

柱—梁偏心接合部を有する軽量鉄骨造住宅建築の 鉛直荷重に対する変形性状に関する実地調査

久徳 琢磨・三谷 勲
(受理 昭和63年5月31日)

AN EXPERIMENT ON THE DEFORMATION CHARACTERISTICS OF BEAMS ECCENTRICALLY CONNECTED TO COLUMNS IN A LIGHT WEIGHT STEEL FRAME SUBJECTED TO VERTICAL LOAD

Takuma KYUHTOKU and Isao MITANI

The deformation characteristics of light weight steel beams which were connected eccentrically to columns were investigated under vertical load.

The test frame was a portion of a real dwelling house. The vertical load was applied on the second floor of the frame.

The vertical load - deformation curves of the beams were calculated with a simple structural model and the experimental results were compared with them.

1. 序

プレハブ住宅は1981年以降急激な増加を示し、1986年には20万戸を超え、近年の円高不安にもかかわらずその増加は著しく、1987年のプレハブ住宅戸数は22万戸に達している。それに伴い、新設住宅の内のプレハブ住宅の占有率は全国各地で上昇しており、1986年では10%を上回り、特に関東、東海、中国の3地区では15%を上回っている。その中で、鉄骨造で建設される住宅の構造別比率は、この10年間（1976～1986）で見ると50～70%を占めている¹⁾。

鉄骨造で建てられるプレハブ住宅では、乾式工法であるという特質を生かし工期の短縮およびコストの低減を図るため、主要構造部材として軽量形鋼が使用され、壁板および床板としてPC版が使用されることが多い。また、平面的な傾向として、住宅内部空間の広さ、および採光のための広々とした開口部を求めため、梁部材のスパンが大きくなりがちである。このような住宅の使用荷重時での各部の変形性状（たわみ特性等）は、構造計算により一応は検討できるが、最

終的には実験により実際の挙動を確認する必要がある。

著者らは、このたびモダル住宅として建設される軽量鉄骨造2階建て住宅の載荷実験を行う機会を得た。この建物の構造的特徴として、以下のものが挙げられる。①外壁面内の通風を良くするという設計意図により、壁面内の通風を梁により遮断されないように建物外周部架構の梁部材として溝形断面材を用い、この梁部材を柱部材に偏心接合させている。②また、この偏心接合により外壁材と梁部材との間隔が大きくなるため、間柱等の2次部材の断面寸法は部材の納まりにより決められたので、これらの部材寸法は風荷重で決まる断面寸法よりも大きなものになっている。

溝形断面の梁材では、断面重心とせん断中心とのずれがあるため、荷重が断面重心に加わっても部材にはねじりが生じる。さらに、このような部材に他の梁材が接合された場合、この梁にはねじりによるたわみが付加される。梁材のたわみが大きくなると、建物の仕上材の損傷を引き起こすような構造的障害、あるいは梁の振動による不快感という使用上の障害が生じる。

そのため、軽鋼構造設計施工指針・同解説²⁾では、梁材のねじりに対する安全性を確かめることを規定しているだけでなく、梁材のたわみにも制限を加えている。一方、間柱等の2次部材が主体構造に与える影響および効果は通常の設計では無視され、上記指針にも明確な規定はない。

一般的には、構造上の安全性については上記の指針、および鋼構造設計規準²⁾等にしながら検討を加えれば良い。しかし、上述したような構造的特徴を有する建物においては、鋼構造設計規準にも明記されているように、個別に実験を行い、その安全性の確認および2次部材が主体構造に与える効果の検討を行うておく必要がある。

本実験では、建設途中の架構の一部を用い、固定荷重および積載荷重をも含めた使用荷重時での梁のたわみ性状および接合部の回転性状を得ることを主目的とし実験を計画した。また、簡単な解析モデルを使用して実験結果の検討を行った。

