

1.5 避難行動における限界条件の設定

廊下や居室等、地下フロアを避難する際の歩行限界水深及び地上に脱出するための階段を避難する際の歩行限界水深は、避難安全検証を行う上で最も重要な指標である。

地下空間の構造等により異なると考えられるが、以下に考え方の一例を示す。

1.5.1 浸水している廊下・居室等を避難する際の限界条件

地下空間の浸水時における廊下や居室等を避難する際の行動限界水深は、歩行困難水深及び水圧でドアが開かなくなる水深などから 30cm と設定できる。

(1) 歩行困難水深

伊勢湾台風の際に、避難した人のアンケート結果より大人で 70cm 以下、女性では 50cm 以下の場合が避難可能な浸水深となっている。また、小学校 5～6 年生では、水深 20cm 以上になると避難が困難になるというデータもある。

洪水時に避難行動を安全に行うためには、洪水の程度（浸水深と流速）と歩行の危険性との関係をあらかじめ知っておく必要があり、実際の避難行動に近い状況を想定した水中歩行実験が行われている。流水の大きさと歩行の安定性については、成年男子の場合、水深が膝程度（40～50cm 程度）の時には、流速がある程度あったとしてもゆっくりであるが安定して歩け、水深が股下程度（80cm 程度）の時には、大きく影響を受け歩きづらくなっている。これらの結果が下図である。

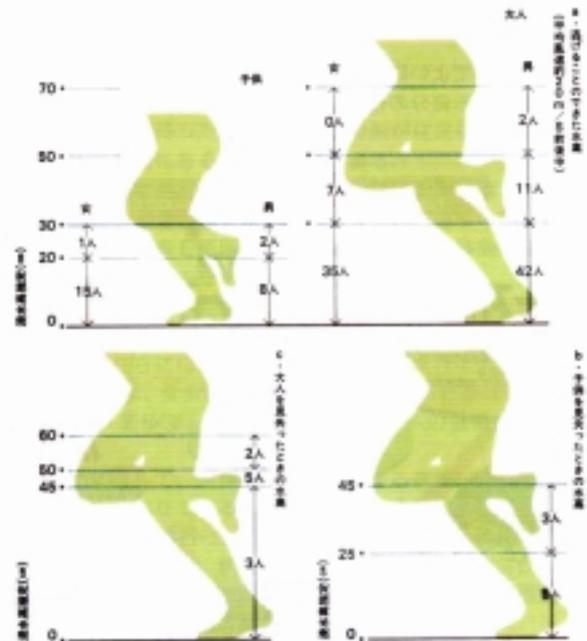


図 G-6 洪水中に逃げることでできた水深

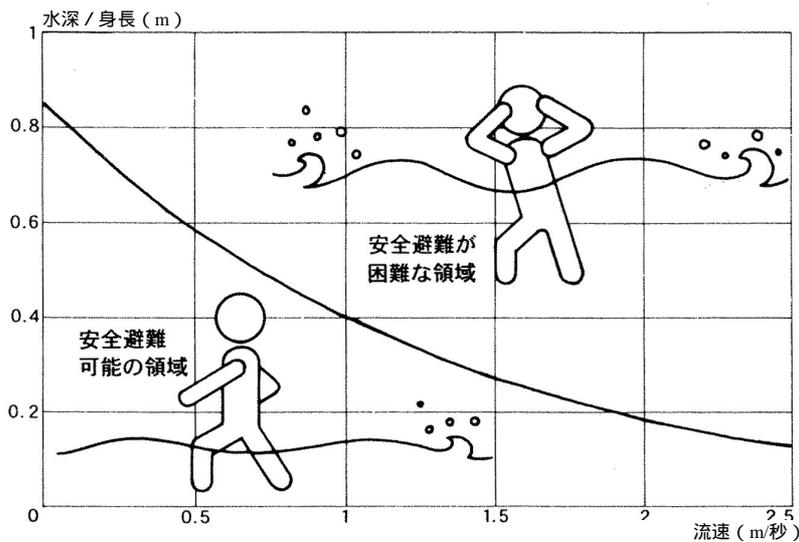


図 G-7 洪水避難時に水中歩行できる領域

(2) 水圧でドアが開かなくなる水深

浸水によって地下空間への入口前の狭い空間に水が溜まり、その部分が所定の深さになる時間は、地下空間全体が同じ深さになる時間に比べてきわめて短くなる。それに伴い、そのドアの内外に水位差が生まれドアが開かなくなる。

