

「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 R C 部材の標準化に対する検討～

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

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 吉川 卓
Guest Research Engineer Taku YOSHIKAWA

In order to investigate applicability of high-strength reinforced concrete including general bridges, Cyclic loading tests of bridge pier models are conducted and evaluation methods of the seismic performance by simulation are proposed. Result of this study indicates possibility to erect the evaluation methods by improving estimation method of the damage process and condition for the bridge piers.

〔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力特性の変化の影響が、大規模地震に想定されるような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、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力や復元力とそれらに大きく関わる配筋などの構造細目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において、充実断面でかつ現行設計基準の構造細目に準じている場合には、現行設計基準の評価式により安全性が推定できるものの、推定精度にはバラつきが大きく、水平耐力においては、現行設計基準の評価式では安全余裕が確保されているかどうか正確には評価できない可能性があることがわかった。

本研究では、過年度成果を踏まえ、解析的に高強度鉄筋コンクリートの荷重－変位履歴曲線、断面の損傷過程を推定し、高強度鉄筋コンクリート橋脚の評価手

法の検討および橋脚模型の正負交番載荷実験による検証を実施した。

〔研究内容及び成果〕

本年度実施した正負交番載荷実験の供試体パラメータは、過年度の供試体の軸鉄筋比及び橋脚基部に作用する圧縮応力度を考慮して設定した(図-1)。表-1 に供試体諸元および断面図を示す。正負交番載荷実験及びファイバーモデルを用いて算出した水平荷重－変位関係を図-2 に示す。

耐力の前提となる RC 部材としての状態変化に着目して A～E の閾値を定義し、I～IV の状態区分を設定し、図に示した。A：降伏限界(引張鉄筋が降伏する限界)、B：かぶりコンクリートの圧縮応力がピークに達する限界、C：かぶりコンクリート剥落、D：鉄筋破断が開始する又は内部コンクリートが圧壊し始める限界、E：鉄筋破断と内部コンクリートにより残存耐力を

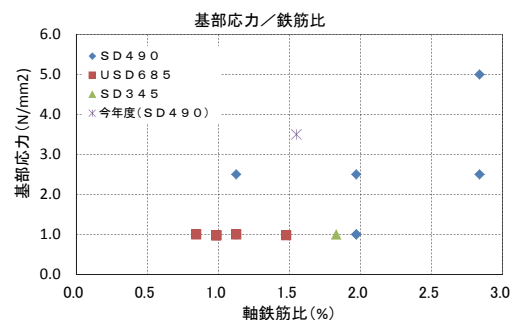


図-1 供試体パラメータの設定

表-1 実験供試体の諸元及び断面図

供試体番号	ケース I
σ_{ck} N/mm ²	40
軸方向鉄筋強度	SD490
帯鉄筋強度	SD345
橋軸方向幅B m	0.600
直角方向幅D m	0.600
高さH m(載荷点~基部)	3.500
軸方向鉄筋配置	D13-@47-44本
軸方向鉄筋 A_s mm ²	5574.8
鉄筋比	1.5%
帯鉄筋配置	D6-@40-3本
横筋束筋体積比	0.011(有効長=283.8mm)
基部軸力 V KN	1260
軸応力 σ_c N/mm ²	3.50
せん断スパン比 H/D	5.83

断面図

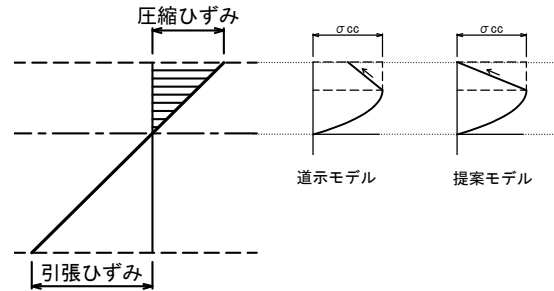


図-3 応力度-ひずみ関係の設定

荷重の実験値に対するバラつきも僅かであり、概ね安定した評価となっている。

さらに検証ケースを増やし、損傷過程と状態の評価精度を高めることで、使用材料や配筋に応じて柔軟に、最大荷重、終局変位を精度良く安全側に推定できる方法が確立できるものと考えられる。