2. 実験

2.1 試験体概要

実験に使用した建物は、鹿児島市内の皇徳寺ニュータウンの一角に建設中の軽量鉄骨造2階建住宅建築である。

試験体部分の軸組詳細図および2階梁伏せ図をそれぞれ図-1および図-2に示す。図-2中、G1、G2よりなるT形架構部分が試験体架構である。また、実験建物の外観を写真-1に示す。

試験体架構部分の詳細を図-3に示し、柱および梁部材の断面リストを表-1に示す。また、試験体架構の各部の状況を写真-2~5に示す。

図-1および図-2から分かるように、G2よりは柱芯々間距離で2,850mmのスパンを有し、そのスパンの1/3点にG1よりはりが架けられている。床スラブはALC版による1方向スラブであるためG1よりはりの荷重負担面積は1,900mm×3,800mmである。G1よりはり、この荷重を集中荷重としてG2よりはりに伝えている。

各部材の接合は、普通ボルトによるボルト接合であ

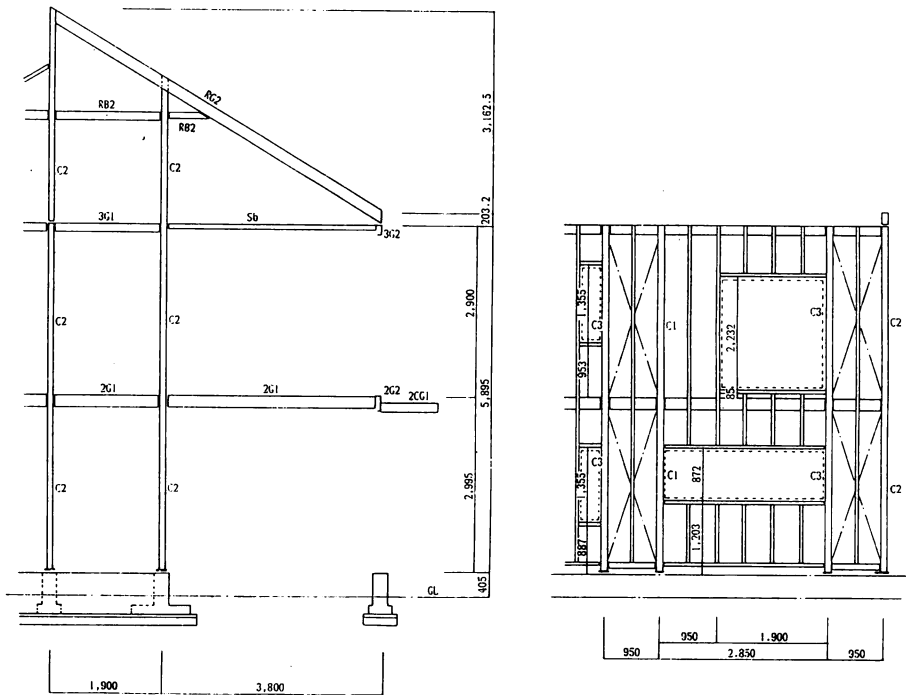


図-1 軸組詳細図

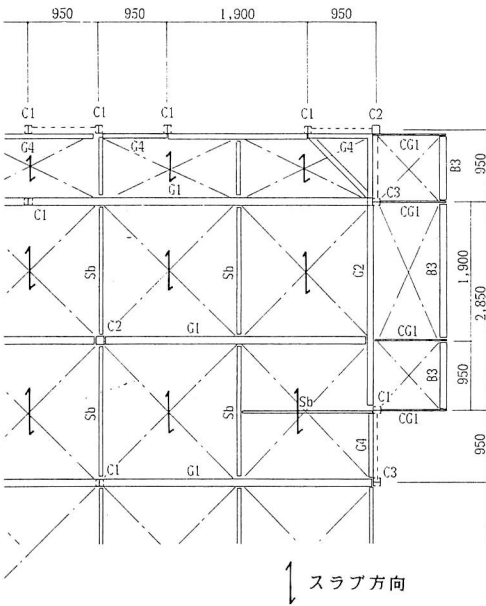


図-2 2階梁伏せ図

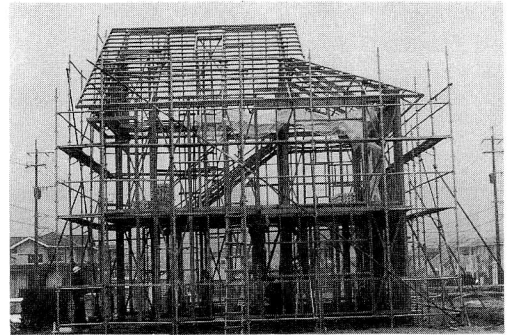


写真-1 実験建物の外観

表-1 はり・柱部材断面リスト

種別	符号	部材断面
はり	G1	H-200×100×3.2×6
	G2	□-250×75×6
	B3	□-100×3.2
	Sb	C-100×50×20×3.2
