

GOALシステム（新スポーツターフ）の開発（その1）

——床土構造の耐固結性と保水性に関する検討——

塩田 耕三 杉本 英夫
辻 博和 奥 眞純
(本社 エンジニアリング本部)

Development of Grass On Aqua Lines System (New Sports Turf) (Part 1)

——Compressibility & Water-Retentivity of Planting Ground for Sports Turf——

Kozo Shiota Hideo Sugimoto
Hirokazu Tsuji Mazumi Oku

Abstract

THE GOAL SYSTEM(Grass On Aqua Lines System) is a total system for a sports turf. It is supported from design and construction to maintenance by the key technology of the underground irrigation method. It is computer-controlled according to the level or volume of water, dissolved oxygen, fertilizer(water quality), soil temperature, soil moisture, rain, recycle water, etc. The GOAL system is an economic and low maintenance method which requires quantitative maintenance.

The compressibility of the planting ground for sports turf, whose surface consists of a Natural Textile Mat and fine sand, has been investigated by a test method for soil compaction using dynamic & static and impact loading tests. The sports turf surface of Natural Textile Mat and Sand, was suitable for uncompacted soil. The compressibility and water retentivity of sub-layer planting ground for sports turf consisting of sandy soil and volcanic coarse grained soil, was investigated by a soil compaction test using a rammer. Sandy soil of volcanic coarse grained soil amendment, was agreeable for sports turf.

概要

GOALシステム(Grass On Aqua Lines System)は、サッカー場などの天然芝に対する床土構造と地中給排水施設を軸に、設計・施工・維持管理をトータルで支えるシステムである。当システムによる地中給排水は、床土内の水量・空気量、肥料分(水質)、土中温度、土中水分、雨量、水のリサイクル等を自動制御することにより行われる。これにより、省資源と省力管理を両立させるとともに、水の管理を定量的に把握することも可能にする。

このシステムの内、芝の生育基盤となる床土は、砂に火山性粗粒土を混合することで耐固結性と、植物の生育に必要な保水性を向上させることができる。また、芝の基盤(床土)の地表部に敷設する砂入り天然繊維マットは、芝の根の生育を促進し、高密度の芝を可能とするとともに、競技者や管理機械による衝撃や繰返し荷重により床土が締まるのを防止する効果がある。これらの効果を示す室内試験結果について報告するとともに、鹿児島県国分市でのGOALシステムの適用事例を概説する。

1. はじめに

サッカー場などの天然芝については、Jリーグにおける常緑芝の使用規定、それに加えて2002年のワールドカップ開催の決定を受け、高品質に管理されたものが求められている。当社では、給排水、床土内の水量・空気量、肥料分(水質)、温度、水のリサイクル等を自動制御する地中給排水システム(GOALシステム=Grass On Aqua Lines System)を開発した。
運動競技用の天然芝について、健全な状態を長期に維

持するために必要な植栽基盤の性質として、耐固結性の確保とともに適度な保水性・透水性の確保が不可欠である。

本報告では、床土の砂に火山性粗粒土を混合した際の締固め特性と植物の生育に必要な保水性の変化について検討した。また、床土の地表部に敷設する天然繊維マットは、競技者や管理機械による衝撃や繰返し荷重により床土が締まるのを防止する効果がある。この締固め防止効果について、室内にて各種載荷試験を実施した。

また、GOALシステム適用第1号となった鹿児島

国分市での施工事例についても概説する。

2. GOALシステムの特長

GOALシステムは、スプーラーの設計・施工・維持管理を一貫して行うトータルシステムで、全自動地下給排水機能をもっており、以下に示すような特長がある。

2.1 水位差を利用した地中給水システム

Fig. 1に、GOALシステムの標準断面図を示す。フィールド底面を防水シートで覆い、芝床に埋設した有孔給水管から低い水頭差で給水すると、連通管作用と毛管作用によりフィールド全面に新鮮な水がおだやかに行き渡る。給水孔は、芝の根や床土によって目詰まりしない構造とした。

地中からの給水は、地上からの散水に比べ、風の影響も無く散水ムラが出にくい。また、地上部の各種管理作業や利用時間が、散水作業によって拘束されず、管理者にも利用者にも都合である。

