津波避難タワーにおける避難行動要支援者の
垂直避難支援及び避難誘導に関する研究VERTICAL EVACUATION SUPPORT AND EVACUATION GUIDANCE
OF VULNERABLE PEOPLE IN TSUNAMI EVACUATION TOWER田中 宏幸^{*1}, 北後 明彦^{*2}, ピニェイロ アベウ タイチ コンノ^{*3}, 大津 暢人^{*4}, 李 知香^{*5}Hiroyuki TANAKA, Akihiko HOKUGO, Abel Taiti Konno PINHEIRO,
Nobuhito OHTSU and Jihyang LEE

The purpose of this study is to compare and analyze the transport velocity evacuation supporters carried a vulnerable person to evacuate from Tsunami in Tsunami evacuation tower. For that, this study used 5 transport methods (wheelchair, transport chair, rollator, simple stretcher and shoulder) and 3 transport routes (straight line slope, spiral slope and stairs). As a result, it was found that evacuation can be done smoothly by properly guiding the evacuation supporters and their vulnerable person to evacuate on spiral slope by using wheelchair and a healthy person to evacuate on stairs.

Keywords : Tsunami evacuation tower, Slope, Stairs, Vulnerable people, Transport velocity, Evacuation guidance

津波避難タワー, 傾斜, 階段, 避難行動要支援者, 搬送速度, 避難誘導

1. はじめに

2011年に発生した東日本大震災における死者数の大半は、震災そのものによる直接死ではなく、大半は地震に伴い発生した津波が原因の震災関連死であり、その多くは高齢者や身体障害者であった¹⁾。また、その支援者も搬送途中で犠牲となった²⁾。これらの背景から、津波襲来の際、自力歩行避難が困難である避難行動要支援者(以下、要支援者と略す。)を迅速に避難させることが重要である。また、南海トラフ巨大地震など、30年以内に発生率が高い地域において、津波避難タワーの建設が進められている³⁾。

これまでも様々な搬送方法による要支援者の搬送に関する研究はなされてきた。実験環境下での搬送速度の研究⁴⁾、市街地での搬送速度の研究⁵⁾、屋内での階段上昇搬送速度の研究⁶⁾がある。しかし、津波避難タワーを対象とした要支援者の搬送に関する研究は行われていない。

そこで、本研究では、要支援者の市街地や建物内部などの数ある搬送避難の中でも、津波避難タワーを対象とした。また、津波襲来時の津波避難タワーにおける人的被害の軽減に資することを本研究の目的とし、要支援者のタワー内部での垂直避難及び避難誘導を搬送実験により検証した。なお、本実験では、高知県高岡郡中土佐町久礼の第1号津波避難タワーを使用した。

さらに、本実験で得られた結果と既往研究により、要支援者の搬

送時間計算式を導出し、様々な場合における搬送時間を試算した。それにより、津波避難タワーにおける最適な搬送方法及び搬送経路を検討した。

なお、本研究では坐位保持可能な要支援者を対象とした。

2. 搬送実験

2.1 実験の概要

本実験は、南海トラフ巨大地震が発生し、津波避難タワー2階のTP16.7m (GL10.7m) まで避難するというシナリオで、2017年5月27、28日と同年11月4日の計3日間実施した。

本実験で使用した第1号津波避難タワーにおける直線傾斜、螺旋傾斜、階段の平面図をFig.1に示し、直線傾斜、螺旋傾斜、階段における区間ごとの垂直距離、水平距離、勾配、通路幅をTable1に示す。なお、階段の蹴上寸法は150mm、踏み面は260mmであり、収容可能人数は、400人である。また、津波避難タワーの全貌をPhoto1に示す。本研究では、津波避難タワーの直線傾斜と螺旋傾斜では、車椅子・介助車・シルバーカーの3種類の搬送方法を用いて、階段では、車椅子・簡易担架・背負いの3種類の搬送方法を用いて、搬送経路、搬送方法別の速度及び身体負荷を比較検討した。その際、各搬送経路は、踊り場、スロープ、階段などで区間に分けて搬送速度を検討した。

^{*1} 神戸大学大学院工学研究科建築学専攻 前大学院生・修士(工学)

^{*2} 神戸大学都市安全研究センター 教授・学博

^{*3} 神戸大学大学院工学研究科 助教・博士(学術)

^{*4} 総務省消防庁消防大学校消防研究センター 主任研究官・博士(工学)

^{*5} 国立防災安全研究院 責任研究員

Ex-Grad. Student, Graduate School of Engineering, Kobe Univ.
Prof., Research Center for Urban Safety and Security, Kobe Univ., Ph.D.
Assist. Prof., Graduate School of Engineering, Kobe Univ., Ph.D.
Senior Researcher, National Research Institute of Fire and Disaster, Ph.D.
Senior Researcher, National Disaster Management Research Institute, Ph.D.

