

軟 節 剛 材 鎖 理 論

江 上 外 人*

1 まえがき

さきに提案した Sandwich 構法による Curtain Wall¹⁾は、水平方向に細長い弾性板が、鉛直方向に Coil spring で綴られた弾性系であることを実験から確かめた²⁾。これを軟節板と名付け、これの剛性・強度を調べる実用計算法として、次ぎの仮定を設けた軟節剛材鎖理論を提案し³⁾、この理論を軟節板に拡張しようとするものである。ここに軟節剛材鎖とは、剛性 ∞ の棒を弾性体で接合したものをいい、次の仮定が成立するものとする。

- i 棒の剛性は ∞ である。
- ii 棒の節合部は曲げモーメントに比例した廻転をおこす。
- iii 軸力、剪断力および捩りモーメントによる変形を省略する。
- iv 変形は微小で重の法則が成立つ。

2 Sandwich Curtain Wallとその試作実験

建築骨組間に 9mm の鉄筋で縦横 60cm 格子をつくり、それを挟んで、図 2 のパネルを両側から当て（縦筋のみの個所には図 2 (a) の縦筋用パネル、縦横両鉄筋のある個所には (b) の横筋用パネルを用いる）、鉄筋を囲むパネルの空洞部分に打込コンクリートを流し込み、鉄筋と両側のパネルとを一体にして Curtain Wall を構成する方法である。この実験を図 1 の内法巾 6.02m 内法高 3.02m の木枠の中で、それぞれ次のごとくパネルの組合せを換えておこなった。

- i 両面に図 2（写真 1）の Concrete Panel（C. Panel）を使用した実験（写真 4、図 4）。
- ii 片面に C. Panel を、他面に図 2 の寸法の写真 2 に示す Urethane Foam Panel（U. F. Panel）を使用した実験。

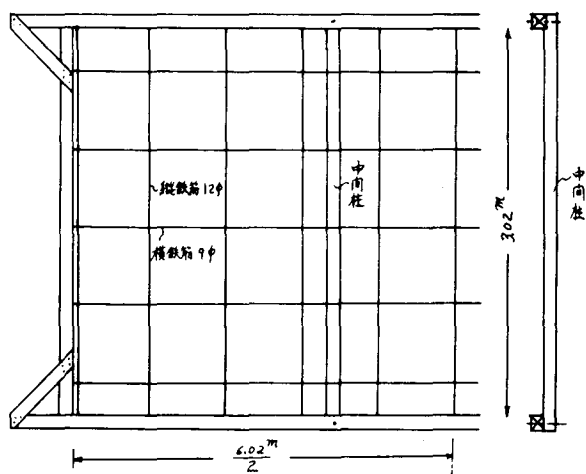
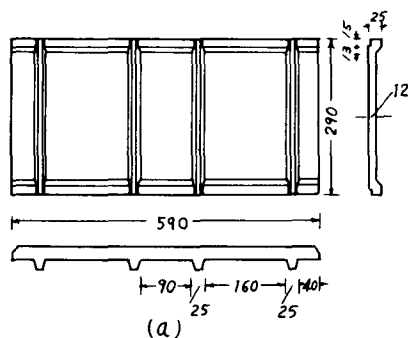


図 - 1



(a)



(b)

図 - 2

* 建築学会正会員福井大学助教授

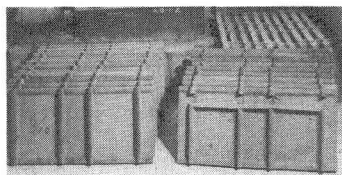


写真 1

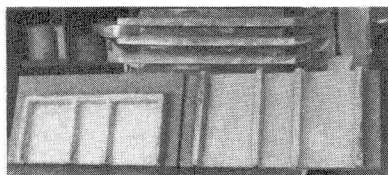


写真 2

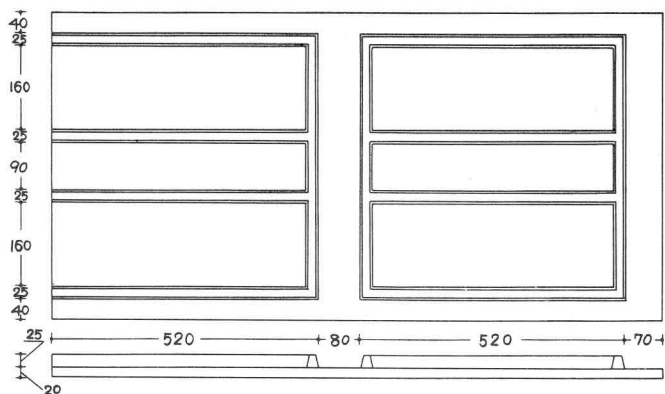


図-3 Urethane P panel

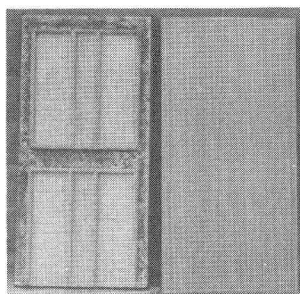


写真 3

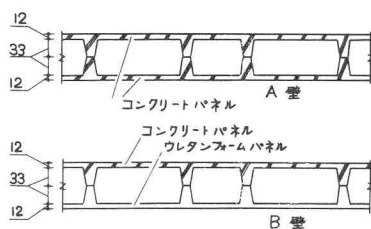


図-4 壁体の熱絶縁性

iii 片面に C. Panel を、他面に図 3 の寸法の写真 3 に示す Urethane Plywood Panel (U. P. Panel) を使用した実験。(写真 5)

U. P. Panel は表面にベニヤ板が貼付けられたパネルで、1 枚に対して C. Panel 又は U. F. Panel が 4 枚の割合で組合されるやや大型のパネルである。

これらの試作実験では、施工は容易で速やかにおこなえて、施工障害は無く、施工精度もかなり高いものが得られた。⁴⁾

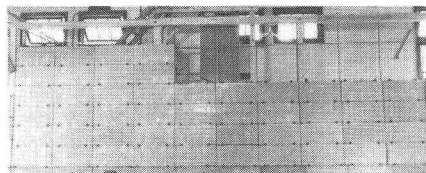


写真 4

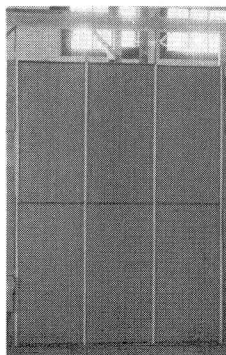


写真 5

3 軟節鋼材鎖理論

3.1 軟節曲げ率

図 5 (a) の如く 2 本の剛体の棒を接合具で接合したものに、曲げモーメント m_k を作用させたとき、図 5 (b) の如く接合部で角変化 ϕ が生じたとすれば、 m_k と ϕ との関係は図 5 (c) となることを実験から

