歩行姿勢解析による園路階段の歩行性

柳 南 馨*
雨 宮 悠**
矢 橋 晨 吾**

Walkability on Garden Stairways by Gait Analysis

Nam-heyong Ryu

Yu MEMIYA

Shingo YABASHI

摘要：階段の歩行性を評価するために、諸元が異なる12種の階段を対象をして歩行実験を行った。ここで調べられた階段の蹴上げ、踏み面は階段斜度と線形関係にあったが、従来より用いられている複合寸法評価因子は一定値を示さず、かなり散らばっていた。膝屈折角度の姿勢解析から階段における両足接地時間比と積算膝屈折角度は歩行性の良い評価因子となり得た。両足接地時間比は、 $2H+B$ と良い相関を持ち、極小値における値は経験値とほぼ一致し、上り下りの差も経験値と一致した。積算膝屈折角度は蹴上げHと関連付けられ、その極小値で歩行性がよいと考えられる。しかし、二つの因子はそれぞれ内容が異なり、歩行不安定と姿勢拘束によるものとした。

はじめに

韓国・日本のように急峻な地形が多いところでは園路中での垂直移動の手段として階段は重要な施設となる。階段の設計にあたっては、園路勾配に絶対的に制約される面もあるが、それでもなお、より歩き易い設計を心がけるべきだろう。階段の踏面(B)・蹴上げ(H)の大きさは歩行性に影響を与える因子と考えられる。しかし、現在のところ、これらと歩行性の対応に関する研究は殆ど存在せず、単に設計の指針だけがあるという状況である。この指針は、平均歩幅で歩き易い実際の階段を測定することから提案されたものである¹⁾。一方、広義の歩行性の範疇に入ると思われる安全性については建築の分野での研究が多い^{2),3),4)}。そこで、本研究では、過去の研究で歩き易さを評価する因子になり得た両足接地時間比・膝最大屈折角度と踏面・蹴上げとの関係を調べ、階段歩行におけるこれら因子の有効性・可能性を確認しようとしたものである^{5),6)}。そのために既設の各種階段を実験対象として選び、歩行実験を実施した。

1. 実験材料と方法

(1) 実験対象階段

歩行実験に使用した階段は千葉大学園芸学部周辺の園路・街路から選択した。全部で18箇所の階段を調査したが、欠測などの理由により、主として解析に用いたのは12種である。また、階段歩行の評価因子を検討することが主目的であるので、必ずしも園路階段にこだわらず、

幅広い傾斜を得られるような選択をした。階段の踏面・蹴上げおよび斜度は表-1に示す通りであるが、斜度は $10.4^{\circ} \sim 44.6^{\circ}$ の範囲にある。この範囲について言えば、下限のこの値以下では階段を作るよりむしろ斜路にした方が良いと判断されているためか下限以下の斜度の階段は存在せず、上限の方では後に述べるように階段で対応できる斜度の限界値と考えられ、したがって、ここに示された範囲はおおよそ現実に考慮すれば良いすべての範囲といえることができる。

(2) 歩行実験

一般に歩行姿勢波形解析においては、レスポンスに個人差が大きくなるので、被験者は一人に限るのがよい。本研究においても、同一人のデータを用いるようにした。今回の被験者は22才の男性(身長170cm, 体重65kg, 下肢の長さ70cm)とし、左右の膝屈折角度及び右足の上下動の加速度を調べた。なお、被験者の履き物は運動靴である。評価因子として考えた両足接地時間比は前報⁵⁾に定義した通りであるが、踏み替え加速度パルスを検出するのに右足直上に加速度計を設置したのが異なる点である。この方がパルス振幅が大きく計測され、踏み替え時点の判断に役に立った。膝屈折角度は大腿骨に対する頸骨の角度であるが、この角度の測定には、ゴニオメータを使用した。その他の測定法については前報^{4), 5)}と同じである。

