

第3章 第一期の活動成果

3.1 21世紀鋼構造フォーラムAグループ提案—生きる建築へのアプローチ

- ①生きる建築物へのアプローチ（その1）建築は考える葦となりうるか
- ②生きる建築物へのアプローチ（その2）鋼構造への適用と技術的検証

20世紀まで完成に至らなかった建築の進化した姿について、（その1）で人間の機能を建築に置き換えたとき、どのような発展性が残されているかを検討し、（その2）では「生きる建築」のうち、「色彩可変」「自己診断」「自己修復」「可動」について、現時点で鋼構造への適用性が高いと思われる現状技術を検証した。

以下に「生きる建築」のイメージを要約する。

- (1)表情：色変化のある材料、魅せる接合
- (2)治癒（自己保存）能力：自己修復、損傷をセンサーにより感知・補修、水の循環や Sensor による温度調節
- (3)動く：用途変化に対応、転倒防止機能、外力低減、建築または人工地盤を宙に浮かすアクティブ免震、伸縮・着脱
- (4)エネルギーの蓄積及び地域共有：外壁風力発電・地震動・落雷のような自然エネルギーを蓄積
- (5)その他：ナノテクノロジーを利用した高強度で軽量な鉄、炭素繊維を利用した高強度部材、4次元CADによる仮想建築、リユースを想定した材料・構法の規格化・ユニット化

「生きる建築」があり、個々の機能が発展して、特徴をもった建築が有機的に効率よく連動することが可能になれば、地域としてさらによいものが得られるはずである。これまで個別に発展してきた耐震、耐風技術は、そのまま特定地域の（人工または天然の）地盤に対して応用することで、建築の新しい形が生まれる。これを「地域防災制御システム」と定義すると、地域での防災制御だけでなく、エネルギー共有、さらには個々の構造体の単純化という、新しい建築の創生まで発展していく可能性を秘めたものになる。

生きる建築へのアプローチ (その1) 建築は考える葦となりうるか

21世紀鋼構造フォーラムグループA

生きる	表情	治癒
動く建築	エネルギー循環	地域防災

1. はじめに

1.1 21世紀とは

地球は46億年前に誕生し、その5億年後に生命の源となる海ができた。更にその5億年後の36億年前のはるか昔に生命が誕生したのである。人類の誕生は数百万年前であり、生命の誕生からすればはるかに短い期間である。今を生きることにすべてがあるわけではない。長い生命の歴史からすれば今我々の生きている21世紀はほんの一瞬である。しかしそれは「遠い未来へ生命を受け渡す重要な瞬間」である。

1.2 建築技術の発展

様々な機械の発明による産業革命に端を発する大量生産技術とその供給体制の確立により、建築物の主要構造材料である鉄(鋼)及びコンクリートが、今日まで建築構造用材料の主流として使用されてきた。この発展を象徴とする20世紀に対し、21世紀の建築はどのような形で発展していくのか。

本論では、20世紀では完成に至らなかった建築物の進化した姿について、その1では人間の機能を建築に置き換えたとき、どのような発展性が残されているか、その2ではそれらのうち、鋼構造建築物に適用可能な機能について技術的検証を行う。

2. 現在の建築技術

2.1 地球と建築物

建築物とは本来、無機なるものであり、人間を含めた生物は有機なるものである。しかし、地球は無機物の集まりでありながら、それ自身がエネルギーを蓄え、まだ明らかにされていない機能を有している、いわば「擬似生命体」である。これまで、地球はこうしたエネルギーや豊富な資源を、我々地球上に存在する全てのものに対して提供し続けてきた。つまり、長年にわたり、地球上にあるすべてのものは、地球と共存してきたのである。

2.2 環境への対応

地球上の生物は、環境変化に対応していくために、時間をかけて進化を繰り返して生存し続けてきた。しかし急激な進化を行うことは難しいため、その代わりに、建築を含む技術を進歩させることで、大自然の脅威から身を守ってきたのである。その結果副作用として、地球環境を悪化してきたことに気がついてきた。

2.3 既存概念からの脱却と生きる意味

建築物は無機なるものである限り、擬似生命体である地球の発する大自然の脅威、その代表格である

地震や台風、洪水などに対して、受け身の存在でしかありえない。擬似生命体との関係をうまく保つためには、建築物を「無機なるもの」から「擬似生命体」に昇格させるという、これまでとは違った概念を建築物に持たせる必要がある。

建築物は、これまでの既成概念から解き放たれることにより、大いに進化する可能性を秘めている。

3. 21世紀の処方箋 「生きる」

3.1 Thinking Reed 概念の導入

生物と無生物は、「自己複製」と「物質とエネルギーの代謝」を行なう点で区別できるとされている。生物は自らの意志によって活動(Action)を起こすことにより、受け身としての存在からの脱却を図ることができる存在である。ただ生きながらえるのではなく、「知性を持った擬似生命体」として生きる建築物の未来像を想定し、論じていく。

21世紀は、前世紀の「機械文明」から「知能/環境文明」への転換の時期である。建築にも動物や植物のように「生きる」ものとして魂を吹き込み「生きる」状態の具現化を図る。動かない財産「不動産」と呼ばれる建築物は本当に動けないのか。建築物は、人間が家族との共同生活を行うように、ごく一般的に協力しあって成立することはできないのか。

これらを解決するための1つの方法として、人間の機能に置き換えて建築物を考えること、すなわち、建築物を我々人間と同じく、「生きる」ものと捉えることを試みる。

3.2 「生きる」建築物の機能構成

建築物を機能毎に図1及び以下のように分類する²⁾。

- | | |
|------------------|------------|
| ① 外殻 (Skin) | : 内外分離機能 |
| ② 主架構 (Backbone) | : 恒久機能 |
| ③ 内部空間 (Organs) | : 変容機能 |
| ④ 付加装置 (Fuse) | : 損傷制御機能 |
| ⑤ 損傷探知 (Sensor) | : 情報感知伝達機能 |
| ⑥ 生きる (to Live) | : 擬似生命体機能 |

20世紀までの建築物は、Skinにより建築物と周囲との環境を分離し、かつデザイン性を持たせ、Backboneにより恒久的な安全性を確保し、Organsを持つサブストラクチャーにより内部の空間を自由に変容させ、Fuseにより損傷を制御することまでが可能であった。

21世紀の「生きる」建築物は、今までの建築物の機能に加え、活動するためのエネルギーを自然界から受容し Organs に蓄え、外部からの情報を検知し、内部の損傷を感知伝達する Sensor を備え、更

には Fuse をよりパッシブに機能させることで外乱に対し建築物の損傷を制御する。これらの機能を備えることで、あたかも生命を与えられたような擬似生命体「生きる」建築物が構築される。我々が産み出した 21 世紀の「生きる」建築物は、我々に対してこれまでにない可能性を提供してくれるはずである。

4. 未来の技術

4.1 未来の建築技術

「生きる」建築物のイメージを図 2 に示す。

(1) 表情のある建築物

- ・光、風、音、熱、応力等に応じて色変化のある材料（装飾的、損傷・疲労度の明示）
- ・「魅せる」接合

(2) 治癒（自己保存）能力をもった建築物

- ・自身で損傷を感知し、修復する自己修復システム（形状記憶合金、インテリジェントコンクリート）
- ・損傷をセンサーにより感知し、補修をうながすシステム（色変化・ひずみ感知塗料、複合材）
- ・水の循環や Sensor による温度調節システム

(3) 動く建築物

- ・形状変化によって用途変化に対応する建築物
- ・2 足歩行ロボットのような重心移動による転倒防止機能をもった建築物
- ・風に対し翼の形状や角度を変化させることで外力低減できる建築物
- ・センサーにより外力を感知し、リニアモーター等の超電導により建築物または人工地盤を宙に浮かすアクティブ免震システム
- ・伸縮・着脱が容易な構造物

(4) エネルギーの蓄積および地域共有

- ・外壁風力発電のような自然エネルギーを効率よく蓄積するシステム
- ・地震の振動エネルギーをコントロールすることによりエネルギーを蓄積するシステム
- ・落雷エネルギーの蓄電システム
- ・人工地盤上に建築物を構築することによる地域防災制御システム

(5) その他

- ・ナノテクノロジーを利用した高強度かつ軽量の鉄
- ・炭素繊維を利用した高強度部材（複合部材）
- ・4 次元 CAD による仮想建築システム
- ・リユースを想定した構法・材料の規格化、ユニット化

4.2 未来に向けて

ここまで生きる建築物単体の可能性を示した。生きる建築物があり、個々の機能が発展して、特徴をもった建築物が有機的に効率よく連動することが可

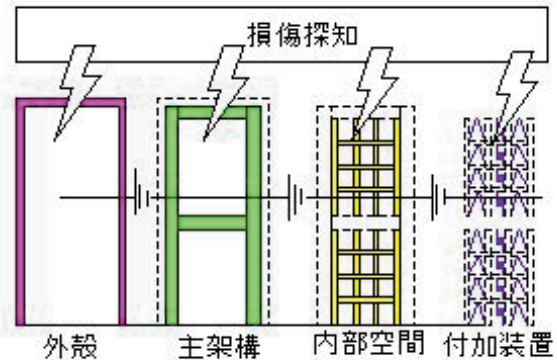


図1 生きる建築物の機能構成

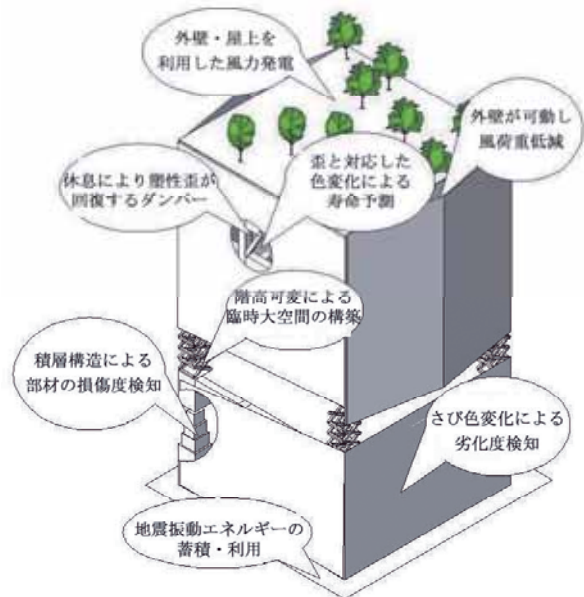


図2 「生きる」建築のイメージ

能になれば、地域としてさらによいものが得られるはずである。これまで個別に発展してきた耐震、耐風技術は、そのまま特定地域の（人工または天然の）地盤に対して応用することで、建築物の新しい形が生まれるものと推測できる。これを地域防災制御と呼ぶことにすると、これは、地域での防災制御だけでなく、エネルギー共有、さらには個々の構造体の単純化、というところまで発展していく可能性を秘めたものになるであろう。

参考文献

- 1) 鈴木啓三：エネルギー・環境・生命－ケミカルサイエンスと人間社会－、化学同人、1990
- 2) Organic Structural System Utilizing Mega-Sub Control Mechanism : Akira MITA and Yoshio KANEKO, A New Direction in Seismic Design, Tokyo, 9-10 October 1995

生きる建築へのアプローチ (その2) 鋼構造への適用と技術的検証

21世紀鋼構造フォーラムグループA

色彩可変
可動構造

自己診断
塗 装 材

自己修復
複合部材

1. はじめに

その2では、その1で提案された「生きる建築のイメージ」で示されたシステムのうち「色彩可変」「自己診断」「自己修復」「可動」について、現時点で鋼構造への適用性の高いと思われる現状技術の検証と適用可能性について述べる。

2. 色彩可変

2.1 色彩可変システムの提案

外乱（地震、風、積雪、熱、光等）に反応して、鋼材の表面の色を変化させることができれば、様々な用途での利用可能性が生まれる。構造物を対象と考えるならば、構造安全性検知としての利用可能性や装飾効果としての利用が考えられる。

しかし、応力等に反応して鋼材自体の色を変化させるのは、現状技術では、かなり困難なものと考えられる。一方、様々な外乱に対して色や形が変化する塗料や、鋼材の表層面に様々な機能を持たせた材料を接着させて複合部材（または合金）として同様の機能を持たせる方法は、実現の可能性が比較的高いと考えられる。

以下に、塗装材及び複合部材に関する技術的検証とさびの発色の利用可能性について述べる。

2.2 現状技術的検証と適用可能性

2.2.1 塗装材による損傷（応力）検知

文献1)では、地震後の鉄骨部材の損傷程度を、さび止め塗料の剥離状況により推定可能かどうか調べている。0.2%程度のひずみから塗料の剥離が観察され、損傷を受けていることは把握できるが、ひずみ量を正確に同定するのは現状では、やや困難と思われる。さび止め機能以外に、ひずみ検知としての機能も持つ塗料（剥離開始のひずみが異なる塗料）を開発すれば、それを梁端部等の損傷を受ける部位に数種類塗布することで、ひずみ量をより正確に検知できるようになる（図1参照）。

2.2.2 表層面に別の材料を接着させた複合部材

フィルムやシート等の添付または接着による複合材を開発し、表層面には鋼材では実現できない機能を持たせることによって、部材の色彩可変機能を代替できると考えられる（図1参照）。このような複合部材では、ひずみや熱に対して何らかの変化が視覚によって確認できる材料を接着させることで対応させることになる。この材料に、太陽光を吸収させて、夜、発光させるというようなことは、可能性があると考えられる。このような複合材は、ひずみ検

知や装飾効果以外にも、補強材としての使い方も考えられ、床振動音減衰材としての複合部材は、すでに実用化されている。

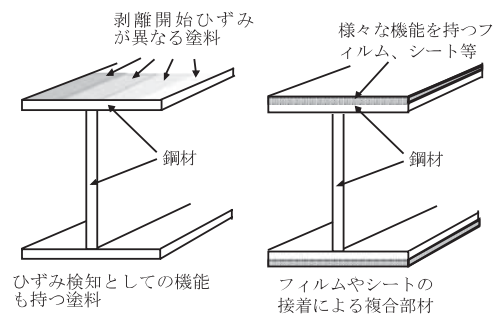


図1 塗料、フィルム等による損傷検知

2.2.3 さびの色の制御

鋼材に発生するさびの色として、白、黒、黄、淡褐色、オレンジ、赤、褐色、緑などがある²⁾。1つの鋼材で、年数を経るとともに、これらの色を次々と発色させることができれば、装飾効果や、より詳細な経年劣化検知に利用できる可能性がある。

3. 自己診断

3.1 自己診断システムの提案

柱、梁、床、壁といった構造体の疲労度や損傷度を検知するシステムがあれば、たとえ仕上げ材で覆われていても、迅速かつ信頼性の高い検査が可能となる。これにより、大事故になる前に検知した状況に応じた補強措置や適切な安全対策を施すことができる。

3.2 現状技術的検証と適用可能性

すでに航空機の外壁パネル等に用いられている技術で、複合材積層板の層間に格子状の光ファイバーセンサーを配置している³⁾。光ファイバーセンサーは、温度・ひずみに敏感で、耐電磁干渉性にも優れる。他に、損傷発生に伴う動的現象への応答に優れた圧電セラミックスや多点の情報を利用して損傷位置の特定を行う piezo（圧電）フィルム等がある。また、磁場や電場をかけると見掛けの粘性が増大する性質をもった磁気・電気粘性流体も制御機能をもたせるのに有効である。圧電材料等で自然エネルギーによる発電機能を持たせたり、内部層に、粘性流体をいれて減衰を調整したり、図2に示すように透水層を設け水を循環させることで耐火被覆や断熱を不要とするなど、積層構造の各層に様々な機能を併せ持たせることで幅広い利用が可能となる。

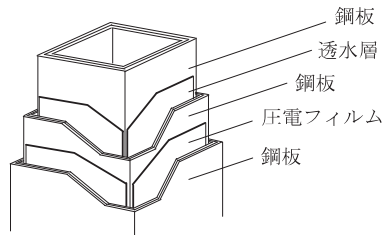


図2 鋼管柱への適用

4. 自己修復

4.1 自己修復システムの提案

地震時に鋼部材に発生するひずみを除去したり、亀裂や破断を防止できるような機能を材料自体に持たせることができれば、鋼構造物の耐震設計に対して、極めて有効な手段となりえる。ここでは、そのような特性を持つ鋼材について紹介し、その適用可能性を探る。

4.2 現状技術の検証と適用可能性

4.2.1 トリップ鋼

図3に示すようにトリップとは、室温で、原子の結晶構造としての準安定のオーステナイト（面心立方格子）が、引張によりくびれが生じて、マルテンサイト（体心立方格子）に変わる（加工誘起マルテンサイトと呼ぶ）現象である⁴⁾。それによって、くびれた部分の強度が増加し、そこでは変形が進行せず、他の部分で変形が進行し、結果として大きな均一伸びが得られる。

このような性質の鋼材を、地震時に塑性化する部分の構造用の鋼材として利用することによって、大きな耐力と変形能力が得られ、これまでよりも経済的な断面設計への可能性が考えられる。

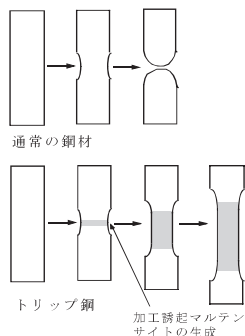


図3 トリップ鋼の概念図

4.2.2 形状記憶合金

形状記憶合金を構造物の耐震要素として利用するための研究はすでに進んでいる。材料特性⁵⁾、筋かい⁶⁾、半剛接合部のボルト、梁の主筋及びアンカーボルトとしての利用可能性等が検討されている。現状では30mm程度の径が最大である。より大断面での製造が、利用拡大につながると思われる。これらの部材が、大地震で塑性化した後にひずみが除去

