

階段の断面形状の違いが歩行動作における筋負担及び下肢関節角度に及ぼす影響 斜路・階段の移動動作における人体負担に関する実験研究 その1

階段 筋電図 筋負担
下肢関節角度

正会員 ○波多野 舞子*1 同 垂井 健吾 *2
同 久保田 一弘*3 同 布田 健 *4
同 荻原 一郎*5 同 直井 英雄 *6

1. 研究目的

階段についてはこれまで、昇降動作と勾配や蹴上・踏面寸法との関係に関して数々の人間工学的実験が行われてきた。ところが、その中に極めて基礎的な問題であるにも関わらず、やり残されていると考えられる問題があることに気がつき、それを本研究のテーマとした。すなわち、本研究では勾配及び $2R + T$ (R:蹴上, T:踏面、※以下 $2R + T$ を「段寸法」とする)をパラメータとして、ありうる断面形状をモデル化した階段を対象に、昇降時の筋負担と下肢関節角度の2種類の定量的なデータを測定し、階段の断面形状の違いがどのような影響を及ぼすかを分析することで、今後の研究の基礎資料を提示することを目的とした。

2. 実験内容

(1) 実験諸元

- ①実験日時：2008年8月25, 26日
- ②実験場所：(独)建築研究所 ユニバーサルデザイン実験棟
- ③被験者：本学男子学生3名
- ④実験対象階段：表1に示す12パターン of 階段を対象に、装置として勾配及び段寸法を連続的に調整可能な勾配・寸法可変階段(図1)を使用した。ただし、このうち1-A、1-D、3-Dの3パターンについては調整不可の為、木製階段(図2)を製作した。実験では滑り防止等安全の観点から、路面の表面に長尺塩ビシートを敷設した。
- ⑤使用機器：筋電の計測及びデータ解析には株式会社エイチ社のTRIASシステムを、また下肢関節角度の測定解析には同社のFrameDIASをそれぞれ採用した。

(2) 実験方法

①実験手順

実験では被験者に1歩あたりの歩調を1.5Hz(1歩あたり0.67秒)に合わせて足踏みをさせ、スタートの合図で右足から踏み出し、5歩目で両足を揃えて静止させた。なお、被験者には測定前に勾配及び歩幅の確認をさせ、必要以上に力まないよう予め教示した。

②表面筋電計による筋電測定

被験者には左右の大腿直筋・大腿二等筋・前脛骨筋・腓腹筋の計8箇所表面筋電測定用のセンサーを貼付し、スタートの合図から4秒間筋電の測定を行い図3に示すような波形データを得た。解析には初期動作及び最後の足を揃える動作を除く3歩目から5歩目までを対象とし、筋電データと同期撮影した動画を参照し、筋電最大値と筋電積分値を抽出した。

③下肢関節角度の測定

被験者には観測点として大転子点および左右の膝・踝に観測用反射板を貼付し、斜路側面より歩行の様子を撮影した動画データから観測点の座標を追跡することで、下肢関節角度を測定した。大転子点を中心として、左右の脛骨点がなす角

表1. 実験対象階段一覧

R・Tの関係	設定勾配				
		A: 緩勾配 (26.5° 前後)	B: 通常勾配 1 (35.0° 前後)	C: 通常勾配 2 (45.0° 前後)	D: 急勾配 (56.0° 前後)
1. 狭い歩幅 2R+T=450	R (mm)	110	130	150	170
	T (mm)	230	190	150	110
	勾配 (°)	25.6	34.4	45.0	57.1
	2R+T (mm)	450	450	450	450
2. 自然歩幅 2R+T=600	R (mm)	150	180	200	230
	T (mm)	300	250	200	150
	勾配 (°)	26.6	35.8	45.0	56.9
	2R+T (mm)	600	610	600	610
3. 広い歩幅 2R+T=750	R (mm)	190	220	250	280
	T (mm)	370	310	250	190
	勾配 (°)	27.2	35.4	45.0	55.8
	2R+T (mm)	750	750	750	750



図1. 寸法・勾配可変階段



図2. 木製階段

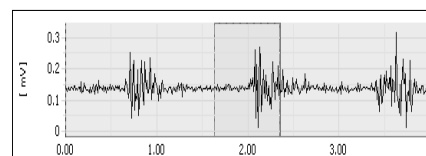


図3. 筋電波形データ

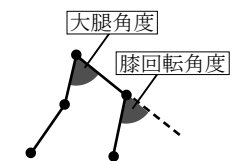


図4. 測定角度の定義

度を大腿角度、脛骨点を中心として大転子点と内外果下点がなす角度を180度から引いた角度を膝回転角度と定義した(図4)。

3. 実験結果及び考察

(1) 階段勾配及び段寸法と筋負担との関係

①筋電最大値について

予備実験において安定的な筋電最大値を得られることができたサンプリング周波数の100Hzを採用したが、本実験での一連の動作においては、同じ被験者であっても試技ごとにばらつきが大きい結果となったため、以下は筋電積分値を用いた検討を加える。

