

異形ハニカム鋼の耐力（その1）

——台形ラチス鋼 LA-1 の場合——

岡田 宏 鼻 高 淳

(本社建築本部設計第三部)

木村 耕三 田村 志郎

(本社建築本部設計第三部)

武田 寿一

Strength of H-Shape Steel Member with Trapezoidal Lattice in Web (Part 1)

——Case of Steel Member LA-1——

Hiroshi Okada Sunao Shotaka

Kozo Kimura Shiro Tamura

Toshikazu Takeda

Abstract

This paper describes the fundamental features of a steel member with trapezoidal lattices in webs. This steel member (tentative name: LA-1) is built up from a H-shape steel member by cutting web zones with zigzag lines and rejoining. As a result, this member with trapezoidal lattices has no eccentricity between each imaginary lattice center line at chord member. Therefore, more bending moment capacity is obtained compared with the original H-shape. To use this member in a steel frame, a comparatively free structural design can be secured by considering the lower limit of shear span determined from the combination of bending capacity and shearing capacity.

概 要

本報告は SRC 構造の改良，経済性の向上を目的とする研究の一端として，H 型鋼のウェブをジグザグ状に切断して上下に切り離したのち再接合して製作する一種の異形ハニカム鋼（仮称，台形ラチス鋼 LA-1）の耐力に関するケーススタディをまとめたものである。H 型鋼のウェブの切断線に若干の規則を設けて製作する LA-1 はラチス材とガセットプレートを用いたラチス鋼と考えられ，各ラチス材の重心線が弦材の重心線上の一点で交叉するので，一種のトラス材として簡単に耐力を計算することが可能である。耐力的には，オリジナル H と比較して曲げ耐力がかなり増大する一方，せん断耐力は低下するが，架構の部材として使用する場合にあたり，曲げ耐力とせん断耐力からきまる部材長さの下限値に注目してオリジナル H の品種や LA-1 の断面せいの選択を行うことにより，設計上の自由度がかなり確保されることがわかった。

1. 序

鉄骨鉄筋コンクリート構造計算規準の中で，特に部材のせん断力に関する規定には，建物の耐震性能を十分確保する見地から，注目すべき設計上の制限事項が相当盛り込まれている。中でも，鉄骨とコンクリートとの間の付着を原則として認めず，従って両者の間に応力の移行が生じないという前提に立脚し，両者が独自に，曲げ耐力とせん断耐力をバランスさせる規定および，鉄骨のかぶり厚さに関する，コンクリートのせん断付着耐力の

検討を必要とする規定などは設計上影響が大きいの。

本研究は，鉄骨と鉄筋コンクリートの一体性を強化しかつせん断付着耐力も含む耐力レベルなどの向上をはかりながら経済的な鉄骨鉄筋コンクリート構造部材の開発を目的として，先づ第一段階でこの目的に沿う鉄骨部材の開発の可能性について検討を行った。本報告には，検討の一部分として一種の異形ハニカム H 型鋼の形状および耐力に関するケーススタディの結果を示す。

在来のハニカム H 型鋼は図-1 に示す周知の方法で製作され，耐力計算式や載荷時の弾塑性性状に関して十分

な検討が行われているばかりでなく広範な実用の実績があることも周知の事実である。

今、H型鋼の切断方法を若干変更して、図-2に示す方法で製作する一種の異形ハニカムH型鋼（別名皿型ハニカム¹⁾）に注目してみる。図に示すように、ウェブ部分を構成する台形状のプレートの組み合わせによって、ラチス材とガセットプレートを兼用した一種のラチス鋼が形成される。本報告では、このラチス材の重心線相互が弦材の重心線上で、図-2(b)に示す偏心 e_0 を生じない場合の形状に着目し、便宜的に台形ラチス鋼 LA-1(以下単に LA-1 と略称する)と呼称し、曲げ耐力およびせん断耐力の弾性範囲内の解析的検討を行う。

