

歩道用マンホール蓋のすべり性に影響を及ぼす表面形状

丸林良嗣*, 柴田周治*, 藤川貴朗*

The Surface Shape which Affects the Slip Resistance of the Manhole Cover for the Walkway

Ryoji MARUBAYASHI, Shuji SHIBATA and Takao FUJIKAWA

1. はじめに

近年、道路・歩道での歩行者の転倒事故が増加し、そのすべり防止対策が急務となっており、特に路上に設置されるマンホール蓋、グレーチング等での転倒事故の防止に関して研究の必要が生じている¹⁾。

歩道のすべり性を評価する試験機は現在80種類あると言われているが²⁾、歩道用マンホール蓋表面のすべり抵抗を測定する専用の試験機はなく、マンホール蓋のすべり抵抗を測定した例もほとんど報告されていない。

本研究においては、歩道用マンホール蓋のすべり性に影響を及ぼす表面形状の検討およびすべりにくいマンホール蓋の試作を行なうことを目的とした。

ここでは、歩道に敷設されるマンホールの表面形状に焦点を当て、すべり抵抗試験機を用いて樹脂製試験片による評価を行い、実際の歩行者の感覚による官能試験との比較を行った。

すべり試験の結果より歩道用マンホール蓋（直径654mm）を試作し、JIS型既存製品とのすべり性に関する比較評価を実施した。

2. 実験方法

2.1 作製したすべり試験片の形状

マンホール表面形状の最適化のために、樹脂製試験片を用いて突起の間隔、大きさを変化させてすべりにくい表面形状の検討を行なった。樹脂表面形状は、基本形状を正方形とし、突起間隔、突

起大きさを表1のように設定し、鋳造型用ウレタンブロック（樹脂製、比重0.70、デュロメータ硬度D60）を機械加工したものをを用いた。表1中の突起面積率は、樹脂試験片全体の面積に対する突起面積の割合を示したものである。

表1 樹脂製試験片

試料番号	突起間隔 (mm)	突起大きさ (mm ²)	突起面積率 (%)
P1	2	4	25
P2	2	36	54
P3	2	100	69
P4	4	4	11
P5	4	36	36
P6	4	100	51
P7	10	4	3
P8	10	36	16
P9	10	100	25
P81	20	4	1
P82	20	36	7
P83	20	100	11
P0	突起なし	突起なし	100

各水準は実際の鋳物作製が可能なことを前提とし、突起間隔は2, 4, 10, 20mmで4水準、大きさは4, 36, 100mm²で3水準とした。P81試験片については、すべり試験時に突起が破損したため後述する各測定データは得られなかった。なお、作製した樹脂試験片の形状を図1に示す。

