小型FWDを用いた粒状路盤の 剛性評価に関する研究

上浦 正樹1・桑野 基史2

¹正会員 北海学園大学教授 工学部社会環境工学科 (〒064-0926 札幌市中央区南26条西11丁目1-1) E-mail:kamiura@cvl.hokkai-s-u.ac.jp

²学生会員 北海学園大学大学院 建設工学専攻 (〒1064-0926 札幌市中央区南26条西11丁目1-1) E-mail:6309102m@edu.hgu.jp

本論文は小型FWDによる粒状路盤における剛性評価の精度向上のための基礎的研究に関するものである. 従来の研究では礫などの非粘性路盤に対する小型FWDによる剛性評価の結果は平板載荷による結果と異な ることが確認されている.本研究では小型FWDと平板載荷装置を用いてその原因を検討した.そのうち室 内試験では土槽内でのゴム材と礫材での接地圧を測定した.また,現場試験では同様に礫材を使用し模擬 地盤に設置した土圧計により地盤内の応力分散の違いを求めた.これらの結果から載荷板端部では路盤の 降伏と考えられる支持力低下が見られ,これに伴い載荷板内方において支持力の増加が認められた.また 小型FWDの載荷荷重が大きい理由としてみかけの粘性を考慮する必要があることが確認され,その因子に ついて考察した.

Key Words : Portble FWD, Boussinesq elastic theory, subbase, subgrade, unbound aggregates

1. はじめに

道路や鉄道などの構造物の維持管理にとって,建設時 における土構造物の剛性を適切に評価し,剛性値を所定 の範囲内に施工することは重要な点である.土の剛性は 締固め度,乾燥密度,粒度,粒径,粒子形状などに依存 している¹¹ことを考慮すると,剛性に関する情報を得る には,現場で載荷し地盤の変形を直接求める原位置載荷 試験が望ましい.従来から用いられている平板載荷試験 (以下平板載荷とする)は現位置試験の一種であるが,測 定時に多くの手間と時間を要している.これに代わるも のとして反力フレームを用いずに重錘を自由落下させ, 載荷荷重と地盤の変位を自動計測することで効率よく地 盤などの剛性を推定できる小型 FWD (以下では PFWD とする)が導入され,日本をはじめ欧米においても拡大 されつつある.

欧州では地盤や路盤の剛性を変形係数(E)で評価する のが一般的であり, Gup ら²は Boussinesq の弾性解に基 づき PFWD の載荷荷重と最大変位から変形係数を推定 する方法を提案している.ここでは、PFWD で推定した 粒状路盤の変形係数は多くの場合に理論と一致せず,そ の原因として接地圧の変化よりも、むしろ層厚やその下 層の変形係数によるものが考えられるとしている.一方, 米国では路盤剛性の評価値として室内試験で求めるレジ リエントモジュラス(Mr)を用いているケースにおいて、 K.P.George が提出した最終報告書³では PFWD によって 欧州の方法と同様に Boussinesg による弾性解に基づく変 形係数(E)と求め、この Mr と E との相関を導いている. 弾性地盤上の載荷板での接地圧分布について Boussinesq の弾性解では係数に載荷板が剛体の場合には π2 を採用 し、載荷板が地盤表面の均一に分布する場合には2を用 いているが、この報告書ではこれらの2ケースの平均を とって 1.8 を使用することとしている.載荷による荷重 圧力を変位で除した K 値を平板載荷では Kn値, PFWD では K_{PFWD} 値とすると、わが国では K_{PFWD} 値から K_{20} 値を 推定しようとする試みがなされた 4,5. これから土全体 を粘土、砂、礫に分類し、経験的な実績に基づいて粘性 土系では K_{PFWD} 値が K_{20} 値の1倍とし、砂系では K_{PFWD} 値 が Kn値の 1.5 倍, 礫系では Kprwp 値が Kn値の 2 倍とす る換算係数 γ を用いる方法が提案されている 9.

