

論文・報告

複合斜張橋・生口橋の斜ケーブル定着部の設計

Design of Stay Cable Anchorages of Hybrid Cable-Stayed Girder Bridge

松井 邦夫*
Kunio MATSUI

梶川 靖治**
Yasuharu KAJIKAWA

森谷 久吉***
Hisayoshi MORIYA

岩崎 祐次****
Yuhji IWASAKI

新井 伸博*****
Nobuhiro ARAI

木本 輝幸*****
Teruyuki KIMOTO

IKUCHI-BRIDGE is a hybrid cable-stayed girder bridge which is now under construction in ONOMICHI-IMABARI route of the HONSHU-SHIKOKU Bridge Project. The main girder is a steel-concrete mixed structure which is consisted of a steel girder for a center span with 490 meter long and prestressed concrete(PC) girders for both side spans. The stay cables made of prefabricated parallel wire strand are anchored to the steel girder by using a cast-steel pipe or to the PC girders with a bearing steel plate and a thin-wall steel pipe.

For the anchorages in PC girders, the load carrying capacity and crack behaviors were examined by static loading tests on six model specimens. Moreover, the fatigue test was conducted on a model anchorage for the steel girder. The outline of these experimental studies are reported herein.

Keyword : anchorage, stay cable, hybrid cable-stayed bridge, steel-concrete mixed structure

1. まえがき

生口橋は、本州四国連絡橋の尾道—今治ルートに架けられるわが国初の本格的複合斜張橋である。図-1に示すように、その主桁は中央径間が鋼箱桁、両側径間がプレストレストコンクリート(PC)箱桁という混合構造形式となっている。中央径間長490 mは完成時点で世界最大の斜張橋となる。

斜張ケーブル(以下、「斜ケーブル」という)の形状は、ファン形式14段マルチケーブル2面吊りであり、ケーブルにはパラレルワイヤストランド(重鉛メッキ鋼線、素線径 ϕ 7 mm)の表面をポリエチレン加工したノングラウトタイプのものが用いられ、中央径間側ではHiAmアンカー、側径間側ではNSソケットにより定着される。

この斜ケーブル定着構造の設計に際し、PC桁側および鋼桁側それぞれについて、解析的かつ実験的に種々検討を加えたので、それらの概要を以下に報告する。

2. PC桁ケーブル定着部

(1) 概要

側径間PC桁の斜ケーブル定着部は、いわゆるベアリング・プレート・タイプ(支圧板形式)と呼ばれるもので、写真-1に示すように、主桁幅員端部の逆台形状の定着ブ

ック(定着突起)中にダクト(貫通孔)を設け、その下端に支圧板(極厚鋼板)を埋め込んだ構造となっている。ダクトを貫通した斜ケーブルのソケットは座金を介して支圧板に定着され、最終的に斜ケーブル張力は定着部コンクリートに支圧応力として分散・伝達される。なお、定着ブロック内にはダクト形成用の薄肉鋼管(ケーシング・パイプ、以下単に「パイプ」という)が埋め込まれ、これにはコンクリート打設時の型枠としてだけでなく、斜ケーブルの角折れ緩衝材および防水装置の設置上からも、孔内補強を兼ねてある程度の剛性を有するものが必要とされる。

ところで、本橋では斜ケーブル張力が大きい(最大設計張力593 t)ことからダクト直径が最大約40 cmにもなること、また、定着ブロック内は斜ケーブルと横締めPC鋼材が交差し各種補強筋が入り組み極めて複雑な配筋状態となることなどから、以下のような問題点が考えられた。

- ① 割裂応力算定式の妥当性：一般に支圧板背面の補強設計ではメルシュにより提案された割裂力の近似算定式¹⁾が利用されているが、本橋のように断面欠損が大きい場合にも適用できるか疑問である。
- ② グリッド筋による補強効果：支圧板の背面補強は、一般にはスパイラル筋が使用されることが多いが、本橋では施工性向上のためにグリッド筋とした。しかし、これまで大きな荷重の作用する定着部に

*川田建設(株)東京支店工事部次長 **川田建設(株)工事本部開発部次長 ***川田建設(株)工事本部技術部技術二課課長
****川田工業(株)技術本部技術部設計一課課長 *****川田建設(株)大阪支店工事部工務課 *****川田建設(株)技術本部技術部設計一課

