

我が国の道路橋設計基準における組立柱の耐力条項に関する調査

三好 崇夫*

Investigation on Strength Provisions of Built-Up Column in Design Standards for Japanese Highway Bridges

Takao MIYOSHI

ABSTRACT

Steel members of arch bridges and truss ones which were constructed before spread of welding technology were fabricated as built-up members by putting steel plates, strap, and/or section steels on another one complicatedly and joining them with rivets. Recently, more than 60 years have been passed since almost steel bridges with built-up members were constructed. Plate thickness decrease and vanishment of lacing bar because of corrosion occurs in some built-up members. Investigation on the design method of built-up members at the time when they were fabricated is needed to grasp their strength reduction and consider the repairing method. However, provisions on design and fabrication of the built-up member were deleted from the design standard for Japanese highway bridges as welding technology was begun to use widely in the fabrication of steel bridge members. Also, there have never been a study which focuses on built-up members and investigates on feature and transition of the design method. This study aims to investigate strength provisions of built-up column in design standards for Japanese highway bridges and clarify their features and transitions.

1. はじめに

鋼橋の製作に溶接技術が普及する以前の 1960 年代頃までに建設されたアーチ橋やトラス橋では、鋼板や形鋼を複雑に重ねてリベット接合した組立柱が用いられた。それらの殆どは建設から 60 年以上が経過しており、腐食による形鋼の板厚減少やレーシングバーの消失が生じた組立柱も見受けられる。腐食した組立柱の耐力低下を把握し、補修方法を検討するためには、それが建設された当時の設計法について整理しておく必要がある。しかし、組立柱の設計、製作に関する条項は、溶接技術の普及につれて、我が国の道路橋の設計基準からは削除された。これまでに、道路橋に関する技術基準の全般的な変遷や設計方法に関しては、いくつかの文献¹⁾²⁾に解説されているが、組立柱を対象に詳

細にそれらを調査した研究や資料は見られない。本研究の目的は、鋼トラス橋の圧縮材等に用いられている組立柱に着目して、我が国の道路橋の設計基準におけるその耐力条項について調査し、その特徴や変遷について明らかにすることである。

2. 調査対象とする設計基準と項目

わが国で最初に組立柱の材質や許容応力度等の耐力に関する条項を明文化した道路橋の設計基準は、1926 年 (大正 15 年) の「道路構造に関する細則案」³⁾ (以下では、1926 細則案と略称する) である。その後、1939 年 (昭和 14 年) に作成された「鋼道路橋設計示方書案」⁴⁾ (同じく、1939 鋼示と略称する) は、今日の鋼道路橋設計基準の原型となった²⁾。それは、1956 年 (昭和 31 年) ⁵⁾ (同、1956 鋼示) と 1964 年 (昭和 39 年) ⁶⁾ (同、

*都市システム工学科

1964鋼示) に改定されている。

それまでは、個別に策定されていた、溶接橋や合成桁橋の設計基準は、1972年(昭和47年)「道路橋示方書 II鋼橋編」⁷⁾(同、1972道示)に統合された。同基準は1980年(昭和55年)に改訂されたが、鋼橋製作での溶接接合、架設での高力ボルト接合の一般化により、組立材の設計に関する規定は削除され、リベット接合に関する規定のみがそのまま残された。これに続く、1990年(平成2年)の改訂では、リベット接合に関する規定も削除された。

本研究では、我が国の道路橋の設計基準が辿ってきた以上の経緯から、1926細則案、1939鋼示、1956鋼示、1964鋼示と1972道示の5つを調査対象とした。

本研究での調査項目は、基本的に組立柱の耐力評価において重要と考えられる、鋼材、許容応力度、細長比制限、最小板厚、板の最大幅厚比、タイプレート、レーシングバーに関する条項とした。

5つの設計基準では、許容応力度の表示に重力単位が用いられているため、現在の鋼材規格や設計基準との親和性を考慮して、SI単位に変換することとした。ただし、単に1kgf=9.8Nとして変換し、小数点以下第一位を四捨五入して表示した。一方、鋼種を表す記号については、現在の記号に読み替え可能なものもあるが、削除されて現在の規格に存在しないものもあるため、当時の名称に統一した。

3. 調査結果

3・1 鋼材

各設計基準における適用可能な鋼板、形鋼や平鋼、リベットの鋼種、引張強度を同基準の適用可能支間とともに表-1に示す。同表中の()内は引張強度をN/mm²

で表している。また、本研究では、表中の「-」記号は基準に記述のないことを意味する。

表-1より、1926細則案では、鋼板として、JES(日本標準規格)第20号「構造用(橋梁・建築且ノ他)圧延鋼材」のSt39¹⁾が定められているが、1939鋼示以降はそれに代わってSS41が規定されている。さらに、1964鋼示ではSS50、SM50A、1972道示では溶接部材への適用を意図して、SM50Y等の溶接構造用圧延鋼材が追加されているが、組立材への適用事例は少ないと思われる。1964鋼示では、SS50の追加に伴い、リベットにもSV41が追加され、SS50やSM50Aとともに使用するのが原則とされている。よって、本研究では、1972道示のSM50を除く溶接構造用高強度鋼材に関する規定は対象外とした。各設計基準の適用可能支間長は、高強度鋼材の追加に伴って増大していることも明らかである。なお、SS50については、使用実績の少なから、1972道示を最後に削除されている。