2.2 強い芝を育てる床土構造

砂質系3層構造と天然繊維マットの使用で良好な通気性・透水性を実現すると共に、土壌の固結防止を図った。地表部(上層)の砂入り天然繊維マットは芝の発育初期の横方向のせん断力を高め、短期間での供用開始を可能にする。また、中間層の砂に火山性粗粒土を混合することで植物の生育に適した保水性と透水性を実現する。最下層は、単粒碎石で意図的な排水を可能にする。

2.3 床土が呼吸する急速排水

有孔排水パイプは給水パイプに直角に敷設し、給排水効率を高めている。排水に当たっては、排水管につけた勾配によって重力による急速排水が行われ、水位の低下に従って床土内に新鮮な空気が吸い込まれ、床土が呼吸して根圏を好気状態に保つ。

2.4 水のリサイクル利用

Fig. 2に、GOALシステムにおける水の流れの概念図を示す。排水された水はフィルターを通して不要物を除き、必要に応じて肥料や薬剤で水質調整して再使用する。また、降雨時における排水は、貯水タンクを通じて

大容量の給水タンクに蓄え、外部からの補給水を削減する。このような雨水の活用により、リサイクル水の水質保全と高度な節水管理を実現した。

2.5 芝を活性化させる水温コントロール

冬期には、年間を通してほぼ一定温度の地下給水タンク内の水を活用することで地温上昇を図ることができる。また夏期は、夜間から早朝にかけて給排水を行い、気温の上がる時間帯は貯留水を温度変化の少ない地下給水タンク内に納めることで、冷涼な水の循環が可能となり、地温の上昇を防ぐことができる。これらの水温コントロールで、芝の活性を高める。

2.6 成長するコンピュータ制御機能

当システムは、地中や水中に設置したセンサーからの土中温度・水分・水位・溶存酸素などの情報に加え気象情報も加味して、コンピュータが水質と水量をコントロールしながら、芝に最適な環境を与える。コンピュータへの入力データは、当初は標準的なデータにより運転を開始し、漸次その地域固有のデータを加えながら更新する。

3. 火山性粗粒土を混合した砂の締固め性と保水性について

GOALシステムでは、従来の砂質土を中心とする床土の改良型として、床土第2層を火山性粗粒土(当報文では、以下はボラと表記)と砂を混合することで耐固結性に優れ、かつ適度な保水性・透水性をも提供できる。その締固め性・保水性ならびに透水性について報告する。

3.1 実験概要

3.1.1 供試試料 床土第2層のボラ混合土に使用する海砂とボラ(13~5mmに粒度調整したもの)に加えて、混合割合の検討のためのコンクリート骨材用の単粒碎石6号と、比較のためゴルフ場等の植栽用客土材として多用されるまさ土を供試した。

