

⑦-3 環境安全性に配慮した建設発生土の有効利用技術に関する研究③

研究予算：運営費交付金（一般勘定）

研究期間：平 23～平 27

担当チーム：地質・地盤研究グループ（土質・振動）

研究担当者：佐々木 哲也、加藤 俊二、稲垣 由紀子

【要旨】

自然由来重金属等含有岩石・土壌や人為汚染土壌等の対策が必要とされる可能性のある土も含め、建設発生土の有効利用が引き続き求められている。このような建設発生土の有効利用に当たっては、地盤汚染の周辺への影響を考慮したリスク評価技術や対策・モニタリング技術の確立と現場への導入が必要である。そこで、本研究では土槽実験により地下水位以下の物質移行について把握するとともに、建設発生土の利用を模擬した盛土に降雨を与える実験により盛土内への降雨浸透状況を把握した。これらの結果をもとに、建設発生土の盛土材としての利用可能性、その際の対策方法やリスク評価、モニタリングの考え方について示唆を得た。

キーワード：発生土利用、盛土、対策、リスク評価、モニタリング

1. はじめに

国土交通省の「建設リサイクル推進計画 2008」¹⁾においては、建設発生土の有効利用率を平成 17 年度の 80.1% から平成 27 年度には 90% まで向上させる目標が掲げられ、建設発生土の有効利用が求められてきた。さらに平成 26 年 9 月には「建設リサイクル推進計画 2014」²⁾が策定され、その一環として建設発生土の官民有効利用に向けたマッチング³⁾も開始されるなど、建設発生土の有効利用への社会的要請は引き続き高まっている。

また、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）や人為汚染土壌、廃棄物混じり土（以下、「要対策土」）に遭遇する事例が顕在化する中、平成 22 年 4 月には土壌汚染対策法が改正され、自然由来・人為由来を問わず要対策土への厳格な対応が求められるようになった。平野の堆積物や堆積岩類など、自然由来重金属等含有土は全国各地に分布しており、工事区域内において大量の要対策土となり得る⁴⁾。

このような土についても安全性を確保しつつ有効利用することが求められ、現状では、基準値を超えて有害物質が含まれる土や岩の存在する場所（発生源）における有害物質の含有量や溶出量によってリスク評価をする従来の考え方に対して、地盤汚染の周辺（保全対象や敷地境界等）への影響によりリスク評価を行い、それをもとに対策しながら要対策土を有効利用する考え方は提示されている⁵⁾。しかし、現場適用実績が不足しており、リスク評価のための解析条件の設定方法や、リスク評価に適用可能なモニタリング技術が確立されていないといっ

た課題がある。対策方法としては、要対策土を含む土工構造物等が構造体としての機能と地盤汚染の拡散防止の機能を併せ持ち、低コストかつ施工や維持管理の容易な対策工が求められる。

本研究では、土槽実験により地下水位以下における物質移行について把握した。また、降雨実験により、要対策土の利用を模擬した盛土が降雨を受けた場合の盛土内の水の移動について把握した。これらの結果をもとに、要対策土の盛土材としての利用可能性、その際の対策方法やリスク評価、モニタリングの考え方について示唆を得た。

2. 土槽実験による物質移行特性の把握

リスク評価に際しては、地盤汚染の原因となる物質が地下水位以下に流入した場合の移行状況を適切に評価する必要がある。本研究では、土槽実験により、物質が存在している領域（発生源）が地下水位以下にある場合の物質移行、および地下水面から物質が流入した場合の物質移行について把握した。それぞれの実験方法や結果については、2.1 および 2.2 に示す。これらの土槽実験では、物質の土への吸着が無視できる場合の物質の移行特性を把握できるよう、移行状況を見る物質は食塩とした。

2.1 発生源が地下水位以下にある場合の物質移行

2.1.1 実験方法

発生源が地下水位以下に含まれるような場合の物質移行について把握する実験に向け、図-1 に示す模型地盤を

コンクリートピット内に作製した。両端に給水タンクおよび排水タンクを設け、その間の幅1.9m×長さ7.4m×深さ2.25mの空間を地盤部分とした。各タンク内は、所定の水位を保つようにした。地盤内には採水ポイントを設置した。

表-1に示す物理特性の山砂を締め固め度85%を目標に締め固めた地盤を作製した後、給水タンクに注水、水頭差を利用して排水タンクに向かって浸水させた。なお、地盤材料とした山砂について締め固め度別の透水係数を変水位透水試験により調べたところ、表-2のとおりであった。地盤への通水が続けながら、各採水ポイントから採水した検液の塩化物イオン(Cl⁻)濃度を調べ、これをバックグラウンド値とした。

バックグラウンド値の確認後、図-1に示す発生源に当たる幅0.5m×長さ1.0m×高さ0.45mの直方体部分をくり抜き、そこへ乾燥質量に対して2%の食塩を混ぜた山砂を投入して締め固め度90%または95%を目標に締め固め、発生源を作製した。

発生源の作製後、再度給水タンクに注水し、地盤の上流端と下流端の水頭差を0.55mに保った。観測期間中、1日1回を目安に各採水ポイントから採水した検体中のCl⁻濃度を調べ、その経時変化により、食塩の到達状況を調べた。

以上の一連の実験は、発生源の締め固め度と地下水位変動の有無の条件を変え、表-3に示すような4ケースで実施した。地下水位変動のあるケース3およびケース4では、2日または3日毎に、給水タンクと排水タンクの水位を初期水位から30cm低下、回復させることを交互に行うことにより、地盤内各部の地下水位が30cmの両振幅で上下する状態の中で観測を行った。

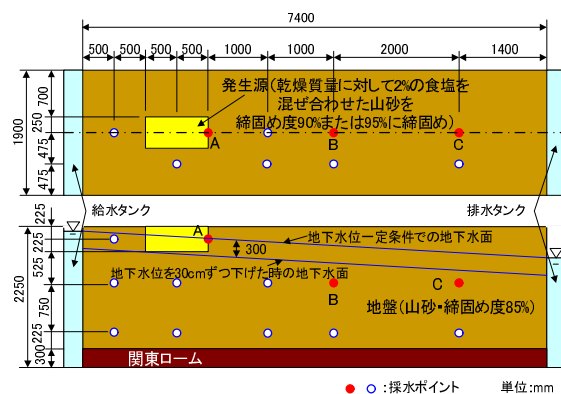


図-1 模型地盤作製状況

表-1 山砂の物理特性

土粒子密度	2.689g/cm ³
最大粒径	2.00mm
60%粒径	0.1364mm
50%粒径	0.116mm
30%粒径	0.089mm
10%粒径	0.076mm
細粒分含有率	10%

表-2 各締め固め度における変水位透水試験結果(美浦砂)

締め固め度 Dc (%)	透水係数 (m/s)
85	4.10×10 ⁻⁵
90	1.99×10 ⁻⁵
95	8.08×10 ⁻⁶

表-3 実験ケース

	トレーサー部締め固め度 Dc (%)	地盤内水位
ケース1	90%	一定
ケース2	95%	一定
ケース3	90%	変動あり
ケース4	95%	変動あり

2.1.2 実験結果

各採水ポイントにおけるCl⁻濃度のバックグラウンド値は40mg/L程度であった。各ケースの比較に当たり、図-1に示す採水ポイントA、B、CにおけるCl⁻濃度の推移に着目した。それ以外の採水ポイントにおけるCl⁻濃度は観測期間中終始、バックグラウンド値付近で推移した。

(1) 発生源の締め固め度による違い

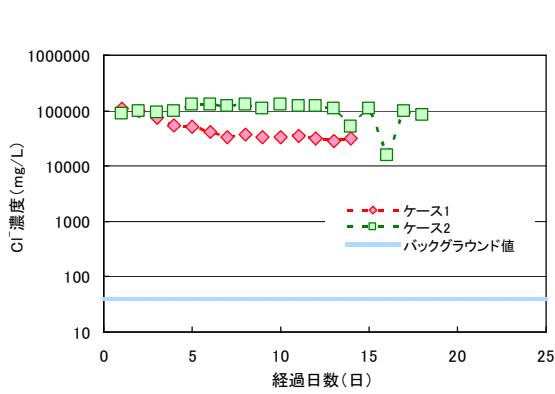
発生源の締め固め度による違いについて、表-3に示す地下水位一定のケース1とケース2の結果を例に図-2に示す。発生源下流面中心に当たる採水ポイントAでは、ケース2(発生源締め固め度95%)がケース1(発生源締め固め度90%)の2倍近いCl⁻濃度となった。発生源下流面から4m下流の採水ポイントCにおいては、ケース2で発生源の締め固め度を上げて透水性がケース1の40%程度になったと考えられ、Cl⁻濃度の上昇が見られる時期はケース1に比べて遅くなった。しかし、到達後のCl⁻濃度のレベルは両ケースで同程度であった。

(2) 地下水位変動の有無による違い

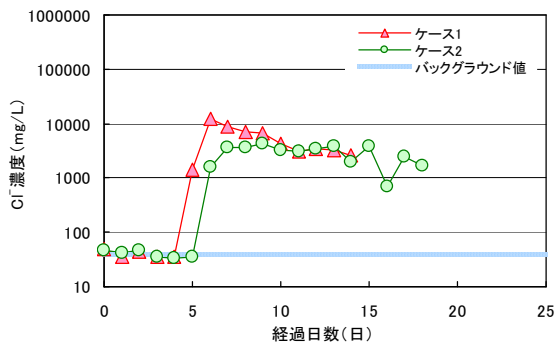
地下水位変動の有無による違いについて、発生源の締め固め度が95%の場合(表-3のケース2とケース4)を例に図-3に示す。

採水ポイントAについては発生源の締め固め度が同じであれば、地下水位変動の有無によるCl⁻濃度の推移に大きな違いは見られなかった。

発生源下流面から2m下流の採水ポイントB(地下水位が初期水位に対し30cm下がった際の地下水面からの



(a) 採水ポイント A



(b) 採水ポイント C

図-2 発生源の締固め度と Cl⁻濃度の推移
(地下水位一定の場合)

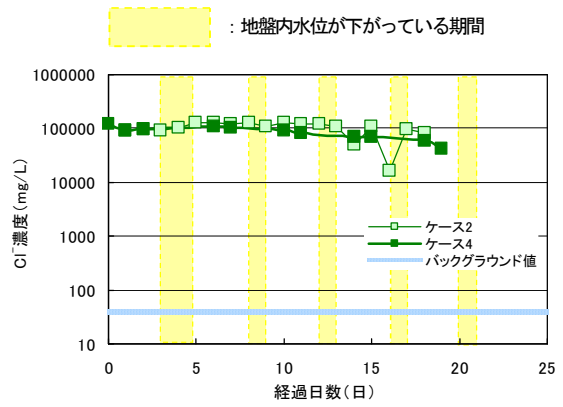
鉛直距離：28cm)においては、ケース2でCl⁻濃度の上昇が見られなかったのに対し、ケース4では4日目以降Cl⁻濃度が上昇し、採水ポイントCに近い濃度で推移した。地下水位変動により到達範囲が深さ方向に広がった。地下水位が下がり、下へ向かう地下水の流れが生じて、食塩も深さ方向に広がった状況が考えられる。

