長期繰り返し三軸圧縮試験における応力比が未硬化 HMS 路盤材の塑性変形特性に及ぼす影響について

神戸大学大学院　工学研究科　　学生員　○宮根　正充
神戸大学　都市安全研究センター　正会員　　吉田　信之

１．はじめに

アスファルト舗装のわだち掘れを評価するためには，それに占めるアスファルト混合物層の塑性流動分の大小に係わらず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．本研究では，養生を行わない未硬化状態のＨＭＳ（水硬性粒度調整鉄鋼スラグ）路盤材を用いて長期繰返し三軸圧縮試験を実施し，塑性変形特性について検討した．本報では応力比と塑性変形特性の関係について述べる．

２．試験概要

試験に用いた HMS 試料の締固め特性を**表－1** に示す．用いた HMS は神鋼スラグ製品（株）から入手した JIS A 5015 を満足する路盤材である．供試体は直径 100mm，高さ 200mm であり，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供試体の作製を行った．本試験では養生の影響を排除するために供試体作製後養生せず未硬化状態で試験に供した．

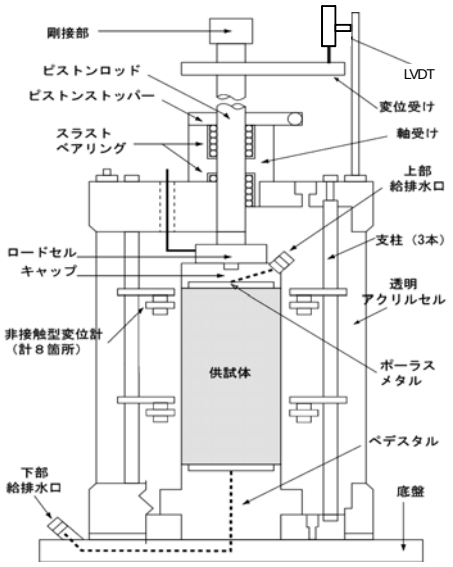
三軸試験装置および試験方法は，軸荷重載荷方式を空圧制御から油圧制御に変更したこと以外は，ほぼ既報[1)]と同じである．軸方向変位は，**図－1** に示すように微小域については非接触型変位計で，中ー大変形域では三軸セル外の LVDT で計測した．試験は，所定の有効拘束圧で等方圧密したのち繰返し載荷を行なうものである．繰返し載荷は，載荷時間 0.4 秒，除荷時間 1.2 秒のハーバーサイン波で，**図－2** の応力経路に従って行なった．なお，図中には既報のレジリエントモジュラス試験で採用している応力経路[1)]及び JGS0524-2000 に従って圧密排水三軸圧縮試験から求めた破壊基準線も示している．繰返し載荷応力は図中の５点（①，②，③，④，⑤）であり，それぞれの初期有効拘束圧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．以下，ひずみはすべて軸ひずみのことである．

表－1　HMS の締固め特性

最適含水比W_{opt}(%)	13.3
最大乾燥密度ρ_{dmax}(g/cm^3)	2.26
比重	3.54

表－2　各応力条件

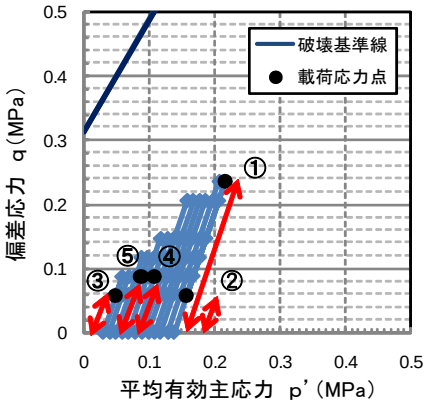
応力条件	σ_{co}’	p’	q	q/p’
①	0.137	0.216	0.236	1.093
②	0.137	0.157	0.059	0.376
③	0.029	0.049	0.059	1.204
④	0.078	0.107	0.088	0.822
⑤	0.058	0.087	0.088	1.011



図－1　三軸セルの概略図

３．試験結果と考察

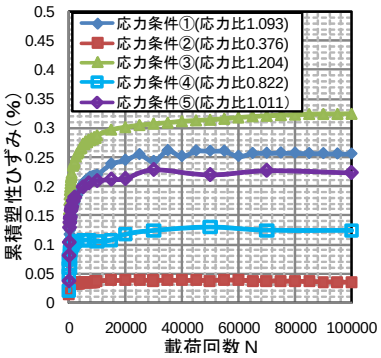
今回の応力条件で生じた軸変位量は非接触型変位計の計測範囲内に収まったため，以下では全て非接触型変位計による軸変位に基づいた軸ひずみで論ずる．まず，各条件で得られた累積塑性ひずみと載荷回数の関係を**図－3** に示す．**図－4** には載荷回数 1,000 回までを拡大した図を示す．累積塑性ひずみは応力比に係らず載荷回数が増加するとともに増加する傾向があり，応力比が大きいほど最終的（本研究では 10 万回時）に生ずる累積塑性ひずみは大きいことがわかる．さらに，**図－4** から載荷回数 100 回程度までの載荷初期の累積塑性ひずみの増加割合も，応力比 1.0 近傍（応力条件①，⑤）で



