

ポータブル 1 孔式 RI 密度・水分計 SPITER (スピッタ) の開発

東京土木施工管理技士会

東亜建設工業株式会社

技術課長

堺 谷 常 廣[○]

T. Sakaiya

主任技術者

大和屋 隆 司

R. Yamatoya

工事担当

青 木 雅 俊

M. Aoki

1. はじめに

工事概要

- (1) 工 事 名：東京国際空港D滑走路建設外工事
- (2) 発 注 者：国土交通省関東地方整備局
- (3) 工事場所：東京都大田区羽田空港内
- (4) 工 期：平成19年3月～平成22年8月

東京国際空港D滑走路建設外工事（以下、D滑走路工事）は、既存の羽田空港沖500mに新たにD滑走路を建設するものである。滑走路の延長は、3,120mで多摩川側が栈橋構造、第一航路側は埋立構造となっている。図-1に滑走路の平面図を示す。

本工事の特徴として

- ・滑走路の標高が既存の空港に比較して高い。
- 滑走路が第一航路に隣接しており、航行する船

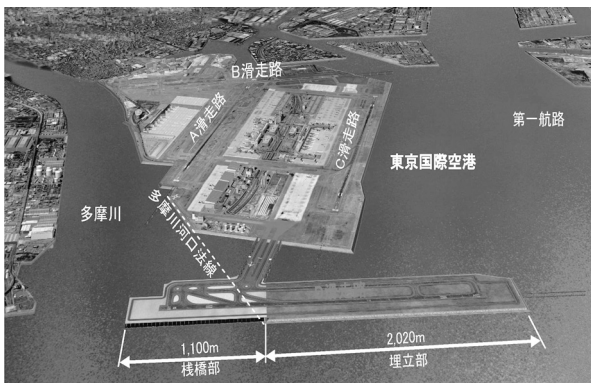


図-1 D滑走路の全体平面図

舶と滑走路に進入する航空機の制限表面の関係から、滑走路面はT.P10～13mと既存の空港（T.P+4m）と比較して高くなっている。

- ・原地盤が深く、軟弱であるため、埋立土量が多い。

埋立の原地盤がT.P-19mと深く埋立工事としても困難な工事である事に加え、軟弱層が18mと厚く堆積しているため、8m程度の沈下が生じる。そのため、埋立・盛土厚が27mに達するものとなった。滑走路を建設する全土量は、水中の埋立分が約2,000万 m^3 、気中の盛土分が1,000万 m^3 となった。

- ・施工期間が3.5年と短い。

供用開始が平成22年10月に予定されている中で、工期が設定されていたため、施工期間が3.5年と同様の空港工事の中では極めて短い。

2. 現場における問題点

短い施工期間と空港の重要性から、施工の効率化を進めながら、所定より高規格の品質を確保する必要があった。この問題の中で課題の一つが盛土の転圧であった。盛土の転圧は、一層の盛土厚を20～30cmの薄層でまき出して転圧する事が一般的な施工法である。薄層で転圧する施工方法は、長く変わる事はなかったが、近年土木機械の大型化、高性能化が進んでおり、従来の転圧機が100kN級であることに対して、470kN級の大型転圧

機械が開発させるなど、盛土の厚層化が進んでいた。例えば、関西国際空港二期工事では、路体の盛土厚が60cmとなり、東日本・中日本・西日本高速道路株式会社では、「土工施工管理基準」に「大型締固機械による厚層盛土の品質管理」を定めて60cm盛土の施工の普及を進めていた。盛土を厚層化する事は、施工の効率化による工程の短縮につながるため、D滑走路工事でも、大型転圧機械による転圧効果の確認を行い最適な品質管理方法、厚層化用計測計器の開発を行い、盛土の効率化により工期短縮を図るものとした。

