

構造特性と造形性に着目した反復単位的设计論

A Design Theory of a Repetitive Structural Unit by Integration of Structural Engineering and Plastic Art

片健一*, 石井信行**
Kenichi Kata, Nobuyuki Ishii

*工修, 住友建設株式会社, 土木本部P C設計部 (〒160-8577 東京都新宿区荒木町13-4)

**博士(工学), 山梨大学講師, 工学部土木環境工学科 (〒400-8511 山梨県甲府市武田4-3-11)

In the previous paper, the authors extracted theories of repetition in the fields of construction engineering and art and presented them in the comparable form to each other. In this paper, the authors tried to integrate these theories in order to create a new structural design theory for a repetitive unit. The theories were made into keywords and were integrated as structural design theories for a mass unit, a bar unit, and a plate unit separately. Then, applicability of the theory for a plate unit was verified by a feasibility study with a bridge design. In this study, a plate unit based on a cube was proposed, and a bridge, which was built with the units, was analyzed by NASTRAN, an FEM analysis software.

Key Words: structural design, repetitive unit, prefabrication

1. まえがき

構造物の分野では, プレファブ工法等において架設工程や構造システムまたは構造単位を反復するという考え方が見られ, また, 造形の分野では, 古くは古代エジプト, ギリシャの時代から造形美をもたらす法則の一つとして反復が取り上げられてきた¹⁾。このように, 構造的構成と造形的構成に於いて反復というキーワードが共通に見出せるが, これまでの構造物に関する議論は多くの場合, 構造, 造形どちらか一方における反復の論理, もしくは反復に対する価値感によって構成された構造物をもう一方の評価軸で評価する方法が採られてきたと言え, 何れの場合も構造デザインとして構成単位そのものから造られるという造形的自由度を活かしきっているとは言えない。そこで筆者等は, 「反復による構造」と「反復による造形」の両論理を, 各々もう一度整理し特徴を把握し, それらを統合することによりこれまでの構造デザイン, 造形デザインにはなかった新しい構造物のデザイン論を構築することが可能ではないかと考え, 論理の構築とそれに基づいた構造物の具体的形態の提案を試みた。

2. 目的・対象

本論文は, まず, 特定の形態が一定の反復によって構成されている造形物, 構造物を対象として「反復による造形」と「反復による構造」の論理性を整理・抽出し, 得られた両論理を統合して構造物における反復単位形態の構造デザイン論を提案することを目的とする。

対象は土木関連の構造物とし, 特に提案する論理の具体的な構造物への展開は橋梁とした。

3. 論文構成

本論文は次のような構成となっている。

はじめに, 造形, 構造各分野に関して, 両者の対応関係を特に考慮せずそれぞれ独立した視点から抽出した, 「反復

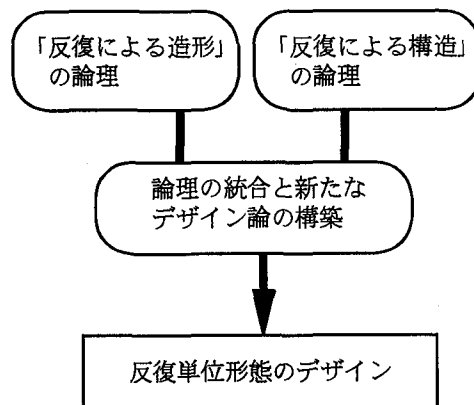


図-1 本論文の構成

による造形」の論理及び「反復による構造」の論理を抽出する。次に得られた論理を統合するために、両論理の特徴を複数のキーワードによって表現する。その上で、論理の統合が抽象的なものにならないように、単位の基本的形態の特徴による制約をふまえながら、両論理をキーワードのレベルで統合し、この統合したキーワードをもとに構造物の新たなデザイン論を構築する。

最後に、構築されたデザイン論の適用性を示すために、この論理による「橋梁デザインの提案」を行い、橋梁ならではの構造物として単位間が持つべき制約条件を与え、具体的な形態を提案する。

4. 「反復による造形」の論理

4-1 反復図形の構成に関する既存研究（中村²⁾）

(1) 平面図形

1) 基本単位と基本運動

平面上で特定形態（基本単位と定義する）を反復する基本的な方法には、①並進、②回転（点は回転の中心）、③鏡映（直線が鏡映の線）の3つがあり、基本運動と定義されている。



図-2 基本運動²⁾

2) 反復図形の構成方法

基本運動を組み合わせることにより、一次元方向（回転は180度回転のみ）の反復拡張による図形の構成には、理論的に7種類が存在し、二次元方向に拡張する方法は17種類存在する。

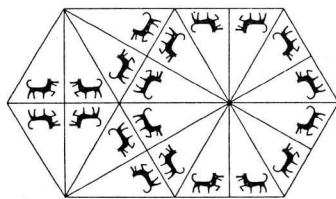


図-3 二次元反復構成の例（60度回転と二つの鏡映）²⁾

(2) 立体図形

1) 反復図形の構成方法

立体図形を反復する場合、上記の基本運動に加えて反転という運動が加わり、この組み合わせで7種類の拡張運動が存在する。また、基本単位そのものの対称性、三次元の拡張方向を考慮すると理論的に230種類の構成方法が存在する。

4-2 反復図形の事例分析

(1) 平面図形

装飾やアートポスターの中から前項の分類に適合する具体例を分析した結果、反復拡張によって、造形的に新しい

秩序が形成され、その結果、「基本単位の非明確化」という認知的特徴があることが明らかとなった。この造形的秩序形成として、①反復によって基本単位の一部どうしが接して、認識される形態が交差していたり、認識できる形態の種類が複数化されたりする手法、②いくつかの基本単位がまとまって一つの認識形態を形成する手法が採られている。