3.1.2 試験方法

1) 基本的性状として、自然含水比、pH(H₂O)、電気伝導度、陽イオン交換容量、真比重を試験するとともに、

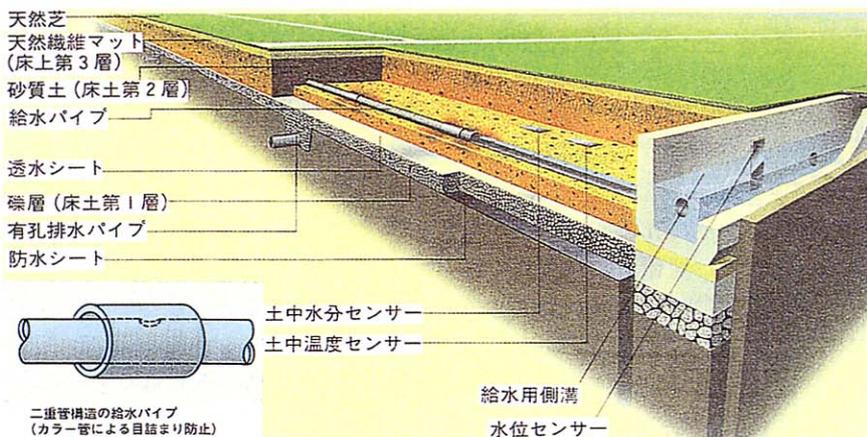


Fig. 1 GOALシステムの標準断面図
Detail of GOAL System

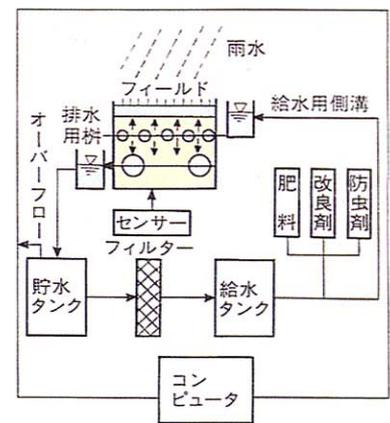


Fig. 2 GOALシステム概念図
System Flow of GOAL System

10cm モールドで2.5kg錘を30cm落下で3層10回に締固めた試料で、飽和透水係数、乾燥密度、間隙比、三相分布を室内にて土質試験法により実施した。

2) ボラと砂の混合割合については、容積比を変化させたときの締固め密度と有効水分量の変化から適性割合を検討した。締固め密度については、材料の比重が違うため、乾燥密度から適性割合を求めることが難しかった。そこで、ボラと粒径がほぼ同じである単粒碎石6号と砂の混合による密度の変化を試験した。

3) 透水試験は、締固めエネルギーごと（水締め、10cmモールドで2.5kg錘を30cm落下で3層10回と3層25回）に室内にて、土質工学会基準JSF T 311-1990により実施した。

4) pF試験は、植物が容易に利用できると思われる有効水分量(pF = 1.5 ~ 3.0)の確認のため、植栽用土の締固め評価で使用される3層10回の締固め試料を用いて、土質工学会基準JSF T 151-1990により実施した。

3.2 実験結果および考察

3.2.1 基本性状 Table 1に供試土の基本的性状を、Fig. 3に各資材の粒径分布を示す。

ボラは、自然含水比が高く、陽イオン交換容量も多く、加えて三相分布の気相・液相が多い。このことは、砂と混合することで保水性・保肥性・透水性の向上に貢

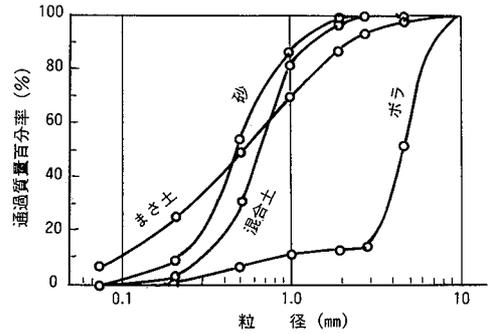


Fig. 3 粒径加積曲線
Grain Size Accumulation Curve

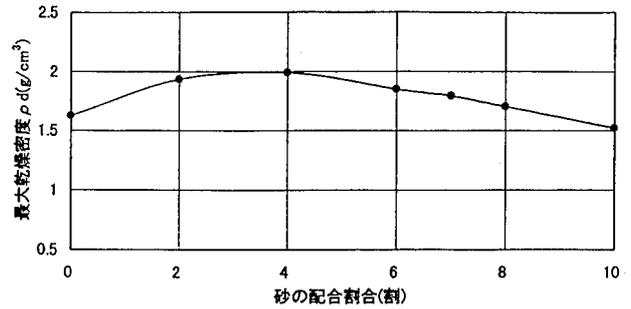


Fig. 4 砂の配合割合と最大乾燥密度の関係
Relationship Between Mixing Ratio of Sand and Maximum Dry Density

