

## (18) 小田原ブルーウェイブリッジの斜材システムに関する曲げ疲労試験

日本道路公団 小野寺 勇  
 日本道路公団 木水 隆夫  
 住友建設(株) 正会員 ○春日 昭夫  
 鹿島建設(株) 正会員 山村 正人

### 1. はじめに

世界で初めて採用されたエクストラドーズドPC橋である小田原ブルーウェイブリッジは、斜張橋に比べて主塔高さがその半分となっており、主桁高さも通常の桁橋の半分に抑えられている。これによって桁橋と斜張橋の複合的な特性を有する構造系が可能となり、斜張橋と桁橋を補間する新しい構造として注目されている。

小田原ブルーウェイブリッジの大きな特徴は、国内のPC橋で初めて塔頂部にサドル構造を採用したことで、斜材を外ケーブルと見なしてその許容値を通常の桁内ケーブルと同様 $0.6f_{pu}$ に設定したことである。<sup>1)</sup> <sup>2)</sup>したがって、斜材の定着装置は外ケーブルシステムの取り替え可能なものを用いている。一方、外ケーブルが桁の外側に配置されたということで、防錆と振動に対する配慮は斜張橋と同レベルで要求される。防錆に対しては、架橋地点が海上であるため三重防錆を施し、振動に対しては、風によるものが卓越すると考えられたために、曲げ疲労試験を実施して安全性を保証する振幅量を決定した。そして、斜材の振動を抑えるために高減衰ゴムダンパーを設置している。

本文は、小田原ブルーウェイブリッジで実施した斜材システムの曲げ疲労試験に関して報告するものである。

### 2. 斜材システムの概要

図-1に斜材システム全体の詳細図を示す。斜材の定着工法はディビダークの $19\phi 15$ で、取り替え可能な外ケーブル用の定着具である。本橋の斜材は塔頂部でサドルを採用しているため、取り替え時に斜材が引き出せるように二重管構造となっており、斜材の左右の張力差を固定するサドル部定着装置を備えている。また、主桁内はウェブとの関係から斜材を曲げて配置している。これらのことから、斜材の自由長部だけでなく両端も含めた斜材システムとしての安全性を保証する必要がある。本橋では、サドル部定着装置の耐荷力試験を行って構造を選定し<sup>3)</sup>、その結果を受けて斜材システムとしての曲げ疲労試験を実施した。そして、許容振幅量を設定してこれを供用後の管理基準として用いる。さらに、斜材の風による振動を低減するために制振装置を設置することで、安全性を保証しようとするものである。

### 3. 斜材システムの曲げ疲労試験

#### 3.1 試験概要

小田原ブルーウェイブリッジは、主桁の剛性が斜張橋に比べて大きいこと斜材の活荷重による変動応力度はL荷重で $3.8\text{kgf/mm}^2$ 、疲労設計を行うと $1.4\text{kgf/mm}^2$ となり<sup>1) 2)</sup>、図-2に示すS-N曲線( $0.6f_{pu}$ )による許容値 $13\text{kgf/mm}^2$ よりかなり小さくなっている。したがって、斜材の軸疲労試験は今回は行わないこととした。一方、曲げ疲労試験については近年いくつかの

