

総 説

建築構造へのセッコウ利用の試み*

—現状と今後の課題—

平 居 孝 之**

1 ま え が き

セッコウはエジプトや西南アジアで文化の栄えた紀元前数千年ごろ、すでに目地モルタルや内装に用いられていたという。

中世の宗教建築や城郭建築に仕上材料として利用されるようになったセッコウは、キリスト教の発展に伴いヨーロッパ各地で教会堂や大会堂の美しい装飾として人びとの目を引いた。

近世の繊巧で華美なロココ様式やダイナミックでドラマチックなバロック様式の建物では、セッコウはなくてはならない材料であった。にかわを混ぜた焼セッコウの白色下地にテンペラ画を表現するジュッソー、スタッコにセッコウプラスターを塗り表面を引っかけて装飾するスグラフィット、彩色したセッコウプラスターで大理石を模倣するスカリオアラなどが用いられた。

当時のヨーロッパの都市は、3～4階の木造建築が狭い街路の両側に密集して建てられていたため、都市火災が隣接する交戦国にもまして地域社会の大敵であった。1666年のロンドンの大火災に見られるように、火災による被害は膨大で何年もの間その都市の経済は疲弊した。このためロンドンの大火災後の復興計画では、街路の幅員を広くすることのほか、有名な木造厳禁の制が定められた。これを契機としてヨーロッパの都市の建物がれんが、かわら、石などの不燃材料で構築されるようになり、ヨーロッパでは天然資源の豊富なセッコウが仕上げ材料として一般の建築物にも広く利用されるようになった。

わが国では天然セッコウが少ないため、建築におけるセッコウ利用の歴史は浅い。進駐軍の宿舎の工事でセッコウが内装に使われたことと、化学工業の副製品としてセッコウが出はじめたことから、一般の建築物にセッコ

ウが使われるようになった。現在ではセメント製造に使われるほか、セッコウボードとセッコウプラスターがおもな用途である。最近では環境保全のため亜硫酸ガスを石灰で回収したときに出てくる排煙脱硫セッコウの量が多いので、これを有効利用する目的でセッコウ建材の開発が試みられている。

2 建築構造のセッコウ利用の視点

建築構造に使われた材料をとらえるのに種々の見方がある。セッコウは仕上げ材料として利用されるほか、構造耐力上主要でない部分ではその部分を構成する材料の一つとして使われ、また防火構造と耐火構造を構成するための基材として用いられている。建築構造のセッコウ利用については、構造耐力上主要な部分とそうでない部分、防火構造と耐火構造、の二つの視点が重要である。

2・1 構造耐力上主要な部分とそうでない部分

基礎、基礎ぐい、壁、柱、小屋組、筋かい、はり、床版、屋根かわらのうち、建築物にかかる自重や積載荷重、また風や地震による荷重などをささえる部分が、構造耐力上主要な部分であり、これ以外のたとえば非耐力壁の外壁、間仕切壁、非耐力壁の界壁などが、構造耐力上主要でない部分である。

構造耐力上主要でない部分に使われたセッコウの例は多数あり、実績も多い。一方、構造耐力上主要な部分の構造材料として使われたセッコウは多くない。とくに、柱や耐力壁のように自重以外の圧縮荷重を負担するような使われ方は、試験的な場合を除いて過去に実際の建築例を見ない。

2・2 防火構造と耐火構造

防火構造は、隣接建物の火災のために類焼することを防止することを目的とした構造である。耐火構造は、隣接建物の火災のために類焼せず、かつ建物内部から出火した場合も火災の拡大をくい止め、消火後補修により再使用できることを目的とした構造である。防火構造と耐火構造は、実際の構造部分と同じように作られた試験体が、火災を想定した条件で試験され¹⁾、つぎのような性

* Development of Gypsum Materials to Building Construction

—Present Status and Future Problems—

** Takayuki HIRAI

(大分大学工学部助教授 工学博士)

能があることを調べて指定される。

防火構造：加熱による有害な変形，破壊，脱落がない

- 裏面が発炎しない
- 裏面に達する着火がない
- 裏面温度が260°Cをこえない
- 下地骨組が強度を保つ
- 加熱終了後，火気が残存しない

耐火構造：耐火構造の強度におよぼす有害な変形，破壊，脱落がない

- 火炎を通すひび割れが入らない
- 裏面温度が260°Cをこえない
- 鋼材の温度が許容値（500°C前後で指定）以下である
- 加熱終了後，すみやかに火炎が消える

