

## ベーンせん断試験結果に及ぼす回転速度の影響

## Effect of Rotation Rate on Result of Vane Shear Test

平林 弘 Hiroshi HIRABAYASHI (東亜建設工業 (株))  
 松岡達也 Tatsuya MATSUOKA (東亜建設工業 (株))  
 田中洋行 Hiroyuki TANAKA (北海道大学大学院)

北海道苫小牧市郊外の厚真にて、原位置ベーンせん断試験を実施した。各試験深度のベーン回転速度を一定とした場合と破壊までの時間を一定とした場合から得られる乱さない状態の土のベーンせん断強さ、練返しベーンせん断強さ及び鋭敏比の比較を行った。また、練返し方法の違いによる影響について検討を行った。この結果、乱さない状態のせん断強さ、完全に練り返した状態での練返しせん断強さに対しては回転速度の違いは影響を及ぼさないこと、ベーン回転による練返しせん断強さは回転速度の影響を受けて回転速度が速いほど低下することが明らかになった。また、練返し方法及び回転速度により得られる鋭敏比が異なることが分かった。

キーワード：ベーンせん断試験，せん断強さ，練返し，鋭敏比 (IGC : C-3, D-6)

## 1. はじめに

原位置ベーンせん断試験 (FVT) は、粘性土地盤を対象として原位置の非排水せん断強さを求めるために用いられている。特に、室内試験のための供試体整形や不攪乱試料採取そのものが困難な軟弱な地盤に対して有効な手法である。

一方、結果解釈にあたって、ベーンせん断試験結果に影響を及ぼす要因として、

- (1) ベーン貫入に伴う攪乱による強度低下と局所的な土粒子の移動による間隙水圧の変化
- (2) ベーン貫入後、せん断開始までの間における圧密による強度増加
- (3) ベーン回転速度
- (4) 地盤の強度異方性
- (5) 進行性破壊

などが挙げられている。このうち、ベーン回転速度の影響に関しては、佐々木ら<sup>1)</sup>、森田ら<sup>2)</sup>、梅田ら<sup>3)</sup>、西原ら<sup>4)</sup>、Cadling and Odenstad<sup>5)</sup>、Blight<sup>6)</sup>、Torstensson<sup>7)</sup>によって研究が行われている。

梅田ら、西原ら、Cadling and Odenstad、Torstensson は、ベーン回転速度が速くなると得られるベーンせん断強さも大きくなるということを報告している。しかし、Blight は破壊までの時間がかかるほどにせん断強さも増加することを示した。つまり、回転速度が遅くなるほど、得られるせん断強さも増加するということを報告している。また、佐々木らや森田らは異なる回転速度の中である特定の回転速度に着目し、最小となるせん断強さについて言及している。このように、回転速度が速くなれば、得られるせん断強さも大きくなる場合と逆に小さくなる場合との相反する知見が得られており、研究者ご

とに見解が分かれている。

そこで、本論文では、全深度でベーン回転速度を一定にする条件と、深度ごとに回転速度を変化させて破壊までの時間を一定にする条件とで FVT を実施し、両者から得られる乱さない状態での土のベーンせん断強さ及び練返しベーンせん断強さを比較し、回転速度がベーンせん断強さに及ぼす影響について検討を行う。

## 2. 調査概要

## 2.1 調査地点

調査は図-1 に示す北海道苫小牧市郊外の厚真町にて実施した。現在は札幌市北側石狩湾に流れる石狩川が太平洋側に流れていた時代の流域に位置し、海水と淡水が混ざり合う汽水的環境下で堆積した地盤である。