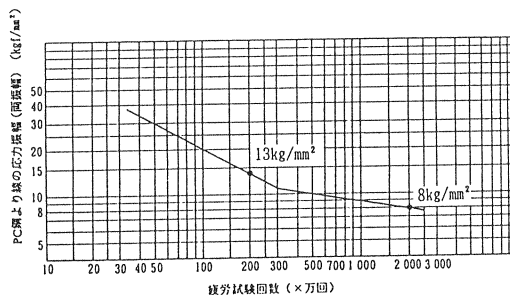
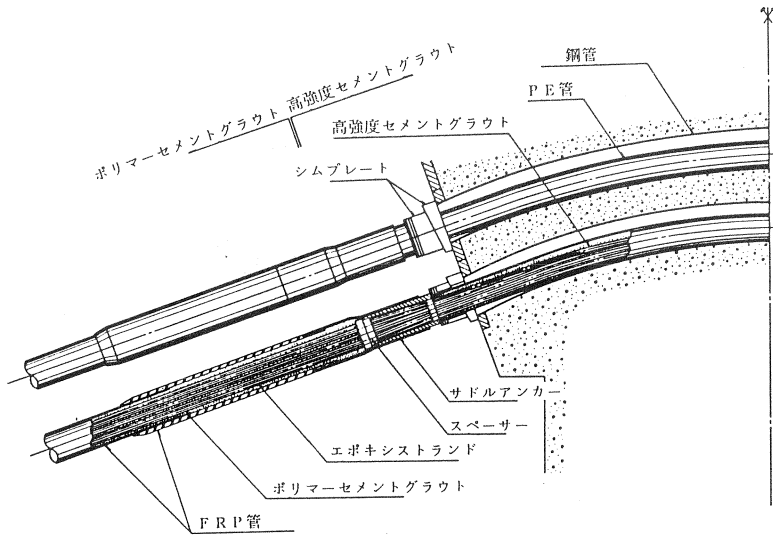
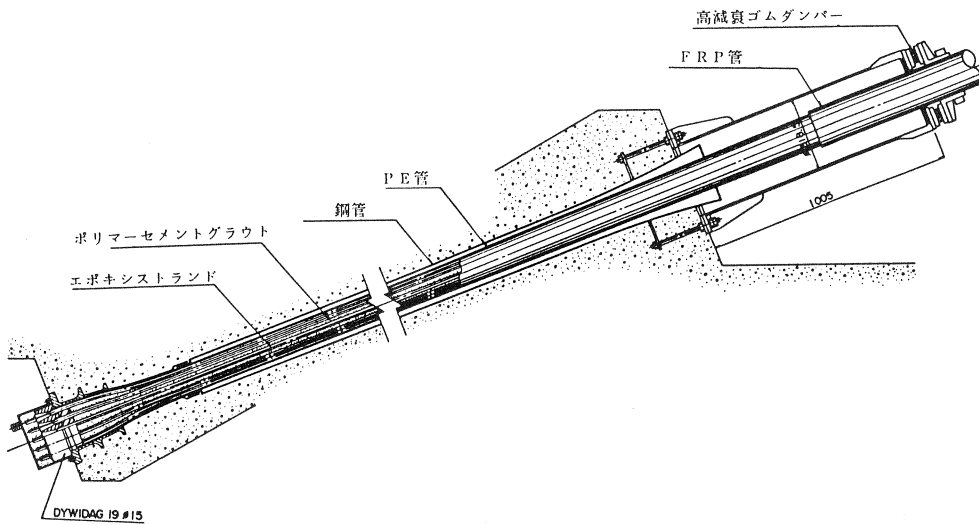


図-2 S-N曲線 ( $0.6f_{pu}$ )



(a) サドル側



(b) 主桁側

図-1 斜材システム詳細図

試験が行われているが<sup>5) 6)</sup>、安全性の判断ができるまでのデータの蓄積にはいたっていない。そこで、本橋では斜材の許容値に0.6 f puを用いたことと、斜材が曲がって配置されたり、構造的に重要な部分定着を行っていることなどから、主桁定着部からサドル部までを含んだ、システムとしての曲げ疲労試験を行う必要があった。今回の疲労試験は、活荷重により発生する斜材の2次曲げの影響が小さいことから、風による振動を対象としたものである。

