

モンブラン山頂に建てられた全アルミの山小屋

## 軽金属建築構造

坪井 善勝 (建築)

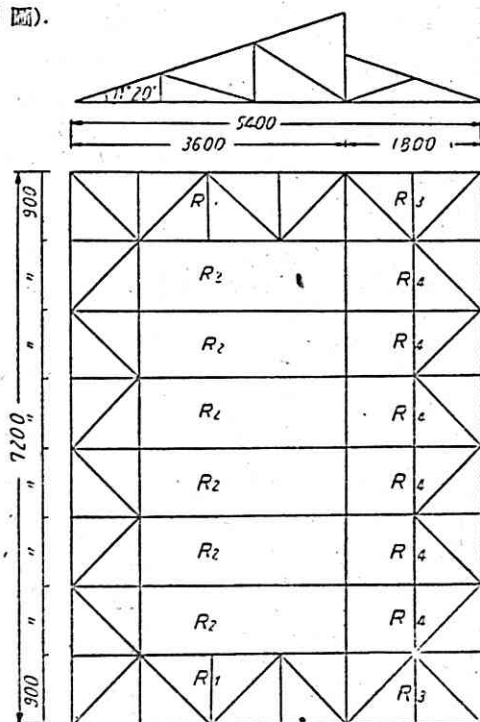
### I は し が き

鋼が建築材料特に構造材料として活用されてから既に150年以上の年月を経ており、所謂金属構造とか金属家屋とかいう言葉は欧米におけること10数年間とくに終戦後目立つて行われる骨組も外装も建物の大部分が金属を以て構成された建築を指している。鋼以上の比強度をもつアルミニウムその他の軽合金材料を建築物に活用した例は古くは Empire State Bldg. の上階に見られるところであるが、戦後とくに英国における新建築構造の著しい傾向と見受けられる。しかし建築構造法は構造物の規模(使用目的を含む)と構造材料との相関性を基盤として成立つものであるから同じ軽合金を構造材料として使用する場合には高層建築や大スパン構造と、小住宅とでは構造法に著しい開きを生じるのは当然である。とくに部材の断面、鉄、ボルト、ビス等の大きさ及び種類の選択は、与えられた構造制限の内のみにてのみ行われるのである。そこで本稿はまず小規模の鋼構造建築において従来の構造常識から離れた断面の採用を行い、次にこの種構造の規模の限界を推定し、更に諸外国の例を参照して軽合金建築構造計画に関する諸問題を論じた。

### II 金属構造計画 (例1)

従来建築構造に用いられている鋼材断面は、臨 JES 289G により、鉄径は 16~22mm 程度が多い。星野案平家組立家屋(本特集誌参照)は大部分が薄鋼板の設計で行われていて壁面も多く木造家屋としても耐震風計画が容易にできる平面である。従つてこれを鋼構造で行う場合工場其他大スパン構造に用いる通常の型鋼断面や鉄径では過剰耐力をもつことになるので柱、間柱、梁、屋根トラスにおける断面は主として 1.2~2.0mm 鋼板の

板曲げ加工による L 又は I 型で、鉄径は 3.5mm を用いて計算した。この結果は次に示す通りである。(第1, 2 図)。

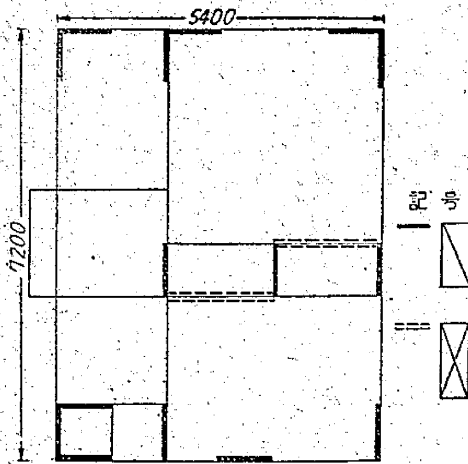


第1図 小屋組及小屋伏図

#### § 2.1 一般事項

##### (a) 構造計画及び構造計算の方針

柱と小屋組との接合は計算上ピン・ジョイントとし、柱は鉛直荷重のみに耐えるものとして、又水平荷重(風力による)は水平トラスによつて壁面に傳へ耐風筋違によつて支える様に計画した。現在の段階では仕上材は一應計算外として無視し全部骨組で受けることとした。尚



