

## 土砂災害に立ち向かうには

～鉄筋コンクリートの土砂災害に対する強度の検討と、減災への試み～

和泉市和泉中学校 1年 西 孝輔

### 1. 要旨、概要

令和3年7月、静岡県熱海市にて、土砂災害が発生した。新聞やニュースで土砂災害の映像を見ていると、鉄筋コンクリートで建てられた建物が流されていないことが分かった。鉄筋コンクリート造の場合、建物の動きがどの程度変化するのか、鉄筋コンクリートの壁を用いた減災方法について、模型を作成し実験した。実験から、「鉄筋コンクリート造の建物は土砂災害に対して強度が強いこと」、「鉄筋コンクリート壁を山の斜面に近い場所に設置することで、建物への被害が少なくできること」が分かった。ハザードマップ等を確認し、土砂が流れると想定されている場所に、どのような建物が、どの程度あるのか、自分の家までの間に壁となるようなものはあるのかを事前に確認しておくことが重要である。また、たとえ鉄筋コンクリート造の建物であっても、窓から土砂が侵入してくる可能性があるため、安心せずに早期に避難することが大切である。

### 2. 問題提起・研究目的

#### (1) 背景・動機

令和2年の自由研究で、斜面の角度や建物の数によって、土砂の流れる範囲が、どの程度変化するのかを模型を作成し実験した。令和3年7月、静岡県熱海市にて、土砂災害が発生した。新聞やニュースで土砂災害の映像を見ていると、流されていない建物があることに気がついた(図-1)。その建物について調べてみると、鉄筋コンクリートで建てられた建物であることが分かった。また、過去の土砂災害でも鉄筋コンクリート造の建物は土砂によって流されていないことが分かった<sup>1)2)</sup>。昨年自由研究では、建物の材料に関する検討は行っていなかったため、鉄筋コンクリートの土砂災害に対する強度について検討したいと思った。また、鉄筋コンクリートを用いて、減災に生かせないかと考えた。

#### (2) 目的

鉄筋コンクリートの土砂災害に対する強度について検討すること。



図-1 熱海市で発生した土砂災害の様子(右図:テレビ朝日ニュース、左図:読売新聞7月4日朝刊)

### 3. 研究の方法

#### (1) 使用機器(図-2)

##### I. 模型

木材、塩ビ板、配管用パイプ、自撮り棒、レゴブロック(建物模型)、方眼紙、分度器、分銅(100g)、100円硬貨(18枚)

##### II. 土砂

模型で分かるドボクの秘密<sup>3)</sup>を参考に、土砂模型は金属ナットを使用した。ナットサイズおよび個数は、M5(66個)、M6(24個)、M7(10個)とした。また、流木を想定し、割り箸を10本を使用した。

#### (2) 撮影と分析

三脚(Velbon EX-440)、カメラ(OLYMPUS社製)、PC(Windows Media Playerで、コマ送り再生し分析)





図-2 使用機器

### (3) 方法

#### I. 模型の配置と実験概要

土砂が流れる模型を図-3のとおり配置し、配管パイプ上方より土砂を流し、その様子を動画撮影した。斜面の角度は、土砂災害防止法施行令第二条の土砂災害警戒区域の基準とされている30度とした<sup>4)</sup>。シミュレーションの条件を変化させ、それぞれで3回実験した。



図-3 シミュレーション模型

#### II. 木造と鉄筋コンクリート造の違い

一般的に鉄筋コンクリート造の建物は、木造に比べ、重量が5～6倍程度と言われているため、建物の模型の重量を25g(木造想定)、133g(鉄筋コンクリート造想定)の2種類とした。重量を調整するために分銅100gを用いた。建物を斜面から10cmの位置に配置し、土砂の流れる時間、場所がどのように変化するか実験した。また、建物がどの程度移動するかを実験した(図-4)。

