

レジリエント建築の実現を目指した提案

Proposal of the Building towards Resilient Architecture

森清 宣貴*1 樋口 展寛*2 鳥居 智之*3
Nobuki Morikiyo Nobuhiro Higuchi Tomoyuki Torii

要旨

巨大地震や異常気象による水・土砂災害の発生が懸念される中、回復力や復元力を指すレジリエンスという概念のもと、災害発生時に「機能・性能への影響が小さい」「正常な状態まで回復するのに短い時間で済む」建築（＝レジリエント建築）を目指す考え方が広まりつつある。当社においても、建築物レベルでの防災・減災機能の強化について考える中で、レジリエント建築を目指す検討を実施してきた。本報告では、当社で実施したレジリエント建築の実現に向けた取り組みの内容や、そのアイデアを取り入れた提案について紹介する。

キーワード：レジリエンス 木質材料 木質構造 設計競技

1. はじめに

東北地方太平洋沖地震では大地震・大津波による甚大な被害を受けた。また、南海トラフ大地震や都市直下地震などの巨大地震が発生する可能性も極めて高いとされている。一方、超大型台風やゲリラ豪雨などの異常気象による水・土砂災害も激化している。以上のような背景から、回復力や復元力を指すレジリエンスという概念のもと、内閣府では戦略的イノベーション創造プログラム「レジリエントな防災・減災機能の強化」が立ち上げられ、調査・検討が進められている。

当社においても、建築物レベルでの防災や減災を考える中で、レジリエントな建築物（レジリエント建築）を目指す検討を実施してきた。本報告では、レジリエント建築の実現に向けた取り組みの内容を示すとともに、そのアイデアを取り入れた提案作品の紹介を行う。

2. レジリエンスの概念

レジリエンスの概念について、2016年度日本建築学会大会パネルディスカッション資料「レジリエントで高い安全性を確保する構造設計とは」¹⁾を参考に下記に示す。

Bruneau と Reinhorn²⁾は、構造物やインフラのレジリエンスについて言及し、レジリエントな構造物やシステムとは、(1)崩壊確率が小さなもの、(2)災害発生時の人命

損失やシステムの損傷および負の経済的・社会的結果に関してそれらの影響が可能な限り低く抑えられているもの、(3)損傷や被害を受けた後に正常な状態まで回復するのに短い時間で済むもの、と定義している。図1はBruneauのレジリエンストライアングルと呼ばれており、災害発生前から復旧に至るまでの構造物やシステムが有する性能・機能の時間変動を表している。上記(1)～(3)のうち、(2)(3)は図1の破線で示した三角形の面積を可能な限り減少させることに対応しており、(2)(3)の要件を満たすことがレジリエントな構造物やシステムの構築に対応すると考えられている。

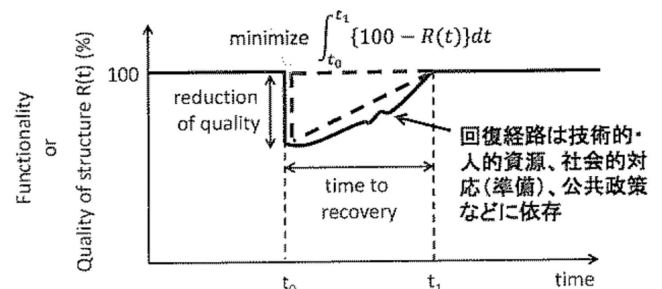


図1 Bruneauのレジリエンストライアングル¹⁾

また、Bruneau と Reinhorn²⁾は、レジリエンスを表現する指標（レジリエンス指標）として以下の4点を挙げている。

*1 技術研究所 *2 設計本部 建築設計第1部 *3 設計本部 建築設計第2部

- ・ロバストネス : 性能低下を招かずに外力に耐えることのできる能力
- ・リダンダンシー : 代替能力
- ・リソースフルネス : 豊富な利用資源
- ・ラピディティ : 即時対応能力

3. レジリエント建築の実現を目指した提案

レジリエンスの概念を基に、レジリエント建築の実現を目指して当社で実施した取り組みの内容を示すとともに、そのアイデアを取り入れた提案作品を紹介する。

3.1 レジリエンスを高める要素

Bruneau と Reinhorn のレジリエンス指標を、災害発生から復旧に至るまでの過程に照らし合わせると、下記および図2の①～④がレジリエンスを高める要素として重要となる。ここではさらに、レジリエント建築を実現する上でのキーワードを要素ごとに抽出した。