	CG1	PL-9×150
柱	C1	2C-100×50×20×3.2
	C2	2C-100×50×20×3.2
	C3	2C-100×50×20×3.2

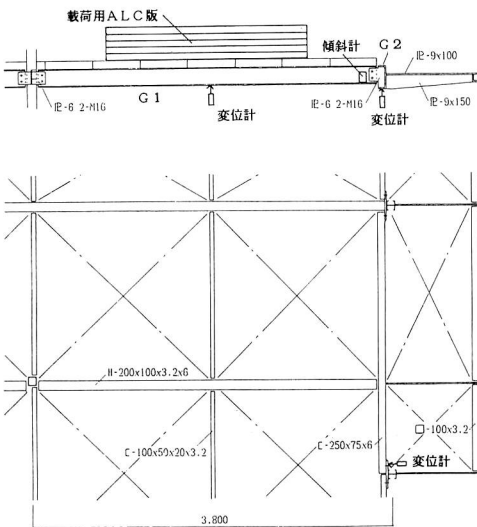


図-3 試験体架構詳細および変位測定位置図

り、ウェブ部分のみで接合されている（写真-2～5参照）。

2.2 加力方法および測定方法

加力、および各変位測定位置の概要を図-3に示す。本実験では、建物の使用荷重時〔固定荷重+積載荷重（住宅：130kg/m²）〕によるG1ばりのたわみ性状、ならびにG2ばりのたわみ、およびねじれ性状を把握することを目的としているので、加力は鉛直荷重載荷のみにより行った。

鉛直荷重載荷は、ALC版をG1ばり上の床版に各測定段階ごとに積み重ねることにより行い、通常使用時状態までの加力を行った。実験実施時点では、室内側の床版のみが設置された状態だったので、本実験で加える載荷荷重は、今後設置される固定荷重（天井、床仕上材等）と積載荷重との和に相当する。使用時状態での鉛直荷重は、実験による載荷荷重（部分等分布荷重。図-5(b)参照）で示すと、 $w=7.06\text{kg/cm}$ ($P=1.3\text{ton}$)である。

加力に使用したALC版の寸法および単位面積当りの重量を表-2に示す。但し、実験を実施した日が雨

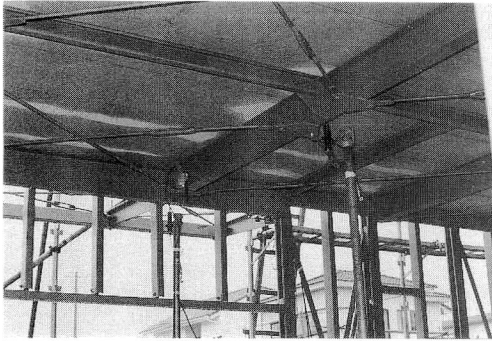


写真-2 試験体各部の状況 (梁たわみ測定位置)

