

I-53

高力ボルト摩擦接合引張継手の終局強度と変形能

大阪大学工学部 正員 亀井義典 大阪大学工学部 正員 西村宣男  
 駒井鉄工(株) 正員 播本章一 駒井鉄工(株) 正員 秋山寿行  
 大阪大学大学院 学生員 高木優任

1. はじめに 現在、鋼構造物の設計書式が、従来の許容応力度設計法から限界状態設計法へと移行しようとしている。限界状態として終局限界状態を考える場合、構造物の終局耐力および変形能力が重要な問題であると考えられており、我国においても、限界状態設計法の導入に備え、鋼構造物の終局限界に対し様々な観点から研究の蓄積が行われている。しかし、これら終局限界に関する研究は、主として構造システムおよび鋼構造の主要な構成要素となる板や梁柱部材を対象としたものであり、部材間の連結部もしくは連結部を含む部材については、十分な配慮がなされているとはいえない。

本報告は、継手を含む部材の終局限界の基礎資料を得ることを目的としており、主として弾性限界と終局耐力の関係および変形能について考察を試みるものである。また、諸外国の一部の規準では、継手部の変形能に関する条項を設けているが、その表記についても簡単な考察を行っている。

2. 継手モデル 本報告で対象とした継手は、大阪大学で実施された高力ボルト摩擦接合引張継手試験で使用した供試体に準じている。継手タイプとしては、母材および添接板が弾性状態において接触面のすべりが発生するAタイプ、すべりが発生する以前に添接板が降伏に達するBsタイプ、同様に、母材が降伏に達するBfタイプ、そして、母材および添接板の降伏強度とすべり耐力が設計上等しいCタイプの4タイプを考えている。供試体の概要および実験結果については、文献1)を参照されたい。

3. 変形能に関する考察 図-1に継手を含む部材の応力-ひずみ関係、表-1に図-1に対応した、部材の見かけの弾性係数、降伏比、靱性率(以下、見かけを略して称す)を示す。なお、図表中の  $l$  は継手長、 $L$  は部材全長を表し、 $l/L$  の算出においては継手長を各タイプで一定とした。継手形式は何れも片側6本配置の高力ボルト摩擦接合引張継手であり、Aタイプのみは少列側を4本配置とした。また、部材一般部は継手部の母材と等しい鋼種、断面とした。

Aタイプは、母材、添接板間のすべりによって弾性限界が定まり、ボルトの破断により崩壊に至る。ボルトの破断強度は継手のすべり耐力に対しかなり大きな値を有しており、そのため降伏比は小さな値を呈す。しかし、継手を構成する鋼板は継手崩壊後も健全となるよう設計されており、継手の弾性限前後における剛性の変化は微小である。一樣伸びに対する初期剛性および主すべりの影響は、部材長に対して継手部の占める割合が大きくなるほど大きくなるが、破壊時における鋼板の伸びが期待されないため部材全体の変形能は小さい。

Bsタイプは、添接板の降伏および破断によって弾性限界、終局限界が定まる。弾性限界、終局限界ともに添接板の強度に依存するため、降伏比は添接板の最小断面が有する値とほぼ等しくなる。一樣伸びに対する初期剛性および主すべりの影響は、Aタイプ同様、部材全長に占める継手長の割合が大きくなるほど助長され、添接板の伸びもある程度は期待できるが、添接板破断時における母材および部材一般部の伸びは極めて小さく、部材全体の伸びが局所的現象である添接板の伸

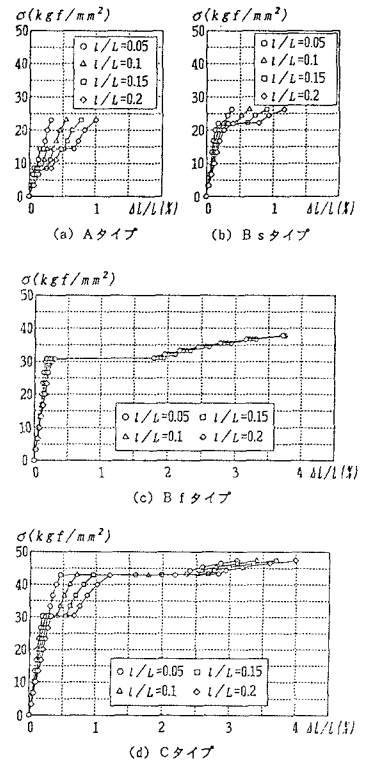


図-1 継手を含む部材の応力-ひずみ関係

びで代表されるため変形能は小さな値となる。

B f タイプは、母材の降伏および破断によって弾性限界、終局限界が定まる。継手部のボルト孔による断面欠損は、弾性限荷重に対しあまり寄与しないが、終局時においてはその影響が著しく、部材の終局耐力が低下するため、降伏比は大きな値となる。しかし、弾性限以後の勾配は材料のひずみ硬化勾配に近い値を呈しており、比較の変形能が確保される。

