

(12) 複合トラス構造格点部の試験

オリエンタル建設(株)技術部 正会員○辻村 隆
 新日本製鐵(株)鉄構海洋事業部 室井 進次
 同上 野呂 直以
 オリエンタル建設(株)技術研究所 二井谷教治

1. はじめに

一般的なPC箱桁橋のウェブを軽量の鋼製部材に置き換えた複合構造は、主にフランスで発展してきている。近年わが国においても、PC箱桁のウェブを波形鋼板に置き換えた波形鋼板ウェブPC橋が、その経済性、合理性に着目され、着実に施工実績が増えつつある。一方、従来のPC箱桁橋のウェブを鋼トラスで置き換えた複合トラス橋も、鋼とコンクリートのそれぞれの特徴を活かした合理的な構造であり、下部工を含めた全体構造の経済性、合理性に優れ、次世代の複合橋梁として注目されている。

この複合トラス橋において最も重要な部分は、鋼斜材とコンクリート床版との接合部(格点)である。そしてその格点構造は、経済性、耐久性に優れ、架設条件に応じた施工性を有する必要がある。したがって、本研究では、断面力の確実な伝達性能および施工性を兼ね備えた格点として、図-1に示すコンクリート介在型の格点構造を採用した。本格点は、せん断キー(以下、リングシャキー)に鋼管を使用し、このリングシャキーが溶接された引張斜材(雄型)、および相対する圧縮斜材(雌型)の端部を直接コンクリート床版に埋め込み、コンクリートを介して斜材から斜材へ軸力の伝達を行う機構を有する。また、本格点の特徴は、両斜材がフランジプレートによって独立な構造であり、施工時の誤差吸収が容易であることである。本格点構造の静的耐荷力、施工性については、これまでの試験により十分な性能を有することが確認されている¹⁾。そこで、本試験では、格点に作用する活荷重応力振幅の最大箇所に着目し、実物大供試体を用いて疲労試験を行った。また、疲労試験後の供試体を用いて静的耐荷力試験を行った結果についても報告する。

2. 疲労載荷試験

2.1 供試体

試験に用いる供試体の寸法、設計荷重などは、図-2に示す橋梁を想定し決定した。供試体は、この想定橋梁の中央径間中央部付近の格点部を中心に各部材を取り出したもので、圧縮斜材、引張斜材および床版で構成される実物大モデルとした。なお、コンクリート床版部は圧縮応力が支配的となるためRC構造とし、リングシャキーにはSM570、斜材鋼管およびフランジプレートにはSM490Y材を用いた。

