

軽量形鋼を用いた鉄骨構造

仲 威雄 * 加藤 勉 **

1. 軽量形鋼と軽構造

薄鋼板の製産量の急速な増大に対応して軽量構造が注目されてきた。軽量形鋼は1～4mm厚の薄鋼板を冷間成形またはプレスにより形鋼としたものである。その種類は現在、ミゾ形鋼、リップミゾ形鋼、山形鋼、リップ山形鋼、Z形鋼、リップZ形鋼、ハット形鋼、の7種類および床版に用いるデッキプレートが生産されている。(1図)

これらと鋼板とを併用すれば、構造物の骨組と平面部分(壁体、屋根、床版)を構成することができる。

1 図

従来の市販熱間圧延形鋼によつては所要の曲げ剛性に比べて不経済な断面重量を余儀なく使わねばならなかつた場合に、これらの軽量形鋼を用いることができる。すなわち軽量形鋼は熱間圧延の操作では困難なフランジの出を大きくすることが自由であるから断面積の割に断面二次モーメントが大きい。この利点を活用して比較的受ける荷重の小さい住宅、アパート、診療所、学校、工場などが数多く建築されている。これらの建物を鉄筋コンクリート造とした場合に比較すると、柱の受ける軟弱地盤のときには基礎工費の大きな節約にもなっている。

ミゾ形鋼	
Z形鋼	
山形鋼	
リップミゾ形鋼	
リップZ形鋼	
リップ山形鋼	
ハット形鋼	

軽量形鋼を最初に実用に併しようとする研究を始めたのは米国のコーネル大学で、1939年、米国鉄鋼協会の依頼に基くものであつた。爾來George.Winter教授の手で調査、研究が進められ1946年に設計基準書が発表された。我国では1957年10月に日本建築学会より薄板鋼構造計算規準が発表された。軽量形鋼のJIS規格はJIS.G.3350

* 東京大学教授、工博

** 東京大学講師、工博

「建築構造用冷間成形軽量形鋼」が1957年に制定されている。

2. 軽量形鋼の力学的特性

2.1 セン断中心に関連する問題

- a) 軽量形鋼はその製造方法からみて明らかな如く、一軸対称の開断面材が大部分である。一軸対称開断面ではその重心とせん断中心とは一致しない。

単一材の座屈は、一般には曲げと捩れとを同時に伴って起り、従来のオイラー座屈荷重は荷重がせん断中心に作用した場合の特定の座屈値を与えるにすぎない。

従つて材の座屈値は断面の捩れ抵抗の大小に大きく左右される。

一軸対称開断面材がその対称軸上の任意の点に圧縮力を受けるとき(2図)の座屈荷重 P は次式で与えられている。1)、2)

$$P = \frac{(P_w + \alpha \cdot P_{EY}) - \sqrt{(P_w - P_{EY})^2 + 4P_w P_{EY} \left(\frac{\chi_0}{\rho_0}\right)^2}}{2\left\{\alpha - \left(\frac{\chi_0}{\rho_0}\right)^2\right\}} \quad (1)$$

$$\text{ここに、} \alpha = 1 - e_{\chi} \cdot \frac{\theta_1}{\rho_0^2}, \quad \chi_0 = \chi_0 - e_{\chi}, \quad \theta_1 = \frac{\Phi_1}{I_Y},$$

$$P_{EY} = EI_{\chi} \cdot \frac{\pi^2}{l^2} : \chi - \chi \text{ 軸まわりのオイラー曲げ座屈荷重。}$$

$$P_w = \frac{1}{\rho_0^2} (GJ_T + ECbd \cdot \frac{\pi^2}{l^2}) : \text{ワグナーの捩り座屈荷重。}$$

$$\Phi_1 = \int^A \chi(\chi^2 + y^2) dA - \chi_0 \rho_0^2 A, \quad \rho_0^2 = \frac{\int^A (\chi^2 + y^2) dA}{A}$$

3図は図中に示すような形状を有するアルミニウム製の開断面材について(1)式による座屈値と実験値とを示したものである。2) 図に見る如く座屈荷重はオイラー座屈値 P_{EX} ($\chi - \chi$ 方向の曲げ座屈値) よりもはるかに低い値となり、また重心から偏心の方向によつてその値が大きく異なる。写真1は同試験体の座屈後の変形を示すものである。

