動作特性にもとづく階段寸法評価指標の検討

○横井孝志 小木 元 高橋昭彦 木塚朝博 (生命工学工業技術研究所), 村岡 誠 (筑波大学)

Examining indices for evaluating stair dimensions based on biomechanical and psychological factors of human movement. Takashi YOKOI, Hajime OGI, Akihiko TAKAHASHI, Tomohiro KIZUKA (National Inst. of Bioscience and Human-Engineering), Makoto MURAOKA (Univ. of Tsukuba)

1. はじめに

建築基準法では、住居内の階段寸法を蹴上 23cm 以下、踏面 15cm 以上と規定している(青木他, 1985)が、階段の昇降は生活動作の中でも比較的負担が大きく、滑り、転落等の事故も多いため、昇降動作の様々な特性が研究され、階段の適正寸法に関する研究もいくつか報告されている(古瀬, 1986; Kowalk, 1996; Mc-Fayden, 1996; 永田, 1992; 永田, 1993; 永田, 1994; 横井, 1994)。しかし、従来の適正寸法に関する研究では、階段の見え方や主観的な歩きにくさにもとづく寸法評価指標式はあるが、負担度や動作力学量を考慮した式はほとんど報告されていない。

我々は人間の体格や製品使用時の姿勢、動作、動作遂行時の主観量を計測し、これらをもとに生活製品・設備機器の評価に利用できる指標式を構築する技術の開発を進めてきた。本研究では、その一環として、階段の寸法、昇降動作、動作時の主観量間の関係をもとに、昇降時の主観量を階段寸法、動作力学量等から適正に予測する指標式について検討を行った結果を報告する。

2. 方法

指標式の構築に必要なデータを取得するため、20名の若年成人(年齢 20~30 歳、身長 174.0 ± 5.1 cm、体重 68.0 ± 9.5 kg)を用いた階段昇降実験を行った(図1)。実験時の階段寸法条件は蹴上を 13cm, 18cm, 23cm、踏面を 15cm, 20cm, 25cm, 30cm, 35cm, 40cm とし、これらを組み合わせた 18 寸法条件とした。被験者には、それぞれの寸法条件の階段を、休息をはさみながら各自が行いやすいテンポで 3 回昇降させた。このとき身体標点の 3 次元位置座標、踏面にかかる床反力、昇降に関する主観量を計測した。標点の 3 次元位置計測は VICON370 (Oxford Metrics Inc.) によって、床反力は Kistler 社製床反力計によって計測した。サンプリング周波数はそれぞれ 60Hz, 100Hz であった。階段昇降動作における主観評価として昇降時の負担部位(全身 17 ヶ所から選択、複数回答有り)、負担度(0 全く感じない~4 非常に感じる)、歩きにくさ(0 なんともない~4 非常に歩きにくい)、足元の見えにくさ(0 なんともない~4 全く見えない)の 4 項目について回答を得た。

得られた標点座標および床反力データをもとに、階段寸法や主観量との関係を検討するための動作力学量として、

昇降時の平均ピッチ、平均スピード、床反力の鉛直成分最大値、水平成分最大値(加速(+)および減速(-))を求めた。欠損データ等を含む試技を除外し、統計解析の対象として最終的に 2160 試技中の 2145 試技を選択した。相関分析、回帰分析等の統計解析では StatView-J4.5 を用いた。

図1 実験用階段を昇行する被験者

3. 結果と考察

3. 1 主観量と物理量との相関

表1は階段昇降動作時の主観量、階段関連量、体格関連量、動作関連量間の相関係数を示したものである。主観量間では歩きにくさと足元の見えにくさとの間に高い相関($r=0.9061$)が現れていた。負担度と階段の勾配(=蹴上/踏面)との間の相関係数は 0.4 以上であった。足元の見えにくさや歩きにくさでは、階段関連量だけでなく、体格や動作に関連する物理量との間にも高い相関が見られた。またこれらの主観量は踏面²や(踏面/身長)²とも高い相関があった。従って、対象によっては、主観量と物理量との関係を式の次数を上げて回帰したほうがより良くあてはまる可能性があるため、指標化においてはこのような点も配慮しておく必要があると考えられる。

3. 2 主観量推定のための指標化

本研究では昇降時の主観量を階段寸法や体格、動作に係る変量から推定する式を、入力データ取得の容易さによって2群に分け、それぞれの群に対して指標式を求めた。第

1群の独立変数は階段寸法（蹴上、踏面、勾配）から構成される。第2群では、階段寸法に加えて昇降者の体格（身長、体重）、動作力学関連量（昇降時の平均ピッチ、平均スピード、床反力）も独立変数とする。表1にあげた階段関連量、体格関連量、動作関連量を入力して主観量を推定する重回帰式をステップワイズ変数増加法により求めた。ただし、この式では昇りの場合1を、降りの場合0を入力して、昇り降りを区別する。

