

建設発生土の緑化利用に関する研究（その1）

——ゴルフ場造成における泥岩風化土の事例——

杉本英夫 塩田耕三
寺井学 喜田大三

Studies on Application of Surplus Soils from Construction as Revegetation Soils (Part 1)

——Case of Weathered Mudstone from Construction of a Golf Course——

Hideo Sugimoto Kouzou Shiota
Manabu Terai Daizo kita

Abstract

Application of surplus soil from construction to revegetation is expected will contribute to environmental preservation and effective utilization of resources. Surplus soils were resulting from construction of a certain golf course. These soils, which had originally been formed in the Tertiary Period, easily broke into fragments and so were experimentally applied as revegetation soils.

The soils were classified into two kinds. One was a brown weathered mudstone and the other a gray unweathered mudstone. The results of physical and chemical analyses showed that the brown soil was usable although lacking in nutrients, while the gray soil might be harmful to plant growth. Therefore, the gray soil was used under the brown, and the surface soil was improved through treatments. On planting zoysia grass it was found that growth was good.

概要

建設工事に伴う多量の発生土は、環境保全さらには資源の有効活用の観点から、緑地への適用が望まれる。某ゴルフ場造成工事の発生土は、新第三紀泥岩で容易に風化・破碎するため、緑化用の土としての検討を行った。発生土は、褐色の風化泥岩と暗灰色の未風化泥岩に分けて、物理・化学的性状を調査した。その結果、褐色土は肥料成分は少ないが緑化用土として利用可能であり、暗灰色土は植物の生育に障害を与える可能性があった。そこで、暗灰色土は下層に、褐色土は緑化用土として上層に盛土し、その表層を土壤改良した。シバ植栽後の調査結果から、生育は良好であることを確認した。

1. はじめに

建設工事から多量に発生する掘削土（以下建設発生土）は一般的に埋立処分されている。今後、その発生量はさらに増大するものと予想され、環境保全さらには資源の有効利用の観点から、建設発生土の処理方法を検討する必要がある。一方、最近では快適な環境空間の創造が望まれ緑化に対して社会的な要求が高まっているが、植栽を伴う緑地造成を行うためには多量の土を使用する。そこで筆者らは、建設発生土を緑地の造成に利用する研究を進めている。

今回、建設発生土の有効利用を検討した工事現場は132万²を開發し、18ホール、パー72のコースからなるゴルフ場造成地である。当地では、シバの生育に支障のない植栽用の客土材の確保が最も重要な課題であり、土工期間16カ月で約460万³という急速大規模土工事を実施するために、購入客土を削減し、現地発生土を有効利用する必要があった。

現地で発生する土は、主に褐色土（風化した泥岩）と

暗灰色土（未風化の泥岩）である。この土の堆積年代は新第三紀で、同地質年代には次の問題が多発する。

新第三紀層泥岩の風化土は林野等の一般的な土として存在しており、植物の生育障害をきたす土ではないが、未風化土の多くは堆積年代に蓄積した硫化物を含むため、土の風化に伴って硫化物が硫酸へと形態変化してpH 3.5以下の強酸性を呈する場合がある。“酸性硫酸塩土”と称されるこの土は、しばしば切盛造成現場で発生し、土の風化に伴いpHが非常に低くなるため、植栽した植物が枯れるなどの問題を引き起こすことが多い。例えば、大阪・千里丘陵の海成粘土層や東京・多摩丘陵の土丹層などがこれに相当する。

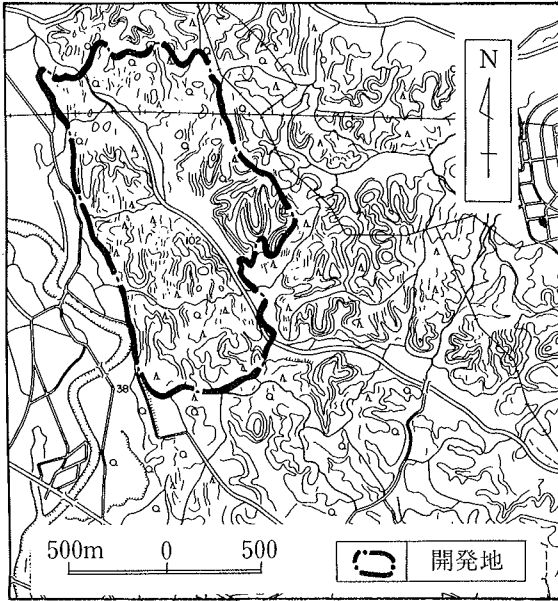
そこで、それらの利用の適否を判断するために、物理・化学的性状を調査し、その結果を基に土壤改良法を提案し、張シバ工を行った。

