

集成材構法の現状と今後の可能性

小松 幸平

集成材の特徴

集成材は厚さ2～5cm程度の木材の挽板（以下、ラミナと呼ぶ）を数枚から十数枚繊維方向が平行になるように積み重ね、接着剤で一体に張り合わせた材料である。

ここでは、構造用に用いられる集成材に限定して話を進めることにする。集成材の特徴は；

欠点を分散することにより、大きい強度が期待できる。

長大材を造ることができる。

自由な形状が得られる。

狂いや伸縮、割れなどが少ない。

という点にあり、一般製材では建築不可能な大型の木構造を造ることも可能である。

集成材を用いた従来からの構造形態

1. 構造形態の分類

上述した特徴を生かして、集成材は広い空間を要求される中・大型の建築物に使用されてきた。従来からの構造形態をあえて大別すれば、次の2つの型に分類されよう。

湾曲集成材（アーチ）を利用した単位骨組型

図1に示すように、ラミナを湾曲させて製造した、いわゆる湾曲集成材によって、はり間方向（図1参照）の単位骨組を構成し、雪や自重等の鉛直荷重の外、風や地震によつてはり間方向に作

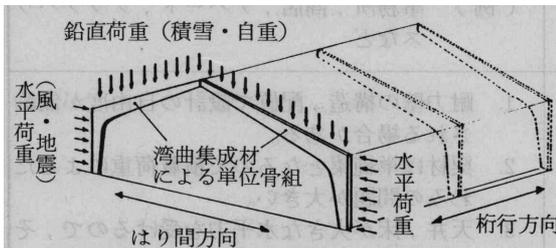


図1 湾曲集成材による単位骨組タイプの構造概念図

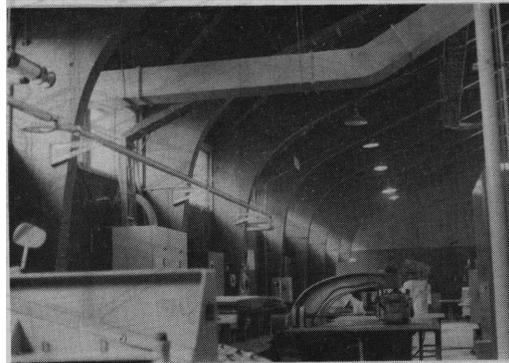


写真1 湾曲集成材による単位骨組タイプの一例（林産試験場 合板試験工場）

用する水平力に抵抗する構造形態である。

我が国に現存する集成材構造建築物の大部分は、この湾曲集成材を利用した単位骨組タイプのもので占められている。写真1は湾曲集成材による典型的な構造形態の一例である。

通直集成材と各種耐力壁を組み合わせた軸組型

構造形態の説明図を図2に示す。この型式の集成材構造建築物は我が国では実例の少ない、これからの構造形態であるが、集成材建築の盛んなアメリカ、カナダでは主流をなす形態と言われている^{1) 2)}。

構造の特徴は、我が国の軸組構法と同じように、柱、桁（胴差）、梁の組み合わせで鉛直荷重を支え、水平力に対しては、要所要所に配した耐力壁で抵抗する点にある。集成材構造建築物の常として、大きな空間を確保する必要があるため、耐力壁相互の間隔が広くなりがちである。したがって、大きな水平力を伝達するために床、天井、壁の構造が一般木造住宅等に比べて格段と強じんしなければならない。北米では、床、天井にデッキ材という厚板をさねはぎした材料が使用される場合が多い²⁾。

この構法では、集成材自体の設計もさることながら、床、天井、壁の構造設計が非常に重要なポイントと言われている。なお、我が国でこの構法で建てられた集成材建築物の代表的なものとして

