

氾濫流による鉄道盛土のバラスト流出過程の解明

広島大学大学院 学生会員 ○上田康弘
 広島大学大学院 正会員 椿 涼太
 広島大学大学院 フェロー会員 河原能久

1. 背景と目的

近年、集中豪雨などによる水災害が全国各地で発生している。2009年8月8日に発生した台風第9号による豪雨災害¹⁾において、兵庫県西部に位置する佐用町で洪水氾濫被害が発生した。その洪水氾濫による被害として、佐用町を東西に走るJR西日本・姫新線で河川からの氾濫流によって、鉄道盛土の流出被害があった。Fig.1(a)に示す。これらの盛土流出等の被害によって、姫新線全線再開までに約2ヶ月を要した。Fig.1(b)には復興後の盛土を示す。氾濫流による越流破壊で鉄道盛土がどのように流出したのかという過程は十分明らかになっておらず、被害低減対策が十分に立てられないのが現状である。

そこで本研究では、佐用町での被害実態 Fig.1(a)を参考にし、鉄道盛土上部に設置されたバラスト域の流出過程を実験的に解明することからはじめ、鉄道盛土全体の流出過程を解明することを目的とする。

2. 現地調査

豪雨災害による鉄道網の被害は、JR西日本・姫新線では盛土流出等を含め78ヶ所、総延長3.8kmに渡る路線被害があった。この中でも佐用町早瀬は、洪水氾濫流による盛土流出被害を顕著に受けた区間であるため、この区間の鉄道盛土高さ・バラストの設置状態等の計測に加え、災害後に航空レーザー測量されたデータでは欠落している復興後のこの区間の盛土を測量した。この測量データを元に、盛土高さ・バラストの粒径を用いる実験水路のスケールに縮尺している。

実際の盛土でのバラスト粒径は20mm~90mm程度のものまで使用されており、実際のバラスト粒径 $d=20\text{mm}\sim 90\text{mm}$ に対する模型での粒径を算出すると、 $d=1\text{mm}\sim 3\text{mm}$ 程度の粒径になる。



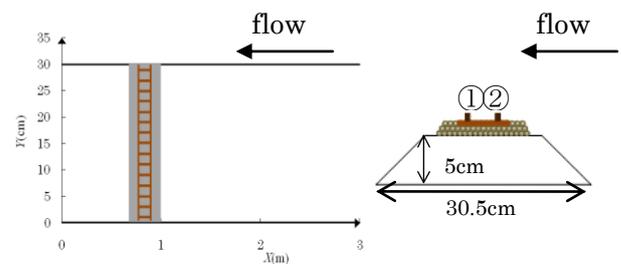
(a) 被災後 (b) 復興後

Fig.1 鉄道盛土



(a) 実盛土のバラスト (b) 模型盛土のバラスト

Fig.2 実験水路概要



(a) 平面図 (b) 断面図

Fig.3 実験水路概要

表1 越流条件

	越流状況
Case A(0.08L/s)	上流側レール②を越流しない
Case B (0.14L/s)	上流側レール②を越流し、 下流側レール①は越流しない
Case C(0.25L/s)	下流側レール①を越流

3. 実験概要

Fig.3(a)に示す直線開水路に水路を横断する形で模型盛土を設置し、河川からの氾濫流と想定して上流から一定流量を模型に通水するようにした。模型盛土を作製するにあたって、兵庫県佐用町の盛土流出箇所における復興後の鉄道盛土の測量結果と「鉄道構造物等設計標準・同解説 土構造物」²⁾より、この実盛土の縮尺 1/40 で模型を作製した。具体的に、盛土は上面から下面に向けて、軌道・枕木（木製、水路に固定）、バラスト（1mm~3mm の砂礫）、盛土は発砲スチロールにより作製し、盛土が流出しないケースと 0.1mm 以下~3mm の砂礫を用いて盛土自体が流失するケースの 2 通りを比較した。どちらのケースにおいても模型盛土の上流側法面は不透水となるよう前者は発砲スチロール、後者は木の板を設置し、模型盛土天端まで越流させるようにしている。また、模型で用いるバラスト粒径³⁾⁴⁾は、実盛土でのバラストと模型で使用するバラストの無次元掃流力 τ_* と無次元限界掃流力 τ_{*c} の比を等しくすることで縮尺 1/40 の模型での粒径を算出している。

$$\tau_* = \frac{\tau_0}{\rho g d} = \frac{\rho R I}{s d}$$

$$\tau_{*c} = \frac{u_{*c}^2}{\rho g d}$$

ここに、 $u_{*c}^2=80.9 d$ (岩垣の式)、 s :砂粒の水中比重、 d :礫の粒径である。

本実験ではバラストに用いる砂礫に色を付け、流出過程の観察をする。

Fig.2(b)に示す模型鉄道盛土に対する越流状況で 3 ケース流量を変えて実験を行った。越流条件は表 1 に示す。Case A~Case C において、模型盛土周辺での水位データの計測と設置したバラストの流出量の計測を行うとともに、写真やビデオ撮影により流出状況を観察している。このように越流条件を設定したのは、氾濫流量を増加させることによる鉄道盛土のバラスト流出への影響を検討するためである。また、この越流条件はレールに対する越流状況により設定しているため、レールの有無による影響を考慮するために枕木・レールの鉄道軌道のない場合についても同様の 3 ケースの流量で実験を行い、鉄道軌道のある場合と比較する。それぞれ上流からの氾濫