本報告では、第2章に工事概要、第3章に発生土の緑化利用の評価と土壤改良法の提案、第4章に施工実績を、第5章には張シバ後の生育調査について述べる。

表一1 発生土の構成鉱物

試料名	鉱物種					備考
	Q	F	M	S	Z	
褐色土	○	○	○	○	—	
暗灰色土	○	○	—	○	○	Sの含有量が高い

Q：石英 F：長石 M：雲母粘土鉱物
S：スメクタイト Z：ゼオライト(クリノプチロライト)



図一1 開発地の地形

2. 現場概要

2.1 工事概要

- ① 工期 平成2年9月～平成5年6月
- ② 施工場所 三重県久居市
- ③ 開発面積 1,320,000 m²
- ④ 切盛土工量 4,720,000 m³
- ⑤ 張シバ工 638,000 m² (グリーンを除く)

シバ種：コウライシバ (フェアウエイ),
ノシバ (ラフ)

- ⑥ グリーン 18,000 m²

シバ種：オールドオーチャード

2.2 地形、地質概要

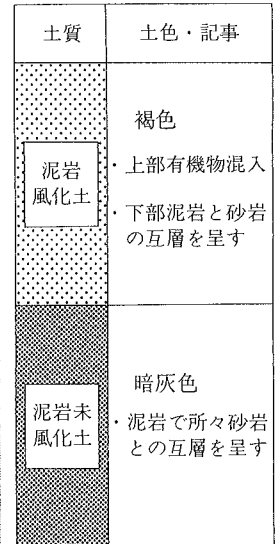
当ゴルフ場造成地の地形は、図一1に示すように開発予定地の中央に川が流れる谷地部を含み、標高30～100 m程度の起伏がある丘陵地である。土地の利用状況は、尾根、斜面部は雑木林や杉林などの森林、谷地部の上流は水田、下流はため池として利用されていた。

発生土の現状を調べるため、地層断面調査を行った。写真一1と図一2に地層断面、表一1に発生土の構成鉱物を示す。

地質は、新第三紀中新世前期の泥岩、砂岩、凝灰岩、凝灰質泥岩などの堆積岩が分布している。地表下約30 mまで行ったボーリング調査では、表層に薄く有機物を含んだ層があり、上層に褐色の風化泥岩が2～10 mの厚さ

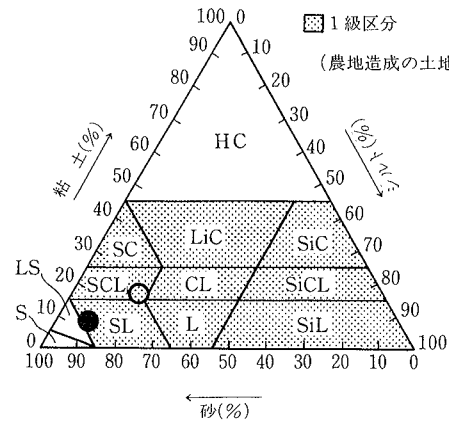


写真一1 地層断面



図一2 土柱断面の模式図

- 褐色土
- 暗灰色土
- 1級区分 (農地造成の土地分級による)¹⁾



図一3 国際土壌学会法による土性区分 (粘土<math><0.002\text{ mm}</math>, シルト$0.002\text{--}0.02\text{ mm}$, 砂$0.02\text{--}2\text{ mm}$)

で堆積し、その下層は全て暗灰色の未風化泥岩である。本造成地の発生土は、高低差30 m程度の切盛土工事を伴うために、上層の褐色土と下層の暗灰色土の2種類に区別される。

2種類の発生土の構成鉱物は、主に石英、長石であり、スメクタイトを含んでいる。

3. 発生土の緑地利用に関する検討

3.1 緑化用土の選定

緑化用土として現地発生土を評価する場合、地質を参考に調査項目を定め、一般的な緑化用土と酸性硫酸塩土について評価し、総合的に判断した。

3.1.1 一般的な緑化用土の評価 発生土の物理性・化学性について図一3、表一2～3に示す。図表中に良質土の基準値¹⁾²⁾を記した。

褐色土は、粒度組成さらに化学性から判断して、窒素、

表一 発生土の化学性 (その1)

