

板厚の大きい現場継手に関する実験

岩城 康雄* 通山 康**
清水 実*** 岡村 隆夫****

1. まえがき

幅員の広い鋼道路橋にその経済性から2主桁橋が実施される傾向にあるが、鋼板構造、合成桁構造のいずれを採用した場合でも、他の形式と比較して下フランジ断面が大きくなることは避けたい。また、長大橋梁の場合に部材断面が大きく板厚も大になるのは当然である。したがって、このような構造の現場継手箇所にはリベットを使用する場合や、また高張力ボルトを使用する場合には、わが国において施工例を見ないほどグリップが大きくなるとともに、25 mm 径を用いても所要本数が非常に多くなる。

一般に現場継手に用いる連結材は、リベットのように穴の充填によって応力を伝える支圧型と、高張力ボルトのようにボルト締付け力による材片間の摩擦によって応力を伝える摩擦型にわけられ、前者の継手では破壊の本質をなすのはリベットの切断であり、許容応力はリベットの極限強度にもとづいている。一方後者の摩擦接合では、連結部のずれはその構造に有害な影響を与えるため許されないため、破壊の本質はすべりであり作用荷重がすべりに対して適当な安全率を持つように設計されている。

グリップの大きいリベットの施工例は、ドイツに架設された Save 橋¹⁾、Kauppen 橋²⁾に見られ、グリップ $6d$ (d : リベット径) を有しているが、その詳細な施工についてはふれていない。リベット結合の場合には穴の充填が重大な要素であって、これに関する実験報告^{3),4)}によると働長の大きい場合にはテーパの付いた特殊リベットがよい結果を与えたと述べている。しかし、このよ

うに施工した実物大試験体の引張試験については報告を見ない。高張力ボルト接合の場合、摩擦面の処理、締付け方法などについて種々報告されているが^{5),6),7),8)}、1列の本数の多い場合や、グリップの大きいものについての引張試験報告は、高張力ボルトを支圧型として使用したすべり後の最終強度に関する報告⁹⁾を除いてはほとんどみない。

わが国の現行示方書においては、リベットに関してグリップ $6d$ 以上については明示していないし、また高張力ボルトに関しては、グリップおよび継手長さ方向1列の本数の多い場合についてふれていない。このような問題点については実験的研究によって解明することがぜひ必要であって、リベット結合、高張力ボルト結合の比較検討からよりよい現場継手構造を選ぶことができる。

本文はこの目的から実験計画を立て、リベット穴充填およびナット回転角法によるボルト締付けなどの予備試験結果から、実物大の板厚 (150~200 mm) を有する供試体を継手構造、連結材の種類を変えて5個製作し、静的引張試験を行ない、応力分布状態、荷重一ずれの関係および継手最終強度の測定から、その考察を行なった。またひずみ測定結果からリベットおよびボルトの伝達力を求め、理論解との比較検討を行ない、最後に板厚の大きい現場継手構造に関しての一提案を行なった。

2. リベット穴充填試験

リベット結合は、リベットの焼き具合、気象条件、足場、技能などによって影響されるが、締め状態の判断としてはリベット穴充填を調べるのが一つの方法である。最近の実験報告^{3),4)}を参考にしてグリップ 100, 150, 200 mm の3段階について、リベット形状、リベット径と穴との差を変えて現場と同一条件で締めたリベットをその中心で切断してすき間の測定を行ない、3つのタイ

