

(15) 鋼トラスウェブPC橋の格点構造に関する実験と解析

日本道路公団 静岡建設局 構造技術課	猪熊 康夫
日本道路公団 静岡建設局 静岡工事事務所	黒岩 正
プレストレスト・コンクリート建設業協会 正会員	○永井 篤
プレストレスト・コンクリート建設業協会 正会員	日紫吉剛啓

1. はじめに

近年、橋梁分野において鋼とコンクリートとの合成構造が注目を集めており、PC橋からの合成構造へのアプローチとして、箱桁のウェブを鋼トラスや波形鋼板で置き換えた橋梁が計画、建設されている。これらの橋梁は従来のコンクリート橋に比べて自重の軽減やスパンの長大化が可能である。今回、鋼トラスウェブPC橋の、コンクリートと鋼トラス材の格点部についてその疲労特性や破壊耐力等の構造特性を把握する目的で疲労試験および耐力確認試験を行った。その結果をもとに、FEM解析等を実施し、比較検討を行った。本論文は疲労試験と対比するために実施した解析結果について報告するものである。

2. 格点構造

実橋で最も活荷重による軸力変動幅(活荷重載荷時 $N_{max}=1126KN \sim N_{min}=552KN$)の大きい格点を対象に3種類の試験体を製作し、試験を行った。

2.1 TYPE 1 (PC鋼棒格点構造)

図-1にTYPE 1(PC鋼棒格点構造)を示す。モルタルを充填したトラス材とコンクリート桁にPC鋼棒を配置し、付着により軸力を伝達する構造である。PC鋼棒は、付着力を高める目的でネジ節のある異形PC鋼棒(φ36)を採用した。トラス材は、丸形鋼管(φ457.2mm $t=19mm$)、材質および機械的性質がSTK400相当のものを使用した。試験体の格点部に生じる2次曲げモーメントを考慮して、引張側トラス材に12本(実橋では6本)、圧縮側トラス材に4本のPC鋼棒を配置した。鋼管と充填モルタルの付着力を高めるため、トラス材鋼管内面部には、ビード溶接を施している。モルタルの付着強度は、28日で $30N/mm^2$ 以上を確保できるものとした。

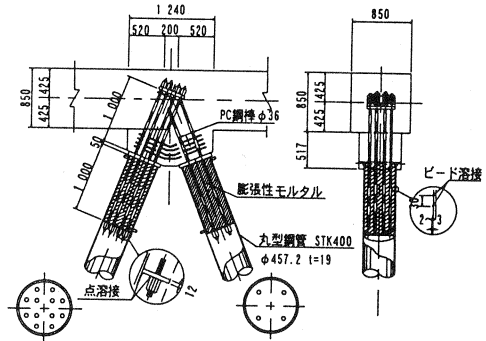


図-1 TYPE 1 (PC鋼棒格点構造)

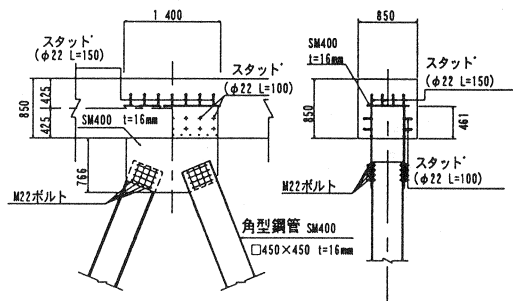


図-2 TYPE 2 (ガセット格点構造)

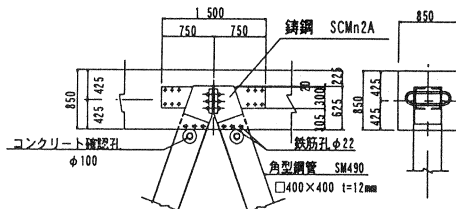


図-3 TYPE 3 (鑄鋼格点構造)

2.2 TYPE 2 (ガセット格点構造)

図-2にTYPE 2 (ガセット格点構造)を示す。コンクリート桁内部にガセットプレート

を埋め込み、ガセットプレートとトラス材をボルトで摩擦接合した構造である。本試験では、ガセットプレートとして、材質がSM400、厚さが16mmのものを使用し、φ22の頭付きスタッドを配置した。鋼管は、角型鋼管(450mm×450mm t=16mm)、材質および機械的性質がSM400相当のものを使用した。ガセットプレートとトラス材は、M22の高力ボルトで接合した。

