

地下浸水時の救助・救援活動に関する考察 A STUDY ON RESCUE OPERATION IN INUNDATED UNDERGROUND SPACE

馬場 康之¹・石垣 泰輔²・高木 寛次³・西本 弘幸³
Yasuyuki BABA・Taisuke ISHIGAKI・Hirotsugu TAKAGI・Hiroyuki NISHIMOTO

Severe urban floods have been caused by heavy rainfalls and typhoons in recent years in Japan. In the case of urban flooding, inundation in underground space often happened and human damage unfortunately occurred in the past. To reduce the damage due to inundation in underground space, needless to say, early evacuation is one of the most important measures, and rescue operation is one of effective means as well to alleviate human suffering. In order to investigate concrete details about rescue operation in inundated underground space, rescue practices by rescue workers and firefighters were carried out using a real-scale staircase model. The objectives of this study are to present an overview of the rescue practices and to clarify the issues of the rescue operation in the actual situation. It is found from the practices that the clothing under the operation has considerable influence to moving up and down on the staircase. Proper rescue method is also required according to the condition of the victims. Additionally, the countermeasure against ever-changing situations (expansion of inundated area, water depth, etc) is important for the real rescue operation.

Key Words : Inundation in underground space, rescue operation, evacuation, stairway

1. はじめに

人口、資産の集積する都市域における地下空間の有用性は言うまでもなく、その利活用については大都市部を中心に活発に行われている。しかしながら、地下という深い位置にあるために、水害発生時には氾濫水が流れ込みやすく、結果的に大きな被害につながる可能性が懸念されている。水害時における地下空間での危険性に関しては、模型および実物大の実験装置を用いた実験的検討や数値シミュレーションモデルによる氾濫状況の解析などが行われ、避難行動時の危険度評価に資する結果が示されつつある^{1), 2), 3)}。

上述の通り、地下空間は、その特性ゆえに水害時の危険性を内包しており、過去にも人的被害発生などの事態が生じている。高度に発展しつつある地下空間において、ひとたび地下浸水発生すると、利用車ならびに関係者を中心として被災者の発生及び救助・救援活動が必要となる状況が想定される。また、水防法の改正（平成17年）により、地下空間の浸水時における避難確保計画の作成が定められた⁴⁾。今後、予想される防災体制の強化においても、上述の避難確保計画と連携する形での救助・救援活動に関する具体的な整備が進展することが望まれる。

本研究では、地下浸水時の被害発生に伴う救助・救援活動を念頭に、実物大の階段模型を用いた救助・救援の訓練活動の概要について示すとともに、訓練時および訓練後のヒアリングなどを通じて浮き彫りとなった点などについて考察を行うものである。

キーワード：地下浸水，救助・救援活動，避難，階段

¹正会員 京都大学助手 防災研究所流域災害研究センター

²正会員 関西大学教授 工学部都市環境工学科

³ 京都市消防局

2. 救助訓練の概要

実物大階段模型（京都大学防災研究所・宇治川オープンラボラトリー内）を用いた、京都市消防局による救助活動に関する訓練は下記に示すように2度実施されている。それぞれの訓練の概要は以下のようである。

救助訓練1（レスキュー隊員を含む総勢20名程度が参加）

●レスキュー隊員による、浸水時の階段における移動、および被災者救助の訓練

- ・流水中の階段を通じての被災現場への移動（安全性の確認）
- ・被災者（人間型の人形）の救助方法
被災現場での被災者の確保
安全な方法での救出（担架状の器具による被災者の救出）
- ・服装（特に足元周り）の違いによる、移動しやすさの確認
通常の制服、防火服、素足、ウェットスーツ&ブーツ、沢登り用ブーツ等