* 正会員 汽車製造KK橋梁設計部第2課々長

** 正会員 日本構造物設計事務所 課長

*** 正会員 日本構造物設計事務所 係長

**** 正会員 汽車製造KK橋梁設計部第2課係長

図-1 供 試 体

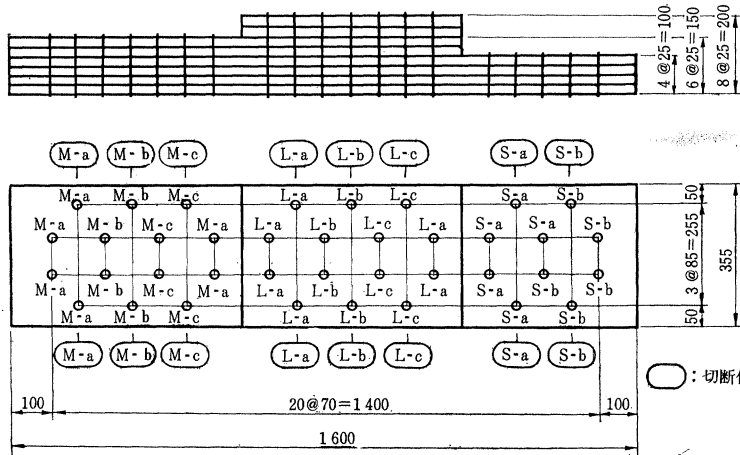


表-1 リベット種類とリベット穴

リベット種類	リベット径 (mm)	働長 200 mm の場合の首下長さ (mm)	リベット穴 (mm)
リベット a	25	258	26.5
リベット b	25	250	26.0
リベット c	25.3	250	26.0

注：リベット c のみ首下長さの 60% から先端に向けて 1/100 のテーパを付す。材質は SV 41。

プの比較検討を行なった。供試体を図-1、使用リベットを表-1 に示す。

リベットハンマーは能力の大きいものを用い、相打ちおよび空気あて盤によってボルト仮締めのものを行なった。リベットは、大きな焼き炉で全体が一様にオレンジ色になるように加熱し、スケールを取り除いたのち速やかに行なった。供試体の切断箇所は、L、M パートでそれぞれ3箇所、S パートで2箇所である。

すき間測定はすき間ゲージを用いて行ない、さらに顕微鏡測定によって検討した。切断面の写真をM部分について写真-1、2、3 に示す。写真の上側のリベット頭がリベットハンマーで形成したものである。切断面のすき間測定および写真についての考察からつぎの結果を得た。

写真-1 リベット a の切断面

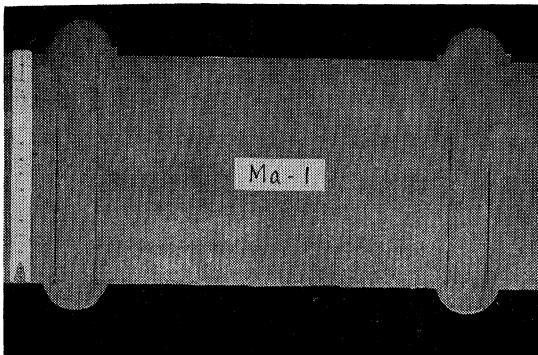


写真-2 リベット b の切断面

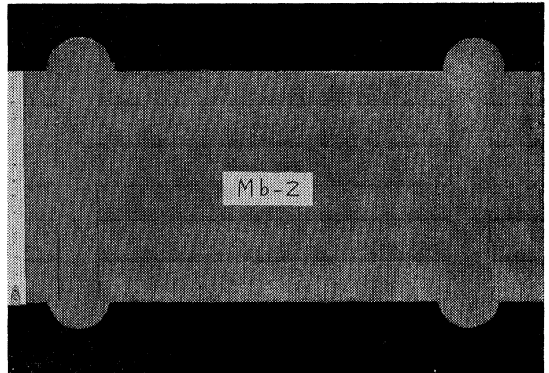
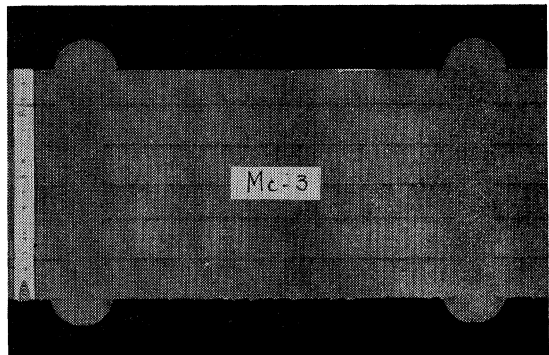


写真-3 リベット c の切断面



① 働長 200 mm では、リベット a はすき間が大きく、既成のリベット頭から中央部にかけて 0.7 mm にも達し、充填が不良なことは、リベット頭に生じたはちまきからもわかる。リベット b のすき間は a よりやや良好な程度であったが、リベット c は a, b にくらべてすき間は小さく 0.2 mm 以下であり、はちまきは生じなかった。

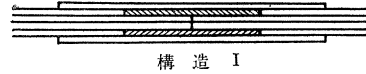
② 働長 150 mm では、リベット a, b は働長 200 mm の場合とほとんど同じ状態でよくならないのに反して、リベット c では、さらに良好ですき間は最大 0.2 mm

