

FWD 試験による土中の加速度と土圧分布の計測

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[○]

主任技術者 大和屋 隆 司
工事担当 青 木 雅 俊

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

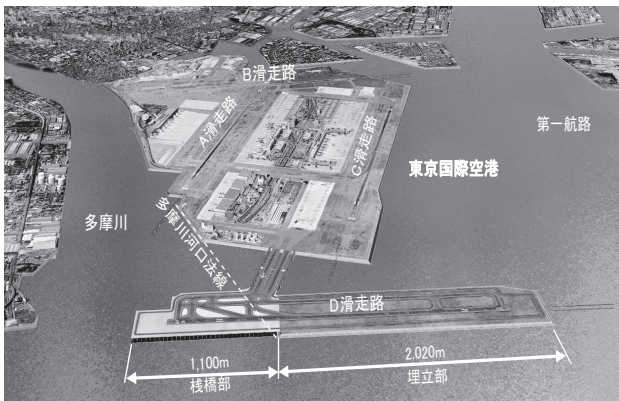


図-1 D滑走路の全体平面図

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.P+10～13m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m³、気中の盛土分が1,000万m³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

羽田D滑走路では、気中の盛土を1層当たりの厚さを90cmとして撒出・転圧を行う。通常の路体盛土が30cmに対して厚層化した施工であるため、施工管理方法を新たに定める必要があった。従来の乾燥密度による管理は、材料毎に最大乾燥密度が決められているため複数の盛土材料を扱う場合には不向きである。そのため、乾燥密度による管理に加えて地盤反力係数（KFWD30）を使った盛土の品質管理について検討を行った。

問題点とし30cmの平板載荷試験で計測出来る範囲が90cm程度であるため、90cm盛土に対応出来るかどうか検証を行う必要があった。そのため、地中に土圧計、加速度計を設置して地中の応力電波について計測を行った。

3. 工夫・改善点と適用結果

3-1 FWD 試験の概要

FWD 試験 (Falling Weight Deflectometer Test 以下 FWD) は、重錘を自由落下させて、平板に動的載荷を加え、急速載荷荷重と沈下量から地盤の剛性を計測する試験法である。図-1 は FWD 計測装置の外観図である。平板載荷試験と比較して、大型の反力を使用しないため、短時間で多数の地盤剛性を計測できる利点がある。元々は舗装などの支持力試験であったが、最近では路体や裏込めなどにも応用されている。

従来の地盤剛性の計測は前述したように大型の反力を用いるなど大量・急速施工には不向きであったが、FWD を採用することにより、このような課題に対応ができる。FWD を採用するに当たり、課題となったのが厚層化盛土 (90cm) の計測範囲である。支持力評価を行うにあたり、計測値の計測範囲を確認する必要がある。盛土の深部に未転圧部分があると、将来的に不同沈下や水浸による沈下が生じるおそれがあるために深部までの転圧効果を確認するため、盛土下端までが計測範囲である必要がある。FWD は、動的載荷試験であるために、硬質ゴムバッファによる応答や地盤との反発など複雑な挙動をする。そのため、FWD の変位挙動と土厚分布から対象となる盛土材の測定限界深度について、実験的考察を行った。実験方法は、砂質土及び礫質土盛土の内部に加速度計と土圧計を埋設し、FWD による地盤応答を計測し、地盤の測定限界について推定を行った。

