

自然由来重金属等含有土の盛土内利用に向けた検討

稲垣由紀子・加藤俊二・佐々木哲也

1. はじめに

建設工事において自然由来重金属等を含有する土・岩（自然由来重金属等含有土、以下「要対策土」という。）に遭遇し、重金属等による周辺環境への影響について対応を迫られる事例が顕在化している。一方で、建設発生土の有効利用への社会的要請の高まりから、要対策土でも重金属等の溶出量が低いものについては安全性を確保のうえで盛土内部等への有効利用が求められている。

従来、盛土内部に要対策土を遮水性材料で封じ込めて重金属等の溶出の防止を図る方法¹⁾が多く検討されてきたが、重金属等の溶出量が低い要対策土については、覆土や盛土表面の簡易な遮水等、より簡易な方法で要対策土への水の浸入を低減し、周辺環境への影響を低減できる可能性も考えられる。

この場合、周辺地下水への重金属等の溶出による影響の評価が必要となるが、重金属等の溶出特性は要対策土への水の浸透状況の影響を受ける²⁾ため、盛土内への雨水や地下水の浸透状況の把握が重要である。

そこで、覆土による水の浸入抑制効果を把握するために、要対策土を盛土内部へ利用する状況を模擬した盛土に降雨を与える実験を行い、要対策土部分への雨水の浸透状況を詳細に調べた。

2. 表面の遮水による浸透抑制効果の確認

2.1 実験方法

要対策土を盛土内に利用した場合に覆土や盛土表面の簡易な遮水が要対策土への水の浸入を抑制する効果を確認するため、「道路土工—盛土工指針（平成22年度版）」³⁾を参考に道路盛土内への要対策土利用を模擬した高さ3mの実験用盛土を構築した（図-1）。

盛土内部に要対策土利用を模擬した部分（以下「模擬要対策土部分」という。）を、単粒度碎石4

号相当（粒径30～20mm）を不織布で覆って作製した。不織布は吸出し防止のためのもので、遮水性はない。また、模擬要対策土部分と同様の材料で、盛土のり尻に基盤排水層を設けた。模擬要対策土部分に到達する水の量を調べるため、模擬要対策土部分には集水容器およびここに到達した水を盛土外で回収できるよう塩化ビニル管を設置した。周辺は山砂を締固め度 $D_c=90\%$ を目標に締め固めた。盛土のり面には、表流水による侵食防止のために侵食防止シートを張った。

実験用盛土は、盛土表面を遮水しない盛土1、ブルーシート敷設により天端を遮水した盛土2、天端およびのり肩を遮水した盛土3を構築した。盛土3ののり肩の遮水は模擬要対策土部分先端の鉛直上方までとした。これら3体の盛土に降雨を与え、模擬要対策土部分に設置した集水容器に回収される水の量を確認した。実験では、降雨強度20mm/hで12時間降雨を与え続けて10時間無降雨とした後に降雨強度100mm/hの降雨を2.5時間与えた。

