

## 耐震性の不足する住宅に対する要求性能に応じた安全性の確保 —生活基盤ユニット補強の提案—

正会員 ○池田圭助\*1 同 永野康行\*2

### 2. 構造—3. 応用力学・構造解析—j. 地盤震動 部分補強、耐震、地震

#### 1. はじめに

##### 1.1 研究背景

平成25年に神戸市で行われた住宅・土地統計調査の結果によると、神戸市には約83万戸の建物が建っており、その中の約6割は1995年に起きた阪神淡路大震災以前に建てられた建物であることがわかっている<sup>(1)</sup>。阪神淡路大震災で被災した建築物は、近い将来必ず起きると言われている南海トラフ地震において大きな被害を受けると言われており、その対策が急がれる。

地震時における住民の安全性を高めるためには、一般的に建て替えと耐震改修工事の2つが挙げられる。しかし、これらを行うためには莫大な費用がかかる。建て替えにかかる費用の全国平均は3356万円(+解体費)<sup>(2)</sup>であり、耐震改修工事にかかる費用は全国平均150万円程度<sup>(3)</sup>かかる。これらの金額は、いつ・どんな規模で起こるかが正確に予測できない地震災害に対して住民が建て替えまたは耐震改修に踏み切るには重い金額であると考えられる。また、比較的安価に地震から身を守る手段として防災ベッドの導入が挙げられる。防災ベッドの導入は睡眠中の安全性を確保するので1日の約1/3を守ることができるが、建て替えや耐震改修工事に比べると性能が劣る。以上のことから「費用」と「性能」を考慮した解決策が必要であると考えられる。

##### 1.2 研究目的

本研究の目的は、建物全体を耐震改修するのではなく、建物の一部を補強することにより室内の人の安全と安心を確保するための新たな提案をすることである。

本研究ではリビング、ダイニング、または寝室の空間を対象に耐震補強を行う手法を生活基盤ユニット補強と呼ぶ。

##### 1.3 先行研究の例

本研究の既往研究として、耐震補強工法壁柱<sup>(4)</sup>が挙げられる。耐震補強工法壁柱は一般社団法人大阪府木材連合会と京都大学防災研究所との共同研究によって開発された工法であり、壁の中にスギの角材をボルトで連結したパネルを埋め込み、耐震壁として補強している工法である。家は損傷しても命は助かるというテーマのもと、建物全体の補強ではなく1部屋に限定した補強でコストを抑えて補強することを目的としている。本研究で提案する生活基盤ユニット補強は壁柱とは異なり、鉄骨を使用して建物の一部を補強することにより室内の人の安全と安心を確保する。

また、松本ら<sup>(5)</sup>は地震時の人的被害の主な発生原因は倒壊する住家の瓦礫であると考え、住家崩壊に伴う挙動を把握することを重要視し、物理モデルを用いた定量的な評価を得るために複数も住家モデルでシミュレーションを実施した。結果、瓦礫が人体に与える力は確率分布しており、建物被害と死亡可能性の関係を物理シミュレーションで示した。本研究では、地震時に建物の2階部分が崩れたとしても生活基盤ユニット補強を施した空間崩れないよう設計することを目的として構造計算を行っている。

##### 1.4 防災ベッド

防災ベッドの価格と耐荷重との関係を防災ベッド6製品<sup>(6)</sup>(内2つは同価格、同耐荷重)を対象として表したものを図1に示す。図1から、価格と耐荷重との関係には正の相関関係があると考えられる。