2. 台形ラチス鋼 LA-1 の製作方法

図-3にH型鋼を切断し、再接合して製作する LA-1の形状および寸法記号を示す。製作にあたり先ず適当なH型鋼（フランジ幅 B 、同厚さ t_F 、全せい h 、ウェブ厚さ t_w ）を選択し、次にT型断面を有する LA-1の弦材部のせい a およびラチス材相当部分（以下単にラチス材と呼称する）の弦材部分（以下単に弦材と呼称する）に対する傾斜角 θ をきめれば、LA-1の台形ラチスのせい b （ $=h-2a$ ）および LA-1の全せい H_0 （ $=2a+2b$ ）が順次求められる。台形ラチスの他の寸法は、弦材の重心位置をフランジ表面からの距離 e で表わすことを付け加えれば式(1)~(4)で求められる。

$$l_1 = b \cos \theta = (h-2a) \cdot \cot \theta \quad \dots\dots\dots(1)$$

$$l_2 = l_3 - l_1 / 2 = \{(h-2e)/2\} \cdot \cot \theta \quad \dots\dots\dots(2)$$

$$l_3 = \{(H_0-2e)/2\} \cdot \cot \theta \quad \dots\dots\dots(3)$$

$$l_4 = l_1 \sin \theta = (h-2a) \cdot \cos \theta \quad \dots\dots\dots(4)$$

ここに

$2l_2$: 台形ラチス基部 AB 間の長さ (図-3(b))

l_4 : ラチス材の幅 CD (図-3(b))

$$e = 0.5 \times \{Bt_F^2 + t_w(a^2 - t_F^2)\} / \{Bt_F + t_w(a - t_F)\}$$

LA-1の寸法がきまれば素材許容応力度を与えて耐力計算を行うことができる。

3. 台形ラチス鋼 LA-1 の耐力

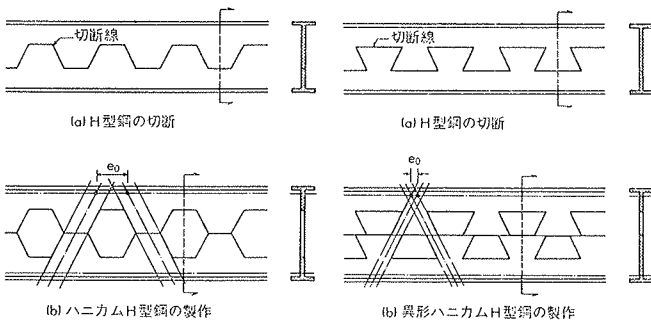


図-1 ハニカムHの製作方法

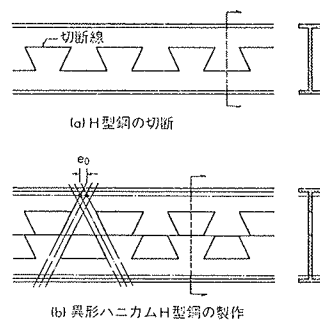


図-2 異形ハニカムHの製作方法

LA-1の曲げ耐力 M （ $=_s M_{design}$: せん断耐力と対比させるための設計用曲げモーメント）は、弦材の座屈長さ等の検討を無視すれば、式(5)で示される。

$$M = a_F \cdot j \cdot s_f t \quad \dots\dots\dots(5)$$

ここに

a_F : 弦材の断面積で $a_F = Bt_F + t_w(a - t_F)$

j : 弦材の重心間距離で $j = H_0 - 2e$

$s_f t$: 鋼材の許容引張応力度

LA-1のせん断耐力 Q は、図-3(b)に示すように、台形ラチス基部 AB での断面の許容せん断耐力 Q_{AB} できまる場合と、ラチス材の CD での断面の許容軸力 N_L できまる場合とがあるので、この検討を行う。 Q_{AB} , N_L は式(6), (7)でそれぞれ求められ、これをもとにして求めた Q は式(8), (9)でそれぞれ示される。

$$Q_{AB} = (h-2e)t_w s_f s \cot \theta \quad \dots\dots\dots(6)$$

$$N_L = (h-2a)t_w s_f t \cos \theta \quad \dots\dots\dots(7)$$

$$Q = \begin{cases} (Q_{AB}/2) \cdot \tan \theta = \{(h-2e)/2\} \cdot t_w \cdot s_f s \quad \dots\dots(8) \\ N_L \sin \theta = \{(h-2a)/2\} \cdot t_w \cdot s_f t \sin 2\theta \quad \dots\dots(9) \end{cases}$$