一方で、発生源下流面から4m下流の採水ポイントC(地下水位が初期水位に対し30cm下がった際の地下水面からの鉛直距離：13cm)では、5日目以降は地下水変動の有無によらずほぼ同レベルのCl⁻濃度であり、食塩が到達していた。

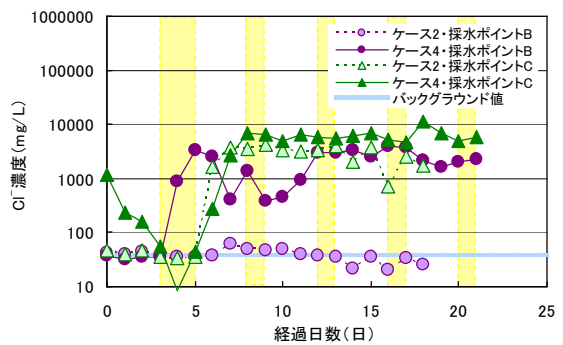
2.1.3 発生源が地下水位以下にある場合の対応

2.1.2に示した実験結果から、発生源が地下水位以下にある場合の地盤汚染に関するリスク評価や対策、モニタリングに当たって以下のようなことが示唆された。

- ・地盤汚染の拡散防止のため、有害物質を含む部分の透水性を周辺地盤より低くすることは、有害物質の到達範囲を狭めるのには有効であるが、有害物質の到達する地



(a) 採水ポイント A



(b) 採水ポイント C

図-3 地下水位変動の有無と Cl⁻濃度の推移
(発生源の締固め度が95%の場合)

点では、高濃度の状態が長く続く可能性がある。

- ・地下水位の変動により、有害物質を含む部分の浸水状況が一定でない場合には、地下水位が一定の場合と比べて長期にわたって有害物質が溶出しやすくなる可能性がある。

- ・これらのような条件下では、モニタリングポイントを適切に選定のうえ、定期的・長期的なモニタリングの実施や、現地の条件に応じた適切な有害物質の許容値の設定などの対応が必要と考えられる。

2.2 地下水に流入した物質の移行の把握

2.2.1 実験方法

実験では、地下水面の1点から滲出水を模擬した濃度1%の食塩水を流量一定で注入し続け、地盤内各部での塩化物イオン(Cl⁻)濃度の推移から地盤内各部への食塩の到達状況を調べた。

図-4に示すとおり、コンクリートピット内の両端に設けた給水タンクおよび排水タンク間の幅1.9m×長さ

7.4m×深さ2.25mの空間に表-4に示す物理特性の山砂を締め固め度85%を目標に締め固めた地盤を作製した。給水タンクに注水、水頭差を利用して排水タンクに向かって浸水させた後、各タンク内は、所定の水位を保つようにすることで、地下水流を発生させ続けた。

地盤への通水を続けながら、地盤内に設けた各採水ポイントから採水した検体の塩化物イオン (Cl⁻) 濃度を調べ、これをバックグラウンド値とした。バックグラウンド値の確認後、各地盤に1箇所、地下水面付近に設けた注入ポイントから、濃度1%の食塩水をポンプにより一定流量で観測期間終了時まで連続注入した。食塩水の注入開始後、各採水ポイントから採水した検体中の Cl⁻濃度を調べ、その経時変化や地盤内での分布により、食塩の到達状況を調べた。

以上の一連の実験は、食塩水の流入量と動水勾配を変え、表-5に示すような4ケースで実施した。なお、いずれのケースにおいても地盤全体で透水係数が一様と仮定すると、見かけの透水係数 $k = Q/Ai$ は、概ね $5 \times 10^{-5} \sim 6 \times 10^{-5} \text{m/s}$ であった (Q : 排水タンクからの時間当たり排水量、 A : 流路面積 (=注入タンクと排水タンクの水位の平均×流路幅1.9m)、 i : 動水勾配 (=注入タンクと排水タンクの水位差 h / 流路長 L (=注入タンクと排水タンクの間の距離7.4m))。

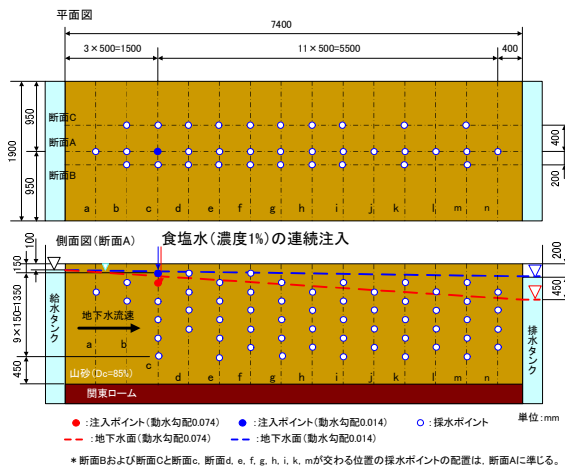


図-4 模型地盤作製状況

表-4 山砂の物理特性

土粒子密度	2.695g/cm ³
最大粒径	9.5mm
60%粒径	0.214mm
50%粒径	0.179mm
30%粒径	0.125mm
10%粒径	0.00724mm
細粒含有率	16.6%

表-5 実験ケース

	動水勾配	食塩水注入の流量 (mL/min)
ケース1	0.074	2.0
ケース2	0.074	0.2
ケース3	0.014	0.4
ケース4	0.014	0.04

2.2.2 実験結果

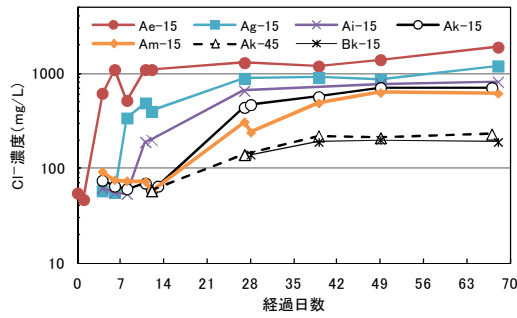
各採水ポイントにおける Cl⁻濃度のバックグラウンド値は 30~80mg/L であったため、採水ポイントから採水された検体の Cl⁻濃度が 80mg/L を超えた時に、注入した食塩水が到達したと判断することとした。各ケースとも、食塩水が到達したと判断された採水ポイントは限られ、こうした採水ポイントは、多くが図-4に示す断面Aの地下水面に比較的近い位置のものであった。また、注入した濃度1%の食塩水中の Cl⁻濃度が 6,068mg/L であるのに対し、各採水ポイントで観測された Cl⁻濃度はいずれもこれを下回った。食塩水が採水ポイントに達するまでの間に、地下水により希釈されたものと考えられる。

(1) 食塩の流入量による違い

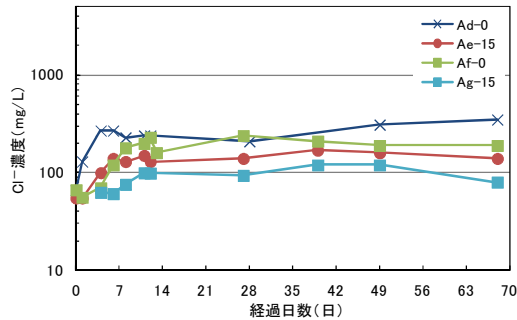
食塩の流入量による違いについて、ケース3とケース4を例に観測期間中に Cl⁻濃度が 80mg/L を超えた採水ポイントにおける Cl⁻濃度の経時変化 (図-5) から比較する。図-5の凡例「アルファベット大文字・小文字-数字」は各採水ポイントの位置を示している。例えば、「Ae-15」であれば、図-1に示す断面Aと断面eの交線上で、食塩水の注入ポイントがある深さから 15cm 深い位置に当たる。Cl⁻濃度が 80mg/L を超えるまでに要した日数から見て、いずれのケースでも、注入ポイントに近い位置から順次食塩が到達しているのが確認された。ケース4において Cl⁻濃度が 80mg/L を超えたのは、図-5(b)に示した4つの採水ポイントのみで、Cl⁻濃度もケース3に比べて数分の1程度で推移した。

(2) 動水勾配による違い

動水勾配による違いについて、ケース1とケース3を例に、約4週が経過した時点の各ケースの断面Aにおける Cl⁻濃度分布 (図-6) から比較する。両ケースでは、地下水流量 (排水タンクへの単位時間当たり排水量) と食塩水注入の流量の比はいずれも 1:0.003 程度であるが、動水勾配が小さく地下水流速の遅いケース3の方が、各採水ポイントで観測される Cl⁻濃度は低かったが、Cl⁻濃度が 80mg/L を超える範囲が広くなり、深さ方向への拡散が進む結果となった。食塩水注入の流量がケース1およびケース3に対してそれぞれ10分の1となるケース2とケース4の比較でも同様の傾向が見られた。



(a) ケース 3 (食塩水注入量 0.4mL/min)



(b) ケース 4 (食塩水注入量 0.04mL/min)

図-5 食塩水注入量別 Cl⁻濃度の推移
(動水勾配 0.014 での例)

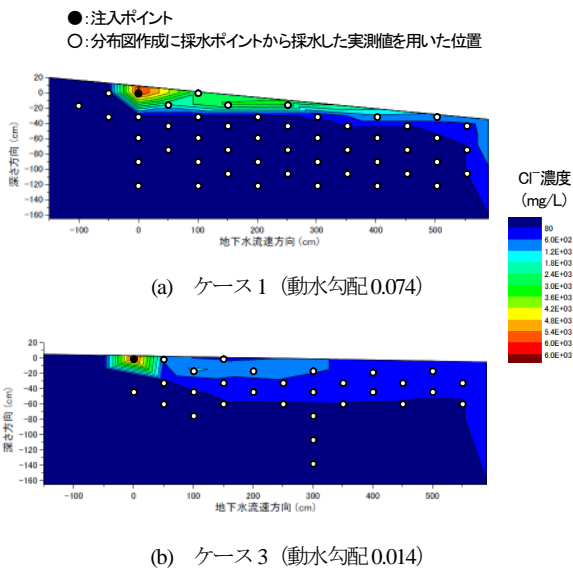


図-6 約 4 週経過時における Cl⁻濃度分布

2.2.3 地下水への物質流入への対応

2.2.2 に示した実験結果から、地下水面から物質が流入する場合の地盤汚染に関するリスク評価や対策、モニタリングに当たって以下のようなことが示唆された。

- ・有害物質が地下水中に溶出しても、地下水流によって溶出点付近で希釈され、周辺に達する濃度が低くなるということがわかった。
- ・有害物質が地下水中に溶出した場合の物質移行特性は、地下水の動水勾配や、溶出して地下水に流入する物質の量による影響を大きく受ける。
- ・以上より、対策やリスク評価に当たっては有害物質の地下水への流入を抑制することが、地盤汚染の拡散防止に重要となる。