定められた。ここに

$$\phi = \phi_k + \phi_{k+1} \quad (1)$$

$$\text{故に } m/\phi = S, \text{ 又は } m = \phi S \quad (2)$$

S は単位 of ϕ を生ぜしめるに要する曲げモーメントの値であり、これを軟節曲げ率と名付ける。

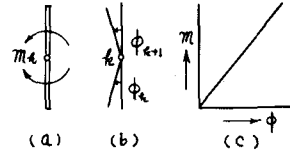


図 - 5

3.2 力の釣合式

図 6 (a) の状態の力の釣合を求めるために、図 6 (b) の状態を考える。

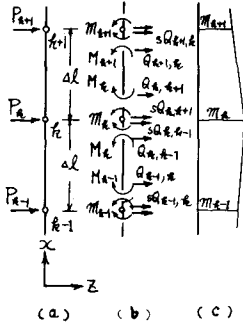


図 - 6

ここに、

P_k : 接合部に作用する荷重 (→ を正とする)

m_k : 接合部に作用する曲げモーメント (○ を正とする)

${}_sQ_k$: 接合部に作用する剪断力 (→ を正とする)

M_k : 部材に作用する曲げモーメント (○ を正とする)

Q_k : 部材に作用する剪断力 (→ を正とする)

とすれば、

$$\left. \begin{aligned} {}_sQ_{k \cdot k+1} &= -Q_{k \cdot k+1} \\ {}_sQ_{k \cdot k-1} &= -Q_{k \cdot k-1} \\ m_k &= -M_k \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

尚、

$$\left. \begin{aligned} Q_{k \cdot k+1} &= \frac{-M_{k+1} + M_k}{\Delta l} \\ Q_{k \cdot k-1} &= \frac{-M_{k-1} + M_k}{\Delta l} \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

故に、

$$\left. \begin{aligned} {}_sQ_{k \cdot k+1} &= \frac{m_{k+1} - m_k}{\Delta l} \\ {}_sQ_{k \cdot k-1} &= \frac{m_{k-1} - m_k}{\Delta l} \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

接合点 k における力の釣合から、

$$\begin{aligned} P_k + {}_sQ_{k \cdot k+1} + {}_sQ_{k \cdot k-1} &= 0 \\ \therefore P_k &= \frac{-m_{k-1} + 2m_k - m_{k+1}}{\Delta l} \end{aligned} \quad (6)$$

となり、任意の接合点 k に作用する荷重は、その点とそれに隣れる接合点に作用する曲げモーメントで示すことができる。これらの曲げモーメントを図 6 (c) に示す。

3.3 変形の連続条件式

図 7 (a) の変形を図 7 (b) とする。節点 k の角変化 ϕ_k は

$$\phi_k = R_k - R_{k+1} \quad (7)$$

ここに、

$$\left. \begin{aligned} R_k &= \frac{\delta_k - \delta_{k-1}}{\Delta l} \\ R_{k+1} &= \frac{\delta_{k+1} - \delta_k}{\Delta l} \end{aligned} \right\}$$

(2)と(7)式より

$$m_k = \phi_k S_k = (R_k - R_{k-1}) S_k$$

(8)式を用いて、

$$m_k = (-\delta_{k-1} + 2\delta_k - \delta_{k+1}) \frac{S_k}{\Delta l} \quad (10)$$

(8)

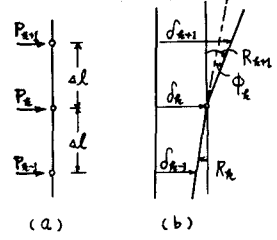


図 - 7

となり、任意の接合点 k に作用する曲げモーメントは、その点およびそれに隣れる 2 接合点の変位で示すことができる。

3.4 荷重と変位との関係式

(6)式を荷重と変位との式にするには、(10)式を用いて、

$$\left. \begin{aligned} m_{k-1} &= (-\delta_{k+2} + 2\delta_{k-1} - \delta_k) \frac{S_{k-1}}{\Delta l} \\ m_{k+1} &= (-\delta_k + 2\delta_{k+1} - \delta_{k+2}) \frac{S_{k+1}}{\Delta l} \end{aligned} \right\} \quad (11)$$

今 $S_k = S_{k-1} = S_{k+1} = S$ の場合は、(6)、(10)、(11)式より、

$$P_k = (\delta_{k-2} - 4\delta_{k-1} + 6\delta_k - 4\delta_{k+1} + \delta_{k+2}) \frac{S}{\Delta l^2} \quad (12)$$

となり、任意の接合点 k に作用する荷重をその点を囲む接合点の変位で示すことができる。

3.5 境界条件

3.5.1 端部軟節支持の場合

i 端部に隣れる接合点

図 8 の(a)の如く、 $k-1$ 点で軟節支持された場合は、(10)および(12)式において $\delta_{k-1} = \delta_{k-2} = 0$ とおけばよい。

$$m_k = (2\delta_k - \delta_{k+1}) \frac{S}{\Delta l} \quad (10-1-1)$$

$$P_k = (6\delta_k - 4\delta_{k+1} + \delta_{k+2}) \frac{S}{\Delta l^2} \quad (12-1-1)$$

図 8(e)の場合も同様に、

$$m_k = (2\delta_k - \delta_{k-1}) \frac{S}{\Delta l} \quad (10-1-2)$$

$$P_k = (\delta_{k-2} - 4\delta_{k-1} + 6\delta_k) \frac{S}{\Delta l^2} \quad (12-1-2)$$

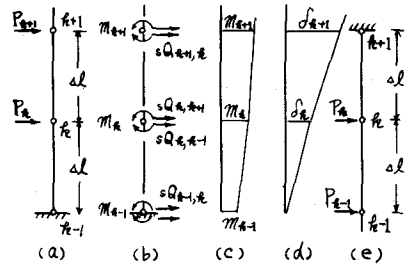


図 - 8

ii 端末支持点

図9の(a)の場合は(5)式および(8)式はそれぞれ

$$\left. \begin{aligned} {}_sQ_{k \cdot k+1} &= \frac{m_{k+1} - m_k}{\Delta l} \\ {}_sQ_{k \cdot k-1} &= 0 \end{aligned} \right\} \therefore H_k = \frac{m_k - m_{k+1}}{\Delta l}$$

$$\left. \begin{aligned} R_k &= 0 \\ R_{k+1} &= \frac{\delta_{k+1}}{\Delta l} \end{aligned} \right\} \therefore m_k = -\delta_{k+1} \frac{S}{\Delta l}$$