建物の防火上重要な部位を防火構造または耐火構造とすることは，たとえばつぎのように建築基準法と同施行令で義務づけられている。木造建築物の延焼のおそれのある外壁や軒裏，共同住宅の各戸間の界壁，学校や病院の防火上主要な間仕切壁などは，防火構造としなければならない。劇場，病院，ホテル，学校，百貨店，危険物貯蔵庫など，多数の人間が集まる建物や火災の危険性の大きい建物では，主要構造部を耐火構造とした耐火建築物にしなければならない。主要構造部とは，壁，柱，はり，床，屋根，階段のうち，火災に対して重要な意味をもつ構造部分であり，一定の面積ごとに防火区画するための壁や床等を含んだもので，前述の構造耐力上主要な部分とはいくらか異なる。

3 セッコウを用いた建築構造

3-1 間仕切壁

図1は，下地骨組に下地板を取りつけ，セッコウボードまたはプラスターを表面材に使った構成の間仕切壁で，2時間耐火または1時間耐火の性能があると指定された構造²⁾である。断熱性と遮音性を向上する場合は，グラスウールあるいはロックウールを中間層に入れる。図2は65mm×600mm×3000mmの寸法で比重が0.65の気泡セッコウの単板を，床版上面と上階床版下面に固定したチャンネルにはめ込んで構成された，下地骨組を必要としない耐火構造の間仕切壁²⁾である。単板の表面はボード用原紙で補強されている。単板の寸法や間仕切壁の構成はこれ以外に種々のものがある。国内の高層建築物の間仕切壁に施工実績がある。

図3は，間仕切壁に使用されているセッコウを用いたパネル³⁾である。このような大型の製品のほか，10cm×30cm×60cm前後の寸法のセッコウブロックを積み

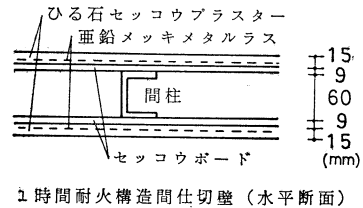
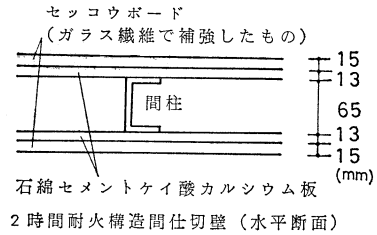


図 1

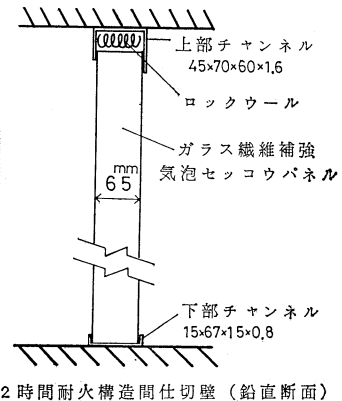


図 2

上げる間仕切壁や，金網にセッコウプラスターを塗りつけて10cmほどの厚さにした間仕切壁が，米国，英国，西ドイツ，ソ連で利用されている^{4,5,6)}。

3-2 外壁

内壁および外壁のいずれにおいても，耐力壁の構造材料としてセッコウを使用した例は，試験的な利用を除いてない。外壁のうち非耐力壁で，表面材を除いた外装の下地材や内装材としてセッコウが使われる。

軽量鉄骨の間柱に12mmのセッコウボードと石綿スレートや着色亜鉛鉄板を積層して取りつけた非耐力壁の外壁が，耐火構造の指定を受けている²⁾。また30mm前後の厚さの軽量のセッコウ板にアルミニウム板や着色亜鉛鉄板を接着したパネルを用いた外壁が，耐火構造の指

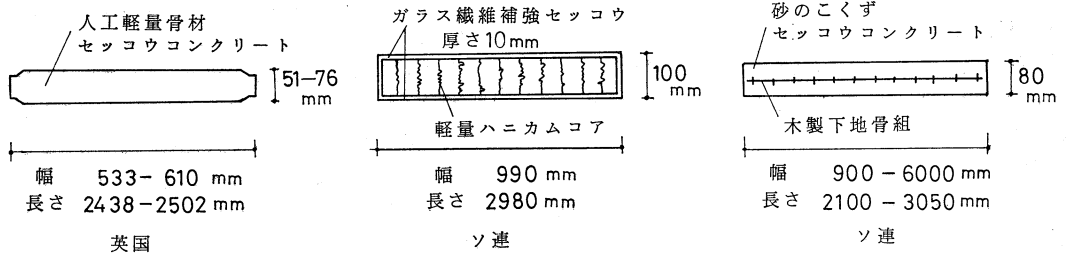


図 3 間仕切壁用パネル

定を受けている²⁾。

図4は下地骨組に金属サイディングを取りつけて構成された外壁である。コストが安く工事が簡単であるため住宅や小規模事務所によく使われている。図4のように金属サイディングだけで構成された外壁は、中空部に断熱のためセッコウボードを切断して入れているが、接合部の断熱性が不足するため防火構造に認定されないことが欠点である。防火構造に指定されているのは、下地骨組にセッコウボードを張って、その上にこの金属サイディングを取りつけた外壁である²⁾。

