

# アーバン・グリーンダムプロジェクト (中間報告)

杉井 俊夫<sup>1</sup> 井原 徹<sup>2</sup> 平 瑞樹<sup>4</sup> 岡部 竜一<sup>3</sup> 鏑田一治 栗山和道<sup>5</sup>

1 中部大学教授 工学部都市建設工学科 (〒487-8501 愛知県春日井市松本町 1200)

2 全国トース技術研究組合常務理事 (福岡県久留米市宮ノ陣 4 丁目 2-9-11)

3 鹿児島大学助教 農水産獣医学域農学系農学部農林環境科学科 (鹿児島市郡元 1 丁目 21-24)

4 ㈱岡部代表取締役 (富山県南砺市祖山 39)

5 ㈱成建代表取締役 (滋賀県米原市柏原 3471 番地 1)

6 ㈱フクユー緑地代表取締役 (福岡県福岡市博多区那珂 3-18-26)

気候変動に伴い災害リスクの増大といった課題への対応に、団粒化技術の適用の拡張を試みた。都市の中に緑とダムの機能を持たせようとする「アーバン・グリーンダム」プロジェクトの実証実験が滋賀県米原市内で実施された。これまでの団粒化技術に加えて緑化を組み合わせることで得られる効果、緑化への影響などを実証区と対象区で 9 月よりモニタリングしながら検討を行っている。モニタリング結果から、コウライシバの活性度に団粒化の効果が得られたことや表面流出量の減少を短期間のデータであるが成果を得ている。本報告は、中間発表であり、コウライシバの育成状況に焦点を絞って報告するものである。

*Key Words: outflow coefficient, field saturated hydraulic conductivity, laboratory test*

## 1. はじめに

気候変動に伴う災害リスクの増大といった課題への対応に、これまで新たな構造物の構築や強靱化のいわゆる「グレーインフラ」に力が注がれてきた。一方、自然豊かで良好な環境で健康に暮らすことができる社会への価値観のパラダイムシフトが起きており、「グリーンインフラ」の取組みが進められている。しかし、これらは互いに管理者が異なり、個別のインフラとしてはコストなどから社会実装における課題があった。本研究は、こうした課題を解決すべく「グレーインフラ」と「グリーンインフラ」を融合した G&G インフラを目指している。

団粒化は古くから農業分野では植物の育成に有効であることが知られている。排水性・保水性・通気性・保肥性といった土壌物理性が優れており、そうした構造を生み出す土壌中の小動物や微生物の存在も耕地などでは期待されてきた。しかし、農業分野の団粒化技術はその構造を維持し続けることが難しいことから、工学ではこれまでなかなか適用されなかった。一方、当技術組合においては「N21-ATTAC 工法」としてグラウンドや園路等で実績を伸ばしてきた。これには、その団粒化構造を維持することができる点大きい。そこで、現地土壌の団粒

化構造への改良により透水性・保水性を向上させる技術を用い、都市公園や住宅地区の各種ガーデン・路側樹林帯・駐車場緑化等における治水・温暖化防止の解決を目

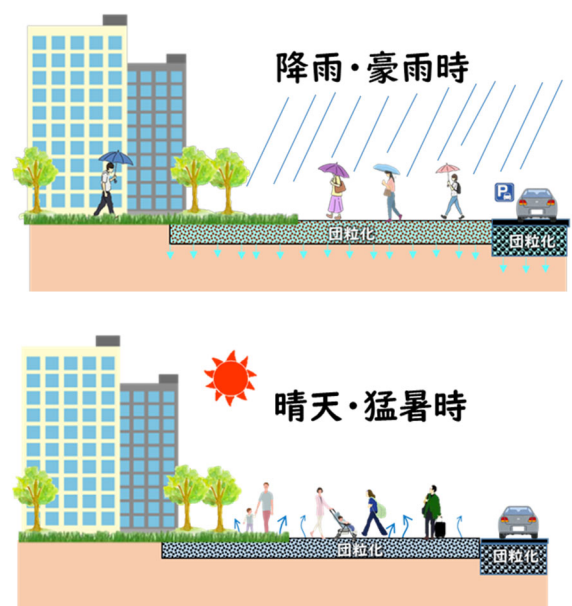


図1 アーバン・グリーンダムイメージ

的とする。そして、本実証実験研究を、保水性向上も期待でき、植生の育成にも関与することから、都市に緑地と治水を目的とした地盤に新しいダムの役割を期待する「アーバン・グリーンダム」プロジェクトと呼称する。

## 2. 団粒化技術と緑化技術

使用する団粒化技術は全国トース技術研究組合が有し、現地の地盤材料に団粒化剤を混入させることで、団粒構造を長期維持することができる技術である。本技術は、高透水性・高保水性材料へと改良できる特徴を有し、グラウンドや舗道などに既に実用化されている。図2

にあるように団粒化することで大きな間隙が形成されることで透水性が高くなり、細粒分が団粒化した中に小さな間隙が逆に形成されることで保水性（保水力）の向上につながる。また、非セメント系固化材などを添加することで、柔らかい地盤から固い地盤まで作り上げることができる。図2のように両者の組み合わせにより、防災と環境を問題に解決に貢献しようとするのが「アーバン・グリーンダム」プロジェクトである。本研究では、団粒化構造で改良した土壌および路盤の上にコウライシバを敷設した場合の流出量の違いや芝生の育成状況の違いを観測し検討を行っている。