2.2 ポータブルスキッドテスター

ポータブルスキッドテスター（以下、振り子式

* 金属研究室

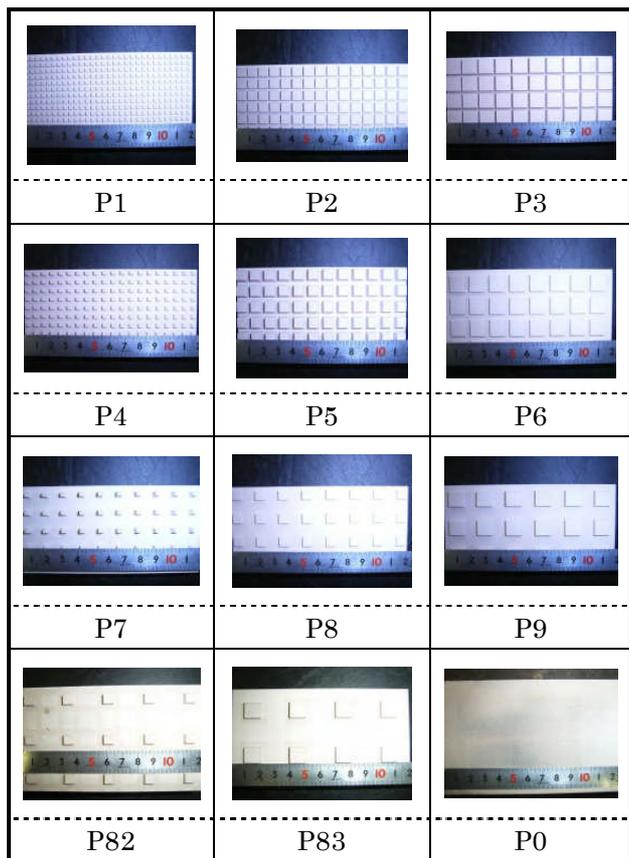


図1 樹脂試験片形状

という)は、英国道路交通研究所が開発したもので、床・舗装路面のすべり抵抗(BPN)を測定するものである³⁾。特徴としては、エネルギー保存の法則を利用し、振り子の先端につけたゴムスライダを試験片上で滑らせた時に損失するエネルギーからすべり抵抗を算出する。本試験方法は、比較的小さな試験片(約 150×50mm)にて測定が可能である。測定は5回実施し、平均値を算出した。図2に試験機の外観写真を示す。



図2 振り子式試験機

なお、試験は、乾燥状態では試験片表面を清浄にし、湿潤状態では表面突起部全てに水を散布し

た。また、ゴムスライダは装置に付属しているTRRLラバー(76×25mm)を用いた。

2. 3 小野式すべり試験機

小野式すべり試験機(以下、小野式という)は、東京工業大学が開発したもので、床材を対象とした試験機であり、すべり抵抗(CSR)を測定する^{4,5)}。特徴としては、人の歩行を前提とした測定方法であり、錘を搭載したゴムスライダを試験片上に置き、斜め上方へ引っ張った時に、ゴムスライダが動き出す時の荷重から得られるすべり抵抗値を算出する。定置型と持ち運び可能な携帯型の2種類があるが、本研究では携帯型を用いた。

本試験方法においては、比較的小さな試験片(約 150×50mm)にて測定が可能である。測定は5回実施し、平均値を算出した。なお、ゴムスライダ(60×50mm)にはデュロメータ硬度A66の天然ゴムを用いた。

図3に試験機の外観写真を示す。

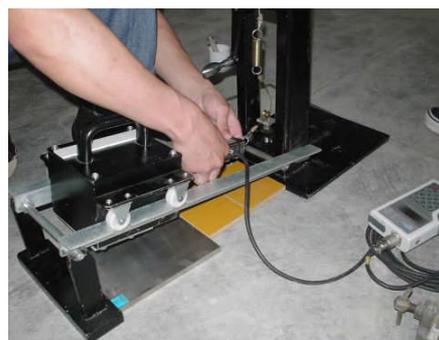


図3 小野式試験機

なお、試験は乾燥状態では、試験片表面を清浄にし、湿潤状態では表面突起部全てに水を散布した。また、試験機の特長上、水の散布だけでは各試験片のすべり抵抗値に差がでにくいいため、特にすべりやすい表面状態にするために、市販糊の原料であるポリビニルアルコール(重合度1500, 以下、PVAという)を用いて10wt%の水溶液を調製し、試験片表面に散布して試験を実施した。

2. 4 官能試験

振り子式および小野式により得られた測定結果と実際の人間の感覚とを比較するために官能試験を実施した。

図4のように試験片を床面に固定し、片足(ゴム底靴)を試験片の上で滑らせて、そのすべりやすさを表2のとおりすべり評価基準にて5段階で評価した。

なお、被験者は11名(30~60才代、すべて男性)で実施した。試験は乾燥状態および水にて表面を湿潤状態にして実施した。



図4 官能試験風景
表2 すべり評価基準

非常にすべりにくい	5
すべりにくい	4
どちらでもない	3
すべりやすい	2
非常にすべりやすい	1

2.5 DF テスターS タイプ

DF テスターS タイプ(以下、DFT-S タイプという)は、日邦産業株式会社が開発したもので、舗装材料の動摩擦係数を測定する^{2,6)}。特徴としては、動摩擦係数を計るポータブルな測定装置であり、ゴムスライダーを試験片上で回転させるのに必要なトルクからすべり抵抗値を算出する。本装置は、主に歩道舗装材の評価に用いられている。