3.3 床, 屋根

パネルを支持するスパンを短くするため多数の横架材を設けた骨組に、セッコウのパネルをのせて構成された床や屋根がある。わが国では、試験的に施工されたことはあるが、まだ実用的な段階になっていない。図5はアメリカ^{3,7)}とイギリス⁸⁾で使われているセッコウの床用パネルの例である。

アメリカで現場打ちセッコウコンクリートの屋根が利用されている。図6のように屋根骨組のトラスまたは母屋に13mm厚のセッコウボードを敷き、防錆処理をしたワイヤーマッシュを置いて補強材とし、5~9cmの厚さにセッコウコンクリートを打設する。セッコウコンクリートは骨材に木片や軽量骨材を用いたものであり、圧縮強度が35 kg/cm²と70 kg/cm²の2種類がある。下に敷くセッコウボードは屋根を成形するときに必要なものであり、セッコウコンクリートが硬化した後は天井材

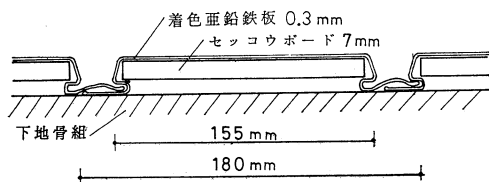


図 4 金属サイディング

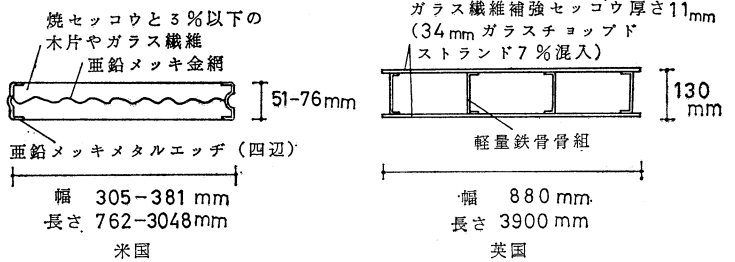


図 5 セッコウの床用パネル

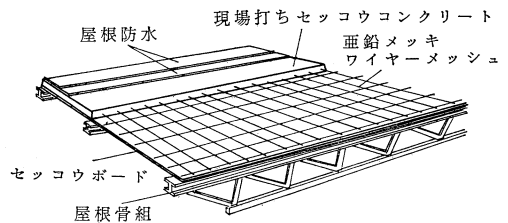


図 6 セッコウコンクリート屋根

になる。セッコウの硬化が速いので短時間で成形できる軽量の防火屋根構法として使われる。セッコウコンクリートの厚さが5.1cmで1時間耐火、6.4cmで2時間

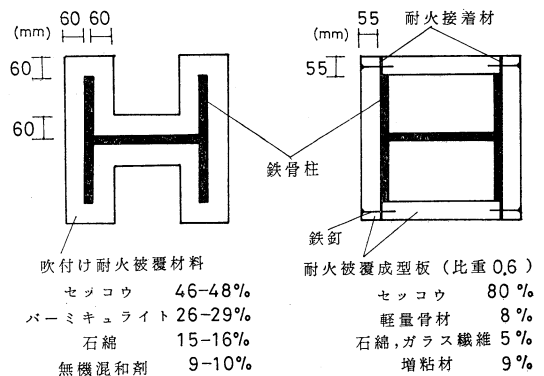


図 7 3時間耐火構造の鉄骨柱

耐火の性能がある^{6,8)}。

3・4 耐火被覆

鋼材は温度が上昇するにつれて強度と弾性係数が低下する。火災時の 1000°C をこえるような高温に近づくと、鋼材を使った構造骨組は安全でなくなる。このため耐火建築物にするためには、構造耐力上主要な部分に使われた鋼材を耐火被覆しなければならない。図7は鋼構造骨組の柱の3時間耐火構造の例⁹⁾である。セッコウは鋼構造骨組の耐火被覆材料として重要な役割をになっている。