以上のように PFWD を用いる砂や礫などの粒状路盤 の剛性に対し Boussinesq の理論解を直接適用することは 十分な評価が得られないことに加え, K_{30} 値の推定では 換算係数 γ の理論的な考察が不十分であることが考えら れる. さらに, 礫混じり砂などのように種々の土が交じ り合っている場合に換算係数 γ を適用するケースでは土 の区分を細分化して PFWD による剛性評価を行うこと になるが, この精度向上のためには実証面や理論面から の取り組みが必要である. そこで本研究では, これらの 点を解明する基礎的な研究を行うこととした. その方法 として, 載荷条件を極めて急速な載荷試験である PFWD を動的載荷とし, 平板載荷を静的載荷として双方の載荷 板と路盤表面との接地圧分布と路盤内部の応力分散を比 較し考察することとした.

2. 既往の研究と本研究の取り組み

(1) 既往の研究

PFWD の載荷荷重に関して、平川ら⁷は砂地盤内に加 速度計を設置し、PFWD と平板載荷装置を用いて砂地盤 のひずみ・応力関係の違いを検討している.この結果、 PFWD では軸ひずみ速度の急激な増加に伴って載荷応力 が増大する TESRA (Temporary Effects of Strain Rate and Strain Acceleration)粘性⁸に相当する現象が見られるとしている. このように粒状地盤で同じ変位量を確保する際に動的載 荷が静的載荷よりも載荷荷重が大きくなる見かけの粘性 に関する現象は、杭の静的な載荷と動的な打ち込み載荷 でも報告されている⁹.

次に剛体載荷板の接地圧に関して,弾性体上での Boussinesq の弾性解では載荷板の端部に近づくほど接地 圧力が大きくなり無限大へ近づく¹⁰ことが知られている. しかし,礫材のような非粘性の粒状路盤材料の場合に載 荷板の端部では接地圧の増加によって粒状材が降伏応力 に達した後には急激な支持力の減少となることが予想さ れる. Mooney ら¹¹⁾は砂層と砕石層からなるモデル地盤 内に土圧計を設置して得られる PFWD の載荷板(直径 300mm)の変位 1.25mm における地盤内の応力分布が,載 荷板中心を頂点とし端部を0とした放物線近似の仮定に よって求めた接地圧分布から計算される地盤内の鉛直応 力分布とよく一致しているとしている.

また,円形剛体基礎の接地圧について多くの研究がな されているが,そのなかで Einav ら¹²は弾塑性モデルを 用いて,載荷荷重,底部直径,非排水強度を考慮した係 数の導入により,載荷荷重が大きくなるにつれて地盤支 持力の降伏域が端部から中心方向に進展していく状態を 示している.

PFWD による地盤内鉛直応力の分布については,載荷 点直下での深さと載荷板直径の比に対する地盤内圧力と 荷重強さの関係が報告されている¹³⁾.

(2) 本研究の取り組み

本研究では K₃₀値の換算係数 γ で最も大きな礫材を対



図-1 載荷による地盤表面の盛り上がりと鉄板の設置

象として室内試験と現場試験を行った.

室内試験ではゴム材による均一で一様と見なされる模 擬地盤と礫材による模擬地盤で接地圧装置から直径 30cm の載荷板における接地圧分布を求めることとした. ここでゴム材を用いたのは、Saint-Venainの原理¹⁴の基礎 となったゴム材の梁における曲げ試験の結果で付加的な 変形はごく近傍にしか起こらないとしたことから、円形 載荷板を使用した載荷による変形も同様な結果が得られ ると考えたからである.また一般的な天然ゴムの一軸方 向の繰り返し載荷試験では Voigt モデルを用いた結果か ら弾性率がフックの法則に従う仮定で周波数に依存して 複素弾性率の実部(E')と虚部(E')の比(E"/E')は 0.1(200cps)~0.5(1300cps)程度¹⁵⁾であり、天然ゴムの粘性が 載荷の周波数に依存することが確認されている. この結 果は一軸方向であって面的な載荷試験である平板載荷と PFWD に直接結びつくものではないが、静的載荷に比べ 動的載荷では粘性の影響で載荷速度により変形係数が大 きくなることを示唆している.以上のように粒状地盤内 の動的載荷において見かけの粘性が発生することが既往 の研究で示されていることから、ゴム材において動的載 荷と静的載荷により粘性の影響を求め、粒状材と比較す ることとした.

