

# 1240

## 降雨による盛土崩壊予測のための散水模型実験

(株)複合技術研究所 正○小椋千夏  
(財)鉄道総合技術研究所 正 村田 修 小島謙一 平山勇治  
三菱重工株式会社 紀 博徳 伊藤裕昌

### 1. はじめに

降雨は、地震とともに盛土に災害を発生させる大きな要因の1つであり、過去においても大きな被害をもたらしていることから、運転規制の指標ともなっている。したがって、降雨時における構造物の変状を早期に検知することは、列車の安全かつ効率的な輸送につながると同時に、大災害を防止することも可能となるため、重要な課題となっている。

近年、開発が進んでいる光ファイバーセンサーは、簡易であることや連続的に任意の箇所のひずみを求めることが可能であるため、鉄道盛土の計測管理への適用が求められている。しかし、センサーの計測精度や構造について未解明な部分が多く、未だ適用するには至っていない。本研究は BOTDR 方式の光ファイバーセンサーを降雨時の盛土の挙動の計測管理に用いることを目的とし、降雨時を模擬した散水実験から盛土の計測管理のためのセンサーとして光ファイバーセンサーの適用性について評価・検討したものである。

### 2. 実験概要

#### (1) 実験盛土の構築

実験盛土を図-1に示す。幅 2.25m、高さ 1.2m、奥行 1.0m の鋼製小型土槽内に、縮尺比 $\lambda=1/10$ で高さ 0.6m、施工基面 0.5m、のり勾配 1:1.5 の実験盛土を構築する。盛土材は  $w=18\%$ 程度に含水比調整した稲城砂を6層にわけて土槽内に撒きだし、転圧を行うことで最適乾燥密度の 95%となるように盛土を構築した。用いた稲城砂の物性を表-1に示す。盛土内部のひずみは、光ファイバーセンサーで計測することが望ましいが、盛土の縮尺上 BOTDR 方式の光ファイバーセンサーでは測定可能なゲージ長を確保することは難しい。本実験の目的は、発生する土中のひずみが適正な計測範囲内かどうかについて検討することであるため、ここでは同一の形状のセンサーにひずみゲージを貼り付けたものを使用した。センサーには、既に行った盛土載荷実験により得られた最も適正な杭の剛性から、相似則を用いて、厚さ 0.2 mm、幅 9 mm、長さ 300 mm のリン青銅板を使用した。ひずみゲージは、曲げと引張の両方の変形が検知できるように 30 mm の間隔で片面に 5 枚ずつ、合計 10 枚貼り付けた。このセンサー杭を盛土天端より 0.2m、0.4m の深度に、水平に 400 mm 間隔で千鳥配置 (2 列) で設置し、パソコンにより自動計測を行った。また、盛土内部の水位変化を測定するために、鋼製土槽の底面に設けられた貯水ホールから、7 個のマノメータを設置し、盛土内水位を計測した。

#### (2) 実験 (降雨) 条件

表-2に各々の実験条件を示す。CASE 1は散水強度を一定とし、盛土全面に散水した。散水強度は過去の災害事例と、今回用いた盛土材から水位の上昇しやすい条件を考え  $R=30 \text{ mm/hr}$ と設定した。CASE 3については CASE 1の実験結果から水滴による局所的崩壊の防止と、盛土内水位をより上昇させるため  $20 \text{ mm/hr}$ と決定した。また CASE 2および CASE 3は、設定した散水強度では盛土が崩壊しなかったため、途中で散水強度を増加させた。CASE 3は CASE 1同様、盛土全面に散水しているが、CASE 2はのり面が張りコンクリート等で覆われた場合を想定し、のり面に散水しない条件とした。

