

(4) ポリウレア樹脂を用いた 津波シェルターに関する解析的研究

寺岡 恭一郎¹・高橋 治²

¹正会員 東京理科大学大学院生 工学研究科建築学専攻(〒125-8585 東京都葛飾区新宿6丁目3-1)
E-mail:kyonashi51@gmail.com

²正会員 東京理科大学教授 工学部建築学科(〒125-8585 東京都葛飾区新宿6丁目3-1)
E-mail: o.taka@rs.tus.ac.jp

日本は地震が多く発生しており、東日本大震災での二次災害による被害割合では全体の9割が津波による溺死と記されている。そのため津波に対する対策が必要であり本研究では、津波から守るためのシェルターに関してモデル解析を行う。このシェルターは発泡スチロールで構成されており、その表面に外面の強度を上げるポリウレア樹脂が施されている。本研究では有限要素法を用いたモデル解析を行なっていく。解析モデル上において、静的荷重による多方面からの荷重を行い、ポリウレアの有無や荷重場所、また津波シェルターの外型によって、応力度を参考にどの程度で破断するかを考察する。また解析から出た結果から新規モデルの津波シェルターを考案する。従来のデザインをもとに開口部の最適化やシェルターの小型化を考案する。

Key Words: hazard, TSUNAMI, shelter, analysis, polyurea resin

1. はじめに

日本では昔から多くの自然災害に苛まれている。特に地震大国と言われるほど日本では地震が多く発生する。そして地震による二次災害として火災、津波、液状化現象、土砂崩れなどが発生する。東日本大震災での二次災害による被害割合は全体の9割が津波による溺死となっており、津波に対する対策が必要である。

今回の研究では、小野田産業が製作する津波から守るためのシェルターSAM,SAMLIFE¹⁾（以下「津波シェルター」と称する）（図-1 参照）を共同研究として、モデル解析を行なっていく。



図-1 津波シェルター(左図:SAM 右図:SAMLIFE)

この津波シェルターは発泡スチロールで成形され、その周りをポリウレア樹脂で塗布したものとなっている。ポリウレア樹脂は発泡スチロールの外面の強度を上げるものとなっており、高強度かつ水面からの浮上性に富んだシェルターとなっている。本論ではこの津波シェルター解析によるポリウレア樹脂の有用性の証明、また津波シェルターが普及するために、より一般家庭におきやすい小型の津波シェルターの検討、解析を行っていく。

2. 解析方法

解析空間上でモデル化し、有限要素法による再現解析を行なった。モデルとなった津波シェルターの平面図を図-2、解析モデルを図-3、津波シェルターの解析諸元を表1に示す。

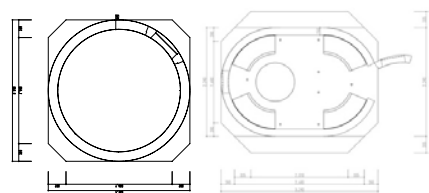


図-2 津波シェルター平面図(左図:SAM 右図:SAMLIFE)

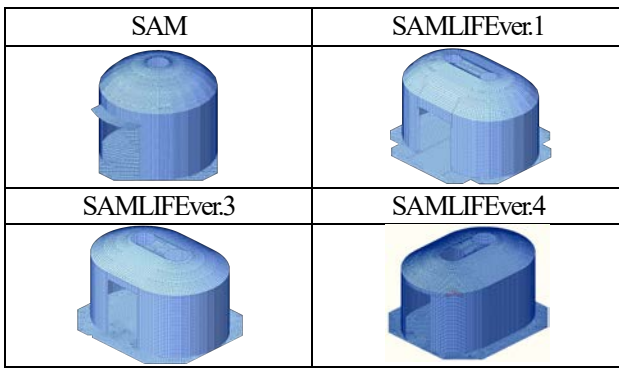


図-3 津波シェルター解析モデル

表-1 津波シェルター解析諸元

解析ソフト	MIDAS iGen(Ver.920 R 1x)		
要素タイプ	厚板要素		
要素サイズ (要素数)	SAM	20×20(23159 要素)	
	SAMLIFE	20×20(71790 要素)	
板厚	天井, 壁:150mm 床:300mm		
材料特性	板厚	$E_T(N/mm^2)$	$\rho_T(kg/m^3)$
	ポリウレア 無し	19.3	50.0
	ポリウレア 有り	51.2	73.4
解析形式	静的線形解析		