2. 実験結果と考察

*韓国国立晋州農林専門大学造景学科 **千葉大学園芸学部緑地・環境学科

(1) 実験階段の特性

斜度別に階段寸法を並べてみると、図-1のようになる。蹴上げ(H)は階段斜度の増加にともない徐々に増加し、その関係はほぼ直線となった。踏面(B)は反対に減少したが、同様にほぼ線形関係を持つ。また、後に

図-1 階段斜度と各種寸法

表-1 実験対象階段の諸元

階 段 名	踏面幅 (cm)	蹴上げ (cm)	斜度 (°)	表面状態
松戸地下道	49.70	9.20	10.40	コンクリート
戸見橋	39.90	7.40	10.50	コンクリート
地輪場	41.40	14.09	12.92	コンクリート
松戸線1	61.40	13.10	17.50	木枠・土
路見橋	41.60	13.10	17.50	コンクリート
河川敷	44.60	17.60	21.60	コンクリート
里見入館	35.02	15.24	23.52	天然石
里見公園1	27.40	12.30	24.20	固定床面
路見橋2	31.60	14.30	24.30	コンクリート
歩道橋	30.76	14.21	24.80	コンクリート
里見公園4	40.60	19.50	25.60	天然石
市川有料1	30.30	15.13	26.53	天然石
市川有料2	29.00	14.56	26.66	コンクリート
市川有料3	30.06	15.67	27.53	天然石
里見公園側	31.50	19.00	31.10	コンクリート
トンネル横	28.08	20.43	36.04	コンクリート
マンショ	28.52	21.16	36.57	コンクリート
国道6号沿	27.47	20.60	36.87	コンクリート
大和銀行	23.63	23.30	44.60	コンクリート

表-2 歩幅と両足接地時間比・最大膝屈折角度

歩 幅 (cm)	両足接地 時間比	最大膝屈折角度 (°)	歩 速 (m/sec)
30	0.2173±0.0220	50.55±1.32	0.64
40	0.1683±0.0196	56.54±1.98	0.79
50	0.1473±0.0216	58.91±1.37	0.95
60	0.1259±0.0155	61.15±1.54	1.06
65	0.1154±0.0170	61.40±1.35	1.15
70	0.1112±0.0003	61.85±1.39	1.17
75	0.1122±0.0141	62.58±1.93	1.27
80	0.1183±0.0178	63.61±1.49	1.29
90	0.1250±0.0217	64.15±1.38	1.35
100	0.1425±0.0209	66.08±1.35	1.47
自由歩行 (70.67cm)	0.1117	61.50	1.20

- ・試行は5回行った。
- ・両足接地時間比は最初周期と次周期の平均である。
- ・最大膝屈折角度は最初周期の左右平均値である。

議論する階段設計の寸法評価因子の一つ $2H+B$ については散らばっているが、その平均値はほぼ67cm程度を示す。斜度とH、Bとの間に線形性が保たれることは、現実の設計が、 $2H+B$ ＝一定の指針より斜度により定められていることを示唆する。実測値の示すところによれば、 $2H+B$ ＝一定の条件は必ずしも厳密に守られていないが、全体的にはある一定値の周りに分布している。

さて、このトレンドから考え、歩行者の靴サイズを25cmとすると40°程度の斜度が階段設計に当たっては限界ということになる。ここでの例では、44.6°の例があるが、回帰線が示すB値では靴サイズに対応できないためトレンドから外れ始めている。当然のことながら階段斜度が増加すれば、蹴上げを大きく設計せざるを得ず、 $2H+B$ の基準を守るかぎり、45°を超えた斜度には対応し難いことが解る。被験者は実測の最大値での歩行に相当の困難を感じた。

