

4. 現場避難実験による土石流発生時の避難時間の検討*

豊澤康男**, 堀井宣幸***

4. Evaluation of Evacuation Time from Debris Flow by On-site Experiments*

by Yasuo TOYOSAWA** and Noriyuki HORII***

Abstract: It is important to predict the time required to evacuate from a debris flow at the planning stage to take effective countermeasures against debris flow such as installing a detection system consisting of monitors, alarms, etc. To prevent accidents caused by debris flow, the evacuation time should be shorter than that of taken from when an alarm sounds until the debris flow hits the construction site. The evacuation time depend on several factors such as the evacuation route, composition of workers, and geographical conditions of the site. Therefore, on-site evacuation experiments were carried out to evaluate the influence of those factors on the evacuation time.

The following values of evacuation speed were derived through the on-site evacuation experiments. (Evacuation for one worker and route width is 1 m.)

- (1) Evacuation speed of 1.5 m/s on a flat smooth surface and 1.3 m/s on a flat surface covered with stones.
- (2) Evacuation speed of 0.7 m/s on a slope of 30 degrees and 1.1 m/s on a slope of 10 degrees.
- (3) On a ladder, the evacuation speed is 0.4 m/s for going up and 0.35 m/s for going down.

The following relations between evacuation time and number of workers, width of evacuation route, etc. were also derived through the experiments. The evacuation speed needs to be modified according to the following factors.

- (1) On a flat surface, when the number of workers increases, the evacuation speed decreases, and when the width of route or distance increases, the evacuation speed increases. Regarding the surface conditions of the route, the evacuation speed is slower for a route covered with stones compared to a smooth flat surface.
- (2) On a slope, the evacuation speed decreases as the slope angle and number of workers increase. On the contrary, the evacuation speed increases as the width of the route increases.
- (3) On a ladder, the evacuation speed (individual evacuation speed) increases as the number of workers increases. The evacuation speed (individual evacuation speed) does not change even if the number of ladders increases.

Keywords; Debris flow, Safety, On-site experiment, Evacuation, Management

* 平成 13 年 10 月第 56 回土木学会年次学術講演会において、本研究の一部について発表した。¹⁾

** 建設安全研究グループ Construction Safety Research Group

*** 研究企画調整部 Research Planning and Coordination Division

1. はじめに

土石流による労働災害を防止するためには土石流を検知・警報するシステム等と併せて避難時間を事前に予測することが重要である。作業現場の状態が日々変化する建設工事の現場においては、避難時間も状況に応じて刻々と変化する。工事期間内において最も不利な条件下すなわち最も避難時間を要する場合をあらかじめ予測し、それに対応させて検知センサーの設置位置等を検討して総合的に工事現場における土石流災害防止のためのシステムを構築する必要がある。

このようなことから、現場の地理状況、避難経路、作業員構成などの要因が避難時間に与える影響を実際に把握するため現場において避難実験を行った。

この結果に基づき、工事計画段階において用いることが出来る避難時間算定のための計算式を提案した。

2. 実験概要

実験場所は「土石流危険河川敷き内」とし、実験対象者を現場作業員10人（平均48.7歳）、10代から50代まで各1名、60代から5名とした。平坦部、斜面部、はしご部の3つについて、それぞれ以下の要因を変化させて現場避難実験を行った。

- (1) 平坦部：地盤条件、避難人数、道幅、避難距離、歩き方
- (2) 斜面部：斜面角度、避難人数、道幅、斜面の登り・降り
- (3) はしご部：避難人数、はしご本数、はしごの昇り・降り

3. 実験条件

現場避難実験は実際に避難が想定されるような地理的状况、避難経路を考慮し、平坦部、斜面部、はしご部について行った。各実験条件の詳細を以下に示す。

3.1 平坦部

土石流が発生した場合に現場作業員が平坦部を避難することを想定して、以下のように実験要因を設定した。

- (1) 地盤条件：①平坦部（礫）（河原（玉石有地盤（Photo 1, Photo 2 参照。））②平坦部（礫なし）（未舗装地盤：よく締固まった砂礫混じりの粘性土地盤（Photo 3 参照。））
 - (2) 人数：1人、5人、10人
 - (3) 距離：10m、30m、60m、100m
 - (4) 幅：1m、2m、3m
 - (5) 歩き方：普通に歩く（一部、走らない程度の急ぎ）
- 地盤条件が礫の場合の実験条件を Table 1, その実

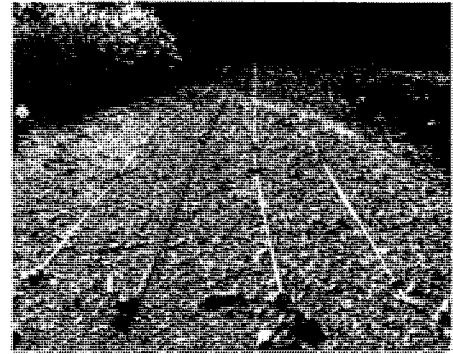


Photo 1 Experiment site condition. (Flat; covered with stones)
平坦部（地盤条件：礫）の実験現場状況

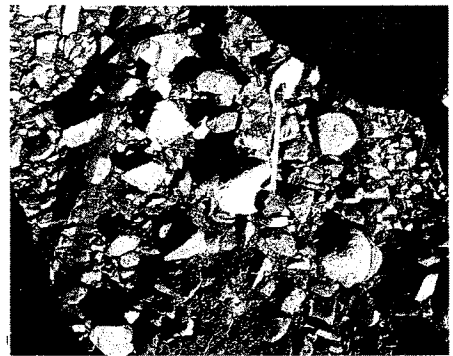


Photo 2 Surface condition. (Flat; covered with stones)
平坦部（地盤条件：礫）の地盤状況



Photo 3 Site condition of a smooth flat surface.
平坦部（地盤条件：礫なし）の地盤状況

験場所の高低状況の模式図を Fig. 1 に示す。地盤条件が平坦部（礫なし）の場合の実験条件を Table 2, その実験場所の高低状況の模式図を Fig. 2 に示す。以上のような実験条件で平坦部における現場避難実験を行い、避難に要する所要時間をストップウォッチにより計測した。

平坦部における地盤条件が礫の場合、河川敷に Fig. 3 のように長さ100mのナイロンテープを1m間隔（幅1~3m）に敷き、道幅を1m、2m、3mとした。実験現

Table 1 Conditions for experiment. (flat; covered with stones)
平坦部 (地盤条件: 礫) の実験条件

Case	避難人数	道幅	避難距離	歩き方
平 1	1 人	1m	10, 30, 60, 100m の 4 ケース	普通に歩く
平 2	5 人	1m	10, 30, 60, 100m の 4 ケース	普通に歩く
平 3	5 人	2m	10, 30, 60, 100m の 4 ケース	普通に歩く
平 4	5 人	3m	10, 30, 60, 100m の 4 ケース	普通に歩く
平 5	10 人	1m	10, 30, 60, 100m の 4 ケース	普通に歩く
平 6	10 人	2m	10, 30, 60, 100m の 4 ケース	普通に歩く
平 7	10 人	3m	10, 30, 60, 100m の 4 ケース	普通に歩く
平 8	1 人	1m	100m	急ぎ足

