

17 流れのある斜面上の歩行に関する実験的研究

○建設省新庄工事事務所 大坂 剛 京都大学農学部 水山 高久

1. はじめに

神戸市や長崎市のようなところに土石流が発生するような豪雨が降ると、道路上を水が高速で流れ人々はその中を歩いて避難のために移動しなければならないこともある。また最近、景観を考慮した下流法勾配の緩い床固めが採用されるようになり、自然の流れに近く見えることの他に下流法面を緩やかにすることによって人がその法面を行き来することを期待している。しかし、人が流れのある急勾配の斜面をどの程度まで歩けるかについては、よくわかっていない。なお、水害時の避難速度についてはすでに吉本らが勾配の緩い条件で実験を行い避難速度は氾濫水の流速よりも浸水深に大きく影響されることを見だし水深に対して移動速度を求めている。¹⁾ ここでは1/20から1/4といった急勾配の斜面を念頭において、急勾配水路を用いた実験によって歩行の限界条件を求めた。この結果は、前法の緩やかな床固めの設計に反映される他、傾斜地での降雨時の避難計画をたてる際にも参考になると考えられる。

2. 実験の方法

本実験は建設省土木研究所構内の実験水路を用いて被験者がその水路内を歩行し歩行速度を測定した。

水路は、幅50cm、長さは9m、水路底面は、木張りである。

実験は、この水路区間5mを流水方向に逆らって何秒で歩行できるかを、水路の勾配を変えそして水深と流速を変えて測定した。

表-1 被験者の諸元

氏名	年齢	身長	体重
A	23才	170cm	70kg
B	43才	177cm	71kg

被験者は、安全のことも考えて成人男子2名とした。表-1に被験者の年齢、身長、体重を示す。

3. 実験の結果と考察

3.1 勾配を一定にしたときの流速、水深、歩行速度

水深、流速と歩行速度の関係を図-1に示す。この図から被験者双方とも約10度までは、歩行速度はおもに水深の影響を受け、流速の影響をあまりうけないことがわかる。これは吉本らの行った実験と同じ結果を示している。

しかし、約10度を超えると歩行速度は水深の影響もうけるが、流速の影響をうけて減少していることがわかる。

3. 2 水深あるいは流速を一定にしたときの勾配、歩行速度

水深あるいは流速を一定としたときの勾配と歩行速度との関係を図-2に示す。水深は、2.5、3.5 cm、流速は250、300 cm/secとしてその時の勾配と歩行速度との関係を求めた。勾配は、0度から20度までとした。この図によれば、約10度をこえるまでの勾配の歩行速度に与える影響に比べて約10度をこえてからの勾配の歩行速度に与える影響が顕著になることがわかる。

例えば、水深2.5 cmのとき5度から10度にかけて歩行速度はA、Bそれぞれ約148、122 (cm/sec) から約128、115 (cm/sec) と減少しているのに対し10度から15度にかけての歩行速度は約128、115 (cm/sec) から約88、72 (cm/sec) へと大幅に減少している。これは、水深3.5 cmの場合や流速を一定にしても同じ傾向が見られる。

被験者を大学生男子(21才から22才)に限定した、歩行のエネルギー消費の観点から行われた流れのない水路での実験において、勾配を約10度から15度に上昇させたときのエネルギー消費の増加量は、勾配を約5度から10度上昇させたときの増加量の約1.5倍となっており、また心理的にも約10度をこえると被験者は歩行がきつく感ずるようになる。²⁾

よって水深や流速の影響をうけると考えられる流れの中での歩行は、約10度をこえると水の流れていない時よりもさらにエネルギー消費量が増え、歩行が困難になると考えられる。

エネルギー消費量が増えそして心理的にもきつくなる勾配は、幼児や老人などにおいては変わってくると考えられるが、流れのある斜面上の歩行を考えるうえで考慮すべきことであると考えられる。

3. 3 両足の脚筋力からみた歩行限界勾配

歩行速度は、歩行時の服装、履物、舗装状態などにも大きく影響をうけると考えられる。よって本実験においても、歩行する際の条件はすべて統一しておこなった。同じ条件でおこなった歩行実験において、歩行不能となる勾配が被験者によって異なるのは両足の脚筋力の違いが、大きく影響していると考えられる。