3・2 許容応力度

各設計基準に定められている、組立材の許容軸方向引張応力度を表-2に、局部座屈を考慮しない許容軸方向圧縮応力度を表-3に、リベットの許容応力度を表-4に示す。

表-2より、SS41の許容軸方向引張応力度は、鋼材の高強度化、設計理論、鋼材の品質管理、加工技術の進歩等にあわせて、1939鋼示、1964鋼示では引き上げられている。表-3より、それに合わせて、許容軸方向圧縮応力度についても、鋼鉄道橋設計示方書⁸⁾、海外の設計基準における規定や研究成果を参考に見直されている。1964鋼示までの許容軸方向圧縮応力度は、線形座屈応力に基づいて、細長比の小さい(1964鋼示では $l/r \leq 110$)非弾性域では大きい安全率、細長比の大

表-1 鋼材の変遷

| 基準 | 1926細則案 | 1939鋼示 | 1956鋼示 | 1964鋼示 | 1972道示 |
|----------------|-------------------|--------------------|-------------------|---|---|
| 鋼板 形鋼 平鋼 | St39 (380~460) | SS41 (400~490) | SS41 (400~490) | SS41 (400~490) SS50, SM50A (490~610) | SS41, SM41, SMA41(400~490) SS50, SM50, SM50Y, SM53, SMA50 (490~610) SM58, SMA58 (570~720) |
| リベット | St34 (330~400) | SV34A (330~400) | SV34 (330~400) | SV34 (330~400) SV41(400~490) | SV34 (330~400) SV41A (400~490) |
| 支間 | - | 120m以下 | 120m以下 | 150m以下 | 200m以下 |

表-2 組立材の許容軸方向引張応力度

| 基準 | 1926細則案 | 1939鋼示 | 1956鋼示 | 1964鋼示 | 1972道示 |
|---------------------------------|---------|--------|--------|---|---|
| 許容引張応力度 (N/mm ²) | 118 | 127 | 127 | SS41 : 137 SS50 : 167 SM50A : 186 | SS41, SM41, SMA41 : 137 SS50 : 167 SM50 : 186 |

表-3 組立材の許容軸方向圧縮応力度

| 基準 | 1926細則案 | 1939鋼示 | 1956鋼示 | 1964鋼示 | 1972道示 |
|--|--|--|---|--|--|
| 許容軸方向引張応力度 ^{*1} (N/mm ²) | $\min \{147(1 - 0.0055 \frac{l}{r}), 98\}$ | $\begin{cases} 108 & (\frac{l}{r} \leq 100) \\ -0.00392(\frac{l}{r})^2 & (\frac{l}{r} \geq 100) \end{cases}$ (添接材 ^{*2}) 118 | $\begin{cases} 118 & (\frac{l}{r} \leq 110) \\ -0.0049(\frac{l}{r})^2 & (\frac{l}{r} \geq 110) \end{cases}$ (添接材 ^{*2}) 118 | SS41 : $\begin{cases} 127 - 0.00588(\frac{l}{r})^2 & (\frac{l}{r} \leq 110) \\ 705600(\frac{l}{r})^2 & (\frac{l}{r} \geq 110) \end{cases}$ (添接材 ^{*2}) 127 SS50 : $\begin{cases} 157 - 0.00882(\frac{l}{r})^2 & (\frac{l}{r} \leq 100) \\ 705600(\frac{l}{r})^2 & (\frac{l}{r} \geq 100) \end{cases}$ (添接材 ^{*2}) 157 SM50A : $\begin{cases} 176 - 0.01078(\frac{l}{r})^2 & (\frac{l}{r} \leq 90) \\ 705600(\frac{l}{r})^2 & (\frac{l}{r} \geq 90) \end{cases}$ (添接材 ^{*2}) 176 | SS41, SM41, SMA41 : $\begin{cases} 137 & (\frac{l}{r} \leq 20) \\ 137 - 0.8232(\frac{l}{r} - 20) & (20 < \frac{l}{r} < 93) \\ \frac{1176000}{6700 + (l/r)^2} & (93 \leq \frac{l}{r}) \end{cases}$ SS50 : $\begin{cases} 167 & (\frac{l}{r} \leq 17) \\ 167 - 1.1074(\frac{l}{r} - 17) & (17 < \frac{l}{r} < 86) \\ \frac{1176000}{5700 + (l/r)^2} & (86 \leq \frac{l}{r}) \end{cases}$ SM50 : $\begin{cases} 186 & (\frac{l}{r} \leq 15) \\ 186 - 1.124(\frac{l}{r})^2 & (15 < \frac{l}{r} < 80) \\ \frac{1176000}{5000 + (l/r)^2} & (80 \leq \frac{l}{r}) \end{cases}$ |
| 備考 | *1 l: 部材の長さ, r: 総断面に関する断面回転半径である。 *2 総断面に生ずる応力に対する許容応力度 | | | | |

