

(11) 鋼・コンクリート複合トラス接合部の疲労試験

日本道路公団 静岡建設局 構造技術課	本間 淳史
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	益子 博志
プレストレスト・コンクリート建設業協会 正会員	藤田 学

1. はじめに

複合トラス構造は、主桁の上・下床版にコンクリート、ウェブに鋼トラスを用いた構造で、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。本構造は海外にて数橋の実績(フランスのブローニュ高架橋等)があり、我が国でも、第2東名高速道路における採用が計画されている(図-1)。

複合トラス構造において、その接合部はコンクリート部材と鋼部材を一体化してかつ断面力の伝達機構となる構造上重要な部分である。しかし、現在まで、コンクリートとトラス材の接合構造については、その疲労特性や破壊耐力の評価方法を含めて、実験・研究がほとんどなされていない。そこで、接合部の構造特性を把握する目的で3種類の接合部を製作し実物大試験を行った。試験ではトラス接合部の施工性能試験、疲労試験、耐力確認試験を実施したが、本報文はこのうち施工性能試験および疲労試験の結果について報告するものである。

2. 試験体の接合構造

鋼トラスとコンクリート桁の接合構造として、3つの実物大の試験体を製作した。

①TYPE1(PC鋼棒格点構造)

図-2にTYPE1(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。引張側トラス材に12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、トラス材鋼管内面には、ビード溶接を施している(写真-1)。モルタルの付着強度は、28日で30N/mm²以上を確保できるものとした。

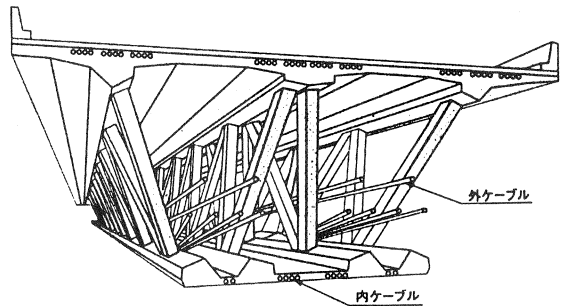


図-1 複合トラス橋

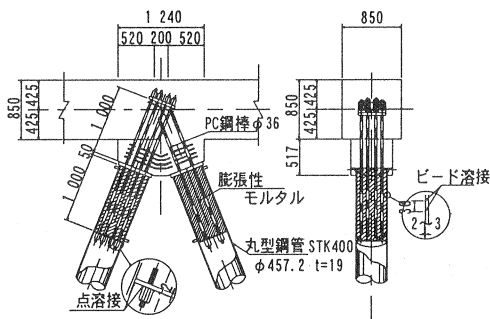


図-2 TYPE1(PC鋼棒格点構造)

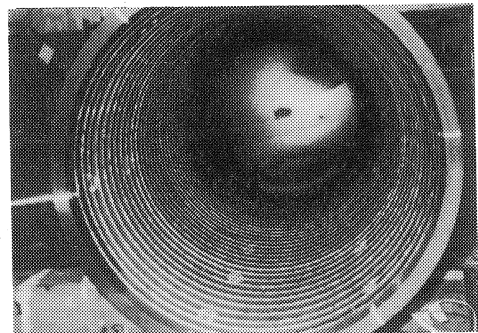


写真-1 ビード溶接

②TYPE2 (ガセット格点構造)

図-3にTYPE2 (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とトラス材を埋め込み、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、写真-2のように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。水平面のプレートには、十分な締め固めができるようにパイプブレーカーを挿入できるコンクリート充填孔(φ80)を設けた。

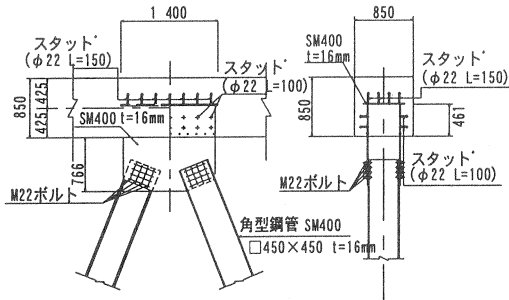


図-3 TYPE2 (ガセット格点構造)

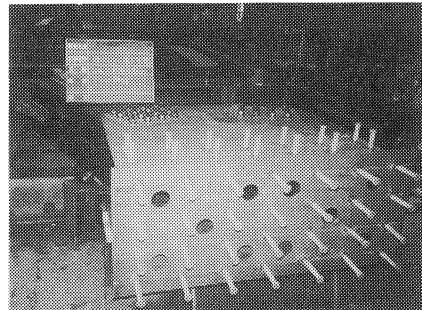


写真-2 ガセット格点構造

③TYPE3 (鋳鋼格点構造)