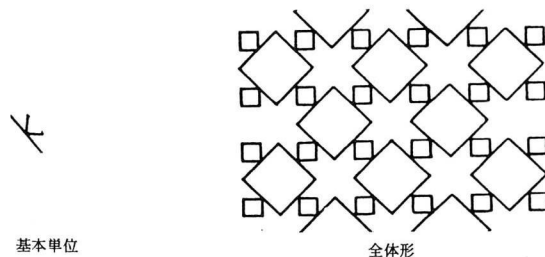


図-4 複数の認知単位が構成される例³⁾

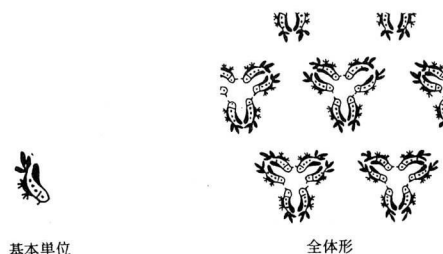


図-5 いくつかの単位で認知単位が構成される例³⁾

次に、装飾評論家のE.H. ゴンブリッチの分類（枠付け、繋ぎ、補填）³⁾を参考に、拡張運動との対応を考慮し、前述した造形的特徴を出現させる基本単位形態の機能を次のように定義した。

- 連結機能・・・基本単位間の図形的連続を形成する機能
- 充填機能・・・上記以外の平面を埋め尽くす機能

(2) 立体図形

平面図形の反復造形の事例分析で得られた「基本単位形態の非明確化」が、立体図形の反復造形で、どのような形でみられるかという着眼点のもとペーパークラフトや、積み木等の造形物を分析した。これらは、三次元方向に造形が構造的に成立するために基本単位は必ず、隣の基本単位と接していなくてはならないこと、そして基本単位のなかでも形態は必ず連続していなくてはならないことという形態の制約を有している。

分析の結果、基本単位の形態を弱める要因として、平面図形と同様な、①隣接する基本単位間での新たな認知単位

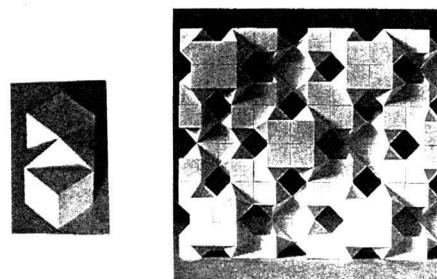


写真-1 複数の認知単位が構成される例⁴⁾

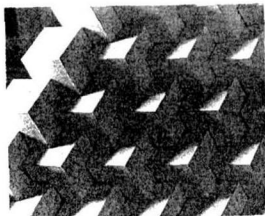


写真-2 基本単位間での隠蔽の例⁴⁾

の形成、②全体形が認知されやすい特徴的な形態を形成、の他に③隣接する基本単位による隠蔽が挙げられた。

4-3 「反復による造形」の論理

これらの分析から、反復造形における認知的特徴の「基本単位形態の非明確化」のメカニズムを、両者の形態的特徴を考慮して分析し、「反復による造形」の論理を構築することを試みた。その結果を図-6に示す。この中で、ゲシュタルト心理学の「群化」とは、複数の視対象同士の位置的または形態的な関係により、それらがまとまって認知されることを言う。

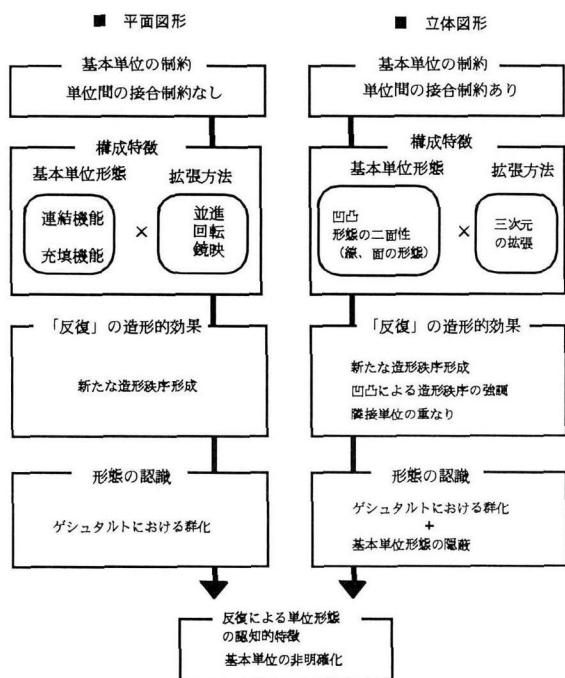


図-6 基本単位に着目した平面図形と立体図形の「反復による造形の論理」

5. 「反復による構造」の論理

5-1 「反復による構造」の事例分析

特定の形や材の単位が反復されている構造物として、①組積構造、②組積アーチ、③持ち送りアーチ、④片持ち構造、⑤平面トラス構造、⑥スペースフレーム構造、⑦折板構造、⑧格子梁構造を取り上げ、反復されている単位、反復による構造的効果とそのための単位形態の特性、単位間の接合方法、及び単位の形と全体の形の関係に着目して分析した。

(1) 構造物に見られる反復単位の分類

反復されている単位の構造的レベルに着目すると、乱積み等の石等の材そのものが単位となって反復され、直接的に全体形と構造システムを構成しているレベル、斗と肘木のように複数の種類の材で単位を形成するレベル、トラスのように複数の材が集まり形成された構造システムが反復の単位となっているレベルの三つに分類された。

