

静的荷重を受ける路床土の弾塑性解析に関する基礎的研究

- 日本道路（株）技術研究所 正会員 遠藤 桂
 日本道路（株）技術研究所 正会員 野田悦郎
 東京農業大学 生産環境工学科 正会員 竹内 康

1. はじめに

舗装のパフォーマンス予測を設計に盛り込むことは、ライフサイクルコストを考慮した合理的な舗装の建設および維持管理を行う上で有利である。わだち掘れはアスファルト舗装にとって最もクリティカルな破損の一つであるが、特に、雨水の路盤・路床への浸透を許す透水性舗装にとっては、含水比変化に起因する永久変形の増大を評価することは、透水性舗装を設計する上での鍵となる。竹内らは、弾塑性モデルを用いて路床土の塑性変形を解析するとき、拡張空間活動面基準（拡張 SMP 基準）を採用した修正 Cam-Clay モデルを適用することで、精度良く解析できる可能性を示した¹⁾。ここでは、そのモデルの精度を向上させるために実施した、2 種類の路床土の静的三軸圧縮試験結果について報告する。

2. 路床土の土質性状と静的三軸圧縮試験

使用した路床土は、千葉産の砂質系路床土と神奈川県大和産の粘性路床土であり、主な土質性状を表-1 に示す。これまで路床土の動的変形特性に関して簡単な検討を行ってきたが²⁾、本検討でも同じ路床土を用いた。この路床土に対して、土質工学会基準（JSF T 524-1990）土の圧密排水三軸圧縮試験方法に準拠してデータを採取した。採用した試験条件を表-2 に、供試体作成条件を表-3 に示す。なお、試験終了条件は試験機の仕様によるものであり、また、締固め圧力は、供試体高さが 200mm で目標締固め度になるように予備試験を実施して決定した。

表-1 路床土の主な土質性状値

試験項目	土の産地	
	千葉産	大和産
自然含水比 (%)	27.7	137.1
最適含水比 (%)	26.0	89.4
最大乾燥密度 (g/cm ³)	1.468	0.556
塑性限界 (%)	20.3	110.7
液性限界 (%)	26.1	150.8
比重(15) (g/cm ³)	2.656	2.653
CBR (%)	1.3	12.3

表-2 三軸圧縮試験の試験条件

項目	適用
載荷速度	1mm/min
拘束圧	49kPa, 98kPa, 147kPa
載荷終了条件	累積軸変位が20mmあるいは供試体高さの10%のいずれかを超えたとき

3. 路床土の弾塑性ひずみ解析

路床土の弾塑性ひずみ解析にあたっては、参考文献 1 と同じ方法を採用した。すなわち、次式に示したように、路床土に作用する応力による全ひずみ増分は、弾性ひずみ増分と塑性ひずみ増分の和となる。

$$d\varepsilon_{ij} = d\varepsilon_{ij}^e + d\varepsilon_{ij}^p \quad \text{式-1}$$

$$d\varepsilon_{ij}^e = \frac{1+\nu}{E} d\sigma_{ij} - \frac{3\nu}{E} dp d\delta_{ij} \quad \text{式-2}$$

$$E = \frac{3(1-2\nu)}{\gamma} p \quad \text{式-3}$$

$$d\varepsilon_{ij}^p = \Lambda \frac{\partial f}{\partial \hat{\sigma}_{ij}} \quad \text{式-4}$$

表-3 供試体の主な作成条件

項目	適用
含水比	最適含水比
供試体寸法	φ 100mm × 200mm
締固め方法	静的締固め
締固め圧力	500kPa(千葉産) 400kPa(大和産)
締固め層数	3層
目標締固め度	98%

キーワード：路床土、透水性舗装、静的三軸圧縮試験、弾塑性解析、修正 Cam-Clay モデル

連絡先：〒146-0095 東京都大田区多摩川 2-11-20 日本道路（株）技術研究所 Tel:03-3759-4872 Fax:03-3759-2250

ここに、 $d\varepsilon_{ij}$ ：全ひずみ増分、 $d\varepsilon_{ij}^e$ ：弾性ひずみ増分、 $d\varepsilon_{ij}^p$ ：塑性ひずみ増分、 ν ：ポアソン比、 E ：弾性係数、 Λ ：正の定数、 f ：塑性ポテンシャルを示す。

