

地下空間の浸水対策としての樹脂製止水板の有効性に関する研究

EXPERIMENTAL STUDY ON EFFECTIVENESS OF SYNTHETIC RESIN FLOOD BOARD FOR PROTECTING UNDERGROUND INUNDATION

井上 貴央^{1*}・浮島 徹²・戸田 圭一³・石垣 泰輔⁴

Takahiro INOUE^{1*}, Toru UKISHIMA², Keiichi TODA³, Taisuke ISHIGAKI⁴

Sandbags, flood board made with wood, metal or synthetic resin are used to protect underground inundation caused by heavy rainfalls. To prevent the intrusion into underground spaces during pluvial flooding, quick and easy set-up of flood protection tools is important. It is need to set these tools as soon as possible. In this paper, the effectiveness of flood protection tools is discussed on the basis of experimental results by using sandbags and two kinds of flood board. Set-up time, volume of water leak and deformation were measured in the cases of still and running water conditions. From the results, it is found that a flood board made with synthetic resin is easy to set up in a short time and the volume of water leak is negligible.

Key Words : *pluvial flooding, underground inundation, flood protection tool, sandbag, wood board, synthetic resin board*

1. はじめに

近年、気候変動やヒートアイランド現象が要因と考えられる都市部を中心とした非常に激しい降雨現象が多く発生している。

このうち局地的かつ短時間的に発生する猛烈な降雨はゲリラ豪雨と呼ばれており、突発的に発生し予測が難しいことから、しばしば雨水の排水処理能力を超えることによる浸水被害（内水氾濫）や河川氾濫による浸水被害（外水氾濫）が発生している。

このような状況を踏まえて、国土交通省によって水防法が改正され、各自治体での浸水対策に対する取り組み意識が高まり、地下街などにおいては避難確保や浸水防止に関する計画が策定されている。

その浸水防止対策のひとつとして止水装置の設置があげられる。止水装置はゲリラ豪雨発生時又は発生が予想される際に建築物や地下構造物の出入りに設置し、内部への水の侵入を防止する目的で使用されている。

本研究では、浸水対策として使用されている一般的な止水装置である土のうをはじめとする様々な止水装置について、止水性能などの止水装置に要求される特性についての検討、評価並びに検証を行い、浸水対策としての各止水装置の有効性を評価することを目的とする。

2. 止水装置に関する検討

(1) 実験の概要

ゲリラ豪雨発生直後、直ちに止水装置を地下空間への出入りに設置することは、地下空間での浸水被害を未然に食い止めるうえで非常に重要である。

しかしながら、止水装置は様々な構造形式のものが流通し、その装置の評価は各製作会社の独自基準に基づいて実施されているのが現状である。

そこで本検討として、様々な止水装置に関して、1) 設置作業時間、2) 漏水量、3) たわみ量を実際で使用される環境となる実規模レベルの実験を行い、地下空間の出入りに設置される最適な止水装置の選定を行った。

キーワード：内水氾濫、地下浸水、浸水防止設備、土のう、角落し、樹脂製止水板、

¹正会員 防災レジリエンス BU タキロン（株） Disaster Prevention, TAKIRON CO., LTD. (E-mail:t-inoue@takiron.co.jp)

²正会員 防水扉 PJ総括リーダー シバタ工業（株） Disaster Prevention, SHIBATA INDUSTRIAL CO., LTD.

³フェロー会員 教授 京都大学大学院工学研究科 Professor, Graduate School of Engineering, Kyoto University.

⁴正会員 教授 関西大学環境都市工学部 Professor, Faculty of Environmental and Urban Engineering, Kansai University.

(2) 止水装置の種類

本実験に用いた止水装置を表-1に示す。試験に使用した止水装置は、地下施設の出入り口に設置されている一般的な構造である3種類のものとした。

土のうは、写真-1に示すように最も一般的な止水装置であり、布袋に土や砂を充填し、それぞれを積み上げて使用するものである。

木製の止水板は、写真-2に示すように従来より使用されている止水装置である角落しタイプを採用した。角落しタイプは、数枚のせき板を必要な高さになるように配置し、くさびなどを使用してせき板が浮き上がらないように固定して使用するものである。なお、本研究では、止水板（木製）を3枚使用し、高さ500mmまで対応できるようにした。また、くさびで固定する場合は、止水板（木製）の表面のうち水槽の壁面に接する部分と、止水板の外周に止水パッキンを装着した止水板（木製）を使用した。くさびで固定しない場合は、止水パッキンのない止水板（木製）を使用した。