第2図 平面図 (耐風壁配置を示す)

壓縮材の歪屈検定に対しては偏心による曲げモーメントも考慮した。

## (b) 材料の許容耐力度

材料	長期荷重に対する値(t/cm <sup>2</sup> )					短期荷重に対する値
	圧縮	引張	曲げ	剪断	側圧	
鋼材	1.6	1.6	1.6	0.8	3.0	長期荷重に対する値の1.5倍
鉄鋼	—	1.6	—	1.2	—	

## (c) 假定外力

雪荷重	積雪量 30cm, $2\text{kg/m}^2 \times 30 = 60\text{kg/m}^2$
風圧力	速度圧 $120\text{kg/m}^2$ 閉塞形構造物の算式による
地震力	震度 0.2

## (d) 材量の重量

種	類	重 量 (kg/m <sup>2</sup> )
木	毛 板 張	15.0
アルミ合金	3S 成型板	1.7
小	屋 パ ネ ル	4.0
母	屋	1.3
野	縁	3.5
閉	縁	3.5
天 井	木 毛 板	5.5

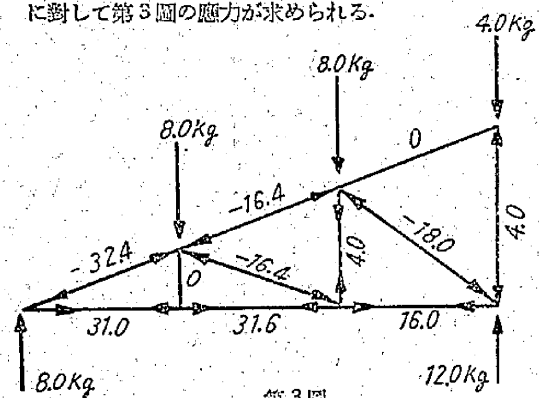
## § 2.2 小屋組

## (a) 應力計算

固定荷重 (長期):

アルミ合成 3S 成型板	1.7 kg/m <sup>2</sup>	7.0 kg/m <sup>2</sup>
小 屋 組	4.0 kg/m <sup>2</sup>	
母 屋	1.3 kg/m <sup>2</sup>	

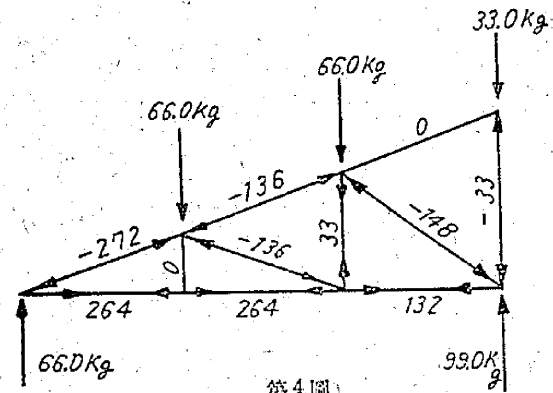
野 縁  $3.5\text{kg/m}^2$   
天井 テックス  $5.5\text{kg/m}^2$  }  $9.0\text{kg/m}^2$   
に対して第3圖の應力が求められる。



第3圖

雪荷重 (短期):

積雪量 30cm, 勾配 (11°20') による軽減を行わずに  $2\text{kg/m}^2 \times 30 = 60\text{kg/m}^2$  を雪荷重にとると第4圖の應力が求まる。



第4圖

風荷重 (短期):

風圧力は風速度と風力係数に基づいて計算する。

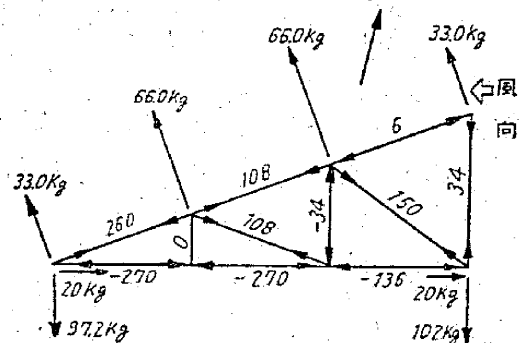
$$P = c \cdot q \quad \text{茲に } P: \text{風圧力度 } \text{kg/m}^2$$

$c$ : 風力係数 (閉塞形構造物として求めた)