図-1 調査地点

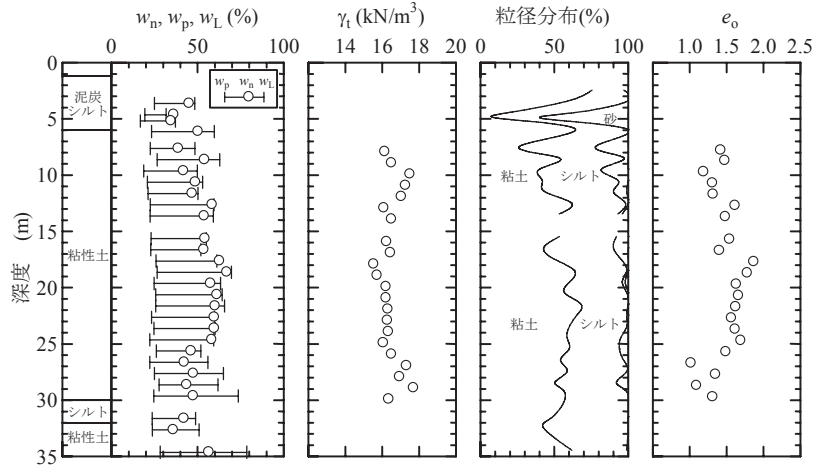


図-2 物理試験結果

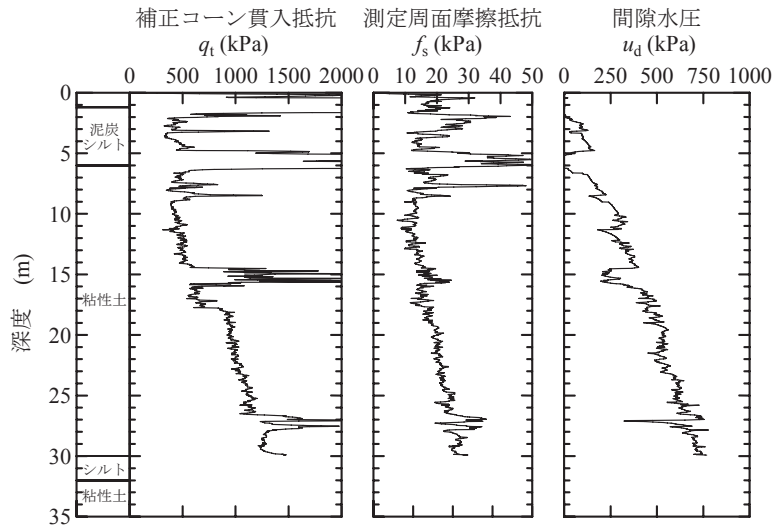


図-3 CPT 結果

調査地点の物理試験結果及び電気式コーン貫入試験 (CPT) 結果をそれぞれ、図-2 と図-3 に示す。表層から深度 6m まで泥炭やシルト、その下に層厚 24m の粘性土が堆積している。深度 10m から 25m にかけて、自然含水比  $w_n$  は液性限界  $w_L$  より若干小さいか、ほぼ等しい値を示している地盤であるが、深度 15~17m を境界にして  $w_n$  や  $w_L$  の分布に変化が見られる。これは、湿潤単位体積重量  $\gamma_t$ 、間隙比  $e_o$  の深度分布状況の変化にも見てとれる。補正コーン貫入抵抗  $q_t$  が深度 15m 付近で大きな値を示しているのは、この深度付近で採取した不攪乱試料から大量のかき(蠣)殻が確認されたため、貝殻層が原因と推測される。

## 2.2 試験方法

### (1) 原位置ベーンせん断試験

原位置ベーンせん断試験 (FVT) は、写真-1 に示す押込み式 (さや型) ベーン試験装置を用いて実施した。これは、試験を行うにあたってボーリング孔を必要とし

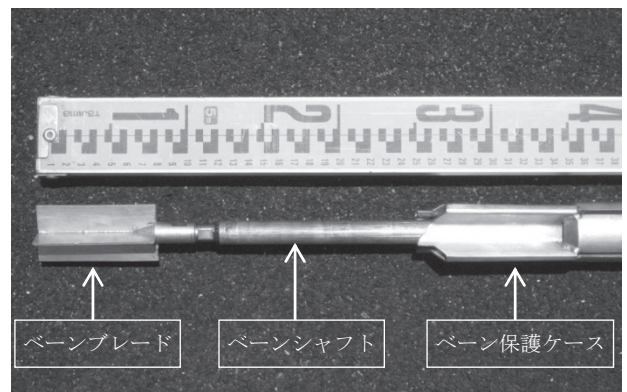


写真-1 押込み式 (さや型) ベーン試験装置

ない方法で、ベーンを所定の深度まで保護管とともに貫入させた後、ベーンのみが試験深度まで保護ケースから地盤内に押し出されるというものである。押込み式ベーンの回転ロッドにはベアリングが設置されており、保護管との摩擦を低減する機構となっている。ベーンプレー

ドは、直径  $D=40\text{mm}$ 、高さ  $H=80\text{mm}$ 、厚さ  $s=1.5\text{mm}$  の長方形の 4 枚羽を十字型に組み合わせたものである。

ベーン回転速度  $6^\circ/\text{min}$  の一定速度で実施する方法（回転速度一定）、及び最大トルクに到達するまでの時間が 2 分間となるような一定速度で実施する方法（破壊時間一定）の 2 条件で FVT を実施した。それぞれの調査地点間は 2m の離隔距離を確保した。最初にベーン回転速度  $6^\circ/\text{min}$  の試験を実施し、得られた最大トルク到達時間に基づいて最大トルク到達時間が 2 分となるために必要な回転速度を計算し、その数値を破壊時間を規定する方法でのベーン回転速度とした。