Table1 Vertical and horizontal distance

Straight line slope Width: 2.00 (m)				Spiral slope Width: 1.20 (m)				Stairs Width: 1.45 (m)		
Section	Vertical distance (m)	Horizontal distance (m)	gradient (%)	Section	Vertical distance (m)	Horizontal distance (m)	gradient (%)	Section	Vertical distance (m)	Horizontal distance (m)
c1-c2	1.44	17.10	8.43	r1-r2	2.10	18.19	11.54	k1-k2	1.30	2.08
c2-c3	0.00	4.25	0.00	r2-r3	0.00	1.64	0.00	k2-k3	0.00	1.66
c3-c4	1.69	20.06	8.42	r3-r4	1.53	13.14	11.65	k3-k4	1.40	2.08
c4-c5	0.00	6.18	0.00	r4-r5	0.00	1.64	0.00	k4-k5	0.00	1.66
c5-c6	1.87	22.03	8.49	r5-r6	1.53	13.14	11.65	k5-k6	1.40	2.08
c6-c7	0.00	1.98	0.00	r6-r7	0.00	1.64	0.00	k6-k7	0.00	1.66
c7-c8	1.49	18.02	8.27	r7-r8	1.53	13.14	11.65	k7-k8	1.40	2.08
c8-c9	0.00	4.09	0.00	r8-r9	0.00	1.64	0.00	k8-k9	0.00	1.66
c9-c10	2.25	27.03	8.33	r9-r10	1.53	13.14	11.65	k9-k10	1.40	2.08
c10-c11	0.00	1.97	0.00	r10-r11	0.00	1.64	0.00	k10-k11	0.00	1.66
c11-c12	2.24	27.02	8.30	r11-r12	1.53	13.14	11.65	k11-k12	1.40	2.08
c12-c13	0.00	6.14	0.00					k12-k13	0.00	1.66
	-	-	-		-	-	-	k13-k14	1.40	2.08

Photo1 1st Tsunami evacuation tower

2.2 機材条件

本実験に使用した、車椅子、介助車、シルバーカー、簡易担架の諸元を Table2 に示す。

ただし、シルバーカーは SG 基準によると歩行補助、休息、荷物の運搬に限られる。また、シルバーカーはフットレストが装備されていない。そのため、要支援者の足が接地してしまい、足が路面と機材下部の間に巻き込まれ、前進できない。そこで、本実験では、大津らが開発した「シルバーカー用補助具」^{注1)}を装着することにより、要支援者の足を浮かせた状態に保持し、シルバーカーに緊急避難的に介助走行の用途を付与して実施した。その状態を Photo2 に示す。

Photo2 A rollator with assistant equipment

Table2 Specification of equipment

Equipments	Weight (kg)	Dimension (cm)			Principal use
		Height	Width	Depth	
Wheelchair	17.9	88	62	104	Transport
Transport chair	9.3	90	55	62	Transport
Rollator	5.7	81.5	50.5	60	Non-transport
Simple stretcher	1.7	-	68	190	Transport

2.3 人的条件

2017 年 5 月 27、28 日の本実験では、被験者のうち支援者役は、21 歳から 38 歳までの男性 6 名と 23 歳から 55 歳までの女性 6 名である。同年 11 月 4 日の本実験では、被験者のうち支援者役は、21 歳から 38 歳までの男性 6 名と 23 歳から 55 歳までの女性 6 名である。また、要支援者役は実験開始前に、錘を入れたリュックサックを装着し、平成 23 年の 65 歳以上の男性平均体重 62.04kg^{注2)}となるように体重を調整した。なお、実験開始時、全ての被験者の健康状態は良好であり、実験に影響する身体的な障害はなかった。

2.4 手順

本実験の手順を Fig.2 に示す。

搬送方法や心理状態の差異が搬送速度等に影響を与えることのないよう、実験前に搬送方法を支援者役の被験者に説明し、津波映像（約 3 分）を見てもらった後に実験を実施した。

Fig.2 Procedure of the experiment

2.5 搬送速度

直線傾斜、螺旋傾斜、階段における搬送方法別の全区間での搬送速度の平均と標準偏差を Fig.3 に示す。

全区間での搬送速度の平均は、全ての搬送経路、搬送方法において、女性よりも男性が速い結果となった。

直線傾斜では、垂直速度と水平速度は、男女ともに車椅子、介助車、シルバーカーの順で速度が速い結果となった。

螺旋傾斜では、垂直速度は、男女ともに車椅子、介助車、シルバーカーの順で速度が速い結果となった。しかし、水平速度は男性の場合、介助車、シルバーカー、車椅子の順で速度が速い結果となり、

Fig.3 Average and standard deviation of transport velocity

女性の場合、車椅子、介助車、シルバーカーの順で速度が速い結果となった。男性の場合、機材を押す力が女性と比べて強く、操作性の良い車椅子よりも、機材の重量が軽い介助車、シルバーカーの水平速度が速い結果になったと考えられる。しかし、その差はごくわずかなものであり、男性の場合、水平速度の機材による影響はあまりないと言える。その一方、女性では、水平速度の機材による影響があると言える。

