

PCに関する試験および測定

入門講座

No.4

PCの局部応力試験

講師：柳 沼 善 明*

① はじめに

構造物のある一部に荷重が集中して作用する部分や、断面形状が急激に変化する部分では、部材内部での応力の流れに乱れが生じ、応力集中が生じます。例えば、プレストレストコンクリート（PCと略す）構造物のポストテンション方式において、緊張材の引張力は緊張材端部の定着部でコンクリートに直接伝達されます。この定着部のコンクリートには、緊張材定着具を通して局部的に大きな圧縮力が作用し、コンクリート内部の応力状態は非常に複雑になっています。このような局部応力を受ける部分では、応力の状態を明確にし、コンクリートが安全であるように設計しなければなりません。局部応力を受ける部分の使用状態ならびに終局状態に対する安全性は、試験を行い確認することができます。

ここでは、PC構造物において局部応力を受ける部分の試験について述べます。局部応力に関する試験方法は、定められた方法や手順というものがほとんどなく、試験の目的によって供試体の形状や寸法、試験方法などが変わります。したがって、ここでは局部応力に関する過去に行われた試験を紹介しますので、これを参考にして、それぞれの実験目的によって供試体の形状や寸法、実験方法、測定項目などを決めて実験を行えばよいと思います。

ここで対象とした局部応力を受ける部分は、緊張材の定着部や偏向部（デビエータ）、大偏心ケーブルの主塔部、プレキャストブロック工法の継目部などです。

② 実験の測定項目と使用材料の力学的性質

実験の測定項目は、①限界荷重（ひびわれ発生荷重、斜めひびわれ発生荷重、設計荷重、降伏荷重、破壊荷重など）、②限界荷重作用下の供試体の状態（コンクリートや鋼材のひずみや応力、ひびわれ、変位など）、③破壊状況（破壊形式、ひびわれ状況など）、④荷重—ひずみ関係、荷重—変位関係、荷重—ひびわれ幅関係などで、それらを必要に応じて測定や観察をします。コンクリートや鋼材のひずみの測定には、供試体の所定の位置にひずみゲージを貼付して行います。コンクリート内部のひずみは埋込みゲージ（モールドゲージ）を用いて測定できます。主応力や主応力の方向を測定したい場合は、ロゼットゲージを用い、それらの算出方法は文献1)に詳しく載っています。コンクリートのひびわれ幅は、あらかじめポイントをコンクリートの表面に設け、パイ型ゲージやコンタクトゲージで測定できます。また、あらかじめポイントを設けない場合、ひびわれ幅はクラックスケールで測定できます。緊張材の張力は、ひずみゲージによりひずみを測定し計算により求めるか、あるいはセンターホール型のロードセルを取り付けると直接緊張材の張力が測定できます。変位は、各種変位計（ダイヤルゲージ、ひずみ変換型、差動トランス型、ワイヤー型など）があり、用途に応じ選択して測定できます。

供試体で使用した材料の力学的性質を把握しておくことは重要です。これには、供試体と同時に打設したコンクリートの各種強度試験用供試体の強度試験（圧縮強度、引張強度、曲げ強度など）より得ることができます。さらに、コンクリートの弾性係数を求めることができます。また、使用した鋼材の引張試験を行うことにより、降伏

* Yoshiaki YAGINUMA：日本大学 理工学部交通土木工学科 教授

強度、引張強度、伸び率、弾性係数などが得られます。

3 緊張材の定着部に関する実験

ここでは、緊張材の定着部における新しい定着具の耐力性能実験ならびに定着部の補強方法に関する実験について述べます。さらに、外ケーブルを桁の途中で定着する途中定着部に関する実験についても述べます。

3.1 定着部の補強方法に関する実験

定着部には、緊張材の局部圧縮力によりコンクリートの内部には引張応力が生じます。この引張応力に対して鉄筋による補強が必要となります。補強鉄筋による補強効果を確認するために、また補強方法を検討するために、実験を行います。また、所定の圧縮力（使用状態）ならびに破壊耐力（終局状態）に対する安全性を検討する必要があります。さらに、定着部コンクリートに有害なひびわれ、および定着具のめり込みなどによる過度の変形が生じないように設計しますので、これらについても実験により検討する必要があります。