#### III. 減災への試み

建物に土砂が到達するまでの間に壁を設置すれば、土砂の影響が変化するのではないかと考え、斜面から建物までの間に壁を設置して実験を行った。壁の重量は、木造と鉄筋コンクリート造を想定し、20gと107gとした。重量を調整するために100円硬貨を用いた。壁の位置は、斜面から3cmと8

cmに設置し、土砂の流れる時間、場所がどのように変化するか、建物及び壁がどの程度移動するかを実験した(図-5)。

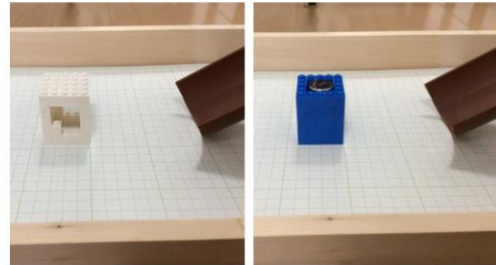


図-4 木造と鉄筋コンクリート造の模型配置

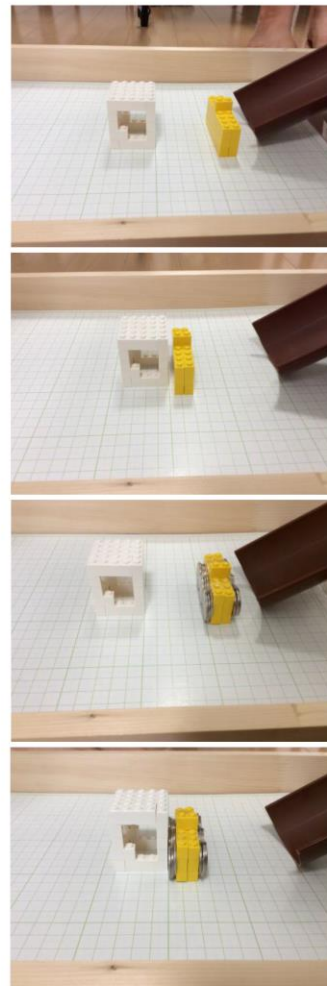


図-5 木造壁と鉄筋コンクリート壁の模型配置

#### IV. 実験の解析

撮影した各動画をコマ送りにして、流れる時間と流れた場所を確認し、解析した。土砂が地面に到達した時間を1コマ目とし、土砂が止まる時間までを解析した。Windows Media Playerでは、1秒当たり30コマで再生できるため、6段階に色分けし、流域マップを作製した。流域マップは、方眼紙を色鉛筆で塗り、その後エクセルで図を作った。

赤色:1コマ目～5コマ目までに流れた場所

(0秒～0.17秒)

オレンジ色:6コマ目～10コマ目までに流れた場所

(0.18秒～0.33秒)

黄色:11コマ目～15コマ目までに流れた場所

(0.34秒～0.49秒)

黄緑色:16コマ目～20コマ目までに流れた場所  
(0.50秒～0.65秒)

緑色:21コマ目～25コマ目までに流れた場所  
(0.66秒～0.82秒)

水色:26コマ目～30コマ目までに流れた場所  
(0.83秒～1.00秒)