ここに

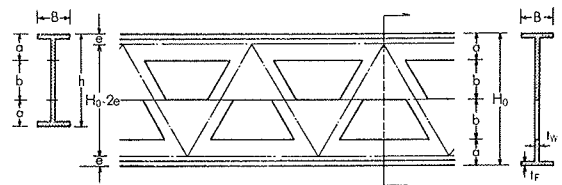
$$s_f s = s_f t / \sqrt{3}$$

(8), (9)の差を求めることによって、 Q_{AB} または N_L できまる範囲がわかる。今(8)-(9)を求めると式(10)となる。

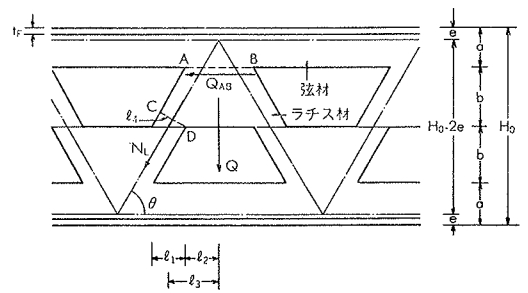
$$(Q_{AB}/2) \cdot \tan \theta - N_L \sin \theta = t_w \cdot s_f t \cdot \{h-2e - (h-2a) \times \sqrt{3} \sin 2\theta\} / 2\sqrt{3} \quad \dots\dots\dots(10)$$

なお、(6)→(8)の過程は、 Q_{AB} できまる時のラチス材の応力度 $s_f t'$ を求め、 $Q = N_L / \sin \theta$ とおいて計算しても同一の結果となることを別紙²⁾で示すが、本報告では割愛する。

式(10)で右辺のカッコ内が負にならない場合が N_L でき



(a) LA-1の製作方法および寸法記号



(b) LA-1のせん断耐力

図-3 台形ラチス鋼 LA-1 の製作方法および応力

まる範囲となるので右辺のカッコ内を書き直すと式(11)となる。

$$(h-2e)/\sqrt{3}(h-2a) \geq \sin 2\theta \quad \dots\dots\dots(11)$$

式(11)の e を a を含む式に置換し、 $\sin 2\theta = \beta$ において整理すると式(12)で示す a の 2 次式となる。

$$(2\sqrt{3}\beta-1)t_w a^2 + \{2\sqrt{3}\beta t_F(B-t_w) + (1-\sqrt{3}\beta)ht_w\} a + (B-t_w)\{(1-\sqrt{3}\beta)h-t_F\} t_F \geq 0 \quad \dots(12)$$

式(12)が成り立つ β (または θ) の範囲は、オリジナル H として H-300×125×6×6 ($h=30$ cm, $B=12.5$ cm, $t_F=t_w=0.6$ cm) を用い $a=5$ cm ($e=0.95$ cm) とすると、 $0.81 \geq \beta$ すなわち $\theta \geq 63^\circ$ または $27^\circ \geq \theta$ となる。次に式(12)を a について解き、 β の値を適当に与えれば a の範囲がきまる。上記の例題で $\beta=1$ ($\theta=45^\circ$) とおけば $a \geq 7.23$ cm ($H_0 \leq 45.54$ cm) が求められる。例題の結果を整理し、 $60^\circ \geq \theta \geq 30^\circ$ の θ の範囲に限定して図-4 に示す。

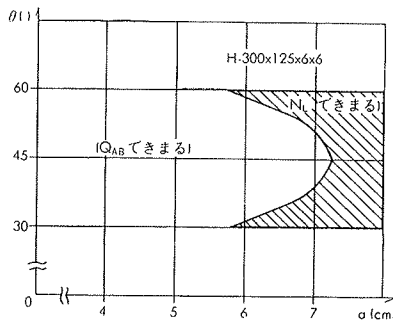


図-4 LA-1 の Q のきまる範囲

なお Q の最大値は N_L できまる場合は式(9)より $N_L = (h-2a)t_w \cdot s_f t / 2$ となり ($\theta=45^\circ$)、 Q_{AB} できまる場合は式(8)に示すように θ とは無関係な一定値となる。

