

受働土圧や土塊の抵抗力による落石防護土堤の耐力評価に関する検討

名古屋工業大学 学生会員 ○近藤 慶亮 正 会 員 前田 健一  
学生会員 磯合 凌弥 学生会員 木村 絢  
(国研) 土木研究所寒地土木研究所 正 会 員 中村 拓郎  
(株) 構研エンジニアリング 正 会 員 牛渡 裕二  
豊橋技術科学大学 正 会 員 内藤 直人

1. はじめに

落石対策工の主な設計マニュアルに位置付けされている落石対策便覧<sup>1)</sup>に示される落石防護土堤(以下、単に土堤と示す)は土のみで構成され、施工方法が比較的容易かつ経済面で優れている。しかし、土堤で吸収・消散する落石エネルギーについては定量的に示されていないのが現状である。そこで、本研究では、土堤耐力の算定方法を検討するため、実規模の1/2スケールの土堤を対象とした静的載荷試験結果と、受働土圧や土塊の抵抗力から算出した耐力の計算値を比較した。

2. 実験概要及び計測項目

図-1 に実験概要図、図-2 に実験風景写真を示す。土堤部及び基礎部は、表-1 に示す物性値の砂を用いて基礎部と実規模の1/2縮尺を想定した土堤部で構成される縮尺模型とした。実験は重錘に接続した油圧ジャッキにより、土堤に水平に載荷させた。実験では EOTA 型重錘(直径 0.5m)を使用した。土堤は厚さ 0.25m 毎に、基礎地盤は 0.3m 毎に敷き均し、振動締固め機を使用して構築している。計測項目は、ロードセルによる載荷荷重、ワイヤ式変位変換器による水平方向の重錘貫入量、ビデオカメラによる土堤変状計測及び土堤載荷点内部に埋設した着色砂による土堤断面の変状である。

3. 実験結果及び考察

3.1 土堤法面変状

図-3 に載荷終了時の土堤法面の様子を示す。図-3 より、載荷痕は横幅 0.47m、縦幅 0.6m、深さ 0.22m であり、非載荷面では横幅 1.62m、法面 0.89m の範囲に押抜き破壊による変形が発生していた。

3.2 土堤断面変状

3.2.1 変状メカニズム

図-4 に載荷終了時の土堤断面を示す。赤線で載荷前

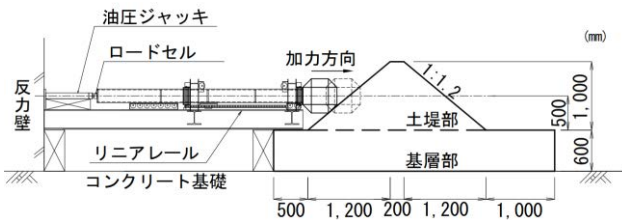


図-1 実験概要図

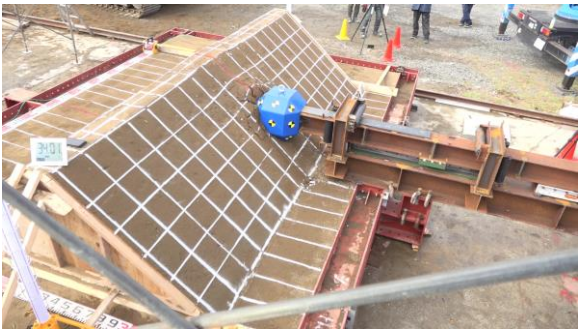
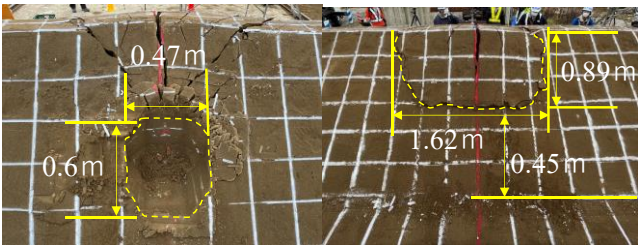


図-2 実験風景写真

表-1 物性値一覧

| 項目                  | 単位                | 試験結果   |
|---------------------|-------------------|--------|
| 地盤材料の分類名            | -                 | 分球された砂 |
| 分類記号                | -                 | SP     |
| 土粒子の密度              | g/cm <sup>3</sup> | 2.69   |
| 60%粒径 $D_{60}$      | mm                | 0.276  |
| 均等係数 $U_c$          | -                 | 1.83   |
| 内部摩擦角               | °                 | 35     |
| 湿潤単位体積重量 $\gamma_t$ | kN/m <sup>3</sup> | 14.4   |



(a) 載荷面 (b) 非載荷面

図-3 実験終了後の土堤法面変状

キーワード 落石, 落石防護土堤, 静的載荷実験, 受働土圧, 破壊性状, 終局荷重

連絡先 〒466-8555 愛知県名古屋市昭和区御器所町  
名古屋工業大学 16 号館 227 号室 TEL 052-735-5497

と載荷終了後の重錘位置を示す。図-4より、非載荷面のクラックにつながる想定すべり線は、載荷面から土堤中央部まで概ね水平方向に進展し、その後天端方向に進展して非載荷面でひび割れが発生したと考えられる。この破壊性状について、まず青枠部では、着色砂の間隔が狭くなっていることから、重錘の貫入に抵抗しきれず土堤が真横にずれたと考える。また赤枠部では、想定すべり線と水平方向とのなす角が約23°で、今回用いた砂材料の受働崩壊角が28°と近い値を取ったことから受働崩壊によって想定すべり線が斜めに進展したと考える。この考察を基に土堤耐力の算定方法について推察する。