(2) 水平硬路における規制された歩幅の歩行性

階段における歩行の特徴は歩幅の選択が歩行者の自由にならない点にある。すなわち、階段の踏面は歩行者に付与される歩行制限因子である。そこで、この踏面による歩行への影響を調べるために、水平硬路において各種歩幅となる様なマークを設置し、歩行実験を実施した。また、これとは別に、同じ硬路面でマークなしの、もっとも楽な姿勢での通常歩行実験も併せて実施した。水平硬路はコンクリート製リノリウム張り屋内通路を利用して実施した。この実験の測定結果を表-2に示す。歩幅30～100cmの範囲において、両足接地時間比については、70cmにおける値を極小値として、下に凸の形をした曲線形が得られた。一方、自由歩行時の歩幅は70.67cmであり、この値はさきほどの70cmとほぼ一致し、また、両足接地時間比もほぼ等しい。ただ、最大膝屈折角度は、歩幅の増大とともにはじめ急激に、やがて徐々に単調増加して行く。すなわち、歩幅が増大すると大きく膝を曲げねばならないという事実を示している。

歩行が困難であれば、片足で体重を支えるより安定な両足で体重を支え、次の安全なステップを思考する時間が増大するという仮設から出発した両足接地時間比は、自由歩行における歩幅を中心に、これより小であっても大であっても歩行に困難を感じるという事実と対応させたとき、この歩幅制限の実験においても歩行性因子になりうることが実証されたといえよう。

(3) 階段の歩行性

過去に提示されている階段の標準寸法は、蹴上げについては、 $10\text{cm} \leq \text{蹴上げ} \leq 16.5\text{cm}^{1)}$ もしくは、 $10\text{cm} \leq \text{蹴上げ} \leq 18\text{cm}^{2)}$ 、踏面については、 $26\text{cm} \leq \text{踏面} \leq 40\text{cm}^{3)}$ もしくは $28\text{cm} \leq \text{踏面} \leq 40\text{cm}^{4)}$ であり、一般的な寸法は、蹴上げ15cm⁵⁾、踏面30～33cm⁶⁾・38cm⁷⁾などである。蹴上げと踏面とを組合わせた設計因子との関係では、 $2H+B$ ＝

63cm・60~65cm⁽⁸⁾・68cm⁽⁷⁾, 3H+B=75cm⁽⁸⁾, H×B=450cm⁽⁸⁾などがある。これら関係式と両足接地時間比・膝最大屈折角度との関係を調べてみる。

まず、階段の上りと下りとに分けて、歩行波形を図-2に示す。この図で1voltは42.9°に相当する。波形は上り下りで明らかに異なり、下りでは硬路歩行に近い形状を示すが、上りでは階段歩行特有の形状を示す。上りでは、歩行第1パルスと第2パルスの区別が可能であるが、その境界では膝を曲げたまま移行し、第2パルスの終わりで完全に膝を伸ばした歩行となっている。すなわち、階段を上がろうとした片足が、次段に接地しても、膝を曲げたまま反対足を移動させていて、反対足の接地時に最大限膝を伸ばしながらこの段を離れるという状況を説明している。

(1) 蹴上げ・踏面と両足接地時間比

表-3を見ると階段の下り歩行時の両足接地時間比が上り歩行時のそれより大きいことが両者の有意差検定で1%ないし、5%で認めることができる。これは、同じ

表-3 階段歩行時の両足接地時間比

階段名	両足接地時間比		検定
	上り	下り	
駐輪場	0.1174±0.0018	0.1347±0.0034	**
跨線橋1	0.1064±0.0026	0.1011±0.0016	**
戸定館	0.1013±0.0012	0.1147±0.0029	**
跨線橋2	0.1062±0.0007	0.1283±0.0017	**
歩道橋	0.1074±0.0022	0.1318±0.0021	**
伸社1	0.1055±0.0019	0.1277±0.0015	**
市川松戸有料	0.1096±0.0015	0.1319±0.0015	**
伸社2	0.1050±0.0022	0.1274±0.0009	**
トンネル側	0.0968±0.0025	0.1027±0.0016	**
マンション横	0.1011±0.0030	0.1041±0.0009	*
国道6号沿い	0.0959±0.0029	0.1025±0.0011	**
大和銀行寮	0.1007±0.0021	0.1030±0.0015	*