乱さない状態での試験は、ベーン押し込み後 2 分間放置してベーンを回転させ始めた。最大トルク値が得られたことを確認後、練返し状態とするために、ベーンを押し出したままの状態ではベーンを急速に 30 回転させた。練返し状態でのベーン回転速度は、乱さない状態での試験と同じ回転速度とした。また、ベーンを 30 回転させ終わってから練返し状態での試験を開始するまでの時間は、乱さない状態での試験と同様、2 分間とした。

(2) 室内ベーンせん断試験

室内ベーンせん断試験 (LVT) は、固定式ピストンサンプラーを用いて採取した不攪乱試料をシンウォールチューブから抜き出す際に実施した。ベーンブレード寸法は  $D=20\text{mm}$ 、 $H=40\text{mm}$ 、 $s=1\text{mm}$  である。試料表面からベーン先端を 8cm 貫入させてから 1.5 分間放置したのち、乱さない状態の試験を開始した。回転速度は 6, 12, 18 及び  $30^\circ/\text{min}$  の中から 2 種類の速度を選択し、各シンウォールチューブで 2 回ずつ試験を行った。乱さない状態の試験を実施後、そのまま高速でベーンを 30 回転させて 2 分間放置後、練返し状態の試験を開始した。この

方法から得られたせん断強さをベーン 30 回転による練返しベーンせん断強さ  $s_{fv}$  と定義する。さらに試験終了後に抜き出した試料をポリエチレン袋に入れ、5 分間程度  $w_n$  が変化しない状態で十分練返し、 $\phi 80\text{mm} \times H 90\text{mm}$  のアクリル容器内に詰めて LVT を実施した。こちらの方法から得られたものを完全練返しによる練返しベーンせん断強さ  $s_{fv}^*$  と定義する。

乱さない状態の試験及び練返し状態（ベーン 30 回転、完全練返し）の試験で実施した試験ケースを表-1 に示す。

(3) ベーンせん断強さ

乱さない状態での土のベーンせん断強さ  $s_{fv}$  は、次式から求めた。

$$s_{fv} = \frac{T_{\max}}{\pi(D^2H/2 + D^3/6)} \quad (1)$$

ここで、

$T_{\max}$  : 測定最大トルク

$D$  : ベーンブレードの直径

$H$  : ベーンブレードの高さ

練返し状態での土のベーンせん断強さは式(1)の  $T_{\max}$  を置き換えて算出し、それぞれ  $s_{fv}$ 、 $s_{fv}^*$  とする。

3. 試験結果と考察

3.1 原位置ベーンせん断試験

図-4 は、 $6^\circ/\text{min}$  を目標とするベーン回転速度一定条件及び 2 分間を目標とする最大トルクに到達するまでの時間一定条件に対する乱さない状態での土のベーンせん断強さ  $s_{fv}$ 、実際の回転速度、及び実際の最大トルクに到達する（破壊に至る）までの時間  $t_f$  の深度分布を示したものである。

回転速度  $6^\circ/\text{min}$  のときの  $t_f$  は、深度 15m 付近を境に上部では 5 分程度、下部では 7~12 分であった。したがって、 $t_f$  を 2 分とするために必要な回転速度は  $15^\circ \sim 24^\circ/\text{min}$  となり、これを時間一定条件に対する設定回転速度とした。なお、目標  $t_f$  を 2 分とする時間一定条件での実際の回転速度は  $12^\circ/\text{min} \sim 24^\circ/\text{min}$  であり、ほぼ設定とおりであった。

$s_{fv}$  に関しては、ベーン回転速度一定条件でも最大トルク到達時間一定条件でもほぼ同じ値が得られており、両者に大きな相違は見られない。また、 $s_{fv}$  と  $t_f$  とに見られる深度 17m 前後を境にした分布状況の変化は、図-2、図-3 から分かるように、物理的性質や地盤特性が変化していることがその要因として考えられる。

回転速度一定 ( $6^\circ/\text{min}$ ) の場合と破壊時間一定 (2 分間) の場合のベーン回転角度と計測トルクとの関係について、代表例として深度 11m と 24m の結果を図-5 に示す。最大トルクが得られる回転角度は、深度 11m では

表-1 室内ベーンせん断試験条件

回転速度 %/min	乱さない状態 の試験		練返し状態の試験											
			ベーン30回転				完全練返し							
			6	12	18	30	6	12	18	30	6	12	18	30
8.0 ~ 8.9	○	○			○	○	○			○	○			
9.0 ~ 9.9	○			○	○		○	○	○			○		
10.0 ~ 10.9		○	○		○	○	○			○	○			
11.0 ~ 11.9	○			○	○		○	○	○			○		
12.0 ~ 12.9		○	○		○	○	○			○	○			
13.0 ~ 13.9	○			○	○		○	○				○		
14.0 ~ 14.9		○	○		○	○	○			○	○			
15.0 ~ 15.9	○			○	○		○	○	○			○		
16.0 ~ 16.9		○	○		○	○	○			○	○			
17.0 ~ 17.9	○			○	○		○	○				○		
18.0 ~ 18.9		○	○		○	○	○			○	○			
19.0 ~ 19.9	○			○	○		○	○	○			○		
20.0 ~ 20.9		○	○		○	○	○			○	○			
21.0 ~ 21.9	○			○	○		○	○	○			○		
22.0 ~ 22.9		○	○		○	○	○			○	○			
23.0 ~ 23.9	○			○	○		○	○	○			○		
24.0 ~ 24.9		○	○		○	○	○			○	○			