測定はマンホールの中央部と端部の2箇所それぞれ3回実施し、平均値を算出した。

図5に試験機の外観写真を示す。



図5 DFT-S タイプ試験機

DFT-S タイプは、歩道用舗装材のすべり試験として測定実績が多くあるため^{2,6-8)}、マンホール蓋試作品とJIS型既存製品との比較評価に用いた。

本試験装置においては、測定試験片寸法が最低直径300mm程度必要である。

また、ゴムスライダーには、装置に付属しているゴム(靴底ゴム)を用いた。

3. 実験結果および考察

3.1 振り子式での測定結果

図6および図7に、突起間隔、突起大きさを表1のように変えて、乾燥・湿潤状態で行ったすべり試験結果を示す。

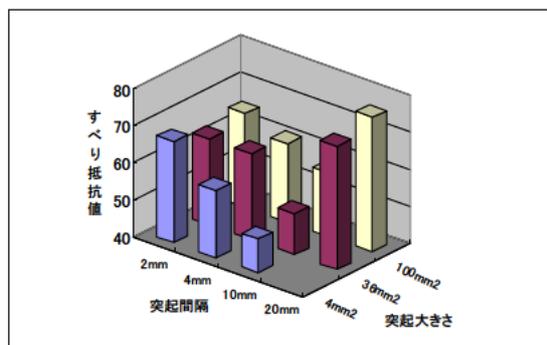


図6 振り子式試験結果(乾燥状態)

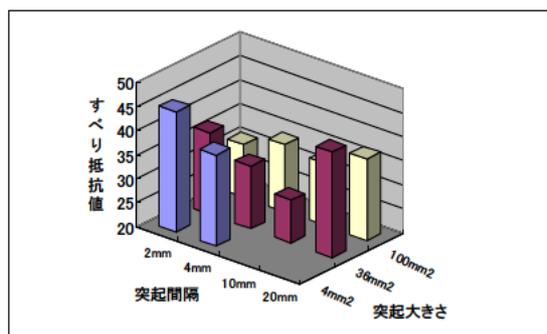


図7 振り子式試験結果(湿潤状態)

乾燥状態においては、突起間隔10mmにすべり抵抗値の極小点が見られ、間隔が小さくなるほどすべり抵抗値が大きくなる傾向が見られたが、間隔が20mmになると大きなすべり抵抗値を示した。これは、試験機のゴムスライダーが突起の間隔が広くなったために、突起の隙間に落ち込み引っ掛かりの効果が得られたためと考えられる。突起大きさについては、明確な傾向は見られなかった。なお、測定データが空欄となっている試験片については、測定時の衝撃により樹脂試験片が破損したため、測定を行なわなかった。

また、湿潤状態においても、突起間隔については乾燥状態と同様の傾向が見られたが、突起大きさについては、小さくなるほどすべり抵抗値が大きくなる傾向が見られた。

図8に突起面積率とすべり抵抗値の関係を示す。乾燥状態においては、突起面積率の増加に従ってすべり抵抗値がやや増加する傾向が見られたが、湿潤状態においては、バラツキはあるもののほぼ一定であった。

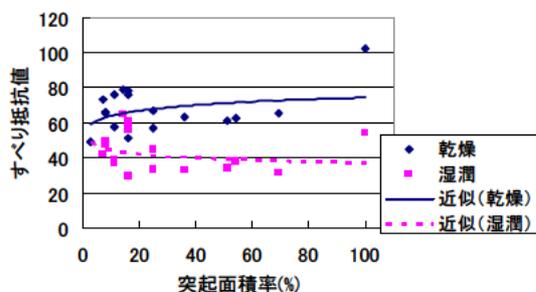


図8 振り子式測定結果と突起面積率の関係

また、突起面積率100%のものは、P0の試験片であるが、これは、平板であり他の表面に突起をつけた形状のものより高いすべり抵抗値を示した。これにより、振り子式では、ゴムスライダーが突起の表面部分を上滑りしていると考えられ、意図的につけた突起の耐すべり性の効果（引っかかりの効果）は、今回の測定範囲では観測できなかったといえる。