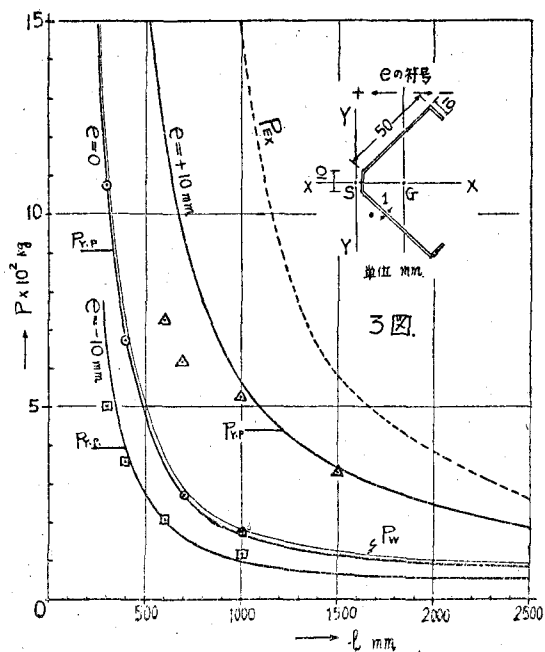
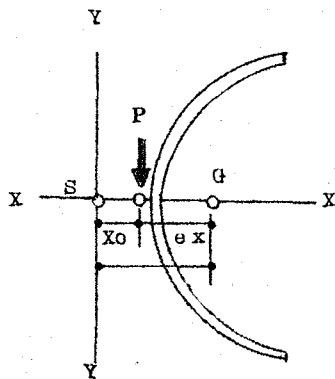
市販の軽量形鋼では断面の捩れ抵抗が上記試験体より大きく、従つて捩り変形による座屈荷重の低下もさほど著るしくはないが定性的には当然同じ傾向を有するものであるから充分な注意を要する。

- b) 一軸対称開断面材。例えばミソ形鋼を単独ではりとして用いる場合、荷重をせん断中心(捩れの中心)に作用させることは困難であるから(せん断中心が断面の外にあ

る。4図), はりは曲げと同時に捩れを伴う。このことは既に1910年O. Back³⁾によつて指摘されていたのであるが、従来の熱間圧延形鋼にあつては断面の捩れ抵抗が大きく、捩れ角も小さかつたので大きな問題とはされなかつた。断面の捩れ抵抗の比較的小さい軽量形鋼では捩れ角は大きく設計に際して無視することはできない。

4), 5)。

この場合捩れ角は、捩れの基本式。



$$\left\{ \begin{array}{l} ECbd \frac{d^3 \theta}{d\chi^4} - GJ_T \frac{d^2 \theta}{d\chi^2} - M_T = 0 \\ M_T \text{ は単位長さ当りの捩りモーメント、例えば} \\ 5 \text{ 図では } M_T = q(e \cos \theta + h/2 \sin \theta) \end{array} \right. \quad (2)$$

写真 1

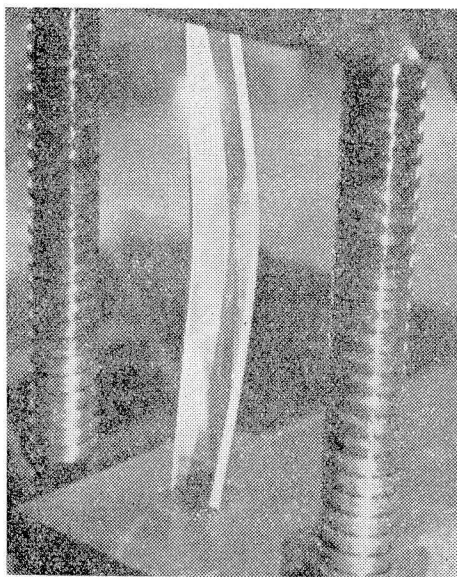
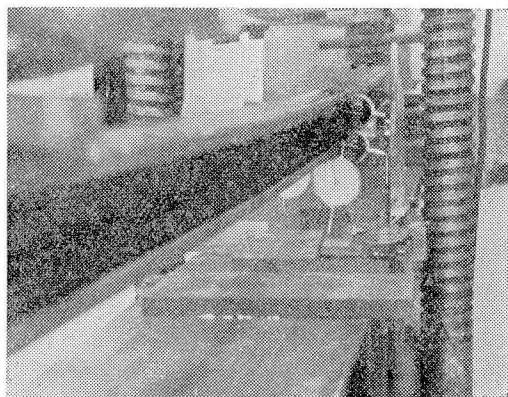