4 今後の課題

4・1 耐火構造

建築物が大規模になり高層化するにつれ、耐火構造の必要性がますます増大しており、また内装材料に燃えにくいものを使用しなければならなくなっている。火災に対して人間が安全に避難できることは、建築の性能として不可欠のものであり、法令で設計基準が定められている。

セッコウは火災に抵抗するための材料として他に類を見ないほどすぐれた性質を有していることは周知のことである。しかし、セッコウボードはボード用原紙が使われているため、一般に利用されている種類のセッコウボードは、建築材料の燃焼特性の級別で準不燃材料に指定されており⁹⁾、石綿スレートなどの不燃材料より劣る。建築の内装制限では、不燃材料と準不燃材料を使用することが許され、大部分の難燃材料と可燃材料は使用することが許されていない。したがってセッコウボードは内装制限を充たす材料として使うことができるわけであるが、可燃性であるボード用原紙を使ったセッコウボードの利用方法を拡大していくのではなく、より積極的に火災を防ぐという立場から、不燃性の材料と組み合わせてボード類の開発をすることが必要である。

セッコウは比較的低温から吸熱反応を起こして結晶水を放出し、放出された水分が気化熱を奪うので、火災のさい消火材としての作用をする。このため出火初期に火勢が強くなるのを抑えるのに効果があると考えられる。しかし火災が成長した後の火災最盛期は、火勢が強く多量の火災熱が生じるので、セッコウの消火材としての性質がどの程度働くかは疑問である。

鋼構造骨組の耐火被覆に使われたセッコウの場合は、構造耐力を負担している骨組を火災熱から保護し、構造強度を保つように断熱被覆をする役目がある。防火区画のための耐火構造に使われたセッコウの場合は、安全避難と消火のために必要な断熱性を持ち、かつ火災を遮断

する役目がある。このように耐火構造では、断熱性と火災の遮断性が重要な意味をもつ。セッコウの断熱性を向上するためには、熱伝導率のきわめて小さい空気を独立した微細な気泡として封入する方法がいちじるしい効果を発揮する。またセッコウが火災熱を受けるとひび割れや破損を生じるので、火災の遮断性を保つためにガラス繊維などを混入して全体をつなぎとめるような補強をすることが必要である。

建築物の生産は工業化の方向にあり、熟練工を必要とする工事を少なくし、現場での工事の期間を短縮して生産性を上げることが重要である。現場で水を使うため材料の乾燥に必要な期間を工程に含む湿式の施工方法より、工期の短縮に適した乾式の施工方法を採用することが多い。このため、セッコウを使った新建材の開発も、工場で成形されたプレキャストの製品が多数を占める。一方、セッコウは混水後の硬化と強度発現が速いので、耐火被覆材料の吹きつけやセルフベリングの床仕上げなど、湿式のすぐれた現場施工方法もある。

耐火性、断熱性、遮音性などは、部材の厚さが大きいほど向上するが、プレキャストの製品で単位になる重量について配慮が必要である。重量が大きくなりすぎると、製品の運搬が施工上の障害になる。防火区画の役目をする耐火構造の間仕切壁を例にすると、床版の上面から上階床版の下面までの高さがあり、1人または2人で運搬できるプレキャストのパネルで構成されるような材料と工法がすぐれている。

4・2 セッコウコンクリート

建築構造におけるセッコウの新しい利用方法のうちでは、水和硬化して高強度の硬化体になるセッコウを使って、普通ポルトランドセメントのように構造耐力上主要な部分に使えるセッコウコンクリートとして利用する試みが注目される。

セメントに骨材を入れてコンクリートにして利用するのは、セメントより安価な骨材を入れて増量するためもあるが、型枠に打設するときに必要な施工性を得ることが大きな理由である。セメントと水だけを練ったものは乾燥収縮が大きいいため構造物に使うことができない。セッコウの場合はセメントと異なり乾燥収縮が小さいので、骨材を入れなくても利用できる。しかし骨材が入ってないと、温度ショックや衝撃が加ったときに集中して大きなひび割れが生じる。したがって、下地材の上に吹つけたり塗りつけたりして利用する場合以外は、骨材や繊維を入れて補強することが必要である。また軟練りセッコウペーストは自重によって水平に広がることを利用

