

知ってますか??



雑学講座

トルコ地震に伴う 「モーゼ現象」の模型実験

作・染川 智弘 大阪大学大学院 M2
池谷 元伺 大阪大学大学院 教授

〒560-0043 大阪府豊中市待兼山町1-1 TEL/06-6850-5491 FAX/06-6850-5480

1 はじめに

1999年8月17日、3時1分（現地時間）、トルコ北西部でマグニチュード7.4の大地震が発生し、1万7000人を超える死傷者と数千人の行方不明者、5万人の負傷者を出した。この地震の前兆現象を調査して、「イズミット湾の海が2つに割れて水の壁ができた」という旧約聖書の出エジプト記にあるモーゼの話のような出来事を目撃者に出会った。

被災地イズミットでの漁師の証言によると、

2時57分：ギョルジュク岬付近で漁をしていて、海底から音が聞こえ振動を感じた。

3時1分：トルコ・イズミット地震

3時4分：海面が下がり海が2つに割れ両側に10~15mの高さの水の壁ができ、船が底に着いたように感じた。

3時5分：大波がきて、船は岸に打ち上げられた。

他に「イズミット湾で潮が300mほど引いた」という証言もある¹⁾。「地震の数時間前に潮が大きく引いた」という報告や「淀川上流の瀬田川の水の流れが逆流した」との報告は古文書にも見られる。本稿では、海が割れ水の壁ができるという「モーゼ現象」を水理模型で実験した結果を報告する。

2 割れた海（＝モーゼ現象）

旧約聖書の「出エジプト記（14章）」では、モーゼが岬で手を差し出すと、海が左右に割れて、イスラエル人は海の真ん中の乾いた場所を歩いて渡ることができた。しかし、追いかけてきたファラオの兵はひとり残らず、崩れ落ちてきた海水にのみこまれてしまう。モーゼが紅海を渡った位置は、はっきりしない。モーゼが渡っ

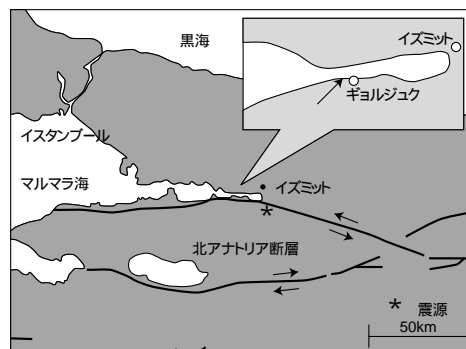


図1 トルコ・イズミット付近の地図

たときには東風が吹いたとあり、イズミットでは地震の前である。

紅海とイズミット湾は共に水路のように細長い。割れた海の発生機構として、断層地震源断層直近の湾内の断層地帯で地震発生後、微小破壊やクラックが走ると、破碎帯に海水が急激に吸い込まれるというメカニズムが考えられる。周囲の海水は水路のように細い地形では、岬などに妨げられて湾の中に十分な海水を供給できない。結果として、湾内の断層地帯で水面が下がり水の壁ができたのではないかと考え¹⁾、模型実験で再現を試みた。

3 模型による再現実験

3.1 イズミット湾の模型実験

トルコ・イズミット付近の10万分の3の模型（図2）を作り、海が割れるかどうかを調べるために実験を行った（図1とは左右逆になっている）。油粘土で地形を作り、模型の裏側は水ためとした。実際は大量にある外洋の水量をかせぐためである。地形の縮尺は3cmを1kmとしたが、深さを証言の10mと考えると0.3mmとなってしまう観察できない。そのため、深さの縮尺を1cmを2mとして模型をつくった。ギョルジュク岬の