#### 4. 結果

##### (1) 実験の様子と作成した流域マップ:全18枚

木造の建物を想定した実験の様子を図-6に、作成した全ての流域マップを図-7に示す。

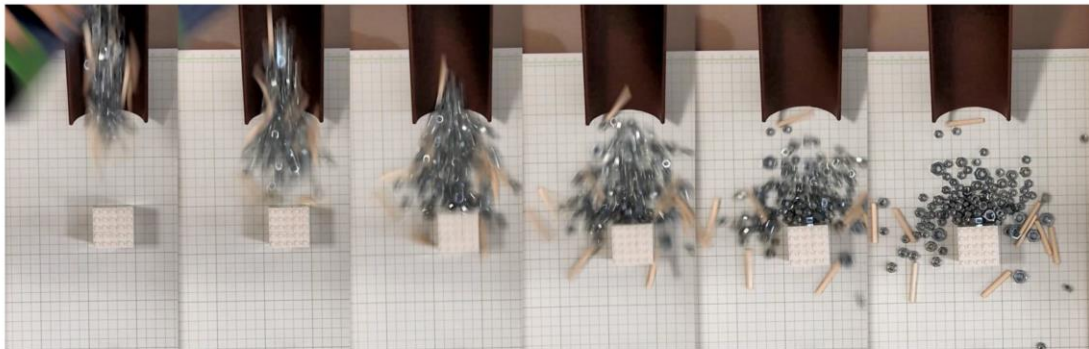


図-6 木造壁を想定した実験の様子

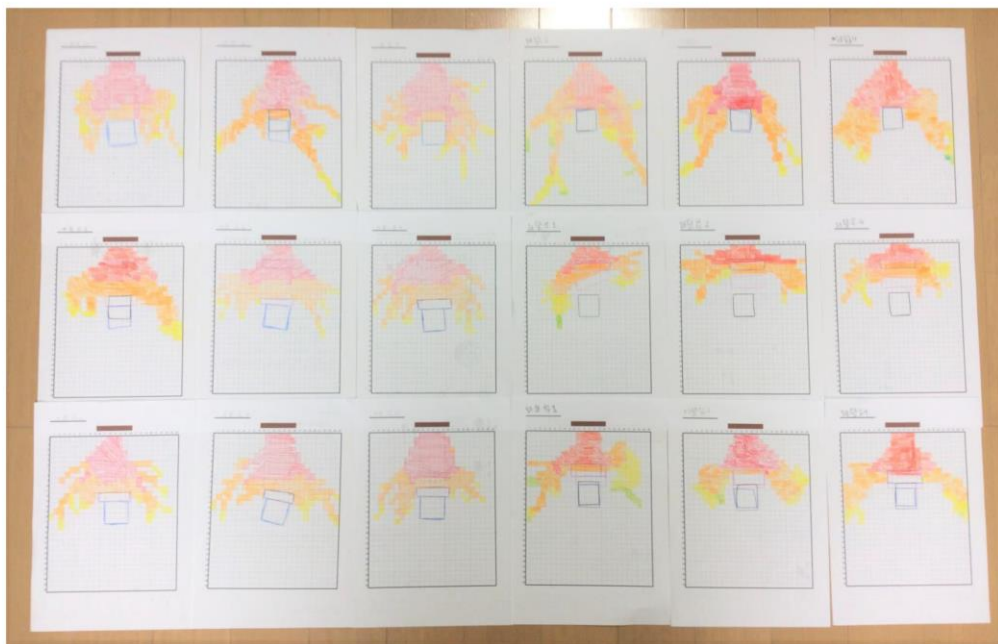


図-7 作成した流域マップ

(2) 木造と鉄筋コンクリート造の違い

土砂の流れる範囲に大きな変化が見られなかったが、木造の場合、建物が大きく後方に動いたのに対し、鉄筋コンクリート造の場合は、ほぼ動かなかった(図-8)。木造の場合は、0.17 秒の時点では 95 マスだったのに対して、0.33 秒の時点では 191 マスに増加した。一方、鉄筋コンクリート造の場合は、0.17 秒の時点では 89 マスだったのに対して、0.33 秒の時点では 206 マスに増加した。その後、木造、鉄筋コンクリート造ともに、ゆるやかに増加し、0.65 秒後からは、一定になった(図-9)。流れる範囲は、木造に比べ鉄筋コンクリート造の方が広い結果であった。木造の場合、後方に平均 1.9cm 移動し、平均 3.3 度回転したのに対し、鉄筋コンクリート造は、後方に平均 0.3cm 移動し、平均 0.7 度回転した(図-10)。鉄筋コンクリート造の方が木造に比べて土砂が積み重なり、堆積の高さが高くなった(図-11)。