階段では、垂直速度と水平速度は、男女ともに背負い、簡易担架、車椅子の順で速度が速い結果となった。また、女性よりも男性が搬送方法による速度差が大きい結果となった。

2.6 身体負担

本研究では、アンケート結果から身体負担評価指標を算出し、支援者役の被験者の身体負担を検証した。本研究で使ったアンケートの構成を Table3 に示す。

Table3 Questionnaire constitution

A survey respondent		All supporters
Constitution	Attribute	Age,Weight,Height
	Questionnaire item	Physical burden before the experiment
		Physical burden during the experiment
		Physical burden after the experiment

アンケートは支援者役の被験者に実験後すぐに記入してもらい、身体的負担を搬送に伴う行動時ごとに「楽だ」、「やや楽だ」、「普通」、「ややきつい」、「きつい」の5段階で評価してもらった。

身体負担評価指標の計算に際しては、式1を使用した。また、算出した身体負担評価指標を Table4 に示す。

$$I_b = \frac{1 \times a + 2 \times b + 3 \times c + 4 \times d + 5 \times e}{n} \quad (\text{式 } 1)$$

I_b 身体負担評価指標

a 「楽だ」と回答した回答者数

b 「やや楽だ」と回答した回答者数

c 「普通」と回答した回答者数

d 「ややきつい」と回答した回答者数

e 「きつい」と回答した回答者数

n 全回答者数

実験後の身体負担の身体負担評価指標が最も低い数値となったのは、螺旋傾斜での車椅子搬送であった。その一方、最も高い数値をとったのは、階段での背負い搬送であった。

搬送方法別にみると、直線傾斜と螺旋傾斜では、車椅子、介助車、シルバーカーの順で身体負担評価指標が高い数値をとる傾向があり、階段では、簡易担架、車椅子、背負いの順で高い数値をとる傾向が

あった。搬送方法別にみると、螺旋傾斜、直線傾斜、階段の順で身体負担評価指標が高い数値をとる傾向があった。

Table4 Physical burden index

Course	Transport method	Physical burden After the experiment	Physical burden during each action			
			Weight when moving	Push weight during running	Control of direction	Distance length
Straight line slope	Wheelchair	2.08	1.00	1.75	1.25	3.08
	Transport chair	2.58	2.25	2.33	2.83	3.17
	Rollator	3.17	2.33	2.75	3.17	3.33
Spiral slope	Wheelchair	1.67	1.33	1.92	1.25	2.25
	Transport chair	2.00	1.33	1.33	1.83	2.58
	Rollator	2.58	1.58	2.50	2.92	2.67
Course	Transport method	Physical burden After the experiment	Physical burden during each action			
			lifting	Turning at the landing	Going up stairs	Unloading
Stairs	Wheelchair	3.09	1.97	2.81	3.31	1.47
	Simple stretcher	2.75	2.17	2.25	2.94	1.86
	Shoulder	3.30	1.60	2.50	3.30	1.50

3. 搬送時間計算式

3.1 導出方法

本実験で得られたデータをもとにして、津波避難タワーの直線傾斜、螺旋傾斜、階段における搬送時間計算式を導出した。なお、計算式における数値は、変動係数が 0.1 より小さい測定値はばらつきが小さいと判断し、平均値を採用した。その一方、変動係数が 0.1 より大きい測定値はばらつきが大きいと判断し、25%トリム平均値を採用することで、外れ値の影響を排除した。

災害時には、支援者数が少なく、要支援者数が多い可能性がある。その際、支援者が要支援者を繰り返し搬送せざるを得ない恐れがある。そこで、本研究では、繰り返し搬送時間を含めた搬送時間計算式を導出する。繰り返し搬送では、疲労により搬送速度低下が考えられる。しかし、李らによる、車椅子、簡易担架、背負いの3回連続の繰り返し搬送実験では、平均速度変化は相対的に少ないことがわかっている⁶⁾。ただし、被験者は1回の搬送毎に60秒間休息している。それを踏まえて、本研究での試算とケーススタディでは、搬送時間計算式に1回繰り返し搬送するにつき、60秒の付加時間を与えることによって、繰り返し搬送で生じる疲労による搬送速度低下を考慮した。

なお、搬送到達地点から搬送開始地点まで戻る経路は、搬送開始地点の場所から判断し、螺旋傾斜と階段では、階段で搬送開始地点まで戻るとし、直線傾斜では、直線傾斜で搬送開始地点まで戻るとする。算出にあたっては、直線傾斜では斜路と踊り場の距離の和を歩行速度で除して求めた。階段では踊り場と階段（下り）のそれぞれの距離の和をそれぞれの歩行速度で除して求めた。階段（下り）、階段の踊り場と直線傾斜の移動速度は、それぞれ、その建物内の位置、経路などに慣れていない一般の人の速度である 0.5(m/s)、1.0(m/s)とした⁷⁾。

