

半たわみ性舗装用セメントミルクの充填性評価法

宇都宮大学大学院 学生会員 ○謝 蕙竹
宇都宮大学大学院 正会員 藤原 浩已
宇都宮大学大学院 正会員 丸岡 正知
宇都宮大学 山田 健人

1.はじめに

半たわみ性舗装とは、空隙率 20～25%程度で追従性やたわみ性を有する開粒度アスファルト混合物の硬化後に剛性を有する浸透用セメントミルクを充填したものであり、アスファルト舗装の路盤追従性を利用し、表面にクラックを発生せずに、アスファルト舗装よりも剛性の高い舗装を製造することが可能となるものである。

現在、施工管理では充填性の評価は P 漏斗流下時間を指標としているが、充填材の多様化に伴い、規格値を逸脱しても十分に充填が行われる場合や逆に、流動性が規格値内であっても十分に充填されない場合がある。充填性については、実際の開粒度アスファルト混合物で実母体を作製し、これに充填材を流し込み、充填率で評価する方法が採られている。しかし、試験体の作製方法が統一しておらず、また、作製方法をなるべく合せても空隙率等にばらつきも大きく、試験体は再利用することが不可能であり、試験が煩雑となる。

そこで本研究では、P 漏斗流下時間以外の充填性に関する評価方法を検討した。また、開粒度アスファルト混合物を模擬した充填装置を試作し、実際の混合物と充填装置に様々な配合条件で種々の流動性を示すセメントミルクを実際に充填し比較検討を行った。その結果から、半たわみ性舗装におけるセメントミルクの充填性を模擬装置での評価の可能性について検討した。

2. 半たわみ性舗装用セメントミルクの充填性

2.1.実験概要

流下時間とフロー値が異なるセメントミルクを製造し、P 漏斗流下時間とテーブルフロー値を測定し、比較検討を行った。また、充填率を比較し、模擬充填装置が開粒度アスファルト混合物の代替物となり得るのか、検証した。

表 1：使用材料

種類	記号	材料名	物性等
結合材	C	普通ポルトランドセメント	密度 3.16g/cm ³
増粘剤	VA	粉体増粘剤	ヒドロキシプロピルメチルセルロース
減水剤	SP	液性減水剤	ポリカルボン酸エーテル化合物
混練水	W	宇都宮市上水道水	密度 1g/cm ³

2.2.使用材料

本試験の使用材料を表 1 に示す。

2.3.配合条件

普通ポルトランドセメントを用いたセメントミルクを使用して、テーブルフロー値が 200～400mm の範囲で 200～225、225～275、275～325、325～375、375～425mm（以下それぞれを 200、250、300、350、400 とする。）、P 漏斗流下時間を 7 s ～19 s の範囲で 7～9、9～11、11～13、13～15、15～17、17～19 s（以下 8、10、12、14、16、18 とする。）に区分し、それぞれの組合せとなるセメントミルクを調製し、P 漏斗流下時間およびテーブルフロー値と実母体への充填状況の関係を調べた。配合条件の組合せを表 2 に示す。

表 2: 目標テーブルフローと P 漏斗流下時間を得るための配合条件の組合せ

		P 漏斗の流下時間(S)					
		8	10	12	14	16	18
テ ー ブ ル フ ロ ー 値 (mm)	200	—	—	81.3% 0.19% —	51.5% 0.09% —	51.5% 0.12% —	51.5% 0.14% —
	250	—	51.5% —	72.4% 0.10% —	72.6% 0.34% 0.21%	66.8% 0.40% 0.20%	—
	300	82.3% 0.15% —	85.4% 0.22% 0.22%	66.7% 0.07% —	72.6% 0.31% 0.17%	—	—
	350	85.4% 0.15% 0.22%	81.3% — —	85.2% — 0.11%	—	—	— 凡例
	400	85.2% — 0.07%	85.2% — —	72.6% 0.29%増 0.20%	—	—	W/C(%) 増粘剤量 減水剤量

キーワード アスファルト混合物、充填率、フロー値、流下時間、半たわみ性

連絡先 〒321-8585 栃木県宇都宮市陽東 7-1-2 宇都宮大学工学部材料研究室 TEL.028-689-6209 E-mail:mt166473@cc.utsunomiya-u.ac.jp

