

道 路 調 査 費
(その他)

高強度鉄筋コンクリートの一般橋梁も含めた適用性検討

Study on applicability of high strength reinforced concrete for general bridges

(研究期間 平成 20 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 間瀬 利明

Senior Researcher Toshiaki Mabuchi

研究員 藤田 知高

Research Engineer Tomotaka Fujita

室 長

Head

研究官

Researcher

玉越 隆史

Takashi Tamakoshi

北村 岳伸

Takenobu Kitamura

We carried out a repetition loading examination for concrete pier models which consisted of high strength reinforcing rod. As a result, measured values of transformation performance are different from estimated ones greatly, and clear difference emerges in destructivity as strength becomes higher. The new evaluation type is necessary for an application of high strength reinforcing rod.

〔研究目的及び経緯〕

一般的な道路橋橋脚へ高強度鉄筋を用いることにより、鉄筋量の削減による断面の縮小とそれに伴うコスト削減、過密配筋解消による施工性の向上などが期待できる。高強度鉄筋を用いた RC 部材の道路橋への適用性については、鉄筋とコンクリートの付着特性、鉄筋の変形や繰返し曲げに対する脆化特性、大変形時の耐力特性等に未解明な部分があり、適用性の判断までには課題が残っている。本研究は、縮小模型による交番載荷試験と、材料特性解明のための鉄筋引抜き試験及び鉄筋低サイクル疲労試験を行い、一般的な道路橋への適用性について検討を行ったものである。

〔研究内容〕

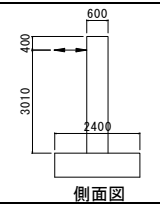
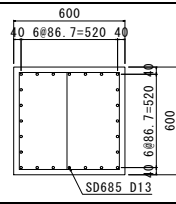
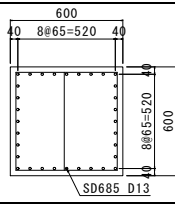
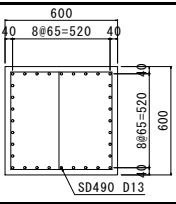
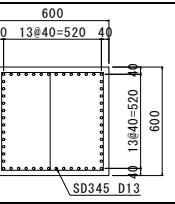
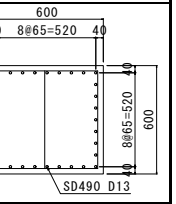
高強度の軸方向鉄筋(USD685)及び高強度コンクリート($\sigma_{ck}=40\text{N/mm}^2$)を用いた単柱式鉄筋コンクリート橋脚を対象とし、曲げ耐力、変形性能及び破壊特性を確

認するための交番載荷試験を行った。試験供試体は、断面寸法 $0.6\text{m}\times 0.6\text{m}$ 、柱高さ 3.0m 、せん断スパン比 5.0 の縮小モデルとした。試験ケースは表-1 に示すとおり、軸方向鉄筋強度、軸方向鉄筋比、柱基部圧縮応力を着目パラメータとした 4 ケースを設定した。

高強度鉄筋のフーチングコンクリートに対する引抜き抵抗発生機構を解明するため、主として USD685 鉄筋を対象とした引抜き試験を行った。試験は、鉄筋強度、鉄筋径、埋込み長、コンクリート強度を変化させた 5 体及び引抜き時のジャッキ拘束の影響を排除した 1 体について行い、鉄筋には 150mm ピッチでひずみゲージを貼り付け、付着応力度分布の変化から付着特性を把握した。

過年度研究において、交番載荷試験で終局を迎えた供試体の軸方向鉄筋に座屈破断が確認されたことから、SD345、SD490、USD685 について、鉄筋強度の違いと初期曲げの影響をパラメータとし、繰返し曲げに対する

表-1 交番載荷試験ケース

	NO. 1 供試体	NO. 2 供試体	NO. 3 供試体	NO. 4 供試体	H20年度NO. 2 供試体
コンクリート強度 σ_{ck} N/mm ²	40	40	40	40	40
軸方向鉄筋強度	USD685	USD685	SD490	SD345	SD490
帯鉄筋強度	SD345	SD345	SD345	SD345	SD345
軸方向鉄筋配置	D13 @87-24本	D13 @65-32本	D13 @65-32本	D13 @40-52本	D13 @65-32本
軸方向鉄筋比 %	0.800	1.100	1.100	1.800	1.100
横拘束筋体積比	0.012	0.012	0.012	0.012	0.012
柱基部圧縮応力 σ N/mm ²	1.00	1.00	2.50	1.00	1.00
 側面図	 SD685 D13	 SD685 D13	 SD490 D13	 SD345 D13	 SD490 D13
H20年度NO. 2 供試体に対して	同等の曲げ耐力を保有(USD685)	軸方向鉄筋をUSD685に変更	柱基部圧縮応力を2.5倍に変更	同等の曲げ耐力を保有(SD345)	—