写真 2



4 図

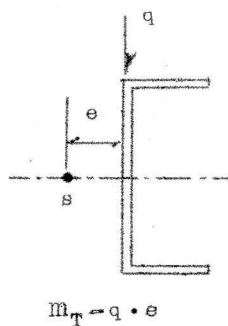
を解くことによつて求められる。

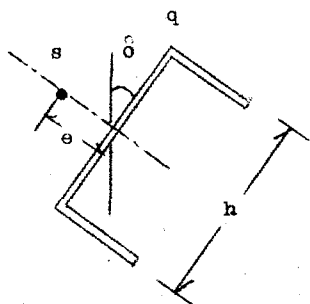
またこの拘束捩りによつて断面内には
附加的直応力

$$\sigma_T = E \cdot W \cdot \frac{d^2 \theta}{d\chi^2}, \quad W = \int^u r u \cdot du: \text{断面}$$

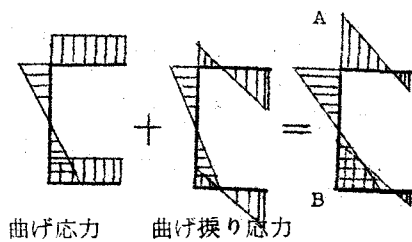
の単位反り量 (3)

を生じ 6 図に示すごとく A, B 点では
過応力となつて早期に降伏点に達する。

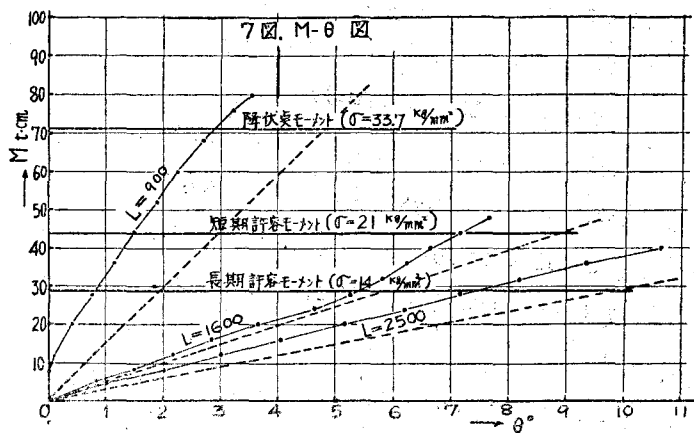




5 図



6 図



7図は2点荷重試験による〔-100×50×3.2のM-θ関係を示し(点線は理論値)、写真2は実験中の変形状態を示している。

2.2 局部座屈と座屈作の性状

8図(a)に示すような両縁単純支持の薄板が支持縁に平行な圧縮力を受けるときの板の座屈応力度はG. H. Bryan⁶⁾によつて求められた。

$$\sigma_{cr} = \frac{K\pi^2 E}{12(1-\nu^2)} \left(\frac{t}{b}\right)^2 \quad (4)$$

t : 板厚、 b : 板巾、 K : 板の形状、支持条件に関する常数

この座屈が起つた場合、自由に変形しうるのは板の中央部分のみであり、支持縁接近傍は拘束を受けて変形し難い。従つてこの板に更に圧縮力を加えるときは、板の中央部分では

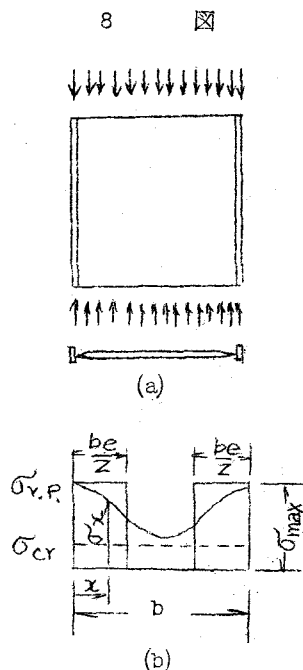
応力度は座屈応力度に近い値に止るが、両縁では応力度が増大しその値が材料の降伏点に達する迄は圧縮荷重に耐えうる。(8図(b))。

即ち長柱の座屈がそのまま破壊を意味するのに対し、板の局部座屈は単にその点で応力の再配分が行われることを示すにすぎず、板は更に大きな荷重に耐えうるのである。座屈荷重と最大耐力との比は板厚 t 、が小さい程、板巾 b が大きい程大きい。局部座屈後の板内応力分布に関する数学的取扱いは複雑で、わずかにK. Marguerreの報告があるのみである。⁷⁾