表-4 リベットの許容応力度

| 基準 | 1926細則案 | 1939鋼示 | 1956鋼示 | 1964鋼示 | 1972道示 |
|--|---------|--------|--------|--|--|
| 工場リベット許容せん断応力度 (N/mm ²) | 83 | 93 | 98 | SV34:108 SV41:137 | SV34:108 SV41A:147 |
| 現場リベット許容せん断応力度 (N/mm ²) | 74 | 78 | 78 | SV34:98 SV41:123 | SV34:98 SV41A:127 |
| 工場リベット許容支圧応力度 (N/mm ²) | 167 | 186 | 216 | SS41 - SV34:216 SS50 - SV41:265 SM50A - SV41:294 | SS41 - SV34, SV41A:235 SS50 - SV41A:274 SM50 - SV41A:314 |
| 現場リベット許容支圧応力度 (N/mm ²) | 147 | 157 | 176 | SS41 - SV34:194 SS50 - SV41:238 SM50A - SV41:265 | SS41 - SV34, SV41A:206 SS50 - SV41A:245 SM50 - SV41A:274 |

きい (同 $l/r > 110$) 弾性域では小さい安全率を用いて定められた。ところが、1950年頃から、実験や解析を通じて、初期たわみ、荷重の偏心や残留応力を考慮した柱の終局耐力が明確にされてきた。1972道示の許容軸方向圧縮応力度は、それに基づいて定められた極限耐力曲線を細長比と無関係に一定の安全率で除して定められた。同許容応力度は2012年に改定された道路橋示方書⁹⁾まで踏襲されている。

表-4より、許容せん断応力度、支圧応力度とも、リベットと組み合わせる母板の許容引張応力度に合わせて、引き上げられていることが分かる。

S39とSS41を対象に、各設計基準に定められている許容軸方向圧縮応力度 σ_{cg} と細長比 l/r の関係を図-1に示す。これより、設計基準の改定につれて許容軸方

向圧縮応力度が増大していることがわかる。即ち、古い時代の設計基準に則して設計された組立柱ほど、耐力の余裕が大きいことが想定され、形鋼や鋼板に腐食損傷を持つ組立柱の補修の検討に際しては、その余裕を生かせる可能性がある。

3・3 細長比制限と最小板厚

各基準に規定されている細長比制限と最小板厚を表-5に示す。ただし、いずれの基準においても、細長比計算時の部材長は、弦材と端柱については骨組長、腹材の面外座屈に対しては骨組長、腹材の主構面内座屈に対しては骨組長の0.9倍をとる。

表-5より、1956鋼示で引張力を受ける二次部材に対する細長比制限が240と明記された点を除いて、細

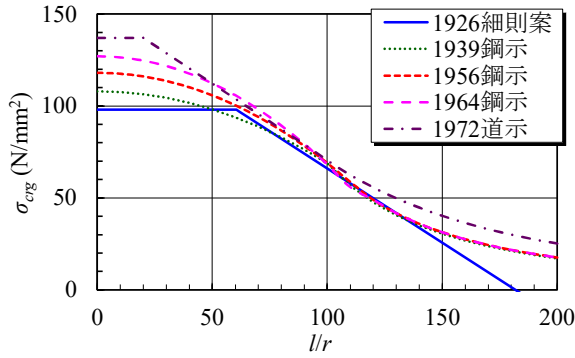


図-1 許容軸方向圧縮応力度と細長比の関係

表-5 細長比制限と最小板厚

| 基準 | 1926 細則案 | 1939 鋼示 | 1956 鋼示 | 1964 鋼示 | 1972 道示 |
|----------------------|-------------|------------|------------|------------|------------|
| 圧縮, 主要部材 | 120 | 同左 | 同左 | 同左 | 同左 |
| 圧縮, 二次部材 | 150 | 同左 | 同左 | 同左 | 同左 |
| 引張, 主要部材 | 200 | 同左 | 同左 | 同左 | 同左 |
| 引張, 二次部材 | 200 | 同左 | 240 | 同左 | 同左 |
| 鋼材の最小板厚 (mm) | - | 8 | 同左 | 同左 | 同左 |
| I形鋼, 溝形鋼の 腹板 (mm) | - | 7.5 | 同左 | 同左 | 同左 |