2.3 まとめ

2.1 および 2.2 では、土槽実験により地下水位以下の物質の移行特性を把握した。

物質移行特性は、発生源の締固め度(透水性)、地下水位変動、発生源から流入する量、動水勾配の影響を受けたが、物質が到達し、地下水の濃度変化として確認された範囲は限定的であった。また、発生源から流入する濃度に比べると到達した濃度は薄く、地下水流で希釈されていた。

こうしたことから、発生源からの有害物質の溶出を抑制し、地下水への流入も減らすことが地盤汚染の対策として有効であり、モニタリングの範囲や期間をより少なく設定でき、リスク評価の効率化にもつながると考えられる。

3. 降雨実験による発生源での水分移動の把握

要対策土の利用先として、盛土材料の一部として用いることが考えられる。この場合、盛土内の要対策土利用部分が発生源となる。要対策土を利用した盛土が盛土構造物としての機能を満たす構造としたうえで、盛土内に流入した水が要対策土利用部分まで到達しないようにする、要対策土部分への水の到達や接触により有害物質の溶出が生じた場合には、溶出水を周辺環境に拡散させないようにする必要がある。簡易な構造の対策工でこうした条件を満たし、発生源からの有害物質の溶出や地下水への流入を抑えることができれば、低コストかつ施工や維持管理の容易な対策につながる。

そこで、本研究では、降雨を与えた際の盛土内の含水状態の変化や水の流れ、水面形成状況を把握し、要対策土の盛土内利用の可能性について確認した。

3.1 盛土構造と降雨条件による違いに着目した降雨実験

一般的な道路盛土を模擬した模型、および同じ寸法で盛土内の一部に要対策利用部分を模擬した砕石部分を設けた模型を作製して同時に降雨を与える実験を行った。砕石部分を設けることや基礎地盤の透水性の違い、降雨条件の違いが、盛土内の含水状態に与える影響について把握した。

3.1.1 実験方法

(1) 盛土構築

写真-1および図-7に示すように、20m×20m×深さ5mのコンクリートピット内を3つに仕切った各区画に道路盛土を模擬した盛土を1基ずつ、計3基構築した。各盛土の盛土高は3mで、「道路土工—盛土工指針」⁹⁾を参考にのり面勾配を1:1.8とした。

のり尻には基盤排水層を設けた。盛土部分は表-6に示す物理特性を有する山砂を締固め度 $D_c=90\%$ を目標に

締め固めた。基盤排水層は、単粒度砕石4号相当(粒径30~20mm)を不織布で覆って作製した。のり面全体には、表流水による侵食を防止するために侵食防止シートを張った。各盛土の天端はブルーシートで覆い、ここからの盛土内への水の流入がないよう、勾配約1.5%でコンクリートピット側壁に向かって下がる傾斜を与えた。天端が受けた降雨が側壁付近に集水され、側壁に設置した水抜き用のビニルパイプを伝って、集水された水がビニルパイプを伝ってピット側壁の孔から側壁背面のタンクへ抜けるようにした。ビニルパイプとブルーシートの隙間、ピット側壁の穴との隙間はコーキング材により遮水した。ブルーシートの端はピット側壁および仕切りの壁に擦り付け、この部分も同様に遮水した。

各盛土内には、降雨を受けた際の盛土内の水位の変化を確認するための間隙水圧計、盛土内の含水状態の変化を確認するための土壌水分計を設置し、10分間隔で計測値を収録できるようにした。



写真-1 盛土構築状況

表-6 山砂および関東ロームの物理特性

	山砂	関東ローム	
土粒子密度 ρ_s (g/cm ³)	2.714	2.797	
自然含水比 w_n (%)	16.7	71.1	
最大乾燥密度 ρ_{dmax} (g/cm ³)	1.717	0.775	
最適含水比 w_{opt} (%)	17.6	85.5	
透水係数 (m/s)	締固め度90% (定水位)	9.97×10^{-7}	実施せず
	締固め度90% (変水位)	2.24×10^{-6}	1.18×10^{-6}
	締固め度95% (定水位)	6.90×10^{-7}	実施せず
	締固め度95% (変水位)	5.72×10^{-7}	1.41×10^{-7}

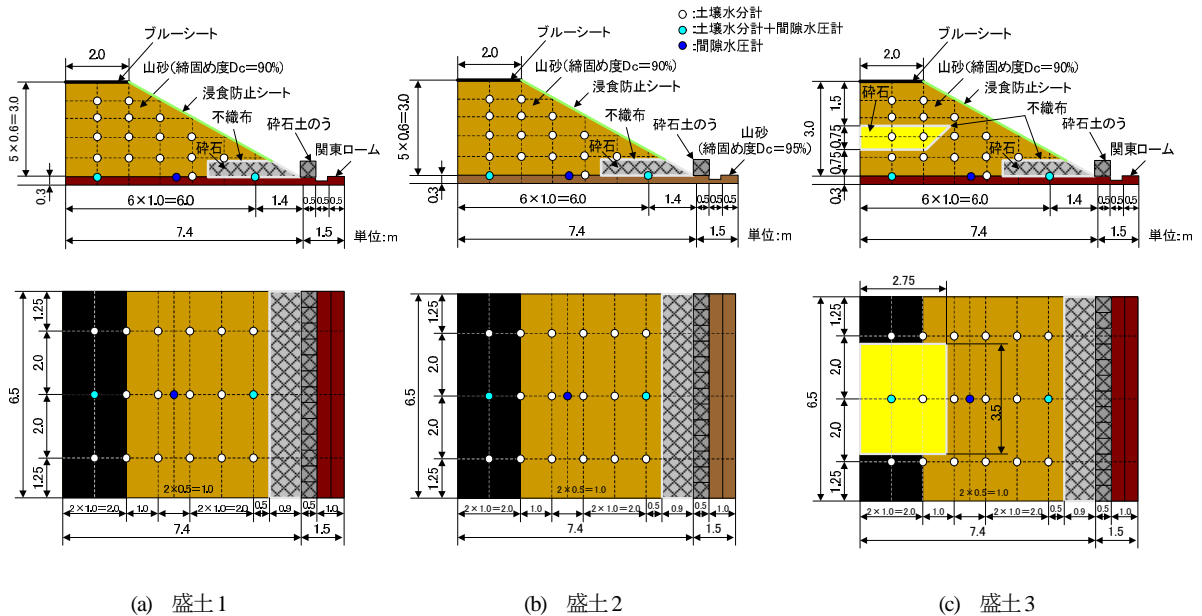


図-7 各盛土の構造

盛土1は一般的な道路盛土を模擬して山砂のみを締め固めたもので、基礎地盤を関東ロームとした。盛土2は、盛土1と同じ構造で基礎地盤を締め固め度 $D_c=95\%$ に締め固めたものに変えている。表-6の締め固め度 $D_c=95\%$ での変水位透水試験の結果によれば、基礎地盤は、関東ロームの場合と比較して4倍程度の透水係数を有したと推定される。盛土3は、基礎地盤が盛土1と同様、関東ロームであるが、盛土内に掘削ずりの要対策土の利用を模擬した碎石部分を設けている。

(2) 降雨実験

盛土の直上に設置された降雨装置により、盛土に降雨を与えた。まず、完成後から各部分が外気や降雨の影響に曝されているという、実際の盛土の状態に近付けてから試験を行うため、降雨強度15mm/hの降雨を連続して2時間与えた。その46時間後より、以下に示すケース1、ケース2、ケース3、ケース4の順番で降雨を与えた。

- ・ケース1：降雨強度15mm/hの48時間連続
- ・ケース2：降雨強度15mm/hで6時間連続した降雨を与えた後、降雨を止めて18時間放置するのを1サイクルとした、8サイクルの繰り返し
- ・ケース3：降雨強度30mm/hの24時間連続
- ・ケース4：降雨強度60mm/hの12時間連続

前ケースの降雨終了時から次ケースの降雨開始時までの時間間隔は、ケース1とケース2の間が240時間、ケース2とケース3の間が42時間、ケース3とケース4の間が408時間である。

各ケースとも、与えた総雨量は720mmである。ケース2のみ間欠的な降雨に当たる。

なお、24時間降雨量は日本国内の観測史上1位で851.5mm、10位で715mmという記録がある⁷⁾。ケース3は観測史上10位に相当する降雨といえる。

3.1.2 実験結果

(1) 盛土構造による違い

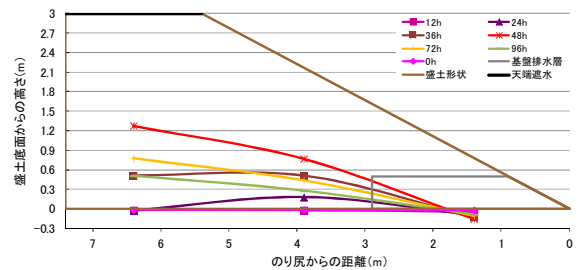
各盛土において降雨に伴う盛土内水面上昇や盛土内各部の体積含水率の変化が比較的顕著に見られたケース1を例に、盛土構造による影響について比較する。

図-8は、ケース1の降雨開始からの経過時間毎に、各盛土ののり尻からの距離が1.4m、3.9m、6.4mの3地点の間隙水圧計の計測値から求める水位をプロットして結び、盛土内水面の状況を示したものである。水位は盛土底面を0としており、負の値は水面が基礎地盤中またはコンクリートピット底面上にあったことを示す。盛土3で3地点分の水位のプロットがない時間があるが、この時間については間隙水圧計の計測値が収録できていなか

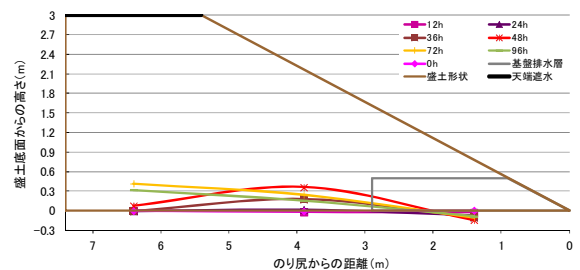
ったためである。

各盛土とも、のり尻に向かって水位が下がり、基盤排水層内に水位を持つことがなく、基盤排水層が機能していることが確認された。水位上昇はのり尻に近い位置から進み、のり尻から6.4mの位置で水位上昇が顕著に見られるようになったのは、降雨開始から36時間以上経過した頃であった。

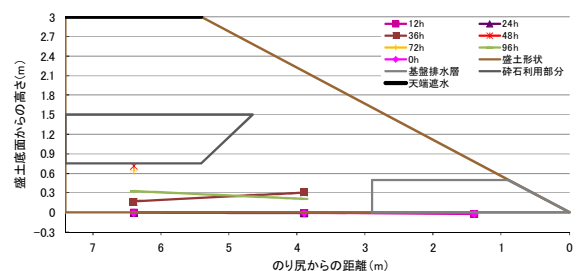
盛土間で比較すると、盛土2および盛土3では、盛土1に比べて水位が低くなった。また、盛土2については、盛土3と比べてものり尻から6.4mの位置での水位が小さく、水位の上昇が顕著に見られるまで多くの時間を要した。盛土2では基礎地盤に締め固め度 $D_c=95\%$ に締め固めた山砂を用いており、3.1.1(1)でも述べたとおり、盛土1および盛土3に比べて基礎地盤の透水係数が4倍程度あったと考えられる。このため、降雨として盛土内に入っ