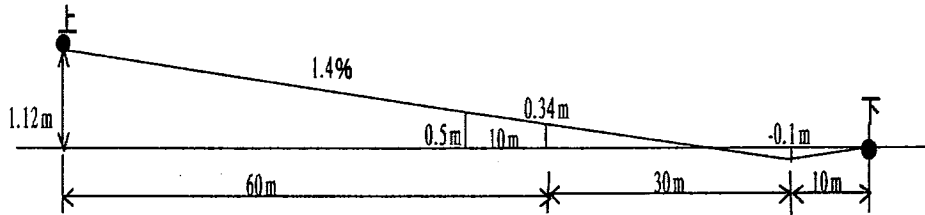


Fig. 1 Cross section of experiment site. (flat; covered with stones)
平坦部 (地盤条件: 礫) の実験場所高低状況の模式図

Table 2 Conditions for experiment. (flat; smooth)
平坦部 (地盤条件: 礫なし) の実験条件

Case	避難人数	道幅	避難距離 (m)	歩き方
平 9	1 人	1m	100m	普通に歩く
平 10	1 人	1m	100m	急ぎ足

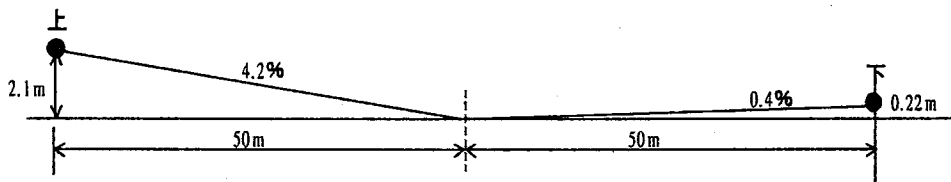


Fig. 2 Cross section of experiment site. (flat; smooth)
平坦部 (地盤条件: 礫なし) の実験場所高低状況の模式図

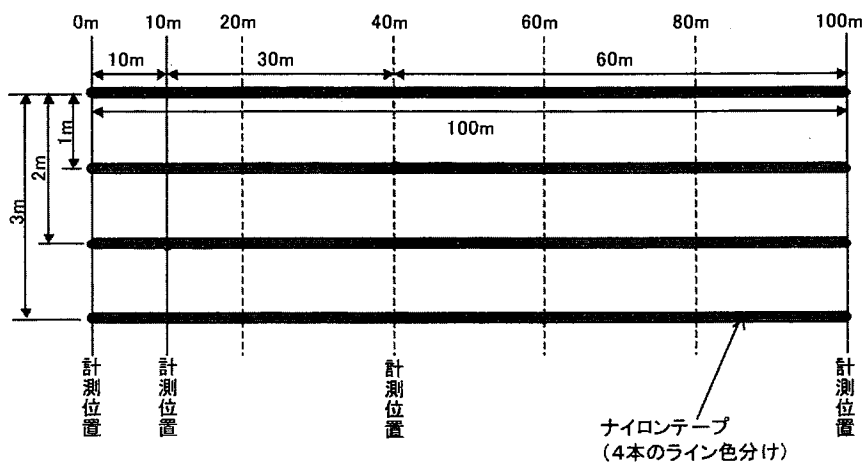


Fig. 3 Ground view of experiment site. (flat; covered with stones)
平坦部 (地盤条件: 礫) の実験場所平面図

Table 3 Conditions for experiment at slope ②.
斜面②における実験条件

Case	斜面角度	斜距離	高さ	避難人数	道幅	歩き方
斜②-1	27.8°	7.3m	3.41m	1人	1m	普通に歩いて登り・降り
斜②-2	27.8°	7.3m	3.41m	5人	1m	普通に歩いて登り・降り
斜②-3	27.8°	7.3m	3.41m	5人	2m	普通に歩いて登り・降り
斜②-4	27.8°	7.3m	3.41m	5人	3m	普通に歩いて登り・降り
斜②-5	27.8°	7.3m	3.41m	10人	1m	普通に歩いて登り・降り
斜②-6	27.8°	7.3m	3.41m	10人	2m	普通に歩いて登り・降り
斜②-7	27.8°	7.3m	3.41m	10人	3m	普通に歩いて登り・降り
斜②-8	27.8°	7.3m	3.41m	1人	1m	急ぎ足で登り・降り
斜②-9	27.8°	7.3m	3.41m	5人	1m	急ぎ足で登り・降り
斜②-10	27.8°	7.3m	3.41m	10人	1m	急ぎ足で登り・降り
斜②-11	27.8°	7.3m	3.41m	10人	2m	急ぎ足で登り・降り
斜②-12	27.8°	7.3m	3.41m	10人	3m	急ぎ足で登り・降り

Table 4 Conditions for experiment at slope ①.
斜面①における実験条件

Case	斜面角度	斜距離	高さ	避難人数	道幅	歩き方
斜①-1	23.4°	19.8m	7.85m	1人	1m	普通に歩いて登り・降り
斜①-2	23.4°	19.8m	7.85m	5人	1m	普通に歩いて登り・降り
斜①-3	23.4°	19.8m	7.85m	10人	1m	普通に歩いて登り・降り
斜①-4	23.4°	19.8m	7.85m	1人	1m	急ぎ足で登り・降り
斜①-5	23.4°	19.8m	7.85m	5人	1m	急ぎ足で登り・降り
斜①-6	23.4°	19.8m	7.85m	10人	1m	急ぎ足で登り・降り

Table 5 Conditions for experiment at slope ①'.
斜面①'における実験条件

Case	斜面角度	斜距離	高さ	避難人数	道幅	歩き方
斜①'-1	11.9°	50.12m	10.34m	1人	1m	普通に歩いて登り・降り
斜①'-2	11.9°	50.12m	10.34m	5人	1m	普通に歩いて登り・降り
斜①'-3	11.9°	50.12m	10.34m	10人	1m	普通に歩いて登り・降り
斜①'-4	11.9°	50.12m	10.34m	1人	1m	急ぎ足で登り・降り
斜①'-5	11.9°	50.12m	10.34m	5人	1m	急ぎ足で登り・降り
斜①'-6	11.9°	50.12m	10.34m	10人	1m	急ぎ足で登り・降り

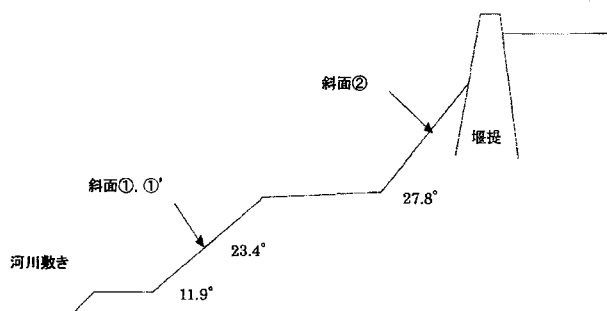
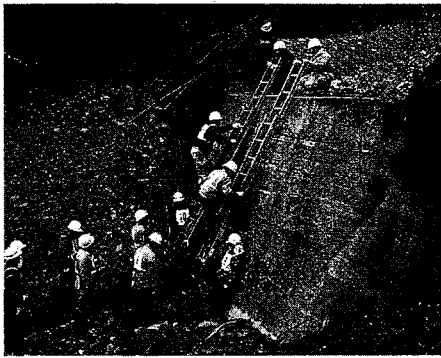