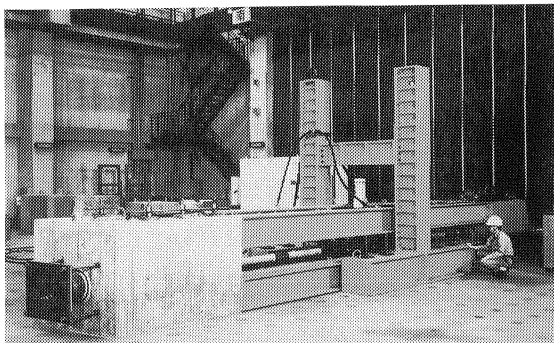


写真-1 曲げ疲労試験供試体

試験に用いる供試体(図-3、写真-1)は、全て実橋で使用される材料で製作し、サドル部の部分定着装置に荷重をかけた後にグラウトを行って、アクチュエータにより荷重を開始する。そして、規定の繰り返し回数終了後、素線の破断の有無を調査し、規準を満足していることを確認する。

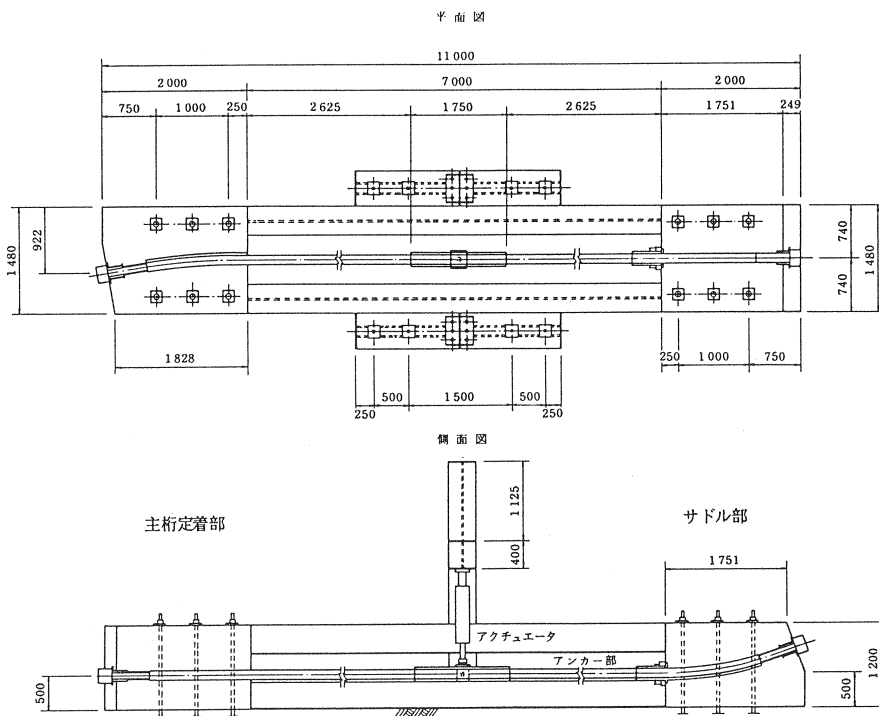


図-3 供試体構造図

### 3.2 試験条件

試験条件を表-1に示す。

表-1 試験条件

	斜材張力	斜材張力差	繰返し回数	斜材曲げ角度	荷重振動数
設定値	0.6 f pu (277tf)	15tf	200万回	±0.18° を目安とする	1 ~ 2 Hz

本試験で採用する斜材張力は、許容値である $0.6 f_{pu}$ を最大値とし、試験において曲げ変形を与える部分の張力は $277tf - 15tf$  ( $0.57 f_{pu}$ ) となる。この $15tf$ は、斜材緊張後クリープ・乾燥収縮によって減少する張力で、主桁側を模擬した定着装置でディテンションを行うことにより、サドル部定着装置に力を導入する。また、設定した斜材の曲げ角度 $\pm 0.18^\circ$ は、制振装置を設置した斜材の既往の事例<sup>9)</sup>に対して4倍程度大きい値であるが、最上段の斜材の両振幅で $1.0D$  ( $D$ は保護管の直径)弱になる。曲げ角度に対しては疲労試験の前に行う静的載荷試験でストランドの応力を測定しながら、 $S-N$ 曲線を越えない曲げ角度を設定した後、疲労試験に移行するものとする。

