

道 路 調 査 費

(その他)

# 「高強度材料」の一般橋梁も含めた適用性に関する調査研究

Study on applicability of high-strength materials including general bridges

(研究期間 平成 20 年度～23 年度)

～超高力ボルトの摩擦接合継手の基準化に対する検討～

～Study on standardization of friction grip connection joint with super high-strength bolt～

道路研究部 道路構造物管理研究室  
Road Department, Bridge and Structures Division

主任研究官 池田 秀継  
Senior Researcher Hidetsugu IKEDA

室長 玉越 隆史  
Head Takashi TAMAKOSHI  
主任研究官 大久保 雅憲  
Senior Researcher Masanori OKUBO  
交流研究員 加藤 浩一  
Guest Research Engineer Kouichi KATO

Applying super high-strength bolt to highway bridges, NILIM conducted bending tests of girders and grasped differences from standard slip coefficient for slip tests in order to verify the friction grip connection performance for real structure states as well as bring regulations for possible minimum bolt groups. Also, trial calculation for superiority of joint method of steel bridges for the super high-strength bolt was conducted.

## 〔研究目的及び経緯〕

鋼橋の継手部に用いられる高力ボルトでは、引張強さ  $1,200\text{N}/\text{mm}^2$  以上の F11T 及び F13T については実橋において過去に遅れ破壊が確認されたため、現行の設計基準である道路橋示方書では引張強さの上・下限値を厳しく制限した F10T, S10T までが規定化されている。一方、高強度ボルトの採用は、継手部の小型化や施工量の削減によるコスト削減、品質確保が困難な条件での厚板溶接の回避など、道路橋のコスト削減と品質向上に資するものと期待される。

過年度に実施した超高力ボルト S14T による標準すべり試験からは、純引張状態における摩擦接合継手のすべり係数は、F10T, S10T と同等と見なせることが確認されている。しかし、多列化に着目した試験結果からは、高強度化によるボルト本数の減少に伴い、個々のボルトが分担する接合性能の信頼性が相対的に大きく影響することが示唆された。

そのため、今年度は、最小ボルト群の規定化を視野に、かつ、実構造状態での摩擦継手性能を確認するため、桁曲げ試験を行うとともに、超高力ボルトにおける鋼橋の継手方法としての優位性に関する試算を実施した。

## 〔研究内容〕

### 1. 桁曲げ試験

曲げ引張力によるすべり性能を把握するため、厚板フランジを有する I 桁を模擬した供試体により、引張

側フランジに着目してボルト配置をパラメータにした桁曲げ試験を実施した。試験ケースは、使用ボルト：S14T-M22、フランジ厚： $t=50\text{mm}$ (SM520C-H)、ボルト配置は最小ボルト本数を基本として、ケース①2 行×3 列、ケース②4 行×2 列に設定した。ここで、道路橋示方書で規定されている最小ボルト本数は 2 本であるものの、厚板での使用環境を勘案すると 2 行×2 列は現実的でないと考え、ケース①では 3 列とした。なお、上フランジ及びウェブのボルト本数・配置は、道路橋示方書に準拠した設計により決定した。図-1 に、供試体寸法等を示す。

### 2. 超高力ボルトの優位性

道路橋示方書において高力ボルトは最大 12 列と規定されており、支間長が長くなるなどした場合は現場溶接とするか、橋梁形式を変更して対応している。このような場合に超高力ボルトを適用した場合の優位性について、経済性の観点を中心に試算した。

## 〔研究成果〕

### 1. 桁曲げ試験

ケース①における下フランジの上面及び下面の載荷荷重とひずみの関係を、図-2 に示す。ひずみ計測位置は図-1 に示した。下フランジが 50mm と厚板のため上面と下面でひずみに差が見られ、継手に近づくにつれて連結板による剛性増加のためかその差は縮小する傾向が見られるものの、一様分布にまでは至っていないことが読み取れる。