Fig. 4 Cross section of site for slope experiments.
実験現場模式図 (斜面)

Table 6 Conditions of experiments for ladder.
はしごにおける実験条件

Case	はしご 高さ	避難人数	はしご 本数	はしごの 昇り・降り
梯 1	4.2m	1人	1	昇り・降り
梯 2	4.2m	5人	1	昇り・降り
梯 3	4.2m	5人	2	昇り・降り
梯 4	4.2m	10人	1	昇り・降り
梯 5	4.2m	10人	2	昇り・降り
梯 6	2.6m	1人	1	昇り・降り
梯 7	2.6m	5人	1	昇り・降り
梯 8	2.6m	5人	2	昇り・降り
梯 9	2.6m	10人	1	昇り・降り
梯 10	2.6m	10人	2	昇り・降り

Photo 4 Overview of the site for ladder experiment.
(4.2m height)
はしご高さ 4.2m の現場状況

場状況を **Photo 1** に示す。また、地盤表面は大きさ 3 cm~30 cm 程の礫（玉石）で覆われている状態であった。その状況を **Photo 2** に示す。

また、地盤条件が平坦部（礫なし）の場合の地盤状況（よく締り固まった砂礫混じりの粘性土地盤）を **Photo 3** に示す。

3.2 斜面部

土石流が発生した場合に現場作業員が斜面部を避難することを想定して、以下のように実験要因を設定した。斜面部の地盤条件は砂混じりの粘性土地盤である。

- (1) 勾配（角度）：斜面②角度 27.8°，斜面①角度 23.4°，斜面①' 角度 11.9° の 3 箇所の斜面。
- (2) 人数：1人，5人，10人
- (3) 幅：1m，2m，3m（現地の立地条件より斜面②角度 27.8°のみ）
- (4) 歩き方：普通に歩いて登り・降り，急ぎ足で登り・降り

斜面②角度 27.8°の実験条件を **Table 3** に，斜面①角度 23.4°の実験条件を **Table 4** に，斜面①' 角度 11.9°

の実験条件を **Table 5** に示す。各斜面における実験現場の模式図を **Fig. 4** に示す。

3.3 はしご

土石流が発生した場合に現場作業員がはしごを使用し避難することを想定して，次のように実験要因を設定した。なお，ここで「はしご高さ」とは，はしごによって昇ることのできる高さをいうものとする。

- (1) はしご高さ：4.2m，2.6m
- (2) はしご本数：1本，2本
- (3) 人数：1人，5人，10人
- (4) はしごの昇り・降り

はしご高さ 4.2m 及び 2.6m における実験条件を **Table 6** に示す。また，はしご高さ 4.2m の現場状況を **Photo 4** に示す。

4. 避難速度の概念

実験における個々の避難時間から，避難速度として最大避難速度，平均避難速度，最小避難速度が得られる。

ここでは，これらの避難速度を次のように定義することとする。

- (1) 最大避難速度
個人において最も速い避難速度，避難人数が複数の場合，最初の人々が避難し終わる避難速度
- (2) 平均避難速度
10人の避難速度を平均して1人（個人）の避難速度とした速度
- (3) 最小避難速度
個人において最も遅い避難速度，避難人数が複数の場合最後の人，すなわち全員が避難し終わる避難速度

この3つの速度のばらつきをみるため，**Fig. 5** に平坦部（地盤条件は礫，道幅 1m）における避難距離と避難速度の関係，避難人数と避難速度の関係を示す。最大避難速度と最小避難速度の差（最も速い人と最も遅い人の差）が大きいことから，ここでは平均避難速度を避難速度として採用し考察を加えた。

5. 実験作業及び考察

5.1 平坦部における各要因

5.1.1 平坦部における避難距離と避難速度の関係

平坦部（地盤条件：礫）における避難距離と避難速度の関係（道幅 1m）を **Fig. 6** に示す。この図より，次のことがわかる。

- ① 避難距離によらず，避難人数が増えると避難速度は遅くなる。

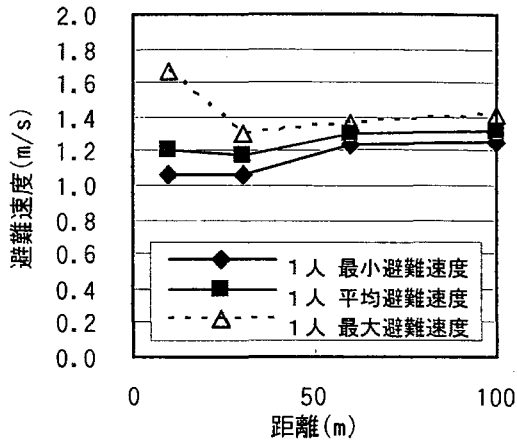


Fig. 5 Relation between evacuation speed and distance. (flat; stones)
平坦部 (礫) の避難距離と避難速度の関係 (人数1・幅1m・case平1)

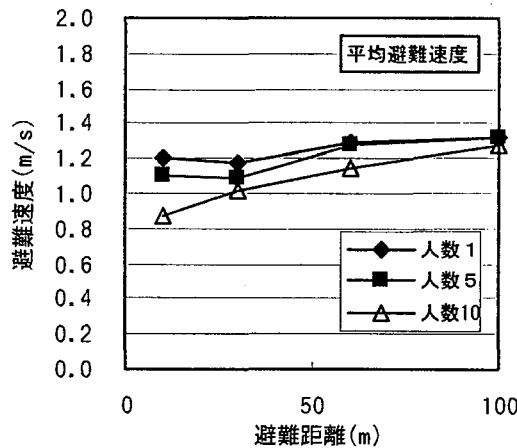


Fig. 6 Relation between evacuation speed and distance. (flat; stones)
平坦部 (礫) の避難距離と避難速度の関係 (道幅1m・case平1, 2, 5)

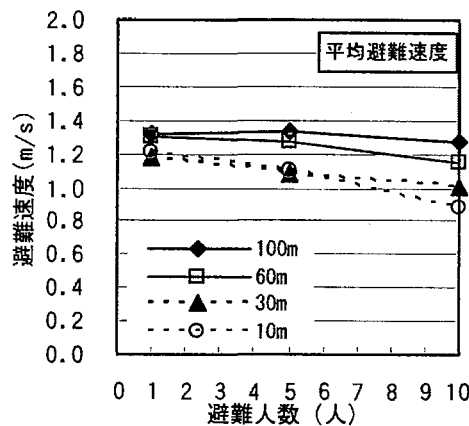


Fig. 7 Relation between number of workers and evacuation speed. (flat; stones)
平坦部 (礫) の人数と避難速度の関係 (道幅1m・case平1, 2, 5)