以下に述べるほかに、PC斜張橋において斜材の主桁定着部付近のスラブの押抜きせん断耐力が不明なため、定着部付近をモデル化した部分模型実験³⁾や、斜張橋の斜材定着部における補強方法の検討に関する実験⁴⁾があります。

(1) 鈴木、中塚の実験

鈴木、中塚は^{5,6)}、緊張材定着部の破壊が定着板の形状と大きさ、補強鉄筋の配筋方法、位置およびその降伏強度と量、コンクリートのかぶり厚さと強度ならびにシース孔の有無に関連していると考え、補強方法に関する実験を行っています。実験の目的は、緊張材の定着部に対する合理的な設計方法を確立するために、円形スパイラル筋とアンカープレートで構成される定着部の破壊強度性状を明らかにすることです。

実験は、主として支圧強度に及ぼす補強鉄筋量やかぶりコンクリートの影響に注目しています。実験は、キャッピングを施さない面を載荷面として、その面の中央に正方形や円形の載荷板を置いて加圧しています。荷重の測定はロードセルにより行い、定着板のめり込み量を変位計を用いて測定しています（図-1）。

実験結果は、①荷重とめり込み変形量との関係、②補強鉄筋量が破壊荷重に及ぼす影響、③補強供試体に及ぼすかぶりの効果、④かぶりのない供試体の強度増加率、⑤支圧強度に及ぼすかぶり厚さの影響、⑥補強鉄筋のひずみ分布、にまとめています。供試体の破壊状況を詳しく調べ、破壊のタイプを分類して、定着部の破壊強度推定式を求めています。

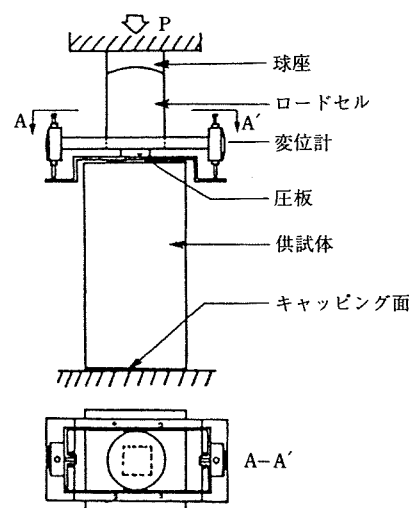


図-1 載荷方法⁶⁾

(2) 宮本らの実験

宮本らは⁷⁾、人工軽量骨材コンクリートを用いた定着部の使用状態における力学的性状を明らかにすることを目的として、PC桁の定着部をモデル化して支圧載荷試験を行っています。これは、PC部材の軽量化をはかるために、人工軽量骨材コンクリートの使用を考えたものです。普通コンクリートと比較して人工軽量骨材コンクリートは支圧強度、引張強度などの強度が低下するため、定着部付近の補強方法を確認する必要があります。

供試体の載荷は図-2のようで、供試体に偏心荷重が作用しないように、雌コーンと載荷梁との間に球座を配置し、供試体の底面にはテフロン板を設置しています。

測定項目は、供試体の表面ならびに内部のコンクリートひずみ、補強鉄筋（割裂補強鉄筋、背面補強鉄筋、軸方向鉄筋）のひずみ、供試体のひびわれ状況および破壊状況です。

実験結果は、①ひびわれ状況の比較、②ひびわれ発生荷重の計算値と実験値との比較、③割裂補強鉄筋のひずみからの応力分布、④ひびわれ幅、について検討しています。これより、人工軽量骨材コンクリートの場合の使