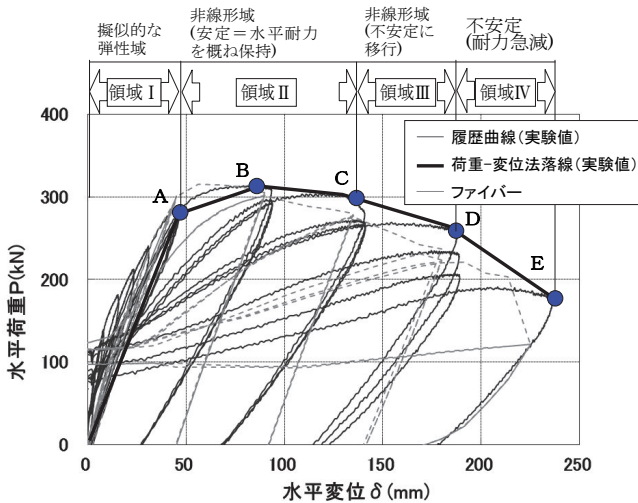


図-2 水平荷重-変位関係

失う限界である。

上記A~E点の状態における水平荷重-水平変位関係の評価するために、本研究では、図-3に示すコンクリートの応力度-ひずみ関係を定義した。現行基準では、コンクリート応力度が最大に達した後、圧縮最外縁の応力度が最大応力度の0.8倍となった時点を終局と定義している。本研究では、D点の評価方法として、コンクリート応力度が最大に達した後は、圧縮最外縁で応力度が0となるモデルを設定した。これは、実験においてかぶりコンクリート剥落後はコアコンクリートの損傷が急激に進展する高強度鉄筋を用いた供試体の損傷状態を表現するためである。

図-4, 5に、過年度試験を含め、実験最大荷重及び実験終局変位に対する現行基準の評価式と今回の提案手法により求めた安全余裕の比率を示す。終局変位、最大荷重ともに、提案手法の評価のバラつきが、現行基準の評価式より小さくなる結果となった。また、最大

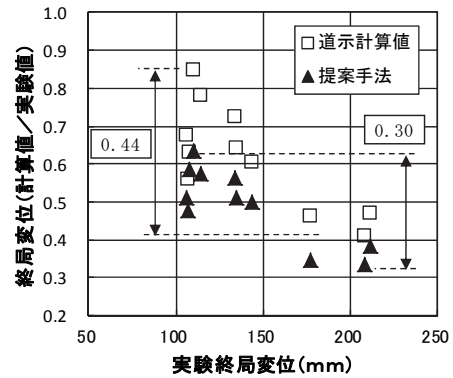


図-4 終局変位 道示式と提案手法の比較

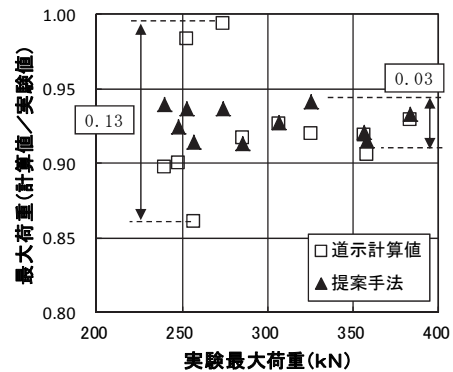


図-5 最大荷重 道示式と提案手法の比較

[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。

「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 20～23 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 大久保 雅憲

Senior Researcher Masanori Okubo

研究官 横井 芳輝

Researcher Yoshiteru Yokoi

室長

Head

研究官

Research

交流研究員

Guest Research Engineer Atsushi Ujimoto

玉越 隆史

Takashi Tamakoshi

石尾 真理

Mari Ishio

氏本 敦

As for high-strength bolts being already put to practical use as building materials, in order to confirm applicability for service conditions such as stress states and environments for highway bridges, standard slip tests set parametric factors playing a role in slip performances were conducted. Verification of joint performance was also conducted by bending tests of girder members as representative structures of the highway bridges.