(a) 盛土1



(b) 盛土2



(c) 盛土3

図-8 盛土内水面の変化(ケース1の例)

た水分が基礎地盤から排水されやすくなり、基盤排水層から離れた位置も含めて水位の上昇が抑えられたものと考えられる。

盛土1と盛土3はともに基礎地盤が関東ロームであるが、盛土3では、盛土内に碎石を利用した透水性の高い部分を有し水位上昇が抑制された。

次に、盛土各部の体積含水率の計測結果をもとに、降雨開始からの経過時間毎の盛土内における体積含水率分布について調べた。体積含水率分布の変化として、ケース1で、降雨開始時、降雨開始から3時間後、6時間後、12時間後、24時間後、48時間後、72時間後、96時間後を例に、各盛土内の体積含水率分布を図-9に示す。図-9では、盛土内に水位が確認された時間については、観測された水位も併せて●でプロットした。

各盛土とも、降雨開始時点の体積含水率では、天端の鉛直下方、深さ1m程度までの部分で周辺より低く、のり面上などで周辺より高くなる傾向が見られた。

降雨開始から3時間後（総雨量45mm）の時点では、のり尻付近のみで体積含水率の上昇が見られるにとどまったが、6時間後（総雨量90mm）になると、のり尻付近の体積含水率の上昇が進むとともに、のり面付近の体積含水率上昇も見られた。遮水されていないのり面への降雨および上部のり面から流下した水により、のり尻下部からの浸透が多かったと考えられる。

12時間後（総雨量180mm）では、のり面の鉛直下方はほぼ全ての部分で体積含水率の上昇が確認され、24時間後（総雨量360mm）では、天端の鉛直下方においても体積含水率の上昇が見られた。のり面から流入した水が盛土下方まで浸透した後、天端の鉛直下方にも流れ込む状況が確認された。48時間後（総雨量720mm）の降雨終了時には、盛土全体にわたり体積含水率の上昇が見られた。

72時間後（降雨終了から24時間後）、96時間後（降雨終了から48時間後）では、時間の経過に伴いのり面上から順次体積含水率の低下が見られ、体積含水率の高い領域は少なくなっていくが、盛土底面付近の体積含水率は高い状態が続いた。盛土内で体積含水率の高い部分と低い部分が鉛直方向に分離し、底面に近いほど体積含水率が高くなる状況も見られた。

また、盛土内の体積含水率の分布と、水面の関係を見ると、いずれの盛土、経過時間においても、概ね体積含水率が0.35~0.40の領域上に水面が形成されていた。

盛土1と盛土2を比較すると、降雨開始から6時間程度までは、盛土1でのり尻を中心とする同心円状に体積

含水率の上昇が進んだのに対し、盛土2では盛土底面に沿うように体積含水率が上昇した。6時間経過後も、盛土2では盛土1に比べてのり尻付近の体積含水率上昇や、盛土底面付近の体積含水率分布の変化も小さい結果であった。降雨終了後の盛土底面の体積含水率も盛土1に比べて低かった。こうした状況は、盛土2の方が基礎地盤の透水性が高く、盛土底面付近に滞水しにくかったことによるものと考えられる。

盛土1と盛土3を比較すると、降雨開始から12時間程度経過するまでの間、盛土1ではのり尻付近とのり尻で体積含水率の上昇が大きかったが、盛土3では、のり面全体にわたり比較的一様に体積含水率の上昇が見られた。24時間以上経過し、天端の鉛直下方でも体積含水率の上昇が見られるようになると、盛土3では、碎石部分の周辺の体積含水率上昇がより顕著に見られ、降雨終了後も体積含水率の高い状態が続いた。

(2) 降雨条件による違い

1) 連続降雨と間欠降雨による違い

降雨時の降雨強度、総雨量が同じ条件のもと、連続降雨であるケース1と間欠降雨であるケース2を比較した。

図-10に盛土1を例に、のり尻から3.9m、6.4mの位置における水位の経時変化を示す。ケース1では15mm/hの降雨が48時間続いた頃に最も高い水位となった。

間欠的に降雨を与えたケース2では、15mm/hの降雨を6時間連続して与えた後、降雨を止めて18時間放置するサイクルを2サイクル繰り返した頃までは、のり尻から3.9m、6.4mの位置における水位が上がり続ける傾向であった。その後、1サイクルの周期に当たる24時間周期で、48時間経過後から72時間経過後までと同様な水位の上下が6回生じた。各サイクルの中で水位が最も上がった時でも、ケース1の水位のピークに比べると低い水位にとどまった。2サイクル目までに与えた雨量180mmは盛土内水位上昇に寄与したが、3サイクル目以降の降雨による影響は、降雨停止時の前後の一時的な水位上昇にとどまり、時間を置くと3サイクル目の降雨開始時と同程度の水位に戻った。

2) 降雨強度による違い

総雨量が同じ連続降雨で降雨強度と降雨の連続時間が異なるケース1（15mm/h×48h）、ケース3（30mm/h×24h）、ケース4（60mm/h×12h）で比較した。

図-11に盛土1を例に各ケースの降雨開始からの雨量別の盛土内水位について示す。いずれの盛土でも、ケース1とケース3では降雨終了時（それぞれ降雨開始時から48時間経過時、24時間経過時）頃に水位が最も高

⑦-3 環境安全性に配慮した建設発生土の有効利用技術に関する研究③

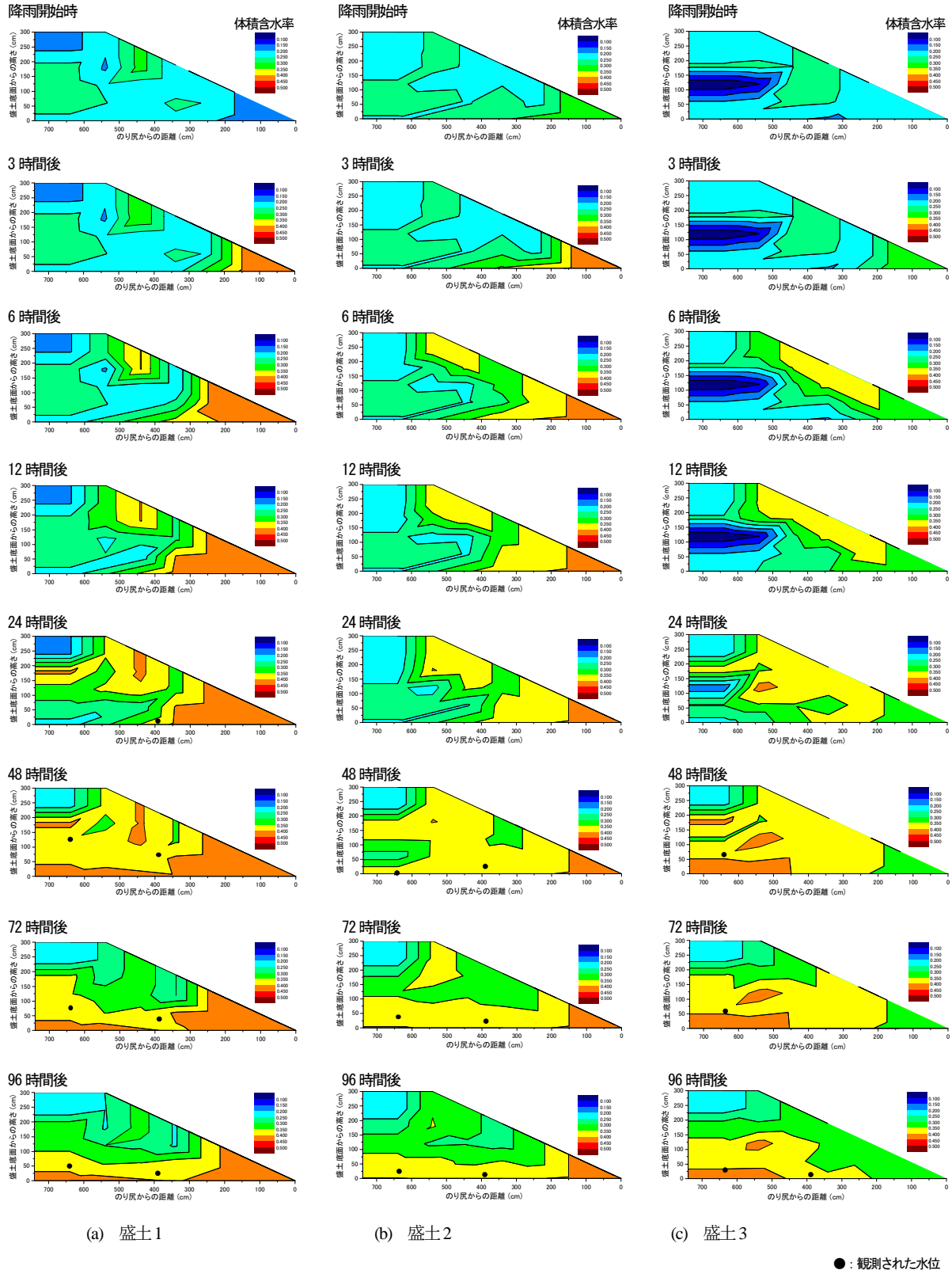
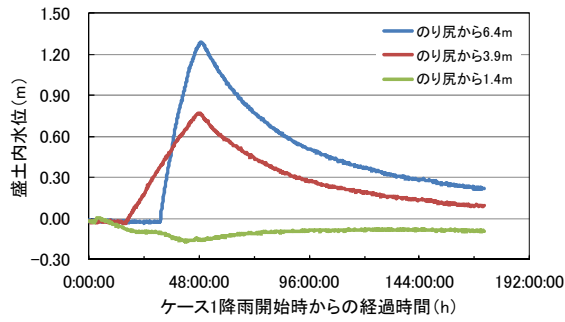
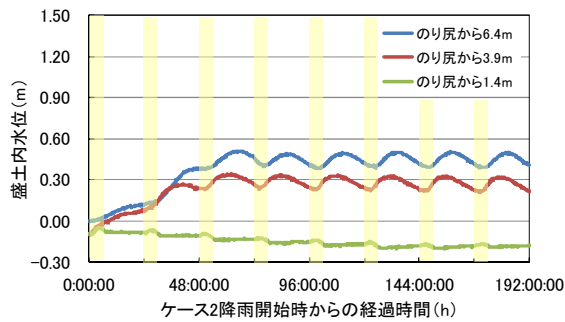


図-9 各盛土内の体積含水率分布 (ケース1の例)



(a) 48時間の連続降雨を与えた場合(ケース1)



(b) 間欠的降雨を与えた場合(ケース2)
 : 間欠的な降雨時

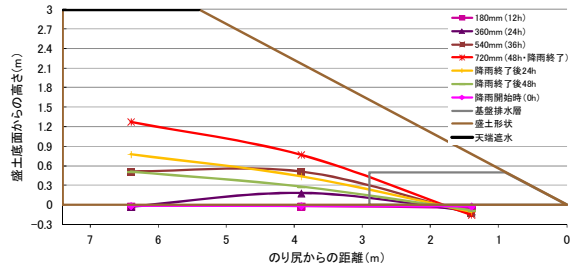
図-10 盛土内水位の経時変化(盛土1の例)