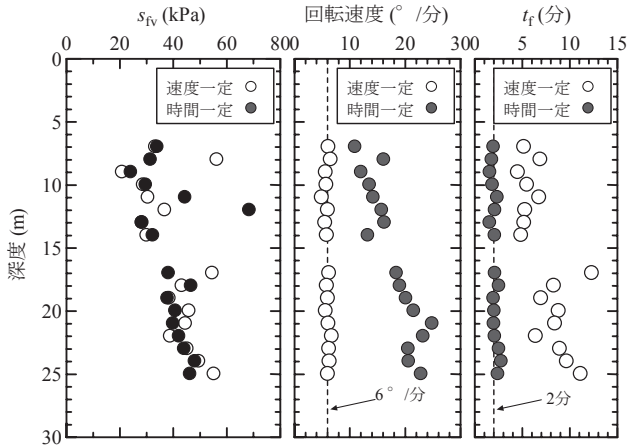


図-4 FVT 結果 (乱さない状態)

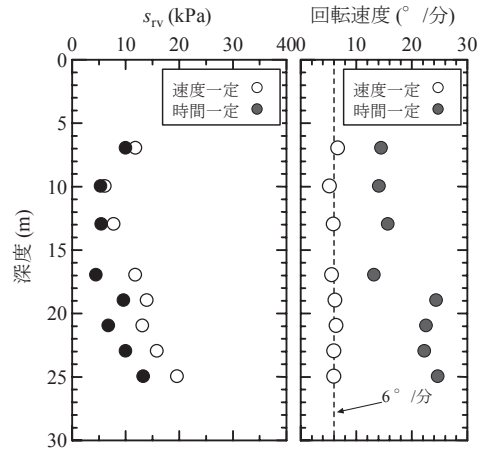


図-6 FVT 結果 (練返し状態)

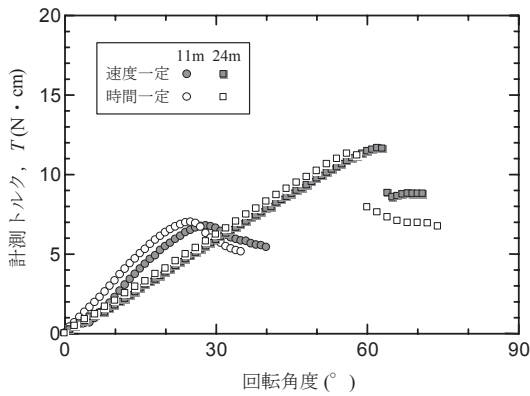


図-5 回転角度と計測トルク

30°付近であるのに対して、深度 24m では 60°付近であり、しかも最大となるまで直線的に増加している。これは同一土層であっても多少最大値が得られる角度に違いが生じるが、地表面においてベーンを回転させても、ベーンロッド自体のねじれによりベーンブレードが連動して回転していないことが大きく影響していると考えられる。深度が大きくなると、ロッド長が増すこと、また地盤強度も大きくなるため、この影響が大きくなる。その結果、回転速度一定の場合、図-4 のように  $t_f$  が深度方向に変化することになる。

図-6 は、ベーンを急速に 30 回転させて得られたベーン 30 回転による練返しベーンせん断強さ  $s_{fv}$  と回転速度の深度分布である。練返し状態でのベーン回転速度は、乱さない状態での試験で設定した回転速度と同じであり、実測値として深度 15m 付近より上部では 15°前後、下部では 22~25°となっている。 $s_{fv}$  は、回転速度が速くなると、速度一定条件の結果と比較して  $s_{fv}$  は小さくなる傾向が見られ、乱さない状態の試験結果とは異なる。また、回転速度の差が比較的小さい上部では、回転速度の違いによる  $s_{fv}$  の差は小さい。しかし、回転速度の差が大きくなる下部では、 $s_{fv}$  の差が大きくなっている。このことから回転速度が速ければ速いほど、得られる  $s_{fv}$  は小さくなるといえる。

ここで、時間一定条件で得られたベーンせん断強さを速度一定条件で得られたベーンせん断強さで除した値をせん断強さ比と呼ぶことにする。同様に、時間一定条件での実際の回転速度を速度一定条件での実際の回転速度で除したものを回転速度比と呼ぶことにする。