② 避難人数によらず、避難距離が長くなると避難速度は増加する。

③ 避難距離が短いほど避難人数による避難速度のばらつきが大きい。

以上の理由として、次のようなことが挙げられる。

①に関しては、個人の避難速度が遅い人に影響されること、避難人数が多くなると歩きにくくなること、また歩き始めるのに時間を要すること(渋滞(詰まり)が生じる。)などが考えられる。

②に関しては、避難距離が長くなると作業員が作業員同士の歩行の間隔を調整し歩きやすくなるからと考えられる。

③に関しては、避難距離が短くなると作業員同士が互いの間隔を調整できずに歩きにくくなることが考えられる。

平坦部(礫)で避難距離が100mになると、避難人数によらず避難速度は1.3 m/sとなる。避難距離が30m以下(土石流に関する既往の研究のアンケート調査により平坦部の避難距離が30m以下の頻度が多い。)では避難人数1人の避難速度は約1.2 m/sとなる。

5.1.2 平坦部における避難人数と避難速度の関係

平坦部(地盤条件:礫)における避難人数と避難速度の関係(道幅1m)をFig. 7に示す。この図より、次のことがわかる。

① 避難距離によらず、避難人数が増加すると避難速度は遅くなる。

② 避難人数によらず、距離が長くなると避難速度は増加する。

③ 避難距離が長くなるほど避難人数による避難速度の減少傾向は小さくなる。

道幅1mの場合では、距離10mにおいて、避難人数が10人になると約3割ほど避難速度が低下する。

5.1.3 平坦部における道幅と避難速度の関係

平坦部(地盤条件:礫)における道幅と避難速度の関係(避難人数5人)をFig. 8に示す。この図より、避難人数が複数の場合、次のことがわかる。

① 避難距離によらず、道幅が増加すると避難速度が増加する。

② 道幅によらず、避難距離が長くなると避難速度は速くなる傾向にある。

③ 避難距離が長くなると道幅による避難速度の増加傾向は小さくなる傾向にある。

距離30m以下では道幅が1mから3mに増加すると約1割ほど避難速度が増加する。

5.1.4 平坦部における地盤状況と避難速度の関係

平坦部における地盤状況と避難速度の関係をFig. 9に示す。

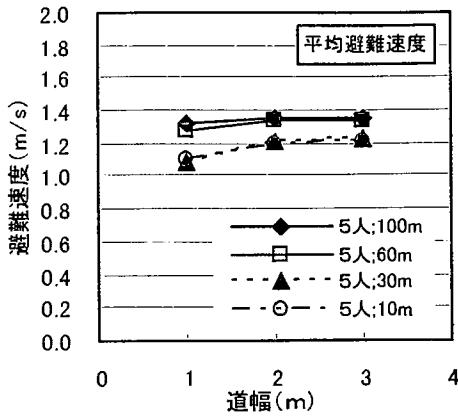


Fig. 8 Relation between route width and evacuation speed. (flat; stones)
平坦部 (礫) の道幅と避難速度の関係 (人数 5 人・case 平 2, 3, 4)

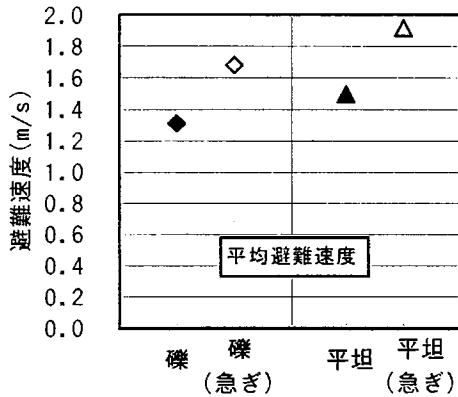


Fig. 9 Relation between surface condition and evacuation speed. (flat)
平坦部の地盤状況と避難速度の関係 (幅 1m・100m・1人・case 平 1, 8, 9, 10)

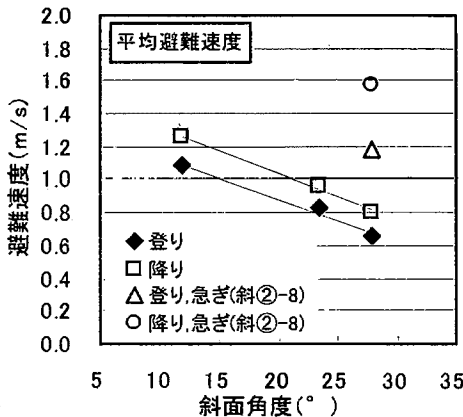


Fig. 10 Relation between evacuation speed and slope angle. (slope)
斜面部の斜面角度と避難速度の関係 (人数 1 人・道幅 1m, case 斜②-1, 斜①-1, 斜①'-1)

この図より、地盤状況が平坦部 (礫) から平坦部 (礫なし) になると約 1.5 割避難速度 (平均速度) が増加し、歩き方が急ぎ足の場合でも同程度 (約 1.5 割) 避難速度が増加することがわかる。

これは地盤状況による歩きやすさによる影響 (地盤条件が平坦部 (礫) であると足元が不安定となり歩きづらくなる) と考えられる。

また、歩き方を「急ぎ足」にすると約 3 割近く避難速度が速くなる。

5.2 斜面部における各要因

5.2.1 斜面部における斜面角度と避難速度の関係

斜面部における斜面角度と避難速度の関係 (避難人数 1 人, 道幅 1m) を Fig. 10 に示す。

この図より、次のことがわかる。

- ① 斜面角度が増加すると避難速度は減少する。
- ② 斜面角度によらず、昇りより降りの方が避難速度が速くなる。

これらのような現象の理由としては、次のことが考えられる。

①に関しては、斜面角度が大きくなると、歩きにくくなるということ、足がすべる、転ぶなどの危険性が増加するために速度を抑えるためであると考えられる。

②に関しては、斜面を降りる場合は重力より加速がつき、避難速度が登りに比べ速くなることが考えられる。

斜面角度 30°で避難速度が登り: 約 0.6 m/s・降り: 約 0.7 m/s, 斜面角度 10°で登り: 約 1.1 m/s・降り: 約 1.3 m/s となる。また、斜面角度 27.8°においては歩き方が急ぎ足になると、登り・降りどちらも約 2 倍近く避難速度が増加する。

5.2.2 斜面部における避難人数と避難速度の関係

斜面部における斜面角度の避難人数と避難速度の関係 (道幅 1m) を Fig. 11 に示す。

この図より、次のことがわかる。

- ① 斜面角度によらず、避難人数が増加すると避難速度は減少する。
- ② 避難人数によらず、斜面角度が増加すると避難速度は減少する。
- ③ 斜面角度によらず、登りより降りの方が避難速度が速くなる傾向にある。