また H_k を変位で現すには、(10)式を用いて、 $\delta_k = 0$ とおけば、

$$m_{k+1} = (2\delta_{k+1} - \delta_{k+2}) \frac{S}{\Delta l}$$

となり、従って(10)および(12)式はそれぞれ次のようになる。

$$m_k = -\delta_{k+1} \frac{S}{\Delta l} \quad (10-2-1)$$

$$H_k = (-3\delta_{k+1} + \delta_{k+2}) \frac{S}{\Delta l^2} \quad (12-2-1)$$

図9(e)の場合も同様に、

$$m_k = -\delta_{k-1} \frac{S}{\Delta l} \quad (10-2-2)$$

$$H_k = (-3\delta_{k-1} + \delta_{k-2}) \frac{S}{\Delta l^2} \quad (12-2-2)$$

3.5.2 端末回転支持の場合

i 端末に隣れる接合点

図10の(a)の如く $k-1$ 点で回転支持される場合は(5)および(8)式はそれぞれ

$$\left. \begin{aligned} {}_sQ_{k \cdot k-1} &= \frac{-m_k}{\Delta l} \\ {}_sQ_{k \cdot k+1} &= \frac{-m_k + m_{k+1}}{\Delta l} \end{aligned} \right\} \therefore P_k = \frac{2m_k - m_{k+1}}{\Delta l}$$

$$\left. \begin{aligned} R_k &= \frac{\delta_k}{\Delta l} \\ R_{k+1} &= \frac{\delta_{k+1} - \delta_k}{\Delta l} \end{aligned} \right\} \therefore m_k = (2\delta_k - \delta_{k+1}) \frac{S}{\Delta l}$$

また(10)式を用いて、

$$m_{k+1} = (-\delta_k + 2\delta_{k+1} - \delta_{k+2}) \frac{S}{\Delta l}$$

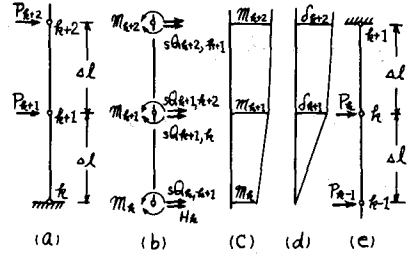


図 - 9

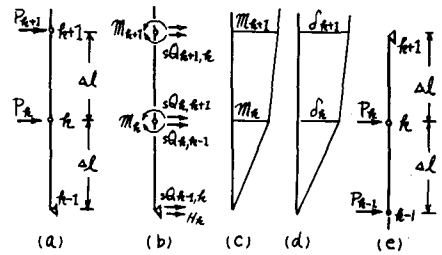


図 - 10

となり、従って(10)および(12)式はそれぞれ次のようになる。

$$m_k = (2\delta_k - \delta_{k+1}) \frac{S}{\Delta l} \quad (10-3-1)$$

$$P_k = (5\delta_k - 4\delta_{k+1} + \delta_{k+2}) \frac{S}{\Delta l^2} \quad (12-3-1)$$

図10(e)の場合も同様に、

$$m_k = (2\delta_k - \delta_{k-1}) \frac{S}{\Delta l} \quad (10-3-2)$$

$$P_k = (\delta_{k-2} - 4\delta_{k-1} + 5\delta_k) \frac{S}{\Delta l^2} \quad (12-3-2)$$

ii 端末支持点

図11の(a)の場合は(5)および(8)式はそれぞれ

$$\left. \begin{aligned} sQ_{k+k+1} &= \frac{m_{k+1}}{\Delta l} \\ sQ_{k+k-1} &= 0 \end{aligned} \right\} \therefore H_k = \frac{-m_{k+1}}{\Delta l}$$

$$\left. \begin{aligned} R_k &= \frac{\delta_{k+1}}{\Delta l} \\ R_{k+1} &= R_k \end{aligned} \right\} \therefore m_k = 0$$

また(10)式を用いて $\delta_k = 0$ とおけば、

$$m_{k+1} = (2\delta_{k+1} - \delta_{k+2}) \frac{S}{\Delta l}$$

となり、従って(10)および(12)式はそれぞれ次のようになる。

$$m_k = 0 \quad (10-4-1)$$

$$H_k = (-2\delta_{k+1} + \delta_{k+2}) \frac{S}{\Delta l^2} \quad (12-4-1)$$

図11(e)の場合も同様に、

$$m_k = 0 \quad (10-4-2)$$

$$H_k = (-2\delta_{k+1} + \delta_{k+2}) \frac{S}{\Delta l^2} \quad (12-4-2)$$

3.5.3 端末自由の場合

i 端末に隣れる接合点

図12の(a)の場合は同様に、(10)および(12)式は次のようになる。

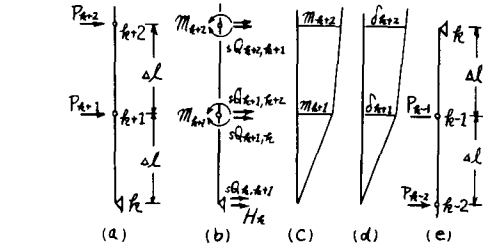


図 - 11

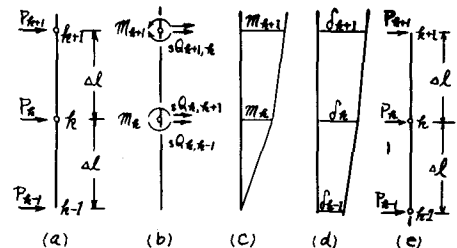


図 - 12

$$m_k = (-\delta_{k-1} + 2\delta_k - \delta_{k+1}) \frac{S}{4l} \quad (10-5-1)$$

$$P_k = (-2\delta_{k-1} + 5\delta_k - 4\delta_{k+1} + \delta_{k+2}) \frac{S}{4l^2} \quad (12-5-1)$$