脆化特性を把握するための低サイクル疲労試験を行った。試験は、変位制御により鉄筋に引張ひずみを与えた後、ひずみ0まで戻す載荷サイクルとし、引張ひずみを段階的に漸減させ鉄筋破断まで繰り返した。

〔研究成果〕

（１）交番載荷試験

各ケースの水平荷重に対する変位応答(P- δ 関係)を図-1に示す。NO.1 供試体(USD685)と NO.4 供試体(SD345)は、現行基準評価式より同等の曲げ耐力を有するよう軸方向鉄筋量を決定したものであり、P- δ 関係はほぼ一致した。しかしこの両者の6 δ 終了時(柱頂部の水平変位約155mm時)の主鉄筋破断本数は、NO.1 供試体で14本中13本であったのに対し、NO.4 供試体では28本中1本のみであり、破壊性状に明らかな相違が見られた。各ケースの終局変位は、現行基準評価式による推定値と大きく乖離する(表-2)結果となったことから、現行基準評価式の根拠となっている従来強度鉄筋の試験データと本研究で得られた高強度鉄筋の結果を比較し、終局変位のばらつき程度を比較した(図-2)。この図からは、鉄筋が高強度化してもばらつきは従来強度と同程度となる傾向が見られたものの、鉄筋を高強度化することにより破壊性状は危険側の様相を示したことを勘案すると、USD685の適用には、曲げ耐力・変形性能に対して確保すべき安全余裕を従来強度以上確保しつつ、新たに評価式を構築することが不可欠と考えられる。

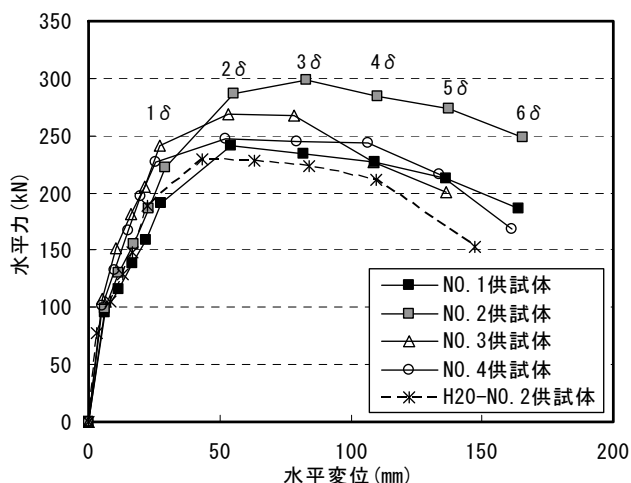


図-1 P- δ 関係の比較

表-2 終局変位の比較

終局変位(mm)	NO.1 供試体	NO.2 供試体	NO.3 供試体	NO.4 供試体
実験値	136.3	137.6	87.2	123.8
現行基準計算値	90.7	80.7	68.9	84.0
実験/計算	1.50	1.70	1.26	1.47

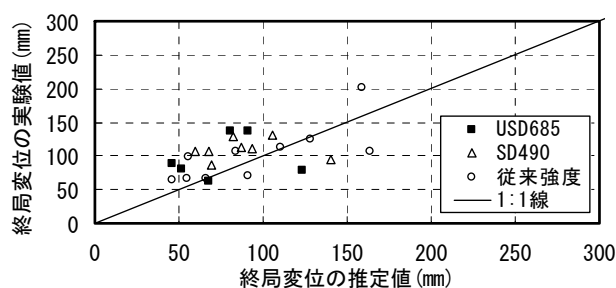


図-2 終局変位の推定精度のばらつき

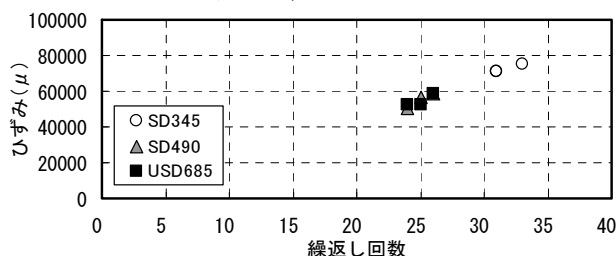


図-3 繰返し回数と破断ひずみ(初期変形なし)

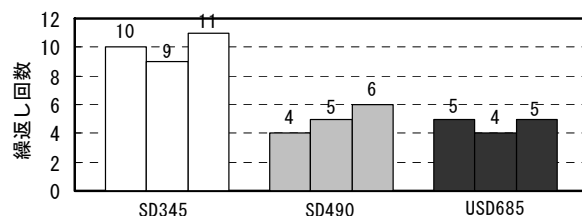


図-4 破断までの繰返し回数(初期変形あり)