であった。

③ 働長 100 mm については施工例もあるので、リベット a, b の2種類について行ない、両者とも満足できる結果を得たが、a のすき間が 0.2 mm であるのに対して b ではすき間は生じなかった。

④ ジャムリベッターを用いた相打ちと空気あて盤を用いた場合との充填に関する明らかな差は、生じなかった。

図-2 継手構造



構造 I



構造 II

3. 継手供試体引張試験

(1) 供試体の選定

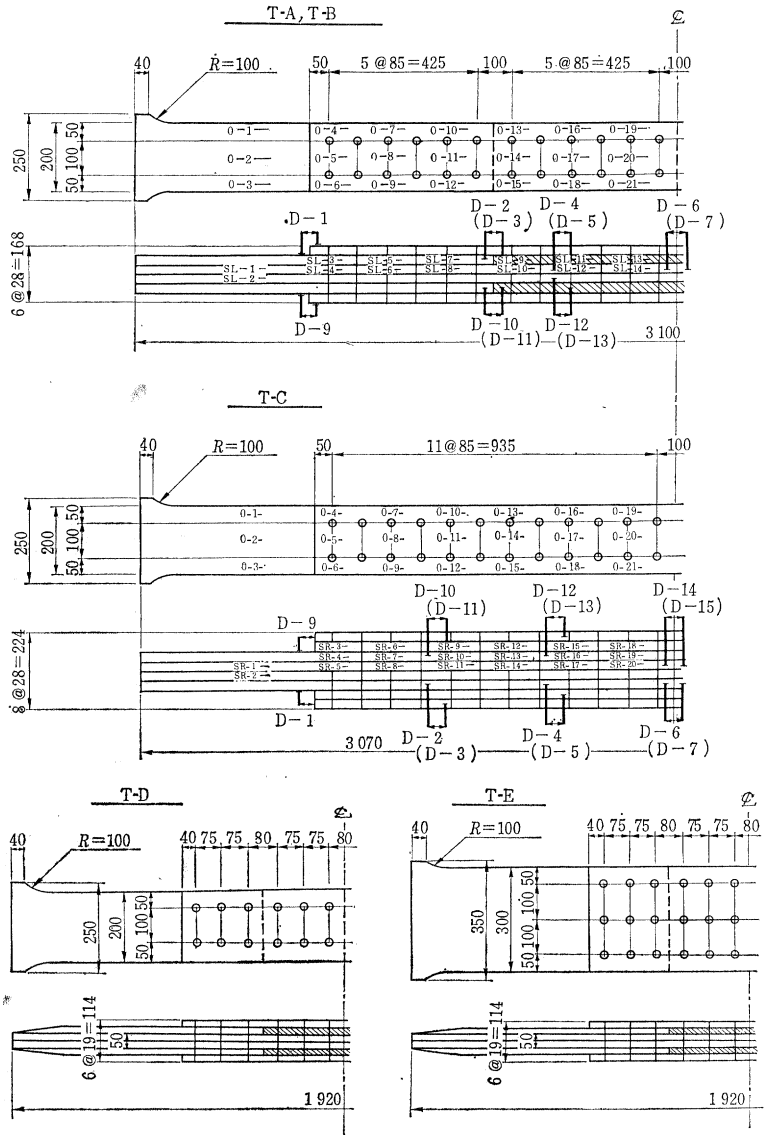
数枚の板からなる母材の継手構造は、図-2 に示す I, II の2案が考えられる。I 案はリベット構造のプレート ガーダーにみられる段状継手であり、II 案は母材を1箇所で切断した構造である。一般に構造 I が II にくらべてグリップを小にすることができるので有利であるが、締付け力による材片間の摩擦によって応力を伝える高張力ボルト接合の場合に、リベットと同じ応力伝達で構造 I を考えてよいかどうかは疑問であったので、高張力ボルト継手に関しては I, II の2つの構造をもつ供試体を作成した。グリップの大きいこと他に問題となる1列の本数の多い構造は、母材強度とのつり合い設計から得られた。また、幅の影響を調べるために、横方向に2列および3列のリベットを有する供試体を追加したので合計5個となった。供試体の形状を図-3 に示し、供試体の種類およびその諸数値を表-2 に示す。