②歩行1サイクル分の筋電積分値について

図5は昇降時の歩行1サイクル(立脚・遊脚の2歩)分の勾配及び段寸法別にみた筋電積分値を比較したものである。昇りでは、勾配が同じ場合は段寸法の大きい方が筋電積分値が大きく、段寸法が同じ場合は急勾配になるほど筋電積分値は大きくなる傾向にあるという予想通りの結果が得られた。降りは、昇りより筋電積分値の変化が小さくばらつきが大きく見られる。

③単位高さに換算した場合の筋電積分値について

図6に単位高さ(1m)の昇降に換算した場合の勾配及び段寸法別にみた筋電積分値を比較したものである。昇降時ともに勾配が同じ場合は段寸法が小さくなるにつれて筋電積分値が大きくなっている。段寸法が同じ場合は、急勾配になるにつれて筋電積分値は小さくなった。これは段寸法(主に蹴上)が大きい、あるいは急勾配の方が緩勾配よりも単位高さに到達するまでの歩数が短いことが原因であると考えられる。

(2) 階段勾配及び段寸法と下肢関節角度との関係

①大腿角度について

図7に昇降時の勾配及び段寸法別にみた大腿角度の関係を示す。昇りでは勾配が同じ場合、段寸法が大きくなるにつれて大腿角度が大きくなっている。段寸法が同じ場合は、一部例外を除き勾配変化に関わらずほぼ一定の角度となった。段寸法が一定の場合は勾配が大きくなるにつれて蹴上寸法も大きくなり、その増加に応じてつま先が確実に段鼻を越えるよう遊脚を持ち上げる必要があり大腿角度も大きくなるが、蹴上寸法の増加に対応して踏面寸法が減少し、大腿角度に及ぼす互いの増減効果を相殺し合う結果となった。

②膝回転角度について

図8に昇降時の勾配及び段寸法別にみた膝回転角度の関係を示す。膝回転角度の変化を勾配・段寸法別に比較すると、昇降時ともに勾配または段寸法が大きくなるにつれて膝回転角度は大きくなる。また、膝回転角度は、昇りでは遊脚中期から後期にかけて、降りでは遊脚前期に最大となるという違いがみられた。

(3) 数量化 I 類分析による筋電積分値への影響比較

図9は筋電積分値への影響程度を数量化 I 類分析により比較したものである。筋電積分値の平均値を目的変数とし、設定条件3つを説明変数として分析した結果、段寸法よりも勾配の方が筋電積分値に強い影響を与えていることが分かる。

(4) 既往研究との比較

①階段勾配及び段寸法と筋負担の関係について

既往研究¹⁾では単純段差昇り降りの結果として、蹴上が大きくなるにつれて筋電積分値が大きくなるという結果が得られている。本実験では、段寸法と勾配を設定しているが、蹴上が大きくなるにつれて筋電積分値が大きくなるという関係で既往研究との一致がみられた。

②階段勾配と下肢関節角度の関係について

モデル人体を用いたシュミレーションにより「段寸法が一定の場合は、階段昇降時の大腿角度最大値もほぼ一定になる」という既往研究²⁾の報告と一致した。階段昇降時にに関して段寸法が一定であると、大腿角度の最大値もほぼ一定になるという同一の結果を得た。

4. まとめ

本実験の結果として、階段の断面形状の違いが歩行動作における筋負担及び下肢関節角度に及ぼす影響について定量的なデータを把握・提示した。ただし、この結果は段寸法及び勾配・歩調を設定した限定条件下での比較であり、実際は更に様々な要因が関係するため別の角度からの検証も必要である。また、研究の遂行にあたり平成20年度卒研生秋山学己氏、石崎悟士氏の協力を得た。ここに記して謝意を表す。

* 1 東京理科大学 大学院生
 * 2 独立行政法人 建築研究所 非常勤職員 工修
 * 3 東京理科大学 工学部 補手 工修
 * 4 独立行政法人 建築研究所 博士(工学)
 * 5 独立行政法人 建築研究所 工博
 * 6 東京理科大学 工学部 教授 工博