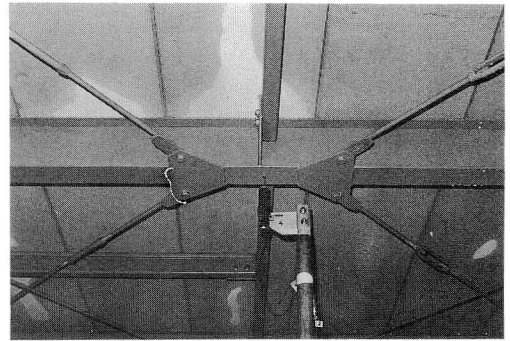


写真-4 G1 ばりのたわみ測定状況

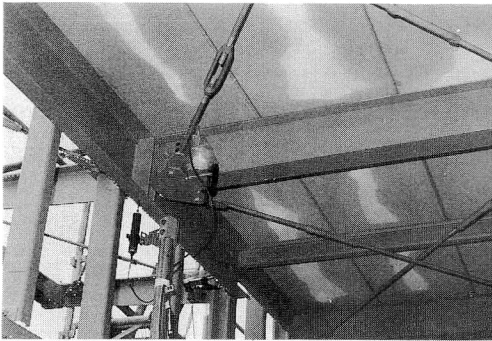


写真-3 G2 ばりのたわみおよび接合部回転角の測定状況

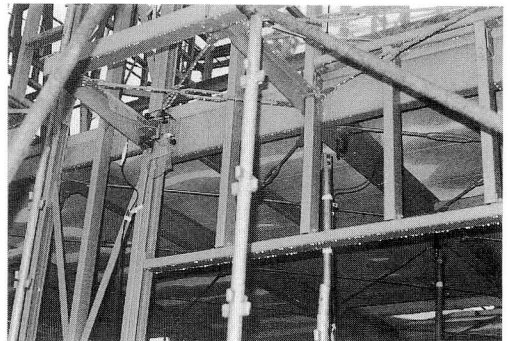


写真-5 G2 ばりの支点ねじり(水平変位)測定状況

表-2 載荷用 ALC 版の寸法, 及び単位面積当りの重量

No	長さ×幅×厚×個数	No	長さ×幅×厚×個数
1	1,840×500×100×1	11	1,840×302×100×1
2	1,840×500×100×1	12	1,840×302×100×1
3	1,840×500×100×1	13	1,000×500×100×2
4	1,840×500×100×1	14	1,075×500×100×2
5	1,840×500×100×1	15	1,820×500×100×1
6	1,830×500×100×1	16	1,825×500×100×1
7	1,875×500×100×1	17	56+70+68+72kg*
8	1,875×500×100×1	18	—
9	1,980×500×100×1	19	1,830×500×100×1
10	1,980×500×100×1	20	1,350×500×100×1
単位面積当り重量(kg/m ²)		70	

註・No. は, 各荷重段階を示す。
 ・*印は, 人の体重の和を示す。

天であったため, 各 ALC 版の乾燥状態が異なっていた。それゆえ, この単位面積当たりの重量は ALC 版の湿潤状態時と乾燥状態時での平均値 (実測値) で示している。

G1 ばりのスパン中央位置でのたわみ, および G1 ばりと G2 ばりとの交点位置での G2 ばりのたわみを変位計を用い測定した。また, G1 ばりと G2 ばりとの接合部位置で G1 ばりの支点回転量を傾斜計を用いて測定した。さらに, G2 ばりの C1 柱側端部 (図-3 参照) におけるはりのねじれ量を求めるために, G2 ばりの上端および下端位置で各水平変位を測定した。但し, 測定点間距離は 20.9cm である。