救助訓練2（レスキュー隊員を含む総勢20名程度が参加）

- 未体験の隊員による階段昇降の体験
- 階段の移動方法に関する訓練
複数（5名程度）が前後に並んだ状態で移動（昇降）
安全帯を装着しての移動訓練（昇降）
- 被災者の救助方法に関する訓練
1名の隊員が、1名の被災者を背負って移動（救助法Ⅰ）
2名一組、左右から被災者を抱えて移動（救助法Ⅱ）
4名一組、被災者を前後2名ずつで守る形で、一列で移動（救助法Ⅲ）
4名一組、前2名が流勢を弱め、後2名が被災者を抱えて移動（救助法Ⅳ）
自立できない被災者を、担架状の器具に乗せて引き上げ（救助法Ⅴ）

最初の訓練（救助訓練1）は、全ての参加者にとって流水中の階段での訓練が初めてであったため、流水時の階段昇降動作の確認や、服装による階段昇降動作への影響の確認が主となった。2回目の訓練時（救助訓練2）には、初めての参加者の体験実験に加えて、実際の救助活動を想定した安全な階段昇降および被災者の救出方法を、階段模型上で実際に試すこととなった。

訓練で使用された実物大階段模型（図-1）は、高水槽と地上を想定した平坦部、高低差3mの階段部（全20段、踏み板長さ0.3m、蹴上げ高さ0.15m）、および踊り場、水路部から構成されており、幅は1mである。高水槽から平坦部を通り階段を流下した水は、水路および踊り場下の4箇所の排水口より低水槽に戻り、

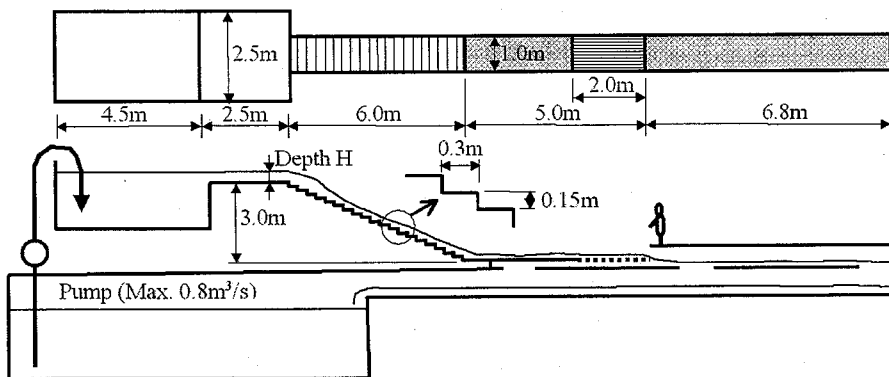


図-1 実物大階段模型の概要

4台のポンプにて最大 $0.8\text{m}^3/\text{s}$ までの流量が高水槽に循環される。実験では、高水槽の平坦部での水深を地上での氾濫水深（図中、Depth H）として条件設定を行った。

なお、訓練の実施にあたっては、階段昇降時にロープで隊員の安全を確保するなど、訓練中の安全には十分に配慮された中で実施された。

(1) 流水中の階段の昇降

写真-1は、流水中の階段を昇降する様子であり、実物大階段模型の未体験者に対する最初の体験時のものである。実験条件は地上での氾濫水深が 0.3m 程度で、この条件では階段の下端では流速が約 4m/s に達する（図-2）。この条件はこれまでの体験実験の結果¹⁾から、一般人の階段を通じての避難が困難になる水深である。訓練に参加した隊員は、全員昇降が可能であったが、写真にあるように下る際に手すりを使用する場合も見られた。

写真-2は、階段下端部でロープにより姿勢を確保する様子である。上述のように、地上の氾濫水深が 30cm 程度の場合、階段の下端での流速が 4m/s 程度となり、氾濫水深が 40cm になると流速は 5m/s を超える。