試料名	pH (H ₂ O)	腐植*1 %	全窒素 %	炭素率 (C/N)	有効態リン酸 mg/100g	リン酸吸収係数 mg/100g
褐色土	5.6	0.3	0.40	0.4	6.2	1050
暗灰色土	9.7	0.4	0.26	0.8	42.9	290
良質土 ²⁾	5.6~6.6	>5	>0.5	10~15	>20	<700

*1:腐植は、全炭素量に1.72を乗じた値

表二 発生土の化学性 (その2)

試料名	電気伝導度 mS/cm	交換性陽イオン量				陽イオン交換容量 mg/100g	ESP*1 %
		カルシウム me/100g	マグネシウム me/100g	カリウム me/100g	ナトリウム me/100g		
褐色土	0.03	10.1	12.3	0.7	0.8	27.7	3
暗灰色土	0.63	30.7	8.5	8.0	73.7	139.0	53
良質土 ²⁾³⁾	0.3~0.5	>6.0	>1.1	>0.6	<1.1	>15	<15

*1:ESPは、ナトリウム飽和度を示す。
交換性ナトリウム量を陽イオン交換容量で除した値の百分率の表示。

表三 発生土の化学性 (その3)

試料名	pH*1 (H ₂ O ₂)	全硫黄 %	易酸化性硫黄*2 %	全鉄 %	全シリカ %	ナトリウム*3 mg/kg	カルシウム*3 mg/kg
褐色土	4.5~5.2	0.00	0.00	2.4~3.3	81~88	85~130	15~26
暗灰色土	5.8~7.5	0.04~0.22	0.10~0.24	2.0~3.8	56~85	1300~2000	13~33

*1:pH(H₂O₂)は、30%過酸化水素水処理後のpHを示す。
*2:易酸化性硫黄は、硫酸(SO₄²⁻)水で表示
*3:30%過酸化水素水に溶出したイオン、mg/kg=10⁻⁴%

表四 透水性・保水性・締固まりの調査結果

試料	透水係数 cm・s ⁻¹	有効水分 %	間隙率 %
試料A	8.1×10 ⁻⁴	5	48
試料B	1.1×10 ⁻⁸	1	40
良質土 ²⁾	10 ⁻³ ~10 ⁻⁴	>5	40~65

リン酸や有機物等の養分が乏しいが、シバを植栽する資材として利用することは可能であり、養分が少ないことを改良すればさらに良い土になる。

暗灰色土は、粒度組成が良く、植物の養分となる成分を比較的含んでいる。ただし、ESPが15%を越え、かつpHが8.5~10.0の範囲にあることから、合衆国塩類研究所の基準³⁾では、アルカリ土に区分される。アルカリ土は、植物による水と水分の吸収阻害さらには土の物理性の悪化に伴う生育障害を生じるとされている⁴⁾。

そのため、暗灰色土を利用して植物を栽培する場合には、土壌改良が必要である。

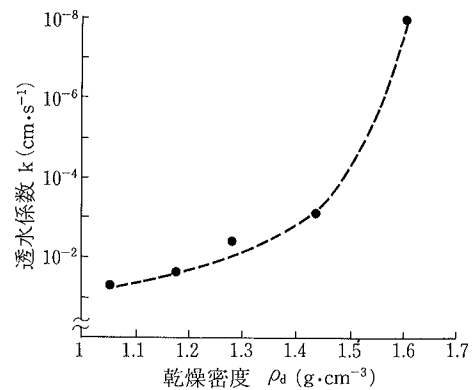
3.1.2 酸性硫酸塩土の評価 日本の未耕地に広く分布する塩基溶脱型の酸性土は、一般的にアルミニウムイオンに由来する酸性であり、pHは4.0より低くなることはない。そのため、土のpHが3.5以下になる場合、硫酸や硝酸などの無機態強酸の存在が考えられる。この土は、合衆国の土壌分類 (Soil Taxonomy)⁵⁾によれば、pHが3.5より低く (土:水=1:1)、Jarositeの斑紋を有するもの、あるいは乾土当たり0.75%以上の硫黄を硫化物として含み、かつ硫黄含有量の3倍以下の炭酸石灰当量を有するものとなっている。