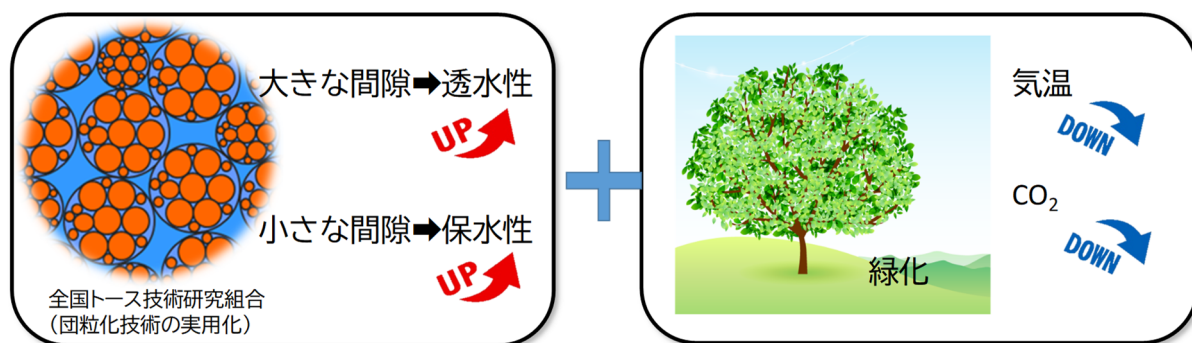


図2 アーバン・グリーンダム（団粒化と緑化のコラボ）の効果イメージ

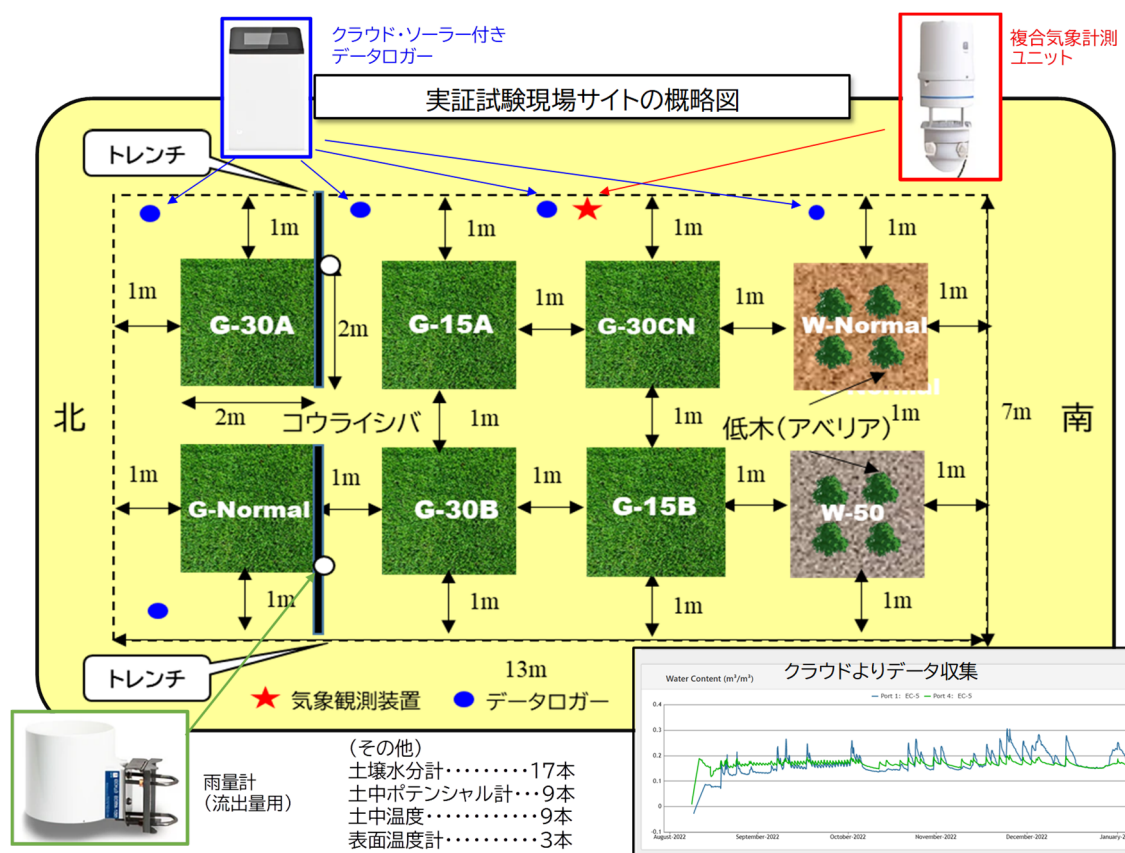


図3 現地観測サイトのイメージ

### 3. 実証調査の方法

#### (1) 芝または低木を改良土壌層に配した現場試験

本試験は、グラウンド、芝生公園・園路、駐車場周辺を対象としているが、これまで改良路盤と植栽地の効果については行われていない。そこで、芝、低木を植栽として対象とするが、本年度は特に芝について改良路盤の有無と植栽土壌との対比試験を重点的に進めていく。団粒化地盤に芝「高麗芝」を植えたG(Grass)シリーズと、低木「アベリア」のW(Wood)シリーズのサイトを作成し長期観測を実施する。図4に示すように、土壌層と路盤層の層厚の相違・未改良土壌との対比試験により効果検証を行う。

1区画は2m×2mとし、離隔を1m以上とする。区画の周囲には杉板10mm幅120mmを施し、周囲からの雨水流入を遮断する。杉板は周囲の土壌より2cmほど上げておく。また、根の生育を確認できる透明塩ビ板をつかった窓を作っておく。地表面をやや傾斜させ、流出量を一边に集めて雨樋を利用したトレンチと雨量計を接続し流出量を計測する。本データは、数値解析時によって計測精度の検証にも用いる。

計測量は、降雨量、気温、湿度、日射量、風速等の気象データと土中水分量および土中水のポテンシャル（マトリックポテンシャル）であり、各シリーズのケースごとにセンサーを予め埋設しておき観測を実施する。なお、データはクラウドに転送され遠隔で複数で確認できる。未改良地盤での対比を行うことで本改良の効果を検証する。

データロガーはMeter社製のZ6を使用した。1台6ポート接続可能であり、ソーラーバッテリー、クラウド接続が可能である。遠隔地のデータをクラウドで共同研究者

が共有できることも有意である。今回、気象データ（降雨量、気温、湿度、日射量、風速等の気象データ）を1ポートでデータロガーに接続できるのも使用において容易で本機を選択した大きな理由でもある。データロガー5台と気象観測ユニット1台、土壌水分計（EC-5）17本、土中ポテンシャル計（土中温度計測可）（TEROS-21）9本、地表の温度計測のための放射シールド付き温度・湿度・気圧センサー3台を設置、加えて表面流出量を計測するための雨量計（ECRN-100）2台を設置している。

#### (2) 現場の施工

実証試験は株式会社成建の土場（滋賀県米原市柏原町）を使用した。各試験サイトは原地盤を30cm程盛土して杉板を使って透明塩ビ板の設置工事の様子を写真1に示す。

また、G-30A（団粒改良サイト）とG-Normal（未改良サイト）には、表面流出量の計測を試みるため、写真2のように他よりも20-30cm地表からあげるとともに、5%の勾配をつけてその先に雨樋を設置した。雨樋へ流れた



