



階段室における2群集の合流に関する実験的研究

北後, 明彦
久保, 幸資
室崎, 益輝

(Citation)

日本建築学会計画系論文報告集, 358:37-43

(Issue Date)

1985-12-30

(Resource Type)

journal article

(Version)

Version of Record

(Rights)

本文データは学協会の許諾に基づきCiNiiから複製したものである

(URL)

<https://hdl.handle.net/20.500.14094/90001089>



階段室における 2 群集の合流に関する実験的研究

正 会 員 北 後 明 彦*
正 会 員 久 保 幸 資**
正 会 員 室 崎 益 輝***

1. 研究の目的

高層建築物における火災時、各階の群集が一度に階段を利用した場合、階段室へ流入しようとする群集と上階から下階へ避難しようとする群集との合流現象が生じる。群集が合流することにより合流場所での滞留が起こり、その態様によって避難時間は左右される。過去の関連する研究において、2 群集がどれぐらいの割合で合流するか、すなわち、合流比を実験的に確かめた研究はない。一般に行われている避難計算においても、この合流比について厳密な取り扱いをしていない。しかし、デパートなどのように人が多く集まる場所や高層建築物においては、階段室入口の扉幅の影響とともに合流による影響は無視できないと思われる。したがって、階段室での 2 群集の合流状態、特に合流比に着目することによって現実即した階段室内の群集の挙動をとらえ、それをもとに合理的な避難計算式を導く必要がある。そこで、研究の第一段階として標準的寸法の階段を用い、実際に人を多数集め避難訓練的な実験を行い、2 群集合流に関わる要因を探り、合理的な避難計算式を導くことが本研究の目的である。

2. 関連研究における合流比の取り扱いについて

既存の群集避難研究や避難シミュレーション研究における合流比の取り扱いについてここでまとめておく。

上田光雄¹⁾は、多層建築物において被災階よりの流出にやや遅れて警報発令後、それより上階からの同時流出がおきる場合の流出完了時間を曲線を含む作図を用いた図式解法によって求めている。その際、合流点における流出比は、当該階よりと上階よりとの合流比として 1 : 1 を観察的経験より用いている。また、吉田治典²⁾は、避難時間算出の基礎式として戸川式を採用し、避難歩行速度は水平、階段とも固定した値を用い、廊下あるいは階段等に避難路が合流する場合の合流比を仮定してシミュレーションを行っている。合流比は階段室については階段室内の避難路優先を 80 % としている。小林正美

ほか³⁾は、対象となる建物およびそこでの人や煙の挙動をモデル化して状態変化を次系列的にとらえるシミュレーションを作成し、得られる結果から問題点を明らかにしている。このモデルでは合流比を用いて流入を制限することはせず、階段室に到着した人員をそのまま階段室内に流入できるようにしている。岡田光正ほか⁴⁾は、3次元メッシュによる高層建築物の火災時における避難者および煙の挙動を同時に扱える避難シミュレーションシステムを開発し、百貨店を対象とするケーススタディを実施してその適応性を検討している。このシミュレーションシステムでは、階段室への水平方向と垂直方向からの流入比率は任意に設定できるようにしてあるが、比率をいかに設定するかについては言及されていない。

3. 研究の方法

以下に示すように、実際の階段を用い、多数の被験者を 2 群集に分け、避難訓練の要領で 1 群集は上階から階段を降下させ、あとの 1 群集を通路から階段室に流入させることによって両群集が合流する状況をつくりだし、これをビデオで撮影後、各被験者の合流区画への流入時間、流出時間を測定し、これをもとに分析する。

本実験に先立ち、ビデオカメラの設置位置等の測定方法、合流のタイミングおよび経路形態等による実験条件の設定、2 群集の各被験者数、被験者の誘導方法を検討するために予備実験を実施した。予備実験では、被験者数が 60~80 名程度であったので、合流の定常段階は認められなかった。そこで、本実験では、できうるかぎりの被験者を集めることとした。また、予備実験で通路側の群集流が優勢となることがわかったので、効率的に合流状態を形成するため、本実験では、通路群集の被験者数を若干多くすることとした。

3.1 実験施設

実験に使用した階段室は、神戸大学工学部環境計画学科棟の屋内避難階段である。階段・通路の形状および寸法は、図-1 に示すとおりで、屋内避難階段として一般的なものと考えられる。

