複数の HMS 路盤材の一軸圧縮強度とレジリエント特性に関する一考察

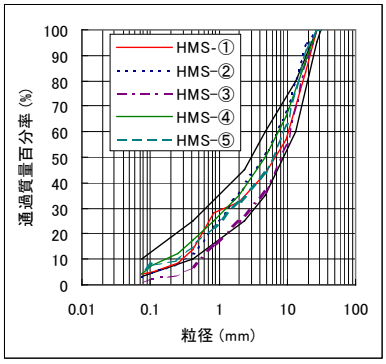
関西空港（株）　正会員　○宮原　哲平
神戸大学大学院　学生会員　木村　裕行
神戸大学都市安全研究センター　正会員　吉田　信之

1. 序論

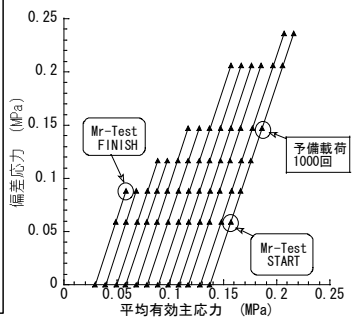
鉄鋼スラグ路盤を有するアスファルト舗装の半理論的構造設計法の構築ならびに鉄鋼スラグ路盤材の有効利用を目的に，筆者らはこれまで HMS（水硬性粒度調整鉄鋼スラグ）路盤材のレジリエント特性について検討している．今回 5 種類の HMS 路盤材について調査する機会を得た．本報では，それらの一軸圧縮強度，レジリエントモジュラスおよびレジリエントポアソン比について報告する．

表－1　HMS の基本物理特性

試料	比重 (g/cm^3)	最大乾燥密度 (g/cm^3)	最適含水比 (%)
HMS-①	3.122	2.314	10.1
HMS-②	3.050	2.162	12.0
HMS-③	3.148	1.910	15.8
HMS-④	2.937	2.122	10.0
HMS-⑤	3.008	2.183	10.2



図－1　粒径加積曲線

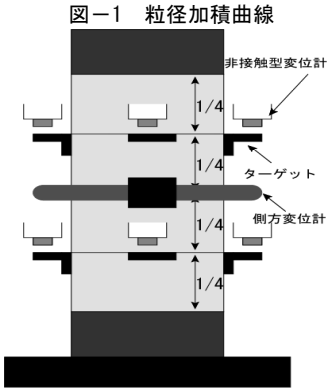


図－2　応力経路図

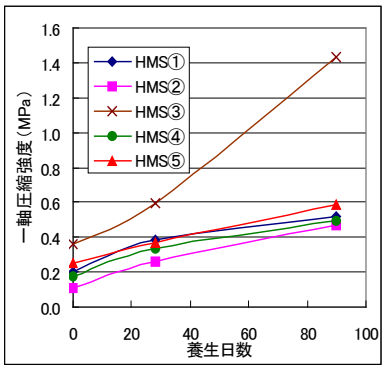
2. 試料および試験概要

試験に用いた 5 種類の HMS 路盤材は製造事業所は異なるが，全て JIS A 5015 を満たす路盤材である．供試体の作製は各 HMS 試料を実験室に搬入後一週間以内に行なった．試料の締固め特性を**表-1** に，粒径加積曲線を**図-1** に示す．供試体寸法は直径 100mm，高さ 200mm であり，最適含水比に調整した試料を締固め度 95%になるように突き固めて供試体の作製を行った [1)]．作製後，気温約 20℃の地下室で所定期間（0，28，90 日）密封養生した．

三軸試験装置および試験方法は既報 [1)] と同じである．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載荷し，**図-3** に示すように軸方向変位は非接触型変位計，側方変位はリング型変位計を用いて計測した．試験は，供試体作製条件毎に 3 本の供試体で行った．



