

小型 FWD 試験による礫質土地盤の剛性評価

室蘭工業大学大学院 学生会員 ○更谷聡彦
室蘭工業大学工学部 正会員 木幡行宏
道路工業(株) 山本健一・斉藤昌之

1. はじめに

現在、路床・路盤の施工管理では、道路の平板載荷試験から得られる地盤反力係数 K_{30} 値を用いて剛性評価を行うことが基本であるが¹⁾、反力装置が必要などといった問題点がある。このことから、反力装置を必要とせず、持ち運びが容易で比較的正確な測定を迅速に多数行うことのできるポータブルタイプの小型のFalling Weight Deflectometer (以下、小型FWDという。)による地盤反力係数 K 値を、路床・路盤の施工管理に適用する試みがなされているが、剛性の評価が適切であるかどうかなど、未解明な部分が多い。本研究では、小型FWD試験と道路の平板載荷試験結果に関する文献調査²⁾に基づき、小型FWD試験と道路の平板載荷試験による原位置試験を実施し、両試験結果を比較・検討することにより小型FWD試験による礫質土地盤の剛性評価の適用性を検討した。

2. 原位置試験箇所及び室内物理試験

小型 FWD 試験と道路の平板載荷試験による原位置試験は、道央自動車道虹田洞爺湖 IC の上部路床 (C - 80) 及び下層路盤 (C - 40)、道々洞爺湖登別線の下層路盤 (RC - 40)、道々洞爺湖田線の下層路盤 (C - 40) で実施した。また、原位置試験実施箇所における路床材・路盤材の物理的特性を表 - 1 に、

表 - 1 物理的特性

路床材・路盤材	虹田洞爺湖IC C-80	虹田洞爺湖IC C-40	洞爺湖登別線 RC-40	洞爺湖田線 C-40
粒 礫 分 (%)	59.88	71.57	68.43	71.80
砂 分 (%)	37.87	27.90	30.39	26.07
細 粒 分 (%)	2.251	0.522	1.179	2.133
60%粒径 D_{60} (mm)	7.896	10.79	9.803	12.46
30%粒径 D_{30} (mm)	1.261	2.577	2.084	2.634
10%粒径 D_{10} (mm)	0.207	0.523	0.315	0.425
均 等 係 数 U_c	38.14	20.63	31.12	29.32
性 曲 率 係 数 U_c'	0.973	1.177	1.406	1.300
土粒子密度 ρ_s (g/cm ³)	2.772	2.637	2.610	2.690
土 質 分 類	GS			
最大乾燥密度 ρ_{dmax} (g/cm ³)	2.257	2.214	1.996	2.132
最適含水比 W_{opt} (%)	5.762	5.703	10.79	5.843

粒径加積曲線を図 - 1 に示す。また、締固め特性を把握するために、突き固めによる締固め試験 (E - b 法) から得られた締固め曲線を図 - 2 に示す。この図から、粒径幅の広い虹田洞爺湖 IC の C - 80 は含水比の変化によって、乾燥密度が大きく変化する傾向にあることが分かる。また、最大乾燥密度は、本研究で行った原位置試験箇所における路床材・路盤材の中では、最も大きい値となった。

3. 小型FWD試験による $K_{P,FWD}$ 値の算出方法

小型FWD試験で用いられる載荷板直径は、道路の平板載荷試験で一般的に用いられる載荷板直径 30 cm とは異なるため、30 cm 相当の K 値を $K_{P,FWD}$ 値として、(1)式により算出される³⁾。

$$K_{P,FWD} = (P_{P,FWD,\varphi} / \delta_{P,FWD,\varphi}) \times (\varphi_{P,FWD} / \varphi_{PLT}) \quad (\text{MN/m}^3) \quad (1)$$

ここに、 $P_{P,FWD,\varphi}$ ：小型FWDの変位量 $\delta_{P,FWD,\varphi}$ 時の小型FWDの載荷応力 (kN/m²)、 $\delta_{P,FWD,\varphi}$ ：小型FWDの変位量 (mm)、 $\varphi_{P,FWD}$ ：小型FWDの載荷板直径 (cm)、 φ_{PLT} ：道路の平板載荷試験の載荷板直径 (30 cm)

