

第1章 研究の概要

1.1 研究の背景

鋼道路橋の設計基準である道路橋示方書・同解説（以下、「道示」という）Ⅱ鋼橋編^{1.1)}では、高力ボルト継手に用いるボルトとしてF10T、S10Tが規定されている。過去にはこれらのボルトよりも高強度なボルトが開発され、1973年の道示Ⅱ鋼橋編^{1.2)}でF11Tが規定されたが、実橋において遅れ破壊等による脱落事故が発生したため、1980年の道示Ⅱ鋼橋編^{1.3)}では規定から削除されている。

近年、耐遅れ破壊性能を改善した、引張強さ 1,200N/mm²以上、降伏点 1,080N/mm²以上の高力ボルト（以下、「超高力ボルト(SHTB)」という）が開発され、建築分野では国土交通大臣に認定されたものが鉄骨高層ビルの接合に採用されている^{1.4)、1.5)}。鋼道路橋の新設橋においては、鋼少数I桁橋の採用などにより、使用される鋼板の厚板化・高強度化が進む中、超高力ボルトを用いることで品質確保が難しい厚板溶接の回避に加え、継手部の小型化による必要ボルト本数や施工工数の削減など、合理的で経済的な継手となる可能性が期待される^{1.6)}。しかし、鋼道路橋では建築分野と比較して施工方法が異なり、使用環境においては大きな変動荷重作用下に置かれることが多く、また、直接自然環境下に暴露される鋼道路橋に超高力ボルトを適用するためには、F10TやS10Tと同様な規定及び適用範囲に対する継手性能、耐遅れ破壊性能を明らかにする必要がある。

継手強度については、過去の実績等から載荷試験方法に標準的な項目が確立されており、超高力ボルトS14Tによる摩擦接合を対象に道示で規定されているS10Tの適用条件と同様の条件において、所要の信頼性が期待できる結果が得られている^{1.7)}。

しかし、耐遅れ破壊性能については、これまでもいくつかの試験が行われているものの、試験・評価方法がまちまちであり、その評価が定まっていない。

本共同研究では、鋼道路橋の実際の使用環境に超高力ボルトを適用した場合の耐遅れ破壊性能を評価することを目的とし、材料としての耐遅れ破壊性能、並びに実際の施工を模擬した試験体による耐遅れ破壊性能を調査した。さらに、実際の橋梁に超高力ボルトを採用した場合の腐食促進の傾向を推定するため、実際の使用環境下において長期暴露された高力ボルトの腐食状況を調査した。

1.2 高力ボルトの遅れ破壊の特徴と評価法

高力ボルトの遅れ破壊は、静的な応力が負荷されたボルトの鋼材に、水素脆化や応力腐食などが生じ、ある時間経過後に突然脆性的な破壊を生じる現象のことである。

水素脆化による遅れ破壊は、ボルトが使用環境下において腐食が進行し、腐食等により発生した水素がボルト内部に侵入し、ねじ底等の応力集中部に集積した水素が鋼材の破壊に対する許容量を超えたときに破壊強度が低下し、き裂が発生・進展することで生じることが分かっている^{1.8)}。さらに、ボルトの鋼材が高強度になるほど遅れ破壊が生じやすく、引張強さ 1,200N/mm²以上になると発生が顕著になることが明らかにされている^{1.9)}。

耐遅れ破壊性能の評価法としては、腐食促進試験による破断の有無の確認^{1.10)}や、鋼材の遅れ破壊発生の限界拡散性水素量と侵入水素量の関係から評価する方法^{1.11)、1.12)、1.13)}が提案されているが、JIS規格などの規定化されたものはない。そこで本研究では、過去の様々な試験結果を整