樹脂製の止水板は、写真-3に示すように止水板本体にハンドルが設けられており、専用の枠材に固定して使用するものである。なお、本研究では、止水板（樹脂製）を2枚使用し、高さ1000mmまで対応できるようにした。

表-1 止水装置の諸元表

名称	寸法形状(mm)	重量(kg)
土のう (1個)	400×300 ×100	18
止水板 (木製)	1495×210 ×45	4.6
止水板 (木製) 3枚	1495×630 ×45	13.8
止水板 (樹脂製)	1500×540 ×60	12.2
止水板 (樹脂製) 2枚	1500×1015 ×60	24.2



写真-1 土のう



写真-2 止水板 (木製)

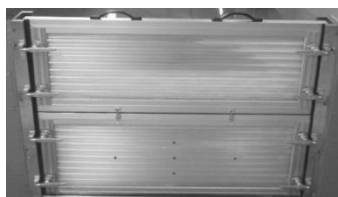


写真-3 止水板 (樹脂製)

(3) 止水装置の設置作業性評価

a) 実験方法と測定項目

本実験は、写真-4に示すようにコンクリート製でコの字型に設計された水槽を使用し、水槽の開口部に表1に示す各止水装置及び金属製の止水板を想定して止水板（樹脂製）が20kgとなるように重りを取り付けた止水板（模擬金属製）を設置した。

設置時間については、土のうであれば布袋に砂を充填している状態として、各止水装置とも予め設置場所直近に準備されている段階から設置完了までの時間とした。

また、土のうの積み方としては、一段目が5袋×3列、二段目が6袋×2列、三段目が5袋×1列で高さが約300mmになるように積んだ。（以降ピラミッド積みと定義する。）止水板（木製）の設置方法としては、開口部に止水板（木製）を3枚上積み設置し、くさびによって固定した。

なお、各止水装置とも成人の男性及び女性の一人または二人で設置するものとして評価を行うこととした。



写真-4 試験水槽

b) 実験結果と考察

止水装置の設置性指数（単位高さの設置に要する時間）を図-1に示す。

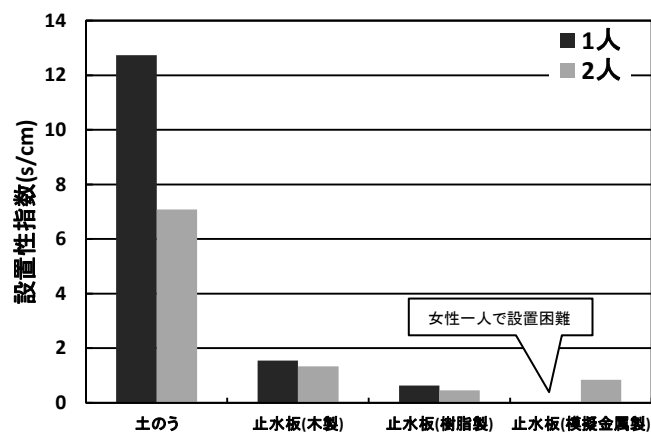


図-1 止水装置設置性指数

高さ 1015mm の止水板（樹脂製）及び高さ 630mm の止水板（木製）を一人で設置した場合の設置時間はそれぞれ 45 秒程度と 84 秒程度であり、また高さ 300mm まで土のうを一人で設置した場合は 6 分半、二人で設置した場合は 3 分半程度の時間を要した。つまり、土のうは止水板（樹脂製）と比較して作業者が 2 倍であるにも拘わらず設置に際して単位高さあたり約 11 倍の時間を要することが示された。これは、内水氾濫時に 500mm 高さの土のうを一人で設置しようとした場合、内水氾濫発生後 10 分後に設置し始めたとなると、設置完了時は内水氾濫発生後約 20 分後になる。国土交通省の定める地下空間における浸水対策ガイドラインでは、毎分 20mm で内水氾濫時に水位は上昇するとされている¹⁾。よってこの場合、浸水深は 400mm となり、歩行で避難することが非常に困難となる²⁾。

また、一般的な止水板は、アルミや鉄製がほとんどで樹脂製の止水板とはかなりの重量差がある。止水板（模擬金属製）は、二人で設置した場合においても作業性の低下が原因となり、設置にかかる時間が 84 秒と長くなったため、設置完了に至るまでの浸水深はより深くなり、歩行による避難に影響を及ぼすこととなる。また、女性が一人では、止水板（模擬金属製）を設置枠に 1000mm 高さまで嵌めることが困難であった。