3. 実験結果およびその検討

3.1 実験結果

G1 および G2 ばりの荷重-たわみ関係, G1 ばりの G2 側支点での荷重-回転角関係, および G2 ばり

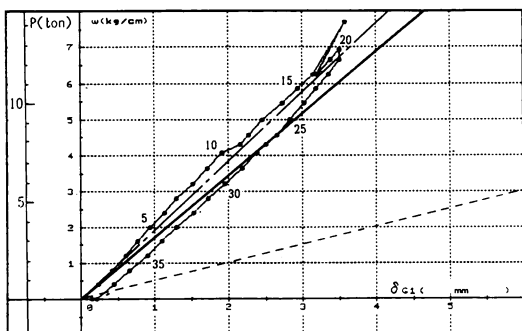


図-4(a) 荷重-G1 ばり中央たわみ関係

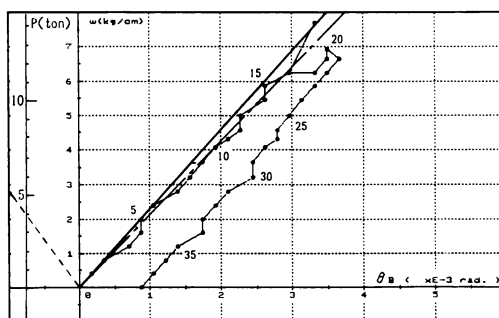


図-4(c) 荷重-G1 ばりB支点回転角関係

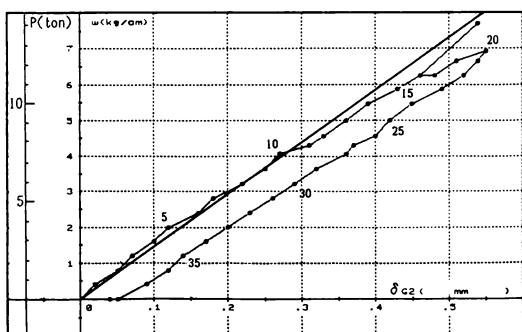


図-4(b) 荷重-G2 ばりたわみ関係

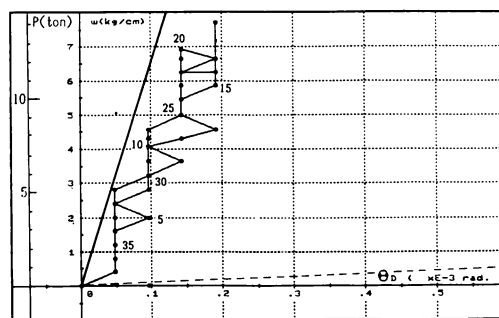


図-4(d) 荷重-G2 ばりD支点ねじり角関係

のC1柱側での荷重-ねじり角関係を図-4(a)~(d)に示す。各図は、実験で加えた載荷荷重と各変形関係で示している。また、各図中、履歴曲線に付した数値は測定番号を、黒丸印は各測定段階を示す。

実験で得られた各々の荷重-変形曲線において、載荷時と除荷時での履歴ルートが異なるのは図-4(c)から分かるように、G1 ばりのG2側支点の回転角の急激な増加による。その原因は、G1 ばりとG2 ばりとのボルト接合部における滑りの発生であろう。

3.2 解析

G1 ばり、およびG2 ばりの使用時荷重での変形状を評価するために、図-5に示すモデルを設定した。なお、実験時点ではバルコニー部の床版は設置されていなかったため、解析ではその重量は考慮していない。

3.2.1 仮定

解析に用いた仮定を以下に記す。

1° 固定荷重は、床スラブ版、G1 ばり、G2 ばり

B3 ばり、およびSb ばりの自重のみとする。

2° G1 ばり、およびG2 ばりの各支点ボルト接合部は、ピン節点とする。

3° G2 ばり両端部支点は、ねじり変形に対して固定端とする。

4° G2 ばりのG1 ばりによるねじりに対する抵抗は次の2つの場合を仮定をする。

4-1° G2 ばりのみにより抵抗(ねじり抵抗およびり抵抗)する場合。

4-2° G2 ばりの抵抗およびG2 ばりのねじり角が最大となる交点C(図-5(c)参照)にある間柱のみを通して窓枠より抵抗を受ける場合。ここで、間柱の剛性は無限大とする。