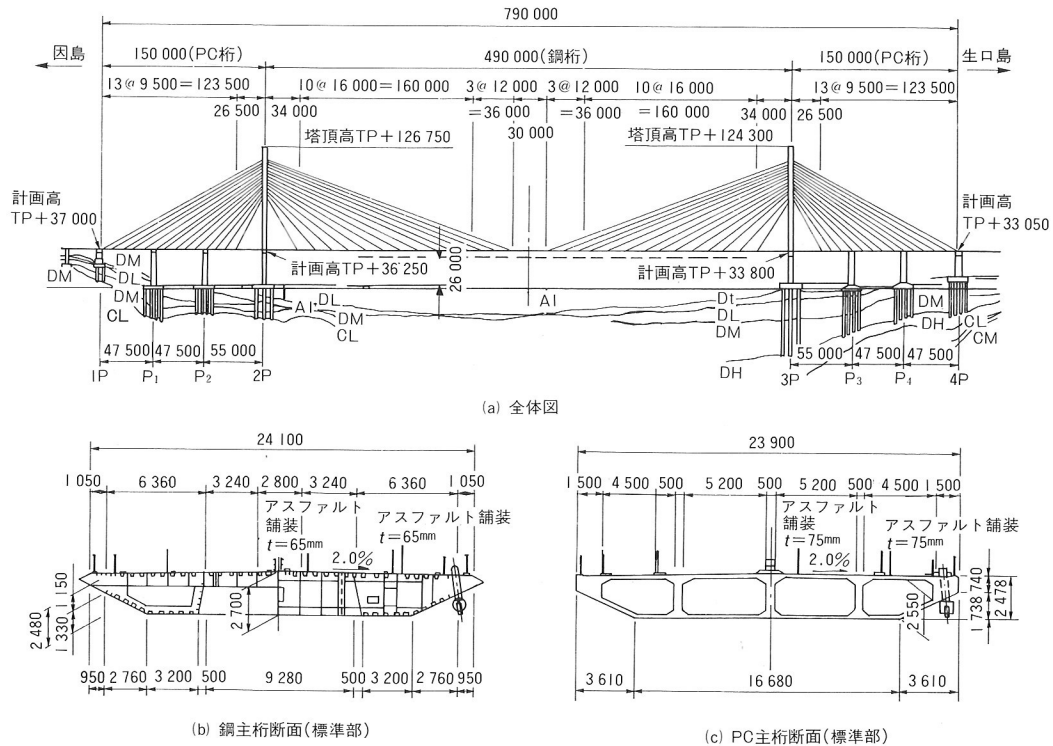


図-1 生口橋一般図

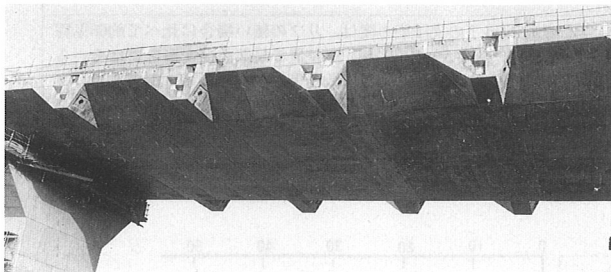


写真-1 PC桁斜ケーブル定着部外観

についてグリッド形式とした例が少なく、その耐荷性能(耐荷力およびひび割れ性状など)が明らかでない。

- ③ パイプに取り付けたリブの効果：支圧板背面の支圧・割裂応力のより一層の分散を図るため、支圧板とパイプとを溶接一体化し、さらにパイプ根元外周にリブを取り付けることを検討する。過去、リブ付きパイプをスパイラル筋で補強した実験においてリブによる荷重分散効果を確認した例²⁾はあるが、グリッド筋と組み合わせた実験例は皆無のようである。
- ④ 定着部のひびわれ性状：定着部補強の際に想定するひびわれ幅の値としてどの程度見込めばよいか明確ではない。

そこで、①と③については、定着部近傍に着目した3次元有限要素法(FEM)により、また、②～④については模型定着体についての静的載荷試験により、それぞれ解析ならびに実験的に検討を加えることにした。

本章では、これらの検討内容および最終設計成果の概要について述べる。

(2) 3次元有限要素解析による検討

a) 解析目的と解析方法

本解析の主たる目的は、中実体に対し誘導された割裂力算定式についてダクトによる断面欠損がある場合への適用の妥当性を判定すること、およびリブによる支圧・割裂応力の分散効果を調べることである。

表-1に示す解析ケースについて、3次元FEMによる弾性数値解析を行うものとし、対象とする定着ブロックを図-2(a)のような軸対称円柱体としてモデル化し、図(b)の軸対称体要素(リング要素)を用いて図(c)のように要素分割した。基本的には四角形断面のリング要素の組み合わせであるが、鋼(支圧板とパイプ)とコンクリートとの接触面はダブル接点としてGAP(ギャップ)要素を配置し、鋼・コンクリート間の荷重伝達あるいは離間を再現することにした。なお、GAP要素とは2節点からなる体積のない要素であり、2節点間が開く方向に変位するときは自由に離間が生じ、逆に閉じる方向の時は軸方向の剛性を持ち荷重伝達の役目を果たす。

鋼およびコンクリートは弾性的に挙動するものとし、鋼・コンクリート間の付着あるいは摩擦は無視した。また、コンクリートはひびわれないものとし、鉄筋の影響も考慮していない。