・試行は5回行った。
・両足接地時間比は最初周期と次周期の平均である。
・有意差検定 (* 5%, ** 1%)

表-4 階段寸法(蹴上げ(H), 斜度(S), 踏面(B))と両足接地時間比の回帰式

変数名	上り					下り				
	相関係数	回帰係数	切片	R ²	F	相関係数	回帰係数	切片	R ²	F
H	-0.885	-2.8213E-03*				-0.754	-2.5448E-04			
H ²	-0.832	5.0904E-05	0.1368	0.8289	21.94**	-0.764	-6.8146E-05	0.1410	0.5836	6.31*
S	-0.777	-8.4285E-04				-0.511	-1.8483E-03			
S ²	-0.731	7.0533E-06	0.1269	0.6228	7.43*	-0.581	-4.7566E-05	0.1069	0.4125	3.15
2H+B	-0.429	-5.7810E-03**				-0.825	-8.8252E-05**			
(2H+B) ²	0.357	3.8333E-05**	0.3158	0.7975	17.70**	-0.780	-5.2734E-05*	0.4655	0.8852	34.69**
3H+B	-0.669	-3.4937E-03**				-0.934	-1.8018E-03			
(3H+B) ²	-0.616	1.9001E-05**	0.2608	0.7651	14.66**	-0.925	4.1085E-06	0.2371	0.8744	31.33**
H	-0.885	1.5200E-04				-0.754	-1.1245E-03			
H ²	-0.832	-8.4923E-05				-0.764	-2.3360E-04			
S	-0.777	-1.0136E-03	1.2584	0.8780	12.59**	-0.511	1.7803E-03	0.1362	0.9638	46.53**
S ²	-0.731	3.0013E-05				-0.588	1.9913E-05			

** : 有意水準 1 %

* : 有意水準 5 %

図-2 階段歩行波形

図-3 両足接地時間比と2H+Bとの関係

図-4 両足接地時間比と3H+Bとの関係

階段においても下りの方が上りよりも歩行姿勢が不安定であるからと考えられる。また、この結果は階段の踏面と蹴上げの比が下り歩行時の快適性及び安全性に基づくべきだという基準¹⁾をよく説明している。

表-4には階段の各種寸法評価因子と両足接地時間比との間の2次回帰分析結果を示した。上下方向の差はいずれの場合においても存在し、下りの両足接地時間比が大きく現れ、下り歩行の不安定さを示すが、斜度(S)を除いてほぼ良好な相関を示している。とくに、蹴上げ(H)と踏面(B)の組み合わせた複合寸法評価因子は上下両方向とも良い相関となった。複合寸法評価因子はある一定の条件内でBとHを選択できるようになっているが、2H+B(図-3)や3H+B(図-4)の因子は極小値を持つ。その値は上下両方向とも、前者で68cm、後者で89cmとなった。これらの数値は、先に述べた標準寸法とやや異なるが、直接的な比較はなじまない。なぜなら、ここでの値は1名の被験者のものであり、「標準」を考えるなら多数の人間を対象とした数値を与えるべきであろうから。それよりも、ここで重視すべきは、両足接地時間比がこれら因子の変化によく対応し、極小値を持つ点、その値が標準値にほぼ等しい点、また、極小値が上下両方向とも同一の因子値に定まる点にある。すなわち、経験的に定められた方法が両足接地時間比の検討からも妥当であり、より明確になったということである。ちなみに、両足接地時間比より与えられるもっとも歩き易い階段寸法は、「国道6号沿い」階段のB×H=27.5×20.6cmであった。

さらに、図-3、4から複合寸法評価因子の小さい値の方が、とくに下りの結果では両足接地時間比が大きくなる。一般には、このことは刻みの小さな階段の方が刻みの大なる階段より歩き難いことになり、とくに下りが歩きにくいといえよう。