されれば、エネルギー吸収部材として大きな効果が期待できる。

5. 可動

5.1 可動システムの提案

建物の形状を変化させることができれば、受光面を常に太陽に向けたり、図4に示すように受風面を調整して建物に作用する外力を低減したり、用途に応じて階高やスパンを変化させる等様々な利用可能性が広がる。

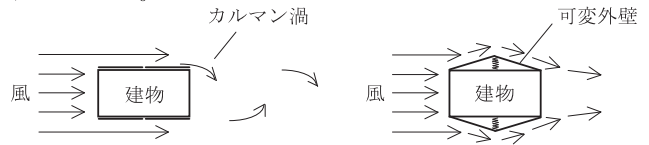


図4 可変構造の適用

5.2 現状技術の検証と適用可能性

小さく折りたたんで大きく展開できるシザースシステム⁷⁾やトラスの一部が伸縮する可変形状トラス⁸⁾等の形状を変化させることのできる既存技術は確立されているが、規模が大きくなり荷重条件が厳しくなると、動力部の納まりと部材剛性および強度の確保が必須条件となり、如何に適用していくかが今後の課題であると考えられる。

また、増築や改修工事においてエレベータ等の部材搬入路の制限を受けることが多く、仮設部材だけでなく本設部材に対しても、コンパクトに折りたたんで使用場所で大きく広げる技術の適用は新たな施工方法に結びつくものと考えられる。

6. まとめ

現状技術に着目し、実現性のあるものとして「生きる鋼構造」の幾つかの提案を示した。今後は、ナノテクノロジーの発展により新たなインテリジェント材料が開発され、よりヒューマンライクな利用法が実用化されることを期待する。

参考文献

- 1) 西山功、他：さび止め塗装の剥離状況による鋼材の損傷度評価、日本建築学会大会梗概集 C-1、pp315-316、1999.9
- 2) 三澤俊平：さびサイエンスと耐候性鋼さび層研究進歩、ふえらむ Vol.6(2001)No.5
- 3) 日本機械学会編：「インテリジェント技術 材料・構造」、日刊工業新聞社
- 4) 牧正志：鋼の加工熱処理の最近の動向、熱処理 37 巻 1号、平成9年2月
- 5) 福田俊文、北川良和、守護嘉朗：Ni-Ti系形状記憶合金の応力歪み特性、鋼構造年次論文報告集、第9巻、pp141-144、2001.11
- 6) 大井謙一、他：超弾性筋かい・履歴型ダンパー併用構造の耐震性能、鋼構造年次論文報告集、第9巻、pp397-404、2001.11
- 7) 日経BP社：「日経アーキテクチャー 2002.8.19」
- 8) 井上文宏、栗田康平、古屋則之、汐川孝、名取通弘：可変形状トラスを用いた可動型構造物の適用実験、第9回建設ロボットシンポジウム論文集、pp.259-266、July 2002

3.2 21世紀鋼構造フォーラムBグループ提案—進化する鋼構造

①着脱可能な接合部の探求

②次世代接合部を有するユニバーサル鉄骨架構の提案

「進化」のキーワードに対する具体的な構造性能を、階高・床面積・建築物の高さの変更を可能とする性能または再利用を可能とする性能であると考えた。そしてそれらを実現する技術・工法は、架構の組み立て作業および解体作業を容易にするものつまり接合に工夫を凝らしたものとすることが必須であろう。

そこで、他分野における着脱可能な接合部の鋼構造建築部への適用可能性を検討すると共に着脱可能な接合方式を有する新鉄骨架構の提案を試みた。

着脱可能な接合部の探求

21世紀鋼構造フォーラムグループB

地球環境
接合

進化
着脱可能

可変性
解体

1. 緒言

1.1 背景

建築は地球環境に多大な負荷をもたらしており、その改善が強く求められてきている。建築には実現、運用、除却などに関わる営みを多く含んでいるため、地球環境を保全するために克服すべき課題は多い。

2000年6月に日本建築学会等が「地球環境・建築憲章」を発表している¹⁾。21世紀の建築創造に対する以下の5つの目標を掲げ、取り組むことを宣言したものである。

1) 長寿命, 2) 自然共生, 3) 省エネルギー, 4) 省資源・循環, 5) 継承

上記目標のうち、1)と4)については構造が果たせる役割がとくに大きいと考えられる。本論文では、この目標を達成するために必要となる、鋼構造建築における接合部の「進化」の可能性について考えてみたい。

1.2 “進化”の方向性・手段

建物の寿命は、社会環境の変化や用途変更によって決まる場合が多く、「長寿命化」する場合はこのことを考慮する必要がある²⁾。具体的には、階高・床面積・建物高さの変更を可能にすることである。一方、仮設シアターやショッピングセンター、テナント商業ビル等の中には、使用期間を短く限定した建物が多く、その要求される使用期間、機能、性能等に応じて、「再利用化」できる場合もある³⁾。したがって、拡張や再利用を考慮した、現状よりも「進化」した技術・工法が必要となる。例えば、目標1)と4)を達成するために必要な技術として、柱・梁骨組の組立作業および解体作業を容易にすること、つまりは、部材と部材をつなぐ「接合」に工夫を凝らすことが挙げられる。

現在の鋼構造・鋼製品における接合の方法は、機械的接合、溶接および接着など図1に示すように多岐

にわたっている。どの接合方法を採用するかは対象となる部品の形状、材質あるいは表面状態などから選択されている。鋼構造建築分野の接合では、溶接に属する融接と機械的接合に属するボルト接合が主流となっている。ただし、これらの接合方法は接合部の解体容易性を必ずしも考慮したものはなっていない。さらに、溶接については、溶接工の高齢化に伴う人員不足、ボルト接合については、接合部の重量増加等の大きな問題を抱えている。

一方、「進化した」新しい接合方法に考慮しなければならない性能は、作りやすさ・外しやすさなど”施工時”に求められるものと安全・安心など出来上がった”製品（接合部）”に求められるものに分けられる(図2)。目標1)と4)を達成するためには、前者に重きを置くことになる。すなわち、前述のように組立作業および解体作業を容易にすること＝”容易に着脱可能な接合”とすることが、鋼構造建築の接合部を「進化」させるための重要課題となる。

そこで以下では、着脱可能な接合技術をいくつか取り上げ、定性的に評価するとともに、鋼構造建築分野への適用可能性について検討する。

2. 着脱可能な接合部

2.1 着脱可能な接合技術

他の分野で行っていることを真似ることは、自分の分野では独創となりうる。そのような観点から他分野における”着脱可能な”接合技術を調査し、鋼構造建築分野への転用・応用が可能かどうかについて検討し、新しい接合方法への”進化”の足掛かりとした。

他分野技術を探索した結果、具体的な技術として表1に掲げるものが見つかった。それらの技術は「嵌合系」、「摩擦系」、「接着系」の3つに分類できる。なお、他にも適用が可能と考えられる技術もあった

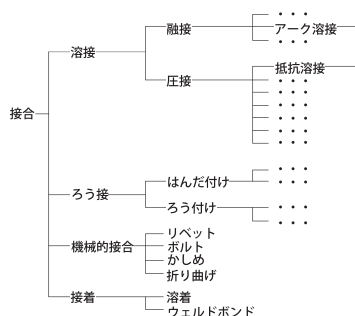


図1 接合の種類

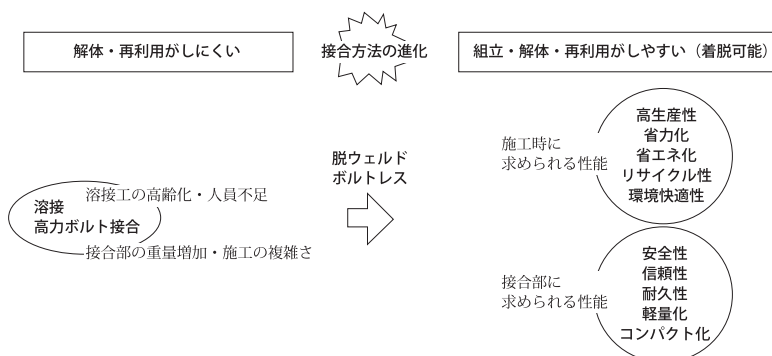


図2 建築分野の「接合方法」の進化

が、建築物に導入した際に重大な障害を引き起こす可能性が考えられるものは除外した（例えば、「マグネット」は電波妨害を起こす可能性がある）。

2. 2 接合部の評価

表1に示した他分野における接合技術を、「構造適応性」と「現場適応性」の2つの観点から評価する。

「構造適応性」については、適用する接合形式を図3のように想定し、評価を行った。Type-Aは継手タイプの接合を、Type-Bは仕口タイプの接合を、Type-Cは床材・壁材などの面材と柱材（梁材）の接合を想定している。それぞれのTypeの接合形式に対して表1の接合技術には構造的な見地から得手・不得手があるが、その適応性をまとめると表2のようになる。

続いて「現場適応性」について示す。表4に、各接合技術を表3に示した評価基準に基づいて評価したものを示す。また、それぞれの特徴および適用接合形式も同表に合せて示した。なお、各接合要素の評価ポイントは当グループの委員（6名）が各評価項目に対して3段階評価（良い：3点、普通：2点、悪い：1点）したポイントの平均点である。

評価が高い接合技術は「ワンタッチコネクタ」、「締付けリング」、「ホック」でいずれも「嵌合系」の接合部であった。これらの接合技術を想定する接合形式に対して適宜組合せて適用すれば、目標1）、4）の

目標に叶った接合部が実現できると考えられる。一例として、「次世代接合部を有するユニバーサル鉄骨架構の提案」論文で示される、建物形状に可変性を持つ新鉄骨架構への適用が挙げられる。

3. まとめ

建物の組立・解体を考慮し、着脱可能な接合技術をいくつか取り上げ、定性的に評価を行った。その結果、「嵌合系」の接合技術が評価が高く、適用範囲が広いことがわかった。

参考文献

- 1) 地球環境・建築憲章委員会：「地球環境・建築憲章」パンフレット，2000年6月
- 2) 日本機械工業連合会・日本鉄鋼協会：平成11年度 循環型社会における金属系材料の在り方に関する調査研究報告書，2000年3月
- 3) 平石澄夫，飯塚信一，齋藤美佐男：「西松式リユース鉄骨工法（N-RUSS工法）の開発，鉄構技術，Vol.15，No.172，pp26-pp30，2002年9月
- 4) 日経アーキテクチュア2002 5-27：プロジェクトナビ「邑楽町庁舎は山本理顕氏の伸縮自在なシステムに」，第719号，pp32，2002年5月

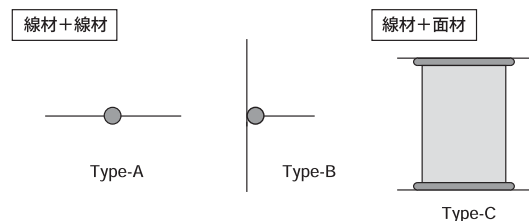


図3 想定する接合形式
表3 評価基準

表1 着脱可能な接合技術

嵌合系	ワンタッチコネクタ	ホック	ジッパー	マジックテープ	締付けリング
摩擦系	締付けリング	圧着ベルト			
接着系	はんだ	粘着テープ			

表2 想定する接合形式への構造適応性

		嵌合系	摩擦系	接着系
接合形式	Type-A	適	適	不適
	Type-B	適	適	不適
	Type-C	適	可	適

表3 評価基準

接合部に関する評価基準	具体的項目
①施工性	スキルレスである。管理項目が少ない。着脱が容易である。
②環境条件作用	油脂類・溶剤に耐える特性を持つ。耐熱性、耐水性、耐腐食性がある。
③検査	検査が容易かつ確実に行える。

表4 各種着脱可能な接合技術の現場適応性

	ワンタッチコネクタ	ホック	ジッパー	マジックテープ
写真				
①施工性	良好	良好	良好	良好
②環境条件作用	良好	良好	良好	良好
③検査	良好	良好	良好	良好
特徴	取付・取外しに力がかからない。取付・取外しに時間がかからない。また、取付・取外しに特別な道具は必要ない。	ワンタッチコネクタとホックは、取付・取外しに力がかからない。また、取付・取外しに特別な道具は必要ない。	ワンタッチコネクタとホックは、取付・取外しに力がかからない。また、取付・取外しに特別な道具は必要ない。	ワンタッチコネクタとホックは、取付・取外しに力がかからない。また、取付・取外しに特別な道具は必要ない。
適用接合形式	Type-A, B	Type-A, B	Type-A, B	Type-A, B

次世代接合部を有するユニバーサル鉄骨架構の提案

21世紀鋼構造フォーラムグループB

可変性
接合

持続性
360度

着脱可能
ユニット化

1. 緒言

成熟化社会を迎えた21世紀となった現在、地球環境負荷低減における対応は、個人レベル以上に生産者企業が主体となって取り組むべき大きな課題である。その対応に呼応するように建設業界も大きな転換期にあり、図1に示すように建築物に対する社会的概念が「A」から「B」に変化している。この変化は、環境負荷低減と同時に、建築物が社会的変化の乏しい中での不動産価値であったものを、多様な社会変化に対して時間軸を有した動産価値として評価していく意識の表れとも考えられる。

一方、建築物における構造体は、基本的には「要素」（種々の材料）を「加工」して「結合」（鉄骨造においては溶接等、コンクリート造においては鉄筋を含むセメントの硬化）するという構成方法に還元できる。そこでこの3つの構成方法の中から図1の「B」の概念を有し、環境負荷低減・動産価値評価の観点から、従来の技術を革新する効果的な着目点と考えた場合、「接合方法」が第1にあげられる。特に鋼構造建築物においては、溶接・ボルト接合が一般的で、逆にそのことが21世紀の課題解決を阻むと予想される。他分野を含めた接合方法の分析は、「着脱可能な接合部の探求」の論文において建築分野における応用を示唆しているので参照することとし、本論文では、次世代接合部を含めた実現可能な新鉄骨架構の提案を試みる。

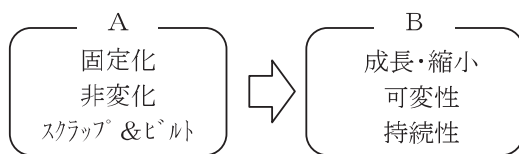


図1 建築物に対する社会的概念の変化

2. 提案

2.1 次世代接合を含む架構への要求について

次世代接合部を含む架構への要求は上記「B」の概念を満足するものと考えると以下のような項目があげられる。

- ・容易な接合と同時に分解可能
- ・架構形態の自由な構成が可能
- ・単位部材によるシステム構成
- ・運搬・施工の容易性
- ・部材の伸長・縮小性
- ・軽量化

以上の項目はお互いに独立した項目ではなく、求める具体案は、同時に満足するものでもあり、また、矛盾を解決するものが求められる。例えば、ユニット化により通常、部材の生産性・再利用が考えられるが同時に平面プランの許容自由度・可変性が失われる。

2.2 接合部と架構体の提案

本論文で提案する架構を図2に示す。名称は、「次世代接合部を有するユニバーサル鉄骨架構」（略称NUS架構）とする。NUS架構の特徴の項目と、その主要内容を下記に示す。

- ・柱中央部ピン接合
- ・テーパー鋼管柱
- ・360度方向大梁接合
- ・リング嵌合接合
- ・仕口鋼管と柱のねじ留め接合
- ・スラブと大梁の接着接合
- ・最小限の構成要素

柱中央ピン接合方式は、従来の接合位置と考える端部ではなく、階高の中央とすること、さらにメタルタッチとすることで大きな効果が得られる接合方式である。まず中央とすることで、水平力によって生じる曲げモーメントの反曲点位置（ $M=0$ ）が必然的に中央部となり応力の均等化が図れる。従って計算不要の可能性と同時に断面標準化による部材の規格化ができる。また、応力分布に応じて高強度鋼材を用いたテーパー鋼管とすることで、材料の軽量化、柱のデザイン化が図れる。また、最近増加しつつある建築物の用途変更に応じる階高拡張も、接合部のかさ上げにより容易に対応できる。

次に仕口部の接合方式について述べる。まず大梁には端部に曲面エンドプレートをあらかじめ接合しておく。一方柱仕口部鋼管には一回り直径の大きい下部リングプレートがあり、このすきま部分に大梁のエンドプレートを上から差込み嵌合し、その上からさらに上部リングプレートをかぶせる。この接合方式により、大梁の取り付け方は360度方向を可能とする。従って柱位置も非グリッド上で問題なく架構構成でき、建築平面形態の自由度は、大幅に大きくなる（図3）。また、嵌合接合であるため、着脱・解体は容易となる。