表-6 圧縮力を受ける板の最大幅厚比

| 基準 | 1926 細則案 | 1939 鋼示 | 1956 鋼示 | 1964 鋼示 | 1972 道示 |
|-------------|--|---|---|--|--|
| 腹板, カバープレート | - | $h/t \leq 33$ (腹板) ^{*1} $b/t \leq 40$ (カバープレート) ^{*1} | $h/t \leq 33$ (腹板) ^{*1, *2, *3, *4} $b/t \leq 40$ (カバープレート) ^{*1} | 両縁が十分に拘束されている場合 ^{*1, *2, *3} : SS41 : $b/t \leq 40, h/t \leq 40$ SS50 : $b/t \leq 36, h/t \leq 36$ SM50A : $b/t \leq 34, h/t \leq 34$ 両縁の拘束が十分でない場合 ^{*1, *2, *3} : SS41 : $b/t \leq 32, h/t \leq 32$ SS50 : $b/t \leq 28.8, h/t \leq 28.8$ SM50A : $b/t \leq 27.2, h/t \leq 27.2$ | 両縁が十分に拘束されている場合 ^{*1, *3, *5} : SS41, SM41, SMA41 : $b/t \leq 40, h/t \leq 40$ SS50 : $b/t \leq 36, h/t \leq 36$ SM50 : $b/t \leq 34, h/t \leq 34$ 両縁の拘束が十分でない場合 ^{*1, *3, *5} : SS41, SM41, SMA41 : $b/t \leq 32, h/t \leq 32$ SS50 : $b/t \leq 28.8, h/t \leq 28.8$ SM50 : $b/t \leq 27.2, h/t \leq 27.2$ |
| 突出脚 | - | $b/t \leq 12$ (主要部材) $b/t \leq 16$ (二次部材) | $b/t \leq 12.5$ (主要部材) $b/t \leq 17$ (二次部材) | 同左 | SS41, SM41, SMA41 : $b/t \leq 13^{*5, *6}$ SS50 : $b/t \leq 12^{*5, *6}$ SM50 : $b/t \leq 12^{*5, *6}$ |
| 備考 | ^{*1} リベットが複列の場合には, 図-2(b)に示すように, その内側の中心間隔を b , h とする. ^{*2} 計算応力が許容応力に比べて著しく小さい場合には, 最大幅厚比を $\sqrt{\text{許容応力}/\text{計算応力}}$ 倍してよい. ^{*3} 図-2(c)に示すように, 板が十分な剛性と断面積を持つ補剛材によって補強されている場合には, h の代わりに, h_1, h_2 を用いてよい. ^{*4} 図-2(d)に示すように, 部材断面がカバープレートまたは穴あきカバープレートで完全な箱形を成す場合には, 腹板の最大幅厚比を 40 としよ. ^{*5} 計算応力が許容応力に比べて小さい場合には, 最大幅厚比を $\sqrt{\sigma_{ca}/\sigma_c}$ 倍 (軸方向圧縮力のみが作用する場合) してよいが, 1.2 倍を超えてはならない. ここに, σ_{ca} は許容軸方向圧縮応力度, σ_c は軸方向圧縮応力度である. ^{*6} 自由端に最大圧縮応力度を有する不等分布圧縮応力を受ける突出脚も対象として追加 | | | | |

長比制限, 最小板厚ともに変更されていない。

3・4 板の最大幅厚比

1939 鋼示以降の基準では, 両縁支持板相当の腹板とカバープレート, 自由突出板に相当する山形鋼の突出脚の別に, 局部座屈を防ぐために最大幅厚比が表-6 のように制限されている. ただし, 調査した設計基準には, 最小板厚や最大板幅を制限するものもあるが, ここでは幅厚比に変換して比較した.

腹板, カバープレートの最大幅厚比は, 図-2 に示すようにリベット中心間隔を b または h として, 表-6 のように定められている. なお, 1956 鋼示から, 圧縮力と曲げモーメントを同時に受ける板の最大幅厚比も別に定められているが, ここでは省略した.

表-6 より, 1964 鋼示から腹板とカバープレートに代えて, 両縁の拘束状態に応じて最大幅厚比が定められている. 拘束が十分な縁は, 図-3(a), (b)に示すように, 面外曲げ剛度の高いカバープレートや孔あき鋼板が連結されている縁, または面外曲げ剛度の低いレー

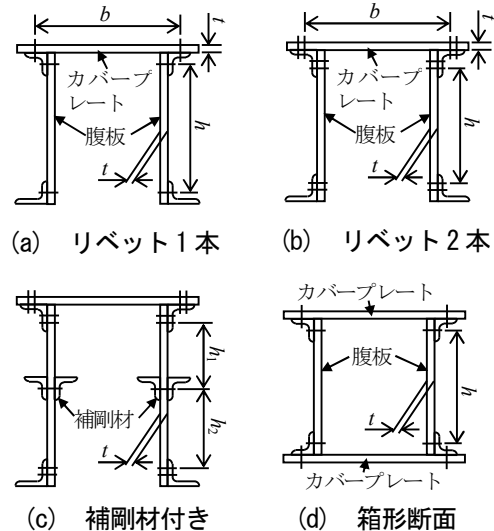


図-2 組立材断面の概略図

シングバーやタイププレートが 2 つの山形鋼で連結されている縁である. 一方, 拘束が十分でない縁は, 同図(c)に示すように, レーシングバーやタイププレートが 1 つの山形鋼で連結されている縁を指す. 同図中には板

幅 b の取り方も示す。なお、同図(d)に示すように、十分な幅を持った側板を取り付ける場合は、その板厚も含めることができる。腹板が両縁の拘束が十分な板、カバープレートが両縁の拘束が十分な板とみれば、最大幅厚比は殆ど変わっていない。また、2012年版の道路橋示方書⁹⁾では、純圧縮を受けるSM400(SS41相当)両縁支持板の降伏限界幅厚比は38.7と規定されているが、板幅は支持辺の内法をとるため、両縁が十分に拘束されている場合の最大幅厚比40と同程度であると考えられる。

表-6における突出脚の幅厚比規定は、図-4(a), (b)に示すように単独で山形鋼が突出している場合に適用

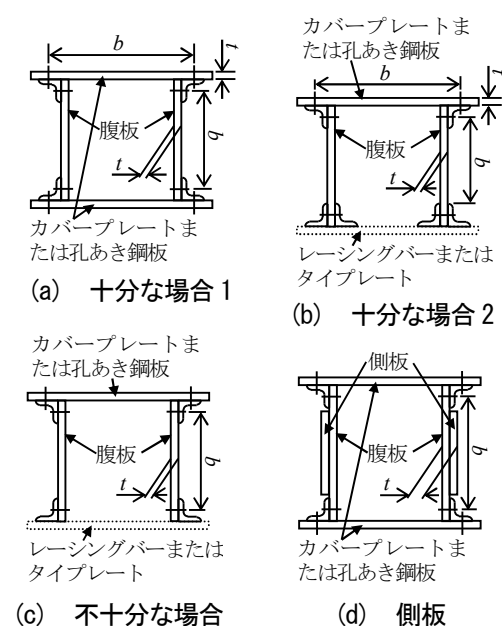


図-3 板の縁の拘束と側板

され、同図(c), (d)に示すように、他の板で補剛されている場合には適用されない。これより、突出脚の最大幅厚比は、1956鋼示で若干緩和され、図-5に示すように、1972道示から突出幅 b の定義が変更されているが、大きな変化はない。1972道示では、主要部材と二次部材の区分が廃止されている。

