

路床材料のレジリエントモジュラスに関する一考察

日本道路（株）
千葉エンジニアリング（株）
北海道科学大学
北武コンサルタント（株）

正会員
正会員
正会員
正会員

○池田 茜
若月 洋朗
川端 伸一郎
関根 悦夫

1. はじめに

アスファルト舗装の性能照査型設計方法では、性能照査において応答値を算定する際に多層弾性理論が一般的な構造解析手法として用いられている。多層弾性理論では、様々な設計条件に応じて材料定数（弾性係数やポアソン比）を変化させることで合理的な設計が可能となるが、材料定数、特に路床・路盤材料の弾性係数の決定には、レジリエントモジュラス（以下、 M_r と示す）試験を基本とする高度な試験と判断が必要となる。また、 M_r 試験が行われない場合には、CBR から換算式を用いてレジリエントモジュラス試験による弾性係数を推定することがあるが、この換算式には、CBR は単純な貫入試験であるため厳密には土の剛性・強度を表していない等、多くの検討課題が含まれている。

そこで本研究では、路床土の強度・変形特性を検討し、アスファルト舗装の性能照査型設計方法の発展に資するため、砂質土を用いた M_r 試験、三軸圧縮試験、室内 CBR 試験を実施した。なお、土木学会 舗装工学委員会 材料小委員会は、舗装診断研究会 舗装診断装置検証委員会と共同で路床材料の剛性評価の検討を行っており、本研究は、その一環として行ったものである。

2. 試験概要

試験に使用した材料は、文献 2) で用いた材料と同じであり、砂質土に分類されるまさ土である。三軸圧縮試験 (CU) は、「地盤工学会基準 JGS 0522-2020」に準拠し、載荷速度は 1.0mm/min、供試体は $\phi 50\text{mm}$ 、高さ 100mm である。 M_r 試験は、「舗装調査・試験法便覧 E016」に準拠し、供試体は $\phi 100\text{mm}$ 、高さ 200mm である。拘束圧は三軸圧縮試験、 M_r 試験とも 3 条件 (41.4kPa, 27.6kPa, 13.8kPa) 設定した。供試体は締め固めて作成し、乾燥密度は文献 2) と同様に、室内 CBR 試験時の 4.5kg ランマー (67 回/層, 3 層) での乾燥密度 1.940 g/cm³ (試験結果 1.941 g/cm³,

表-1 設定及び供試体の乾燥密度と含水比

条件	設定		供試体			
	乾燥密度 [g/cm ³]	含水比 [%]	三軸圧縮試験		M_r 試験	
			乾燥密度 [g/cm ³]	含水比 [%]	乾燥密度 [g/cm ³]	含水比 [%]
①	1.940	6.7	1.960	5.3	1.914	6.5
②	1.880	12.0	—	—	1.892	11.3
③	1.880	6.7	1.888	6.0	1.883	6.6

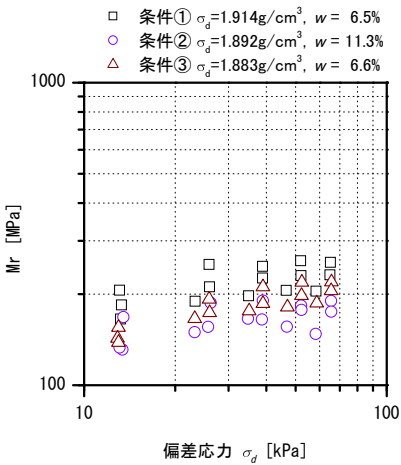


図-1 偏差応力 σ_d と M_r の関係

g/cm³) とした。含水比は自然含水比 6.7 %と室内 CBR 試験時の水浸 4 日後の含水比 12.0 %を設定した。表-1 に設定及び供試体の乾燥密度と含水比を示す。

3. 試験結果および考察

偏差応力 σ_d と M_r との関係を図-1 に示す。 M_r は鉛直復元変位と平均偏差応力の最大値を用いて算出した値である。条件によらず、偏差応力 σ_d の増加に伴い、 M_r は増大することが分かる。乾燥密度が異なる条件①と条件③の M_r を比較した場合、偏差応力によらず、条件③より条件①の方が大きい。そして、含水比が異なる条件②と条件③を比較すると、条件②より条件③の方が大きい。よって、本試験で用いたまさ土は、乾燥密度の増大に伴い、 M_r は増加し、含水比の増加に伴い、 M_r は減少する傾向を示した。

つぎに、三軸圧縮試験 (CU) による軸ひずみ ϵ_a と主応

力差 q との関係を図-2 に示す。条件①と条件③を比較すると、締め固め密度の増加に伴い、主応力差 q の最大値は増大することが分かる。条件①、条件③の ϕ と c は、それぞれ、 42.4° 、 51.8 kPa と 45.2° 、 31.5 kPa である。