曲げ耐力とせん断耐力の値から、鉄骨部材長さの下限値 sL_{span} (シアースパン×2) が式(13)で求められる。

$$sL_{span} = 2 \times M / Q \quad \dots\dots\dots(13)$$

式(13)によって LA-1 をフレームの部材として使用する際の部材長さの下限値の判定ができる。

4. M, Q-H₀ および sL_{span} -H₀ 関係

2, 3. で示した LA-1 の製作方法、耐力計算方式をより具体的に示すために、図-5～8 に LA-1 の M, Q および両者の関係からきまる sL_{span} を、a をパラメータとして計算の上、H₀ を横方向座標軸にとって示す。

図-5 はオリジナル H としてロール H を使用し、ラチス材傾斜角 $\theta=45^\circ$ の場合を、図-6 は同じく $\theta=60^\circ$ の場合を示す。図-7 はビルトアップ H を使用し、 $\theta=45^\circ$ の場合を、図-8 は同じく $\theta=60^\circ$ の場合を示す。各図でパラメータ a を、オリジナル H のフランジ幅 B に着目し B の比例倍すなわち $B/12 \sim B$ の間で $B/12$ のピッチで変動させて計算を行った。

図示された結果の全体的な傾向として、a の値が減少すれば H₀ の値は当然増大し、かつ Q の値も増大するが M の値の変動は小幅となっている。そのため sL_{span} は Q すなわち a の変動に直接影響を受ける。Q-H₀ 関係は比較的平坦な部分と勾配をもつ部分とで構成されているが、平坦な部分が Q_{AB} で、また勾配をもつ部分が N_L でそれぞれきまり、双方の合致点が 3. で求めた折れ点の位置となる。図示の例ではラチス材の傾斜角が小さく、LA-1 の H₀ が大きい場合に、 Q_{AB} できまる範囲が広がっている。特に $\theta=45^\circ$ で、H-600×150×9×12 (ビルトアップ H) を使用した場合は殆んど Q_{AB} できまっている。

図中で挙げた LA-1 の場合に限定すれば、フランジ板厚の比較的大きいロール H をオリジナル H として使用する場合には、Q と比較して M が相対的に大きくなり、曲げ耐力重視型の LA-1 が製作できるが、フランジ板厚を薄くしたビルトアップ H を使用する場合には、M があまり大きくなりたいため、せん断耐力重視型の LA-1 が製作されることになる。 sL_{span} は必然的に、せん断耐力重視型の場合の方が、より小さな値となる。

また、ある H₀ を設定する場合、オリジナル H の選択により数種類の LA-1 の耐力の組み合わせを作ることが可能であり、設計にあたって部材長さ、外力などの条件に合致するものの選択が可能である。

5. 考 察

4. で示した LA-1 の耐力的傾向の例から、実用上の見通しをある程度つけることができるが、オリジナル H との耐力的な比較にも一応ふれておきたい。

図-9 は、4. で図示した例の申からビルトアップ H をオリジナル H として使用した場合を 4 例選び、LA-1 とオリジナル H との耐力比較を行った結果を示している。図から、 M/M_0 は平均 1.5 倍程度になるが、 Q/Q_0 は Q_{AB} できまる場合の 0.5 をピークとして、 N_L できまる場合はさらに小さい値を示すことがわかる。このことから Q_{AB} できまるような LA-1 の形状の選択が考えられるが、最終的な判断は弾塑性応力状態における挙動の判定を含む実験的検討を待つ必要がある。

図-10 には、オリジナル H として H-250×150×9×12 (ビルトアップ H) を使用して製作した LA-1 (ラチス材傾斜角 $\theta=45^\circ$) を組み込んだ鉄骨鉄筋コンクリート構造の十字型断面を有する鉄骨柱の概略をケーススタディとして示す。実用上は、他の同型式のものとの形状的な比較、座屈長さなどの解析的検討、切断や溶接を含むファブリケーションの難易、現場継手の形状や位置を含む施工性の問題および以上全てを網羅するコストの計

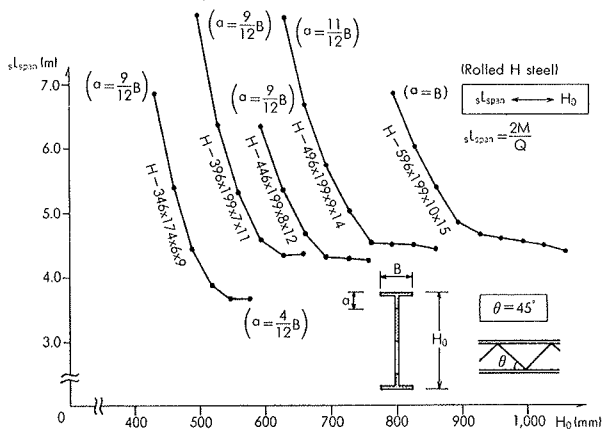


図-5 LA-1 の M, Q-H₀, sL_{span}-H₀ 関係-1 (ロール H, θ=45°)