$q$ : 速度圧 ( $q = 120\text{kg/m}^2$ )

$$\text{屋根面 } P = 120\text{kg/m}^2 \times 0.5 = 60\text{kg/m}^2$$

に対して第5圖を得る。



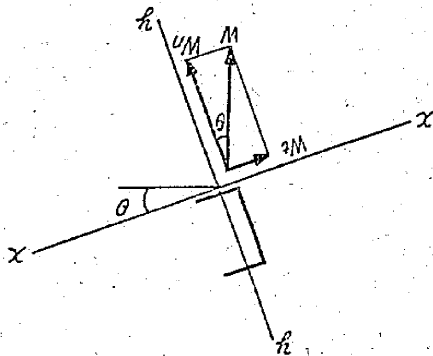
第5圖

## 合掌の曲げモーメント

$l=1.23\text{ m}$ ,  $w=60\text{ kg/m}$  (雪, 屋根板, 母屋自重).  
 に對し  $M=\frac{1}{12}wl^2=7.5\text{ kgm}$  をとれば充分母屋の曲  
 げモーメント (第6圖)

$l=0.9\text{ m}$ ,  $w=38\text{ kg/m}$ ,  $w_t=w\sin\theta=4.4\text{ kg/m}$ ,  
 $w_n=w\cos\theta=37.5\text{ kg/m}$   
 に對し

$$M_x=\frac{w_n l^2}{8}=3.5\text{ kgm}, \quad M_y=\frac{w_t l^2}{8}=0.45\text{ kgm}$$

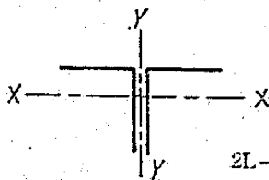


第6圖

陸梁に生ずる曲げモーメント:

$l=1.2\text{ m}$ ,  $w=10.6\text{ t/m}$  に對し  $M=\frac{wl^2}{8}=1.88\text{ kgm}$

## (b) 断面計算



第7圖

2L-50×30×2 mm  
 $A=3.10\text{ cm}^2$

## 合掌

X-X:

$N=-304.4\text{ kg}$ ,  $M=750\text{ kgcm}$   
 $J=9.2\text{ cm}^4$ ,  $Z=2.7\text{ cm}^3$   
 $i=1.72\text{ cm}$

$$\lambda=\frac{123}{1.72}=72, \quad \omega=1.26$$

$$\sigma_x=\frac{\omega N}{A}+\frac{M}{Z}=124+280$$

$$=404\text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma=404\text{ kg/cm}^2 < 2400\text{ kg/cm}^2$$

以下同様にして

Y-Y:

$N=-304.4\text{ kg}$   
 $J=3.97\text{ cm}^4$   
 $i=1.13\text{ cm}$

$$\lambda=\frac{123}{1.13}=109,$$

$$\omega=1.93$$

$$\sigma_y=\frac{\omega N}{A}=194\text{ kg/cm}^2$$

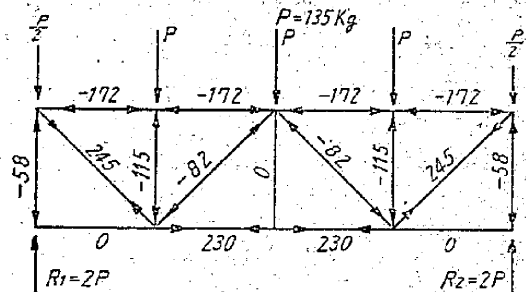
以上の通り各材とも相當の餘力があるから壁面挫屈に對しては充分餘裕のあることが確められた。

## § 2.3 水平トラスの應力計算:

## (a) 應力計算

風壓力: 水平トラスの應力は柱上部に壁體上部( $\frac{H}{2}$ )の風壓力が作用するものとして計算する。小屋パネルよりかかる水平力は方向が反對であり, 且安全側にあるので無視する。

$$P=96 \times 0.9 \times 1.33=115\text{ kg} \quad (\text{第8圖})$$



第8圖

設計應力: 梁材應力  $N_{梁}=-172(230)\text{ kg}$ ,水平筋違  $N_{筋違}=245\text{ kg}$ 垂直材 (陸梁)  $N_{垂}=-115\text{ kg}$ 

地震力: 風壓力の場合よりも節點に加はる荷重が小さいから O.K.

