

I-21 壁体構造物のすべり出し抵抗

名古屋大学工学部 正員 市原 松平
同 大学院 学生員 伊藤 克彦
同 大学院 学生員 寺本 博巨

1. 概 説

重力式壁体は、一般にその底面に作用する基礎地盤からの摩擦力によって、その水平力に抵抗しているものである。しかるに、壁体から基礎地盤に作用する鉛直荷重が増加したり、あるいは、作用合力の偏心距離が増大すると、基礎地盤は、せん断破壊をおこし、壁体は、水平力に対してわずかな抵抗しかもちえないことになる。

基礎地盤に偏心傾斜した荷重が作用した場合の壁体の有するすべり出しに対する抵抗、または、そのときの地盤の支托力を研究するために実験をくりがえしてきたので、ここにその一部について発表する。

2 実験装置ならびに実験方法

写真-1、写真-2に示すような砂層に砂を盛に充填し、その表面に載荷板をおき、それに、載荷用フックによって鉛直力を、ワイヤーロープによって水平力を負荷した。載荷板の水平変位と、ワイヤーロープの引張り力との関係を測定し、あわせて載荷板下の砂層のせん断破壊を観察した。

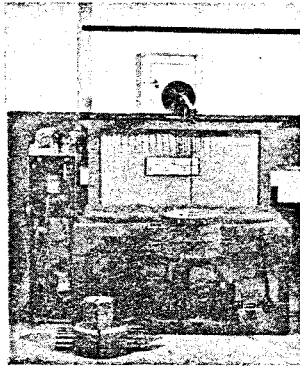


写真-1 装置正面

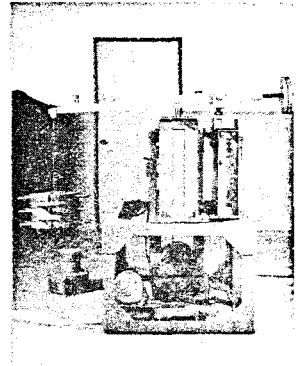


写真-2 装置側面

載荷板に水平変位を与えたときに、載荷板への鉛直力 V の作用点が変わらないよう、鉛直力載荷装置は、載荷板と同一速度で砂層上をなめらかにうごくようになっている。載荷板を引くワイヤーロープの一端は、砂層の下に据けられたモーターに直結した減速機に結びつけ、ロープの中間には、置針式計測秤がおかれ、それを用いて水平引張り力を測定した。鉛直荷重は、 $V = 800 \text{ kg}$ まで、水平荷重は、 $H = 300 \text{ kg}$ まで載荷できる。これらの大荷重の載荷中に、砂層の側壁がたわみ、中間主応力の減少により、平面びずみ状態が保持されなくなることとを恐れて、砂層の各部にわたって剛性もたせた。

実験に使用した土は、乾燥した豊浦標準砂で、これを密なる状態($\rho = 1.578 \text{ g/cm}^3$)のもとで実験した。主として使用した載荷板は、 $B \times L = 15 \text{ cm} \times 15 \text{ cm}$ の大きさのものである。鉛直力 V の偏心距離 e は、 $\pm B/4$ と 0 である。ここに B は載荷板の巾を、 e の正は、載荷板の中心から引張り力の作用する方向に偏心した場合を示す。砂層内の砂を、バイブレーターを用いて一様に締固められたのち、砂表面に載荷板をおき、鉛直荷重 V を与えてから、水平力 H を徐々にくわえた。砂塊がせん断破壊をおこすときに砂塊と砂層側面との間の摩擦が問題になるが、この値は、別の実験によって求めた。

