

第 部門 HMS 路盤材の締固め時の含水比が一軸圧縮強度とレジリエントモジュラスに及ぼす影響に関する一考察

神戸大学工学部 学生員 木村 裕行
 神戸大学大学院 学生員 宮原 哲平
 神戸大学都市安全研究センター 正会員 吉田 信之

1. 序論

舗装の構造解析を行う上で、舗装材料のレジリエント特性を把握することは大変重要であり、著者らはHMS（水硬性粒度調整鉄鋼スラグ）路盤材の締固め含水条件によるレジリエント特性への影響について検討している。本報では、締固め度一定時の異なる含水比における一軸圧縮強度と繰返し三軸圧縮試験で求めたレジリエントモジュラスについて報告する。

2. 試料および試験概要

試験に用いたHMS試料の締固め特性を表-1に、粒径加積曲線を図-1に示す。供試体は、直径100mm、高さ200mmで、異なる含水比（10.3, 13.3, 16.3, 19.3%）の試料を締固め度95%になるよう調節して締固め、所定期間（0, 28日）密封養生した。

三軸試験装置は既報¹⁾と同じものである。また、繰返し載荷試験も既報¹⁾と同様に載荷時間0.4秒、除荷時間1.2秒のハーバーサイン波で図-2の載荷応力経路に従って行った。一軸圧縮試験は繰返し三軸圧縮試験終了後にJISA1216に従って実施した。試験は、供試体作成条件毎に3本の供試体で行った。

3. 試験結果および考察

(1) 一軸圧縮強度

図-3に0, 28日養生の一軸圧縮強度と含水比の関係を示す。一軸圧縮強度は28日養生の方がHMSが硬化して大きく、養生日数にかかわらず含水比が高くなるほど小さい。詳しく見ると、0日養生の場合には含水比が最適含水比より小さい範囲では含水比に伴う一軸圧縮強度の低下は小さいが、最適含水比のところで急減する傾向が認められる。これは締固め粘性土に見られる特徴と同じである。一方、28日養生では、一軸圧縮強度は低最適含水比から高含水域まで一様に低下しているように見える。なお、養生日数が少ないことから長期にわたる傾向についてはさらに試験を継続し調査していく予定である。

(2) レジリエントモジュラス

結果の一例として、図-4に0日、図-5に28日養生の偏差応力0.088MPa一定時でのレジリエントモジュラスと平均有効主応力の関係を示す。レジリエントモジュラスは、含水比の大小に係わらず、過去の試験結果と同様に平均有効主応力の増加とともに大きくなる傾向が見られる。ここには示さないが、偏差応力の増加とともにレジリエントモジュラスが減少する傾向は過去の結果と同じである。さらに、28日養生の場合も同じような傾向が認められた。また、各含水比条件について原則3本の供試体で試験を行ったが養生日数が長くなると供試体間の差が大きくなる場合が見られた。全ての供試体で初期乾燥密度は同じであることから、粒子構造の違いが水硬性の発現に影響を及ぼしたとも考えられるが、長期養生の実験結果を待って再検討したい。また、レジリエントモジュラスは含水比が低い

表-1 HMSの締固め特性

締固め特性	HMS
最適含水比 w_{opt} (%)	13.3
最大乾燥密度 d_{max} (g/cm ³)	2.26
比重	3.54

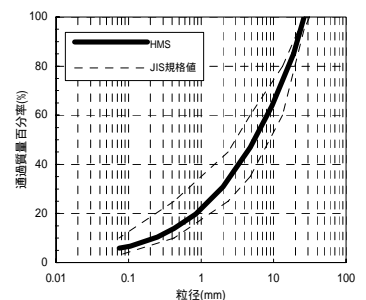


図-1 粒径加積曲線

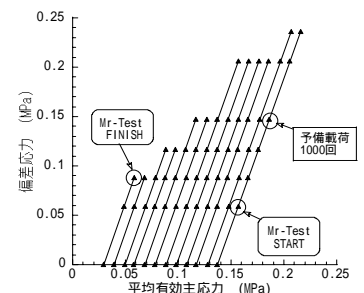


図-2 応力経路

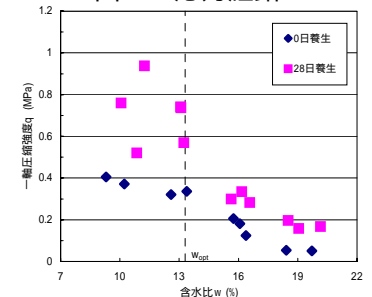


図-3 一軸圧縮強度 - 含水比の関係

ほど大きく、例えば0日養生で平均有効主応力0.058MPaから0.167MPaへの増加に伴うレジリエントモジュラスの増分は、含水比が低い方から順に約700MPa,600MPa,250MPa,150MPaとなっており、含水比が低いほど応力依存性が強くなっていることが分かる。

$$M_r = K \frac{p^M}{q^N}$$

表-2は、筆者らの研究室で用いている変形特性式(上式)²⁾で個々の試験結果について行った重回帰分析結果をまとめたものである。M_rはレジリエントモジュラス(MPa)、pは平均有効主応力(MPa)、qは偏差応力(MPa)、K、M、Nは試験定数である。