3.2 被験者

大学生男子約 115 名 (18 才~24 才)、大学生女子約 35 名 (18 才~22 才)、計約 150 名 (表-1 参照)。

* (財)消防科学総合センター 研究員・学博

** 神戸大学 大学院生

*** 神戸大学 助教授・工博

(昭和 60 年 3 月 11 日原稿受理日、昭和 60 年 8 月 5 日改訂原稿受理日、討論期限昭和 61 年 3 月末日)

3.3 実験手続 (図-2 参照)

まず、集合場所において被験者に教示を与える。教示の内容は、「赤組は5階から、白組は4階から、誘導員の合図とともに、避難訓練の要領で避難して下さい。そのあと誘導員の指示に従って下さい。」というものである。歩行速度については、意識すると不自然な動きとなるため特に指示しなかった。赤組は階段室を上階から降下する群集であり、もう一方の白組は、通路から階段室に流入して下階に避難する群集である。教示の後、各被験者にハチマキを渡し、それぞれの群集の色になるように着用させる。誘導員が2群集を実験場所の指定の位置まで誘導した後、合流のタイミング、階段室入口の形態等各条件のもとで2群集に避難開始の合図をおくる。各被験者が階段を降下し3階に到着後、避難開始の位置にもどるように3階の誘導員が指示する。3.5に示す各条件下でこの手順を5回繰り返した。

3.4 測定方法

合流点での合流状態を2台のビデオカメラで撮影する。1台のカメラは4階と5階の間の踊り場隅上部に設置し、主として通路から流入する群集の流動を撮影、もう1台のカメラは合流場所隅上部に設置し、主として5階から階段を降下してくる群集の合流場所での流動を撮影する(図-2参照)。撮影した画像にデジタルタイマーを映し込み、これをスロー再生して2群集各被験者の4階合流区画(図-1参照)への流入時および流出時を0.1秒単位まで読みとる。

3.5 実験条件

実験条件として、以下の5条件を設定する。実験はこの順に行った。

【第1条件】5階からの階段降下群集が4階踊り場に流入しているところへ4階通路から群集を合流させる。

【第2条件】4階通路から群集が踊り場に流入しているところへ5階からの階段降下群集を合流させる。

【第3条件】2群集を同時に4階踊り場で合流させる。

【第4条件】4階階段室入口通路のA位置にロッカーを配置して通路幅を1.3mから1.0mに狭める(図-1参照)。なお、2群集は同時に4階踊り場で合流させる。

【第5条件】4階階段室入口通路のB位置にロッカーを配置して通路幅を1.3mから1.0mに狭める(図-1参照)。なお、2群集は同時に4階踊り場で合流させる。

第1~第3条件は2群集が踊り場で合流するタイミングの違いが合流比に及ぼす影響を解析しようとしたものであり、第3~第5条件は階段室入口通路幅の違いと通路と階段室の接続形態の違いが合流比に及ぼす影響を解析しようとしたものである。

4. 結果と分析

4.1 結果の整理

2群集各被験者の4階踊り場の合流区画(図-1参照)

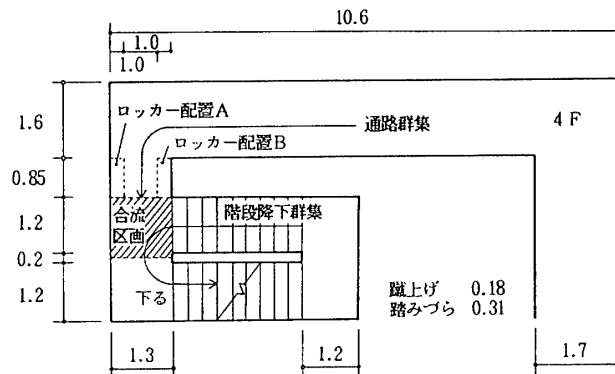


図-1 実験に用いた階段・通路の形状 (m)

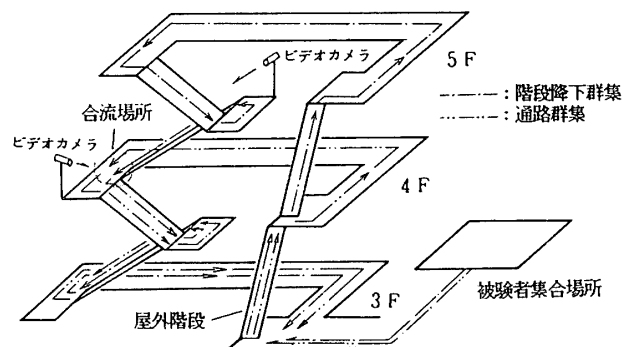


図-2 実験の概要

表-1 各条件の群集人数

	第1	第2	第3	第4	第5
通路群集の人数	85(23)	86(25)	85(25)	86(25)	86(25)
階段降下群集の人数	68(11)	67(11)	67(11)	65(11)	66(11)
合計	153(34)	153(36)	152(36)	151(36)	152(36)