ドアが開かなくなる水深は、以下の検討結果より外開き扉の場合（26cm）内開き扉の場合（47cm）である（健常者で設定したものであり、身体に障害を持った人の場合はそれを勘案する必要がある）。

(1) 外開き扉の場合

例えば、図9のように外開きの扉の場合を考えましょう。流入してくる水が扉の外側の前室に溜まり、部屋の中との間に水位差 h （前室の水位 h_1 、内部の水位 h_2 、 $h=h_1-h_2$ ）があるとし、地下室から避難するためには水圧に抵抗してドアを押し開けなければなりません。この場合には、少なくとも下式で計算される以上の力を加えて扉を開ける必要があります。

$$f = \frac{w \cdot d \cdot (h_1^2 - h_2^2)}{4}$$

- f : 扉を開けるために必要な力
- w : 水の重量 (= 1000kg重/m³)
- h_1 : 前室の水位
- h_2 : 建物内部の水位
- d : 扉の幅

人間が扉を開放するために押すことのできる力は、成人で10～20kgf、老人・子供では最低4～6kgf程度とされています。仮にこの力を15kgfと仮定し、建物内部に浸水がない（ $h_2=0$ ）ものとして上式から計算すると、この力で押しても外開きの扉が開かない水位差は、26cm程度となります。

前に説明した水の流入時間に関する計算例を応用して、外部につながる扉の前室に流入する水深が26cmになる結露を前と同じ条件（水面の上昇速度：10分間当たり20cm、ステップ高さ：0m、前室の面積と地下室への入口の幅の比：10m）で計算してみると4分強となります。地下に浸水が始まってからわずか4分程度で、外開きの扉を開けることができなくなるのです。

(2) 内開き扉の場合

では、図10のように内開きの扉であれば水圧に逆らって扉を開ける必要がないため、扉は開けられるでしょうか？ 答えは外開き扉と同様、浸水が始まってから比較的早い段階で“ノー”となってしまいます。その理由は、水位差によって発生した扉にかかる水圧によって扉の閉鎖を制しているデッドボルト・ラッチボルトに大きな力がかかるため、デッドボルトを開閉するサムターン、ラッチボルトを開閉するドアノブを人の力で回すことができなくなるためです。デッドボルトなどの用語は図11を参照して下さい。

例えば、水圧によってデッドボルト部分に横から50kgfの力が加わったとすると、デッドボルトを開けるためにサムターンを50～60kgf・cmの力で回す必要がありますが、女性の場合、一般にはサムターンを回す力は10～20kgf・cm程度といわれています。

また、デッドボルトによる機能がされていない場合でも、ドアノブを回転させてラッチボルトを抜かなければ扉は開きませんが、ラッチボルト部分に水圧によって横から50kgfの力が加わると、ラッチボルトを開けるためにはドアノブを40～50kgf・cmの力で回す必要があります。女性の場合、ドアノブを回す力は一般的に20～30kgf・cm程度といわれています。

いずれにしても、ドアノブ部分に50kgfの力が加わると、内開きの扉であっても開けることは困難です。外開き扉のところでも示した式を用いると、建物内部の水位がないものとした場合、ドアノブ部分に50kgfの力がかかるのは扉の前後の水位差が47cm程度となりますから、外開き扉の場合と同じ浸水ケースを考えると、水の流入に要する時間は5分強程度しかありません。