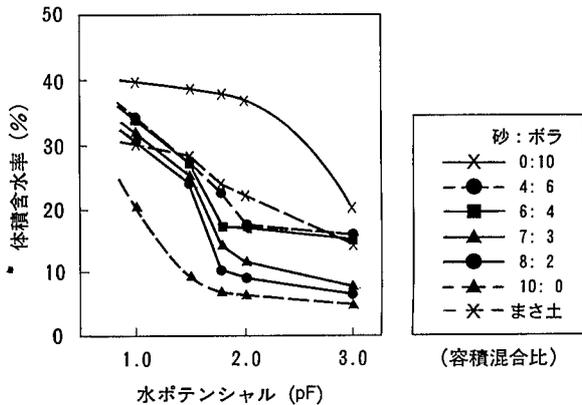


Fig. 5 混合土の水分特性曲線
Water Potential of Mixing Soil

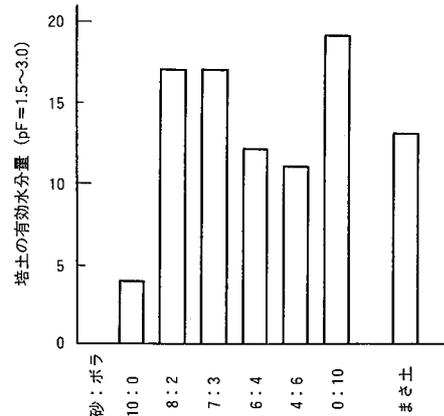


Fig. 6 混合土の有効水分量
Available Water of Mixing Soil

Table 1 供試土の物理化学的性状一覧
Physico-Chemistry Properties Of Planting Soil

試料名	砂	ボラ	踏土(砂:ボラ=7:3)	まさ土
自然含水比 (%)	8.2	17.6	14.8	9.2
pH(H ₂ O)	9.5	8.0	8.8	7.8
電気伝導度(mS/cm)	0.17	0.07	0.15	0.10
陽イオン交換容量(meq/乾土100g)	2.2	4.1	3.4	5.3
真比重	2.64	2.45	2.56	2.66
3層25回締固め土				
飽和透水係数(cm/sec)	7.96・10 ⁻²	9.32・10 ⁻¹	2.42・10 ⁻¹	8.02・10 ⁻³
乾燥密度	1.59	0.591	1.55	1.60
間隙比	0.66	3.1	0.65	0.67
三相分布(pF=1.5) (気:液:固)	5:35:60	39:37:24	27:12:61	15:25:60

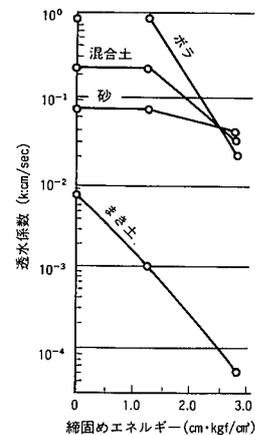


Fig. 7 締固めエネルギーと透水係数
Compaction Energy and Permeability

Table 2 載荷試験の目的・方法・評価方法
Methods of Loading Test

試験ケース名	目的	方法	評価項目
衝撃試験	選手が走っている時の地盤に加わる衝撃荷重による沈下量・接地応力・地中応力を把握する。	63.5kgの重錘を直径12cm(選手の片足の面積に相当)の鋼製載荷板上に高さ10cmより、自由落下させた。	地表面沈下 地中変位 加速度分布 地中ひずみ分布 地中土圧分布
静的試験	衝撃荷重による接地圧に相当する荷重を静的に載荷した時の沈下量・地中応力分布を把握する。	衝撃試験での接地応力より基本荷重を設定し、基本/2、基本、基本×2の3段階について沈下量・地中応力を測定した。	
動的試験	起振機により動的に載荷を繰り返し、繰り返し回数(波数)と沈下量の関係を把握する。	載荷荷重0.3kgf/cm ² (起振力100kgf)、載荷周波数3Hz、載荷回数10000波、載荷時間=1時間	
コーン試験	コーンの貫入抵抗により載荷試験前後の相対的強度を求める。	コーンを供試体に貫入させ貫入抵抗力を測定する。	貫入抵抗値

献できる。

なお、Fig. 3の図中には、後の3.2.3で述べる締め固め試験後の混合土の粒径分布も併記した。締め固め試験でボラが細粒化し易く、極端に砂の粒径に近づいているのが分かる。施工時の重機による粉碎や転圧で固結し易いので注意が必要である。

3.2.2 締め固め時の性状 Fig. 4は、コンクリート骨材用単粒碎石と砂の混合割合の変化が、締め固め密度に与える影響を、3層25回の締め固め時における最大乾燥密度の変化で示したものである。砂の配合が2~4割付近で、最大乾燥密度となる。このことは、砂の配合が、2~4割以下の場合、碎石による骨組み構造が作られ、それ以上になると砂による構造となることを示している。このことから、4割以上だと碎石が砂の中に浮いたような状態となっており、砂の締め固まりにくい性質を利用できると判断できる。

3.2.3 保水性と透水性 Fig. 5は、各配合割合におけるpF水分曲線を示している。Fig. 6は、保水性の変化としてpF=1.5~3.0の水分を有効水分量として表示した図である。砂にボラを混合することで有効水分量が変化し、砂が7~8割に対して、ボラが3~2割混合した際に、有効水分量は最大となり17%前後となる。図中にまき土の有効水分量を併記したように、この有効水分量は細粒分を10%程度含むまき土に匹敵するものである。また、植栽用培土の好ましい有効水分量は16%前後である。これらのことより、前述の耐固結性と保水性を同時に提供できる混合割合は、砂：ボラ=7：3前後を目標とする。