また、避難人数 5 人と 10 人を比較すると、1 人と 5 人の速度低下傾向に比べて緩やかとなっている。したがって上記した詰まりの効果は 5 人以上でほぼ一定となることが考えられる。

この道幅 1m の場合ではいずれの斜面角度においても避難人数が 10 人になると登りで約 2~3 割 (降りでも 3~4 割ただし斜面角度 27.8°及び 23.4°の場合) 程度避

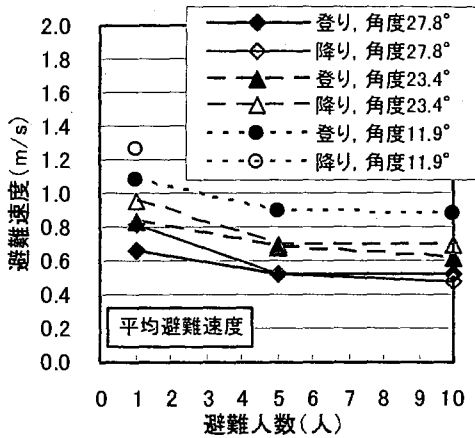


Fig. 11 Relation between number of workers and evacuation speed. (slope)
各斜面の避難人数と避難速度の関係
(case 斜②-1.2-5, 斜①-1.2-3, 斜①, -1.2-3)

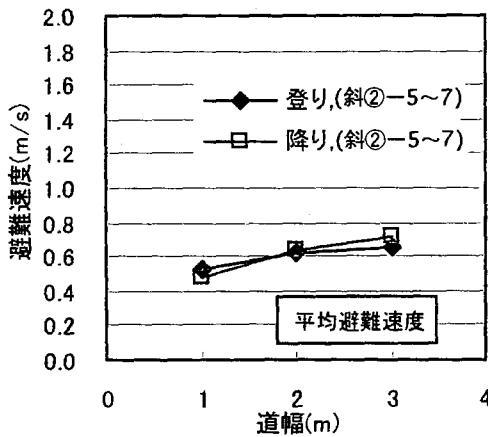


Fig. 12 Relation between route width and evacuation speed. (slope)
斜面部の道幅と避難速度の関係
(人数 10, 角度 27.8°, case 斜②-5~7)

難速度が減少している。

5.2.3 斜面部における道幅と避難速度の関係

斜面部における道幅と避難速度の関係 (斜面②角度 27.8°, 避難人数 10 人) を Fig. 12 に示す。

この図より, 次のことがわかる。

- ① 道幅が増加すると避難速度は増加する。
- ② 登りより降りの方が道幅による避難速度の増加傾向は大きくなる。

また, 斜面②角度 27.8°, 避難人数 10 人の場合では道幅が 1m から 3m になると登りで約 2.5 割 (降りて約 5 割) 避難速度が増加している。

5.3 はしご部の各要因

はしご部については 5.3.1 と 5.3.2 においては個人の

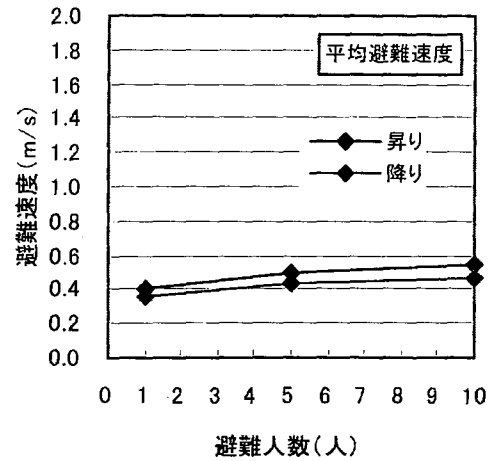


Fig. 13 Relation between number of workers and individual evacuation speed. (ladder; 4.2m height)
はしごの避難人数と避難速度 (個人) の関係
(速度平均, はしご 1 本・高さ 4.2m, 梯 1,2,4)

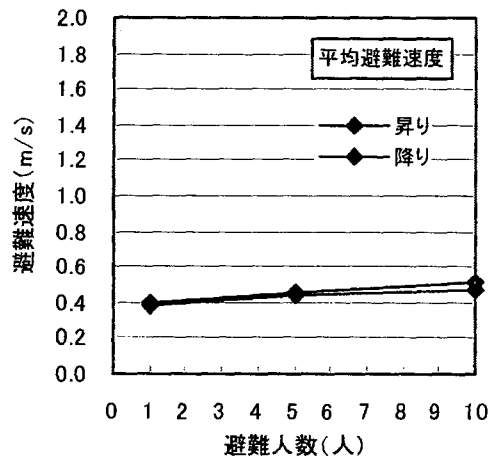


Fig. 14 Relation between number of workers and individual evacuation speed. (ladder; 2.6m height)
はしごの避難人数と避難速度 (個人) の関係
(速度平均, はしご 1 本・高さ 2.6m, case 梯 6,7,9)

避難速度 (平均避難速度) を用いている。5.3.3 では全体避難速度 (個人の場合最も遅い避難速度, 避難人数が複数の場合最後の人つまり全員が避難し終わる避難速度) の値を用いた。

5.3.1 はしご部における避難人数と避難速度の関係

はしご部における避難人数と避難速度の関係において, はしご高さ 4.2m の場合を Fig. 13 に, はしご高さ 2.6m の場合を Fig. 14 に示す。

これらの図より, 次のことがわかる。

- ① はしご部において昇りより降りの方が避難速度 (個人) は若干遅くなる。
- ② 避難人数が増加すると避難速度 (個人) は増加する。

避難人数 1 人の避難速度は昇りで約 0.4 m/s, 降り

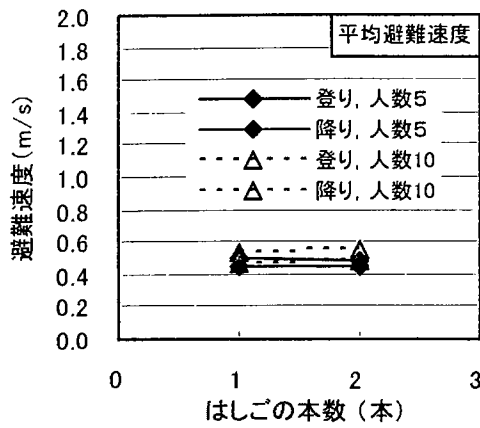


Fig. 15 Relation between number of ladders and individual evacuation speed. (ladder; 4.2m height).
はしごの本数と避難速度 (個人) の関係 (避難平均, 高さ 4.2m, case 梯 2~5)

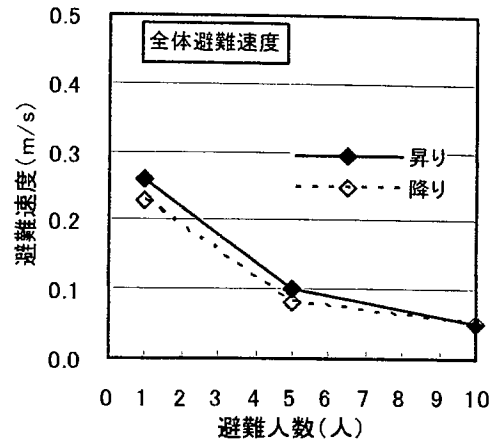


Fig. 17 Relation between number of workers and total evacuation speed. (ladder; 4.2m height)
はしごの避難人数と避難速度 (全体) の関係 (全体避難速度, はしご1本・高さ 4.2m, case 梯 1,2,4)