1932年Theodor von Karmann は板の終局耐力を与える式を半経験的に導いた。⁸⁾ 即ち8図(b)において一種の有効巾 b_e を考え、両縁から $b_e/2$ の巾が降伏点応力度 $\sigma_{Y.P.}$ で一様に圧縮されて全荷重(曲線下の面積)に耐えるものとする、

$$\int_0^b \sigma_x \cdot t \cdot dx = b_e \cdot t \cdot \sigma_{Y.P.}$$

Karmann はこの有効巾 b_e の値として



$$be = 1.9 t \sqrt{E/\sigma_{Y.P}} \quad (5)$$

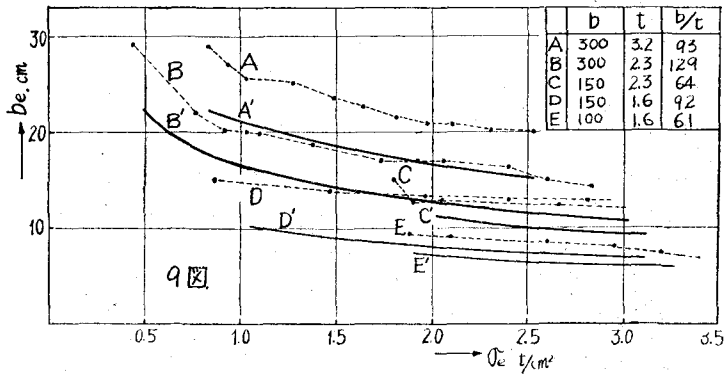
を与えた。

(5)式の妥当性を検討するために E. E. Sechler が種々の材について実験を行つた結果、係数 1.9 は可變的であり、板巾と板厚の比 b/t が非常に大きいときにのみ 1.9 に近づくことを示した。⁹⁾ 航空機機体構造の設計では係数 1.7 を採用している。

G. Winter は局部座屈後の任意の状態における有効巾を実験的に追求し、次式を導いた。¹⁰⁾

$$be = 1.9 t \sqrt{E/\sigma} \{1 - 0.475 (t/b) \sqrt{E/\sigma}\} \quad (6)$$

9 図は筆者等の実験値¹¹⁾と(6)式の値とを比較したものであるが大略妥当な値を与えている。



米国の薄板鋼構造仕様書¹²⁾では(6)式を採用し be の値を図表によつて与えている。日本建築学会、薄板鋼構造計算規準では T. V. Kármán の形式 $be = C \cdot t \cdot \sqrt{E/\sigma}$ をとり σ に夫々長期、短期の許容応力度を入れて、

$$\begin{cases} \text{長期} & be = 50 \cdot t \\ \text{短期} & be = 40 \cdot t \end{cases} \quad (7)$$

と板厚 t のみの函数として与えている。

2.3 その他

- (a) 薄板構造では shear lag の影響も無視できない。集中荷重を受ける短かいはりで、フランジ巾の広いときは引張側フランジに起る shear lag を考慮して日本建築学会、薄板鋼構造計算規程では次の有効巾を規定している。

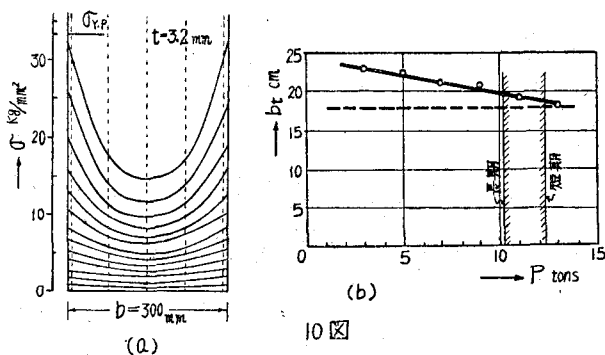
3.0 $b > L$ のとき

$$b_t = \left(0.3 + 0.13 \sqrt{\frac{L}{b}} \right) b \quad \text{mm} \quad (8)$$

ただし $b_t \leq b$

L : スパン、 b : フランジ突出部の巾、

10 図(a)は集中荷重を受ける箱形断面梁の引張側フランジの応力分布を荷重点下で測定したものの一例であり、10 図(b)はこの実測値に基いて算出した有効巾を(8)式の与える値と比較したものである。(13)