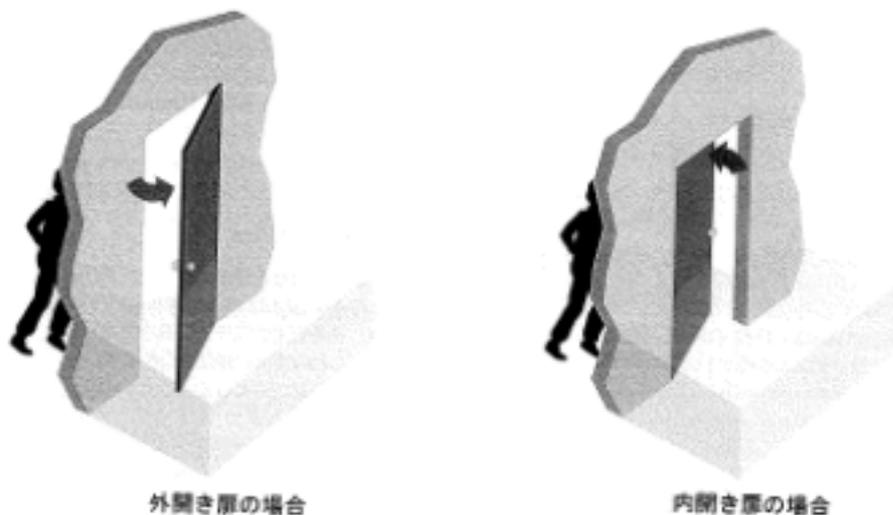


図 G-8 外開き、内開きの特徴

(財)日本建築防災協会「浸水時の地下室の危険性について」パンフレット

1.5.2 はん濫水が流入する階段を避難する際の限界条件

地上からはん濫水が流入する階段を避難する際の行動限界水深は、以下に示す実験式より設定している。

国土技術政策総合研究所（旧建設省土木研究所）が実施した実物大模型による歩行実験結果によれば、階段踏面の u^2h が $1.5(\text{m}^3/\text{s}^2)$ 程度以上になると足をとられ、歩行が困難になることが報告されている。

ここで、 u^2h は流体力をあらわす指標である。

$$\text{流体力} = u^2h$$

：水密度 ($0.102\text{ts}^2/\text{m}^4$)

u ：階段断面上の流速 (m/s)

h ：水深 (m)

また、図 G-9 に示されるように階段上の u^2h が 0.5 から 1.0 の間で、被験者の歩行の様子が「容易に歩く」から「おずおずと歩く」に移行している。

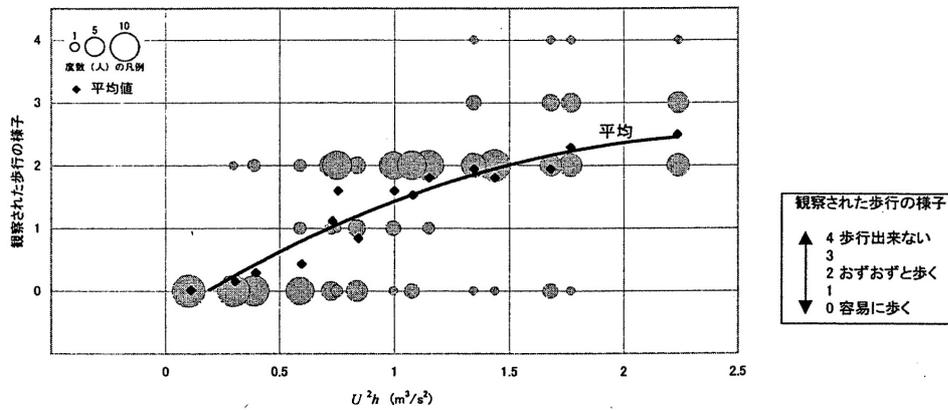


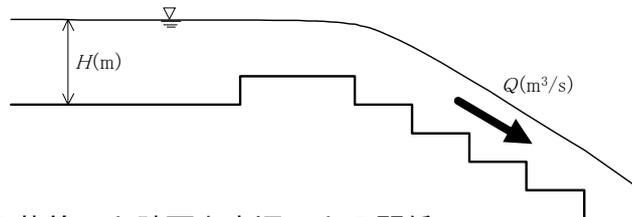
図 G-9 階段上の u^2h と観察された被験者の歩行の様子との関係
(国土交通省国土技術政策総合研究所の実験結果による)