(2) 供試体の製作

供試体の製作に先立って、板の引張試験を行なうとともに、ひずみ測定からヤング率を求めた。リベットは充填試験でよい結果をえたcタイプを使用した。高張力ボルトは JIS 11 T で引張試験、硬さ試験およびトルク係数試験を行なった。トルク係数は 0.105~0.110 であった。

リベット締め手順は充填試験と同様であるが、相打ちはやめて施工の容易な空気あて盤を用いた。高張力ボルトを用いる供試体 B, C の接触面はショット プラスト処理を行なった。ボルト締付けにはナット回転角法を採用し、ボルトに所定の張力 27.5t を与える回転角として表-3 の結果を得た。この場合問題となるのは締付ける際の出発点であって、

図-3 引張試験用供試体



いわゆる“Snug”の状態を確実に得ることであった。これはスパナを人力で締め付けることによってほぼ一定の張力が得られることによって解決できた。締めは仮締めボルトで連結したのち、添接部内側から端部に向って

表-2 継手供試体の種類と諸数値

供試体番号	T-A	T-B	T-C	T-D	T-E
板の材質	SM50B	SM50B	SM50B	SS41	SS41
ファスナーの種類	リベット	H.T. ボルト	H.T. ボルト	リベット	リベット
ファスナー材質	SV41	11T	11T	SV34	SV34
ファスナー径(mm)	25	25.4	25.4	22	22
ファスナー長さ(mm)	215	210	265	155	155
ファスナー断面積 (cm ²)	4.909	5.067	5.067	3.801	3.801
グリッブ(mm)	168	168	224	114	114
穴の径(mm)	26	26.5	26.5	23	23
列数	2	2	2	2	3
総本数(片側)	24	24	24	12	18
ピッチ(mm)	85	85	85	75	75
終端距離(mm)	50	50	50	40	40
ゲージ(mm)	100	100	100	100	100
母材の幅(mm)	200	200	200	200	300
母材の純幅(mm)	144	144	144	150	250
母材の厚さ(mm)	28	28	28	19	19
母材の純断面積 (cm ²)	40.32	40.32	40.32	28.50	47.50
T/S 比*	1:0.731	1:0.754	1:0.754	1:0.400	1:0.400

* 板純断面積の引張応力とリベットあるいはボルトの名目との断面積のせん断応力との比 (ファスナー断面積/母材純断面積)

表-3 ナット回転角

継手供試体	締付け長さ (mm)	ナット回転角
T-B	168	120°
T-C	224	180°

行なった。

(2) 引張試験方法

継手供試体の引張試験は、東京大学工学部総合試験所大型構造物試験所の2000t大型試験機を使用し、A, B, C, D, Eの順序で行なった。写真-4に試験機に設置した供試体を示す。

測定は塑性域ゲージによるひずみ測定、ダイヤルゲージによるずれ測定について行ない、測定位置を供試体A, B, Cについて図-3に示した。

荷重は設計荷重範囲内で2~3くり返したのち破壊まであげる方法をうい、注意深く作動させた。

(4) 試験結果

各供試体の試験結果を総括して表-4に示す。また試験終了後、縦方向に切断した供試体A, B, Cを写真-5, 6, 7に示す。破壊したのちの状態のスケッチのための測定および切断されたリベット、高張力ボルトの形状などの観察は興味深いものであって、継手構造

写真-4 引張試験機への設置

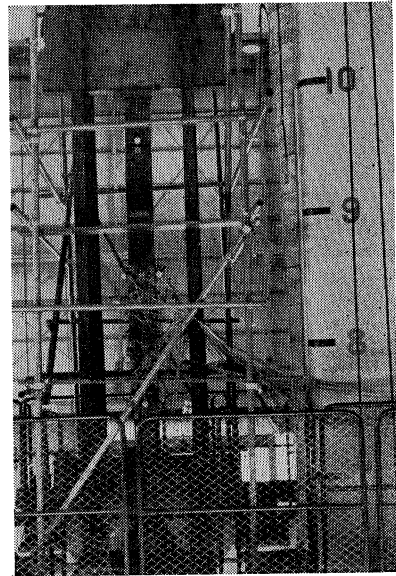


表-4 引張試験結果比較表

供試体番号	継手構造	ファスナー種類	設計荷重(t)	滑り荷重(t)	破壊荷重(t)	破壊状況
T-A	I	リベット SV41 25φ	297	—	835	継手端部第1列目のリベット2本が切断、続いて上半分の約2/3が飛散
T-B	I	H.T. ボルト 1"φ JIS 11T	330	457	1000	継手端部第1列目のボルト2本が切断
T-C	II	〃	330	472	970	継手中央から第1列目のボルト2本が切断
T-D	I	リベット SV34 22φ	90	—	321	継手と半分のリベットが同時に切断
T-E	I	〃	136	—	485	継手下半分のリベットが同時に切断