ほかに、酸性硫酸塩土の簡易評価法として、土質工学会等が提案している過酸化水素水によるpH試験⁶⁾がある。この場合、pHが3.5以下を示すものは酸性硫酸塩土と判断される。しかし、アルカリ物質などを多量に含んでいる土では、硫酸が中和されるため、この方法によるpHの値は絶対的な指標とは言えない。

また、川崎⁷⁾は、全硫黄による評価の可能性を示唆し、土が強酸性化することによって植物に生育障害が発生した地域について、その周辺の土に全硫黄が0.19~0.77%含まれていたことを報告している。

したがって、pH、硫黄含有量、易酸化性硫黄量、易酸化溶出物質、硫黄化合物の形態などを分析し、総合的な評価が必要である。分析結果を表一4に示す。

褐色土は、硫黄を含まず、pH(H₂O₂)も強酸性を示さ



図一四 乾燥密度と透水係数 (締固め条件を変えた試料による)

ない。そのため一般的な土と判断される。

暗灰色土は、全硫黄および易酸化性硫黄を多量に含んでいたが、pH(H₂O₂)は弱酸性~アルカリ性であり、未風化の状態ではナトリウムを多く含むために、急激な強酸性化の可能性は低いと考えられた。

ただし、調査した試料の半数が、0.1%以上の全硫黄を含み、その40~80%が易酸化性硫黄であるため、この土は酸性化する可能性があるかと判断した。

3.1.3 総合評価 褐色土は、養分が少ないことを改良すればさらに良い土になるが、暗灰色土は、易酸化性硫黄を多量に含み、風化に伴い強酸性化が進むことが懸念されるため、緑化用土として利用することは不適であると判断した。

したがって、褐色土は、緑化用土として利用するため上層に、暗灰色土は、谷地部の埋立柱として下層に盛土することとした。

3.2 切盛土工事への提案

褐色土は、礫または土塊状で発生し、そのままではコース造形やシバの植栽が困難であるため、破碎する必要がある。さらに、緑地に求められる適度な透水・保水性を確保するため、適切な締固め作業が必要である。

この作業を進める場合、重機の走行等による転圧作業

によって、褐色土が締固まった場合、植栽するシバが生育障害を受けることが懸念される。

そこで、褐色土が締固まった状態を想定して、締固め特性、透水係数、有効水分を調べ、施工への対策を示した。図-4、表-5に調査結果を示す。

3.2.1 締固め特性 土質工学会法に基づく突き固めによる締固め試験の結果、乾燥密度 $1.6 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ 、間隙率40%、飽和度90%の状態、最適含水比21.4%を示した。

3.2.2 透水係数 最適含水比に調整した褐色土を用い、突き固めエネルギーを変えて、締固めた試料を作成し、透水係数を測定した。突き固めは、12, 37, 74, 225, 549, 1,235 KPaの条件で締固めた。

$E_c=549 \text{ KPa}$ ($5.6 \text{ kgf} \cdot \text{cm}^{-2}$)の条件で締固めた試料Bは、ほとんど透水しない状態になり、乾燥密度 $1.6 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ で、間隙率40%を示した。 $E_c=225 \text{ KPa}$ ($2.3 \text{ kgf} \cdot \text{cm}^{-2}$)の条件の試料Aでは、透水係数 $8.1 \times 10^{-4} \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1}$ 、乾燥密度 $1.4 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ 、間隙率48%であった。

3.2.3 有効水分 pF1.5~2.7の範囲の土壌水分で、植物が利用し易い状態の水量を示す。透水試験後の試験体から、不攪乱試料を採取し、pF-水分を測定した。

試料Bは、有効水分をほとんど含まない状態であったが、試料Aでは、約5%を示した。

3.2.4 施工への提案 盛土造成地において植物が生育障害を受ける場合、物理性の透水性、保水性、締固まりが原因となることが多い。

土の状態として土の間隙率、透水性が悪く、過剰な水分を含む場合や、保水性が悪く、有効水分が少ない場合、植物は生育初期に発根や伸長障害を受け易くなるため、生長の遅れるだけでなく、枯れてしまう。

植物が正常に生育する土壌の物理性は、植物の種類等によって変動するが、透水係数 $10^{-3} \sim 10^{-4} \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1}$ の範囲で、有効水分5%以上、間隙率40~65%程度²⁾とされている。今回調査した結果をこれと比較すると、試料Aが良質土の範囲内にあることが分かった。