一方、地上から地下への流入量と階段上の流れは、模型実験結果によれば以下の関係式で表すことができる。

地上浸水深 H と流入量 Q との関係

$$Q = 1.59BH^{1.65}$$

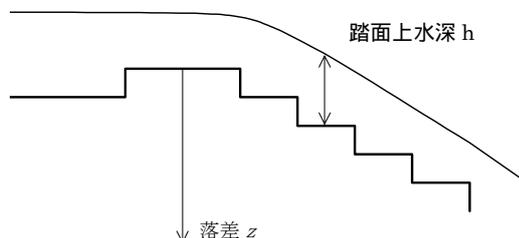
(B は階段出入口の幅、地上出入口にステップ有)



階段最上階からの落差 Z と踏面上水深 h との関係

$$h = 0.2305q^{0.9728}Z^{-0.4021}$$

ただし、 q は単位幅流量 (m^2/s) である。



以上より階段最上部の越流水深、階段最上階からの落差および u^2h の関係を図 G-10 に示すが、これらから行動限界水深および行動困難水深をそれぞれ 30cm、20cm と設定する。

- 行動限界水深（足をとられ歩行が困難となる）
 u^2h 1.5 以上 ... 越流水深 30cm
- 行動困難水深（おずおすと歩くようになる）
 u^2h 0.5 ~ 1.0 ... 越流水深 20cm

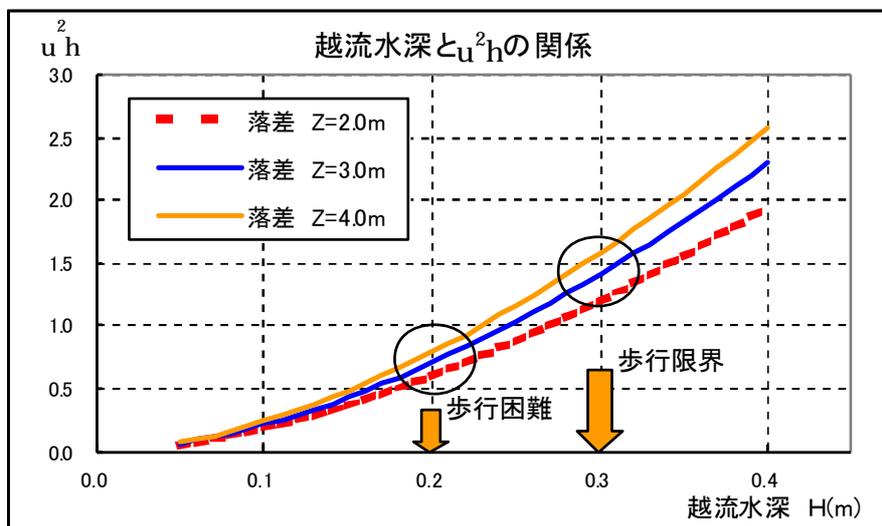
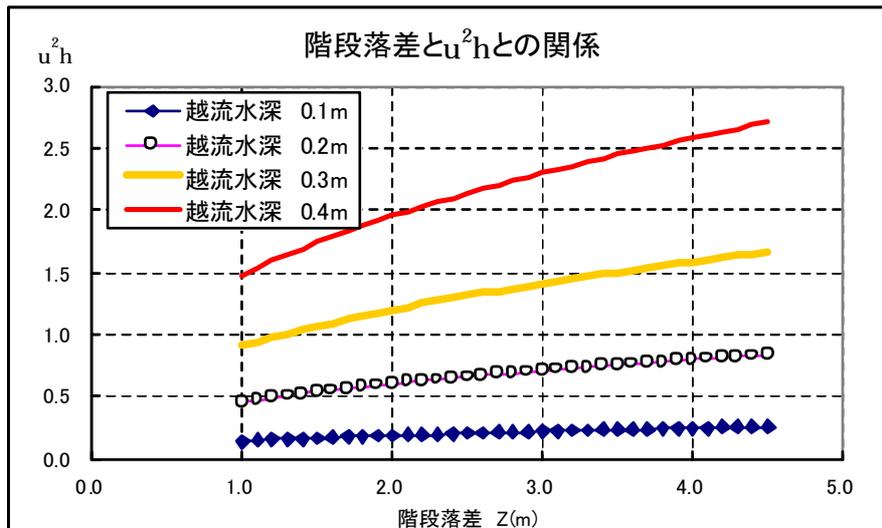


図 G-10 越流水深・階段落差・ u^2h の関係図