表-1 に、暫定すべり係数を示す。すべり係数の算出は、梁理論から求めた下フランジの平均曲げ引張力、最大となる下フランジ下端の曲げ引張力、下フランジのひずみゲージの平均から算出した引張力の3種類のすべり荷重に対して、埋込型ボルトゲージで計測されたボルト軸力で除する方法とした。表には、過年度の標準すべり試験の平均値、標準偏差、範囲をあわせて示した。下フランジ下端の曲げ引張力を用いたすべり係数以外、標準すべり試験におけるすべり係数と比較し、小さな値となっている。また、この暫定すべり係数は、全てのボルト軸力（ケース①では12本）が計測値であるとの仮定から求めたものである。

ここで、ボルト導入軸力について、埋込型ボルトゲージを用いて計測したところ、設計軸力299kNに対し、計測値は240kN程度と低い値であった。トルシア形高力ボルトの場合、ピンテールの切断により所定の軸力が導入される機構であるものの、軸力で切断されるのではなく、ナット、座金、ねじ部の間の摩擦を含むトルク値により切断される機構であり、トルクに重要な役割を果たすボルトに塗布されているオイルを埋込型ボルトゲージ貼付作業時に取り除いたことが、原因として想定される。なお、別途実施した軸力確認試験では、設計軸力を満足していた。

この課題を考慮すると、埋込型ボルトゲージを用いていないボルト（ケース①では4本）は設計軸力である可能性も大きく、すべり係数はさらに小さな値となる。引き続き、構造体としての機構の解明に向けた調査を実施していく予定である。

## 2. 超高力ボルトの優位性

曲げモーメントが大きく作用する例として鋼2主鈹桁橋を例に、高力ボルトでは12列を超える支間長80mの場合を試設計し、経済性を比較した。試設計は、超高力ボルト、高力ボルト+現場溶接、全て現場溶接の3ケース、更には橋梁形式を箱桁（高力ボルトで設計可能）に変更したものである。超高力ボルトの費用を1とした比率を、図-3に示す。左側の継手方法では主に上部構造でのコスト、右側の橋梁形式では橋面工を含むコストと、試算範囲は異なる。継手方法の中では超高力ボルトがやや経済的であり、橋梁形式では明らかに経済的であった。

### [成果の発表]

国総研資料及び各種論文で発表予定。

### [成果の活用]

引き続き桁曲げ試験等を行い、橋梁への適用性についてさらに検討を進め、基準等に反映させる予定。

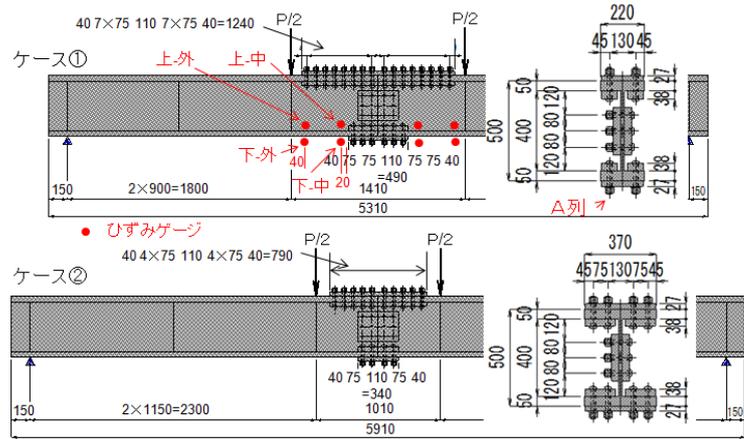


図-1 桁曲げ試験の供試体

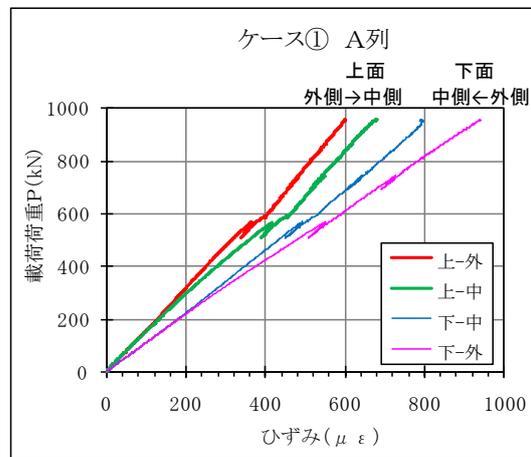


図-2 載荷荷重と下フランジのひずみの関係

表-1 暫定すべり係数

| すべり荷重の算出方法            | 桁曲げ試験の暫定すべり係数 |      | 標準すべり試験のすべり係数 |           |
|-----------------------|---------------|------|---------------|-----------|
|                       | ケース①          | ケース② | 平均値           | 標準偏差      |
| 下フランジの平均曲げ引張力         | 0.63          | 0.64 | 0.72          |           |
| 下フランジ下端の曲げ引張力         | 0.70          | 0.71 | 0.05          |           |
| 下フランジのひずみゲージから算出した引張力 | 0.57          | 0.60 | 範囲            | 0.53~0.83 |