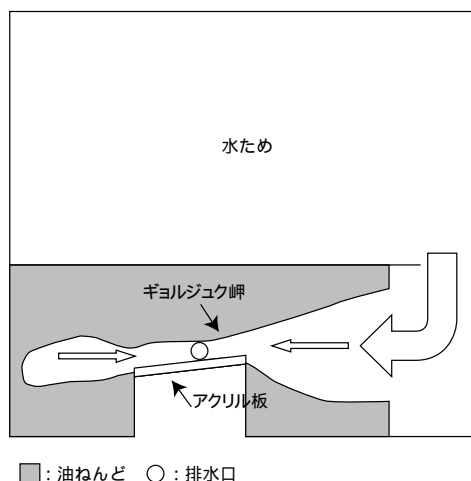


図2 トルコ・イズミットの再現模型
(105cm×105cm×10cm)

対岸は片面を透明のアクリル板にし、水の壁が観察しやすいようにした。また、水が流出する部分は柱がしやすいように台所の流しの排水口を用いた(図2)。

水を抜くと外洋の水量は多いので水面の高さは変わらず岬に妨げられて水の壁ができた。イズミットでは潮が引いたという証言通り、深さの縮尺を変えたことから、模型では先に水が干上がってしまい、片側の水の壁しかなかった(図3)。

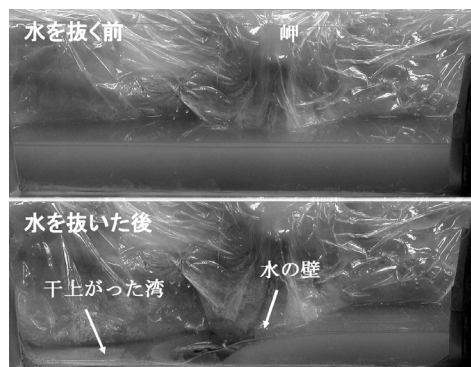


図3 水の壁の写真

3.2 単純化した「狭い開放水路」の実験

イズミット湾の模型を用いた実験では、

- ① 深さの縮尺が異なっていること
- ② 水が流出する地割れに相当するものとして排水口を

用いたこと

- ③ 水路としての湾の形が複雑であること

といった点から理論的な解析が難しい。

証言での「10~15mの水の壁」は、どのような形をしていたのかを考えるために単純化した「狭い開放水路」を作った。水の壁が観察しやすいように透明のアクリル板を用い、図4に示すような狭い開放水路を作った。排水は $x > 0$ のスリット部分から水を落下させてい

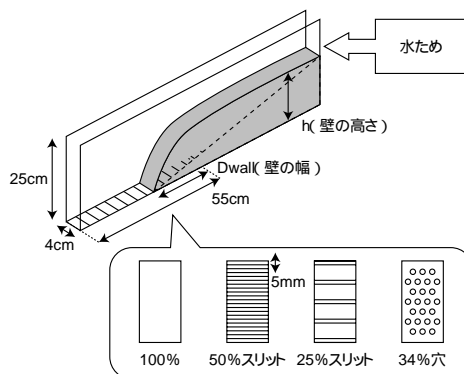


図4 「狭い開放水路」の実験装置

る。水の壁の高さ h が一定となるように水を供給し、スリットの形状を

- ① スリットなし(排水率100%)
- ② 50%スリット
- ③ 25%スリット
- ④ 空孔率34%の穴

のように変えて水の壁の高さ h と壁の幅 D_{wall} の関係を測定した。また、落下した水を一定容積の水槽に受け、いっぱいになる時間を測定し、これを平均排出速度とした。これは流れて落ちる水の平均速度を見積もるためである。

4 実験結果と考察

4.1 壁の幅 D_{wall} と高さ h の関係

壁の高さ $h=4\text{cm}$ での実験結果の写真を図5に示す。図の水面は見やすいように白の点線で示してある。 D_{wall} の値と水面の形がスリットの形状によって変化することがわかる。