b) 解析結果とその考察

全ケースについての結果の要約を表-1に示す。

通常、割裂に対する補強は局所的な「応力」ではなく断面内に分布する応力を積分した「力」で評価して設計するが、ここでも「割裂力」に着目し、その鉛直方向分

表-1 解析内容と解析結果の概要

Case	モデル	形状・寸法	解析内容	解析結果
1	中実円柱	 $D=1200, d=800$ $D/d=1.5$ 支圧板無し	Hiltscherらによる割裂応力度に着目した数値解析結果 ³⁾ と比較するためのモデルであり支圧板を介さず直接コンクリート表面に載荷する。	割裂応力度分布が鉛直方向、半径方向ともHiltscherらによる数値解析結果と一致をみたことから、本解析方法の妥当性が検証された。
1'	中実円柱	$D=1200, d=800$ $D/d=1.5$ 支圧板有り	Case 1において、支圧板を介しての載荷の影響を調べる。	支圧板を介して荷重を作用させると、支圧板の無い場合に比べ、分布形状はほとんど変わらないが、割裂応力度のピーク値が若干小さくなる。
2	中実円柱	 $D=2000, d=800$ $D/d=2.5$	既往の割裂応力の評価式はほとんどすべてこのような中実体について誘導されており、以降の比較の基準となる基本モデルである。	割裂応力の分布形状は、Hiltscherらが得ている傾向と一致する。 割裂力の作用荷重に対する比は約15%であり、メルシュの提案値とほぼ一致する。
3	有孔円柱	 $D=2000, d=800$ $D/d=2.5$ パイプ欠損考慮 ($\phi=400$)	パイプ挿入のために設けた円孔の断面欠損による応力・変形状の変化を調べる。	円孔により荷重免責が減少するため、支圧板直下の支圧応力度の値は中実体に比べ大きくなるが、その影響範囲はほぼ載荷半径分位の深さである。割裂応力度は、中実体に比べピーク値で1.3倍位大きくなり、深さ方向にも若干大きめの分布形状となる。割裂力Zは作用荷重の約15%であり、有孔円柱に対してもメルシュの算定式が適用できるようなのである。
4	パイプ挿入	 $D=2000, d=800$ $D/d=2.5$ パイプ欠損考慮 ($\phi=400$) パイプ考慮 ($t=14$)	パイプを円孔内に挿入し、パイプの外周面に付着力および摩擦力が作用しないと仮定したときのパイプによる円孔内面の補強効果を調べる。	局所的な点を除いて、全体的な応力・変形状はパイプ無しの場合とほぼ完全に一致しており、また、パイプにはほとんど応力が発生していないことから、パイプによる円孔の補強効果はほとんど無いものと考えられる。 特に、変形状ではパイプとコンクリートとの接触面に離間がみられる。
4'	周辺プレストレス導入		パイプを挿入し、かつコンクリートブロック外周面から一様な外圧を作用させ、周辺プレストレスによる影響を調べる。	プレストレスの効果により割裂応力度はすべて圧縮側となり、引張応力度の発生はみられない。プレストレスの支圧応力分布に及ぼす影響はほとんど無い。
5	リブ付きパイプ挿入	 $D=2000, d=800$ $D/d=2.5$ パイプ欠損考慮 ($\phi=400$) リブ付きパイプ考慮 ($t=14$)	パイプ外周面の支圧板近傍にリブを設け、リブによる支圧応力度の分散効果を調べる。	支圧板直下の支圧応力度は、リブの無い場合に比べて約60%程度に減少した、パイプがリブ位置で局部曲げ変形を受けていることなどからリブによる荷重分散効果が明瞭である。割裂力はリブ無しに比べピーク値が若干小さくなるとともに、断面全体に作用する総割裂力もリブ無しに比べわずかに小さくなる傾向がみられる。リブ付きの場合も $Z/P \approx 15\%$ である。