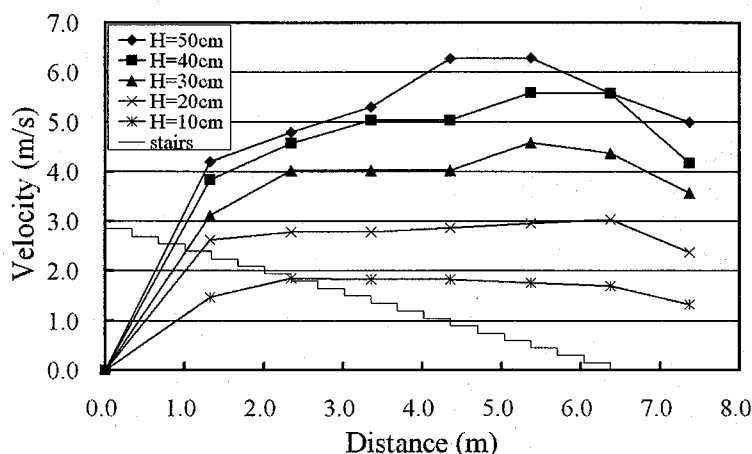


図-2 階段上の流速分布（横軸：階段最上部からの距離）



写真-1 流水中の階段昇降の様子



写真-2 隊員の姿勢確保の様子

このように流速が非常に大きくなる状況下での救助活動時には、隊員の姿勢の確保は欠かせず、状況に応じた形での方策が必要となる。ただし、地上からの氾濫水が流れ込む階段では、水以外の漂流物も合わせて流れ込むことが予想されるため、姿勢を確保しつつもある程度の安全のための回避行動は取れる方が望ましいと思われる。

(2) 階段移動時の服装について

過去に実施された避難に関する体験実験において、服装の条件、特に足元周りの着衣条件の違いにより、階段上での移動のしやすさに違いのあることが確認されている¹⁾。今回の訓練においては通常の制服に加えて、4種の服装（防火服、素足、ウェットスーツ&ブーツ、沢登り用ブーツ）による移動のしやすさの確認が行われた。

素足は足元に加わる流体力が最も小さくなる状態であり、訓練時にも確認されている。しかしながら、現場を想定した場合、足元を負傷する可能性が大きいため、安全性の面から適用は難しいと思われる。

防火服は、ここで試された全5種の着衣条件の中で最も移動が困難であることが確認された。火災に対しては有効である防火服も、流水中では流水に対する投影面積が大きくなるために過大な流体力が足元に作用する結果となり、他の服装に比べて移動が難しい状況となった。

流水中の階段を移動する服装としては、今回の訓練ではウェットスーツが最も適したものであり、さらには沢登り用ブーツが足元の安定により有効性のあることが確認された。このように救助活動時の服装が、階段での移動に大きく影響することから、発災時の状況をよく把握して服装を選択すること、および、より適切な服装準備の重要性が示された。

(3) 階段の移動方法に関する訓練

本節では、複数人数での移動に関する訓練の状況について示す。まず、5人1組で階段を昇降する様子が写真-3である。ここでは、5人ができるだけ固まった状態で移動することで、移動時の安全性を確保しようと試みている。今回の訓練時には、左右の足の運びを全員で合わせていたために、昇降速度があまり大きくない。この移動方法では、最も上段に位置する隊員が流水の矢面に立つことで、他の隊員に作用する流勢を弱める利点を有する一方、最上段の隊員への負担が大きくなる点、また同隊員のスリップ、転倒時には他隊員にも影響する点などに注意を要する。

写真-4は、2名の隊員が1本のロープを介して、それぞれが階段を昇降する様子を示している。この方法は救助隊員の移動だけではなく、被災者の救助時にも利用できる可能性がある。ただし、この方法は、階段形状により適用性が左右される（今回のような直線階段には適用しやすい）ほかに、流水中のロープ操作等の課題も残されている。