また、歩行困難な避難者は、自宅から車椅子のまま避難タワーまで搬送される可能性が高い。しかし、自宅から車で避難タワー前まで搬送される可能性もある。そのため、全ての機材で移乗時間を考慮した。

3.2 直線傾斜における搬送時間計算式

直線傾斜における支援者1人あたりの搬送時間計算式を式2に示す。

$$T_{Ci} = \sum_{k=0}^n \left\{ T_{1i} + T_{2i} + \frac{H_c}{V_m} + \frac{L_1}{V_{L1i}} + \frac{L_2}{V_{L2i}} + \frac{L_3}{V_{L3i}} \right\} (k+1) + Trk \Bigg\} + Tw \quad (式2)$$

T_{Ci} 搬送方法 i の搬送時間(s)

n 繰り返し搬送回数

T_{1i} 搬送方法 i の移乗時間(s)

(車椅子…男性：18.122(s),女性：18.289(s),移乗なし：0(s))

(介助車…男性：14.000(s),女性：14.150(s), 移乗なし：0(s))

(シルバーカー…男性：15.117(s),女性：15.867(s), 移乗なし：0(s))

T_{2i} 搬送方法 i の移乗地点から始点 (c1) までの搬送時間(s)

(車椅子…男性：3.050(s),女性：3.433(s))

(介助車…男性：4.925(s),女性：6.975(s))

(シルバーカー…男性：4.850(s),女性：7.358(s))

T_r 搬送開始地点まで戻るのに要する時間(s)

(T_r=L_c/1.0+T_{add})

T_{add} 繰り返し搬送による付加時間(s)

T_w 支援者が複数人存在する場合の待ち時間(s)

H_c 直線傾斜の高さ(m)

L₁ 直線踊り場の水平距離の和(m)

L₂ 90度転換する踊り場の水平距離の和(m)

L₃ 180度転換する踊り場の水平距離の和(m)

L_c 直線傾斜の斜路と踊り場の距離の和(m)

V_{Hi} 搬送方法 i の垂直速度(m/s)

(車椅子…男性：0.196(m/s),女性：0.106(m/s))

(介助車…男性：0.153(m/s),女性：0.097(m/s))

(シルバーカー…男性：0.149(m/s),女性：0.077(m/s))

V_{L1i} 搬送方法 i の水平速度(m/s)

(車椅子…男性：1.918(m/s),女性：1.273(m/s))

(介助車…男性：1.708(m/s),女性：1.192(m/s))

(シルバーカー…男性：1.650(m/s),女性：1.137(m/s))

V_{L2i} 搬送方法 i の 90度転換速度(m/s)

(車椅子…男性：2.665(m/s),女性：1.648(m/s))

(介助車…男性：1.915(m/s),女性：1.385(m/s))

(シルバーカー…男性：2.193(m/s),女性：1.040(m/s))

V_{L3i} 搬送方法 i の 180度転換速度(m/s)

(車椅子…男性：2.250(m/s),女性：1.743(m/s))

(介助車…男性：1.563(m/s),女性：0.939(m/s))

(シルバーカー…男性：0.981(m/s),女性：0.570(m/s))

3.3 螺旋傾斜における搬送時間計算式

螺旋傾斜における支援者1人あたりの搬送時間計算式を式3に示す。

$$T_m = \sum_{k=0}^n \left\{ T_{1i} + T_{2i} + \frac{H_r}{V_m} + \frac{L_r}{V_{Li}} \right\} (k+1) + Trk \Bigg\} + Tw \quad (式3)$$

T_{Ri} 搬送方法 i の搬送時間(s)

n 繰り返し搬送回数

T_{1i} 搬送方法 i の移乗時間(s)

(車椅子…男性：18.122(s),女性：18.289(s), 移乗なし：0(s))

(介助車…男性：14.000(s),女性：14.150(s), 移乗なし：0(s))

(シルバーカー…男性：15.117(s),女性：15.867(s), 移乗なし：0(s))

T_{2i} 搬送方法 i の移乗地点から始点 (r1) までの移動時間(s)

(車椅子…男性：8.250(s),女性：9.325(s))

(介助車…男性：8.725(s),女性：12.375(s))

(シルバーカー…男性：10.033(s),女性：16.844(s))

T_r 搬送開始地点まで戻るのに要する時間(s)

(T_r=L_R/1.0+L'_R/0.5+T_{add})

T_{add} 繰り返し搬送による付加時間(s)

T_w 支援者が複数人存在する場合の待ち時間(s)

H_R 螺旋傾斜の高さ(m)

L_R 踊り場の水平距離の和(m)

L_R 階段（踊り場）の距離の和(m)

L'_R 階段（下り）の距離の和(m)

V_{Hi} 搬送方法 i の垂直速度(m/s)
 (車椅子…男性：0.217(m/s),女性：0.118(m/s))
 (介助車…男性：0.213(m/s),女性：0.109(m/s))
 (シルバーカー…男性：0.214(m/s),女性：0.065(m/s))
 V_{Lw} 車椅子水平速度(m/s)
 (車椅子…男性：1.890(m/s),女性：1.187(m/s))
 (介助車…男性：1.853(m/s),女性：1.131(m/s))
 (シルバーカー…男性：1.730(m/s),女性：0.964(m/s))