2.2 実験結果および考察

各盛土における集水容器への回収水量の累計を図-2に示す。集水容器への回収水量の累計が、盛土表面の遮水がない盛土1に対して天端のみ遮水

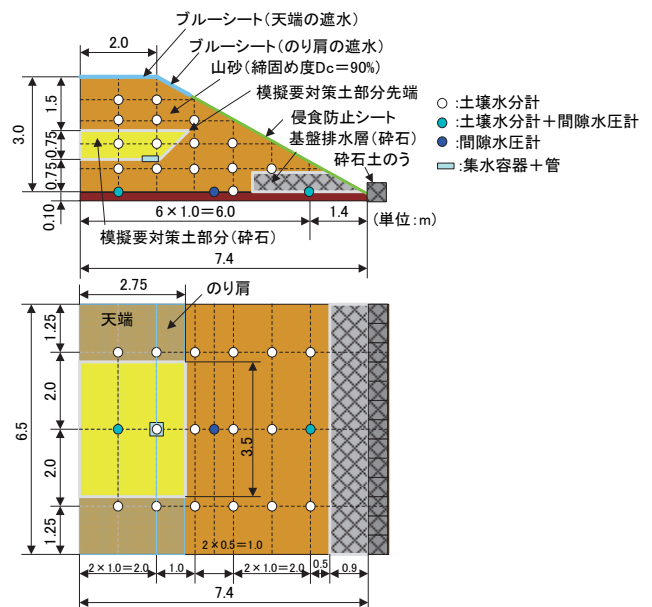


図-1 実験用盛土（盛土3の例）

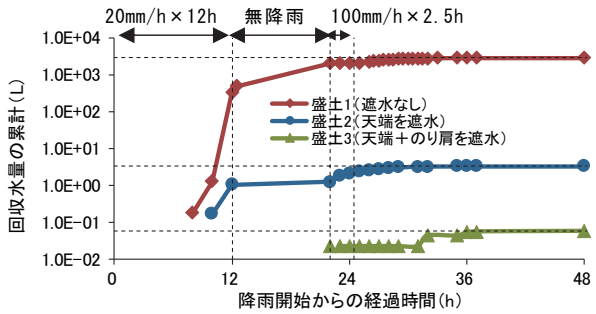


図-2 各盛土における集水容器への回収水量の累計

した盛土2では1,000分の1程度、天端とのり肩を遮水した盛土3では盛土2に比べて50分の1以下となった。

盛土の天端やのり肩の遮水という、より簡易な構造による対策で要対策土への降雨の到達を大幅に低減できる可能性があることがわかる。

3. 盛土内への降雨浸透状況の確認

盛土表面の一部を遮水した場合に要対策土への降雨の到達が抑えられるしきみを調べるため、盛土内の浸透状況を詳細に調べる実験を行った。

3.1 実験方法

実験用盛土（盛土3'）を図-3に示す。盛土内には盛土内水位を確認する間隙水圧計、含水状態を確認する土壌水分計を設置した。形状および寸法、使用材料、遮水範囲は2.1の盛土3と同様としたが、盛土内の浸透状況確認のため、以下を変更した。

- ・盛土背面の境界部からの水の流入、盛土部から基礎地盤への水の浸透を防ぐため、盛土の背面部と基礎地盤上部をブルーシートで覆った。
- ・基盤排水層からの排水量確認のため、排水を受ける枺をのり尻部に設け、枺とのり尻に露出した基盤排水層の上面は降雨よけの覆いをした。
- ・盛土内水位上昇ではなく降雨浸透により模擬要対策土部分に到達する水の量を調べるため、集水容器を模擬要対策土部分の上端に設置した。

盛土3'には、以下2ケースの降雨を順に与えた。ケース1（長雨の後に豪雨）：降雨強度20mm/hの降雨を12時間与えて10時間無降雨とした後、降雨強度80mm/hの降雨を3時間連続で与えた。ケース2（総雨量の多い長雨）：降雨強度40mm/hの降雨を連続で50時間与えた。

両ケースの開始時で盛土内の水分状態に大きな差異が出ないように、無降雨で1週間以上放置後にケース2を開始した。観測期間中、基盤排水層か

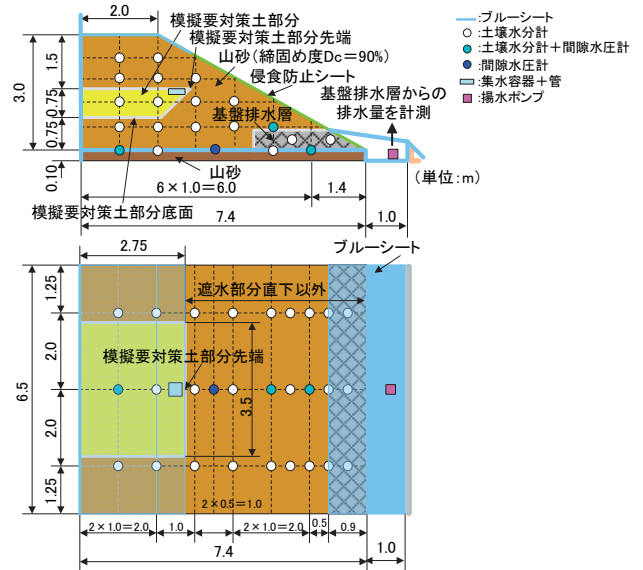


図-3 盛土3'