理するとともに、新たに追加試験も実施し、それらを総合的に評価することで、耐遅れ破壊特性の信頼性を評価することを試みる。

1.3 研究の概要

第1章では、高力ボルトに関する規定の経緯と開発、並びに遅れ破壊の特徴と評価法の現状について示した。

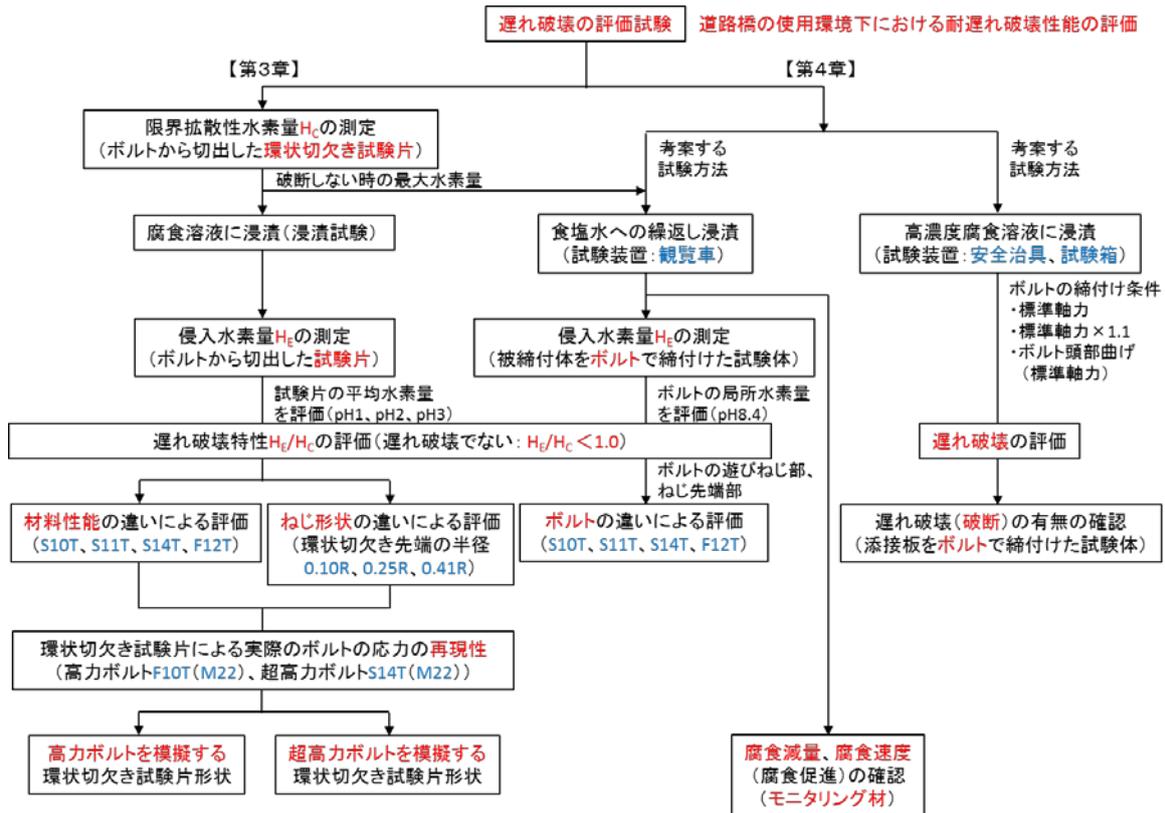
第2章では、既往の耐遅れ破壊特性の評価試験法を調査し、各評価試験法の特徴について整理した。

第3章では、製造した高力ボルト S10T、S11T 並びに超高力ボルト F12T、S14T からねじ形状の違いを模擬して切り欠き加工した試験片を用いて、遅れ破壊発生の限界拡散性水素量 H_c を測定した。また、別に切り出した試験片を用いて、侵入水素量 H_E を測定した。限界拡散性水素量 H_c と侵入水素量 H_E の関係から各ボルトの耐遅れ破壊特性の評価を行い、ボルト材料の違いやねじ形状の違いが耐遅れ破壊特性に与える影響を整理した。