次に載荷板が地盤表面に作用するときには載荷面が粗 いと仮定し載荷によって載荷板が変位すると,図-1の 破線に示すように載荷点中心付近でくさび状の主働域が 発達し,一方端部付近では受働域が発生して載荷板外側 の地盤表面を盛り上げることが推測¹⁶される.粒状体路 盤では載荷板外側付近での路盤表面が開放されているた め,載荷板端部の応力増加がより小さい段階で降伏した 状態となり支持力が低下する.そのため載荷板の支持で きる範囲が狭まり,載荷板内方へ応力が集中する傾向が 生まれるものと推測される.一方,図-1に示すように 載荷板の外周近くに円形鉄板を設置することで抑え力を 働かせて端部付近の応力状態を変化させると,その抑え 効果で応力集中度合いの緩和状態されることが予想され る.以上の推論について実験により確認することとした.

現場試験では、地盤を掘削して礫材と入れ替えて内部 に土圧計を設置した実際の路盤を構築し、PFWDと平板 載荷の各載荷試験によって接地圧測定とともに地盤内の



図-2 ゴム材と温度測定装置



図-3 接地圧測定装置



図-4 抑え用の鉄板



図-5 土圧計の敷設位置

鉛直応力の分散状態を求めることとした.次にこの試験 結果と粘性を考慮した動的 FEM 解析¹⁷より地盤内の見 かけの粘性を推定することとした.

3. 実験方法

(1) 室内試験

動的載荷の方法として、載荷ガイドを改良し最大落下 高さを 70cm まで可能とした PFWD(FWD-Light)を用い た. また静的載荷では最大載荷荷重 50kN の油圧式平板 載荷装置で2点で変位を測定する方式のものを使用した. ここで用いた礫材は粗礫(26.5mm 以上) 52%, 中礫(9.5~ 26.5mm) 39%, 細礫(2mm~9.5mm) 7%, 砂(2mm以下) 2% であり、これを土槽(1m×1m×0.7m)に投入後にランマーを 用いて 1 層 30cm ごとに締固めた(現場密度: 2.38g/cm³). また、ゴム板は、黒天然ゴム材で硬度 65°、 形状は 700×700×120mm のものを用いた. なお載荷試験 時のゴム板の温度はその都度測定した. 図-2 は平板載 荷でのゴム板と温度測定の状況を示している. 測定は載 荷試験の開始と終了の差で確認していたが、最大で 0.5℃程度であった. また一連の試験全体の差は 2℃程度 であった.以上により温度によるゴム材の材質の変化を 無視することとした.

接地圧測定装置は直径 30cm の載荷板の接地面に圧力 計(直径 6.5mm, 厚さ 1mm, 容量 1000kPa)を中心に 1 箇 所, その他はそれぞれの半径ごとに 6cm, 12cm, 13.5cm, の3箇所で合計10箇所をセットした(図-3). ここで半径 方向で 0~3cm を中心付近, 3~12cm を載荷板内方, 12 ~15cm を載荷板縁部付近と呼ぶこととした.抑え用の 円形鉄板(以下では鉄板とする)の形状は厚さ 1.2cm, 内径 30.4cm, 外径 70cm であり, PFWD の載荷板との間 隔は1~2mmを確保して載荷による載荷板の移動に支障 がないようにした(図-4). この場合に鉄板と礫地盤上面 との接触を確保するために 5mm 程度の砂を敷いた. ま たマイヤーホフによる砂地盤の基礎の沈下量と平均荷重 強度から抑え力としての基礎の根入れ深さ¹⁸の算定法を 用いて PFWD の最大荷重と載荷板の大きさから鉄板の 重量を検討した.結果は鉄板は不必要となったが, PFWD の載荷板は一般の基礎よりはかなり小さいことな どを考慮して抑え用の鉄板の荷重を300Nとした.

