

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 27 日現在

機関番号：14301

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2013～2016

課題番号：25820201

研究課題名(和文) リユース橋梁のための主桁連結構造の設計法確立に関する研究

研究課題名(英文) Study on establishment of design method for connection for reuse bridge

研究代表者

鈴木 康夫 (Suzuki, Yasuo)

京都大学・工学研究科・助教

研究者番号：50431698

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、組立・解体が容易なリサイクル・リユース橋梁の部材連結構造を具現化するために、これまでに研究代表者らが提案してきた高力ボルト引張接合と摩擦接合を併用した新しい主桁連結構造の高強度化およびその設計法の確立を目的としたものである。フランジ連結部の構造詳細の違いが継手強度および変形性状に与える影響を検討した結果、フランジ連結部の補剛リブを主桁フランジ平行に取り付けた構造よりも垂直に取り付けた構造の方が、最大強度および最大強度時の変形量が増大し、より延性的な破壊モードとなることなどを明らかにした。さらに、従来の強度算定法よりも精度の良い曲げ強度算定法を提案した。

研究成果の概要(英文)：In this research, in order to realize the member connection structure of the recycling / reuse bridge which is easy to assemble / disassemble, the new main girder which combined the high strength bolted tensile joint and the friction joint proposed by the research representatives. It aims at strengthening the connection structure and establishing its design method. As a result of examining the influence of the difference in the structural details of the flange connection part on the joint strength and deformability, it was found that the structure attached vertically to the structure in which the stiffening rib of the flange connection part is mounted parallel to the main girder flange is larger. It is clarified that the deformation amount of the strength and the maximum strength character increases and it becomes a more ductile failure mode. In addition, we proposed a bending strength calculation method with higher accuracy than conventional strength calculation method.

研究分野：構造工学・地震工学・維持管理工学

キーワード：高力ボルト引張接合 高力ボルト摩擦接合 併用継手 仮設桁 リユース橋梁

1. 研究開始当初の背景

わが国の社会基盤構造物の一つである鋼橋は、一品一様で生産されることが一般的であるため、新規に鋼橋を建設する際には、設計・製作・架設に多くの時間と費用が必要とされる。したがって、鋼橋を新たに建設する際だけでなく、老朽化により損傷した鋼橋を補修・補強する際にも、上記の理由で個々の橋梁（あるいはその部材）毎に補修・補強方法を都度検討する必要がある。恒久対策として補修・補強を行うには多くの時間と費用を要している。また、大規模震災や大規模洪水により多くの橋梁が落橋もしくは流失した際には、早期の復旧が望まれるが、鋼橋は、大量生産される他の工業製品のように部品化されていないため、設計・製作に時間がかかることから復旧・復興の遅延の一因ともなっている。

このように、鋼橋が老朽化もしくは大規模災害により損傷・落橋・流失した場合に、交通遮断等により被る経済的・社会的損失を最小限にとどめ、早期に補修・補強もしくは復旧・復興するためには、これまで一品一様で生産されてきた鋼橋を、他の工業製品のように部品化（規格化）することが望まれる。すなわち、予め工場で製作・ストックされた規格部材を架設現場に運び込み、それらを架設現場において組み合わせて利用できれば、従来の鋼橋よりも短期間で建設できると考えられる。さらに、鋼橋を構成する各々の部材をその機能・種類ごとに規格化することで、他の橋梁にも流用することが可能となるため、部材のリサイクル・リユースにも繋がり、現在の一品一様で建設される鋼橋と比べて地球環境負荷を低減することが可能になると考えられる。

このような、リサイクル・リユースが可能な規格化橋梁を実現するには、規格化された各々の部材を、架設現場において、如何に容易に、如何に早急に組立て（もしくは解体）できるかが一つの鍵となると考え、申請者らはこれまでに、現在でも実用化されている軍用仮設橋や、工用仮設橋梁などの部材連結技術を参考に新たな連結構造を提案している。