3・5 タイプレート、レーシングバーの配置と設計せん断力

1939鋼示以降の基準では、タイプレートとレーシングバーの配置、それらの設計せん断力の計算方法を表-7のように規定している。いずれも、部材を構成す

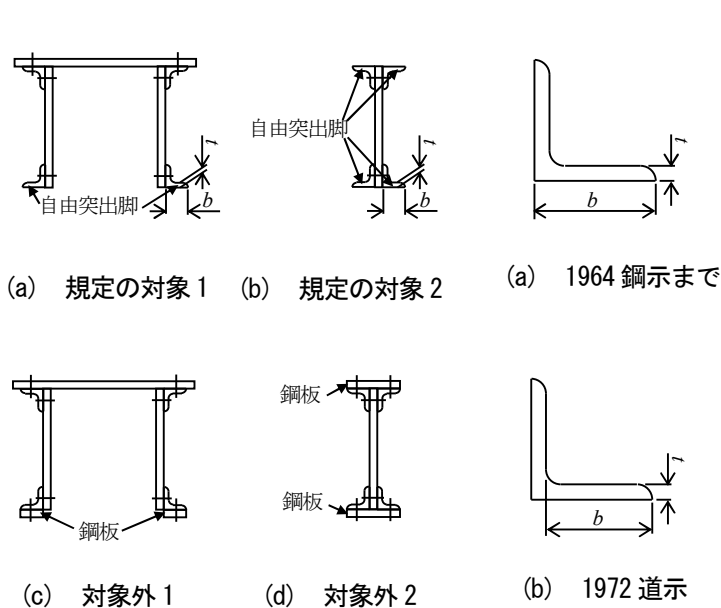


図-4 山形鋼の自由突出脚

図-5 自由突出脚の板幅

表-7 タイプレートとレーシングバーの配置に関する条項の比較

| 基準 | 1926 細則案 | 1939 鋼示 | 1956 鋼示 | 1964 鋼示 | 1972 道示 |
|---|--|---|---|--|---------|
| 両面にレーシングバーかタイプレートを取り付けたリベット間の圧縮材の細長比制限 ¹⁾ (図-6 参照) | — | $C/r \leq 40$ かつ $2/3 \times l/r$ ^{*2} | $C/r \leq 50$ かつ $2/3 \times l/r$ ^{*3} | $C/r \leq 40$ かつ $2/3 \times l/r$ ^{*3} | 同左 |
| 片面にカバープレート、その反対面にレーシングバーかタイプレートを取り付けた圧縮材の細長比制限 ¹⁾ (図-7 参照) | — | $C/r \leq 40$ かつ $2/3 \times l/r$ ^{*2} | $C/r \leq 50$ かつ l/r ^{*3} | $C/r \leq 50$ かつ l/r ^{*3} | 同左 |
| 圧縮部材のタイプレートまたはレーシングバーの部材軸と直角な方向に作用する設計せん断力 $S(N)$ ⁴⁾ | — | $S = Pl/(4000y)$ ^{*5} | 圧縮材の全強の2% ^{*6} | SS41: 圧縮材の全強の2% ^{*6} SS50: 圧縮材の全強の2.5% ^{*6} SM50A: 圧縮材の全強の2.5% ^{*6} | 同左 |
| 備考 | ^{*1} 4辺がカバープレートや孔あきカバープレートで構成される圧縮材については、細長比に関する照査は不要。 l/r : 部材の細長比, C : レーシングバー取り付けリベット中心間隔, タイプレート中心間隔 ^{*2} 両面にレーシングバーやタイプレートを取り付けた場合、片面にカバープレート、その反対面にレーシングバーやタイプレートを取り付けた場合の区分なし。 r : 図-6, 7では、 C の区間における1山形鋼の断面 X-Xの断面回転半径 ^{*3} r : 図-6, 7では、 C の区間における2山形鋼とカバープレートからなる断面の断面回転半径 ^{*4} 圧縮力による部材の曲りを仮定して設定 ^{*5} P : 圧縮部材の全強 (N), l : 圧縮部材の長さ (cm), y : 部材幅の1/2 (cm)であり、 S は圧縮部材の全強の1.5%を超えてはならない。カバープレートを持つ組立材で開放側のみレーシングバーを用いる場合には、 $S/2$ を用いる。1939鋼示では、タイプレートの設計に関する言及なし ^{*6} カバープレートがせん断力の作用方向と平行に取り付けられている場合には、それぞれ $S/2$ がタイプレート、レーシングバーに作用するものとして設計する。 | | | | |