(2) 蹴上げ・踏面と膝屈折角度

階段歩行時の膝屈折角度変位からみた歩行状態を説明する因子としては、最大膝屈折角度、積算膝屈折角度、平均膝屈折角度などが考えられる。積算膝屈折角度は1周期の歩行波形と基線とに囲まれた部分の面積(度sec)であり、平均膝屈折角度は1周期中のすべての膝屈折角度変位を平均したものである。いずれも、歩行中に身体に課せられる路盤からの負荷を表す量と考えられる。なんとなれば、瞬時値と異なり、強制された不自然な姿勢といえるからだ。この中、平均膝屈折角度は積算膝屈折角度とは高い相関関係を持っており、両者は同じ内容を有するものと考えられる。そこで、最大膝屈折角度と積算膝屈折角度に限りて分析を試みた。階段歩行時の膝屈折角度の測定結果を表-5に示す。

表-5によれば、最大膝屈折角度は上りでは、「松戸駐輪場」の79.7°から「大和銀行寮そば」の100.3°、下りでは、「跨線橋1」の61.5°から「マンション横」の106.1°まで変化する。これらの値は、水平硬路歩行の場合の50.6°から66.1°の変化範囲に比べると、大幅に増加

表-5 階段歩行時の膝屈折角度

階 段 名	最大膝屈折角度		1周期積算膝屈折角度	
	上	下	上	下
駐 輪 場	79.7±0.3	96.9±1.3	52.6±0.4	55.4±2.3
跨 線 橋 1	81.7±2.4	61.5±3.0	46.8±0.8	47.9±2.5
戸 定 館	88.9±1.9	99.5±5.3	51.2±1.4	52.9±5.4
跨 線 橋 2	84.8±1.2	90.6±0.5	52.2±2.3	46.5±1.9
歩 道 橋	84.0±1.0	91.5±1.4	50.3±1.7	49.8±1.7
神 社 1	81.0±0.8	87.2±1.7	52.3±0.3	47.4±1.9
市川松戸有料	84.2±1.3	86.4±0.5	50.7±1.0	41.5±0.4
神 社 2	82.3±0.7	87.1±0.4	53.0±0.8	47.6±1.3
トンネル側	91.4±2.0	98.1±0.9	59.2±0.6	56.0±1.4
マンション横	95.8±0.8	106.1±0.9	64.7±1.4	65.9±1.7
国道6号沿い	99.6±1.4	102.9±1.2	59.4±1.6	53.4±0.8
大和銀行寮	100.3±1.9	100.8±0.5	68.2±2.6	63.2±1.9

・試行は5回行った。
・測定値は最初周期の左右平均である。

表-6 階段寸法と最大膝屈折角度の回帰式

変数名	上					下				
	相関係数	回帰係数	切片	R ²	F	相関係数	回帰係数	切片	R ²	F
H	0.883	-1.1174				0.429	-5.2708			
H ²	0.919	0.0819	82.8	0.8576	27.09**	0.498	0.2018	121.2	0.3666	2.60
S	0.855	-0.3154				0.610	0.5345			
S ²	0.893	0.0176	81.6	0.8053	18.62**	0.604	3.5733E-03	74.6	0.3736	2.68
H+B	-0.137	8.7056				-0.693	15.3872**			
(H+B) ²	-0.167	-0.0731	-159.0	0.3280	2.19	-0.727	-0.3154**	-328.3	0.8919	37.12**
2H+B	0.290	6.9328**				-0.436	9.1521			
(2H+B) ²	0.220	-0.0467**	162.66	0.6663	8.98**	-0.497	-0.0676	-211.94	0.6639	8.89**
H	0.883	-2.6713				0.429	-23.0917**			
H ²	0.919	0.1430				0.498	0.7830**			
S	0.855	0.6013				0.610	7.7591**			
S ²	0.893	-0.0143	86.4	0.8630	11.02**	0.604	-0.1473**	158.38	0.8536	10.20**