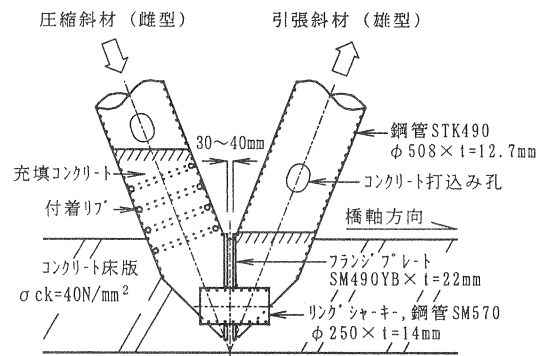


図-1 格点の構造

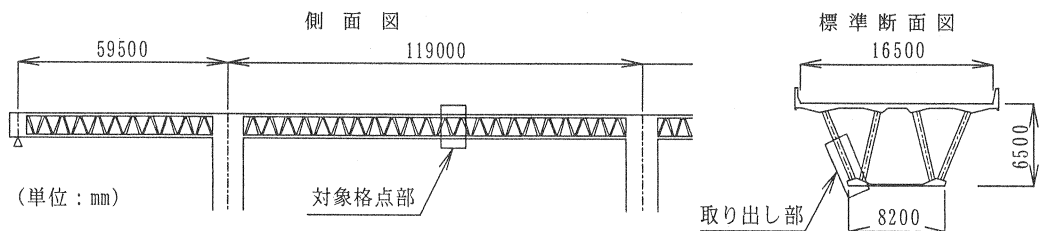


図-2 想定橋梁

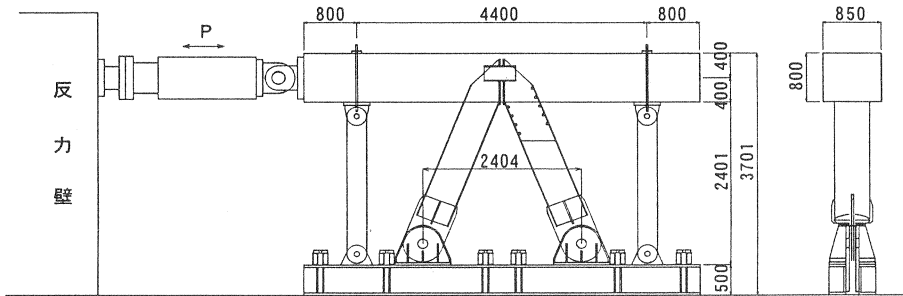


図-3 疲労試験 荷重装置図 (単位: mm)

2. 2 試験方法

試験装置は、図-3に示すように圧縮・引張斜材とコンクリート床版からなる供試体部と、これを支持する鋼製の治具とを組み合わせたπ型のトラス構造とした。

荷重は、荷重能力 2000kN のアクチュエータにてコンクリート床版端面より水平に行うものとし、図-4に示すように、予備荷重 P=300kN を行った後、想定橋梁の試設計で算出された活荷重時の変動に相当する荷重 ($P_{max}=889kN, P_{min}=431kN$) を振動数 1 ~ 3 Hz, 繰り返し荷重回数を 200 万回とした。なお、荷重荷重は、圧縮斜材の軸応力にて管理した。

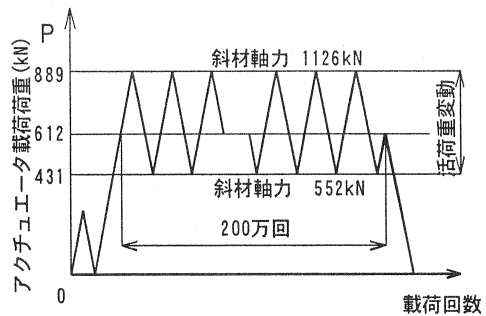


図-4 荷重荷重ステップ

2. 3 試験結果および考察

(1) リングシャーキー

リングシャーキーのひずみ振幅と荷重回数との関係を図-4に示す。同図より、荷重回数によるひずみ振幅の変化はほとんど見られず、疲労の影響は無いものと考えられる。

(2) コンクリート床版

荷重回数 178 万回にて、コンクリート床版上面の中央付近に軸直角方向にひび割れが生じた。(図-5) ひび割れの幅は最大荷重状態で 0.02 mm であり、その後 200 万回まで荷重を行った時点では、ひび割れの長