くなる傾向であった。ケース1で見られたのと同様な盛土内水位の経時変化がケース3ではケース1の半分の時間で見られる結果であった。つまり、ケース1とケース3では、各ケースの降雨開始時から与えた雨量が同じであれば、盛土内各位置における水位もほぼ同様になった。体積含水率の経時変化についても同様の傾向が見られた。

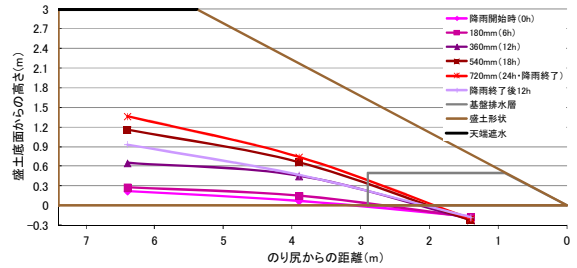
ケース4では、最も水位が高くなったのが、降雨終了時(降雨開始時から12時間経過時)を過ぎてからであり、その時の水位もケース1やケース3に比べて低かった。

本実験条件の場合、30mm/h程度までの降雨強度で連続降雨を与えた場合、与えられた水分のほぼ全てが盛土内に流入し、そのまま水位上昇に寄与したと考えられる。一方、降雨強度が60mm/hになると、与えられた水分が全て盛土内に入るのではなく、のり面を流下、短時間で基盤排水層へ到達して排水された水分が多くなり、その分は盛土内の水位上昇に寄与しなかったため、水位上昇が大きくならなかったものと考えられる。

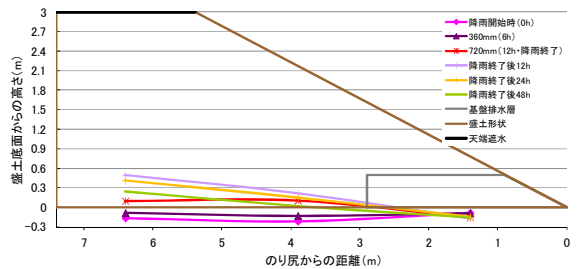
そこで、盛土1を例に、ケース1とケース4で各ケースの降雨開始からの雨量が同じ時点における盛土内の体



(a) ケース1 (15mm/h×48hの連続降雨)



(b) ケース3 (30mm/h×24hの連続降雨)



(c) ケース4 (60mm/h×12hの連続降雨)

図-11 降雨開始からの雨量と盛土内水位(盛土1の例)

積含水率の分布を図-12に示し、比較した。盛土内に水位が確認された場合は、観測された水位も併せて●でプロットした。降雨開始時と降雨開始からの雨量180mmの時点では水位が形成されていなかったため、プロットはしていない。

降雨開始時点では、ケース4の場合にはケース3までで流入して残留した水分が残り、底面付近に体積含水率の高い部分があることや全体として体積含水率が0.05程度ずつ高くなっていることを除き、ケース1とケース4で体積含水率の分布に大きな違いは見られなかった。

しかし、雨量180mmや720mmに達した時点で比較すると、ケース4ではケース1に比べ、体積含水率0.35以上に上昇した領域も局所的で、天端の鉛直下方では体積

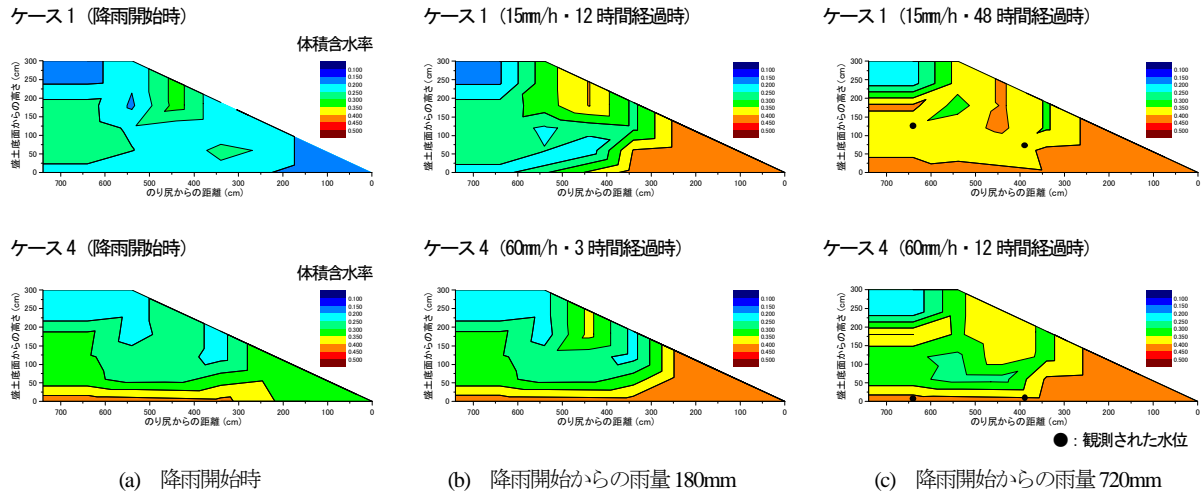


図-12 異なる降雨強度での盛土内体積含水率分布の比較
(盛土1、ケース1 (降雨強度 15mm/h) とケース4 (降雨強度 60mm/h) の例)

含水率の変化が少ない状況であった。

このように、体積含水率からも、今回の条件では、降雨強度が60mm/hでは、総雨量が同じ場合に降雨強度15mm/hよりも盛土内に流入する量が少なくなることが考えられた。

3.1.3 盛土構造と降雨条件が盛土への降雨浸透に与える影響

3.1.2に示した実験結果から、天端が遮水されている条件で盛土が降雨を受けた場合、のり面から流入した水が地盤内に残留する頃から、基盤排水層付近→のり面→のり面鉛直下方→天端鉛直下方の盛土底面付近の順で体積含水率の上昇が進むことが確認された。遮水されていた天端直下では体積含水率の上昇がほとんど見られず、水分の流入が大幅に抑制されるものと考えられた。降雨条件による影響としては、ある降雨強度を超えると、降雨開始からの雨量が同じでも、盛土内に降雨が浸透しきらず、水面形成や体積含水率上昇が抑えられることが考えられた。

盛土の基礎地盤や要対策土利用部分に透水性の高い材料を用いると、流入した降雨が排水されやすくなり、盛土内の水面形成も抑制される。一方、モニタリングでは、基盤排水層に排水される水に基準値を超過する有害物質が含まれないことの確認に加え、基礎地盤へ浸透する水についての評価も重要になると考えられる。この際、水面形成の目安となる体積含水率以上である領域が要対策土を利用した部分に接触しないことを確認することは、要対策土から溶出した有害物質の盛土外への大量の流出

の可能性を把握する一助になると考えられる。

3.2 天端およびのり面の遮水条件による違いに着目した降雨実験

3.1の結果、要対策土を道路盛土の一部に用いる際、天端を遮水することで盛土内への水分の流入が抑制されることが考えられるが、天端を遮水しない場合と比べ、要対策土部分への水の流入がどの程度抑制され得るか確認した。降雨実験は、3.1では連続降雨の各ケースでは、総雨量720mmを2日間以内で与えており、24時間雨量であれば、観測史上10位に相当する⁷⁾ようなものであったため、より日常的な降雨に近付けた条件のもとで実施した。

3.2.1 実験方法

(1) 盛土構築

図-13に示すように外形寸法、基盤排水層の形状と構造、要対策土の利用を模擬した砕石部分の形状、構造、盛土内での位置が3.1.1(1)に示す盛土3と同じ盛土をコンクリートピット内の各区画に構築した。盛土は、3.1.1(1)と同様、表-6に示す物理特性を有する山砂を締め固め度90%を目標に締め固めた。間隙水圧計および土壌水分計の配置も3.1.1(1)と同様とした。天端およびのり面には、表流水による侵食を防止するために侵食防止シートを張った。

ここでは、図-13に示すように盛土内の砕石部分への水の到達を調べるため、砕石部分には集水容器(直径17cm、高さ8cm、足外径5cmの広口じょうご)および管

を設置した。

3体の盛土で、それぞれ天端の遮水条件を変え、盛土4では天端遮水なし、盛土5では天端を遮水、盛土6では天端およびのり肩を遮水した。盛土6ののり肩の遮水は、砕石部分の鉛直上方が遮水される範囲までとした。

(2) 降雨実験

実験では、3体の盛土に同時に降雨を与えた。降雨は以下の3種類をケース1からケース3の順に与えた。

ケース1：20mm/hの降雨を2時間連続で与えた後に無降雨の状態です6日と22時間置くサイクルを4回繰り返した。
 ケース2：20mm/hの降雨を12時間連続で与えた後に無降雨の状態です10時間置き、追加で20mm/hの降雨を2時間与えた。

ケース3：20mm/hの降雨を12時間連続で与えた後に無降雨の状態です10時間置き、追加で100mm/hの降雨を2時間30分与えた。

ケース1およびケース2の降雨終了から次のケース開始までは、それぞれ6日と22時間置いた。降雨を与えてからは、盛土底面付近は体積含水率の高い状態が続いたが、それ以外の部分は時間を置くことで、前のケースを開始した時とほぼ同程度の体積含水率の分布の状態です次のケースを開始することができた。また、前のケースで集水容器への水の回収があっても、次のケースを開始す

る頃には回収されない状態になっていた。

ケース1では、28日間の観測期間で間欠的に4回の降雨があり、総雨量は160mmになる。これは、1981年から2010年の30年間に茨城県つくば（館野）で観測された10月の月降水量の平均値165.9mm⁸⁾に近い雨量である。

ケース2およびケース3では、連続して240mmの降雨を与えた後、追加降雨としてそれぞれ40mm、250mmの降雨を与えたことになる。

観測期間中、集水容器への水の回収状況も調べた。

3.2.2 実験結果

(1) ケース1

盛土内水位は観測された間隙水圧に気圧補正をした値から求めた。また、盛土構築後から観測開始時までには盛土に降雨や水位は与えていないため、観測開始時には各位置の水位は盛土底面にあったと見なし、この時の水位を0とした相対的な値で算出した。

3サイクル目までは、各盛土の各位置において観測開始時に比べて間隙水圧が低い状態が続いたことから水位が負の値で推移し、盛土内の水位形成がなかったと考えられる。4サイクル目の降雨が終了してからは、全ての盛土でのり尻から6.4mの位置において盛土内水位が算出され、盛土4では0.16m、盛土5では0.05m、盛土6では0.10mとなった。盛土4では、のり尻から3.9mの