(2)現場試験

札幌貨物ターミナル構内で現場試験で使用した地盤に おける土質試験では粒度試験結果がシルト分74%,砂分 26%であり、含水比は19%、現場密度2.65g/cm3であっ た.これは土質材料の工学分類体系ではシルトに相当し ていた.この地盤を1.5m×1.5m×0.7mの形状で掘削し, 室内試験で使用した礫材を敷設した.またロードセル型



表-1 換算係数γの比較

	ゴム板	礫
鉄板無	8.1	2.2
鉄板有	8.1	1.9

土圧計(直径 10cm, 厚さ 20mm, 容量 200kPa)の設置で は載荷時に相互に影響をできるだけ抑えるために階段状 に深さ 10cm~50cm まで 10cm ピッチでセットした (図-5). それぞれの段階でバイブレータによって締固めた(現場 密度 2.41g/cm³).載荷では室内試験と同じ装置を用い, 載荷位置では載荷中心がそれぞれの土圧計の直上で測定 できるように step 1~step 6 まで移動して載荷した.なお 礫の粒子は角ばっているために平均的な鉛直方向の土圧 が得られるように各深さで細粒土を礫層表面に 5mm 程 度に薄く敷き,測定面を下側にして土圧計を水平に設置 した.

4. 試験結果

(1) 室内試験

a)全体

室内試験では、ゴム板と礫材を用いた模擬地盤を使用 したが、変位量 1.25mm での平板載荷と PFWD の載荷荷 重から得られた K 値から換算係数 y を求めた(表-1). こ の表からゴム板の y の方が礫よりもはるかに大きいこと が分かる. これから動的載荷によってゴム材の粘性は礫 の見かけの粘性よりも y に大きく影響を与えることが推 測される. 以下の図では沈下が大きくなると接地圧、支 持力が大きくなることから沈下方向に接地圧、支持力の 増加方向を同じとなるように縦軸を設定した.

b) ゴム板

平板載荷と PFWD の載荷試験で載荷板の変位量が 1.25mm のときの接地圧を測定した.また載荷荷重に対 するゴム板の支持力の分布を調べるために,測定した接 地圧から近似曲線を作成し,次に載荷板を半径方向に幅 1cm ごとにドーナッツ状の面積を求め,それぞれの位置 での接地圧を乗じて分担支持力とした.

鉄板を用いない一般的な場合では接地圧(図-6)は全体 に平板載荷よりも PFWD が大きいことがわかる.また 同一変位を確保するためには載荷荷重の大きさが異なる ことから Boussinesq の理論解のうち平板載荷に対しては Boussinesq(1)とし, PFWD では Boussinesq(2)として2種類 の計算結果が得られたが,理論解と実験値はほぼ同じ傾 向であった.次に分担支持力の分布(図-7)では中心から 離れるに従って大きくなる傾向を示しており,特に PFWD では端部付近で増大している.

鉄板を用いた場合では接地圧(図-8)は鉄板を用いない

場合と同様に全体に平板載荷よりも PFWD が大きい値 を示している.分担支持力の分布(図-9)でも同じ傾向を 示している.以上からゴム材での接地圧と分担支持力に は鉄板の有無に対する明確な差が認められなかった.

c) 礫地盤

鉄板を用いない状態では平板載荷と PFWD の各接地 圧とも載荷板端部付近の接地圧は小さいが,載荷点中心 に近くなるほど接地圧が大きい傾向が確認された(図-10). また分担支持力(図-11)ではゴム地盤とは異なっており, PFWD における最大値の発生箇所は載荷板縁部付近では なく,載荷板内方で認められた.