全長×全幅×全高は、SAM のサイズが全長×全幅×全高が 2.24m×2.24m×2.25m、SAMLIFE のサイズが 3.24m×3.24m×2.25m のサイズとなっている。また、実物を解析モデルにする際に、構造部材にならないもの（窓や椅子等）に関しては荷重に耐えるための部材ではないため、考慮せずに行うものとする。

SAM,SAMLIFE にかける荷重は、小野田産業が実際に行なった、高さ 10m から車体を自由落下させた実験を参考に載荷荷重の算定を行う。計算は以下の通りである。

$$F = \frac{mv}{\Delta t} \quad (1)$$

F : 衝撃荷重 (N)

m : 質量 (kg)

v : 速度 (m/s)

Δt : 静止するまでの時間 (s)

その結果、衝撃荷重は 352.8kN となる。この荷重をモデルの節点に均等に割り振り、解析を行い、その際の変形と応力度を測定する。

計測する場所は開口部を正面として、側面、背面、そして屋根に荷重をかけることとする。

また基準となる応力度に関して、発泡スチロールのみの材料特性は、ポリウレア樹脂の建築構造部材への適用

に関する実践的研究の論文を参考にした値とする。また、ポリウレア樹脂を塗布した発泡スチロールの材料特性に関しては、発泡スチロールにポリウレア樹脂を塗布して載荷を行った実験値を参考にする。その際の実験地では 55mm×100mm×1300mm の試験体にポリウレア樹脂を吹き掛けたものであり、その際にかけた荷重とモーメントから応力度を算出した。

それぞれ、発泡スチロール単体の応力度を 0.27N/mm²、ポリウレアを塗布した発泡スチロールの応力度を 6.97N/mm² とする。この数値を基準として、解析モデルでの結果で出る応力度と比較を行い、数値が値を上回った場合、破断したという結果とする。

3. 解析結果

(1) SAM 解析結果

SAM に関する最大変位と応力度の結果を表 2 に、解析結果を図-4,5 に示す。また、図-4,5 は左図がポリウレアの塗布が施されていないもの、右図がポリウレアの塗布が施されているものとする。

表-2 SAM の最大変位と最大応力度

衝撃部位	最大変位(mm)		応力度(N/mm ²)
	ポリウレア無	ポリウレア有	
屋根	380.78	143.57	1.77
正面	408.74	154.07	8.46
背面	246.89	93.06	1.95
側面	302.90	114.17	5.92

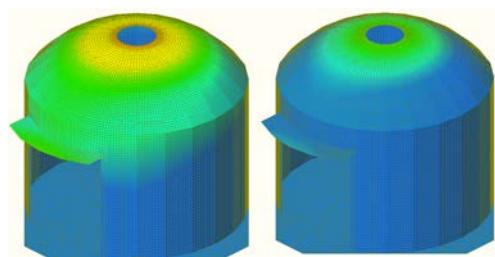


図-4 SAM_衝撃荷重を与えた部分が屋根の場合

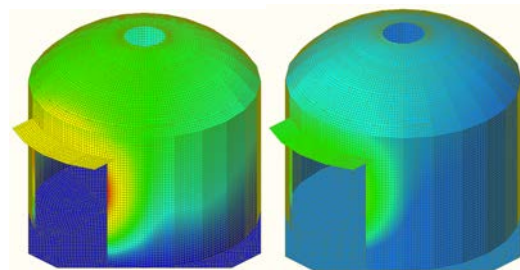


図-5 SAM_衝撃荷重を与えた部分が正面の場合

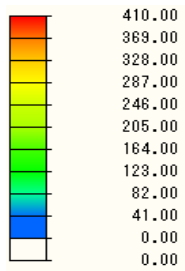


図-6 SAM_コンター図(単位:mm)