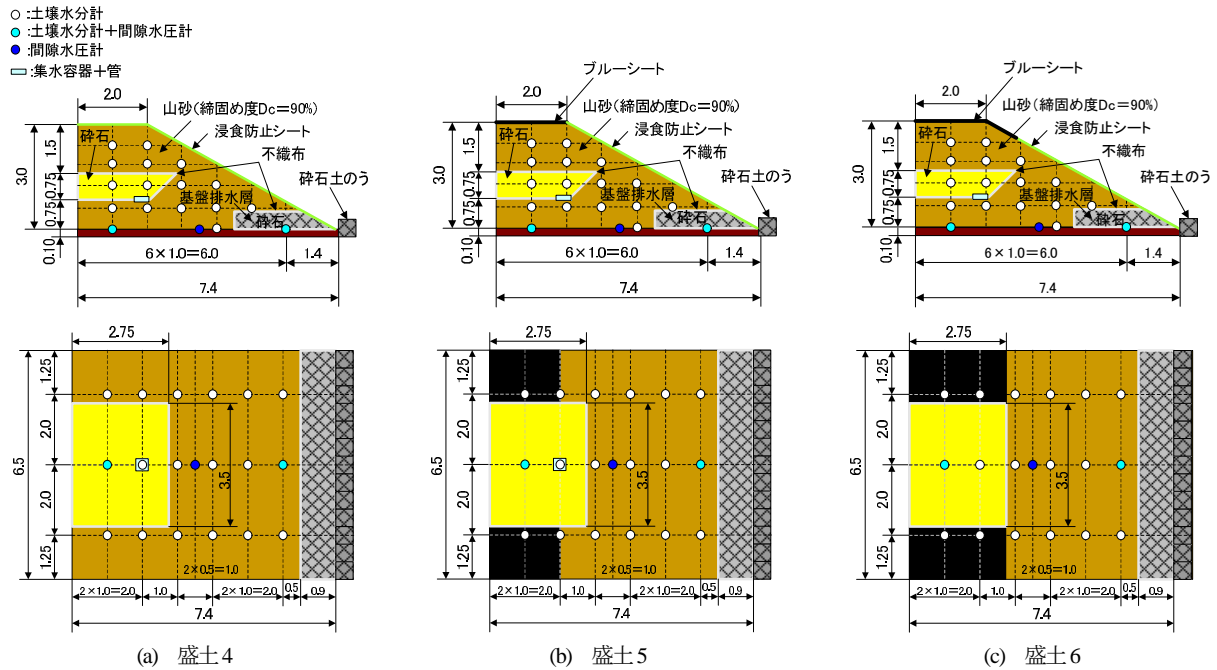


図-13 各盛土の構造

⑦-3 環境安全性に配慮した建設発生土の有効利用技術に関する研究③

位置でも盛土内水位0.10mが算出された。いずれの盛土でも、28日間の観測期間を通じて、盛土内の水位は碎石部分底面の0.75mに達しなかった。

集水容器への水の回収は、盛土4と盛土5では確認されず、盛土6においても28日間の観測期間全体で78mLにとどまった。

ケース1の降雨条件においては、天端遮水をしないう盛土4では天端遮水をした盛土5や盛土6に比べると数cmないし10cm程度高い水位となったが、集水容器への水の回収状況には大きな違いは見られなかった。

各盛土内の各土壌水分計での計測結果から飽和度を求め、盛土内での飽和度の分布図として図-14に示す。碎石中での土壌水分計のキャリブレーションが困難であったため、飽和度は全て山砂の中で土壌水分計をキャリブレーションした式で求めたものである。

各盛土とも、1サイクル目は大部分の土壌水分計の計測値に変化がなかったため、盛土内の飽和度分布は観測開始時と大きく変わらなかったものと考えられる。観測開始から192時間経過時(2サイクル目の降雨終了から22時間後)には、盛土4と盛土5では、天端付近とのり尻付近で飽和度が上昇していた。盛土6では、天端付近の飽和度は変わらなかったが、のり面直下で飽和度が上昇していた。さらに、360時間経過時(3サイクル目の降雨終了から22時間後)には、盛土4でものり面直下で飽和度の上昇が見られた。盛土5および盛土6では盛土底面付近で飽和度が80%以上と高い領域も見られるようになった。528時間経過時(4サイクル目の降雨終了から22時間後)や観測終了時には、各盛土とも飽和度が70%以上と比較的高い領域が、盛土底面全体に広がっていたが、のり面直下の飽和度は下がっていた。碎石部分では

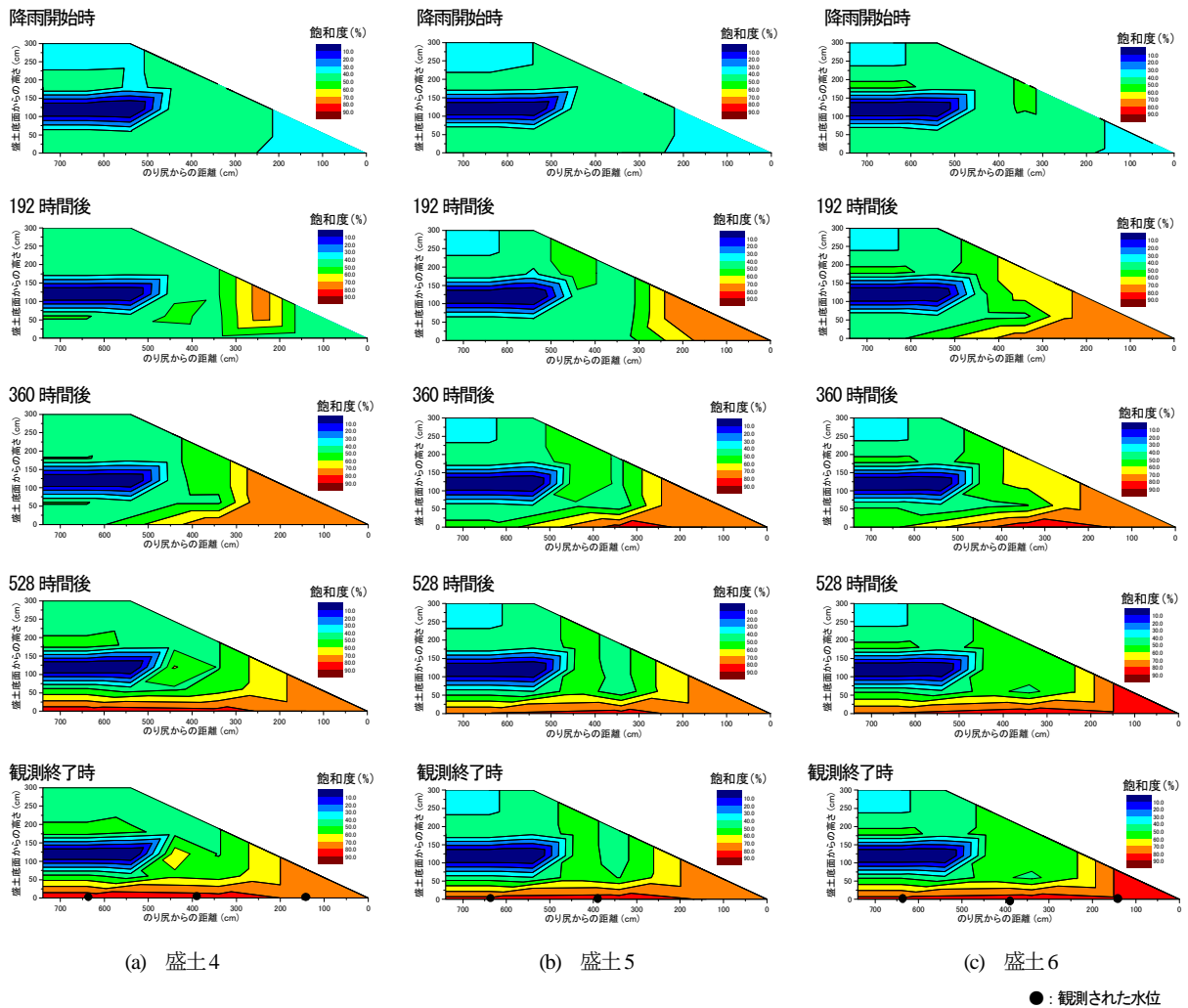


図-14 各盛土内の飽和度分布 (ケース1)

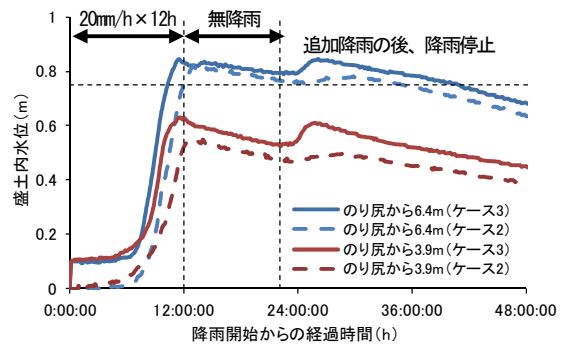
観測期間を通じて飽和度の変化が観測されなかった。今回の条件では、各盛土とも、累積降雨量が80mm以上になると、盛土内で飽和度の上昇が見られたが、無降雨の期間に基盤排水層からの排水が進んで、砕石部分底面に届くほどの盛土内水位の上昇はなかったと考えられる。

また、のり肩も遮水した盛土6では、盛土4や盛土5に比べてのり面直下の飽和度の変化が顕著に表れた一方、天端直下およびのり肩直下の飽和度の変化は小さかった。降雨を受けた場合はのり面上から盛土内に流入して直下へ向かった後、基盤排水層から排水される流れと、盛土内へ浸透し、砕石部分の下に水位を形成する水の流れが生じたことが考えられる。一方、無降雨の際には蒸散と基盤排水層からの排水よりのり面直下の飽和度の低下が進んだことが考えられる。

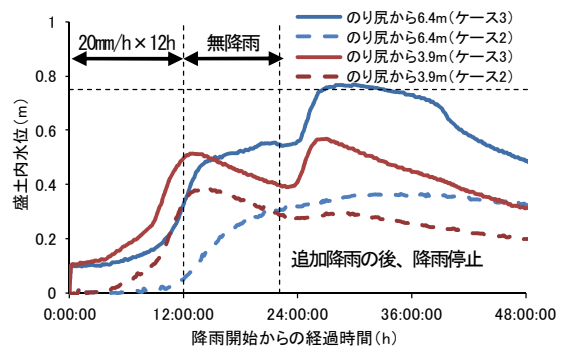
(2) ケース2およびケース3

ケース2およびケース3は、20mm/hで12時間連続、計240mmの雨を与えた後、10時間無降雨とするところまでは同じ降雨条件である。しかし、その次の降雨の与え方が異なり、ケース2では20mm/hの2時間連続で計40mm、ケース3では100mm/hの2時間30分連続で計250mmを与えた。