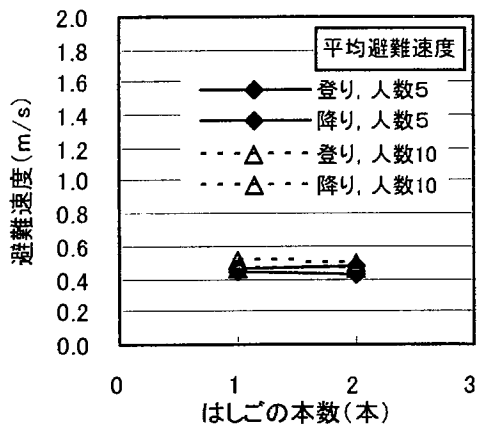


Fig. 16 Relation between number of ladders and individual evacuation speed. (ladder; 2.6m height).
はしごの本数と避難速度 (個人) の個人 (平均速度, 高さ 2.6m, case 梯 7~10)

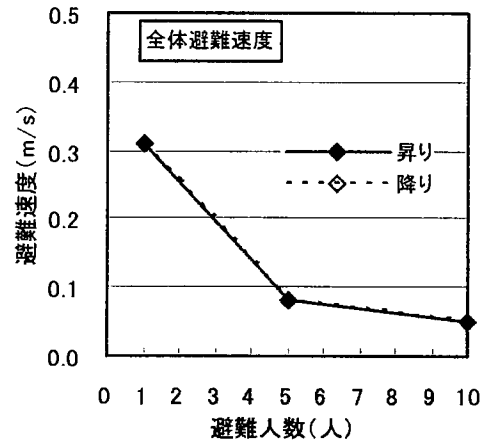


Fig. 18 Relation between number of workers and total evacuation speed. (ladder; 2.6m height)
はしごの避難人数と避難速度 (全体) の関係 (全体避難速度, はしご1本・高さ 2.6m, case 梯 6,7,9)

で 0.35 m/s となる。

5.3.2 はしご部におけるはしごの本数と避難速度の関係

はしご部におけるはしごの本数と避難速度の関係について、はしご高さ 4.2m の場合を Fig. 15 に、はしご高さ 2.6m の場合を Fig. 16 に示す。

これらの図より、避難人数が複数の場合、はしごが 1 本から 2 本になっても避難速度 (個人) はほぼ変わらないという結果となった。これにより、はしごの本数が増えても避難速度 (個人) にはほとんど影響を及ぼさないと考えられる。

5.3.3 はしご部の各要因 (全体避難速度)

ここでのはしご部の避難速度としては、累計時間より求めた全体避難速度を用いて述べる。

(1) はしご部の避難人数と避難速度の関係 (全体避難

速度)

全体避難速度の場合の避難人数と避難速度の関係 (はしご本数 1 本) について、はしご高さ 4.2m の場合を Fig. 17 に、はしご高さ 2.6m の場合を Fig. 18 に示す。

これらの図より、全体避難速度では、次のことがわかる。

- ① はしごの高さによらず、避難人数が増加すると全体避難速度が減少する。
 - ② はしご高さ 4.2m においては、昇りより降りの方が若干避難速度が遅くなる傾向にある (はしご高さ 2.6m においては昇りと降りの避難速度は同等)。
- これらのような現象の理由としては、次のことなどが挙げられる。

①に関しては、避難人数分の避難時間が増えることによって全体避難速度が減少するためである。

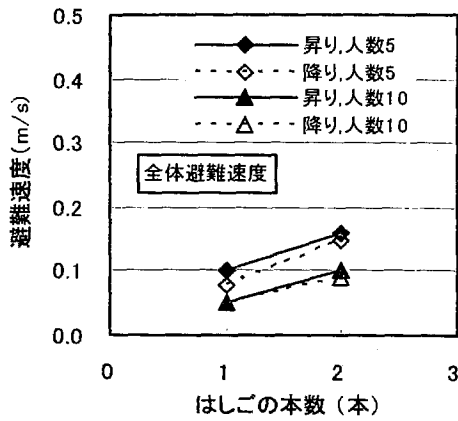


Fig. 19 Relation between number of ladders and total evacuation speed. (ladder; 4.2m height)
はしごの本数と避難速度(全体)の関係
(全体避難速度, 高さ 4.2m, case 梯 2~5)

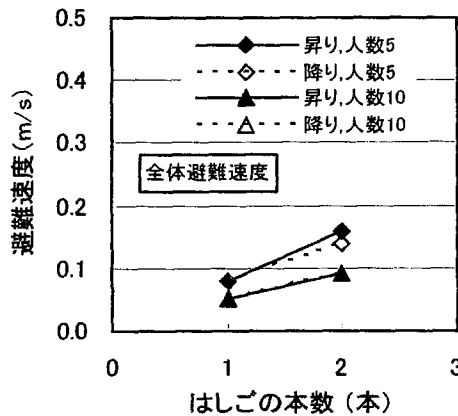


Fig. 20 Relation between of number of ladders and total evacuation speed. (ladder; 2.6m height)
はしごの本数と避難速度(全体)の関係
(全体避難速度, 高さ 2.6m, case 梯 2~5)

②に関しては、はしご高さが高くなると、昇りより降りの方が踏み面をとらえづらいことなどで速度を抑えるといったことが影響しているからだと考えられる。

全体避難速度では避難人数1人の避難速度は昇り・降りどちらとも約0.25~0.3 m/sとなり、避難人数5人のとき昇り・降り約0.08 m/s、避難人数10人のとき昇り・降り約0.05 m/sとなっていた。

(2) はしご部のはしごの本数と避難速度の関係(全体避難速度)

全体避難速度のはしごの本数と避難速度の関係において、はしご高さ4.2mの場合を Fig. 19 に、はしご高さ2.6mの場合を Fig. 20 に示す。

これらの図より、全体避難速度については、次のようなことがわかる。

① はしご本数、又ははしご高さによらず、避難人数

が増加すると全体避難速度は減少する。

② はしご本数、又ははしご高さによらず、避難人数が複数の場合、昇りより降りの方が避難速度が速くなる傾向にある。

③ はしご高さによらず、避難人数が複数の場合、はしごが1本から2本になると避難速度は約2倍速くなる。

このような現象の理由としては、次のことが考えられる。

①に関しては、避難人数分の避難時間が増えることによって全体避難速度が減少するためである。

②に関しては、昇りより降りの方が踏み面をとらえづらいということなどで速度を抑えるといったことが影響していることが考えられる。

③に関しては、避難人数が複数の場合、はしごが2本になると作業員も半分ずつに別れて避難するため、避難速度は約2倍となる(奇数人数でも避難人数が増えると最後の人がはしご2本の内、先に避難し終わる方を選び避難するため避難速度は約2倍近くになる。)と考えられる。

