

神戸大学大学院 工学研究科 学生員 ○宮根 正充

神戸大学 工学部 学生員 中村 渡

神戸大学 都市安全研究センター 正会員 吉田 信之

1. 目的

アスファルト舗装のわだち掘れを評価するためには、舗装を構成する全層の塑性変形特性を把握する必要がある。著者らは、これまで長期繰返し三軸圧縮試験を実施して未硬化状態のHMS(水硬性粒度調整鉄鋼スラグ)路盤材の塑性変形特性について検討してきた。本報では、得られた累積塑性ひずみ特性ならびに載荷波形の載荷時間および休止時間が累積塑性ひずみに及ぼす影響についても報告する。

2. 試験概要

試験に用いたHMSはJIS A5015を満足する路盤材である。その締固め特性を表-1に示す。供試体の寸法は直径100mm、高さ200mmであり、その作製は最適含水比に調整した試料(20mm以上を除外した尖頭粒度)を締固め度95%になるように突き固めて行った。本試験では、供試体作製後、養生せず未硬化状態で試験に供した。

三軸圧縮試験装置および試験方法は、軸荷重載荷方式を空圧制御から油圧制御に変更したこと以外はほぼ既報¹⁾と同じである。軸方向変位は図-1に示すように微小域については非接触型変位計で、中～大変形域では三軸セル外のLVDTで計測した。側方変位は本研究室で試作したリング型変位計¹⁾を供試体中央部に設置して計測した。試験は、所定の有効拘束圧で圧密したのち繰返し載荷を行うものである。試験方法はAASHTO T292-291に準じて行い、繰返し載荷は、載荷時間0.1秒、休止時間0.9秒のハーバーサイン波で、図-2に示すように本研究室で行っているレジリエントモジュラス試験の応力経路¹⁾に従って行った。図中には圧密排水三軸圧縮試験(JGS0524-2000)から求めたせん断破壊基準線($c'=80.0kPa, \phi'=57.7^\circ$)も示している。各載荷応力点の初期有効拘束圧 σ_{co}' 、載荷時の平均有効主応力 p' 、繰返し偏差応力 q を表-2にまとめて示す。繰返し載荷中に破壊が生じない限り全て10万回まで載荷した。なお、比較のため載荷応力条件①においては載荷時間0.3秒・休止時間0.9秒、載荷時間0.1秒・休止時間0.5秒のハーバーサイン波を用いた試験も併せて実施した。

3. 試験結果と考察

(1) 累積塑性ひずみと載荷回数との関係

まず、今回の応力条件で生じた軸変位量は非接触型変位計の計測範囲内に収まったため、以下では全て非接触型変位計による軸変位に基づいた軸ひずみを示す。結果の一例として載荷応力条件①の各軸ひずみと載荷回数の関係を図-3に示す。軸方向累積塑性ひずみは載荷回数が増加するとともに増加する傾向があり、図中の拡大図からわかるように載荷回数5,000回までに最終的(本研究では10万回時)に生ずる累積塑性ひずみの80%以上が発生しており、その後一定値に収束する傾向がある。なお、ここには示していないが、この傾向は全ての載荷応力条件によって同じである。載荷応力条件⑩の各水平ひずみと載荷回数の関係を図-4に示す。図より、水平方向累積塑性ひずみも軸方向と同様の傾向が見られるが、最終的に生ずる累積塑性ひずみの80%以上が生ずるには約6万回の載荷が必要であることがわかる。両図において、橙色実線は累積塑性ひずみと載荷回数の関係を双曲線関数で示した回帰結果であるが、実測値をうまく近似できているのがわ

表-1 締固め特性

自然含水比 W(%)	7.78
最適含水比 W_{opt} (%)	13.3
最大乾燥密度 ρ_{dmax} (g/cm^3)	2.22
比重	3.396

表-2 各載荷応力条件

応力条件	σ_{co}' (MPa)	q (MPa)	p' (MPa)
①	0.088	0.206	0.157
②	0.108	0.147	0.157
③	0.117	0.117	0.156
⑧	0.068	0.147	0.117
⑨	0.098	0.117	0.137
⑩	0.078	0.117	0.117
⑪	0.049	0.117	0.088
⑫	0.088	0.147	0.137
⑬	0.078	0.236	0.157
⑭	0.049	0.206	0.118
⑰	0.039	0.236	0.118

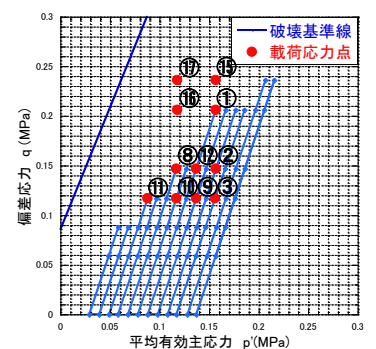
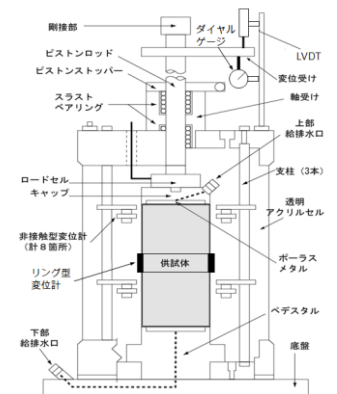