3.4 階段における搬送時間計算式

階段における支援者 1 人あたりの搬送時間計算式を式 4 に示す。

$$T_{ki} = \sum_{k=1}^n \left\{ \left(T_{li} + T_{2i} + \frac{H_k}{V_{Hi}} + \frac{L_k}{V_{Li}} \right) (k+1) + Trk \right\} + Tw \quad (式 4)$$

T_{Ki} 搬送方法 i の搬送時間(s)
 n 繰り返し搬送回数
 T_{li} 搬送方法 i の移乗時間(s)
 (車椅子…男性：17.433(s),女性：34.900(s), 移乗なし：0(s))
 (簡易担架…男性：58.800(s),女性：70.925(s), 移乗なし：0(s))
 (背負い…男性：10.075(s),女性：12.117(s), 移乗なし：0(s))
 T_{2i} 搬送方法 i の移乗地点から始点 ($k1$) までの移動時間(s)
 (車椅子…男性：10.583(s),女性：13.483(s))
 (簡易担架…男性：7.217(s),女性：9.200(s))
 (背負い…男性：4.058(s),女性：7.050(s))
 T_r 搬送開始地点まで戻するのに要する時間(s)
 ($T_r = L_k/1.0 + L'_k/0.5 + T_{add}$)
 T_{add} 繰り返し搬送による付加時間(s)
 T_w 支援者が複数人存在する場合の待ち時間(s)
 H_k 階段の高さ(m)
 L_k 階段 (踊り場) の距離の和(m)
 L'_k 階段 (下り) の距離の和(m)
 V_{Hi} 搬送方法 i の垂直速度(m/s)
 (車椅子…男性：0.212(m/s),女性：0.106(m/s))
 (簡易担架…男性：0.281(m/s),女性：0.157(m/s))
 (背負い…男性：0.397(m/s),女性：0.202(m/s))
 V_{Li} 搬送方法 i の水平速度(m/s)
 (車椅子…男性：0.414(m/s),女性：0.064(m/s))
 (簡易担架…男性：0.694(m/s),女性：0.348(m/s))
 (背負い…男性：1.332(m/s),女性：0.449(m/s))

3.5 搬送時間計算式の適用可能範囲

本研究で導出した搬送時間計算式は、本実験で対象とした津波避難タワーのみに適用することができるものである。そのため、他の津波避難タワーでは適用することはできない。今後、様々な津波避難タワーで実験を進め、適用可能範囲を広げていく必要がある。

3.6 搬送完了時間の試算

本研究で導出した搬送時間計算式によって、対象とした津波避難タワーの直線傾斜、螺旋傾斜、階段、階段・螺旋傾斜の 4 つ搬送経路における、要支援者数が 30 人、80 人、130 人^(注 3)での搬送完了時間を試算した。要支援者数が 30 人、80 人、130 人での搬送完了時間の試算の結果を Fig.4～Fig.6 に示す。

ただし、直線傾斜と螺旋傾斜では、男女ともに車椅子を使用し、階段では、男性は背負い、女性は簡易担架を使用し、階段・螺旋傾斜では、男性のみの場合、半数が螺旋傾斜で車椅子、残り半数が階段で背負い、女性のみの場合、螺旋傾斜で車椅子、男性と女性の場合、男性が階段で背負い、女性が螺旋傾斜で車椅子を使用するとした。また、各機材は十分にあるものとした。

なお、螺旋傾斜の通路幅は 1.2m、階段は 1.45m であるため、螺旋傾斜と階段では混雑が生じるリスクが高い。そのため、混雑による速度低下を考慮すると、搬送完了時間が非常に長くなる。その一方、直線傾斜の通路幅は 2.0m であり、比較的、混雑が生じるリスクは少ないと考えられる。混雑による速度低下を考慮すると、それぞれの搬送経路による搬送完了時間の結果に、螺旋傾斜と階段の場合、混雑による速度低下がかなり影響を及ぼし、それぞれの搬送経路での有効性を比較検証することができない。したがって、本研究では、螺旋傾斜と階段も十分な通路幅があり、混雑が生じないと仮定し、それぞれの搬送経路での有効性を比較検討した。

複数人の支援者で試算するにあたっては、支援者一人ひとりに、導出した 1 人あたりの搬送時間計算式を適用する。また、ある支援者が搬送開始した後、10 秒後にその次の支援者が搬送開始するとして、それぞれの支援者に待ち時間を搬送時間に加算する。そして、最後の要支援者が搬送完了するまで支援者は繰り返し搬送を行う。その結果、最も長い時間を要した支援者の搬送時間を搬送完了時間とした。

Fig.4 Transport completion time (30 vulnerable people)