5° 部材の変形は、曲げ変形のみを考慮する。

6° G2 ばりの変形計算に際しては、ねじり変形によるたわみの増加は無視する。

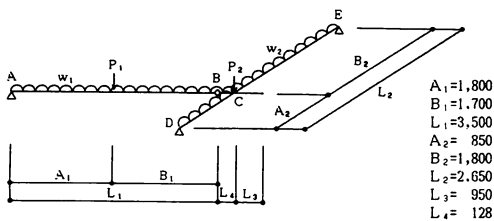


図-5(a) 固定荷重・積載荷重のモデル

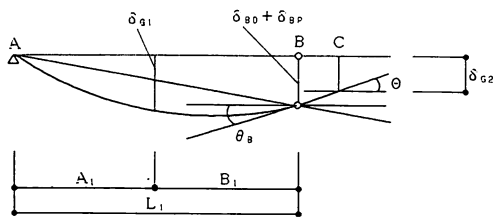


図-6 記号の定義

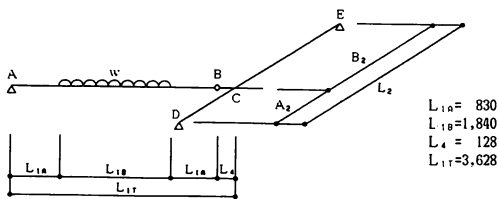


図-5(b) 載荷荷重のモデル

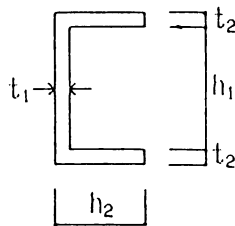


図-7 溝形鋼の断面寸法・記号

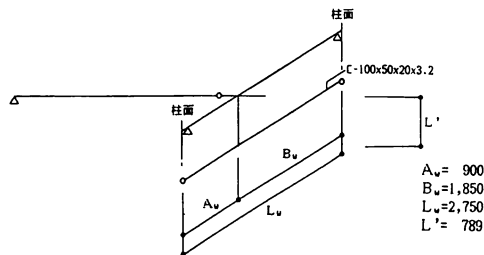


図-5(c) 窓枠のモデル

3.2.2 たわみと回転角

前節の仮定を用い、G1 ばりの中央たわみ δ_{G1} 、B 点での水平線からの回転角 θ_B 、および G2 ばりの C 点でのたわみ δ_{G2} は、固定荷重と載荷荷重との和で次のように表せる (図-6 参照)。ただし、同式中の添字 D は固定荷重を、添字 P は載荷荷重を表す。また、 δ_{G1D} 、 δ_{G1P} 、 δ_{G2D} 、 δ_{G2P} および θ_{BD} 、 θ_{BP} は、G1 ばりおよび G2 ばりをそれぞれ単独ばりとした場合の固定荷重および載荷荷重による各梁のたわみと B 点の回転角である。

$$\delta_{G1} = \delta_{G1D} + \delta_{G1P} + (\delta_{BD} + \delta_{BP}) \cdot A_1 / L_1$$

$$\delta_{G2} = \delta_{G2D} + \delta_{G2P}$$

$$\theta_B = \theta_{BD} + \theta_{BP} - (\delta_{BD} + \delta_{BP}) / L_1$$

ここに、

$$\delta_{G1D} = -\frac{P_1 A_1^2 B_1^2}{3EI_1 L_1} - \frac{w_1 A_1}{24EI_1} (L_1^3 - 2L_1 A_1^2 + A_1^3)$$

$$\delta_{G1P} = -\frac{wL_{1B}}{48EI_1 L_1} \left\{ \frac{L_1^2}{2} (2L_1^2 - L_{1B}^2) + \frac{2L_1}{L_{1B}} \left(\frac{L_1}{2} - L_{1A} \right)^2 \right\}$$

$$\delta_{G2D} = -\frac{(V_{BL} + P_2) A_2^2 B_2^2}{3EI_2 L_2} - \frac{w_2 A_2}{24EI_2} (L_2^3 - 2L_2 A_2^2 + A_2^3)$$