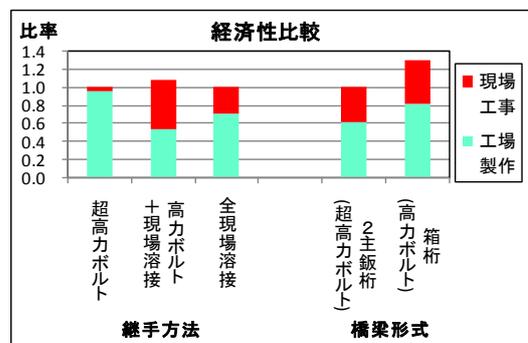


図-3 経済性比較

# 「高強度材料」の一般橋梁も含めた適用性に関する調査研究

Study on applicability of high-strength materials including general bridges

(研究期間 平成 20 年度～23 年度)

～高強度鉄筋を用いた RC 部材の基準化に対する検討～

～Study on standardization of reinforced concrete members with high-strength reinforcing bars～

(研究期間 平成 20～23 年度)

道路研究部 道路構造物管理研究室  
Road Department, Bridge and Structures Division  
主任研究官 中洲 啓太  
Senior Researcher Keita NAKASU  
研究官 野村 文彦  
Researcher Fumihiko NOMURA

室長 玉越 隆史  
Head Takashi TAMAKOSHI  
研究官 北村 岳伸  
Researcher Takenobu KITAMURA  
交流研究員 藤田 知高  
Guest Research Engineer Tomotaka FUJITA

In order to investigate applicability of high-strength reinforced concrete including general bridges, NILIM conducted cyclic loading tests and simulation of pier models with high-strength reinforcing bars changing axial compressive force. Results have a possibility that can establish the performance depending on individual conditions as the collapse behavior obtained by the tests can be verified by the simulation.

## 〔研究目的及び経緯〕

道路橋の橋脚に従来一般的に用いられてきた鉄筋に比べてより高強度の鉄筋を用いることで、鉄筋量の削減と断面の縮小につながり、施工の省力化とコスト削減を図ることが期待されている。しかしながら、鉄筋を高強度化した場合でも、弾性係数は変わらないことから鉄筋とコンクリートの付着特性、コンクリートのひび割れに伴う耐荷力特性の変化の影響が大変形時には低強度の鉄筋を用いた場合と異なることが考えられる。また地震時を想定した鉄筋の繰返し曲げに対する抵抗特性、塑性域での橋脚の耐荷力や復元力に大きく関わる配筋などの構造細目との関係などについては未解明な部分もある。そのため国土技術政策総合研究所では、これまでに高強度鉄筋 SD490 及び USD685 を用いた鉄筋コンクリート橋脚模型の正負交番載荷実験等を行ってきている。その結果、SD490 までの高強度鉄筋を軸方向鉄筋に用いた場合の鉄筋コンクリート橋脚の水平耐力及び変形性能は、現行設計基準の評価式の元となった SD345 までの鉄筋を用いた橋脚と大きな乖離のない特性を示しうることを確認した。

本研究は、過年度成果を踏まえ、高強度鉄筋の優位性が発揮される条件で想定される高軸力下での耐荷力特性に着目して鉄筋コンクリート橋脚の正負交番載荷実験及び数値解析による検討を実施した。