図-2 の軸ひずみ ε_d と主応力差 q 関係から求めた接線変形係数 E_{tan} と主応力差 q との関係、 Mr と偏差応力 σ_d との関係を図-3 に示す。 Mr 試験は偏差応力が $13.8 \sim 68.9 \text{ kPa}$ の範囲で、三軸圧縮試験の載荷応力の範囲に比べて、極めて小さい範囲であるが、 Mr 試験の偏差応力の範囲内において、 Mr 試験と三軸圧縮試験から得られた変形係数 (Mr , E_{tan}) は、 Mr がやや大きいものの、ほぼ同程度のレベルである。したがって、 Mr と同等の変形係数は単調載荷の三軸圧縮試験において、軸ひずみの測定を厳密に行うことにより把握できる可能性が示唆された。

Mr と室内 CBR との関係を図-4 に示す。ここに示す Mr は拘束圧 27.6 kPa の平均値であり、室内 CBR は Mr 試験供試体の乾燥密度と文献 2) に示されている乾燥密度と室内 CBR の関係より得られた線形近似式により算出した値を用いた。図-4 から、 Mr は乾燥密度の増加、含水比の低下により増加傾向を示し、室内 CBR は水浸条件の影響が大きいことが分かる。また今回の試験では、 Mr と室内 CBR は $Mr (\text{MPa}) = 4.4 \text{ 室内 CBR}(\%)$ の関係にあった。

4. まとめ

本研究では路床土の強度・変形特性を明らかにすることを目的として、まさ土に対して Mr 試験、三軸圧縮試験を実施し、 Mr に与える乾燥密度や含水比の影響を把握でき、軸ひずみの測定方法に留意した上で、三軸圧縮試験によっても Mr と同等の変形係数を把握できる可能性が示唆された。また、 Mr と室内 CBR との関係については、文献 2) で室内 CBR 供試体のばらつきは大きく、乾燥密度と室内 CBR とは比例関係にあることや含水比状態が Mr や室内 CBR に影響を与えることを示していることから、室内 CBR から Mr を推定する場合には乾燥密度、含水状態を十分に考慮することが必要であることがわかった。

最後に、一斉試験を行うに当たり材料のご提供を頂いた舗装診断研究会 舗装診断装置検証委員会に深謝する次第である。

【参考文献】

- 1) 土木学会：舗装標準示方書，pp.333-337，2014。
- 2) 川端伸一郎，関根悦夫，山中光一，木幡行宏：CBR のばらつきに関する一斉試験，第 76 回土木学会年次学術講演会，2021。（投稿中）

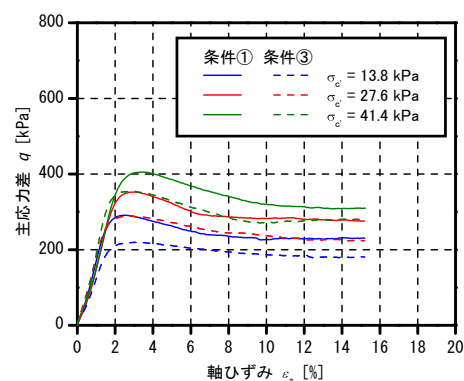
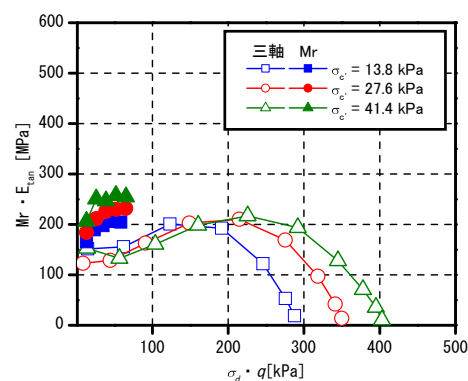
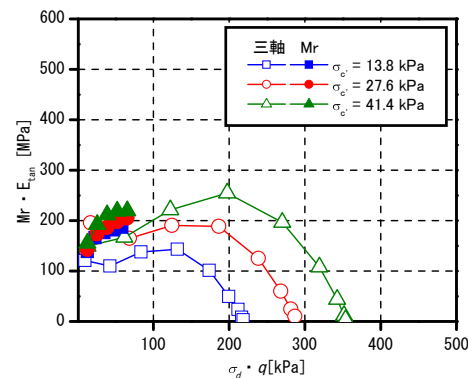


図-2 三軸圧縮試験結果
(ひずみ速度 $1.0 \text{ \%}/\text{min}$)



(a) 条件①: $\rho_s = 1.940 \text{ g}/\text{cm}^3$, ω = 自然含水比



(b) 条件③: $\rho_s = 1.880 \text{ g}/\text{cm}^3$, ω = 自然含水比

図-3 主応力差および偏差応力と変形係数 ($Mr \cdot E_{tan}$) の関係

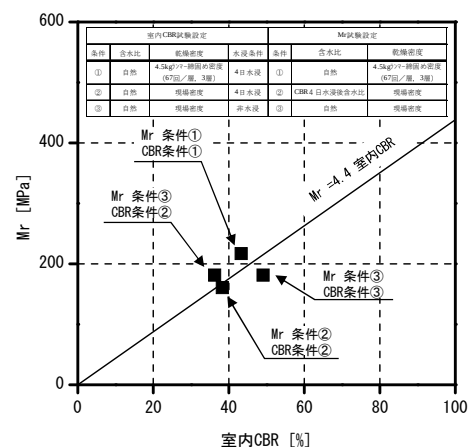


図-4 室内 CBR と Mr の関係