3 実験結果とその考察

(1) すべり出し抵抗 S と鉛直力 V との関係

水平力 H と載荷板の水平変位 δ との関係の一例を図-1に示す。図-1より、水平力 H がその最大値 H_{max} に達するまでに、載荷板は、 $2\text{mm} \sim 5\text{mm}$ の水平変位をすることがわかる。また、水平力 H が、その最大値 H_{max} に達すると、載荷板面の砂層には、写真-3等に見えるようなセン断破壊が突然おこる。若し鉛直力 V に対する水平力 H の最大値 H_{max} から破壊時に生ずる載荷板下の砂塊と砂層側面との間の摩擦力を除いた値が、真のすべり出し抵抗 S である。この側面摩擦の算定には、図-2に示すような実験的外挿法を適用した。

このようにして求めたすべり出し抵抗 S と鉛直力 V との関係を、鉛直力の偏心 $e_0 = 0$ に対して図-3に、 $e_0 = \pm B/4$ に対して図-4に示した。図-3、図-4における実線、 $S = \mu V$ は、載荷板がその底面と砂表面との境面ですべったときのすべり出し抵抗 S と鉛直力 V との関係を示すものである。ところで、実測値が示すところによれば、鉛直力 V の大きさや、その偏心距離 e_0 の絶対値が増加するに従って、載荷板は、砂層内部のセン断破壊に基づくすべり出しをおこし、そのすべり出し抵抗は、 $S = \mu V$ よりも小さい値しか期待しえないことがわかる。

ところで、このセン断破壊に基づくすべり出し抵抗を求めることは、見方をかえれば、偏心傾斜

荷重を受ける帯状基礎の支持力を決定することには地にならない。要するに、従来の壁状構造物の安定計算における“滑動”と“支持力”に関する2つの検討を、“すべり出し抵抗”という単一一つの概念で検討しようとするところに、この研究の特色がある。偏心傾斜荷重を受ける帯状基礎の支持力は、Meyerhof や Hansen や 立石 等によってすでに研究されている。図-3、図-4には、彼らの式をもとにして計算した結果が示されている。ところで、実測値は、鉛直力 V の偏心 e_0 を一定にした実験よりえられたもので、鉛直力と水平力の合力の偏心 e を一定にした実験よりえられたものではない。そのため計算値は、ある一定の偏心 e_0 に対する実測値のうち、最大の e と最小の e に対して求めらる計算値により囲まれた領域として示されている。図-3、図-4より、計算値は、実測値に比較して

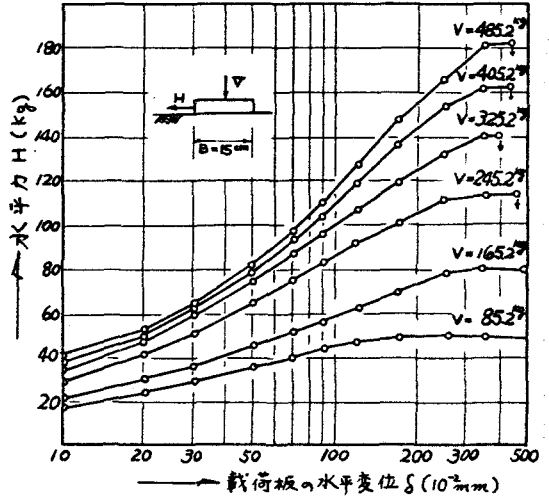


図-1 水平力 H と載荷板の水平変位 δ との関係

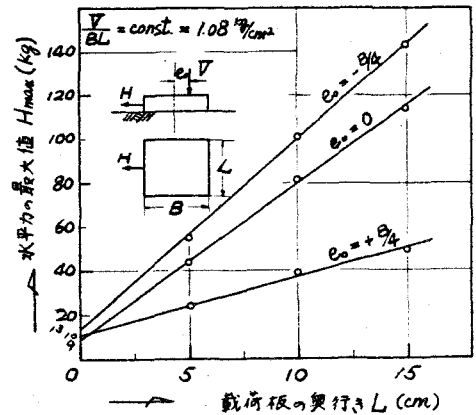


図-2 側面摩擦算定のための実験的外挿法

余りにも小さなすべり出し抵抗しか算定していないことがわかる。また、これらの式は、荷重の偏心の影響を載荷板の有効巾という概念で置き換えているため、偏心距離が同じであれば、偏心の正負にかかわらずすべり出し抵抗 S は、全く同じものであると考えている。この考え方は、実験結果から判断して、特に大きな誤りといわねばならない。要するに、彼らの計算式が、今回の実験結果を十分に説明できなかったことから、さらに現実に即した新しい計算方法を確立することが必要であろう。