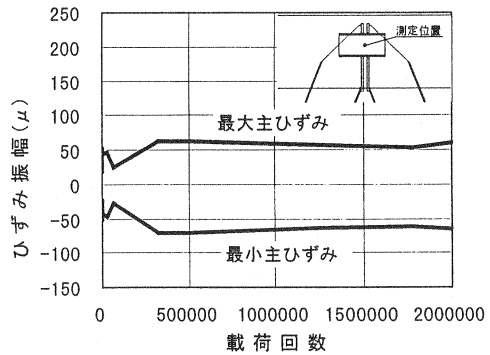


図-4 リングシャーキー 荷重回数-ひずみ振幅

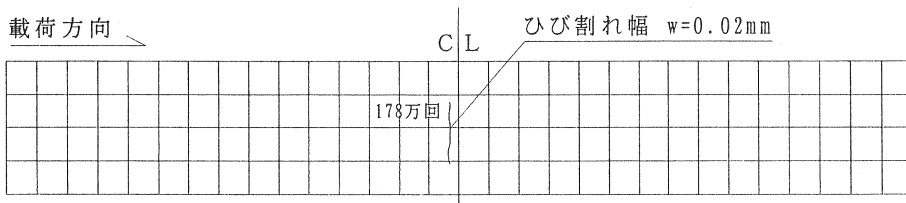


図-5 コンクリート床版上縁ひび割れ観察図

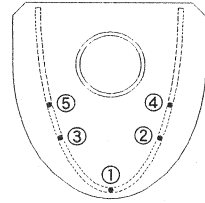
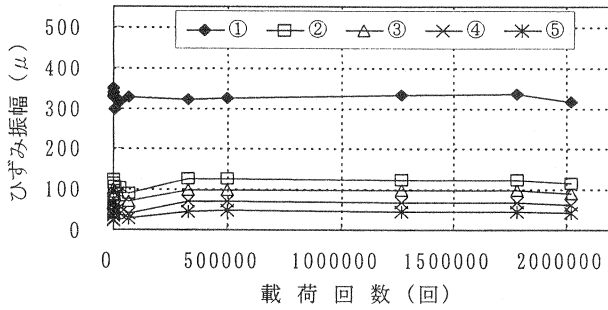


図-6 フランジ溶接部のひずみ振幅

さ、幅に変化は見られなかった。また、コンクリート床版側面の最大主引張応力度は $\sigma_c = 0.7 \text{ N/mm}^2$ 、軸方向鉄筋の最大引張応力度 $\sigma_s = 9.1 \text{ N/mm}^2$ であり、ともに応力レベルは低く、荷重回数に関係なくほぼ一定値を示した。

(3) フランジ溶接部

フランジ溶接部のひずみ振幅と荷重回数の関係を図-6に示す。フランジ溶接部に発生するひずみ振幅は、荷重回数に依存せずほぼ一定であったが、引張斜材側の端部(図-6の①部)のひずみは他の溶接部分に比べて大きい振幅を示した。FEM解析(図-7)によると、設計荷重時におけるこの箇所の引張応力は 88.3 N/mm^2 であり、鋼管一般部の平均引張応力 57.0 N/mm^2 に対して約1.6倍の応力集中が見られる。従って、実際の構造物が今回の斜材応力変動を越える場合には、鋼フランジと鋼管の溶接部についての疲労照査が必要となる場合が考えられる。

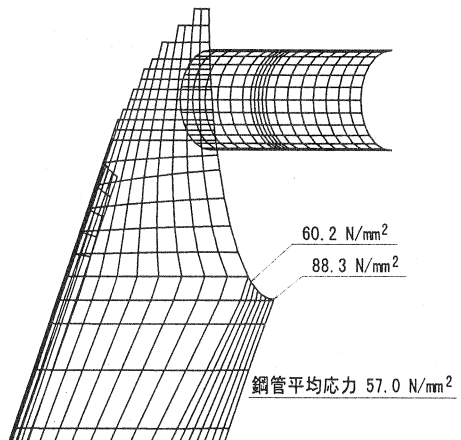


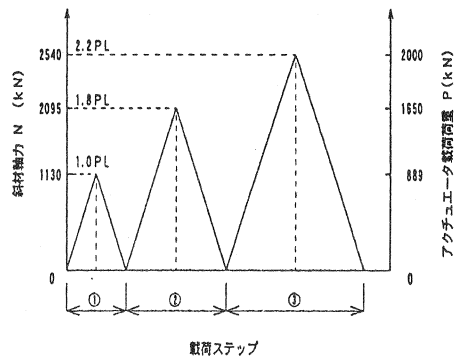
図-7 フランジ溶接部FEM解析

(4) 変形

床版コンクリート荷重面に設置した計測点の水平変位量は、骨組み解析による推定値とほぼ一致しており、200万回の繰り返し荷重でも総変形量および変位振幅ともに変化しておらず、格点部としての剛性の低下はほとんど認められなかった。

(5) 格点部の変状

200万回終了時点での目視検査では、鋼管埋め込み部のコンクリートと斜材鋼管の肌離れは確認されず、良好な付着が維持されていると考えられる。



- ① 設計荷重 (PL)
- ② コンクリート引張強度を 2.6 N/mm^2 と仮定したときの床版せん断ひび割れ発生荷重 (1.8 PL)
- ③ 荷重試験機の最大荷重能力荷重 (2.2 PL)

