

斜路勾配の違いが歩行移動における筋負担およ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2

斜路 勾配 筋電図
筋負担 下肢関節角度

正会員 ○垂井 健吾 *1 同 波多野 舞子*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

本研究では、斜路歩行における筋負担および下肢関節回転角度を測定し、斜路勾配の違いがこれら2つの指標に及ぼす影響を定量的に捉え、更にその1の階段昇降における実験結果を用いてこの両者を連続的に比較し分析することで、各種設計指針等の根拠となる基礎資料を提示することを最終目的としている。

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実験装置：実験は勾配を無段階で調整できる勾配可変スロープデッキを使用した(図1)。実験対象とした斜路の勾配は表1に示す通りである。路面の表面には滑り防止等安全の観点から、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 IVをそれぞれ採用した。

(2) 実験方法

①実験手順

被験者には、日本人の平均歩行速度とされる時速4km(0.59秒/歩)に歩調を合わせてスタートの合図で右足から踏み出し、6歩目の左足を右足に揃えて静止させた。歩幅は、自然歩幅による歩行動作に近付けるねらいおよび階段との比較のため、水平の場合を600mmとし、斜路を階段とみなした場合の各勾配での2R+T(以下「段寸法」という。R:蹴上げ寸法、T:踏み面寸法)がほぼ600mmになるように斜面上の歩幅を調整した。被験者には、測定前に勾配および歩幅について十分に確認させ、無駄な動作をしないよう教示した。

②表面筋電計による筋電測定

被験筋は左右の大腿直筋、大腿二頭筋、前脛骨筋、腓腹筋の計8箇所とした(図2)。サンプリング周波数は予備実験において安定的な筋電最大値を得る事ができた100Hzを採用した。初動動作と調整動作を除く3~5歩目を筋電波形と同期撮影した動画より抽出し解析の対象とし、筋電最大値および筋電積分値を導出した。

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(図3)、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

表1. 実験対象斜路勾配一覧

勾配	水平	1/15	1/12	1/10	1/8	1/6
角度[°]	0.0	3.8	4.8	5.7	7.1	9.5
R[mm]	0	35	43	50	60	75
T[mm]	600	525	516	500	480	450
2R+T[mm]	600	595	602	600	600	600
歩幅[mm]	600	526	518	502	484	456



図1 勾配可変スロープデッキ



図2 筋電測定箇所

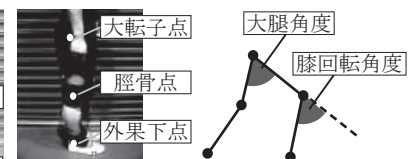


図3 下肢関節角度測定点

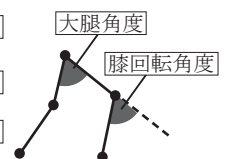


図4 測定角度の定義

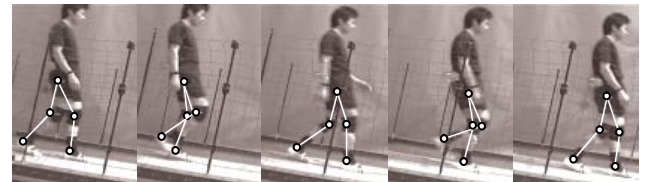


図5 下肢関節角度変化の様子

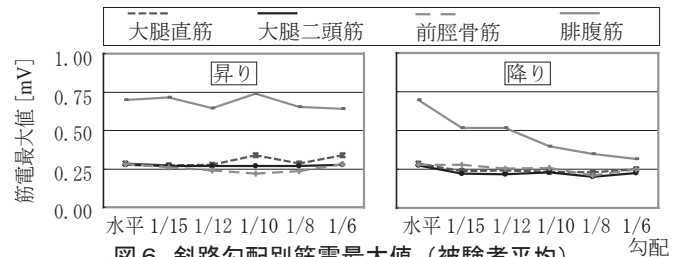


図6 斜路勾配別筋電最大値(被験者平均)