乱さない状態と練返した状態に対するせん断強さ比の深度分布を図-7 に示す。乱さない状態では、回転速度の影響は見られず、深度方向全体的に両者がほぼ等しいため、せん断強さ比の値は 1 を示している。しかし、練返した状態では、深度 15m 以浅ではせん断強さ比が 0.8 程度、15m 以深では 0.6 程度となり、回転速度の違いによる影響が見られる。

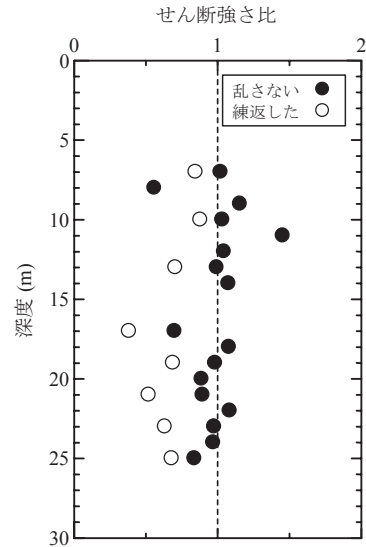


図-7 せん断強さ比

図-8 に示すのは、回転速度比とせん断強さ比との関係である。練返し状態では回転速度比が大きくなると、せん断強さも比例して小さくなる傾向を明らかに確認でき、回転速度比が 4 倍のとき、せん断強さ比が 0.6 程度となっている。

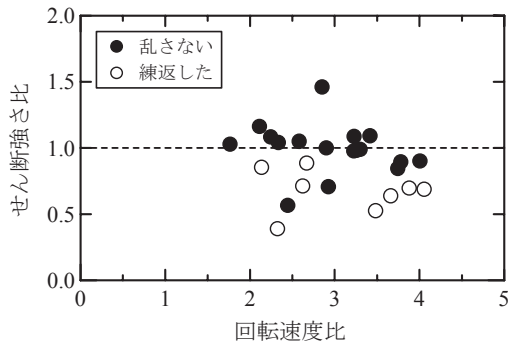


図-8 回転速度比とせん断強さ比

今回調査した地盤においては、回転速度 6°/min を基準として回転速度が 2~4 倍になる範囲内では、乱さない状態の土については、回転速度の影響を受けず、得られる  $s_{rv}$  の値は変わらない。しかし、練返した土については、回転速度の違いによって得られる  $s_{rv}$  の値が異なり、回転速度が 4 倍になった場合、得られる  $s_{rv}$  の値は 40%程度低下することが分かった。

つまり、今回の調査結果からは、梅田ら、西原ら、Cadling and Odenstad, Torstensson による回転速度が速くなると得られる  $s_{rv}$  も大きくなるという結果とも、Blight による回転速度が速くなるほど、 $s_{rv}$  が小さくなるという結果とも異なる結論が得られたことになる。

このように、乱さない状態での土のベーンせん断強さ  $s_{rv}$  には回転速度の影響が見られず、練返しベーンせん断強さ  $s_{rv}^*$  は影響を受け、しかも回転速度が速いほど小さな値となったということについて、次のように考えた。ただし、これらはあくまでも仮説に過ぎず、今後の検証が必要である。

(1) 乱さない状態での試験

ベーン貫入による土の乱れや過剰間隙水圧発生、ベーン回転に伴う過剰間隙水圧の発生などによる強度低下とせん断試験中の乱れ回復、拘束圧増加や過剰間隙水圧消散に伴う圧密による強度増加、ひずみ速度効果による非排水せん断強さの増加などが程良くバランスした状態であった「ラッキーハーモニー」状態により、 $s_{rv}$  には影響がなかった。さらに、ベーン貫入により発生した過剰間隙水圧が、試験開始前にはほぼ消散していた可能性もある。

(2) 練返し状態での試験

練返し状態のためにベーンを急速に 30 回転させることで発生した過剰間隙水圧の大きさが、ベーン貫入時に発生した過剰間隙水圧より大きく、練り返したことが原因で消散も緩やかになり、せん断試験に要する時間の中で時々刻々有効応力状態が変化していった。そのため、回転速度が速いほど、大きな過剰間隙水圧が残留している状態で最大トルクに到達するに至った。