()内の数字は女性の内数を示す。

への流入時、流出時のデータをもとに、単位時間当たりの流入人数、流入比率(通路群集の流入人数/2群集合計流入人数)、合流区画の群集密度、通路からの流入群集の合流区画における歩行速度等を算出する。これをグラフ化したものが図-3~図-7である。なお、流入人数、および、群集密度は、時定数6秒として算出した。第1~第3条件において実験条件として合流のタイミング(どちらの群集が先に流入するか)を変えようとしたが、第1条件では階段降下群集が踊り場に流入して6.7秒後に通路群集が合流、第2条件では通路群集が踊り場に流入して8.3秒後に階段降下群集が合流、第3条件では通路群集が踊り場に流入して0.6秒後に階段降下群集が合流、第4、第5条件においては、いずれも通路群集が踊り場に流入して0.1秒後、0.5秒後に階段降下群集が合流しており、ほぼ設定条件どおりのタイミングとなっている。

4.2 流動状態の段階

2群集が合流後の流動状態は、以下の3段階に区分して考えられる。

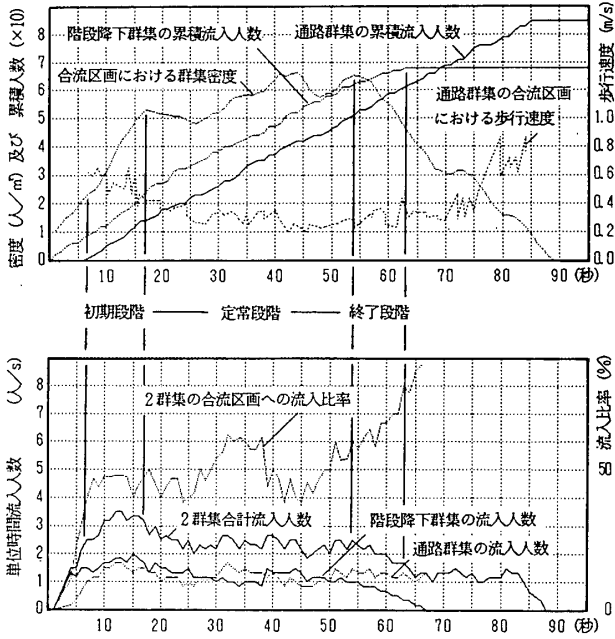


図-3 各指標の時間的推移と流動状態の段階 (第1条件)

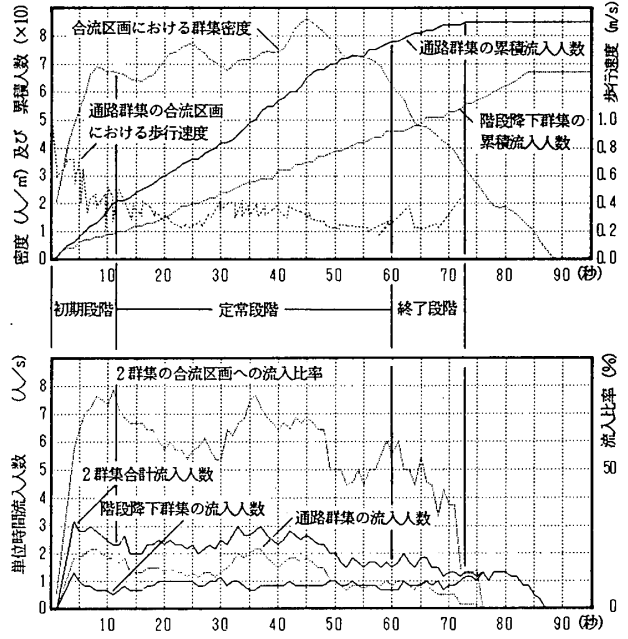


図-5 各指標の時間的推移と流動状態の段階 (第3条件)