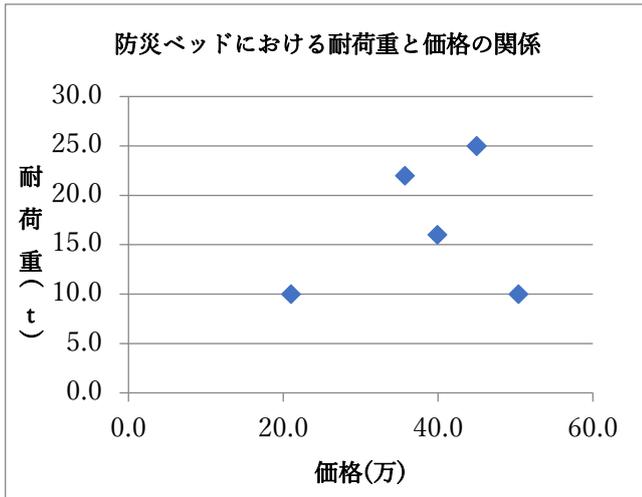


図1 防災ベッドにおける価格と耐荷重との関係

### 1.5 利点

生活基盤ユニット補強は建物全体を耐震改修するのではなく、建物の一部を補強するため、立て替えや耐震改修工事に比べ費用が少ない点が利点として挙げられる。耐震性能向上手法の性能・コストによる比較を図2に示す。

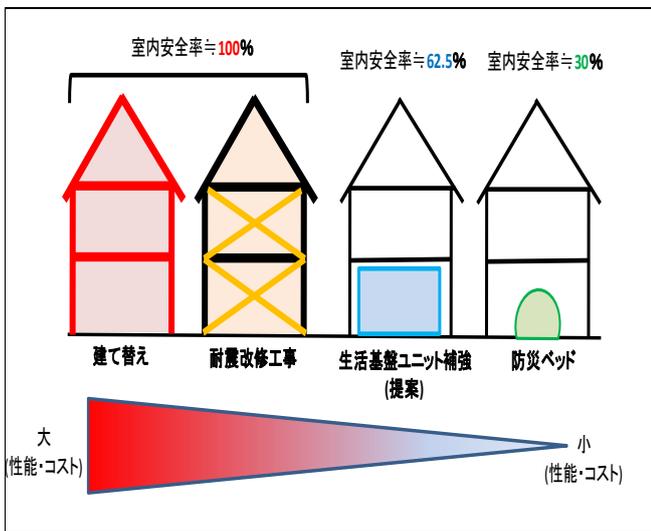


図2 耐震性能向上手法の性能・コストによる比較

室内安全率を耐震化された空間で過ごしている時間[時間]/24[時間]×100として定義するものとし、室内安全率=性能とする。建て替えと耐震改修工事は室内のすべての空間を補強しているものと考え、室内安全率を100%(=24/24×100)とした。防災ベッドは1日のうち睡眠時間のみを守るものと考え、室内安全率を30%(=7.2/24×100)とした。本研究で提案する生活基盤ユニット補強は、建て替えや耐震改修工事のようにすべての

空間を補強するのではなく生活の中で利用頻度の高いリビング、ダイニング、または寝室の空間を対象に耐震補強を行う。

日本人は1日のうち約15時間をリビング・ダイニング・寝室で過ごすといわれていることから、室内安全率を62.5%(=15/24×100)とした。よって、防災ベッドよりも室内安全率が高くなることから、防災ベッドに比べ性能が高い点も利点として挙げられる。

## 2. 生活基盤ユニット補強

### 2.1 概要

本研究では、生活基盤ユニット補強を施す1例として木造二階建てを対象にすることとする。図3は対象建築物1階平面であり、対象建築物1階平面に生活基盤ユニット補強を施す平面を赤枠で示した図である。今回の対象平面では、住民が室内で生活する大部分をリビング、ダイニングで過ごすと考え、生活基盤ユニット補強を施すこととする。生活基盤ユニット補強の概要として、図4生活基盤ユニット補強X方向立面図、図5生活基盤ユニット補強Y方向立面図、図6生活基盤ユニット補強上部伏図、図7生活基盤ユニット補強モデル図、表1生活基盤ユニット補強構成材料を示す。

