

神戸大学大学院工学研究科 学生員 ○田中 大樹
 神戸大学大学院工学研究科 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. はじめに

我が国のアスファルト舗装の構造設計は、現在の半経験的な設計法から脱却し、理論構造解析を主体とした設計法へと移行することが望まれている。理論構造解析を行うにあたって、最も重要な入力データは、各舗装構成材料のレジリエント特性を表すレジリエントモジュラス及びレジリエントポアソン比である。そこで本論文では、製造事業所の異なる 5 種類の HMS 路盤材を用いて繰返し三軸圧縮試験を行い、HMS のレジリエント特性の製造事業所による違いを考察し、得られた結果をどのように設計に用いるかについて検討した。

2. 試料および試験概要

試料は、5 種類の HMS 路盤材(それぞれ事業所 1~5 とする)であり、物理特性を表-1 に示す。いずれも JIS A 5015 を満足する HMS-25 である。供試体は最大粒径が供試体直径の 1/5 以下となるように粒度調整を行い、最適含水比、締固め度 95% で作成している。締固めは、内径 100mm、高さ 200mm の 2 つ割りモールドを用い、4.5kg ランマーで所定の締固め度となるように行った。また、試験を行った供試体の養生日数は、0 日、28 日、3 ヶ月、6 ヶ月、1 年、2 年の 6 材齢である。

三軸試験装置及び試験法は既報¹⁾と同じものであり、図-1 に応力経路図に示す。繰返し载荷は、载荷時間 0.4 秒、休止時間 1.2 秒のハーバーサイン波である。また、軸変位については非接触型変位計を用いて供試体側面の 8 箇所測定し、側方変位はリング型変位計を用いて供試体高さの 1/2 の位置で測定した。

4. 試験結果と考察

まず、表-2 に舗装の重要度別設計法を示す。これは本研究室で提案する、舗装の重要度に応じてレジリエント特性の入力データを階層化する設計法である。また、既報²⁾でも述べてきたようにレジリエントモジュラス M_r には偏差応力 q 及び平均有効主応力 p に対して依存性がある。そこで、式(1)に示す変形特性式²⁾を用いて、試験により得られたレジリエントモジュラス M_r について、供試体毎及び全供試体に対して重回帰

表-1 HMS 物理特性

事業所	比重	最大乾燥密度 (g/cm ³)	最適含水比 (%)
1	3.122	2.31	10.1
2	3.050	2.16	12.0
3	3.148	1.91	15.8
4	2.937	2.12	10.0
5	3.008	2.18	10.2

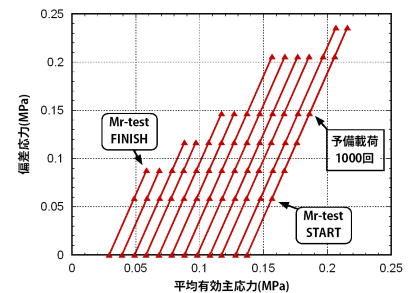


図-1 応力経路図

表-2 舗装の重要度別設計法

設計レベル	レジリエント特性(M_r, ν_r)の決定方法	M_r の入力値
1 (重要度高)	使用する材料に対して、実際に繰返し三軸圧縮試験を実施して、その材料固有の変形特性式 $M_r=f(p,q)$, $\nu_r=f(p,q)$ を求め、それを構造解析に用いる。繰返し三軸圧縮試験は AASHTO 試験法に準じて行うものとする。	
2	使用する材料の一軸圧縮試験結果から、 M_r, ν_r の特性式の実験定数 K, M, N および k, m, n の値を推定し、得られた M_r, ν_r の変形特性式を構造解析に用いる。	
3	使用する材料の一軸圧縮試験結果から、レジリエント特性を定数の形で推定し、 $M_r=const, \nu_r=const$ の形で構造解析に投入する。	A) 7500MPa B) 3500MPa C) 1800MPa
4 (重要度低)	製造所や基本物性試験結果を勘案し、蓄積されたデータベースから $M_r=const, \nu_r=const$ の形でレジリエント特性値を抽出し、構造解析に定数の形で入力する。代表値としての定数は、データベース内の特性式を AASHTO の規定する繰返し三軸圧縮試験法の応力範囲で積分し、体積平均をとったものとする。	3200MPa

分析を行った。また、表-2 の設計レベル 4 で用いるレジリエントモジュラスの代表値 $\overline{M_r}$ は、式(2)に示すようにレジリエントモジュラスの変形特性式中の試験定数 K, M, N を用いて算出した。なお、設計レベル 3 での A, B, C は

一軸圧縮強度の増加率により分類したものであり、分類の方法については後述する。

$$M_r = K \frac{\left(\frac{p}{p_0}\right)^M}{\left(\frac{q}{p_0}\right)^N} \quad \text{式(1)}$$

$$\overline{M_r} = \frac{\int_{p_{\min}}^{p_{\max}} \int_{q_{\min}}^{q_{\max}} K \left(\frac{p}{p_0}\right)^M \left(\frac{q}{p_0}\right)^{-N} dq dp}{(p_{\max} - p_{\min})(q_{\max} - q_{\min}) / p_0^2} \quad \text{式(2)}$$