2.3 TYPE 3 (鑄鋼格点構造)

図-3にTYPE 3(鑄鋼格点構造)を示す。格点部として、コンクリート桁内に鑄鋼部材を埋め込んだ構造である。鋼管は、角型鋼管(400mm×400mm t=12mm)とした。材質および機械的性質は、格点部、角型鋼管部ともに、SM490B相当のものを使用した。鑄鋼とトラス材は両面溶接で接合した。

鑄鋼は、凸側と凹側の2部材からなっておりボルトで固定されている。配置は、引張側に凸部材、圧縮側に凹部材とした。

3. 試験概要

解析の対象とした疲労試験要領図を図-4に示す。コンクリート打設・脱型後、十分なコンクリート強度が得られたことを確認し、トラス部材と下部ベースはピンで接合、反力床にPC鋼棒で固定した。また、載荷時に桁が鉛直方向にそることを抑制するために、鉛直材を用いた。

本試験体は、コンクリート桁部が上方であることと、下部ベースのピン廻りに余裕があることから、部材軸直角方向に対して不安定なため、桁の両側に振れ止めを設置した。振れ止めとコンクリート桁部の接触面にはフラットローラーを使用した。鋼トラス材への荷重は、コンクリート桁にアクチュエーターを用いて水平荷重をかける方法で載荷した。

試験は、活荷重相当の変動軸力($N_{max}=1126\text{KN} \sim N_{min}=552\text{KN}$)を与えて200万回の繰り返し載荷を行った後、試験装置能力の限界まで載荷を行った。

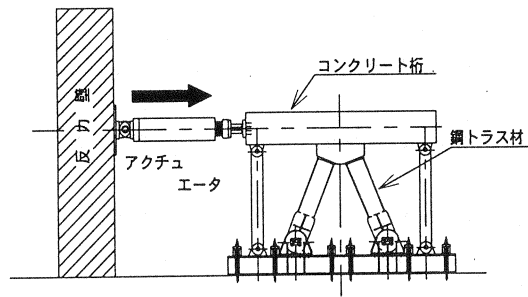


図-4 試験要領図

4. 解析結果および考察

それぞれの試験体について3次元FEM解析等を実施し、試験値の検証を行った。解析は活荷重載荷時最大軸力 $N_{max}=1126\text{KN}$ がトラス材に導入されるように水平荷重を与えた。

4.1 TYPE 1 (PC鋼棒格点構造)

1) 解析着目点

PC鋼棒格点構造では、鋼管の定着突起の載荷側面付け根に局所的な圧縮ひずみが生じた。その現象を検証するため、3次元FEM解析を行った。

2) 解析モデル

図-5に解析モデルを示す。引張側φ36異形PC鋼棒12本の剛性を評価してバー要素にモデル化し、モルタルを充填した鋼管もその剛性を評価したバー要

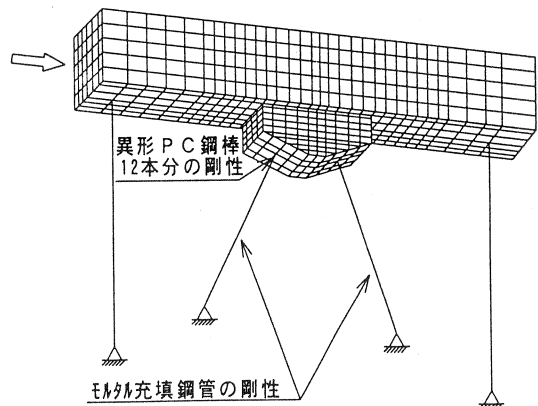


図-5 TYPE 1 解析モデル

素とした。コンクリート桁部および定着突起はソリッド要素とした。圧縮側は鋼管から鋼管定着突起に軸力が直接伝達すると考え、圧縮側の異形P C鋼棒は考慮していない。

3) 解析結果

実測値とFEM解析値は図-6に示すように、使用状態の局部最大ひずみ(応力度) -304 μ 程度(圧縮9.5N/mm²)に比べて、解析値は-226 μ (圧縮7.1N/mm²)となり、解析値がやや小さい結果となったが、試験値の傾向がほぼ再現できた。ここで、この圧縮ひずみについては、応力のレベルが比較的 low、また荷重が増加してもひずみの増分はほぼ線形的に増加していることを確認していることなどから、弾性的な挙動であると考えられるため、特に問題となる局部応力ではないものと判断される。