### 3.3 試験結果

図-4は斜材変位を、図-5、図-6はストランド応力度を示す。斜材変位より求めた斜材曲げ角度は $\pm 0.17 \sim 0.19^\circ$ で、繰り返し回数による変化は認められなかった。また、ストランド応力度は $\pm 5 \sim 6 \text{ kgf/mm}^2$ で200万回終了時までほぼ同一であり、サドル部定着装置も健全であった。そして、定着具に取り付けた加速度計でも、ストランドの破断を検知していない。そこで、斜材を解体し主桁側出口部、つかみ治具付近、主塔側出口部のストランドを取り出し引張り試験を行った結果、全て規格引張荷重(240KN)以上の強度を有しており、疲労による強度低下は認められなかった(表-2)。したがって、本試験により与えられた条件における斜材システムの曲げ疲労に対する安全性が確認された。

表-2 ストランド引張試験

No.	主桁側	自由長部	主塔側	未使用
1	257	260	261	259
2	259	260	261	260
3	261	260	261	260
4	260	260	258	
5	261	260	260	
6	262	261	261	
7	260	260	259	
8	260	260	260	
9	260	260	260	
10	261	260	260	
11	261	259	261	
12	261	259	260	
13	261	260	260	
14	261	260	260	
15	261	260	260	
16	261	262	261	
17	261	261	260	
18	261	260	260	
19	261	261	260	
平均	261	260	260	260
偏差	0.76	0.69	1.07	0.58

## 4. 考察

### 4.1 ストランド応力度

Wyattの2次曲げ応力算定式<sup>9)</sup>によれば、 $0.18^\circ$ 変形した時の鋼材応力度はグラウトを無視した場合、主桁側で $11.1 \text{ kgf/mm}^2$ 、サドル側で $8.3 \text{ kgf/mm}^2$ となる。両者の違いは斜材の曲がる方向が $90^\circ$ 異なるためである。しかしながら、実測値は $\pm 5 \sim 6 \text{ kgf/mm}^2$ とかなり小さな値となっている。そこで、グラウトを考慮した換算断面で計算すると、 $7.2 \text{ kgf/mm}^2$ と $5.8 \text{ kgf/mm}^2$ となる。今回使用したグラウトは、サドル部が高強度セメントグラウト(引張強度が $40 \text{ kgf/cm}^2$ )、それ以外の部分がポリマーセメントグラウト<sup>3)</sup>(伸び $1000 \mu$ )となっており、 $0.18^\circ$ の変形ではグラウトにひび割れが発生しない。このことは、解体時にも確認しており、ひび割れにくいセメントグラウトは斜材システムの疲労強度を高めることができることを示しているといえる。

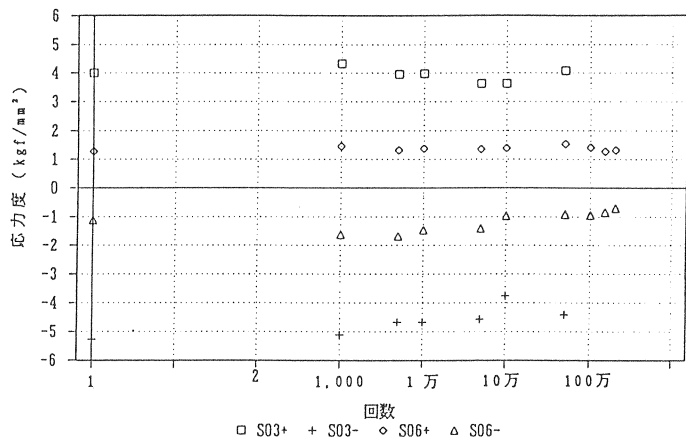


図-6 ストランド応力度 (S03, S06)