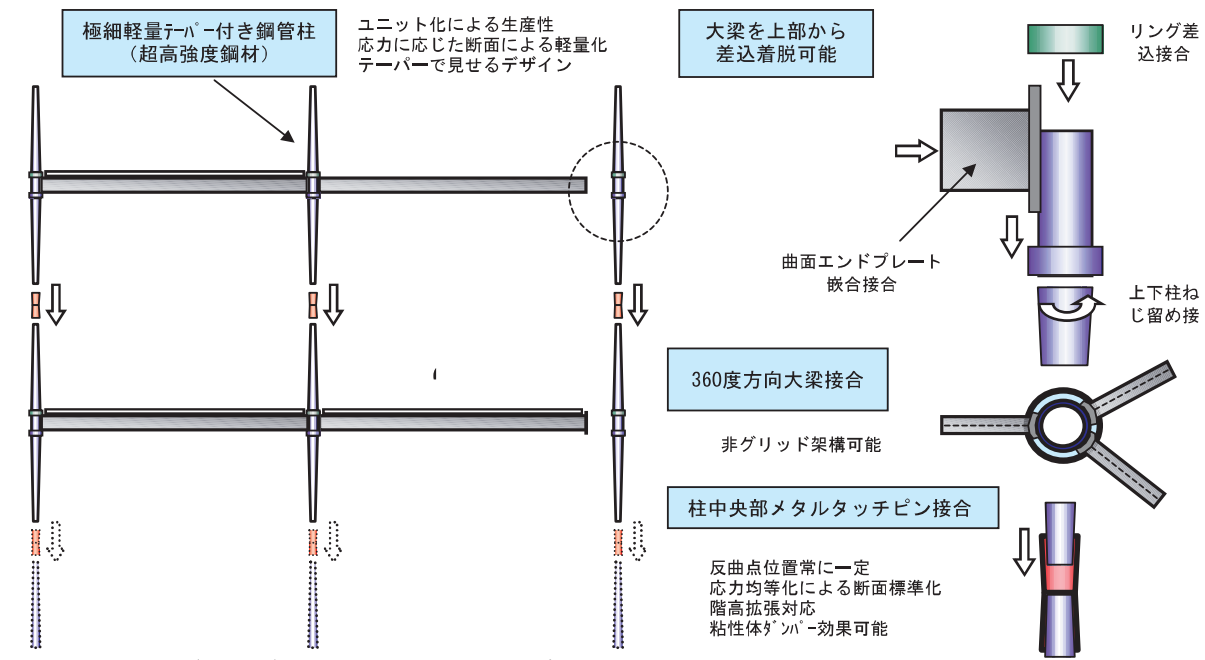


図2 次世代接合部を有するユニバーサル鉄骨架構

2.3 予測される効果

予想される効果を以下に示す。

- ・環境負荷低減としての建築物として、着脱式接合方式による解体・再利用が容易となり、資源循環化が増大できる。また、そのことによりイニシャルコストも大幅に低減される。
- ・動産価値評価としての建築物として、増築、減築、移築、階高変更、平面プラン形態の変更が容易になり、資産価値が増大、また、事業計画の変更にも対応、経済市場を拡大する。

2.4 応用可能性

本提案に対し応用提案を以下に示す(図4)。

- ・伸縮柱
テーパ-鋼管の円錐形状を利用、コップ形態の入れ子状態で運搬し、建設現場で上方に引き伸ばし、構築する伸縮性を有する柱の提案。仮設建築物など、移築の多い場合に有効である。
- ・伸縮大梁
伸縮柱と同様に大梁断面を角形鋼管とした上に、入れ子状態で運搬し、引き伸ばす大梁の提案。
- ・フラットパネルとの組み合わせ
図のような単位要素のフラットパネルを組み合わせ柱に接合する提案。大梁はなく、正方形・正三角形のパネルをプレストレス(P S)等で締め付ける方法とする。
- ・教育模型
学生にラーメン架構を教える場合、現在適切な模型がない。このNUS架構の縮小版であれば模型材料として使用できる。

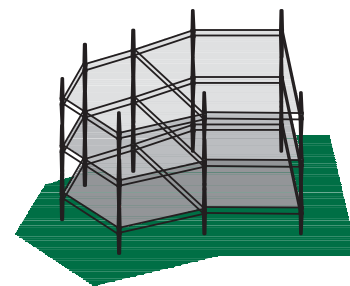


図3 ネットワーク型架構

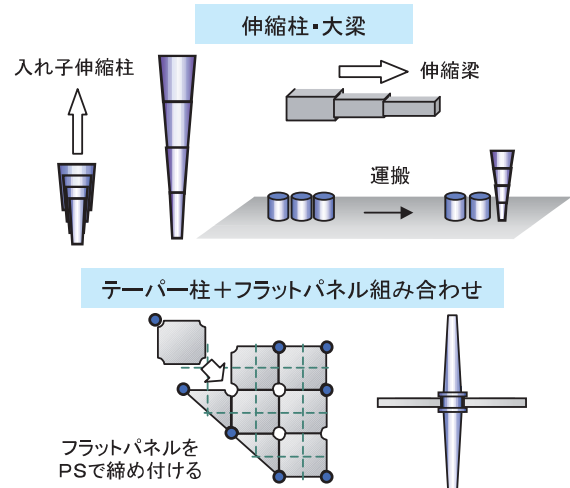


図4 応用提案

3. まとめ

- ・地球環境対応に伴い、建築物に対する社会概念の変化(可変性、持続性)に対応する、新しく進化した鉄骨架構の提案を試みた。
- ・着脱方式となる接合方式に着目し、自由な架構形態が構成でき、単位部材によるシステム架構となる「NUS架構」が提案できた。

3.3 21世紀鋼構造フォーラムCグループ提案—解き放たれた鋼構造

①解き放たれた鋼構造 — スティール・メゾンリー

②産業用建築物ユニットのケーススタディ

2つの意味で「解き放たれた」鋼構造を模索した。1つは「市民に」解き放たれたであり、他の一つは鋼構造の「常識から」解き放たれた、である。

建築物は、元々人間にとって身近な天然材料を自ら加工し、組み立てることによってシェルターとすることから発展してきた。より強い材料、より合理的な工法を追求することにより20世紀までの鋼構造は目覚ましい発展を遂げたわけであるが、一方で、鋼構造建築物を生産するためには、設計者・ファブリケータ・施工者等の高度な専門家の存在が不可欠となり、市民は純然たる利用者としてしか鋼構造建築物と関わるができなくなってしまった。そこで、丸太を組み合わせるが如く、レンガを組み上げるが如くに、自らの手で建築物を作るための鋼構造「要素」を模索した。スティール・メゾンリーは、市民に解き放たれた鋼構造建築物であり、単なる懐古趣味に留まらず新世紀に向けた高性能を秘めた、答えである。

鋼構造建築物には、解き放たれるべき3つの常識＝呪縛があるのではないか。すなわち、

- (1) 常識的な姿
- (2) 常識的な付加的構築システム
- (3) 常識的な規格概念

である。これらを解き放つとは、質素であっても粗末ではない鋼構造建築の新しい姿を探求すること、骨組構造という多段階の構築システムを単純化した新しい構築システムを構想すること、新しい規格構造を考え、それを活用した新しい産業構造の在り方を構想することが必要となる。これらに関して、産業用建築物ユニットのスタディを試みた。

なお、産業用建築物ユニットのスタディについては、作品の形で提案を行っている。

解き放たれた鋼構造 — スティール・メーソンリー

21世紀鋼構造フォーラムグループC
メーソンリー ユニット構造 標準化
生産システム 流通体制 リユース

1. はじめに

20世紀は、人類が技術により多くの不可能を可能とし、世界の多くの市民がその恩恵に授かることが可能になった最初の世紀といえるかもしれない。鋼構造建築もその例外ではない。素材・部材が構造材として高性能化されただけでなく、設計から施工まで高度な建設技術が確立されてきた。これにより、木造や組石造では想像できないような摩天楼や大空間建築を出現させた。経済的かつ大量生産を可能とする生産・流通システムを構築してきたことも見のがせない。鋼構造建築は、今や、国内全着工面積の3分の1を占めるにまで至っている。

しかし、鋼構造を含めた20世紀の建設技術は、一面では華々しい実績を収めたものの、他方ではその技術の進歩に伴い、高度な技能者に限られた＝市民から遠ざかったものとなっているのではないだろうか。

本論で提案する小型鋼ユニット＝スティール・メーソンリーは、鋼構造建築を極限られた技能者から市民の手の届くものへと解き放つことを目指すものである。この小型鋼ユニット＝スティール・メーソンリーは、しかし、レンガに代表される伝統的なメーソンリーとはまったく異なる。後者が勘と経験に基づいた手作業を前提とした建築「要素」であるのに対して、スティール・メーソンリーは、高度な工業プロセスにより生産され、また高度な設計技術に裏打ちされた高性能な「要素」であり、技術が昇華して市民に舞い戻った、手に届く「要素」である。

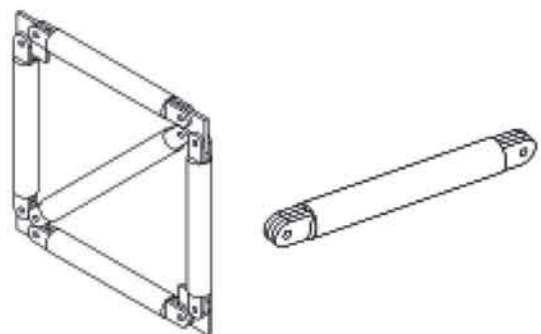
2. スティール・メーソンリー

スティール・メーソンリー構造では、建設および建替えニーズの多い低層住宅や倉庫、工場などを主な対象と

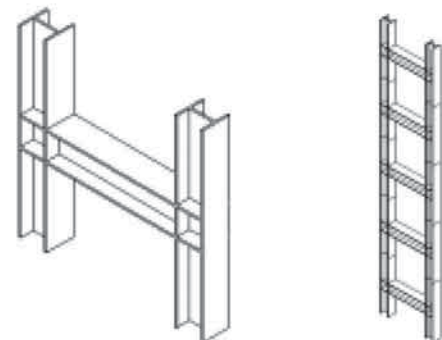
する。大量生産のメリットを活かすために、部材種類は最小限に留める。

2種類のスティール・メーソンリー案を図1、図2に示す。

・案1(図1):システムトラス型。部材はパイプで構成し、接合部はピン接合とする。耐力や剛性はパイプの断面積で調整する。斜材をダンパーとすることにより、ダンパー機能付きメーソンリーとすることも可能である。



(a) 基本モジュール (b) 標準部材
図1 システムトラス型メーソンリー



(a) 基本モジュール (b) 組立図
図2 ファイアーレディールトラス型メーソンリー

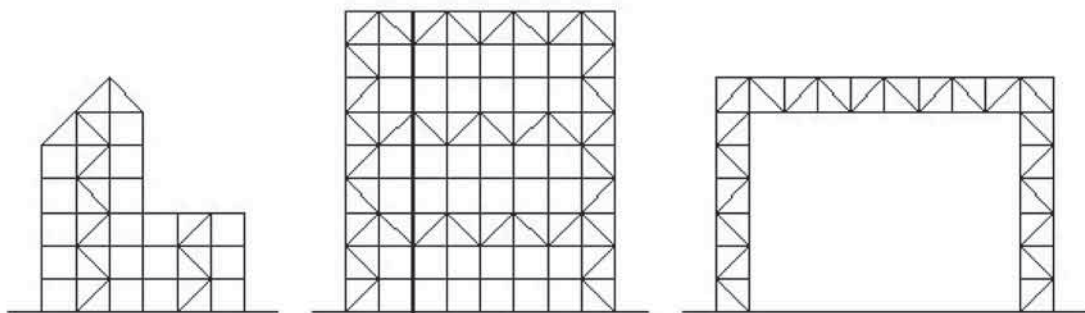


図3 スティール・メーソンリーを用いた骨組

A new structure using Steel Masonry

・案2 (図2) : フィーレンディールトラス型。外力に対しては部材の曲げで抵抗させる。メーソソリーの接合部は反曲点位置とする。

いずれの場合も、意匠設計の自由度や汎用性を高めるために小さなモジュールを採用する。対象とする建物規模にもよるが、スチール・メーソソリーの基本寸法は、200mm、500mm、1000mm程度の3～4種類揃えればよいであろう。接合部は組立て、解体の容易なメカニカル接合とする。また、メカニカル接合とすることで、施主自らによる増改築、部分的な補強も容易とできる。

構造形式 (図3) としては、スチール・メーソソリーの組立てによるトラス構造、壁式構造、ラーメン構造など、種々の形式が考えられる。スチール・メーソソリーの組合せにより提供できるのは骨組だけであり、バリエーション豊かな内・外装材を取り揃え、これらもユニット化することが望ましい。

3. 生産・流通のプロトタイプ

現状の鋼構造建築の生産流通システムは、素材・部材製造、加工、設計、施工のそれぞれは、メーカーやファブリケーター、設計事務所、工務店などにより、ほぼ完全な分業体制となっている (図4)。高品質かつ高性能なスチール・メーソソリーを提供していくためには、標準設計ソフト、施工マニュアルは、メーカーと設計事務所がタイアップして作成する必要がある (図5)。またスチール・メーソソリー骨組を施主＝市民による設計・施工が容易にするために、徹底した仕様規定とすること

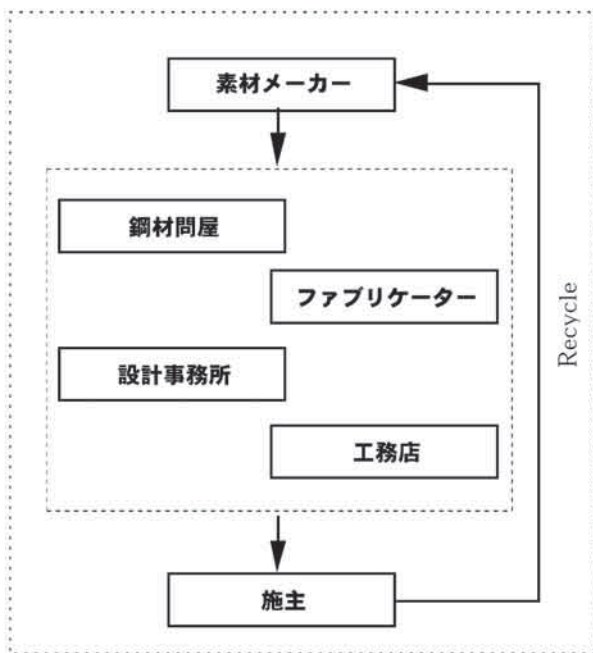


図4 現状の流通体系

が望ましいであろう。仕様規定の方向性としては、例えばラーメン構造の梁として用いる場合はスパン制約を設ける、壁式構造の場合は壁倍率を設定する等が考えられる。

メーカーはスチール・メーソソリーを構成する部材を製造し、スチール・メーソソリーの組立てはファブリケーターで行う。ホームセンターに代表されるD. I. Y. 店や工務店では、スチール・メーソソリーの販売に加え、施主自らが設計・施工するにあたってのアドバイスを行うことが必要であろう。

なおスチール・メーソソリー骨組の解体後は、スチール・メーソソリーのリユースが可能であり、環境に優しい骨組とできるだけでなく、骨組の資産価値を高めることも可能である。

4. まとめ

本論では、鋼構造建築を限られた技能者から市民の手の届くものへと解き放つことを可能とする構造として、スチール・メーソソリー骨組を提案した。実現にあたっては、スチール・メーソソリーの基本モジュールの検討から生産・流通体制の整備まで多くの課題があり、業界を横断した取組みや新規格制定などが必要となる。しかし、鋼構造の建設技術を、今一度、市民の手元に引き戻すことは、ややもすれば無機質で人間味の少なくなりがちな建築空間を、より優しく、豊かにできるはずである。本論における提案は、有効な一手法であると考えられる。