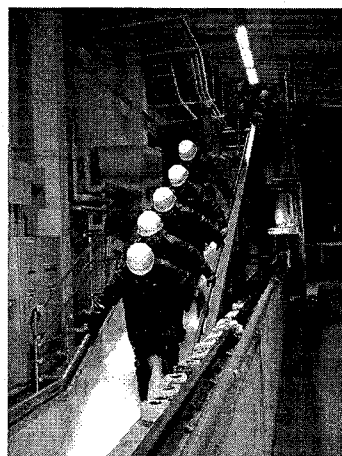


写真-3 階段の移動方法（5人1組）

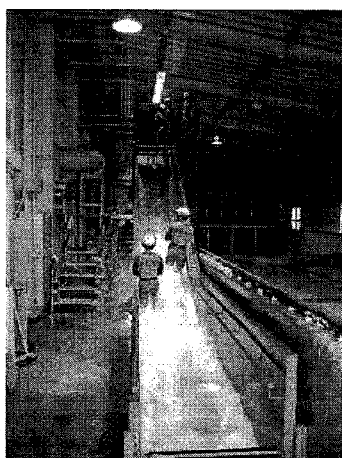
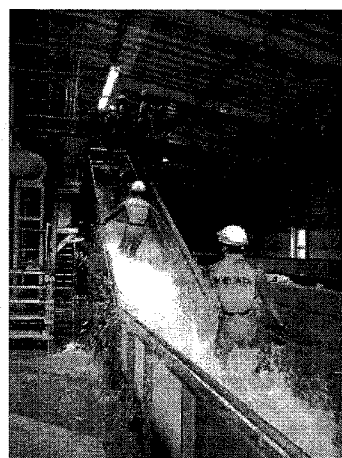


写真-4 階段の移動方法（ロープ使用）

(4) 被災者の救助方法に関する訓練

今回の訓練では、被災者の救出方法について、隊員の人数、被災者の歩行の可、不可に応じた全5種類の救出方法の訓練が行われた（上述訓練概要参照）。

最初に、1名の隊員が1名の被災者（歩行不可）を背負って移動する状況（救助法I）を写真-5に示す。この方法は、器具を使わない救助方法（救助法I～IV）の中で、最も移動速度が速い結果となった。これは、複数の隊員による救助方法の場合、隊員同士が移動に際して相互に確認を取る必要があり、結果的に集団としての移動速度が遅くなるためである。ただし、1名の隊員による救助が速やかに行われるのは、被災者を背負った状態の救助隊員に十分な余裕があり、なおかつ階段上の流水による昇降への影響が少ない状況であることが条件となる。また、不慮の事態の状況下では、適切な対応が取りづらいのも本救助法の難点の一つである。

写真-6は、2名の隊員による被災者1名（歩行不可）の救助の様子（救助法II）である。先にも述べたように、この方法は隊員1名による救助よりも移動速度は遅い結果となったが、各隊員への負担は軽減されている。また、不慮の事態への対応も可能となる利点がある一方で、現場での階段移動時には片方の隊員のみ手すりが使えらる状況になることが予想される（実際の階段幅は今回の階段模型よりも大きい場合が多い）ので、隊員間での動作のアンバランスには注意を要する。



写真-5 被災者の救助方法（隊員1名、被災者1名）

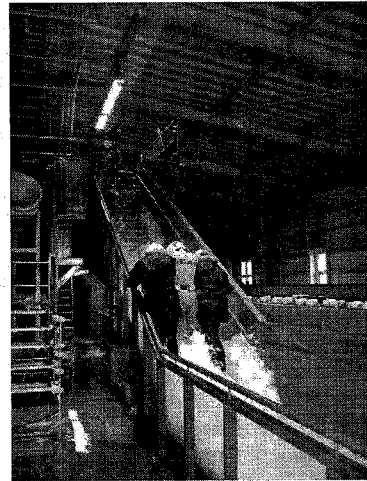
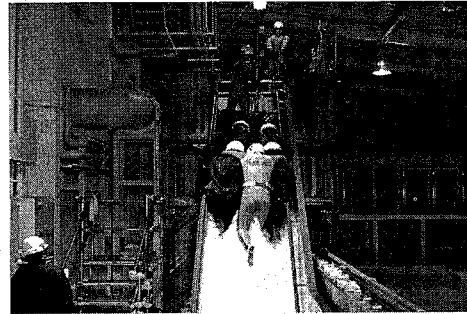