図-2 応力経路と載荷応力点

かる。相関係数はそれぞれ 0.96, 0.90 であった。

(2) 軸方向塑性変形特性への载荷時間, 休止時間の影響

図-5 に载荷応力条件①において载荷波形の载荷時間および休止時間を変化させた時の累積塑性ひずみと弾性ひずみの関係を示す。各実線が累積塑性ひずみ, 各破線が弾性ひずみを表している。図より, 载荷時間のみが約 3 倍になると例えば载荷回数 5,000 回での累積塑性ひずみが約 1.6 倍になり, また, 休止時間が約 2 分の 1 になると载荷回数 5,000 回での累積塑性ひずみは約 1.6 倍になっている。これは, ここには示していないが繰返し偏差応力-軸ひずみの関係から求められる消費エネルギーが 0.1 秒载荷・0.9 秒休止条件以外の方が大きいとと考えられる。

(3) 累積塑性ひずみと载荷応力の関係

図-6, 7 に所定の载荷回数での軸方向累積塑性ひずみと偏差応力および平均有効主応力の関係を示す。図より, 累積塑性ひずみは, 载荷回数に関わらず偏差応力の増加とともに増加し, 平均有効主応力の増加とともに減少する傾向を示している。また, ここでは示していないが, 水平方向累積塑性ひずみにおいても同様の関係が認められる。したがって各载荷回数で累積塑性ひずみはこれらの応力成分の関数で表せると言える。

そこで, 図中には各载荷回数での軸方向累積塑性ひずみ ε_a^p を次式に示す偏差応力 q と平均有効主応力 p のべき関数で線形重回帰分析を行って得られた回帰曲線も示している。

$$\varepsilon_a^p = A \cdot \frac{q^B}{p^C}$$

図より, 回帰曲線は概ね実験値を表現できているように見える。ちなみに, 決定係数 r^2 は 0.927~0.736 の範囲である。紙数の都合で示していないが, 水平方向累積塑性ひずみも同じべき関数で近似できることを確認している。

4. おわりに

本報では, 繰返し三軸圧縮試験を行い, 未硬化状態の HMS 締固め供試体の軸方向および水平方向の累積塑性ひずみについて報告した。载荷時間が約 3 倍および休止時間が約 2 分の 1 になると軸方向累積塑性ひずみは約 1.6 倍大きくなるのが分かった。ある载荷回数での累積塑性ひずみは軸方向, 水平方向にかかわらず偏差応力および平均有効主応力に依存し, それらのべき関数で表せることがわかった。

最後に, 試料入手に際し神鋼スラグ製品(株)の藏本氏にはお世話になりました。ここに記して謝意を表します。

参考文献

1) 杉田他: 繰返し三軸圧縮試験による HMS 路盤材のレジリエントポアソン比について, 土木学会平成 18 年度関西支部年次学術講演会講演概要集, pp.V-1-1~V-1-2, 2006.

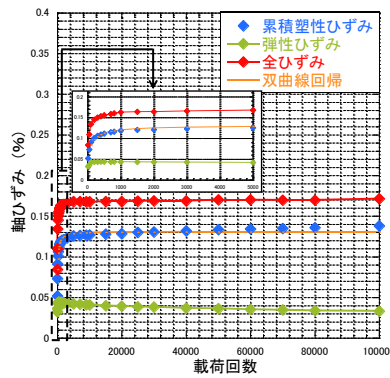


図-3 軸ひずみと载荷回数
の関係

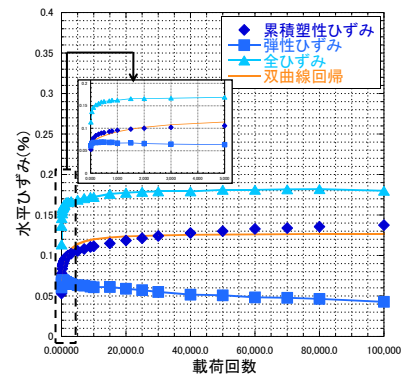


図-4 水平ひずみと载荷回数
の関係

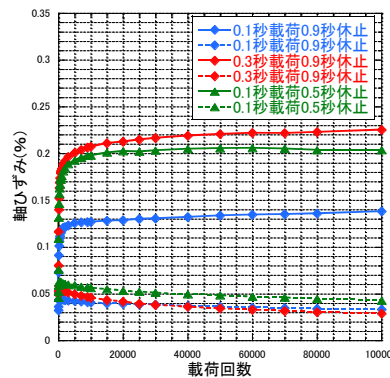


図-5 軸ひずみと载荷回数の
関係

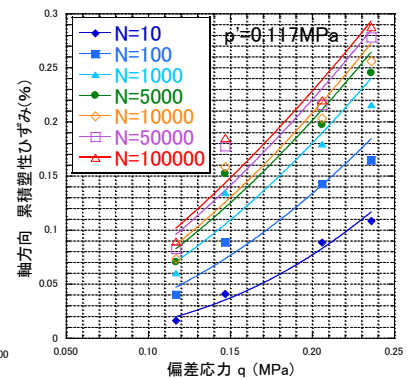


図-6 軸方向累積塑性ひずみと
偏差応力 q の関係

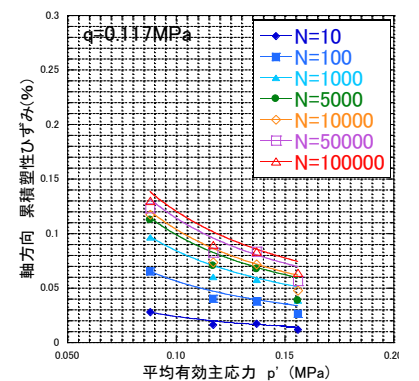


図-7 軸方向累積塑性ひずみと
平均有効主応力 p' の関係