（２）鉄筋引抜き試験

引抜試験の結果、引抜抵抗発生機構は、鉄筋とコンクリートの付着面積や埋め込み深さと単純な相関を示さず、引抜荷重の増加に伴い浅い位置から順次、ある最大の付着抵抗を発揮しつつ下方方向に進行し、鉄筋降伏に伴う鉄筋ひずみの増加と絞りの発生、コンクリートひずみの相対差の増大により付着劣化が発生することが推察された。

現行基準算出式の外挿によって得られる高強度鉄筋の定着長について、従来強度におけるその安全余裕を同程度確保することにより適用は可能と考えられる。

（３）鉄筋低サイクル疲労試験

鉄筋強度に着目した繰返し載荷試験の結果、高強度鉄筋は低強度鉄筋に比べて、初期変形や繰返し曲げに対する脆化傾向が顕著である傾向が示された(図-3及び図-4)。今後は高強度材料の曲げ加工部における変形追従性や疲労耐久性の更なる検証を行い、鉄筋脆化の影響に対する安全確保策の確立を目指す。

〔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〕

一般道路橋への高強度材料適用基準策定のための資料となるものである。

「交換可能損傷制御部材等」の一般橋梁も含めた適用性検討

Study on applicability of replaceable damage-controlled member of general Bridges

(研究期間 平成 20 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 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

研究官 池田 秀継
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
Research Engineer Kouichi KATO

In order to apply the super high-strength bolt to highway bridges, the condition of friction grip connection which affects reduction of the slip factor should be considered. In this term, the standard slip test, the multiple slip test and re-test with thick plate were conducted to grasp how the variations of connection based on grade of the bolt, thickness of base plate, presence of filler, gaps, multiple, and re-build affect the slip performance

〔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 $1,200\text{N/mm}^2$ 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縮減、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縮減と品質向上に資するものと期待される。

本研究では、材料的な品質が規格等で保証され建築分野でも実績があるなど、耐遅れ破壊性能についても大きな課題がないと考えられる S14T までを対象に、すべり性能の把握に必要な基礎的検討を実施した。

〔研究内容〕

過年度は、一般的な橋梁で使用頻度が高い薄板～中厚板 ($t=25\text{mm}\sim40\text{mm}$) について、接合面処理、鋼材質等がすべり性能に与える影響を把握した。

平成 21 年度は、近年採用実績が増加傾向にある厚板に着目した試験を実施し、過年度結果も踏まえた継手性能の評価を行い、橋梁への適用性について検討を行った。

厚板の場合、鋼板自体の剛性が高く、初期不整の影響を受けやすいため、肌すきや板厚変化による影響、多列での作用力伝達メカニズムに不明確な点があり、実用化に際して課題となっていることから、これらをパラメータとした試験を実施した。

1. 標準すべり試験

標準すべり試験は土木学会で提案されている標準すべり試験法に準じて、①ボルト等級・径 (S14T-M22・M24, S10T-M22)、②母材板厚 ($t=50\text{mm}$, 75mm)、③フィラー (母材変化率: 0, 20, 30, 50%)、④肌すき (無, 0.5, 1.0mm) をパラメトリックに設定し試験を実施した。

2. 多列すべり試験

ボルト列数が増加すると、各ボルト列が分担する摩擦力が不均等になり、すべり耐力が低下する傾向にあることが経験的に知られている。厚板における多列での各ボルトの摩擦力の分担にも着目し、道路橋示方書で規定されている最大列数の 12 列を上限として、ボルト列数 $n=4, 8, 12$ 列で試験を実施した。

3. 再試験

地震災害等の影響により添接部にすべりが生じた際に用いることができるように、補修や災害復旧において道路橋示方書に規定されているすべり係数 $\mu=0.4$ 以上を確保する工法を確立するため、現場作業で対応可能な表面処理をパラメータとした試験を実施した。

〔研究成果〕

1. 標準すべり試験

(1) リラクセーション

過年度結果を含めて、リラクセーション計測結果を図-1 に示す。S10T と S14T で明確な差は認められなかった。低下の程度は「導入直後から 2 週間」で平均 7% 程度低下し、その後「2 週間から 1 ヶ月」では 1～2% 程度の低下、「1 ヶ月から長期」でも平均 1～2% 程度の低下があり、若干の進行が確認できた。