格点部として、コンクリート桁内に鋳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。鋳鋼とトラス材は両面溶接で接合した。

鋳鋼は、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(写真-3)。配置は、引張側に凹部材、圧縮側に凸部材とした。また、トラス材、鋳鋼部材内部にもコンクリートを打設する構造のため、コンクリート打設確認孔を圧縮側トラス材、引張側トラス材にそれぞれ1カ所づつ設けた。

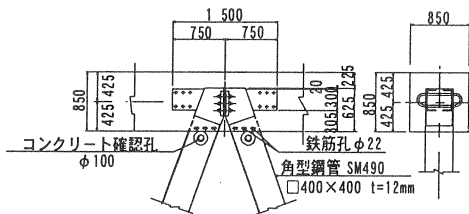


図-4 TYPE3 (鋳鋼格点構造)

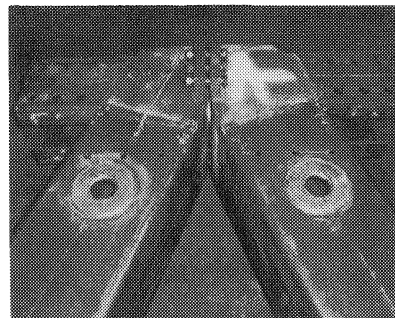


写真-3 鋳鋼格点構造

3. 施工性能試験

施工性能試験は、比較的施工が困難と考えられる下床版を想定して行った。試験体製作時の工程にそって各接合部における施工性の比較を以下に示す。

①トラス材のセット

本試験において、TYPE2とTYPE3は引張材と圧縮材を所定の角度で固定し搬入したが、TYPE1に関しては引張側と圧縮側の2部材に分けて搬入したため角度調整が必要となった。実際の現場を想定した場合、ボルト接

合であるTYPE2は角度調整の必要がないという利点はあるが、長さの微調整ができない欠点がある。一方TYPE1は工場での膨張性モルタル注入と現場での角度調整が必要となり、TYPE3は鋳鋼部材のボルトによって固定するため、現場での角度調整が必要となる。

②型枠組立

TYPE1は、突起を有しているため上床版施工、下床版施工ともに突起の型枠組立が別途必要になる。また、TYPE3は、トラス材内部にもコンクリート打ち込むこととしたため、上床版との接合部を施工する時にはトラス材内部に埋め殺し型枠が必要となる。

③鉄筋組立

TYPE1は突起の補強鉄筋、TYPE3は埋め込んだ鋳鋼部の補強鉄筋を組み立てる必要がある。一方TYPE2は補強鉄筋も不要で最も施工は容易であった。

④コンクリート打設

コンクリートの配合表を表-1、各接合構造の打設時間を表-2に示す。コンクリートは、ポンプ車を使用して打設した。図-5にコンクリート打設状況図を示し、以下に、打設性能をタイプ別に示す。

1) TYPE1は、ゲビンデ鋼棒や突起の鉄筋が配置されているにもかかわらず、打設時間が3タイプのうち最も短いという結果となった。これは、鋼材が多く配置されているものの、それぞれの間隔が十分確保できているためと考えられる。しかし、突起部の打設により、桁部にコンクリートが流出する現象が確認されたことから型枠や打設方法に工夫が必要である。

2) TYPE2は、プレートにコンクリート充填孔が設けられているため、プレート底部付近まで打ち上がった時点で充填孔よりコンクリートが噴き出ることが確認できた。また、打設開始時には、充填孔にバイブレーターを挿入できるため、プレートより下側のコンクリートを確実に締め固めることができ、鉄筋量も少ないためコンクリート打設作業は容易であった。しかし、トラス材端部付近のコンクリート天端均しに時間を要した。

3) TYPE3は、接合部補強鉄筋が密な配置になっていることと、トラス材内部の所定の高さまでコンクリートを打ち上げる必要があることなどから打設に時間を要した。補強鉄筋の数量・配置間隔の改善やトラス材の打設孔の設置などが今後の課題である。

⑤打設後の状況

TYPE2およびTYPE3の接合部付近に乾燥収縮によると考えられる微細なひび割れが数本みうけられた。これらは、耐久性には影響を及ぼす範囲ではないと考えられるが、補強鉄筋等による初期ひびわれ抑制対策が必要である。

表-1 コンクリート配合表

種別	W/C %	s/a %	単用量 (kg/m ³)			
			W	C	S	G
40-8-25	39.0	37.0	153	393	642	1110
早強セメント			密度 3.14 g/cm ³			
細骨材	鬼怒川産	川砂	粗粒率		2.80	
粗骨材	鬼怒川産	川砂利	実績率		63.0%	

