安全性からみた手摺のすべりの相対的評価方法

手のすべりからみた建築部位・部材の安全性の評価方法に関する研究 (その2)

STUDY ON THE EVALUATION METHOD OF SLIPPERINESS OF HANDRAILS
AND GRAB BARS FROM THE VIEW POINT OF SAFETYThe evaluation method of safety of building elements and members
from the view point of slipperiness with hands (Part 2)

井戸川 純子*, 小野 英哲**

Junko IDOGAWA and Hidenori ONO

The purpose of this study is to present the evaluation method of slipperiness of handrails and grab bars from the viewpoint of safety.

First, we carried out sensory tests on handrails and grab bars to make evaluating scales of slipperiness.

Next, we measured the slip resistance of handrails and grab bars (C.S.R·HR) by the slip meter developed in the former research (presented in part 1), and showed the estimate value which was composed of C.S.R·HR and diameters of handrails and grab bars corresponded to evaluation scales.

As a result, we presented the evaluation method of the slipperiness of handrails and grab bars from the view point of safety.

keywords: handrails and grab bars, hands, slipperiness, evaluation method

手摺, 手, すべり, 評価方法

1. 序

本論文は, 手のすべりの観点から建築部位・部材の安全性の評価方法を提示することを目的とする研究のうち, 手のすべりが最も問題となる建築部位・部材のひとつである手摺について行った研究の成果で, 前報(その1)¹⁾に続く第2報である。

前報(その1)¹⁾では, 転倒や墜落防止つまり安全性の観点から, 手摺のすべりの評価方法を提示することは非常に重要な課題であることを論ずるとともに, 手摺と手の間に発生するすべり(以降, 手摺のすべりと呼ぶ)の大小に関する人間の感覚を尺度化し, 尺度を表示する手摺のすべり抵抗を測定できる, 手摺のすべり試験機(以降, 単に試験機と呼ぶ)を設計・試作した。さらに, 試験機により測定する手摺のすべり抵抗を手摺のすべり抵抗係数(以降, C.S.R·HRと呼ぶ)とし, すべりの方向ごとに, 軸方向の手摺のすべり抵抗係数(以降, C.S.R·HR·Aと呼ぶ), 軸まわり方向の手摺のすべり抵抗係数(以降, C.S.R·HR·Rと呼ぶ)の複合されたものとして設定した。

本報では, 安全性からみた手摺のすべりに対する人間の評価とC.S.R·HRの対応を考察し, 安全性からみた手摺のすべりの評価方法を提示する。

2. 研究の目的と範囲

本研究の目的は前報(その1)¹⁾の知見に基づき, 安全性からみた手摺のすべりの評価方法を提示することにある。なお, 手摺に接触する手の状態は素手とし, 手袋を装着した場合に関しては今後の課題とする。

3. 既往の研究

安全性の観点から手摺のすべりの評価方法を提示した例はみあたらない。

4. 研究の方法

本研究の方法および手順の概要は以下のとおりである。

- 1) 官能検査手法を用い, C.S.R·HRの程度を広く包含しかつ様々な径を持つよう選定した多様な手摺を試料群とし, 所定の動作時のすべりの安全性について相対的な判断を求めた上で, 安全性に関する評価尺度を構成する。
 - 2) 安全性に関する評価尺度とC.S.R·HRの対応を評価指標とする, 安全性からみた手摺のすべりの相対的評価方法を提示する。
- なお, 相対的評価方法とするのは, 安全性からみた手摺のすべりの許容値などの絶対値が身体的能力(例えば握力, 腕力)や動作などに依存するところも大きいと考えられることによる。

* 東京工業大学 大学院生・修士(工学)
 ** 東京工業大学工学部建築学科 教授・工博

Graduate Student, Tokyo Institute of Technology, M. Eng.
 Prof., Dept. of Architecture, Faculty of Engineering, Tokyo Institute of Technology,
 Dr. Eng.