3.2 官能試験と振り子式との比較結果

図9および図10に、乾燥・湿潤状態における官能試験(被験者11人の平均値)と振り子式測定結果の関係を示す。

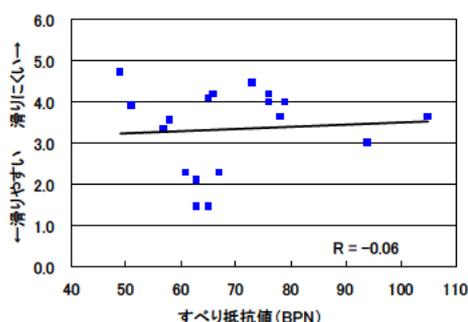


図9 官能試験と振り子式の関係(乾燥状態)

乾燥状態においては、バラツキが非常に大きく、相関係数 $R = -0.06$ と相関が全く見られなかった。これは、被験者の感覚と振り子式でのすべり試験結果とは相関を示していないことから人間の感覚とは、異なっていることを表わしている。

また、湿潤状態では、すべり抵抗値が大きくな

るとともに、被験者の感覚もすべりにくいと感じる傾向はあったが、相関係数 $R = 0.37$ と相関性は低かった。

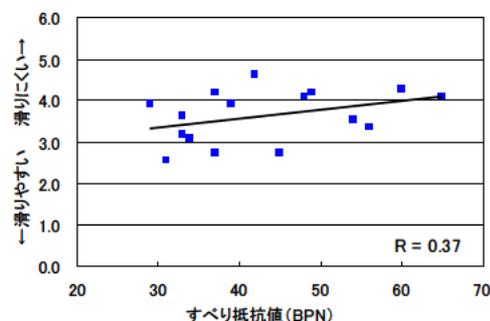


図10 官能試験と振り子式の関係(湿潤状態)

振り子式においては、ゴムスライダーと試験片間の凝着力または試験片表面粗さの影響を大きく受けるため⁹⁾、官能試験結果と相関が認められなかったと思われる。すなわち、引っかかりのあるような形状の試験には不向きであると考えられる。

3.3 小野式での測定結果

図11~図13に突起の間隔、大きさを前章表1のように変えて、乾燥、湿潤状態およびPVA(10wt%水溶液)散布状態での試験結果を示す。

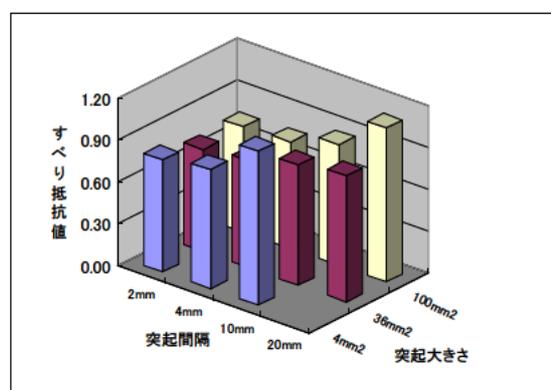


図11 小野式試験結果(乾燥状態)

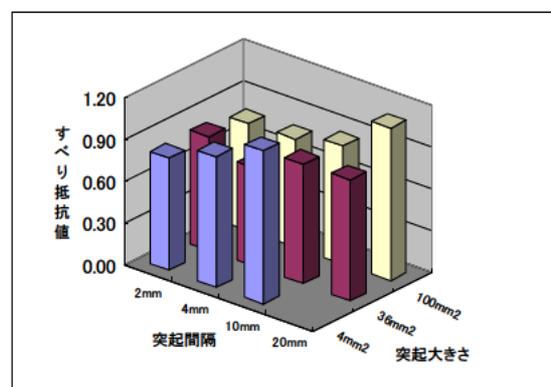


図12 小野式試験結果(湿潤状態)