Fig. 7に、締め固めエネルギーごとの飽和透水係数を示す。砂：ボラ=7：3の混合土は、強く締め固めても砂単体時のそれとほぼ同等であり、透水性の面からも、床土材料として適していると判断できる。

4. 天然繊維マットの固結防止効果について

GOALシステムの内、床土第3層の地表部に敷設す

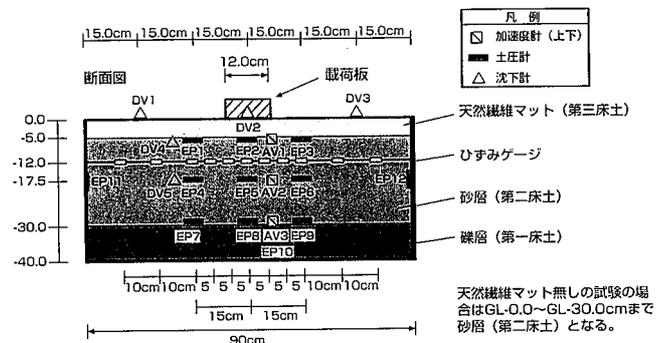


Fig. 8 センサー配置図 (静的、衝撃試験)
Sensor Position for Static and Impact Loading Test

Table 3 衝撃試験の土圧比較
Soil Pressure Ratio of Impact Loading Test

供試体条件	GL-0.05m	GL-0.175m	GL-0.3m
最適含水比	1.30/3.0=0.43	0.70/1.3=0.53	0.6/1.0=0.59
乾燥状態	5.4/10.2=0.53	3.4/4.8=0.71	1.4/1.8=0.77
飽和状態	6.0/10.5=0.56	3.3/4.4=0.77	1.2/1.3=0.91

枠内の表示法：マットの有/無しの土圧(kgf/cm²)の比

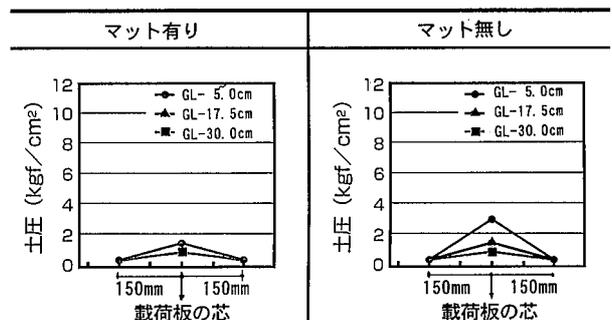


Fig. 9 衝撃試験での最大土圧分布の比較 (最適含水比)
Comparison of Maximum Soil Impact Pressure

る砂入り天然繊維マットは、競技者や管理機械による衝撃や繰り返し荷重により床土が締固まるのを防止する効果がある。その固結防止効果について報告する。

4.1 実験概要

4.1.1 供試試料 天然繊維マットは、椰子の実の外皮を粉砕し、高分子系接着剤でマット状に接着整形したもので、空隙率95~97%の厚さ5cmのものを使用した。

砂は、前章で使用したものと同一の砂を供試した。

4.1.2 試験方法 Fig. 8に示すような層構成を持つ試験体に対し、Table 2に示す各種荷重試験を実施した。天然繊維マット内への砂の充填は、乾燥状態で行い、その密度は、乾燥密度1.6を基本として、乾燥状態、最適含水比(15%)、飽和状態のそれぞれにおいて、天然繊維マットの有り・無しの違いで試験した。

4.2 試験結果および考察

4.2.1 衝撃荷重試験について 衝撃試験の結果として、Table 3に衝撃試験での最大土圧の変化を、マットの有り(kgf)/(無し:kgf)の比で示す。Fig. 9は最適含水比状態での最大土圧分布を示す。Table. 3より、すべての供試体条件においてマット有りがマット無しに比べて、土圧の低減が認められる。特に、マット直下の5cmの部分では、最大土圧の比で0.43~0.56と約半分に低減している。また、深さが深くなるにつれ、その効果が低減していく。Fig. 10に最大曲げひずみを示すように、マット有りでは、広い範囲でわずかに沈下しているのみで、マットによる応力分散効果を確認できる。