したがって、土にはある程度の締固めが必要であり、かつ締固め過ぎないようにする必要があるため、褐色土を盛土する際の締固めは、 $E_c=225 \text{ KPa}$ を施工管理の目標値として工事を進めることとした。

4. 発生土の土壌改良

4.1 化学性の改良

造成に用いた褐色土は、3章で述べたように肥料3要素、腐植含有量が少ない。そのため、張シバ工による植栽を行う前に、元肥を加える土壌改良を行う必要がある。

シバ栽培を行う際の肥料3要素の効果は、窒素が大きく、特に生長を盛んにする。他の要素として、苦土は第三紀層風化土で、コウライシバにはけい酸が有効とされている。また、石灰は土の緩衝作用を高め、有機肥料に含まれる有機酸等による土のpHの中和材や養分となる。

シバの年間施肥量は、シバの種類、土壌、肥料、気象条件などで異なる。一般に、コウライシバの肥料3要素

表-6 肥料施用量

肥料	窒素 N	リン酸 P ₂ O ₅	カリ K ₂ O	苦土 Mg ₂ O	けい酸 SiO ₂	石灰 CaCO ₃
元肥	60	30	20	25	10	45
追肥	7	7	7	4	—	—

(単位: $\text{g} \cdot \text{m}^{-2}$)

施用量は、窒素：リン酸：カリ=10~30：10~30：10~20 $\text{g} \cdot \text{m}^{-2}$ といわれている⁸⁾。そして、元肥として利用する資材は、緩やかに効果を発揮するものが良く、3要素の供給には有機質肥料やヨウリン、コーティング肥料などが、苦土や石灰の供給には苦土石灰などが相当する。

褐色土は、ほとんど肥料を含まない状態のため、初期生長を促すために窒素量をやや増やして、表-6に示す肥料成分を散布することとした。資材としては、元肥のため、緩効性の肥料を使用した。

また、生長に伴い肥料の吸収や溶脱などが生じるため、張シバ後、生育旺盛期と刈込み後に追肥する必要がある、その2回分の量を提示した。

4.2 物理性の改良

褐色土を破砕し、締固め作業を進める場合、重機の走行等による転圧作業に伴い、褐色土が締固まる懸念される。

物理性の改良には、改良材の混合等様々な方法があるが、ここでは、耕起作業および入手が容易な褐色土とマサ土による客土について検討した。

4.2.1 盛土地の耕起作業 褐色土が礫や土塊状のため、十分な破砕が行われないことが予想される。その場合、地表面にそれらが露出するため、凹凸が発生し、コースの設計管理やプレーコンディションの維持管理に支障となることが懸念される。

4.2.2 盛土地への客土 客土する場合、土壌改良工事の作業性が良く、シバを植栽した後のコース管理に支障のない材料を利用することが望ましい。

褐色土は、粉砕する手間が必要で、その仮置き場所の確保が難しい。マサ土は取扱いが容易であり、盛土地の微小な凹凸を修正するため、コース管理上有利になる効果もある。

4.2.3 土壌改良の提案 褐色土が十分に破砕されているならば、耕起作業が適当な方法であるが、礫や土塊を含む場合には、マサ土の客土が必要である。

なお、土壌改良を実施する必要の判断は、張シバ工を行う前に、土壌調査を実施し、その性状を確認しなければならない。

5. 工事実績

土工期間16カ月で約470万 m^3 という急速大規模土工事を実施する上で、シバを植栽する褐色土 (24万 m^3)の確保が最も重要な課題であった。ここでは、発生土を利用するために行った検討事項と対策について述べる。