2.4.試験方法

- (1) P 漏斗の流下試験：JSCE-F 521 に準拠。P 漏斗を用い、規定の 1725mL の試料の流下時間をストップウォッチにて測定する。
- (2) テーブルフロー試験：JASS 15 M-103 に準拠。内径 50mm、高さ 100mm の円柱コーンにセメントミルクを充填し、その後円柱を引き上げ横の広がり測定する。
- (3) 開粒度アスファルト混合物による充填性評価試験：縦 150mm×横 150mm×高さ 50mm、空隙率約 24%、最大粒径 20mm の開粒度アスファルト混合物を用いて、写真-1 に示すように内側が同じ大きさの型枠を製成し、上面からセメントミルクを流し込み、質量変化により充填率を求めた。また、試験手順は、木枠内に固定した実母体を振動台の上に固定し、50Hz の振動を断続的に与えながら徐々にセメントミルクを浸透し、更なる浸透が終わった時点(振動下)で母体表面 A 点まで余剰なセメントミルクを排除し、振動充填後の実母体の質量を測った。

母体への充填率は次に示す方法で求めた：

$$\frac{\text{充填した後の質量(g)} - \text{母体質量(g)}}{\text{セメントミルクの密度(g/cm}^3\text{)}} = \text{充填体積 (cm}^3\text{)}$$

$$\frac{\text{母体質量(g)}}{\text{母体密度(g/cm}^3\text{)}} \times \text{母体空隙率 (\%)} = \text{母体空隙量 (cm}^3\text{)}$$

$$\frac{\text{充填体積 (cm}^3\text{)}}{\text{母体空隙量 (cm}^3\text{)}} = \text{充填率 (\%)}$$

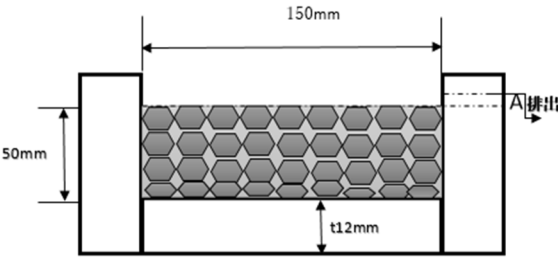


図 1：実母体を組入れた試験体の断面図



写真 1：実母体

- (4) 模擬充填試験：写真-2 および写真-3 に示す模擬充填試験装置を試作した。これらは、内側が正三角錐となるアクリル製容器にφ9mm およびφ11mm 鋼球を満たし、空隙率が 2 種類となる試験装置である。この装置の充填率の計算方法を次に示す：

$$\frac{\text{充填した後の質量(g)} - \text{充填する前の装置質量(g)}}{\text{セメントミルクの密度(g/cm}^3\text{)}} = \text{充填体積 (cm}^3\text{)}$$
$$\frac{\text{充填体積 (cm}^3\text{)}}{\text{充填前装置の空隙量 (cm}^3\text{)}} = \text{充填率 (\%)}$$