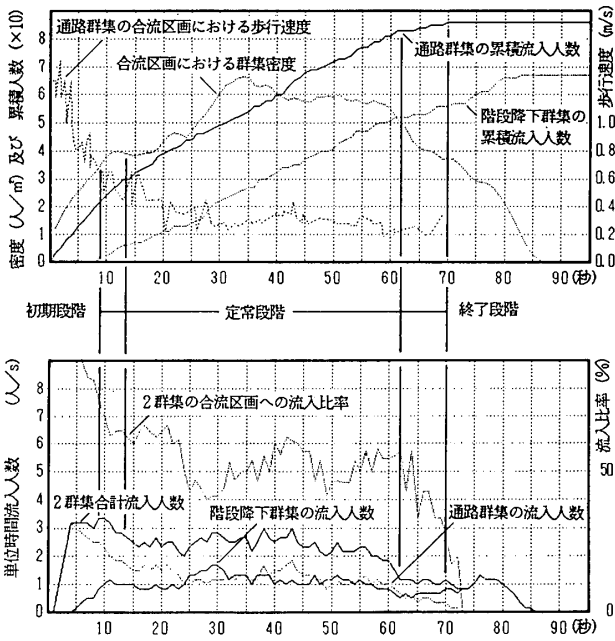


図-4 各指標の時間的推移と流動状態の段階 (第2条件)

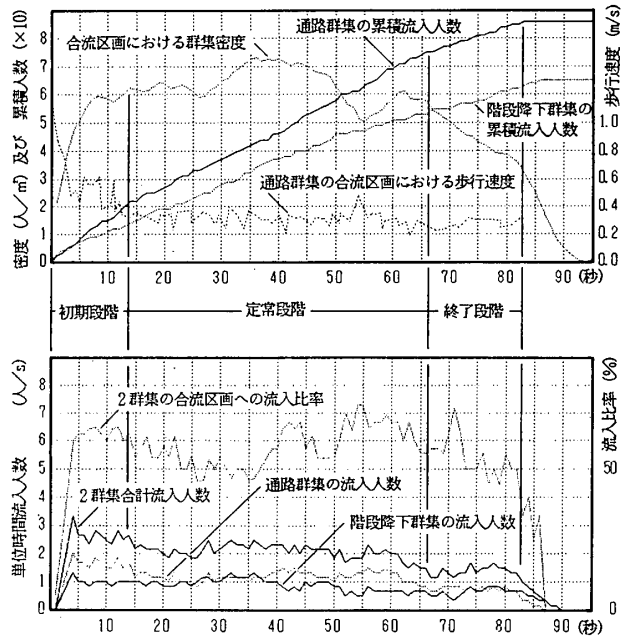


図-6 各指標の時間的推移と流動状態の段階 (第4条件)

[初期段階] 合流場所である踊り場の密度が低密度から高密度へ移行する段階であり、各個人が周囲の流動状態に拘束されず、2群集が比較的自由に合流することが可能なため、2群集の流入状態が非定常な段階。

[定常段階] 踊り場の密度が高密度状態を維持するため各個人が周囲の流動状態に拘束され、2群集の流入状態が均衡を保つ定常な段階。

[終了段階] 両群集または一方の群集が踊り場への流入を完了しつつあり、後続群集からの圧力が減少し、各個人が互いに距離をとることができるようになるため、踊り場の密度が下降をたどり、2群集が比較的自由に合流を行う段階。

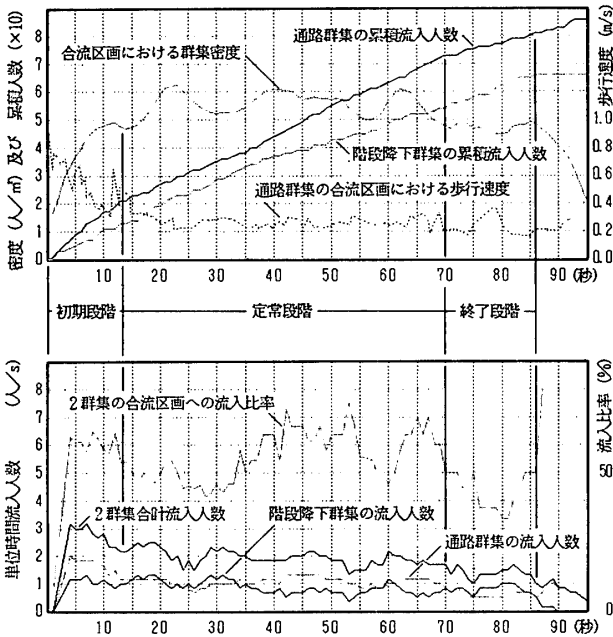
上記の3段階の時間帯を区分するために両群集の累積流入人数を求め、図-3~図-7に示す。これをもとに、各条件における3段階の時間帯を設定する(表-2参照)。