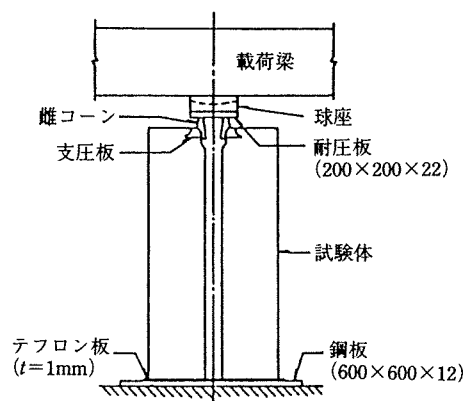


図-2 載荷方法⁷⁾

◇講座◇

用状態における性状と、補強方法についてある程度明らかになったと述べています。

3.2 外ケーブルの途中定着に関する実験

新設橋梁に外ケーブル方式を採用する場合、外ケーブルは桁端部や中間支点上の隔壁で定着されるのが一般的です。外ケーブル方式は、外ケーブルの再緊張、外ケーブルの取替えが可能などの利点があります。ケーブルの取替えが必要となるのは、ケーブルの腐食、緊張材の部分的な破断（素線の一部破断）、緊張材の過大なリラクセーション等による設計プレストレス力の減少や、交通事情の変化等ともなう荷重の増大に対してプレストレス力の不足を補う必要がでてきた場合です⁹⁾。

このように、外ケーブルの追加あるいは交換することをあらかじめ考慮して、作業スペースを確保するために、外ケーブルの定着位置を主桁の中間横桁とする場合があります。また、既存橋梁の耐力が低下したため、外ケーブルを用いて補強する場合には、外ケーブルの定着部を桁端ではなく主桁の途中に設けなければなりません。この場合には、定着部に大きな力が作用するため、定着部の耐力性能やずれに対する安全性を確かめる必要があります。

3.2.1 中間横桁に定着する場合

この例は、外ケーブル方式の3径間連続箱桁道路橋における外ケーブルを中間横桁に定着する場合の安全性を確認する実験⁹⁾です。定着部には、大容量のケーブルを定着させるため局部的に応力が集中します。そこで、あらかじめ定着部付近のFEM解析を行い、応力集中、応力分散性状を把握し、適切な補強方法を検討しています。

設計においては立体FEM解析結果に基づき、引張応力の発生する個所に補強鉄筋を配置しています。FEM解析は弾性体と仮定しているため、ひびわれ発生以降の実構造物の挙動ならびに実際に作用する応力の確認が必要となり、破壊モードならびに耐力を調べるために荷重実験が行われました。供試体の大きさは実橋の1/2モデルで、その形状は図-3のようです。

荷重方法は次の手順で行われています。

- ① 3本のケーブルを1本ずつ順次設計荷重まで緊張した後、除荷します。
- ② 3本のケーブルを同時に設計荷重まで荷重した後、除荷します。
- ③ 上記①と同様にケーブルを設計荷重まで荷重した後、各ケーブルが最大荷重（150tf）に達するまで荷重します。
- ④ 上記③で破壊しない場合、さらに4本目のケーブルを最大荷重まで緊張します。