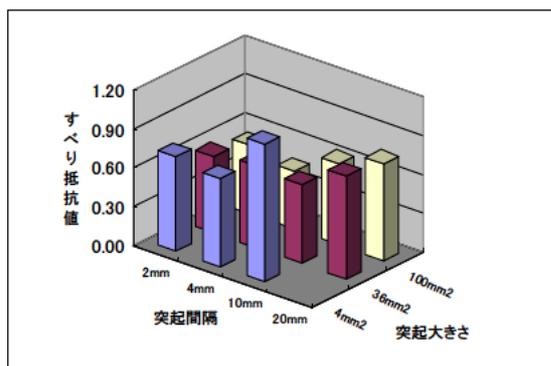


図 13 小野式試験結果 (PVA 散布)

乾燥・湿潤状態においては、突起間隔が大きくなるほど、突起大きさが小さくなるほどすべり抵抗値が大きくなる傾向が見られた。また、PVA 散布時においても、乾燥・湿潤状態とほぼ同様の傾向が得られたが、突起間隔が 2mm の時は 4mm の時に比べてすべり抵抗値が若干高かった。

図 14 に突起面積率とすべり抵抗値との関係を示す。

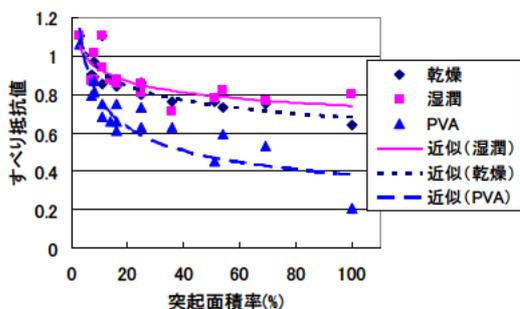


図 14 小野式測定結果と突起面積率の関係

乾燥状態・湿潤状態・PVA とともに突起面積率が大きくなるほどすべり抵抗値が低くなる傾向が見られた。これは、突起面積率が小さくなるほど、突起部の引っ掛かりの効果が得られるためであると思われる。

また、乾燥状態よりも湿潤状態のほうがすべり抵抗値が高くなる傾向が見られた。小野式では、水を散布し、試験片の上に錘を置いた後に試験を実施するために、水膜がゴムスライダーと試験片の間から除去され、樹脂試験片表面にある独立した微小な孔に水が入ることによってゴムスライダーと試験片の密着性が高まり、凝着の効果があつたためと推察される。それに対して、PVA では粘

性があるために、突起の端部が濡れたままの状態になり、すべり抵抗値が低くなると考えられる。

3. 4 官能試験と小野式との比較結果

図 15 および図 16 に、乾燥・湿潤状態における官能試験(被験者 11 人の平均値)と小野式測定結果の関係を示す。

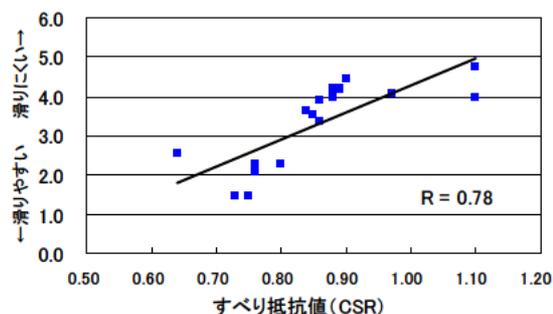


図 15 官能試験と小野式の関係(乾燥状態)

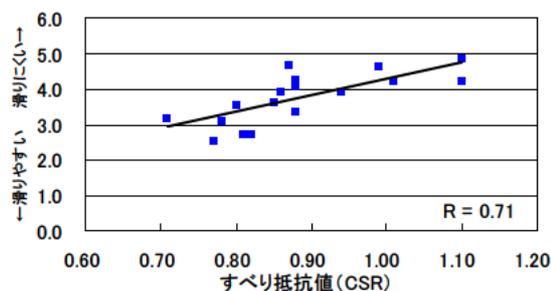


図 16 官能試験と小野式の関係(湿潤状態)

乾燥・湿潤状態においては、すべり抵抗値が大きくなるに従って、被験者の感覚もすべりにくいと感ずる傾向があり、乾燥状態で相関係数 $R=0.78$ 、湿潤状態で相関係数 $R=0.71$ と相関が見られた。

これは、被験者の感覚と小野式でのすべり試験結果とが相関があることを示しており、小野式においては、振り子式と異なり引っかかりのあるような形状の試験にも適用が可能であると考えられる。