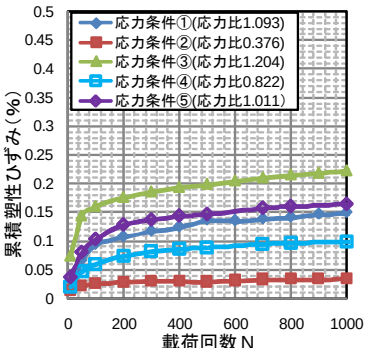
図－2　応力経路と載荷応力

キーワード　HMS，塑性ひずみ，繰返し三軸圧縮試験，応力比
連絡先　〒657－8501　兵庫県神戸市灘区六甲台町１－１神戸大学都市安全研究センター　TEL078－803－6437

例外は見られるものの応力比が大きいほど大きくなるように見える. また, 例えば載荷回数1,000回では応力比1.204で最終累積塑性ひずみの 60%以上が生じているが応力比0.376 では 85%以上がすでに生じており, 例外は見られるものの傾向としては応力比が大きい程最終的なひずみ量に収束するのに要する載荷回数は多くなる. ここには示していないが, 各応力条件で得られた累積塑性ひずみと載荷回数の関係は, 双曲線関数でうまく記述できることを確認している.

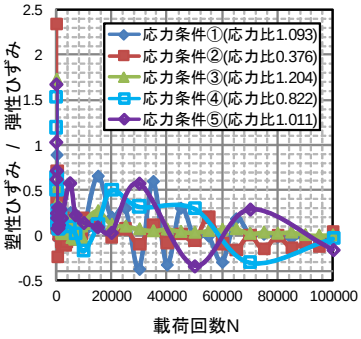


図－3 累積塑性ひずみ－載荷回数の関係

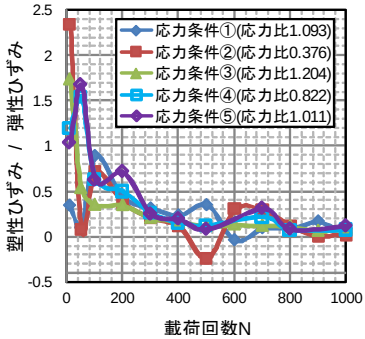


図－4 累積塑性ひずみ－載荷回数(N=1,000 まで)の関係

次に, 各繰返し載荷時に生じる塑性ひずみと弾性ひずみの比, すなわち塑性/弾性ひずみと載荷回数の関係を**図－5** に示し載荷回数1,000 回までを拡大したものを**図－6** に示す. **図－6** より, 一部例外はあるものの塑性/弾性ひずみは応力比に係らず載荷回数約 400 回で0.2 程度まで急減した後ゼロに収束していく傾向が見られる. 弾性ひずみが卓越しているということである. 図が繁雑でわかりにくいが, **図－5** より塑性/弾性ひずみは増減を繰返しながらさらに減少していき載荷回数7万回以降ではゼロに収束するか単にゼロ軸を挟んで増減を繰返しているようである. また, 両図からは応力比が塑性/弾性ひずみと載荷回数の関係に及ぼす影響は明確ではない.

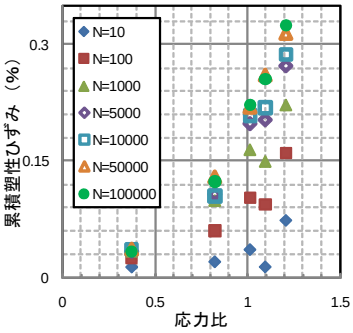


図－5 塑性/弾性ひずみ－載荷回数の関係



図－6 塑性/弾性ひずみ－載荷回数(N=1,000 まで)の関係

次に, **図－7** は代表的な載荷回数の時に生じた累積塑性ひずみと応力比の関係である. 累積塑性ひずみは応力比の増加に伴って増加する傾向が見られる. ただし, 載荷回数 5,000 回以下では理由はわからないが応力比 1.093(応力条件①)のときに累積塑性ひずみが小さくなっている. 図より, 試験した応力条件数に制約はあるものの各載荷回数で生じた累積塑性ひずみは応力比の関数で表せそうである. これらのことから, 累積塑性ひずみは載荷回数と応力比の関数で表せることも可能であると言える.



図－7 累積塑性ひずみ－応力比の関係

4. おわりに

本報では, 長期繰返し三軸圧縮試験を行ない, その応力比が未硬化状態の HMS 締固め供試体の塑性変形特性, 特に累積塑性ひずみに及ぼす影響について検討した. 最終的な累積塑性ひずみおよびそこに至るに要する載荷回数は応力比が大きいほど大きいこと, ある載荷回数での累積塑性ひずみも応力比の増加とともに大きくなること, 累積塑性ひずみは載荷回数と応力比の関数で表現できることなどがわかった. 今後, 養生した供試体を用いて, かつより広範囲の応力条件で試験を行なって塑性変形特性を調べていく所存である.

最後に, 本研究実施に際し神鋼スラグ製品(株)の遠山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公演概要集, pp. V-1-1～V-1-2, 2006.