鉄板を用いた場合では載荷板端部付近で接地圧が大き い傾向が見られた(図-12). この原因は載荷板外側の受働 域で鉄板により抑え力が働き,礫地盤の降伏による支持 力低下が抑えられたものと推定される.また,図-10 と 図-12 により接地圧全体の値を比較すると,鉄板を用い た場合の接地圧がより小さいことが認められる.一方, 分担支持力の分布(図-13)では,鉄板を使用していない場 合と異なった傾向を示しており,平板載荷と PFWD と も類似した傾向を示していた.この原因は鉄板の使用に よって載荷板縁部付近での支持力が大きくなったことに よると推察される.

以上により鉄板の使用による分担支持力の定量的な違いを検討するために鉄板の有無による平板載荷と PFWD の分担支持力の差を検討した.この際にそれぞれの載荷 試験では荷重が異なることから各荷重を最大荷重で除し て標準化した (図-14).この結果で、この差の正の値が 大きいほど鉄板の影響を受けていないと判断すると、 PFWD での分担支持力は鉄板による抑え効果の影響をよ り大きく受けていることが推定される.

(2)現場試験

本研究で用いる階段状に十圧計を設置する方法では鉛 直方向の地盤内応力分布図を作成する上で必要な容積を 室内試験では確保できなかったため、現場の地盤を掘削 して礫材による模擬地盤を構築した. ここで得られた平 板載荷試験と PFWD による換算係数 y は 2.2 であった. これらの載荷試験では最大変位に対する載荷荷重が異な ることから、各位置での地盤内応力(以下では地盤内鉛 直応力を地盤内応力とする)を載荷面上の載荷点中心の 接地圧で除して標準化し、これを鉛直応力比とすること とした. この結果から, 平板載荷 (図-15) と PFWD (図-16)の圧力コンター図を比較すると載荷点中心直 下では深さ方向ではほぼ同じ割合で鉛直応力比が減少し ていくことがわかる.一方,載荷板の端部付近の接地圧 では PFWD は平板載荷よりも小さい傾向にあった.こ れは室内試験でも確認された載荷板端部付近の支持力低 下の影響が表れていることに対応すると考えられる.次





に、載荷荷重として実測から求めた接地圧分布を用い、 粘性減衰係数を考慮した動的 FEM 解析 ¹⁷を行うことで 地盤内応力における見かけの粘性を検討することとした. なお、本研究では粘性係数と粘性減衰係数を同等とみな



す¹⁹こととした.FEM のメッシュは載荷点中心を 0cm として半径方向に 15cm まで 1cm、15cm~20cm まで 2.5cm、20cm~45cmまで 5cm、45cm~60cmまで 7.5cmで 分割した.また,小型 FWDの載荷波形では,直径 30cm 載荷板を用いて沈下量 1.25mm が発生するときのものを 採用した.このときの開始から最大値までの時間 (0-P 時間)は 8msec であった.平板載荷では開始から最大値 までの時間(0-P 時間)を 120 秒として動的解析を行った. これからの条件に基づき地盤内圧力の分布に適合する粘 性減衰係数を求めた.以上から PFWD の粘性減衰係数 は平板載荷の2倍程度であった.図-17 は PFWD では 0.09kNs/m,平板載荷では 0.04 kNs/mを用いた例²⁰である. これから PFWD の粘性が平板載荷よりも卓越している と見なすことができる.

5. 考察

礫の換算係数γは既往の研究では2であるが、本研究 の室内実験と現場実験を行った結果では、γは22であ り、ほぼ妥当な値を得ている.このγが1より大きいこ とは同じ変位を与えるのに動的載荷が静的載荷よりも大 きな荷重を必要としていることを意味している.従って、 このγの理論的根拠について接地圧や地盤内応力などに 着目することとした.その検討項目を**表-2**に示す.こ こで網掛けの部分は本研究で取り扱った項目を示す.

換算係数 γ を導入する上で必要な理論的根拠の1つに, 平川らⁿが示した見かけの粘性の一種である TESRA 粘 性がある.本研究では動的載荷と静的載荷による礫地盤 内応力の分布に関して粘性減衰係数を用いた動的 FEM 解析の比較から,動的載荷では見かけの粘性が大きいこ とを示した.