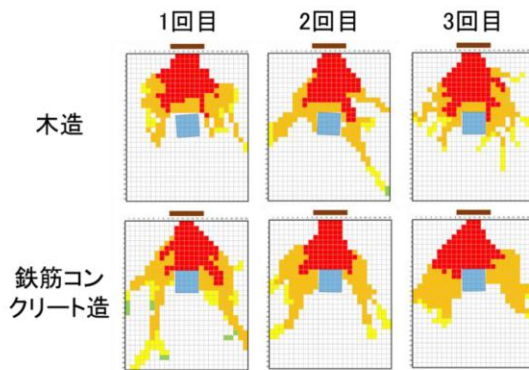
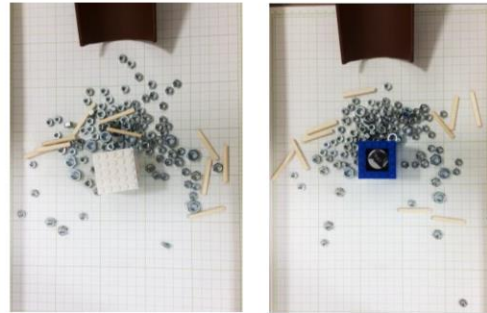


図-8 建物の違いの実験写真と流域マップ

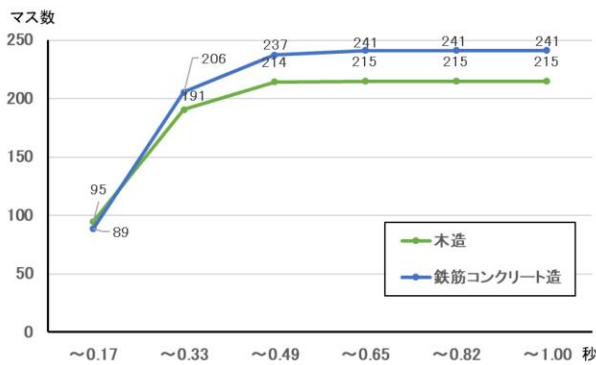


図-9 各時間における土砂の範囲(素材の違い)

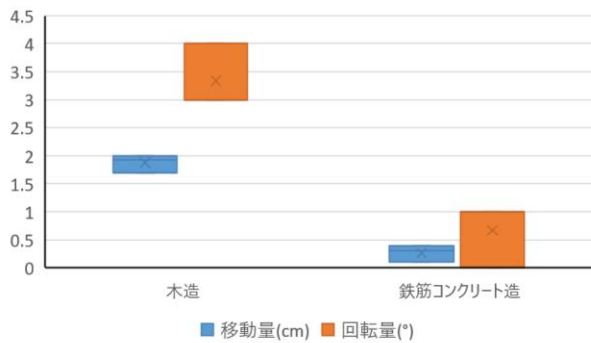


図-10 建物の移動量と回転量(素材の違い)



図-11 堆積の高さ

(上段:鉄筋コンクリート造想定、下段:木造想定)

(3) 減災への試み

I. 木造壁の場合

壁の位置が斜面から3cm、8cm、どちらの場合も、土砂の流れる範囲は、あまり差が見られず、建物、壁ともに後方に動いた(図-12)。斜面から3cmの場合、0.17秒の時点では74マス、0.33秒の時点では167マスに増加した。斜面から8cmの場合も、0.17秒の時点では70マス、0.33秒の時点では143マスに増加した。斜面から3cm、8cm、どちらの場合も、0.49秒以降はマス数の増加は見られなかった(図-13)。斜面から3cmの場合、建物は後方に平均2.2cm移動し、平均1.7度回転した。壁は、後方に平均7.5cm移動し、平均2.8度回転した(図-14)。斜面から8cmの場合、建物は、後方に

平均2.9cm移動し、平均1.7度回転した。壁は、後方に平均3.3cm移動し、平均1.2度回転した(図-15)。木造壁を設置した場合は、斜面からの設置位置に関わらず、建物は後方に大きく移動することが分かった。