現在の仮設橋梁の部材連結部は、汎用性（リユース性）、急速施工性に配慮して、溶接接合ではなく、高力ボルト摩擦接合を用いることが一般的であるが、この場合、図-1に示すように、上下フランジに連結板およびボルトヘッドによる突起ができるため、主桁上に設置する床版モジュールは、主桁連結部直上で切り欠きを設けた形状とする必要があり、その為、主桁連結部直上の床版は、他の箇所と比べて構造上の弱点となっている。したがって、従来の仮設橋梁を本設永久構造として利用可能なリユース橋梁に応用するには、床版に切り欠きを必要としない主桁連結構造を開発して高強度化を実現する必要がある。また、従来の仮設橋梁は、本設橋梁と

比較して設計荷重も小さい（許容応力度が大きい）ことが多く、その結果、主桁断面も小さく、これを本設永久構造として利用可能なリユース橋梁に応用するには高強度化も不可欠である。部材の高強度化は、断面の大型化・厚板化で実現可能となるが、この場合、部材連結部で伝達すべき断面力も大きくなるため、従来の高力ボルト摩擦接合継手では、必要ボルト本数が増大し、ボルト締結作業に要する時間が増大する。

そこで、申請者らは、床版に切り欠きを設ける必要がなく、高力ボルト摩擦接合よりも少ないボルト本数でより大きな断面力を伝達できる主桁連結構造として、図-2に示すような、主桁フランジ連結に高力ボルト引張接合を、主桁ウェブ連結に摩擦接合を適用した連結構造を提案し、載荷実験等によりその実現可能性について検討し、その結果、橋長30m程度であれば、提案連結構造が従来構造と同等程度の強度を有すること、提案構造の製作費およびボルト締結時間は、従来構造と比べてそれぞれ約25%および55%程度低減可能であることを確認してきた。

しかし、一方で、提案連結構造の荷重伝達メカニズムなどの詳細な力学特性は十分には検討できておらず、設計法の確立まで至っていないのが現状である。

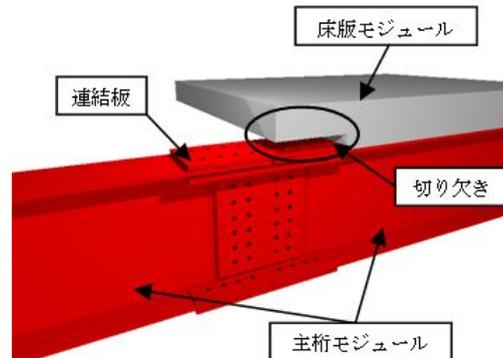


図-1 従来の仮設橋梁の主桁連結構造の例

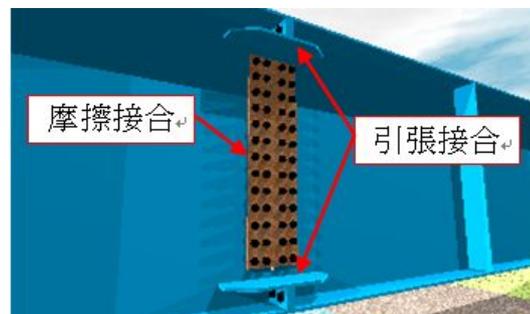


図-2 提案連結構造（引張接合と摩擦接合を併用した主桁連結構造）

2. 研究の目的

本研究では、上記の背景を踏まえ、高力ボルト摩擦接合と高力ボルト引張接合を併用した鋼I桁連結構造の力学挙動を解明するとともに、その設計法を提案することを目的としている。

具体的には、下記の項目に対して研究を行う。
 (1)高力ボルト引張接合継手のボルト配置、エンドプレート厚、および補剛リブ配置が継手の力学挙動に与える影響
 (2)高力ボルト引張接合継手と高力ボルト摩擦接合継手の各々の部材断面力伝達メカニズムの解明
 (3)高力ボルト引張接合継手と高力ボルト摩擦接合継手を併用した鋼 I 桁連結部の簡易強度算定式の提案

3. 研究の方法

上記の(1)から(3)の研究項目に対して、載荷実験および有限要素法を用いた非線形弾塑性有限要素法により、力学性能の解明、各種構造パラメータの力学的挙動に与える影響評価を行う。

(1)高力ボルト引張接合継手のボルト配置、エンドプレート厚、および補剛リブ配置が継手の力学挙動に与える影響

図-2 に示した連結構造のうち、フランジ連結に用いた引張接合部のみを取り出した部分モデル(図-3 参照)について、補剛リブ配置およびエンドプレート厚をパラメータとした有限要素解析および載荷実験(写真-1 参照)を実施した。