(図4)、その回転量が多いほど負担が大きいと見え、それぞれの最大値を抽出した。

3. 実験結果及び考察

(1) 斜路勾配と筋負担との関係

①筋電最大値について

筋電最大値の測定値は、各被験者の各被験筋ごとに有意水準0.05で外れ値検定を行ったが、同じ被験者の同じ勾配における試技であってもデータにばらつきが出る結果となり、明確な傾向はみられなかった(図6)。各被験者および各被験筋の測定値をそれぞれの平均値で基準化した場合の標準偏差は27%程度であり、筋電最大値はその程度のばらつきがあるものとして予め考慮する必要がある。

②歩行1サイクルあたりの筋電積分値について

歩行1サイクル動作(立脚・遊脚の2歩)あたりの筋電積分値を抽出し勾配ごとに比較した結果、全被験者に共通の傾向として、昇り降りともに斜路勾配にかかわらずほぼ一定の値となった(図7:棒グラフ)。なお、筋電積分値についても、筋電最大値同様各被験者間の測定値を基準化した場合、標準

偏差は5%程度であった。

③単位高さに換算した場合の筋電積分値について

歩行1サイクル動作あたりの筋電積分値とみなしRから1m昇降あたりに換算した筋電積分値を勾配ごとに比較すると、昇り降りともに勾配が急になるほど値は小さくなった(図7:折線グラフ)。急勾配の方が単位高さに到達するまでの歩数が少ないことが主な理由と考えられる。

(2) 斜路勾配と下肢関節角度との関係

①大腿角度について

全被験者に共通の傾向として、昇りの場合は勾配が大きくなるにつれて大腿角度最大値は僅かに増加する程度であるが、降りの場合は勾配の増大に伴い明らかに小さくなった(図8)。昇りと降りでは歩行の性状が大きく異なり、昇りの場合の大腿角度は、みなしRに応じて遊脚を持ち上げるための増加分と歩幅の減少による減少分の効果が同程度と言える。

②膝回転角度について

昇り降りともに勾配の変化に伴う膝回転角度最大値の大きな変化はみられず、ほぼ一定の値となった(図9)。特に昇りにおいては、勾配の増大に応じて膝の回転量も多くなることが予想されたが、歩幅の減少分で相殺される結果となった。なお、下肢関節角度についても、筋電測定値同様各被験者間の測定値を基準化した場合、標準偏差は7%程度であった。

(3) 既往研究との比較

①斜路勾配と筋負担の関係について

既報²⁾では筋負担は斜路勾配に比例するとの報告もあるが、本研究では段寸法を一定に保つため斜面上の歩幅が勾配の増大に応じて減少しており、勾配増と歩幅減による効果が相殺し、筋負担はほぼ一定の値となった。

②斜路勾配と下肢関節角度の関係について

昇行時の大腿角度については既報³⁾と一致した。降行時の大腿角度については既往研究による報告は無く、足軸交差角を用いた同種の研究²⁾による、勾配の増大に応じて角度が小さくなるという報告と一致した。

(4) 段寸法が同じ(約600mm)場合の斜路と階段の比較

本研究およびその1の研究は、同日に共通の被験者で実験を行っており、測定時刻の違いによる誤差は実験の精度から許容範囲と考え、段寸法が600mmで同じ場合の斜路と階段について、昇行時歩行1動作あたりの筋電積分値を勾配の順に比較した(図10白色棒グラフ、値:左軸)。斜路では勾配にかかわらずほぼ一定であるが、階段では斜路より値が大きくなり、更に勾配の増加に伴い増加傾向にある。単位高さ換算値では、当然の結果ではあるが、勾配が急になるほど必要筋負担は少ない(図19折線グラフ、値:左軸()内)。

一方、下肢関節角度は、大腿角度が斜路と階段を通じ勾配に関わらずほぼ一定とみなせるのに対し、膝回転角度は斜路ではほぼ一定を保ちながら、階段で有意に増加し、更に勾配に比例した増加傾向にある。斜路と階段におけるこの膝回転角度の増加分が、斜路と階段における筋電積分値の差分に関与していると考えられる(図10黒・灰色棒グラフ、値:右軸)。