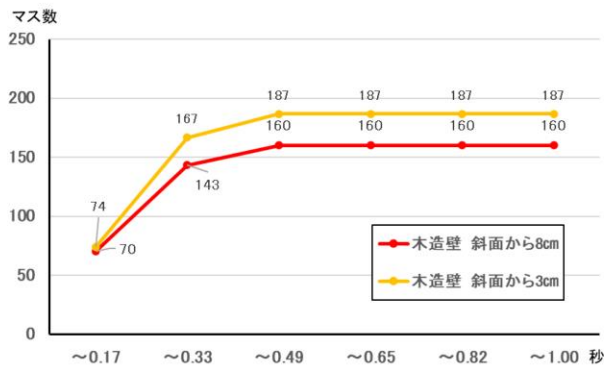


図-13 各時間における土砂の範囲(木造壁の位置)

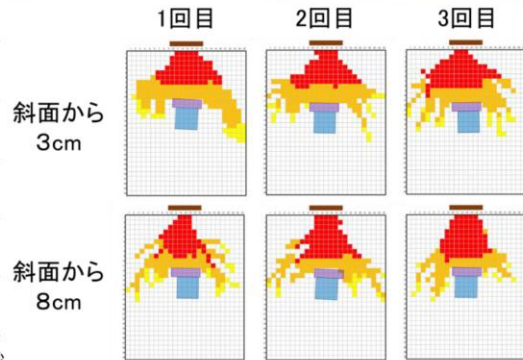
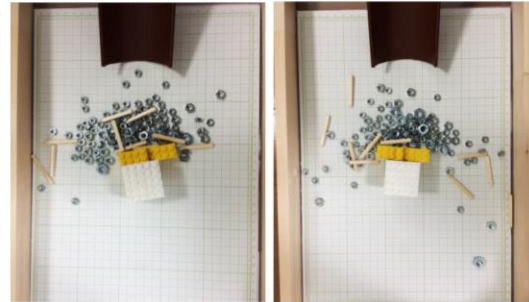


図-12 木造壁を用いた実験写真と流域マップ

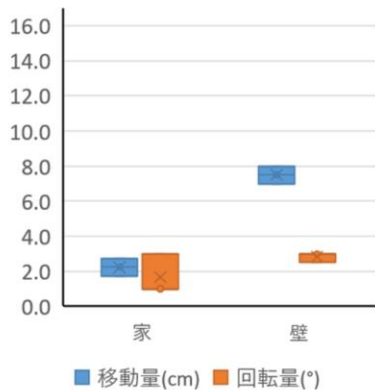


図-14 建物の移動量と回転量(斜面から3cm)

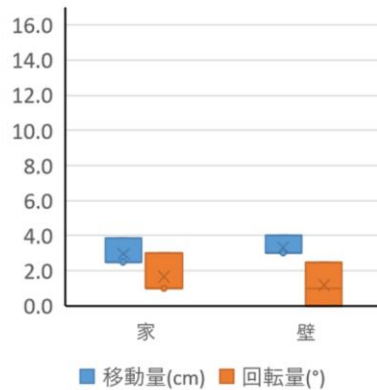


図-15 建物の移動量と回転量(斜面から8cm)

## II. 鉄筋コンクリート壁の場合

壁の位置が斜面から3cmの場合は、8cmの場合に比べて、土砂が左右に広がり、土砂の広がる範囲は狭く感じた。斜面から3cm、8cmのどちらの場合も、家の周囲に土砂の堆積は見られなかった。斜面から3cmの場合は壁のみが、後方に動いた。斜面から8cmの場合は建物、壁どちらも後方に動いた(図-16)。斜面から3cmの場合、0.17秒の時点では42マス、0.33秒の時点では110マス、0.49秒の時点では135マスと、緩やかに増加した。斜面から8cmの場合も、0.17秒の時点では65マス、0.33秒の時点では128マス、0.49秒の時点では159マスと緩やかに増加した(図-17)。斜面から3cmの場合、建物は3回とも後方に移動せず、回転もしなかった。壁は、後方に平均3.8cm移動し、

平均8.3度回転した(図-18)。斜面から8cmの場合は、建物は、後方に平均0.7cm移動し、平均1.0度回転した。壁は、後方に平均1.0cm移動し、平均2.3度回転した(図-19)。斜面に近い場所に壁を設置すれば、建物への被害も少なく、土砂の範囲も狭くなるということが分かった。