図1-2(e)の場合も同様に、

$$m_k = (-\delta_{k-1} + 2\delta_k - \delta_{k+1}) \frac{S}{4l} \quad (10-5-2)$$

$$P_k = (-2\delta_{k-2} - 4\delta_{k-1} + 5\delta_k - 2\delta_{k+1}) \frac{S}{4l^2} \quad (12-5-2)$$

ii 自由端

図1-3(a)の場合は、

$$m_k = 0 \quad (10-6-1)$$

$$P_k = (-2\delta_{k+1} + \delta_{k+2} + \delta_k) \frac{S}{4l^2} \quad (12-6-1)$$

図1-3(e)の場合は、

$$m_k = 0 \quad (10-6-2)$$

$$P_k = (-2\delta_{k-1} + \delta_{k-2} + \delta_k) \frac{S}{4l^2} \quad (12-6-2)$$

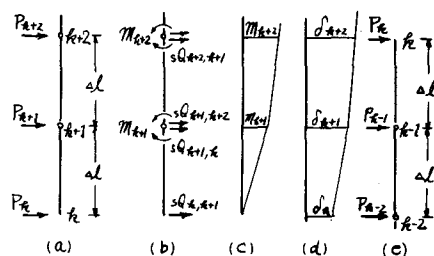


図 - 13

3.6 格子系の一般式

軟節剛材鎖が格子形の場合、任意の接合点 (k, i) をとり出して

図1-4に示す。

$P_{k,i}$: (k, i) 接合点に作用する格子面に垂直な荷重

$xP_{k,i}$: $P_{k,i}$ が x 方向の直線系に別れる荷重

$yP_{k,i}$: $P_{k,i}$ が y 方向の直線系に別れる荷重

$xm_{k,i}$: (k, i) 接合点に作用する x 方向の曲げモーメント

$ym_{k,i}$: (k, i) 接合点に作用する y 方向の曲げモーメント

$\delta_{k,i}$: (k, i) 接合点の変位

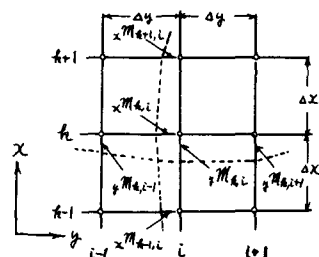


図 - 14

各節点では次式が成立する。

$$xP_{k,i} + yP_{k,i} = P_{k,i} \quad (13)$$

x , y の各直線系について、 $xP_{k,i}$ および $yP_{k,i}$ と $\delta_{k,i}$ との間には、(12)式又は端末条件に応じた(12-1) ~ (12-6) 式の関係が成立するから、これを次のごとく現わすと、

$$xP_{k,i} = f_x(\delta), \quad yP_{k,i} = f_y(\delta) \quad (14)$$

連続の条件から、

$$P_{k,i} = f_x(\delta) + f_y(\delta) \quad (15)$$

となる。従って基本型では、

$$P_{k,i} = \{ (\delta_{k-2,i} - 4\delta_{k-1,i} + 6\delta_{k,i} - 4\delta_{k+1,i} + \delta_{k+2,i}) \\ + (\delta_{k,i-2} - 4\delta_{k,i-1} + 6\delta_{k,i} - 4\delta_{k,i+1} + \delta_{k,i+2}) \alpha \} \frac{xS}{4x^2} \quad (16)$$

ここに

$$\alpha = \frac{4x^2_y S}{4y^2_x S} \quad (17)$$

xS : x 方向の直線系の各節点の軟節曲げ率

yS : y 方向の直線系の各節点の軟節曲げ率

(計算例)

両端軟節支持、両端回転

支持、一端軟節支持他端自

由および格子系について、

それぞれの計算結果を図15、

16、17 および 18 に示す。

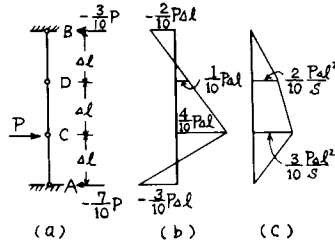


図 - 15

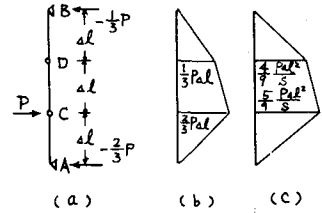


図 - 16

4 軟節鋼材鎖板

Sandwich Curtain Wall

の剛性を調べる目的で、図

19 の A, B および C 部を

取り出し、図 20 の (a), (b)

および (c) の方法でそれぞれ

の接合部剛性 (軟節曲げ率)

および撓曲線の形を調べる

実験をおこなった。

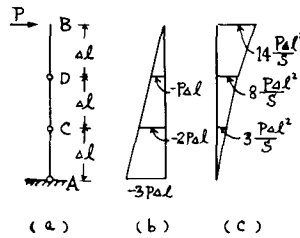


図 - 17

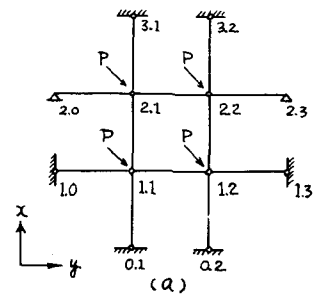


図 - 18

4.1 試験体

A 部の試験体：

図 20 の (a) の実験 (鉛直方向のパネルの接合部の曲げ) をおこなうための試験体であり、9mm の縦筋を挟んで縦筋用パネル 4 枚を用いて作製した。この組合せは次のようである。