3.2 室内ベーンせん断試験

図-9 は、LVT に対する  $s_{rv}$ 、ベーン 30 回転による  $s_{rv}^*$

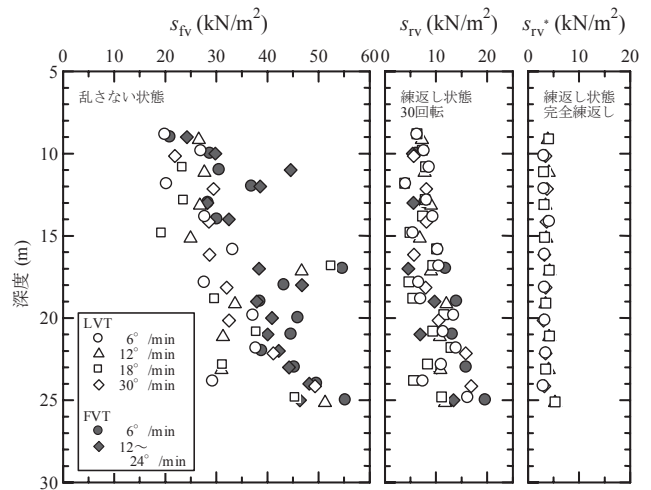


図-9 LVT 結果

及び完全練返しによる  $s_{rv}^*$  の結果を示したものである。乱さない状態については、FVT の結果と比較して全体的に値が小さめの傾向が見られる。しかし、深度方向への分布傾向は似ているため、回転速度の違いによらず、ばらつきの範囲内で概ね一致しているといえる。したがって、FVT の結果と同様、LVT から求めた  $s_{rv}$  も回転速度の違いによる影響を受けていないと判断できる。LVT の  $s_{rv}$  が小さい理由としては、LVT ではサンプリング時の機械的乱れや応力解放の影響により試料が乱れ、地盤内にあった状態と比較して LVT 実施時には強度低下が生じている可能性が考えられる。

ベーン 30 回転による練返し状態については、LVT の方が回転速度の違いによる  $s_{rv}$  の差が小さいが、回転速度が大きいほど得られる  $s_{rv}$  が小さくなることは、FVT と同じ結果となっている。また、15m 付近を境界に上部は回転速度の違いの影響が小さく、下部は大きいということも FVT と同様である。一方、完全練返しによる練り返し状態については、得られた  $s_{rv}^*$  には全く回転速度の違いによる影響は見られず、しかも、深度方向にほぼ一定値を示している。

練返し方法によって得られる練返しベーンせん断強さが異なるのは、ベーンブレードが回転する際に形成される円筒形周面部のすべり面の強度が測定されるというベーンせん断試験自身のせん断機構に起因するものと考えられる。ベーン 30 回転ではベーンブレードのごく近傍のみが乱され、いわば大変形した状態のすべり面の残留強さを測定している状況と考えられるのに対して、完全練返しではベーンブレード周辺部までマスとして粘土の構造が消失している状態の土の強さを測定していると考えられる。そのため、練返しにより発生する過剰過激水圧の数値の大小、またその消散具合も両者で異なり、せん断試験実施時の応力状態も異なっていると推定される。

#### 4. 鋭敏比と練返し強さ

##### 4.1 鋭敏比

乱さない状態での土のベーンせん断強さ  $s_{fv}$  を練返しベーンせん断強さ  $s_{fv}^*$  で除した値が鋭敏比  $S_{IV}$  と定義されている。図-10 に示すのは、練返し方法がベーン 30 回転のときの鋭敏比  $S_{IV}$  と完全練返しときの鋭敏比  $S_{IV}^*$  の深度分布である。ベーン 30 回転の場合、 $S_{IV}$  は 3~5 の範囲にあり、回転速度が大きいほど、 $S_{IV}$  も大きくなっている。しかし、同一回転速度で比較すると、深度方向にはほぼ一定の値を示しているのが特徴である。また、FVT から得られる  $S_{IV}$  も同様の結果を示している。

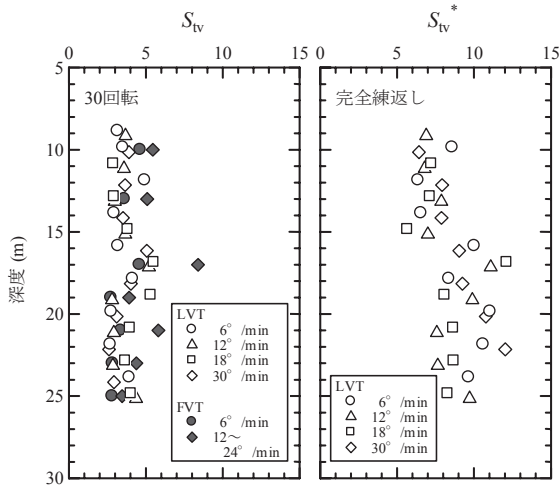


図-10 鋭敏比

完全練返しの場合、 $S_{IV}^*$  は 6~12 の範囲にあり、ベーン 30 回転の値の 2~3 倍の値である。 $S_{IV}^*$  は深度 15m 付近を境界に上部平均値は 7、下部平均値は 10 と分けられるように思われるが、深度方向に増加していると判断する方が自然と考える。これは、鋭敏比を算出する式の分母である  $s_{fv}^*$  がほぼ一定値であるのに対して、分子となる  $s_{fv}$  が深度方向に増加しているためである。ベーン 30 回転のときに見られた回転速度が大きいほど、 $S_{IV}$  も大きくなる傾向は、完全練返しの場合には見られず、回転速度との間に明確な相関関係は得られない。