は、広島県木材利用センター本館がある³⁾。

2. 構造形態の特徴比較

上で大別した2つの構造形態を幾つかの項目別に比較したものが表1である。

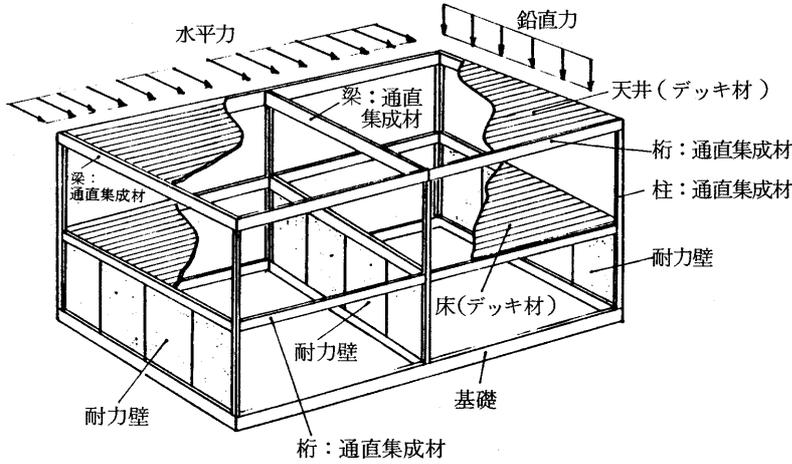


図2 集成材軸組構法概念図

集成材単体のコストという面から見れば、なるべく通直集成材を使用した方が有利なことは明らかである。一方、集成材軸組構法の場合、床、天井、壁の構造耐力で設計の自由度が制約を受ける傾向にある。したがって、両者の特徴を合わせ持った集成材構法が提案されてくるのは自然の成り行きと言えよう。

表1 従来からの構造形態の比較

	単位骨組タイプ(I)	軸組タイプ(II)
構造設計	力の流れが単純明快で、比較的正確な構造設計可能。	水平力に抵抗する要素、力の伝わり方が複雑で、(I)にくらべ、構造設計は複雑となる可能性あり。
集成材のコスト	通直材にくらべ、湾曲集成材の製造には技術力が必要である。 薄いラミナを使用するので加工歩留まりが悪い。(II)にくらべ集成材単独のコストは高くなる。	原則的に、通直材の製造は湾曲材より容易である。厚いラミナ、ミニフィンガージョイントの使用が可能であり(I)より加工歩留まりはよい。大量生産、ストックサイズの製造が可能であり将来のコストダウンの可能性あり。
建築形態(階数)	一層大空間構造物に適している。 (例) 体育館、教会、工場、倉庫、プールなど	1~4階建てで、比較的耐力壁を沢山とれる形態に適している。 (例) 事務所、商店、アパート、クラブハウスなど
問題点	1. 集成材単体のコストが高い。 2. 集成材の運搬に制約が多い。 3. 軒肩部がデッドスペースとなりがちである。	1. 耐力壁の構造、配置で設計の自由度が制約される場合がある。 2. 梁材は単純梁となるので積載荷重によるたわみの問題が大きい。 3. 天井、床が大きな水平力を受けるので、それに似合った性能を確保する必要がある。

通直集成材による単位骨組構法

湾曲集成材が果たしている役割を通直集成材で代替させる訳であるから、要は、通直集成材同士を適当な個所で接合して、湾曲材に匹敵する単位骨組を構成できればよい。

接合の方法としては、様々なものが考えられるが、これまでに提案されている代表的なものを以下に紹介する。

1. 鋼板ガセット釘打ち構法（仮称）

図3に示すように、柱と梁の接合部（軒肩部）あるいは、梁と梁の合掌頂部の両側面に鋼板ガセットをあてて、釘で留めつける構法である。

これまでの実大接合試験体での実験⁴⁾から、この接合は、釘穴で地震の衝撃エネルギーを吸収する一種のショックアブソーバー機能を有していることが知られており、耐震性能にすぐれ、現場接合が容易で、経済的な構法として、目下ニュージーランド（以下N.Z.と記す）で最も注目を集めている⁵⁾。

欠点としては、鋼板部分を耐火被覆する必要が生じる場合が多く、見栄えが悪くなるという点と、図3に示したように、集成材の自由縁に沿って釘をかなり密に打つ関係上、割れ易い材料には不向きである。N.Z.の主要樹種であるラジアタパインは釘を密に打っても割れの発生しにくい粘りのある材質を有しており、この独特の接合法が可能となった。

