

東京都市木技術研究所 正会員 阿部 忠行

1. ま え が き

近年, アスファルト舗装の構造解析やオーバーレイ厚の設計あるいはぬぐいぬぎの解析などに多層弾性論が利用されている。弾性論の適用には, 路床土のヤング率やポアソン比などの弾性定数を仮定する必要があり, 路床のヤング率は路床土のCBRから推定する方法が一般に用いられている。これまで提案されている関係式を挙げれば次のとおりである。

$$\begin{array}{lll} E = 100 \cdot \text{CBR} & \text{--- Shellの方法}^{1)} & E = 8.26 \cdot \text{CBR} & \text{--- 遠藤}^{3)} \\ E = 20 \cdot \text{CBR} & \text{--- 道路公団(地山, 路体材)}^{2)} & E = 10 \cdot \text{CBR} & \text{--- N.C. Yang}^{4)} \\ E = 40 \cdot \text{CBR} & \text{--- 道路公団(路床材)}^{2)} & & \end{array}$$

これらの関係は路床土の種類によっても異なると思われる。本研究は, 東京都内に広く分布している関東ロームについて, 突固め試料のCBRと弾性係数の関係を室内実験および有限要素法(以下FEMと記す)による応力解析に基づいて検討したものである。

2. 実 験 方 法 お よ び 解 析 方 法

(1). 底面土圧と表面変位の測定

アスファルト舗装要綱法に従いCBR供試体を作成した。底面土圧は供試体下面に密着するように鋼製の底板を置き, その中心部に土圧計を埋込み測定した。表面変位は供試体の中心から半径方向へ50mm離れた位置でダイヤルゲージによって測定した。

(2). 変形係数

CBR試験を行ったあとの供試体から一軸圧縮試験用の供試体(直径35mm, 高さ70mm)を成形し, 変形係数(E_{50})を求めた。

(3). FEMによる解析

数値解析は軸対称弾性問題としFEMによる。プランジヤ-貫入量を強制変位ベクトルにおきかえ剛性方程式を解いて変位を求めた後各分割要素内の応力を計算した。未知の節点変位やCBRの計算過程は次のとおり。

$$\begin{Bmatrix} F_1 \\ F_2 \\ F_3 \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} K_{11} & K_{12} & K_{13} \\ K_{21} & K_{22} & K_{23} \\ K_{31} & K_{32} & K_{33} \end{bmatrix} \cdot \begin{Bmatrix} \delta_1 \\ \delta_2 \\ \delta_3 \end{Bmatrix} \quad \text{ここで, } F_1, F_2, F_3; \text{ 各々, 強制変位節点, 強制荷重節点, その他の節点における荷重ベクトル}$$

$$\delta_1, \delta_2, \delta_3; \text{ 各々, 強制変位ベクトル, 強制荷重節点, その他の節点における変位ベクトル}$$

$$\text{上式から} \quad \begin{Bmatrix} F_2 \\ F_3 \end{Bmatrix} - \begin{bmatrix} K_{21} & K_{31} \end{bmatrix} \cdot \delta_1 = \begin{bmatrix} K_{22} & K_{23} \\ K_{32} & K_{33} \end{bmatrix} \cdot \begin{Bmatrix} \delta_2 \\ \delta_3 \end{Bmatrix}$$

さらにこれを簡略化すると次式のとおりとなり

$$\{F_{II}\} = [K_{II}] \cdot \{\delta_{II}\} \quad \text{但し } F_{II} = \begin{Bmatrix} F_2 \\ F_3 \end{Bmatrix} - \begin{bmatrix} K_{21} & K_{31} \end{bmatrix} \cdot \delta_1, \quad [K_{II}] = \begin{bmatrix} K_{22} & K_{23} \\ K_{32} & K_{33} \end{bmatrix}, \quad \delta_{II} = \begin{Bmatrix} \delta_2 \\ \delta_3 \end{Bmatrix}$$

これより各変位は次式によって求まる。

$$\delta_{II} = [K_{II}]^{-1} \cdot \{F_{II}\}$$

CBR荷重は $\{F_I\} = K_{11} \cdot \delta_1 + K_{12} \cdot \delta_2 + K_{13} \cdot \delta_3$ なので $\{F_I\}$ の荷重を累加すればよい。

すなわち

$$\text{CBR} = \sum_{i=1}^3 (F_{Ii} / 1370.0) \times 100 (\%) \quad \text{但し, } i: \text{節点数}$$

3. 実験結果

(1). CBRと底面土圧との関係

CBRと底面土圧(σ_s)との関係を図-1に示した。図中の実線は実測値に対する回帰線で鎖線はFEM解である。

CBRと底面土圧は線形的直線関係にあることが実測でも認められる。また、底面土圧に及ぼす荷重板の影響は少ないが、回帰線、FEM解とも荷重板を載せた方が底面土圧はわずかに大きい。実測値の回帰線と近似するFEM解はポアソン比が0.35の場合である。