図-8 荷重荷重ステップ

3. 静的荷重試験

3.1 試験方法

疲労荷重試験終了後の供試体を用いて静的荷重試験を行った。荷重ステップを図-8に示す。なお、本試験における最大荷重荷重は、荷重装置(アクチュエータ)の能力から2000kNとした。

3. 2 試験結果

モデル橋における活荷重作用時相当の2.2倍の荷重まで載荷し、耐荷力の確認を行った。

荷重-変位関係(図-9)を見ると、荷重1650kN(設計荷重の約1.9倍)程度まで線形挙動を示し、それ以降はやや剛性が低下した。最大荷重状態での目視検査では、鋼管埋め込み部のコンクリートと斜材鋼管の肌離れは約0.2mm程度であり、荷重除荷後の残留変位は、水平方向で1.18mmであった。従って、設計荷重の約1.9倍付近で鋼管埋め込み部のかい離が発生しているものと推測される。

コンクリート床版には疲労載荷時に発生したひび割れ以外の新たなものは発生せず、疲労載荷時に発生したクラックのひび割れ幅は、最大荷重状態において0.03mmであった。また、トラス斜材および格点部を構成する鋼材すべてにおいて降伏ひずみに達していなかった。

今回試験機の最大載荷能力の制限によって載荷を終了したが、載荷試験結果から推測すると、モデル橋における活荷重作用時相当の2.2倍を越える耐力を十分有していると思われる。

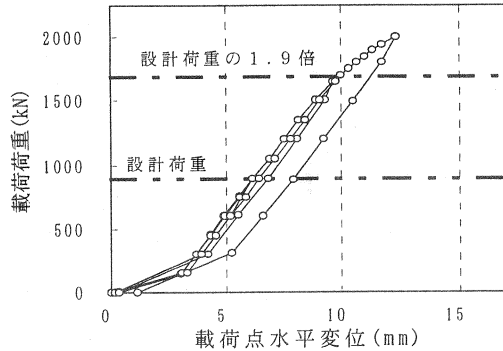


図-9 荷重-水平変位

4. まとめ

疲労載荷試験および静的載荷試験から得られた結果を以下に列挙する。

(1) 疲労載荷試験より

- 1) コンクリート床版部は、特に疲労の影響はないものと考えられる。
- 2) 鋼管とフランジ、リングシャーキーとフランジの溶接部には軸変動力の作用により一部比較的大きな変動応力が作用するが、今回想定したモデル橋梁においては特に問題となるレベルではなかった。
- 3) 変形量は載荷回数に依存せず一定で、剛性の低下は生じなかった。
- 4) 繰り返し載荷による鋼管埋め込み部のコンクリートとの肌隙が想定されたが、目視の範囲では発見されなかった。ただし、コンクリートのクリープ・乾燥収縮による肌離れが発生する可能性があるため、止水処理の必要があると考えられる。

(2) 静的載荷試験より

- 1) コンクリート床版部は、疲労試験時に発生したひび割れ以外の新たなひび割れは無く、設計荷重に対して十分な耐力を有している。
- 2) 鋼材および格点を構成する鋼材は全て降伏ひずみに達していない。
- 3) 本格点は設計荷重に対して2.2倍を越える耐力を有している。
- 4) 設計荷重の約1.9倍付近で鋼管埋め込み部のかい離が発生しているものと推測されることより、トラス部材としては、設計荷重の1.9倍まで線形部材として挙動するものと思われる。

以上、これまでの実験を通じて本構造の基本的な施工性能、耐荷力についての実証を行ったが、今後は、さらに格点部の応力伝達機構を分析し、より効率的な格点の設計手法を確立していきたい。

参考文献

- 1) 二井谷 教治・江口 信三・室井 進次・野呂 直以：複合トラス構造格点部の試験，第9回プレストレストコンクリートの発展に関するシンポジウム論文集，pp85～90，1999.10