- ① 損傷や機能喪失に対する抵抗性
多様な外乱や想定を超える外乱に対して、急激な性能・機能の低下を抑制
キーワード：耐久性・耐震性・耐火性
- ② 災害発生後の調査
モニタリングの実施により、被災状況を即時もしくは被災後の解析から想定し、建物使用継続の判断や損傷箇所の限定を実施
キーワード：部材の情報端末化
- ③ 資源や材料の調達、補修計画・実施
流通していて入手しやすい材料の採用、他からの転用の可能性、補修に配慮したシステムの計画・実施
キーワード：建物の仮設性・多様性・交換可能なシステム・地産地消
- ④ 補修による性能・機能の回復
補修後の性能・機能を把握し、的確な補修を実施
キーワード：被災後の回復力

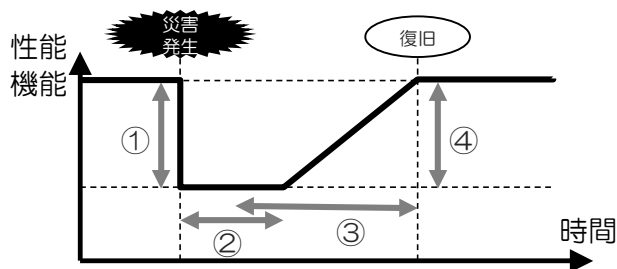


図2 レジリエンス指標

3.2 レジリエント建築の提案

レジリエント建築を提案するにあたり、建築物としての実現を目指すため、2016年度日本建築学会技術部門設計競技の課題にレジリエンスのアイデアを取り入れる形で取り組みを進めた。

2016年度日本建築学会技術部門設計競技

テーマ：木質材料・木質構造の可能性を最大に引き出す建築 —さらなる高層化、大規模化、環境配慮など、新たな展開—

主旨：木質材料・木質構造の可能性を最大に引き出す構造や建築システムの提案、木材の特性を活かし木材を適材適所に用いた提案を求める。

以下では、提案2作品のコンセプト等を示す。1作品目を3.2.1項「Temporary Wooden Space」および図3に、2作品目を3.2.2項「TRANS-TIMBERS」および図4に示す。

3.2.1 Temporary Wooden Space

- 作品名
Temporary Wooden Space
—都市景観に寄与し、災害時に機能する木質ユニット—

- レジリエンス要素
多様性（通常時と災害時）、仮設性
- 背景

東日本大震災が東北地方に甚大な被害を与えてから早6年が過ぎようとしている。震災復興が進み、被災地は徐々に活気を取り戻しつつあるが、今回の震災では建築の脆さが浮き彫りとなった。さらに最近では熊本にて地震が起こり、その被害の大きさに心を痛める人々の数は計り知れない。そのような状況の中、建築的に社会に寄与できる方法はないだろうか、災害時に被災者のために役立つ建築の在り方は考えられないだろうか、と思い始めた事が本提案へと繋がるきっかけとなった。

レジリエンスとは、復元力、回復力、弾力などと訳される言葉だが、近年は特に「困難な状況にもかかわらず、しなやかに適応して生き延びる力」という意味で使われるケースが多い。また、一時的に利用される“仮設的”な要素も含んでいるように思える。実際に被災地に供給された紙や布による仮設的な間仕切りは、体育館等の屋内にて人数毎にゾーン分けが可能で簡単にプライベートな空間を確保でき、画期的なアイテムだったであろう。

- コンセプト
災害時に“仮設的”に利用できるモノを考える。
通常時には多様な利用が可能で、災害時にはレジリエント建築としても機能するモノ。素材は、軽くて加工が容易、そして安価な木材を使用する。具体的には、通常時は休憩スペースや店舗等で利用でき、かつ木質ユニットが都市の



2025年頃日本経済大学が実施する仮設住宅建設。一帯が被災地、大規模な、環境配慮型、緑化施設、緑化施設

Temporary Wooden Space 都市復興に資し、災害時に機能する木質ユニット

東日本大震災が東北地方に甚大な被害をもたらしてから5年が過ぎた。震災復興が進み、被災地は徐々に復興を取り戻しつつある。しかしながら、中核的復興では被災地の再生が十分進んでいない。さらには震災では日本中で被災地となり、その被害の大きさに心を痛める人々の数は増え続けている。