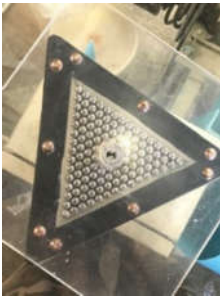


写真 2：試験装置



写真 3：試験装置

3.試験結果

3.1. 充填率は流下時間とフロー値の影響を比較結果

表 3 に P 漏斗の流下時間、テーブルフロー値、充填率の測定結果を示す。

表 3：セメントミルクの流動性評価試験と実母体充填率

水セメント比	W/C (%)	51.5	51.5	61.3	51.5	66.8	51.5
増粘剤	VA/C (%)	0.14	0.09	0.19	0.12	0.4	0
減水剤	SP/C (%)	0	0	0	0	0.2	0
P 漏斗の流下時間 (s)		17.08	14.67	12.85	16.21	15.81	10.91
テーブルフロー値 (mm)		200	200	210	210	235	250
実母体充填率 (%)	静置下	25.46	27.87	41.74	20.53	67.47	47.86
	振動下	33.96	39.12	56.53	27.79	73.06	63.83
水セメント比	W/C (%)	72.4	72.6	66.7	85.4	72.6	92.3
増粘剤	VA/C (%)	0.1	0.34	0.07	0.22	0.31	0.15
減水剤	SP/C (%)	0	0.21	0	0.22	0.17	0
P 漏斗の流下時間 (s)		11.22	13.79	11.08	10.03	13.32	8.86
テーブルフロー値 (mm)		250	270	290	300	300	320
実母体充填率 (%)	静置下	52.13	66.24	57.32	80.8	77.96	84.52
	振動下	64.97	75.18	69.58	87.3	86.95	93.93
水セメント比	W/C (%)	85.4	85.2	61.3	72.6	85.2	85.2
増粘剤	VA/C (%)	0.15	0.11	0	0.29	0	0
減水剤	SP/C (%)	0.22	0	0	0.2	0	0.07
P 漏斗の流下時間 (s)		8.91	11.37	9.27	12.09	9.22	8.65
テーブルフロー値 (mm)		350	360	365	395	410	420
実母体充填率 (%)	静置下	83.6	79.8	85.1	75.11	94.24	85.7
	振動下	90.02	87.17	88.1	78.98	99.91	87.8

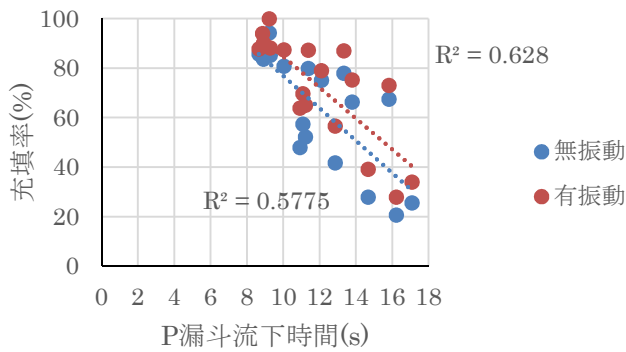


図2 P漏斗流下時間と実母体の充填率の関係

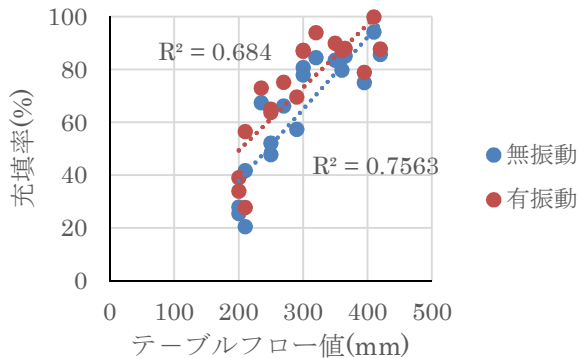


図3 テーブルフロー値と実母体の充填率の関係

図2にP漏斗の流下時間と母体の実際の充填率の関係を示す。P漏斗流下時間が長くなると充填率が小さくなった。図3にテーブルフロー値と母体の実際の充填率の関係を示す。テーブルフロー値が大きくなると充填率が大きくなった。また、加振することにより充填率は大きくなった。図2、図3より無振動、有振動のいずれの条件においてもテーブルフロー値と充填率の方が相関係数は高くなることが分かった。またテーブルフロー値が200mm程度では充填率は40%以下となることが分かった。

図2および図3より、無振動の実母体の充填率の相関性をP漏斗流下時間とテーブルフロー値で比較すると、テーブルフロー値の方が高い寄与率となりテーブルフロー値の方が高い相関性がみられた。

有振動の実母体の充填率の相関性をP漏斗流下時間とテーブルフロー値で比較しても、無振動母体の時と同様にテーブルフロー値の方が高い寄与率となり、テーブルフロー値の方が高い相関性がみられた。

3.2. 母体の充填率と試験装置の充填率の関係

図4および図5において、9mm鋼球の模擬充填装置は無振動と有振動を比較すると、無振動の方は相関性が高くなった。

図6および図7において、11mm鋼球の模擬充填装置は無振動と有振動を比較すると、有振動の方は相関性が高くなった。

9mm鋼球装置は無振動と有振動を比較すると、無振動の方は相関性がみられ、11mm鋼球装置では有振動の方は相関性がみられた。したがって鋼球の寸法を変えることにより実母体を用いた実験の代替装置とすることができると考えられる。