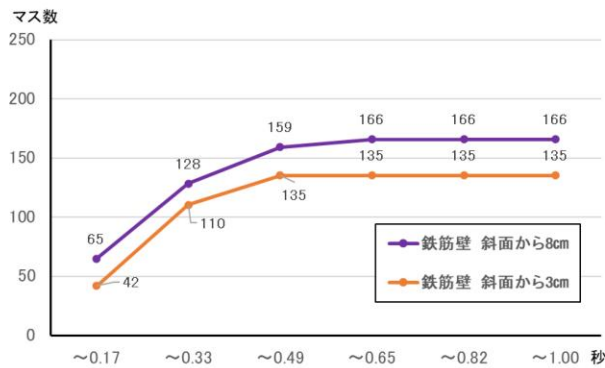
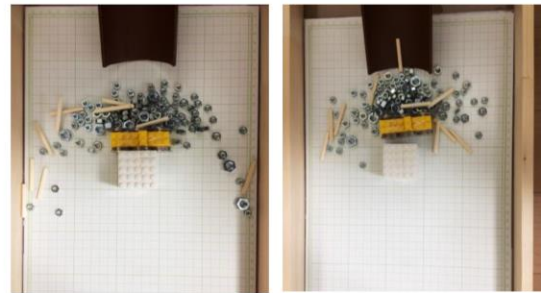


図-17 各時間における土砂の範囲  
(鉄筋コンクリート壁の位置)

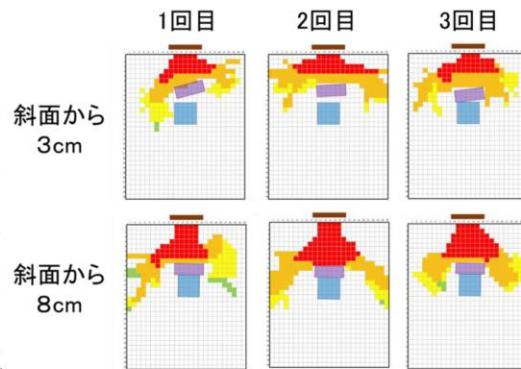


図-16 鉄筋コンクリート壁を用いた  
実験写真と流域マップ

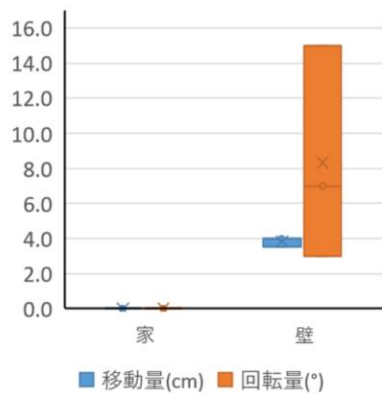


図-18 建物の移動量と回転量(斜面から3cm)

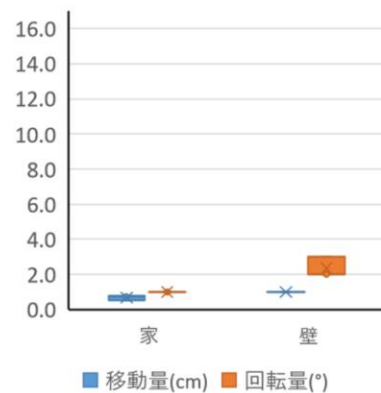


図-19 建物の移動量と回転量(斜面から8cm)

## 5. 考察

### (1) 木造と鉄筋コンクリート造の違いについて

鉄筋コンクリート造の建物の方が、土砂の流れる範囲が広がった。これは、鉄筋コンクリート造の建物に土砂がぶつかり、左右に広がったからと考えられる(図-20)。つまり、鉄筋コンクリート造の建物の場合は、木造に比べ、左右方向への広がりが大きくなる可能性があり、ハザードマップで想定されている範囲より土砂の流れる範囲が左右に広がるかもしれないということである。