形式I案, II案の考えかたが妥当なことがわかった。

写真-5 T-A の切断面

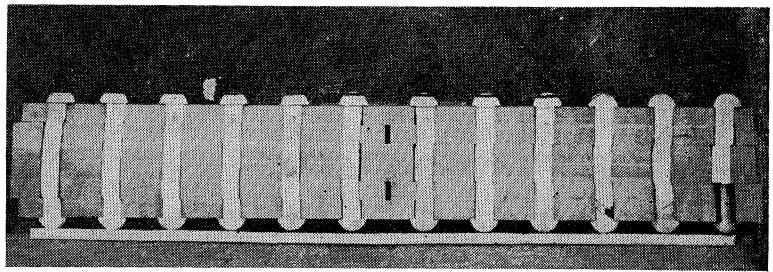
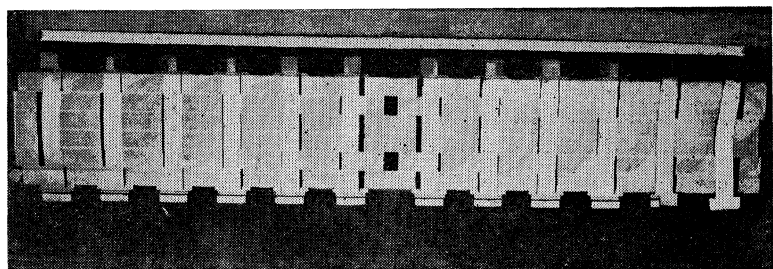


写真-6 T-B の切断面



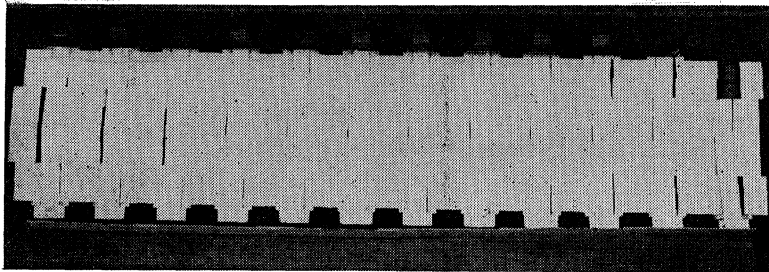
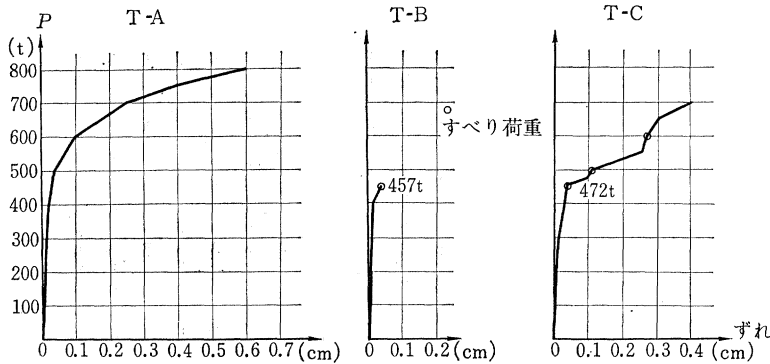


図-4 荷重—ずれ 曲 線



供試体各測点のひずみ，ずれの測定結果を荷重—ずれ曲線（図-4），ひずみ分布図（図-5）で表わした。供試体母材に関する荷重—ひずみ曲線からは，A, B, C は荷重 600 t まで直線であるので，母材の降伏点を 3200 kg/cm^2 とすると，比例限は降伏点のほぼ 85% となった。