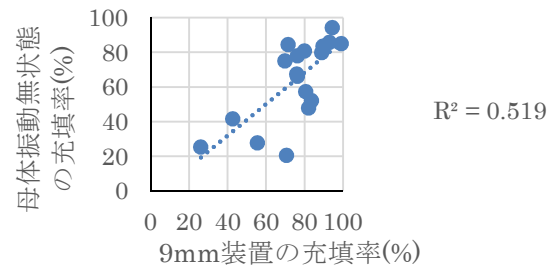


図4 9mm鋼球の充填率と振動無状態の充填率の比較

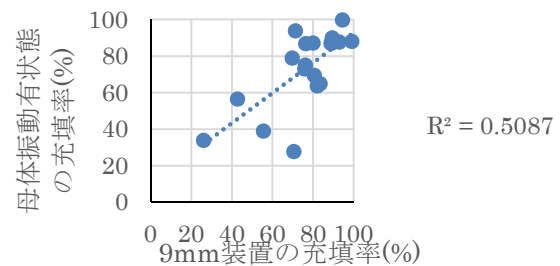


図5 9mm鋼球の充填率と振動有状態の充填率の比較

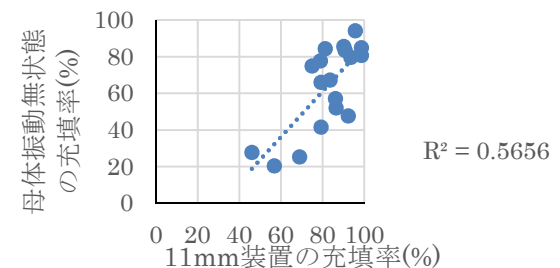


図6 11mm鋼球の充填率と振動無状態の充填率の比較

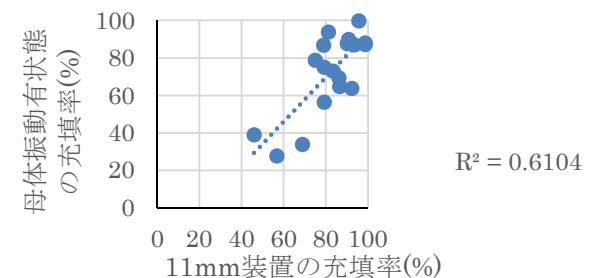


図7 11mm鋼球の充填率と振動有状態の充填率の比較

4. 模擬充填装置の理論充填率算出方法について

模擬充填装置中に $\phi 9\text{mm}$ 鋼球と $\phi 11\text{mm}$ 鋼球を密充填した模擬充填における理論充填率算出方法について示す：

- (1) 仮想細管理論： $r_{\text{実測値}} = \frac{2\tau_f}{\Delta P}$
- (2) 降伏値 $\tau_f = \frac{3.536 \times 10^{-4}}{A^2} \rho$ (A : 打フロー値の半径)
- (3) 圧力差： $\Delta P = \rho g \Delta H$
- (4) 仮想細管理論半径： $r_{\text{理論値}} = \frac{(2\sqrt{3}-3)r}{3}$ 、図8に r と r_o

の関係を示す。(r : 装置中の球の半径、 r_o : 仮想細管の予想理論半径)

- (5) 仮想細管理論半径と実測半径の関係：

$$\alpha_{\text{半径比}} = r_{\text{実測値}} / r_{\text{理論値}}$$

$$11\text{mm 鋼球装置 } \alpha_{\text{半径比}} = 20.27/A^2$$

$$9\text{mm 鋼球装置 } \alpha_{\text{半径比}} = 27.79/A^2$$

- (6) 充填完了した時 ΔH の理論値と実測値の関係：

$$\frac{1}{\Delta H_{\text{実測}}} = \alpha_{\text{半径比}} \frac{1}{\Delta H_{\text{理論}}} \quad (\Delta H_{\text{実測}} = 5\text{cm})$$

$$11\text{mm 鋼球装置 } \Delta H_{\text{理論値}} = 101.35/A^2$$

$$9\text{mm 鋼球装置 } \Delta H_{\text{理論値}} = 138.95/A^2$$

理論充填率は実測充填率が近似するために、 $\Delta H_{\text{理論}}$ は係数をかける、11mm 鋼球装置 $\Delta H_{\text{理論値}}$ の係数は 16.433、9mm 鋼球装置 $\Delta H_{\text{理論値}}$ の係数は 11.99。