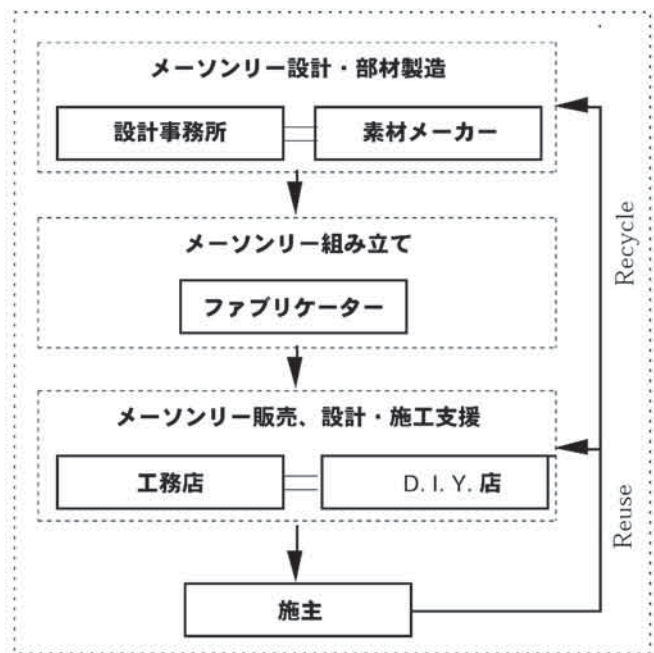
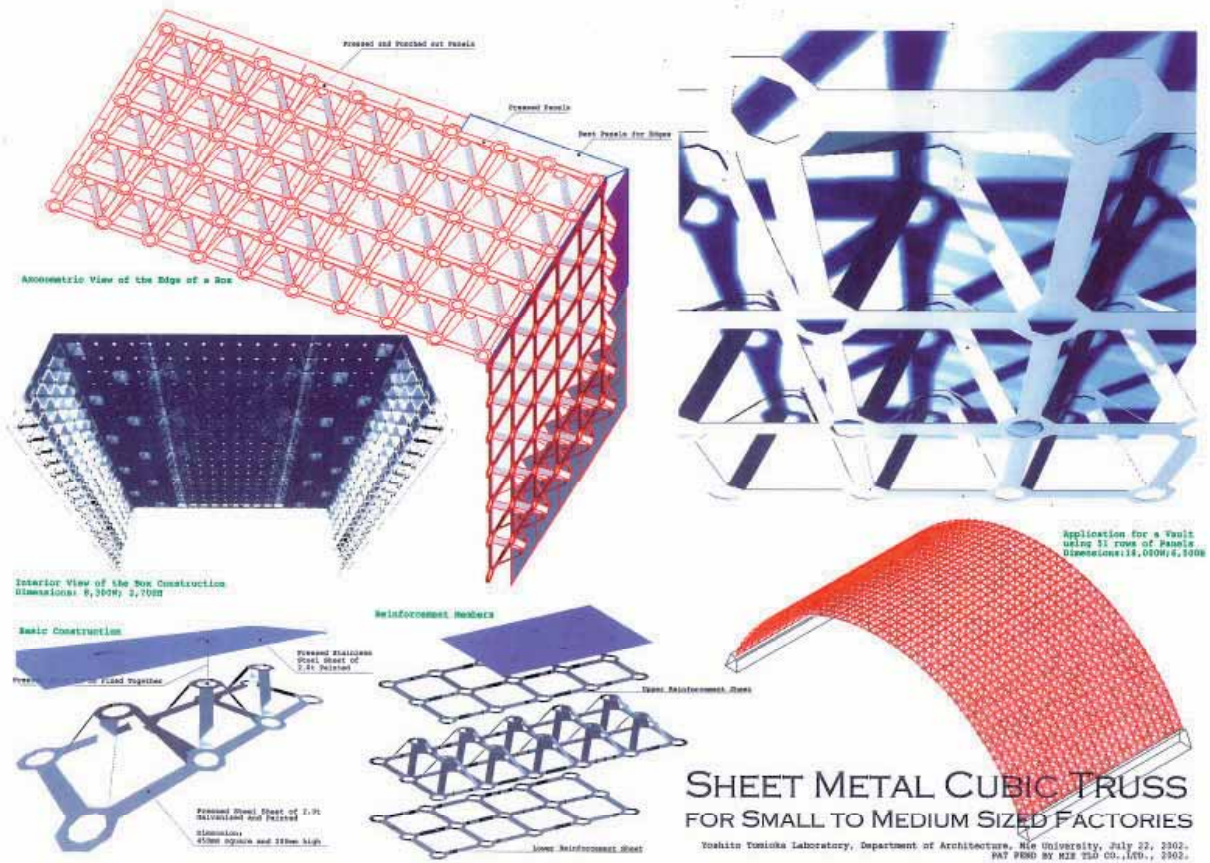
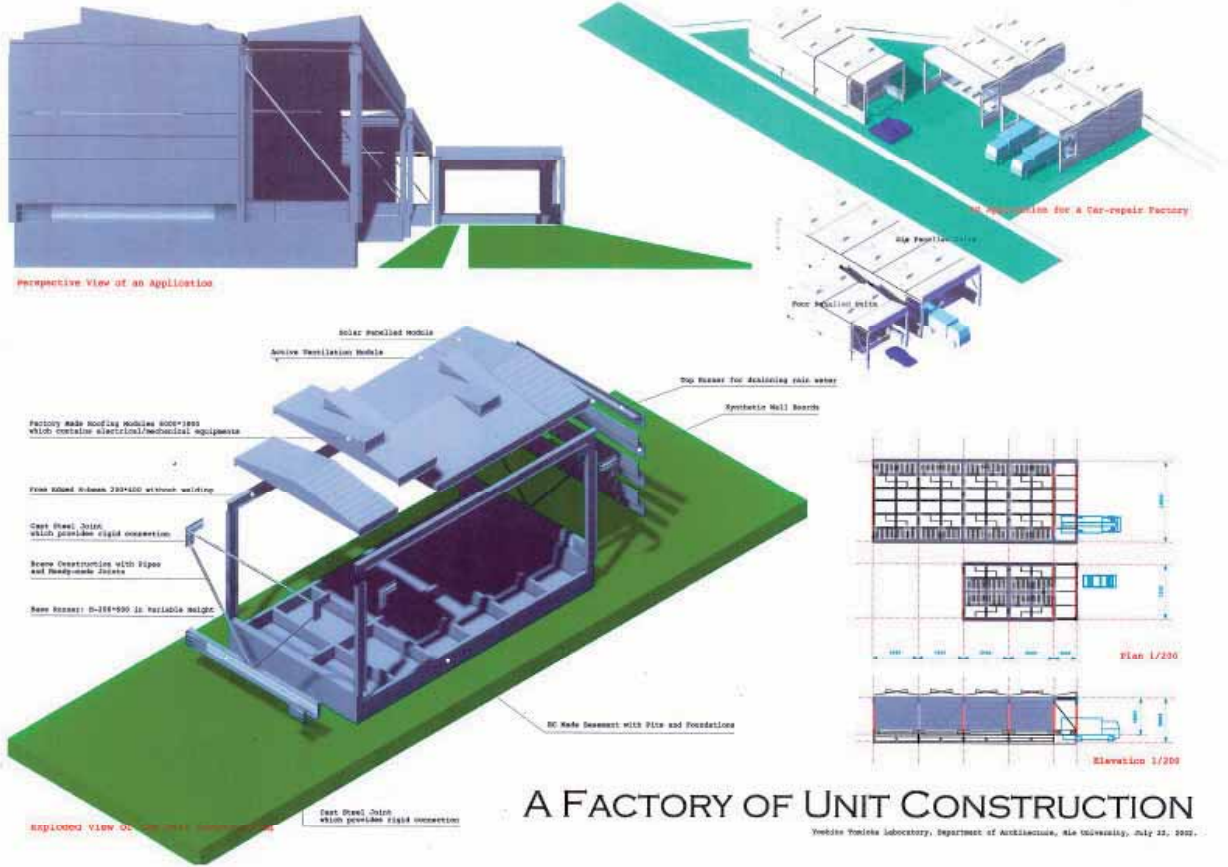
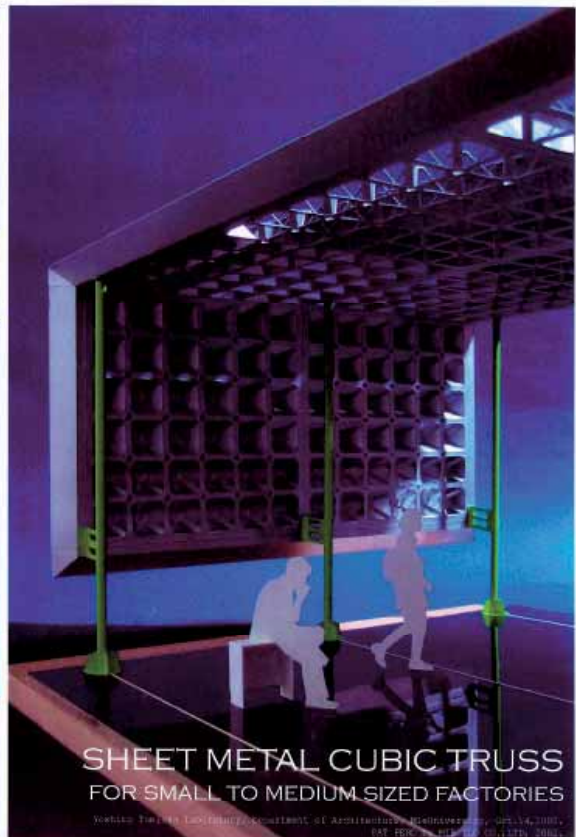
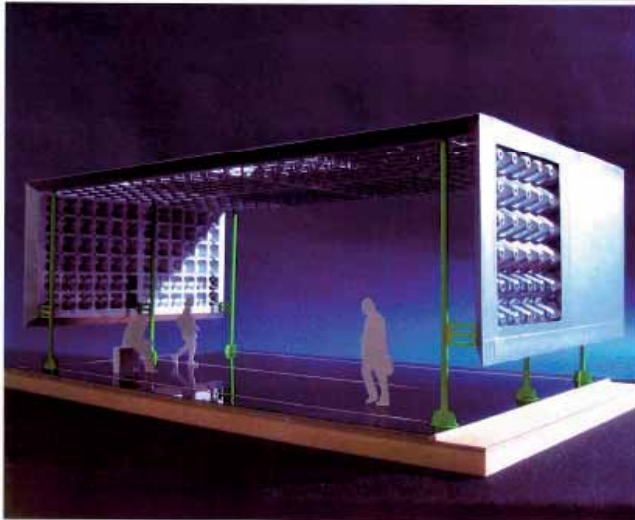


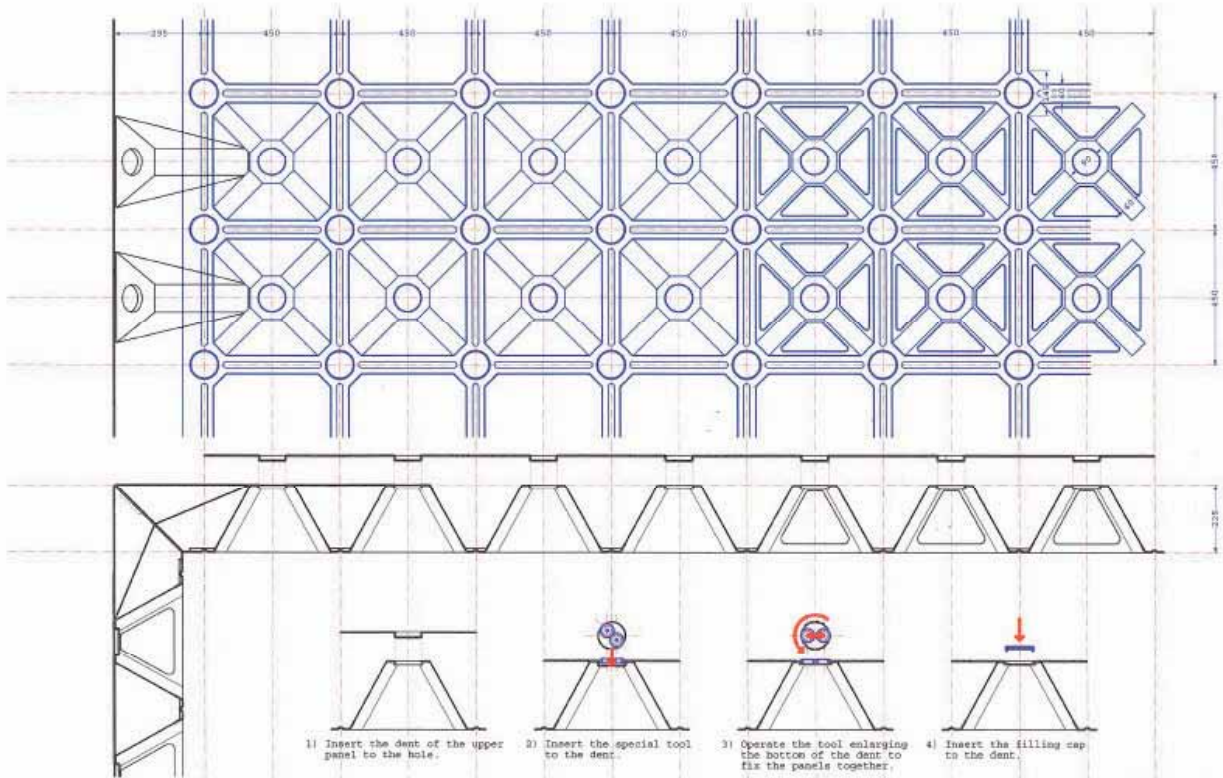
図5 スチール・メーソソリーの流通体系プロトタイプ





**SHEET METAL CUBIC TRUSS
FOR SMALL TO MEDIUM SIZED FACTORIES**

Yoshito Tanihira Laboratory, Department of Architecture, Mie University, 0423.14.1001, 1-67 FUDO 2-1-10, TSU, 514-8687, JAPAN



**SHEET METAL CUBIC TRUSS
FOR SMALL TO MEDIUM SIZED FACTORIES**

Yoshito Tanihira Laboratory, Department of Architecture, Mie University, July 27, 2002. PAT FEND BY NIK TLO CO., LTD., 2002

3.4 公募作品部門入賞作品・論文

シンポジウム「21世紀、鋼構造技術は何ができるか」では、フォーラムからの提案に加えて、一般から広くアイデアを募集することとした。

募集は、アイデア部門（図面で提出）および論文部門とし、各々、アイデア：27編、論文：16編の応募を得た。

審査は、アイデア部門では、高梨晃一東大名誉教授を委員長に、招待講演をお願いした隈研吾氏に加えて、佐々木睦朗、手塚貴晴、西沢立衛、馬場樟造の各氏を審査員とし、審査委員会を構成した。審査員各氏は、いずれも、現在、建築デザインのトップにある方々で、これにより、多くのアイデアの応募を得ることが出来た。審査は、審査委員会による一次審査で選出した6点について、シンポジウム当日、応募者のプレゼンテーションによる公開審査を行い、最優秀、優秀、各1点、佳作4点を決定した。

論文部門は、同じく、高梨晃一東大名誉教授を委員長に、フォーラムを構成する3団体の代表、すなわち、(独)建築研究所からは、山内泰之理事長（フォーラム主査）、(社)日本鋼構造協会からは、藤盛紀明構造委員長（フォーラム副主査）、そして、(社)日本鉄鋼連盟からは、私（フォーラム幹事）を審査委員とした。

この結果、(社)日本鋼構造協会の会員会社などからの応募が多く得られた。

論文部門の審査は、審査委員会による審査で、最優秀、優秀、各1点、佳作4点を選出した。入選した6点は、シンポジウムでプレゼンテーションを行った。

3.4.1 アイデア部門入賞作品

最優秀賞（建築研究所理事長賞）

「折版構造空間の探求」（管 正太郎氏）

本作品は、柱、梁を用いず、折版（デッキプレート）のみを構造材として、住宅（自宅）を設計したもので、鋼材の使い方の斬新さが高く評価された。

優秀賞（日本鉄鋼連盟会長賞）

「Acrylics Structure」（武蔵工業大学）

本作品は、アクリル版とワイヤーを組み合わせることにより、自由な空間を創造するもので、武蔵工業大学の女子学生チームの応募である。この提案が、すぐに実現する、あるいは、大きな鉄需を生み出すとは考えられないが、その自由な発想が評価された。

佳作（審査委員会委員長賞）

「曖庵～鉄を使った新しい空間・機能を持った建築の提案」（芝川構造設計室）

本作品は、有孔耐震壁を組み合わせ、ある種、透明で、光と影が織り成す空間を提案したもので、「鉄」を積極的にデザインに利用する姿勢が印象深かった。

佳作（審査委員会委員長賞）

「鉄を使った新しい空間」（佐伯力建築設計事務所）

本作品は、一種の空中浮揚体で、正直、審査員にもその意図するところが理解出来ないものであったが、その発想の大胆さが注目された。

佳作（審査委員会委員長賞）

「HP防音シェルのあるスタジオ住宅」EDH遠藤設計室）

本作品は、軽量H形鋼とキーストンプレートを組み合わせた建築で、屋根・壁全体が

一体的なシェルになっている。完成建物であり、鋼材の使い方の面白さが評価された。

佳作（審査委員会委員長賞）

「Punching Metal Structure」佐々木暁生（東京工業大学）

本作品は、パンチングメタルを間仕切りに利用し半透明で陰影のある空間を演出したもので、鉄を軽快に使うアイデアが注目された。

なお、アイデア部門受賞作品を、新建築 2003 年 1 月号 No. 78、p210-212 に掲載した。また、これらの作品は、次項で解説する論文とともに、次項のうしろに掲載している。ここで、作品の作者名については、作品中に示されている。

3. 4. 2 論文部門入賞論文

最優秀賞（建築研究所理事長賞）

「トリプル・スケルトン構造システムによる空間可変な長寿命鉄骨建築」

（真瀬伸治他）

本論文は、鉄骨の架構を、解体時まで継続使用する第 1 スケルトンと、大規模、あるいは小規模の改修が出来る第 2、第 3 スケルトンの、3 つの部分に区分けし、リユースと空間可変が可能な架構を提案したもので、従来のスケルトン・インフィルの考え方を拡張したものとして、高い評価を得た。

優秀賞（日本鉄鋼連盟会長賞）

「鉄がこれからも主役であり続けるために」（鈴木直幹）

本論文では、躍進著しい RC 造に対して、鉄の競争力を維持するために、材料、架構、接合の各項目に数多くの提案が行われており、鉄のシンパとの印象が強く、注目された。

佳作（審査委員会委員長賞）

「再利用可能な粘弾性接合部をもつクモの巣状空間構造システムの開発」（武藤至）

本論文は、システムトラス分野で、「生物生態学」に基づくクモの巣状空間構造システムにリユースの考え方をもち込んだもので、そのユニークさが注目された。

佳作（審査委員会委員長賞）

「解体鉄骨の商品化とそれを利用した環境負荷低減建築構法」（田中直樹）

本論文は、建築鉄骨のリユースを体系的に進めるため、解体鉄骨に IC タグを取り付け、トレーサビリティを確保した上で、例えば、解体時に切断したボックスコラムを繋ぎ合わせてコラムとする、あるいは縦割りにし床のデッキに利用するなど、従来のリユースの提案には見られない具体性が評価された。