支援者数に関しては、支援者の増加に伴い、支援者数が 18 人の場合までは、搬送完了時間が短くなる。しかしながら、支援者数が 18 人を越えると、それ以降の 24 人、30 人の場合は搬送完了時間にさほど差が出ないことがわかった。さらに、支援者数が 30 人による搬送時間が、支援者数が 24 人による搬送時間よりも、少し長くなる場合もある。その理由としては、支援者数が多いことによる搬送開始までの待ち時間による影響であると考えられる。

搬送経路に関しては、男性のみでは、階段、階段・螺旋傾斜、螺旋傾斜、直線傾斜の順で搬送時間が長くなった。男性と女性では、階段・螺旋傾斜、螺旋傾斜、階段、直線傾斜の順で搬送時間が長くなった。女性のみでは、階段・螺旋傾斜と螺旋傾斜は等しく、次いで、直線傾斜、階段の順で搬送時間が長くなった。以上のことから、混雑が生じるリスクがない仮定条件では、階段と螺旋傾斜の有効性が確認できた。しかし、通路幅が狭いと、その有効性が十分に発揮できず、搬送完了時間が非常に長くなりかねない。津波避難タワーにおける階段や螺旋傾斜の幅は十分に確保する必要があると考えられる。

Fig.5 Transport completion time (80 vulnerable people)

Fig.6 Transport completion time (130 vulnerable people)

なお、Fig.4 に示した 30 名の要支援者を 30 名の支援者で搬送するという条件下での試算では、30 名もの支援者が 1 階に待機するという想定となった。また、Fig.6 に示した 130 名の要支援者を 6 名の支援者で搬送するという条件下での試算では、各支援者が 20 回以上におよぶ繰り返し搬送を 1~2 時間あまりかけて行うという想定となった。したがって、本研究で導出した搬送時間計算式では、上記のような極端な条件下での試算には、使用することができないことが確認できた。しかし、実際の避難状況下では、このような極端な条件となる可能性は非常に低い。よって、現実的に想定される避難状況下での試算においては、本計算式を適用することができると考えられる。

4. 避難誘導

4.1 最適な搬送経路・搬送方法

搬送時間の試算では、男性のみでは、階段における背負い搬送が最も搬送時間が短い。しかし、身体負担評価指標が高いこと、本実験では女性の被験者 6 人中 4 人が途中で実験中止となったことを踏

まえると、支援者の安全面の配慮から、最適な搬送方法とは言えない。

そこで、搬送時間の試算と身体負担評価指標の結果を踏まえると、搬送経路としては、螺旋傾斜が最適な経路である。さらに、搬送方法別の搬送速度の結果から、螺旋傾斜での車椅子搬送が最適な搬送方法であると言える。ただし、災害時には螺旋傾斜の幅が狭いことによって、周囲の避難者の混雑を招く恐れがある。

直線傾斜では、繰り返し搬送が発生しない場合は、螺旋傾斜よりは劣るものの、安全で迅速に要支援者を搬送可能な搬送経路であるが、繰り返し搬送が発生する場合、搬送開始地点まで戻するのに有する時間が長いことによって、搬送時間が長くなってしまう。そのため、最適な搬送経路とは言えない。また、階段・螺旋傾斜での搬送経路は搬送時間の試算の結果から、搬送時間は短いことがわかった。だが、実際の災害時には、階段での搬送は支援者の身体負担が大きだけでなく、周囲の避難者の混雑を招く恐れがある。そのため、最適な搬送経路であるとは言えない。

4.2 最適な避難誘導

津波避難タワーにおいて、要支援者とその支援者が迅速かつ安全に避難するためには、適切な避難誘導が重要である。なぜなら、垂直避難するための搬送経路で、車椅子や簡易担架などで要支援者を支援する際、健常者と比べ避難速度が遅く、搬送経路の幅が狭いことにより、避難者の滞留が発生する可能性が考えられるからである。また、高知県で2017年11月5日に実施された県内一斉避難訓練の事後アンケートでは、「タワーへのスロープより実際の時は階段で逃げようと思った。スロープが狭くて人が多いとつまってしまうので。」という回答もみられた。

以上のことを踏まえると、要支援者とその支援者は螺旋傾斜で車椅子によって避難する。それに対して、健常者は階段で避難すること避難者に的確に避難誘導することで、円滑な避難ができると考えられる。

また、避難誘導に関しては、必ずしもその場に的確に避難誘導できる市役所職員の方などがあるとは限らない。そこで、津波避難タワーや避難経路の床などに、標識で避難者がどの経路を使用して避難すべきかが瞬時にわかるサインを表記しておくことや、音声による避難誘導などを検討する必要がある。

5. まとめ

本研究では、搬送実験により、搬送経路・搬送方法別の搬送速度に関する基礎的データを得ることができた。そして、得られた基礎的データと既往研究により、搬送時間計算式を導出することができた。また、対象とした津波避難タワーにおいて、要支援者の搬送経路としては、螺旋傾斜が最適な経路であり、螺旋傾斜での車椅子搬送が最適な搬送方法であることを確認した。