10 図

- (b) 薄板では応力集中が生じた場合、塑性応力の再分配が行われ難く早期の破壊を起すことがある。また集中荷重点附近の局部変形が大きくなり易い。

リベットまたはボルトによる材の接合部ではピッチ、はしあき等に注意すべきでありまたその接合部は局部変形のためには剛接合とは考え難い。

上記の観点から現在軽量形鋼による建築構造物では剛接骨組を考えず、水平力は軸組筋違に負担させるのが普通となつているが、この場合柱と筋違との接合部において柱面が筋違いから受ける集中力は非常に大きく、通常の設計ではその接合部の局部変形が筋

違そのものの伸び量の数倍にも及ぶことがある。14)

従つてこの種の接合部には充分な補強が必要であると同時に全体計画として筋違を成可く数多く分散配置することが望まれる。

- (c) プレート・ガーダーのウェブプレートに薄板を用いるときには張力場理論による設計を行つた方が経済的となることがあり、上記は日本建築学会、薄板鋼構造計算規準にはその設計方法が規定されている。薄板鋼構造の床版に補剛鋼床版(デツキプレート等)を用いれば構造物の軽量化という意味でその妙味を発揮でき、既に一部製鉄会社ではその生産を開始している。このような補剛鋼床版が地震、颱風等の水平せん断力を受ける場合にも、その薄板平板部分は一種の張力場として作用することが期待される。

3. 構造設計とその問題点

軽量形鋼は従来の熱間圧延形鋼に比して単位重量当りの断面効率が格段と高いから、2.で述べた如き力学的特徴に充分注意をすればこれを用いて経済的な構造物を設計することができる。設計の方針は軽量形鋼のもつ特徴を考慮すれば自ら二つに大別できよう。即ち、一つは従来の熱間圧延形鋼または他の材料と混用し、荷重の種類、大きさ、に応じて適材適所とするものである。

写真 3

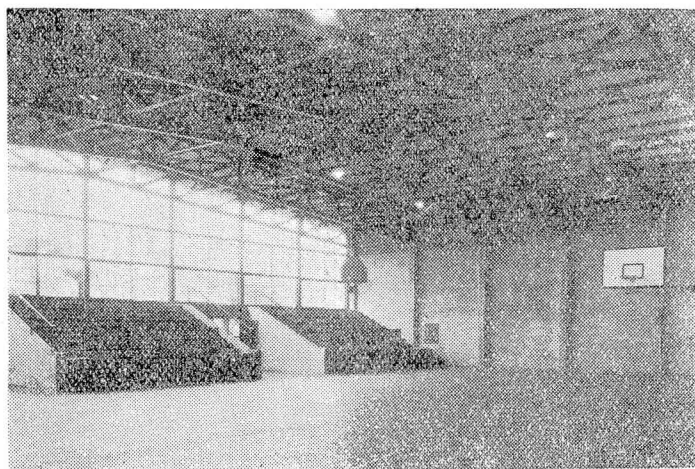
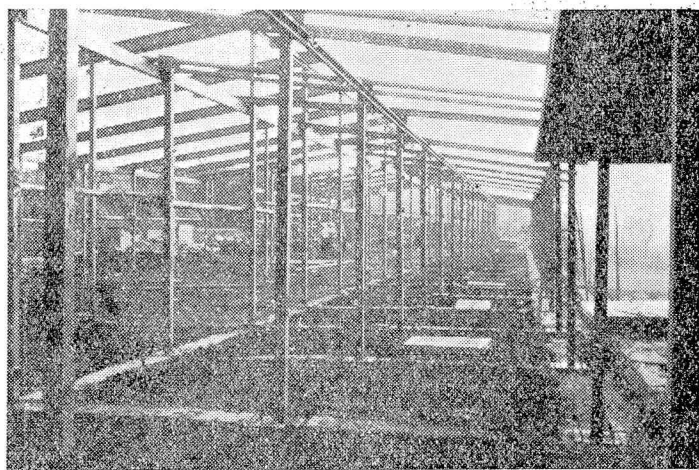


写真 3 は筆者等の設計した中学校体育館⁽⁵⁾でスパン 27 m である。この体育館では柱は鉄骨鉄筋コンクリート構造、壁体は鉄筋コンクリート構造とし、梁、母屋等屋根面は全部軽量形鋼を使用している。比較的長スパンの架構であるから自重の小さいこと、断面係数、回転半径の大きい点が設計を非常に楽にした。