水が模型盛土上流側法面から盛土天端に越流し始めた時を $t=0\text{min}$ として $t=20\text{min}$ まで水を流し続ける。

盛土自体が流出する実験では、盛土の一部を発砲スチロールで作製し、盛土の天端から下流側にかけては盛土材料に 3 種類の砂・礫を適当な混合比で混ぜ合わせたものを使用している。このとき、適当な配合を算定するために、小さな水路を用いて簡単な試験を行っている。

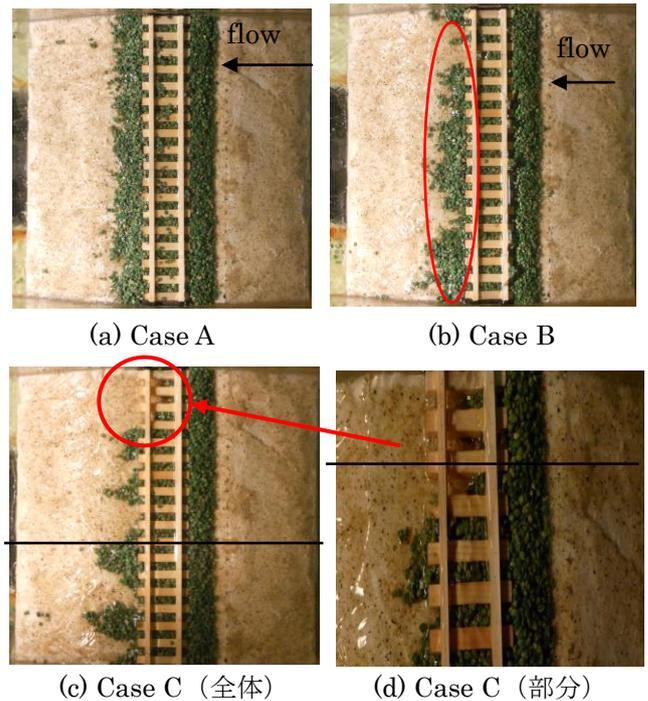


Fig.4 バラスト流出

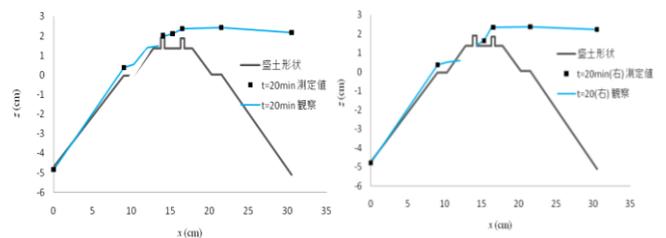


Fig.5 水面形(Case C)

4. 実験結果と考察

4.1 バラスト流出状況(枕木・レールあり)

盛土を発砲スチロールで作製したケースの結果を示す。Fig.4 の写真に Case A から Case C における $t=20\text{min}$ 後のバラスト流出状況を示す。

(Case A)

Case A では上流側のレールを越流しないため、バラスト流出はバラスト域の浸透による影響のみである。このとき、バラストの流出量はごくわずかであった。

(Case B)

Case B では上流側のレールを越流するような流れが生じている。このレールを越流後にバラスト流出が進み、赤丸で示した箇所の下流側のバラスト流出がレール下まで進行することにより、レール間から下流側レール下を抜ける流れが生じ、バラスト流出が進行する。

(Case C)

下流側のレールを越流することによって、大幅にバラスト流出が進行している。下流側のレールを越流しない Case B と比較することにより、氾濫流が下流側のレールを越流することがバラストの流出に大きく影響していることがわかる。また、Case B で形成し始めたレール下を抜ける流れ(Fig.4 (d))が発達することにより、レール下を抜ける箇所周辺のバラスト流出に影響を与えている。越流し始めでは下流側のレール全域で越流が生じているが、レール下を抜ける流れが形成されることによって、レール下を抜ける箇所周辺で下流側レールを越流しなくなり(fig.4(d)), バラストの流出状況に影響がある。

Fig.5 に Case C の黒線で記した(c)の断面と(d)の断面における水面形を示す。



(a) Case A

(b) Case B



(c) Case C

Fig.6 バラスト流出

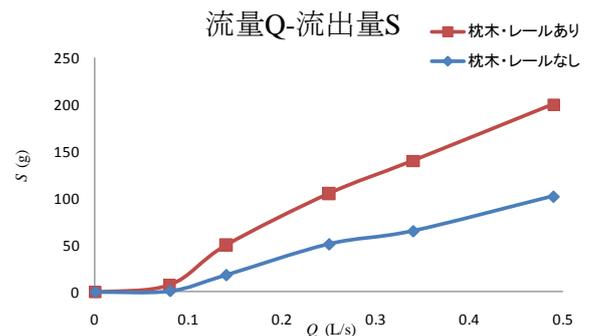


Fig.7 流量とバラスト流出量の関係

4.2 流量とバラスト流出量の関係

枕木・レールありで用いた越流条件 Case A~Case C と同様の流量を上流から供給し、3.1 と同様の実験を枕木・レールのないケースで行った。(Fig.6)