(2) 反復形態における構造メカニズム

一般的に構造物を形成する単位部材がとる形態とされる、塊材、線材（ここでは、構造物の形成のため直線状になっている材として定義。）、板材の三種類を軸として、「単位の形態」と「反復による構造」の成立関係を分析すると、反復形態が見られる構造物は、反復に利用される構造特性、単位間の接合、全体形の構造システムに関して次のように整理された（表-1）。

表-1 単位形態と「反復による構造」

	反復に利用される構造特性	単位間の接合	全体形の構造システム
塊材	せん断 圧縮力	摩擦 摩擦 モルタル等	梁 組積アーチ 組積ドーム
板材	単位の曲げ 単位間の拘束 面内への力の分散	基部の重力 せん断 一体化 剛接	持ち送り 片持ち 折板
線材	軸力 重ね合わせによる力の分散	ジョイント ガセットプレート 剛接	スペースフレーム トラス 格子梁

5-2 「反復による構造」の論理

「反復による構造」の論理は、「小さな単位を反復して必要な強度と機能を持った構造物を形成する」ための考え方であると言え、事例分析の結果からは次に挙げる3通りの考え方が導かれた。

- ①強度が高い単位をつくり反復する。
- ②単位を反復することで強度を高める。
- ③単純に構造システムを反復する。

それぞれの考え方により得られる反復構造の特徴を荷重伝達システムと形態的自由度に着目してまとめると、反復による、単位間の拘束と荷重の分散が「反復による構造」における構造的論理として抽出された（表-2）。

表-2 「反復による構造」の論理

目的	方法	例	集中荷重への単位から全体への形質的目録
小さな単位を反復して大きな構造物を構成する。	単位の形態を利用 1. 高強度な単位をつくり反復する	スペースフレーム トラス等	力の分散 自由度が大きい
	単位の反復形態を利用 2. 単位の反復により強度を高める	2-1 単位の反復で構造システムを形成 組積アーチ、組積ドーム等 2-2 単位の反復で単位間を拘束 折板、格子梁等	力の一方的流れ 単位と全体形は一義的 力の分散 自由度が大きい
	反復行為そのものを利用 3. 手段、方法を反復する	持ち送り、片持ち等	力の一方的流れ 単位と全体形は一義的

6. 「単位」の定義

反復による「造形」と「構造」の論理の統合にあたり、単位の捉え方を共通なものにし、論理を明確にするために改めて、反復の単位に関して次に示すように定義付けを行った。

構成単位・・反復することによって目的の構造物を成立させることができる単位

構造単位・・その構造物を成立させている構造システムの単位

造形単位・・構成単位の反復による構造物の形態から認識される見かけの単位

7. 「造形」「構造」の両論理の統合と反復単位形態のデザイン論の構築

7-1 「造形」「構造」の各論理の整理とキーワード抽出

(1) 「反復による造形」論理のキーワード

造形の論理では、単位の形態と反復構成による造形的特徴との関係、造形的特徴の認知に関する特徴をキーワード化する。本論文で想定している構造物は必ず三次元の形態をとるので、基本単位が三次元に拡張する立体図形における「反復による造形」の論理を、平面図形との相違点に着目しながら特徴をキーワード化することが適当であると判断し、次に挙げるキーワードを抽出した。

① 単位形態の立体性に関するキーワード

- ・三次元の拡張
- ・凹凸、形態の二面性

② 反復による造形的特徴に関するキーワード

- ・新たな造形秩序形成
- ・隣接単位による単位形態の隠蔽

③ ②の造形的特徴による基本単位の形態の認識に関するキーワード

- ・基本単位形態の非明確化

(2) 「反復による構造」論理のキーワード

構造の論理に関しては、単位が反復されることによって得られる構造的な利点と単位間の関係を、単位や全体の形態に関する「拘束」及び構造的な力の流れの関する「荷重の分散」を用いて、次に挙げるようにキーワード化した。

① 反復による単位間の拘束に関するキーワード

- ・形態の拘束
- ・配置の拘束
- ・変形の拘束

② 反復による力の分散に関するキーワード

- ・単位内での分散
- ・単位外への分散

7-2 論理の統合と単位形態のデザイン論の構築

(1) デザイン論統合の考え方

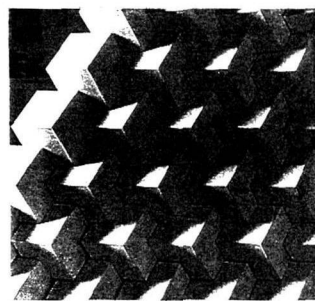
「構造」「造形」それぞれのキーワードを統合して具体的な単位形態のデザインに結びつける方法を次のように考えた。三種類の基本的な立体形態である塊材、棒材、板材それぞれに対して、可能なキーワードの統合をはかり、統一

て「造形」と「構造」の統合された反復ならではのデザイン論を構築する。この論理をふまえることにより、反復される「構成単位」の形態を決定する論理を示すことができる。また、このように単純な形態に関して統合と単位形態のデザイン論を構築することで、今後、更にこれらを組み合わせることで、より複雑な単位形態のデザインにおける論理構築の可能性が高まるといえる。

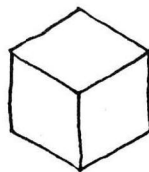
(2) 塊材単位のデザイン論

1) キーワードの統合

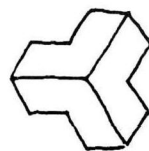
塊材は充填形態であることから、造形の面からは「隣接単位による単位形態の隠蔽」が有効なキーワードとして挙げられる。また、構造の面からは、塊材の反復による構造はこれまで極めて多くの場合、鉛直方向には圧縮という一つの仕組みで成立させてきたが、塊材の形態の特徴から構造的成立を圧縮と摩擦やせん断と摩擦といった二つの仕組みで分散して抵抗させることも可能であると考えられる。この力を分散させている接合部分を隣接単位で隠蔽することで、接合部の理解を困難にする反復形態を構成ことが可能であるというように考えると、これは「単位形態の隠蔽」と「単位内の力の分散」という二つのキーワードの統合であるといえる。