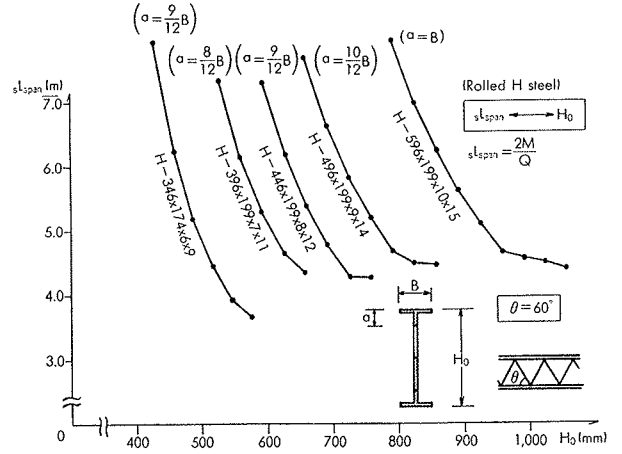


図-6 LA-1 の M, Q-H₀, sL_{span}-H₀ 関係-2 (ロール H, θ=60°)

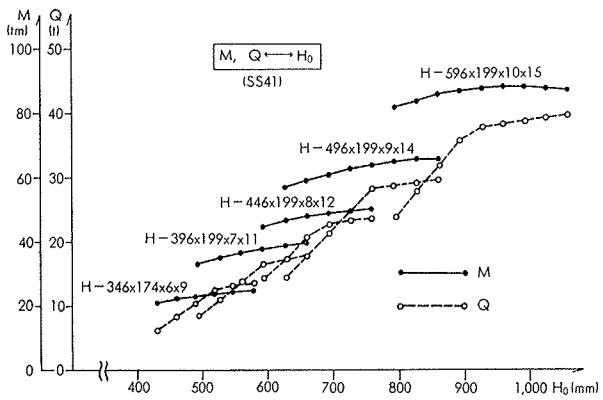


図-7 LA-1 の M, Q-H₀, sL_{span}-H₀ 関係-3 (ビルトアップ H, θ=45°)

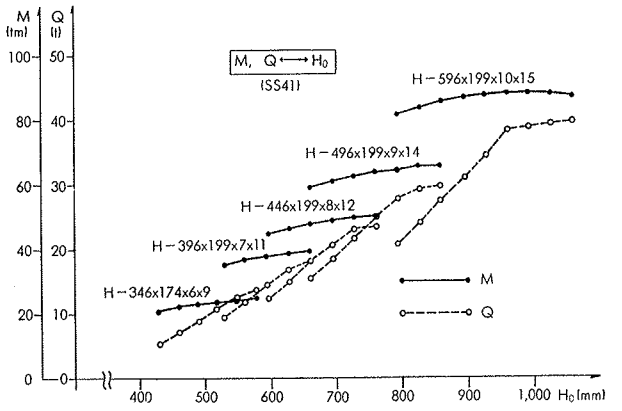


図-8 LA-1 の M, Q-H₀, sL_{span}-H₀ 関係-4 (ビルトアップ H, θ=60°)

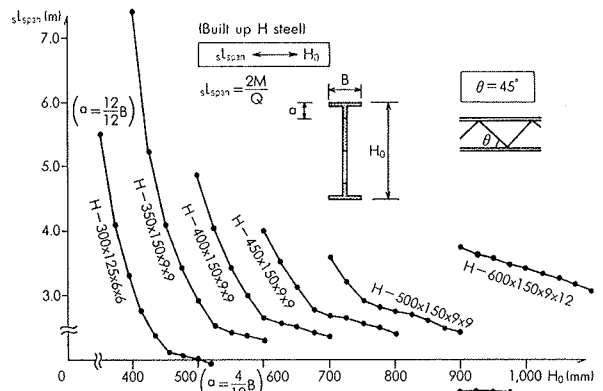


図-9 LA-1 の M, Q-H₀, sL_{span}-H₀ 関係-5 (ビルトアップ H, θ=45°)