6. 避難時間算定基準データ

土石流災害防止のため土石流検知警報システムを構築するためには工事に先立って変化する避難時間を予測する必要がある。ここでは、前述した内容を踏まえ簡単に避難時間を算定するための避難時間算定式を示す。避難時間算定式の基準データとしては避難速度(平均避難速度)を用いた。

避難時間算定式を用いることで様々な条件下における避難時間を算定することが出来る。この算定式を用いて簡単なプログラムを組むことで様々な条件下における避難時間が簡易に算出することが可能である。

なお、避難時間算定式を用いて避難時間を算定する場合は、工事期間を通して現場において最も不利な条件を想定する必要がある。避難場所まで最も遠い場所で作業している人数に対して避難時間を算定するなどに留意することが必要になる。また、当算定式は各現場の避難経路において避難人数が10人以上集中することはないものとしているため、作業している人数が10人以上の場合は避難時間を割増する必要がある。

6.1 平坦部の避難時間算定基準データ

平坦部(地盤条件: 礫)の避難時間算定基準データとしては Fig. 7 に示した避難速度(平均避難速度)、Fig. 9 に示した道幅と避難速度の関係から避難時間算定基準速度を Fig. 21 (道幅1m)、Fig. 22 (道幅2m)、Fig. 23 (道幅3m)とした。これらの図中の値

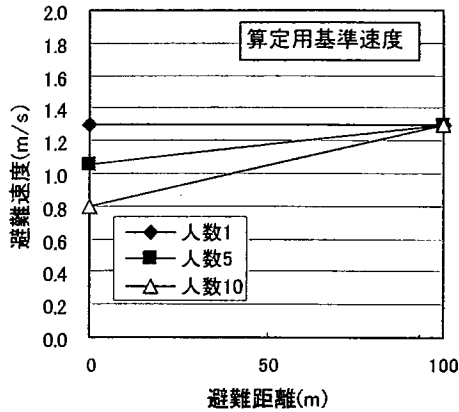


Fig. 21 Evacuation speed for calculation. (Flat; stones, 1m width)
算定用基準速度 (平坦部 (礫), 道幅 1m)

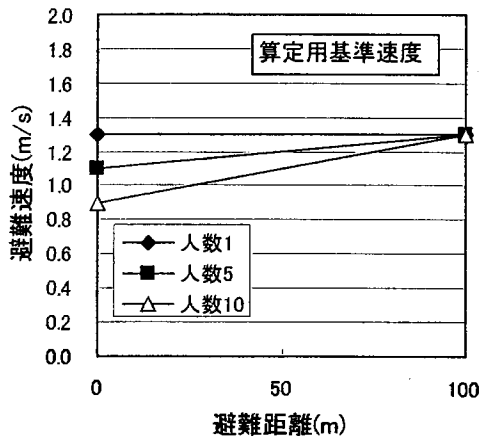


Fig. 22 Evacuation speed for calculation. (Flat; stones, 2m width)
算定用基準速度 (平坦部 (礫), 道幅 2m)

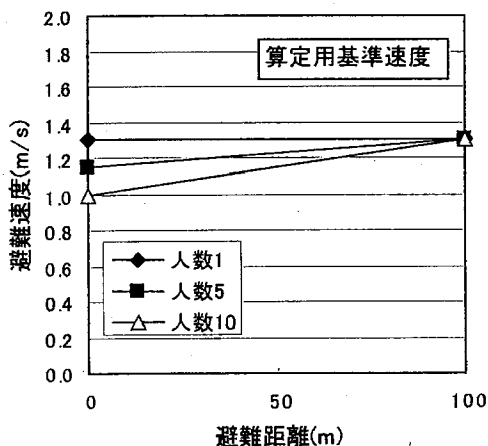


Fig. 23 Evacuation speed for calculation. (Flat; stones, 3m width)
算定用基準速度 (平坦部 (礫), 道幅 3m)

を道幅、避難距離及び避難時間との関係式をまとめたものを Table 7 に示す。ここではこの関係式を出来るだけ簡略化し、扱いやすくすることを優先したため実験値における 1 割程度以下の変動は無視している。

避難人数 1 人から 10 人間の避難速度は、避難距離にかかる係数を人数 1 人～10 人の各避難速度の差を分割し人数 1 人～10 人の各避難速度を求めることで、避難人数、避難距離に対する避難速度を導き出せる。

また、平坦部の地盤条件が平坦部 (礫なし) の避難速度としては、最小速度において地盤条件が平坦部 (礫) から平坦 (礫なし) になると約 1.5 割避難速度が増加することから、地盤条件が礫から求めた避難速度を 1.15 倍した値とする。

ここで、平坦部の適用範囲としては、次のとおりである。

- ① 地盤条件：平坦部 (礫)、平坦部 (礫なし) の 2 種類
- ② 道幅：1m～3m
- ③ 避難人数：10 人まで
- ④ 避難距離：10m 以上 100m 以下

ただし、道幅 3m 以上では道幅 3m の避難速度とし、避難距離において距離が 100m 以上のときは距離 100m の避難速度とする。

6.2 斜面部の避難時間算定基準データ

斜面部の避難時間算定基準データは平坦部の地盤条件が平坦部 (礫) の値と斜面部の斜面②角度 27.8°の値を用いて求めた。

斜面部における実験では各避難距離は斜面②角度 27.8°で 7.3m、斜面①角度 23.4°で 20m、斜面①' 角度 11.9°で 50.1m と避難距離で一定ではない。しかし、平坦部において避難距離が増加すると避難速度が増加すること、また避難人数が多いほどその影響が顕著に現れること (道幅 1m・避難人数 10 人のとき避難距離が 10m から 60m になると避難速度が約 2 倍程度速くなる。) を考慮し、安全側として避難距離を 10m として考える。平坦部の地盤条件が平坦部 (礫) (距離 10m) の各要因の避難速度と、斜面部の斜面②角度 27.8°の各要因の避難速度を用い、避難距離が 10m 以上でも避難距離を 10m としたときの避難速度を用いることとした。

平坦部の地盤条件が平坦部 (礫) (距離 10m) の各要因の避難速度と、斜面部の斜面②角度 27.8°の各要因の避難速度の値から斜面角度と避難速度の関係を求める。

関係式を出来るだけ簡略化し、扱いやすくすることを優先するため、斜面角度 0°と 30° (簡素化のため 27.8°を 30°とした。) における避難速度を前述のデータに基づき定めたものを Fig. 24 から Fig. 26 に示す。斜面を降りる時の平均避難速度は登るときより大きい、最

Table 7 Equations for calculation of evacuation speed. (flat surface covered with stones)
平坦部（礫）における避難速度算定式