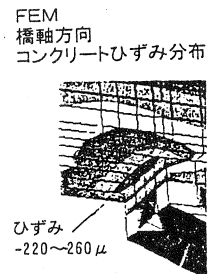
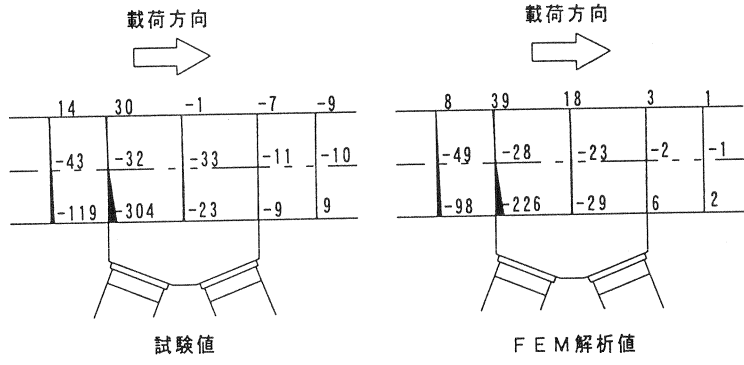


図-6 コンクリートひずみ分布 (TYPE 1)

4. 2 TYPE 2 (ガセット格点構造)

1) 解析着目点

ガセット格点構造におけるガセット取付部付近のひずみ分布が図-8(a)に示すようにガセットプレートと鋼管の接合面で大きくなる分布となった。この現象の把握のため、ガセットプレートおよび角型鋼管をシェル要素でモデル化した3次元FEM解析により検証を行った。

2) 解析モデル

図-7に解析モデルを示す。ガセットプレート、角鋼管をシェル要素、コンクリート桁部は3次元ソリッド要素とし、ガセットプレートと角型鋼管を高力ボルトの位置で拘束した3次元FEMモデルとした。

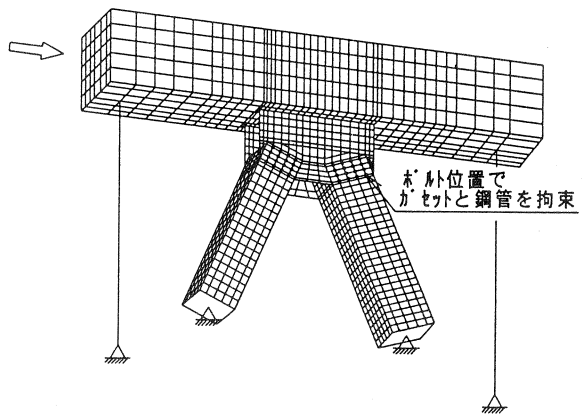


図-7 TYPE 2 解析モデル

3) 解析結果

図-8に実測値と解析値の比較を示す。ガセットと角型鋼管を高力ボルト位置で拘束した3次元FEMモデルにより、試験値の傾向が再現できた。これは軸力が高力ボルトによって鋼管からガセットプレートへ伝達されているため、鋼管の接合面のひずみが大きくなったものと考えられる。

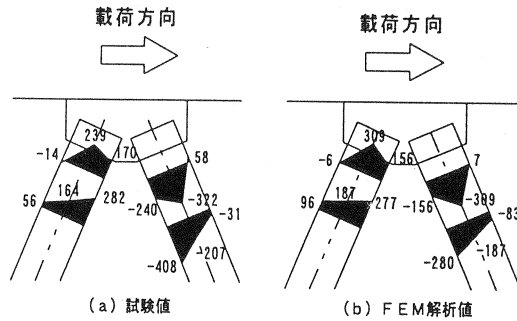
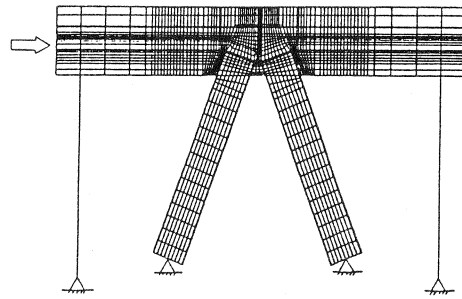


図-8 鋼管ひずみ分布 (TYPE 2)

また、本試験の範囲内では、トラス材付根の発生ひずみは骨組解析よりも小さな値となったが(試験値-322 μ 、骨組解析値-333 μ 、FEM解析値-309 μ)、実橋ではガセットプレートの大きさなどにより剛性が変わるので、発生曲げモーメントが変化することが予想される。このため、ガセットプレートのモデル化に留意する必要がある。