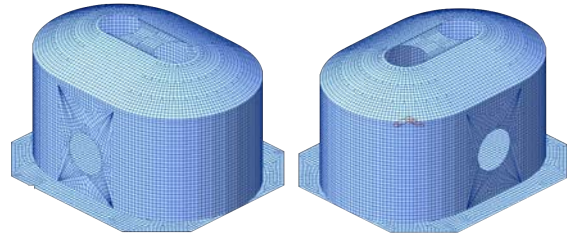


図-7 津波シェルター-SAMLIFEver.4

最も変位が大きかった時はポリウレア樹脂の塗布がない場合の正面から荷重をかけた場合だった。またその際にポリウレア樹脂が塗布されて場合に比べて、約2.65倍変形していた。

また破断する場合は、ポリウレアが塗布されていない場合は、どの方向から衝撃を加えても破断してしまうが、ポリウレアを塗布している場合は、正面からの荷重を受けない限り破断しない結果となった。

(2) SAMLIFE 解析結果

SAM, SAMLIFE に関する最大変位の結果をまとめたものを表2に示す。

表-3 SAMLIFE_変形結果

	ポリウレア有無	屋根	壁正面	壁側面	壁背面
SAMLIFE Ver.1	無	832.53	576.08	374.04	241.38
	有	313.82	217.15	140.99	90.99
SAMLIFE Ver.2	無	1713.79	706.71	314.67	439.48
	有	646.10	266.38	118.62	165.64
SAMLIFE Ver.3	無	783.55	551.66	437.04	246.48
	有	295.45	207.93	164.71	92.91

単位:mm

最も変位が大きかった時はポリウレア樹脂の塗布がない場合の正面から荷重をかけた場合だった。またその際にポリウレア樹脂が塗布されて場合に比べて、約2.65倍変形していた。

以下の結果から開口部の部分は扉や窓がついており、実際に行った解析よりも破断しない可能性は高い。しかしながら、それらは内部を守るものを第一想定として作られたものではないため十分な衝撃を吸収できるとは限らない。したがって、開口部はできる限り小さくしたものを用いることで今まで以上の効果をもたらすことが考えられる。

そこで、扉の部分をできるだけ小さく、また衝撃に偏りが出づらいう円形の人通孔を用いたものを用いたSAMLIFEの場合どの程度衝撃が緩和されるか考察する。(以降 SAMLIFEver.4 とする。)

SAMLIFEver.3 と SAMLIFEver.4 の応力度を比較した結果を表3に示す。

表-4 津波シェルター解析諸元

载荷する荷重	载荷する場所	応力度 (N/mm ²)	
		ver.3	ver.4
実験再現	屋根载荷	3.22	2.92
	正面载荷	5.79	4.54
	背面载荷	4.32	5.15
	側面载荷	4.63	4.70
国土交通省	屋根载荷	0.25	0.23
	正面载荷	1.80	1.42
	背面载荷	0.33	0.40
	側面载荷	0.36	0.37

SAMLIFEver.4では破断は確認されなかった。また最も形状に近い ver.3 と比較した場合、屋根载荷、正面载荷の場合では SAMLIFEver.4 の方が応力度は低くなったが、側面载荷、背面载荷の場合 SAMLIFEver.4 の方が応力度は高くなった。理由として開口部が大きい分応力度が大きくなってしまふことが挙げられる。背面についている窓の大きさは SAMLIFEver.3 の方は約 0.37m²、SAMLIFEver.4 の方では 1.13m²であることから差が出たと考えられる。

4. 新規モデルに関する検討

津波シェルターSAMは2.24×2.24×2.25(m)の大きさとなっており、一般家庭に常駐させるとなるといささか大きくなってしまふ。そこで、小型化したサイズの津波シェルターを検討する。まず初めに津波が発生した際に最も陸から離れず済むために流れづらいう形状の検討を行う。その際に、円または三～六角形の形状の簡易的なモデルを作成し、流水にて実験を行った。