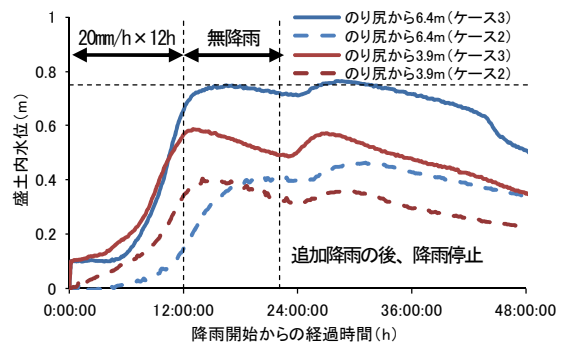
各ケースの降雨開始時における水位を基準とした場合の水位上昇について盛土別に図-15に示す。各盛土とも、基盤排水層内では観測期間を通じて0.10m以下の水位であったため、のり尻から3.9mと6.4mの位置での水位に着目する。盛土4では、両ケースとも、のり尻から3.9mと6.4mの位置における水位の上昇や低下が同時期に発生し、12時間の連続降雨の後に6.4mの位置で0.80m程度、3.9mの位置で0.60m程度まで上昇した後、一旦全体の水位が下がり、追加降雨を与え終えてから各位置の水位の上昇が見られた。しかし、追加の降雨の影響による水位上昇はケース3の方が大きかった。盛土5では、両ケースとも、のり尻から3.9mの位置では12時間の連続降雨の間は水位が上昇し続けた後に一旦水位が下がり、追加の降雨の後に水位の上昇が見られた。6.4mの位置では、追加の降雨も含め、全ての降雨が停止してから水位のピークが見られた。ただし、ケース3の方が、6.4mの位置でのピークの水位が0.40m近く高い結果となった。盛土6では、ケース2ではのり尻から3.9mの位置で先に水位の上昇が見られた後に6.4mの位置でも水位上昇が見られたのに対し、ケース3では同時期に水位が上昇した。また、のり尻から3.9mと6.4mのいずれの位置でもケース3の方が水位の上昇が大きくなった。



(a) 盛土4



(b) 盛土5

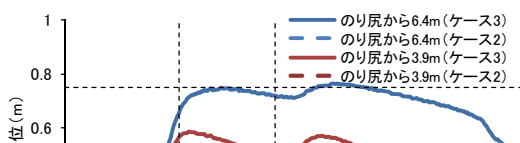


(c) 盛土6

図-15 盛土内水位の変化 (ケース2およびケース3)

盛土の天端の遮水条件によって盛土内の水位上昇の進行や程度に違いがあった。天端を遮水した盛土5および天端とのり肩を遮水した盛土6の水位上昇は同程度であったが、これらに比べて天端を遮水しない盛土4では水位上昇が大きくなった。

ケース2とケース3の比較では、いずれの盛土でも、



盛土内水位の上昇や集水容器への水の回収は主に各ケースの最初の12時間の連続降雨に起因するもので、追加降雨による水位上昇はケース3の方が大きくなった。3.1の結果、30mm/h以上60mm/h未満の降雨強度までであれば、降雨が全て盛土内水位上昇に寄与するが、それ以上の降雨強度では、のり面を流下、短時間で基盤排水層から排水され、その分は盛土内の水位上昇に寄与しなかったことから、ケース3の追加降雨では、75mm以上150mm未満の雨量は盛土内の水位上昇に寄与したと考えられる。これはケース2の追加降雨40mmに比べると多い雨量なので、その分水位上昇も大きくなったと考えられる。ただし、最初の12時間の連続降雨で与えられた240mmに比べると半分程度となるので、水位上昇は最初の連続降雨によるものと比べると小さくなったと考えられる。

各盛土における観測期間中の集水容器への水の回収量の総量は、表-7に示すとおりである。

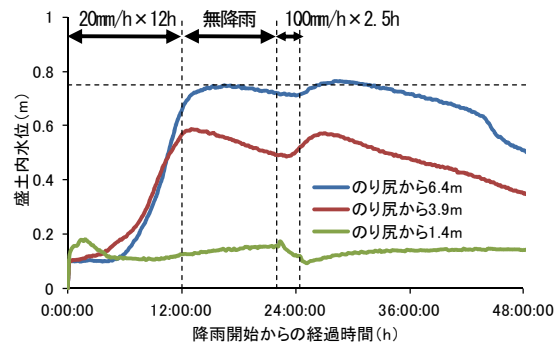
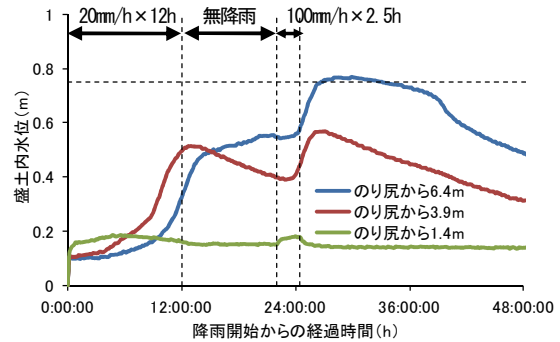
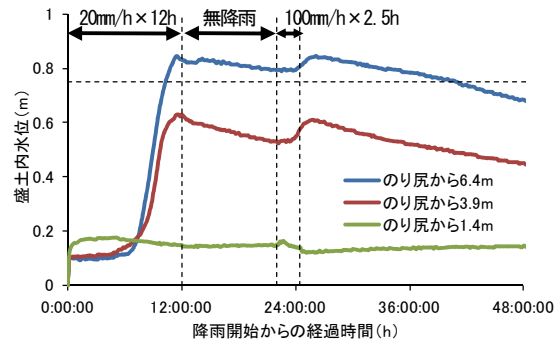
表-7 観測期間中の集水容器への水の回収総量 (L)

	盛土4	盛土5	盛土6
ケース1	0	0	0.078
ケース2	26.74	0.265	0
ケース3	2,810	3.34	0.058

ケース2およびケース3では、盛土4>盛土5>盛土6の順に水の回収総量が多くなった。盛土6では、ケース2からケース3でも、水の回収量は盛土4や盛土5に比べると50分の1以下のオーダーにとどまった。天端とりのり肩を遮水したことで、碎石部分の直上からの降雨の流入が抑制された結果と考えられる。盛土4および盛土5での水の回収量はケース3ではそれぞれケース2の100倍、10倍のオーダーと多くなった。これは、ケース3では総雨量が多かったことに加え、ケース2の終了後に間隙に残った水も回収されたことが考えられる。

各ケース開始からの各盛土内の飽和度分布の変化については、両ケースで大きな違いは見られなかった。

これらを踏まえ、水位上昇や、盛土天端の遮水条件による影響がより顕著に見られたケース3を例に考察する。ケース3の降雨開始からの盛土内水位の経時変化を図-16、集水容器に回収された水の量の累計を図-17に示す。降雨開始から168時間(7日間)程度経過した頃には、回収される水の量は0となっていた。また、各間隙水圧計で観測される水位の値は0.05~0.10m程度まで下がり、水位低下がほぼ見られなくなった。図中には比較的顕著



(c) 盛土6

図-16 各盛土内の水位変化 (ケース3)

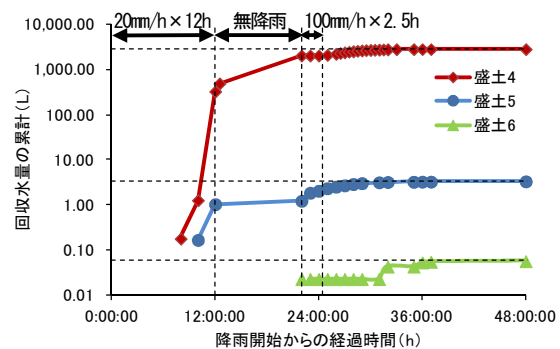


図-17 各盛土における水回収量 (ケース3、累計)

変化が見られた48時間経過時までの経時変化で示す。なお、図-17では、回収量を確認した時点での値をプロットしているが、盛土4で降雨開始からの経過時間で12時間から30時間30分、35時間から48時間における値については、1分間当たりの回収量を確認した結果をもとに推定したものである。

図-16より、各盛土ともりの尻から6.4mの位置における水位が一時的に碎石部分底面の0.75mを越え、盛土内水位が碎石内に入っている状態となった。盛土5の場合、のり尻から6.4mの位置では3.9mの位置に比べて水位の上昇が遅れて現れ、水位が碎石内に達している時間は7時間程度であった。盛土4および盛土6では、のり尻から6.4mと3.9mの位置でほぼ同時に水位上昇が見られた。盛土4では水位が碎石内に達している時間が30時間程度となった。盛土6ではこれに比べて水位上昇が少なく、水位が碎石内に達している時間は、12時間の追加降雨の後に4.5時間あったのみであった。これらは、天端やのり肩からの直接の降雨浸透の有無による影響と考えられる。

図-16より、盛土4および盛土5では、降雨開始から10時間程度経過時点、累積降雨量として200mm程度に達した頃に集水容器への水の回収が見られるようになった。回収された水の総量の99%以上が降雨開始から48時間以内に回収された。ケース3で回収された水の総量は、盛土5で3.34L、盛土4で2.810Lとなり、天端の幅2mを遮水したのみでも1,000分の1程度に抑えられた。盛土6では、240mmの降雨を与えて無降雨としてから10時間が経過した頃に23mLの水が回収され、ケース3終了までに回収された総量としても58mLにとどまり、のり肩も遮水したことで水の回収が50分の1以下に抑えられる結果となった。

各盛土内の土壌水分計での計測結果から飽和度を求め、盛土内での飽和度の分布図として図-18に示す。碎石中での土壌水分計のキャリブレーションが困難であったため、飽和度は全て山砂の中で土壌水分計をキャリブレーションした式で求めたものである。図中の●は、当該位置での水位を示している。各盛土ともりの面上から飽和度の上昇が始まり、その後、盛土底部から飽和度の上昇が進んだ。各盛土とも降雨開始から6時間程度経過すると、のり面の下と碎石部分下の全域で降雨開始時よりも飽和度が上昇しているのが確認できた。12時間経過時では、飽和度が80%前後と高い領域が、盛土5と盛土6で碎石部分の先端、盛土4ではのり肩部まで及んだ。盛土4では、のり面に加えて天端から直接浸透した降雨が碎

石部分から上方の飽和度も上昇させたと考えられる。27時間経過時には、盛土4ではのり肩付近や天端では飽和度が低下していた。盛土5では飽和度の分布は12時間経過時と比べて大きく変わらなかった。盛土6ではのり肩付近とのり面上で飽和度が低下していた。27時間経過時点は240mmの雨量を与えた後、10時間の無降雨をはさみ、250mmの雨量を与えてから降雨を停止して2時間30分経過した状態に当たる。盛土4では盛土内の水が途中10時間の無降雨の間や全ての降雨が停止した後に、下方へ浸透して天端付近の飽和度が低下したことや、下方に浸透した水が基盤排水層から排水されたことが考えられる。盛土5では、天端の遮水により天端付近の飽和度は上がらなかったことが確認できた。また、10時間の無降雨の後に与えられた降雨の排水が十分進んでいなかったことが考えられる。盛土6では、のり肩も遮水したことで、降雨の流入、下方への浸透、基盤排水層からの排水という水の流れがのり面上に集中した状況が考えられる。168時間経過時では、いずれの盛土でも、盛土内各部の飽和度の変化が収束し、水位もほぼ消失した。

