

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

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

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

1. はじめに

道路橋示方書Ⅰ編¹⁾(以下、道示Ⅰ)では、都市高速道路等の橋の耐荷性能に対する照査項目として、偶発作用が支配的な状況で限界状態2および3の照査が求められる。橋の耐荷性能は部材の耐荷性能で代表させてよく、高力ボルト摩擦接合継手部に対して限界状態2および3の照査が求められることになるが、継手部のすべり後挙動に関する研究は少なく、限界状態2の照査式は設定されていない。

限界状態設計法による合理化を目指す場合、すべり後挙動の評価を行い、適切な限界状態2の設定が必要である。これに対し、図-1(a)に示すように継手部の破断に対して一定余裕があ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⁾。

本検討は、表-1に示すように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、変形支圧限界の制限値を検討した。また、実橋を対象とした試設計により、ボルト本数の変化を評価した。

2. 変形支圧限界の制限値

文献2)では、短冊形継手の要素試験による、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)に示すようにボルト孔変形量がボルト軸径の5%になる状態である³⁾。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に示す要素試験結果から算出される。

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

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。

支圧耐力係数 α_{bl} は、被接合材の端抜け破断耐力と純

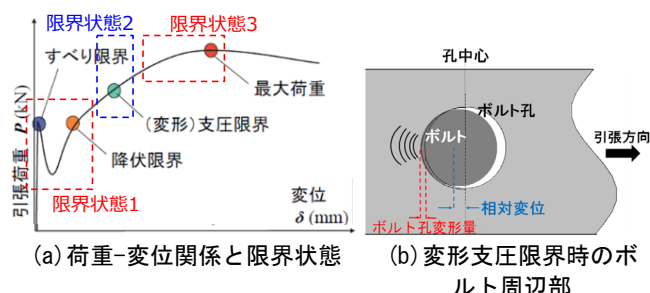


図-1 変形支圧限界のイメージ

表-1 変形支圧限界を取り入れた照査項目

状態	限界状態1	限界状態2	限界状態3
永続作用や変動作用が支配的な状況	母材: 孔引き断面(引張部材)における降伏 連結板: みなし規定※ ボルト: 接合面のすべり		母材: 孔引き断面(引張部材)における降伏 連結板: みなし規定※ ボルト: せん断破断
偶発作用が支配的な状況		(提案) 母材: 変形支圧限界における支圧耐力 連結板: みなし規定※	

※母材の照査を満足する場合、母材と同等以上の耐力を有する連結板も照査を満足するとみなす

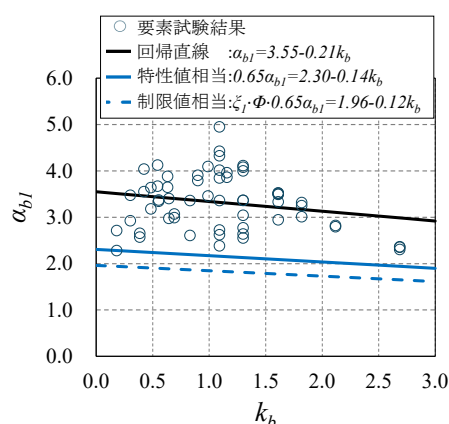


図-2 支圧耐力係数と耐力比の関係

表-2 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

断面破断耐力の耐力比 k_b の増加とともに低下する傾向が見られる²⁾³⁾。これは耐力比 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。図-2の要素試験データに対する支圧耐力係数 α_{bl} の回帰直線を式(2)に示す。