(4) 止水性能評価（静水時）

a) 実験方法と測定項目

本実験は、写真-4 に示す通りコンクリート製でコの字型に設計された水槽を使用し、水槽の開口部に表-1 に示す各止水装置を設置して水槽内部に任意の水深まで水を張ることにより浸水状態を再現する方法で実施した。

なお、土のうはピラミッド積みと、一段目が 5 袋×1 列、二段目が 4 袋×1 列、三段目が 5 袋×1 列、四段目が 4 袋×1 列になるように積む方法（以降縦積みと定義する。）で行った。また止水板（木製）については、くさびで固定した場合としない場合の 2 通りの方法で設置した。

測定項目は、1) 1 時間あたりの漏水量、2) たわみ量とした。なお、漏水量とは、1 時間あたりに漏水した量を止水装置に対して水圧がかかる面積で除した値である。また、たわみ量については、止水板（木製）、止水板（樹脂製）を対象に測定を行った。レーザー距離計を用いて、止水板（木製）については、距離計から止水板の中央部とその両端の距離をそれぞれ測定し、両端部の測定値から止水パッキンの圧縮厚を算出し、その値を中央部の値から差し引いてたわみ量を算出し評価した。止水板（樹脂製）については、浸水深 1000mm 時の高さ 500mm 位置中央において同様の評価を行った。

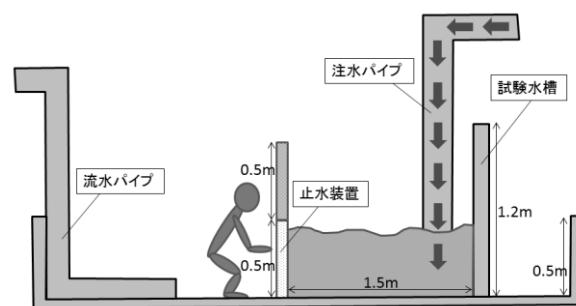


図-2 実験概要（静水時）

b) 実験結果と考察

各止水装置の漏水量を図-3 に示す。図-3 の結果より、土のうは浸水深 300mm において縦積み、ピラミッド積みの漏水量がそれぞれ $4.5\text{m}^3/(\text{hr m}^2)$ 、 $3\text{m}^3/(\text{hr m}^2)$ 程度で、あまり止水することが出来なかった。

くさびによって固定しなかった場合の止水板（木製）については、土のうと同程度の $5\text{m}^3/(\text{hr m}^2)$ 程度漏水する結果が得られたが、一方くさびにより固定すると漏水量が $0.4\text{m}^3/(\text{hr m}^2)$ 程度となり 94% 程度低下した。また、止水板（樹脂製）については、 $0.001\text{m}^3/(\text{hr m}^2)$ 以下とほとんど漏水することなく、高い止水性能を発揮した。

つぎに、止水板（木製）及び止水板（樹脂製）についてたわみ量を測定した結果、いずれも 2~3mm であったことから、使用時においてその他構造物へ及ぼす影響など別途留意する事項について検討する必要性は無いと思われる。

なお、本試験に使用した各止水装置は、（一財）建材試験センターの定める止水板の浸水防止性に関する性能基準³⁾で分類すると、土のう、止水板（木製）は、性能基準内に収まらず、止水板（樹脂製）は LWL(1)-5 等級相当となることがわかった。