#### 鉄筋コンクリート造

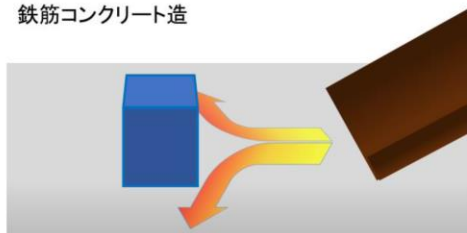
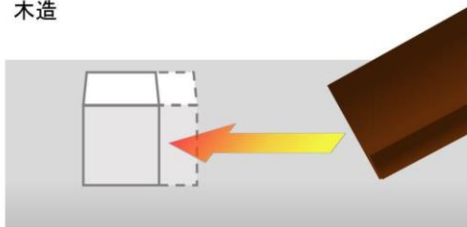


図-20 土砂の左右への広がり

木造、鉄筋コンクリート造ともに後方への動きと回転がみられた。本来であれば木造、鉄筋コンクリート造ともに基礎工事がされ、地面に固定されている。今回の実験では地面に固定していないため、後方への動きと、回転が生じたと考えられる。しかし、木造は鉄筋コンクリート造に比べ、約7倍後方に移動し、約5倍回転した。鉄筋コンクリート造の方が、移動、回転する可能性が低いことが分かった。

#### 木造



#### 鉄筋コンクリート造

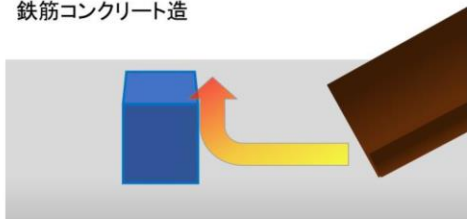


図-21 堆積の高さへの影響

鉄筋コンクリート造の方が、堆積の高さが高くなった(図-21)。これは、鉄筋コンクリートにより土砂がせき止められ、行き場を失った土砂が高さ方向に積み重なったからであると考えられる。

鉄筋コンクリート造の建物の方が木造の建物に比べ、土砂に対する強度が強いことが分かった。土砂災害警戒区域内の木造住宅に住んでいる人は、土砂災害警戒情報が発令された時点で、直ちに避難することを強く推奨する。しかしながら、鉄筋コンクリート造が安全というわけではなく、建物は流されないが、堆積された土砂が窓ガラスを突き破り、侵入してくる可能性があるため、早期に避難することを推奨する。避難が遅れた場合は、斜面と反対側のできるだけ高い場所に移動するべきであると思った。

### (2) 減災への試みについて

斜面と建物との間に、壁を設置することで土砂の流れる範囲は狭くなった。これは、土砂が壁にぶつかることにより勢いが弱くなったためだと考えられる。しかしながら、木造壁と鉄筋コンクリート壁とでは建物の移動量に差が見られた。

木造壁を設置した場合は、壁が後方に動き、それによって建物も後方に動いた(図-22)。壁を設置しない場合に比べ、移動量は増加した。これは、壁によって建物が押されたからであると考えられる。木造壁を設置すると、結果として土砂が増加する状況と同じ形になってしまうため、木造壁は設置しない方が良いと言える。

#### 木造壁

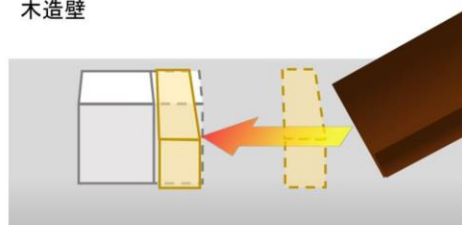


図-22 木造壁を設置した場合

鉄筋コンクリート壁を設置した場合は、建物への被害が少なくなった。これは、鉄筋コンクリート壁が土砂の流れる力に耐えることができたため、壁でせき止められ、建物まで土砂が流れつかなかったためだと考えられる(図-23)。