らの排水量、集水容器への回収水量、盛土内の飽和度、盛土内水位を計測した。

3.2 保水量等の算出方法

降雨のうち基盤排水層から排水される量（排水量）、盛土内に保水される量（保水量の変化量）、盛土内へ浸透せずにのり面上を流下する量（流下量）の関係を把握するため、盛土3'では降雨が基礎地盤へ浸透しない構造としたことから、以下の関係が仮定できる。

$$\text{降雨量} = \text{排水量} + \text{保水量の変化量} + \text{流下量}$$

降雨量は降雨強度・降雨を与えた時間・降雨を受けた面積を乗じて求めた。

保水量および保水量の変化量を求める際、盛土内を図-4中の破線で区切った各ブロックの間隙体積を求めた。間隙体積は、山砂の間隙率を土質特性と締固め度から求めた0.43、碎石の間隙率を設計計算に一般的に用いられる0.4として計算した。1時点での保水量は、各土壌水分計で計測された飽和度を当該ブロックの間隙体積に乘じ、全ブロック分合計して求めた。保水量の変化量は、着目した2時点間での各ブロックの飽和度の変化量を間隙体積に乘じ、全ブロック分合計して求めた。

流下量は、降雨量から排水量と保水量の変化量

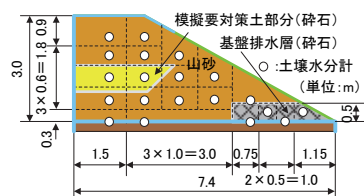


図-4 保水量等計算時のブロック割

を減じて求めた。

以下、排水量、保水量、保水量の変化量、盛土内の間隙体積は、盛土長1m当たりの量で示す。降雨量も特段断らない限り、盛土長1mのうち基盤排水層の上を覆った部分以外の盛土上に降雨として与えられる水の量（単位：m³）で示す。

3.3 実験結果

3.3.1 盛土内水位と模擬要対策土への降雨浸透

間隙水圧計により求めた盛土内水位が最も高かったのはのり尻から6.4mの位置であったが、ケース1では模擬要対策土部分底面の0.75mを超えることがなく、水位上昇による模擬要対策土部分への水の到達はなかった。ケース2では最大の時で0.93mと、模擬要対策土部分底面が浸水する水位に達した（図-5）。盛土内水位が最初に0.75mを超えたのは、降雨開始から29時間程度が経過、累計雨量で1,160mm程度に達した頃であった。

また、模擬要対策土部分への降雨浸透状況として、集水容器への回収水量を調べた。図-6はケース2の例であるが、ケース1、ケース2ともに降雨終了後に集水容器への水の回収が止まり、累計の回収水量はそれぞれ0.41L、0.61Lとなった。集水容器の鉛直上方範囲の盛土表面に降雨として与えられた水の量に対しては3.8%、1.3%にとどまった。

模擬要対策土部分への降雨浸透としては、上部からの直接の浸透と盛土内水位上昇によるものがあるが、これらの結果より、盛土表面のうち模擬要対策土部分の鉛直上方部分に当たる部分が遮水されたことで直接の浸透が大幅に抑えられたと考えられる。また、基盤排水層を設置することで、盛土内水位上昇による模擬要対策土部分への降雨流入が起こる可能性も低くなると考えられた。