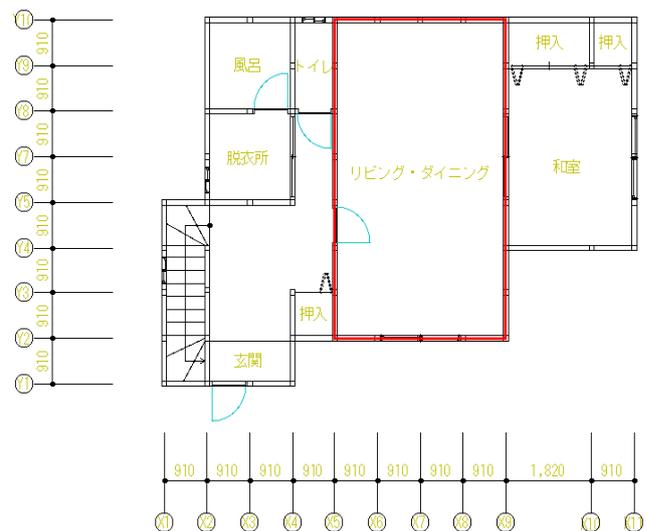


図3 生活基盤ユニット補強施工箇所を示した対象建築物1階平面図

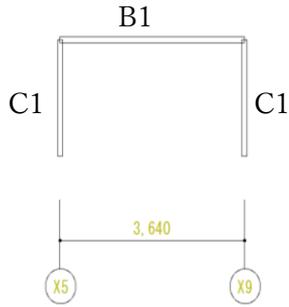


図4 生活基盤ユニット補強 X 方向立面図

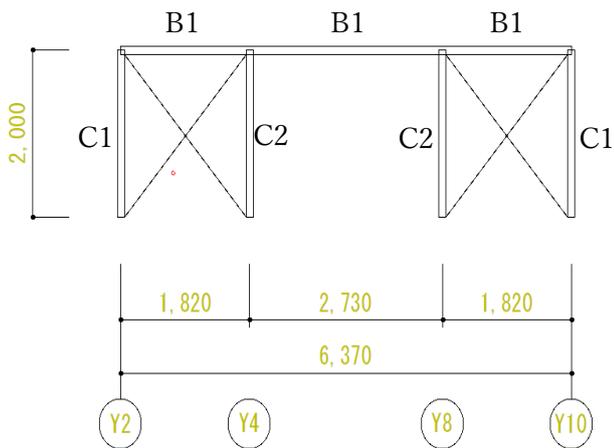


図5 生活基盤ユニット補強 Y 方向立面図

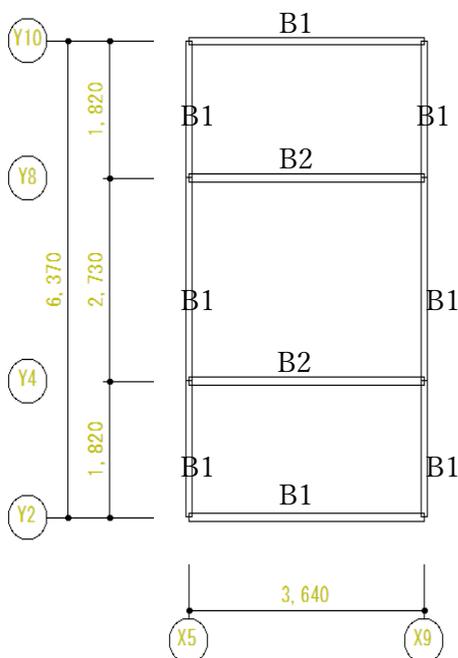


図6 生活基盤ユニット補強上部伏図

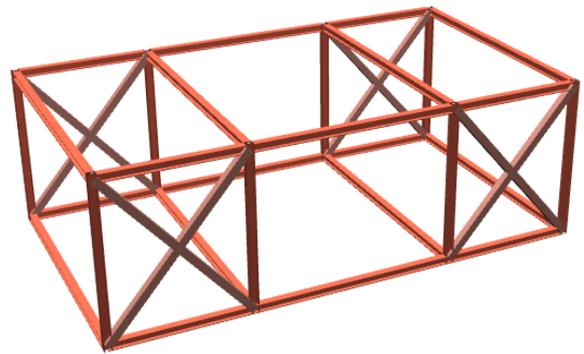


図7 生活基盤ユニット補強モデル図

表1 生活基盤ユニット補強構成材料

	形状	材料
C1	H-100×100×6×8×8	SN400B
C2	H-125×125×6.5×9×8	SN400B
B1	H-100×100×6×8×8	SN400B
B2	H-125×125×6.5×9×8	SN400B
ブレース材	[-100x50x5x7.5	SN400B

