより円周状に近いせん断応力の発達がみられる。ベーン羽根背面の空洞も少し小さくなっているのが確認できる。

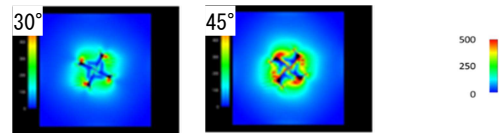
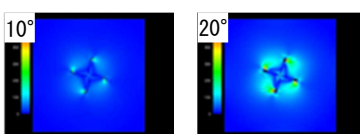


図-4 (a) qの解析結果 (CASE3)

図-5にCASE4の解析結果を示す。ここではそれぞれの角度で10分放置した後の分布を示す。他と異なる部分は体積ひずみ分布である。これはベーン回転時に生じた過剰間隙水圧が放置時に消散し、水分の再分布が生じるからである。そのため圧縮領域、膨張領域が拡大しているのが分かる。ただし、せん断応力分布にはそれほど大きな違いは見られない。ベーン羽根背面の空洞形状も大差はない。つまり、CT撮影時の放置が局所化の原因となっている訳ではないことが分かる。

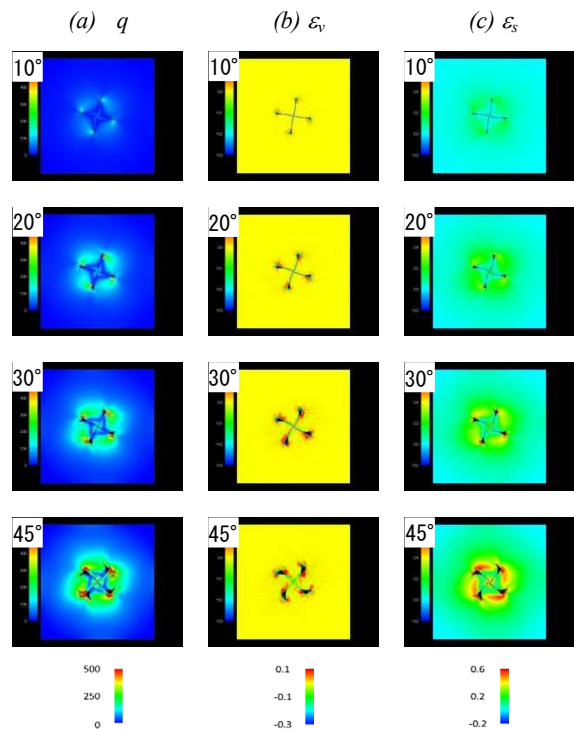


図-5 解析結果 (CASE4)

4. まとめ

土/水連成解析によりベーンせん断試験を模擬した。その結果、ベーン回転の進展度合いによって応力、ひずみの進展形状が異なることが解析を通して分かった。また、材料が軟らかいほど、回転速度が遅いほど、理想的なせん断試験に近付くことが知見として得られた。しかし、それでもベーン周辺の応力、ひずみ分布は不均一となる箇所が明らかとなった。

参考文献

- 1) X線CTスキャンによるベーンせん断試験時のせん断機構の解釈：地盤工学会ジャーナル, H. 29. 2. 1 12 巻 1号 P. 79-90