大型転圧機は、酒井重工業のSV900D（起振力470kN級）を採用した。盛土材料は、千葉県で産出する山砂であり、全土源（30か所）の最大乾

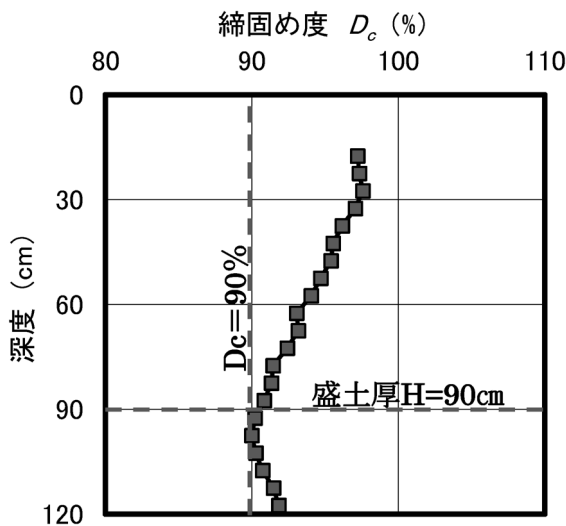


図-2 盛土内の密度分布

燥密度を求めて、最大値、最小値、平均値に近い材料を用いて、実機により試験施工を行った。試験より深度90cmで締固め度 $D_c \geq 90\%$ を満たす結果を得た(図-2)。この結果より、盛土厚90cmで日常的に品質管理が可能な計測計器を開発する事となった。

3. 工夫・改善点と適用結果

3-1 厚層盛土用計測計器の比較

厚層化計測用の計器として代表的なものを、表-1に示す。試験施工では、5cm毎に計測できる2孔式RI密度計を用いる事が多いが、計測項目が湿潤密度だけであるため、乾燥密度を求めるには、試験後盛土を掘り起こし、盛土内の水分量を別に計測する必要があるため、日常管理には不向きであった。

表面型透過型RI密度水分計は薄層盛土用であり、厚層盛土に使用する場合は、盛土内の湿潤密度の分布が一様であると仮定して、表層の密度から深層部の密度を推測し品質管理を行うものである。60cmまでは実績があるが、それより厚い場合は、信頼性が確認できなかった。そのため、直接盛土の深部を計測できる計器として1孔式RI密度水分計SPITERの開発を行った。

3-2 1孔式RI密度・水分計SPITERの概要

SPITERは図-3のように、転圧完了後にガイ

表-1 RI計測計器の比較

計測計器	表面透過型RI密度水分計 ANDES	2孔式RI計器 FRID	1孔式RI密度・水分計 SPITER
概要	微少なラジオアイソトープを用いた土の水分・密度測定を行う。 RI線源棒を土中に挿入し計測	微少なラジオアイソトープを用いた土の密度測定を行う。 2本のガイドパイプに線源と受信部を別に入れて、パイプ間の密度を計測	微少なラジオアイソトープを用いた土の密度測定を行う。 1本のガイドパイプに線源と受信部を入れて計測
計測項目	湿潤密度、水分量	湿潤密度	湿潤密度、水分量
計測厚さ	20~30cm毎	5cm毎	30cm毎
計測できる盛土厚	20~30cm	1.5m程度(ガイドパイプ長さで調整)	1.2m

ドパイプを削孔・挿入し、ガイドパイプ内に計測プローブを挿入する事により盛土中の密度、水分量を計測する。1本のガイドパイプにより複数の計測を行うため1孔式と称している。計測深度は120cmまでで、盛土を上中下の3層に分けて各層30cmごとの湿潤密度、水分量の平均値を計測する。ガイドパイプは任意の場所に挿入できる。また、計測終了時に撤去できるため、日常管理に適している。

3-3 RI密度水分計の計測原理

SPRITRは、3本の計測プローブからなり、それぞれγ線密度計、BG計、RI水分計と呼ぶ。

γ線密度計は、線源部に装着された¹³⁷Cs（セシウム137）から放出されるγ線と物質との相互作用を利用している。γ線が物質中を通過する際に、原子の軌道電子との間に相互作用が起こり、エネルギーの一部を軌道電子に与え、自らは小さなエネルギーになって進行方向を変える。測定対象となる物質を構成する原子の軌道電子の総数は、陽

子と同数であることから、電子の数は、その物質の密度と一意的な関係で表すことができる。

また、γ線を放射する物質はわずかながら地盤中にも存在し、これらから放出されるγ線をBG（Back Groundの意）と呼んでいる。BGの存在は密度計の測定にとってノイズ成分となるため、補正が必要となる。線源が装着されていないBG計を用いて自然放射線測定（BG測定）を行い、測定値からBGの影響を除去する。