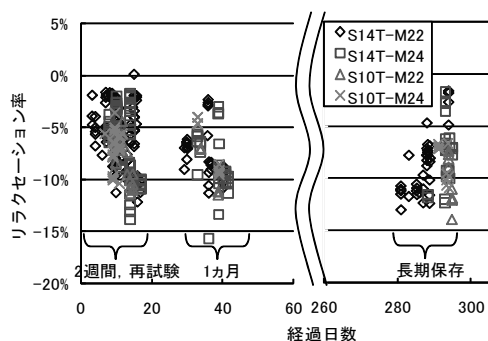


図-1 経過日数とリラクセーション

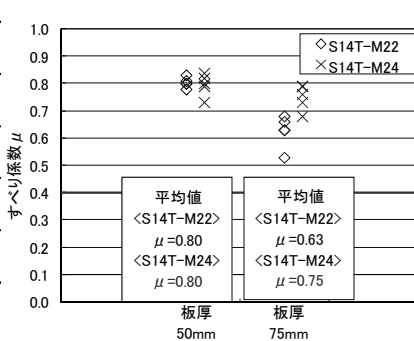


図-2 母材板厚の影響

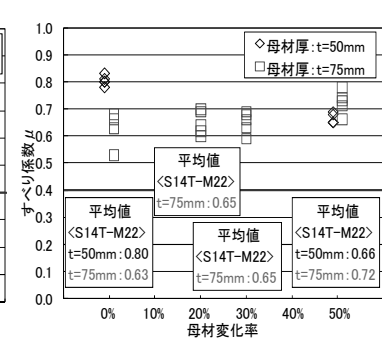


図-3 フィラーの影響

(2) すべり係数

母材板厚による比較を図-2に示す。母材板厚が厚くなるほど、すべり係数が低下する傾向が確認された。また、母材板厚 75mm では、M22 (図中◇) と M24 (図中×) で約 0.1 程度の差が確認された。M24 に比べ M22 の方が厚板化によるすべり跡(面積)の縮小が顕著であり、軸力が小さい M22 が鋼板の初期不整の影響をより強く受けていると推定される。

フィラーによる比較を図-3に示す。板厚 50mm の場合 (図中◇) では断面変化率 50% で約 0.15 の低下、板厚 75mm の場合 (図中□) では 30% までは大きな差異は認められなかったものの 50% で約 0.1 の上昇と、逆の結果であった。これは添接板が他のケースに比べ薄いため、添接板の変形により締付け効果が上がったことが一因ではないかと推定される。

肌すきによる比較を図-4に示す。肌すきが増加するにつれて、すべり係数は低下する傾向が確認された。ただし、既往の論文や実験における結果 (肌すき 1mm で約 10% の低下) と比較して 15~25% と低下が大きい結果であった。これは既往実験 (添接板厚 16mm, ボルト (S10T) 4 列) に対し、本実験は添接板が 25~38mm と厚板であり、ボルト列数も半分と少ないことから肌すきが馴染まず、影響が大きくなったと推定される。

今後、基準化に向けて詳細な検討を行い、原因と結果の相関関係を明確にし、適用範囲等を慎重に設定していく必要があると考えている。

2. 多列すべり試験

多列の影響を図-5に示す。4 列と 8 列では概ね同等

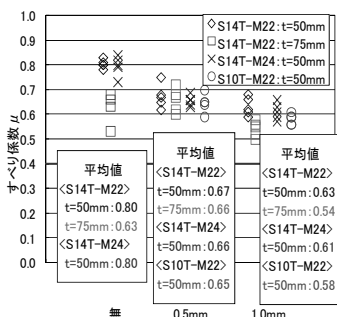


図-4 肌すきの影響

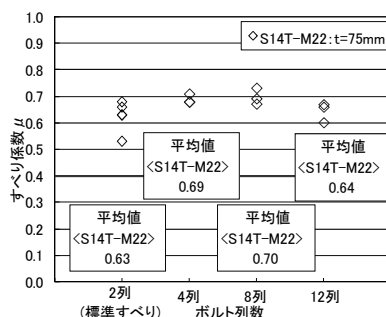


図-5 多列の影響

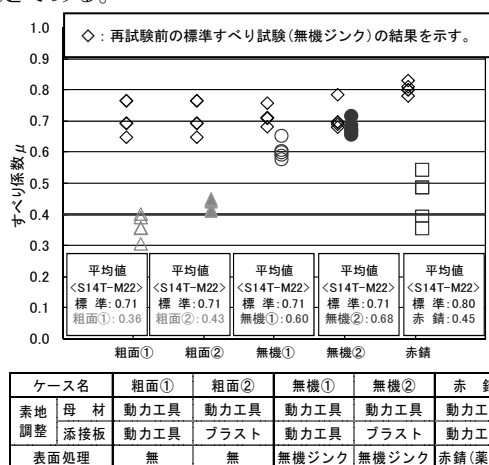


図-6 【再試験】接合面処理の影響

の値であるものの、12 列ではすべり係数の低下が認められた。本試験においても多列の影響が表れていると推定される。しかし、2 列のすべり係数が最小となったのは、ボルト列数が少なく鋼板の初期不整等の影響が他の列数に比べ顕著になっていると推定される。

3. 再試験

一度すべりを発生させた後に供試体を解体し、設定した接合面処理を施して、再度締付けを行ったすべり試験結果を図-6に示す。現場における最も簡易な方法である粗面は、 $\mu = 0.3 \sim 0.45$ と低く、これは動力工具で処理した場合に表面粗さが細くなり過ぎたことが原因と推定する。無機ジंकを施した方法では、 $\mu = 0.6 \sim 0.7$ 程度を確保できる結果となったものの、素地調整を動力工具で行った場合の無機ジंकの長期的な特性 (鋼材との接着等) が把握できていないため、今後、長期保存による試験を行い、適用性について検討する必要がある。また、赤錆については、 $\mu = 0.35 \sim 0.45$ とばらつきが大きく、 μ の大小によりすべり跡に差が見られたことから、施工品質管理が課題と考えられた。