** : 有意水準 1 %

* : 有意水準 5 %

しているのが解る。階段歩行では、膝の屈折の大きな歩行を強いられることが明らかである。最大膝屈折角度は必ずしも階段斜度と対応しないが、下りの方が大きく膝を曲げている例が多い。

歩行サイクル1周期の積算膝屈折角度では下りの値がやや上りに比して小さく、サイクルを通じて上りで膝を屈曲させていることが解る。このことは、図-2の波形でも言えるが、上りでは屈曲角度の時間変化が小さく、下りで大きいということで、その分動作が激しく、階段より受ける衝撃も大きかったということになる。

a) 蹴上げ・路面と最大膝屈折角度

表-6の各変数と最大膝屈折角度の間の2次回帰分析によれば上下両方向とも相関の高い寸法評価因子は2H+Bならびに2変数2次回帰式である。その他の因子の

図-5 最大膝屈折角度と2H+B

図-6 積算膝屈折角度とH

相関は何れかの方向で良くても、逆は悪い相関ということになり、因子として総合的でないということになる。図-5に複合寸法因子2H+Bと最大膝屈折角度の関係を示す。先に述べた2H+Bと両足接地時間比との関係においてもっとも歩き易いと判断された70cmの値で最大膝屈折角度が最大となっている。このことが、歩行性の良否と関わりがあるかどうかは、即断できない。一般的には、大きく膝を曲げる方がより無理な姿勢を強いられるからだ。ただ、最大膝屈折角度は瞬時的な値であって、無理な姿勢の継続を示す因子ではなく、動作の過程で現れる一事象として捉えられるべきだろう。

b) 蹴上げ、路面と積算膝屈折角度

表-5, 7に各種階段の(1周期)積算膝屈折角度および階段寸法変数との相関を示した。この評価因子は1歩行サイクル中の膝角度の平均的変位を表す指標と考えられ、直立静止状態がもっとも無理のかからない姿勢とすれば、継続して人体に課せられる負荷と見なすことができる。そうした意味からは一つの歩行性を記述する因子とすることができる。表-7で調べられた寸法評価因子とこの値との2次回帰分析では、上下両方向とも良い相関を有する変数は蹴上げHであり、これを図-6に示す。図では14.5cm付近に極小値が認められ、この値で平均的屈折角度を最小にして歩行出来ることが理解されよう。一方、図-7に示すように、下りではやや相関が悪くなるが、斜度Sについては、極端に斜度の小さいと

図-7 積算膝屈折角度と斜度

表-7 階段寸法と積算膝屈折角度の回帰式

変数名	上					下				
	相関係数	回帰係数	切片	R ²	F	相関係数	回帰係数	切片	R ²	F
H	0.807	-3.0065**				0.559	-4.7830*			
H ²	0.885	0.1318	66.7	0.9137	47.65**	0.662	0.1786**	79.7	0.7080	10.91**
S	0.853	-0.6813				0.520	-1.4899			
S ²	0.920	0.0299**	54.4	0.8938	37.86**	0.625	0.0345*		.5802	6.22*
H	0.807	-4.6028*				0.559	-9.6282*			
H ²	0.885	0.1717				0.662	0.4018*			
S	0.853	0.7829	69.7	0.9457	30.50**	0.520	1.6387	92.0	0.7998	6.99*
S ²	0.920	-0.0115				0.625	0.0492			

** : 有意水準 1 %   * : 有意水準 5 %

ころを除いては、斜度の増加とともに積算膝屈折角度が上昇している。すなわち、斜度の増加とともに、膝を屈曲させる度合いが増し、無理な姿勢を強いられることが理解される。2変数2次回帰式においては、蹴上げH、傾斜Sの二要因の組合せが積算膝屈折角度との相関が高い。これは、脚の動きがいちばん少ない蹴上げと傾斜が存在していることを示し、この時の寸法が一番歩き易い階段の寸法であると考えられる。