4.3 各段階での合流比率

前項で設定した3段階の時間帯について図-3~図-7より数値を読みとり、単位時間当たりの流入人数(人/s)、流率[流動係数](人/m・s)、流入比率(N_a/N_{a+N_b})、流率合流比率(F_a/F_{a+F_b})を算出した(図-8、表-3参照)。

4.4 結果の考察

群集の流動状態を把握するために、まず群集密度と歩



図一七 各指標の時間的推移と流動状態の段階 (第5条件)

行速度の関係をみる。次いで、合流のタイミングの差、通路と階段室の接続形態の違いによって、通路群集および階段降下群集の合流区画への流入量が左右されるかどうかを流動状態の各段階別にみていく。また、定常段階にみられる周期性の考察を通じて合流のメカニズムをさぐる。

4.4.1 踊り場における群集密度と歩行速度の関係

第1～第5条件における流入開始後の踊り場（合流区画）における群集密度と通路から流入した群集の歩行速度の関係をみるために、通路群集の各被験者が合流区画を通過する時の群集密度と歩行速度のデータを図一九にプロットする。合流状態の3段階のうち、初期段階においては群集密度が0.0～7.0 (人/m²)、歩行速度は0.2～1.1 (m/s) の広範囲に分布している。定常段階においては群集密度が4.0～8.6 (人/m²)、歩行速度は0.2～0.4 (m/s) の範囲に集中している。また、終了段階においては群集密度が定常段階より低下し、3.0～6.5 (人/m²) であるが、歩行速度は定常段階と同じく0.2～0.4 (m/s) の範囲に集中している。全体を通じて、踊り場における群集密度 (ρ) と通路群集の歩行速度 (V) の間には

$$V = 1.14206 \times \rho^{-0.721994} \dots\dots\dots (1)$$

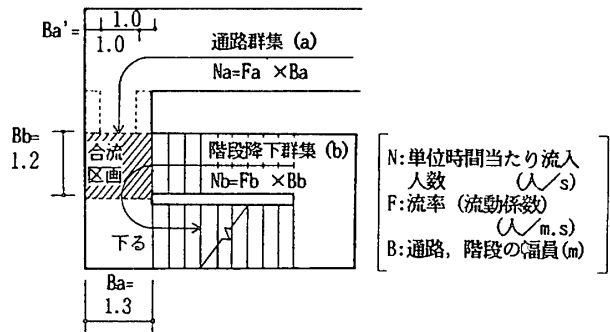
の関係が認められ、(1) 式の係数の値は一般の水平な通路における一方向流に関する木村・伊原式⁵⁾の値と近似しており、標準誤差 4.33499 で相関係数は 0.6719 となっている。

4.4.2 合流のタイミングの違いによる流入量の変化 (第1条件～第3条件)

4.2 で設定した段階別に流率、および、流率合流比率をみることによって流入量をとりえ、実験条件による結

表一 各条件における3段階の時間帯

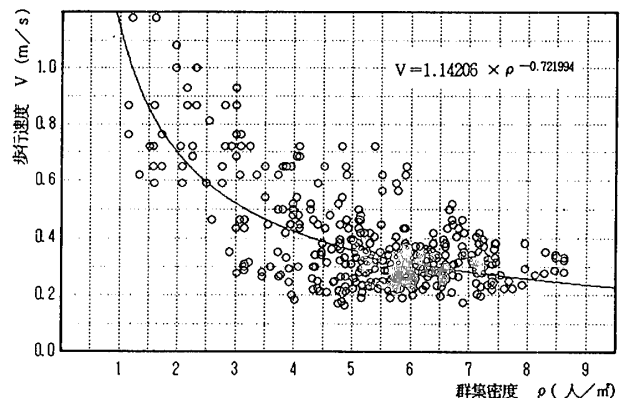
	初期段階	定常段階	終了段階
第1条件	7～17秒	17～55秒	55～62秒
第2条件	8～13秒	13～62秒	62～70秒
第3条件	0～12秒	12～60秒	60～73秒
第4条件	0～13秒	13～66秒	66～83秒
第5条件	0～13秒	13～70秒	70～86秒