【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】

群ボルト試験や桁部材の曲げ試験等を行い、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である。

「交換可能なオープングレーチング床版」の 一般橋梁も含めた適用性検討

Study on Applicability of Open Grating Deck to General Highway Bridges

(研究期間 平成 20～21 年度)

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

研究官 池田 秀継
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 小沼 恵太郎
Research Engineer Keitaro KONUMA

In this study, in order to apply open grating deck to general highway bridges, wheel load running test, exposure test and cost estimation were carried out. The wheel running test focused on the detail of the intersection of girders under grating deck. In the exposure test, the influence of water leakage on corrosion was set as parameter. The cost estimation was based on trial design for the general road bridges.

〔研究目的及び経緯〕

オープングレーチング床版は耐風安定性に優れることから、長大橋の路肩部等で適用された実績を有する。一方、従来の床版と比較して橋梁上部構造の軽量化が図れ、架設の省力化も期待されることから、一般橋梁においても工事用道路等で適用された事例がある。しかし、同構造の疲労や腐食に対する耐久性に関する検証は十分に行われていない。

そこで、当研究室では、平成 20 年度に疲労試験（輪荷重走行試験及び定点載荷疲労試験）を行い、オープングレーチング床版を適用した橋梁の構造桁の交差部形状の違い（図 1）による疲労耐久性に関する基礎的な検討を行った。その結果に基づき、今年度は、さらなる疲労耐久性の向上に向けた疲労試験、腐食特性の把握及び経済性の検討を行った。

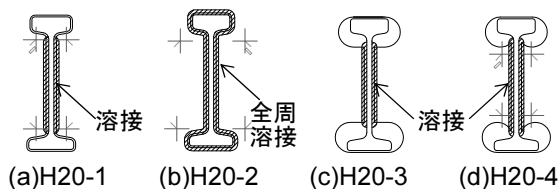


図 1 H20 年度検討ケース

〔研究内容〕

(1) 輪荷重走行試験

オープングレーチング床版橋を構成する横主部材の形状及び構造桁との接合方法による疲労耐久性の実荷重状態における違いを把握するため、4 タイプの交差形状（図 2）を配置した実物大供試体（図 3）を用い

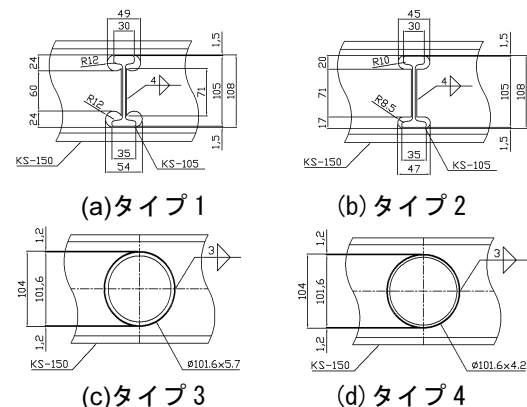


図 2 構造桁の交差部形状

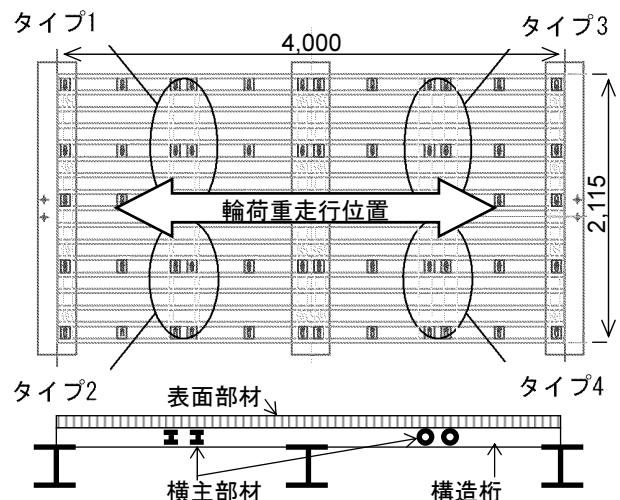


図 3 供試体概要

た輪荷重走行試験を実施した。ここで、タイプ1は、昨年度の試験において最も疲労耐久性に優れる結果となった H20-4 を基に、横主部材フランジ部のスリットコーナーを緩和した。タイプ2はタイプ1を基に、製作性の向上を図り、スカーラップを横主部材ウェブに対して垂直に取り付けた。タイプ3及び4は横主部材に鋼管を採用し、肉厚の異なる条件に設定した。