ここで、K,M,N は試験定数、p は平均有効主応力(MPa)、q は偏差応力(MPa)、p₀ は単位圧(1MPa)である。

さて、試験結果を用いてレジリエントモジュラスの応力依存性を表す式(1)の変形特性式で重回帰分析を行い試験定数 K,M,N を算出した。表-2 の設計レベル 1 では、このように変形特性式を誘導し、応答解析の入力データに用いる。しかし、最も重要度の低い舗装に用いる設計レベル 4 においては、レジリエントモジュラスを定数の形で入力して応答解析を行う。そこで、式(2)により事業所ごとに各材齢の $\overline{M_r}$ を算出する。図-2 に $\overline{M_r}$ と養生日数の関係を示す。図より、全ての事業所で 180 日養生～365 日養生の間で $\overline{M_r}$ が大きく増加している事が分かる。

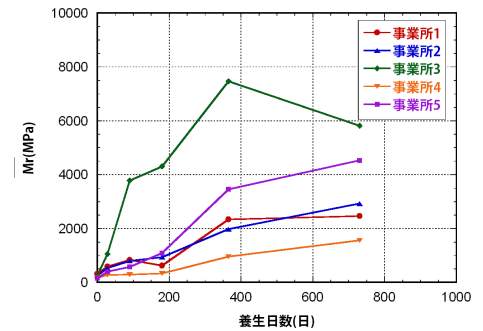


図-2 $\overline{M_r}$ と養生日数の関係

これより、365 日養生で HMS の硬化の大部分が終了すると考え、各事業所の 365 日養生の $\overline{M_r}$ の平均値である 3200MPa を設計レベル 4 でのレジリエントモジュラスの入力値とした。

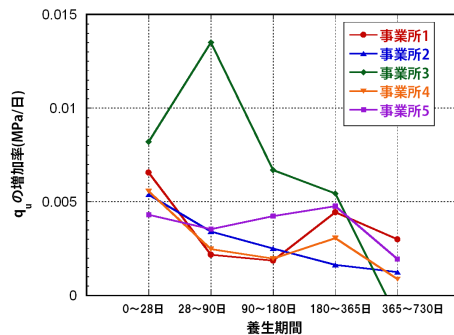


図-3 q_u の増加率の関係

次に、設計レベル 3 では一軸圧縮強度 q_u の増加率から $\overline{M_r}$ を推定する。

図-3 に各材齢間での 1 日あたりの

一軸圧縮強度の増加率を示す。図中の一軸圧縮強度の増加率の関係から、5 つの事業所を 3 つの種類に分類し、分類のフローチャートを図-4 に示す。図-4 での A については事業所 3 が該当し、B については事業所 5 が、C については事業所 1,2,4 が該当した。この結果から、それぞれ該当する事業所の 365 日養生の $\overline{M_r}$ を設計レベル 3 の応答解析に用いるレジリエントモジュラスの入力値とした。なお、C については事業所 1,2,4 の 365 日養生の $\overline{M_r}$ の平均値である。これより表-2 に示すように、それぞれのレジリエントモジュラスの入力値は A では 7500MPa , B では 3500MPa , C では 1800MPa となった。

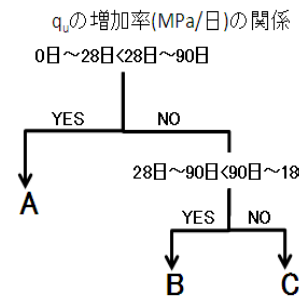


図-4 A, B, C の分類フロー

また、設計レベル 2 については一軸圧縮試験結果から図-4 に示すフローに従って分類し、A~C のそれぞれについて、各試験定数と一軸圧縮強度の関係式を誘導する。しかし、試験結果から算出した試験定数のバラツキが大きく算出できなかった事業所があったため、今後の更なる試験結果の蓄積と検討が必要である。

5. おわりに

本報では、製造事業所の異なる 5 種類の HMS 路盤材を用いた繰返し三軸圧縮試験結果から、製造事業所の違いがレジリエントモジュラスに及ぼす影響を考察し、舗装の重要度別設計法に用いる、階層化したレジリエントモジュラスの入力値を提案した。今後、締固め度の変化が入力値に与える影響や、設計レベル 2 に用いる試験定数の予測式の確立についての考察が急務である。最後に、本研究を実施するに際し多大なご協力とご支援を賜りました鉄鋼スラグ協会に対し、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公演概要集, pp. V-1-1~V-1-2,2006. 2) 杉田他:繰返し三軸圧縮試験による各種 HMS 路盤材の復元変形係数について、土木学会平成 16 年度関西支部年次学術講演会公演概要集, pp. V-51-1~V-51.2, 2004