災害時に被災者のために役立つ建物や空間をどう考えるか。

ここで、最近注目されている「レジリエント建築」について考えてみる。レジリエンスとは復元力、回復力、弾力などと訳される言葉だが近年は特に「困難な状況にもめげず、しなやかに耐えて生き残る力」という意味で使われるケースが多い。さらには「回復力」の言葉も広まっているように見える。被災地でも同様だ。災害復興の場面で人々によりシフトが可能な仮設的かつ堅固な建物や空間をどう考えるか。

災害時に仮設的に利用できるモノを考えてみる。

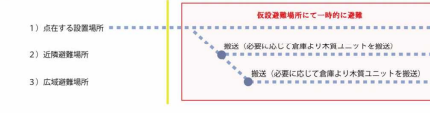
レジリエント建築としても機能し、建築においても多様に利用可能なモノを、軽く加工しやすく比較的安価な「木材」でユニット化する。建築には、休憩スペースや臨時店舗等が利用できる。かつ木質ユニットが都市のアクセントとなる。建築には、被災者やボランティアの方々の活動の拠点に活用できる。かつ木質ユニットが都市のアクセントとなる。本提案では具体的な都市の中心部を木質ユニットが占められる仮設的復興地として示す。復興には仮設的復興地は必要だが、賢く多目的に活用可能な仮設的復興地、仮設的復興地である。都市内によるエコノミー復興を享受する。被災者が一時的に住まう場所としても機能する空間。日本でも被災を日本伝統の材料で実現を提案する。



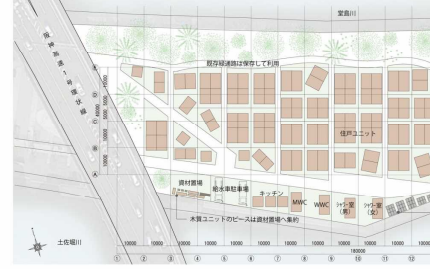
1 ストーリー



1 復興プロセス



1 配置計画 (仮設復興場所) Scale=1:800



1 木質ユニット

1 建築システム (構造)

災害時の木質ユニット利用方法は、基本的には被災者やボランティアの方々により、仮設復興場所へ木質ユニットの一式を運入し、組み立てることで仮設復興場所を構築する。仮設復興場所へ木質ユニットの一式を運入し、組み立てることで仮設復興場所を構築する。仮設復興場所へ木質ユニットの一式を運入し、組み立てることで仮設復興場所を構築する。

1 建築システム (設備)

本提案の木質ユニットは、基本的には被災者やボランティアの方々により、仮設復興場所へ木質ユニットの一式を運入し、組み立てることで仮設復興場所を構築する。

1 建築システム (設備)

本提案の木質ユニットは、基本的には被災者やボランティアの方々により、仮設復興場所へ木質ユニットの一式を運入し、組み立てることで仮設復興場所を構築する。

1 建築システム (設備)

本提案の木質ユニットは、基本的には被災者やボランティアの方々により、仮設復興場所へ木質ユニットの一式を運入し、組み立てることで仮設復興場所を構築する。

1 木質ユニット

1 建築システム (構造)

災害時の木質ユニット利用方法は、基本的には被災者やボランティアの方々により、仮設復興場所へ木質ユニットの一式を運入し、組み立てることで仮設復興場所を構築する。仮設復興場所へ木質ユニットの一式を運入し、組み立てることで仮設復興場所を構築する。仮設復興場所へ木質ユニットの一式を運入し、組み立てることで仮設復興場所を構築する。

1 建築システム (設備)

本提案の木質ユニットは、基本的には被災者やボランティアの方々により、仮設復興場所へ木質ユニットの一式を運入し、組み立てることで仮設復興場所を構築する。

1 建築システム (設備)

本提案の木質ユニットは、基本的には被災者やボランティアの方々により、仮設復興場所へ木質ユニットの一式を運入し、組み立てることで仮設復興場所を構築する。

1 建築システム (設備)

本提案の木質ユニットは、基本的には被災者やボランティアの方々により、仮設復興場所へ木質ユニットの一式を運入し、組み立てることで仮設復興場所を構築する。

1 建築システム (設備)