写真1 実験サイトの杉板の枠と塩ビ板

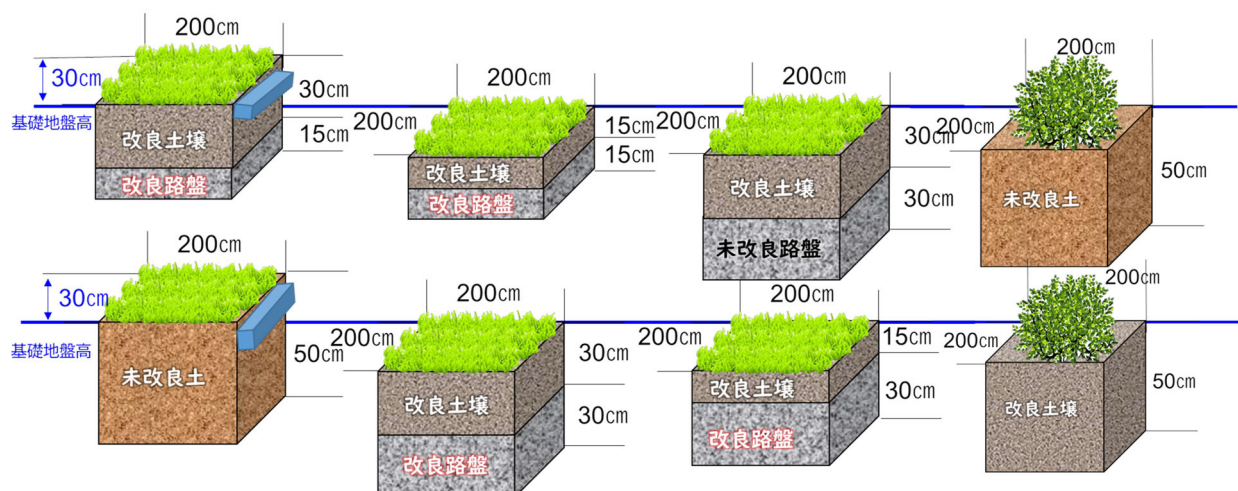


図4 各サイトの構造

流出水は、専用の雨量計に流れ、雨量計で流出量を求め

られるようになっている。

路盤材料には再生クラッシャーランRC-30、表土層には滋賀県で採取したまさ土を使用した。また、団粒化には現地でミキサーにより攪拌して養生を行った後に、締め固めた。その様子を写真3から5に示す。

写真6は整地後の写真で、3日後、コウライシバと低木のアベリアを植樹した様子が写真7である。写真8は先に記述した表面流出量を計測するために傾斜を設けるとともに、雨樋を取り付けたG-NormalとG-30Aのサイト示している。



写真2 表面流出量計測サイトの杉板枠



写真3 まさ土団粒化改良の攪拌の様子



写真4 試料の巻き出しの様子(その2)



写真5 試料の巻き出しの様子(その2)



写真6 整地後の様子



写真7 コウライシバ張芝の定植



写真8 表面流出計測用の雨樋と雨量計

## 4. 試験材料と原位置実験

### (1) 試験材料の諸量

図5に用いたまさ土とRC-30の土質諸量を示しておく。  
なおこちらは、こちらは購入土の試験結果がある。

### (2) 現場試験

現場密度を計測した、図6に示すように土壌水分センサーによる体積含水率 $\theta$ と含水比の結果から推定した乾燥密度と現地で未攪乱試料から、乾燥密度を推定した。図6は両者を比較した図ではほぼ土壌水分センサーで求めた乾燥密度と一致し容易な土壌水分センサーと含水比から推定する乾燥密度の有効性を得た。これにより得られた原位置の乾燥密度をj表1に示す。

### (3) 負圧浸入計を用いた原位置透水試験

負圧浸入計は、一定の圧力を負荷しながら試験面を湿潤させ、湿潤開始からの経過時間と、経過時間あたりの浸潤流量から透水係数を求める試験機である。大きな圧力を掛けずに浸潤させるため、地表面を侵食することがなく、図1に示すように土中内を水が球根状に広がりながら浸潤していく。そのため、軟弱地盤に対しても適用可能である1)。圧力調整管でサクションを定めることができ、試験地盤に掛ける圧力を容易に

定めることができる。圧力を調整するタンク上部と、浸潤量を読み取るタンク下部への注水だけで試験が行えるため、試験の実施が非常に容易である。

この試験より、圧力調整管を用いて定めた浸潤水頭 $h$ (cm)、浸潤開始からの経過時間 $t$ (sec)、経過時間あたりの浸潤量 $Q$ (cm<sup>3</sup>)を得る。浸潤流量 $Q/t$ (cm<sup>3</sup>/s)を求め、図7に示すように縦軸に浸潤流量の対数 $\log_e(Q/t)$ (cm<sup>3</sup>/s)、横軸に浸潤水頭 $h$ (cm)を取る。これらを用いて透水係数 $k$ (cm/s)を求める式を式(1)に示す。

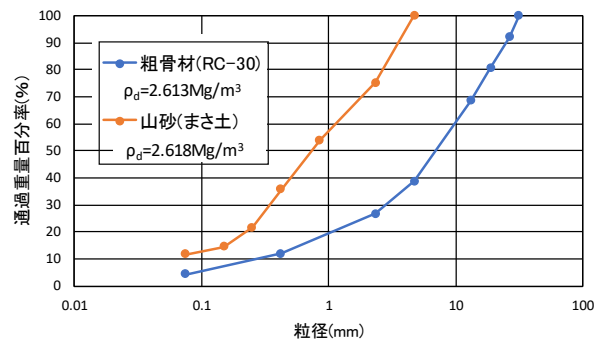


図5 粒度分布と土粒子の密度

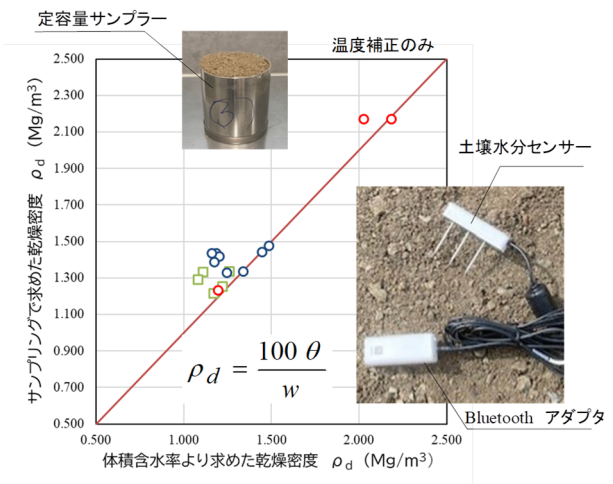


図6 乾燥密度の計測の確認

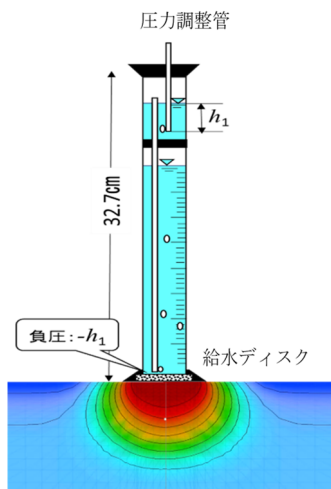


図7 負圧浸入計

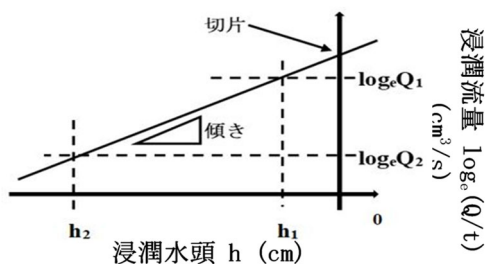


図8 浸透流量と浸潤水頭との関係

表1 現場の乾燥密度

|          | 基盤                | 路盤                | 表土層               |
|----------|-------------------|-------------------|-------------------|
|          | Mg/m <sup>3</sup> | Mg/m <sup>3</sup> | Mg/m <sup>3</sup> |
| G-30A    | 1.44              | 2.17              | -                 |
| G-Normal | 1.33              | -                 | -                 |
| G-15A    | 1.48              | 2.17              | 1.33              |
| G-30B    | 1.44              | 2.17              | 1.29              |
| G-30CN   | 1.42              | 2.17              | 1.33              |
| G-15B    | 1.39              | 2.17              | 1.22              |
| W-Normal | 1.34              | -                 | -                 |
| W-50     | 1.43              | -                 | 1.25              |