〔研究目的及び経緯〕

鋼道路橋の摩擦接合継手部に用いることのできる高力ボルト（引張強さ）は、過去に引張強さ 1,200N/mm²以上の F11T 及び F13T を使用した橋梁で遅れ破壊による破断が生じたことをうけ、設計基準である道路橋示方書において F10T、S10T までとされている。

一方、より高強度のボルトの採用は、新設橋に対しては継手部の小型化や施工数量の削減などによるコスト縮減が期待できる。また、既設橋の補修補強では、施工スペース上施工可能なボルト本数が制約される場合があり、高強度ボルトの実用化が期待されている。

本研究では、建築材料として既に実用化されている超高力ボルトを対象に、道路橋における応力状態や環境などの使用条件に対する適用可能性を明らかにする目的で、すべり性能に影響を及ぼす各種要因についてパラメトリックに設定した標準すべり試験等を行うとともに、道路橋の代表的な構造として桁部材の接合部の曲げ試験を実施し、継手性能の検証を行った。

〔研究内容〕

1. 標準すべり試験等

試験は、(社)土木学会で提案されている標準すべり試験法¹⁾に準じる方法で、ボルト等級・ボルト径・接合面処理方法・母材板厚・母材材質・ β （すべり/降伏耐力比）・フィラーの有無・肌すき・多列・再組立における接合面の処理方法をパラメータとし、全 126 ケース（各ケース 5 供試体）を行った。

また、塗料会社を変えた試験を 2 ケース実施した（標

準すべり試験等は A 社塗料、桁曲げ試験は B 社塗料を使用）。

2. 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、ボルト配置及びボルト等級をパラメータとした桁曲げ試験を実施した。試験ケースを表-1 に、供試体を図-1 に示す。下フランジのボルト本数・配置は、最小ボルト本数を基本として設定した。上フランジ及びウェブのボルト本数・配置は、下フランジを確実にすべらせるとの考えで、道路橋示方書に準拠した設計により決定した。このため、接合部の一部では、上フランジの剛性が高くなっている。

なお、ケース①、②-1 では、ボルトゲージ貼付の際に、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取り除いたため、ボルト軸力が設計軸力を下回った。ケース②-2 は、この影響の確認も兼ねた再試験である。

表-1 桁曲げ試験ケース

ケース	ボルトの種類	フランジ厚 (mm)	ボルトの配置
		(鋼材の種類)	
①	S14T-M22	50 (SM520C-H)	2行×3列
②-1	S14T-M22	50 (SM520C-H)	4行×2列
②-2	S14T-M22	50 (SM520C-H)	4行×2列
③	S10T-M22	28 (SM490Y)	4行×2列

【研究成果】

1. 標準すべり試験等

標準すべり試験で得られたすべり係数を、再組立の条件を除く全てのケースをまとめて図-2に示す。なお、すべり係数は、ボルトに貼付したひずみゲージの試験直前の値から求めており、(社)土木学会で提案されている設計軸力とは異なっている。純引張状態における摩擦接合継手のすべり係数は、S14TはS10Tと比較して、現行道路橋示方書の基準値(0.45に改訂)以上を満足するかの観点からは、同等と見なせることが確認された。なお、各パラメータがすべり係数に与える影響については、過年度報告書²⁾を参照されたい。

表-2に、B社塗料のすべり係数を示す。A社塗料のすべり係数と比較し、小さい傾向にあった。なお、すべりの挙動において、A社塗料では最大荷重後に荷重が急激に下がるのに対して、B社塗料では徐々にすべりはじめ、荷重が急落しない挙動を示した。

2. 桁曲げ試験

表-3に、桁曲げ試験から算出したすべり係数を示す。桁曲げ試験におけるすべり係数は、梁理論から求めた下フランジの平均曲げ引張力、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2種類のすべり荷重を、ボルトに貼付したゲージで計測されたボルト軸力で除して求めている。