## b) 断面計算

垂直材 (陸梁):

小屋パネルの陸梁として充分餘裕をもち應力

-115kg (圧縮) を加算しても問題にならない。

梁材及水平筋違:

L-25×25×2 を用いれば,  $N=-172, +245\text{ kg}$ 

及び偏心距離 0.74 cm

を考慮しても  $\sigma=820\text{ kg/cm}^2$ 

## § 2.4 接合鉄

短期: 鉄径  $d=3.5\text{ mm}$  に對し單剪  $R_s=173\text{ kg}$ 複剪  $R_s=346\text{ kg}$ 

## § 2.5 小屋組及水平トラスの鉄釘

2 本で充分

## § 2.6 柱

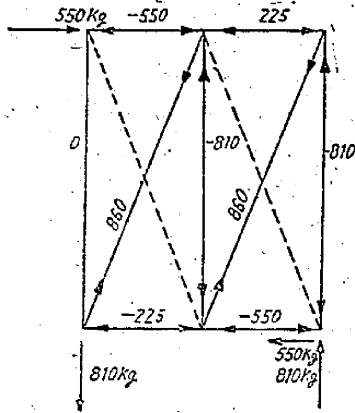
柱 2L-60×30×2 は,

最大應力 (短期)  $N=-98.5\text{ kg}$ に對し  $\sigma=34\text{ kg/cm}^2$ , 接合鉄 3 本

## § 2.7 耐風構の應力, 断面及び接合部

水平力に對し  $P=(96 \times 0.9 \times 1.33) \times 4=550\text{ kg}$  に

對し筋違は引張のみに耐えるとすれば應力圖は第9圖の如くなる。



第9図

## (a) 柱

設計応力:  $N=810+13$  (常時直圧)  $=823$  kg (圧縮)

断面:  $2[-60 \times 30 \times 2]$

応力度:  $\sigma=1420$  kg/cm<sup>2</sup> < 2400 kg/cm<sup>2</sup> 更に間

柱, 剛差等が入り一層安全.

## (b) 筋 違

応力  $N=860$  kg (引張)  $PL-30 \times 2$  により

$\sigma=1433$  kg/cm<sup>2</sup>

## (c) 樑

$[-64 \times 32 \times 2]$  を用いて風壓による曲げ(x 軸),

偏心(y 軸)を考慮しても

$\sigma=450$  kg/cm<sup>2</sup>

## (d) 接合部

接合鉄 (3.5mmφ) 数: 柱 6 本, 筋違 5 本, 樑 4

本締付ボルト: 1-9mmφ 1 本,  $\sigma=1280$  kg/cm<sup>2</sup>

## § 2.8 床

床自重: タタミ敷(根太, 床板を含む)

35 kg/m<sup>2</sup>

梁自重

5

積載荷重

180

} 220 kg/m<sup>2</sup>

大引断面:  $2[-50 \times 25 \times 2]$  を用いれば

$\sigma=1360$  kg/cm<sup>2</sup> < 1600 kg/cm<sup>2</sup>

## § 2.9 基礎

基礎の浮上りは連続基礎として 270 kg, これをブロック基礎 (コンクリート)

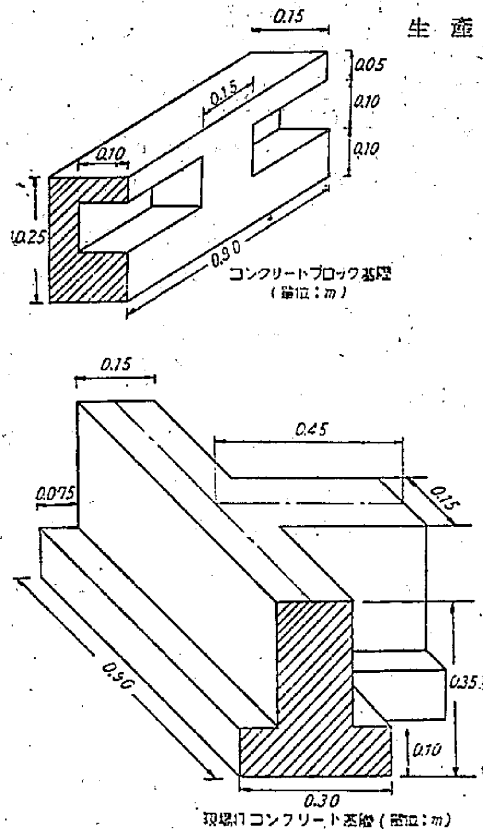
$W'=60.4$  kg 現場打基礎  $W''=183$  kg, によつて

$W=3W' \div W''=364$  kg の重量を與える. (第 10 圖)

以上により本構造は剛性の低下はまだまだゆるされるから断面は更に小さくし得る見透しである.