5.1 褐色土の確保

張シバ面積63.8万 m^2 について、褐色土を厚さ30 cm

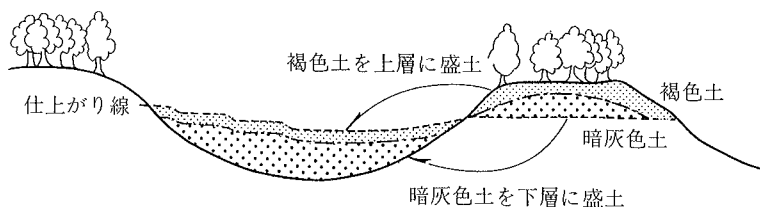


図-5 切盛り土工の模式図

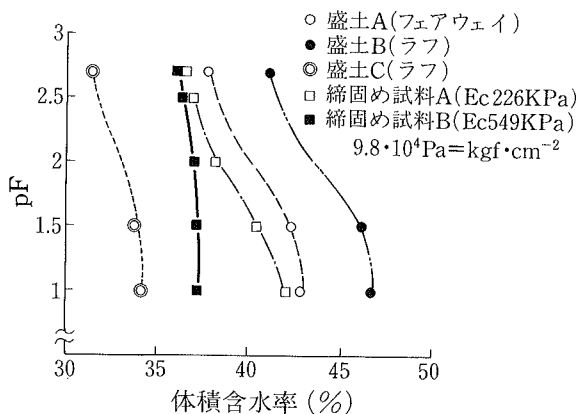


図-6 褐色土の水分特性曲線

程度に盛土するため、多量に褐色土が必要であり、それを採取する場合、切盛り土工において暗灰色土が混入しないように注意して、集土する必要がある。しかし、褐色土は、暗灰色土の上層に堆積し、その層厚が2~10mとばらつき、その採取場所が造成地全域に渡るため、施工管理上、ストックヤードに集土して仮置きすることが困難であった。

そこで、褐色土の採取位置を確定し、その運土計画を立てて、航空測量の結果を利用したキャリオールスクレイパの運行による土量管理を行った。写真-2~4に褐色土の確保および切盛り工事の状態、図-5に切盛り模式図を示す。

5.2 褐色土の盛土作業

褐色土は、礫または土塊状で発生し、そのままではコース造形やシバの植栽が困難であるため、破碎する必要があった。

そのため、盛土工事を行う場合、ブルドーザで褐色土を敷ならした後、その場所にキャリオールスクレイパを走行させ、転圧破碎する作業を行った。

褐色土は、それにより細粒化が進み、その後のコース造形が容易になった。

5.3 土壌改良の実施

褐色土の盛土終了後、施工管理の一環として、盛土の土壌断面調査を行い、不攪乱試料、攪乱試料を採取して、物理性(乾燥密度、透水係数など)および化学性(pH、窒素、リン酸、カリなど)を調査した。

その結果より、土壌改良を実施することとした。

5.3.1 土壌調査 図-6に示すように、植物が利用可能な有効水分を3~7%含み、水の流れる連続的な間隙を持つ土構造である。しかし、透水係数が $6.9 \sim 0.9 \times 10^{-5} \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1}$ 、乾燥密度 $1.4 \sim 1.7 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ 、間隙率36~47%、

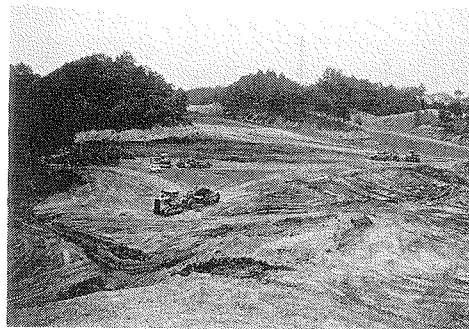


写真-2 切盛り造成全景



写真-3 盛土状態

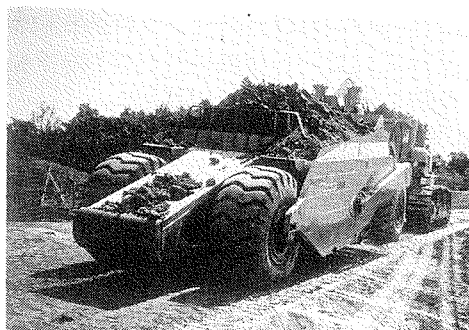


写真-4 キャリオールスクレイパの運行・転圧作業

コーン指数 $16 \text{ kgf} \cdot \text{cm}^{-2}$ であった。これより、緑地としては、締固まり過ぎて、やや透水性が悪い状態であった。

化学性については、盛土する前に調査した結果と同様に、肥料3要素が少ない状態であった。

5.3.2 土壌改良 土壌調査より、4章で述べた土壌改良の検討に基づき、肥料を散布した後、マサ土を客土することとした。

マサ土の客土厚については、盛土地の保水性は悪くないため、保水性の悪いマサ土は、表層に薄く敷ならすこととし、発根を促す効果を期待して、3~5cm程度の層厚が適当であると考え、実施した。