表-2 換算係数γに関する検討項目

対象		内容		アプロ-	ーチの方法	
				実験		解析
換算係数 (γ)の理論 的根拠		見かけの粘性		平川ら ⁷⁾ TESRA粘性		動的FEM 粘 性減衰係数
		因子(1) 載荷板を支持する ための応力増加		地盤内土圧分 布測定		Mooneyら ¹¹⁾ 放物線の仮定
		因子(2) 載荷板端部の降 伏による載荷板内 方への応力集中		鉄板の使用 地盤内土圧分 布測定 ゴム板と礫材 との比較		Einavら ¹²⁾ 弾塑性モデル

そこで、見かけの粘性に関係する因子について考察する. Mooney ら¹¹⁾は載荷板の接地圧を放物線と仮定して 地盤内応力が実験値と一致しているとしている.本研究 でも静的載荷よりも動的載荷において地盤内応力が深さ 30cm までは大きいことを確認している(図-17).従って 因子(1)としては載荷板を支持するための応力の増加に 関係するものと考える. 次に載荷板縁部付近の支持力の降伏と Einav らが取り 扱った載荷板内方への応力集中に着目する.本研究では 室内試験で載荷板の外側に鉄板を設置して動的載荷と静 的載荷の違いを接地圧で検討した.この結果 Saint-Venain の原理で示されているように、ゴム材での付加的 な変形はごく近傍にしか起こらないことから換算係数 γ は鉄板の影響を受けなかったと思われる.他方、礫材で は換算係数 γ で鉄板の影響を受けたことから,この γ は 載荷板縁部付近の支持力の降伏と載荷板内方への応力集 中が関係しているものであると考えられる.これらを因 子(2)として載荷板端部の降伏による内方への応力集中 を考えた.

以上により現段階では換算係数γについて定性的な考察であるが,礫材の換算係数γが1より大きいことに関係する項目を絞り込めたものと考えている.

6. まとめ

本研究で得られた重要な知見を以下に示す.

- (1) 室内試験においてゴム板と礫材による模擬地盤で PFWD と平板載荷の各試験を行い載荷板の接地圧を 測定した.加えて載荷板端部の応力が降伏するのを 緩和することを目的に載荷板の外側に 300kN の抑え 用に鉄板を用意し,その有無による接地圧の変化を 求めた.
- (2) ゴム板ではゴムの粘性に起因すると思われる一般の 土より大きな換算係数 y が得られたが、PFWD と平 板載荷とも鉄板の有無にあまり関係がなく Boussinesq の弾性解とほぼ同じ接地圧分布であった.
- (3) 礫材では既往の研究で示されている換算係数 γ と同等な値が得られた.また鉄板のない載荷条件では最大の接地圧が載荷板内方となる傾向がみられたが,鉄板で載荷板外側の地盤表面を抑えることで載荷板端部での応力集中する傾向が得られ,また換算係数 γ は鉄板を用いることで 0.3 程度小さい値が求められた.
- (4) 現場試験では、礫材を用いた路盤を構築し接地圧測 定装置と土圧計により載荷時の鉛直応力分布を求め た.この結果、PFWDでは平板載荷に比べ載荷板内 方での支持力が大きい傾向が得られた。
- (5) 載荷点直下での地盤内応力分布では粘性減衰係数を 考慮した動的 FWD 解析で実測値に適合する粘性減 衰係数は PFWD が平板載荷の2倍程度を示し,動的 載荷で見かけの粘性が発揮されることを裏付けた.
- (6)本研究と既往研究の結果から換算係数 yの関係する 理論的根拠として見かけの粘性を取り上げ、これに 関わる因子として鉛直応力の増加と載荷板縁部付近

の支持力の降伏による載荷板内方への応力集中を示 した.

謝辞:本研究を進めるに当たり、NPO法人舗装診断研究 会理事長,東京電機大学松井邦人教授,NPO法人舗装診 断研究会小型FWD委員会のメンバーの方々に貴重なご 助言を頂きました.ここに謝意を表します.