## III 金屋構造計畫 (例 2)

本構造は倉庫建築で屋根及壁面はアルミ波板を使用している. スパン 10m とおなれば従来の断面及び鉄徑が使われるのであるが, ここでは前節鋼板 2mm, 鉄



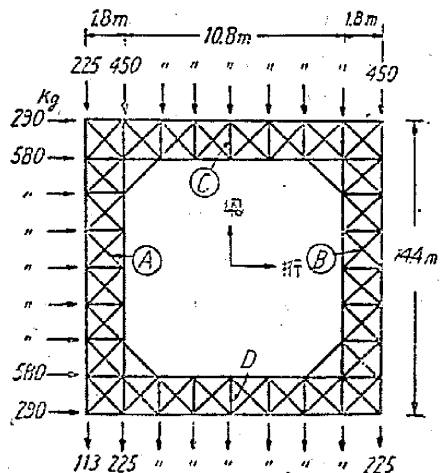
第 10 圖

3.5mm を用いて設計して見た結果は下の通りの断面が得られ構造計畫が自由であつたからどうやら無理をせずに設計し得た. 但し建物の剛性は検討されていない. 応力及断面算定の概要を示せば次の通りである.

## § 3.1 一般事項

§ 2.1 に略同じであるが最大積雪 20cm として雪荷重は 40 kg/m<sup>2</sup> をとる.

平面は第 11 圖に示す通り 14.4m × 14.4m, 軒高 3.6m これを単位として右方に連続することを豫定した組立平家倉庫である.



第 11 圖



AD 材：水平トラスの弦材として設計すれば充分。

BE 材： $< 2400 \text{ kg/cm}^2$ ,  $N = -900 \text{ kg}$ ,  $[-70 \times 35 \times 2]$ ,  
 $\sigma = \frac{N}{A} = 2200 \text{ kg/cm}^2$

斜 材： $N = 1280 \text{ kg}$ ,  $PL-60 \times 12$ , 有効断面積  
 $5.0 \times 0.12 = 0.6 \text{ cm}^2$ ,  $\sigma = \frac{N}{A} = 2140 \text{ kg/cm}^2$

$< 2400 \text{ kg/cm}^2$  締付ボルト： $N = 1800 \text{ kg}$  に對し  
 $16 \text{ mm}\phi$  で充分。

斜材とガセットとの接合鉄： 8 本

柱とガセットとの接合鉄： 10 本

横材とガセットとの接合鉄： 6 本

### § 3.5 桁 梁

$M = 560 \text{ kgm}$ ,  $Q = 320 \text{ kg}$ ,  $2[-180 \times 35 \times 12]$  2組  
を丈  $25 \text{ cm}$  にとれば  $\sigma = 750 \text{ kg/cm}^2$  となる。

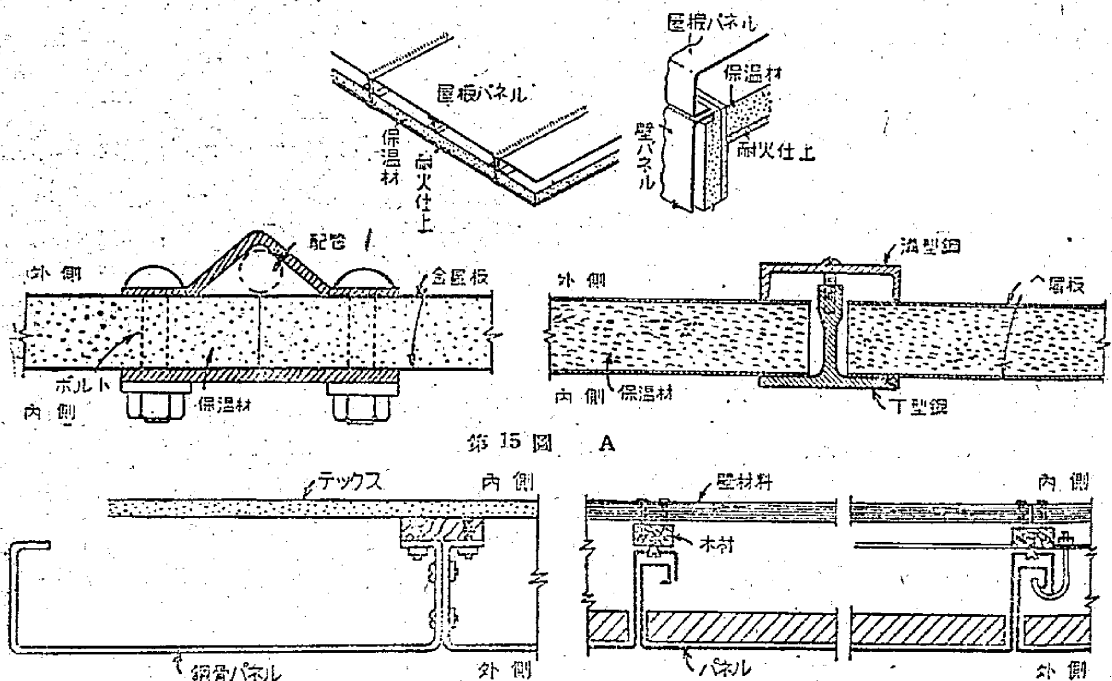
斜材： $PL-35 \times 1.2$ ,  $\sigma = 1080 \text{ kg/cm}^2$