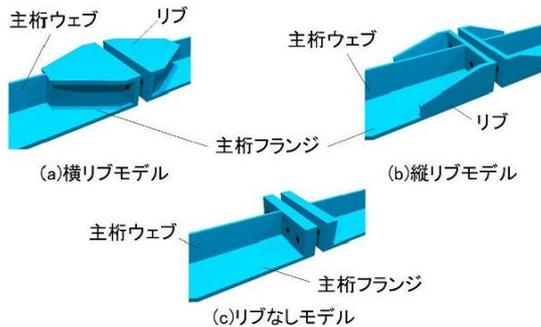


図-3 部分解析モデル

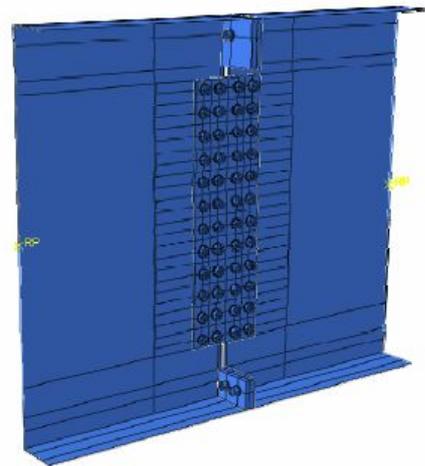


写真-1 部分モデル実験供試体

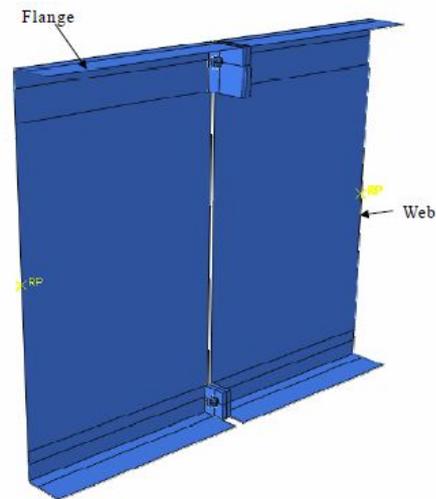
(2)高力ボルト引張接合継手と高力ボルト摩擦接合継手の各々の部材断面力伝達メカニズムの解明

図-4 に示すように、高力ボルト摩擦接合と引張接合を併用した鋼 I 桁連結構造の全体解

析モデルおよび高力ボルト引張接合のみを使用した鋼 I 桁連結構造の全体解析モデルに対し、高力ボルト引張接合部のボルト配置をパラメータとした有限要素解析を実施し、それらの力学挙動を詳細に検討した。



(a)併用モデル



(b)引張接合モデル

図-4 全体解析モデル

(3)高力ボルト引張接合継手と高力ボルト摩擦接合継手を併用した鋼 I 桁連結部の簡易強度算定式の提案

上記(1)および(2)の結果を参考に、高力ボルト引張接合と摩擦接合を併用した鋼 I 桁連結構造の曲げ強度算定法について検討を行った。

4. 研究成果

(1) 高力ボルト引張接合継手のボルト配置、エンドプレート厚、および補剛リブ配置が継手の力学挙動に与える影響

図-3 および写真-1 に示した試験体に対して実施した有限要素解析および載荷実験の結果の一例として、荷重と継手部離間量との関係を図-5 に示す。

図の縦軸は、載荷引張力を、横軸は、接合面間の離間変位量をあらわしている。また、

図中の凡例 25HR19, 25VR12, および 25NR は、それぞれ、図-3 に示した横リブモデル、縦リブモデル、およびリブなしモデルを示している。

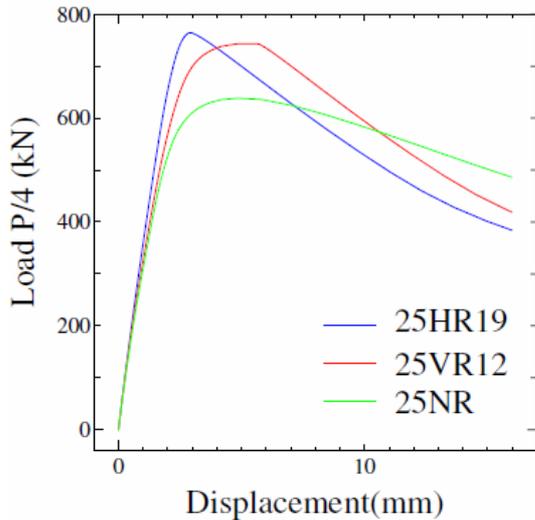


図-5 荷重-変位関係 (部分モデル)