ずれ量の変化は使用ファスナーの種類によってことなり，リベット使用の供試体 A, D, E は荷重の増加とともにずれがゆるやかな曲線で増加するのに対し，高張力ボルト使用の B, C は大きなすべりの音とともに，一度に大きなずれを生じた。このことはリベットの場合，穴の充填がよかったと断定できる。高張力ボルトの初期すべり荷重は，供試体 B で 457 t, C で 472 t でほぼ同値を示したが，これは設計荷重の 1.4 倍であった。

一定荷重のもとで供試体長手方向のひずみ量をひずみ分布図で表わした。おのおの供試体は継手構造に応じて，それぞれ特徴ある分布を示しているが，これから応力の伝わりかたを把握することができる。とくに継手構造の同じである C 以外の供試体は使用ファスナーの種類に関係なく傾向はほぼ同じであり，継手構造 I の考えかたの妥当性を示した。供試体 C の分布図はひずみが継手中央部に向かって，添接板では直線的に増加し，母材では逆に直線的に減少していて，応力伝達の考えは II の妥当なことを示した。

ひずみ測定結果を用いてファスナーの伝達力を求めた。伝達力の計算は 1 枚の板のひずみ差がその間にある

ファスナーによって伝達されたものと考えた。計算結果を図-6 に示す。荷重は設計荷重に近い値で，A, B, C とも 300 t を用いた。伝達力の分布をみると端部ファスナーがいずれも大きく，C のように 1 列の本数が多い継手では中央部のボルトはほとんど作用していないことがわかる。

(5) 実験結果の考察

ボルトを支圧型継手として使用した実験⁹⁾は，非常に大規模なものであって参考になることが多い。1 列にボルトを 3~16 本配置し，グリップをいろいろ変えた試験体についての実験結果から，最終破断強度はボルトのグリップに関係なく，継手長さに関係するとして unbuttoning factor (U) を与えた。この結果を引用して図

7 に示す。供試体の数の少ない本実験においては，上述の結果を使って検討することが得策である。

a) 継手最終強度

供試体 A のリベット切断強度は 835 t で，このときの平均リベットせん断強度は複せんとして $835/2 \times 12 = 35 \text{ t}$ である。これを設計強度 $\rho = 12.4 \text{ t}$ に対する比で表わすと，破壊に対する安全率は 2.8 倍となった。一方母材 SM 50 の許容応力の破壊に対する安全率は 2.7~3.1 であるので，unbuttoning の影響があるとしても構造 I を採用することによって 1 列の本数が 6 本程度であれば問題ないといえる。グリップの大きい影響は現行示方書によると「働長がリベット径の 4.5 倍をこえるときには，1 mm 超過するごとにリベット本数を計算値よりも 0.7% 増加する」とある。これにしたがって本数を求めると 39% 増しの 33 本となるが，実験結果から考えてこの割増は本実験の施工法を採用したとき高すぎ，むしろ不必要と思われる。供試体 B, C のすべり後の最終破壊はボルトの切断であったが，すべりを基準とした設計強度のほぼ 3 倍であるので十分と考えられる。

b) すべり荷重

すべり荷重は B, C ではほぼ同値で，すべりに対する安全率は設計時の 1.6 倍より小さく 1.4 倍となった。すべり荷重についても unbuttoning 現象と同じように 1 列の本数の大きい影響は当然あると考えられるので，実験結果から U を求めると T-B で 0.86 (0.84), T-C で 0.89 (0.70) となる。() 内の数値は 6, 12 本として図