図一八 記号の設定

表一三 合流後の2群集の各段階における流入状態

合流後の段階	実験条件	通路群集 (a)		階段降下群集 (b)		2群集合計流入群集		流入流率合流比率	
		Na	Fa	Nb	Fb	Na+Nb	Fa+Fb	Na/(Na+Nb)	Fa/(Fa+Fb)
初期段階	第1	1.50	1.15	1.50	1.25	3.00	2.40	50.0	47.9
	第2	2.00	1.54	1.20	1.00	3.20	2.54	62.5	60.6
	第3	1.67	1.28	0.83	0.69	2.50	1.97	66.8	65.0
	第4	1.54	1.54	1.00	0.83	2.54	2.37	60.6	65.0
	第5	1.62	1.62	1.00	0.83	2.62	2.45	61.8	66.1
定常段階	第1	1.03	0.79	1.05	0.88	2.08	1.67	49.5	47.3
	第2	1.06	0.82	0.94	0.78	2.00	1.60	53.0	51.3
	第3	1.21	0.93	0.75	0.63	1.96	1.56	61.7	59.6
	第4	1.04	1.04	0.75	0.63	1.79	1.67	58.1	62.3
	第5	0.91	0.91	0.74	0.61	1.65	1.52	55.2	59.9
終了段階	第1	0.88	0.67	0.63	0.52	1.51	1.19	58.3	56.3
	第2	0.50	0.38	0.50	0.42	1.00	0.80	50.0	47.5
	第3	0.54	0.41	0.77	0.64	1.31	1.05	41.2	39.0
	第4	0.65	0.65	0.59	0.49	1.24	1.14	52.4	57.0
	第5	0.50	0.50	0.69	0.57	1.19	1.07	42.0	46.7



図一九 合流区画における群集密度と通路群集の歩行速度

果の差について考察する。

[初期段階]

各条件の初期段階での通路群集の流率 (Fa) と階段群集の流率 (Fb) を比較すると表—4 のようになる。

通路群集が先に流入した場合は合流後も通路群集が優勢であり、流率合流比率は 60.6 % となっている。階段降下群集が先に流入した場合は階段群集が優勢とはいっても流率合流比率は 47.9 % で両群集の流率はほぼ等しい。また、同時流入の場合は圧倒的に通路群集が優勢となっている。これは、踊り場の密度が低密度から高密度へ移行する初期段階では、階段降下群集はステップに拘束されて流入速度が制限されるのに対し、通路群集は歩行速度を速めるとともに、容易に密度を高めて踊り場へ流入でき、流入量が增大するためと考えられる。

[定常段階]

各条件の定常段階での通路群集の流率 (Fa) と階段群集の流率 (Fb) を比較すると表—5 のようになる。

定常段階では各条件ともに初期段階に比べて Fa 値、Fb 値の減少が顕著であり、流率合流比率も減少している。この理由として、この段階では後続群集の圧力により踊り場の密度が高密度状態を維持し、それに伴い、合流場所直前の階段降下群集および通路群集の密度も上昇し、両群集とも一定の歩行速度でしか歩行できない状態となるため、両群集とも一定の流入量となり、初期段階のように通路群集が自由に流入できないことによると考えられる。また、各条件の優勢順位は合流のタイミングが異なる第 1, 第 2 条件では両群集の流率はほぼ等しく、合流のタイミングが同時の第 3 条件では通路群集が優勢を示しており、定常段階では合流のタイミングの影響はないと考えられる。第 1, 第 2, 第 3 条件の順に Fa 値は増加し、Fb 値は減少していることから、第 3 条件で通路群集優勢となる理由は慣れの影響がでているとも考えられ、ビデオ観察からも階段降下群集が合流区画への流入を躊躇している様子がうかがわれた。

[終了段階]

各条件の終了段階での通路群集の流率 (Fa) と階段群集の流率 (Fb) を比較すると表—6 のようになる。

終了段階では踊り場の密度が下降をたどり、概して Fa 値、Fb 値ともに定常段階と比べて減少している。この理由として、両群集ともに後続群集が少なくなり、後続群集からの圧力が減少し、各個人が互いに距離をとり、無理をして踊り場への流入を試みようとはしなくなることによると考えられる。