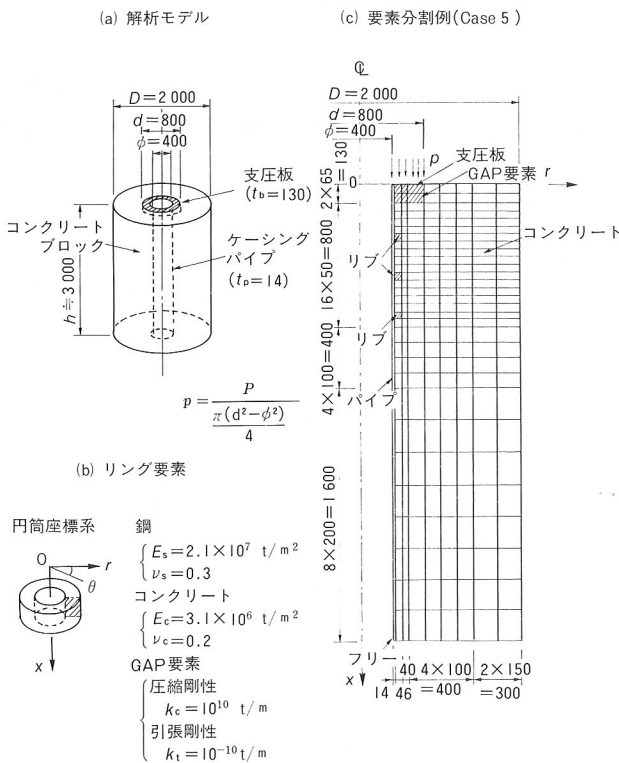


図-2 解析モデルと要素分割例

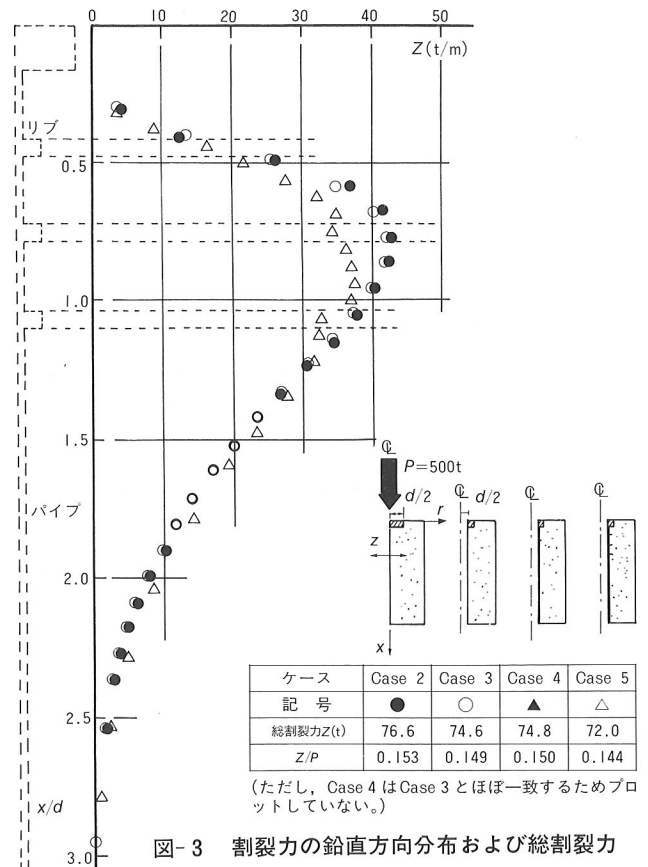


図-3 割裂力の鉛直方向分布および総割裂力

布を図-3に示す。なお、横軸は単位深さ当たりの割裂力であり、全積分値(Z)を図中の表に示す。この図において、Case 2 (中実), 3 (有孔)および4 (パイプ挿入)の分布性状を比較すると、3者間にはほとんど差の無いことがわかる。また、図中の表より明らかに、断面に作用する総割裂力は全ケースについて大差が無く、総割裂力 Z と作用荷重 P との比についても約15%前後であり、これはシャイペに対する2次元解析あるいは四角柱に対する3次元解析の結果¹⁾ともほぼ一致するものである。さらに、メルシュが提案した割裂力に対する近似算定式¹⁾

$$Z \approx 0.25P(1 - a/d')$$

ここに、 a : 載荷幅、 d' : 部材幅

において $a=d$ (載荷面の直径)、 $d'=D$ (円柱体直径)として $a/d'=d/D=800/2\,000=0.4$ を代入した値とも一致するものであり、断面欠損のあるCase 3~5についても近似算定式が適用できるようである。また、リブ付きのCase 5に対する Z は他のケースと比べ若干小さくなっているもののほぼ同等であることから、リブが割裂力の低減にはあまり効果がないものと判断される。

c) 解析結果の総括

以上の解析結果より、以下のことがいえる。

- ① 割裂力の算定に対し、ダクトによる断面欠損がある場合でもメルシュの近似式が適用できる。
- ② リブは支圧応力度の低減には有効であるが、割裂力の低減にはあまり効果がない。

(3) 静的載荷試験による検討

a) 実験目的と供試体

本実験の主たる目的は次のとおりである。

- ① スパイラル筋とグリッド筋との耐荷機構あるいは耐荷性能の相違を明らかにする。
- ② パイプに取り付けたリブによる支圧・割裂力の分散効果および耐荷性能に及ぼす影響を確認する。
- ③ スパイラル筋とグリッド筋ならびにリブの有無によるひびわれ性状の相違を確認する。

実験対象は試験装置等との関係から定着部近傍に着目した縮尺率約1/3の角柱体とし、その供試体の形状・寸法を図-4に示す。供試体は、表-2のように各種類1体ずつ計6体である。これらは割裂補強筋の種類・量と配置およびパイプのリブの有無の違いだけで、形状・寸法などは全く同一である。

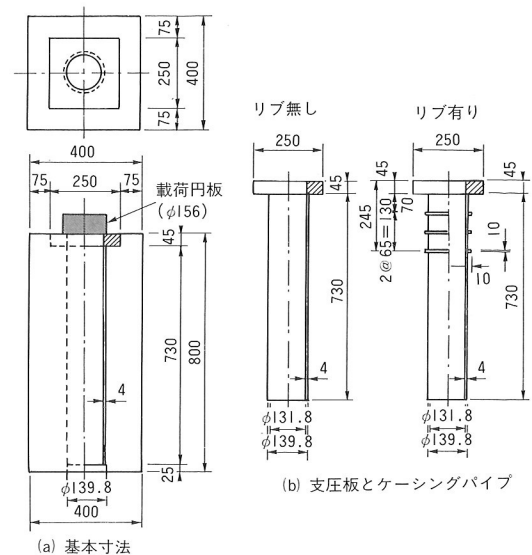


図-4 供試体の形状・寸法

表-2 供試体の種類

記号	S	SR	G ₁	G ₂	G ₂ R	G ₂ 'R
特徴	割裂補強の一般的な形式であり、本実験シリーズでの比較の基準とする。	スパイラル筋について、リブの耐荷性能に及ぼす効果を確認する。	グリッド筋を支圧板直下に密に配置したものである。	割裂応力が生じる範囲をカバーするようにグリッド筋を配置した実橋で採用予定の配筋である。	G ₂ について、リブの耐荷性能に及ぼす効果を確認する。	G ₂ Rのグリッド筋量を約2.3倍とし、補強筋量の増加が耐荷性能に及ぼす効果を確認する。
補強筋	形式	スパイラル筋 D6×9巻	グリッド筋 D6×18本、3段配置	グリッド筋 D6×18本、4段配置	グリッド筋 D6×18本、4段配置	グリッド筋 D10×18本、4段配置
	断面積	5.70 cm ²				12.84 cm ²
	総延長	9.1 m		13.7 m		
リブ	無し	有り	無し	無し	有り	有り
形状・寸法						
最大荷重(t)	247.5	275.0	282.5	276.0	276.9	325.7

b) 載荷方法

載荷試験は大阪工業大学構造実験センターで行い、支圧板を上にして供試体を載荷台上にセットし、500 t 油圧ジャッキにより上から圧縮荷重を加えた。供試体に対し想定したケーブル引張破断荷重 P_u および設計荷重 P_a は、それぞれ165 t および66 t であった。

