

高力ボルトの配置位置による当て板補強効果に関する静的基礎試験

大阪市立大学大学院 学生会員 ○潘 超

大阪市立大学大学院 正会員 山口隆司

石川工業高等専門学校 正会員 三ツ木幸子

宇都宮大学大学院 正会員 鈴木康夫

1. まえがき

疲労亀裂を対象とした高力ボルト当て板補修・補強（以下、「当て板補強」と略す）は、これまでも多用されてきている。しかしながら、当て板内に群配置された各々のボルトによる補強効果については、これまであまり明らかにされていない。そのため、疲労亀裂などの補修に高力ボルト当て板を用いる際には、新設橋梁よりさらに安全側の設計で対処される傾向にあった。そこで、本研究では、当て板補強に最適なボルト配置を検討するための基礎的な資料を収集することを目的として、亀裂を有する引張部材を片側2本のボルトで当て板補強した板の静的載荷実験を行い、当て板による補強効果に与える高力ボルト配置の影響について検討した。

2. 試験概要

本試験で設定した供試体は、図-1に示すように、引張荷重を受ける板部材に荷重直角方向の亀裂が進展し、亀裂先端にはストップホールが設けられているケースを想定した。本来、当て板補強の際にはボルトは群配置されるが、本研究では、当て板内に群配置された各々のボルトによる補強効果について検討することに主眼を置いているため、亀裂による不連続部分を道路橋示方書¹⁾で定められる最小ボルト本数（片側2本）及び最小の当て板幅で補強することとし、ボルト配置をパラメータとして供試体の設計を行っている。その結果、ボルト2本を応力方向に配置したE、N、Sタイプの当て板幅は64mm、Tタイプの当て板幅は127.5mmとしている。母材の形状は、載荷に使用する治具の能力を考慮し、板厚9mm、幅200mm、長さ1100mmとしている。母材及び当て板の材質はSS400（降伏点：275MPa、引張強度：423MPa）とし、全表面に対してブラスト処理を行った（摩擦係数を0.4と推定）。なお、当て板の母材への取り付けは高力ボルトM22(F10T)で行い、ボルト軸力はトルク管理によって、目標軸力（230kN）が導入されるように管理した。なお、試験はボルトを締め付けた直後に写真-1に示すように供試体（各タイプにつき3体）を設置し、載荷速度2mm/分の変位制御で静的単調漸増引張載荷を行った。用いた試験機（アクチュエータ）の容量は±1000kN、±150mmである。試験は残存断面が破断した段階で、荷重が急激に低下し、この時点で載荷を終了した。

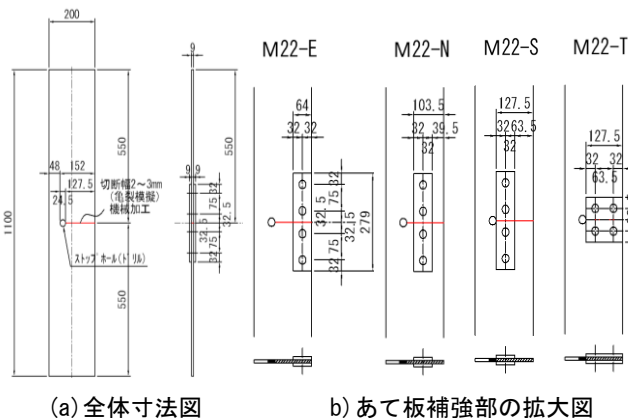


図-1 供試体



写真-1 試験状況



写真-2 実験後の供試体

3. 試験結果

試験結果の一例として、アクチュエータ（ロードセル）で検出された荷重とアクチュエータ内部変位計より計測した全体変位との関係を図-2に示す。また、荷重と供試体端部に設置したクリップ式変位計（最大計測変位7mm）で計測した開口変位との関係を図-3に示す。また、試験より得られた全供試体の終局荷重（最大荷重）及び主すべり荷重を表-1と表-2にまとめる。ここで、主すべり荷重は図-3に示すように変位が急に変化する時点での荷重としている。なお、図-2中の終局耐力線は、図-4に示す簡易な荷重伝達モデルを仮定して算出した値であり、残存断

キーワード 当て板補強, 終局荷重, すべり荷重

連絡先 〒558-8585 大阪市住吉区杉本 3-3-138 大阪市立大学 TEL 06-6605-2765

面部の引張抵抗, ボルトによるせん断支圧抵抗, および添接板と母板間の摩擦抵抗を加算して求めている. その際, 残存断面の引張抵抗は, 試験後の供試体(写真-2)の観察から, 端部では降伏応力, ストップホール部では引張強度とする台形応力分布と仮定して求めている. その結果, 全タイプ供試体の終局耐力は次式のように, 残存断面の引張抵抗+せん断支圧抵抗+摩擦抵抗 $=9\text{mm}\times 48\text{mm}\times (275\text{MPa}+423\text{MPa})/2+9\text{mm}\times 22\text{mm}\times 275\text{MPa}\times 2\text{本}+230\text{kN}\times 0.6\times 0.4\times 2\text{面}\times 2\text{本}=480.47\text{kN}$ となる. また, 図-4中のすべり耐力(368.00kN)は, 導入ボルト軸力を用いて算出した2本のボルトによる2面摩擦継手のすべり抵抗値である.