- (7) $\Delta H_{\text{理論値}}$ からセメントミルクを充填した部分三角錐の体積を計算する、この部分中の鋼球個数を計算する。

$$\frac{\text{充填三角錐体積} - \text{全部の剛球体積}}{\text{模擬充填装置空隙体積}} = \text{理論充填率}$$

- (8) 模擬充填装置の理論充填率から実測充填率わかるために、理論充填率と実測充填率の関係式出す：

$$11\text{mm 鋼球装置} : y = 0.0705 \ln(x) + 0.9217 \quad (x: \text{理論充填率}, y: \text{実測充填率})$$

$$9\text{mm 鋼球装置} : y = 0.0907 \ln(x) + 0.8771$$

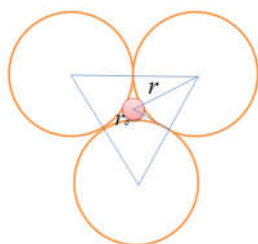


図8 仮想細管半径理論値の予想

5. 充填率に関する実験結果および理論値の比較

4章の方法で求めた充填率の理論式を用いて算出した理論充填率と実験値との比較を図9および図10に示す。いずれと理論値と実験値との相関は認められた。図11に模擬装置の理論充填率と実母体の実測値の関係を示す。相関係数が大きいことから、理論充填率と実母体の実測値の間に高い相関が認められた。したがって、さらなる精度の向上は必要であるが、模擬充填装置による充填率の測定結果から、実アスファルト混合物の充填性を評価することは可能となると考えられる。

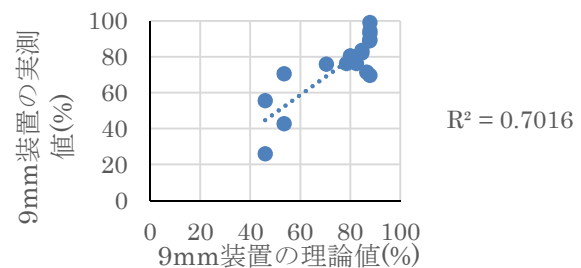


図9 9mm 充填率理論値と実測値の関係

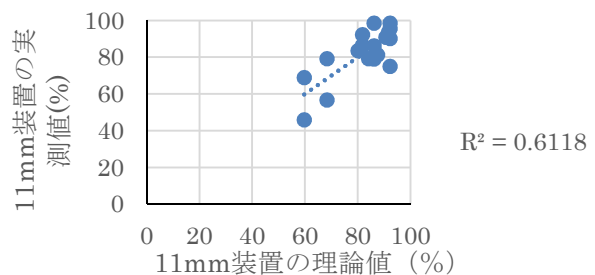


図10 11mm 充填率理論値と実測値の関係

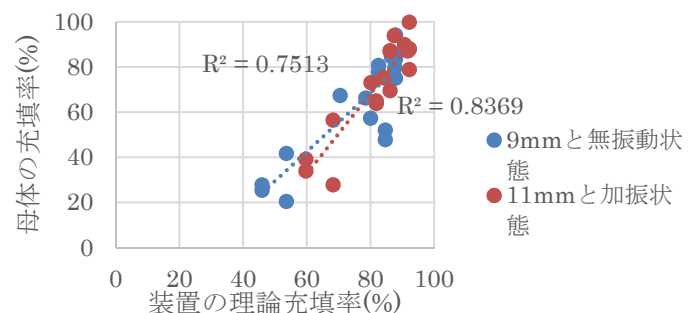


図11 模擬装置の充填率理論値と母体の実測値の関係

<参考文献>

- 1) 清水 進, 藤原 浩己, 丸岡 正知: 半たわみ性舗装用セメントミルクの充填性に関する研究、コンクリート工学年次論文集, VOL39, No1, 2017
- 2) 藤原浩己: 自己充填性を有する高流動コンクリートの特性に関する研究、pp6-11、47-53、1996