

高力ボルト摩擦接合部での変形支圧限界を考慮した設計法に関する一検討～設計合理化～

(一財)阪神高速先進技術研究所 ○中本 勇
阪神高速道路(株)技術部 藤原 眞幸
大阪公立大学大学院工学研究科 山口 隆司

(一財)阪神高速先進技術研究所 赤松 伸祐
阪神高速道路(株)技術部 青木 康素
北海道大学大学院工学研究院 佐倉 亮

1. はじめに

道路橋示方書I編¹⁾ (道示I) では、橋の耐荷性能は設計で考慮する状況とそのときに求められる状態の関係が示されている。偶発作用が支配的な状況での所要の状態は限界状態2および3として定義されている。橋の耐荷性能は部材の耐荷性能で代表させてよい。橋梁部材の高力ボルト摩擦接合継手部に対してもこれらの限界状態の照査が求められることになるが、限界状態2の照査法は確立されていない。

限界状態設計法による継手設計の合理化を目指す場合、すべり後挙動を評価し、適切な限界状態2を設定する必要がある。これに対して図-1(a)に示すように接合部の最大耐力に対して所要の耐荷性能・変形性能を有する限界状態を設定することを目的に、すべり後の変形性能に着目した変形支圧限界が提案されている²⁾³⁾⁴⁾。

文献5)では、変形支圧限界への到達を被接合材の限界状態2として適用することを考え、過年度検討³⁾⁴⁾を基に変形支圧限界の特性値を仮定している。本検討は、過年度検討³⁾⁴⁾における実験データの分布特性に着目し、文献2)で仮定した特性値の妥当性を評価したものである。

2. 変形支圧限界の特性値

文献3), 4)では、図-2の試験体に対する要素試験による、変形支圧限界到達時の被接合材の支圧耐力に関する検討が実施されている。変形支圧限界は、設計上の簡便さ、状態確認の容易さから考えられたものであり、図-1(b)に示すボルト孔変形量がボルト軸平行部径に対して特定の割合になる状態である。支圧耐力は式(1)により提案され、支圧耐力係数 α_{bl} は変形支圧限界時に被接合材に生じる応力を降伏強度の特性値(公称値)で除した値であり、図-2の要素試験から算出される。

$$V_e = \alpha_{bl} \cdot d \cdot t_m \cdot \sigma_{ym} \quad (1)$$

ここで、 α_{bl} : 支圧耐力係数、 d : ボルト軸平行部径(mm)、 t_m : 被接合材の板厚(mm)、 σ_{ym} : 被接合材の降伏強度の特性値(N/mm²)である。

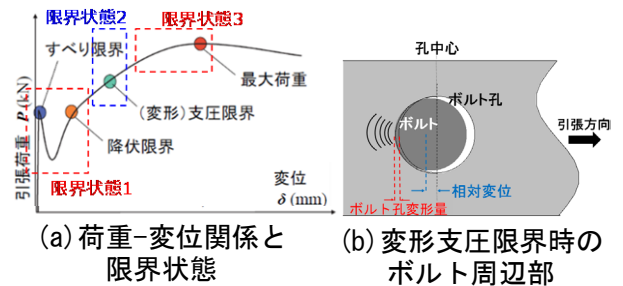
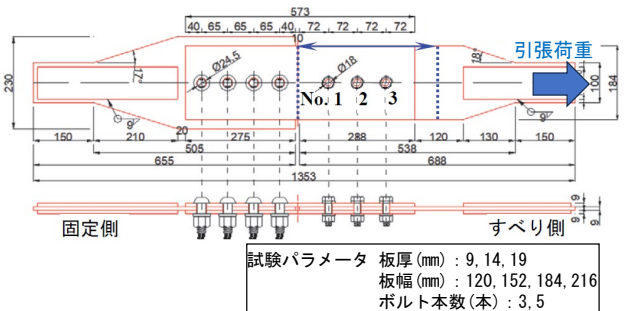
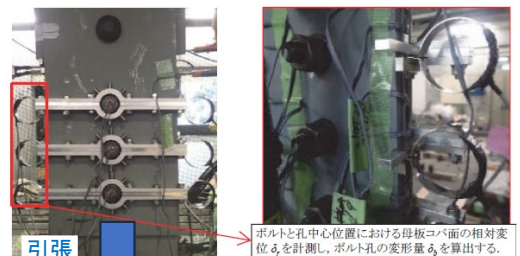


図-1 変形支圧限界のイメージ



(a) 試験体形状



(b) 試験状況

図-2 要素試験の状況

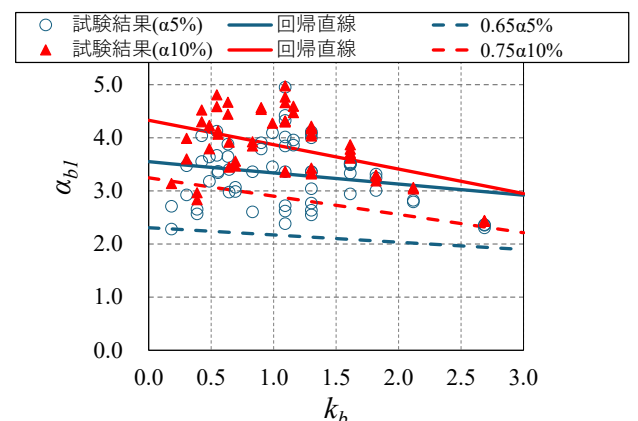


図-3 支圧耐力係数と耐力比の関係

要素試験による支圧耐力係数 α_{bl} と、被接合材の端抜け破断耐力と純断面破断耐力の耐力比 k_b の関係³⁾を図-3に示す。ここでは孔変形量が10%以下であれば継手の変形が過大とならない³⁾ことを踏まえ、孔変形量5%、10%になる状態（5%変形支圧限界、10%変形支圧限界）を検討対象とし、それぞれの支圧耐力係数 $\alpha_{5\%}$ 、 $\alpha_{10\%}$ を示している。