なお、载荷条件等の試験方法は過年度の同試験と同じく、一定の走行回毎に荷重を増加する「階段状载荷」とした。その際、载荷回数に伴う応力状態の変化を把握するために、荷重を増加する前に、交差部直上で静的载荷を行った。

(2) 試設計に基づく経済性検討

交通条件と支間長をパラメータとして単純鋼板桁橋の試設計を行い、ライフサイクルコストを算出した。

(3) 耐候性鋼材の適用性検討

耐候性鋼材を用いた実物大部分曝露試験を開始した。

[研究成果]

(1) 構造桁交差部の疲労耐久性

試験結果を図4に示す。走行回数24万回の時点で、タイプ4の横主部材と構造桁の溶接部において最初のき裂が確認され、今回検討した4ケースでは最も疲労耐久性に劣ることが分かった。一方、昨年度の最も優れる結果となった H20-4 のき裂発生時の走行回数が24.5万回であったことから、タイプ4はそれとほぼ同等であり、その他のタイプでは改善されたことが確認できた。なお、発生したき裂に対して補修溶接を行い、試験継続を試みたものの、すぐにき裂が再発したため、供試体全体の剛性が保てず、走行回数28.5万回で試験を終了した。

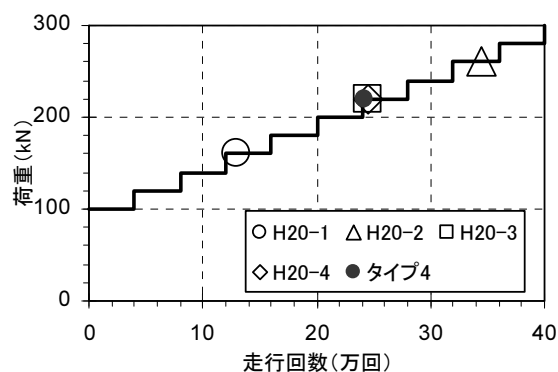


図4 き裂発生荷重－走行回数関係

き裂が確認されなかったタイプ1～3も含めて疲労耐久性を評価するために、静的载荷の結果を用いてS-N線図による整理を行った(図5)。ここで、線形累積被害則に基づき、疲労設計曲線の傾きを $m=3$ と仮定して、換算繰返し回数を用いて整理した。また、主

応力の評価位置は、各ケースで最大値が発生した位置とした。その結果、タイプ4以外はG等級程度の疲労耐久性を有することが推測された。タイプ4は発生応力の低減によりき裂発生回数は確保したものの、継手の疲労強度としてはG等級に満たない結果であることから、改善策とはならなかったと判断される。

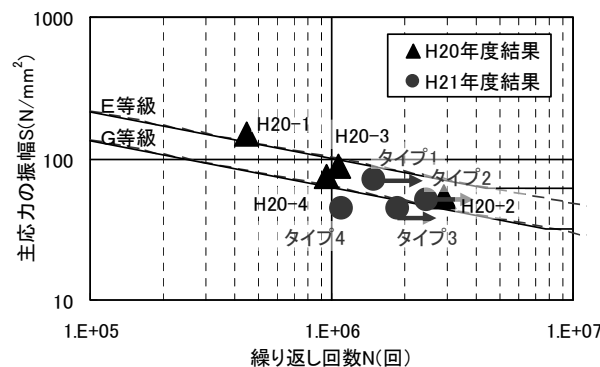


図5 S-N線図

(2) 試設計に基づく経済性検討

ライフサイクルコストの算出結果の一例を図6に示す。ここでは、供用期間を100年とし、RC床版では10年毎の舗装、メッキ仕様のオープングレーチング床版では50年毎の取替えを見込んでいる。従来のRC床版橋と比較して、メッキ仕様、耐候性鋼材仕様ともに初期コスト及びライフサイクルコストは割高となった。これは、現時点では両仕様とも製品化されておらず、製作費が割高になっているためと考えられる。今後、オープングレーチング床版が製品化され、低価格化が実現できれば、RC床版より経済性に優れる可能性も有している。また、現場工事費が約8割となったことから、現場作業の省略化が裏付けられた。

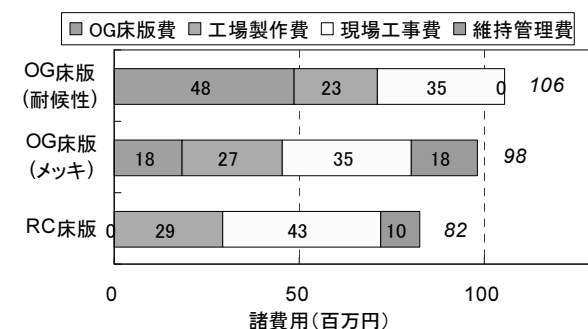


図6 概算工事費 (A活荷重・支間長30m)

[成果の発表]

国総研資料及び各種論文に発表する予定である。

[成果の活用]