Fig.7 に鉄道軌道のある場合とない場合の流出量の比較を示す。鉄道軌道がある場合の方がない場合より流出量が多い。Case A($Q=0.08L/s$)を境に流量が多くなるにしたがって両者に差が見られる。鉄道軌道がある場合、下流側のレールを越流する際に段落ち部のバラストが大幅に流出することにより、このような結果になったと考えられる。よって、鉄道盛土では鉄道軌道を越流することにより Fig.4(c), (d) のような鉄道盛土特有のバラスト部の流出状況になることがわかる。

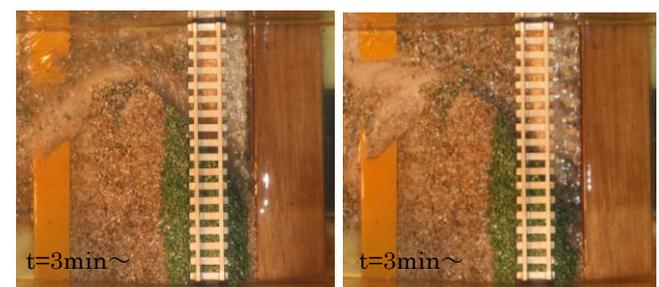
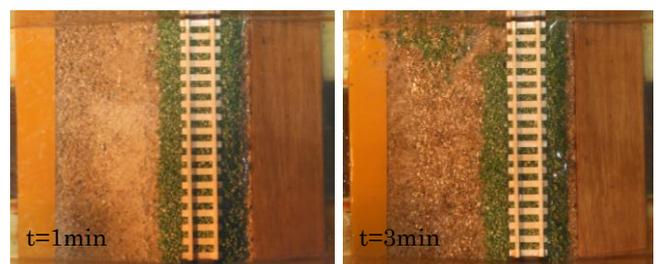


Fig.8 盛土流出

4.3 盛土流出実験

上流側の法面に設置した板から盛土天端に越流すると同時に盛土内への浸透していき、 $t=1\text{min}$ 後には盛土内へ浸透が進行しており、その後、 $t=3\text{min}$ に流出が始まるまで盛土内下流側へ浸透している。このとき、初めに流出した箇所は天端と下流側の法面の境界部で、盛土流出の直後に天端のバラストも流出しており、その後レール下のバラストが流出するとともに下部の盛土も続いて流出に至っている。一度盛土流出が始まると、上流側のレールと法面の境界から流出が進行している。

5. 考察と今後の課題

本研究では、氾濫流による鉄道盛土の流出特性を明らかにするために、直線開水路を横断する形で模型盛土を設置し、上流からの氾濫流を想定して、通水流量を変化させながら、天端に設置したレールに対する越流状況により、Case A、Case B、Case C でバラスト流出に関する実験を行った後、盛土流出に関する実験を行った。

(1) バラスト流出実験において、Case A の条件ではバラスト流出は、氾濫流が与える影響はごくわずかであったが、Case B の条件では、下流側のバラスト域でバラスト流出量が影響している。また Case C の条件では、下流側のレールを越流する際に盛土天端に対して段落ち流れとなっているため、バラスト流出に大きく影響している。これより、鉄道軌道でのバラスト流出にはレールを越流する流れが生じることにより、流出に大きく関係していることがわかる。

(2) 盛土天端を越流する際に、Case C の条件におい

て、下流側のレールまでバラストの流出が進行後に、レールの下を潜りぬけるような流れが生じ、その流れによって下流側のバラスト流出が大きく進行していく。

今回の実験では、バラスト流出の通水実験が主要なものとなっているが、実際の鉄道盛土流出を解明するためには、盛土流出実験にて、盛土全体の流出過程を解明する必要がある。そのためには、盛土に使用する材料、盛土に作用する流体力、バラスト・盛土内の透水に関する影響を考慮する必要があるなど、多くの課題が残っている。今後、氾濫流による鉄道盛土の流出特性に関して定量的な評価を行うことで、有効な対策・防災につながると考える。

参考文献

- 1) 平成 21 年台風 9 号による地盤災害調査団：平成 21 年台風 9 号による地盤災害調査報告書
- 2) 鉄道盛土構造物等設計標準・同解説 土構造物，国土交通省鉄道局 監修 鉄道総合技術研究所 編 丸善
- 3) 伊木千絵美，矢部浩規，中津川誠：河川物理環境による河道内樹木の定着について，平成 16 年度土木学会北海道支部年次技術研究発表会，2005.
- 4) 浦川文寛，相川明，河野昭子，緒方政照，名村明：バラスト軌道劣化モデルの開発を目的とした単粒度碎石の 3 次元形状計測システム，関東支部研究発表会発表講演集，地盤工学会（学術雑誌、2006）3, pp.415-419