客土は、フェアウェイ(15.3万 m^2)とその周囲のラフに行うため、改良する面積が広く、それを薄く均一に敷ならす必要がある。そこで、マサ土の含水比を調節し、サンドジェット機を利用して散布した。

土壌改良後に張シバを行ったシバは順調に生育し、半年後にはターフ形成に必要な刈込み作業を行う状態になった。写真-5に張シバ後7カ月経過した状態を示す。



写真-5 張シバ後7カ月経過した状態

6. シバの生育

土壤改良を施した盛土地の評価を行うために、1992年3月初旬に張シバした場所で、6～10月の5カ月間、毎月1回の植生調査を行った。

6.1 植被率

調査方法は、南北に設けた基準線に沿って、50×50 cmの方形区を設置し、その生育状況を観察し、植被率として図-7に表示した。

植被率は、6月12日が30～60%程度であったのが、7月10日には70～85%程度に向上し、8月以降も同程度であった。このように、シバの植被率が高く維持されたことから、順調に生育していると判断した。

6.2 シバ中の養分

張シバ後、半年経過した10月27日に刈取り調査を行い、シバの栄養状態を調べた。

植被率が高い場合、シバの茎葉中の肥料3要素含有量は、表-7に示すように窒素1.0～1.5%、リン0.6～0.9%、カリ1.0～1.1%であった。

この結果は、実際に利用されているゴルフ場におけるシバの栄養状態⁹⁾に、ほぼ一致する値である。

6.3 土壤改良の評価

シバは順調に生育し、植被率が高く維持され、栄養状態も良好であるため、褐色土を盛土した後に施した土壤改良は、適切な方法であったと判断した。

7. あとがき

今回の経験から、建設発生土の性状を的確に評価することで、緑地への利用が可能になることが明らかになった。今後の課題は、建設発生土を緑地造成工事に活用するために、その適切な評価基準の作成、さらにビル建設

表-7 コウライシバ (茎葉) の成分

試料	窒素 N	リン P ₂ O ₅	カリ K ₂ O
10月刈取のシバ	1.0～1.5	0.6～0.9	1.0～1.1
石原(1988)	1.1～1.8	0.25～0.65	0.2～1.2

(単位:%)

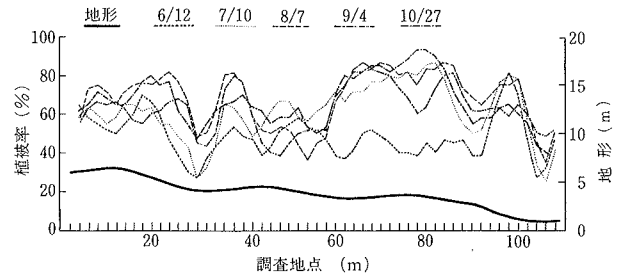


図-7 シバの植被率

や切盛土工事等の建設発生土の性状の調査やその改良方法等を研究する必要がある。

最後に、本報告の成果は、平成4年度リサイクル推進協議会会長賞を受賞しました。そこで本研究を進めるために、貴重なご助言・ご協力をいただいた伊勢大鷲工事事務所の大川所長、美濃工事にこの場を借りて深くお礼申し上げます。

参考文献

- 1) 農水省構造改善局計画部監修：土地改良事業計画作成便覧，地球社，p. 518，(1985)
- 2) 大平俊男：植物環境と緑化土壌，(株)日本造園建設業協会，p. 64～66，(1986)
- 3) Hagin, J. and Tucker, B: Fertilization of Dryland and Irrigated Soils, Springer-Verlag, p. 1～21, (1982)
- 4) Henry D. Foth: 土壌・肥料学の基礎，養賢堂，p. 201～205，(1989)
- 5) USDA: Soil Taxonomy, p. 754, (1975)
- 6) 土質試験法 (第3回改訂版) 編集委員会：土質試験の方法と解説，土質工学会，p. 130，(1990)
- 7) 川崎 弘：筑後川下流域水田地帯の新設クリークの底質土，九州農業試験場報告，Vol. 25, No. 1, p. 77～93，(1988)
- 8) 北村文雄：植物栄養・土壌肥料大辞典，養賢堂，p. 798，(1976)
- 9) 石原正義：芝草中養分の季節的变化，芝草研究，Vol. 17, No. 1, p. 18～31，(1988)