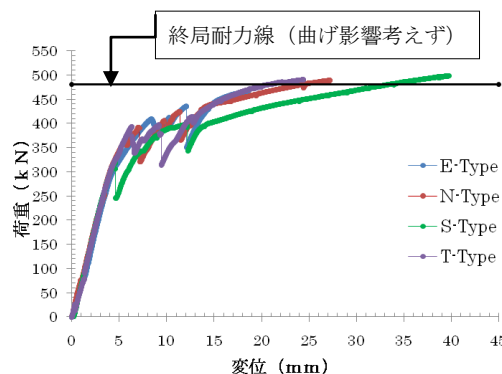


図-2 荷重と全体変位曲線の例

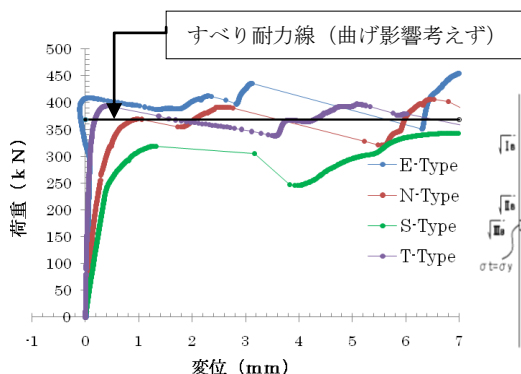


図-3 荷重と開口変位曲線の例

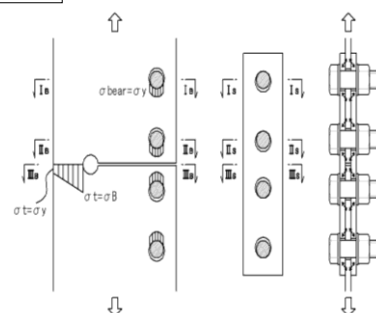


図-4 終局時の荷重伝達モデル

図-2より, 各タイプの終局耐力は, N, Tタイプが終局耐力線と同程度, Sタイプが終局耐力線より高く, Eタイプが終局耐力線より低いことがわかる. また, 図-3より, Nタイプはすべり耐力線と同程度の荷重で, E, Tタイプはすべり耐力線より高い荷重で, Sタイプはすべり耐力線より低い荷重で主すべりが生じたことがわかる.

また, 試験でストップホール上の最大応力集中を計測するのは困難であったため, 供試体を模擬した FEM 弾性解析を行い, ホットスポット法で処理した各タイプ供試体の応力集中係数を求めた. その結果, 各タイプ供試体の応力集中係数は, E-Type : 2.2, N-Type : 1.5, T-Type : 1.4, S-Type : 1.1 の順であった.

表-1 終局耐力 $P_{\max}$ 表-2 主すべり荷重 P_{slip}

供試体 タイプ	各回実験値 (kN)			平均値 (kN)
	1回目	2回目	3回目	
E	452.18	440.77	464.49	452.48
N	488.41	477.88	489.10	485.13
S	490.16	498.30	502.15	496.87
T	491.78	492.48	490.30	491.52

供試体 タイプ	各回実験値 (kN)			平均値 (kN)
	1回目	2回目	3回目	
E	411.46	396.25	408.84	405.52
N	393.87	376.76	368.83	379.82
S	322.57	305.42	294.87	307.62
T	420.77	409.39	392.69	407.62

表-1より, 各試験体の終局耐力は, 1割程度の違いが見られた. この1割程度の違いは, 高力ボルトの配置位置と供試体の中心軸との偏心により供試体に生じた面内曲げの影響と考えられる. 平均値より最も高い終局耐力を示したのはSタイプであり, Tタイプ, Nタイプ, Eタイプの順に小さくなった. これは解析より求めた各タイプの応力集中係数と逆順になる. これより, 当て板の配置位置は, 応力集中に影響し, 当て板補強の力学性状にも影響することが分かる. 一方, 表-2に示した各タイプ供試体のすべり荷重は, Sタイプ, Nタイプ, Eタイプ, Tタイプの順に大きくなっている. すべり荷重についても終局耐力と同様に同じ応力集中に影響受けると考えられるが, 実際の結果は異なっている. これは, すべり面の処理状態の違い, ボルト軸力のばらつき, そして, 高力ボルトの設置位置と供試体中心軸との偏心による面内曲げにともなって発生する回転すべりなどが複合的に影響したためと考えられる.

4. まとめ

本試験の結果から, 高力ボルトの配置位置は当て板補強効果に影響することがわかった. 特に, 高力ボルトの配置位置による違いは供試体の終局荷重に直接影響する. 一方, 供試体のすべり荷重は, 高力ボルトの配置位置だけではなく, すべり面の処理及びボルト軸力の影響と考えられる.

参考文献

- 1) 日本道路協会: 道路橋示方書Ⅱ鋼橋編 2002年