

盛土斜面の原位置孔内回転せん断試験法～ため池堤体への適用～ Method of in-situ shear test for embankments by “Bore-hall Rotation Shear Test”

○堀俊和* 毛利栄征* 大北耕三** 浜野邦彦** 高森政和** 近藤 巧***
T. Hori*, Y. Mohri*, K. Okita**, K. Hamano**, M. Takamaori and T. Kondo*

1. はじめに 農業用ため池の多くは築造年代が古く、堤体内部の強度が不明な場合が多く、安定性の診断が急務となっている。斜面安定の診断には、堤体土のせん断強度定数の把握が不可欠であるが、ため池の数膨大であることから、調査に多大な時間とコストを要している。そこで、軽量のサウンディング試験機¹⁾に特殊なせん断刃付きバルーンを装着し、小径の孔内で回転せん断試験を行うことにより、簡便に盛土斜面の強度定数を求める手法を開発した。本稿では実際にため池に適用した結果を報告する。

2. 孔内回転せん断試験の方法 Fig.1 に示すように、スウェーデンサウンディング試験（以下、SWS 試験）の試験孔の所定深度（すべり面と想定される深度）に、せん断刃付きバルーン（Fig.2）を挿入する。次に、内水圧 P によりバルーンを膨張させて孔壁に拘束圧 σ_n をかける。この状態でロッドを回転させて孔壁周辺地盤を回転せん断し、トルク T を測定する。せん断刃付きバルーンは、ゴムチューブの外面に複数のせん断刃が取り付けられており、径外方向には自由に膨張するが、回転方向にはほとんど変形しない構造となっている。バルーンの回転により孔壁周囲の地盤が円形に直接せん断すると仮定すると、(1)式より強度定数 c 、 ϕ を算定することができる（Fig.3）。

$$\tau_n = \sigma_n \cdot \tan \phi + c = K \cdot P \cdot \tan \phi + c = \frac{T}{2\pi r^2 l} \quad (1)$$

ここで、 τ_n は孔壁の作用するせん断応力、 K はバルーンの高張力に関する補正係数、 l はバルーンの鉛直長さである。 r はバルーン半径でありバルーンへの給水量を測定することにより、算定することができる。試験方法の詳細および模型実験による精度の検証結果については文献2)を参照されたい。

3. ため池の原位置試験 調査ため池の諸元および調査地点の特性を Table1 に、調査状況写真を Fig.4 に示す。始めに SWS 試験により堤体内の不均一性を概略的に調べ、必要に応じて土のサンプリングを行い、孔内回転せん断試験の深度を決定した。試験深度手前まで SWS 試験の試験孔を $\phi 42\text{mm}$ のコーンで拡径した後、せん断試験を行う領域を $\phi 42\text{mm}$ の薄肉管でコア抜きし、せん断刃付きバルーンを挿入して回転せん断試験を行った。また、試験と同じ深度で別

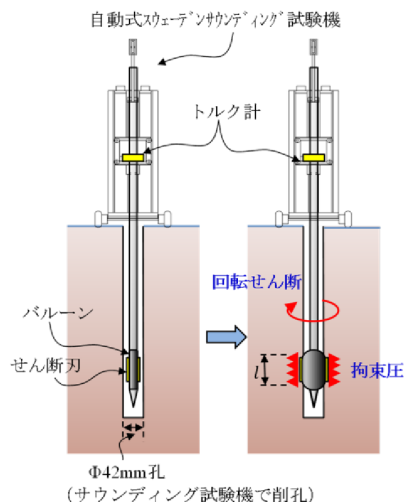


Fig.1 孔内回転せん断試験概要図
Method of bore hall rotation shear test

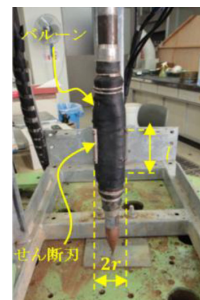


Fig.2 せん断刃付きバルーン
Balloon with shear blades

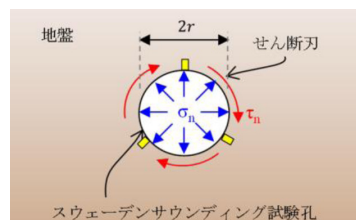


Fig.3 孔内回転せん断試験の概念図
Concept of the test method

[*農研機構農村工学研究所] [*National Institute for Rural Engineering] [**大北耕商事] [**Okita-ko Corp.] [***K&O corporaion] [サウンディング、盛土、せん断強度、原位置試験]