図－3　変位計取り付け位置



図－4　一軸圧縮強度の推移

3. 一軸圧縮強度

表-2 に，一軸圧縮強度を供試体の乾燥密度および湿潤密度とともに示す．また，一軸圧縮強度（平均値）と養生日数の関係を**図-4** に示す．図より，5 種類全ての HMS について一軸圧縮強度 q_u は養生日数とともに増加しているが，その増加傾向には HMS-①，②，④，⑤に見られるように漸増する場合と HMS-③のように急増する場合があることが分かる．この原因については，各 HMS 供試体の乾燥密度の平均値が**表-2** に示すように HMS-③が一番小さいことも勘案すると，HMS に含まれているスラグの種類や添加材の有無が主因と考えられるが，詳細なデータがないため今後の検討課題である．

表－2　一軸圧縮試験結果

試料		HMS①	HMS②	HMS③	HMS④	HMS⑤
養生（日）	No.	qu (MPa)	qu (MPa)	qu (MPa)	qu (MPa)	qu (MPa)
0	①	0.168	0.103	0.296	0.162	0.221
	②	0.204	0.102	0.402	0.199	0.320
	③	0.234	0.121	0.390	0.179	0.202
28	①	0.371	0.223	0.616	0.308	0.324
	②	0.381	0.265	0.544	0.363	0.401
	③	0.406	0.292	0.618	0.336	0.383
90	①	0.533	0.455	1.543	0.518	0.548
	②	0.526	0.554	1.323	0.441	0.532
	③	0.505	0.408	1.429	0.512	0.687
乾燥密度 (g/cm^3)		2.240	2.113	1.842	2.051	2.121
湿潤密度 (g/cm^3)		2.456	2.339	2.125	2.238	2.337

4. レジリエントモジュラスおよびレジリエントポアソン比

まず，0 日養生供試体で得られたレジリエントモジュラスと平均有効主応力の関係を**図－5** に，偏差応力との関係を**図-6** に示す．両図より，過去の試験結果と同様なレジリエントモジュラスの応力依存性が認められる．すなわち，

キーワード：繰返し三軸圧縮試験，HMS，レジリエントモジュラス，レジリエントポアソン比
連絡先　：〒657-0813　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　TEL078-803-6031

レジリエントモジュラスは平均有効主応力の増加，偏差応力の減少とともに大きくなる．また，レジリエントモジュラスに HMS の種類の違いによる大きな違いは見られない．

図-7，8 は，それぞれ 90 日養生の場合のレジリエントモジュラスと平均有効主応力および偏差応力との関係であるが，0 日養生の場合と比べるとレジリエントモジュラスは全ての HMS で増加しており，特に HMS-③では増加が著しい．また，レジリエントモジュラスの応力依存性についても全ての HMS で 0 日養生の場合よりも強くなっていることが分かる．

次に，レジリエントポアソン比について，平均有効主応力との関係として 0 日養生の場合を**図-9** に，90 日養生の場合を**図-10** に示す．レジリエントポアソン比は，養生期間に係らず全ての HMS で平均有効主応力の増加に伴って減少するという応力依存性が認められるが，その度合いは養生期間が長い方が小さくなっている．ここには示していないが，偏差応力との関係では偏差応力が増加するとともにレジリエントポアソン比は増加する傾向があり，その増加割合は平均有効主応力との関係と同じように 90 日養生の方が小さくなっている．HMS の種類は異なるが，杉田他[1)]は養生期間が 1 年になるとレジリエントポアソン比の応力依存性は消失すると報告しており，今回の HMS も概ね同じ傾向を示していると言える．また，HMS の種類の違いによるレジリエントポアソン比の違いは養生期間が長い方が小さいことも分かる．

さて，**図-11** に各供試体について得られた全てのレジリエントモジュラスの平均値と一軸圧縮強度の関係を示す．データ数に制約はあるものの，レジリエントモジュラスと一軸圧縮強度には概ね 1 対 1 の関係があるように見える．なお，図では分かりにくいが各 HMS でその相関に良し悪しがあるため，長期養生の場合も含めて今後詳細に調べる必要がある．