3.3.2 降雨量と排水量・保水量の変化量の関係

ケース1を例に、降雨量と排水量・保水量の変化量の関係を図-7に示す。図-7では、長雨として降雨強度20mm/hで連続降雨を与えた12時間、長雨の後に無降雨とした10時間、豪雨として降雨強度80mm/hで連続降雨を与えた3時間、豪雨終了後に無降雨とした143時間に加えて、ケース1開始から終了までの全体についても示した。

20mm/hの長雨の際には、排水量・保水量の変化量の合計が降雨量とほぼ一致し、降雨のほぼ全

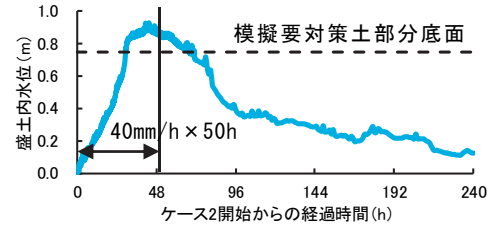


図-5 盛土内水位（ケース2）

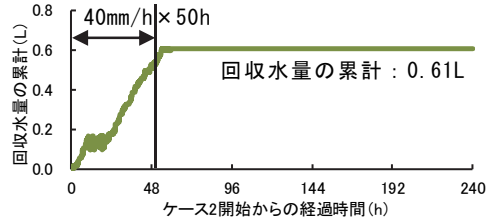


図-6 集水容器からの回収水量の累計（ケース2）

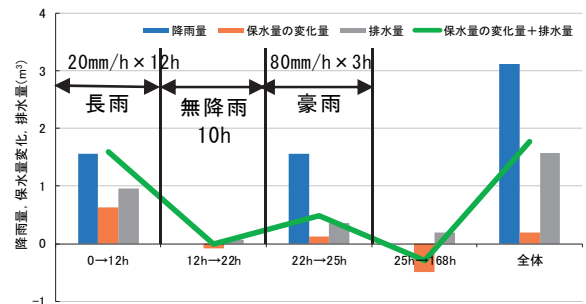


図-7 降雨量・排水量・保水量の変化量の関係(ケース1)

てが盛土内に浸透した。一方、80mm/hの豪雨の際には、降雨量が排水量・保水量の変化量の合計を上回り、降雨の3分の2程度が盛土内に浸透せずに流下した。豪雨終了後には、基盤排水層からの排水と盛土内の保水量低下が進んだ。全体では、降雨量のうち半分程度がのり面上を流下した。

基盤排水層が機能したこと、降雨のうち盛土内に浸透する量には限界があることが考えられた。

3.3.3 飽和度と流下量との関係

図-7で示したケース1の長雨、無降雨、豪雨の期間毎の盛土内飽和度分布を図-8に示す。

長雨開始（図-8(a)）後、遮水部分直下以外ののり面付近から飽和度の上昇が始まったが、その後降雨は下方へ浸透し、盛土底面付近から飽和度が上昇した。降雨のほぼ全てが浸透した長雨終了時（図-8(b)）には、多くの領域で飽和度上昇が見られた。保水量の変化量、排水量ともに少ない10時間の無降雨後（豪雨開始時）までの間には、飽和度分布に大きな変化はなかった（図-8(c)）。豪雨終了時の飽和度分布も、降雨のうち3分の1程度の浸透によりのり肩遮水先端付近で10%程度飽和度が上昇した以外に大きな変化はなかった（図-8(d)）。

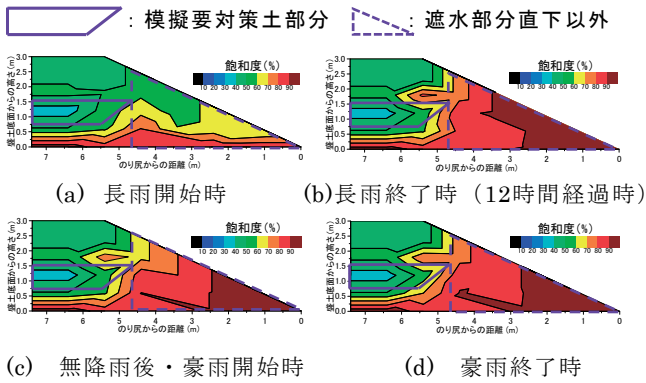


図-8 盛土内飽和度分布の例 (ケース1)