K 値にはひずみレベル依存性があるため、上式の $P_{P,FWD,\varphi}$ は、それぞれの載荷板直径に応じた載荷板直径 30 cm に相当する変位量 1.25 mm での載荷応力となる。すなわち、小型FWDの載荷板直径が 9 cm、10 cm、20 cm であれば、変位量がそれぞれ 0.375 mm、0.417 mm、0.833 mm ($1.25 \text{ mm} \times \varphi_{P,FWD}/30 \text{ cm}$) に対応する載荷応力とな

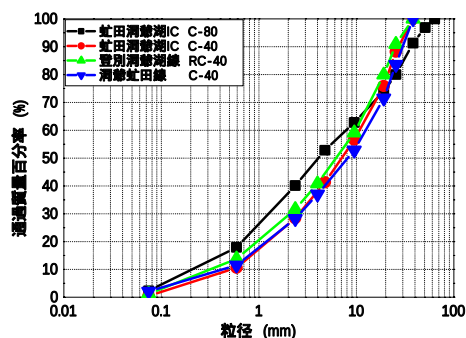


図 - 1 粒径加積曲線

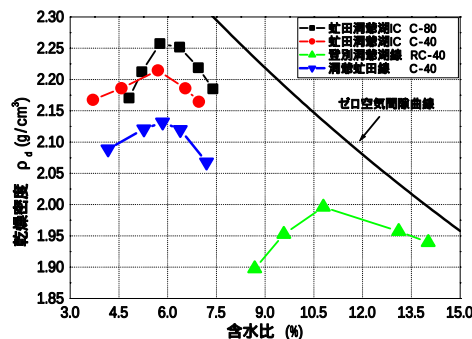


図 - 2 締固め曲線

キーワード：剛性評価、路床・路盤、小型 FWD 試験、原位置試験

連絡先：〒050-8585 北海道室蘭市水元町 27-1 Tel:0143-46-5281 Fax:0143-46-5283

る。また、下層地盤の影響を検討するために、載荷中心点から地盤の層厚と同程度離れた位置における外部の変位量も同時に測定し、2層モデルでの多層系解析による K 値の算出を逆解析によって行った。

4. 結果と考察

図-3に1層系解析と多層系解析による $K_{p,FWD}$ 値の関係を示す。この関係から1層系解析と多層系解析では得られる $K_{p,FWD}$ 値に大きな違いは見られないが、虻田洞爺湖ICの上部路床C-80と下層路盤C-40において、多層系解析による $K_{p,FWD}$ 値のほうが大きい値となっている。これは、虻田洞爺湖ICの上部路床C-80と下層路盤C-40における1層系解析による $K_{p,FWD}$ 値が、下層地盤の剛性の影響を受けていることによるものと考えられる。図-4に文献調査で収集・整理した $K_{p,FWD}$ 値 $\sim K_{30}$ 値関係に、今回の原位置試験で得られた $K_{p,FWD}$ 値と K_{30} 値をプロットしたものを示す。図中、文献調査結果²⁾から $K_{p,FWD}$ 値と K_{30} 値の関係は、剛性の大きい礫質土では2:1の関係であることが示されている。今回の原位置試験でも、概ね2:1の関係を示しているものの、 $K_{p,FWD}$ 値が K_{30} 値の3~4倍程度の値を示しているものもあり、特に、虻田洞爺湖ICの上部路床C-80では $K_{p,FWD}:K_{30}=2:1$ の関係を示してはいない。過去の文献によるデータにおいても、 $K_{p,FWD}$ 値 $>K_{30}$ 値となるデータがあることから、特別な結果ではないと考えられる。虻田洞爺湖ICの上部路床に用いられているC-80は、図-2に示すように、わずかな含水比の変化で乾燥密度が大きく変化する地盤材料であることから、原位置での締固め程度にばらつきが生じていることが推察される。図-5は、文献調査で収集・整理したすべての地盤材料における $K_{p,FWD}$ 値 $\sim K_{30}$ 値関係に、今回の原位置試験で得られたデータをプロットしたものである。文献調査で収集・整理したデータは、(2)式で得られるフィッティングカーブの関係²⁾にあり、原位置試験結果に関しても、ばらつきがあるものの、概ね(2)式の関係にあり、一義的な関係にあることがわかる。

$$\log K_{30} = 0.861 + 0.352 \log K_{p,FWD} + 0.077 (\log K_{p,FWD})^2 \quad (2)$$

