

高強度鋼H-SA700A部材の接合のための複半月充填支圧ボルトに関する基礎的研究

Development of Half-Moon Shaped Bearing Fastener for High Strength Steel Member
(Grade H-SA700A)

長崎大学工学部 教授 玉井 宏章

（研究計画ないし研究手法の概略）

近年、建築構造で利用するための普及型高強度鋼（H-SA700）が開発され、その利用技術に関する研究が多く行われている。高強度鋼部材の接合では、超高力ボルト摩擦接合を行っても、かなり多くのボルト本数が必要と考えられる。

H-SA700の高強度鋼は普通鋼の約2倍以上の降伏耐力があり、従来の高力ボルト摩擦接合を用いるとボルト一本あたりのすべり耐力は被接合鋼材の強度にかかわらず一定なので、鋼種を高強度鋼とした場合、同形状部材の所要ボルト本数は2倍以上となるためコンパクトな詳細とは言い難くなる。

抵抗特性を変え接合耐力を上げる方法としては、リベット及びボルトによる支圧接合があるが、初期の接合部剛性が低く、繰り返し荷重を受ける部位では支圧接合を行う普通ボルトは使用を制限されている。

申請者等は、普及型高強度鋼部材として溶接を用いない乾式組立材を提示している。この高強度鋼部材を普及させるためにも、接合部剛性が維持・確保でき、接合耐力が高く、コンパクトな詳細で、かつ簡便に施工しうる接合法が望まれる。

この様な背景から、本研究ではボルト接合のせん断力伝達方法に関して、1). 接合耐力を高強度化する、2). 接合剛性を維持・確保する、3). 接合部詳細をコンパクト化する、4). 施工管理を簡略化する、といった課題を克服しうる接合法を提案する。

まず、提案する接合方法を解説し、接合部の引張試験を行って、接合部の降伏耐力、最大耐力の性状を示し、その抵抗性状を複合非線形有限要素法解析と比較して示す。最後に本接合方法を用いた梁継手を有する単純支持梁について、繰り返し中央載荷試験を行って、繰り返し荷重下における接合部の剛性変化を示し、提案する接合方法の優位性を示した。

（実験調査によって得られた新しい知見）

1. 接合部単調引張試験・解析からの知見

接合部単調引張試験及び解析の結果を表1、図1に示す。

図1には、全試験体について支圧耐力評価値で無次元化した接合部の荷重 $P/(3d \cdot t \cdot \sigma_u)$ と計測区間で無次元化した接合部の変位 δ/L との関係を示す。(a) 全体の変形領域と、(b) 初期の変形領域とに分けて示す。尚、同図には、実験による接合部の降伏耐力、最大耐力を○、▽印で、文献1, 2から求めた中板のはしぬけ最大耐力 ($e_1 \cdot t \cdot \sigma_u$) とせん断降伏耐力 ($e_1 \cdot t \cdot \sigma_y$)、支圧降伏耐力

$(1.88d \cdot t \cdot F_y)$ 、ボルトせん断最大耐力 ($A_b \cdot \sigma_{bu} / \sqrt{3}$) の評価値を示している。ここに $F_y = \min(\sigma_y, 0.7\sigma_u)$ であり、 e_l , t , σ_y , σ_u : 中板のはしあき, 板厚, 降伏強さ, 引張強さ, d , A_b , σ_{bu} : ボルトの軸径, 断面積, 引張強さである。尚, σ_y , σ_u , σ_{bu} は素材試験の実測値を用いている。

表1には各試験体について、実験値は、初期剛性: K , 降伏耐力: P_y , 最大耐力: P_u , 最大荷重時変形: δ_u と破壊形式を、有限要素解析値については、 K , P_y , P_u , δ_u を、実験値に対する有限要素解析値の比とともにそれぞれ示す。

これらの結果から、以下のことを明らかにした。

- 1) 接触問題と複合非線形問題を取扱った本解法によりボルトせん断最大耐力を除き、充填ボルト接合部の荷重-変位関係において、中板の最大耐力を工学上十分な精度で追跡できる。
- 2) はしあき e_l が 60mm の試験体は、支圧耐力評価値の 90% の低い耐力で中板の孔が拡がり、支圧による大きな塑性変形が生じた後にボルトが折損した。中板の支圧最大耐力は更に上昇する傾向にある。
- 3) ボルトせん断最大耐力評価値の 90% まで充填ボルトは破断せず、ボルト軸部は高い耐力を有している。
- 4) 本接合法は初期剛性も確保でき、充填ボルトに大きなせん断力が生じても充填ボルトのテーパ面が緩む方向に滑るスリップバック現象は生じない。