曝露試験結果も反映させ、オープングレーチング床版を一般橋梁に適用する場合の設計基準(案)を作成する予定である。

「複合材料等の新材料」の一般橋梁も含めた適用性検討

Study on applicability of new materials such as FRP for general long-span bridges

(研究期間 平成 20 年～21 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 大久保 雅憲

Senior Researcher Masanori Okubo

研究官 生田 浩一

Researcher Kouichi Ikuta

室長

Head

主任研究官

Senior Researcher

研究員

Research Engineer

玉越 隆史

Takashi Tamakoshi

星野 誠

Makoto Hoshino

加藤 浩一

Kouichi katou

Applicability to use the FRP in inspection decks of bridges was studied. The examination about strength characteristic of the FRP member, an impact experiment assuming the case that a person falls on it, and comparison of safety of strength in inspection deck made of FRP and steel were conducted.

【研究目的及び経緯】

海岸線近くや海上などの厳しい腐食環境では鋼材の腐食速度が速く、防食法には高い性能が求められる。他方、塗装などの被覆防食では、角部や狭隘部で良好な施工品質の確保が困難であることが多い。また、耐候性鋼材や亜鉛メッキのような金属の腐食特性を利用した防食法では、塩分の影響によって耐久性が損なわれやすい。道路橋の点検検査路はこれまで部材寸法の小さい形鋼などの鋼材料を組み合わせて製作されることが一般的であり、塗装や溶融亜鉛メッキによる防食法では長期耐久性が十分に確保されない場合も見られるなど、腐食耐久性の向上が課題となってきた。この課題は、従来鋼製の付属設備が多数設置される長大橋梁における維持管理上の懸案事項でもあり、軽量化にも効果が期待できる各種の樹脂などの非鉄材料の活用に関する研究も過去には行われてきた。

本研究は、非鉄材料の一つとして実用段階にあり材料特性などの品質制御技術確立の水準が比較的高いと考えられる繊維補強プラスチック(以下「FRP」という。)の橋梁用検査路への適用性と基準化について、平成 20 年度から 2 箇年で検討を行ったものである。

【研究内容】

FRP の特性は、JIS 等の規格によって材料品質についてはある程度制御可能である。しかし、構造部材として用いるには部材としての力学的特性が制御され、様々な外力に対する挙動の再現性や破壊などの変状の発生に対して所要の安全余裕が確保できる設計手法が確立していることが必要である。

本研究では、材料については実績も多い GFRP(ガラス繊維強化プラスチック) 引抜成形材(JIS K7015 の 4

種相当、引張強さ 300N/mm²)を対象として、橋梁検査路への適用性について検討した。

設計上の目標性能は、点検や軽易な補修等作業を想定した歩廊部載荷荷重に対する耐荷力、作業員の不慮の墜落時を想定した手すりへの集中荷重に対する耐荷力が、従来一般に使用されてきた鋼製検査路と同程度確保されることとした。

過年度の検討では、作業員の墜落を想定した衝撃的な荷重によって荷重集中点となる手すり中央部、手すり支柱の部材接合部などの一部部位において脆性的な破壊形態を呈することを明らかにした。今年度は、制御困難な脆性的な破壊を検査路としての性能の支配的要因としない部材や接合部の条件を見いだすために、載荷試験により耐荷力と破壊形態を確認し安全性確保について検討を行った。

【研究成果】

1. 手すり部材の安全余裕

手すり中央部において、脆性的な破壊がみられることより、支柱間隔 1.9m の手すり部材単体に対して、中央部で載荷する 3 点曲げ試験を実施した。手すり中央部における変位 200mm 程度までの変形と荷重の関係を図-1 に示す。鋼製検査路で用いられている一般構造用炭素鋼鋼管(径 42.7mm、A-6)は、衝撃荷重(後述の 6, 100 ~ 7, 100N) よりかなり小さい荷重で降伏しているものの、最大荷重後においても安定した耐荷力を有する延性を確認した。鋼製検査路では、最大耐荷力を上回る衝撃荷重のエネルギーを塑性変形による延性で吸収していると考えられる。