試体 A_C ……縦筋用 C. Panel 4 枚使用

試体 $A_C.U.F$ ……引張側を縦筋用 C. Panel 2 枚とし、圧縮側を縦筋用 U. F. Panel 2 枚とした組合せ。

試体 $A_C.U.F$ ……引張側を縦筋用 C. Panel 2 枚とし、圧縮側を U. P. Panel 1 枚とした組合せ。

B 部の試験体：

図 20 の (b) の実験 (横筋用パネルと縦筋用パネルの鉛直方向接合部の曲げ) をおこなうための試験体であり、

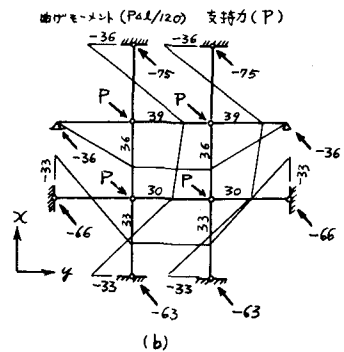


図 - 18

9 mmの縦筋、横筋それぞれ1本づつ使って作製した。この組合せは次のようである。

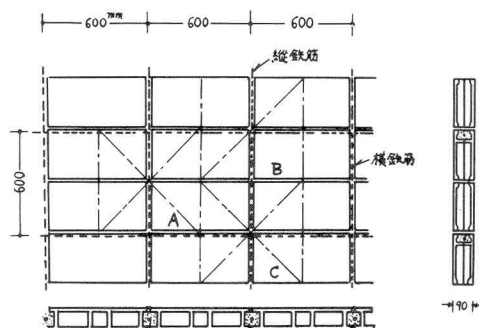


図 - 19

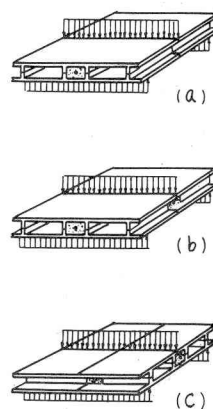


図 - 20

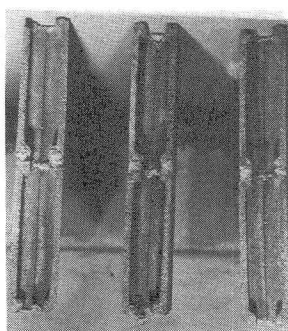


写真 6

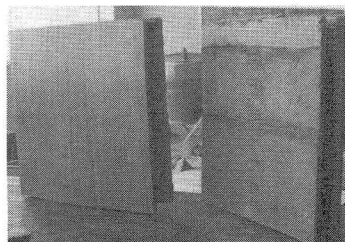


写真 7

試体 B_C ……縦筋用 C・Panel 2枚と横筋用 C・Panel 2枚使用

試体 $B_{C,U,F}$ ……引張側を C・Panel とし、圧縮側を U・F・Panel とし、縦筋用横筋用パネルそれぞれ1枚づつを用いた組合せ。

試体 $B_{C,U,F}$ ……引張側を縦筋用 C・Panel 1枚と、横筋用 C・Panel 1枚とし、圧縮側を U・P・Panel 1枚とした組合せ。

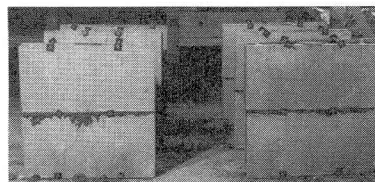


写真 8

C部の試験体：

図20の(c)の実験（パネルの水平方向接合部の曲げ）をおこなうための試験体である。

試験 C_C ……試験 B_C と同じ組合せ。

4.2 実験結果

4.2.1 撓曲線の形

図21に示す方法で、荷重を加え乍ら図示のごとく Dial gauge で撓みを計測した

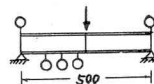


図 - 21

結果、荷重と撓みは一次関係を示した。実測値による撓曲線の形は、試体 A_c 、 $A_{c,u,F}$ 、 $A_{c,u,P}$ および $B_{c,u,F}$ 、 $B_{c,u,P}$ では接合部の角変化のみによる折線変形を示し（軟節接合と名付け、その節点を軟節点と名付ける）、その他の試験では弾性体の曲げ変形を示した。このことから、図22

のごとく、水平方向に細長い弾性板を鉛直方向に Coil spring で軟節した弾性系と見做せるので、これを軟節剛材鎖板（軟節板）と名付け、鉛直方向には軟節剛材鎖理論が適用できるものと考えられる。

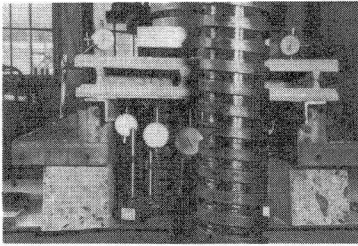


写真 9

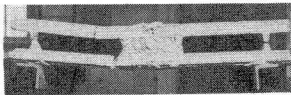


写真 10

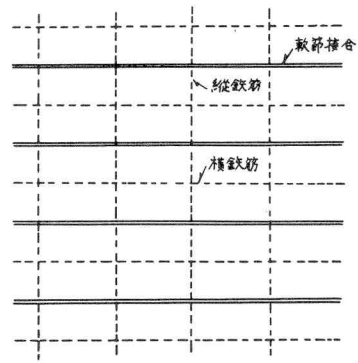


図 22

4.2.2 軟節曲げ率

試体 A_c 、 $A_{c,u,F}$ 、 $A_{c,u,P}$ および $B_{c,u,F}$ 、 $B_{c,u,P}$ は軟節理論が適用できるので、これらについて(18)式に実験値を用いて得られる ϕ_D と m との関係は図23となる。又実験値 ϕ_D と m とを用いて(2)式より軟節曲げ率 S を計算してその平均値を表1に示す。ここにC.Panelの調査は1

: 5 : 3, $W/C = 40\%$
 (これの4週強度は83~124% 平均105%)であり、打込コンクリートは1 : 2 : 2.8 $W/C = 67\%$
 (これの4週強度230%)である。尚パネルと打込コンクリートとはく離破壊はなかった。