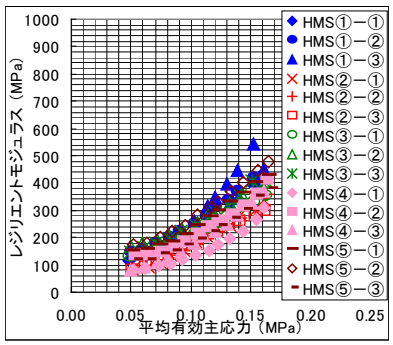


図-5　Mr-p 関係(q=0.059MPa) 0 日養生

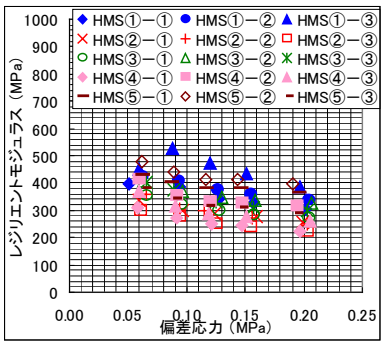


図-6　Mr-q 関係(p=0.157MPa) 0 日養生

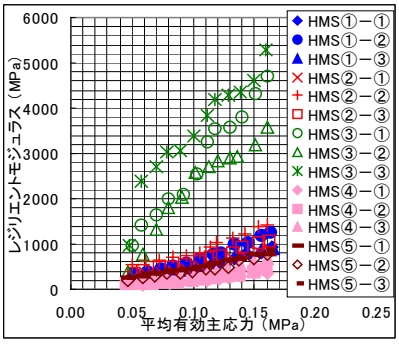


図-7　Mr-p 関係(q=0.059MPa) 90 日養生

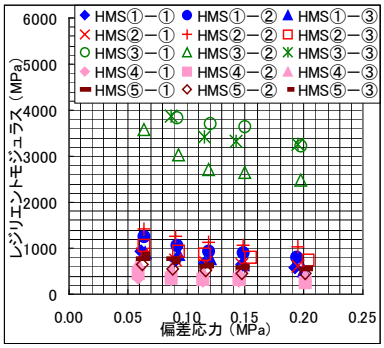


図-8　Mr-q 関係(p=0.157MPa) 90 日養生

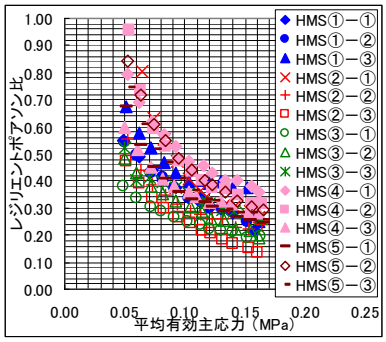


図-9　νr-p 関係(q=0.059MPa) 0 日養生

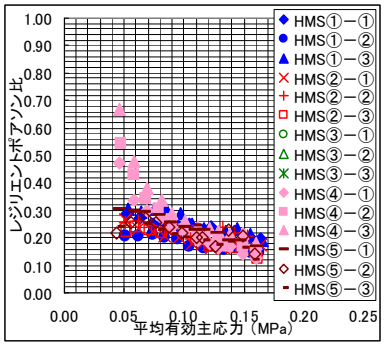


図-10　νr-p 関係(q=0.059MPa) 90 日養生

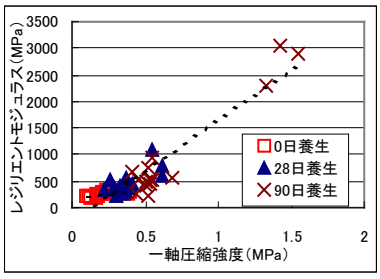


図-11　Mr-qu 関係

５．結論

5 種類の HMS の一軸圧縮強度およびレジリエント特性を調べた結果，1 種類の HMS は水硬性の発現が他と異なることが認められた．レジリエントモジュラスは，全ての HMS で過去の試験結果と同様に平均有効主応力および偏差応力に依存し，養生日数の増加とともにその依存度が強まることが確認できた．さらに，レジリエントモジュラスの平均値は一軸圧縮強度から推定できる可能性があることが分かった．また，レジリエントポアソン比も平均有効主応力と偏差応力に依存するが養生期間が長くなるとその依存性は消失する傾向が認められた．

＜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.