解析および実験の結果として、主に以下のことを明らかにした。

リブプレートをフランジに平行に配置した横リブ配置モデル場合、エンドプレート厚が 25mm 程度であれば、リブプレート厚は継手の力学挙動に影響を与えないことを確認した。

リブプレートをフランジに垂直に配置したモデル (25VR12) は、平行に配置したモデル (25HR19) と比べて最大荷重は 2.8% 程度低下するものの、最大荷重時の変位量が大きくなり、変形性能の優れた継手になることがわかった。

リブプレートをフランジに垂直に配置したモデル (25VR12) の最大荷重時変位量が大きいことから、これをウェブ摩擦接合継手と併用した場合、ウェブの摩擦接合がより早期に支圧状態に移行し、横リブタイプモデルと比べて、引張接合用ボルトの破断時の荷重低下が少なくなると考えられる。

(2) 高力ボルト引張接合継手と高力ボルト摩擦接合継手の各々の部材断面力伝達メカニズムの解明

図-6 に示す I 桁のフランジに引張接合を有した I 桁連結部を対象とし、高力ボルト配置位置の違いが I 桁連結部の曲げ挙動に与える影響を検討した。ここでは、表 1 に示すボルト位置を表す a, b, c , および d をパラメータとした有限要素解析を実施した。なお、表には検討対象とするパラメータとその値のみを表示し、他の寸法はすべて 56 mm とした。

主な結果として、図-7 に示すように、引張側ボルト中心から下フランジまでの距離 (a 寸法) とボルト中心からウェブまでの距離 (c 寸法) が増加すると継手強度が大きく減少するが、縁端距離 (b, d 寸法) による影響は小さいことなどがわ

かった。

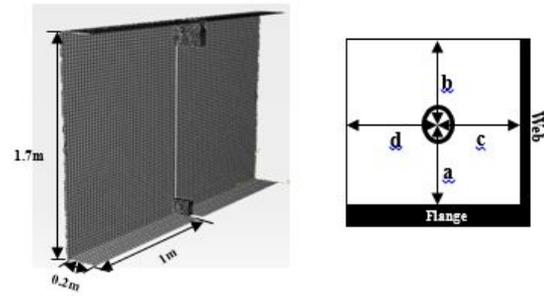


図-6 フランジに引張接合を有した I 桁連結構造の解析モデル

表-1 解析ケース及び解析結果一覧

解析パラメータ	解析ケース名	M_{max} (kN·m)	強度比
基本モデル	I-BM	1080	1.00
	I-a84	1018	0.94
a	I-a112	964	0.89
	I-a138	932	0.86
	I-b84	1136	1.05
b	I-b112	1160	1.07
	I-b138	1168	1.08
	I-c84	1010	0.94
c	I-c112	942	0.87
	I-c138	888	0.82
d	I-d84	1110	1.03
	I-d112	1108	1.03
	I-d138	1108	1.03