佳作（審査委員会委員長賞）

「鋼の高比強度を活かした環境適応型無柱空間構造：スケルトンシェルシステム」

（杉崎健一）

本論文は、単層ラチスシェルシステムに上下の弦材を取り付け面外の構造安定性を強化するとともに、ケーブルと圧縮材の比強度を利用し軽量化を図った、スケルトンシェルシステムの提案で、その斬新さが評価された。

佳作（審査委員会委員長賞）

「鉄を身近に」（山田耕司）

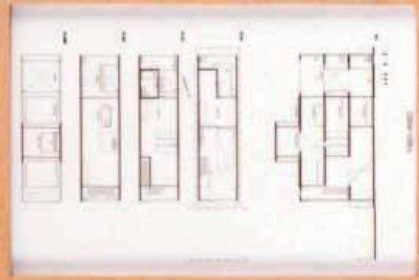
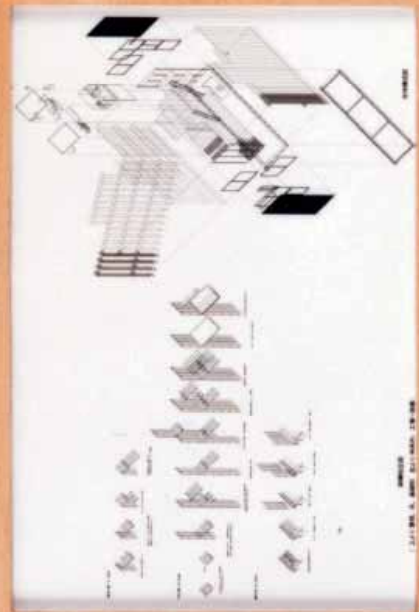
本論文は、鋼構造建築のさらなる発展には、一般の人々が簡単に扱えるような「鉄」

があるべきだと言う持論を展開したものである。

例えば、人々が愛着を感じている「木材」と同じように、軽量で簡便に加工（切断、孔開けが出来るような「鉄」を提案するなど、応募者の「鉄」への思い入れが感じられ、注目された。

なお、優秀賞および優秀論文を、建築技術 2003 年 1 月号 No. 636、p189-197 に掲載した。これらの論文については、前項で解説した作品と併せて本項のうしろに掲載している。ここで、論文の著者名については、論文中に示されている。

折板フレーム構造空間の探求/菅 正太郎 (s/a)



折板フレーム構造空間の探求
菅 正太郎 (s/a)

暖庵

他の構造素材と比較して、強度、剛性とともに関与する「鉄」で造られた建築は、元来シアーブナフレーションで可憐なシルエットを映し出していた。それは、相図にまで取り込まれた細い木材で巧みな手法により接合し、美しい姿を構築していた。

しかし、数多くの試案、いや、むしろそれを背景としたシステム化された評価基準により、それは強く強い壁へと変わってしまっているのではないだろうか。

一方、強度が高いということ、更にそれが断面という問題を引きおこすため、鋼構造は鋼材として用いられることが多かったが、鉄筋コンクリート構造と同様、剛性という面材としての応用が注目されている。比較的新しい技術である鋼製組立壁は、変形能力の問題からスリットや孔を設け、曲げ応へと変を要する事により使用されている。

しかしながらその活用も、「面」で構成されているという建築的な特質が、美しく表現されていない。

それらを踏まえ、われわれが提案する建物は、ありふれた材料を、ありふれた構造で、さりげなく使うことを主題とする。

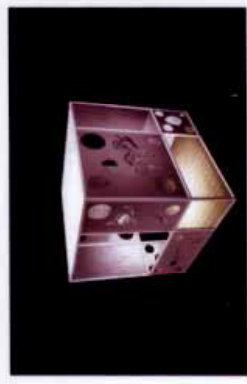
先に前記の通りではなく、「鉄」を使った建物が、技術論でないところで「できること」を探求し、成熟することになることの可能性を見いだすものとしたら、

そこでわれわれは、一つの領域を通し、限りなく強い耐力のみを受けるフレームと、耐力、剛性とも巧みに制御できる有孔鋼板を用いて、壁やかに、そしてしなやかな、建築の可能性を提案する。

21世紀の美しい鋼構造を求めて...

観客が ... それはいつもにも異様に見える様子
 曲りを受けない、もっぱら耐力のみを受け持つ支持部材
 そこに、無限の開口オーバーゲージがある

しなやかに ... それは、やわらかくたわむ様子
 限りのたわみの場だけでなく、また扉田の生じないやわらかさ
 そこに、確信でしたたかさを感にさせるのびる力があふれる



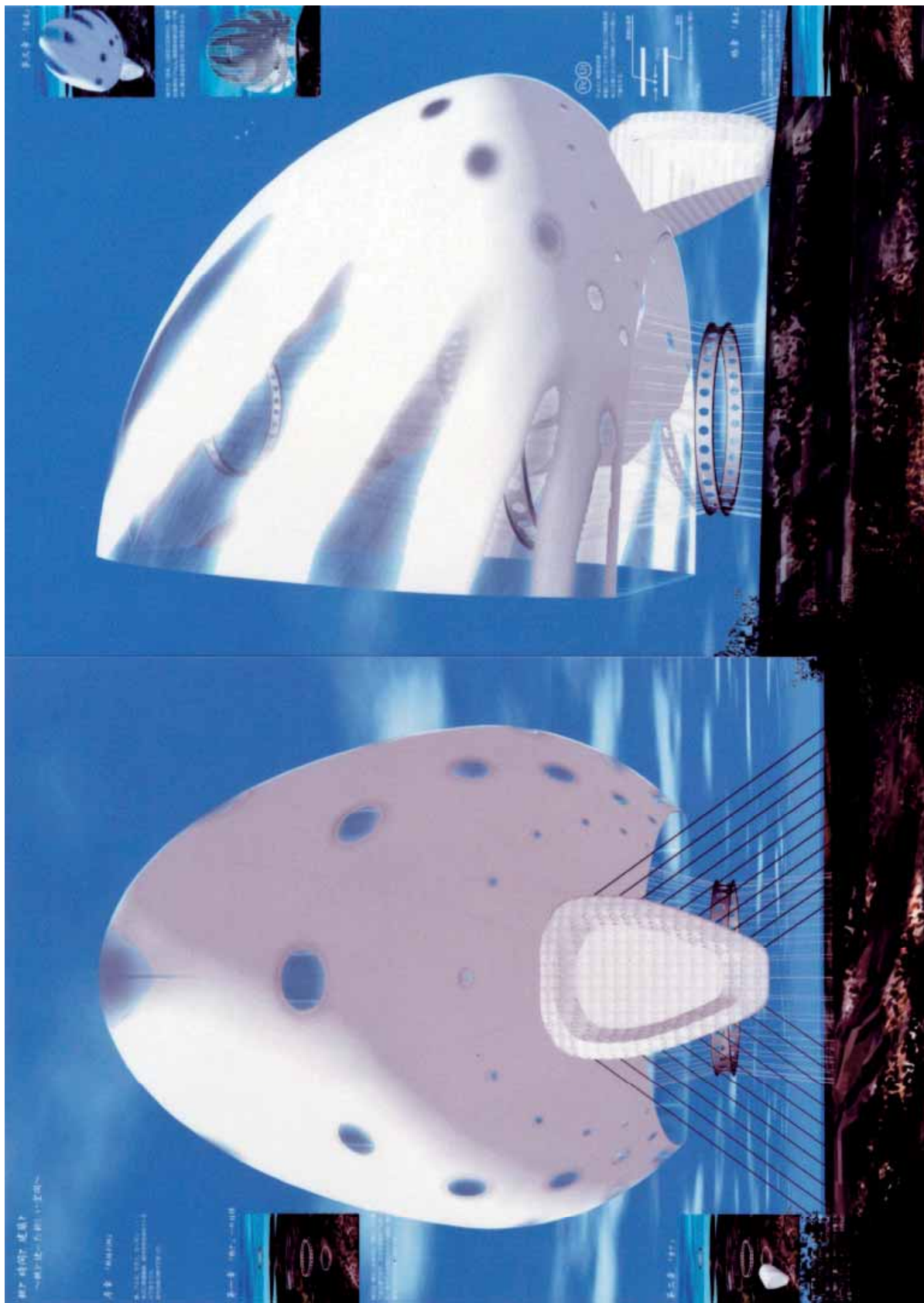
作り過ぎない技術 作り過ぎない技術
 作り過ぎない技術 作り過ぎない技術

今ある技術で手が出せる、考に入れられる物が、
 “建築”の中にはあるような気がしてならない。

まぐそここにある価値ある物のために、この技術で挑みたい...

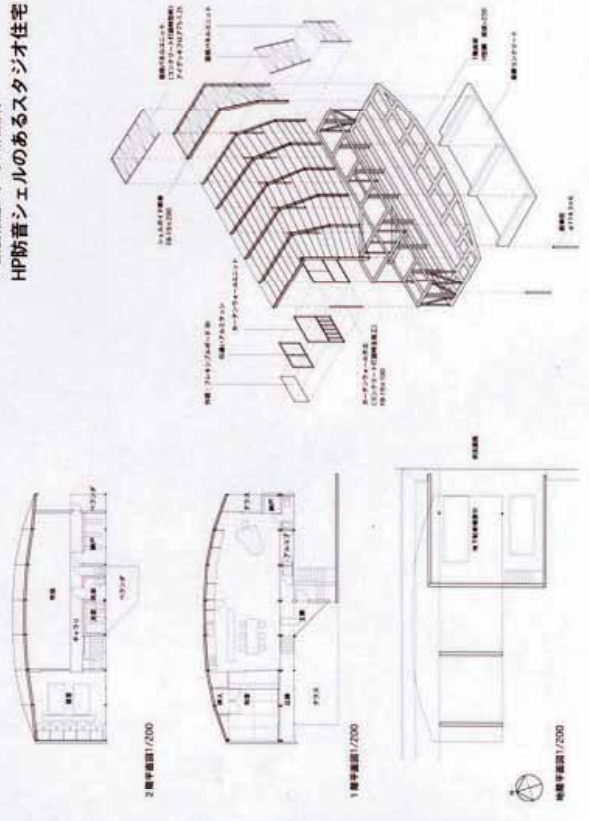
「2」参照、鋼構造技術は応用が広い。
 鉄を柱のた新しい空間・機能をもつた建築の提案

鉄と時間と建築と～鉄を使った新しい空間/佐伯 力 (佐伯力建築設計事務所)





21世紀建築語フォーラム作品部門
HP防音シェルのあるスタジオ住宅



この建物は、住宅地に建つ新しい実験のための住宅事業スタジオである。本は建築界の専門家として経験を積み、海外ではアジアの先進地で建設が得意な、彼らの日本生活はそれと異なる。そこで、住まいの中に小さなコンクリートの防音室を設けるのではなく、生活空間そのものを防音室や防音室に設計した実験的な一室型としてスタジオ化するところを考えた。

具体的には、防音上有効なコンクリートとスチール素材とを併用することによって、HP防音シェルを構築する。HP-防音シェルという概念は材料の厚さを少しづつ増やしていくことで完成される。その断面は平面上に展開できない。つまり、HP防音シェルである。屋外のものは、あがなくても気体の密度で外方に伝わりやすくなることである。またHP防音室は音響的に真空中に近い状態も持っているため、内部の空気に対して極めて有効な状態であるといえる。

24m幅に達する連続的なスチール素材は19×200mm基本構造とし、その間を内部柱として、構造材を並べたアイランドを打ち出し、鉄筋ブレースでつなぎ、その上に防音シェルとなる100mmのコンクリートを打設する。この構造とすることで、スチールとコンクリートの重量が均一になった。一般の鉄筋コンクリートは、コンクリートが重くなるにつれて、HPシェルが立ち上がる際の重量の負担は19×100で減らされている。これはコンクリート打設時の変位工として確認し、確認後はコンクリートの打設による影響を、HP防音シェルとコンクリートの防音性能と両方の観点から、加算変位工といった変位材の削減を一切省き、かつ構造的にも音響的にも有効な鉄筋コンクリート防音シェルを構築することを、建築家が可能にしているのである。



Punching Metal Structure(PMS) Sectional Flexibility/佐々木暁生 (東京工業大学)

Punching Metal Structure (PMS)

scale: 1/110
 structural detail
 scale: 1/250
 section (equipment)
 section (component)
 plan: 1/500 ~ 1/3100 (4500)

Sectional Flexibility=鋼構造による新しい空間システム〜
 構造体は、空間の形状を決定し、空間の位置を制御する。空間が、その形状を決定し、空間の位置を制御する。
 床スラブの位置を制御する。空間が、その形状を決定し、空間の位置を制御する。

トリプル・スケルトン構造システムによる空間可変な長寿命鉄骨建築

○真瀬 伸治^{*} 寺田岳彦^{*} 坂本真一^{*} 田村和夫^{*}
 構造システム 長寿命 スケルトン・インフィル
 可変空間 リユース 無溶接接合

1. はじめに

21世紀においては、前世紀の負の遺産である地球規模の環境破壊に対する反省から、地球環境に配慮した持続可能な循環型社会システムの構築が緊急課題であり、建築分野も例外ではない。建築構造の分野では、建設時、使用時ならびに解体時における環境負荷の低減が課題となる。一方、自然災害や人災に対する安全・安心は、建物に根源的に要求される機能である。さらに、現在の生活水準を低下させることなく、時代とともに変遷する多様な価値観に基づく快適性も満足させなければならない。

本論では、図1に示すように21世紀の社会に適合できる機能を満足する建築構造システムとして、長寿命で柔軟な空間を提供する「トリプル・スケルトン構造システム」を提案する。

2. トリプル・スケルトン構造システム

本システムのコンセプトを図2に示す。トリプル・スケルトン構造システムは、第1、第2および第3の各スケルトンにより構成される。主要な構造材として、長期にわたる品質の安定性や、大きな空間を構成できるという観点から鉄骨部材を用いる。第1スケルトン部は、建物全体を解体時まで継続して使用できる高い耐久性と、地震や台風などの外力に対して建物全体の機能を損ねることがないような高い安全性を備える。一方、第2および第3スケルトン部は、それぞれ社会の要求に伴う大規模な改修および小規模な改修時に、内部空間の再構築を容易に実現できる機能を有する。さらに、改修時や解体時に不要となった部材は、他の建物でリユースできるように、部材の加工が少なく解体が容易な接合工法を採用する。

架構の構成を図3に示す。本システムは、種々の用途や規模を有

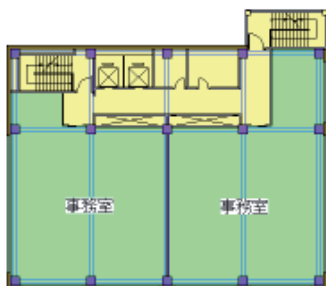


図4 対象とした建物プラン

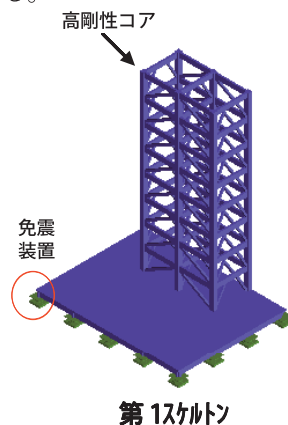


図3 架構の構成

する建物に適用可能なものであるが、部材リユースの実現性を考慮し、図3に示すような市場規模の大きな中低層の事務所ビル(図4に平面図を示す。)に適用した場合を一例として示す。

第1スケルトンは、免震装置に支えられたコンク

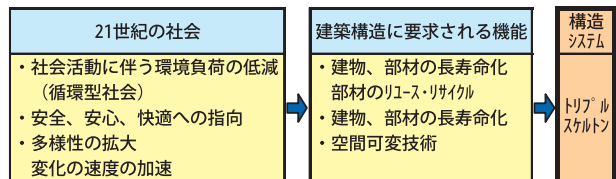


図1 21世紀の社会に適合できる建築構造の機能

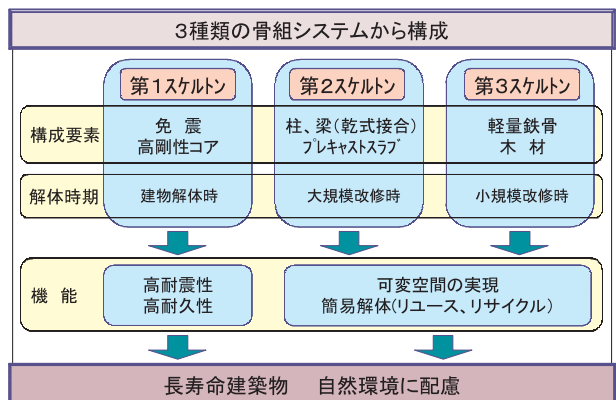
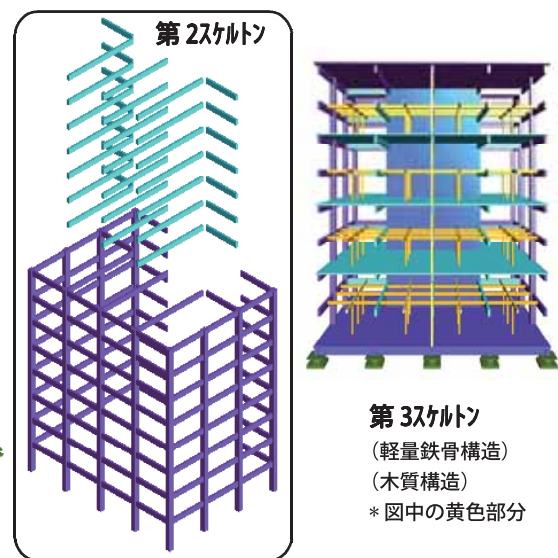