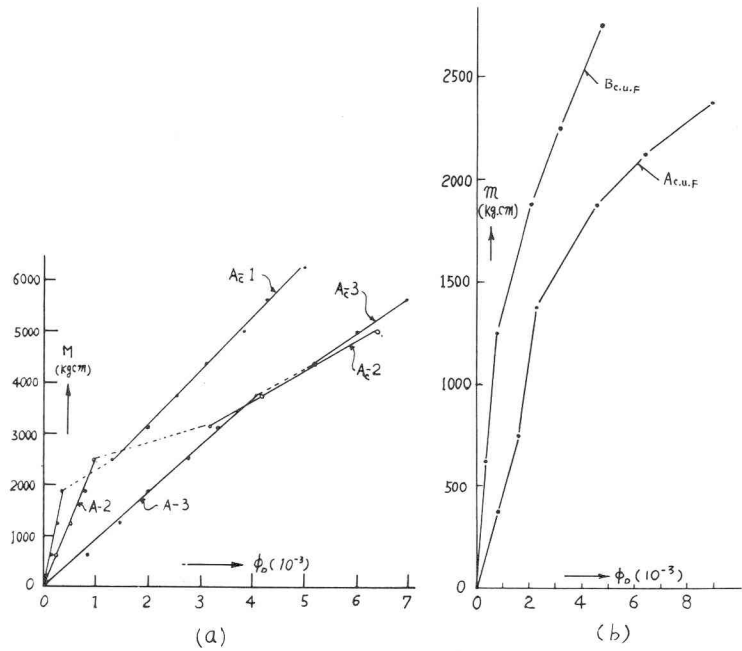


図 23

$$\phi_D = 4 \delta_c / \ell \quad (18)$$

ℓ : 単純梁の span , δ_c : span 中央の撓み

表 1

試 験 体		軟 節 曲 げ 率 ($S(10^6 \%)$)		初期降伏時の接合部 曲げモーメント $m(\text{Kg}\cdot\text{cm})$	破壊時の接合部 曲げモーメント m ($\text{Kg}\cdot\text{cm}$)
		初 期 降 伏 点	初 期 降 伏 後		
A	試体 A_c	2.8 1	0.7 7	2715~3350	5 6 3 3
	試体 $A_{c,U,F}$	0.6 0	0.1 6	1 6 2 5	5 3 1 3
	試体 $A_{c,U,P}$	0.4 0	0.2 9	1 0 0 0	6 0 0 0
B	試体 $B_{c,U,F}$	1.7 6	0.2 6	1 5 6 3	6 0 6 3
	試体 $B_{c,U,P}$	0.7 1	0.2 3	1 5 0 0	6 0 0 0

5 周辺支持の軟節板の撓みに関する実験

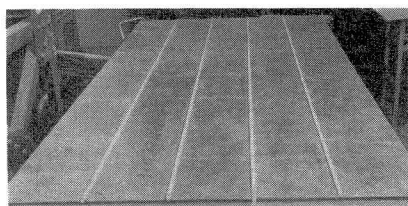
Sandwich Curtain Wallは図 2 2 の如き軟節板と見做せるので、4 辺支持の軟節板が面に垂直な荷重を受けた場合を調べる目的で、アルミ板厚 3mm をゴムで軟節した軟節板について、撓み性状を調べ、また 2 辺の比が $2:1$ のものについて、同大の軟節板とアルミ板（弾性板）との撓みについて、それぞれ実験値と計算値を比較し、合せて軟節理論を軟節板の略算法に拡張を計るものである。

5.1 軟節板の実験

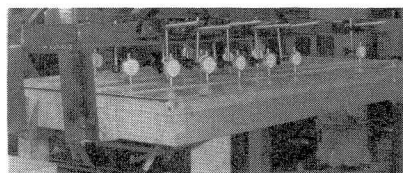
図 2 4 の試験体を図 2 5 のごとく支持し、図 2 6 の方法で、各点の荷重 P を 8.25g ずつ同時に増加しながら、④印部の変位を Dialgange でそれぞれ計測したところ、各試験体の変形は対称的となり、かつ撓みは荷重に比例したので、 $P=8.25\text{g}$ の増分に応ずる撓みの実測値を表 2 の①・②、④・⑤、⑦・⑧、⑩・⑪に示す。各試験体の $\ell_y/2$ を相しくそろえて撓曲線を比較すれば図 2 7 となる。

5.2 弾性板の実験

$0.3\text{cm}\times 80\text{cm}\times 160\text{cm}$ のアルミ板（弾性板）を用いて、軟節板の試体 2 0 と同じ状態で実験し、 $P=8.25\text{g}$ の増分に応ずる撓みの実測値を表 3 の④・⑤に示す。



写 真 11



写 真 12



写 真 13

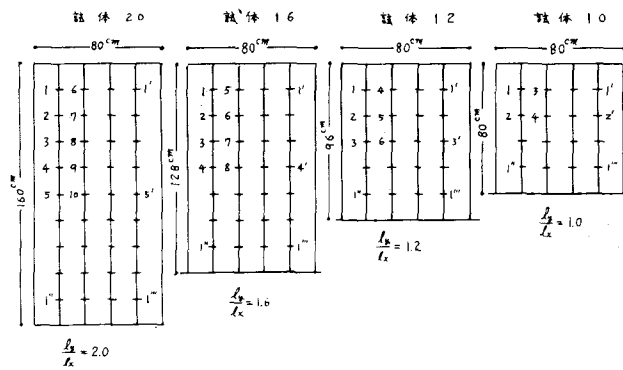
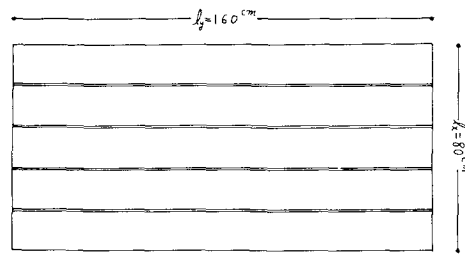
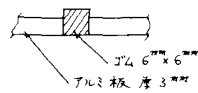


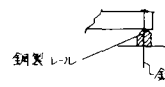
图 - 24



(a)



(b)



(c)

图 - 25

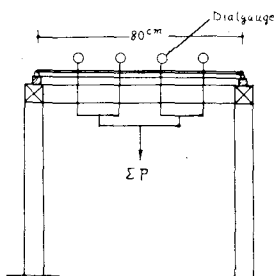
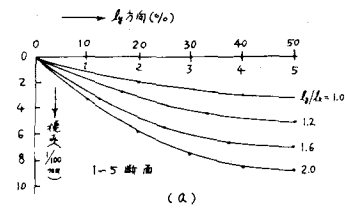
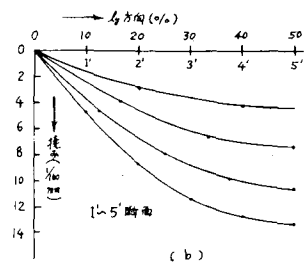


图 - 26



(a)



(b)

图 - 27

表 2

試 験 体	$\frac{l_y}{l_x}$	記 号	撓 み 計 測 点	6	7	8	9	10	試体 20
				1	2	3	4	5	
					5	6	7	8	
					1	2	3	4	
試体 20	2.0	① ② ③	6~10 1~5	4.78	8.65	11.35	12.70	13.30	撓み ($\frac{1mm}{100}$)
				3.35	5.79	7.48	8.50	8.75	
				1.43	1.50	1.51	1.50	1.52	
試体 16	1.6	④ ⑤ ⑥	5~8 1~4		4.71	7.92	9.86	10.61	撓み ($\frac{1mm}{100}$)
					3.23	5.46	6.65	6.98	
					1.49	1.47	1.49	1.52	
試体 12	1.2	⑦ ⑧ ⑨	4~6 1~3			4.00	6.61	7.33	撓み ($\frac{1mm}{100}$)
						2.83	4.46	5.04	
						1.43	1.48	1.45	
試体 10	1.0	⑩ ⑪ ⑫	3~4 1~2				2.86	4.36	撓み ($\frac{1mm}{100}$)
							2.07	3.02	
							1.38	1.44	