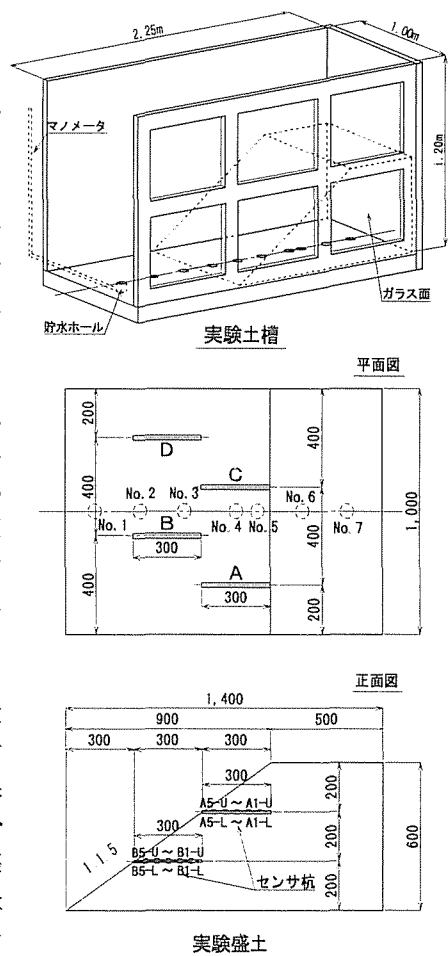


図-1 模型盛土の概要

表-2 実験条件

CASE	1	2	3	3'
降雨量	30 mm/hr	30, 60 mm/hr	20~60 mm/hr	70~140 mm/hr
状態	全面散水	のり面被覆 散水開始後 782 分後、 被覆除去	全面散水 散水開始後 736 分後、 のり面に切りこみ入れる	全面散水 CASE3 終了 535 分後、 実験再開
備考	散水開始 293 分後 実験終了	散水開始時 30 mm/hr 散水開始 756 分後から 60 mm/hr 散水開始 817 分後実験終了	散水開始時 20 mm/hr 散水開始 645 分後から 30 mm/hr 散水開始 686 分後から 60 mm/hr 散水開始 807 分後実験終了	散水開始時 70 mm/hr 散水開始 35 分後 100 mm/hr 散水開始 73 分後 140 mm/hr 散水開始 210 分後実験終了

表-1 試料の物性値

最大乾燥密度 $\rho_{dmax}$	1.582 g/cm <sup>3</sup>
含水比 $w$	約 18 %
湿潤密度 $\rho_t$	1.774 g/cm <sup>3</sup> ( $\rho_{dmax}$ の 95% 締固め)

### 3. 実験結果

#### (1)最大ひずみ量と変形モードの評価

各ケースのセンサーに発生した変形初期（急激に水位が上昇した時間）と実験終了時の最大ひずみ量を表-3に記した。CASE1は実験開始20分後から、盛土左側ののり肩の一部に水みちが発生し、その部分から局所的に侵食が進行した。実験終了時にはのり肩部が滑落し、滑落した土塊がセンサーを覆うような状態となったため、センサーの変形は曲げ変形となった。また、大きく崩壊したため、CASE1のひずみは他のケースと比較し、非常に大きな値を示した。

CASE2はCASE1同様、降雨開始20分後から水みちが発生したが、のり面被覆のため侵食の進行は遅く、盛土は破壊(すべり)に至らなかった。引き続き降雨量を60mm/hrに変更し、実験を継続したが、破壊せず終了した。センサーの変形モードは伸び変形となっている。雨による強度低下により、盛土全体が開放面側に変形したためではないかと考えられる。センサーBのみ曲げ変形で大きな値となったが、変形状態から考えると、データの信頼性に乏しいと考えられる。

CASE3はCASE1の実験結果を踏まえ、降雨量のみ20mm/hrに変更した。降雨開始180分後、センサーC付近ののり肩に水みちが発生し、徐々に進行するが、大きな侵食には至らなかった。その後、降雨量等を変化させ、CASE3'の実験を行うが、盛土全体の破壊は生じなかった。センサーC付近から発生した局所的な変形により、センサーは曲げ変形を示した。しかし、全体的な破壊に至らなかったため、ひずみとしては非常に小さい値となった。

CASE1~3において発生したひずみの変形モードは、比較的変形の小さなもの(盛土の形状があまり損なわれてないもの)については引張ひずみが支配的であり、局所的であれ大きな変形が発生したものについては、センサー全体がすべり土塊とともに変形しない限り、曲げひずみが支配的となった。この結果から、大崩壊に至る前には引張ひずみが卓越する(局所的な変形が進行する場合は別であるが)ことが想定される。光ファイバーセンサーは引張、曲げ変形ともに計測可能であるが、その特性から引張変形の方がより精度は高い。この点から、盛土内の初期変形を検知するセンサーとしての適性が確認された。またひずみ量に着目すると、各ケースにおいて発生した最大ひずみ量は、最も小さいCASE3においても変形初期で250 $\mu$ 、最終変形時で260 $\mu$ である。光ファイバーセンサーにおける最小検出能力は200 $\mu$ 程度と言われており、最終変形時はもちろんであるが、変形初期によっても部分的に変形の進んでいる箇所を検出できることがわかった。