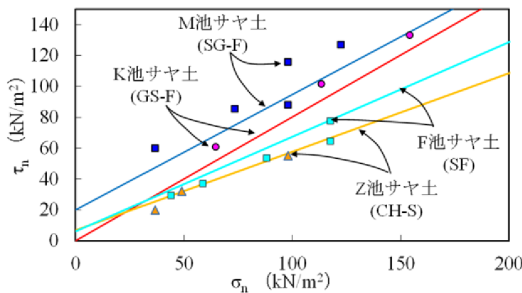
途採取した不攪乱試料を用いて三軸圧縮試験を行い、孔内回転せん断試験の結果と比較した。

4. 試験結果： 孔内回転せん断試験により計測したせん断応力と回転角度の関係の一例を Fig.5 に示す。また、拘束圧 σ_n に対してせん断応力のピーク値をプロットした結果を Fig.6 に示す。

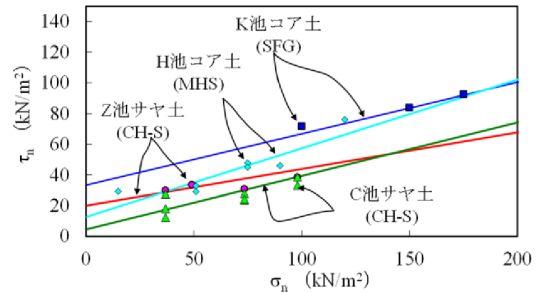
Fig.6(a)は浸潤線より上の不飽和領域で試験を行った結果であり、三軸圧縮試験の CD 強度の破壊包絡線を実線で併記している。礫を多く含む M 池でばらつきがあるものの、孔内回転せん断試験結果は、土質によらず三軸圧縮試験結果と良好な一致を示している。Fig.6(b)は、浸潤線以下の飽和領域での試験結果であり、三軸試験の CU 強度の破壊包絡線を併記している。Z 池では、Fig.6(a)に示す浸潤線上（堤体材料は浸潤線下と同一）の試験結果より ϕ （勾配）が小さく、 c が大きい結果となった。

5. 考察： 浸潤線より上での試験では三軸 CD 強度と比較的良好な一致が見られ、提案する孔内回転せん断試験が従来方法（不攪乱試料を用いた三軸圧縮試験）に代わるせん断強度測定手法として適用可能であることが分かった。ボーリングと比較して、約 5~6 割のコストで安定解析に必要なせん断強度を原位置で測定することができる。飽和領域の試験では、不飽和領域の場合と比較して ϕ が小さく、三軸 CU 強度と近い値を示す結果となった。これは、回転せん断により過剰間隙水圧が発生するためだと考えられる。今後はせん断中の間隙水圧の発生状況等を調べ、CU 強度として取り扱えるかどうか検討する必要がある。

- 1) 近藤巧・大北耕三、地盤内空洞自沈領域の詳細調査方法およびその調査機、地盤工学会誌 56(9), 30-31, 2008
- 2) 堀俊和他、サウンディング試験機を用いた盛土斜面の原位置孔内回転せん断試験方法、第 47 回地盤工学研究発表会



(a) 浸潤線より上での計測(三軸試験は CD 強度)



(b) 浸潤線より下(三軸試験は CU 強度)

Fig.6 孔内回転せん断試験と三軸圧縮試験のせん断強度の比較
シンボル：孔内回転せん断試験、実線：三軸圧縮試験

Shear strength obtained from “Bore hall rotation shear tests” and tri-axial tests

Table1 調査ため池の諸元と調査地点の特性
Specifications of investigated dams and survey points

名称	堤高 (m)	型式	試験箇所	試験平均深度(m)	試験位置の土質
K池	20.2	前面コア	コア(浸潤線下)	1.8	SFG
			サヤ土(浸潤線上)	7.3	GS-F
M池	18.3	前面コア	サヤ土(浸潤線上)	3.8	SG-F
			サヤ土(浸潤線下)	4.4	CH-S
Z池	12.3	前面コア	サヤ土(浸潤線上)	1.1	CH-S
			サヤ土(浸潤線下)	4.4	CH-S
C池	5.2	前面コア	サヤ土(浸潤線下)	3.0	CH-S
F池	5.0	均一	サヤ土(浸潤線上)	1.9	SF
H池	14.4	前面コア	コア(浸潤線下)	1.6	MHS



Fig.4 孔内回転せん断試験の状況
Photo of “Bore-hall Rotation Shear Test”

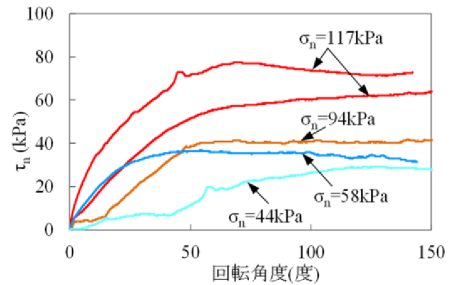


Fig.5 回転角度—せん断応力関係 (F 池)
Relationships between shear stress and rotation angle