5. 安全性からみた手摺のすべり評価尺度の構成

5.1. 安全性からみた手摺のすべり評価尺度構成のための官能検査の概要

安全性からみた手摺のすべりに対する人間の判断を基礎資料として、すべり評価尺度を構成する目的で、表1に示す要領で官能検査を行うこととした。なお、官能検査手法を用いて安全性からみたすべりの判断を把握する方法は、本研究とは対象となる建築部位、接触する身体部位が異なるものの著者の一部らによる研究²⁾などでその有効性を証明済みである。

以下に、検査の主な事項について説明する。

5.1.1 構成する尺度および尺度構成手法

構成する尺度は安全性からみた手摺のすべりの評価尺度(以降、手摺のすべり評価尺度と呼ぶ)とする。検査および尺度構成手法は、相対判断による系列範ちゅう法とする。

5.1.2 質問事項および判断範ちゅう

質問事項、判断範ちゅうは表1に示すとおりである。

5.1.3 試料の設定

判断に供する試料として、幅広いC.S.R・HRの程度を包含する、表1に示す19種(標準試料手摺を含む)の手摺を設定した。手摺は市販されているものおよび本研究の目的に添うよう設計・試作したもので、すべて円形断面を持つものとし、直径は日本人にとって握りやすいとされ^{3), 4)}、一般に広く用いられている34mmを中心に、22, 27, 34, 42, 60mmの5種を設定した。さらに、試料表面にはいずれも一定の条件で発泡させた石けん水を十分介在させることとした。なお、石けん水を介在

表1 官能検査の概要

構成する尺度	安全性からみた手摺のすべり評価尺度		
尺度構成手法	標準試料との比較判断による系列範ちゅう法		
質問事項	この試料手摺のすべりは、標準試料手摺と比較して、		
判断範ちゅう	⑦非常に安全である ⑥かなり安全である ⑤やや安全である ④どちらともいえない ③やや危険である ②かなり危険である ①非常に危険である		
動作および手摺の設置状況	動作	手摺の設置状況	
	a	座位からの立ち上がり	鉛直
	b(b', b'')	座位からの立ち上がり	水平
試料手摺	c	段差降り	水平
	No.	表面の概要	径(mm)
	1.	ステンレス(鏡面仕上)	22
	2.	合成樹脂	22
	3.	塩化ビニル	22
	4.	塩化ビニル(凹凸有)	22
	5.	スチール(オイルペイント仕上)	27
	6.	布ヤスリ	27
	7.	合成樹脂	27
	8.	塩化ビニル	27
	9.	ステンレス(鏡面仕上)	34
	10.	合成樹脂(凹凸有)	34
	11.	スチール(オイルペイント仕上)	34
	12.	塩化ビニル(凹凸有)	34
	13.	塩化ビニル	42
	14.	合成樹脂	42
	15.	塩化ビニル(凹凸有)	42
	16.	塩化ビニル	60
	17.	塩化ビニル(凹凸有)	60
	18.	布ヤスリ	60
	標準試料手摺	合成樹脂	34
介在物	発泡石けん水(水:石けん=200:1)		
検査員	成人男女8名		
検査室の温湿度	20±2℃, 50±5%RH		

させる理由は、介在させない場合、特にすべる試料を設定することが困難なこと、一般にすべりすぎて危険な場合は表面に液状介在物が付着していることが多いこと、などにある。

5.1.4 動作の設定

判断するための動作と手摺の設置状況の組み合わせ(以降、単に動作と呼ぶ)として、表1および図1に示す代表的とみなせる4種を設定した。ここで、動作aは鉛直に設置された手摺を握って立ち上がる動作、動作bは水平に設置された手摺を握って立ち上がる動作、動作cは水平に設置された手摺を握って斜め下方へ身体を移動する動作であり、日常生活において動作a, bは浴室、トイレなどにおいて手摺を握って立ち上がる動作、動作cは、廊下、階段、浴室などで手摺を握って身体を移動する際の動作に該当するもので、手摺のすべりが安全性に大きく影響を及ぼす代表的な動作とみなすことができる。

さらに、動作bについては体勢不十分な状況で手摺を用いる場合を想定した図2に示す2種の方法、つまり手摺を指および掌で握る動作、手摺を指だけで握る動作で行うこととし、それぞれ動作b', 動作b''とした。

図1 動作および手摺の設置状況 (単位:mm)