$$\alpha_{bl} = 3.55 - 0.21k_b \quad (2)$$

キーワード 高力ボルト摩擦接合, 限界状態設計法, 変形支圧限界, 設計合理化

連絡先 〒541-0054 大阪府中央区南本町 4-5-7 (一財) 阪神高速先進技術研究所 TEL06-6244-6024

表-3 耐力比 k_b とボルト本数の試設計結果

橋名	形式	部材	耐力比 k_b	現行設計			変形支圧限界			変形支圧限界/現行設計	
				ボルト本数 決定要因	計算 本数	設計 本数	ボルト本数 決定要因	計算 本数	設計 本数	計算 本数	設計 本数
A橋	6径間連続鋼I桁橋	横構	1.6	限界状態1	4.6	6	限界状態3	3.1	4	0.7	0.7
		対傾構	2.3	限界状態1	3.6	4	限界状態3	3.3	4	0.9	1.0
B橋	6径間連続鋼少数主桁橋	中間横桁下フランジ	1.4	限界状態1	5.7	6	限界状態3	5.1	6	0.9	1.0
		中間横桁ウェブ	1.0	限界状態1	6.2	12	限界状態2	3.6	12	0.6	1.0
C橋	5径間連続鋼少数主桁橋	横構	3.1	限界状態1	7.0	8	限界状態3	6.1	8	0.9	1.0
D橋	4径間連続鋼箱桁	中間横桁下フランジ	1.2	限界状態1	3.5	6	限界状態3	3.6	6	1.0	1.0
		中間横桁ウェブ	1.0	限界状態1	18.8	32	限界状態2	12.1	32	0.6	1.0
E橋	2径間連続鋼細幅箱桁	中間横桁下フランジ	2.0	限界状態1	5.8	8	限界状態3	5.1	8	0.9	1.0
		中間横桁ウェブ	1.0	限界状態1	8.7	12	限界状態2	5.3	12	0.6	1.0
F橋	3径間連続鋼細幅箱桁	中間横桁下フランジ	2.0	限界状態1	6.2	8	限界状態3	5.5	6	0.9	0.8
		中間横桁ウェブ	1.0	限界状態1	8.5	12	限界状態2	5.0	12	0.6	1.0

青：現行設計と比べてボルト本数減少

変形支圧限界の特性値を設定するにあたり、支圧耐力係数 a_{bl} は要素試験データの下限值相当になるように設定することを考えた。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-2)。この考えを準用し、要素試験結果(データ数60件)の変動係数17.6%から、表-2より抵抗係数は0.65、支圧耐力係数の特性値は $0.65a_{bl}$ とした。図-2より、支圧耐力係数の特性値は要素試験データの下限值程度となった。

現行設計と比較する試設計を行うために、特性値に対して、調査・解析係数 ξ および抵抗係数 ϕ を乗じた制限値を仮定する。調査・解析係数 ξ_I は道路橋示方書Ⅱ編(以下、道示Ⅱ)⁴⁾において、高力ボルト摩擦接合の被接合材に対して限界状態3(偶発作用)を考慮する場合の値を準用し、1.0を仮定した。抵抗係数 ϕ は要素試験データに対して降伏強度のばらつきを考慮することとし、道示Ⅱ⁴⁾に基づき0.85を仮定した。制限値を図-2に示す。

3. 実橋を対象とした試設計

2. で仮定した変形支圧限界の制限値を用いて、実橋を対象とした表-1の照査項目の試設計を行い、変形支圧限界を限界状態2に適用した場合の合理化への寄与度を定量的に評価した。表-3に試設計の対象とした部材の耐力比 k_b と2.の制限値を用いたボルト本数の試設計結果を示す。試設計の対象部材は、変形支圧限界を主桁間の荷重伝達への寄与が小さい部材に適用することを仮定し、横構、対傾構、中間横桁とした。「計算本数」は断面力に対して計算上必要となるボルト本数、

「設計本数」は全強75%以上、2列以上配置等、高力ボルト摩擦接合部として求められる規定⁴⁾を考慮したボルト本数である。

変形支圧限界の適用により設計本数は最大3割削減した。これは、現行設計ではすべて限界状態1によりボルト本数が決まっていたものに対し、変形支圧限界の適用により限界状態2または限界状態3でボルト本数が決まることになったためである。

4. まとめ

- ・変形支圧限界における支圧耐力係数 a_{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 a_{bl} の特性値は要素試験データの下限值相当になることを確認した。
- ・変形支圧限界を限界状態2として取り入れた試設計の結果、設計上のボルト本数を削減可能であることを確認した。
- ・本検討では、試設計を行うために調査・解析係数 ξ 、抵抗係数 ϕ 、および適用対象部材を仮定した。今後は制限値を設定するための参照データの特性や限界状態2の特性を踏まえ、これらの妥当性の検討が必要である。また、変形支圧限界に関する検討事例を踏まえて、設計法の適用範囲の検討が必要である。

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：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
- 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，2024.3
- 4) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説，Ⅱ鋼橋・鋼部材編，2017