表-2 コンクリート打設時間

	TYPE1	TYPE2	TYPE3
打設時間	32分	34分	37分
	待ち5分含む		

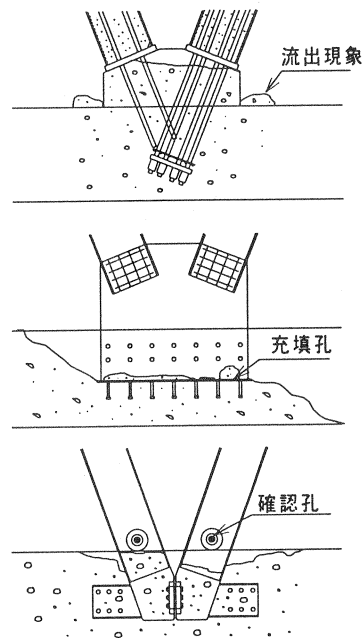


図-5 コンクリート打設状況図

4. 疲労試験

図-6に試験要領、写真-4に試験状況を示す。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。

疲労試験は、実橋に即した疲労荷重を設定して行う方法もあるが、本試験では試験体に活荷重相当の変動軸力($N_{max}=1126.0\text{KN} \sim N_{min}=551.7\text{KN}$)を与えて200万回の繰り返し載荷を行った。接合部のひずみや変形量を計測器により測定し、ひび割れ等に関しては目視により観察した。またTYPE1にはPC鋼棒の破断の有無を確認するため、トラス材に加速度計を取り付けた。

トラス材への荷重は、コンクリート桁に載荷能力100tf、変形量±200mmの能力を有する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。載荷荷重はトラス材に貼ったひずみゲージの値とあらかじめ実施した解析値とを比較し各TYPE毎に決定した。計測は、1日1回とし、静的計測を3サイクル行った。表-3に載荷時のコンクリート強度、表-4に各タイプにおける載荷荷重、繰り返し速度を示す。

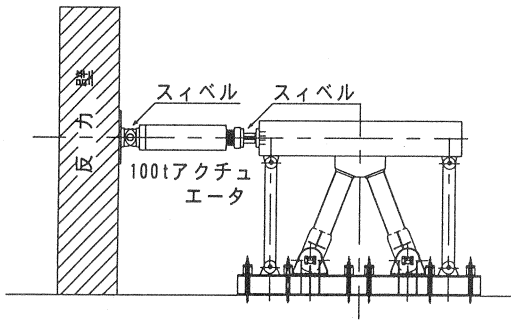


図-6 試験要領図

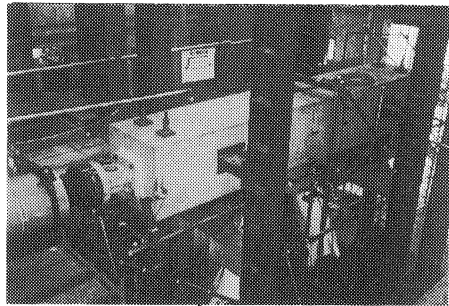


写真-4 試験状況

表-3 試験時の圧縮強度(N/mm²)

	載荷開始時	載荷終了時
TYPE1	41.7	46.7
TYPE2	39.8	42.6
TYPE3	43.1	44.3

表-4 載荷荷重および載荷速度

	載荷荷重 (KN)		繰り返し 載荷速度
	Max	Min	
TYPE1	888.9	433.2	1.3Hz
TYPE2	938.8	459.6	1.5Hz
TYPE3	837.9	410.6	1.0Hz

以下に、200万回繰り返し載荷による試験結果をタイプ別に示す。

①TYPE1

図-7にTYPE1のコンクリートのひずみとPC鋼棒のひずみの推移を示す。グラフは左図に示している箇所の最大荷重載荷時の値を示している。コンクリート上縁のひずみ、PC鋼棒のひずみともに疲労試験によるひずみの変動はなく、外観も健全であった。また、トラス材に取り付けた加速度計によってPC鋼棒が破断していないことを確認した。