3-2 山砂と用いた FWD 載荷試験

FWD の土中の加速度分布及び応力の分布を計測するため、砂質土 (以下、山砂) を $t=90\text{cm}$

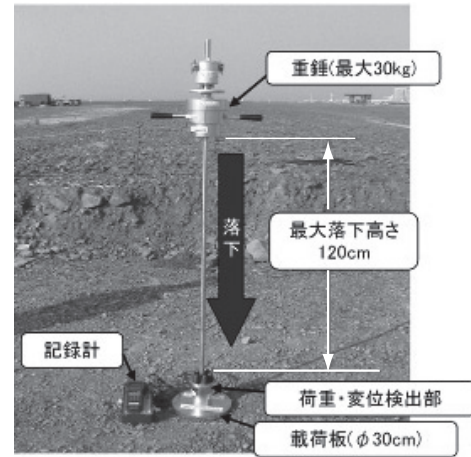


図-2 FWD の外観図

表-1 盛土材料

項目	規格	備考
地盤材料	$F_c \leq 20\%$ の砂質土	
重錘質量	20kg	
落下高さ	100,300,600,900,1100mm	各3回計測
載荷盤	$\phi 300\text{mm}$	
計測項目	加速度	5箇所
	鉛直土圧	3箇所

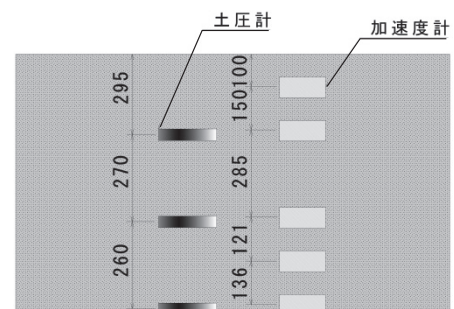


図-3 加速度計、土圧計の設置位置

で撤出、転圧を行い FWD による載荷試験を行った。試験条件を表-1 に記す。土中の加速度計、土圧計の設置断面図を図-3 に示す。センサーは、撤出時に埋設し、転圧を行っている。そのため、撤出に設置した深度と転圧後の盛土の圧縮による設置深度が異なるため、計測値は、転圧後にセンサーを撤去居時に計測した設置深度を用いている。転圧回数は大型振動ローラー (350kN 級) を用いて 8 回転圧し、十分に転圧が完了した状態で載荷試験を行った。8 回転圧は、実際の施工で規定している転圧回数である。FWD の載荷盤径は $\phi = 30\text{cm}$ を用い、重錘の落下高さを変えて計測を

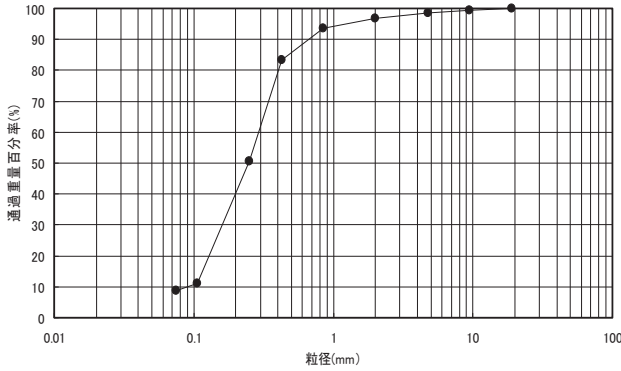


図-4 山砂の粒度分布

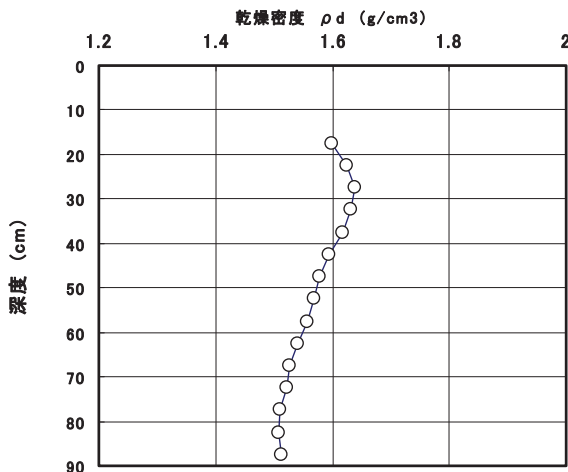


図-5 盛土の乾燥密度の深度分布

行った。

計測は、動ひずみ測定器を用いて $\Delta t = 0.001 \text{ sec}$ で計測を行っている。載荷試験に用いた山砂は、千葉県君津市内陸部で産出した盛土材である。粒度分布を図-4に示す。山砂は、 $U_c = 3.04$ と粒径が揃った砂質土である。図-5は転圧後の乾燥密度の深度分布であるが、表層から盛土深層まで $\gamma_t = 1.65 \sim 1.70 \text{ g/cm}^3$ と密度勾配が小さな盛土となっている。