その結果、六角形のモデルが最も流れづらかったため、土台を六角形にしてモデルを作成する。またその際に一辺の大きさを 1m、高さを 1.3m としてモデルの作成を行った。

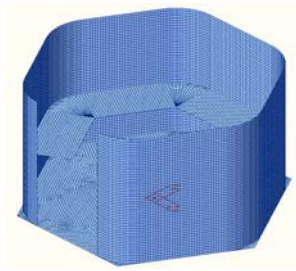


図-8 SAMFloat6_解析モデル

解析モデルは図-8の通りである。(以下 SAMFloat6 と称する。) SAMFloat6 に先ほどの衝撃荷重を加えてみる。また、国土交通省が定義している津波救命艇ガイドライン¹⁾を参考に、構造物との衝突において、基準値である 10m/s での正面衝突、5m/s での側面衝突を想定した荷重で解析を行う。SAMFloat6 の応力度の結果は表-5 に、解析結果を図-9 に示す。

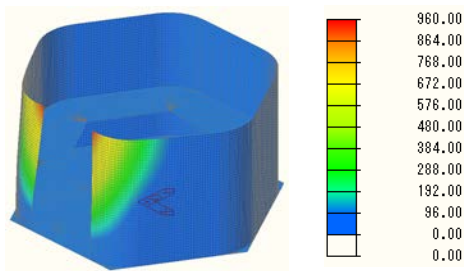


図-9 SAMFloat6_衝撃荷重

表-5 津波シェルター解析諸元

	正面	側面	背面
応力度(N/mm ²)	22.05	4.27	4.62

5. まとめ

本研究のまとめを以下に示す。

- ・解析より、発泡スチロールを単体で用いる時よりもポリウレア樹脂を塗布している場合、大きく変形を抑えることができ、強度の向上を確認した。
- ・解析より、SAM よりも SAMLIFE の方が破断する可能性が低くなる。衝撃を分散させやすい構造になっていることが挙げられる。
- ・解析より、SAM, SAMLIFE 共に扉の付いている部分が構造上弱くなってしまった。衝突面積が大きくなれば破断する可能性が小さくなることがわかる。また、衝突部分が平らな壁ではなく、弧を描いた壁の方が衝撃に強いことがわかった。
- ・解析より、新規モデルの津波シェルターでは正面からの衝撃には弱くなってしまいが側面、背面からの衝撃には強くなり、実用的であることがわかる。

謝辞：本研究は株式会社小野田産業のご協力と多大なる幫助のもと成立いたしました。ここに謝意を示します

参考文献

- 1) 株式会社小野田産業. ”津波・洪水・台風・火山用シェルター”.
小野田産業. <https://onoda-sg.co.jp/samtop/>, (参照 2023-10-02)
- 2) 海事局 船舶産業課. ”津波救命艇ガイドライン”.
国土交通省. <https://www.mlit.go.jp/common/001195341.pdf>, (参照 2023-10-02)
- 3) 塩澤雄用：ポリウレア樹脂の建築構造部材への適用に関する実践的研究, pp12-13,105-113, 2017

(Received August 25, 2023)

RESEARCH ON THE TSUNAMI SHELTER USING THE POLYUREA RESIN

Kyoichiro TERAOKA and Osamu TAKAHASHI

In Japan, earthquakes occur frequently, and tsunamis caused by earthquakes bring huge damage to humans. In order to protect people from the tsunami, Onoda Industry proposed many types of tsunami shelters. These shelters are made from Styrofoam applying polyurea resin to increase strength of the structure. This study constructs analysis models of 2 types of tsunami shelters, SAM and SAMLIFE, to analyze the characteristics of the tsunami shelters. Using the constructed model, this study calculates and analyzes responses of the tsunami shelters under static load on different directions. Moreover, This study also takes a small type shelter, which designed for family use, as research target.