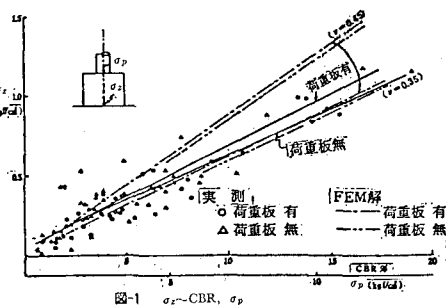


図-1 σ_s ~ CBR, σ_p

(2). CBRと表面変位の関係

CBRと表面変位の関係は図-2のとおりである。この結果ではCBRが10%以上になると実測値はFEM解とほぼ近似する傾向がみられるが10%以下の場合には非弾性的な挙動を示している。とくにCBRが1%以下の超軟弱な場合には表面が膨れ上がる傾向がみられた。なお、FEM解によれば、表面変位はCBRに影響されず、プランジヤー貫入量(2.5mm)の約10%程度である。

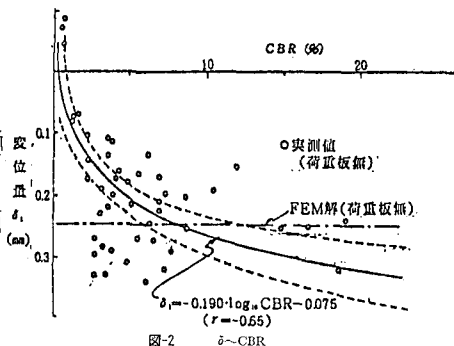


図-2 δ ~ CBR

(3). CBR供試体の圧力球根

プランジヤー2.5mm貫入によるCBR供試体内の応力分布をFEM解をもとに描いたのが図-3である。載荷重(P)をプランジヤー断面積(A)で除した貫入圧 $P_{0.025}$ (=P/A)を1.0とした場合の応力分布のコンターである。プランジヤー端部に応力集中を生じていることが分る。なお、図中の底面中心部には、底板埋込土圧計で測定した鉛直圧(σ_s)を $P_{0.025}$ で除した値を太い矢印で示した。 $\sigma_s/P_{0.025}$ は0.09と圧力球根の値に近似している。

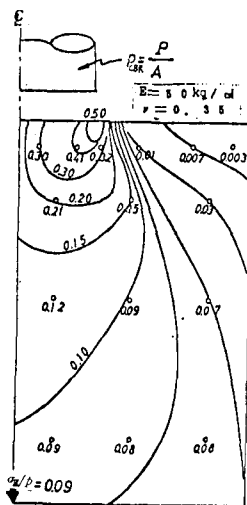


図-3 圧力球根 (σ_s/p)

(4). CBRと変形係数およびヤング率の関係

CBR試験後の供試体から成形した一軸圧縮試験用供試体で求めた変形係数(E_{50})とCBRの関係と、その変形係数をヤング率(E)として計算したFEM解によるCBRとヤング率の関係を図-4に示した。変形係数とCBRにはほぼ直線関係が認められた。両者の関係は、 $E_{50} \approx 6.2 \cdot \text{CBR}$ である。

なお、図中に、ポアソン比 $\nu=0.45$ と $\nu=0.30$ の場合のFEM解からの E ~CBR直線を示したが、 E_{50} ~CBRに近いのは $\nu=0.30$ の場合であることがわかる。

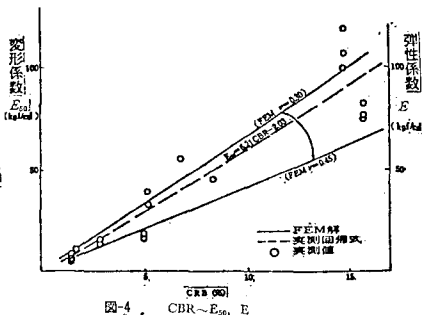


図-4 CBR ~ E_{50} , E

4. あとがき

以上の数少ないサンプル数による実験結果であるが、弾性係数をCBRから推定する1つの方法とその適合性をFEM解析を併用して検討してみたい。今後、サンプル数を増やし、突固め、関東ローム路床の弾性係数とCBRの関係を明らかにしたいと考えている。本研究にあたって協力いただいた、川口裕司、伊藤 徹両君(当時、日理工学部 助教授 在籍)に謝意を表します。

参考文献

1. Klop, A.G.J. and Dormon, G.M (1964): Stress Distribution and Dynamic Testing in Relation to Road Design, 2nd ARRB.
2. 設計要領 (1970), 日本道路公団, 3. 蓮藤 靖 (1962): 舗装設計 (1) 道路建設 4) 尾, C.Yang (1972). 舗装新設計法