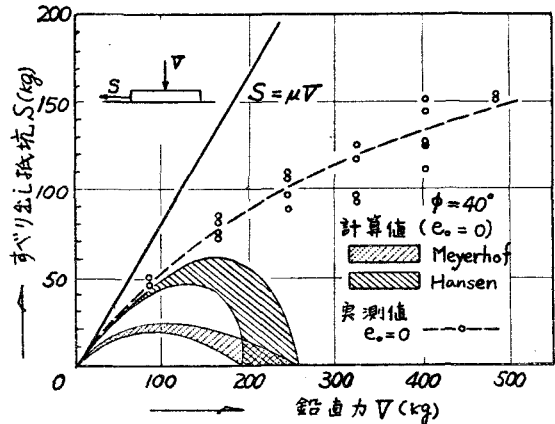


図-3 $e_0=0$ に対する鉛直力 V とすべり出し抵抗 S との関係

(2) セン断模様の観察

砂層内のセン断模様を綿密に観察することは、より正確なすべり出し抵抗算定式を確立する上で、とくに必要なことである。

写真-3、写真-4、それに写真-5は、鉛直力を $V=400$ kgとした場合の、各偏心距離 $e_0=+B/4$ 、 0 、 $-B/4$ に対するセン断模様を示したものである。これらの写真より、載荷板底面におけるすべり面の出発点は、破壊直前の水平力 H と鉛直力 V との合力の載荷板底面への作用点付近であることがわかる。また、すべり面の形状は、直線と対数ラ線とを組合せた複合すべり面か、あるいは、円形すべり面として近似しうることもわかる。