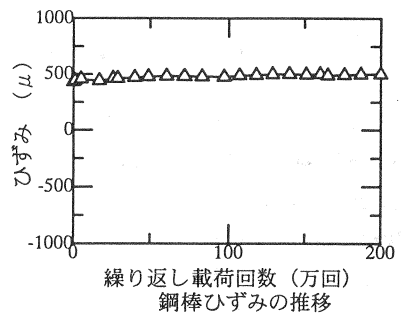
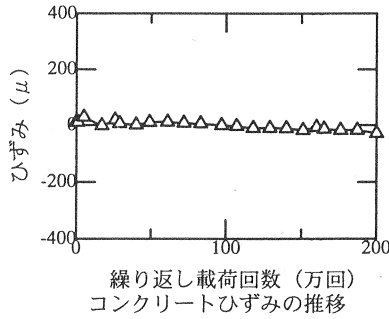
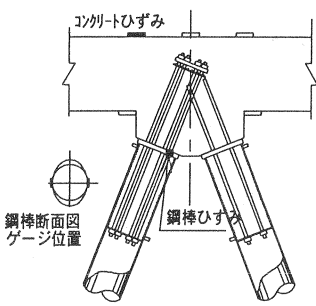


図-7 TYPE1 コンクリートひずみとPC鋼棒のひずみの推移

②TYPE2

図-8はTYPE2のコンクリートのひずみとガセットプレートの主応力の推移を示す。図-8より、繰返し荷回数増加によりコンクリート上縁の引張ひずみが増加する傾向がみられ、目視によっても0.04mm程度のひび割れを確認した。ガセットプレートの応力には変化がなく、目視によっても異常がないことを確認した。

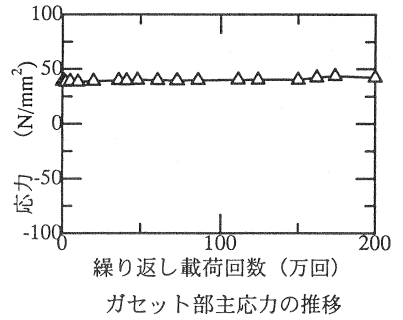
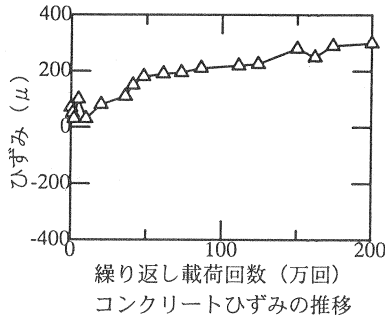
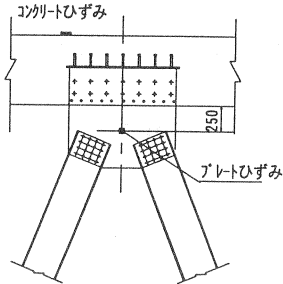


図-8 TYPE2 コンクリートひずみとガセットプレートの主応力の推移

③TYPE3

図-9はTYPE3のコンクリートのひずみと鑄鋼部のひずみの推移を示す。図-9より、繰返し荷回数増加によりコンクリートの引張ひずみが増加する傾向がみられ、目視によっても0.02mm程度のひび割れを確認することができた。鑄鋼のひずみは、繰返し荷荷による変化はみられなかった。

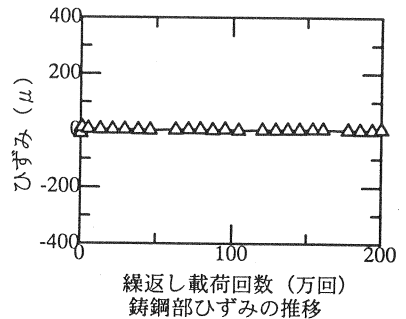
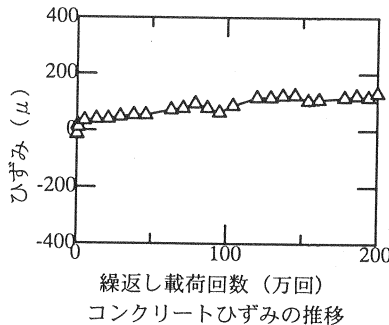
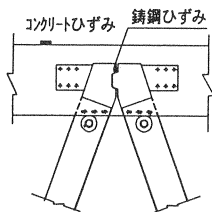


図-9 TYPE3 コンクリートひずみと鑄鋼部のひずみの推移

5. まとめ

複合トラスの接合部実物大試験の施工性能試験および疲労試験を行い検討した範囲で得られた知見を以下にまとめる。

(1) 本試験による3種類の接合タイプで、それぞれ鉄筋配置やコンクリートの打設方法等で改善すべき点はあるが、施工性能に大きな差はなかった。

(2) 疲労試験の結果、3種類の接合タイプともに、接合部のひずみについてはほとんど変化がなく、目視による観察においても問題となるような異常はみられなかった。

今後は、実験結果をもとに解析を行い設計手法を確立し、実橋の設計に反映させていく予定である。

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: 鋼・コンクリート複合トラス接合部の耐力確認試験; 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) 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
- 3) 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
- 4) 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