そして、災害時には、要支援者とその支援者は螺旋傾斜で車椅子搬送避難し、健常者は階段で避難すること避難者に的確に誘導することで、円滑な避難ができることがわかった。

さらに、階段のみの津波避難タワーでは、要支援者が存在する場合、円滑な避難が困難である可能性が高く、階段と螺旋傾斜の2つの経路がある津波避難タワーが最適であると確認できた。

さらには、本実験で使用中土佐町の津波避難タワーと違い、他地域では、階段のみの津波避難タワーが数多く存在する。本研究では、階段での搬送では、安全性と迅速性を考慮すると、簡易担架での搬送が望ましいことを確認できた。そのため、要支援者を安全かつ迅速に搬送するには、階段のみの津波避難タワーにおいて、簡易担架などの搬送器具の常時設置をしておくべきだと考えられる。さらに、階段での搬送は女性の場合、何度も踊り場で疲労による停止が確認できた。そのため、踊り場のスペースを広げるなどし、他の避難者の支障とならないように考慮しなければならないと考えられる。また、本実験では10.7mの垂直搬送支援を階段で被験者にいただいたが、アンケートの自由記述で、女性の場合、「かなり体力の限界であった。」という声が多かった。このことを考慮すると、これ以上の垂直搬送は不可能であると考えられる。10mを超える津波が襲来すると予測されている地域においての津波避難タワーでは、タワーまでに傾斜路などによってアプローチするような計画とし、タワーの高さは、10m程度の高さに調整する必要があると考えられる。

今後、津波避難タワーにおける有効な要支援者の搬送経路、搬送経路幅、搬送方法についてさらに実験を進めると同時に、繰り返し搬送による付加時間や戻り時間に関する実験を進めることで、搬送時間計算式の精度を向上し、様々な形態の津波避難タワーに適用可能な計算式にする必要がある。ならびに、夜間での搬送を強いられる場合、支援者が高齢者である場合など様々なケースを想定して検証していく必要もある。それによって、最適な津波避難タワーの搬送経路、搬送経路幅、搬送方法、誘導方法を検証し、津波避難タワーにおける要支援者とその支援者も含めた人的被害軽減に貢献していきたい。

謝辞

本研究はJSPS科研費JP17H06860の助成を受けたものです。また、本研究にご協力を頂きました中土佐町役場の皆様、本実験に参加して頂いた皆様に深く感謝申し上げます。

注

注1) 本実験では、「特許第5802342号、発明名称：シルバーカー用補助具、特許権者および発明者：大津暢人、登録日：2015.9.4」を使用した。

注2) 平成23年の65歳以上の男性平均体重62.04kgは、文部科学省スポーツ庁の平成23年度体力・運動能力調査データを参照した。なお、女性の65歳以上の女性の平均体重51.25kgである。

注3) 要支援者数に関しては、高知県で2017年11月5日に実施された県内一斉避難訓練の久礼小学校と津波避難タワーにおける事後アンケートで、80歳以上の回答者が25人であったので、本研究では要支援者数を30人とそれ以上の場合である80人、130人の計3パターンで試算した。

参考文献

- 1) Cabinet Office : In 2018 aging situation and measures for aging society, 2017 (in Japanese)
内閣府：平成28年度高齢化の状況及び高齢社会対策の実施状況, 2017
http://www8.cao.go.jp/kourei/whitepaper/w-2017/zenbun/pdf/1s2s_06_07.pdf (accessed 2018.1.11)
- 2) Cabinet Office : Action guidelines about the evacuation support of vulnerable people, 2013 (in Japanese)
内閣府：避難行動要支援者の避難行動支援に関する取組指針, 2013
<http://www.bousai.go.jp/taisaku/hisaisyagyousei/youengosya/h25/pdf/hinansien-honbun.pdf> (accessed 2018.1.11)