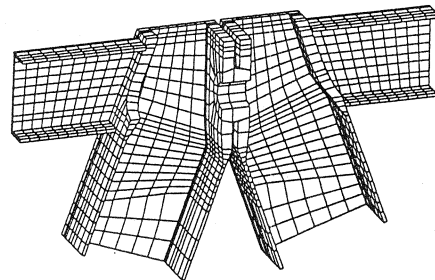
4.3 TYPE 3 (鑄鋼格点構造)

1) 解析着目点

鑄鋼格点構造において、コンクリート中に埋め込まれた部分の鋼管ひずみがコンクリート外側のひずみに比べやや減少するものの、溶接箇所近傍に500 μ 近いひずみが計測されたため、3次元FEM解析により検証を行った。

2) 解析モデル

解析モデルを図-9に示す。ソリッド要素でコンクリート桁部、鑄鋼格点部、鋼管をモデル化し、コンクリートと鑄鋼および鋼管を完全に付着したモデルと付着のないモデルで解析した。



鑄鋼格点部

図-9 TYPE 3 解析モデル

3) 解析結果

図-10に実測値と解析値の比較を示す。試験値では、コンクリート内に埋め込まれた鋼管の引張ひずみは、コンクリート外側の引張ひずみの値よりも減少している。しかし、格点部の構造を忠実にモデル化した3次元FEM解析において、鋼とコンクリートの付着条件を変えて解析した結果、完全に付着したモデルではひずみの減少量が大きく、付着のないモデルではひずみの減少がほとんど生じない結果となった。これらの結果から試験値はある程度の付着の影響があるものと推察できる。しかし、付着の影響度合の把握は困難であることから、鑄鋼と鋼管の溶接部について2次応力を考慮して疲労設計の検証を行った。

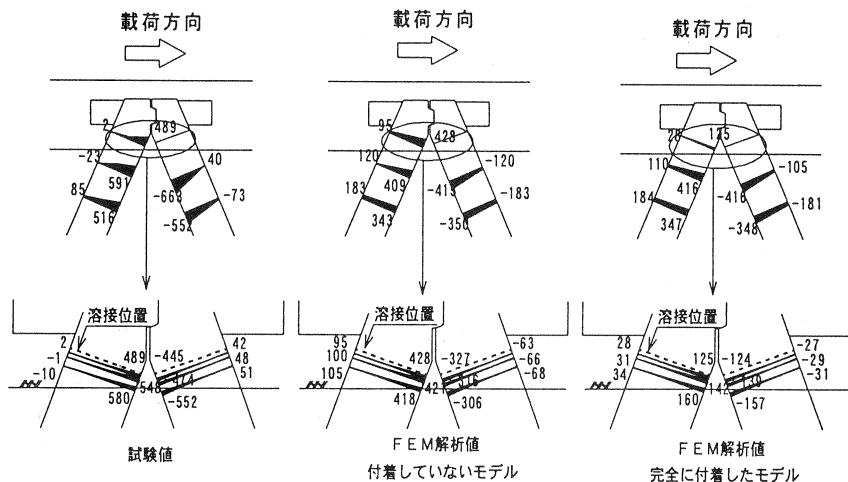


図-10 鋼管ひずみ分布 (TYPE 3)

今回の鋼管と鑄鋼との溶接部は、両面溶接が可能であることから、横突合せ溶接継手における非仕上げ継手の両面溶接⁹⁾に相当するものと考えられ、強度等級は、D等級となり 2×10^6 基本許容応力範囲で 100 N/mm^2 である。この場合、一定振幅応力に対しての応力範囲の打ち切り限界(変動振幅応力の応力範囲成分のすべてが、それ以下であれば、疲労照査の必要のない限界値)は、 84 N/mm^2 で応力繰返し数は、 3.4×10^6 回となる。

本試験に発生している応力振幅は、 54 N/mm^2 (表-1参照)であり、応力範囲の打ち切り限界 84 N/mm^2 以下となる。また、実橋では、着目している箇所¹⁰⁾の2次応力の大きさが試験値に比べ小さく、 36 N/mm^2 程度である。なお表-1、表-2より骨組解析による試験体応力振幅と疲労試験のひずみから求めた応力振幅はほぼ同一であることから鑄鋼と鋼管の接合部の疲労設計は骨組解析モデルを使って接合部に発生する2次応力を考慮した設計を行えば良いものと考えられる。

また、鑄鋼と鋼管の接合を片面溶接で行うためには疲労等級がF等級(応力範囲の打ち切り限界 46 N/mm^2)となるため、角形鋼管寸法を $500 \times 500 \times 12$ とする必要がある。(表-3参照)