2. 梁継手片振り繰返し載荷試験からの知見

梁継手試験体の片振り繰返し載荷試験結果を図2~3に示す。図2は、継手が完全な場合の梁の剛性 K_s に対する梁継手試験体の剛性 $K/K_s = (P/w)/(48E_s \cdot I_s/L^3)$ と繰返し載荷回数 N との関係 (FB: 摩擦接合, HM: 充填支圧接合, NB: 支圧接合) について示す。図3にはHM試験体について (無次元化した荷重 $(P/L^2)/(48E_s \cdot I_s)$ と無次元化した中央たわみ w/L の関係を100サイクル目と5000サイクル目について示す。ここに $E_s \cdot I_s$ は、鋼梁の曲げ剛性である。

これらの結果から以下のことを明らかにした。

- 1) 1Hz, 5000回程度の繰返し載荷によっても、充填ボルトは、スリップバックしない。
- 2) 充填ボルトではない従来型の高力ボルトを用いた支圧接合試験体 (NB試験体) は継手が完全な場合の剛性 K_s と較べ初期から62%程度の低い剛性を示し載荷の繰返しに伴って剛性は漸減する。
- 3) 摩擦接合試験体 (FB試験体), 充填ボルト支圧接合試験体 (HM試験体) とともに初期の500サイクルで、初期剛性の95%まで剛性が低下する。その後、HM試験体は剛性が微増減を繰返しFB試験体とほぼ同じ一定の剛性を保持する。
- 4) 支圧接合したNB試験体とHM試験体の剛性差から、本接合法によれば、充填ボルトの自己充填機能が良好に作動し、継手の剛性を維持・確保しうる。

3. まとめ

高強度鋼用の効率の良い1つの接合法として、複半月充填ボルト支圧接合法を提案し、H-SA700鋼材を用いた接合部について単調引張载荷試験を行って、接触・複合非線形有限要素法解析により試験を追跡した。また、本接合法を用いた梁継手接合試験体を作成して、多数回の片振り繰返し载荷試験を行って、本接合法の可能性を検討した。得られた知見は、以下の様に要約できる。

- 1) 2つに分割した充填ボルト軸部は、充填ボルトのせん断最大耐力評価値の9割まで耐力を確保できる。
- 2) ボルトに折損が生じるまでの大きなせん断力を生じさせてもテーパ面ではボルトが緩む方向のずれ変形、いわゆるスリップバック現象は生じず、高い接合部の初期剛性が確保できる。
- 3) 本接合法では多数回の中規模外乱に対して充填ボルトが貫入して、梁継手の剛性が維持・確保しうる自己充填機能を有している。

参考文献

- 1) 日本建築学会：鋼構造接合部設計指針，技報堂，pp. 41-61，2006.
- 2) 日本建築学会：鋼構造設計規準－許容応力度設計法－，技報堂，p. 13. 2005.

(発表論文)

1. 玉井 宏章，桐山尚大，複半月充填ボルト支圧接合法について，日本建築学会構造系論文集，第80巻，第709号，pp. 511-518，2015. 3.
2. 山下祥平，玉井宏章，桐山尚大，高強度鋼用の複半月テーパ充填ボルト支圧接合継手の载荷実験，鋼構造年次論文報告集、第22号、pp. 13-19、2014. 11.
3. 桐山尚大，玉井宏章，山下祥平，支圧を考慮した高力ボルト接合継手の有限要素法解析，鋼構造年次論文報告集、第22号、pp. 20-27、2014. 11.

表1 実験・解析結果 (接合部引張試験)

| e_l mm | 実験値 | | | | | 解析値 | | | | 解析値/実験値 | |
|-------------|--------------|-------------|-------------|------------------|------|--------------|-------------|-------------|------------------|------------|------------|
| | K kN/mm | P_y kN | P_u kN | δ_u mm | F.P. | K kN/mm | P_y kN | P_u kN | δ_u mm | P_y - | P_u - |
| 30 | 150 | 184.4 | 236.4 | 6.5 | S | 270 | 175.4 | 250.5 | 8.3 | 0.95 | 1.06 |
| 40 | 240 | 195.2 | 303.0 | 9.1 | S | 288 | 174.4 | 322.1 | 13.6 | 0.89 | 1.06 |
| 60 | 300 | 119.5 | 335.7 | 7.1 | R, B | 289 | 166.9 | 368.0 | 11.0 | 1.40 | 1.10 |

K : 初期剛性, P_y : 降伏耐力, P_u : 最大耐力, δ_u : 最大耐力時の変位,
F.P.: 破壊形式, T: 引張破壊, S: はしめけ破壊, B: ボルト破壊, R: 支圧破壊