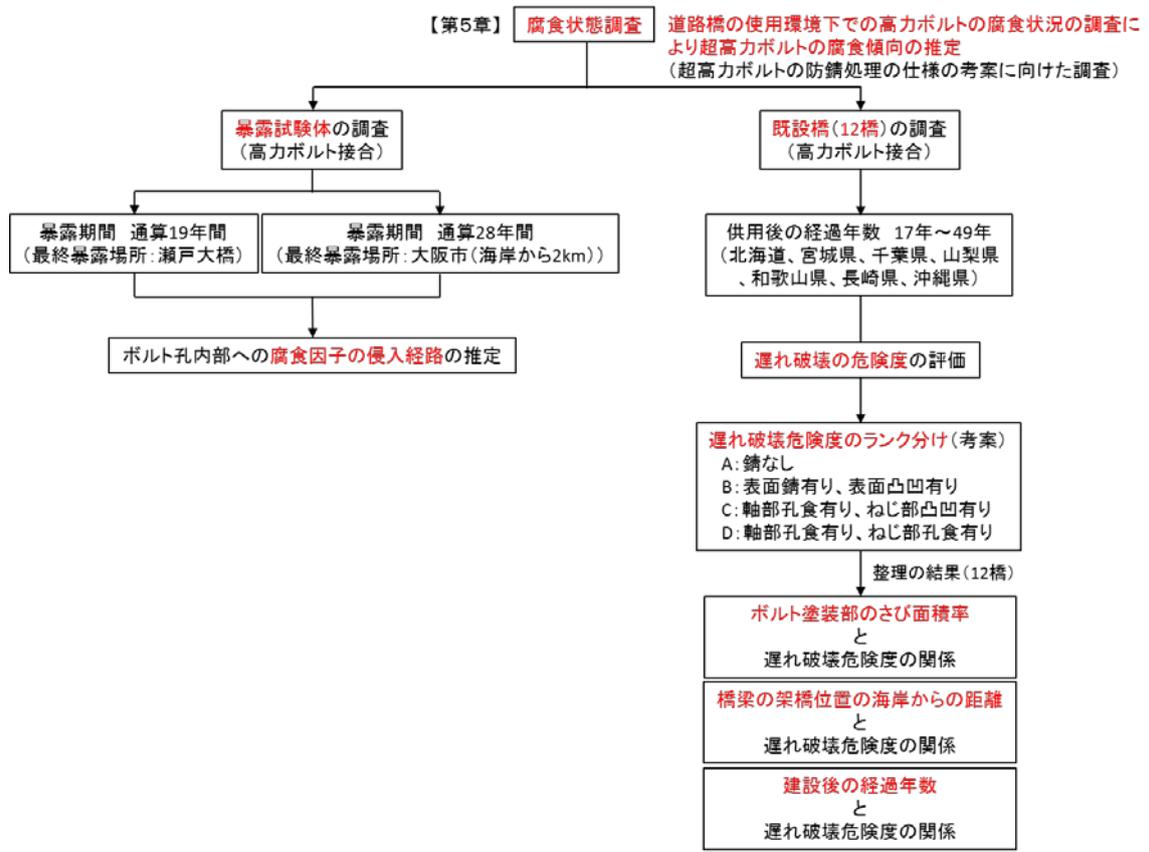
第4章では、鋼道路橋の腐食環境を想定し、第3章で材料としての耐遅れ破壊特性を評価した各ボルトを用いて、添接部を模擬した試験体を作成し、腐食促進試験により耐遅れ破壊性能を確認した。

第5章では、屋外の暴露試験体の腐食状況を調査し、腐食因子の侵入経路の推定を行った。さらに、既設の鋼道路橋に使用されている高力ボルトの腐食、損傷状態を調査し、ボルト塗装部のさび面積率、腐食環境（海岸からの距離）、建設後の経過年数をパラメータとして遅れ破壊危険度の分類を行った。

第6章では、本共同研究で得られた知見についてまとめた。



(a) 遅れ破壊の評価試験



(b) 腐食状態調査

図 1.1.1 研究の概要

第1章 参考文献

- 1.1) (公社) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説Ⅱ鋼橋編，2012.3
- 1.2) (公社) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説Ⅱ鋼橋編，1973.2
- 1.3) (公社) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説Ⅱ鋼橋編，1980.2
- 1.4) 脇山広三：高力ボルト接合(6)，超高力ボルトの開発，JSSC，No.40，2001.4
- 1.5) (一社) 日本建築学会：鋼構造接合部設計指針，2012.3
- 1.6) 太田雅夫，山口隆司：太径・高強度ボルトを用いた摩擦接合の有効性に関する検討，土木学会第57回年次学術講演会，pp.263-264，2002.9
- 1.7) 玉越隆史，白戸真大，横井芳輝，山崎健次郎，水口知樹：鋼道路橋への適用に向けた超高力ボルトを用いた摩擦接合継手の継手強度に関する研究，国総研資料 第827号，2015.2
- 1.8) 宇野暢芳，久保田学，永田匡宏，樽井敏三，蟹澤秀夫，山崎真吾，東清三郎，宮川敏夫：超高力ボルト SHTB，新日鉄技報，第387号，2007
- 1.9) (一社) 日本鋼構造協会，JSSC テクニカルレポート No.96 高力ボルト接合技術の現状と課題，2013.3
- 1.10) 平井敬二，脇山広三，宇野暢芳，宮川敏夫：高力ボルトの遅れ破壊に関する実験的研究(その2 暴露試験)，日本建築学会構造系論文集，第555号，2002.5
- 1.11) 山崎真吾，高橋稔彦：高強度鋼の耐遅れ破壊特性の定量的評価方法，鉄と鋼，Vol.83，1997，No.7
- 1.12) 王毛球，秋山英二，津崎兼彰：Fracture criterion for hydrogen embrittlement of high strength steel，MEASUREMENT SCIENCE & TECHNOLOGY，Vol.22，No.2，2006
- 1.13) 萩原行人，伊藤睦人，久森紀之，鈴木啓史，高井健一，秋山英二：CSRT 法による高強度鋼の遅れ破壊特性の評価，鉄と鋼，Vol.94，2008，No.6