図2 本システムのコンセプト



第3スケルトン
 (軽量鉄骨構造)
 (木質構造)
 * 図中の黄色部分

リートスラブと高剛性のコアから構成される。基礎免震構造は、建物の上部構造への地震水平力を大幅に低減し、高い耐震性能を実現する。高剛性のコアは、地震や風などの非常時水平荷重を受け持つ。これにより、第2・第3スケルトンは非常時水平力から解放される。

第2スケルトンは、複数の第3スケルトンを内包できるような大きな立体空間を支えるものであり、柱・梁の外郭と床スラブで構成される。構造的には、固定荷重と積載荷重のみを支持できる性能を満足すれば良い。ただし、第3スケルトンの変化を見込んだ余裕度を持たせる。各部の接合部には乾式工法を採用し、大きな社会的ニーズの変化に応じた大規模な立体空間の再構成を容易に実現できる。

第3スケルトンは、複数の単位空間を構成するための構造である。構成部材には、小規模な改修に対応できるように組立・解体が容易な軽量鉄骨を用いる。ただし、ぬくもり感、快適感や炭酸ガスの固定化のために、木質構造とすることもできる。

このように、本システムは、スケルトンを階層化することによって、短期および中期の空間へのニーズの変化に対して柔軟に対応でき、建物全体を長期にわたって維持することを可能としたものであり、環境負荷を最小限に抑えながら持続可能な社会に適応したものである。

3. 要素技術

本システムを支える要素技術のうち、主なものを詳述する。

図5に、第1スケルトン部の杭頭免震構造を示す。免震構造を採用することで、従来の骨組に比べて地震時の入力を1/5に低減できる。また、免震層の下の部

分のつなぎ梁を省略し、地下部分の掘削土量を減らすことで建設時のCO₂排出量を抑えることができる。

図6に、第2スケルトン部で採用する各部の乾式接合工法を示す。柱と梁は、リングパネルと言うピースを介して剛接合される²⁾。梁とリングパネルは高力ボルトによって、柱とリングパネルは粘弾性体やモルタル等を充填することで剛接合される。また、スラブにはプレキャストコンクリートスラブを用い、ボルトで鉄骨梁に接合する。両工法も、部材を傷めず簡単に取り外しでき、リユースできる技術である。

これらの技術を採用することによって、第3スケルトンの変更のみならず、第2スケルトンの梁やスラブを一部撤去して大きな空間を再構成することも可能となる。

4. おわりに

循環型社会に適合する建物として、内部空間の再構築を可能としたトリプル・スケルトン構造システムを提案し、そのシステムを支える技術について紹介した。今後、部材のリユースを実現するためには、ハード面の技術のみならず、図7に示すような社会的なシステムを社会全体で進めていく必要がある。

<参考文献>

- 1) 日本建築学会：LCCO₂30%削減、耐用年数3倍延伸をめざす建築設計、フリースペース・ビルディングの提案、2001
- 2) 塚越、坂本、神野：混合構造におけるリングパネルを用いた接合部の開発、日本建築学会大会学術講演梗概集、構造Ⅲ、2002.8
- 3) 鋼材倶楽部：サステナブル建築とスチール、シンポジウム資料、2001.10

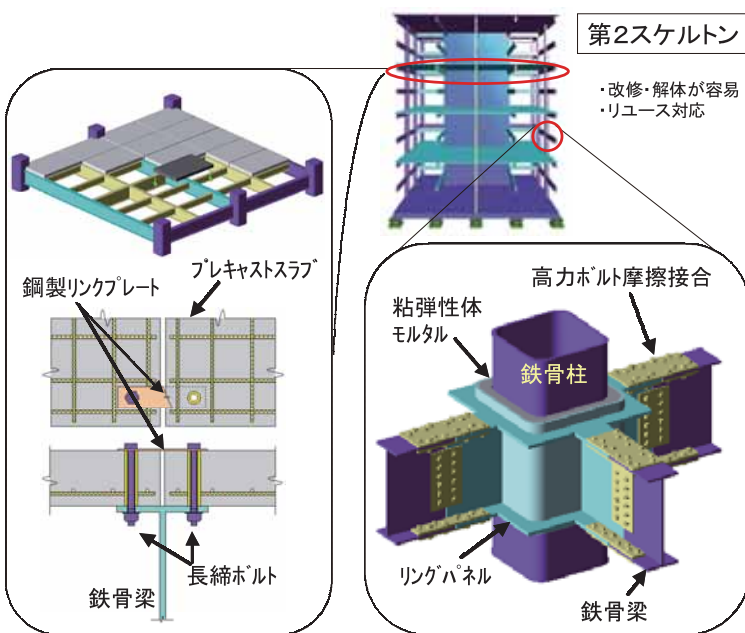


図6 各部の乾式接合工法

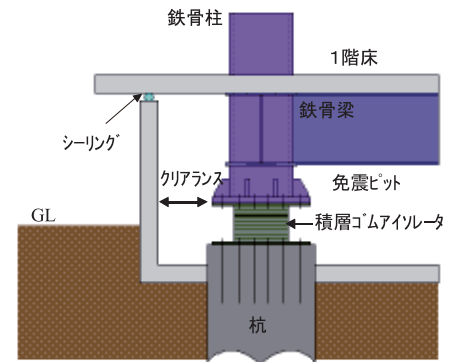


図5 免震システム

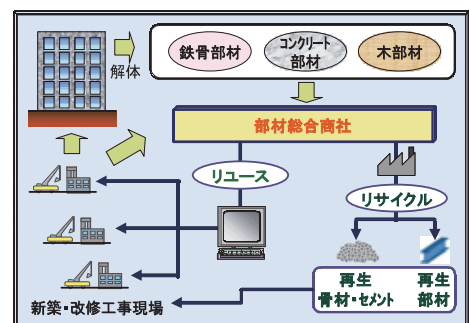


図7 部材リユースシステム

*)清水建設(株) 技術研究所構造研究開発部

鉄がこれからも主役であり続けるために

21 世紀 主役	鈴木 直幹 ^{*)} 構造設計者 ブレインストーミング	既成概念 ブレイクスルー
-------------	--	-----------------

1. はじめに

20 世紀、鉄はコンクリートやガラスと共に建築を支える主要な材料であり続けた。特に超高層建築や大空間建築では鉄を用いた数々の名作が生み出され、この分野において鋼構造が主役であったことに異論はないだろう。

翻って 21 世紀の現在、鋼構造の現状はどうであろうか？ 20 世紀、主役でありつづけた超高層の分野においては RC 造の躍進が著しい。現在、超高層住宅が大量供給されているが、この分野においてはほぼ RC 造の独壇場と言っても過言ではない。また、阪神大震災では今まであまり問題にされなかった鋼構造の弱点（溶接部の脆性的破断など）が露呈し一般社会における鉄に対する信頼が低下した問題や、過当競争によるファブリケーターの体力消耗など、むしろ 21 世紀に鋼構造が衰退していくような要因の方が多く感じられる状況である。（もちろん震災を契機に数々の鋼製ダンパーや溶接部の脆性的破断防止の研究が精力的に行われ、研究者や技術者の努力により良好な社会的ストックの形成が進められていることは言うまでもないが。）

本論ではこのような状況を踏まえ、鋼構造が今世紀においても建築分野の主役であり続けることを願う技術者の 1 人として、今後の鋼構造技術の方向性を個別の技術に特定するのではなく、大きな方向性として提案し、論じていきたい。

2. 今後の鋼構造に求められるものとは

2. 1 既成概念をブレイクスルーするために

筆者は、建築構造設計を専門とする技術者である。日常業務では鋼構造だけでなく RC 造、SRC 造、木構造など様々な構造形式に携わっている。日頃から鉄の長所である軽量・高靱性・加工性や、短所である溶接施工の大変さ、座屈の問題などを学びながら構造設計を行っている。

ここでは既成概念をブレイクスルーするために筆者を含む 20 代後半～30 代後半の比較的若年層の技術者（15 名）により鋼構造に今後何を求めていくかブレインストーミングを行った。

2. 2 ブレインストーミングの結果

ブレインストーミングの結果得られた提案を以下に列挙する。なお既成概念をブレイクスルーするためにまったく技術的裏付けのない荒唐無稽な提案や筆者の調査不足で既に存在する技術も含まれる恐れ

もあるが本論の主旨をご理解のうえ批判はご容赦願いたい。

2. 2. 1 材料に関する提案

- ①形状記憶鉄骨骨組
外力を受けて変形しても熱を加えることで元に戻る修復性に優れた鋼構造。
- ②超高強度鉄骨
靱性はまったく期待せず強度だけを追求する。制震部材との組み合わせでスレンダーな超高層を実現する。
- ③耐火鋼の反対
きわめて熱に弱く熱を加えることで容易に倒壊する解体性に優れた鋼構造。
- ④発泡鋼板
無数の気泡を鋼材内発生させより軽量の鋼構造を可能にする。
- ⑤ヤング率調整鋼
ヤング率を自由に設定することで建物剛性は長期荷重と無関係に設定できるようになる。完全なる制震建物も可能となる。
- ⑥損傷自己修復性鋼材
地震時に生じた主架構の軽微な損傷を自己修復するような成分を開発し地震後の補修を不要とする。
- ⑦高減衰鋼材
鋼構造の弱点である居住性の問題を解決し、RC 造の独壇場である高層集合住宅に鋼構造を採用できるようにする。
- ⑧電炉のトランプエレメント抽出技術
リサイクル時代の今、電炉鋼は鋼構造に欠かせない存在である。トランプエレメントは現在希釈により対応しているが抽出技術があれば電炉鋼の活躍の場は飛躍的に広がると考えられる。
- ⑥電流により剛性が変化する鉄
電圧の強弱により鉄骨骨組の剛性が変化。地震や風等の大きさにより電圧を変化させ、骨組を最適な剛性にして応答を低減する。

2. 2. 2 架構形式に関する提案

- ①磁気浮上鋼構造物
磁気で浮上させた完全免震構造。地震力は完全にゼロとなる。
- ②ローコスト可変剛性架構
鉄の利点は磁性があることである。この性質を利用して地震時に様々な剛性をもてるようにブレイ

スを設置しておき普段は主架構と縁を切っておく。地震が発生したら即時に地震の特性を解析し最適な剛性になるように設置したブレースを選び電磁石を作動させるシステム。

③配管構造

柱梁を全て□か○にして中に配管として利用する。配管スペース用のスペースが不要。

④伝統工法鋼構造

伝統木組みのように、鉄にほぞなどを用いて、架構を形成する。

⑤鋼製ブロック壁構造

鍛造製のSB（スチールブロック）をCBのように積み上げて鋼製壁を構築する。各段はボルトまたは溶接で接合する。

2. 2. 3 接合や施工法に関する提案

①鉄骨接着接合

鉄骨用接着材を開発し溶接やボルト接合をなくす。

②全体溶接建物

仮ボルトで組立てて最後に1階の足元から大電流を流して建物の接合部を溶接するシステム

③鉄骨現場打ちシステム

低溶融点鋼を開発し、鋼製型枠に現場で打設する。コンクリートではないと難しい形態も鉄で可能になる。

2. 2. 4 解体やリサイクルに関する提案

①鉄骨オークション

インターネットのオークションで解体予定の鉄骨を安く収集し新築のS造をつくる。鉄骨のサイズと接合部の状況の情報が必要。

②解体用バクテリア

鉄を瞬時に激しく腐食させるバクテリアを育成し、解体に使う。

3. 設計者が夢見る鋼構造技術

構造設計は様々な制約条件を統合して建築空間を創造する行為である。最近では経済状況を反映してますます低コスト・短工期で安全性の高い建築を求められる場面が増加している。前章で列記した提案はその制約条件の中で「鉄にこのような性能があればもっと鋼構造を採用する場面が増えるのではないだろうか？」という構造設計者の素朴な夢と解釈することができる。

材料を生かした設計をする役目は構造設計者にある。鉄という材料の特性が大きく変わらない限り構造設計者は架構形式で革新し続けていく必要がある。しかしながらこの革新を架構形式だけで行っていくにも前世紀である意味あらゆるバリエーションが模索されているため、限界があるとも考えがちである。設計者の夢で材料に関するものが多いのはそのためではないだろうか。

建物を設計する側からは荒唐無稽ではあるが新材料（新鉄骨）が必要であるというのが結論であろう。一方、材料を供給する側のミルメーカーの技術者や研究者の方々、実際に鉄骨を製作するファブリケーターの方々には上記の提案をどう捉えられるのであろうか？「素人が荒唐無稽なことを」となるのか「なるほどやってみよう」となるのか。

いずれにせよ個々の技術者がそれぞれの業界や会社の枠組みの中で考えるよりも「今世紀も建築の主役は鉄で」と思う技術者が枠を超えて集まる場をつくり議論の中から開発の方向性を決定するべきであろう。大袈裟に言えばそこに鉄の未来がかかっている。本論では技術提案ではなくこの技術を生み出す土壌をこの日本に生み出すことを提案する。

多くの偉大な先輩技術者・研究者達が鉄の発展を支えてきた。我々はその恩恵にあずかり設計をしている。身近なところにもはじまりは誰も相手にしないような提案があったのではないだろうか。FR鋼や耐候性鋼など現在普通に使われている材料にも先輩達の苦勞がしのばれるのである。我々は停滞したこの国の状況から図-1の点線に示すような技術の限界を勝手に考えているのではないだろうか？先輩達が常に技術は向上していくものだと思つたように我々も図-1の実線のような技術の未来に希望をもって進んでいく必要があると考えている。鋼構造に関わる技術者達がこう考えて進めば21世紀鉄は引き続き建築の主役であり続けるだろう。

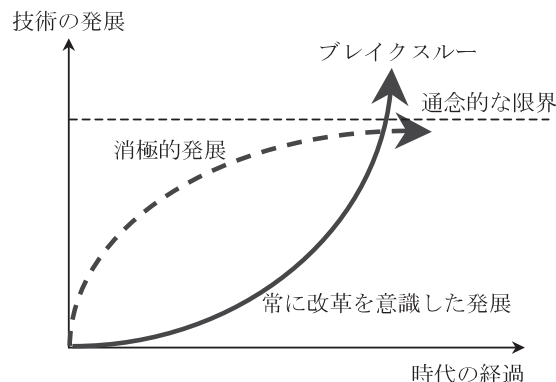


図-1 技術の発展と時代の関係

4. おわりに

状況の厳しさから鋼構造は現在衰退の危機にあると思われる場面に遭遇することが増えてきている。しかしながら鋼構造に関わる技術者が協力し、真剣に鋼構造の未来を見据えた議論を行い、新たな材料や架構に挑戦していくことで前世紀末と同様に今世紀末においても建築分野の主役であり続けると確信している。やはり鉄ほど素晴らしい材料はないと信じるからである。本論における提案がその一助となり研究者・技術者・一般市民の議論が行われるようになれば幸いである。

再利用可能な粘弾性接合部をもつクモの巣状空間構造システムの開発

空間構造 再利用(リユース)	武藤 至*) 粘弾性接合 擬自己建て方	クモの巣 可動性
-------------------	---------------------------	-------------

1 はじめに

空間構造システムは、20世紀に急速に研究開発され「システムトラス」と呼ばれる優れた手法が多用されてきている。一方で、サステイナブルな環境負荷低減のニーズが問われ¹⁾、同時に全地球レベルでのエコロジー問題から資源の再利用²⁾も現実の建設行為で議論が始まってきている。

提案する空間構造システムは、両者を考慮した次世代の建設に貢献できるものと考えられる。すなわち、(1)空間構造の形態デザインの多様化のなかで、ある意味ルネッサンスとして「クモの巣の建設プロセスおよび、素材特性」に着目する、(2)接合部の新たな開発方針として「粘弾性」あるいは、「ガタ」の論理をメカニカルジョイントシステムへ導入する、(3)部材要素レベルでの再利用、すなわち「ディスジョイント」の概念の実用化、を提案するものである。

2 空間構造形態のデザイン

自然物の形態を模倣し、例えば「シェル」構造が有名である。ケーブル、膜およびネット構造は、クモの巣の模倣による場合が多い。つまり、自然物から何らかの形態生成アルゴリズムを考察し(空間)構造形態のデザインを実現する研究がコンピュータ利用下で研究する分野が「Structural Morphology」として台頭してきている。

3 クモの巣の建設プロセスと素材特性

クモの巣を直接「生物生態学」として従来から研究され、クモの巣の巣づくりのメカニズム、クモの糸そのものの材料特性と風を受けるときの挙動分析、巣づくりの修正と餌の確保など具体的な研究成果が報告されている。基本は、素材が粘性(粘着性)を有しつつ、断面強度が寸法の割に高いとか、縦糸横糸のスパイラルの形成メカニズムとその機能などが研究されてきた。構造工学の分野でも、この事に着目し1990年代から2000年代に再考されつつある。本研究は、クモの巣の製作プロセスと糸の組合せにおける「接合部」の意味と、支持材に対する糸の配置など通常のネット、ラチス構造物の網目パターンと基本的な構造特性(接合部特性を反映した)について検討してきている。特に、クモの巣の建設過程を模倣、模擬してどのような、網目状空間骨組が可能なのかを考察した。結局、実構造物(人工物)との違いが、根本的な設計概念の相違によって明白である事が分かってきた³⁾。そこで、クモの巣のメカニズム(網目生成アルゴリズムを含む)をフラクタル幾何学で修正して、人工物の形態デザインアルゴリズムへ還元する手法が有効であろうと確認し