RI水分計は、中性子と物質を構成する原子の原子核との相互作用を利用している。中性子線源には、²⁵²Cf（カリホルニウム252）を使用する。²⁵²Cfからは、速中性子と呼ばれるエネルギーの大きい（一般に0.5MeV以上）中性子が放出されているが、速中性子が物質中の原子核と衝突すると、次第にその運動エネルギーを失い、熱中性子と呼ばれるエネルギーの低い（およそ0.025eV）状態になる。速中性子を熱中性子に変換させる能力を減速能と呼び、水素原子の減速能は、他の原子と比較して非常に大きい。物質中に水素原子が多く存在するほど、速中性子は水素原子との衝突を繰り返すことによってエネルギーを失う。水素原子が

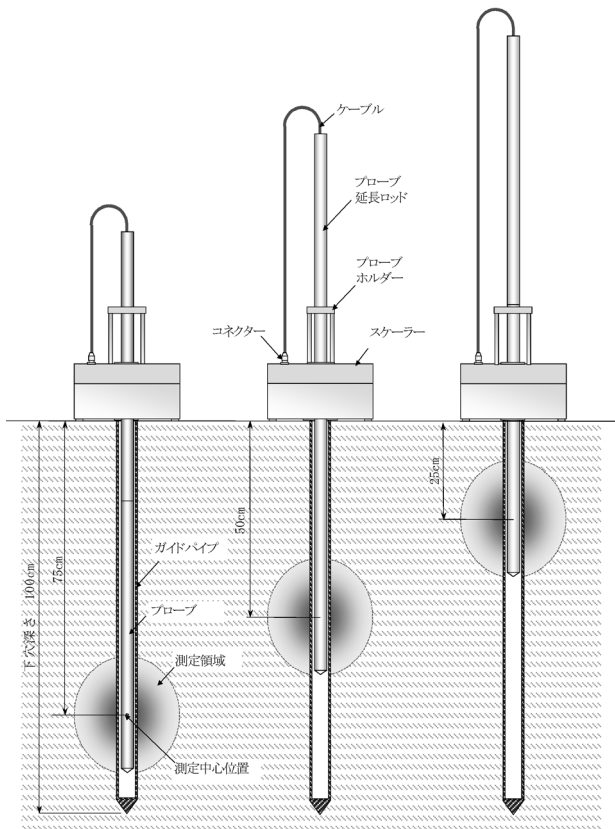


図-3 SPRIERの概要（計測）

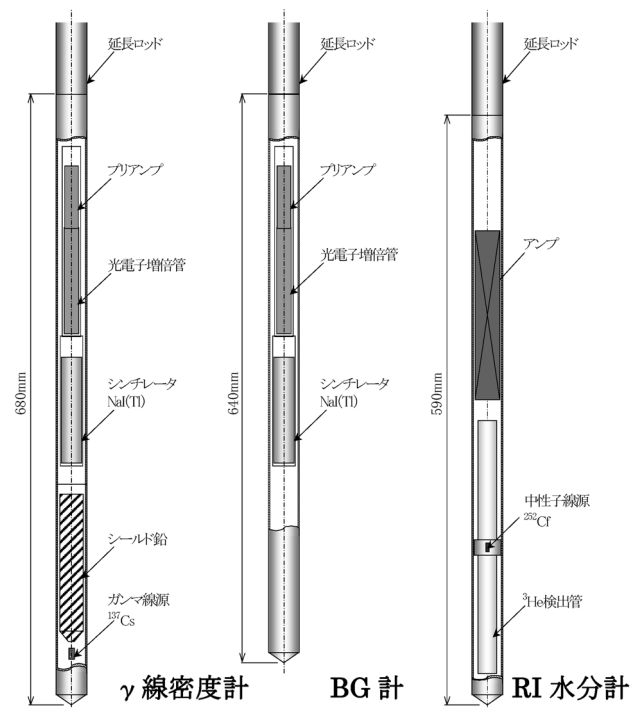


図-4 SPRIERの計測プローブ

表-2 SPRITR の仕様

測定方式	密度: γ 線散乱型 水分: 中性子散乱型
線源	密度計: ^{137}Cs 3.7MBq 水分計: ^{252}Cf 1.1MBq
測定深さ	G.L. - 75cm、- 50cm、- 25cm (これ以外も可変)
測定時間	9分 (1分×3プローブ×3深度)
適用ガイドパイプ	STK400 ϕ 42.7×t2.3