本提案の木質ユニットは、基本的には被災者やボランティアの方々により、仮設復興場所へ木質ユニットの一式を運入し、組み立てることで仮設復興場所を構築する。

1 建築システム (設備)

本提案の木質ユニットは、基本的には被災者やボランティアの方々により、仮設復興場所へ木質ユニットの一式を運入し、組み立てることで仮設復興場所を構築する。

1 建築システム (設備)

本提案の木質ユニットは、基本的には被災者やボランティアの方々により、仮設復興場所へ木質ユニットの一式を運入し、組み立てることで仮設復興場所を構築する。

1 建築システム (設備)

本提案の木質ユニットは、基本的には被災者やボランティアの方々により、仮設復興場所へ木質ユニットの一式を運入し、組み立てることで仮設復興場所を構築する。

1 建築システム (設備)

本提案の木質ユニットは、基本的には被災者やボランティアの方々により、仮設復興場所へ木質ユニットの一式を運入し、組み立てることで仮設復興場所を構築する。

1 建築システム (設備)

本提案の木質ユニットは、基本的には被災者やボランティアの方々により、仮設復興場所へ木質ユニットの一式を運入し、組み立てることで仮設復興場所を構築する。

1 建築システム (設備)

本提案の木質ユニットは、基本的には被災者やボランティアの方々により、仮設復興場所へ木質ユニットの一式を運入し、組み立てることで仮設復興場所を構築する。

1 建築システム (設備)

本提案の木質ユニットは、基本的には被災者やボランティアの方々により、仮設復興場所へ木質ユニットの一式を運入し、組み立てることで仮設復興場所を構築する。

1 建築システム (設備)

本提案の木質ユニットは、基本的には被災者やボランティアの方々により、仮設復興場所へ木質ユニットの一式を運入し、組み立てることで仮設復興場所を構築する。

1 建築システム (設備)

本提案の木質ユニットは、基本的には被災者やボランティアの方々により、仮設復興場所へ木質ユニットの一式を運入し、組み立てることで仮設復興場所を構築する。

1 建築システム (設備)

本提案の木質ユニットは、基本的には被災者やボランティアの方々により、仮設復興場所へ木質ユニットの一式を運入し、組み立てることで仮設復興場所を構築する。



図3 提案作品「Temporary Wooden Space」

アクセントとなる。災害時は安全の確保の為に、被災者やボランティアの方々が点在する木質ユニットを分解し、安全な場所まで運び、容易に再構築できる。

本提案の敷地は、大阪市中之島東部の広場を選定した。その広場を災害時に木質ユニットが集められる仮設避難場所として計画する。仮設住宅程の機能は備えていないが、即座に一時避難場所が構築可能で、仮設住宅が整備されるまでの期間の安全を確保できる。

日本で起こる災害を日本伝統の材料で凌ぐ策を提案する。

○ キーワード

木質ユニットの構成

木質パネルにより構成されたボリュームに階段を設置したものを1ユニットとする。パネルはモジュール化することで、分解後に再構築しやすいものとする。ドアや建具になるパネルもある。ユニットタイプは、基本的に1～2人用、3～4人用、5～6人用の3種類。木質ユニットの組合せ方は自由度が高く、3階建てまで構築可能。

木質ユニットの構造

軽い木材の中でも強度のある集成材を採用。3階建てのユニットでも安定した構造耐力を発揮できる構造計画とする。接合部には合理的な金物を使用し、誰でも簡単に組み立てることが可能である。またMAIDASを用いた解析により、接合部に生じるモーメントが最小限になるように形状の検証を行った。

生活環境への配慮

キッチンやトイレ、シャワーブース、給水車駐車場スペース等のインフラを整備することに加え、木質ユニットに太陽光発電装置を設置し、パッシブデザインを採用した計画とする。また温度解析を行い、プレハブ小屋よりも木質ユニットの方が流入熱量を抑えることができ、快適な室内環境であることを検証した。