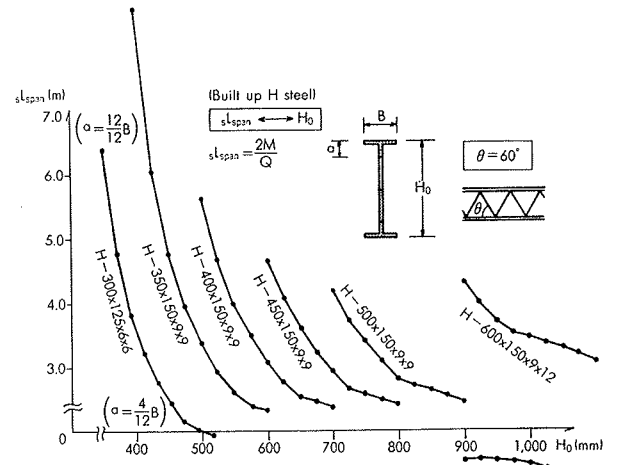


図-10 LA-1 の M, Q-H₀, sL_{span}-H₀ 関係-6 (ビルトアップ H, θ=60°)

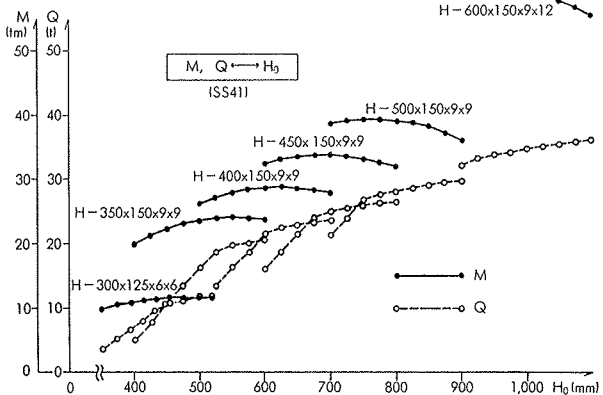


図-11 LA-1 の M, Q-H₀, sL_{span}-H₀ 関係-7 (ビルトアップ H, θ=45°)

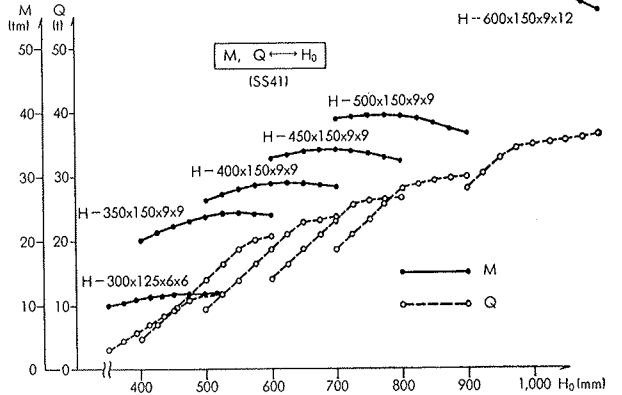
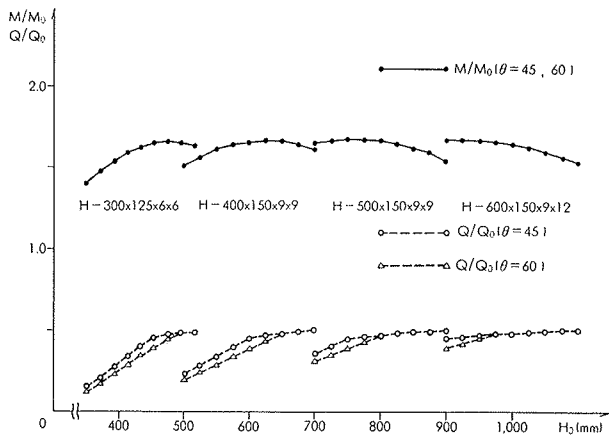


図-12 LA-1 の M, Q-H₀, sL_{span}-H₀ 関係-8 (ビルトアップ H, θ=60°)