また、各動作における動作の激しさに関しては制御することが困難なため検査員ごとに自由とした。なお、すべりの安全性に関し相対的な判断を求める上では、検査員ごとに動作の激しさがほぼ一定であれば問題ないことを付記する。

図2 動作bにおける握り方

なお、検査員は洗浄した利き手かつ素手で手摺にふれ、判断を下すこととした。

5.1.5 検査員の選定

検査員は健康な成人男女8名(男性6名、女性2名;年齢21~25歳)とした。

ここで、手摺の必要性の観点から重要な対象となる高齢者や身体障害者などの身体的弱者にも検査員として参加していただくことが望ましいが、検査による身体的負担が大きいかつ危険なことから現実的には困難なこと、本検査の目的である安全性からみた手摺のすべりの相対的判断を把握する上では健康者のみでも問題はないことから、検査員として身体的弱者を選定しないこととした。

5.2. 検査の経過および結果

検査状況を写真1に、検査の結果得られた基礎データの分散分析

結果を表2に示す。

いずれの場合も主効果の分散比が高度に有意であり、検査は有効といえる。個人差の分散比が有意となっている場合もあるが、個人差の寄与率が主効果の寄与率と比較して非常に小さいため、多少の個人差はあるものの安全性からみた手摺のすべりの判断に一致性があるとみなしてよいといえる。

5.3. 安全性からみた手摺のすべり評価尺度の構成および考察

検査の結果得られた基礎データをを用い、尺度構成理論⁵⁾に従

写真1 官能検査状況

表2 分散分析結果

	動作a	動作b'	動作b''	動作c
分散比	41.66**	37.89**	21.70**	26.71*
個人差	3.15**	3.85**	1.59*	1.26
寄与率	0.81	0.79	0.71	0.75
個人差	0.02	0.03	0.01	0.00

**危険率1%で有意, *5%で有意

図3 手摺のすべり評価尺度の動作間の関係

い、動作ごとに手摺のすべり評価尺度を構成した。

構成した手摺のすべり評価尺度の動作間の関係を図3に示す。いずれにおいてもおおむね高い相関がみられるが、動作b''と動作aの場合、さらに動作b''と動作cの場合のように、相関に乱れがみられる例もある。

以上、全体として手摺のすべり評価尺度の動作間の相関は高いものの、厳密には判断された試料の安全性の序列が動作間で異なる場合もみられるため、手摺のすべりの評価の検討は厳密には動作ごとに行う必要があるといえる。

6. 安全性からみた手摺のすべり評価尺度と手摺のすべり抵抗の対応

6.1. 手摺のすべり抵抗係数の測定

試料手摺のすべり抵抗係数を、前報(その1)¹⁾で設計・試作した試験機を用いて測定した。

試験機および試験機のすべり片部分の概要を図4に示す。

本試験機は、試料手摺上にすべりの観点から手を模したすべり片をのせ、一定の荷重(3kg)を載荷したすべり片を軸方向あるいは軸まわり方向に一定の速度(2cm/s)で引張ったときの引張荷重を測定するものである。測定した引張荷重を載荷重量(3kg)で除した値をすべり抵抗係数C.S.R・HRとし、すべりの方向ごとに、軸方向のすべり抵抗係数をC.S.R・HR・A、軸まわり方向のすべり抵抗係数をC.S.R・HR・Rとして

いる。

各試料手摺のC.S.R・HR・AとC.S.R・HR・Rの関係を図5に示す。

両者の間にはおおむね相関があるといえるが、すべり抵抗を測定する方向により、すべりの序列が厳密には一致しているとはいえず、各動作時に実際に発生するすべりの方向に即したC.S.R・HRを用いて手摺のすべりの評価尺度との対応を検討する必要があるといえる。