ている。素材レベルでは、単位強度(断面積、部材長さあたり)を同程度に確保でき、接合部のあらたな限界をも実現可能なモデルを構築する必要があるとの結論に達した。

4 粘弾性ジョイントとディスジョイントのメカニズム

以上の、構想を実現する時「接合部のモデル化」と最終形状をどのようにして初期形状から発展させるのかが、重大なテーマであると判断される。まず、接合部は「粘弾性特性」を有し、かなりの幾何学的非線形挙動が許容されるジョイントシステムの開発が急務である。また、それぞれの接合部と部材の単位構造要素が、十分フレキシブルかつ、可動性を期待できる施工、建設技術の開発も重要な課題⁴⁾となろう。ひいては、ディスジョイントのメカニズムと完成形状からの部分構造(不完全形状、不安定構造系の意味)へのリダクションと、あわせて、要素に分解してから、再構築(部材と接合部の再利用の意味)のプロセスと、実現技術を今後開発研究することが必要と考えられる。

5 実現の可能性と問題点

以下に、現時点までに想定される可能性について、考察している。なお、既存の建設、施工手法からみても、かなり新しい技術を必要とする事もあって以下に述べる展望は、相容れない部分もあろう。

ご存知のように、既存構造物(空間構造系)の部材データや構造データおよび基本的な挙動データ(座屈特性、耐力特性など)が、予め「ドナーバンク」に類似のデータベースに登録されている事⁵⁾が前提となる。また、経年効果を考慮し強度低減に関するデータも共存している事が不可欠である。なお、本論では、いわゆる「使い古しの感情論」は、考慮していない。

既に「コンバージョン」の考え方から、主に躯体以外の部分:内装、家具など、を転用して室内の利用方法が変更になる建物の使い方が進められている。もちろん、再利用において元の用途を変更する事は当然であるが、本論では、躯体構造自体も含めて組替えてきな転用が主眼であり、その際思慕の変更、形状の変更をも可能にするリユースを提案している。次頁には、本論の発想に関連する研究と最近のプロジェクト及び実施例(既存建物の用途変更に伴う屋根架構の新築例)を使い可能性と問題点を概略する。

Reusable Spatial Structure System like Cob Web with Visco-Elastic Joint Connections

Fig. A クモの巣の例（上に凸の実現例）

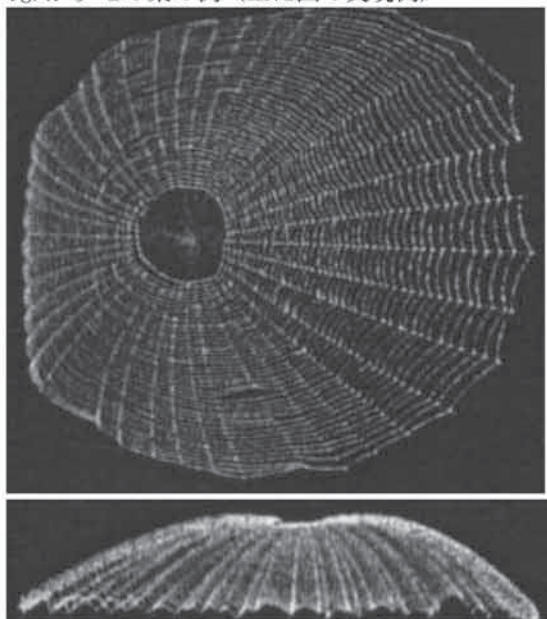


Fig. B ドームを月へプロジェクト(引用)



Fig. C 再利用(屋根架構の施工例)

具体的な提案例を以下に概説する。

Fig. A は、クモの巣が風によってむくみを持っているシミュレーション例である。本論では、念男性

*)岐阜工業高等専門学校

ジョイントの遊びを利用して、吊り下がっている状態から自己可動により、「タグ」を閉めるような周方向へのポストテンションを導入する事で粘弾性メカニズムが調整される^{b)}。もちろん、網目パターンは、多様であり Fig. B にあるドーム状の構造形態が実現できる。

Fig. B では、地球上での製作を粘弾性ジョイントで実現する時必要なら、「折り畳み」可能なファブリケーションののち、月面まで搬送していける。また、規模など仕様に応じて形態変化が可能となろう。

Fig. C は、実際に施工されたものであり、もちろんリユースではないが、既存のガスタンクを通常の集合住宅に再利用する為、屋根架構をラチスシェルで作り変えたものである。本論で提案する手法では、この屋根架構に既存の構造物をなんらかの形状、規模変更の後、再利用する事になる。すわなち、粘弾性ジョイントの一部をディスジョイントして調整し搬送してクレーンで組み立てる事が可能となる。

ここで、最近提案されている「ドナーバンク」データベースへ登録されている既存のラチスシェルが、再利用できると考える。なお、ディスジョイントの論理と技術が実現できれば、溶接接合と本論の粘弾性ジョイントとを複合して新たな、構造形態の創生が要求された場合の再利用も十分可能となると考えられる。さらに、クモの巣の建設プロセスで素材そのものがねばねばなものも必要があれば開発されよう。そのとき、さらに複雑かつ自由な屋根架構形態が議論できるものと考えられる。

課題など

上記より、「ディスジョイント」のメカニカルモデルと「粘弾性ジョイント」の開発技術の実現が、本論の提案の基本的な克服事項であるため、今後具体的に検討する必要がある。

参考文献

- 0) 河村研究室：リカレント建築・都市研究会ニュースレタ、No. 1 創刊号、1999. 11
- 1) 2nd Int. Seminar on Environmentally Compatible Structures & Structural Materials, Czech Tech. Univ., Prague, Oct. 2001, 220p.
- 2) 河村廣：建築構造に求められるものは何か、Structure No. 72, 1999. 10, 21-24
- 3) 河村・谷他 2 名：GA を用いた鉄骨建築物解体順序の最適化、AIJ 近畿支部研究報告集、H13, 289-292

* 現在研究発表中の論文など

a) クモの巣のメカニズム

Space Structures 5 @ University of Surrey, Aug. 2002

b) 再利用関係

3rd Int. Prague Seminar on Environmentally Compatible Structures & structural Materials (IASS WG18), JUNE 2002

解体鉄骨の商品化とそれを利用した環境負荷低減建築構法

田中 直樹*)

キーワード1：古鉄骨 キーワード2：環境負荷低減 キーワード3：柱材
 キーワード4：床材 キーワード5：リユース キーワード6：コンクリート塊

1. 危機に瀕したRC系部材

鉄骨建物は着工建築面積から言えばRC建物より多く、ここ2、3年は木造を抜いて首位である。短工期を武器として低層建築(工場、倉庫、店舗)で圧倒的なシェアを誇る。しかし、中高層住宅や高層事務所の花形部門では、高層RC建築や鋼管コンクリートにコスト競争で破れ、これが全体的な鉄骨衰退の感をあおっている。だが、悲観することはない。図1に建設副産物排出量(発生土は除く)の推移を示す¹⁾。2002年度は全体で1億8200万トン、土木工事が55%、建築(新築、解体)工事が45%である。種類別ではコンクリート塊(コン塊)やアスファルト系コンクリート(アスコン塊)が約1億4000万トンを占める。これらは、2010年には1970年代RC系建築物が更年期に達するため2~3倍(約2~3億トン)に膨張する。コン塊やアスコン塊は、従来路盤材、路床材として処理されてきたが、その年間需要2億トンは飽和状態に近い。今年5月に始まった建設リサイクル法は、これら溢れ出るコン塊等処理のための技術開発費用としてRC系構造物のコストを確実に押し上げる。一方、ほぼ100%リサイクルに到達した鉄骨にはこの危惧がなく、未来は比較的明るい。但し、人類に突き付けられた環境負荷低減は生易しいものではない。

本論文は、鉄を資産蓄積の面からみてその積極的な利用を促すと共に、解体鉄骨の商品化を図りそれを再利用することで資産を更に有効利用し、最終的に環境負荷の少ない建築を提案するものである。

2. 資産としての鉄骨の積極的な利用

自動車、造船、機械等を含めた我が国の年間鉄鋼生産量は約7400万トン、その内建築は2100万トンである²⁾。図2は、建築の内鉄筋や薄鋼板を除く鉄骨の需要で、平均的に年間800万トン前後で推移している³⁾。図中の累積需要量は、1970年以前は、1959年のH形鋼生産開始

を起点として1969年度の600万トンまで直線補完し、2002年度以降は年間一律700万トンとして求めたものである。2002年度現在、累積需要量は約3億トンに達し、トン当たり10万円とすると約30兆円の資産を有することになる。これは、ここ2、3年の民間建設投資額に相当し将来も確実に増加する。RC系部材が今後確実に負の資産(負債)を蓄積していくことを考えると、早急に土木・建築とも鉄系部材へ移行することが望ましい。

3. 解体鉄骨の商品化と環境負荷低減

鉄骨建物の建設に際し、部材のリユースは魅力的である。しかし、これには数十年先の見通しや一品注文生産における建築のモジュール化の難しさ等が立ちはだかる。また、用途変更や増改築は何ら脈絡なく突発的に発生する。建物が玩具のレゴブロック等で構成されていない限り、解体・建て替えは避けられない。現時点では、「必要に応じ解体し使える部材を次に使う」との発想が、我々が慣れ親しんだものであり現実的である。先の図2には、新築は30年で解体するとして求めた解体鉄骨の累積量を示してある。2002年度では既に5000万トンにも達し、年間鉄骨需要の6倍に相当する。現段階ではこれらは全てスクラップとして回収され電炉や転炉により再生されている。ここでは、これら解体鉄骨を利用した建材並びにその商品化、そして試みとして大半をリユース、リサイクル材で賄った環境負荷低減構法を示す。

図3は再利用可能な建築解体部位とその商品流通のためのインターネット(IT)化を示したものである。解体部位として、梁は設備配管のための貫通孔、鉛直スタフナ、床との合成のためのスタッド等が再利用を阻む。また接合部は溶接が密集し健全部分が期待できない。従って、通常のラーメン骨組からは、残念なことに柱だけしか利用できない。しかし、これが使用鉄骨量の20%程度としても、2002年度でも1000万トンの量となる。この

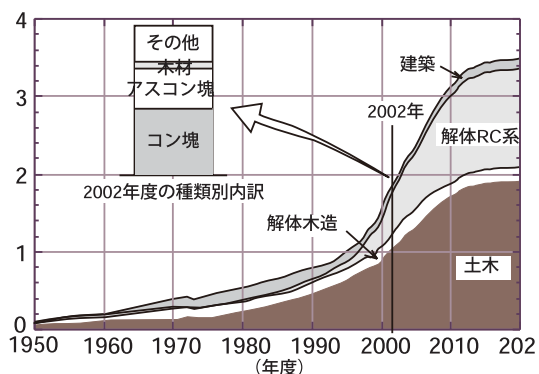


図1 建設副産物排出量の推移¹⁾

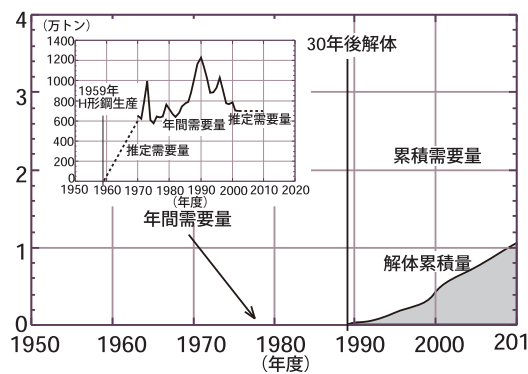


図2 鉄骨累積量と解体累積量の推移

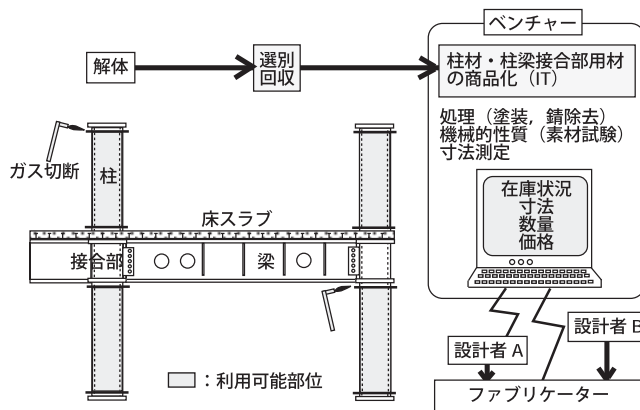


図3 解体部位と商品IT化

表1 解体ビジネスの成立性

(万円/トン)				
	回収・保管	材料費	加工費	合計
新品	—	10	5	15
古品	1*1	2*2	4*3	7

(注記) *1: ガス切断費用は通常解体行為として含めない
 *2: くず鉄0.5万円/トンを基準
 *3: 曲げ加工費低減

解体鉄骨は素材試験により機械的性質が明かたされ、塗装や錆が除去され、寸法が測定される。これらは、保管されると共に在庫状況としてITにより発信される。設計者は在庫部材を利用した設計を行い、ファブリケーターは部材を取り寄せ、それを図4のように柱材、梁材、デッキプレート材に加工する。このビジネスの成立性をコストの観点から見たものが表1である。算定根拠が幾分恣意的ではあるが、解体鉄骨利用品(古品)は新品の50%程度となり十分競合できる。

図5は解体鉄骨及びコン塊から再生された部材を床版に使用し、環境負荷低減を極力意図した建築である。デッキプレートのみで十分床荷重と剛性が確保できると考えると、歩行感触としてのコンクリートが必要となるが、これにコン塊を利用した長尺でしかも相互連結を考慮した床材を使用する(現状技術で可能と判断)。勿論、両者の間には防水、防音、固定等の機能を有したシーリング層が必要である。梁はダブルウェブなので設備開孔のための補強は不要となる可能性もある。なお、解体鉄骨利用は初めてのことであるから、以下のような配慮が必要である。

- 建築基準法の緩和：使用済み鉄骨材の追加
- 用途制限：工場、倉庫、事務所、店舗
- 層数制限：3層以下
- 応力制限：部材弾性
- 寿命制限：5～10年程度
- グリーン購入法による法的支援

これらを眺めると、飽き易く短絡的な世の中に適合しする。更に、このビジネスを展開させて行くためには以下の事が必要である。

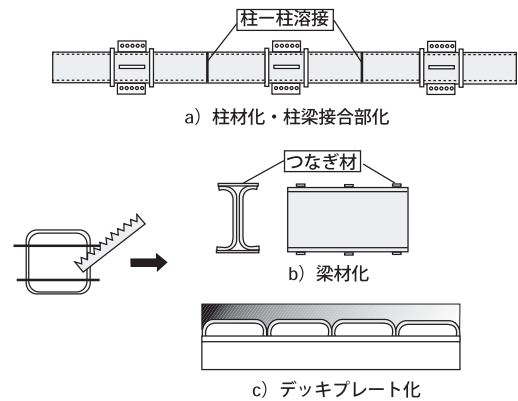


図4 解体鉄骨柱からの建材再生

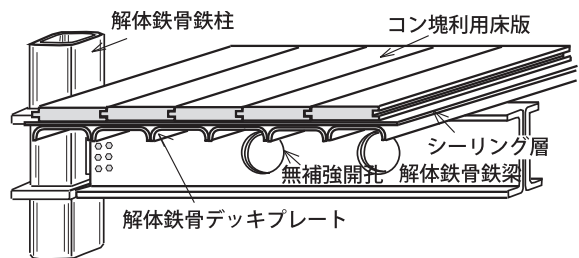


図5 解体鉄骨材とコン塊利用床版による建築構法

- 鉄骨の積極的な使用：地下に着目した桑村等のスチールファウンデーション⁴⁾は良い例である。
- 分離しやすく再利用しやすい部材：鉄骨でも梁は無開孔、無スタッドボルト、無補強スチフナが望ましい。
- 分離しやすい構法：SRC、CFT、RCなどの断面合成構造から異種部材分離構造への転換し、選別を用意にする。
- 鉄骨材のアイデンティティ：マイクロITタグ等による使用履歴自動認識は有効である。

4. まとめ

建設副産物発生 の面からRC系構造物の危惧的状況を鑑み、積極的な鉄骨の利用を推奨した。また、緊急な環境負荷低減要請に対し、解体鉄骨の再利用を図りそれを商品化することで資産を有効利用するとともに、コン塊も利用した構法を提案した。目先の利益を自制し将来に思いを馳せれば、鉄骨ひいては建築界の未来は明るい。

参考文献

- 竹ヶ原啓介, 佐藤明子: 建設リサイクル法とリサイクルビジネス, 建設物価5月号, pp.29-35, 2002年
- 千田光: 鋼材の資源循環環境負荷, 日本建築学会鋼構造運営委員会PD資料, 2002年8月, pp.15-24
- 鉄構技術: 平成2年までの着工面積と鉄骨需要, 1991年3月, p.93, 2001年度の着工面積と鉄骨需要量, 2002年6月, p.87
- 桑村仁, 伊山潤, 宮澤秀明: スチール・ファウンデーション(鋼製基礎), 建築雑誌 vol.117, No.1488, 2002年5号, pp.81-82