3.2.3 天端およびのり肩の遮水条件が盛土内への降雨浸透に与える影響

3.2.2で得られた実験結果より、28日の観測期間で間欠的な降雨、総雨量としてはつくばの10月の月降雨量の平均に近い雨量を与えた程度であれば、天端やのり肩の遮水をしない場合でも、浸透した降雨は基盤排水層から排水され、盛土内水位の上昇が抑制された。

一方、連続的に総雨量で240mmの雨量を与えた盛土に追加の降雨があるような場合、天端やのり肩を遮水しても、盛土内水位の上昇が見られ、主として最初の連続降雨によるものであった。天端を遮水した場合や、天端と碎石部分直上の位置までのり肩を遮水した場合には、遮水をしない場合と比べ、盛土内水位の上昇が抑制され、盛土内水面が要対策土利用を模擬した碎石部分に達している時間を短縮することができた。また、天端を遮水するだけでも遮水しない場合に比べて、碎石部分に設置した集水容器への水の回収量が大幅に抑えられ、さらにこのり肩も遮水すると、水はほとんど回収されなくなった。

天端やのり肩を遮水することで、降雨の下方への浸透、基盤排水層からの排水がのり面直下で進み、碎石部分の下への浸透が抑えられることが考えられる。

以上より、要対策土を盛土内の一部に用いることは、通常起こり得る程度の降雨に対しては、基盤排水層からの排水により、要対策土に盛土内水位が到達するには至らず、低レベルの要対策土では有害物質の溶出や拡散を

⑦-3 環境安全性に配慮した建設発生土の有効利用技術に関する研究③

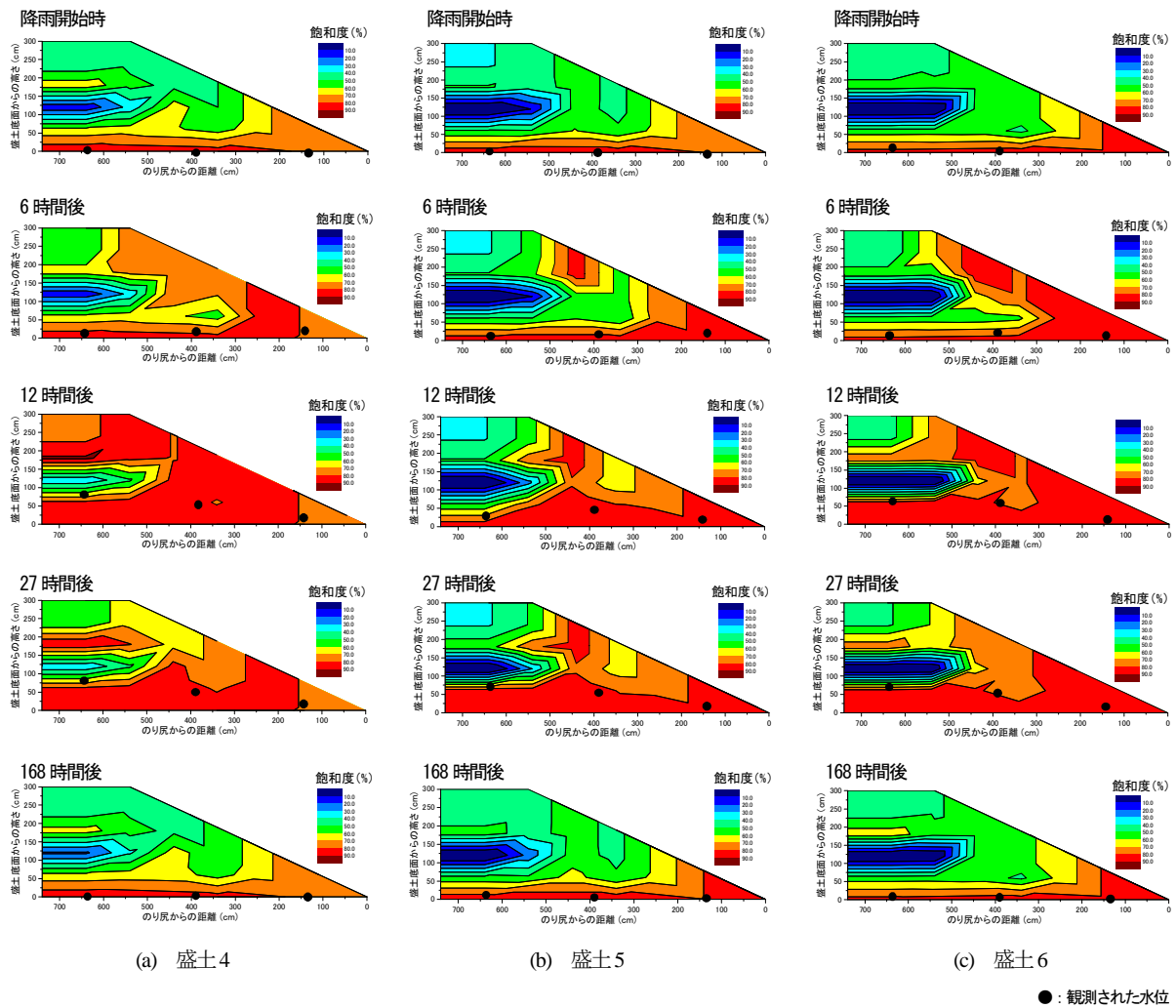


図-18 各盛土内の飽和度分布 (ケース3)

ある程度抑制できる可能性が考えられた。一方で、連続的に降雨で総雨量も多い場合には、盛土内水位が要対策土に接触する可能性があるが、天端やのり肩の遮水をすることで、要対策土への降雨の接触の低減が期待できると考えられる。

要対策土に降雨が接触した場合でも、実際の重金属含有土で覆土ありの場合には、覆土なしの場合よりも盛土からの浸出水のピーク流量、総量とも小さくなり、盛土から環境への重金属等の負荷低減の可能性があるとこの実験結果も報告されている⁹⁾。こうしたことから、基盤排水層の効果、天端やのり肩の遮水性を高めながら要対策土を盛土材の一部として用いることは、簡易な方法での対策法の1つとして期待できると考えられる。

3.3 まとめ

3.1 および 3.2 では、道路盛土を模擬した実験用盛土

に降雨を与えることにより、盛土内の一部に要対策土利用部分を模擬した砕石部分を設けることや、基礎地盤の透水性、降雨条件、天端やのり肩の遮水条件が盛土内への降雨浸透状況に与える影響について調べた。

盛土内の要対策土部分や基礎地盤に透水性の高い材料を用いると、盛土内の水面形成が抑制された。盛土内の水面形成を抑制、要対策土への降雨の接触を低減し、有害物質の環境への負荷を抑えようとする場合、水面形成の目安となる体積含水率（飽和度）以上になる領域が要対策土利用部分に接触しないことを確認することも、モニタリングの一助になると考えられる。

間欠的な降雨よりも、盛土内に浸透しきらないような強い降雨強度ではない条件で連続的にある程度まとまった雨量が供給された場合の方が盛土内の水面形成の抑制や、要対策土利用部分への降雨の浸透抑制のために不利となることが考えられた。これに対しては、天端やのり

肩の遮水をすることが対策として有効と考えられた。

併せて、基盤排水層の排水効果を高めることで、要対策土を盛土内の一部に用いることは簡易な対策法の1つとして期待できるものと考えられた。

4. おわりに

本研究では、地盤汚染の周辺への影響を考慮したリスク評価、対策、モニタリングを行いつつ建設発生土を有効利用する方法について検討した。

土槽実験では地下水位以下での物質移行特性について調べたが、物質の到達が確認された範囲は限定的で、発生源から流入する濃度に比べて到達する濃度は薄くなる結果で、地下水流で希釈されていると考えられた。

そこで、要対策土が存在する発生源からの有害物質の溶出や地下水への流入を防ぐことが効率の良いリスク評価、対策、モニタリングにつながると考えられ、盛土内の要対策土利用部分が発生源となる場合の対応法を検討するため、盛土への降雨実験を行った。降雨の浸透により盛土内に形成される水位が要対策土利用部分に接触するのを防ぐことも有効な対策の1つになると考えられ、そのために効果的な方法等を検討した。盛土内の水位形成の状況は降雨条件によって大きく異なり、通常起り得る程度の降雨であれば、要対策土を盛土内の一部に用いるだけの対策でも要対策土に盛土内水位が到達するには至らなかった。長雨や豪雨に相当する降雨条件に対しては、盛土内水位が要対策土部分に達する可能性があるが、基盤排水層の排水能力や天端やのり面の遮水性を高めることで、水位上昇が抑えられ、要対策土に接触する時間も短縮された。こうした結果より、要対策土を盛土の一部に用いることは、簡易な構造で要対策土への水の接触を減らし、有害物質の溶出や拡散の対策としても期待できると考えられた。

対策効果確認やリスク評価のためのモニタリングとし

ては、盛土内水位形成状況の把握が有効で、水位形成の目安となる体積含水率（飽和度）を超える領域の連続から確認できると考えられた。

一方、盛土内の要対策土に接触した水への重金属等の溶出についても適切に予測し、対策工としての効果の評価に反映させていく必要があり、その方法の検討に今後取り組む予定である。

参考文献

- 1) 国土交通省：建設リサイクル推進計画2008、平成20年4月
- 2) 国土交通省：建設リサイクル推進計画2014、平成26年9月
- 3) 国土交通省：建設発生土の官民有効利用に向けたマッチングの開始について、国土交通省記者発表資料、平成27年6月
- 4) (独) 土木研究所・(一財) 土木研究センター地盤汚染対応技術検討委員会編：建設工事で発生する自然由来重金属等含有土対応ハンドブック、大成出版社、平成27年3月
- 5) (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、平成24年4月
- 6) (社) 日本道路協会：道路土工-盛土工指針、平成22年4月
- 7) 気象庁：歴代全国ランキング・観測史上の順位から、気象庁ホームページ
- 8) 気象庁ホームページ：つくば(館野) 平均値(年・月ごとの値) 主な要素、過去の気象データ検索、<http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/index.php>
- 9) 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.

UTILIZATION TECHNIQUES OF EXCAVATED WASTE FOR THE SAKE OF ENVIRONMENTAL CONSERVATION (3)

Budgeted : Grants for operating expenses

General account

Research Period : FY2011-2015

Research Team : Geology and Geotechnical Engineering

Research Group

(Soil Mechanics and Dynamics)

Author : SASAKI Tetsuya

KATO Shunji

INAGAKI Yukiko

Abstract : It is demanded that construction generated soil including soil suspected of necessity of countermeasuring against geoenvironment pollution is used more effectively. For the effective use of thus construction generated soil, it is expected that the methods of risk analysis, measures and monitoring considered the influence of soil and ground water contamination are applied to sites. The transport of substance under the groundwater level was investigated by leaching tests. The permeability in the embankment including the simulated soil suspected of necessity of countermeasure against geoenvironment pollution was investigated by the rainfall tests. The suggestions based on these results were given about the possibility of utilization of construction generated soil and the concepts of countermeasures, risk analyses and monitorings.

Key words : Utilization of construction generated soil, Embankment, Measure against geoenvironment pollution, Risk analysis, Monitoring