FRP 部材では、中空の円形管(径 50mm、A-1)は、衝撃荷重よりかなり小さい荷重で手すり中央部の載荷点に

において断面形状を保持できず脆性的に破壊して急激に耐荷力を喪失した。断面形状保持を目的として円形管に樹脂モルタル充填した A-2 では、樹脂モルタルの損傷と急激な耐荷力喪失が確認され、充填による曲げに対する耐荷力の向上がわずかであった。断面形状を確実に保持できる充実断面の FRP の棒材をハンドレイアップ成形により形成（現時点で引抜成型材の市販品なし）した $\phi 45\text{mm}$ (A-3)、 $\phi 50\text{mm}$ (A-4)、 $\phi 57\text{mm}$ (A-5) では、いずれも衝撃荷重以上の耐荷力を有していたものの、A-3 では 5,600N で局部的なき裂発生により荷重が若干低下しており、A-5 では A-4 と比較して断面二次モーメントが 1.68 倍となるのに対して最大荷重は 1.11 倍にとどまっていることから載荷途中で若干の低下に留まらず大きなき裂が発生した可能性があり、最大耐荷力の再現性に問題のある結果であった。また、最大荷重後の耐荷力は急激に又は段階的不規則に低下しており、残存耐荷力の制御も困難と判断された。これらは、ハンドレイアップ成形による不均一な内部構造が要因として考えられ、耐荷性能を保証するためには強度特性の再現性とその制御方法に信頼性のある材料や部材の確立が課題である。FRP では脆性的な破壊をしない場合でも最大耐力のばらつきや最大耐荷力発現後の不安定で信頼性の期待できない挙動を呈したことから、強度のばらつきに対して余裕をもって弾性範囲内に確実にとどまる必要があると考えられる。

2. 衝撃載荷に対する安全性

作業員の不慮の墜落により発生する衝撃荷重に対する安全性を評価し検査路構造の設定法を検討するため、手すりの断面形状を変えた FRP 製の検査路及び梯子形状の昇降設備を対象とした衝撃載荷試験を実施した。

検査路上段の手すり又は昇降設備のステップに安全帯（ショックアブソーバー無し）を介して作業員を模した重錘 833N (85kg) を自然落下させた衝撃載荷による発生荷重を図-2 に示す。

衝撃荷重の最大値は、損傷による衝撃荷重の吸収が無ければ検査路の構造に拘わらず、6,100~7,100N で

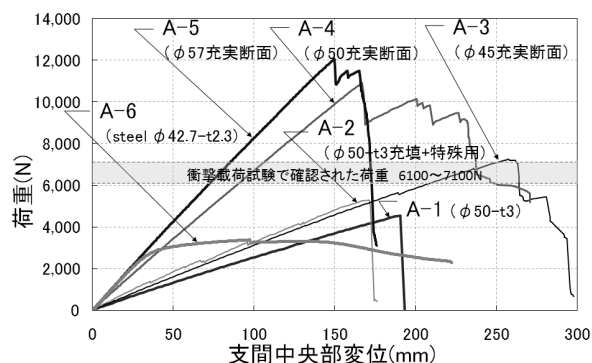


図-1 手すりの3点曲げ試験における変位と荷重

ほぼ一定であった。実験に使用した安全帯のロープ及びD環が大きく変形しており、衝撃荷重を吸収したものと考えられた。これらから、実験で測定された衝撃荷重は、安全帯における衝撃荷重の規格値 8,000N 以下によっていると推測された。FRP のたわみによる衝撃吸収効果も期待されるものの確実な効果算出は困難であることから、設計荷重として考慮する衝撃荷重は安全帯における規格値を使用することが適当と考えられた。

手すりに充実断面（D-1、D-3、D-4）の FRP 部材を使用したケースでは、弾性範囲に収まり損傷は発生しなかった。樹脂モルタル充填（D-5）は、FRP 部材に損傷は発生しなかったものの、A-2 と同様に樹脂モルタルの損傷が確認され、信頼性に問題があるものであった。

また、静的載荷試験により手すりの3点曲げ試験の結果と同様に衝撃荷重以上の静的強度を有することを確認するとともに、実験値を利用した骨組み解析により、軸力と曲げモーメントを算出し、静的載荷試験の実験値と同等な結果を解析で再現できることを確認した。

3. まとめ

FRP を検査路に適用するにあたっては、鋼製検査路と同等な安全性を確保するために、強度のばらつきや劣化による強度低下に対して余裕をもって弾性範囲内に確実にとどまり、急激に耐荷力を失う脆性的な破壊をしないように設計する必要があると考えられる。また、FRP は内部の構造が複雑であり強度の異方性があるため予測外の損傷を起こすことがあり、構造が複雑な接合部においては、解析のみに頼ることなく実験で安全性を確認した構造細目を使用することが不可欠であると考えられる。

[成果の発表]

国総研資料及び各種論文等で発表予定。

[成果の活用]

検査路の要領案を作成し、実際の現場において試行を行い、さらに検討を進め基準等に反映。

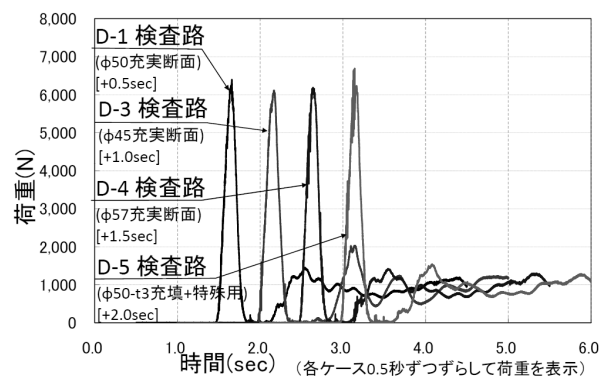


図-2 衝撃載荷による発生荷重