道幅	人数	算定式 y: 避難速度 (m/s) x: 避難距離 (m)		道幅	人数	算定式 y: 避難速度 (m/s) x: 避難距離 (m)		道幅	人数	算定式 y: 避難速度 (m/s) x: 避難距離 (m)	
1m	1人	$y = 1.3$		2m	1人	$y = 1.3$		3m以上	1人	$y = 1.3$	
	10人	1m~100m	$y = 0.005x + 0.8$		10人	1m~100m	$y = 0.004x + 0.9$		10人	1m~100m	$y = 0.003x + 1.0$
		100m以上	$y = 1.3$			100m以上	$y = 1.3$			100m以上	$y = 1.3$

Table 8 Equations for calculation of evacuation speed (slope going up and going down).
斜面部における避難速度算定式（登・降り）

注) ただし, $a=0.6/30=0.02$ とする

道幅	人数	算定式 y: 避難速度 (m/s) x: 角度 (°)		道幅	人数	算定式 y: 避難速度 (m/s) x: 角度 (°)		道幅	人数	算定式 y: 避難速度 (m/s) x: 角度 (°)	
1m	1人	$y = -a \cdot x + 1.3$		2m	1人	$y = -a \cdot x + 1.3$		3m以上	1人	$y = -a \cdot x + 1.3$	
	5人	$y = -a \cdot x + 1.15$			5人	$y = -a \cdot x + 1.2$			5人	$y = -a \cdot x + 1.25$	
	10人	$y = -a \cdot x + 1.0$			10人	$y = -a \cdot x + 1.1$			10人	$y = -a \cdot x + 1.2$	

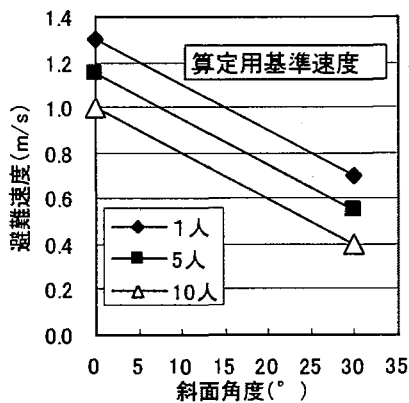


Fig. 24 Evacuation speed for calculation.
(slope, 1m width)
算定用基準速度 (斜面部, 道幅 1m)

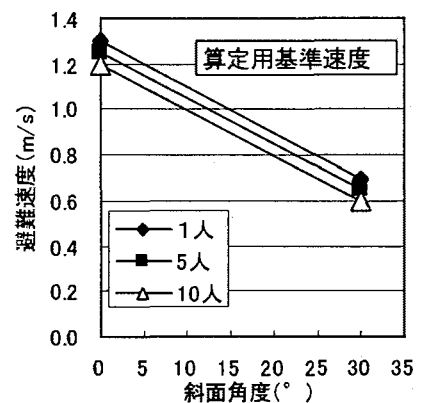


Fig. 26 Evacuation speed for calculation.
(slope, 3m width)
算定用基準速度 (斜面部, 道幅 3m)

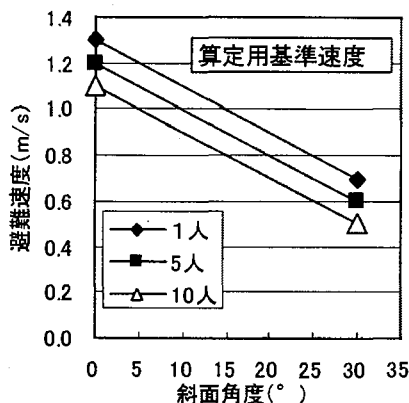


Fig. 25 Evacuation speed for calculation.
(slope, 2m width)
算定用基準速度 (斜面部, 道幅 2m)

小避難速度で比較するとほとんど差がなかったことから関係式を簡略化することと安全側であることを鑑み登り・降りの速度は同じとした。これらにより求めた算定式は Table 8 に示すとおりである。

避難人数 1 人と 10 人の避難速度の差を分割し人数 1 人~10 人の各避難速度を求め、各避難人数における斜面角度と避難速度の関係式を求めることで、自由な斜面角度に対する避難速度を導き出せる。

ここで、斜面部の適用範囲は次のとおりとする。

- ① 道幅：1m~3m
- ② 進行方向：登り・降り
- ③ 避難人数：10人まで

- ④ 斜面角度： 3° ～ 30° まで（斜面角度 3° 未満では平坦部とする。）

なお、道幅 3m 以上の場合は道幅 3m の避難速度とする。

6.3 はしご部の避難時間算定基準データ

はしご部の避難時間算定基準データとしては、一人ではしごを昇り降りする場合は最も避難速度が遅く安全であったこと及び 10 人の場合でも避難速度に変化が少ないことから、はしご部の避難時間算定用速度を昇り降りそれぞれ昇り： 0.4 m/s ・降り： 0.35 m/s とする。

ただし、はしごの本数が 2 本の場合の避難速度は避難人数 1・2 人、3・4 人、5・6 人、7・8 人、9・10 人のときの避難速度を、それぞれはしご本数 1 本の場合の 1, 2, 3, 4, 5 人の避難速度とする。つまり、例えばはしご 2 本の場合で人数が 4 人（3 人でも同じ）であれば、はしご本数 1 本の場合で人数 2 人の避難速度と同等であると考えられるからである。

7. おわりに

土石流災害防止において避難時間を事前予測するための基礎的データを取得することを目的とした現場避難実験を行った。

その結果、避難人数 1 人、幅 1m のとき、おおよそ次の避難速度を基準とすることが妥当であると考えられる。

- (1) 平坦部においては表面が平らな粘土地盤において 1.5 m/s 、表面が平坦部（礫）の場合 1.3 m/s

- (2) 斜面部では斜面角度 30° のとき登： 0.7 m/s ・斜面角度 10° のとき登： 1.1 m/s
 (3) はしご部においては昇り： 0.4 m/s ・降り： 0.35 m/s
 ただし、避難速度は避難人数、道幅等によって変化するため、これらの要因によって避難速度を変化させる必要がある。

本実験においては、避難速度に影響を与える各要因には次のような傾向があることを把握した。これらの結果に基づき、工事計画段階において用いることが出来る避難時間算定のための計算式を提案した。

- (1) 平坦部において、避難人数を増加させると避難速度は減少し、道幅・距離を増加させると避難速度が増加する。また、地盤条件としては平坦部（礫）の方が平坦に比べ避難速度が遅くなる。
 (2) 斜面部において、斜面角度・避難人数を増加させると避難速度は減少し、道幅を増加させると避難速度は増加する。
 (3) はしご部において、避難人数が増加すると避難速度（個人）は増加する。また、はしごの本数が増加しても避難速度（個人）は変化しない。

参考文献

- 1) 豊澤康男, 堀井宣幸, 橋爪秀夫, 丸山憲治, 大野陽子: 土石流による労働災害防止に関する調査と土石流検知システムの開発, 土木学会年次学術講演会講演概要集, Vol.56th, 第 6 部, pp.224-225, (2001).

(平成 14 年 1 月 21 日受理)