なお、試験時材齢におけるコンクリートの材料試験結果の平均値は、圧縮強度 $=382 \text{ kgf/cm}^2$ 、引張強度 $=29 \text{ kgf/cm}^2$ および弾性係数 $=2.99 \times 10^5 \text{ kgf/cm}^2$ であった。

c) 実験結果とその考察

① コンクリートのひびわれ

コンクリート側面において測定した最大ひびわれ幅と荷重との関係を図-5に示す。設計荷重($P_a=66 \text{ t}$)以下では補強筋あるいはリブの有無による相違は明らかでない。また、 P_u 相当の165 t においてさえも最大ひびわれ幅は高々0.16 mm程度であり、一般のRC部材に対する許容値の0.2 mmをかなり下回っていた。

② 補強筋のひずみ

割裂引張力により補強筋に生じるひずみの試験体毎の平均値を荷重に対しプロットしたものが図-6である。可視ひびわれのない70 t 付近までは、全供試体はほぼ同じ荷重—ひずみ関係となっていることから、各供試体に作用する弾性範囲内の全割裂力は、補強筋形式、リブの有無あるいは鉄筋量に関わらず一定であることがわかり、前節のFEM解析結果とも一致するものである。

③ パイプの相対ずれ

パイプ下端における相対ずれの荷重に対する変化を図-7に示す。S(○印)とSR(●印)では同一荷重に対し常にSRの方が小さくリブの効果が顕著であり、最終的に耐荷力 $P_{\max}$ も約10%程度大きくなっている。これに対し、 G_2 (□印)と G_2R (■印)とでは最大荷重に近づくにつれて徐々に両者の差が縮まり、最大荷重では G_1 も含めてほぼ同じ値となってしまう。これらのことから、スパイラル筋とグリッド筋とではリブの効果を含めた耐荷力機構の異なることが予想される。

④ 耐荷力

表-2の最下段に各供試体の最大荷重を示す。Sと G_1 とでは G_1 の方が約14%大きく、また、S、SRと G_2 、 G_2R とを比べると、いずれもグリッド筋による方が大きい。これは主として両者における補強鉄筋量の違いによると考えられ、供試体の鉛直断面を横切る鉄筋の断面積は同表中に示すように等しいが、使用したグリッド筋の総延長はスパイラル筋の約1.5倍であった。