- 3) Ministry of Land, Infrastructure and Transport Chubu Regional Development Bureau : The 8th review earthquake and Tsunami disaster resilient community building committee explanation materials, 2013 (in Japanese)
国土交通省中部地方整備局 : 第 8 回地震・津波災害に強いまちづくり検討委員会説明資料, 2013
http://www.cbr.mlit.go.jp/kensei/machi_seibika/pdf/08_07siryou3.pdf
(accessed 2018.01.11)
- 4) Ohtsu,N., Hokugo,A., Pinheiro,A. and Lee,J. : Transport velocity of vulnerable people for Tsunami evacuation –Comparison of transport with wheelchair, transport chair and rollator on three different gradient outdoor slopes-, Journal of Architecture and Planning (Transactions of AIJ), Vol.81,No.724,pp. 1239-1249,2016.6 (in Japanese)
大津暢人,北後明彦,ピニエイロ アベウ タイチ コンノ, 李知香 : 災害時要援護者の市街地津波避難の搬送速度に関する実験・車椅子、介助車、シルバーカーを用いた 3 機種の勾配における屋外介助走行速度の比較-,日本建築学会計画系論文集, Vol.81,No.724,pp.1239-1249,2016.6
- 5) Ohtsu,N. and Hokugo,A. : Velocity and transportation ability of transporting vulnerable people during Tsunami evacuation drill in a community-Outdoor evacuation with rollator, transport chair, wheelchair and cart in Sinyo Bokomi, Kobe,Japan-, Journal of Architecture and Planning (Transactions of AIJ), Vol.82,No.734,pp.837-846, 2017.4 (in Japanese)
大津暢人,北後明彦 : 市街地の津波避難訓練における住民による災害時要援護者の搬送速度と輸送力-神戸市真陽地区におけるシルバーカー、介助車、車いすおよびリヤカーを用いた屋外の搬送避難-,日本建築学会計画系論文集,Vol.82,No.734,pp.837-846,2017.4
- 6) Lee,J., Hokugo,A. and Nishino,T. : Experimental study on stair ascent transportation for vulnerable people -Comparison by types of transportation; giving a piggyback ride, carrying a handy stretcher and carrying a wheelchair-, Journal of Architecture and Planning (Transactions of AIJ), Vol.80,No.709,pp.453-463,2015.3 (in Japanese)
李知香,北後明彦,西野智研 : 災害時要援護者の階段上昇避難支援に関する実験的研究,日本建築学会計画系論文集,Vol.80,No.709,pp.453-463,2015.3
- 7) Horiuchi,S. : Asakura building engineering course 10, Building fire protection, Asakurashoten,pp.158-159,1972 (in Japanese)
堀内三郎,朝倉建築工学講座 10,建築防火,朝倉書店,pp.158-159,1972

VERTICAL EVACUATION SUPPORT AND EVACUATION GUIDANCE OF VULNERABLE PEOPLE IN TSUNAMI EVACUATION TOWER

Hiroyuki TANAKA^{*1}, *Akihiko HOKUGO*^{*2}, *Abel Táiti Konno PINHEIRO*^{*3},
Nobuhito OHTSU^{*4} and *Jihyang LEE*^{*5}

^{*1} Ex-Grad. Student, Graduate School of Engineering, Kobe Univ.

^{*2} Prof., Research Center for Urban Safety and Security, Kobe Univ., Ph.D.

^{*3} Assist. Prof., Graduate School of Engineering, Kobe Univ., Ph.D.

^{*4} Senior Researcher, National Research Institute of Fire and Disaster, Ph.D.

^{*5} Senior Researcher, National Disaster Management Research Institute, Ph.D.

Other people's support is essential for vulnerable people to evacuate as fast as possible when attacked by Tsunami. Therefore, it is important to consider transport routes and transport methods in Tsunami evacuation tower.

The purpose of this study is to compare and analyze the transport velocity evacuation supporters carried a vulnerable person to evacuate from Tsunami in Tsunami evacuation tower. For that, we carried out a transport experiment at 1st Tsunami evacuation tower in Kochi Prefecture. We used 5 transport methods (wheelchair, transport chair, rollator, simple stretcher and shoulder) and 3 transport routes (straight line slope, spiral slope and stairs) in this transport experiment.

As a result, regarding transport method, the average velocity is fast in the order of wheelchair, transport chair and rollator in straight line slope and spiral slope. In stairs, average velocity is fast in the order of shoulder, simple stretcher and wheelchair. However, more than half of female subject discontinued this transport experiment by shoulder. Considering the safety of evacuation supporters, simple stretcher is the best transport methods in stairs. As for transport route, spiral slope is the best transport route of all routes.

According to questionnaire, regarding transport methods, physical burden index is high in the order of wheelchair, transport chair and rollator in straight line slope and spiral slope. In stairs, physical burden index is high in the order of simple stretcher, wheelchair and shoulder. As for transport route, it found that physical burden index is high in the order of spiral slope, straight line slope and stairs.

Taking every factor into consideration, transporting vulnerable people by using wheelchair in spiral slope is the best way to evacuate in Tsunami evacuation tower.

In addition, this study derived the transport time formula based on the experiment result and previous studies. And we calculated transport time in various cases by this formula. Consequently, it was found that evacuation can be done smoothly by using only spiral slope or stairs and spiral slope. But, in case of disaster, there is a risk of being crowd with many evacuees due to the narrowness of transport route width and the slow transport velocity. For these reasons, accurate evacuation guidance is very important to evacuate smoothly when disaster occurs.

Finally it was found that evacuation can be done smoothly by properly guiding the evacuation supporters and their vulnerable person to evacuate on spiral slope by using wheelchair and a healthy person to evacuate on stairs. For that, it is necessary to study how to introduce accurate evacuation guidance.

In order to effectively establish the Tsunami evacuation tower plan for vulnerable people in case of disaster, it is required to review factors influencing transport velocity and evacuation routes.

(2018 年 4 月 15 日原稿受理, 2018 年 10 月 26 日採用決定)