##### 4.2 塑性指数と鋭敏比との関係

図-11 に塑性指数  $I_p$  と鋭敏比  $S_{IV}$  との関係を示す。ベーン 30 回転の  $S_{IV}$  は  $I_p$  によらず一定値を示しているが、完全練返しの  $S_{IV}^*$  は、 $I_p=30$  で 6~8、 $I_p=40$  で 8~12 となっており、 $S_{IV}^*$  は  $I_p$  の増加に伴って大きくなる。

##### 4.3 液性指数と鋭敏比との関係

図-12 に液性指数  $I_L$  と  $S_{IV}$  との関係を示す。30 回転による練返しから得られた  $S_{IV}$  は、 $I_L$  によらずほぼ一定の値を示している。完全練返しから得られた  $S_{IV}$  は、 $I_L$  の値が増加するのに伴って緩やかではあるが増加して

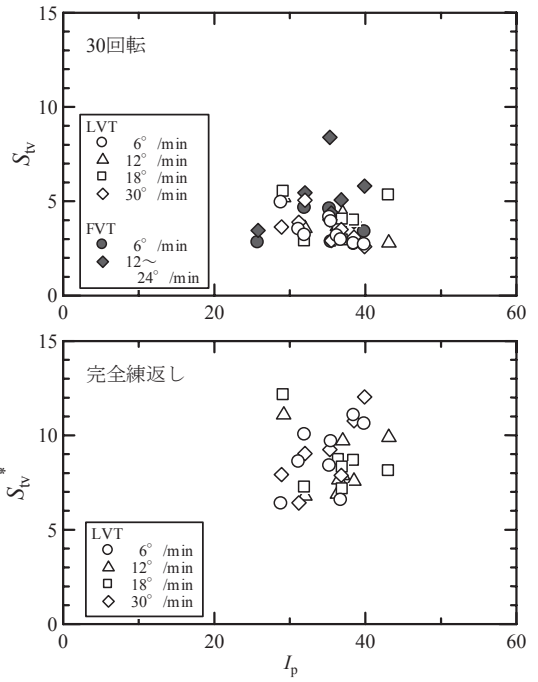


図-11 鋭敏比と  $I_p$  の関係

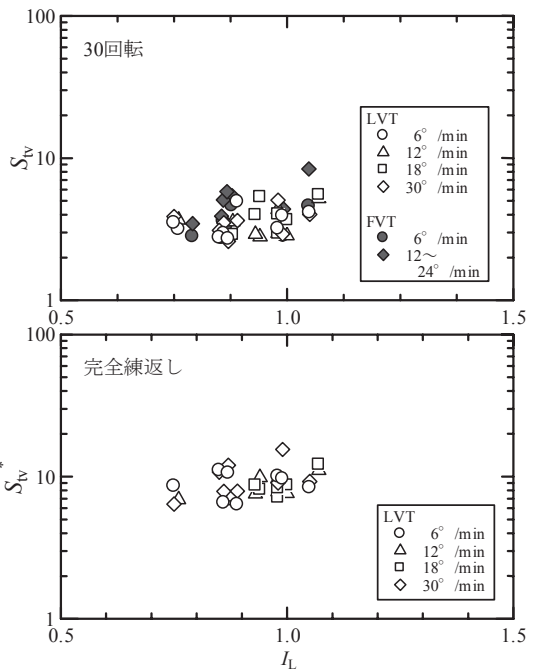


図-12 鋭敏比と  $I_L$  との関係

##### 4.4 液性指数と練返し状態のせん断強さとの関係

図-13 は、回転速度 6°/min のときの練返しベーンせん断強さ  $s_{fv}$  と液性指数  $I_L$  との関係を示したものである。松岡ら<sup>9)</sup>による有明(佐賀県)と拓北(北海道札幌市)の結果も併せて示す。厚真の結果が拓北の結果とほぼ一致しているのは、堆積時代や環境が異なるもの新石狩川流域であることが理由と考える。