(a) 立方体の反復による構造



(b) 反復の構成単位



(c) 見かけの造形単位の形態

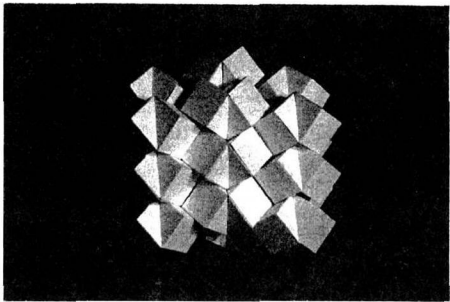
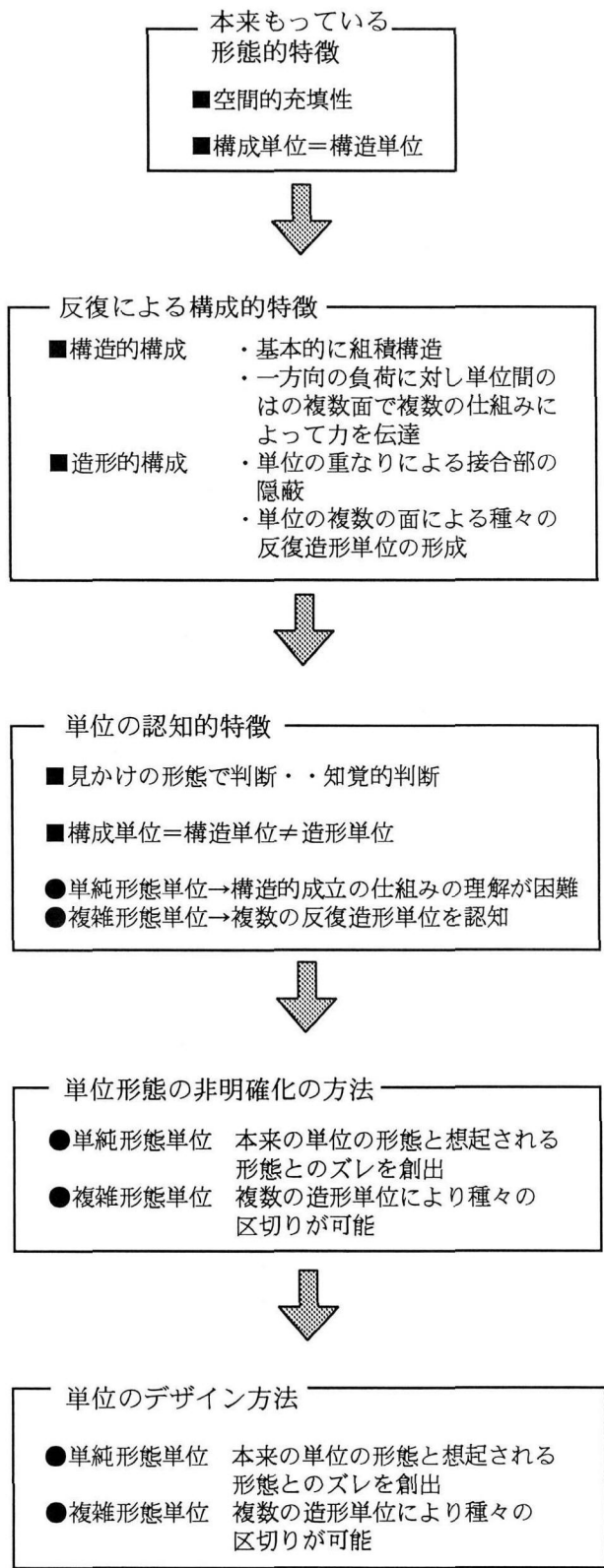
写真-3 「単位形態の隠蔽」と「単位内の力の分散」という二つのキーワードの統合で解釈できる例⁴⁾

2) デザイン論の構築

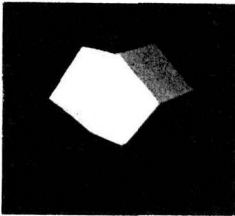
塊材の場合は以上のように単位に空間的充填性があり、反復される構成単位と構造単位が一致し、単位を積み上げて成立する組積構造を形成する。そこで、ある方向からの負荷に対し複数の面を用いて構造成立させることを考えると、単純な単位形態の時は単位間の形態の隠蔽によって見かけの造形単位形態からは反復されている単位の形態、単位間の構造的成立が把握しにくく、異なった形態が想起させることが可能となる。一方、複雑な単位形態をつくる場

合は、単純な立方体、直方体を基本として考える。これらの一部を削除したり、互いに貫入させたり、他の部分を付け足したりすることで、ある方向からの負荷に対して、単位間で複数の面を利用して圧縮や摩擦、せん断などの複数

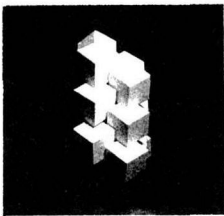
の構造的仕組みによって抵抗させることによって単位が積み重なり拡張されると、各々の面で種々な反復造形の単位を創出し、単位形態の非明確化が起きる。これは、単位の充填性ゆえに、見かけの単位の形態そのものだけで判断しなくてはならないためである。よって塊材の反復デザインとして「知覚的なデザイン」方法があるといえる。以上のことをまとめたものを図-7に、また、このデザイン論に基づいて筆者等が作った例を写真-4に示す。