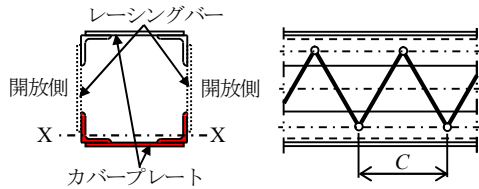


図-6 両面にリベットをもつ組立材

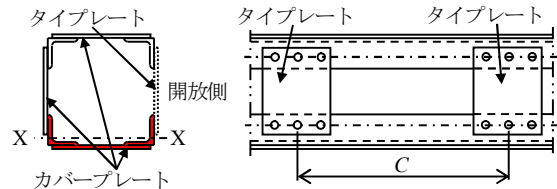


図-7 片面にタイプレートをもつ組立材

表-8 タイプレートの設計に関する条項の比較

| 基準 | 1926 細則案 | 1939 鋼示 | 1956 鋼示 | 1964 鋼示 | 1972 道示 |
|--|---|---|---|------------------------------------|---------|
| 主要部材のエンドタイプレートにあける最も外側のリベット中心間隔 l (図-8 参照) | — | $l \geq d^{*1}$ (図-8 参照) | 同左 | 同左 | 同左 |
| 主要部材の中間タイプレートにあける最も外側のリベット中心間隔 l' (図-8 参照) | — | $l' \geq d/2^{*1}$ (図-8 参照) | 同左 | 同左 | 同左 |
| 二次部材のエンドタイプレートと中間タイプレートにあける最も外側のリベット中心間隔 l と l' (図-9 参照) | — | $l \geq d/2^{*1}$, $l' \geq d/2^{*1}$ (図-9 参照) | 同左 | 同左 | 同左 |
| タイプレートのみを有する組立材のタイプレート配置間隔 (図-10, 11 参照) | — | 引張材 ^{*2} : $s^{*3} \leq 1m$ (図-10 参照) | 引張材: $c^{*4} \leq 1.3m$ 圧縮材: 適用可 ^{*5} (図-11 参照) | 同左 | 同左 |
| タイプレートの最小板厚 t | — | $t \geq d/50^{*6}$ | 主要部材: $t \geq d/50^{*6}$ 二次部材: $t \geq d/60^{*6}$ | 同左 | 同左 |
| タイプレートの片側当たりの最少リベット本数 | — | 3 | 同左 | 同左 | 同左 |
| 設計せん断力 Q によって、一個のタイプレートとその連結リベットに生ずるせん断力 V , 曲げモーメント M | — | — | — | $V = Qc/h^{*7}$ $M = Vd/2^{*1}$ | 同左 |
| 備考 | <p>*1 d: タイプレートを連結するためにフランジ突出縁にあけたリベット間隔 *2 原則として、圧縮部材はレーシングバーを設置する。 *3 s: 隣接するタイプレートの外側のリベット中心間隔 (図-10 参照) *4 c: タイプレート中心間隔 (図-11 参照) *5 タイプレートのみを用いる圧縮材のリベットに生ずる応力は材軸方向のせん断力と、取り付けリベット部に生ずる曲げモーメントによる応力の合応力に対して設計 *6 d: タイプレートを連結するフランジの内側リベット孔間隔 (図-12 参照) *7 c: 隣接タイプレートの中心距離, h: タイプレートで連結される形鋼または組み合わせ材片の重心間距離 (図-11 参照), Q: 設計せん断力 (表-6 参照)</p> | | | | |

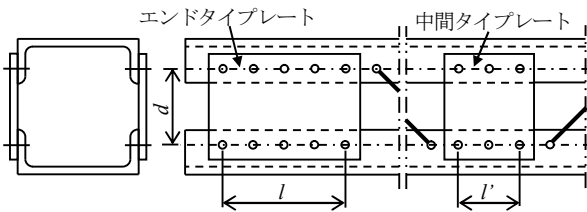


図-8 主要部材の中間, エンドタイプレート

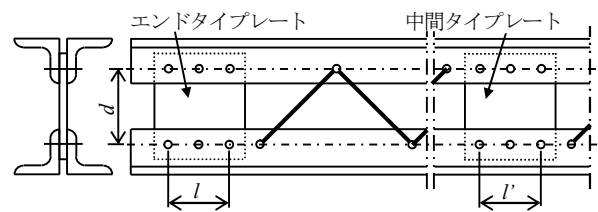


図-9 二次部材の中間, エンドタイプレート

る各材片への均等な応力伝達を図るため、組立材のできる限り端部にエンドタイプレートを、中間にレーシングバーかタイプレートを設置することとしている。

表-7 より、細長比制限は、リベット間等の C の区間の形鋼の局部座屈が全体座屈に先行して生じないように定められたものである。特に、タイプレートのみを用いた圧縮材は、レーシングバーを用いた場合に比べて C が大きく、単一圧縮材に比べて許容圧縮応力度が低下するため、本照査の重要性が強調されている。細長比制限や、その断面回転半径 r の計算に用いる断面などにも相違がみられる。

1972 道示では、表-7 の規定がリベットに代えて高力ボルトを用いる場合も適用できると付記されている。これは 1960 年代後半頃から明治～昭和初期に建設されたリベット橋が補修時期に差し掛かり、リベット代