表 3

構 造 別		記 号	計 測 点	6	7	8	9	10	摘 要
大 別	方 向			1	2	3	4	5	
矩 形 板 (実 験 値)	長 辺 方 向	軟 節 板	①	6~10	4.78	8.65	11.35	12.70	撓み ($\frac{1mm}{100}$)
			②	1~5	3.35	5.79	7.48	8.50	
			③		1.43	1.50	1.51	1.50	
	短 辺 方 向	弾 性 板	④	6~10	2.10	3.72	5.02	5.80	撓み ($\frac{1mm}{100}$)
			⑤	1~5	1.37	2.39	3.16	3.70	
			⑥		1.53	1.56	1.59	1.57	
			⑦	6~10	4.60	8.15	10.99	12.76	
			⑧	1~5	3.15	5.50	7.27	8.51	
単 純 梁 (計 算 値)	長 辺 方 向	弾 性 梁	⑨	6~10 1~5	48.36	91.54	125.37	146.86	撓み ($\frac{1mm}{100}$)
			⑩	6~10	4.18	7.91	10.84	12.70	
			⑪	1~5	2.79	5.29	7.24	8.91	
	短 辺 方 向	弾 性 梁	⑫	6~10	8.96	8.96	8.96	8.96	撓み ($\frac{1mm}{100}$)
			⑬	1~5	5.57	5.57	5.57	5.57	
			⑭		1.61	1.61	1.61	1.61	
		軟 節 梁	⑮	6~10	71.29	71.29	71.29	71.29	撓み ($\frac{1mm}{100}$)
			⑯	1~5	44.56	44.56	44.56	44.56	
			⑰		1.60	1.60	1.60	1.60	

5.3 EI , S および t^3G の実験値

本実験値を計算値と比較するのに必要な各種剛性値 (EI , S および t^3G) は、総て本実験体から切取った試験片でおこなった実験値とする。単位の弾性板は巾 16 cm (16 cm —ゴム巾) 厚 3 mm であるので、 EI および t^3G は弾性板の単位巾について、また S は 16 cm 巾のものについての実験値である。

EI : 28296 Kgcm^2 , 片持梁の撓みより求めた。

S : 236 Kgcm

t^3G : 11512 Kgcm , (19)式より求めた。

$$\phi = \frac{3M_T l}{b t^3 G} \quad (19)$$

b : 板巾 t : 板厚 l : 材長

5.4 実験結果についての考察

5.4.1 軟節板の撓曲線

i l_y 方向

図 28 の(a)の各点の撓みの実測値を表 4 に示す。

表 4 を用いて、試体 20 に対する各試体の比の値を 1~5 および 1'~5' について計算すれば表 6 となる。またこれを図 28 (b) に図示す。これによれば、

a l_y 方向の 1~5 断面についての撓曲線と 1'~5 断面についての撓曲線の形状はほぼ等しい。

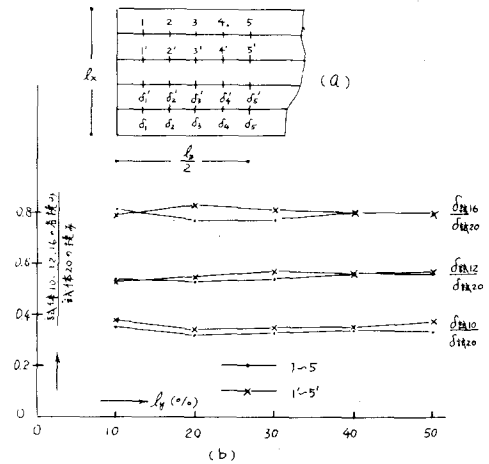


図 - 28

表 4

試験体名	$\frac{l_y}{l_x}$	記号	撓み ($1/100\text{ mm}$)				
			1' 点	2' 点	3' 点	4' 点	5' 点
試体 20	2.0	①	4.8	8.7	11.4	12.5	13.3
		②	3.4	5.8	7.4	8.5	8.7
試体 16	1.6	③	3.9	6.7	8.8	9.9	10.6
		④	2.7	4.8	6.0	6.8	7.0
試体 12	1.2	⑤	2.6	4.6	6.2	7.0	7.4
		⑥	1.8	3.2	4.2	4.8	5.0
試体 10	1.0	⑦	1.7	2.8	3.7	4.2	4.5
		⑧	1.3	2.0	2.6	3.0	3.3

b 試験体 20 の各点における撓みに対する各試験体の対応点の撓みの比は、それぞれ l_y 方向の各点について一定である。このことは、 l_y 方向の撓曲線の形は $l_y : l_x$ に関係なく等しいことを意味する。

表 5

撓曲線位置	記 号	試体 20 の撓みに対する各試体の撓み比					平 均 値
		1' 点 1 点	2' 点 2 点	3' 点 3 点	4' 点 4 点	5' 点 5 点	
$\delta'_1 \sim \delta'_5$	⑦/①	0.35	0.32	0.33	0.34	0.34	0.34 0.55 0.79 0.36 0.56 0.81
	⑤/①	0.54	0.53	0.54	0.56	0.56	
	③/①	0.81	0.77	0.77	0.80	0.80	
$\delta_1 \sim \delta_5$	⑧/②	0.38	0.34	0.35	0.35	0.38	0.34 0.55 0.79 0.36 0.56 0.81
	⑥/②	0.53	0.55	0.57	0.56	0.57	
	④/②	0.79	0.83	0.81	0.80	0.80	

c この一定値は表 5 より次のようになる。これを図 29 に示す。

$$\left. \begin{aligned} \delta_{\text{試}16} / \delta_{\text{試}20} &\cdots \cdots 0.80 \\ \delta_{\text{試}12} / \delta_{\text{試}20} &\cdots \cdots 0.56 \\ \delta_{\text{試}10} / \delta_{\text{試}20} &\cdots \cdots 0.35 \end{aligned} \right\} \quad (20)$$