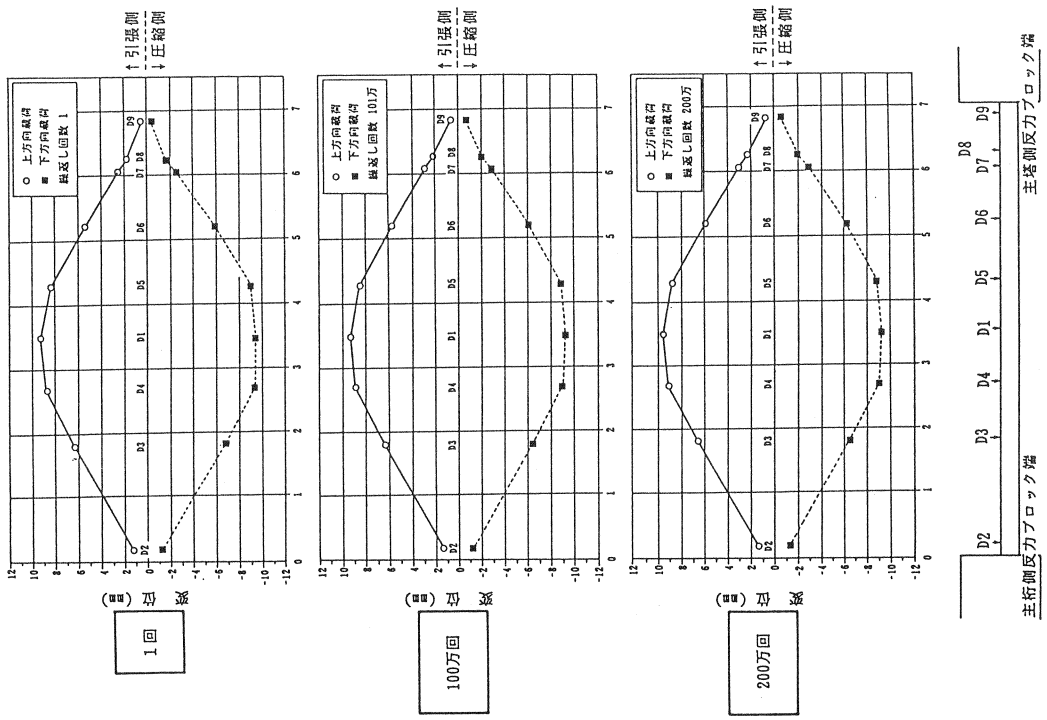


図-4 斜材変位

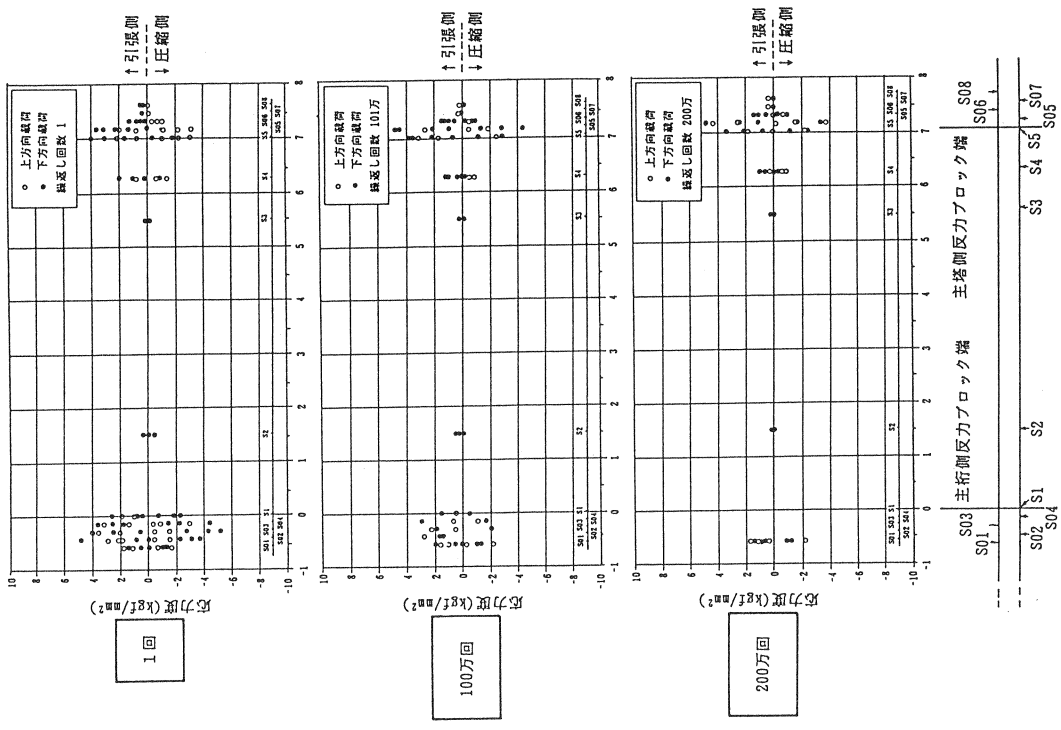


図-5 ストランド応力度

#### 4.2 管理基準値の設定

本試験では、200万回における斜材システムの疲労強度が $10\sim 12\text{kgf/mm}^2$ であることが確認できた。しかしながら、仮に3Hzで振動するケーブルが揺れ続けたとすると8日間程度で200万回に達する。よって風による振動を考える場合は、2000万回までを考慮に入れて許容振幅量を設定するのが適当であると思われた。図-2によれば2000万回の疲労強度は $8\text{kgf/mm}^2$ である。一方、CEB-FIPコード<sup>9)</sup>によれば $10^8$ 回における疲労強度は $7.7\text{kgf/mm}^2$ となる。したがって $8\text{kgf/mm}^2$ を2000万回の疲労強度と考え、ストランドの応力度と曲げ角度が線形関係にあることから、8段ある斜材の許容振幅量を $\pm 29.3\text{mm}\sim \pm 13.9\text{mm}$ に設定し、供用後の管理基準とした。

#### 5. あとがき

サドル部までも含んだ斜材システムとしての曲げ疲労試験を実施することにより、Wyattの式でストランドの応力度が計算可能なことと、S-N曲線を用いて疲労強度を決定することの妥当性が検証できたといえる。本研究が今後更なる斜材システムの開発の一助となれば幸いである。