$$\delta_{G2P} = -\frac{V_{BP} A_2^2 B_2^2}{3EI_2 L_2}$$

$$\theta_{BD} = -\frac{P_1 A_1}{6EI_1 L_1} (L_1^2 - A_1^2) - \frac{w_1 L_1^3}{24EI_1}$$

$$\theta_{BP} = -\frac{wL_{1B}}{48EI_1} (3L_1^2 - L_{1B}^2)$$

$$\delta_{BD} = \delta_{G2D} + \theta_{CD} L_4, \quad \delta_{BP} = \delta_{G2P} + \theta_{CP} L_4$$

$$V_{BD} = \frac{P_1 A_1}{L_1} + \frac{w_1 L_1}{2}, \quad V_{BP} = \frac{wL_{1B}}{2}$$

$$\theta_{CD} = k \frac{A_2 B_2}{L_2} \cdot \frac{M_{TD}}{GI_P}, \quad \theta_{CP} = k \frac{A_2 B_2}{L_2} \cdot \frac{M_{TP}}{GI_P}$$

$$M_{TD} = P_2 D_3 - V_{BD} L_4, \quad M_{TP} = -V_{BP} L_4$$

$$k = \frac{1}{1 + \frac{A_2 B_2}{L_2} \cdot \frac{1}{GI_P} \left[\frac{3EI_f L_1 h^2}{2A_1^2 B_1^2} + \frac{3EI_w L_w L^2}{A_w^2 B_w^2} \right]}$$

P_1 : Sb の自重 (=10.5kg)

P_2 : B3 の自重 (=18.1kg)

I_1 : G1 ばりの断面 2 次モーメント (強軸)

I_2 : G2 ばりの断面 2 次モーメント (強軸)

I_f : G2 ばりフランジ片側の断面 2 次モーメント

- I_w : 窓枠材の強軸廻りの断面 2 次モーメント
 (=107cm⁴)
 I_p : G2 ばりのねじり抵抗
 (= $\Sigma h_n t_n^3/3$ 。記号については図-7 参照)
 w_1 : 床スラブ版, および G1 ばりの自重の和
 (=148kg/m)
 w_2 : G2 ばりの自重 (=17.9kg/m)
 w : 載荷荷重
 G : 鋼のせん断弾性係数
 (= $E/2(1+\nu)$, $\nu=0.3$)
 E : 鋼のヤング係数 (= 2.1×10^6 kg/cm²)
 L_w : 窓枠材のスパン寸法 (=275cm)
 h : G2 ばりのフランジ中心間距離 (=24.4cm)
 $A_w=90$ cm, $B_w=185$ cm, $L'=78.9$ cm

上式において, k は G2 ばりのみによりねじりに抵抗する場合は 1 とする。また, 他の記号については図-5 を参照。

3. 3 実験と解析との比較

実験結果と解析結果との比較を図-4 (a)~(d) に示す。各図中において, 破線は窓枠が G2 ばりのねじり抵抗に協力しないとした場合であり, 実線は協力するとした場合である。また, 図-4 (a), (c) 中に示す一点破線は G1 ばりを A, B 両支点間の単純ばりとした場合の値である。なお, 図-4 (d) の D 支点でのねじり角の解析値は, 柱面位置での部材ねじり角を 0 とおき, G2 ばり C 点でのねじり角をもとにして柱面より 5 cm 離れたピン節点 D でのねじり角で示している。

図-4 (d) から分かるように, D 支点は 3.2.1 節の仮定 3° で示した「ねじりに対して固定端」とはなっていないが, 実験値は G2 ばりのねじり抵抗に窓枠の協力を考慮した解析値に極めて近い値を示している。また, 図-4 (a), (c) から分かるが, G1 ばりの中央たわみ, および B 点の回転角の剛性は G2 ばりのねじり抵抗に窓枠も協力するとした場合に近い値を示している。なお, 同図(c)において窓枠の協力を無視した場合の解析値が実験値と反対の符号を示しているが, これは G2 ばりのねじり抵抗が小さいため B 点のたわみが非常に大きくなり, そのために G1 ばりの部材角が G1 ばりを単純ばりとした場合の B 点の回転角よりも大きくなったためである。これらのことから, この架構では G2 ばり単独では梁のねじり抵抗が