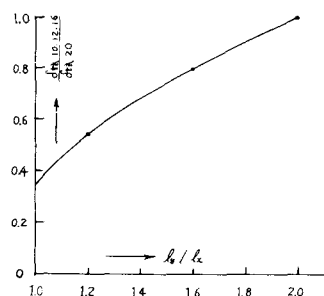


図 - 29

ii l_x 方向

図 30 の(a)の δ^1 / δ の値を図 24 の各試体についてそれぞれ計算して表 2 の③・⑥・⑨・⑫に、またこれを図 30 (b)に示す。各試験体の $l_y / 2$ の長さを等しくして現せば図 30 (c)となる。これによれば

a δ^1 / δ の値は表 2 および図 30 (b)に示すごとく、各試験体とも、

l_y 方向の端から 16 cm の個所でほぼ等しく 1.43 となる。

b それより中央部は各試

験体ともほぼ等しい。

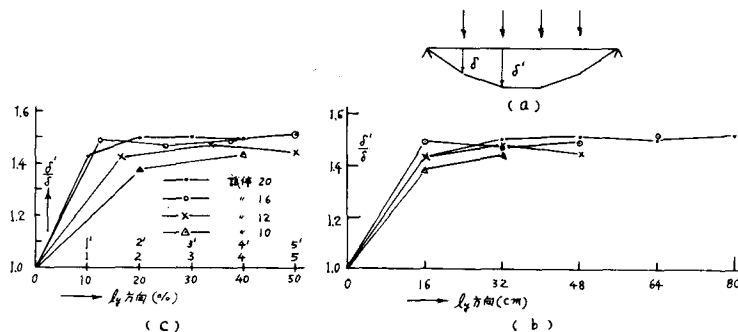


図 - 30

$$\left. \begin{aligned} \delta_1^1 / \delta_1 &= 1.43 \\ \delta_2^1 / \delta_2 = \delta_3^1 / \delta_3 = \delta_4^1 / \delta_4 = \delta_5^1 / \delta_5 &= 1.50 \end{aligned} \right\} \quad (21)$$

5.4.2 軟節板と弾性板についての比較

軟節板と弾性板とを比較するには、さきに述べたことから、 $l_y / l_x = 2.0$ の場合について考察すればよいから、巾 16 cm 厚 3 mm のアルミ板が Span $l_y = 180$ cm で単純支持されたもの（弾性単純梁）および巾 16 cm の軟節板が $l_x = 180$ cm で単純支持されたもの（軟節単純梁）の計算値を用いて考察するものとする。

ここに、 $E I$, S は本実験値を用い、 $P = 8.25 \text{ Kg}$ $\Delta l = 1.6 \text{ cm}$ として計算する。

i) l_y 方向の撓曲線

弾性板および軟節板のそれぞれ撓みの実験値、ならびに単純梁の撓みの計算値を同時に示せば図 3 1 となる。同図は、4 点および 9 点の撓みを各試験体等しくしたものである。これによれば、

- a 図 3 1 および表 3 より、軟節板の撓みの絶対量は弾性板の値の約 2.19~2.30 倍と大きい。
- b 軟節板の撓みの絶対量は弾性単純梁の計算値の $5.79 \times 10^{-2} \sim 8.60 \times 10^{-2}$ 、弾性板では $2.52 \times 10^{-2} \sim 3.95 \times 10^{-2}$ となっている。
- c 撓曲線の形は図 3 1 より、0~4 および 0~9 間では、単性単純梁の計算値が最も小さく、弾性板の実験値、軟節板の実験値の順に大きくなるが、4 点、9 点を超えれば、弾性板の実験値が最も小さく、弾性単純梁の計算値が最も大きい。

ii) l_x 方向の撓曲線

l_y 方向の各点における l_x 方向断面の撓曲線をそれぞれの場合について現せば図 3 2 となる。これより、それぞれについて、 δ' / δ を計算して図 3 3 に示す。これによれば、

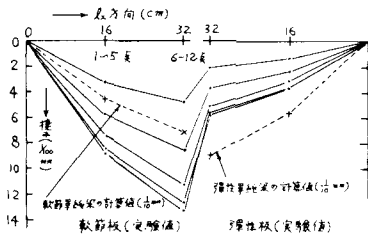


図 3 2

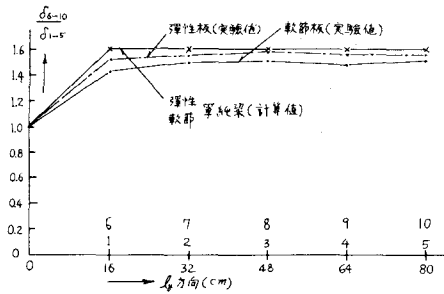


図 3 3

- a 図 3 3 より、 δ' / δ の値は、それぞれ l_y 方向の位置に関係なく (22) 式となる。

$$\left. \begin{array}{l} \text{弾性単純梁の計算値} \cdots \cdots \cdots 1.61 \\ \text{軟節単純梁の計算値} \cdots \cdots \cdots 1.60 \\ \text{弾性板の実験値} \cdots \cdots \cdots 1.56 \\ \text{軟節板の実験値} \cdots \cdots \cdots 1.50 \end{array} \right\} \quad (22)$$

- b 1~1' 断面では δ' / δ の値はやや小さくなる。

$$\left. \begin{array}{l} \text{弾性板の実験値} \cdots \cdots \cdots 1.52 \\ \text{軟節板の実験値} \cdots \cdots \cdots 1.43 \end{array} \right\} \quad (23)$$

6 むす び

- i 軟節板の撓み実験から得られた撓曲線によれば、軟節板の鉛直方向に軟節剛材鎖理論を導入して、軟節板の略算法を誘導できるものとする。
- ii 軟節理論の軟節点に軸力、剪断力、振りモーメントによる変形を導入した理論も必要である。
- iii 軟節板は本研究による Curtain Wallのみならず、床などにもおこる問題と考えられる。

文 献

- 1) 江上外人：Sandwich 構法による Curtain Wallに関する研究(2)。
日本建築学会論文報告集、大会号。昭和40年9月。
- 2) 江上外人：Sandwich Curtain Wallにおける軟節剛材鎖理論(1)。
日本建築学会論文報告集、第127号。昭和41年9月。
- 3) 江上外人：Sandwich 構法による Curtain Wallに関する研究(3)。
福井大学工学部研究報告、第14巻、第1号。昭和41年3月。
- 4) 江上外人：Sandwich Curtain Wallの試作実験(1)。
日本建築学会論文報告集、第121号。昭和41年3月。