(a)全体形



(b)立方体貫入させた形態を有する反復の構成単位



(c)側面からの見え

写真-4 複雑な形態の単位による反復構造

(3) 線材単位のデザイン論
1) キーワードの統合

線材は空間的な充填性が低いので、造形的には隠蔽の効果は小さく、構造的には単独では力を分散したり異なった方向からの力に同時に抵抗することができない。しかし、反復する構造単位を複数の材によって構成することにより、荷重を分散させる構造システムを形成することが可能である。そして、そのような反復構造では構成単位と構造単位を一致させないで、材の一部を隣接した構成単位と共有して構造単位を形成することができ、反復の単位に重なりが

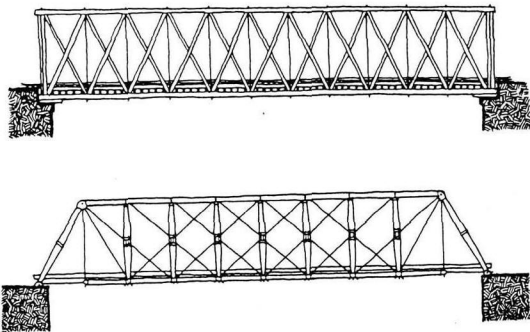


図-8 種々の反復単位が創出されている例⁵⁾

図-7 塊材単位のデザイン論

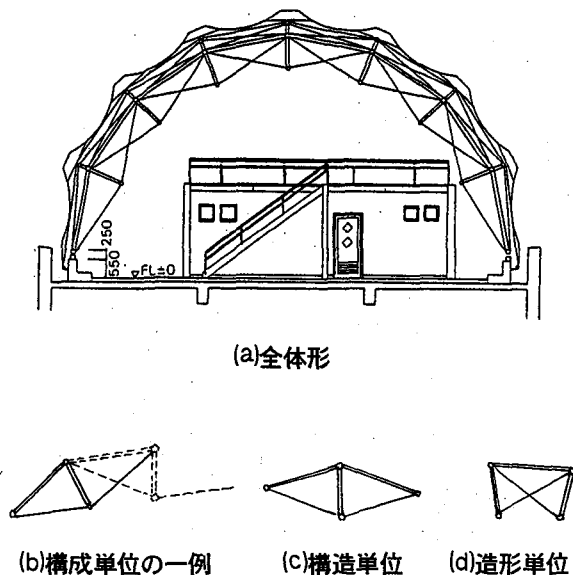


図-9 反復拡張方向に対して法線方向の材を有する例
(張弦梁構造による屋根)⁶⁾

生まれることにより造形的にも新たな秩序を形成することになる。これは、新たな造形的秩序の形成による「基本単位の非明確化」と材の共有による「配置の拘束」という二つのキーワードの統合であると言える。

2) デザイン論の構築

線材の場合は以上のように単独では荷重の伝達が一次元に限定されるので、複数の材を三次元的に配置した非充填的な骨組みを形成することにより構造的に成立し、構造を構成する材がほとんど全て造形要素となる。また、隣接単位との間で材を共有する構造単位を構成することができるので、構成単位と構造単位は必ずしも一致する必要はない。このような条件を持った反復形態では、構成単位を形成する線材の中に部材軸が反復拡張方向と直交する方向成分を有するものが必ず存在することになる。そこで、ある方向からの負荷に対して単位を構成する線材の断面や材質により構造成立させることを考えると、造形的には材の太さや材質等によって構造単位とは異なった造形単位を卓越させて構造単位を非明確化させたり、複数の造形単位の認知の仕方を可能としたりすることで構造的な単位の非明確化をすることができる。特に、拡張方向に対して法線方向の材を有する単位が反復される場合には、この材を、卓越させて区切れを強調する方法と複数の造形単位を形成させて、種々の形態の認知が可能になるようにする方法とが考えられる(図-9)。従って、塊材と比較して線材の場合は様々な造形単位の中から一つの単位を強調したり、複数の単位の認識をさせたりするため「認知的なデザイン」といえる。以上のことをまとめると図-10のようになる。