写真9 原位置透水試験の様子

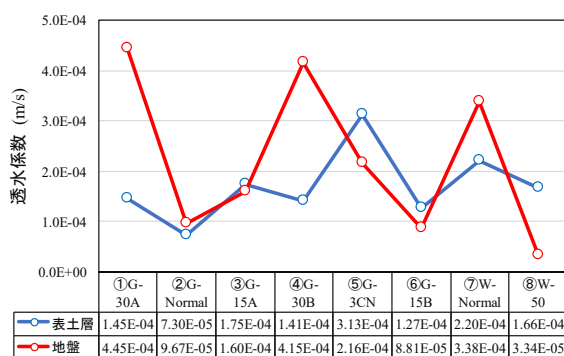


図9 地盤と表土層の透水係数

$$k = \frac{\exp(\text{切片})}{\pi R^2 + \frac{4R}{(\text{勾配})}} \quad (1)$$

ここに、R:給水ディスクの半径(cm)、切片、勾配は図8のように整理した場合の切片、勾配である。

写真9は計測風景を示し、結果を図9にまとめた。

図9よりパラツキはあるものの、概ね $10^{-4}$ m/sで表土層との差はあまりないことがわかる。

## 5. 表面流出量の評価

### (1) 表面流出量の計測方法

先に示したように、G-30A(改良サイト)およびG-Normal(未改良サイト)は、傾斜を持たせて降雨の表面流出量を計測できるように雨樋がついており、そこに流れる流量を雨量計で収集して計測している。雨樋の中にも降雨が含まれることから、その流量を補正して表面流出量として算出する。

現地観測にて設置した8つのケースのうち、比較のためG30AとG-Normalの2ケースに注目して試験を行う。(図-3.1) この2ケースの選定理由として、G-

30Aは団粒化土壌と団粒化地盤を持ち透水性と保水性が向上したケースであるのに対し、G-Normalは改良をしていない土壌を持つケースなので実験結果に差が出やすいと仮定し実験対象にした。

期間は9月13日から10月31日の間の観測データを用いる。理由として長期間の観測を行うことで降雨の頻度が高まる可能性があるため実験で使用する計測した数値に信頼性が生まれるからである。また、植生したケースにて実験を行うため、植生の効果が発揮される期間のデータを利用するため、植物が枯れ始める11月以降のデータは選定しなかった。

9月13日19時から10月24日24時までに降った雨を対象に、流出量と浸透量を求める。実験は2.1)の現地観測で作成した2つのケースを用いる(図-3.2)。各ケースは2m×2mの正方形であり、G-30Aは団粒化した土壌30cmと団粒化した路盤15cm厚さを持ち、G-

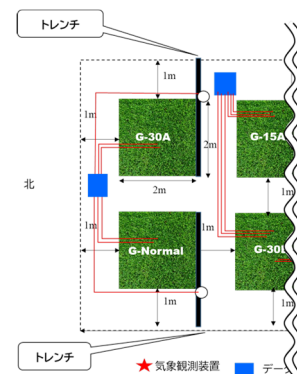


図10 流出試験配置図

Normalは未改良の土壌50cmの厚さをもつ。それぞれのケースは5%傾斜させており、降水により地盤に浸透せず流出した水が床に設置した樋に流れるようにする。樋の下には流量計(ECRN-100:メーター社製)を設置し流出量を計測できるようにする。また、ケースの横には雨量計(ATOMOS-41:メーター社製)を設置し、ケースに降る雨量と同じ条件の単体の降水量を計測できるようにする。センサーの値の単位(mm/15min)で表示されるため、流量計(ECRN-100:メーター社製)の直径93.1mm、雨量計(ATOMOS-41:メーター社製)の直径157mmをセンサーの値にかけることで単位を(mm/h)に変換して利用する。(図-11)

なお、植生の為のスプリンクラーが設置してある関係で、毎日6:00~6:30に散水される水が各ケースの樋の下にある流量計に計測される為、雨量計の値にスプリンクラーの平均散水量2.7mm/hを足すことで補正をしている。



写真 10 G-Normal サイトの雨樋と雨量計



写真 11 雨樋と雨量計

#### ①地表面流出量算出方法

団粒化地盤と非団粒化地盤間で、それぞれの地表面から流出した水量を比較することで、団粒化改良による効果を調べる。

トレンチ下部の流量計は地盤から流出した水量と天水が含まれているので、降水量単体で計測している水量を引くことで地盤から流出した流出量を式(1)で求めることができる。

$$\text{雨樋設置雨量} - \text{気象用計測雨量} = \text{表面流出量} \quad (1)$$

ここに、いずれも単位は(mm/h)である。

一方、無降雨時の雨樋設置雨量からスプリンクラーの散水量を求めることもできる。図11は無降雨時の1日30分間のスプリンクラーの散水量を表したもので、9日目

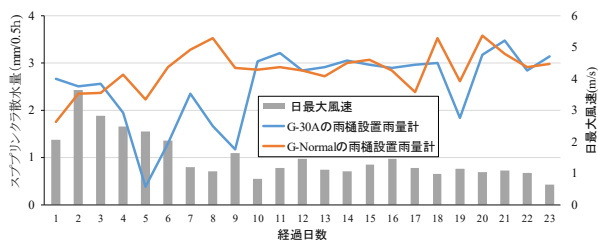


図 11 スプリンクラーの散水量の推定

くらいまでは両者にばらつきがある。これは風による影響で散水に偏りがあるもの判断され、最大風速が弱い10日～18日を対象に考えると約3mm/30分であることが推定できる。

図-12には、2つのサイトから得られた流出量のグラフを、また図-13には計測された時間雨量と実証区と対照区の流出量の比を示した。なお、対象区で流出があったが、実証区では流出量がなかった場合にはその比をゼロと示している。なお、スプリンクラー散水時間は結果からのぞいて整理している。

図-12により、対象区である未改良のG-Normalのほうが流出量が大きく観測されている。また、図-13から、降雨量が少なくと流出量も少なくばらつきが多いが、時間雨量が多くなるほど約半分以下になることが図からよみとることができる。今回の観測結果では、時間雨量7mm/hまでの弱い雨の身しか観測されなかったので継続して観測し評価していく予定である。