5. まとめ

小型 FWD 試験と道路の平板載荷試験による原位置試験を実施し、小型 FWD 試験による礫質土の剛性評価を行った結果、以下に示す知見が得られた。

- 1) 1層系解析と多層系解析による $K_{p,FWD}$ 値は大きく変わらないが、虻田洞爺湖ICの上部路床C-80と下層路盤C-40においては、1層系解析による $K_{p,FWD}$ 値は下層地盤の影響を受けていることが考えられる。
- 2) 原位置試験による $K_{p,FWD}$ 値 $\sim K_{30}$ 値関係において、概ね2:1の関係を示しているものの、 $K_{p,FWD}$ 値が K_{30} 値の3~4倍程度の値を示していたものもあり、虻田洞爺湖ICの上部路床C-80では $K_{p,FWD}:K_{30}=2:1$ の関係を示してはいない。これは、路床材・路盤材の締固め特性が影響していると推察される。

【謝辞】本研究を進めるにあたり、原位置試験やデータ整理などに室蘭工業大学4年生の堀直隆君、長末暁侑君から多大なご協力を得た。末筆ながら心より感謝の意を表します。

【参考文献】1)鉄道総合技術研究所編：鉄道構造物等設計標準・同解説，土構造物，丸善，2007.1. 2)木幡行宏，更谷聡彦：文献調査による小型FWDの K 値と K_{30} 値の比較・検討，第62回土木学会年次学術講演会，第 部門，pp.237-238，2007.9. 3)土木学会編：舗装工学ライブラリー2，FWDおよび小型FWD運用の手引き，丸善，2002.12.

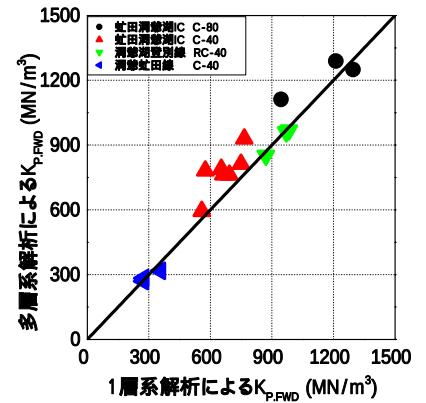


図-3 1層系解析と多層系解析の $K_{p,FWD}$ 値

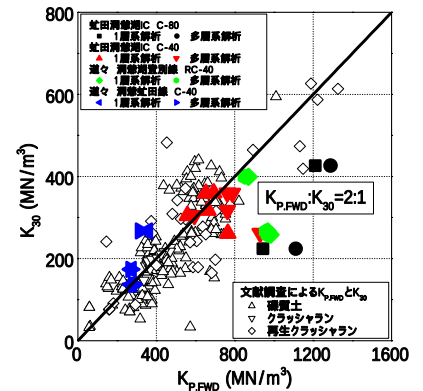


図-4 $K_{p,FWD}$ 値と K_{30} 値
(礫質土との比較)

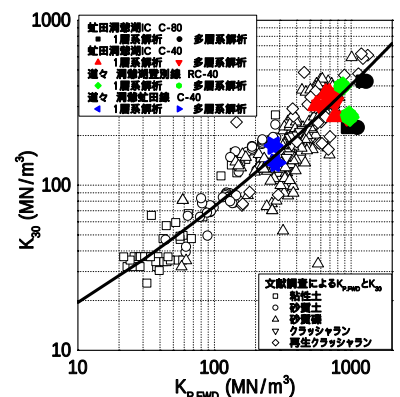


図-5 $K_{p,FWD}$ 値と K_{30} 値
(すべての地盤材料との比較)