

高力ボルト支圧接合の限界強度に関する解析的研究

三井住友建設(株) 正会員 ○谷口 侑也
大阪大学大学院 正会員 亀井 義典

1. はじめに

鋼橋において高力ボルトを用いて部材同士を接合する方法としては、高力ボルト摩擦接合が多用されてきた。しかし、近年の少数主桁化に代表される合理化橋梁では、主部材の高強度化、厚板化が進んでおり、従来の F10T 級の高力ボルトを用いた摩擦接合では必要ボルト本数が多くなり、穿孔により有効断面が減少するなど合理化設計の足枷となることがある。このような場合、ボルト 1 本あたりの荷重伝達力を大きくすることが得策だと考えられるが、その方法の 1 つとして高力ボルト支圧接合の利用があげられる。高力ボルト支圧接合は、通常、摩擦接合の場合と同様にボルトに軸力を導入することによって、常時荷重に対しては摩擦抵抗で、地震等の非常時荷重に対しては、摩擦抵抗の他にボルト軸のせん断抵抗と母材・連結板の支圧抵抗を期待するという考え方に立脚した接合法であるが、現行基準では使用および終局限界状態に対する区分が明確となっておらず、上記の概念に則さない接合法として規定されている。本報告では支圧接合に弾塑性有限変位法を適用することにより、解析的見地から継手の設計強度が各種限界強度に及ぼす影響を考察する。

2. 解析モデル

図-1 に 1 行 3 列のモデル概要例を示す。本解析では極力簡易なモデルを考えて高力ボルト片側 1 行の 2 面せん断継手とする。支圧接合に用いるボルトは、通常の高力ボルト (F10T, M20) と道示¹⁾で推奨している打込み式ボルト (B10T, M20) とする。ボルト間隔 d 、縁端距離 e 、初期導入ボルト軸力については道示に従いそれぞれ 70mm, 50mm, 181.5kN とする。また、母材及び連結板の鋼種を SM490Y とし、板厚に応じた降伏応力度を用いる。弾性係数は $2.0 \times 10^5 \text{MPa}$ 、ポアソン比は 0.3 とする。解析対象は、継手および載荷荷重の対象性を利用して各中央面に垂直な方向の変位を拘束することにより、継手全体の 1/8 モデルとする。支圧接合は接触式および打込み式支圧接合の 2 種類とする。前者は、通常の高力ボルトを用いてボルト孔径を呼び径 + 1.5mm とし、母材-連結板間のすべりが発生した後に確実な支圧状態を確保する方法を表し、後者は、打込み式ボルトを用いて、ボルト孔とボルト軸の間に隙間がないように密着させる方法をさす。

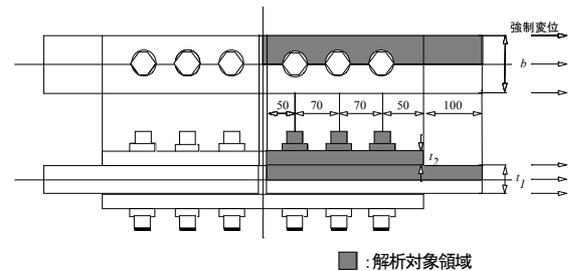


図-1 モデル概要例

3. 高力ボルト支圧接合の限界強度

支圧接合は一般に板厚が大きいほど有利だとされている。そこで解析対象の設計強度の差を母材厚の変化として捉え、母材厚が各限界強度に与える影響について考察する。なおボルト列数は 3 列とした。表-1 にモデル諸元、図-2 に母材厚と各限界強度の関係を示す。図-2 (a) は使用限界、(b) は終局限界に対応する。縦軸は各限界時の荷重 (降伏限界 P_{FYn} 、支圧限界 P_{bear} 、ボルトの破断限界 P_{bolt} 、母材の破断限界 P_{Fu}) を各限界強度の設計値 (母材純断面降伏強度 N_{FYn} 、支圧強度 N_{bear} 、ボルトの破断強度 N_{bolt} 、母材の破断強度 N_{Fu}) で無次元化した値、横軸は母材の板厚を表す。ここでいう支圧限界状態とは、解析においてボルト孔の支圧部分に位置する要素の全積分点が降伏に達した状態、ボルトの破断限界状態とはボルト断面を構成する要素の積分点が全て降伏した状態、母材の破断限界とは解析上で母材のひずみが JIS で規定されている 18% となった状態をさす。また、本稿では継手のすべりは許容するものとし、降伏限界および支圧限界を使用限界、ボルトの破断限界と母材の破断限界を終局限界と定義している。図-2 (a) の△、○は限界状態がそれ

キーワード：高力ボルト支圧接合、支圧強度、ボルトの破断強度、限界強度、有限要素解析

連絡先：〒565-0871 大阪府吹田市山田丘 2-1 TEL06-6879-7599 FAX06-6879-7601

ぞれ降伏限界, 支圧限界, 図-2 (b) の△, ○は母材破断, ボルト破断となったモデルをさす.

