

ベントナイト系緩衝材の締固め管理への小型 FWD 試験の適用性について (その2)

大成建設(株) 正会員 ○根木政広 大成建設(株) 正会員 森川義人
 大成建設(株) 正会員 藤原斉郁 大成建設(株) 正会員 三角真貴子
 大成ロテック(株) 正会員 城本政一 (株)東京測器研究所 正会員 岡野 剛
 東京電機大学 フェロー会員 松井邦人

1. はじめに

「ベントナイト系緩衝材の締固め管理への小型 FWD 試験の適用性について (その1)」では、小型 FWD 試験による地盤反力係数 $K_{p,FWD}$ と締固めたクニゲル GX の乾燥密度 γ_d に良好な相関性があることを確認した。小型 FWD 試験は、動的载荷による平板载荷試験の一種であり、载荷応力の及ぶ範囲の力学性状を反映した値となっている。また、試験から得られる地盤反力係数 $K_{p,FWD}$ は载荷面直下の応力範囲までの動的特性の影響を受けるため、静的な平板载荷試験とは変形挙動が少し異なると予想される。図-1 に示すように、小型 FWD 試験により得られる地盤反力係数 $K_{p,FWD}$ 、弾性係数 $E_{p,FWD}$ は、通常の平板载荷試験と同様に、载荷面から载荷板直径の約 3 倍程度の圧力球根が及ぶ範囲の影響を受けると考えられる。

Boussinesq の弾性応力解によると、円形等分布荷重の場合、载荷応力 p の圧力球根の影響範囲は、载荷板直径と同様の深さまでは载荷応力 p の約 20~30%以上の応力が影響している (図-2)。本実験では、小型 FWD 試験の応力の影響範囲と締固め仕上がり層厚 ($t=100\text{mm}$) の関係および载荷面の試験安定性を考慮し、载荷板の直径を $\phi 150\text{mm}$ で実施しており、各締固め仕上がり層厚分は载荷応力 p の 40~50%程度までの応力の影響を受けることとなる。従って、締固め各層毎の締固め管理を行なうには、下層の力学性状を逐次逆解析した構造評価法が必要となる。本研究では、小型 FWD 試験による地盤反力係数 $K_{p,FWD}$ について、締固め層厚の変化と側壁近傍载荷条件における実験データを分析し、解析的検証を行なった後で締固め各層毎の時系列評価に基づく締固め管理手法の確立を目標としている。今回は、ベントナイト系緩衝材による複数の締固め層からなる構造体について、地盤反力係数 $K_{p,FWD}$ を評価指標とした締固め管理を実施するに当たり、多層弾性理論を適用した解析ツールによる締固め時系列の構造評価の可能性について検討した。

2. 多層弾性解析による実験結果の検証

多層弾性解析は、FWD 試験 (or 小型 FWD 試験) などの载荷試験により舗装の構造設計、評価を行なう有効な解析ツールとして普及している。本実験では、東京電機大学の松井教授が開発した汎用性の高い順解析プログラム「GAMES (General Analysis of Multi-layered Elastic System)」¹⁾および逆解析プログラム「BALM (Back Analysis for Layer Moduli)」²⁾を用いて解析検証を行なった。まず、実験で得られた小型 FWD データ (地盤反力係数 $K_{p,FWD}$) について、载荷面下の各層の力学条件による影響を客観的に調べるため、締固め各層の乾燥密度 γ_d から推定される弾性係数 E をパラメータとした解析を行なった。解析に用いたパラメータは、表-1 に示すとおりである。小型 FWD 試験から得られる弾性係数 E および载荷応力 p は、乾燥密度 γ_d との相関性が良好であることから、解析ではベントナイト系緩衝材各層の弾性係数 E と载荷応力 p を各層の