図-5 ひずみ分布図

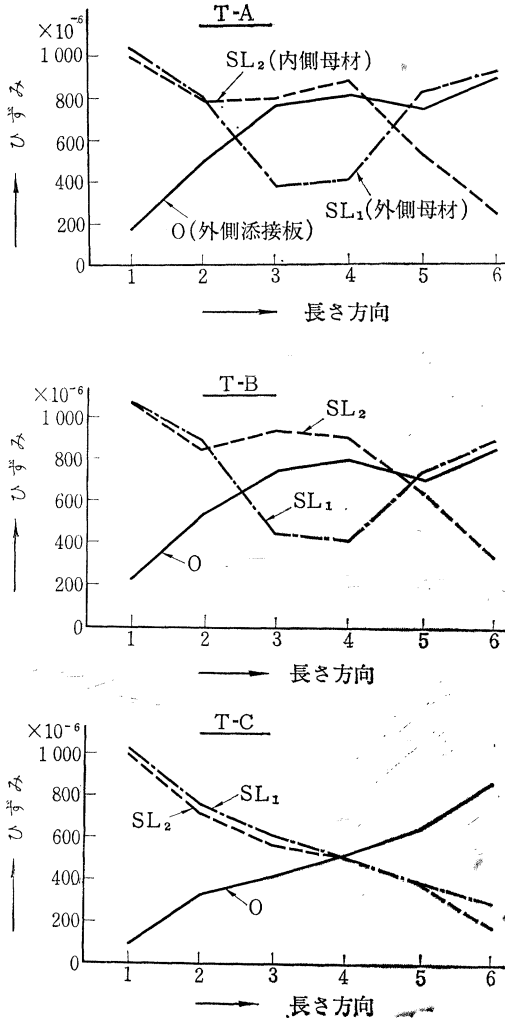


図-6 ファスナーの伝達力

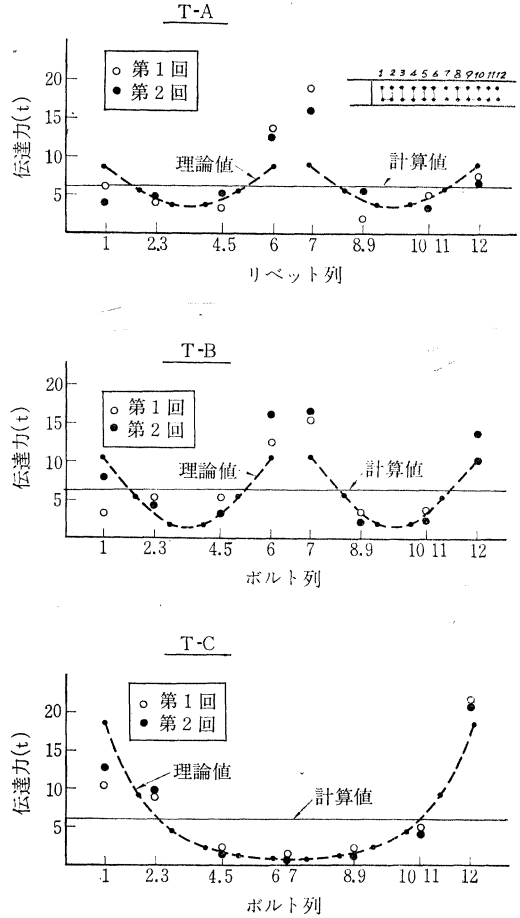
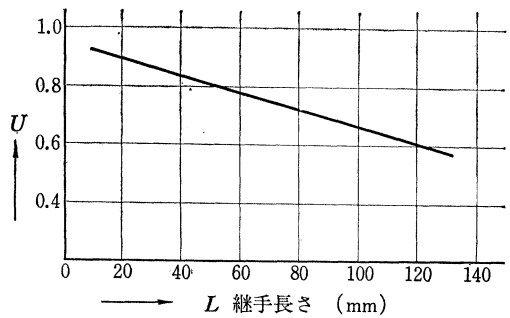


図-7 unbuttoning factor

(Tr. of A.S.C.E. 1963 による)



—7 から求めた値である。ショット プラスト処理を行なった接触面の摩擦係数が0.4より低いことはほとんどないので、本数の多い影響と考えるのが妥当と思われる。

c) 伝達力の分布

継手のファスナーが数本以上ある場合には、このファスナーに分布する力はずれと力との間に比例法則がなりたつ限り一様でなくなり、端部ファスナーが中央部より大きい力を負担する。ダイヤル ゲージによるずれ測定結果から設計荷重近くのすべり係数を求め、これを使った理論解を図-6 に点線で示した。高張力ボルト継手のすべり係数はリベットにくらべて大きいので、伝達力の不均一はいっそう激しくなる。

4. む す び

本実験の範囲内でつぎの結論が得られる。

(1) リベット穴充填試験結果から

① グリップが4d程度であれば、普通のリベットを用いても十分満足できるが、6d以上になると従来の径一定のリベットで充填が不良となるので、リベット軸先端にテーパを付けた特殊リベットを採用するのがよい。