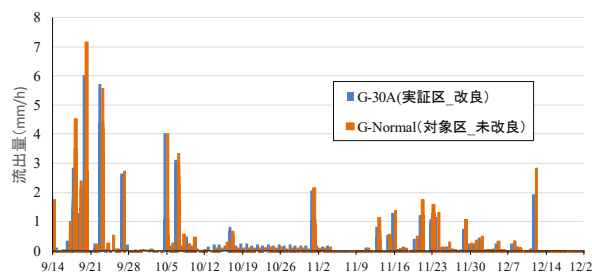


図-12 2つのサイトからの表面流出量

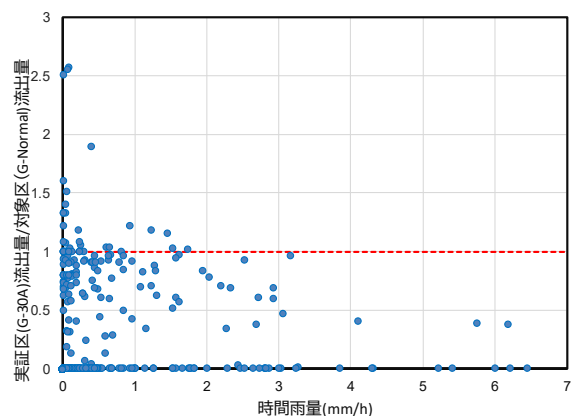


図-13 計測された時間雨量と2つのサイトの流出量の比

## 6. コウライシバの育成状況の評価

コウライシバの育成をデジタルカメラで定期的に撮影し育成状況を調べるとともに、根部の活着時期をすべてのサイトの芝を実際に引っ張って調べた。画像撮影をしたのは9月17日、9月26日、10月9日、10月

20日、11月3日、12月12日である。観察日に全て芝を写真12のように引っ張り、根部の活着を確認した。引っ張る際に抵抗があり、張芝の下部から根部が伸びている状態を活着と判断した。根部の活着時期は、いずれのサイトでも概ね同時期の定植26日後とされる。写真13-20は、コウライシバの張芝を9月14日に定植し、その後、3日後、11日後、23日後、34日後、48日後、87日後の状況である。なお、W-NormalとW-50サイトの低木のアベリアについては参考までに掲載した。

写真13から茎葉部の生育がサイトによって明らかに違



写真12 根部の活着の確認

うことがわかる。特にG-30AとG-Normalでは、それぞれ

右側に傾斜(約5%)しているために、右側に水分が集まることで茎葉部の生育の違いが一部出ているが、その差はG-30Aの方が少なく、団粒化することで地盤内の水分分布の保水状況が良く、均質に近く良いものと推察される。また、定植3日後であるが、改良土壌が30cm (G-30B、G-30CN)の方が、改良土壌15cm (G-15A、G-15B)よりもやや緑が多いような傾向がみられた。

写真14の9月26日(定植11日後)のおよそ根部が活着した時期の様子では、G-15A、G-15B、G-30B、G-30CNの緑が濃く、続いてG-30A、G-Normalのように見られる。後者は、表面が傾斜していることから左右(南北)の繁茂の違いがみられるが、その他は均質性が高いことが推察される。

写真15の10月9日(定植23日後)では、未改良地盤のG-Normalでは、張芝の目地の生育が良くないことが確認できる。また、左右(南北)の茎葉部の色もやや違いが確認された。

写真16の10月20日(定植34日後)からもG-Normalの張芝の目地の部分が枯れているように見られる。

写真17(11月3日)、写真18(12月12日)では、赤味がかり、枯れていく様子がわかる。11月3日ではG-15Bが最も早く枯れているように見える。

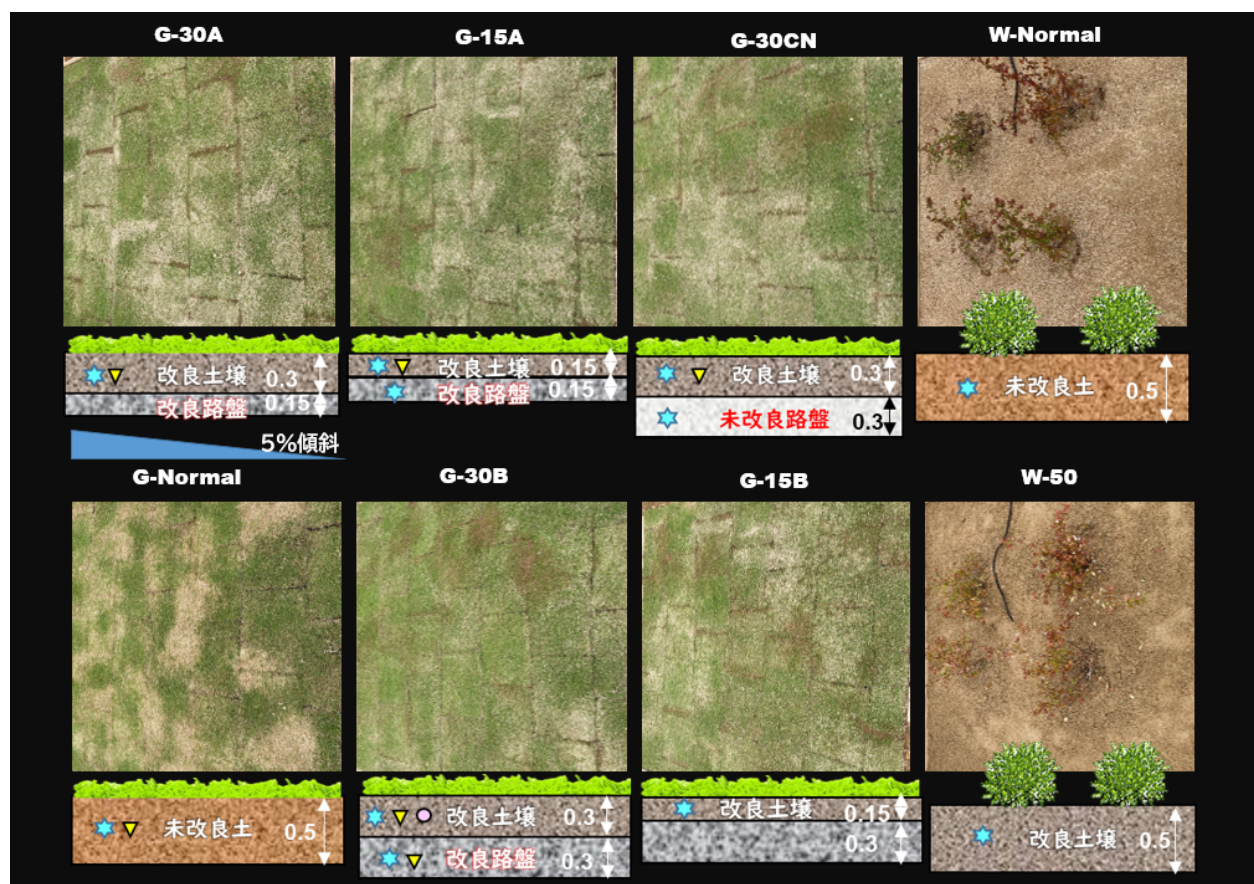


写真13 2022年9月17日(定植3日後)