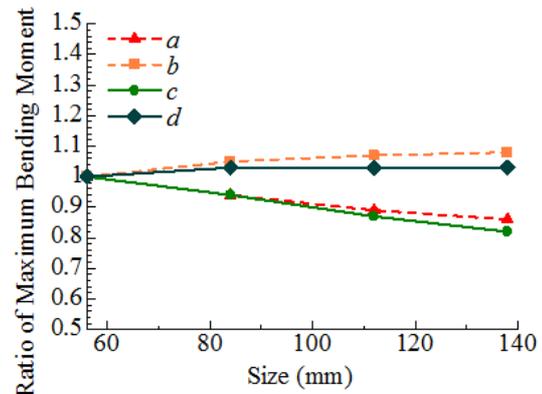


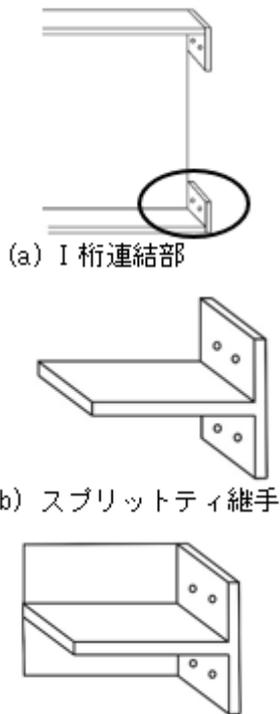
図-7 着目パラメータ寸法と強度比の関係

(3) 高力ボルト引張接合継手と高力ボルト摩擦接合継手を併用した鋼 I 桁連結部の簡易強度算定式の提案

ここでは、上記(1)および(2)の検討結果を参考に、図-8(a)に示す I 桁連結部の曲げ強度算定法を提案した。

従来、図-8(a), (b)に示すように I 桁の主桁フランジをスプリットティ継手のティーウェブと捉え、加藤・田中式から求めたスプリットティ継手の引張強度に桁高を乗じて I 桁連結部の曲げ強度を算定して試験体が設計されている。これは、曲げモーメントをうける I 桁では、曲げモーメントによる直応力のほとんどはフランジに伝達されることが考えられるためである。しかし、前章で示したように、鋼 I 桁フランジに高力ボルト引張接

合を用いた連結部では、ウェブからエンドプレートに伝達される曲げ応力の影響も無視できないと考えられる。そこで、本研究では、I 桁フランジに設けられた高力ボルト引張接合を図 - 8(c)に示すようなウェブおよびフランジの2 辺で支持されたエンドプレート接合として捉え、このようなエンドプレート接合の引張強度をスプリットティ継手の引張強度算定式である加藤 - 田中式に適用する方法を提案した。



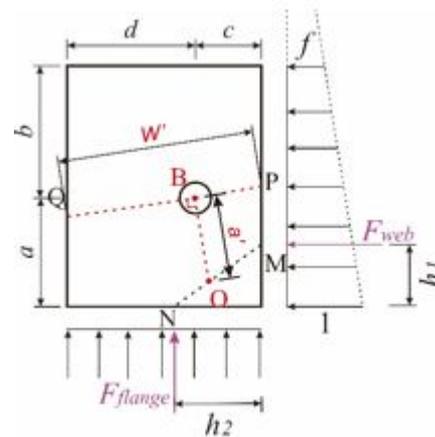
(a) I 桁連結部
(b) スプリットティ継手
(c) 2 辺支持されたエンドプレート
図-8 高力ボルト引張接合を用いた曲げ部材の強度換算法の概念

具体的には、まず、断面平面保持を仮定し I 桁ウェブの曲げ応力分布を図 - 9 のように考え、ウェブからエンドプレートに伝達される曲げ応力の合力 F_{web} 、およびフランジからエンドプレートに伝達される曲げ応力の合力 F_{flange} の作用位置をそれぞれ点 M および点 N とする。

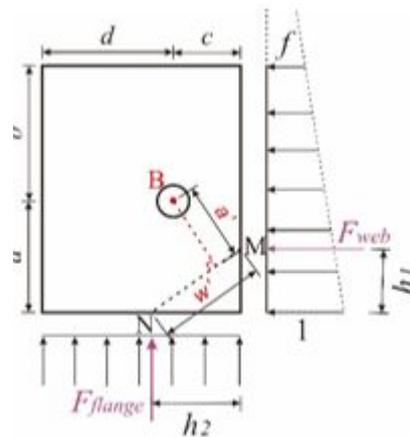
図 - 9(a)に示す Method 1 では、 F_{web} と F_{flange} の合力 F の作用点 O とボルト位置 (点 B) との距離をスプリットティ継手におけるティーウェブとボルト間距離 a' とし、線分 OB と直交する線分 PQ の長さをティーフランジの有効幅 W' とする。

一方、図 - 9(b)に示す Method 2 では、線分 MN の長さをスプリットティ継手の有効幅 W とし、線分 MN とボルト位置との距離をスプリットティ継手におけるティーウェブとボルト間距離 a' とする。