なお、全体的な傾向として、乾燥状態よりも湿潤状態にすべり評価が高くなる傾向が見られたが、これは、樹脂表面に水を散布することにより樹脂表面での靴との凝着力が大きくなっているためと思われる。これは、小野式における湿潤状態でのデータが乾燥状態よりも高いことと一致している。

また、官能試験におけるすべり評価基準が低かった試験片においては特に乾燥と湿潤状態の差が大きくなっており、これらのサンプルは突起面積率が比較的大きく、凝着の効果が助長されたため

と思われる。官能試験においては、突起面積率が大きく引っ掛かりが少ない形状ほど、感覚的に値が小さく感じるためと思われる。

すべり抵抗に影響を与える因子として、ゴムスライダーと試験片の凝着力があるが、今回の樹脂の試験片は、表面形状の違いを明らかにするための試験であり、凝着力による影響より少なくなっている。よって、官能試験においても表面形状の違いが結果に反映されていると考えられる。

小野式は表面突起の効果の影響を大きく受ける試験方法と考えられ、官能試験との相関が確認されたと考えられる。

3. 5 小野式での形状の詳細検討

3. 3および3. 4の検討結果から、形状の検討には小野式が優位であると考え本項においては、小野式を用いて、形状の詳細検討を行なった。

3. 3の小野式の結果では、突起大きさは小さくする方が望ましいが、突起大きさが最小の4mm²で間隔が大きいと歩道用としては危険であると思われるため、突起大きさは36mm²に固定した。また、間隔は10, 20mmが望ましいが、後述する段差の影響を確認するためには、間隔を20mmとすると、ゴムスライダーに接触する突起部分が少なくなるため間隔を10mmに固定し、P8(突起大きさ36mm², 突起間隔10mm)の形状をベースにて更なる形状の検討を行った。

3. 5. 1 段差の影響

図17に、P8を基本形状とし、突起の高さを3mmと2mmの2段階に設定した形状を示す。

P51は、突起高さが2, 3mmのものを交互に配置し、P52は3mm高さの16個の突起を基本として、その中心の4つを2mmの高さとした。(図中、黒色の突起が高さ3mm)

また、これら3種類の試験片により乾燥, 湿潤, PVA 散布状態ですべり試験を行った結果を図18に示す。

段差のないP8に比べて、P52, P51の順ですべての状態ですべり抵抗値が大きくなっている。これは、段差を付けることにより、一つの突起へのゴム試験片の引っかかりが大きくなったためと考えられるため、突起に段差をつけることはすべり抵抗が大きくなる要因と考えられる。

3. 5. 2 形状変更および方向の影響

図19に、P8を基本形状とし、突起を正方形か

ら長方形に変更した形状を示す。

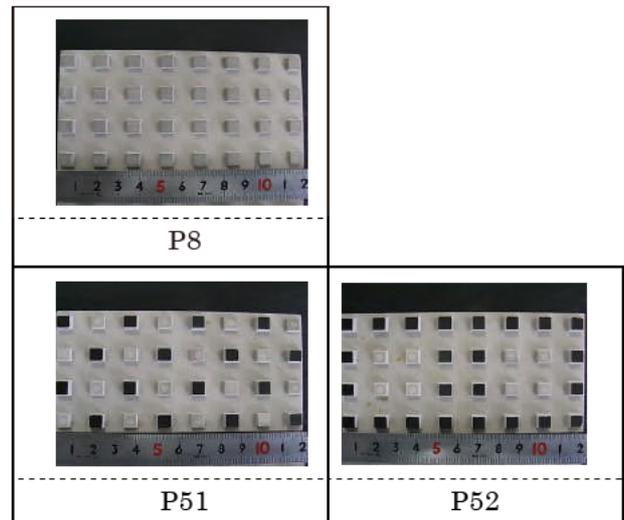


図17 段差をつけた樹脂試験片

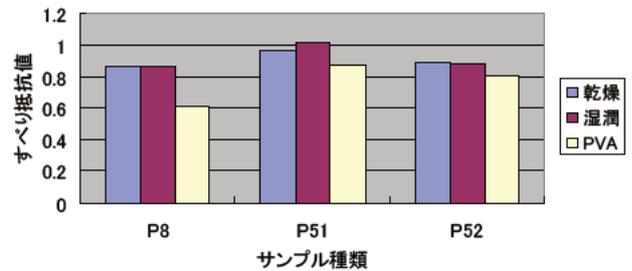


図18 小野式試験結果 (段差の有無)