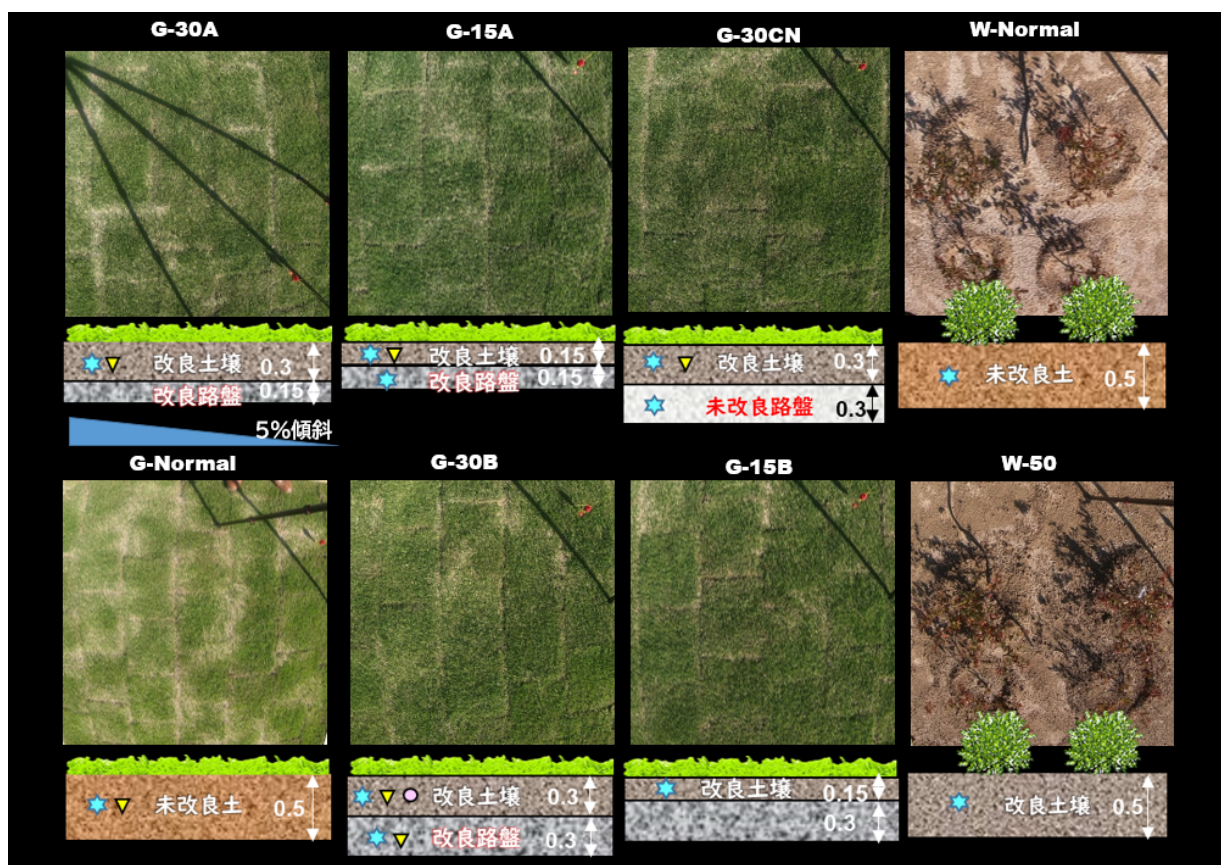


写真 14 2022 年 9 月 26 日 (定植 11 日後)

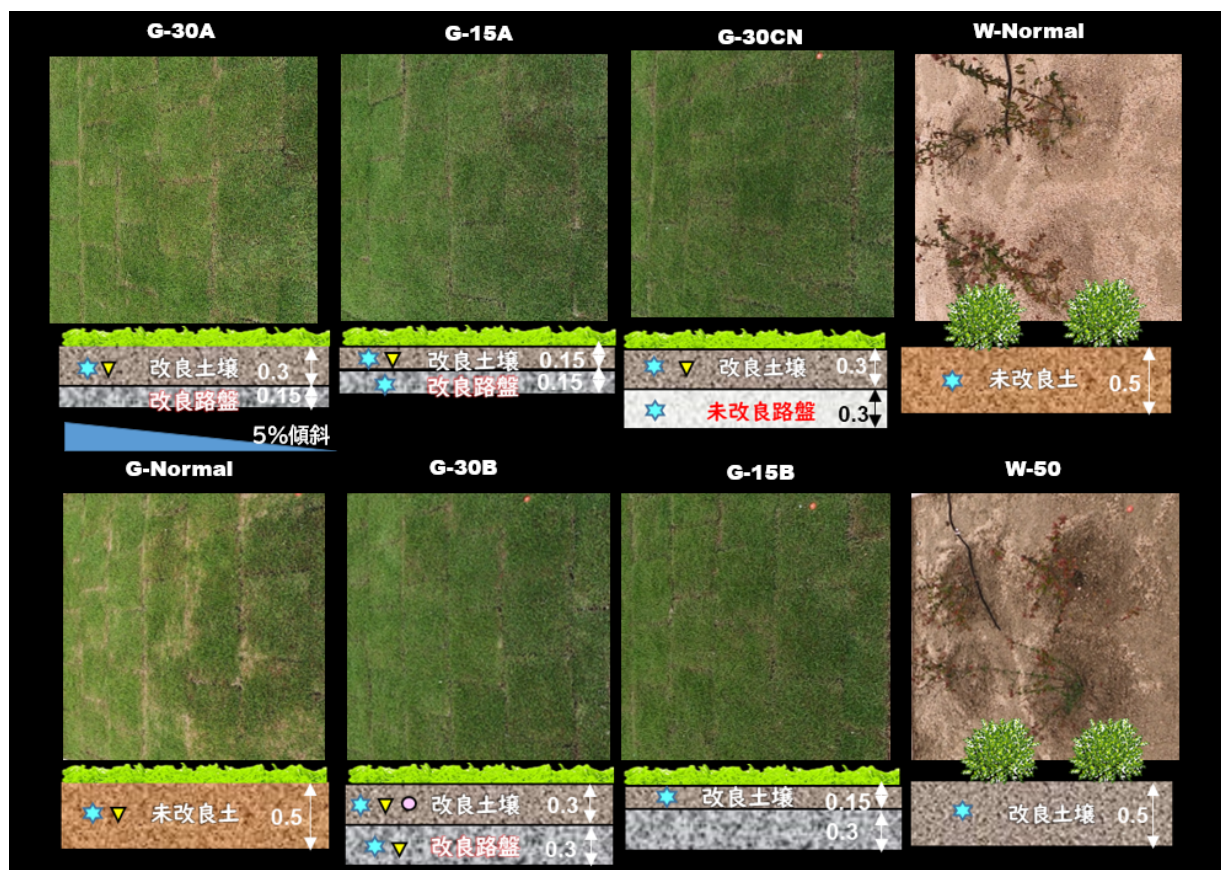


写真 15 2022 年 10 月 9 日 (定植 23 日後)