4.4.3 通路幅および通路と階段室の接続形態の違いによる流入量の変化 (第 3 条件～第 5 条件)

4.2 で設定した段階別に流率、および、流率合流比率をみていき、実験条件による結果の差について考察する。

[初期段階]

各条件の初期段階での通路群集の流率 (Fa) と階段群集の流率 (Fb) を比較すると表—7 のようになる (A, B は図—1 参照)。

初期段階では、いずれの実験条件においても通路群集の流入が優勢であり、また、通路全開の第 3 条件と通路の一部を閉鎖した第 4, 第 5 条件とを比較すると、第 4, 第 5 条件の方が Fa 値は高い。この理由として、通路幅の有効利用、すなわち通路幅が狭まっても通路群集は容易に密度を高めて流入できるためと考えられる。

[定常段階]

各条件の定常段階での通路群集の流率 (Fa) と階段群集の流率 (Fb) を比較すると表—8 のようになる (A, B は図—1 参照)。

表—4 初期段階における 2 群集の流率 (第 1～第 3 条件)

	Fa値 (通路)	大小比較 (Fa, Fb値)	Fb値 (階段)	流率合流比率 Fa/(Fa+Fb) %
第 1 条件 (階段先行)	1.15	<	1.25	47.9
第 2 条件 (通路先行)	1.54	>	1.00	60.6
第 3 条件 (同時流入)	1.28	>	0.69	65.0

表—5 定常段階における 2 群集の流率 (第 1～第 3 条件)

	Fa値 (通路)	大小比較 (Fa, Fb値)	Fb値 (階段)	流率合流比率 Fa/(Fa+Fb) %
第 1 条件 (階段先行)	0.79	<	0.88	47.3
第 2 条件 (通路先行)	0.82	>	0.78	51.3
第 3 条件 (同時流入)	0.93	>	0.63	59.6

表—6 終了段階における 2 群集の流率 (第 1～第 3 条件)

	Fa値 (通路)	大小比較 (Fa, Fb値)	Fb値 (階段)	流率合流比率 Fa/(Fa+Fb) %
第 1 条件 (階段先行)	0.67	>	0.52	56.3
第 2 条件 (通路先行)	0.38	<	0.42	47.5
第 3 条件 (同時流入)	0.41	<	0.64	39.0

表—7 初期段階における 2 群集の流率 (第 3～第 5 条件)

	Fa値 (通路)	大小比較 (Fa, Fb値)	Fb値 (階段)	流率合流比率 Fa/(Fa+Fb) %
第 3 条件 (通路全開)	1.28	>	0.69	65.0
第 4 条件 (A位置閉)	1.54	>	0.83	65.0
第 5 条件 (B位置閉)	1.62	>	0.83	66.1

表—8 定常段階における 2 群集の流率 (第 3～第 5 条件)

	Fa値 (通路)	大小比較 (Fa, Fb値)	Fb値 (階段)	流率合流比率 Fa/(Fa+Fb) %
第 3 条件 (通路全開)	0.93	>	0.63	59.6
第 4 条件 (A位置閉)	1.04	>	0.63	62.3
第 5 条件 (B位置閉)	0.91	>	0.61	59.9

表—9 終了段階における 2 群集の流率 (第 3～第 5 条件)

	Fa値 (通路)	大小比較 (Fa, Fb値)	Fb値 (階段)	流率合流比率 Fa/(Fa+Fb) %
第 3 条件 (通路全開)	0.41	<	0.64	39.0
第 4 条件 (A位置閉)	0.65	>	0.49	57.0
第 5 条件 (B位置閉)	0.50	>	0.57	46.7

定常段階では、第3～第5条件を通じて流率合流比率はほぼ60%で、本実験で設定した踊り場と通路の接続形態の違いによる影響は認められない。

[終了段階]

各条件の終了段階での通路群集の流率(Fa)と階段群集の流率(Fb)を比較すると表—9のようになる(A, Bは図—1参照)。

終了段階では、Fa値, Fb値ともに定常段階より減少しており、4.4.2の分析と同様、後続群集に規定されていると考えられる。

4.4.4 定常段階にみられる流入の周期性

各条件ごとに、4.2で設定した定常段階について2群集の踊り場(合流区画)への流入人数の推移(図—3～図—7参照)をみると、定常段階においては両群集ともに踊り場(合流区画)への流入人数(人/s)は一定ではなく、以下に示す2形態の合流状態が認められた。一方は第1, 第2, 第4, 第5条件でみられるように、2群集合計流入人数(人/s)がほぼ一定になるよう両群集の流入量が10～15秒周期で変動する合流状態であり、他方は第3条件でみられるように階段降下流入人数(人/s)が一定であり、合流区画における群集密度が上昇すると通路からの流入量が減少、その結果、合流区画における群集密度が低下し、再び通路からの流入量が増加し群集密度が増加するという合流形態である。