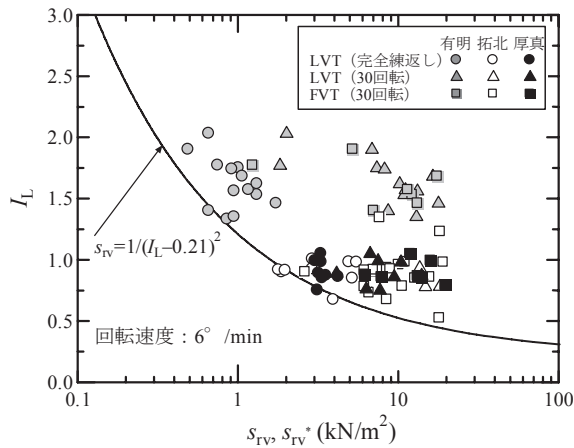


図-13 練返しベーンせん断強さと  $I_L$  の関係

図中に Leroueil ら<sup>8)</sup>による提案式も示す。田中ら<sup>10)</sup>によるフォールコーン試験から得られた練返し状態の非排水せん断強さに対する検討結果と同様、LVTの結果もほとんどの点は Leroueil らが提案した関係より右側にある。しかも、粘土の構造が消失した最低強度を示しているとも言える完全練返し状態での  $s_{rv}^*$  でさえも、関係式の右側に位置する傾向が得られた。このことから、Leroueil らによる提案式から算出した  $s_{rv}$  と比べてベーンせん断試験から得られた  $s_{rv}$  が大きいのは、練返しが多すぎることだけでなく、少なくとも Leroueil らによる提案式はこれらの地点の地盤には適合しないと考えられる。

## 5. まとめ

ベーン回転速度を変化させて原位置ベーンせん断試験 (FVT) と室内ベーンせん断試験 (LVT) を実施し、ベーンせん断強さの違いと鋭敏比について検討した結果、以下の結果が得られた。

- (1) FVT, LVT とも  $6^\circ/\text{min}$  のベーン回転速度に対して4倍程度まで回転速度を大きくしても、乱さない状態での土のベーンせん断強さ  $s_{rv}$  は回転速度の違いによる影響を受けず、得られる値は変化しない。
- (2) ベーン30回転による練返しベーンせん断強さ  $s_{rv}$  はベーン回転速度が速くなれば小さくなり、算出される鋭敏比  $S_{rv}$  は大きくなる。完全に練り返した試料の練返しベーンせん断強さ  $s_{rv}^*$  に対しては、ベーン回転速度の違いによる影響は見られない。
- (3) 完全練返し試料とベーン30回転による練返しとでは、得られる鋭敏比が異なり、30回転練返しによる鋭敏比の方が小さな値を示す。回転速度の影響も含

めて、鋭敏比を算出する際には練返しについての注意が必要である。

- (4) ベーン30回転による鋭敏比  $S_{rv}$  は液性指数  $I_L$  によらずほぼ一定であるが、完全練返しによる  $S_{rv}$  は  $I_L$  の増加に伴って大きくなる。
- (5) Leroueil らが提案する式に基づいて練返しベーンせん断強さを推定する場合、実際の練返しベーンせん断強さを過小評価する可能性がある。

## 参考文献

- 1) 佐々木晴美, 能登繁幸: 泥炭地におけるベーン試験について, ベーンせん断試験に関するシンポジウム, pp.37-42, 1980.
- 2) 森田悠紀雄, 大竹勉, 太田秀樹: ベーン試験特性と他試験との比較, ベーンせん断試験に関するシンポジウム, pp.71-76, 1980.
- 3) 梅田千秋, 大下勝美, 諏訪靖二, 池森珪祐: 軟弱地盤における可変回転速度型ベーンによる調査例, ベーンせん断試験に関するシンポジウム, pp.91-98, 1980.
- 4) 西原明, 太田秀樹, 森田悠紀雄: ベーン強度におけるせん断速度の影響と強度異方性, 第25回土質工学研究発表会, pp.583-586, 1990.
- 5) Cadling, L. and Odenstad, S.: The vane borer: an apparatus for determining the shear strength of clay, Royal Swedish Geotechnical Institute, *Proceedings*, Vol.2, pp.1-87, 1950.
- 6) Blight, G. E.: A note on field vane testing of silty soils, *Canadian Geotechnical Journal*, Vol.5, No.3, pp.142-149, 1968.
- 7) Torstensson, B. A.: Time-dependent effects in the field vane test, *Proceedings of international symposium on soft clay*, pp.387-397, 1977.
- 8) Leroueil, S., Tavenas F. and Le Bihan, J.P.: Propriétés caractéristiques des argiles de l'est du Canada, *Canadian Geotechnical Journal*, Vol.20, No.4, pp.681-705, 1983.
- 9) 松岡達也, 平林弘, 野崎郁郎, 田中洋行, 田中政典: ベーンせん断試験による粘性土の鋭敏比に関する考察, 第45回地盤工学研究発表会, pp.213-214, 2010.
- 10) 田中洋行, 金子広明, 服部直, 稗田教雄, 平林弘, 松岡達也: 力学試験としてのフォールコーンの活用, 第46回地盤工学研究発表会, 2011.