3-3 加速度計の計測結果

山砂の加速度計測結果を落下高 $H = 60 \text{ cm}$ を抜粋して記してみる。図-6が実測結果である。深度が深くなるごとに土圧の分布に伴う分布が移動しておりこの移動速度は、 $V = 243 \text{ m/sec}$ である。この加速度の計測結果より各深度での加速度を試算した。

試算した加速度を2回の数値積分から変位量としている。図-7は深度毎の変位量のグラフであ

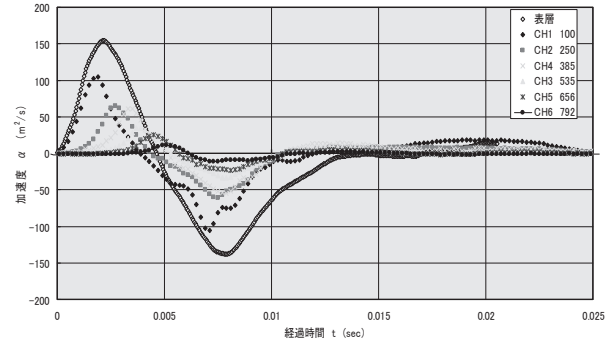


図-6 加速度計の実測値

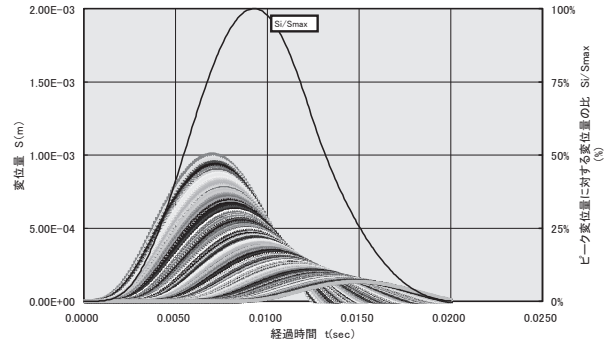


図-7 山砂の1 cm 深度毎変位量と表層の最大変位量に対する時系列変化量の百分率

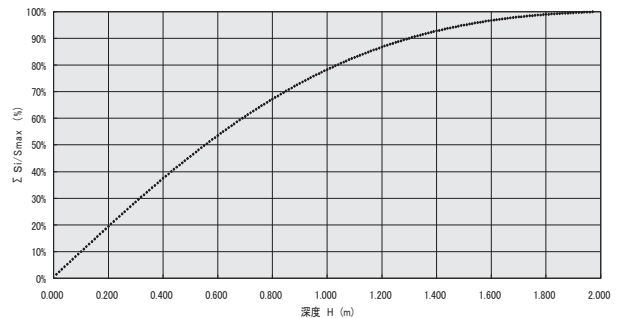


図-8 ピーク変位量に対する表層からの累計変位量の百分率

る。1 cm 深度毎の変位量の合計としたため表面の変位量に実測との差が生じる。試算が離散化した深度を用いているため、表層の変位量に実測値と差が生じる。そのため各深度の影響度合は、変位量の合計に対する百分率で表している。図-8は、表層からの変位量を累計したものである。

例えば表層30cm までの変位量が S_{max} に占める割合である。この結果を見ると、変位の50%が表層から約60cm で生じ、90%が120cm までに生じている。計算上、変位量は応力伝達速度から200 cm 以深まで達している。ただし、変位量全量がこの深度までで生じている。ただし120cm 以深