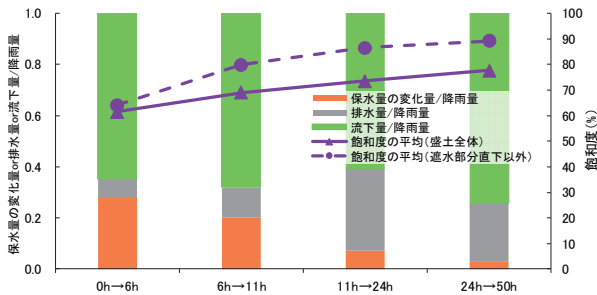


図-9 飽和度と流出量の関係 (ケース2)

長雨と豪雨の総雨量は同じであるが、豪雨開始時の方が長雨開始時よりも盛土内の飽和度が高く、盛土内が飽和に近づいていたことにより、豪雨の盛土内への浸透量が限定されたと考えられる。

また、ケース2の例であるが、保水量の変化量、排水量、流出量の割合のステップ毎の変化を図-9に示す。併せて、各ステップの初期の飽和度の平均も示す。飽和度の平均は、当該時点における保水量を間隙体積で除して求めており、盛土全体での平均と、遮水部分直下以外での平均を示した。

降雨が続くのに伴い降雨量に対する保水量の変化量の割合の減少と飽和度の上昇が見られたが、次第に飽和度の上昇が緩やかになり、降雨量に対する保水量の変化量の割合が大きく減った。

以上より、盛土内の飽和度が上昇すると、降雨量のうち盛土内への浸透量の割合が減り、流出量

の割合が増えることが確認された。長雨や豪雨に相当する降雨を受けても、盛土内の飽和度が上昇し、盛土内が保水可能な限界の保水量に達すると、それ以上の降雨が浸透しなくなると考えられる。

4. まとめ

要対策土を覆土のみで盛土内部へ利用する状況を模擬した盛土に、長雨や豪雨に相当する降雨を与え、盛土内への降雨浸透状況を調べた結果から、以下のことが考えられる。

- ・盛土の表面のうち、要対策土部分の鉛直上方を遮水するのみでも、要対策土部分への降雨の到達の大幅な低減が期待できる。
- ・長雨や豪雨に相当する降雨を受けても、基盤排水層の効果と、盛土への浸透量が限られることで、要対策土部分に到達する水の量にも限界がある。

以上より、要対策土を覆土のみで盛土内に利用し、盛土表面の一部を遮水する簡易な対策でも、要対策土への降雨の到達やそれに伴う重金属等の溶出の抑制が期待できると考えられる。今後、対策の適用に向け、盛土の基盤排水層の排水効果の評価や、盛土内の要対策土に接触した水への重金属等の溶出特性の評価法について検討し、対策工としての効果を評価する手法の検討を行っていく予定である。

参考文献

- 1) (独) 土木研究所編：建設工事で遭遇する地盤汚染対応マニュアル[改訂版]、鹿島出版会、2012
- 2) 品川俊介、安元和己、浅井健一、中川清森、佐々木靖人：盛土の築造方法の違いによる自然由来重金属等溶出特性の比較、第46回地盤工学研究発表会、pp.2077~2078、地盤工学会、2011
- 3) (社) 日本道路協会：道路土工-盛土工指針(平成22年度版)、2010

稲垣由紀子



土木研究所地質・地盤研究グループ土質・振動チーム 主任
研究員、博士(工学)
Dr. Yukiko INAGAKI

加藤俊二



土木研究所地質・地盤研究グループ土質・振動チーム 主任
研究員
Shunji KATO

佐々木哲也



土木研究所地質・地盤研究グループ土質・振動チーム 上席
研究員
Tetsuya SASAKI