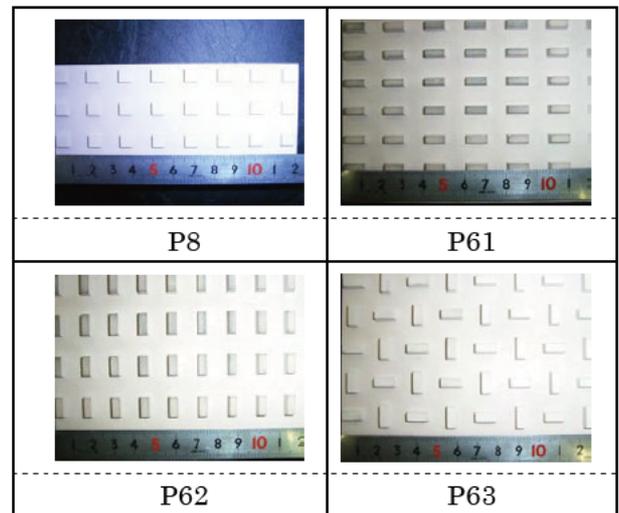


図19 突起形状を変えた樹脂試験片

なお、形状を正方形から長方形に変更するにあたり、長方形の短手方向でゴム片を接触させたのがP61であり、同様に長手方向から接触させたのがP62となっている。また、実際のマンホールでのすべり抵抗を考える時には、多方向からの接触

が考えられるため、P63 はどちらの方向からも差がないような形状とした。なお、紙面横方向にゴムスライダーを滑らせて試験を実施した。

これら 3 種類の試験片により乾燥、湿潤、PVA 散布状態ですべり試験を行った結果を図 20 に示す。

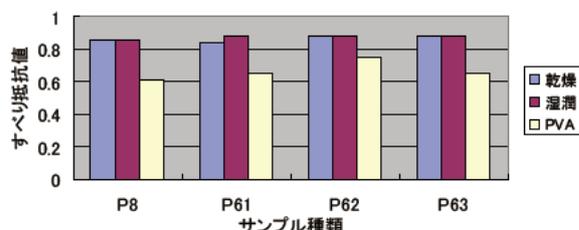


図 20 小野式試験結果 (形状変更)

乾燥・湿潤状態には正方形と長方形ですべり抵抗値にあまり差異は見られなかったが、PVA 散布時には長方形の方がすべり抵抗値が高くなる傾向が見られた。

P61 と P62 を比較すると、P62 のほうが PVA 散布時のすべり抵抗値が高くなった。これは、ゴムスライダーが引っかかる突起の一边の合計が大きくなることによると考えられる。

P63 のように P61 と P62 を組み合わせたものについては、PVA 散布時のすべり抵抗値は P61 と P62 のほぼ中間の値となった。

小野式での一連の測定結果から、突起間隔は 10～20mm、突起大きさは 36mm²、形状は長方形、凸部には段差をつけたほうがすべり抵抗値が高くなるということが分かった。

これらを基にして、最適な表面形状を図 21 のように決定した。

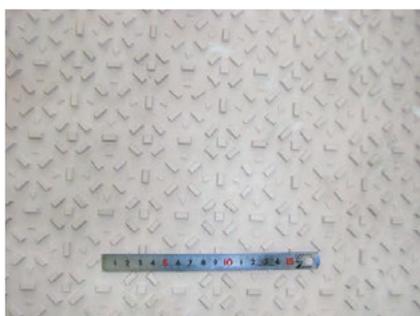


図 21 最適な表面形状 (樹脂型)