本解析の範囲では, 使用限界に関して接触式支圧接合で板厚 30mm までのモデルで母材降伏限界, 40mm 以降で支圧限界が支配的となり, 40mm で $P_{bear}/N_{bear}=1.48$ となり設計値の 48%の強度上昇が確認できた. 打込み式支圧接合では板厚 50mm までのモデルでは母材降伏限界, 60mm では支圧限界が支配的となった. 60mm で $P_{bear}/N_{bear}=1.62$ となり設計値の 62%の強度上昇が確認できた. なお, 使用限界状態が変わる際の N_{bear}/N_{FYn} は接触式および打込み式支圧接合ともに 0.76 であった. 終局限界に関しては接触式及び打込み式支圧接合ともに板厚 20mm までは母材破断, 30mm 以降はボルト破断で終局に至った. 接触式及び打込み式支圧接合の 30mm における P_{bolt}/N_{bolt} はそれぞれ 1.13, 1.50 となり設計値の 13%, 50%の強度上昇が見られた. なお, 終局限界状態が変わる際の N_{bolt}/N_{Fu} は接触式および打込み式支圧接合ともに 1.41 であった.

使用限界に関しては, 接触式及び打込み式支圧接合ともに設計値を上回り, 板厚の違いによる耐力の差は僅少であるが, 終局限界は板厚の増加により若干減少する傾向が認められた.

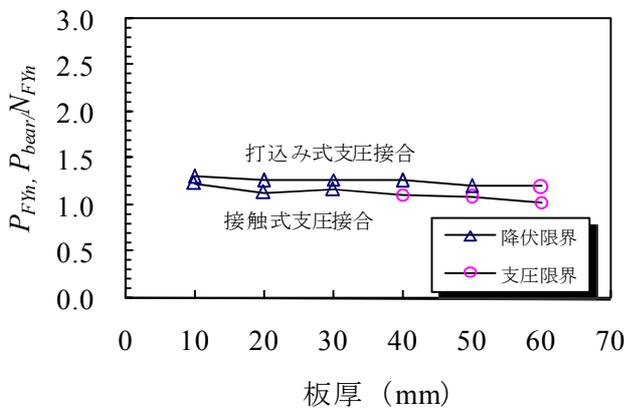
図-3 に A-30 の母材および連結板の断面中央での応力分布を示す. 図-3 (a) 接触式支圧接合のボルト破断時における応力図, 図-3 (b) は (a) の荷重レベルにおける打込み式支圧接合の応力図である. 応力は相当応力を降伏応力で無次元化した値で図示し, 上段は連結板, 下段は母材を表している. 打込み式支圧接合の応力状態は接触式よりも全体的に応力状態が緩和されており, ボルト孔周りの応力の乱れも少ない. これは载荷当初から母材と連結板が一体化して挙動することにより力の伝達が円滑であったことに起因しており, そのため耐力は接触式支圧接合に比べ 20%程度増加する結果となった.

1) 日本道路協会: 道路橋示方書・同解説, II 鋼橋編, 2002.3.

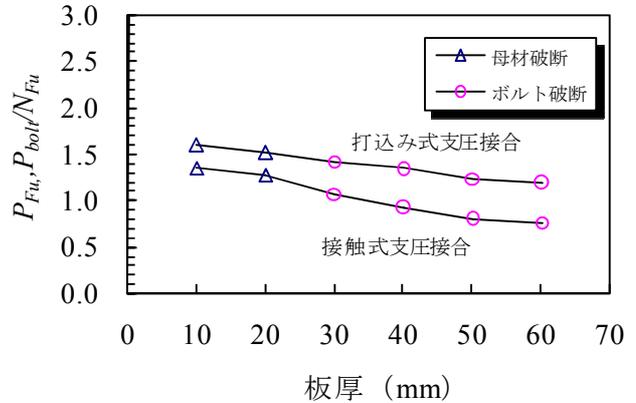
表-1 モデル諸元

	板幅 b	母材厚 t_1	連結板厚 t_2	β	γ
A-10	100	10	5.5	1.54	1.1
A-20		20	11	0.77	
A-30		30	16.5	0.51	
A-40		40	22	0.39	
A-50		50	27.5	0.31	
A-60		60	33	0.26	

単位:(mm)

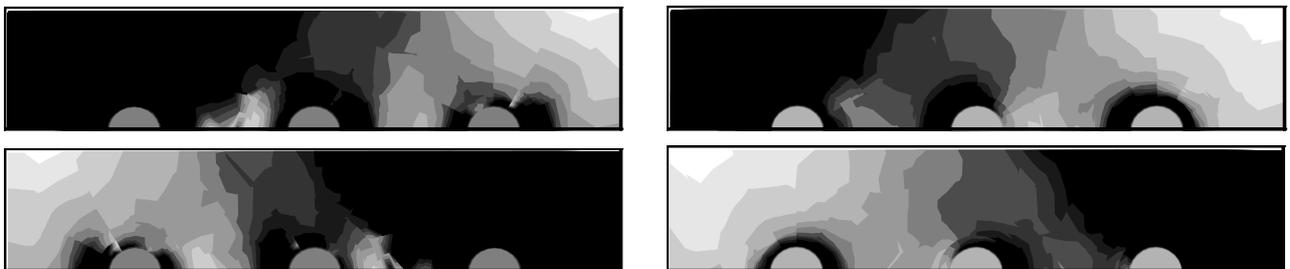


(a) 使用限界



(b) 終局限界

図-2 母材厚と各限界強度の関係



(a) 接触式支圧接合

(b) 打込み式支圧接合

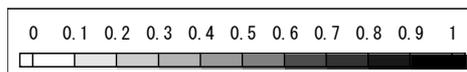


図-3 応力分布