## 2.2 計算条件

生活基盤ユニット補強の耐力計算を行うにあたって、ユニオンシステム株式会社のSS7を使って計算を行った。次に計算条件を示す。地震時に1階に施工した生活基盤ユニット補強の上部にあたる2階部分が生活基盤ユニット補強に対し垂直に荷重がかかると考える。対象建築物を設計するにあたっての積載荷重を1300N/m<sup>2</sup>とし、対象建築物の2階+屋根部分の自重を1150N/m<sup>2</sup>として計算した。本研究では2階+屋根部分が生活基盤ユニット補強に衝突する際の衝撃は考慮しないものとする。生活基盤ユニット補強が壊れたかどうか判定する基準として $\tau/f_s \leq 1.0$ かつ $\sigma/f_b \leq 1.0$ を満たしていることを確認する。

## 3. 構造計算の結果

実際に計算を行った結果を図10・11に示す。図10は各代表部材における計算結果であり、図11は1次応力図である。図10から全ての部材において $\tau/f_s \leq 1.0$ かつ $\sigma/f_b \leq 1.0$ を満たしていることを確認した。

[ RG1 ] [RFL X4 Y1 - Y2] H-100*100*6*8*8 [FA] 部材長 3640 補剛数 0 たわみ $\delta$ 6.184 $\delta/L$ 1/572	<table border="1"> <thead> <tr> <th>ケース</th> <th>左端</th> <th>中央</th> <th>右端</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>L</td><td>3640</td><td>3640</td><td>3640</td></tr> <tr><td>Lb</td><td>3640</td><td>3640</td><td>3640</td></tr> <tr><td>C</td><td>1.000</td><td>1.000</td><td>1.000</td></tr> <tr><td>fb</td><td>157</td><td>157</td><td>157</td></tr> <tr><td>Z</td><td>68</td><td>68</td><td>68</td></tr> <tr><td>Aw</td><td>0.9</td><td></td><td>0.9</td></tr> <tr><td><math>\sigma</math></td><td>33</td><td>61</td><td>33</td></tr> <tr><td><math>\tau</math></td><td>70</td><td></td><td>70</td></tr> <tr><td><math>\sigma/fb</math></td><td>0.21</td><td>0.39</td><td>0.21</td></tr> <tr><td><math>\tau/fs</math></td><td>0.77</td><td></td><td>0.77</td></tr> <tr><td>組合せ</td><td></td><td></td><td></td></tr> </tbody> </table>	ケース	左端	中央	右端	L	3640	3640	3640	Lb	3640	3640	3640	C	1.000	1.000	1.000	fb	157	157	157	Z	68	68	68	Aw	0.9		0.9	$\sigma$	33	61	33	$\tau$	70		70	$\sigma/fb$	0.21	0.39	0.21	$\tau/fs$	0.77		0.77	組合せ			
ケース	左端	中央	右端																																														
L	3640	3640	3640																																														
Lb	3640	3640	3640																																														
C	1.000	1.000	1.000																																														
fb	157	157	157																																														
Z	68	68	68																																														
Aw	0.9		0.9																																														
$\sigma$	33	61	33																																														
$\tau$	70		70																																														
$\sigma/fb$	0.21	0.39	0.21																																														
$\tau/fs$	0.77		0.77																																														
組合せ																																																	
[ RG2 ] [RFL X3 Y1 - Y2] H-125*125*6.5*8*8 [FA] 部材長 3640 補剛数 0 たわみ $\delta$ 6.051 $\delta/L$ 1/581	<table border="1"> <thead> <tr> <th>ケース</th> <th>左端</th> <th>中央</th> <th>右端</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>L</td><td>3640</td><td>3640</td><td>3640</td></tr> <tr><td>Lb</td><td>3640</td><td>3640</td><td>3640</td></tr> <tr><td>C</td><td>1.000</td><td>1.000</td><td>1.000</td></tr> <tr><td>fb</td><td>157</td><td>157</td><td>157</td></tr> <tr><td>Z</td><td>122</td><td>122</td><td>122</td></tr> <tr><td>Aw</td><td>2.5</td><td>74</td><td>2.5</td></tr> <tr><td><math>\sigma</math></td><td>37</td><td></td><td>37</td></tr> <tr><td><math>\tau</math></td><td>49</td><td></td><td>49</td></tr> <tr><td><math>\sigma/fb</math></td><td>0.24</td><td>0.48</td><td>0.24</td></tr> <tr><td><math>\tau/fs</math></td><td>0.55</td><td></td><td>0.55</td></tr> <tr><td>組合せ</td><td></td><td></td><td></td></tr> </tbody> </table>	ケース	左端	中央	右端	L	3640	3640	3640	Lb	3640	3640	3640	C	1.000	1.000	1.000	fb	157	157	157	Z	122	122	122	Aw	2.5	74	2.5	$\sigma$	37		37	$\tau$	49		49	$\sigma/fb$	0.24	0.48	0.24	$\tau/fs$	0.55		0.55	組合せ			