#### (2)構造特性の評価

実験結果の1例として、CASE3のマノメータによる盛土内部の水位の経時変化を図-2に、盛土内上段に設置されたセンサーCのひずみ変化を図-3、下段に設置されたセンサーB、Dの経時変化を図-4、5に示す。なお、センサーAは計測器の設置不良により、計測できなかった。水位は、実験開始後180-200分付近で急激な上昇が変化がみられる。実験開始より185分後に、センサーC付近で水みちが発生したことが影響していると考えられる。図3~5のひずみの経時変化と比較すると、いずれのセンサーにおいても同時刻付近で大きく増加しており、水位の上昇や盛土内のひずみの増加という盛土内の挙動を、本センサーの構造形式(杭状に千鳥配置)によって求めることができた。

### 4. まとめ

光ファイバーセンサーを用いた降雨時の盛土崩壊予測方法について、ひずみのモード、ひずみ量、センサー構造の観点から評価した結果、

- ①光ファイバーセンサーを用いて盛土内の比較的、初期の変形を計測することが可能である、
- ②杭方式のセンサーの構造で盛土内の変形状態をとらえることができる、ということが確認できた。今後は、検証解析等を行い、より効率的なセンサーを開発していく予定である。

<参考文献>1) 伊藤,紀,山浦,村田,小島: 光ファイバを用いた土構造物のひずみ計測の適用性検討,第55回土木学会年次学術講演会,2000.9

2) 小島,村田,平山,秋山,山浦: 載荷試験による光ファイバーを用いた盛土の崩壊予測センサー構造の検討: 第36回地盤工学研究発表会,2001.6

表-3 最大ひずみ量と変形モード

		CASE1	CASE2	CASE3
A	変形初期	680 $\mu$	100 $\mu$	—
	最終時	650 $\mu$	110 $\mu$	—
B	変形初期	840 $\mu$	1050 $\mu$	40 $\mu$
	最終時	980 $\mu$	1150 $\mu$	30 $\mu$
C	変形初期	1700 $\mu$	130 $\mu$	250 $\mu$
	最終時	2000 $\mu$	140 $\mu$	260 $\mu$
D	変形初期	440 $\mu$	110 $\mu$	70 $\mu$
	最終時	460 $\mu$	150 $\mu$	60 $\mu$
	変形モード	曲げ	伸び	曲げ

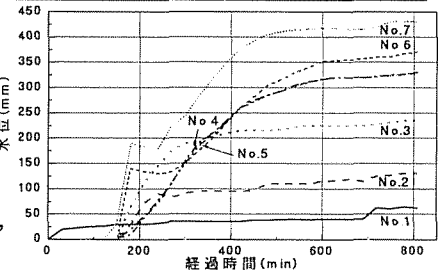


図-2 CASE-3 水位-降雨時間図

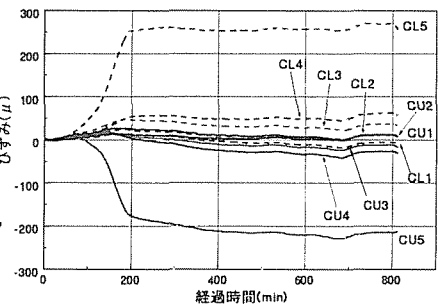


図-3 CASE-3 ひずみ-降雨時間図(上段 C)

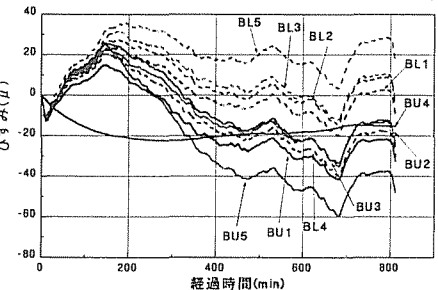


図-4 CASE-3 ひずみ-降雨時間図(下段 B)

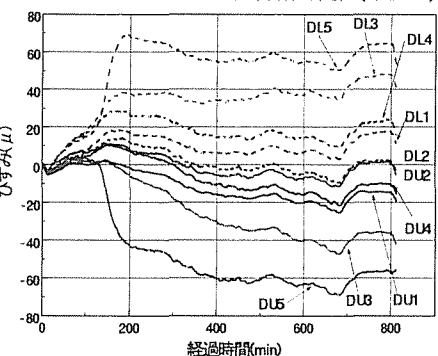


図-5 CASE-3 ひずみ-降雨時間図(下段 D)