不足しているけれども, 間柱等の 2 次部材の協力により構造物全体としてねじりに抵抗していることが分かる。換言すると, 通常的设计において無視されがちな間柱等の 2 次部材も合理的に考慮すれば, 1 次部材の断面をより小さくできるとともに, 部材の軽量化およびコストの低減ができると言える。

また, 図-4 (b) より, 窓枠は G2 ばりのたわみ(解析値は, ねじり抵抗のみ考慮し, 重ねばりとしての効果は考慮していない)にはほとんど影響を与えていないことが分かる。

図-4 (a), (c) より, G1 ばりの中央たわみ, および B 点の回転角の実験値は, G1 ばりを A, B 両支点間の単純ばりとした解析値よりもわずかに剛性が高い。これは, A, B 両支点のボルト接合部がボルトの締付け力によりピン節点としてではなく, より固定度の高い節点として作用していることが一因であろう。

窓枠の協力を考慮した場合の荷重-たわみ関係の剛性は実験で得られた剛性に近いので, この解析値を用いて G1 ばりおよび G2 ばりの使用時状態でのたわみ検討する。固定荷重による G1 ばりおよび G2 ばりのたわみの解析値は, $\delta_{G1D}=1.24$ mm, $\delta_{G2D}=0.24$ mm であった。この解析値と載荷荷重によって得られた使用時状態近傍 ($w=7.00$ kg/cm) での各はりのたわみの実験値 ($\delta_{G1T}=3.51$ mm, $\delta_{G2T}=0.55$ mm) との和を自重も無視した無荷重状態からの各はりのたわみ δ_{G1}' , δ_{G2}' とすると, G1 ばりでは $\delta_{G1}'=\delta_{G1D}+\delta_{G1T}=4.75$ mm, G2 ばりでは $\delta_{G2}'=\delta_{G2D}+\delta_{G2T}=0.79$ mm となる。軽鋼構造設計施工指針では, はりのたわみがスパンの 1/300 以下になるように規定している。上記の場合について考えると, G1 ばりおよび G2 ばりについて

$$[G1 \text{ ばり}] \delta_{G1}'=4.75 < 3,800/300=12.67$$

$$[G2 \text{ ばり}] \delta_{G2}'=0.79 < 2,850/300=9.50$$

となり, 規定を満たしている。また, 解析値を用いて検討しても,

$$[G1 \text{ ばり}] \delta_{G1}'=5.30 < 3,800/300=12.67$$

$$[G2 \text{ ばり}] \delta_{G2}'=0.71 < 2,850/300=9.50$$

となり, 規定は十分に満たされている。

本解析では, バルコニー部の重量を考慮していないが, 実際にはこの荷重が加わる。この荷重は, G2 ばりに片持ばりとして取り付けられた CG1 ばりに作用するので, G2 ばりの上フランジは外側へねじりをうける。その結果, G2 ばりのたわみはこの荷重により多少増加することになるが, G1 ばりではたわみが減少することになる。

4. むすび

建物の外周架構の柱-梁接合部に大きな偏心を有する軽量鉄骨造住宅建築の鉛直載荷実験を行い、梁の変形性状および間柱等の2次部材が主体構造に与える効果を検討した。

[謝 辞]

本実験を行う機会を快く与えて下さった東洋ハウス(株)の各位、ならびに実験実施にあたり協力して頂いた

鹿児島大学大学院生・酒見敏孝及び雀ヶ野浩君にここに記して謝意を表します。

[文 献]

- 1) 須田松次郎；建築経済統計図表 No.835, 建設生産活動の推移(プレハブ住宅), 建築技術, 1988.4, pp.29~30.
- 2) 日本建築学会；軽鋼構造設計施工指針・同解説(1974).
- 3) 日本建築学会；鋼構造設計規準(1973).