(4) 板材単位のデザイン論

1) キーワードの統合

平板形態の板材を単位とする場合、隣接する板の端部同士を線的に接合した折板形状を形成することで、折板面に垂直な力に対しては個々の板材において面内のせん断力と

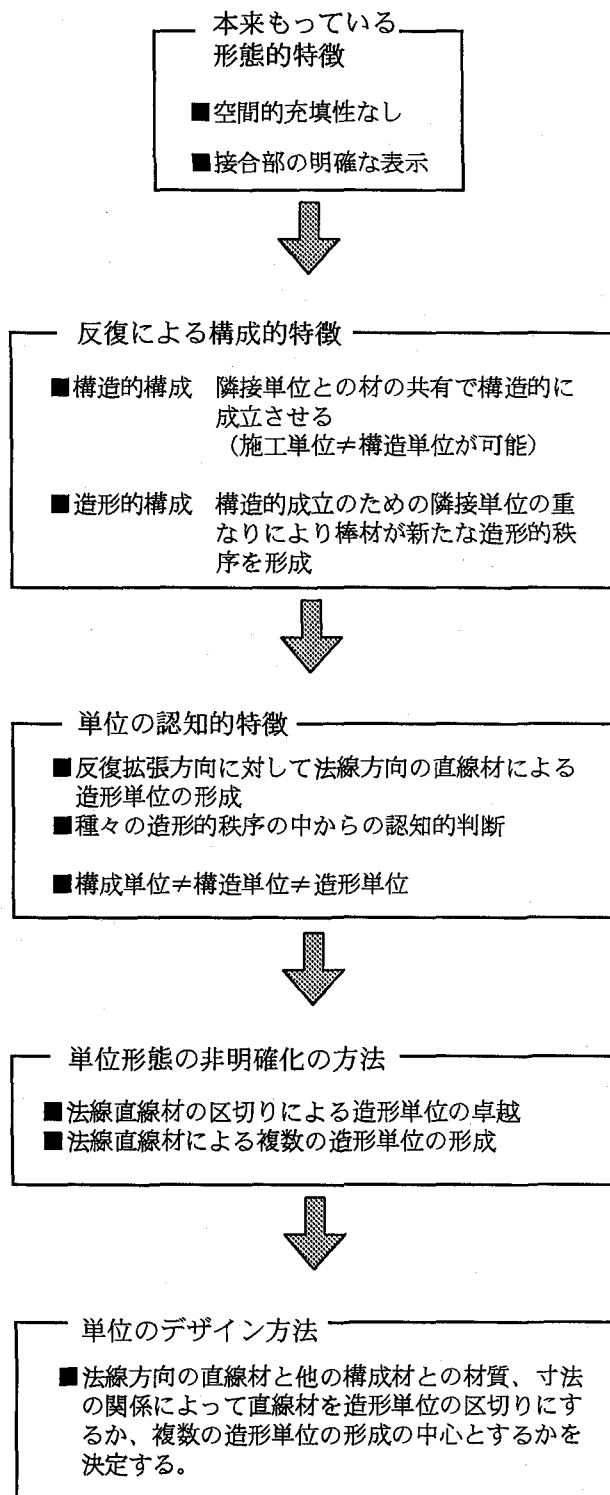


図-10 線材単位のデザイン論

面外の曲げに分散して抵抗し、折板面の稜線に平行な力に対しては全て面内のせん断力として受けて抵抗することが可能となる。これは折板形状により板材が相互に拘束しあうためである。従って、多方向の力に対しては、板材同士または形成された折板同士を重ね合わせ相貫させることによって抵抗することが可能である。また、折板形状は平板と同じく形態特性として面と線の二面性を有しているが、相貫させることにより塊として認知される図形が現出する

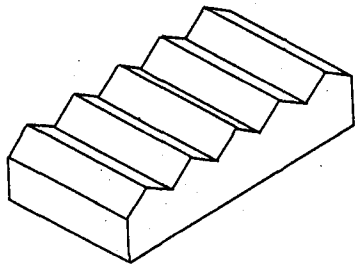


図-1 1 一方向の折板構造

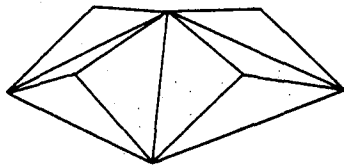


図-1 2 角錐型の折板構造

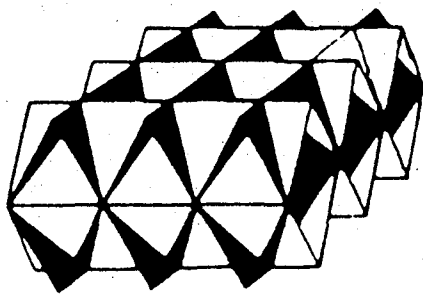


図-1 3 相貫による折板構造とその見え方⁷⁾

ことが期待され、そこには単位の「板」という形態の非明確化を見ることができる(図-1 1)。このことは、「変形の拘束」と「形態の二面性」と言うキーワードの統合であると言える。

2) デザイン論の構築

板材を単位とした場合、構造的には板の端部を接合し反復された折板形状を形成することで単位間の変形が拘束され、応力を分散したり、座屈強度が高まり、構造体の剛性を増すこと、造形的には線と面という形態の二面性を表現することが可能である。そこで、構造的には単位が反復されることによって板材単位の端部が隣接する板材端部と接しなくてはならず、造形的にはある方向に対して板の線的部分と面的部分の両者が同時に表現されていなければならない。この条件を満たした単位の形態は立体的に対称性を持つ必要があるので、直方体や立方体を基本とした単位を三次元方向に反復拡張することを考える。これは単位が立体的対称性を持つことによって各单位を回転させたり、反転させたりしながら拡張しても単位の端部同士が接し構造的効果を保ちながら拡張できるためである。そして、単位を構成する平板の端部が直方体や立方体の各面内に含まれるように各平板を組み合わせると、平板単位は積み上げるだけで端部同士が接し、相互に拘束しあい構造的に強度が増す。この時、単位の三次元的な対称性を考慮すると、単に並進配置だけでなく、回転や、反転等の操作によっても

本来もっている
形態の特徴

線的形態と面的形態の
二面性



反復による構成的特徴

- 構造的構成 平板端部の接合による剛性の増加
構造体の相貫による折板構造の形成
- 造形的構成 形態の二面性の表現



単位の認知的特徴

- 単位の線的形態の区切りによる造形単位の形成
- 面的配置による後部の単位の不可視
- 構成単位≠構造単位≠造形単位
- 構造的成立の仕組みと構成単位の理解の困難