要素試験により破断した部材・部位によってボルト孔周辺の変形挙動が異なる⁴⁾ことを踏まえ、図-3のうち、純断面破断が生じたケース（ $1.2 < k_b < 2.3$ ）とボルト破断が生じたケース（ $0.5 < k_b < 1.7$ ）を抽出し、それぞれ図-4、図-5に示す。図の凡例は母材の板厚を示している。

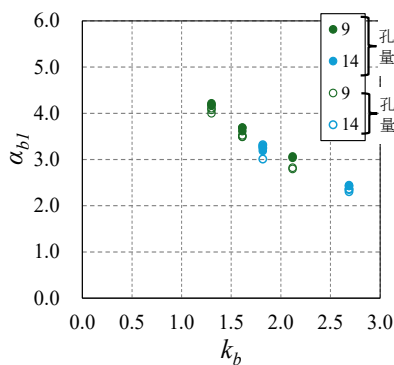


図-4 純断面破断ケースの α_{bl} - k_b 関係

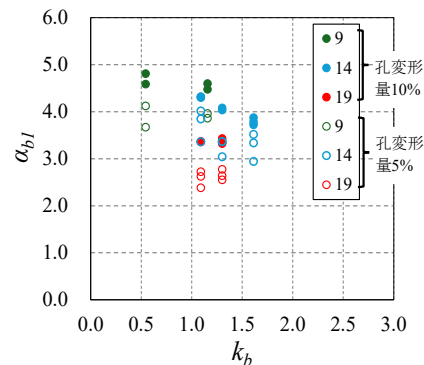


図-5 ボルト破断ケースの α_{bl} - k_b 関係

表-1 道路橋示方書 I 編による変動係数に応じた抵抗係数

変動係数(%)	5.0	10.0	12.5	15.0	17.5	20.0	30.0	40.0
抵抗係数	0.90	0.85	0.80	0.75	0.70	0.65	0.50	0.35

図-4 より、純断面破断が生じたケースの $\alpha_{5\%}$ と $\alpha_{10\%}$ は、 k_b の増加とともに低下する傾向が見られる。これは k_b が大きい範囲では純断面降伏の影響が大きく、ボルト孔での支圧力が孔変形に及ぼす影響が相対的に小さくなるためと考えられる。純断面破断したケースは k_b が同じときの $\alpha_{5\%}$ と $\alpha_{10\%}$ の差が小さい。これは純断面降伏の進行により支圧力が増加せず孔変形が進行した可能性が考えられる。図-5 より、ボルト破断が生じたケースは板厚が大きいほど $\alpha_{5\%}$ 、 $\alpha_{10\%}$ が小さい。これは板厚が大きいほどボルト孔壁に作用する支圧力が小さいため⁴⁾である。

要素試験結果の変動係数は、 $\alpha_{5\%}$ （データ数 60 件）は 17.6%、 $\alpha_{10\%}$ （データ数 57 件）は 14.1%である。 $\alpha_{5\%}$ の変動係数の方が大きいのは、先述したように k_b が小さい範囲において板厚の影響で $\alpha_{5\%}$ が小さい方向に分布し、 α_{bl} が k_b とともに低下する傾向が小さくなるためと考えられる。本検討は全ての実験データから求める回帰直線に対して抵抗係数を適用することで、実験データの最低値をカバーできるようにしたものを支圧耐力係数の特性値とする。道示Iでは、データのばらつきを考慮した抵抗係数を変動係数に応じた値として設定している(表-1)。この考えを準用し、 $\alpha_{5\%}$ 、 $\alpha_{10\%}$ に対する抵抗係数（それぞれ 0.65、0.75）を適用した支圧耐力係数の特性値は式(2)、(3)となる。

$$\alpha_{5\%} \text{の特性値} : 0.65\alpha_{b1} = 0.65(3.55 - 0.21k_b) \quad (2)$$

$$\alpha_{10\%} \text{の特性値} : 0.75\alpha_{b1} = 0.75(4.33 - 0.46k_b) \quad (3)$$

変形支圧限界を安全側に設定することを考え、5%変形支圧限界を限界状態 2 に適用することを検討する。図-3 より、 $0.65\alpha_{5\%}$ は要素試験データの下限值程度となっており、特性値として妥当であると考えられる。

3. まとめ

- ・変形支圧限界における支圧耐力係数 α_{bl} の特性値を、被接合材の端抜け破断と純断面破断の耐力比 k_b に関する式として設定した。支圧耐力係数 α_{bl} の特性値は要素試験データの下限值相当になる。
- ・今後は特性値に対して、参照データの特性や限界状態 2 の特性を踏まえて適切な安全率を設定し、変形支圧限界の制限値を設定する。

参考文献

- 1) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説 I 共通編，2017。
- 2) 森山他：高力ボルト摩擦接合継手の断面構成およびボルト配置間隔がボルト孔の変形量で規定したすべり後の支圧耐力に及ぼす影響，構造工学論文集 Vol.66A，2020。
- 3) 佐倉亮：曲げとせん断を受ける高力ボルト摩擦接合部のすべり・支圧強度に関する研究，大阪市立大学博士論文，2024..
- 4) 森山他：板幅および板厚が高力ボルト摩擦接合継手の支圧限界状態に与える影響，土木学会論文集 A1，Vol.74，No.1，pp.25-43，2018。
- 5) 中本他：高力ボルト摩擦接合部のすべり後の支圧状態を考慮した設計法の一提案，第 80 回年次学術講演会，2025。