写真 16 2022 年 10 月 20 日 (定植 34 日後)

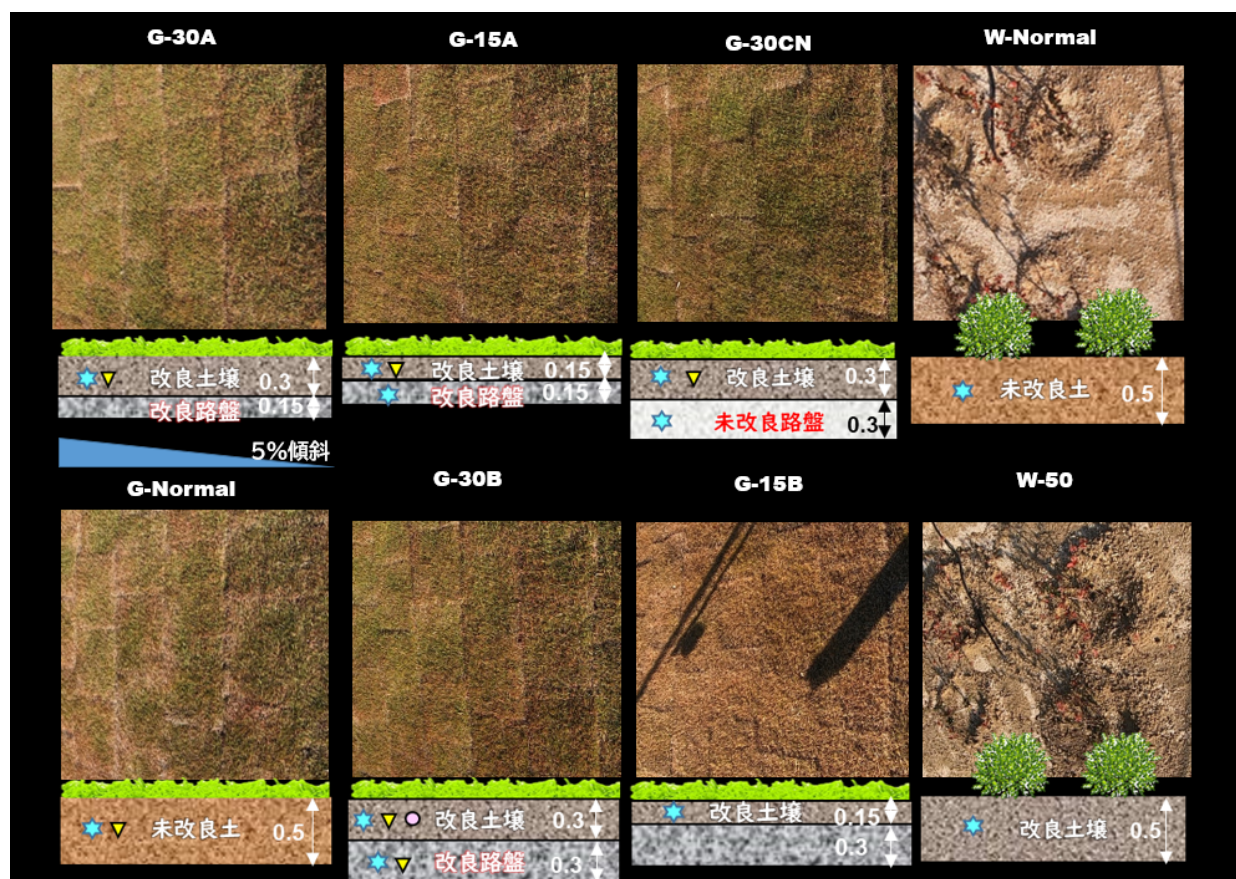


写真 17 2022 年 11 月 3 日 (定植 48 日後)