ケース	左端	中央	右端																																														
L	3640	3640	3640																																														
Lb	3640	3640	3640																																														
C	1.000	1.000	1.000																																														
fb	157	157	157																																														
Z	122	122	122																																														
Aw	2.5	74	2.5																																														
$\sigma$	37		37																																														
$\tau$	49		49																																														
$\sigma/fb$	0.24	0.48	0.24																																														
$\tau/fs$	0.55		0.55																																														
組合せ																																																	
[ RG1 ] [1FL X2 Y1 - Y2] H-100*100*6*8*8 [FA] 部材長 3640 補剛数 0 たわみ $\delta$ 1.007 $\delta/L$ 1/3492	<table border="1"> <thead> <tr> <th>ケース</th> <th>左端</th> <th>中央</th> <th>右端</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>L</td><td>3640</td><td>3640</td><td>3640</td></tr> <tr><td>L-Ey</td><td>3640</td><td>3640</td><td>3640</td></tr> <tr><td>C</td><td>2.300</td><td>1.000</td><td>2.300</td></tr> <tr><td>fb</td><td>235</td><td>157</td><td>235</td></tr> <tr><td>Z</td><td>68</td><td>68</td><td>68</td></tr> <tr><td>Aw</td><td>0.9</td><td>7</td><td>0.9</td></tr> <tr><td><math>\sigma</math></td><td>52</td><td></td><td>52</td></tr> <tr><td><math>\tau</math></td><td>25</td><td></td><td>25</td></tr> <tr><td><math>\sigma/fb</math></td><td>0.23</td><td>0.04</td><td>0.23</td></tr> <tr><td><math>\tau/fs</math></td><td>0.18</td><td></td><td>0.18</td></tr> <tr><td>組合せ</td><td></td><td></td><td></td></tr> </tbody> </table>	ケース	左端	中央	右端	L	3640	3640	3640	L-Ey	3640	3640	3640	C	2.300	1.000	2.300	fb	235	157	235	Z	68	68	68	Aw	0.9	7	0.9	$\sigma$	52		52	$\tau$	25		25	$\sigma/fb$	0.23	0.04	0.23	$\tau/fs$	0.18		0.18	組合せ			
ケース	左端	中央	右端																																														
L	3640	3640	3640																																														
L-Ey	3640	3640	3640																																														
C	2.300	1.000	2.300																																														
fb	235	157	235																																														
Z	68	68	68																																														
Aw	0.9	7	0.9																																														
$\sigma$	52		52																																														
$\tau$	25		25																																														
$\sigma/fb$	0.23	0.04	0.23																																														
$\tau/fs$	0.18		0.18																																														
組合せ																																																	