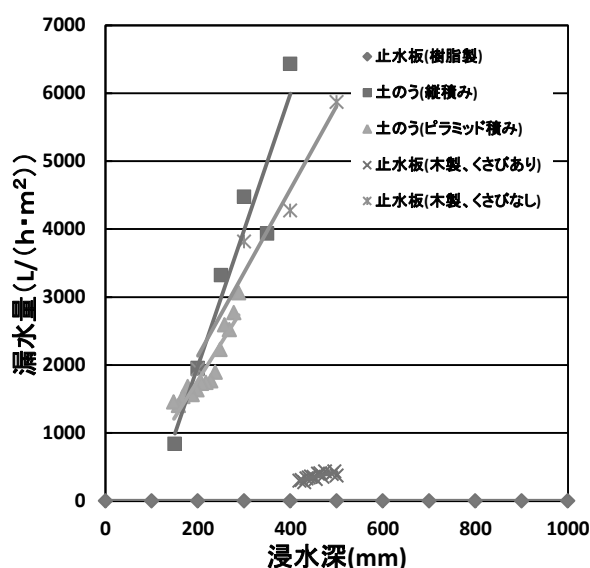


図-3 各止水装置の漏水量（静水時）

(5) 止水性能評価（流水時）

a) 実験方法と測定項目

本実験は、写真-4に示す通りコンクリート製でコの字型に設計された水槽を使用し、写真-5の示すように水槽の開口部に止水装置を設置して水槽外部に任意の水深まで水を一旦張った状態とし、水槽の外部全体に流れを加えて止水装置に水压を作用させることにより、水流を考慮した浸水状態を再現する方法にて実施した。なお、図-4に示す実験概要のとおり水深0.5mまでの試験を実施することが可能である。本実験では、静水時で最も高い止水性能を発揮した止水板（樹脂製）についてのみ検討した。流速に関しては、0.7m/s、1.7m/sに設定して測定を行った。

測定項目は、1) 1時間あたりの漏水量、2) たわみ量とし、評価を行った。



写真-5 試験水槽（流水時）

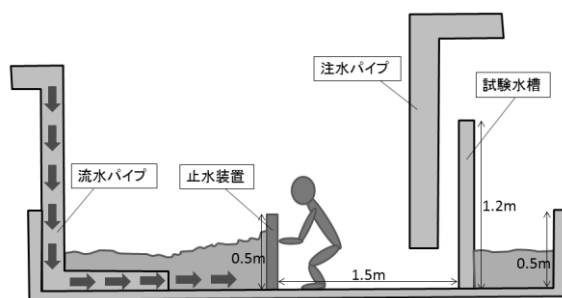


図-4 試験概要（流水時）

b) 実験結果と考察

止水板（樹脂製）を用いて、流速を0.7m/s、1.7m/sに設定して止水性能評価を行ったが、浸水深500mm時の漏水量は $0.001 \text{ m}^3/(\text{hr m}^2)$ 以下となり、高さ250mm位置中央におけるたわみ量は3mm以下となった。よって、止水板（樹脂製）は、流水時と静水時ではその特性に大きな変化が生じないことが確認された。

3. おわりに

本研究結果は、浸水対策として使用されている止水装置について、要求特性の検討、評価、検証を試みたもので、本研究から得られた成果は以下のとおりである。

(1) 土のうは、一人で300mmの高さまでピラミッド積みで設置する場合、6分半程度の時間を要し、浸水深300mmで漏水量が $3 \text{ m}^3/(\text{hr m}^2)$ 程度となるのが確認された。

(2) 止水板（木製）は、高さ630mmまで積み上げて、くさび等で固定する設置方法を採用すれば、浸水深500mmで漏水量が $0.4 \text{ m}^3/(\text{hr m}^2)$ 程度となり、土のうと比較して止水性能が優れていることが確認された。また設置には84秒の時間を要するので、設置条件によっては浸水してしまうことが懸念される。

(3) 止水板（樹脂製）は、高さ1000mmで45秒程度で設置でき、静水で浸水深1000mmにおいて、漏水量は $0.001 \text{ m}^3/(\text{hr m}^2)$ 以下であることが確認された。つまり、止水板（樹脂製）は、各止水装置の中で最も早く設置でき、止水性が高いことが分かる。また本実験体に重りを付加した模擬金属製止水板は、作業性が低下し設置時間に影響を及ぼしたことから、軽量であることは止水装置の要求特性として重要なファクターであると言える。

(4) 止水板（樹脂製）について、静水時と流水時について評価試験を行った結果、大きな特性変化は確認されなかった。

今回行った実験は、地下空間への浸水被害を防止し、また地下から地上への避難を容易にするために、止水装置としての要求特性を踏まえて評価したものであるが、あくまで実験的環境で行っており、実際の使用条件下では水流がより速くなったり、ゴミや倒木等も流れてくることも考えられる。今後は、より使用条件下に近い環境で検証を行っていきたい。

謝辞： 関西大学環境都市工学部の川中龍児様、米倉翔様、岡部良治様、他5名の学部生の実験協力に謝意を表す。

参考文献

- 1) 国土交通省地下空間における浸水対策ガイドライン：http://www.mlit.go.jp/river/basic_info/jigyo_keikaku/saigai/tisiki/chika/index.html (2015/11/6 参照)
- 2) 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，土木学会水工学委員会，pp.583-588, 2006
- 3) 一般財団法人建材試験センター：浸水防止性の性能基準（評価ランク）及び表示