このようにして換算したティーウェブ - ボルト間距離 a' とティーフランジ有効幅 W を加藤 - 田中式に代入して算出したスプリットティ継手の引張強度に桁高を乗じて I 桁連結部の曲げ強度として求める。



(a) Method 1



(b) Method 2

図-9 継手幅およびティーウェブボルト間距離の換算法

表-2 曲げ強度算出結果一覧

Case	文献	Method 1	Method 2
Basic Model	0.88	0.96	0.96
a84	0.78	0.88	0.94
a112	0.70	0.81	0.94
a138	0.64	0.75	0.94
b84	0.84	0.95	0.96
b112	0.82	0.97	0.98
b138	0.81	1.01	1.01
c84	0.98	1.02	0.94
c112	1.07	1.01	0.95
c138	1.14	0.98	0.96
d84	0.89	0.96	0.99
d112	0.91	0.96	1.04
d138	0.93	0.93	1.08

このように2つの方法で算出したI桁連結部の曲げ強度と前章での解析より得られた最大曲げモーメントとの比を表-2にまとめる。なお、表中には参考のため、既往の研究1)と同様な考え方にに基づき、I桁フランジをティールウェブとして算出した結果も併せて記している。

表より、従来の方法で算出される曲げ強度は解析から得られた最大曲げモーメントとの差異が最も大きく、最大で36%程度過小評価していることがわかる。特に、a84, a112, a138の計算結果からわかるように、I桁フランジからボルト位置までの距離を大きくした場合、強度算定結果に大きな誤差が生じている。これは、図-8(b)に示したようなスプリットティ継手では、フランジからボルトまでの距離が大きくなるとエンドプレートの曲げ変形が大きくなり、てこ反力も増大するのに対し、図-8(a)のような連結構造では、エンドプレートがウェブにも溶接されていることによりエンドプレートの曲げ変形が拘束され、てこ反力が小さくなるため、算定結果より解析結果の方が大きくなったと考えられる。また、ウェブからボルトまでの距離 c を大きくしたケースでは過大評価となっており、特にケースc138では14%程度危険側の評価となっている。

これに対し、本研究で提案した強度算出法では、Method 1あるいはMethod 2のいずれの方法でも概ね良好に解析で得られた最大強度を算定できている。Method 1では、ほとんどのケースで安全側の算定結果となっており、算定結果と解析結果との差異も25%程度に収まっているが、エンドプレートの有効幅の算定が煩雑である。

一方、Method 2の算定結果と解析結果との差異は、全てのケースにおいて10%以内に抑えられており、特に、パラメータ a 、 b および c を変化させた解析ケースにおいて、算定結果のバラツキが非常に小さいことが確認できる。ただし、ケースd112およびd138では過大評価となっており、フランジ幅方向の縁端距離が大きい場合には、危険側の評価になることがわかる。これは、フランジ幅方向の縁端距離が大きくなると図-9(b)に示したフランジから伝達される曲げ応力の合力作用位置(点N)とウェブとの距離 h_2 が大きくなり、合力作用点とボルト中心との距離 a' が小さくなるため、結果的にてこ反力が小さく算定されるためである。

以上のように、本研究で提案した曲げ強度算定法では、従来の方算定方法よりも精度よく解析結果を再現しており、特に

Method 2による方法は簡便であるが、その適用範囲については今後さらに検討する必要がある。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 2件)

辛 浩、鈴木 康夫、杉浦 邦征、引張接合を用いた鋼I桁連結部の力学挙動と曲げ強度算定法、鋼構造年次論文報告集、査読有、23巻、2015、642-649

鈴木康夫、辛 浩、杉浦 邦征、1800MPa級超高張力ボルトを用いた引張接合に関する基礎的研究、構造工学論文集、査読有、62A巻、2016、737-746

<http://doi.org/10.11532/structcivil.62A.737>

〔学会発表〕(計 5件)

〔図書〕(計 0件)

〔産業財産権〕

出願状況(計 0件)

取得状況(計 0件)

〔その他〕

6. 研究組織

(1)研究代表者

鈴木 康夫 (SUZUKI, Yasuo)

京都大学・大学院工学研究科・助教

研究者番号：5 0 4 3 1 6 9 8

(2)研究分担者

なし

(3)連携研究者

なし

(4)研究協力者

なし

()