つぎに、すべり破壊をおこした後の砂層に、細い針金を貫入させ、その

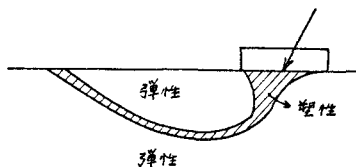


図-5 破壊後の砂層内に生じる塑性域

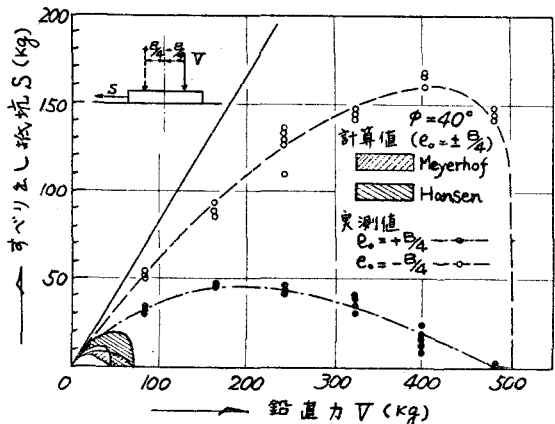


図-4 $e_0=\pm B/4$ に対する鉛直力 V とすべり出し抵抗 S との関係

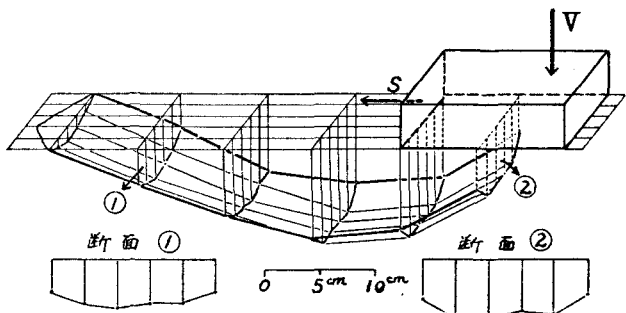


図-6 砂層内部のすべり面の状態

貫入坑を測定した。図-5, 図-6は、その結果を示したものである。これによると、砂槽内には、2つの異なる領域、すなわち、密な固い弾性的領域と、グザグザした軟い塑性領域とが存在することがわかる。そしてすべり面自体は、ほぼ5mm程度の厚さをもち、グザグザした軟い塑性状態の層状をなし、それによって固められた内部の砂は、固く弾性的であった。これは、すべり面内部の砂が単塊として移動したことを示すものであろう。さらに注目すべきことは、載荷板直下の砂層が、前述したすべり面のそれと同じように、グザグザした軟い塑性状態を示したことである。これは、破壊時に載荷板底面の大きな摩擦力によって、その下部の砂層が乱された結果生じたものであるとも考えられるが、従来から載荷板直下の砂層に想定されている弾性的な楔（クリジモフの上楔）の存在を否定するかのようにも思われる。

4 結 語

壁体構造物の安定問題を、新たに製作した装置を用いて、すべり出し坑という見地から実験的に究明し以下に示す諸点を明確にすることができた。

1) 壁体構造物等に関する2次元実験をおこなう場合には、載荷板下の砂層が、平面ひずみ状態を十分保持しうよう、砂槽には十分な剛性を持たせねばならない。

2) 従来の壁体構造物の安定解析のうち、滑動と支持力に対する2つの検討は、すべり出し坑に対する検討のみを以てそれらに置換えることができる。

3) MeyerhofやHansenの支持力式より得られるすべり出し坑値 S は、実験値よりほんかに小さく、かつ偏心の正負によって生ずるすべり出し坑値 S の変化を全く考慮に入れていない。

4) 載荷板底面におけるすべり面の出発点は、破壊直前の水平力 H と鉛直力 V との合力の載荷板底面への作用点付近である。

5) すべりをおこなった後の砂層は、密な固い弾性的領域と、グザグザした軟い塑性領域とから成り、載荷板直下の砂層や、そこから出発している厚さ5mm程度の層状のすべり面は、塑性的領域と、その他の部分は、弾性的領域を示した。

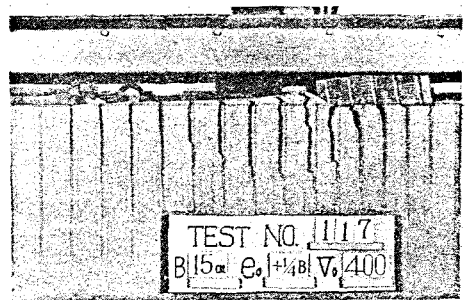


写真-3 $e_0 = +\frac{1}{4}$ $V = 400 \text{ kg}$

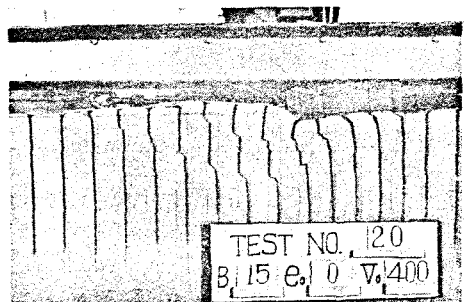


写真-4 $e_0 = 0$ $V = 400 \text{ kg}$

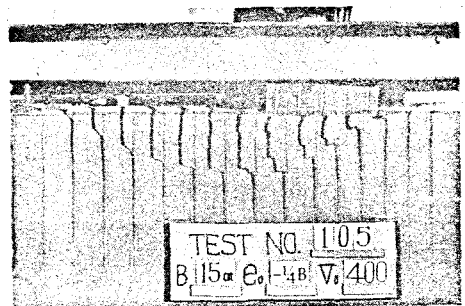


写真-5 $e_0 = -\frac{1}{4}$ $V = 400 \text{ kg}$