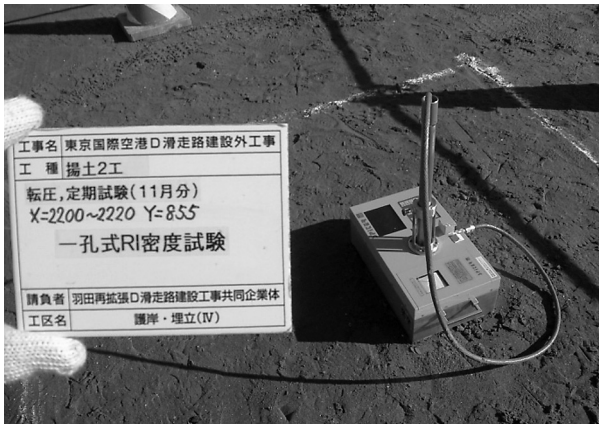


図-5 計測状況

多い物質ほど、速中性子から熱中性子へと変換される機会が多くなる。地盤中の水素原子は、そのほとんどが水を構成する元素として存在しており、熱中性子を計数することによって、地盤中の水分量を測定することができる。表-2は、SPITRの仕様、図-5は計測状況である。

3-4 盛土の品質管理と SPRITR による計測

盛土の品質管理は、一般的に転圧機と盛土厚と転圧回数を工法管理と転圧後の盛土の密度を計測による品質管理を組み合わせる手法をとる事が多い。そのため、本工事でも、転圧機 (SV900D) にGPS転圧管理システムを設置して、盛土厚 (90cm) 転圧回数 (8回) をリアルタイムで管理を行った。転圧後、SPRITR を使って1日/箇所 の頻度で土中の密度を計測し締固め度 D_c を確認した。

3-5 盛土の圧縮量の計測

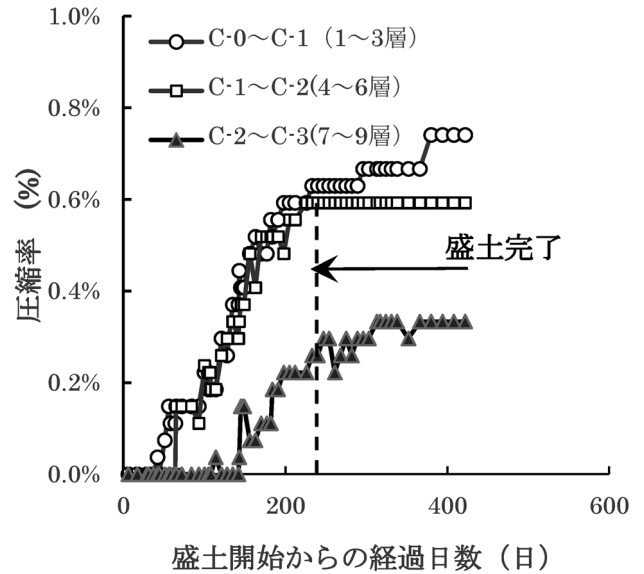


図-6 クロスアーム式沈下計の計測結果

施工中から供用開始まで1年間の盛土の圧縮量を計測するため、クロスアーム式沈下計を設置して圧縮量の計測を行った。一般的に盛土の圧縮量は、施工中は1%、供用開始後のクリープ量は、0.3~1%程度である。締固めが適正に行われていない場合、クリープ量が大きくなり、供用中の盛土の変形が生じて滑走路の不陸の発生など有害な沈下につながっていく。図-6が実際の計測結果である。転圧中の盛土の圧縮量は $\epsilon \approx 0.6\%$ となった。また、盛土完了後のクリープ量 $\epsilon \approx 0.2\%$ と従来の盛土のクリープ量より小さなものとなった事が確認された。

4. おわりに

圧層盛土の採用により施工の効率化が図られて、盛土量が約8万 m^3 /日に及び、従来の薄層施工と比較して約半年の工期の短縮となった。この結果、無事に平成22年10月の供用開始を迎える事ができた。今後、盛土の施工は盛土の厚層化の方向に向かうものと考えられるがSPRITRは、品質管理に有効な計測計器になるものと考えている。