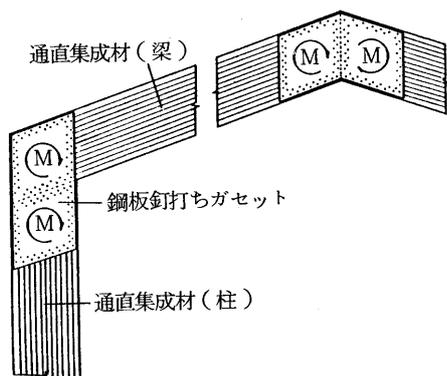


図3 鋼板ガセット釘打ち構法（仮称）

2. 交差重ね合わせ機械的接合構法（仮称）

図4に示すように、柱と梁の軒肩接合部において、通直集成材同士を直接重ね合わせ（一般的に、柱は梁材の半分の厚さの集成材を2枚使用する）、ジベル、金属ダボ、ボルト等の機械的接合法で接合する方法である。

現場で比較的簡単に組み立てられるという利点がある反面、接合部の剛性が低い場合が多く、余り大きな構造には不向きと考えられる。

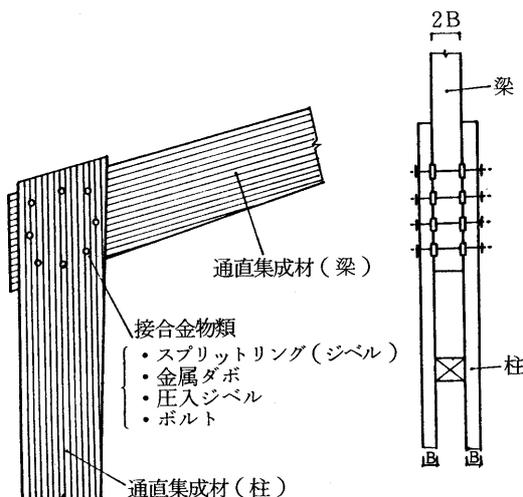


図4 交差重ね合わせ機械的接合構法（仮称）

3. 帯鋼釘打ち接合構法（仮称）

図3の接合構法が集成材の幅広の面（骨組の見付け面）に釘を打って、ねじりの形で外力に抵抗したのに対し、この構法では、図5、及び写真2に示すように、集成材の狭い面に帯鋼を釘着し、骨組のモーメントMを帯鋼に作用する隔力Tg（ $M = Tg$ 、T：帯鋼に働く張力、g：集成材材せい）の型で受けるタイプである。

利点は、集成材をひっくり返さなくても地上で接合部を容易に完成させることができること。また集成材の見付面に金物が現れないので、審美的な面で有利である等である。反面、釘打ち面積が限られているので大スパン構造には不向きである。

なお、釘のかわりに、通しボルト、シアプレートコネクター、ラグボルト等の利用も考えられる。

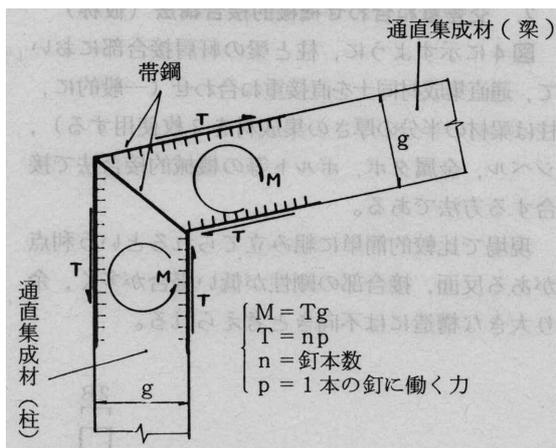


図5 帯鋼釘打ち構法 (仮称)

の方に取り入れることも時には必要であろう。

以下に紹介する実例はRC併用の必然性を抵抗なく納得させる好例である。

1. RC併用通直集成材軸組構造 (オドリズ本社棟, ベトナー, N.Z.)

写真3に示す4階建て6角形構造物である。集成材4階建てということで我が国でも注目されているが、その構造がまた巧みである。

図6はこの建物の2, 3階の床伏図をトレースしたもので、黒く塗った部分が鉄筋コンクリートの耐力壁 (せん断殻とも呼ばれている) である。この部分は、エレベーター、階段室、及び機械室のスペースであるが、建物の平面が6角形で本質的に水平力に対して有利な上に、エレベーター類