鉄釘： 3 本

### IV 試作金属家屋構造の検討

試作金属家屋構造は § 2.1 で示したものは最大耐力

を受ける部分を基準として断面算定を行い同一断面で各部を統一したこと、並に中間剛差の構造的な作用を無視して、筋違の耐力のみに期待したために、実験によつては更に経済設計が可能となる見通しである。綫アルミ波板を shear member として活用せずに單に屋根葺材又は壁面仕上材となつてゐるが、これはビス等の締付箇所を多くとれば筋違は省略し得るし、屋根板は水平トラスの作用を兼ねることができると思う。量産家屋の構造的な重點は 1. 現場工程の簡易化と短縮且組立日数の短いこと、2. 構造単位の數及種類の少いこと、3. 各単位が輕便で且大きさが適當であること、4. 運搬中の破損に對する抵抗力等であつて、金属構造は他の組立家屋に比較すればこれらを比較的簡単に満足し得る點に特質がある例 1 は構造的には骨組式パネル形式であるが外國特に米國文獻で散見されるこの種構造の形式は波板形式の他になお圖 15A, 15B, 15C, の如きものがある。



第 15 図 A

第 15 図 B

第 15 図 C

これらは大部分パネル形式のものが多く、平板金属組立家屋の強度は主として風壓によつて定められるから、

- 板構造で特殊断面材を rib として挿入する。(但しこの rib は壁の目地の防水又は配管の空間を與えるようにも設けられる)
- 板 (平板又は波板) 構造で各壁體又は屋根は一樣な強度をもつ。(板接合部は自ら等間隔の rib を作る)
- 板構造でその断面を利用して要所には材の接合部にて rib を作る。

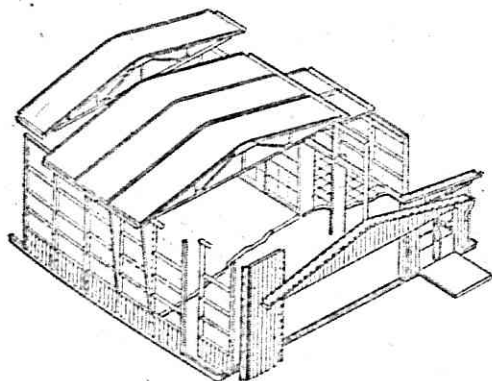
諸外國の断面はそのまま我々のとつてゐる荷重に對して算定されたものと見ても大差あるまいから、設計の良否

の比較は容易である。この場合風圧力による建物の浮上りの問題が最後に残り、これに對し建物下部に相當量の mass が必要となる。例1はこれをコンクリートブロックで處理しているが、壁體に必要な量のコンクリート版を挿入したものもある。(英國の例) 要するに金屬家屋構造については強度的な見地よりは、表面の局部的剛性の問題の方が重要な役割をもつ場合があり、建物全體の細部例えば窓出入口及び兩仕舞、防熱防雨等の手法が必要な構造材を可及的強度部材に活用することも構造的に意義があることと思う。