d) 実験結果の総括

静的載荷試験結果より、次のようなことが言える。

① スパイラル筋とグリッド筋との間には、応力・変形

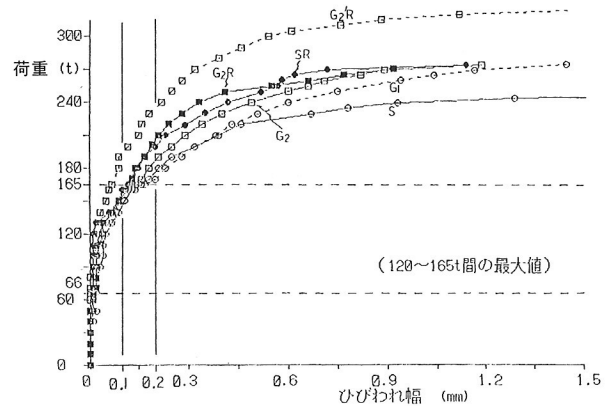


図-5 荷重—最大ひびわれ幅曲線

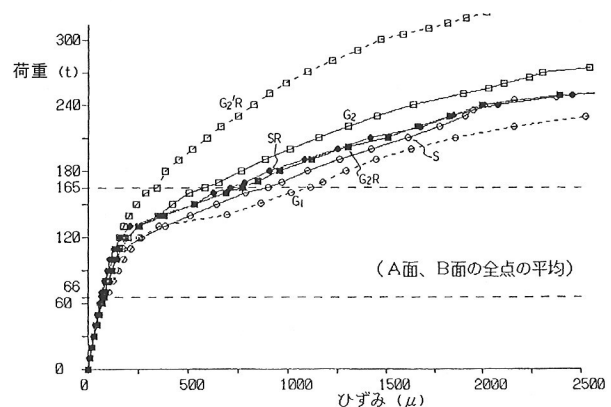


図-6 補強筋の荷重—ひずみ曲線

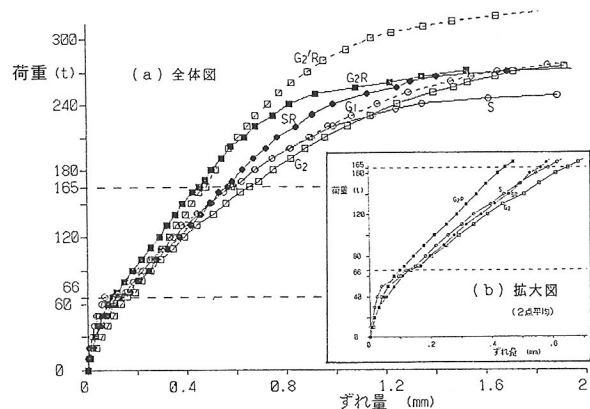


図-7 パイプの荷重—相対ずれ曲線

性状あるいはひびわれ性状などについて明確な差異はみられなかった。ただし、耐荷力的にはグリッド筋の方が若干大きかった。

② リブの効果については、スパイラル筋の場合にはひびわれ幅および耐荷力の点でその有効性が認められたが、グリッド筋の場合には顕著な効果はみられなかった。

(4) ケーブル定着部の設計

本橋の斜ケーブル定着部は、2.(2)および2.(3)節の検討結果をもとに、以下の基本方針に従って許容応力度

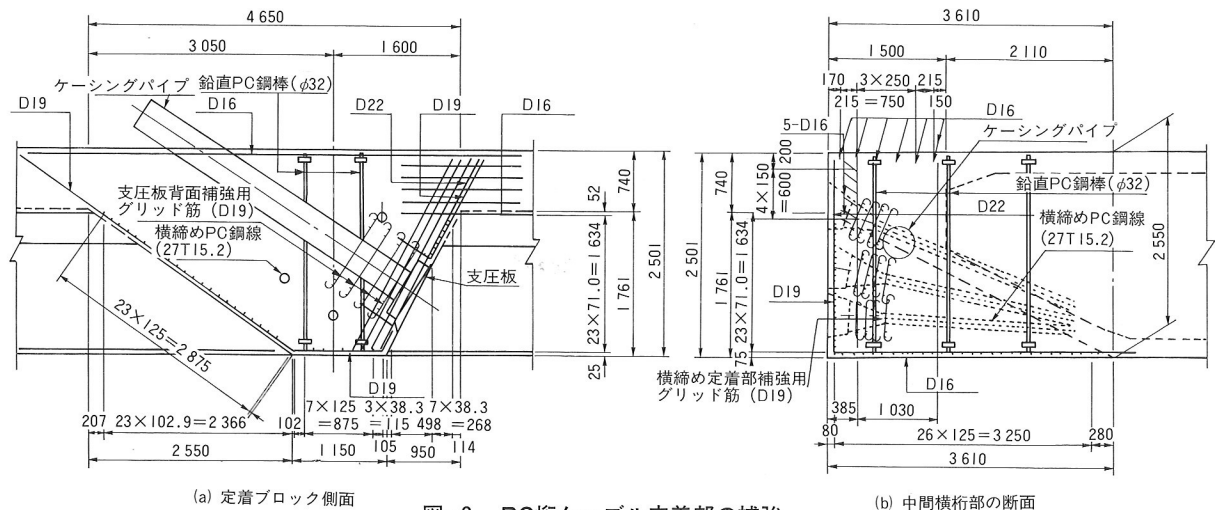


図-8 PC桁ケーブル定着部の補強

設計法により鉄筋コンクリート部材として設計した。

- ① より一層の安全性のために、鉛直方向プレストレスを導入する。
 - ② 支圧板の背面補強筋はグリッド形式とする。
 - ③ パイプにはリブを取り付けない。
- 最終的な補強配筋図を図-8に示す。

3. 鋼桁ケーブル定着部

(1) 概要

中央径間鋼桁の斜ケーブル定着部は、いわゆるパイプ形式(腹板中心鋼管定着形式)と呼ばれるもので、図-9に示すように箱桁の外側腹板部にパイプを割り込ませた構造となっている。パイプには溶接構造用遠心力鋳鋼管を用い、同図中に示すように腹板との溶接部には高さ30mmのヒレ(突起)を設けている。パイプを貫通した斜ケーブルのソケットは座金を介してパイプ下端に溶接された円錐台状のフランジに定着され、最終的に斜ケーブル張力はパイプから腹板、斜フランジ、鋼床版に伝達される。

本定着構造の外見は非常にシンプルであるが、箱桁内のパイプ周辺では数多くの部材が交錯し、特に製作時には複雑かつ狭い箇所での溶接作業が要求された。そこで、実際の製作性および溶接性を予め確認するために、

定着部周辺についてモデル試験体を製作することにし、さらに、これを供試体として疲労試験を実施することにより、ケーブル張力の変動による疲労性状を把握することにした。

本章では、斜ケーブル定着部の設計および疲労試験の概要について述べる。

(2) 定着部の設計

鋼桁ケーブル定着部の設計において考慮した主な基本事項は以下のとおりである。

- ① 定着部の設計は、原則として全体構造解析における主桁作用による応力とケーブル張力による局部応力とを重ね合わせた応力度によった。
- ② 定着部としての設計範囲は、3次元有限要素解析による局部応力の影響範囲の算定結果より、定着横桁を中心とする12mとした。
- ③ ケーブルの設計張力は、その全強(許容引張応力度×断面積)とした。
- ④ ケーブル張力は水平成分と鉛直成分とに分解し、それぞれの伝達機構を以下のように考えた。

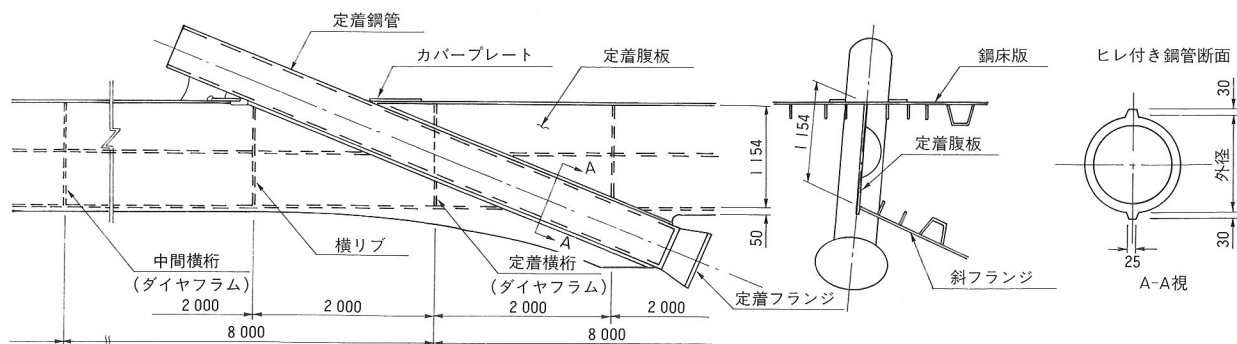
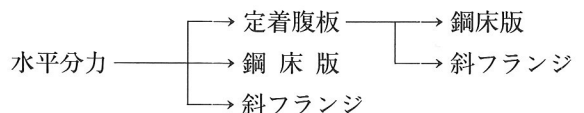