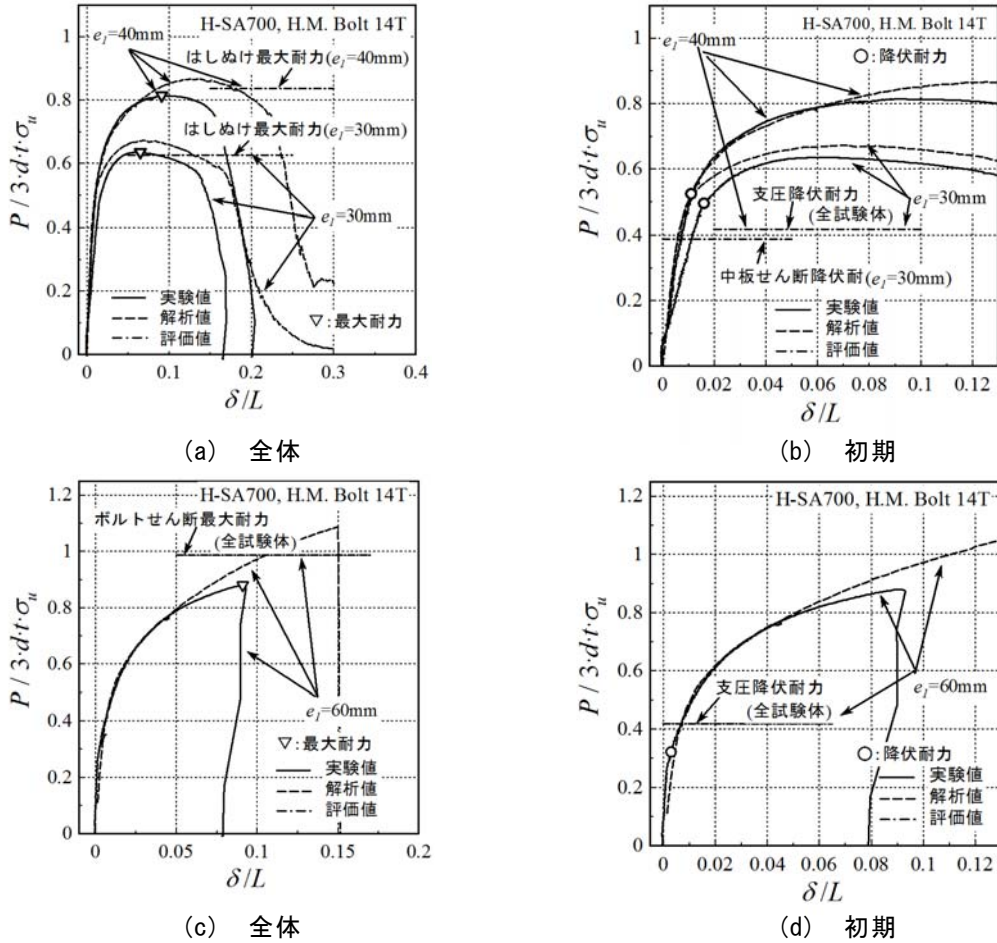


図1 無次元化荷重-変形関係 (接合部引張試験)

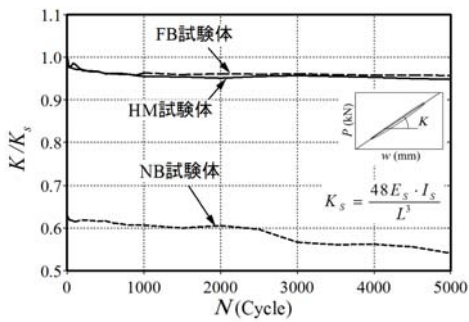


図2 無次元化剛性-繰返し回数関係
(梁継手片振り繰返し載荷試験)

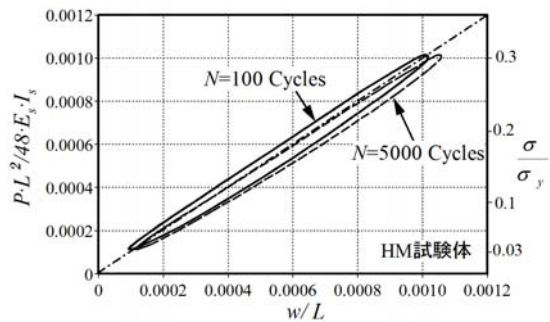


図3 無次元化荷重-無次元化中央たわみ関係
(梁継手片振り繰返し載荷試験)