## 〔研究内容及び成果〕

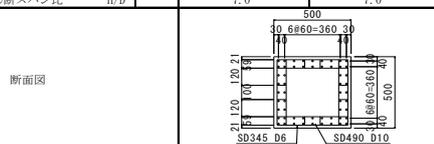
表-1 に示す軸圧縮力の異なる高強度鉄筋コンクリ

ート橋脚模型の正負交番載荷による水平荷重-変位関係を図-1,2 に示す。図中の領域 1～領域 4 の区分は実験中の橋脚の挙動について断面内のコンクリート及び鉄筋の状態に着目して独自に設定したものである。(表-2)。すなわち実験過程の詳細な観察とひずみ等のデータの推移からは、強制変位を段階的に増加させていくと、引張鉄筋が降伏するまで水平変位と荷重が概ね線形関係を保ち(領域 1)、鉄筋が降伏した後は、耐荷力に寄与するコンクリートの有効断面が徐々に減少し、その過程はかぶりコンクリートが剥落して有効に機能しなくなる前後に分けることができる(領域 2, 3)。そして最終的には軸方向鉄筋の破断によって耐荷力が大きく損なわれ不安定となる(領域 4) ことがわかる。

このような現象の評価から、水平変位の増大に伴う状態の変化を RC 断面として異なる耐荷力機構に置き

表-1 実験供試体の諸元及び断面図

|                        | 軸圧縮力 2.5N/mm <sup>2</sup>       | 軸圧縮力 5.0N/mm <sup>2</sup> |
|------------------------|---------------------------------|---------------------------|
|                        |                                 |                           |
| コンクリート強度 $\sigma_{cs}$ | N/mm <sup>2</sup> 40            | 40                        |
| 軸方向鉄筋強度                | SD490                           | SD490                     |
| 帯鉄筋強度                  | SD345                           | SD345                     |
| 橋脚方向軸                  | B mm 300                        | 300                       |
| 底角方向軸                  | D mm 300                        | 300                       |
| 高さ(載荷点～基部)             | H mm 3500                       | 3500                      |
| 軸方向鉄筋径                 | D13                             | D13                       |
| 軸方向鉄筋配置                | φ56-56本(2段)                     | φ56-56本(2段)               |
| 軸方向鉄筋量                 | mm <sup>2</sup> 7095.2          | 7095.2                    |
| 鉄筋比                    | % 2.84                          | 2.84                      |
| 帯鉄筋径                   | D6                              | D6                        |
| 帯鉄筋配置                  | φ60                             | φ60                       |
| 横荷束筋体積比                | % 1.8                           | 1.8                       |
| 軸力                     | V kN 625                        | 1250                      |
| 基部圧縮応力                 | $\sigma$ N/mm <sup>2</sup> 2.50 | 5.00                      |
| せん断スパン比                | H/D 7.0                         | 7.0                       |



換えて適切に表現することで、水平変位の増加に伴う耐力状態を鉄筋強度や配筋条件、コンクリート強度、断面寸法などの幾何学的条件などに応じてある程度精度よく推定できる可能性があるものと考えられた。そのため、ファイバーモデルを用いた解析により、正負交番荷重実験を再現し、コンクリート及び鉄筋断面の軸圧縮力の負担状況の推移を整理し、実験結果から定義した状態変化の段階区分の妥当性について検討を行った。図-3,4に軸方向荷重-変位関係の推移、表-3に鉄筋コンクリート橋脚断面内の損傷の進行過程を示す。解析と実験の損傷進行過程はよい一致を示し、コンクリートの破壊や鉄筋の挙動についても、解析結果は実験における各段階の状態の推定結果と概ね整合した。その結果、例えば高軸力になると残存しているコンクリートの有効断面部分の負担が水平変位の増加につれて急速に大きくなることで耐力の低下時期が早まることなども設計段階で個々の条件に応じて推定できる可能性が示された。

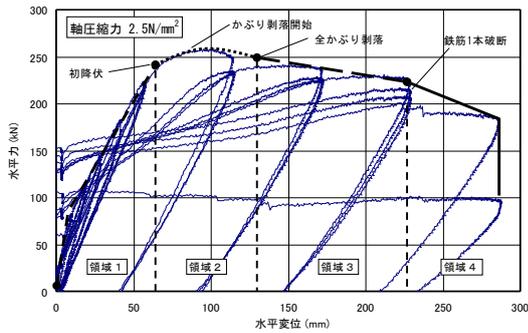


図-1 水平荷重-変位関係(軸圧縮力2.5N/mm<sup>2</sup>・実験)