6.2. 手摺のすべり評価尺度とすべり抵抗係数の対応

5. で構成した手摺のすべり評価尺度と6.1. で測定したすべり抵抗の対応を検討するにあたり、5. の官能検査時の観察結果および検査員

図4 手摺のすべり試験機の概要

の反応から、動作aにおいては軸方向、動作bにおいては軸まわり方向、動作cにおいては両方向のすべりが安全性の判断に大きく影響していると考えられたため、動作aの手摺のすべり評価尺度はC.S.R・HR・A、動作bの手摺のすべり評価尺度はC.S.R・HR・R、動作cの手摺のすべり評価尺度はC.S.R・HR・AおよびC.S.R・HR・R、との対応を検討することとした。各々の対応を図6に示す。

いずれの動作においても全体としての対応は十分とはいえないが、手摺の径ごとにみるといずれにおいても目視でひいた図中の対応線で示すように両者はよく対応していることが明瞭なことから、径が同じで

図5 C.S.R・HR・AとC.S.R・HR・Rの関係

あれば手摺のすべり評価尺度をC.S.R・HRで表現できること、さらにC.S.R・HR・AあるいはC.S.R・HR・Rが大きいほど安全と判断しているといえる。

ここで、詳細にみると、手摺のすべり評価尺度とC.S.R・HR・Aの対応ではいずれの動作においても径27, 42mmの場合の

対応線(…▲…, …■…)は径34mmの場合の対応線(…●…)付近に位置し、径22mmの場合の対応線(…△…), 径60mmの場合の対応線(…□…)はそれぞれ径34mmの場合の対応線(…●…)

…の下側と上側に位置している。

また、手摺のすべり評価尺度とC.S.R・HR・Rの対応では、いずれの動作においても径22mm, 60mmの場合の対応線(…△…, …□…)は径34mmの場合の対応線(…●…)より下側に位置し、径27mm, 42mmの場合の対応線(…▲…, …■…)は、おおよそ径34mmの場合の対応線(…●…)と径22mmまたは60mmの場合の対応線(…△…または…□…)の間に位置している。

これより径ごとにみると、いずれの場合も手摺のすべり評価尺度とC.S.R・HRは、径34mmとの差に比例して、径34mmの場合の対応線から離れた位置で対応しているといえる。つまり、手摺の径が安全性からみたすべりの判断に大きく影響を及ぼしていることがわかる。

以上の検討の結果から、手摺のすべりの安全性の評価は、手摺のすべり抵抗に、握りやすさから生じる把持力に影響する径の要因を加えて表示できると考えられることから、各動作における安全性からみた手摺のすべり評価尺度を表示する評価式Yの骨子を以下のように設定できる。

$$Y = \alpha \times (\text{手摺のすべり抵抗}) + \beta \times (\text{手摺の径}) + \gamma \quad \text{……式1)}$$

(ここで α , β は係数, γ は定数とする)

以下、動作ごとに評価式Yの具体化を検討する。なお、以降径の単位はmmとする。

1) 動作aの場合: 動作aにおいては、すべりの安全性の判断は主に軸方向のすべりでなされていると考えられるため、(手摺のすべり抵抗)としてC.S.R・HR・Aを、また、図6で考察したように手摺のすべり評価尺度とC.S.R・HR・Aの関係において、34mmからの径の差に比例して安全性の評価が高低に変動していることから、(手摺の径)として(r-34)を設定できる。

よって式1)を

$$Y_a = \alpha_a \times \text{C.S.R} \cdot \text{HR} \cdot \text{A} + \beta_a \times (r - 34) + \gamma_a \quad \text{……式2)}$$

と書き換えることができる。

ここで、動作aの手摺のすべり評価尺度を目的変数、C.S.R・HR・A、(r-34)を説明変数とし、両者がよりよい対応を示す偏回帰係数 α_a , β_a および γ_a を求めるために変数固定法により重回帰分析を行った。重回帰分析結果を表3に示すが、得られた偏回帰係数が有意であること、両者の間に有意な相関があることから、得られる重回帰式つまり安全性からみた手摺のすべりの評価式は有効であるといえる。

これより、式2)は

$$Y_a = 5.147 \times \text{C.S.R} \cdot \text{HR} \cdot \text{A} + 0.057 \times (r - 34) - 5.268 \quad \text{……式3)}$$