コミュニティの形成

仮設避難所での暮らしの中で、会話や情報交換、娯楽等のコミュニケーションが生まれ、精神的なケアが図れる空間にもなり得る。

都市へ還る

仮設住宅の整備が進むにつれて、避難者はそちらへ移り住んでいく。役目を終えた木質ユニットは、元あった場所に還り、以前と同様に都市のアクセントとして佇む。

3.2.2 TRANS-TIMBERS

● 作品名

TRANS-TIMBERS

－交換可能な小断面部材を用いた可変建築システム－

● レジリエンス要素

交換可能なシステム、部材の情報端末化

○ コンセプト

軽くて持ち運びやすく、交換可能な木質小断面部材による変形（トランスフォーム）可能な建築を提案する。

○ キーワード

交換可能性

木材の最大のメリットである「軽さ」に着目し、持ち運び・交換が容易な木質小断面部材を考える。また、交換可能な木質小断面部材を組み合わせることで、建物全体を構成し、全ての部材において劣化や損傷による交換が可能な建築システムを考える。

レジリエント

交換可能な木質小断面部材によって構成された建物は、災害時、局所的な損傷に対する修復の容易さの点で大きな利点があると考えられる。また、運搬の容易さと施工性から、応急仮設建築への展開も期待できる。

環境配慮

どんな建物にも寿命があり、適切な更新がなければ、やがて壊される。交換可能性の追求を行う意義は、その永遠性により、大きな環境負荷を伴う「スクラップ&ビルド」からの解放に繋げることにもある。

情報端末化

情報端末としての交換可能な木質小断面部材を考える。

部材を建物に取り付けると、建物は部材を認識し、部材は建物を認識する。部材はその位置情報、使用履歴、材齢、現在の構造負荷等を刻々と記録し続け、常時交換の可否を判断する。建物は自動解析により常に安定した構造を実現する。また、部材内に配線を組込むことで電気や情報回路等、ライフラインの一部を担うことも可能である。

○ 交換可能な小断面部材

小断面部材は60mm角のヒノキ材を想定した。交換性や携帯性を考慮し、長さ440mmの短材とした。また、全方向から接合可能かつ交換可能な方法として「鋼板差込型ドリフトピン工法」⁵⁾を採用した。なお、接合部については破壊性状試験を行った上で適切なピンの本数、位置を決定した。

○ 変形可能な建築システム

交換可能な小断面部材は、変形可能な建築システムを実現する。生活の変化や用途変更に応じ、様々な形を変えることができる。例えば、事務用途の「標準プラン」から構造体である柱を取り除くことで、劇場用途の「大空間プラン」へ変形可能である。本棚が柱として機能するような図書館用途の「家具構造体プラン」に簡易な間仕切りを加えることで、避難用途の「災害時プラン」にも変更可能である。また、通常の建物では困難な「分棟プラン」のような建物の分割も可能である。そして、このような変形が建物利用者によって容易に実行可能である。

4. おわりに

レジリエント建築の実現に向けた取り組みの中で、レジリエンスの概念、レジリエンスを高める要素を整理することができ、そのアイデアを取り入れた作品を提案することができた。

今後も社会的ニーズに応じて、レジリエント建築の実現に向けた取り組みを継続する予定である。

レジリエント建築の実現に向けた取り組みについては、以下の8名で実施した。森清宣貴・原田雅俊（以上、技術研究所）、樋口展寛・河井翔太郎（以上、設計本部 建築設計第1部）、鳥居智之・本郷貴之（以上、設計本部 建築設計第2部）、服部将光（大阪本店 設備エンジニアリング部）、鶴岡千秋（東京本店 設備エンジニアリング部）。

なお、提案作品「TRANS-TIMBERS」は、2016年度日本建築学会技術部門設計競技にて佳作を受賞した。

参考文献

- 1) 日本建築学会 構造委員会 応用力学運営委員会：レジリエントで高い安全性を確保する構造設計とは、2016年度日本建築学会大会（九州）構造部門（応用力学）パネルディスカッション資料、2016.8
- 2) M.Bruneau and A.Reinhorn：Overview of the resilience concept、Proc. of the 8th US National Conference on Earthquake Engineering（米国地震工学会議）、2006
- 3) M.Bruneau et all：A framework to quantitatively assess and enhance the seismic resilience of communities、Earthquake Spectra、19(4)、pp.733-752、2003
- 4) G.P.Cimellaro、A.M.Reinhorn and M.Bruneau：Framework for analytical quantification of disaster resilience、Engineering Structures、32(11)、pp.3639-3649、2010
- 5) 堀智之、松本慎也：鋼板挿入型ドリフトピン接合による木質構造接合部の非線形解析、日本建築学会中国支部研究報告集 日本建築学会中国支部編 37、pp.113-116、2014.3