### 3.2.2 最大荷重発生時

図-5に荷重貫入量曲線を示し、各事象の発生点をプロットで示す。まず、最大荷重発生点では赤枠部で受働崩壊が発生したことから、受働土圧が作用していたと考える。受働土圧の合力を概算すると、

$$p_p = \frac{1}{2} \gamma_t H^2 K_p z$$

$$= \frac{1}{2} \times 14.4 \times 0.75^2 \times \tan\left(45^\circ + \frac{35^\circ}{2}\right) \times 1.05 = 15.7 \text{ kN}$$

ここで、 $\gamma_t$ ：土の湿潤単位体積重量

$H$ ：受働土圧が作用する高さ（m）

$K_p$ ：ランキンの受働土圧係数

$$(K_p = \tan^2(45^\circ + \varphi/2))$$

※三軸圧縮試験結果より  $\varphi = 35^\circ$

$z$ ：土堤延長方向のすべり範囲（m）

図-3より載荷面と非載荷面の押し抜き幅の平均 ( $z = (0.47 + 1.62)/2 = 1.05 \text{ m}$ )

よって、受働土圧の概算値は15.7kNで実験の最大荷重17.8kNに概ね近い値を取った。

### 3.2.3 終局荷重発生時

終局荷重発生時には土堤が押し抜かれ、押し抜かれた土塊重量分の摩擦力に加え、赤枠部の23°上方に押し上げられた土塊の重さ分が抵抗力として作用したものと考え、この抵抗力を概算する。まず、土塊の重量を概算すると、(但し、青枠部と赤枠部で力の方向が違うのでそれぞれ青枠部(A)、赤枠部(B)に分けて考える。)

$$W_A = \gamma_t S_A z = 14.4 \times 0.338 \times 1.05 = 5.11 \text{ kN}$$

$$W_B = \gamma_t S_B z = 14.4 \times 0.378 \times 1.05 = 5.75 \text{ kN}$$

ここで、 $S$ ：図-4から概算した土塊の断面積（m<sup>2</sup>）

次に、土塊底面に働く水平方向の摩擦力は、

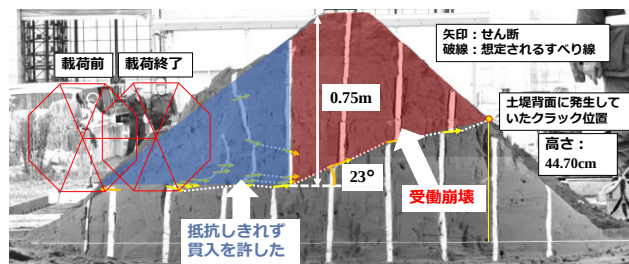


図-4 載荷終了時の土堤断面変状

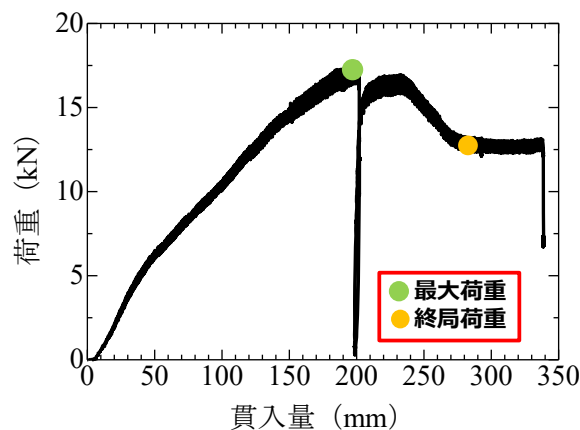


図-5 荷重貫入量曲線

$$F_A = \mu W_A = 3.58 \text{ kN}$$

$$F_B = W_B \times \frac{\sin 23^\circ + \mu \cos 23^\circ}{\cos 23^\circ - \mu \sin 23^\circ} = 9.20 \text{ kN}$$

ここで、 $\mu$ ：摩擦係数 ( $\mu = \tan \varphi = \tan 35^\circ$ )

以上より、押し抜かれた土塊の抵抗力は、

$$F_I = F_A + F_B = 12.8 \text{ kN}$$

よって、押し抜かれた土塊の抵抗力の概算値は12.8kNで実験の終局荷重13.0kNに近い値を取ったが、若干小さい値を取った。この理由としては、実際には砂材料であっても粘着力を有しており、これによる抵抗力を見込まなかったためと考えられる。今後は、土堤耐力の算定方法の確立に向けて、材料や寸法の違いによる影響も別途確認する必要がある。

## 4. まとめ

本稿により得られた知見を以下にまとめる。

- 1) 静的載荷実験において土堤内部のすべり線は、載荷面から土堤中央部まで概ね水平方向に進展し、その後天端方向に進展し非載荷面でひび割れが発生したと考えられる。
- 2) 本研究の範囲において、土堤耐力の実験値と受働土圧から求めた耐力の計算値は概ね一致した。

## 参考文献

- 1) 公益社団法人日本道路協会：落石対策便覧，2017。