突起間隔は概ね 10～20mm、突起大きさは 36mm²、形状は長方形、突起高さは 4mm が 2 個

に対して 3mm を 1 個として段差をつけた。また、方向性を考慮し、突起を一部 45 度ずらした。更にデザイン性を考慮し底部の一部に三角形の形状を付加した。この樹脂表面形状をもとに作製したマンホール試作品(直径 654mm(呼称 600))の外観写真を図 22 に示す。



図 22 歩道用マンホール試作品 (φ 654mm)

3. 6 DFT-S タイプでの測定結果

試作品および比較のため広く一般に施工されている JIS 型 (図 23) について乾燥・湿潤状態で DFT-S タイプにて測定を行った結果を表 3 に示す。



図 23 JIS 型マンホール

表 3 DFT-S タイプの測定結果

	DFT-S タイプ	
	乾燥	湿潤
試作品	1.24	0.32
JIS 型	1.25	0.21

10km/h での試作品の動摩擦係数は乾燥状態では 1.24 であった。同様に湿潤状態においては 0.32 であった。また、比較のために試験を行った JIS 型では、同様に乾燥状態で 1.25、湿潤状態で 0.21 であった。試作品の湿潤状態でのすべり抵抗値は既存の JIS 型に比べて約 1.5 倍となり、優位性が認められた。

4. 試作品および既存製品での各種試験機での測定結果

表4に試作品および既存製品の3種類の試験機での測定結果を示す。なお、参考として舗装試験片およびステンレス平板の測定結果も併記する。また、試作品およびJIS型の小野式および振り子式は互いに重ならない4箇所にて測定を行ない、平均値を算出した。

表4 すべり試験結果一覧

		試作品	JIS型	舗装	ステンレス
小野式	湿潤	0.83	0.73	0.88	0.31
	PVA	0.60	0.33	0.71	0.05
振り子式	湿潤	36	25	69	26
DFT-S	湿潤	0.32	0.21	0.73	0.20

3種類の試験機において、湿潤状態およびPVA散布状態でJIS型と比較して試作品のすべり抵抗値は高かった。

湿潤状態およびPVA散布状態で比較すると、すべり抵抗値の高い順番に、舗装>試作品>JIS型 \geq ステンレスとなった。

5. まとめ

- (1) 小野式試験は、引っかかり表面形状を有するような試料の測定に適している。
- (2) 官能試験と小野式試験では、すべり性に相関性が見られた。
- (3) 小野式試験では、樹脂製試験片の表面突起形状は正方形より長方形が、また、段差があるほうがすべり抵抗値が高く、突起間隔10~20mm、突起大きさ36mm²が良好であった。
- (4) 既存のJIS型よりすべりにくい歩道用マンホールを試作した。

参考文献

- 1) 丸林良嗣ほか：“床・舗装路面におけるすべり防止技術および測定機器に関する調査”。三重県科学技術振興センター工業研究部研究報告書，31，p98-101(2007)
- 2) 牧 恒雄：“歩道舗装材のすべり抵抗性試験機について”。アスファルト，vol46，No.214，p31-36(2003)
- 3) 日本工業標準調査会：“JIS A1407床の滑り試験方法(振子形)”。日本規格協会，p1-5(1994)
- 4) 日本工業標準調査会：“JIS A1454高分子系張り床材試験方法”。日本規格協会，p11-12(2005)
- 5) 小野英哲：“携帯型床のすべり試験機(ONO・PPSM)の開発”。日本建築学会構造系論文集，第585号，p51-56(2004)
- 6) 安部裕也：“路面のポータブルすべり抵抗測定装置の開発と利用に関する研究”。室蘭工業大学博士学位論文，p144-169(2000)
- 7) 牧 恒雄ほか：“歩道舗装材の摩擦係数測定試験機に関する研究”。第2回舗装工学講演会講演論文集，p197-204(1997)
- 8) 小森谷一志ほか：“歩行者系舗装の歩きやすさの評価方法に関する研究”。第2回舗装工学講演会講演論文集，p181-188(1997)
- 9) “The Measurement of the Slip Resistance of Floor Surfaces. The Tortus and the Pendulum”。Construction & Building Materials，3，p163-171(1988)

(本研究は法人県民税の超過課税を財源としています)