② 相打ちと空気あて盤を用いた場合の充填に関する

明白な差は認められないので、現場施工の容易な後者を選ぶのがよい。この場合、能力の大きいリベットハンマーを用い迅速に締めることが大切で、熟練工を必要とする。

(2) 継手供試体引張試験結果から

① 設計荷重に対する最終破断強度は、リベット継手で2.8倍、高張力ボルト継手で3.0倍であった。また幅の影響を調べるために行なった2つの実験では、両者とも3.5倍となった。これを母材の破壊に対する安全率から考えるとSM50材で2.8倍、SS41材で3.0倍であるので継手設計はほぼ妥当である。したがって、静的荷重に対して高張力ボルト、リベット継手構造を問わず本実験の施工法を採用すれば、グリップの長い影響はないと考えられる。

② 幅の影響を調べるために行なった実験結果から、幅方向にリベットを3列配置したものは2列配置した継手破断強度のちょうど1.5倍であるので、リベットの分担力は同じであり、この程度では幅の影響はないといえる。

③ 高張力ボルト継手において、滑動に対する安全率は1.4倍という低い値を示したが、この原因として1列に打つ本数の多い影響によると考えるのが妥当と思われる。

④ 母材応力の伝達は理論どおりである。高張力ボルトを用いた2種類の継手の比較からは、すべり荷重および最終破断強度に差はなかったが、ボルト伝達力の分布から考えて、グリップの小さい構造IのBがCよりまさっている。

⑤ グリップの大きい現場継手において、高張力ボルト

を使用するか、リベットを使用するかは本実験結果のみでは決定しがたいが、疲労試験結果報告^{9),10)}および施工面から考えると、高張力ボルトがすぐれていると思われる。

本実験は板厚の大きい現場継手に関して、その問題点解明のために行なったもので、補足的な実験をさらに追加して行きたいと考えているが、今後の設計、研究に少しでも役立てば幸いである。

稿を終るに当たって、本実験についてご指導、ご援助をいただいた京都大学 小西教授、東京大学 奥村教授、同研究室の佐々木、上野の両助手および研究生の方々、ならびに大型実験室の金谷助手、および職員の方々に深く感謝の意を表する次第である。

参考文献

- 1) M. Radojkovic: "Die neue Straßenbrücke über die Save in Belgrad", Stahlbau 1958.
- 2) H. Grassl: "Die Kauppenbrücke", Stahlbau 1963.
- 3) W. Pelikan: "Versuche über die Lochfüllung beim Schlagen langen gedrehter Niete", Stahlbau 1956.
- 4) O. Graf: "Über die Nietlochfüllung mit langen Nieten", Stahlbau 1954.
- 5) W.H. Munse, 外: "Laboratory tests of high tensile bolted structural joints", Pr. of A.S.C.E. 1954.
- 6) R.A. Hechman, 外: "Slip of joints under static loads" Pr. of A.S.C.E. 1954.
- 7) E.F. Ball: "Installation and tightening of bolts" Tr. of A.S.C.E. 1961.
- 8) 田島二郎: 「高張力ボルト施工上の注意」, 鉄道土木
- 9) R.A. Bendigo, 外: "Long bolted joints", Pr. of A.S.C.E. 1963.
- 10) F. Baron, 外: "Comparative behavior of bolted and riveted joints", Pr. of A.S.C.E. 1954.

(1965.3.27・受付)

COASTAL ENGINEERING IN JAPAN, VOL. VII. 1964 領布

土木学会では昭和33年よりわが国の海岸工学の業績を広く海外へ紹介することを目標に Coastal Engineering in Japan を刊行しております。このたび Vol. VII が刊行されましたのでご希望の方は土木学会へお申込み下さい。なお、Vol. VII にはわが国の海岸工学の研究状況をとりまとめた11編の論文が写真や図表を用いてわかりやすく記述されています。

体裁: B5判 150ページ 口絵写真2ページ 定価: 1200円(送料共) 国外US\$4ドル

コンクリート・ライブラリー第12号

コンクリート舗装の構造設計に関する実験的研究

本書は、著者 岩間 滋氏(日本道路公団)が長年の研究結果をとりまとめたものであります。すなわちコンクリート舗装版に生ずる温度応力についての綿密な実測結果から、端部こう東応力・そりこう東応力ならびに内部応力の実態を明らかにするとともに、各部に生ずる輪荷重応力をも詳細に検討して、きわめて独創的な見地から合成応力を解明したものでありますのでぜひご一読下さい。

体裁: B5判 34ページ 定価: 120円 会員特価: 100円 送料: 30円