他の一つは量産化（同形式の骨組を数多く建てる）の可能な比較的小規模の建築物、例えば共同住宅、小学校等に利用する場合である。これらの場合には軽量形鋼を加工、集成することを極力避けて素材のままで柱、梁等の構造部材に使用することが出来る。之によつて加工費を節約すると同時に、重量が小さいので建築に当つて動力を使用する必要がなく殆んど人力のみで組立てうるのである。他に工期の短縮及び 1. で述べた基礎工費の低減といった利点あげられる。

写真 4 は上記の方針で設計した小学校校舎の骨組で柱梁接合部、其他接合部はすべてボルト接合である。（写真 5）このような場合、高張力鋼ボルトを用いて、接合される板間の摩擦力によつて応力を伝える設計を行えば 2. 3(b) に述べた局部変形を除去し、殆ど剛接合に近い性能を示すことが判つている。17)

写真 4



このようにして軽量形鋼構造は建築構造の分野に新しい位置を占め、更に橋梁、船舶、車輛、自動車等の分野に迄及ぼうとしているが、その発展にともなつて早急に解決さるべき種々の問題点も提起されている。

その主要なものの一つに施工法の問題がある。軽量形鋼の構造ではアーク溶接、ガス溶接、抵抗溶接等広範囲の溶接が利用できるが、従来の鉄骨製作工場には薄板に適するようなそれらの設備がなく重構造用の設備をそのまま使つて能率を低下させている場合が多い。

溶接機、溶接棒、治具、切断機器等軽量形鋼の加工に適したものの整備が望まれる。

一方設計者の側でも薄板の加工に対する特徴を理解して無理のない設計を行うことが必要である。

防錆問題は他の一つの大きな問題であるが、之は根本的には鋼構造一般に対する課題であり、且つ本論の範囲外であると考えるのでここではふれない。



[文献]

- 1) ・仲威雄、加藤勉、開断面材の弾性安定、日本建築学会論文報告集、第61号発表予定
奥村敏恵：曲げモーメントと軸圧縮力を受ける部材の安定、土木学会論文集、第33号
(昭和31年4月)
・Masatsugu Kuranishi: Some Recent Investigation on the Elastic Stability of Bars. Rept. of the Research In-
search of Technologg Nihon Univ., No1 July. 1952.
- 2) ・仲威雄、加藤勉、一軸対称開断面材の座屈実験、日本建築学会論文報告集、60号、
1958.
- 3) ・C. Back V.D.I. 1910
Back-Baumann. Elaotizitat und Festigkeit. 1924. Julius

Springer.Berlin.

- 4) . 仲威雄・加藤勉・齋藤光.

薄鋼板構造に関する研究(2) 一振り性状について一

同 (3) 一溝形断面梁の曲げ実験一

日本建築学会関東支部第20回研究発表会(1956年6月)

- 5) 横尾義貫・五十嵐定義、薄板形鋼の振れに就いて、

日本建築学会、論文報告集、1957年7月

- 6) K.Marguerre, Die mittragende Breite der gedruckten
platte. Luftfahrt-Forschung, vol14, P121, 1937.

- 7) T.v.Karman. Tuans, ASME. vol54, No1. P53, 1932.

- 8) E.E.Sechler. Publication No27, Guggenheim Aeronautics
Laboratory, California Inst.of Tech. 1933.

- 9) G.Winter. Trans.ASCE.vol112, P527. 1947.

- 10) 仲威雄・加藤勉・軽量形鋼の曲げ実験

日本建築学会関東支部第19回研究発表会・1956年3月

- 11) Specification for the Design of Light-gage Steel st-
ructural members.Amev.Iron.and Steel Institute.1946.

- 12) 仲威雄・加藤勉・薄鋼板構造に関する研究(7)

一集中荷重を受ける梁の引張側フランジに起る Shear lagと有効巾一

日本建築学会関東支部第24回研究発表会、1958年6月

- 13) 仲威雄・藤本盛久・加藤勉

筋違を有する薄鋼板構造骨組の実験(1.2)

日本建築学会論文報告集、第57号。1957年7月

- 14) 東京都北区立飛鳥中学校体育館

- 15) 東京都目黒区立宮前小学校(旧・八雲小学校分校)

- 16) 仲威雄・加藤勉・吉本昌一、

高張力鋼ボルトに関する研究(4) 一摩擦ボルトによる柱・梁接合一

日本建築学会関東支部第24回 研究発表会、1958年6月