写真-6 被災者の救助方法（隊員2名、被災者1名）



(a)



(b)

写真-7 被災者の救助方法（隊員4名、被災者1名）

写真-7には、4名の隊員による被災者1名（歩行可、不可）の救助の様子（救助法III、救助法IV）を示す。写真-7（a）は被災者が歩行可能の場合であり、先導する隊員の後を付いて移動する形で、隊員が被災者を前後から囲むように位置している。被災者が歩行不可能の場合（写真-7（b））には、2名の隊員が被災者を抱え、残り2名の隊員が先導する形で移動している。いずれの場合も、集団としての移動速度が遅くなりがち（特に被災者も歩行する場合）であるのが難点であるが、両方法とも先導する隊員が存在し、被災者への流勢をある程度緩和できる利点があり、漂流物の流入などの不測の事態にも対応が可能である。ただし、その場合先導役の隊員の安全確保の手段が必要となる。

次に、歩行不可能な被災者を、器具を使って救助する方法（救助法V）について示す（写真-8）。今回使用されたのは、担架に浮体を取り付けた簡易な器具ではあるが、今回の条件下では、被災者を載せた状態で救助隊員の支持が無くても安定な状態を保てることが確認された。実際の救助活動時には、隊員もしくはロープ等による器具の支持が必要であり、また階段形状が直線でない場合には、引き上げロープの操作、器具の安全な移動のための隊員の配置が必要となる。

最後に、歩行可能な被災者に対する別の救助方法を写真-9に示す。この方法は被災者がある程度自力で避難可能であることを前提に、複数の隊員が隊列を組み、流勢を弱めた部分すなわち避難路を作り出そうとするものである。訓練時の状況では、十分な避難路（写真中、階段右側）を作り出すに至っていないが、流水中の階段に避難の難しくない領域を確保するという考え方は、階段を通じた避難、救助活動を行う上で有用性の高いものと考えられる。