となる。

手摺のすべり評価尺度と Y_a の対応を図7に示す。

両者はなめらかに対応しているため、式3)は動作aの手摺のすべり評価尺度を表示する評価式として十分有効といえる。

2) 動作bの場合: 動作b', b''においては、すべりの安全性の判断は主に軸まわり方向のすべりでなされていると考えられるため、(手摺のすべり抵抗)としてC.S.R・HR・Rを、また、図6で考察したように手摺のすべり評価尺度とC.S.R・HR・Rの関

図6 手摺のすべり評価尺度とC.S.R・HRの対応

係において、34mmからの径の差に比例して安全性の評価が変動していることから、(手摺の径)として $|r-34|$ を設定できる。

よって式1)を

$$Y_{b'}, Y_{b''} = \alpha_b \times C.S.R \cdot HR \cdot R + \beta_b \times |r-34| + \gamma_b \quad \text{……式4)}$$

と書き換えることができる。

ここで、動作 b' 、 b'' の手摺のすべり評価尺度を目的変数、C.S.R・HR・R、 $|r-34|$ を説明変数とし、両者がよりよい対応を示す偏回帰係数 α_b 、 β_b および γ_b を求めるために変数固定法により重回帰分析を行った。重回帰分析結果を表4に示すが、得られた偏回帰係数が有意であること、両者の間に有意な相関があることから、得られる重回帰式つまり安全性からみた手摺のすべりの評価式は有効であるといえる。

これより、式4)はそれぞれ

$$Y_{b'} = 1.833 \times C.S.R \cdot HR \cdot R - 0.037 \times |r-34| - 3.568 \quad \text{……式5)}$$

$$Y_{b''} = 1.700 \times C.S.R \cdot HR \cdot R - 0.032 \times |r-34| - 3.080 \quad \text{……式6)}$$

となる。

手摺のすべり評価尺度と $Y_{b'}$ 、 $Y_{b''}$ の対応を図8に示す。

両者はなめらかに対応しているため、式5)、式6)は動作 b' 、動作 b'' の手摺のすべり評価尺度を表示する評価式として十分有効といえる。

3)動作cの場合:動作cにおいては、すべりの判断は軸方向および軸まわり方向のすべりでなされていると考えられるため、図6の考察および1)、2)の動作a、bの場合の結果を踏まえ、(手摺のすべり抵抗)としてC.S.R・HR・AおよびC.S.R・HR・R、(手摺の径)として、 $(r-34)$ および $|r-34|$ を設定できる。よって式1)を

$$Y_c = \alpha_{cA} \times C.S.R \cdot HR \cdot A + \alpha_{cR} \times C.S.R \cdot HR \cdot R + \beta_{cA} \times (r-34) + \beta_{cR} \times |r-34| + \gamma_c \quad \text{……式7)}$$

と書き換えることができる。

ここで、手摺のすべり評価尺度を目的変数、C.S.R・HR・A、C.S.R・HR・R、 $(r-34)$ 、 $|r-34|$ を説明変数とし、両者がよりよい対応を示す偏回帰係数 α_{cA} 、 α_{cR} 、 β_{cA} 、 β_{cR} 、 γ_c を求めるために変数固定法により重回帰分析を行った。重回帰分析結果を表5に示すが、得られた偏回帰係数が有意であること、両者の間に有意な相関があることから、得られる重回帰式つまり安全性からみた手摺のすべりの評価式は有効であるといえる。

これより、式7)は

$$Y_c = 1.850 \times C.S.R \cdot HR \cdot A + 0.977 \times C.S.R \cdot HR \cdot R + 0.061 \times (r-34) - 0.057 \times |r-34| - 3.320 \quad \text{……式8)}$$

となる。

手摺のすべり評価尺度と Y_c の対応を図9に示す。

両者はなめらかに対応しているため、式8)は動作cの手摺のすべり評価尺度を表示する評価式として十分有効といえる。

以上より、各動作の手摺のすべり評価尺度の評価式として式3)、5)、6)、8)が提示できる。

7. 安全性からみた手摺のすべりの相対的評価指標および相対的評価方法の提示

6.2.の検討から、式3)、5)、6)、8)を安全性からみた手摺のすべり

表3 重回帰分析結果(動作aの場合)