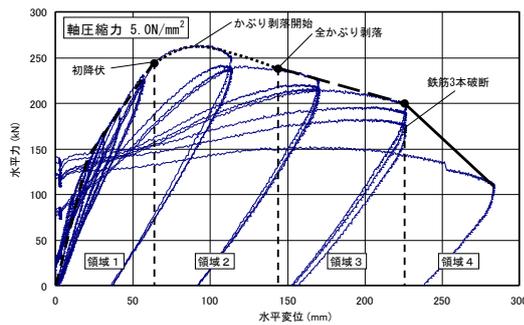


図-2 水平荷重-変位関係(軸圧縮力5.0N/mm<sup>2</sup>・実験)

表-2 破壊過程の分類

|               | かぶりコンクリート | コアコンクリート  | 鉄筋   |
|---------------|-----------|-----------|------|
| 領域1<br>(擬似線形) | 圧縮抵抗力保持   | 圧縮抵抗力保持   | 弾性挙動 |
| 領域2<br>(変位急変) | 有効断面徐々に減少 | 圧縮抵抗力保持   | 降伏   |
| 領域3<br>(変位進展) | 有効断面消失    | 有効断面徐々に減少 | 塑性変形 |
| 領域4<br>(不安定)  | 有効断面消失    | 有効断面徐々に減少 | 破断   |

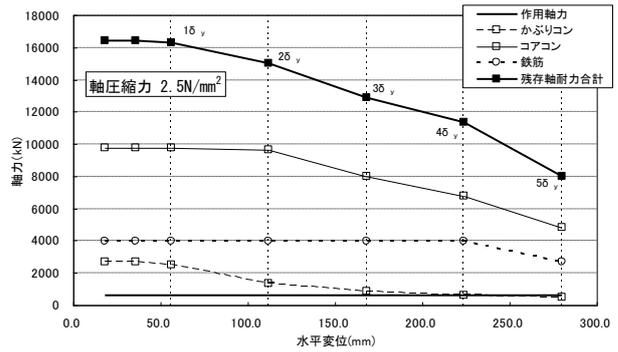


図-3 軸方向荷重-変位関係(軸圧縮力2.5N/mm<sup>2</sup>・解析)

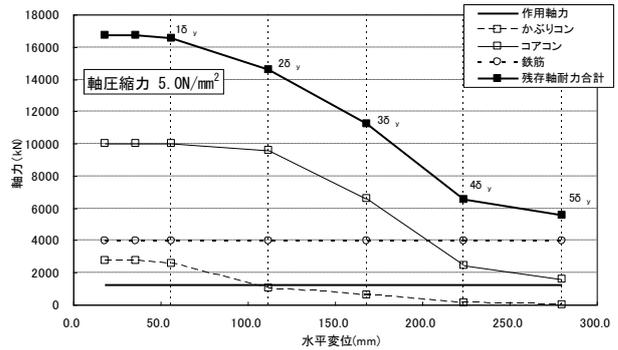


図-4 軸方向荷重-変位関係(軸圧縮力5.0N/mm<sup>2</sup>・解析)

表-3 損傷の進行過程

|                  | 軸圧縮力<br>2.5N/mm <sup>2</sup> | 軸圧縮力<br>5.0N/mm <sup>2</sup> |  |
|------------------|------------------------------|------------------------------|--|
| 1 δ <sub>y</sub> |                              |                              | <b>[凡例]</b><br>健全<br>ひびわれ<br>圧縮域<br>0 ~ σ <sub>cc</sub><br>終局I<br>σ <sub>cc</sub> ~ 0.8σ <sub>cc</sub><br>終局II<br>σ <sub>cc</sub> ~ 0.8σ <sub>cc</sub><br>破壊 |
| 2 δ <sub>y</sub> |                              |                              |  |
| 3 δ <sub>y</sub> |                              |                              |  |
| 4 δ <sub>y</sub> |                              |                              |  |
| 5 δ <sub>y</sub> |                              |                              |  |

【成果の発表】

国総研資料及び各種論文に発表予定である。

【成果の活用】

高強度鉄筋を用いた橋脚構造の基準化の基礎資料となるものである。