4.2.2 静的荷重試験について 静的試験の最適含水比での結果をFig. 11に示す。載荷重70kgfの場合までは、マット有りの方が沈下量はやや少なくなり、接線勾配が急で反力係数(マット有り/マット無し=1.44/1.34=1.1)、変形係数(有り/無し=12.4/11.58=1.1)ともにやや大きくなる。マット有りでは降伏荷重が70kgfとなり、それ以上の荷重では変形が大きくなる。このことは、70kgfまではしっかりと保持し、それ以上になるときは穏やかに地盤が変形して衝撃を緩和する。一方、マット無しの場合は、降伏荷重120kgfまではマット有りより緩く、それ以上の荷重域では接線勾配が急で反力係数・変形係数ともに大きく、選手の足腰に負担がかかる。具体的な値をFig. 11で読みとると、体重の2倍程度(70×2=140kgf)の静的荷重に対して、マット有りで2.7mm、マット無しで1.7mm程度の沈下が生じる。

4.2.3 動的荷重試験について 動的試験では、Fig. 12に周波数3Hzでの中間段階での1,000波の曲げひずみを示すが、乾燥地盤においてはマット無しの方が、載荷板直下のひずみが大きくなり、マットによる応力分散効果が確認できる。今回、特に図示しないが周波数3Hzを10,000波まで作用させたところ、最適含水比では、マットのリバウンド効果で、動的荷重による変形が弾性領域で繰返され、変形が蓄積されず締固めが進行しないことを確認している。

4.2.4 コーン貫入試験について コーン貫入試験では、Fig. 8に動的試験でのマット有りとなしの場合の試験前

後の結果を示すが、深さ方向のマットの下部層が固結することなく膨軟な性状を示している。また、マット無しの場合に、GL-10cm付近の試験後の値がわずかに増加しており、荷重による固結の進行が確認できる。今回、特に図示しないが衝撃試験と静的試験では試験後のコーン値が低下する結果となった。これは、それぞれの試験で破壊領域まで荷重したことによる結果と考えられる。

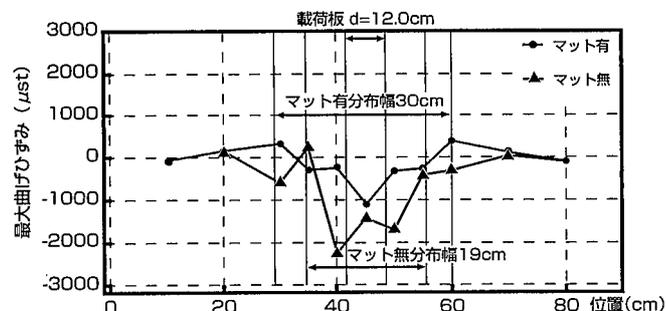


Fig. 10 衝撃試験での最大曲げひずみ分布 (最適含水) Maximum Bending Strain of Impact Loading Test

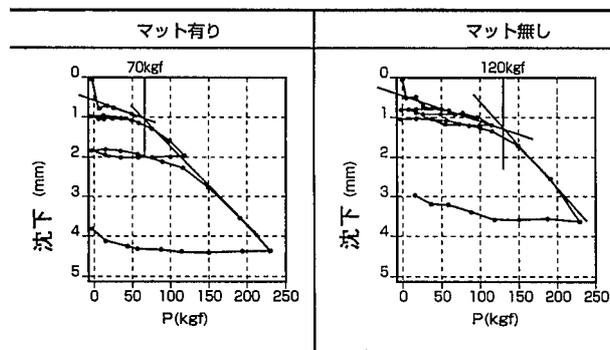


Fig. 11 静的試験での載荷荷重と沈下量 (最適含水) Loading Pressure and Settlement of Static Loading Test