#### 参考文献

- 1) 城野, 多久和, 春日, 岡本: 「エクストラードPC橋の計画と設計」, 橋梁と基礎, PP. 11~17, 1992年12月
- 2) 小野寺, 今泉, 春日, 岡本: 「エクストラードPC橋の計画と設計(西湘バイパス小田原港橋)」, プレストレストコンクリート, Vol. 35, PP. 49~58, 1993年5月
- 3) 木水, 松井, 春日: 「小田原港橋におけるサドル構造に関する研究」, プレストレストコンクリート, Vol. 36, PP. 7~15, 1994年9月
- 4) 「プレストレストコンクリート部材の設計法に関する調査研究報告書(その2)」 高速道路調査会, 昭和60年3月
- 5) 岸本, 竹之内: 「橋梁用ロープの曲げ疲労試験」, 本四技報, Vol. 4, No. 11, PP. 8~15, 1980年
- 6) 建設機械化研究所: 「橋梁用ロープの曲げ疲労試験」, 建設機械化研究所報告, 第16号, 1980年
- 7) 「東名高速道路(改築)PC斜張橋施工検討委託(その3)」, (財)高速道路技術センター, 平成2年3月
- 8) T. A. Wyatt: 「Secondary Stress in Parallel Wire Suspension Cable」, ASCE, ST7, PP. 37~59, 1960
- 9) 「CEB-FIP Model Code 1990」, 1990