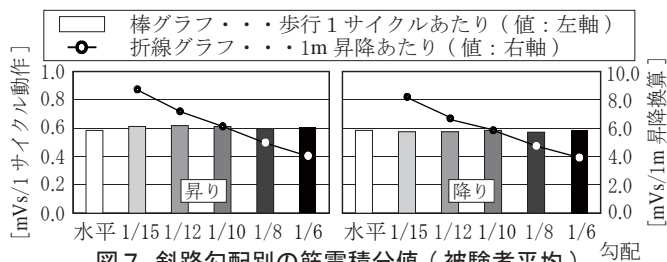


図7 斜路勾配別の筋電積分値(被験者平均)

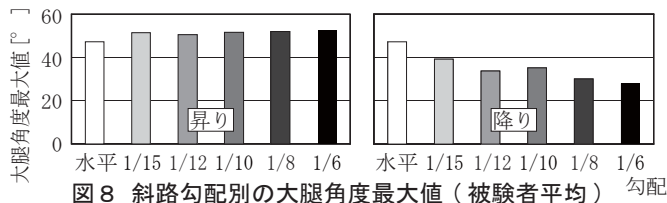


図8 斜路勾配別の大股角度最大値(被験者平均)

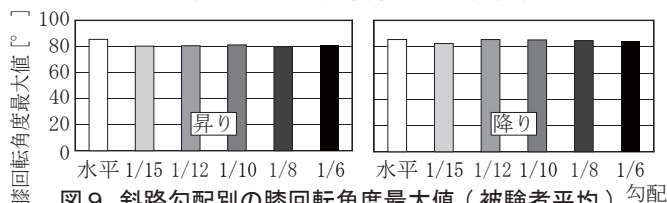


図9 斜路勾配別の膝回転角度最大値(被験者平均)

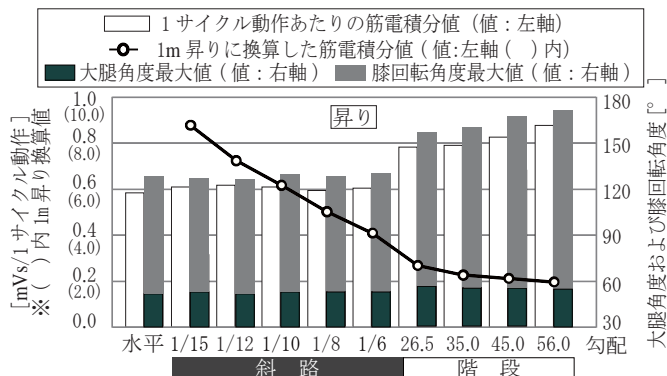


図10 段寸法(2R+T)600mmの場合の斜路と階段における筋電積分値および下肢関節角度(大腿角度、膝回転角度)の関係(被験者平均)

5. まとめ

本実験の結果、段寸法一定という限定的な条件のもとではあるが、斜路勾配の違いが歩行動作における筋負担および下肢関節角度に及ぼす影響について定量的に把握することができた。また、段寸法一定の場合に、緩い斜路から急な階段に至るまで連続的に比較した結果、膝回転角度の増加分が筋負担の増減に関係していることを示唆する興味深い知見を得ることができた。なお、本研究の遂行にあたり、石崎悟士氏、同秋山学巳氏の協力を得た。ここに記して謝意を表する。

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) 中島一: 傾斜路における昇降のしやすさについて, 日本建築学会大会学術講演梗概集 計画系 55, pp1207-1208, 1980.
- 3) 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.
- 4) 小野英哲: 人の上り、下り時の負担からみた段差と斜路の比較, 日本建築学会構造系論文集 (601), pp31-36, 2006.
- 5) 加藤達雄: 斜面歩行の筋電図的分析, 日本体力医学会 56(5) p538, 2007. 他

* 1 独立行政法人 建築研究所 非常勤職員 工修
 * 2 東京理科大学 大学院生
 * 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

* 1 Part-time Staff Building Research Institute, M. Eng.
 * 2 Graduate Student, Dept. of Architecture, Faculty of Eng., Tokyo Univ. of Science
 * 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.