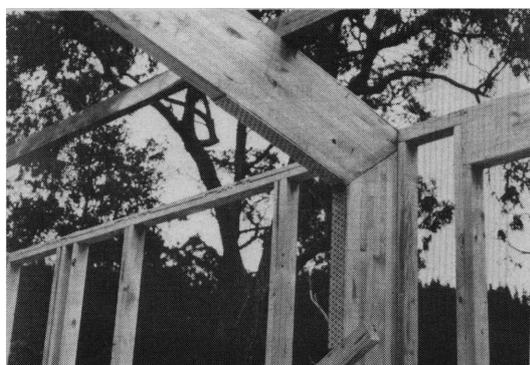


写真2 帯鋼釘打ち接合構法 (仮称)
(写真提供: FRI Photo Library N.Z.)



写真3 集成材4階建て構造物
(写真提供: 北大 宮島教授)

鉄筋コンクリート (RC) 併用による通直集成材構造

通直集成材を用いた集成材構法の中で、我が国の現状から推して、さしあたり普及し易いと考えられる型式は北米での実例が豊富な軸組構法であろう。しかし、建物の階数が多くなったり (3~4階)、あるいは、耐力壁間隔が広くなったりして、従来からの木質系耐力壁だけでは水平力を支えきれないという場合が容易に想像される。そのような場合、あくまでも「木」にこだわることなく、たとえばRC構造を一部併用することで、経済的で、構造的にも合理性の高い集成材建築が実現する。また、同様の考え方を単位骨組形式

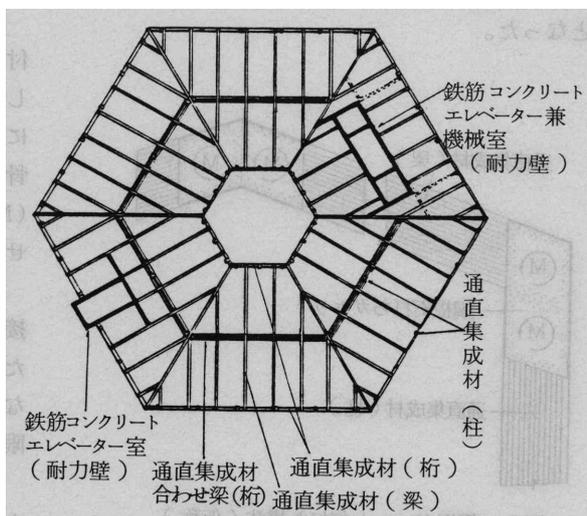


図6 オドリズ4階建て集成材構造建築物2, 3階床伏図

のスペースという納得のいく理由で、RCの耐力壁を併用している点が巧みである。

なお、この建物の構造設計担当の Smith氏は、このようなRCのせん断殻が先に出来ていると、この部分を固定点として、柱、桁、梁を順次固定しつつ作業を進められたので、施工が能率的であったと報告している⁶⁾。

2. RC併用テーパー付通直集成材単位骨組構造(林産試験場資料館)

写真4に示すこの建物はテーパー付通直集成材とRCの柱(腰壁はブロック造となっている)を併用した集成材構造建築物である。屋根梁と正面側の柱はテーパー付の通直集成材であるが、写真5に示すように、背面側の柱にRCが、また背面側の腰壁及び妻側の腰壁にブロックが併用されて

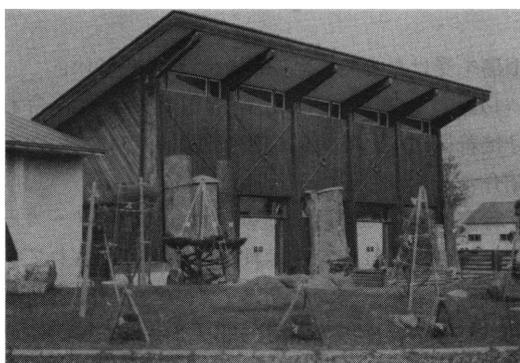


写真4 テーパー付通直集成材とRC併用による単位骨組タイプ構造(林産試験場 資料館)



写真5 写真4の建物の背面側(RCの柱とブロックの壁が見える。)