表2は負担度と歩きにくさに関して、最終的に得られた重回帰式の独立変数とその回帰係数を示したものである。表中の独立変数に必要な値を入れ、それぞれに対応する回帰係数をかけあわせた後、加算することによって個々の主観量を求めることができる。

表2に示したように、負担度において得られた重回帰式の決定係数は、歩きにくさにおけるそれに比べて小さい。即ち第1群、第2群とも0.3未満であり、独立変数の種類を増しても決定係数は大きくは増加しない。負担度は昇降動作中に発揮した下肢の筋収縮力に関係が深いと考えられるが、今回検討した変量は直接的に筋の収縮力を反映しているとは言えない。このことが体格関連変量、動作関連変量を含めても決定係数が増加しなかった理由の1つと推測される。今後、関節トルク等の筋収縮と関連の深い変数を独立変数として検討する必要がある。

歩きにくさ推定の式では、階段変数のみを独立変数としても説明能力は高かった。このときの決定係数は0.710であった。体格変量、動作力学変量を含めて独立変数を検討しても決定係数は0.716程度であった。すなわち、歩きにくさや足元の見にくさの主な原因は踏面寸法と関係が深いと言えよう。また、被験者の体格間にばらつきが少なかったため、最終的な重回帰式の独立変数には体格変量が残らなかったと考えられる。一方、昇り降りの方向に関する回帰係数がマイナスであったことから、歩きにくさは昇りに比べて降りの場合に、より強まると考えられる。

今後、より説明力の高い指標式を得るため、関節トルクや下肢の筋発揮力等も独立変数とした重回帰式についても検討する予定である。

表1 主観量と階段寸法、体格、動作関連量との間の相関係数

		負担部位数	負担程度	足見にくさ	歩きにくさ
主観	歩きにくさ				1.0000
	足見にくさ			1.0000	0.9061
	負担程度		1.0000	0.3540	0.3335
階段寸法	負担部位数	1.0000	0.5880	0.1343	0.1264
	蹴上(cm)	0.1780	0.3241	0.0509	0.0238
	踏面(cm)	-0.0739	-0.2896	-0.7176	-0.7140
	踏面(cm) ²	-0.0630	-0.2630	-0.6580	-0.6513
体格	勾配	0.1711	0.4543	0.6999	0.6747
	身長(cm)	0.0864	0.2097	-0.0226	0.0029
	体重(kg)	0.0063	0.1068	0.0006	-0.0088
	蹴上/身長	0.1623	0.2941	0.0544	0.0235
	踏面/身長	-0.0812	-0.3070	-0.7125	-0.7115
動作	(踏面/身長) ²	-0.0704	-0.2816	-0.6521	-0.6482
	平均ピッチ(Hz)	0.0000	-0.1571	-0.1840	-0.1851
	平均移動速度(m/s)	-0.0054	-0.2116	-0.6792	-0.6910
	最大水平反力(+)*	-0.0523	-0.2014	-0.2315	-0.2351
	最大水平反力(-)*	-0.0063	0.1649	0.4521	0.4536
	最大鉛直床反力*	0.0103	-0.0241	-0.2010	-0.2149

* 体重あたり

表2 階段昇降時の主観量を推定するための重回帰式における独立変数と回帰係数

従属変数	独立変数	回帰係数	
		第1群	第2群
		階段寸法	階段寸法+体格+動作
負担度	昇(1)/降(0)	0.130	-
	踏面(cm) ²	0.0002829	-
	勾配	1.375	1.372
	身長(cm)	-	0.032
	体重(kg)	-	0.003
	(踏面/身長) ²	-	10.803
	最大水床平反力(+)*	-	-1.449
	定数	-0.901	-6.379
	自由度調整決定係数	0.229	0.274
	FMS残差	0.630	0.611
	F値	212.759	162.805
歩きにくさ	p値	<.0001	<.0001
	昇(1)/降(0)	-0.293	-0.297
	踏面(cm)	-0.524	-0.521
	踏面(cm) ²	0.008	0.008
	勾配	0.158	-
	平均ピッチ(Hz)	-	-0.564
	定数	9.044	10.123
	自由度調整決定係数	0.710	0.716
	FMS残差	0.627	0.621
	F値	1315.544	1352.208
	p値	<.0001	<.0001

* 体重あたり

参考文献

青木他：建築設計基準，新建築社，1985。
 古瀬：建築研究報告 109，1986。
 Kowalk, D. L. et al.: J. Biomechanics, 29-3:383-388,1996。
 McFayden,B.J. et al.: J. Biomechanics, 21-9:733- 744, 1996。
 永田：日本建築学会計画系論文報告集 No.439: 73-80,1992。
 永田：日本建築学会計画系論文報告集 No.444: 61-66, 1993。
 永田：人間工学会関東支部第24 回大会講演集，74-75, 1994。
 横井：日本建築学会関東支部研究選集3，165-168, 1994。
 (財)高齢者住宅財団：長寿社会対応住宅設計指針策定調査，1994。