図8 生活基盤ユニット補強SS7 計算結果

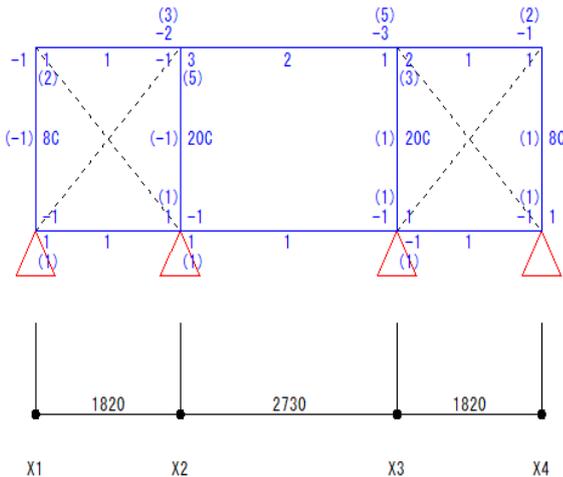


図9 生活基盤ユニット補強一次応力図

#### 4. おわりに

本研究ではリビング、ダイニング、または寝室の空間を対象に耐震補強を行う手法を提案した。費用面で考えると、生活基盤ユニット補強は建て替えや耐震改修工事に比べ、施工面積を小さくすることで費用を抑えることが出来る。性能面で考えると、全ての部材において $\tau/fs \leq 1.0$ かつ $\sigma/fb \leq 1.0$ を満たしていることから安全であることが分かる。また、本研究では衝撃を考慮しなかったが今後は考慮する必要があると考える。

#### 謝辞

本研究は神戸市水上防火安全協会「平成30年度安全安心まちづくり研究助成制度」の助成を受けた。構造計算はユニオンシステム株式会社のSS7を使用した。ここに記し謝意を表す。

#### 参考文献

- (1)神戸市：平成25年住宅・土地統計調査，  
<<http://www.city.kobe.lg.jp/information/data/statistics/toukei/juutaku/data/25kiji.pdf>>(参照2019年1月16日)
- (2)2017年度フラット35利用者調査，  
<<https://www.jhf.go.jp/files/400346708.pdf>>(参照2019年1月16日)
- (3)日本木造住宅耐震補強事業協同組合調査データ，  
<[http://www.mokutaikyo.com/dcms\\_media/other/201308.pdf](http://www.mokutaikyo.com/dcms_media/other/201308.pdf)>(参照2019年1月16日)
- (4)一般社団法人大阪府木材連合会：耐震補強工法「壁柱」，  
<<http://www.mokuzai.or.jp/kabebashira/index.html>>,(参照2019年1月16日)
- (5)松本将武,岡田成幸,中嶋唯貴：地震破壊シミュレーションによる建築ボリュームロス評価法の検討,2018年建築学会梗概集 pp529-pp530
- (6)ニッケン鋼業：防災ベッドBB-002，  
<<http://ns-kougyo.co.jp/items/item1/>>(参照2019年1月16日)  
新光産業株式会社：WL-1耐震ベッド、WL-S介護ベッドシェルター，  
<[http://www.town.minamichita.lg.jp/main/kensetu/PDF/earthquake\\_proof\\_bed.pdf](http://www.town.minamichita.lg.jp/main/kensetu/PDF/earthquake_proof_bed.pdf)>(参照2019年1月16日)  
フジワラ産業(株)：安心防災ベッド枠A,B，  
<[http://www.fj-i.co.jp/sinhp/bousai/m\\_bed.htm](http://www.fj-i.co.jp/sinhp/bousai/m_bed.htm)>(参照2019年1月16日)
- (株)エヌ・アイ・ピー：耐圧ベッドルーム型シェルター，  
<<http://www.city.yokohama.lg.jp/kenchiku/kenbou/bousai/bousai/bedtirashi2017.pdf>>(参照2019年1月16日)
- (7)NHK放送文化研究所：2015年国民生活時間調査報告書，  
<[https://www.nhk.or.jp/bunken/research/yoron/pdf/20160217\\_1.pdf](https://www.nhk.or.jp/bunken/research/yoron/pdf/20160217_1.pdf)>(参照2019年1月16日)

\*1 兵庫県立大学大学院シミュレーション学研究所 修士前期課程  
\*2 兵庫県立大学大学院シミュレーション学研究所 教授・博士(工学)

Graduate Student Grad, Sim. Studies, University of Hyogo  
Prof., Grad. Sch. Sim. Studies, University of Hyogo, Dr. Eng.