オリジナルHSS411	M ₀ (t・m)	Q ₀ (t)
H-600x150x9x12	36.4	71.8
H-500x150x9x9	23.7	60.1
H-400x150x9x9	17.4	47.6
H-300x125x6x6	7.1	23.9

図-9 LA-1のオリジナルHとの耐力比

量などが当然必要である。その結果に立脚して頭初に示した、鉄骨鉄筋コンクリート構造としての挙動の追跡が課題として後続すると考えられる。

6. まとめ

H型鋼のウェブをジグザグ状に切断して製作する台形ラチス鋼 LA-1 は、ラチス材の重心線相互が弦材の重心線上で一点にまじわる一種のトラス材である。

LA-1 の形状は、オリジナルHを適当に選択し、弦材のせいおよびラチス材の傾斜角を設定すれば、必然的に

決定される。

LA-1 の耐力は、ラチス材傾斜角の適当な範囲内で簡単な計算で求められる。ただしせん断耐力は、ラチス材の軸力できまる場合とラチス基部できまる場合とがある。オリジナルHのせいが高く、ラチス材傾斜角が小さい場合には後者できまる傾向が強い。

曲げ耐力とせん断耐力との組み合わせから部材としての長さの下限値がきまる。なおオリジナルHの選択により LA-1 のあるせいに対し、何種類かの耐力の組み合わせが得られる。

LA-1 の耐力をオリジナルHのそれと比較する場合、曲げ耐力は平均1.5倍前後に増大するが、せん断耐力は0.5倍以下となる。

鉄骨鉄筋コンクリート構造部材として LA-1 を使用する際の諸問題の検討は今後の課題として存在する。

なお本報告の内容に関して、東京本社建築本部設計第三部、木田幸夫部長、大阪本店建築設計第三部、横井元昭次長、東京本社建築本部設計管理部、谷山隆典課長、同設計第三部、平沢直課長、海老原武課長、赤崎暢一職員、本店建築設計第三部、渋谷雄三職員、技術研究所構造研究室、吉岡研三主任研究員、高橋泰彦職員から多大の意見、示唆をいただいた。ここに記して深謝致します。

参考文献

- 1) フジハニカムハンドブック, 旧富士製鉄(株), (昭和42.7)
- 2) 木村耕三ほか: 異形ハニカム(台形ラチス)鋼の耐力(曲げ耐力とせん断耐力との関連について), 日本建築学会広島大会梗概集, (1977. 10)

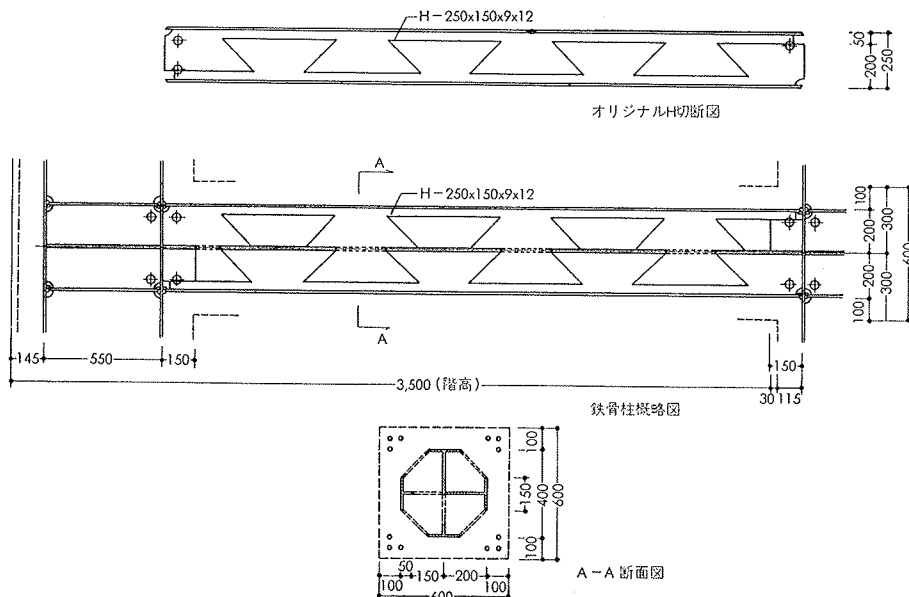


図-10 LA-1を使用した鉄骨鉄筋コンクリート構造用鉄骨十字型柱の概略