いる。集成材の昇り梁と柱とは単にヒンジ接合であるから、はり間方向に作用する水平力は妻側腰壁とRCの柱で負担されているはずである。また、屋根の雪がたまる背面側に非木質の構造材料を使用し、建物の耐久性を高める効果もあると考えられる。日頃、なにげなく見ている建物であるが、なかなかうまく考えられた集成材建築であると思う。

従来からの集成材構法の範ちゅうに入らない特殊な構法

1. 交差重ね合わせ接着構法(仮称)

図7に示す通り、この構法においては厚さ40mm程度の集成材原板を3~7枚互いに差し違えて重ね合わせ接着し、設計上要求される部材断面を確保すると同時に柱と梁の接合部をほぼ完全に剛とするものである。

この構法は世界的にも非常にユニークなものであるが、N.Z.では20年以上の実績があり、湾曲集成材構法と並んで、今や集成材構法における伝統構法の一つとしての地位を確保している。

交差重ね合わせ接着構法の長所としては次のような点が挙げられる。

基本原板(図7参照)の材料として、5cm正割程度のラミナが利用できるため、比較的径級の小さな原木からでも大スパン構造物用の単位骨

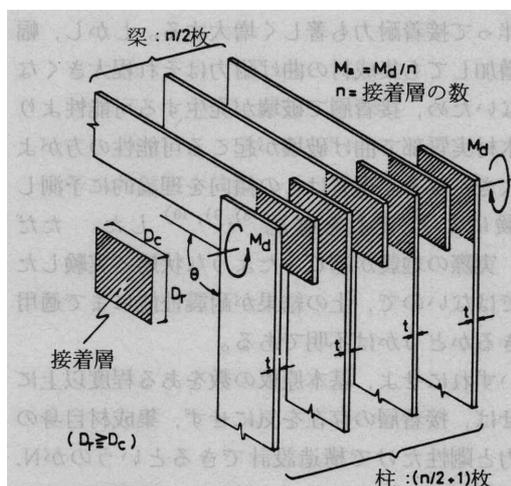


図7 交差重ね合わせ接着構法

組を造れる。

はね戻りを考える必要がないので、単位骨組の製造が技術的に簡単である。

N. Z. での実績では、湾曲集成材より製造コストは低い（しかし、通直集成材よりは高い）。基本原板の枚数を増加させることによって、接着層の数も増え接合は非常に剛となって単位骨組型式の構造に最適となる。

一方、問題点としては、以下の諸点が挙げられる。

工場生産が原則であり、完成品の輸送が困難な場合がある（湾曲集成材と同様）。

設計上要求される部材幅の倍近い幅となるので、完成した集成材がズングリした型となりがちである。

基本原板を再度接着するため、通直集成材より加工歩留まりが悪い。

とも関連するが、木材の使用量が多少多くなる。

また、研究者によっては、柱と梁の接合部が接着だけで構成されている点をとらえて、接合部の耐震性能を危惧する向きもある⁷⁾。

しかし、少なくとも筆者は、この危険の度合は湾曲集成材のそれと同程度ではないかと考えている。なぜならば、この構法の場合、基本原板の数を増加させて行くと接着面積が大きくなり、それに伴って接着耐力も著しく増大する。しかし、幅が増加しても集成材の曲げ耐力はそれ程大きくならないため、接着層で破壊が発生する可能性よりも木材実質部で曲げ破壊が起こる可能性の方がより大きくなる。筆者はこの傾向を理論的に予測し実験によってそれを確認^{8), 9), 10)}した。ただし、実際の地震が起こったような状態で実験した訳ではないので、上の結果が耐震性能にまで適用できるかどうかは不明である。

いずれにせよ、基本原板の数をある程度以上に増せば、接着層の存在を気にせず、集成材自身の耐力と剛性だけで構造設計できるというのがN. Z. の経験則のようである。現に、地震国N. Z. においてこの構法で建てられた建物が崩壊したり、