参考文献

1)平川大貴,川原園美幸, 龍岡文夫:砂礫盛土材の変形強度特 性に与える締固め条件の影響, pp.253-266, 土木学会論文集 C, Vol.64, No.2, 2008.

 C.v.Gurp, Groenen, J. and Beuving, E., Experience with various types of foundation tests. Proceedings of the 5th International Symposium on Unbound aggregates in roads, Nottingham, pp. 239-246, 2000.

3) K.P.George : Portable FWD(PRIMA100) for in-situ subgrade evaluation, Final Report (U.S.DOT FHWA & MDOT), pp.36-37, 2006.

4)田附伸一, 島峰徹夫, 関根悦夫, 阿部長門: FWD を用いた 鉄道盛土の急速施工管理について, 第33回地盤工学研究発表会 概要集, pp.2093-2094, 1998.

5) Kamiura, M., Sekine, E., Abe, N and Maruyama, T.: Stiffness evaluation of the subgrade and granular aggregates using the portable FWD, Unbound Aggregates in Road Construction, pp. 217-237, 2000.

6)土木学会舗装委員会編: FWD および PFWD 運用の手引き,土 木学会, pp.73-74, 2002.

7)平川大貴, 増田直哉, 龍岡文夫, 川崎廣貴: 地盤剛性評価法とし ての FWD 試験と平板載荷試験の関係の検討, 地盤工学ジャーナ ル, Vol. 3, No.4, pp. 307-320. 2008.

8) Tatsuoka, F., Ishihara, M., Benedetto, H., and Kuwano, R., : Timedependent deformation characteristics of geomaterials and their simulation, *Soils and Foundations*, Vol. 42, No.2, pp.106-132, 2002.

9)加藤一志, 堀越研一, 松本樹典, 日下部治: 杭のスタナミッ ク試験結果の解釈法, 土木学会論文集 V-47, No.624 2, pp.267-282, 1999.

10)最上武雄編:土質力学,技報堂,pp224-225,1969.

 Mooney, M.A. and Miller, P.K. : Analysis of Light Deflectometer Test Based on In Situ Stress and Strain Response, ASCE, pp. 199-208, 2009.

12)Einav.I and Classidy.M.J : A framework for modeling rigid footing behaviour based on energy principles, Computer and Geotechnics 32, pp491-504, 2005.

13)6)と同じ,p74.

14)S.P.ティモシェンコ:材料力学史, 鹿島出版会, pp. 126-127, 1982. 15)神原周編:合成ゴムハンドブック, 朝倉書店, pp.41-43. 1967. 16)A.S.Osman, M.D.Bolton: Simple Plasticity-based prediction of the settlement of shallow circular foundation on clay, Geotechnique 55, No.6, pp435-447, 2005. 17) 董勤喜,姫野賢治,八谷好高,坪内将丈,松井邦人:動的 荷重を受ける粘弾性多層構造の有限要素解析,土木学会舗装工 学論文集,vol.8,pp54-61,2003. 20) 桑野基史,上浦正樹,董勤喜:小型FWDと平板載荷の剛性評価に関する一考察,土木学会第64回年次学術講演会,2009.9

18)河上房義: 土質力学, 森北出版, pp.193-196, 2001.

19) 石原研而: 土質動力学の基礎, 鹿島出版会, pp.47-49.1976.

AN APPROACH FOR THE STIFFNESS EVALUATION OF AGGREGATE SUBGRADE USING PORTABLE FWD

Masaki KAMIURA and Motoshi KUWANO

This paper presents an improvement framework on accuracy for the evaluation of stiffness of unbound aggregates using portable FWD(PFWD). The results in difference of the evaluation of stiffness using plate loading test and PFWD were focused. It was revealed that the addional load by a dynamic loading of PFWD caused to push up the magnitude of a conversin coefficient γ in the labolatory tests and the field tests. The quasi-viscosity was shown as an important cause of this additional load and the elements of this phenomenon were discussed.