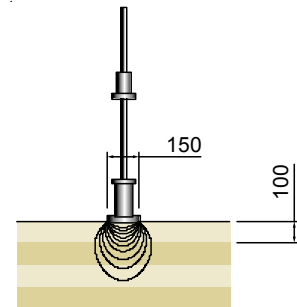


図-1 小型 FWD 試験の载荷応力の影響範囲

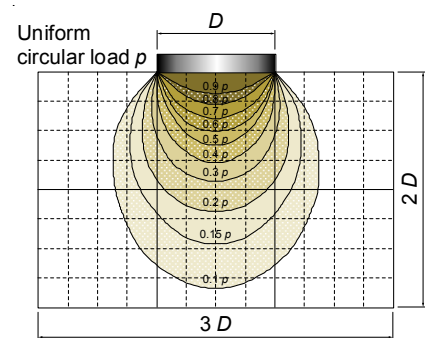


図-2 Boussinesq の圧力球根

キーワード 小型 FWD 試験, 多層弾性解析, 順解析, 逆解析, 弾性係数, 地盤反力係数, 締固め

連絡先 〒163-6009 東京都新宿区西新宿 6-8-1 大成建設株式会社 原子力本部 TEL03-5381-5315

乾燥密度 γ_d の平均値を用いて設定し、それぞれ各層の代表値とした。各層の乾燥密度 γ_d と小型 FWD 試験から得られる弾性係数 E の関係を図-3 に示す。(その1) で示した第2層～第5層の γ_d - $K_{p,FWD}$ 関係図について、表-1 に示す解析パラメータを用いて GAMES で解析した結果を図-4～図-6 に示す。GAMES による解析値と小型 FWD 試験の実測値は比較的近い特徴を示している。締固め層の増加に伴い実測値は解析値より上方に移動し、解析値の曲線勾配に近い分布傾向を示した。解析では、コンクリート面との層間すべりは考慮したが、締固め層間のすべりは考慮していない。締固め層の変化に伴う土被り応力の変化や表面の仕上がり状況などの要因から層間摩擦力が各層によって異なり層間すべりに影響していると考えられ、締固め表面の仕上がり状況による影響も含め検討すべき課題と考える。

3. 小型 FWD 試験載荷面直下層の逆解析

実施された小型 FWD 試験について、載荷面直下(載荷面層)の弾性係数 E を静的逆解析プログラム BALM を用いて推定した。解析結果のうち2例について図-7、図-8 に示す。図-7、図-8 に示す逆解析の結果から、載荷位置と変位計設置箇所の解析たわみと実測たわみは、比較的良好な再現性が見られる。図中には、解析変位(逆解析により推定された弾性係数 E を入力して GAMES から計算される)が示されており、載荷板直下のたわみ (D_0) と外部変位計のたわみ ($D_1 \sim D_4$) について測定たわみと解析たわみの一致度はほぼ0.9以上に収まっていた。以上より、小型 FWD 試験による締固め管理手法において、締固め層の時系列の構造解析ツールとして多層弾性解析の適用が可能であると考えられる。

4. まとめ

今回の実験では、小型 FWD 試験の載荷位置と近傍の変位を測定し、載荷重 p 、加速度波形の採取を行なっている。詳しい波形分析により上記の課題を考察し、締固め層の状態を評価していきたい。また、下層のコンクリート層近傍層(第1～2層)およびそれ以上の締固め層の分析・評価を進め、コンクリート側壁近傍載荷と一般部載荷データについて動的逆解析ツールを適用した評価を継続していく予定である。

参考文献

- 1) 社団法人 土木学会：多層弾性理論による舗装構造解析入門，舗装工学ライブラリー3，2005
- 2) 黒松，松井，他「静的逆解析によるアスファルト構造評価診断システムの開発」；土木学会第55回年次学術講演会，pp90-91，2000.9

表-1 解析に用いたパラメータ

	Bentonite	Concrete
Poisson's ratio	0.4	0.2
Modulus of elasticity	90-180 MN/m ² (vary with compacted bentonite density)	21,000 MN/m ²

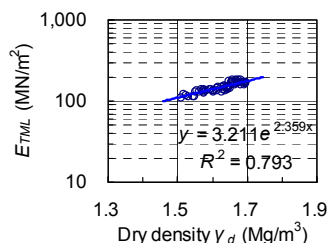


図-3 乾燥密度 γ_d -弾性係数 E 関係図

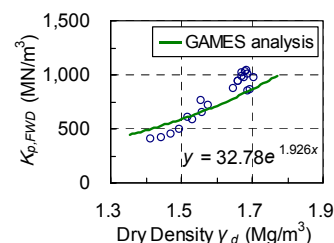


図-4 γ_d - $K_{p,FWD}$ 関係図 (第2層)

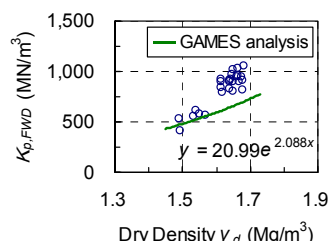


図-5 γ_d - $K_{p,FWD}$ 関係図 (第3層)

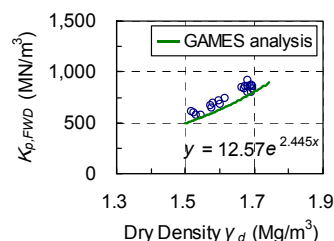


図-6 γ_d - $K_{p,FWD}$ 関係図 (第5層)

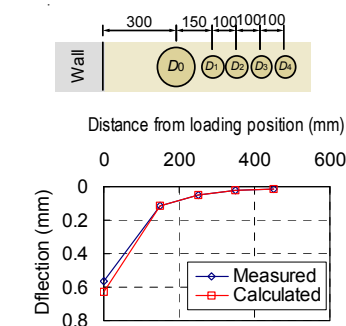


図-7 BALM 結果図 1

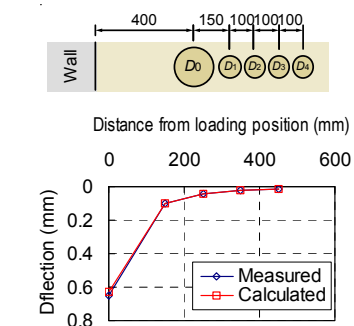


図-8 BALM 結果図 2