D_{wall} と h の関係のグラフ(図6)より、いずれの場

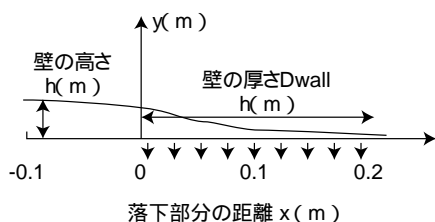
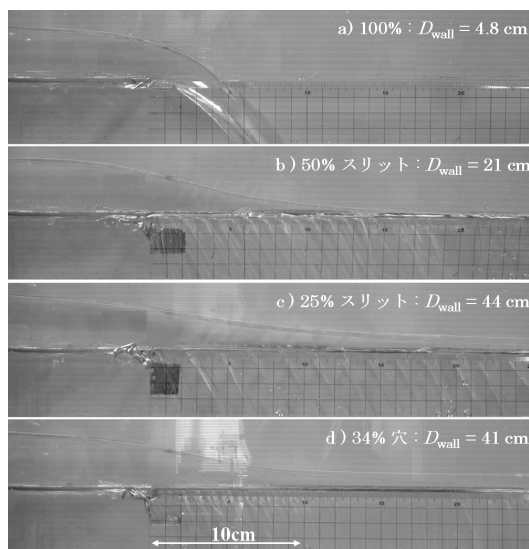


図5 「狭い開放水路」の実験写真 (h=4cm)

合でも1次式の関係にあり、その勾配から10mの水の壁ができたときを外挿した(図7)。

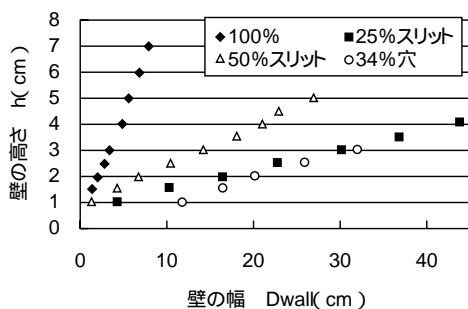


図6 割れた水の壁厚 D_{wall} と水面の高さ h の関係

湾内の断層地帯は実験モデルでは水が落下しているスリット部分に相当するので $2D_{wall}$ になると考えられる。 $M_W=7$ クラスの破壊領域の幅は100m程度がそれ以上であると言われているので一致する。

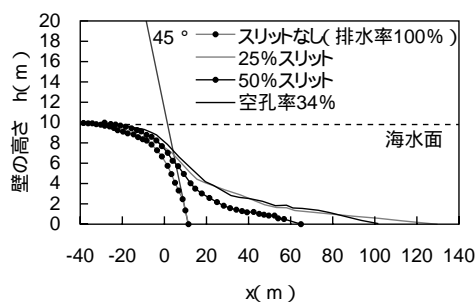


図7 外挿により再現した海水の壁の形状

4.2 断層に吸い込まれた水(排出量)

排出量を外挿するために水路の水平方向での速度を考える。平均排出速度を実測すると、スリット部分の開口率によらず h のみに依存した。平均排出速度を水の水平方向の通過断面積でわることによって水平速度を計算した。

また、他のデータでは狭い開放水路、水が落下する部分に平行棒スリットを用いた場合では、ベルヌーイのエネルギー方程式

$$E = y + \frac{V^2}{2g}$$

より、水面の形は

$$x = \frac{1}{\varepsilon C} \left(y_1 \sqrt{1 - \frac{y_1}{E}} - y \sqrt{1 - \frac{y}{E}} \right)$$

(V : 水平速度, ε : スリットの割合, C : 排出係数, y_1 : $x=0$ での水面の高さ)

と求められるので²⁾、この式に実験写真の水面をフィッティングして、いくつかの場合では水平速度を計算した。

これがトリチェリの定理

$$V = \sqrt{2gh}$$

に対応する式 $V = A\sqrt{2gh}$ に従うとしてフィッティングを行った結果、 $A=0.6$ 、すなわち

$$V = 0.6\sqrt{2gh}$$

となり、10mの水の壁ができた場合では、水平速度は8.4m/sとなった。水平速度がトリチェリの定理14m/sより小さくなったのは水の粘性や周囲の壁との摩擦の影響だと考えられる(図8)。

粘性を伴う現象を外挿することに問題はあがるが、 $V = 0.6\sqrt{2gh}$ が成立していると仮定して、上で求めた水平