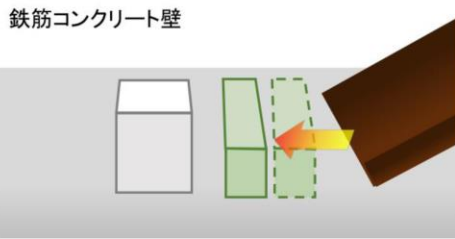


図-23 鉄筋コンクリート壁を設置した場合

しかしながら、鉄筋コンクリート壁は、後方に移動しており、斜面から8cm の位置に設置した場合は、建物が後方に動いた。これは、鉄筋コンクリート壁の基礎工事がされていれば、壁の動きは少なくなったのではないかと考えられ、建物は動かなかったかもしれない。一方、斜面から3cm のところに壁を設置した場合、建物は全く移動せず、建物周囲の土砂も少なかった。鉄筋コンクリート壁を斜面に近い場所に設置することで、建物への被害を減らすことができると考えられる。ただし、今回の土砂の量では壁を超えることは無かったが、鉄筋コンクリート壁の高さを超える土砂が流れてきた場合は、建物への被害が発生する可能性がある。斜面の高さ、角度から想定される土砂の量を計算した上で、壁の高さを決める必要があるのかもしれない。

## 6. 結論

鉄筋コンクリートによって、土砂の流れる範囲や建物の動きが、どの程度変化するかをシミュレーション模型を作成して検討した。この実験から、**木造に比べ、鉄筋コンクリート造の建物の方が土砂災害に対する強度が強いことが分かった**。しかし、鉄筋コンクリート造の建物を建てるには、費用が掛かる。また、今住んでいる建物を建て替えることは簡単ではない。その場合の減災方法として、**鉄筋コンクリート壁を山の斜面に近い場所に設置することで、建物への被害が少なくできることが分かった**。コンクリート壁の設置についても費用が掛かるが、和泉市が実施している土砂災害特別警戒区域内の住宅に対する補助制度<sup>5)</sup>を利用することができる。しかしながら、現在の補助制度は特別警戒区域のみの適応であるため、市民の誰もが補助を受けられる仕組みにし、減災に役立ててほしいと思った。

## 7. 2年間の実験を通して

昨年の実験では、建物の増減によって土砂の流れる範囲が変化することが分かった。今年の実験では、建物の材料によって被害が変化することが分かった。また、壁を用いることで、減災できることも分かった。

土砂災害に対する事前対策として、ハザードマップや航空写真を確認し、土砂が流れると想定されている場所に、どのような建物が、どれくらいの数あるのか、自分の家までの間に壁となるようなものはあるのかを、確認しておくことが重要であると思った。土砂災害警戒情報が発令された場合の対応としては、たとえ鉄筋コンクリート造の建物であっても安心せずに、早期に避難することが大切である。近年の温暖化により、災害が想定されていない場所でも様々な災害が起こるようになった。法律が改正され、警報や注意報などの基準も年々変化していく。また、市町村からの補助制度も充実してきている。個々で出来ることは、それらの情報を、新聞、ニュース、インターネット、広報などから得て、自分の住む地区のハザードマップを確認し、新たな災害に備えていくことである。

## 8. 参考文献

- 1) 中本 英利、竹林 洋史、宮田 英樹、藤田 正治：家屋の破壊過程を考慮した土石流の数値シミュレーション、水工学論文集、74 巻 4 号、p.919-924、2018
- 2) 山本 晴彦、小林 北斗：2014年8月20日に広島市で発生した豪雨と土石流災害の特徴、自然災害科学 J、JSNDS 33-3、p.293-312、2014
- 3) 藤井俊造：模型で分かるドボクの秘密、日経BPマーケティング、2015
- 4) 国土交通省：土砂災害防止法 関係法令等の条文、[https://www.mlit.go.jp/mizukokudo/sabo/sabo01\\_tk\\_000015.html](https://www.mlit.go.jp/mizukokudo/sabo/sabo01_tk_000015.html)、(閲覧日：2021年8月3日)
- 5) 和泉市：土砂災害特別警戒区域内の住宅に対する補助制度について、<https://www.city.osaka-izumi.lg.jp/kakukano/dezainbu/dourokasen/osiras/e/1522143129403.html>、(閲覧日：2021年8月11日)