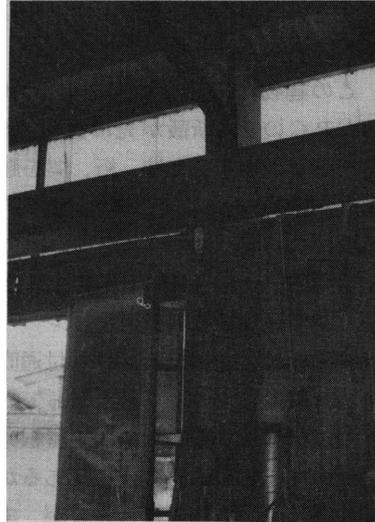


写真6 交差重ね合わせ接着構法による単位骨組（初期のもの）と走行クレーンのレール（集成材マッキントッシュ社集成材工場 N. Z.）

損傷を受けたという話を聞いたことがない。

以下に、著者がN. Z. で調査した交差重ね合わせ接着構法による集成材構造建築物のいくつかを紹介する。

写真6はこの構法を得意とする集成材メーカーのマッキントッシュ社本社工場棟に使用されている骨組を示す。この骨組は、この構法としては初期のもので、原板と原板の間にすき間が開いているのが分かる。このようにすき間が開いていると

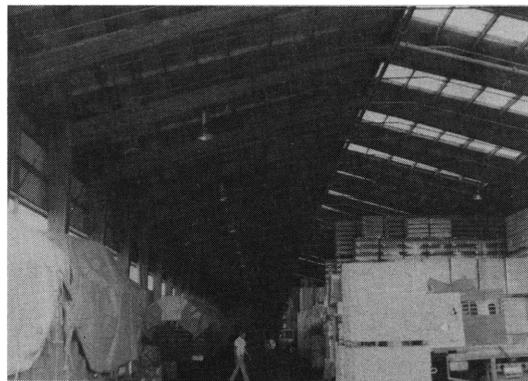


写真7 交差重ね合わせ接着構法で建てられた巨大な貨車引込用倉庫。建物お連山形ラーメンという型式である（アレックス・ハーベエイ・インダストリー社 N. Z.）

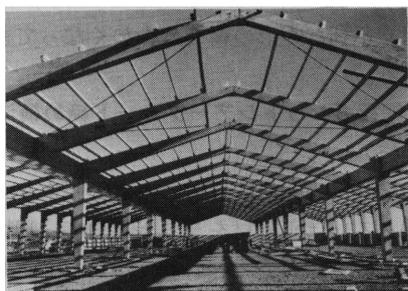


写真8 交差重ね合わせ接着構法による3連山形ラーメンのもう一つの例（建設中）。（アレックス・ハーベエイ・インダストリー社大倉庫 N.Z.）
（写真提供：FRI Photo Library N.Z.）



写真9 交差重ね合わせ接着構法による羊毛倉庫・建物は山形ラーメンが2棟並んだ型になっている。（ウールマーケットアソシエーションN.Z.）

耐火上好ましくないため、その後の構造ではこのすき間は飼木でふさがれている。

写真7はこの構法で建てられた構造物としては恐らくN.Z.最大（ということは世界一？）のもので、非木質建材メーカー大手のアレックス・ハーベエイ・インダストリー、通称AHIの貨車引込用大倉庫である。構造は3連山形ラーメンで面積は7000㎡を超えと言われており、我が国ではとても真似のできない超大型の集成材構造建築物である。

写真8はAHIのもう一つの大倉庫の建設中の写真で、写真7の建物と同じAHIの専属設計者が1977年に設計した3連山形ラーメンによる構造

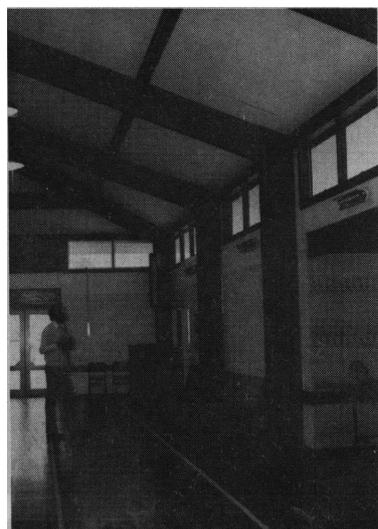


写真10 交差重ね合わせ接着構法による教会付属体育館（N.Z.）

物である。

中央の棟の柱は一本おきに省略され、その分の荷重は桁梁が受けもつ構造となっている。この建物の面積も約6000㎡と極めて大きい。

写真9は最近建てられたN.Z.羊毛市場組合の羊毛倉庫で、山形ラーメンが2つ並列に並んだ構造である。

写真10はケンブリッジという英国風の名前の小さな町に最近建てられた教会の附属体育館である。この構法の特徴として、軒肩部分のスペースが広く、体育館に最適の構造であることが分かる。