桁曲げ試験はB社塗料を用いており、B社塗料の標準すべり試験でのすべり係数との比較においては、S14Tでは同等の値以上、S10Tにおいては小さい値である。なお、梁理論よりも計測値が小さいのは、接合部の一部での上下フランジの剛性差を考慮すると、下フランジでは4%引張力が小さくなり、これをひずみゲージで計測していることが原因の一つと考えられる。

【今後の課題】

高強度ボルト接合継手のすべり特性について条件を拡大して解明を進めるとともに、遅れ破壊対策を含む長期耐久性に対する材料や施工等の品質要求水準、設計施工要領の確立のための検討を行う。

【参考文献】

- (社)土木学会：鋼構造シリーズ 15 高力ボルト摩擦接合継手の設計・施工・維持管理指針(案), 平成 18 年 12 月
- 国総研資料第 536 号、第 624 号：平成 20 年度、平成 21 年度 道路調査費等年度報告
http://www.nilim.go.jp/lab/bcg/siryou/tnn/tn-nilim.htm

【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】

基準等に反映させる予定。

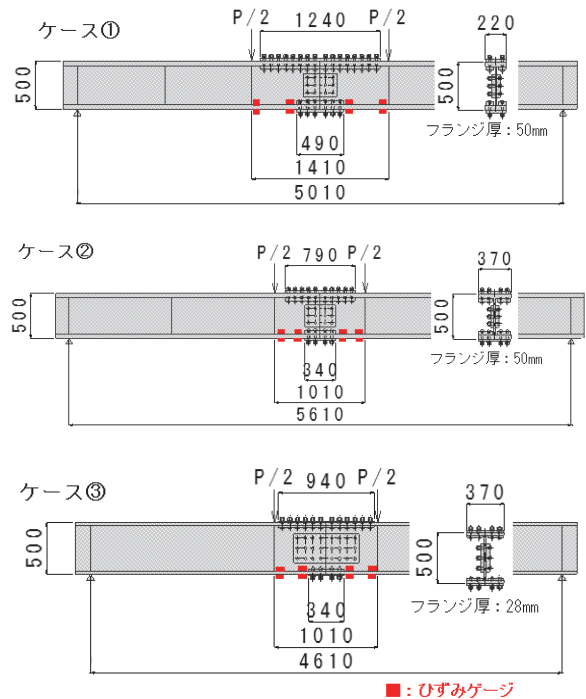


図-1 桁曲げ試験の供試体

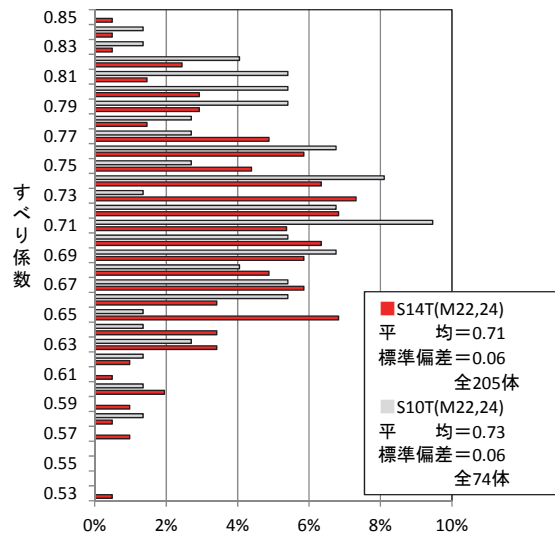


図-2 標準すべり試験でのすべり係数(A社塗料)

表-2 標準すべり試験でのすべり係数(B社塗料)

・S14T、M22		・S10T、M22	
0.60	平均 =0.59 標準偏差 =0.01	0.67	平均 =0.65 標準偏差 =0.02
0.59		0.66	
0.59		0.65	
0.58		0.65	
0.57		0.61	

表-3 桁曲げ試験でのすべり係数

算出方法	① S14T	②-1 S14T	②-2 S14T	③ S10T
梁理論：下フランジの平均曲げ引張力	0.62	0.63	0.62	0.57
計測値：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	0.57	0.47