して平滑な床面を施工するセルフレベリングの床材など特殊な場合を除いて、骨材を入れると現場あるいは工場です定の形に成形するときの施工性が向上する。

低層で小規模の建築物は、 150 kgf/cm^2 程度の圧縮強度をもつコンクリートを使い、鉄筋で補強して構造耐力上主要な部分を作ることができる。この程度の圧縮強度をもつセッコウコンクリートを作ること、現在の技術で十分可能である。セッコウコンクリートと鉄筋の付着、鋼とセッコウコンクリートのヤング係数の比、クリープ(時間の経過とともに変形が増大していく性質)、まだ固まらないセッコウコンクリートの凝結時間と流動性などの構造計算上と施工上の問題は、すでに見通しが立っている。鉄筋セッコウコンクリートの場合は耐久性という点に関し、耐水性がないことと、ほぼ中性であるため鉄筋の防錆能力がないことが問題になる。これらの問題点について、防水雨仕舞を適切に行い亜鉛メッキした鉄筋を用いることで対処すれば、一般的な木造建築物の耐用年数を十分満足するセッコウコンクリートの建物ができる。

セッコウコンクリートの用途として工業化された生産方式のユニット部材が考えられる。とくに、耐火被覆された鋼構造の高層建築の骨組に、カーテンウォールと屋根根防水で雨水を遮断する層を設け、補強されたセッコウコンクリートで作られた1住戸単位のユニットをはめ込んで集合住宅を建設する工法は、工業化工法による集合住宅の技術に関するコンペで入賞した実績もあり、有望な方法である。

鉄筋の替りにアルミニウム合金または連続ガラス繊維でセッコウコンクリートを補強する方法は、今すぐには実用化できなくとも将来性がある。ガラス繊維は中性のセッコウに適した補強材料であり、耐アルカリ性のない値段の安いガラス繊維を使うことができる。短繊維であるガラスチョップドストランドを使った製品が多数でいるが、連続ガラス繊維を使うともっとも効率よく補強できる。図8は連続ガラス繊維補強の有効性を確かめるために筆者が行ったセッコウパネルの試作試験結果である¹⁰⁾。連続ガラス繊維で補強するとき適切な成形方法を用いると、同じ厚さの合板に匹敵する強度とじん性をもつセッコウパネルが作れる。この場合、ガラス繊維とセッコウの付着を高め、かつガラス繊維を断面の所定の位置へ配向することがポイントになる。またガラス繊維がぜい性であるため、ガラス繊維が急激に破断することを避けないと、ねばりのない構造になる。

セッコウに高炉スラグやポルトランドセメントなどを組み合わせて新型のセメントを作ることが研究されており、高硫酸塩スラグセメント、改良高炉セメント、膨脹

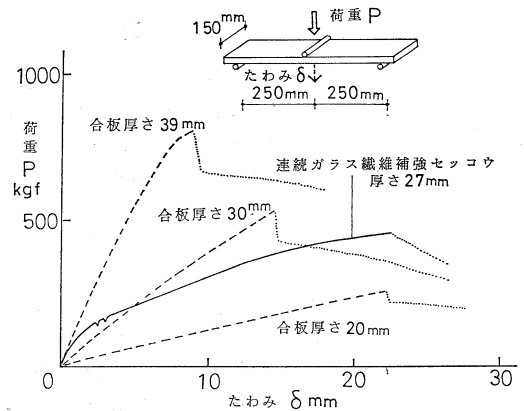


図 8

セメント、速硬性セメントなどが開発されている。セッコウに水硬性セメント類を併用して、耐水性や鉄筋の防錆能力などを向上する方法も試みられている。セッコウの吸水性が強く、水に少量溶け、また強アルカリ性でないということは、構造材料として望ましい性質とはいえないが、これらの性質はセッコウの乾燥収縮が小さく、ふん囲気中の湿気を調節し、人体に対して安全無害であるなどの長所になっており、セッコウコンクリートとして使うことを考える場合も、セッコウの長所を生かした使い方が望ましい。

文 献

- 1) JIS A 1301, A 1302, A 1304, (1975).
- 2) 建築基準法施行令第107条に基づく耐火構造と第108条に基づく防火構造, 耐火防火構造・材料等便覧, 日本建築センター新日本法規出版.
- 3) 村上恵一監修, “新しい資源セッコウとその利用”, ソフトサイエンス社, (1976).
- 4) 白山和久, 田村嘉章, “ソビエトの新建材”, 山海堂, (1964).
- 5) Bauen mit Gips, Bunderverband der Gips und gipsbauplattenindustrie eV, (1972).
- 6) Construction, United States Savings and Loan League (1962).
- 7) ASTM C 377.
- 8) ASTM C 317.
- 9) 建築基準法施行令第1条第5号に基づく昭和51年建設省告示1231号.
- 10) 岸谷孝一, 平居孝之, 石膏と石灰, No. 173, 21, (1981), No. 174, 8, (1981).

(1984. 5. 30 受付)