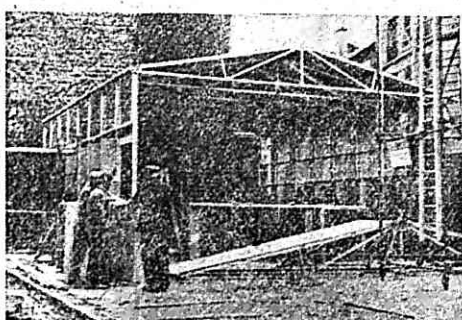
## V. アルミニウム構造

### § 5.1 アルミニウム建築の一例

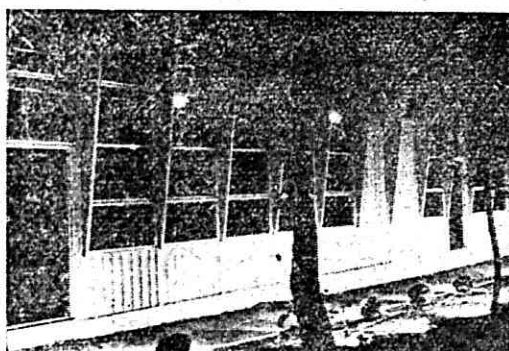
日本では骨組にアルミニウムを使用した建築はないので、最近に於ける英國の小學校の例について觀察したい (A. R. July 1949). 本建築は 1949 年 3 月 Bristol Aeroplane Co. によつて Lockleaze (Bristol) に建築せられた小學校であつて、組立構造單位ははじめから學校の平面計畫に適應するように撰擇されている。全壁體はアルミニウム構造單位で組立てられ、その單位は標準幅 4 ft, 屋根は外板 (アルミニウム板 0.7~0.8 mm) には Millboard をとりつけこれをアルミニウム母屋に工場板し、この母屋と 2 對のトラス (丈 4 ft) を鉚接した屋根パネルが一單位となり、天井には glass silk をかけた絶縁板を使用する。又壁體は波板で内部に glass wool を使つている。三角形柱は風壓に對する窓面の骨組の補強で建物全體の風壓に對する強度は内部の長方形中空柱に頼つてゐる。本構造はスパン 24' 3", 桁行スパン 4' の構造で計畫上からは米國でも窓面積が多すぎると考えているらしいが著しく輕快な様式をもつ。本構造は例2 (鋼構造) と對比して相當大きなスパンの輕構造が從來の航空機製造工場の製作能力の内にあることを實現するものと見られるであろう (圖 16 A-D)。



第 16 圖 (A) 成形された構造骨組にボルト締, Subfram [Wind Brace Diaphragms (外板膜張三角支柱) を指す] 窓にボルト締, パネル下部は周囲のチャンネルにボルト締, 上部は屋根にボルト締される)



第 16 圖 (B,C) 屋根單位は捲上機を使い 2 人の作業員によつて簡単に處理し得る程輕い。



第 16 圖 (D) 教室を完全にガラス張にするために建物側面の風荷重に對する抵抗は外壁につけた triangle Bracing Diaphragms (外板膜張三角支柱) に負擔される。これらの安定板を骨組と壁との間に緊結したのが本構造の特徴である)

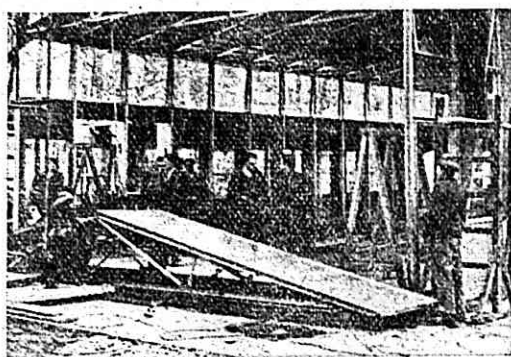
### § 5.2 構造計畫に關する諸問題

i 屋根構造に假りにアルミニウム合金 14S-T6 を使用した場合を考え

	強度又は降伏 點 kg/mm <sup>2</sup>	比重 $\rho$	$E$ kg/mm <sup>2</sup>
木 材	2	0.5	830
鋼	24	7.8	21,000
アルミニウム (合金 14S-T6)	40	2.8	7,000
コンクリート	1.35	2.3	2,100