図-9 鋼桁斜ケーブル定着部

鉛直分力 → 定着腹板 → 定着横桁
→ 中間横桁

- ⑤ 水平分力の分布は、有限要素解析結果より、定着腹板については、鋼管中心線に沿った三角形分布を仮定し、また、鋼床版および斜フランジについては、それぞれ定着鋼管中心より45°方向に分布すると考え、有効断面積を算定した。
- ⑥ 鉛直分力に対する定着腹板、定着横桁および中間横桁の各分担率は、格子桁モデルによる解析結果よりそれぞれ40%、60%、25%とした。
- ⑦ 定着鋼管まわりの応力集中に対しては、応力計算時に、有限要素解析により求めた応力集中係数を考慮した。

上記①～⑦の方針に基づいた定着部の補強要領を表-3に示す。

表-3 定着部の補強要領

部 位	補強方法	部材寸法
鋼 床 版	パイプ欠損部をカバープレートで補強	カバープレート厚 $t=12\text{ mm}$
定 着 腹 板	増厚	$t=25\text{ mm}$
斜フランジ	増厚	$t=12\sim16\text{ mm}$
定 着 横 桁	増厚	$t=14\sim16\text{ mm}$

(3) 定着部の疲労試験

a) 実験目的と供試体

本実験の主たる目的は次のとおりである。

- ① パイプ近傍の応力集中や溶接拘束応力の影響を加味した溶接継手の疲労強度を確認する。
- ② 縦リブのダイヤフラムとの貫通部におけるスカラップ部分の応力集中現象が溶接継手の疲労強度に与える影響を確認する。

実験対象は中央径間のほぼ中段に位置する斜ケーブル定着部とし、モデルの大きさは試験装置の制約から縮尺率を64.5%とした。供試体の形状・寸法を図-10に示す。供試体は1体であるが、より良いディテールを探るため

に、部分的に左右非対称な構造詳細とした。すなわち、図-11に示すように、パイプまわりの溶接継手に関し、溶接施工の容易化および残留応力解放のためにスカラップを設けたもの(A側と呼ぶ)と、設けずに完全拘束としたもの(B側)2種類とした。また、縦リブとダイヤフラムの溶接継手に関し、縦リブ貫通形式(A側)と非貫通形式すなわち突き合わせ溶接継手形式(B側)の2種類とした。

b) 荷重方法

本試験は社団法人建設機械化研究所内の大型疲労試験機(静的/動的最大荷重=600/400 t)にて行った。荷重方法は、図-10に示すように、定着鋼管下端を両支点とし中央1点荷重の3点曲げとした。写真-2に荷重状況を示す。試験荷重は以下のように定めた。すなわち、実橋の活

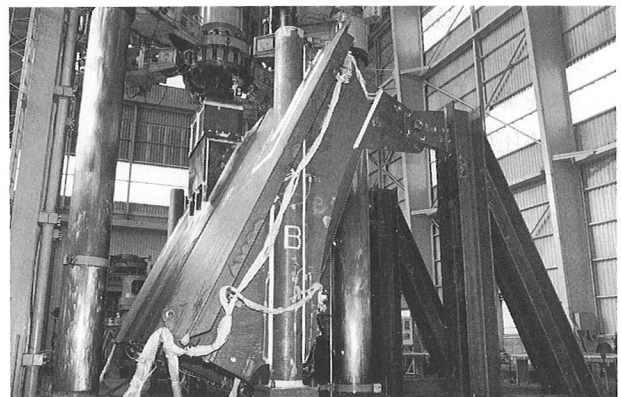


写真-2 疲労試験荷重状況

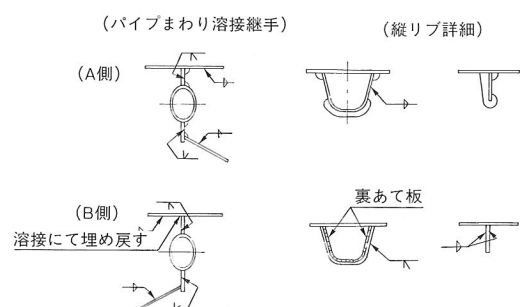


図-11 溶接継手の詳細

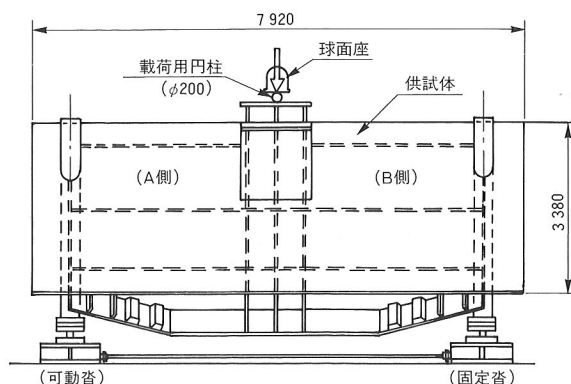
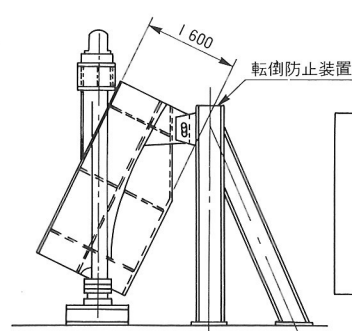


図-10 供試体の形状および荷重方法



供試体寸法	
外形	3.38×7.92×1.6 m
鋼床版	12mm
定着腹板	25mm
板厚	斜フランジ 16mm
	定着ダイヤフラム 30mm
鋼管	φ300×33mm
ケーブル定着角度	24° 58' 02"