単位形態の非明確化の方法

- 構成単位が反復により相貫体の構造単位を形成し、表れる造形単位からは構成単位の形態把握が想起しにくい



単位のデザイン方法

- 単位の拡張により端部が接するように単位に立体的対称性を持たせる
- 直方体、立方体を基本として辺をむすんで平板の相貫体を構成

図-1 4 板材単位のデザイン論

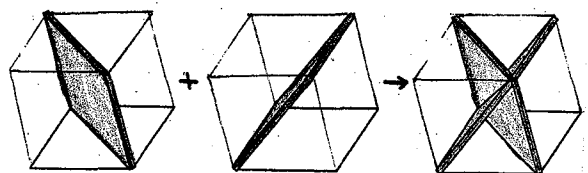


図-1 5 立方体を利用した平板の構成

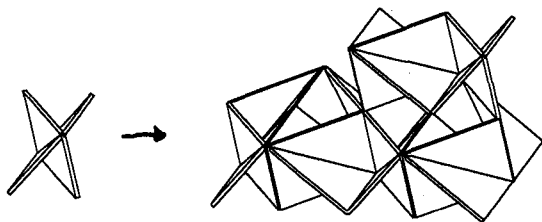


図-16 単位形態の対称性と拡張の可能性

単位の端部が接することが可能となる。以上のことをまとめたものを図-14に、また、筆者等が作成した立方体を基本とした板材単位の例を図-15、16に示す。

8. 橋梁デザインへの論理の適用

8-1 単位の形態決定と全体形

(1) 設計条件

本論文で試みた「反復による構造」「反復による造形」の両論理の統合による「反復単位の構造デザイン論」の適用性を確かめることを目的とし、「板材単位のデザイン論」を例に取り、基本的な直線鋼歩道橋の試設計を行うために、構成単位及び歩道橋の設計条件を次のように設定した。

- ① 一つの構成のみの反復で構造物を形成できる単位とする。
- ② 反復拡張により、線と面の形態が外観に現れる折板構造を形成できる単位とする。
- ③ 工場で生産され建設現場まで運搬することが可能な規模の単位とする。
- ④ 車椅子同士のすれ違いが可能な幅員とする。
- ⑤ 4車線の道路を横断できるものとして支間を20メートルとする。

(2) 単位の形態決定

一般的な直線鋼歩道橋に用いられる桁橋は、荷重を橋軸方向に伝達する上下フランジとウェブそして形態保持または橋軸直角方向に荷重を分配する対傾構、横桁またはダイヤフラムから構成される。そこで、このような構成を基本として、単位そのものの一部がスパン方向の桁部分を構成し、一部がダイヤフラムを構成する形態をデザインすることとした。この条件を満たす形態について考察した結果、前章で提案した、立方体の上面と下面から互に対称の位置にある二組の辺を選び、各々を結び平面を平板として相貫させた単位形態（以後、COP単位と呼ぶ。）が、一方に拡張した場合、単位の一部が桁、一部がダイヤフラムの役割を果たしながら拡張できることが分かったので、試設計の単位形態として採用することを決定した。（図-17）

(3) 単位の寸法決定と全体形

COP単位の基本となる立方体の寸法を一辺1メートルとし橋軸直角方向に1回、橋軸方向に23回を反復拡張すると、桁高が1メートル、幅員が2メートル、橋長24メートルの基本寸法が得られ設計条件を満足する。

8-2 造形的考察

提案された歩道橋は、側面景からは橋梁が凸型の形態を伴った箱状のものでできたソリッドなイメージを与えるが

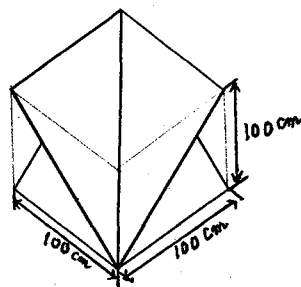


図-17 単位の寸法

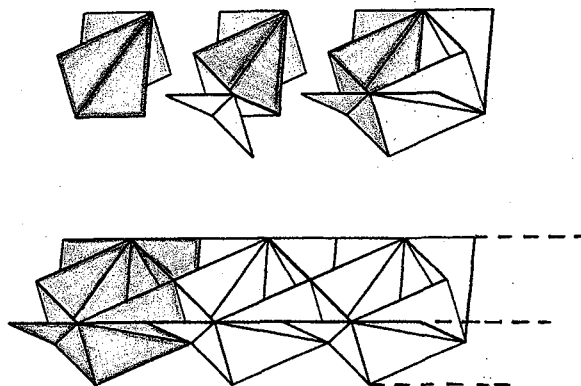
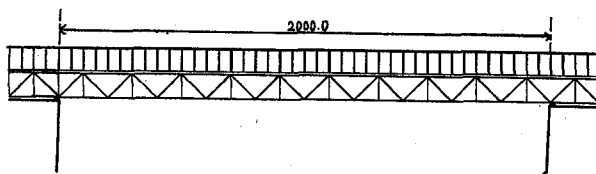
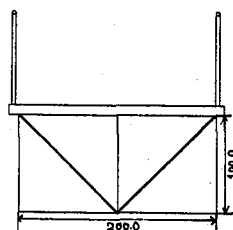


図-18 基本単位の反復と橋梁の構成



(a)側面図



(b)断面図

図-19 歩道橋一般図（単位：cm）

（写真-6）、桁下からは側面で見られた凸部が下方向に開口しているのがみられ（写真-7）、側面形と桁下からの見えの大きな差を与えるている。また、三角柱状の桁を構成している部分は桁下方向にも開口部を表さないため、ソリッドな材に板材が貫入した構成をとっていると感じられる。板の面的部分と線の部分の両者を表現することによ