図-11に鑄鋼格点構造の嵌合部を示す。図-11に示す嵌合部下側のひずみは凸側で試験値 100μ 、凹側 150μ に対して、付着のないモデルの解析値は凸側 174μ 、凹側 171μ となり、付着のないモデルの解析値と試験値のひずみの発生傾向は合致した。また、鑄鋼格点部の他の場所ではひずみがほとんど発生していない。この結果より、嵌合部の設計は、付着のない状態での引張力に対し、設計しておけば問題のないものと考えられる。

5. まとめ

- 1) 3種類の格点構造ともに、問題となる挙動や異常は見られず、局部的に発生している応力も3次元FEM解析である程度予測できる。
- 2) PC鋼棒格点構造について載荷側コンクリートの下面の定着突起部に大きな圧縮ひずみが測定されたが、荷重に対して線形的に増加するひずみであり、弾性的な挙動であると考えられる。
- 3) ガセット格点構造のガセット鋼管の取付部に応力の乱れが生じたが2次応力を考慮した解析に基づい

表-1 疲労試験のひずみから求めた応力振幅

	単位	試験体
疲労試験のひずみ振幅	μ	260
疲労試験の応力振幅	N/mm^2	54

表-2 骨組解析による応力振幅

	単位	試験体		実橋	
		最小	最大	最小	最大
軸力(骨組み解析値)	KN	552	1126	552	1126
曲げモーメント(骨組み解析値)	KNm	50	98	-25	-13
鋼管断面積(□-400 t12)	cm^2	182.5		182.5	
鋼管断面係数(□-400 t12)	cm^3	2270		2270	
応力振幅	N/mm^2	52		36	

表-3 $500 \times 500 \times 12$ としたときの応力振幅

	単位	試験体		実橋	
		最小	最大	最小	最大
軸力(骨組み解析値)	KN	552	1126	552	1126
曲げモーメント(骨組み解析値)	KNm	50	98	-25	-13
鋼管断面積(□-500 t12)	cm^2	230.5		230.5	
鋼管断面係数(□-500 t12)	cm^3	3630		3630	
応力振幅	N/mm^2	37		27	

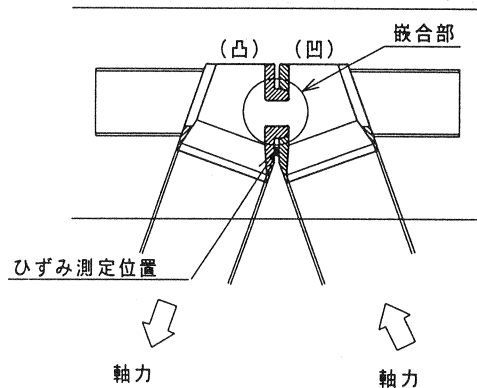


図-11 TYPE 3の嵌合部

た設計を行えばよいものと考えられる。この際ガセットのモデル化に留意する必要がある。

4) 鋳鋼格点構造の鋳鋼と鋼管の溶接部は、剛結合によって生じる2次応力を考慮して疲労設計をする必要がある。

最後になりましたが、本試験の計画実施にあたり、ご指導をいただいた鋼・コンクリート複合トラス橋の設計施工に関する技術検討委員会の委員長である池田教授ならびに委員の先生方に心から感謝致します。

参考文献

- 1) 本間、黒岩、日紫喜、古市、：複合トラス構造接合部の耐力確認実験；プレストレストコンクリート技術協会 第8回シンポジウム論文集、1998年10月
- 2) 黒岩、本間、藤田、益子：鋼・コンクリート複合トラス接合部の疲労実験；プレストレストコンクリート技術協会 第8回シンポジウム論文集、1998年10月
- 3) 猪熊、東田、寺田、岡田：巴川橋（複合トラス橋）の計画；土木学会第51回年次学術講演会、1996.9, pp. 514-515
- 4) 小川篤生：日本道路公団における複合構造橋梁の技術開発；第二東名神橋梁シンポジウム「これからの橋梁技術を考える」寄稿論文集、1997.4, pp4-1~4-14
- 5) 安松敏雄：道路構造物での複合構造への取り組み；土木学会平成9年全国大会研究討論会資料、鋼・コンクリート複合構造の現状と将来「新しい設計・施工の方向を目指して」、1997.9, pp. 4-8
- 6) 日本鋼構造協会：鋼構造物の疲労設計指針・同解説、1993.4