替え材としての高力ボルト需要の高まりによると考えられる。また、1972 道示では、作用応力度が単一柱としての許容応力度の 90% を超える場合については、局部座屈の影響を考慮するため、仮想細長比 λ_e を用いて許容圧縮応力度を算定するように定められている。

設計せん断力については、1956 鋼示からは、部材長に関わらず、一律に全強の 2~2.5% に統一されている。

3・6 タイプレート

各基準のタイプレートの設計に関する条項を比較して表-8 に示す。同表では省略しているが、1972 道示では、リベット橋の補修工事でリベット施工が困難になったことや、設計上のリベット縁端距離の確保が困難であったことに応じて、タイプレートを溶接取り付けする際の溶接線間距離と板厚に関する規定が追加さ

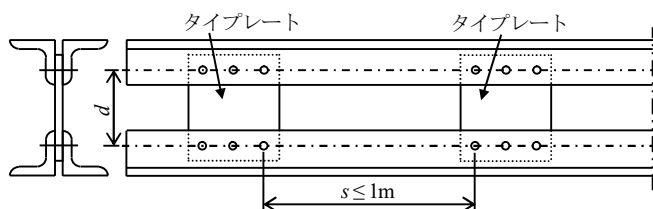


図-10 タイプレートのみを有する組立引張材

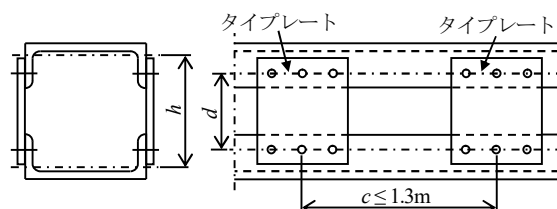


図-11 タイプレートのみを有する組立材

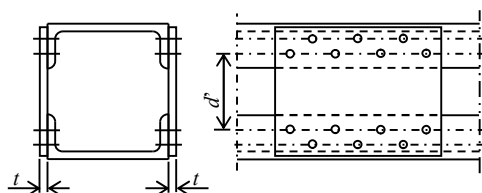


図-12 千鳥配置されたリベット間隔と板厚

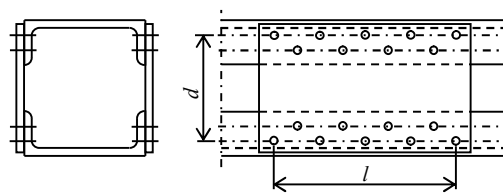


図-13 千鳥配置されたリベットの中心間隔

表-9 レーシングバーの設計に関する条項の比較

| 基準 | 1926 細則案 | 1939 鋼示 | 1956 鋼示 | 1964 鋼示 | 1972 道示 |
|--|---|--|--|-------------------------|---------|
| レーシングバーに圧延平鋼を用いる場合の最小幅 ¹ (mm) | — | リベット径 25mm : 70mm リベット径 22mm : 65mm リベット径 19mm : 55mm リベット径 16mm : 50mm | リベット径 25mm : 70mm リベット径 22mm : 65mm リベット径 19mm : 55mm | 同左 | 同左 |
| レーシングバーの最小板厚 ² t (mm) (図-14 参照) | — | シングルレーシング : $t \geq l/40$ ダブルレーシング : $t \geq l/60$, ただし 8mm を下回ってはならない. | シングルレーシング : 主要部材 : $t \geq l/40$, 二次部材 : $t \geq l/50$ ダブルレーシング : 主要部材 : $t \geq l/60$, 二次部材 : $t \geq l/75$ ただし 8mm を下回ってはならない. | 同左 | 同左 |
| レーシングバーと部材のなす角度 θ ³ (図-15 参照) | — | シングルレーシング : $\theta \geq 60^\circ$, ダブルレーシング : $\theta \geq 45^\circ$ 以上 | 同左 | 同左 | 同左 |
| レーシングバーとフランジを1本のリベットで連結し, その中心間隔 d が 400mm 以上の場合 | — | ダブルレーシングとして, レーシングバーどうしの交点はリベットで連結 (図-16 参照) | 同左 | 同左 | 同左 |
| 相当な大きさのレーシングバーが必要となる場合 | — | レーシングバーとして, それと強度が同等の形鋼を使用するのがよい. この場合シングルレーシングにできる | 同左 | 同左 | 同左 |
| レーシングバーの端部に2本以上のリベットが必要になるフランジの幅 b_f (図-17 参照) | — | $b_f \geq 125\text{mm}$ | $b_f \geq 150\text{mm}$ | 同左 | 同左 |
| 設計せん断力 Q によって, 一对のレーシングバーに作用する軸方向力 F の算定式 | — | — | — | $F = Ql/d$ ⁴ | 同左 |
| 備考 | *1 圧延平鋼を使用せず, せん断縁を持つ鋼材をやむなく使用する場合には, 別途規定あり. *2 l はリベット中心間隔 *3 レーシングバーに有効かつ経済的に応力を伝えるために規定 *4 ここに, l : レーシングバーの連結リベットの中心間隔, d : レーシング連結リベットの内側リベット線間距離 (図-14 参照), Q : 設計せん断力 (表-6 参照) | | | | |

れている. また, リベットが千鳥配置されている場合には, 図-13 のように, その外側の中心間隔を対象に d と l をとる.