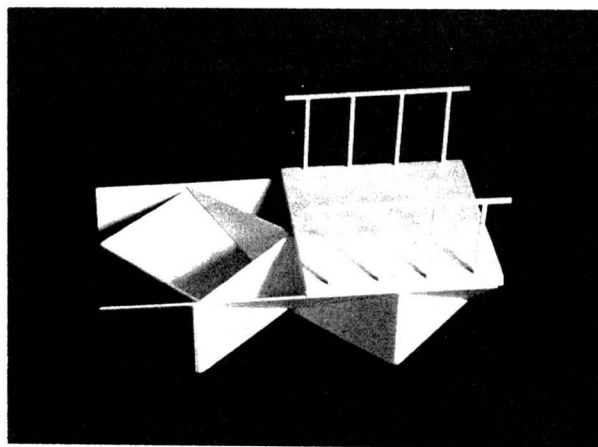


写真-5 桁の部分模型

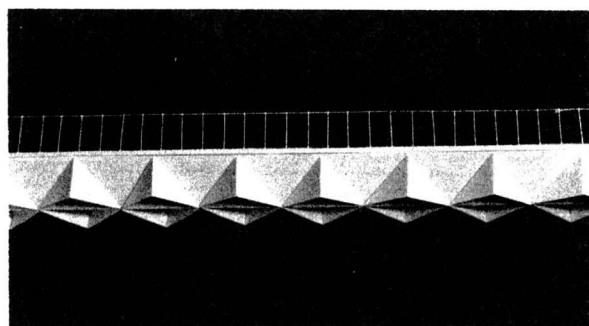


写真-6 側面の見え方

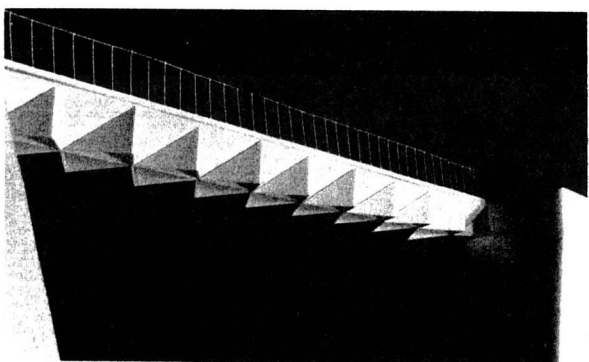


写真-7 桁下からの見え

てこの橋梁が板材の単一形態の単位が反復して構成されていることを理解する事は困難になっている。

8-3 構造照査

提案された歩道橋の構造的成立を保証するために有限要素法に基づいた FEM 解析によって構造解析を行った。

(1) 解析条件

1) 諸元

- ・使用鋼材 SM 490
- ・板厚 10mm
- ・死荷重 鋼 7850 kgf/m²

床版コンクリート 2500 kgf/m²
(床版厚 8cm)

・活荷重 等分布荷重 350 kgf/m²

2) 物理定数

- ・ヤング率 2×10^7 tf/m²
- ・ポアソン比 0.3
- ・せん断弾性係数 0.89×10^7 tf/m²
- ・線膨張率 1.2×10^{-5}

3) 支持条件

橋梁は偏載荷を考慮しないので両端においてそれぞれ一点で支持し、支点条件は表-3に示す通りとする。

表-3 支点条件

支持点	軸方向の拘束 (X, Y, Z)	軸周りの拘束 (X, Y, Z)
A1	(0, 0, 0)	(0, 1, 0)
A2	(1, 0, 0)	(0, 1, 0)

橋軸方向をX, 橋軸直角方向にY, 鉛直上向きにZ軸を設定し、表の0は固定, 1は解放である。

4) 載荷方法

床版の死荷重, 群集荷重をすべて主桁でうけることにし, 単位の接点に集中荷重として分配載荷した。

5) 解析プログラム

市販の有限要素法解析ソフト NASTRAN を用いた。

(2) 解析結果

1) 応力

橋軸方向の最大応力はそれぞれスパン中央部の上縁, 下縁で発生した。また橋軸直角方向の最大応力は圧縮が桁の端部, 引張がスパン中央の上縁で測定された。このいずれも, 鋼の許容応力度である 1900 kgf/cm²を下回っているため構造的に十分可能な値であるといえる。

表-4 各方向の最大応力

	圧縮力 (kgf/cm ²)	引張力 (kgf/cm ²)
橋軸方向	864	852
橋軸直角方向	21	40

応力分布の結果より, 単位を反復することで単位間が拘束されて, 応力分布が小さな周期の反復を示し, 構造的に不利な開口形状の端部も十分に耐えられる程度の応力しか発生しないことがわかった。

2) たわみ

スパン中央部で, 死荷重時で最大 2.035 cm, 活荷重によるたわみは 2.440 cm となった。活荷重によるたわみはスパンの 1/800 程度となり, 立体横断施設技術基準³⁾に定められた活荷重による最大たわみがスパンの 1/600 以下という規定を満足していると言える。

9. 研究成果

本論文の成果は以下ようになる。

- ・異なる分野の論理をキーワードで統合する手法を示した。
- ・「反復による造形」の論理と「反復による構造」の論理の統合を行い、塊材、線材、板材それぞれによる単位形態のデザイン論を構築した。
- ・「板材単位のデザイン論」に基づき橋梁を対象として単位の形態と全体形を提案し、構造解析によりその適用性についても確認した。

10. 今後の課題

今後の課題は以下ようになる。

- ・塊材及び線材の単位形態のデザイン論の構造物への適用性を検証する。
- ・施工面等のフィージビリティを満足する単位形態のデザイン論へ発展させる。
- ・塊材、線材、板材の基本的な材同士を組み合わせた単位形態のデザイン論の構築すること。

謝辞：本研究をまとめるに当たり、東京大学の篠原修教授及び天野光一助教授には貴重な御意見を頂いた。両先生には、この場を借りて感謝の意を示したい。

参考文献

- 1) 例えば、B・フラー他：現代建築12章，鹿島出版会，1965
- 2) 中村義作等：美の幾何学，中公新書，1979
- 3) E・H・ゴンブリッチ：装飾芸術論，岩崎美術社，1989
- 4) Zeler, Franz: PAPIER, Haupt, 1993
- 5) 今川憲英等：木による空間構造へのアプローチ，建築技術，1990
- 6) 建築文化，p.158, 1992
- 7) 伊藤邦明等：形の科学，朝倉書店，1987
- 8) 日本道路協会「立体横断施設技術基準・同解説」1979

(1998年9月18日受付)