写真11はコミュニティーカレッジの木工教室に使用された交差重ね合わせ接着構法による単位骨組で、珍しく外部に露出して使用されているため、骨組全体がペイントで保護されたうえ、念のためボルトで締めてある。

写真12は小学校の移動可能教室の骨組に使用さ

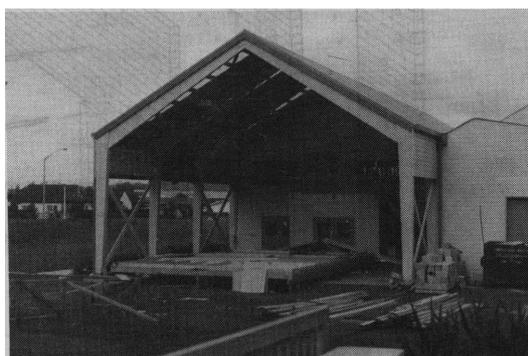


写真11 外部に露出して使用された交差重ね合わせ接着構法による単位骨組（コミュニティーカレッジ 木工棟 N.Z.）

れた例で、基本原板は集成材ではなく製材である。しかし完成した骨組全体としてみれば、垂直積層型の集成材となっている。

以上、交差重ね合わせ接着による単位骨組は、小さいものから、極めて大形のものまで、様々な種類が実在する。しかし、最近の傾向として、輸

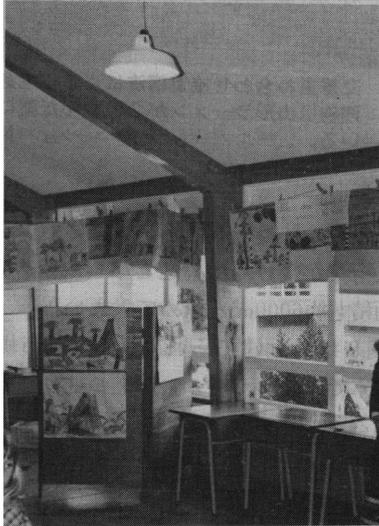


写真12 小学校の移動可能教室に使用された交差重ね合わせ接着構法による単位骨組（グレンホーム小学校 N.Z.）

送の面で不利な大形の構造は少なくなってきたようである。

2. 鋼板ガゼットシアプレート締め構法（仮称）

この構法は、比較的直径の小さな原木から採れる正割あるいは平割材をラミナとして、現場施工が効く単位骨組を造るという発想から誕生した。

構造は図8に示すように、柱と梁がそれぞれ3枚の集成原板から成り、柱と梁の接合部（軒肩部）に鋼板をそう入し、集成材にはシアプレートコネクタを埋め込み、ボルトで全体を締めつけるというものである。なお、接合部以外の部分は接着される。

写真13に最近筆者らが行った軒肩部実大接合試験体の耐力実験の様子を示す。試験の結果、この構法は非常に粘り強く、剛性も高く、強度の安全率も十分であることが確認された。これからの有望な構法の一つと考えられる。