	相関係数	分散比	寄与率		α_a	β_a	γ_a
					C.S.R・HR・A	$r-34$	
Y_a	0.927***	56.95***	0.861	偏回帰係数	5.147	0.057	-5.268
				t値	9.400***	3.942***	-9.424***

***危険率1%で有意、**10%で有意、*20%で有意

図7 動作aの手摺のすべり評価尺度と Y_a の対応

表4 重回帰分析結果(動作bの場合)

	相関係数	分散比	寄与率		α_b	β_b	γ_b
					C.S.R・HR・R	$ r-34 $	
$Y_{b'}$	0.912***	47.73***	0.839	偏回帰係数	1.833	-0.037	-3.568
				t値	8.863***	-1.600*	-7.729***
$Y_{b''}$	0.910***	46.65***	0.835	偏回帰係数	1.700	-0.032	-3.080
				t値	8.733***	-1.477*	-7.090***

***危険率1%で有意、**10%で有意、*20%で有意

図8 動作bの手摺のすべり評価尺度と Y_b の対応

表5 重回帰分析結果(動作cの場合)

	相関係数	分散比	寄与率		α_{cA}	α_{cR}	β_{cA}	β_{cR}	γ_c
					C.S.R・HR・A	C.S.R・HR・R	$r-34$	$ r-34 $	
Y_c	0.925***	24.17***	0.837	偏回帰係数	1.850	0.977	0.061	-0.057	-3.320
				t値	1.408*	2.016**	3.445***	-2.037**	-5.420***

***危険率1%で有意、**10%で有意、*20%で有意

図9 動作cの手摺のすべり評価尺度と Y_c の対応

評価式とし、図7, 8, 9を安全性からみた手摺のすべりの相対的評価指標として提示する。

さらに、前報(その1)¹⁾で設計・試作した手摺のすべり試験機を用いてC.S.R・HRを測定し、式3), 5), 6), 8)を用いてすべりの評価の推定値を求め、図7, 8, 9により手摺のすべりを評価する方法を、安全性からみた手摺のすべりの相対的評価方法の骨子として提示する。

本研究では人間の層、判断を行う動作などの諸条件が代表的なものであるため”骨子”としたが、人間の層や動作が異なる場合に安全性の絶対的な評価が変動することはあっても相対的な評価の序列は変わらないことから、提示した方法は十分一般性をもつといえる。

8. 結

安全性からみた手摺のすべりの相対的評価方法に関して検討し、前報(その1)¹⁾で設定した手摺のすべり抵抗係数および径によって表される手摺のすべりの安全性評価式を設定し、本研究で設定した条件下における手摺のすべりの安全性評価尺度と評価式の対応図を用い

た、安全性からみた手摺のすべりの相対的評価方法の骨子を提示した。

結びにあたり、検査に協力いただいた検査員の皆様、試料手摺の一部を提供いただいたナカ工業技術研究所(株)に謝意を表します。

参考文献

- 1) 井戸川純子, 小野英哲: 手摺のすべり感覚尺度の構成およびすべり試験機の設計・試作—手のすべりからみた建築部位・部材の安全性の評価方法に関する研究(その1)—, 日本建築学会構造系論文集第513号, pp.43-50, 1998.11
- 2) 小野英哲, 須藤拓, 武田清: 床のすべりの評価指標および評価方法の提示, その4 床のすべりおよびその評価方法に関する研究, 日本建築学会論文報告集第356号, pp.1-8, 1985.10
- 3) 古瀬敏, 後藤義明, 杉本芳英: 高齢者に対応した手すりのあり方に関する研究—その1. 手摺直径の評価に関する基礎的実験—, 日本建築学会大会学術講演梗概集(九州)E, pp.799-800, 1989.10
- 4) 古瀬敏, 杉本芳英, 後藤義明, 小西健夫: 高齢者に対応した手すりのあり方に関する研究—その2. 実使用に即した手すり直径, 壁との必要空き寸法—, 日本建築学会大会学術講演梗概集(中国)E, pp.697-698, 1990.10
- 5) Guilford J.P., 秋重義治訳: 「精神測定法」, 培風館, 1959

(1998年12月10日原稿受理, 1999年4月2日採用決定)