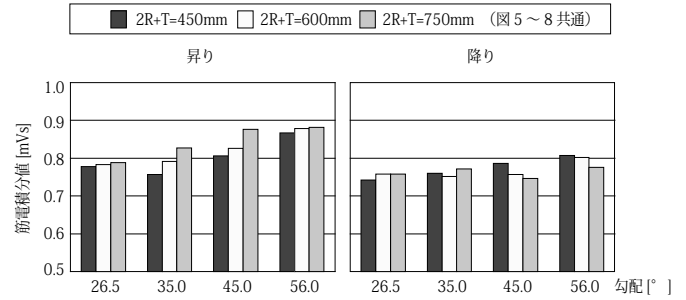


図5. 勾配及び段寸法別にみた昇降時歩行1サイクルの筋電積分値(平均)

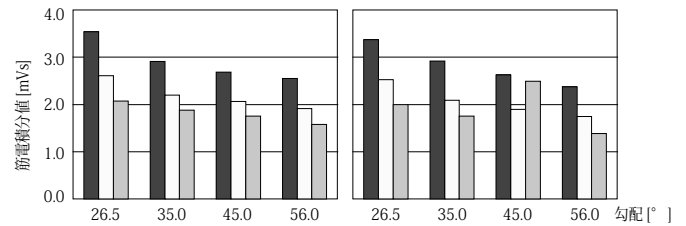


図6. 単位高さの昇降に換算した勾配及び段寸法別にみた筋電積分値(平均)

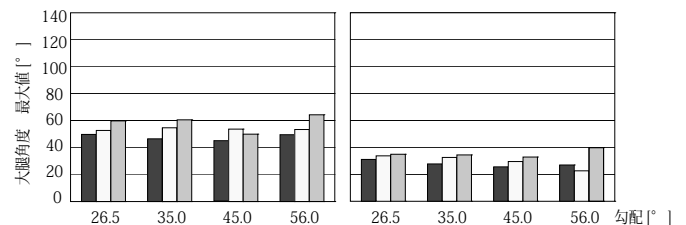


図7. 勾配及び段寸法別にみた昇降時の大腿角度最大値(平均)

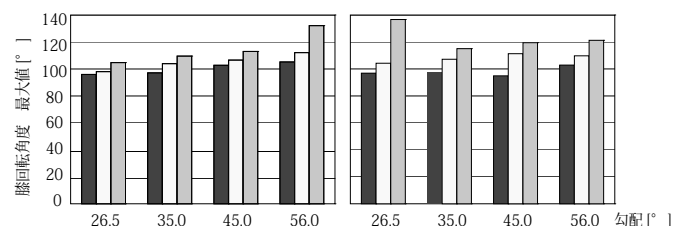


図8. 勾配及び段寸法別にみた昇降時の膝回転角度最大値(平均)

アイテム	カテゴリ	カテゴリスコア	総合平均評価: 0.795				レンジ
			-0.04	-0.02	0	0.02	
種別	昇り	0.027					0.054
	降り	-0.027					
勾配	26.5°	-0.027					0.068
	35.0°	-0.018					
	45.0°	0.005					
	56.0°	0.041					
段寸法	450mm	-0.007					0.015
	600mm	-0.001					
	750mm	0.008					

決定係数: 0.788

図9. 数量化 I 類分析による影響比較

参考文献

1) 垂井健吾ほか: 段差移動の「負担感」と「筋負担」との対応関係に関する実験研究, 日本建築学会大会学術講演梗概集 E-1, pp549-550, 2007.
 2) 川村かお里ほか: 昇降動作形態より見た階段・斜路の適切とされる寸法条件に関する検討, 日本建築学会大会学術講演梗概集 E-1, pp739-740, 1999.
 3) 高橋亮一ほか: 階段の「最適」な蹴上げ・踏面寸法の関係式と昇降動作形態との対応に関する実験研究, 日本建築学会大会学術講演梗概集 E-1, pp745-746, 1998.
 他

* 1 Graduate Student, Dept. of Architecture, Faculty of Eng., Tokyo Univ. of Science
 * 2 Part-time Staff Building Research Institute, M. Eng.
 * 3 Research Assoc., Dept. of Architecture, Faculty of Eng., Tokyo Univ. of Science, M. Eng.
 * 4 Building Research Institute, Dr. Eng.
 * 5 Building Research Institute, Dr. Eng.
 * 6 Prof., Dept. of Architecture, Faculty of Eng., Tokyo Univ. of Science, Dr. Eng.