表中、()内の数字はNが負になった回帰分析結果である。Nが負ということは偏差応力の増加とともにレジリエントモジュラスが増加するという意味であり、これは明らかに実験誤差と考えられる。そこで、今回Nを強制的にゼロにし回帰分析した結果を同セル内上段に示した。この表から、養生日数に係わらず含水比の増加とともにK、Nは減少しMは若干増加するように思えるが、データ数が限られバラツキがあるため断定はできない。今後継続して調査していく必要がある。

図-6,7に偏差応力が0.088MPa一定時での各平均有効主応力のレジリエントモジュラスと含水比の関係を示す。図-6が0日養生、図-7が28日養生であり、両図で縦軸のスケールが違うのに注意して頂きたい。HMSの硬化が進行している28日養生の方がレジリエントモジュラスは大きくなっている。また、同一の応力条件での含水比に対するレジリエントモジュラスの変化量が28日養生のほうが大きい。0,28日ともに含水比が低いほどレジリエントモジュラスは大きくなる傾向にある。

4. 結論

本報では、同じ締固め度で含水比の異なる供試体の一軸圧縮強度およびレジリエントモジュラスについて調べた。その結果、含水比が高くなると一軸圧縮強度およびレジリエントモジュラスは小さくなる傾向があり、レジリエントモジュラスについては平均有効主応力および偏差応力への応力依存性が弱まる傾向があることなどが分かった。なお、長期養生の場合の初期含水比が一軸圧縮強度およびレジリエントモジュラスに及ぼす影響については今後試験を継続して明らかにしたいと考えている。

最後に、今回試験に使用したHMSは神鋼スラグ製品より提供いただいたものであり、ここに記して感謝の意を表します。

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. -1-1~ -1-2, 2006。

2) 杉田他：試験舗装における現地発生路床土のレジリエントモジュラスについて、土木学会平成17年度関西支部年次学術講演会公演概要集, pp. -38-1~ -38-2, 2005。

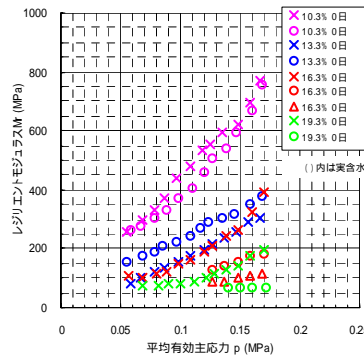


図-4 レジリエントモジュラス - 平均有効主応力の関係(0日養生)

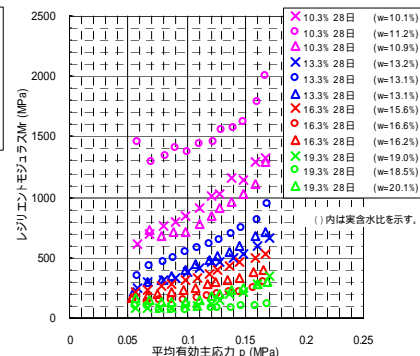


図-5 レジリエントモジュラス - 平均有効主応力の関係(28日養生)

表-2 重回帰分析結果

0日養生					28日養生				
実含水比	K	M	N	R ²	実含水比	K	M	N	R ²
9.3%	2085	1.063	0.365	0.996	10.1%	2730	0.741	0.239	0.974
10.2%	2307	1.091	0.220	0.971	11.2%	2710	0.422	0.155	0.812
13.4%	1687	1.250	0.224	0.995	10.9%	3041	0.730	0.139	0.846
12.6%	1213	0.872	0.157	0.977	13.2%	2032	0.925	0.202	0.979
15.7%	2106	1.395	0.261	0.942	13.1%	2062	0.884	0.296	0.970
16.1%	1585	1.255	0.036	0.986	13.1%	2045	1.027	0.318	0.982
16.4%	1137	1.280	0.000	0.909	15.6%	1462	0.886	0.226	0.985
	(1466)	(1.280)	(-0.118)	(0.959)	16.6%	950	0.778	0.034	0.870
19.7%	1262	1.235	0.086	0.919	16.2%	1513	0.877	0.093	0.969
18.4%	205	0.544	0.000	0.411	19.0%	2018	1.522	0.271	0.850
	(421)	(0.544)	(-0.345)	(0.947)	18.5%	159	0.250	0.000	0.384
						(338)	(0.250)	(-0.330)	(0.744)
					20.1%	1183	0.839	0.000	0.774
						(1201)	(0.839)	(-0.007)	(0.774)

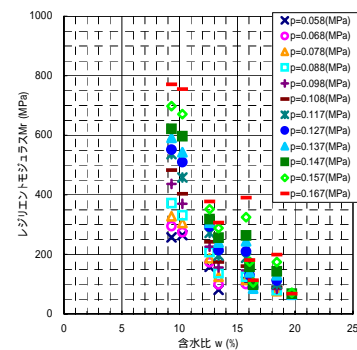


図-6 レジリエントモジュラス - 含水比の関係(0日養生)

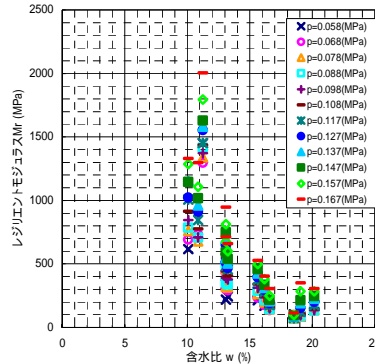


図-7 レジリエントモジュラス - 含水比の関係(28日養生)