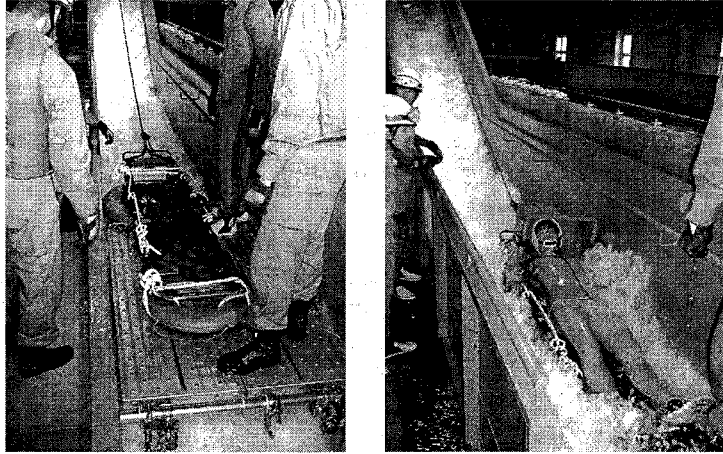


写真-8 被災者の救助方法（器具使用）

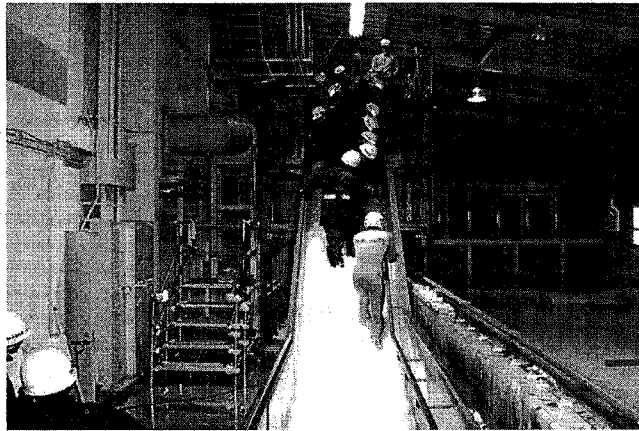


写真-9 被災者の救助方法（避難路の確保）

3. 訓練を通じての考察

今回実施された訓練は、地下浸水発生時の救助方法に関する数少ない訓練の一つである。上に示した訓練の内容から、次のような考慮すべき項目が挙げられる。

●救助隊員の服装

服装の違いにより、階段を移動中に受ける抵抗が大きくなる場合があり、速やかな移動に対しての影響が予想されるため、浸水被害発生時を想定した適切な服装が必要である。特に火災防御活動に適した防火服のような服装では、流水中で受ける抵抗が大きくなるため、救助・救援活動に支障がでることが予想される。

●階段等の経路を通じての現場への移動

救助・救援活動の場合、地下へ流入する氾濫水と同じ方向（上から下）に移動することになる。今回の訓練を通じて、階段を降りる動作が上る動作よりも危険性を感じることが確認され、安全な移動方法の確立が求められる。

また、訓練時に実物大階段模型で使用できた“手すり”は、現場では片側のみしか利用できないと想定されるので、実際の救助・救援活動は今回の訓練よりも一層困難な状況に直面することが予想され

る。そのため、被災現場へ移動する過程での階段部および流水速度の大きな場所（例えば、階段下の踊り場等）での救助隊員および被災者の移動については、十分に安全に配慮する必要がある。

●被災者の救助方法について

被災者の状態により、適用できる救助方法が異なるため、避難路、被災者の状況の応じた適切な方法を採用することが大切である。今回の訓練においても、いくつかの救助方法が試されたが、実際の階段部分は幅が広く、階段、通路を含めた避難路全体の形状、手すりの有無など実情を十分に勘案した救助方法を確立する必要がある。

なお、現場への移動、救助活動中を通じて、救助隊員自身の安全性の確保も十分に勘案されるべきである。また、地下の深い位置での救助活動においては、潜水作業を伴う可能性がある。この場合には、潜水機材の準備、現場への搬送などを効率よく行うとともに、潜水作業に対する地下空間内の位置情報の提供ならびに通信手段の確保などを構築する必要がある。

4. おわりに

本研究では、2回にわたって実施された地下浸水発生時を想定した救助訓練について、訓練の概要と訓練から浮き彫りとなった点などについて示した。

前述のように、地下空間浸水時の救助活動を想定した場合、救助活動時の隊員の服装、流水中の階段での移動方法ならびに被災者の安全な救出方法について、それぞれ状況に応じた適切な方法を検討する必要があることが確認された。また地下浸水時には、時々刻々と変化する地下での浸水状況への対応が要求されるほか、場所により流速、水深等の異なる流水中での救助活動となること、不慮の事態の発生などにより、想定された救助活動に対する不確実性が生じる可能性がある。地下浸水時を念頭においた救助活動方針の策定においては、これらの諸問題を勘案しながら、被災者、隊員双方にとって安全性の高い方法を検討する必要がある。

謝辞：本訓練の実施に際して、ご協力いただきました京都大学防災研究所・戸田圭一教授ならびに都市耐水研究室のみなさま、また関係者各位に謝意を表します。

参考文献

- 1) 石垣泰輔・戸田圭一・馬場康之・井上和也・中川一・吉田義則・多河英雄：実物大階段およびドア模型を用いた地下空間からの避難に関する水理実験，京大防災年報第48号B，pp.639-646，2005。
- 2) 戸田圭一・岩村真理・間島真嗣・石垣泰輔：都市水害時の地下浸水の危険性について，地下空間シンポジウム論文・報告集，第11巻，pp.163-170，2006。
- 3) 石垣泰輔・戸田圭一・馬場康之・井上和也・中川一：実物大模型を用いた地下空間からの避難に関する実験的検討，水工学論文集，第50巻（on CD-ROM），2006.3。
- 4) 水防法研究会 編：逐条解説 水防法，ぎょうせい，2005。