本報告で採用したCタイプの継手は、すべりによって弾性限界が定まり、母材の破断によって終局時に至る。B f タイプと同様に母材破断型ではあるが、鋼板降伏によるポアソン効果の影響でボルトの軸力抜けが促進されるため弾性限界においてすべりが先行するかたちとなり、B f タイプよりも降伏比が小さな値となる。このタイプの継手では母材、添接板双方の伸びが期待でき、部材降伏後の見かけのひずみ硬化勾配も小さな値となる。そのため部材全体の一様伸びは比較的確保されるが、部材全長に対する継手長の占める割合が小さくなるほど、すべり棚の影響が減少し、一様伸びが低減する。本報告では、 $l/L$ の値が0.15以下の部材で、一様伸びがB f タイプよりも劣っている。

4. 設計規準に関する考察 ISO<sup>2)</sup>, EC

C3<sup>3)</sup>などの規準では、継手部の変形能が要求される部材に対して以下の条項が設けられている。各々、安全率などの取り方に若干の差異を有するが、何れの規準においても基本となる考えは、継手部の純断面積 $A_n$ と引張強度 $\sigma_u$ の積を材料係数 $\gamma_{m2}$ で除した値が総断面積 $A_g$ と降伏強度 $\sigma_y$ の積を $\gamma_{m1}$ で除した値を上回る事にある。本報告でもボルト孔による断面欠損が、降伏荷重に与える影響は僅少で、終局荷重に対して顕著となる事を言及したが、上記の規準の表記には、その様な考えが反映されており、 $A_n \cdot \sigma_u / \gamma_{m2} > A_g \cdot \sigma_y / \gamma_{m1}$ を満足する事により、比較的大きな板幅が確保され、終局時においてもボルト孔による断面欠損の影響が緩和される。また、変形能に対しても継手部の破断に先駆け部材一般部の降伏が期待出来るため部材全体の一様伸びが確保される。

表-2に材料係数をEC3での値 $\gamma_{m1}=1.1$ ,  $\gamma_{m2}=1.25$ とし、本報告の継手モデルにISO, EC3の表記法を適用した例を示す。なお、表中の値は継手の設計断面および公称応力で評価している。本報告の継手は許容応力度設計法に準拠して設計されており、最も変形能が確保されたB f タイプでさえも上記の規準を満足しておらず、変形能が要求される部材に使用する場合は検討を要する。表-3に本継手モデルの設計板幅および必要板幅を示すが、Bs, Cの各々の継手で設計板幅135mm, 146mmに対しISOで253mm, EC3で506mmの板幅が必要である事が判る。また、B f タイプにおいても、一様伸びは4%程度確保されているものの必要最小板幅は満足していない。変形能をどの程度まで確保するかという問題は残されるが、EC3の書式および安全係数に従い設計した継手は許容応力度設計法に従い設計した本報告の継手の数倍にも及ぶ板幅を要する場合もあり、継手形式や破壊性状を念頭におき、安全率の再考が必要ではないと思われる。

参考文献 1)西村他:高力ボルト摩擦接合引張継手の強度に関する実験,平成4年度関西支部年次学術講演会講演概要 2)ISO:ISO/TC 167/SC 1-Steel Structures, Materials and Design, 1991. 3)EUROCODE3:Common Unified Code of Practice for Steel Structure, 1989.

表-1 継手を含む部材の変形能

タイプ	l/L	弾性係数		降伏比	靱性率
		$E(\times 10^4 \text{kgf/cm}^2)$	$\sigma_y / \sigma_u$		
A	0.05	1.124	0.370	4.708	
	0.10	0.740	0.370	5.335	
	0.15	0.549	0.370	5.642	
	0.20	0.437	0.370	5.824	
B f	0.05	1.772	0.750	25.842	
	0.10	1.514	0.744	22.114	
	0.15	1.321	0.732	19.575	
	0.20	1.172	0.735	17.191	
B s	0.05	1.455	0.754	2.992	
	0.10	1.113	0.746	3.920	
	0.15	0.902	0.746	4.450	
	0.20	0.758	0.746	4.807	
C	0.05	1.485	0.640	16.822	
	0.10	1.205	0.640	14.907	
	0.15	1.104	0.640	13.605	
	0.20	0.876	0.640	12.663	

表-2 変形能に関する条項の適用例

継手タイプ (使用鋼種)	ISO		EC3	
	$A_n \sigma_y / \gamma_{m1}$	$A_n \sigma_u / \gamma_{m2}$	$A_n \sigma_y / \gamma_{m1}$	$0.9 A_n \sigma_y / \gamma_{m2}$
A (SM58)	301.09tf	248.70tf	301.09tf	223.83tf
Bs (SM50Y)	110.46tf	89.00tf	110.46tf	80.10tf
Bf (SS41)	29.46tf	29.19tf	29.46tf	26.27tf
C (SM50Y)	105.12tf	88.00tf	105.12tf	79.20tf

表-3 変形能を要する部材の必要板幅

継手タイプ (使用鋼種)	供試体 設計値	ISO	EC3
A (SM58)	180mm	466mm	---
Bs (SM50Y)	135mm	253mm	506mm
Bf (SS41)	135mm	137mm	176mm
C (SM50Y)	146mm	253mm	506mm