そこで、文献から得られた日本人の脚筋力の年齢ごとの標準値³⁾と被験者の歩行の限界勾配から、幼児や成人女子などの歩行の限界勾配を求めることにした。両被験者の脚筋力とも、標準値とほとんど同じであったので文献の値をそのまま用いた。

被験者が歩行不能となる勾配はAが30度(水深1.0 cm) Bが20度(水深2.5 cm)である。また、水深2.5 cmのときのAの歩行限界勾配を図-2より外挿して推定すると約28度となる。水深1.0 cmにおける歩行限界勾配は、図-1より25度であるので、この歩行不能となった勾配と脚筋力の標準値の値とをまとめて示すと図-3のようになる。

この図-3より、子供や成人女子などの歩行の限界勾配を推定した。小学生高学年(12才)の男子の歩行限界勾配を求めてみると水深1.0 cmにおいて約18度、水深2.5 cmにおいて約12度が、歩行の限界勾配と推定される。また、脚筋力の値が最大となる20才の男子と女子の限界勾配を求めると、水深1.0 cmにおいて約31度、22度が歩行の限界勾配であり水深2.5 cmにおいては約29、16度になった。

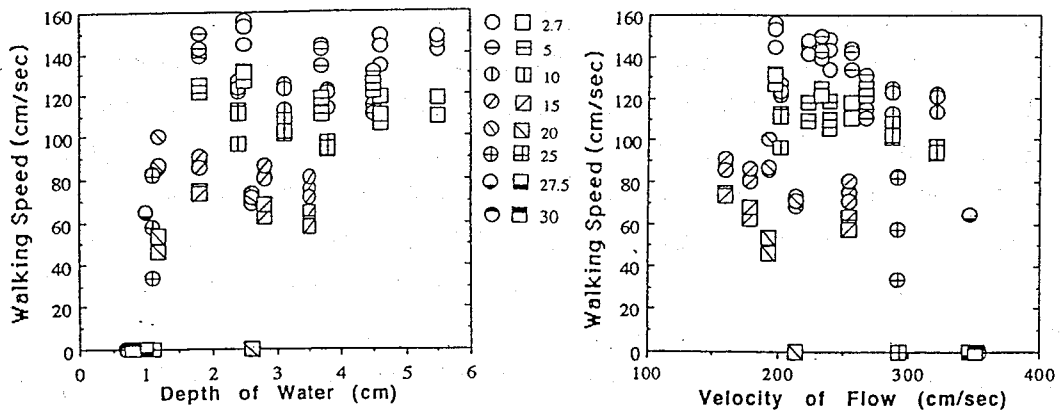


図-1 水深と歩行速度、流速と歩行速度の関係 (○-A、□-B)