4. 三軸圧縮試験結果と弾塑性解析結果

三軸圧縮試験結果などから、表-4に示した各値を解析条件とした。図-1に千葉産の砂質路床土の、そして図-2に大和産の粘性路床土の軸ひずみ～主応力差関係および軸ひずみ～体積ひずみ関係の解析結果を示す。両路床土に対する結果も、軸ひずみ～主応力差の関係は、いずれの拘束圧条件においても、実測結果と解析結果が非常によく符合しているのが確認できた。その一方で、軸ひずみ～体積ひずみ関係については、解析結果が実測結果より大きめの値を示した。他の報告¹⁾を見る限り、本実験で得た体積ひずみが小さめであり、これが実測データと解析結果の差となって現れたものと考えられる。また、両路床土の圧縮指数 ρ と膨潤指数 γ が他の報告¹⁾に比べて小さく、粒状材料と同程度の値³⁾となった。本来は、両指数とも等方圧密試験より求めるものであるが、本研究では三軸圧縮試験の低ひずみレベルにおいての接線弾性係数から求めた。本検討で採用した弾塑性ひずみ解析モデルは、非常に少ないパラメータで精度良く材料のひずみを解析できるという非常に優れたモデルであるので、これらのパラメータをきちんと求めた上で再確認する必要がある。

5. おわりに

本研究で用いた弾塑性解析モデルが、非常によく路床土の応力ひずみ現象を再現できるモデルであることが確認された。しかしながら、パラメータの設定方法に対する課題が見つかった。また、設計段階で舗装の永久変形を精度良く予測する目的で本研究成果を取り入れるには、さらに繰返し載荷に対する挙動も把握する必要がある、これも今後の課題としたい。

参考文献

- 1) 竹内：舗装用材料の弾塑性解析モデルに関する基礎的研究、土木学会舗装工学論文集第7巻、2002年12月
- 2) 例えば、遠藤ら：透水性舗装の路床土の応力依存性とその影響、土木学会第57回年次学術講演会、平成14年9月
- 3) 例えば、竹内ら：粒状路盤材料の繰返し塑性解析に関する基礎的研究、土木学会第58回学術講演会、平成15年9月（報告予定）

表-4 弾塑性解析条件

項目	設定値	
	千葉産	大和産
ポアソン比	0.4	0.4
圧縮指数 ρ	0.02	0.02
膨潤指数 γ	0.007	0.004
せん断抵抗角 φ_d	22	16
粘着力 C_d (kPa)	15.7	26.5

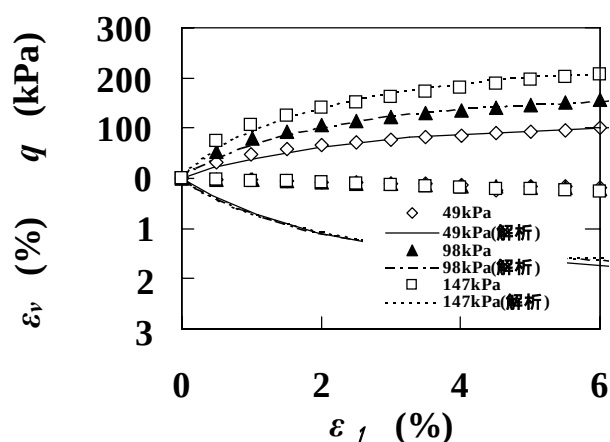


図-1 千葉産路床土の解析結果

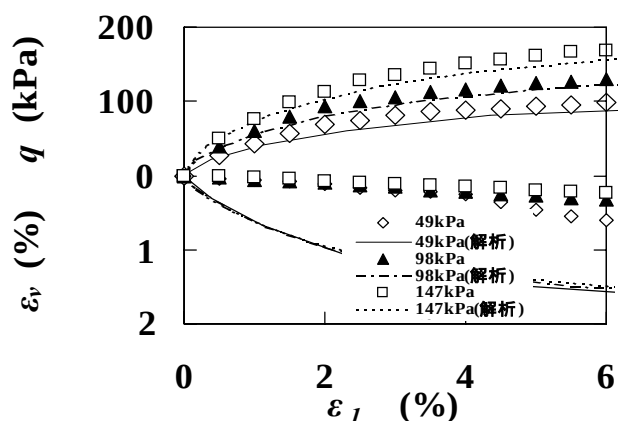


図-2 大和産路床土の解析結果