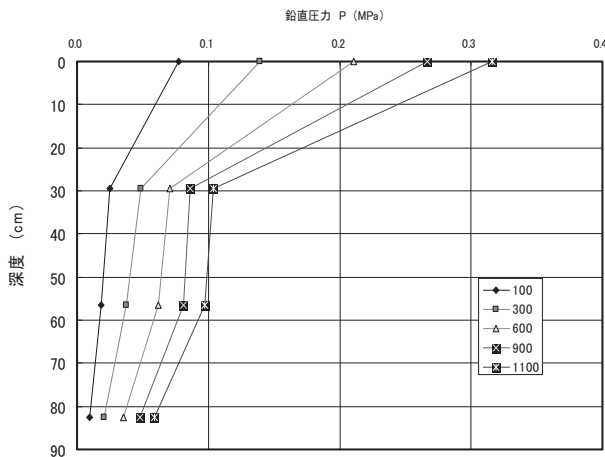


図-9 FWD 試験による土圧の深度分布

の変位量が全体の10%に満たず表層に与える影響は大きくない。変位量の80%を目安とすると、100 m 程度までが応力が伝達する範囲と考えられる。

3-4 土圧計の計測結果

図-9は、鉛直土圧の計測結果を埋設深度毎、落下高さ別に整理したものである。表層の載荷荷重はFWDの計測値のピーク値を用い、地盤の応力分布は動的荷重のピーク値を用いている。地盤の応力は深度が深くなるごとに減衰していることが分かる。

同箇所でもFWDと合わせて平板載荷試験を行っており、平板載荷試験からKöglerの土圧分布計算を用いて試算を行うと、静的荷重では分布角度 $\beta = 30^\circ$ となった。FWDの表層の動的荷重でも同様に $\beta = 30^\circ$ で試算を行うと実測値の試算が可能であるため、FWDによる土中応力はほぼ予測可能である。一連の計算のうち、平板載荷試験の載荷荷重とFWDの表層の載荷荷重が近い条件での試算結果を記すと図-10のようになる。前述したように、土中の応力分布に関して動的、静的載荷の土圧分布は、同一の分散角を用いて予測可能

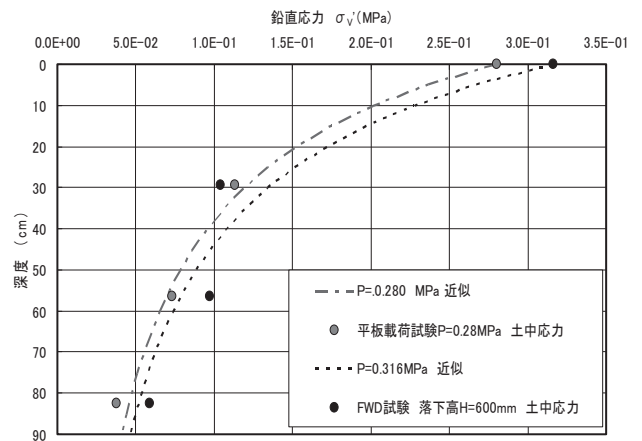


図-10 FWD と平板載荷試験結果の深度分布と土圧の試算

であった。地中応力は、深度30cmで表層の35%程度になり深くなるにつれて漸減する。深度90cmでは17%となるが、応力伝播は確実に進行していることがわかる。表層の応力と深層の応力は転圧機の接地面積や載荷荷重によって大きく変わるため、盛土厚と転圧機の組み合わせが重要となる。

4. おわりに

本文では、FWDの加速度及び土圧分布からFWDの有効限界深度を求めてみた。ここでは、動的応答そのものを計算するのではなく、地盤の応答から、加速度及び土圧から地盤のパラメータをもとめ、試算を行っている。その結果、山砂でピーク変位量の90%が $H = 120\text{cm}$ までに生じている。本文の目的は、厚層化盛土の計測に用い場合に計測深度について考察をするものであるが、試算の結果では、概ね $H = 100\text{cm}$ が対象になると考えられる。この深度より深い部分は、変位量に対する影響が小さく、実測時のばらつきに含まれるものと考えられる。そのため、厚層化盛土の計測に用いる場合、 $H = 90\text{cm}$ での盛土では、適用範囲と考えられる。