むすび

集成材は、木材サイドが自信をもって推薦できる最も信頼のおける構造材料であると筆者は確信している。ただ、現状では、集成材に関する情報

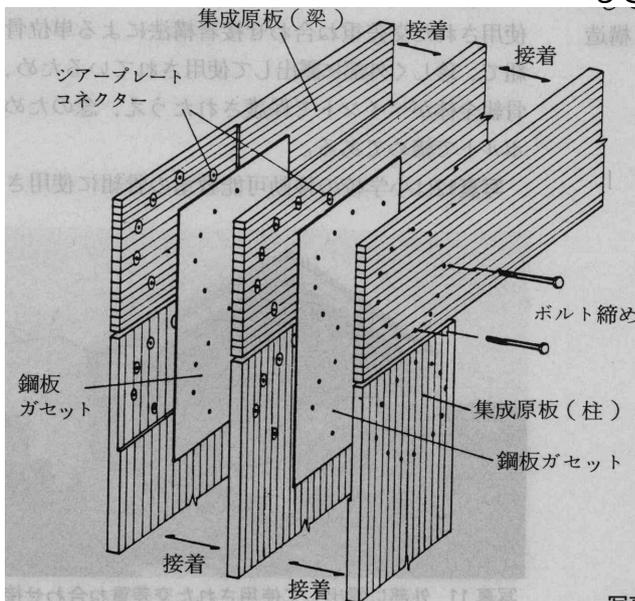


図8 鋼板ガゼットシアプレート締め構法（仮称）

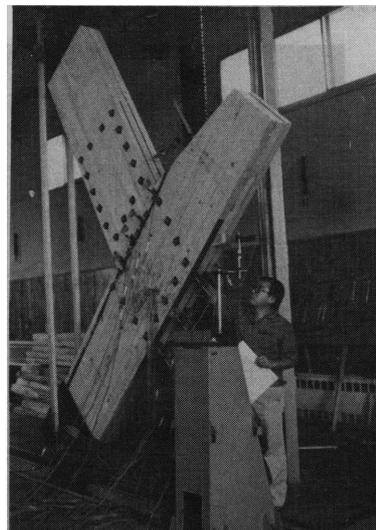


写真13 鋼板ガゼットシアプレート締め構法（仮称）による軒肩部実大接合試験体の耐力実験。写真において上側の部材が柱、下側の部材が梁となる。

が一般化されず、集成材構造建築に関するノウハウがメーカーにのみ蓄積されている感が強い。集成材構法が広く普及するためには、価格、断面寸法、性能等が一般に公表されることが必要である。数ある構造材料の中で、設計サイドが自由に積算できない材料は恐らく集成材ぐらいのものであろう。

本稿では、集成材構法の現状を、あえて、湾曲材と通直材という対比を軸としてとらえた。これについて、異論を唱える向きもあろう。集成材が真の構造材料として位置付けられるためには、一般の構造設計者が十分活用できる設計データが用意されなければならない。通直集成材はこのような標準化になじみ易い性格のものであり、かつコストダウンの可能性を秘めているものと思われる。

決して湾曲集成材を否定するものではないが、集成材の可能性としては、通直集成材の方により多くの期待がかかるのを否定することはできない。

強じんな耐力壁の開発、節度のある異種構造の併用、現場施工の効く、経済的で、強力な接合法の開発等が今後のポイントのように思われる。

参考にした文献

- (1) Forest Products Laboratory: "Wood handbook", U.S. Department of Agriculture, (1974).
- (2) Canadian Wood Council: "Canadian Wood Construction", Data files (1977).
- (3) 新井信吉: "構造用集成材を用いた広島県木材利用センター", 木材工業, Vol.36-10, p.30 (1981).
- (4) Bryant, A.H.; Gibson, J.A.; Mitchel, T.N.; Tharston, S.J.: "Nailed Moment Joints in timber Structures", Bulletin of the New Zealand National Society for

Earthquake Engineering, Vol.14, No 4 (1981).

- (5) Structural Engineered Timber Manufacturers Association (監修): "New Zealand Timber Construction Review". Akron Consolidated Ltd. (N.Z.), (First Edition).
- (6) Smith, P.C.: "Design Aspects of Od-lins Four Storey Timber Head Office Building", TRADA and SETMA seminar paper, Waikato University, N.Z., (1982).
- (7) Buchanan, A.: "Wood Properties and Seismic Design of Timber Structures", Proceedings of Pacific Timber Engineering Conference Vol. II, Timber Design Theory, p.462. Auckland University, (1984).
- (8) Komatsu, K.: "Application of Fracture Mechanics to the strength of Cross-Lapped Glued Timber Joints". FRI Bulletin No61, (1984).
- (9) Komatsu, K.: "Effect of Member Thickness and Number of Gluelines on the Strength and Design of Cross-Lapped Glued Timber Joints", FRI Bulletin No62, (1984).
- (10) Komatsu, K.: "The Design of Cross-Lapped Glued Joints for Glulam Portal Frames", Proceedings of Pacific Timber Engineering Conference Vol. II, Timber Design Theory, p.643, Auckland University, N.Z., (1984).

(林産試験場 複合材試験科)