表-8 より, タイプレートのリベット間隔や最小板厚が初めて定められたのは 1939 鋼示である. 1956 鋼示ではタイプレートのみを持つ組立材の圧縮材への適用が認められ, 主要部材と二次部材に区分して板厚が規定されているが, 殆ど変わっていない. タイプレートやその連結リベットに生ずる設計せん断力や曲げモーメントの計算式は 1964 鋼示に初めて与えられている. 主要部材のタイプレートの最大幅厚比は, 圧縮力を担う材片ではないため, 表-6 に示した両縁が十分

に拘束されている SS41 の最大幅厚比 40 よりも大きく 50 と設定されている.

3・7 レーシングバー

組立柱のレーシングバーの設計に関する各基準の条項を比較して表-9 に示す.

表-9 より, レーシングバーの最小板厚は, 圧縮力を受けた場合の座屈や輸送中の破損に配慮して, 1939 鋼示から規定されたが, 主要部材と二次部材が区分されたのは 1956 鋼示からである. また, 2 本のリベットでレーシングバーの端部と形鋼のフランジを連結する際の最小フランジ幅 b_f が 1959 鋼示で見直されているが,

その他の規定は見直されていない。タイププレートの場合と同様に、レーシングバーに生ずる軸力の計算式が与えられたのは、1964 鋼示からである。

4. まとめ

本研究では、我が国の道路橋の設計基準における組立材の耐力条項について調査し、その特徴や変遷について明らかにした。以下に本研究で得られた成果をまとめる。

- (1) 古い時代の設計基準ほど、許容軸方向圧縮応力度が低く抑えられており、腐食損傷を持つ組立柱の耐力評価や補修の検討に際しては、圧縮耐力の余裕を生かせる可能性がある。
- (2) カバープレートや山形鋼突出脚については局部座屈を防ぐため幅厚比制限が課されており、板幅の定義は異なるが、制限値は現代の降伏限界幅厚比と同程度である。
- (3) タイプレートやレーシングバーの配置に関する細長比制限には、設計基準によって断面回転半径の計算方法や制限値にも相違がみられる。
- (4) タイプレートやレーシングバーのリベット中心間隔や最小板厚や構造細目については、大きく変更されていない。

組立材の設計に際しては、本文で述べた条項以外にも、1956 鋼示から規定されている有孔カバープレートの板厚や孔の間隔、リベット間隔や縁端距離などの連結に関する規定も重要である。本文では、頁数の制約によりそれらを省略したが、機会を改めて報告したい。

謝辞

本調査にあたっては、舞鶴工業高等専門学校建設システム工学科 玉田和也 教授、熊本高等専門学校生産システム工学系 AP グループ 岩坪要 教授、九州工業大学大学院工学研究院 建設社会工学研究系 高井俊和 助教から貴重なご助言をいただきました。ここに記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 多田宏行 編著, 一般財団法人 橋梁調査会 編集協力: 保全技術者のための橋梁構造の基礎知識 [改訂版], 鹿島出版会, 2015.
- 2) 藤原 稔: 道路橋技術基準の変遷, 技法堂出版, 2009.
- 3) 三浦七郎: 鋼橋 (付録: 内務省・道路構造ニ関ス

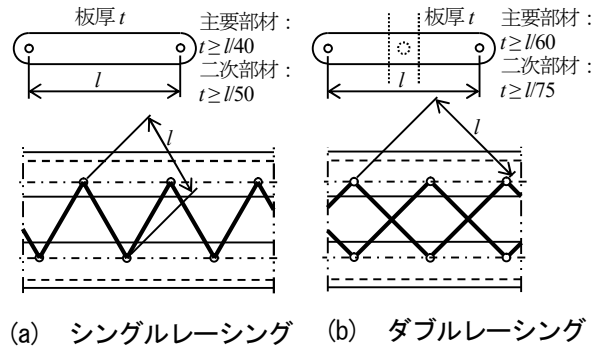


図-14 レーシングバーの長さ と 板厚

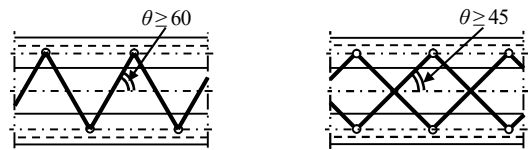


図-15 レーシングバーと部材の角度

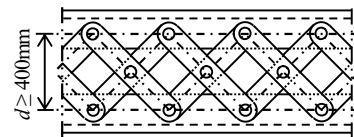


図-16 リベット中心間隔 d が 400mm 以上の場合

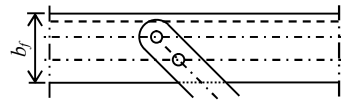


図-17 リベット 2 本の場合のフランジ幅

ル細則・橋梁), 常盤書房, 1932.

- 4) 日本道路技術協会編纂: 鋼道路橋設計示方書案解説, 修教社書院, 1940.
- 5) 日本道路協会: 鋼道路橋設計示方書・鋼道路橋製作示方書解説, 1956.
- 6) 日本道路協会: 鋼道路橋設計示方書・鋼道路橋製作示方書解説, 1964.
- 7) 日本道路協会: 道路橋示方書・同解説 I 共通編・II 鋼橋編, 1973.
- 8) 三浦七郎: 鋼橋 (付録: 鉄道省・鋼鉄道橋設計示方書), 常盤書房, 1932.
- 9) 日本道路協会: 道路橋示方書・同解説 I 共通編・II 鋼橋編, 2012.