5. ま と め

本研究では、階段室内において上階から階段を降下して避難する群集と通路から階段室に流入して下階に避難する群集が合流する状況を想定し、避難訓練的な実験を行い、2群集合流に関わる要因を探った。その結果、次のようなことがわかった。

(1) 合流のタイミングおよび通路と階段室の接続形態を操作したことによる影響は明確には現れておらず、基本的に通路群集が優勢となる傾向があり、定常段階を通じての流率合流比率(通路流率/通路流率+階段流率)は60%前後となっている。本実験では階段降下群集は通路群集に割り込む状態となり、さらに左折するという方向転換を行っているが、このことが通路群集優勢の一要因と考えられる。しかし、本実験では同一の被験者が

同じ試行を5回連続して行ったので、慣れによる影響も無視できない。

(2) 両群集の踊り場(合流区画)への流入は、10～15秒周期で変動する。

以上は、本実験で使用した特定の建物における避難訓練的な実験による結果である。これを直ちに一般的な結論とすることはできない。現実の緊急避難時の状況により近づけるためには、実験方法、実験順序、被験者への教示内容等、まだまだ修正の余地があり、被験者の疲労、慣れに対する配慮も必要と思われる。また、本実験は階段室内における同時避難の最も基本的なパターンであり、合流後の2群集は下階踊り場で流動を妨げることなく放出させており(図—2参照)、順次合流を重ねていく現実に近い階段降下群集を再現するためには、下階の通路からも群集を流入させる方法などが考えられる。

今後、より一般的な2群集の合流についての解明を進めるためには、様々な階段形状、階段と通路の接続形態の下での合流状況を検討していくことが必要である。

本研究は、昭和59年度日本建築学会大会において発表した内容をもとにしたものである。

謝 辞

本研究に対し、貴重な御助言、御指導を頂いた東京理科大学上原孝雄教授に心から感謝の意を表します。

注

- 1) 上田光雄：多層建築物における同時流出について、日本建築学会論文報告集第67号・1961年2月。
- 2) 吉田治典：建物全体を考慮した避難時間のシミュレーション、日本建築学会大会学術講演梗概集1973年10月。
- 3) 小林正美ほか：建築防災計画のシステム分析<デパートにおける避難シミュレーション>、日本建築学会論文報告集第251号、1977年1月。
- 4) 岡田光正ほか：3次元メッシュによる避難シミュレーションモデルによる高層建築物への適用性、日本建築学会大会学術講演梗概集、1983年9月。
- 5) 木村幸一郎・伊原貞敏：建物内に於ける群集流動状態の観察、(日本建築学会論文集大会学術講演梗概集, p.308, 1937.3)によると、 $V=1.10\rho^{-0.7954}$ であるが、日本建築学会編「建築資料集成3」(丸善)では $V=1.272\rho^{-0.7954}$ (修正木村・伊原式)とされている。

SYNOPSIS

UDC : 614.847 : 72.011.8

AN EXPERIMENTAL STUDY ON CONFLUENCE OF TWO FOOT TRAFFIC FLOWS IN STAIRCASE

by AKIHIKO HOKUGO, KOUSUKE KUBO and
Dr. YOSHITERU MUROZAKI,
Members of A. I. J.

The purpose of this study is to explicate the primary factor regarding the confluence of two traffic flows in staircase. Using an emergency staircase of standardised size, dividing about 150 subjects into two groups. We made these two groups flow into staircase from different floor like an evacuation exercise. As a result of this experiment, the following findings have been obtained.

(1) These experiments show a tendency that flow from corridor become predominant consequently. Throughout during the period of constant flow, "the ratio of flow-rate" (flow-rate from corridor / total flow-rate) is about 60 %.

Further we should like to add that "flow-rate" is defined by the number of person that flow to confluence area per second-meter.

(2) Flow-rate of each group moves 10~15 seconds cycle.

In this experiment, the influence of habituation cannot be disregarded owing to the same subjects behave same trial for five times continuously.