*) 鹿島技術研究所 建築技術研究部

鋼の高比強度を活かした環境適応型無柱空間構造：スケルトンシェルシステム

単層ラチスシェル構造
可変空間

杉崎 健一*)
ケーブル構造
新素材

リユース
省力化工法

1. はじめに

大きな空間を構築することは、建築の原点である。鋼は比強度の高さを活かし、多くの大空間・大スパン構造建築に利用されてきた。また、空間構造には、常に、最先端の鋼構造技術が使われ、同技術の発展に大きく寄与してきた。これまでの空間構造技術の開発は、「無柱空間をいかに合理的に構築するか」に注がれてきた。近年の社会情勢を考えると、21世紀には、さらに次の技術が求められる。

- (1) 質の高い構造
- (2) 社会環境の変化に適応する構造
- (3) 自然環境の変化に適応する構造
- (4) 合理的な生産
- (5) 新技術分野への展開

本論文では、上記5項目の技術を導入した新しい空間構造「スケルトンシェルシステム」(図1)についての概要と21世紀における可能性を述べる。



図1 スケルトンシェルシステムのイメージ

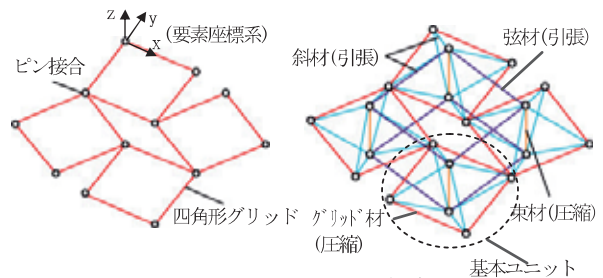


図2 構造システムの基本単位

2. 構造システムの概要

図2に本構造の構造システムの概念¹⁾を、図3に基本的な力の抵抗方法を、図4に接合部詳細例を示す。本構造は、構造的に不安定な四角形グリッドで構成するピン接合単層ラチスシェル構造の上下に細い引張材(以下、弦材という)を配置し、一般的にピン接合の単層ラチスシェル構造にはほとんどない面外曲げ剛性(xあるいはy軸回りの曲げ)を付加した構造である。面外曲げ剛性を付加することによって、任意の形状でも全体座屈を生じ難くし、形態抵抗を利用せず自由な形状の屋根、壁あるいは床を構成できる。弦材とグリッド材間は、斜材と束材によって接続し、形状を保持させる。図2に示すように、初期に、弦材と斜材に引張軸力を、束材とグリッド材に圧縮軸力を導入することによって、構造全体を部材の軸力のみで抵抗する自己釣り合い型構造とし、形態を保持する。また、適切な初期軸力の導入によって、外力に対して常に、弦材と斜材は引張軸力のみを、束材とグリッド材は圧縮軸力のみを発生させることができる。各構成部材の応力的な役割分担の明確化によって、引張材に鋼ケーブル、圧縮材に鋼管等のように、各種鋼材の特性を十分活かすことができ、鋼の高比強度を十二分に活かした軽量化と経済設計を可能にする。

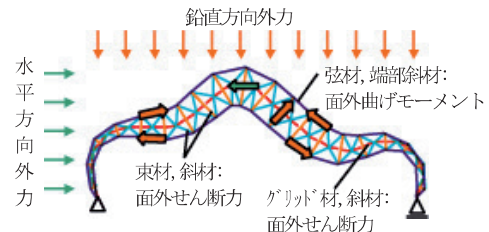


図3 構造システムの概念

3. 質の高い構造

空間構造は、不特定多数が利用する建物や地震災害時等の防災拠点に利用されることが多く、さらに、社会資本のストック化が進む中、質の高い構造が要求される。本構造

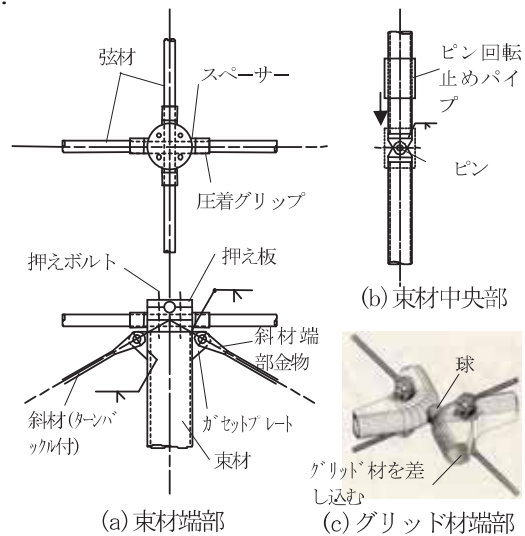


図4 接合部詳細(例)

は、軽量であるため耐震性能に優れ、地震国のわが国に適した構造である。一方、軽量でありながら、高い耐力、高い剛性および高い冗長性を有している。以上の本構造の構造性能は、構造実験および構造解析によって検証している¹⁾。また、弦材にアクチュエーター等を取付け、荷重時の軸力変動を制御する知的適応構造物も構築可能である。

4. 社会環境の変化に適応する構造

経済活動の成熟に伴い、都市を含めた地域性が重視されるようになり、個人生活や企業活動も多様化してきた。空間構造においても、社会環境の変化と多様化に適応する必要がある。本構造は、軽量かつ弦材の長さのみを変化させることによって図2に示す基本ユニットの組み合わせのみで任意の形状を構成できる。従って、既存建物に屋根を架ける、増改築、建物形状の変化(図5)等、社会環境変化に伴うニーズに柔軟に対応できる。

5. 自然環境の変化に適応する構造

地球温暖化が国際的な問題になっている。現在、鋼は100%リサイクル可能であるが、今後、100%リユースが課題である。本構造は、同一基本ユニットの構成のみで任意形状の空間を構成できる。また、各構成部材の応力的な役割分担を明確にすることによって、接合部を簡易にし、溶接を最小限にした乾式接合としている。この部材構成と簡易接合部によって、基本ユニットあるいは構成部材をそのまま再利用して、別の異なる形状建物を構築することができる(図5)。本構造は、ほぼ100%リユース可能であり、自然環境に極めて優しい構造である。

6. 合理的な生産

少子高齢化に伴い、今後、労働人口の減少が予想されている。労働集約型産業である建設業においては、機械化等

を含め、革新的な生産合理化が必要である。本構造は、地組した基本ユニットを弦材で接合し、束材の伸長あるいは屈伸のみのワンタッチで初期軸力を導入する(図6)。また、軽量であるため、大ブロックのプレアッセンブルが容易である。よって、機械化等による労務低減を可能にする。

7. 新技術分野への展開

アルミニウム合金²⁾やCFRP³⁾等、建築においても新しい材料が用いられるようになった。本構造は、鋼管製グリッド材をアルミニウム合金やCFRP製管に置き換え、鋼構造分野において発展した技術を他の材料技術に応用可能である。また、図7に示すように展開構造を構築し、地上構造物だけでなく、宇宙構造物にも適用できる。

8. まとめ

本論文では、スケルトンシェルシステムが21世紀に求められる5つの技術(第1章参照)を有していることを示した。鋼構造技術は、鋼材料建築に適用するだけでなく、新しい材料や建築以外の構造物にも応用可能である。この応用は鋼構造技術発展への1つの手掛かりとなり、本システムは、その1例として有用である。

参考文献

- 1) 兼光知巳他:引張材で補剛したピン接合単層ラチスシェル構造に関する研究, 日本建築学会構造系論文集, No. 561, 2002年11月(掲載予定)
- 2) 杉崎健一他:アルミニウム単層トラスの構造挙動に関する実験的研究, 日本建築学会構造系論文集, No. 480, pp. 113-122, 1996年2月
- 3) 米丸啓介他:CFRPトラス部材の圧縮特性に関する研究, 日本建築学会構造系論文集, No. 556, pp. 197-204, 2002年6月

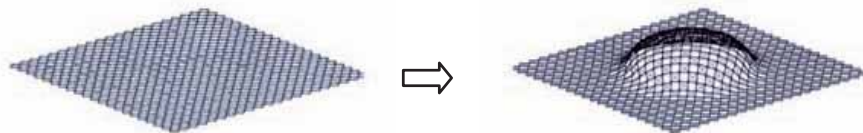


図5 社会

鉄を身近に

山田 耕司^{*)}
道具
一般市民

日曜大工
簡単な技術

材料として鋼材
普及活動

1. 序

日常生活の中で見かける鉄は、ほとんどが工業製品となっている。鋼構造で用いる鉄もファブリーケーターで作成した鉄骨（半製品）を現場に搬入して組み立てる。一方、下地材として用いる軽量鉄骨は素材で現場に搬入され、現場で加工・組立が行われる。

さて、「21 世紀、鋼構造技術は何ができるか」、「鉄を使った新しい空間・機能をもった建築を支える技術」を考える前置きとして、鋼材の性質を考える。建築構造材料として見た鋼材は、物理的品質が安定している、耐火性が低い、酸化・腐食する、接合法が主に 2 種類存在する、などがある。この内、耐火性に対しては耐火鋼の開発、耐火被覆材の改良が行われている。腐食に対しては耐候性鋼が開発されている。また、さらに高強度の鋼鉄の開発も行われている。「鋼構造技術は何ができるか」という問いに対して、答えは「(お金をかければ)ほとんどのことが技術的には可能である」となるだろう。また、リサイクル材の品質を一般材程度の品質に保証するのは大変な手間を必要とし、低性能材料の有効利用策を検討する必要もあるだろう。リサイクル材の活用を考えると図 1 のように安価な材料としての普及、一般民生材料としての普及、木材代替品としての普及の 3 つが考えられる。

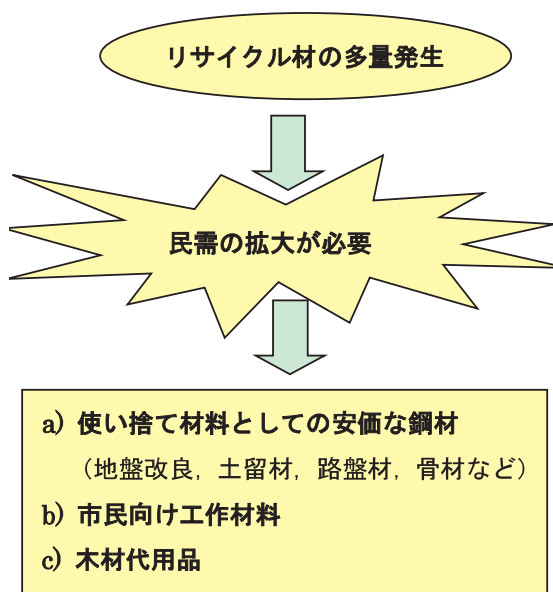


図 1 リサイクル材の活用に向けて

一方、技術者にのみ扱える材料は、製品としてしか市場に流れない。リサイクルを意図して一般に普及させるには、鋼材を一般市民が扱える身近な材料とすることが「21 世紀」の課題と考える。つまり、図 1 中の b), c) を目的とした材料開発が必要となる。

2. 身近な材料

一般市民が扱える身近な材料として、木材がある。我々は小学校から木工に親しみ、木を肌で感じ、木を自らの手で加工してきた。それ故、木材を加工するための道具、加工方法、注意点などを把握している。しかし、鋼材に関して同様の経験を持つ者は非常に少ない。図 2 に鋼材の一般市民への普及を阻害する負の連鎖を示す。この負の連鎖が回転することで、一般市民が日曜大工感覚で鋼材を使用する機会を奪っている。そのため、本来生ずるはずの市場も活性化していない。一方、木材の場合は図 2 の“ない”が消え、正の連鎖が生じ、民生材料としての市場が発生している。つまり、鋼材の一般人への普及を計るためには、木材と同レベルで一般人にも加工可能な鋼材、加工器具、接合用具の開発と学校における教育活動、一般への普及キャンペーン（啓蒙活動）が必要と考える。

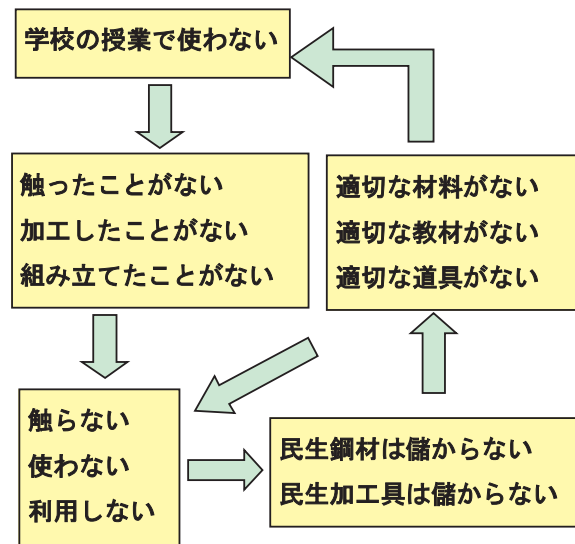


図 2 鉄鋼になぜ親しまないか

3. 商品開発目標

これまで、軽量型鋼を用いたスティールハウスの開発は行われているものの、鉄を木材と同レベルにまで身近にする研究開発は行われていないようである。そこで図3に示すように、木材および木材用加工具の代替品となる鋼材、加工器具、接合用具の開発が必要である。

鋼材の一般的普及を計るためには、木材と同等レベルの長さ当たり重量、加工性、接合性を有する必要がある。ここで定義する加工性、接合性とは、木造軸組構法住宅の木造部分を構法・施工法をそのまま鋼材に置き換えることのできるレベルを指す。従って、1人の人間が扱える重さの材料、施工道具である必要がある。

そこで次の商品開発目標を設定する。

- ・木材と同等の重量の鉄骨（柱で 7.2kg/m、梁で 30kg/m 以下）
- ・上記の鋼材専用の梁柱仕口部品
- ・上記の鋼材に簡単に取り付けられる2次部材接合具（2次部材は既製品の軽量型鋼等を利用、簡易なものは接着、機械的接合で取り付け）
- ・上記の鋼材の切断、孔あけ、を容易に行える電動工具（木造用市販レベルの価格で）
- ・上記の鋼材専用の安価なトルクレンチ
- ・スタッド溶接程度の簡易な溶接法およびその機材（家庭用品市販レベルの価格で）
- ・以上の利用ガイド（一般的ガイドとマンガ）

以上が商品開発目標となる。

また商品開発と並行して、次節で取り上げる普及活動サンプル品として、学校用教材、小学生の夏休み課題用キット、犬小屋キットなどを開発する必要がある。

4. 普及活動

普及活動には、2つの主軸が考えられる。1つは学校教育での利用、もう1つはホームセンター、東急ハンズなどでの一般市民へのデモンストレーションである。

学校教育に対しては、小学校4年～中学校3年間での教材開発と教育研究会でのデモンストレーション。学校への教材貸し出し、が必要となる。教材例として、表1の例が考えられる。また、小中学校への出張授業を大学などとタイアップして行う方法もある

一般市民への普及拠点として、各地に存在するホームセンターは有効と考える。しかし、商品化初期における一般市民へのデモンストレーションとして、東急ハンズでのデモンストレーション、モノ・マガジン（文林堂）などでの特集記事、広告が必要となる。広告方針として、本田技研工業が米国でオートバイを売り出した時のキャンペーン「You meet the

nicest people on a Honda」のように利用法、入手法などを分かりやすくした広告を行う必要がある。また、当面は、工具の利用方法などを説明できる販売代理店（できれば金物屋程度）などを展開する必要がある。

5. 型式認定

以上に述べた鋼材は、木造軸組構法住宅用木材を目標として開発するので、できれば簡易な構造設計法を確立し、型式認定を取ると良い。型式認定を取り、誰でも計算可能な簡単な構造設計法（もしくは設計ツール）が存在し、木造と同等の重量、加工性を有するならば、木造と並ぶ構法になる可能性がある。

6. 結語

本報では、鋼材のリサイクル性を生かし、鋼材の利用促進を図る方策として、鋼材の一般市民への普及を提案し、その具体的対策を述べた。鋼材の利用を促進するためには、高付加価値の鋼材の開発、新たな需要の喚起が一般的手段であるが、リサイクル性を十分に生かすには、需要の喚起が必要と考える。本提案はその1つに過ぎず、時間と初期（教育・啓蒙）投資を必要とする。しかし、鋼材の有効利用を図る上では良い手段と考える。

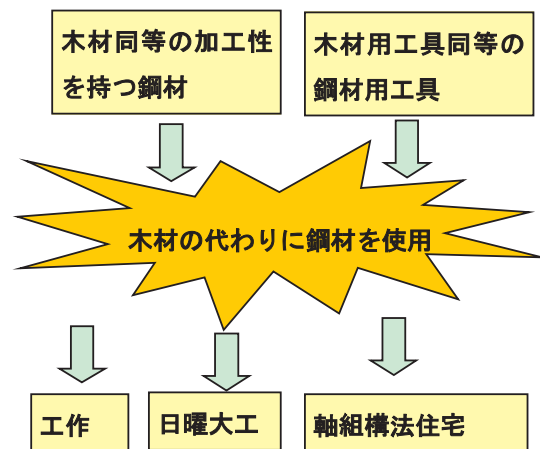


図3 商品開発と普及

表1 教材例

小学校4年	ボルト接合トラス橋キットの作成
小学校5年	ベルトドライブによる4輪車組立キットの作成
小学校6年	ボルト接合によるイスの作成
中学校1年	ボルト接合による小屋キットの作成
中学校2年	ボルト接合による犬小屋の作成
中学校3年	板金加工と溶接による工具箱作成

*)豊田工業高等専門学校