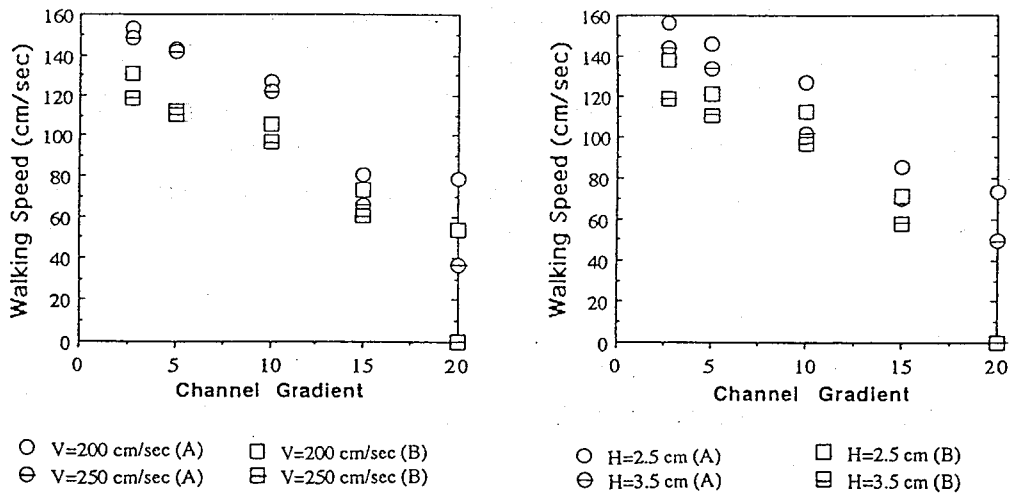


図-2 水深あるいは流速を一定にしたときの勾配、歩行速度の関係

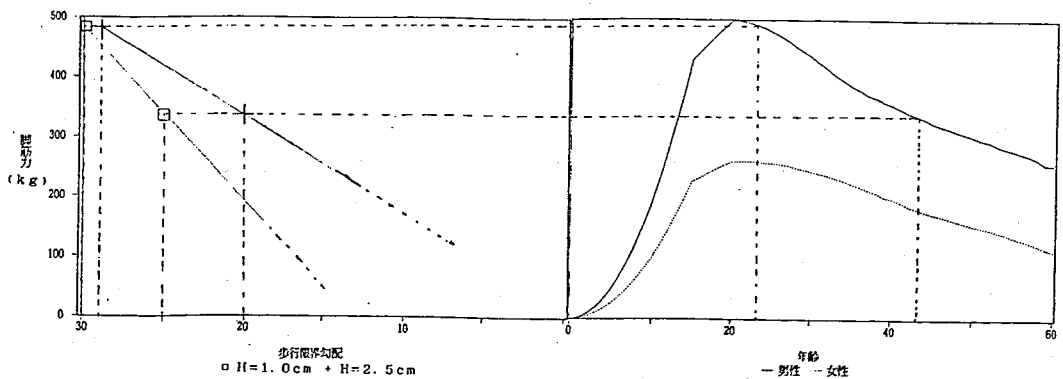


図-3 日本人の脚筋力の標準値と被験者の歩行限界勾配

4. 結論

今回おこなった実験から約10度の勾配までは、歩行速度はおもに水深の影響を受けて流速の影響をあまり受けず、約10度をこえると歩行速度は水深の影響を受けさらに流速の影響も受けることがわかった。また、約10度を境界として勾配の影響による歩行速度の減少が顕著になることがわかった。

このように流れのある斜面上の歩行は、ある勾配まではおもに水深の影響を受け流速の影響をあまり受けず、それ以上の勾配となると勾配そのものの影響や流速、水深の影響を受け、そして歩行不能となる限界の勾配に至ると考えられる。

歩行の不能となる限界勾配は被験者A（脚筋力492kg）が、水深1.0cmにおいて約30度、水深2.5cmにおいて約28度、被験者B（脚筋力340kg）が、それぞれ25度、20度という結果となった。これらの値を用いて幼児の歩行の限界勾配を推定すると、冒頭にも述べた前法の緩やかな床固めは、1:3、1:4といった勾配が多くを占めているが、この法面を子供達が歩行するには、今回行った実験の条件からいえば困難であることが予想される。

5. あとがき

実験は安全のことも考えて成人男子のみについて行った。歩行不能となる限界勾配が、個人の脚筋力によって違ってくると考え、脚筋力をパラメタとして幼児や成人女子の歩行の限界勾配を推定してみた。しかし、その時の体力や服装、履物、荷物、移動距離、舗装の状態などによって限界状態は大きく変化すると考えられる。また、勾配の低い段階においても水深や流速が大きくなれば歩行不能となることも予想される。よって、避難計画等をたてる際にはさらに綿密な検討が必要であると思われる。

最後に、本研究を実施するにあたり貴重な資料を提供して頂いた建設省土木研究所総合治水研究室の末次忠司主任研究員、実験水路の使用を快く許可して頂いた、同砂防研究室の石川芳治室長に深く感謝いたします。

参考文献

- 1) 吉本俊裕、末次忠次、桐生祝男；治水研究（15）水害時の避難体制の強化に関する検討、土木研究所資料第2565号、1988年3月、pp. 22-27
- 2) 杉山允俊、桐島日出夫、平谷昭彦、大八木達也；歩行のエネルギー消費、人間工学、Vol 17、No 5、1981年10月、pp 258-265
- 3) 日本人の体力標準値 第2版、不昧堂出版、1975年、pp. 125-128