(4) 両足接地時間比と積算膝屈折角度の意味

両足接地時間比より判断される歩行性良好な階段は、「国道6号沿い（斜度36.9°）」、「トンネル側（同36.0°）」、「マンション横（同36.6°）」などである。一方、積算膝屈折角度から示される小角度の階段は、「跨線橋1（斜度12.9°）」、「歩道橋（同24.8°）」、「市川松戸有料（同26.7°）」などである。両者は殆ど一致しない。そこで、これらの因子が持つ意味を考えてみると、両足接地時間比は、そもそも路盤が不安定な場合、また、歩行のリズムが崩れる場合などに値が大きくなる傾向にあり、一方積算膝屈折角度は路盤によって姿勢が強制的に固定され、そのため時間の経過に伴い疲労を覚えるといった意味での歩行性因子と考えるべきだろう。

3. おわりに

以上をまとめると、階段歩行の歩行性評価に両足接地時間比は「歩行性」を規定する要因の中、歩行リズムなどを主要因とする評価因子である。上下両方向の歩行とも同時に評価できる因子としては2H+B、3H+Bの複合寸法評価因子がよく両足接地時間比と対応する。

一方、積算膝屈折角度は階段歩行で、路盤から強制される姿勢に基づく評価因子となる。これを用いた解析から、脚の動きがいちばん少ない階段の蹴上げHと傾斜Sが存在することが解った。最大膝屈折角度からは階段の歩き易さを捉えることはできなかったが、両足接地時間

比で最も歩き易いとされる階段で、最大膝屈折角度は最大となった。

本研究においては、個人差が大きいため歩行実験の被検者を一人をした。したがって、この実験における歩行性は、傾向として考えるべきである。今後、一般的な指針を設けるためには、被検者数の増加が必要であり、かつ子供、大人、お年寄りといった区別も必要である。

本研究に際し、本研究室卒論生小川 賢君に謝意を表す。

引用文献

- 1) Norman K.B: Basic Element of Landscape Architectural Design: Elsevier, 215-217, 1983
- 2) 宇野英隆他(1984): 住宅階段利用時のエネルギー負荷に関する検討, 日本建築学会論文報告集, 345, 115-121
- 3) 古瀬 敏(1985): 安全性より見た階段の路面・蹴上の最低寸法について—階段利用時の安全性に関する研究 1, 日本建築学会論文報告集, 356, 24-29
- 4) 永田久雄(1992): 階段からの転落要因に関する基礎的な考察, 階段の安全性からみた路面・蹴上寸法の評価に関する研究その1, 439, 73-80
- 5) 雨宮 悠他(1991): 歩行姿勢からみた園路路材としての砂礫の歩き易さについて, 造園雑誌, 54(5), 131-136
- 6) 雨宮 悠他(1992): 歩行姿勢からみた木材園路の歩行性造園雑誌, 55(5), 127-132
- 7) edited by Carpenter, J.D: Handbook of Landscape Architectural Construction, The Landscape Architectural Foundation, 368-373, 1976
- 8) 日本造園学会編: 造園ハンドブック, 技報堂出版, 909, 1978

Summary : The experiments were executed for the walkability estimation by using 12 actual stairways. The step rise and step width of stairways investigated here have linear relation with slope gradient, but the complex size indices, 2H+Bs, used for the architectural design as an empirical design index are fairly scattered among the specified value. Gait analysis by knee-bending angles shows both the ratio of double support interval to one wave cycle of walking (DSI) and also the cumulative knee-bending angle (CKA) are able to estimate the walkability of stairways. On the other hand stairway size indices must be investigated as well as the walkability indices. The DSI values are well corresponds to the index, 2H+B. This diagram explains the curve has a minimum value of DSI at the specified size index value which has good agreement with empirical value. Moreover the ascending is more easy than the descending. The CKA has also the minimum value in CKA vs the step rise (H) curve, but also this increases almost linearly with increasing the gradient of stairway (S) except extremely low gradient. This result explains the content of CKA results in the forced gait by slope and stairway size and the DSI results in the unstable foot condition including the disagreement between the stairway frequency and the walking rhythm.