に對して比強度  $\sigma/\rho$  を比較するとコンクリート:木材:鋼:アルミニウム=0.6:1:3.1:14.3 となる。構造物の





第 16 図 (E) 屋根パネル

重量を決定するものは比強度も一つの要素であるが、例えばトラスの自重略算について（水平面につき  $\text{kg}/\text{m}^2$ ）

木構造  $10+l$ 、鋼構造  $10+0.8l$

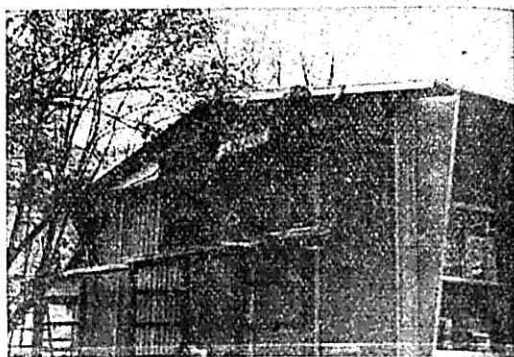
（ $l$  はスパン  $\text{m}$ ）の式で見ると、 $d/p$  による差異は一見大したことではないようであるがアルミニウム合金の場合は一桁違うからトラス自重は鋼材に比して相当小さくなるであろう。但しこの場合剛性の低下特に圧縮材に於てヤング係数  $E$  が下がるから細長材の圧縮強度は低下する。猶屋根材に於けるアルミニウムの活用とこれを水平筋道として剪断力をとらすことは構造計画として考慮すべきことがらである。

ii 構造物の風荷重は建物の重量には無関係であるが、高層建築の構造部材は大部分が地震力によって決定される。地震力は建物重量に比例するから軽構造は断然強みを増す。鉄骨鉄筋コンクリート構造（事務所又は商店）の各階自重  $D.L.$  と地震力算定のための積載荷重  $L.L.$  とを一例について比較すれば床について見れば

$D.L. = 460 - 720 \text{ kg}/\text{m}^2$

$L.L. = 80 - 130 \text{ kg}/\text{m}^2$

壁體の自重は略床の  $D.L.$  に等しい。これに骨組の自重が加算されるから、コンクリートが如何に地震力を高め鋼材をいじめているかがよく分る。これを解決するには

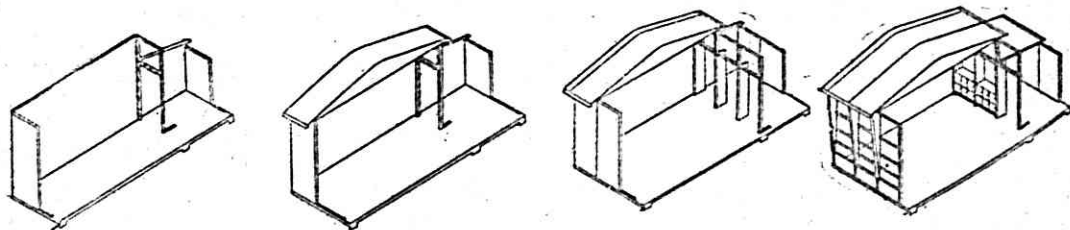


第 16 図 (F) 装パネルの取付

壁體及び床版の軽量化が支配的な役割を演ずると思う。この問題は特に地震國に於て眞剣に研究すべき課題であらう。

ここに床版にアルミ骨組を使用する一試案を示せばアルミと不燃板とを結合した床（天井と一體となる）を骨組に free support として構造すれば大部分不燃板は圧縮、アルミ板は引張力状態である。アルミの融點は我々の火災温度の標準値に近いが不燃板（軽量コンクリートに鉄筋又は鉄鋼を挿入、アルミが下階の火事によつて融けたときはこの不燃板は膜力状態で崩壊を防ぐ。鉄筋コンクリートの火災による床板破壊が膜力状態と見られるからこの軽床版は火災に對してはコンクリート版と大差ないであらう。

iii アルミニウムとコンクリート或は鋼との接觸部分についての細部計画は現在のところ外国文献でははつきり知ることができないがこれは技術的に解決の方法があるし、寧ろ問題の重點は建築材料特に構造材として適當な板厚並に押出型材の材型及びリベット、ビス等の種の選定にあり、更にはアルミに對する構造部分（リベット又はビス締による）の強度並に剛性の問題について在米航空機設計に於ける輕金屬構造の知識を可及的に取り入れつつ無駄のない研究を行うことが大切である。



第 16 図 (G) 左から右へ組立順序を示す