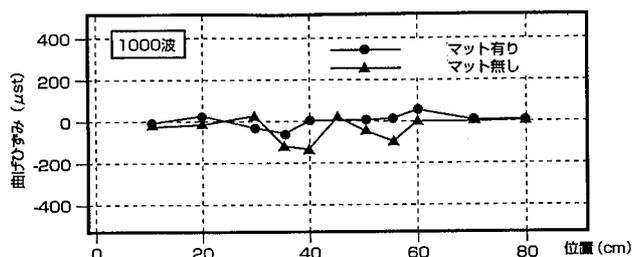


Fig. 12 動的試験におけるひずみ分布 (乾燥状態) Strain Distribution of Dynamic Loading Test

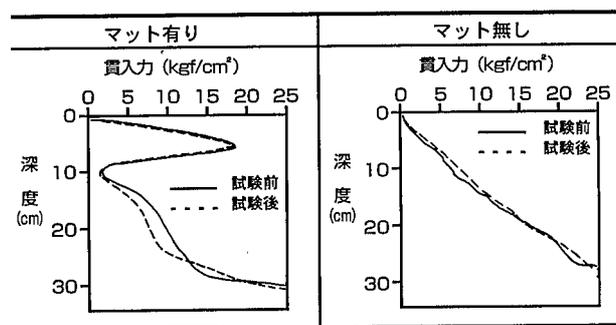


Fig. 13 動的試験でのコーン貫入強さ (最適含水) Cone Penetrometer Test of Dynamic Loading Place



Photo 1 国分運動公園
の施工状況 (給水管設
置・床土搬入)
Goal Pipe Setting and
Soil Banking at KOKUBU
Athletic Field



Photo 2 国分運動公園
の竣工
Completion in 3 Month
Period

5. システム適用現場での施工状況

GOALシステム適用第1号として、国分運動公園陸上競技場改修工事に採用された。この改修工事では、6月着工10月竣工の4カ月の工程計画で開始されたが、1996年の梅雨は降雨量が多く、かつ異常な長雨によって、実質的な着工は7月にずれ込み実質工期は3カ月であった。Photo 1, 2に、GOAL給水管敷設状況と竣工写真を示す。

国分運動公園陸上競技場改修工事の完成と同時に、1996年10月10日の市民運動会を皮切りに、11月16日には全国高校サッカー選手権大会の県大会決勝戦が開催され、素晴らしい試合を支えた。また、1997年の2月にはJリーグのチームが冬期合宿で2チームが当地を訪れ、約1カ月の間、使い続けたにも関わらず、高い評価を得た。その後も各種の大会に利用され、一般市民にも好評を博している。

1997年4月以降は、(財)国分市しみん学習支援公社の維持管理担当者の手によって、日常管理され良好な状態で推移している。ただ、生きた芝生を通年緑に保つためには、夏型芝と冬型芝を同じ土壌で育てることになり、季節ごとのきめの細かな管理作業を必要とする。

GOALシステムの採用で、各種センサー情報と管理者の判断を総合化して、コンピュータにより水量・水質を、任意の期間にわたり自動制御することができる。加えて、電話回線を使って、モニターしたり遠隔操作も可能である。センサー情報として、酸アルカリ度(pH)、電気伝導度(EC)、溶存酸素量(DO)、降雨量、土中温度、土中水分、循環水量、肥料消費量、給排水バルブの開閉状態、給水側溝と排水用マンホールの水位などを使っている。これらの詳細な実施状況については、次の機会に報告したい。

6. まとめ

以上、本報では、GOALシステムの特長を概説するとともに、このシステムに使用する床土に関する室内試験の結果を報告した。

GOALシステムの床土第2層に、火山性粗粒土(ボラ)と砂を混合することで、耐固結性に優れ、かつ保水性(保肥性)・透水性にも優れた床土を提供できる。また、地表部に敷設する床土第3層の砂入り天然繊維マットは、競技者や管理機械による衝撃や繰り返し荷重により床土が締固まるのを防止する効果がある。以上のような床土の性状は、芝の根の成長を促進し、高密度の芝を可能とするとともに、利用頻度の増大につながり、管理の省力化にも繋がるものと思われる。

最後に、本報の天然繊維マットの固結防止効果の試験と評価については、土木第五研究室の菊地敏男主任研究員にご指導を得たことを付記し、謝意を表す。また、本システムの開発に当たっては、新スポーツターフ研究開発グループの関係者にも協力を得ていることを付記し、感謝の意を表す。

参考文献

- 1) 塩田・杉本・辻・菊池・喜田・平間：植栽用基盤の締固め特性について、第26. 27. 28. 29. 30. 31. 32回地盤工学研究発表会
- 2) 塩田・杉本・辻・奥・川崎・喜田：芝生の生育基盤の土構造と生育調査、第22. 23. 24. 27. 28回日本緑化工学会研究発表会
- 3) 塩田・杉本・辻・喜田：植栽用基盤の締固め特性について、土木学会第48. 49. 50. 52回年次学術講演会