荷重張力(変動張力) $\Delta T=146\text{ t}$ に相当する等価変動張力は $\Delta T_1=95\text{ t}$ であるので、載荷荷重 ΔP_1 は $2 \times \Delta T_1=190\text{ t}$ となる。しかし、疲労試験に先立って実施した静的載荷試験結果および供試体についての3次元有限要素解析結果によれば、 $\Delta P_1=190\text{ t}$ では200万回の経過時ににおいて疲労亀裂が発生しないと判断された。そこで、試験機能力の最大限を載荷するものとし、試験荷重は、最大値 $P_0=350\text{ t}$ 、最小値 $P_1=10\text{ t}$ 、変動値 $\Delta P=340\text{ t}$ とした。また、繰り返し速度は3 Hzとした。この結果、本試験では想定値(設計張力)の約1.8倍を載荷することになった。

c) 疲労試験結果と実橋への対処方法

荷重繰り返し回数 $N=280$ 万回まで疲労試験を実施したところ、合計33カ所で疲労亀裂が検出されたが、これらのうち計10個が今回の着目部位における亀裂であり、その他は着目部位以外で検出されたものであった。表-4に着目部位についての亀裂の一覧を示す。表中、Type AあるいはType Bとはそれぞれパイプ周辺の亀裂あるいは縦リブ近傍の亀裂であり、これらの発生位置を図-12に示す。以下に、これらの亀裂に対する考察と実橋への対処方法を述べる。

まず、Type Aの亀裂の特徴は以下のとおりである。

- ① 疲労試験の初期($N=20\sim40$ 万回)に検出されたものであり、その後のサイクル増加に対してほとんど進展しなかった。
- ② 鋼床版の張出し側であり、応力的には $\sigma_x=120\text{ kgf/cm}^2$ (有限要素解析および実験値とも)と小さい。

さらに、この亀裂の破面調査の結果、ルート部から発生した亀裂であり、溶接のとけ込みが不十分であったこと、さらには拘束に起因する疲労亀裂であることなどが判明した。したがって、この亀裂に対しては現状のディテールを多少変更することによって十分対応できるもの

と考え、実橋には以下により対処することにした。

- ① 亀裂の発生した鋼床版とカバープレートの溶接は CO_2 アーク溶接で行う。
- ② 脚長を6 mmから8 mmにアップする。

他方、Type Bの亀裂はすべて、縦リブを貫通させたA側で発生しているが、

- ① 疲労破壊状況を確認するために設計値の約1.8倍の変動張力を与えたのに対し、実際の亀裂発生位置付近の作用応力度に着目すれば、約2.7倍の応力レンジとなっていたようである。
- ② $N=164\sim200$ 万回に発見されたが、S-H関係に対する検討の結果、実橋における疲労寿命は1 000万回以上になると推定された。

以上より総合的に判断して、縦リブを貫通させた現設計の構造詳細でも問題はないとした。

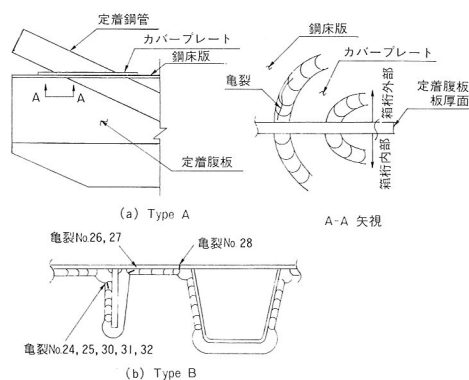


図-12 疲労亀裂の区分

4. あとがき

本工事の設計・製作・施工に当たり本州四国連絡橋公団第三建設局向島工事事務所の方々に御指導いただいた。また、PC桁および鋼桁の斜ケーブル定着部の設計に際しては、財海洋架橋調査会の「生口橋主桁複合構造に関する調査研究委員会」(委員長、田島二郎埼玉大学教授)において種々御審議いただき、委員の方々より数多くの有意義な御意見を賜った。ここに、関係各位に対し深甚の謝意を表します。

参考文献

- 1) 成井・上坂共訳(レオンハルト・メニッヒ共著): レオンハルトのコンクリート講座②, 続・鉄筋コンクリートの設計, 鹿島出版会, pp.57~95, 昭和59年7月。
- 2) 神鋼鋼線工業(株): 太径ケーブル用コンクリート定着部に関する研究報告書, 昭和62年8月。
- 3) R.Hiltscher und G.Florin: Spaltungsspannungen in kreiszylindrischen Säulen, die durch eine kreisförmige Flächenlast zentrisch-axial belastet sind, Bautechnik, s.90, 3/1972。

表-4 着目部位についての疲労亀裂の一覧

区分	部 位	亀裂番号	検出時繰り返し数(万回)	検出時長さ(mm)	発 生 位 置
Type A	パイプと鋼床版の接合部における亀裂	1	20	65	(A側) カバープレートと鋼床版のシール溶接部(鋼床版裏側、箱桁外部)
		5	40	66	(B側) 同上
Type B	ダイヤフラムと縦リブの溶接部における亀裂	24	164	53	ダイヤフラム(A側)と平リブ(トフランジ側スカラップ)の溶接部
		25	164	47	同上
		26	177	30	同上(トフランジとダイヤフラム)の溶接部
		27	177	33	同上
		28	200	13	同上
		30	260	15	ダイヤフラム(A側)と平リブ(鋼床版側スカラップ)の溶接部
		31	260	13	同上
		32	280	10	同上