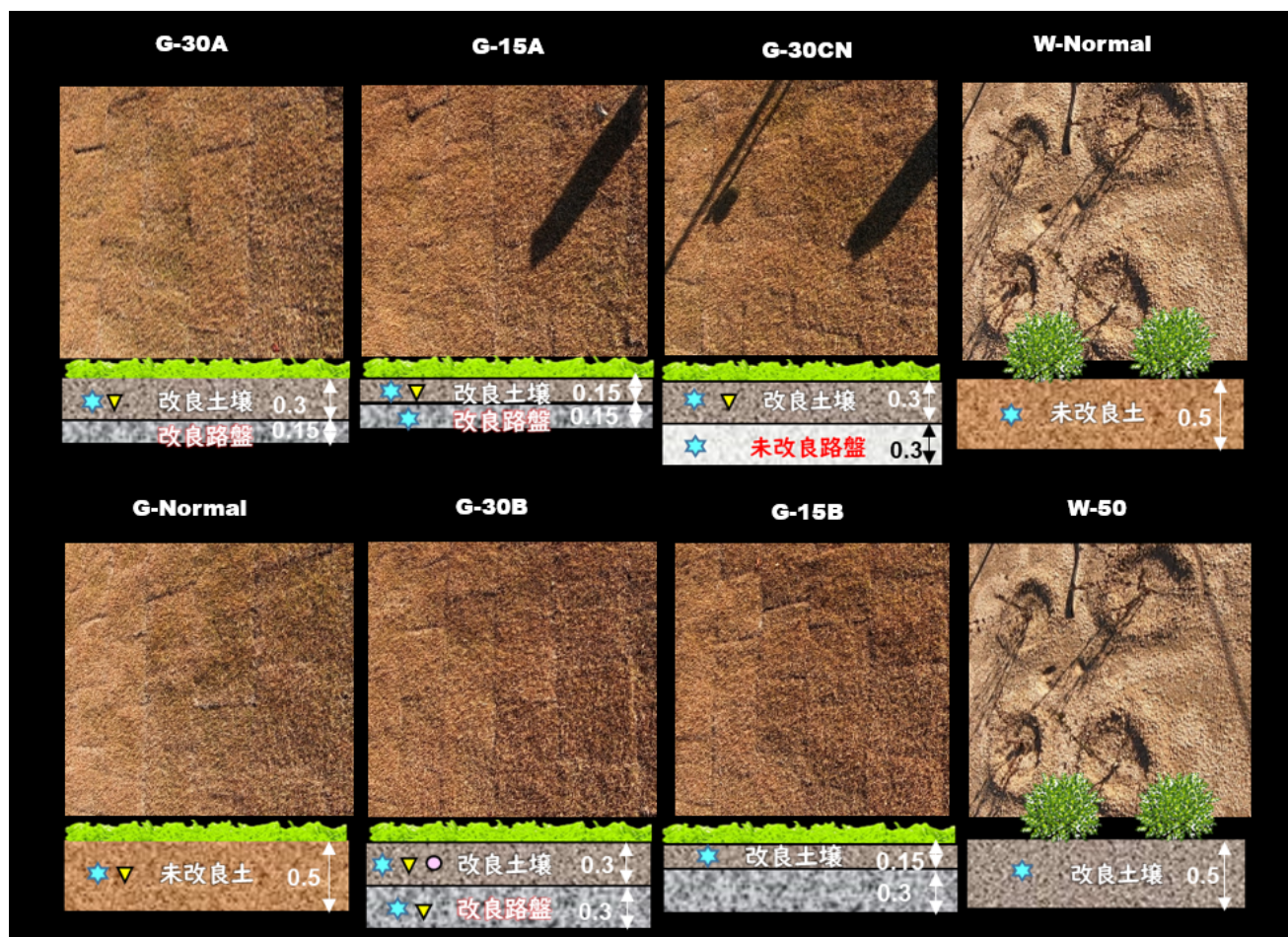


写真17 2022年11月3日（定植48日後）

図3は定植3日後、図4は定植32日後の写真である。根部の活着時期はほぼ同時期の定植26日後とされるが、茎葉部の生育が明らかに違うことがわかる。それぞれ右側に傾斜(約5%)しているために、右側に、水分が集まることで茎葉部の生育の違いが一部出ているが、その差はG-30Aの方が少なく、団粒化することで地盤の水分分布の保水状況が良いものと推察される。

植物の量や活性度の評価には、衛星写真などを使った「正規化植生指標（NDVI：Normalized Difference Vegetation Index）」が用いられる。本指標には特殊な撮影が必要となるため、ここでは写真データ（RGB画像）を使って算出できる VARI（Visible Atmospherically Resistant Index）を使用した。VARIは式(1)で定義され、VARI値が高いほど、植生の量や活性度が高い傾向を示すことがいわれている。

$$VARI = \left( \frac{\text{Green} - \text{Red}}{\text{Green} + \text{Red} - \text{Blue}} \right) \quad (1)$$

ここに、Green：緑色、Red：赤色、Blue：青色バンドのピクセル値（ここでは平均値を使用）である。

図3に示した写真についてPhotoshopを用いてRed、Green、Blueの各サイトにおける平均ピクセル値を求め、式(1)からVARIを算出し、日雨量、表層の土中水分量を時系列的に表したのが図4である。この結果、団粒化の改良されていないG-NormalでのVARIの値が他の改良区に比べて低いことがわかり、団粒化することで活性度が高いことが定量的に判断することができる。その理由として未改良のG-Normalは降雨があっても水分量を示す体積含水率の変化が少なく全体量も少ない。コウライシバの根部が活着する表土の透水係数を原位置透水試験により求めており図5に示す。団粒化していないG-Normalの透水係数は改良地盤の半分程度でやや低い傾向にあるが大きな違いまではない。G-30BはG-Normalよりも水分量が低いが、降雨時の変化が大きい。このことから、地盤に雨水が浸透しやすく、保水性が高い表層土においてコウライシバの活性度が高い可能性がある。

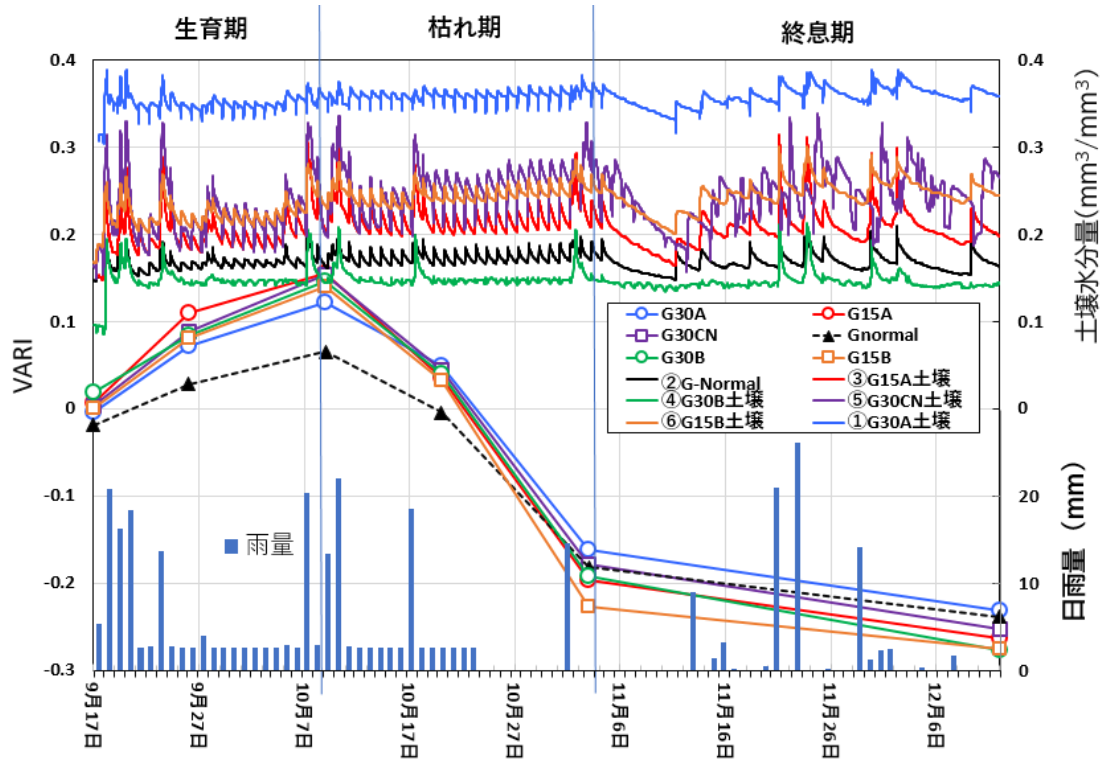


図4 各サイトの VARI と表層の土壌水分量の時系列

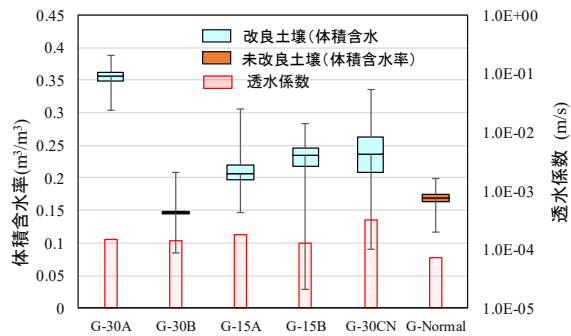


図5 各サイトにおける土中水分の変化

## 5. おわりに

団粒化による改良土壌では、コウライシバの育成が未改良より良いことが定量的に評価できた。しかし、3 か月ほどの計測であったため、豪雨、高温時期について計測できていない。今後、計測モニタリングを継続していきさらなる効果を検証していく予定である。

**謝辞：**本研究は国土交通省「先駆的な緑化技術開発のための実証調査」からの支援を受けました。

**【参考文献】** 1) Gitelson, A., et al. "Vegetation and Soil Lines in Visible Spectral Space: A Concept and Technique for Remote Estimation of Vegetation Fraction." *International Journal of Remote Sensing*, Vol. 23, pp.2537–2562, 2002.