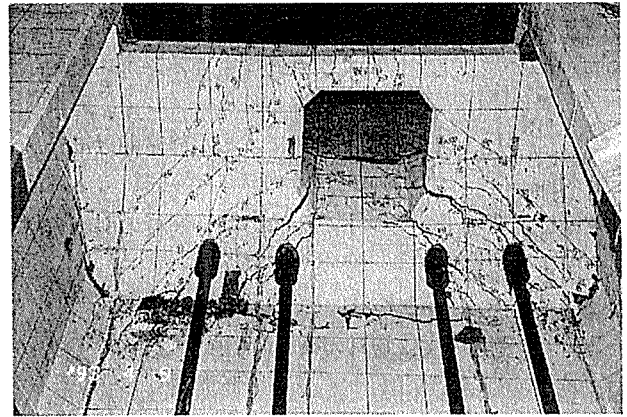


写真-1 供試体の破壊状況⁹⁾

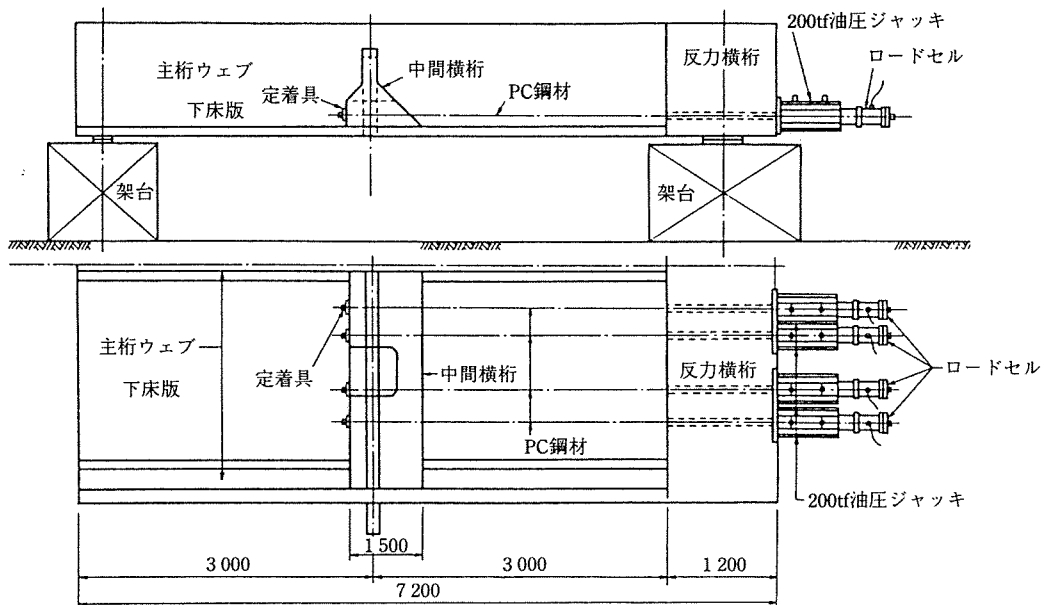


図-3 定着部荷重実験用供試体⁹⁾

荷重の各段階で、ケーブルの緊張量、定着部の変位、鉄筋およびコンクリートのひずみ、部材の変形およびひびわれの進展について測定と観察を行っています（写真-1）。

3.2.2 ブラケットを桁の中間に取り付ける場合

橋梁の供用後、老朽化と重交通により、プレキャスト桁の連続PC橋のジョイント部が著しく損傷し、発生する騒音および走行性の改善が必要となる場合があります。また、耐荷力の不足した既存の橋梁に対して外ケーブルを用いた補強方法は、既存の主桁ウェブにブラケットを取り付けて、外ケーブルを定着するのが一般的です。この定着体であるブラケットは、PC鋼材を用いて横締めにより既存桁と一体となるようにします。定着ブラケットの使用状態ならびに終局状態の安全性を確認するために実験¹⁰⁾を行っています。

供試体は、図-4のようです。PC鋼材で横締めすることによりプレストレスを与え、定着体を桁に取り付けています。実験は、外ケーブルを設計荷重の2倍以上の引張力で緊張し、定着体の耐力を確認しています。定着体にひずみゲージおよび変位計を配置し、測定していま

す。

測定結果は、載荷荷重と定着部の変位量との関係、ならびに各載荷荷重時のひずみとひずみゲージ位置との関係にまとめられ、定着体の耐力を確認しています。

一方、別な実験では、定着ブラケットの使用状態および終局状態に対する安全性の確認を行うために、実験の1/3モデルとした供試体の実験¹¹⁾を行っています。実験は外ケーブルを緊張することにより定着体に荷重を加え、主桁とブラケットの接着が切れるまで外ケーブルを緊張させています。実験は、主桁ウェブ面とブラケットの打継面に作用する平均圧縮応力を変化させて行っています。測定項目は、終局耐力、ブラケットの水平変位量、ブラケットの緊結PC鋼棒のひずみです。

実験結果は、せん断伝達耐力について実験値と計算値とが比較されています。ここでは、計算値は土木学会コンクリート標準示方書による「設計せん断伝達耐力」の式¹²⁾より計算されています。荷重とブラケットの水平変位量との関係、荷重と緊結PC鋼棒のひずみ増加量の関係から、使用状態、終局状態に対する安全性を確認しています。

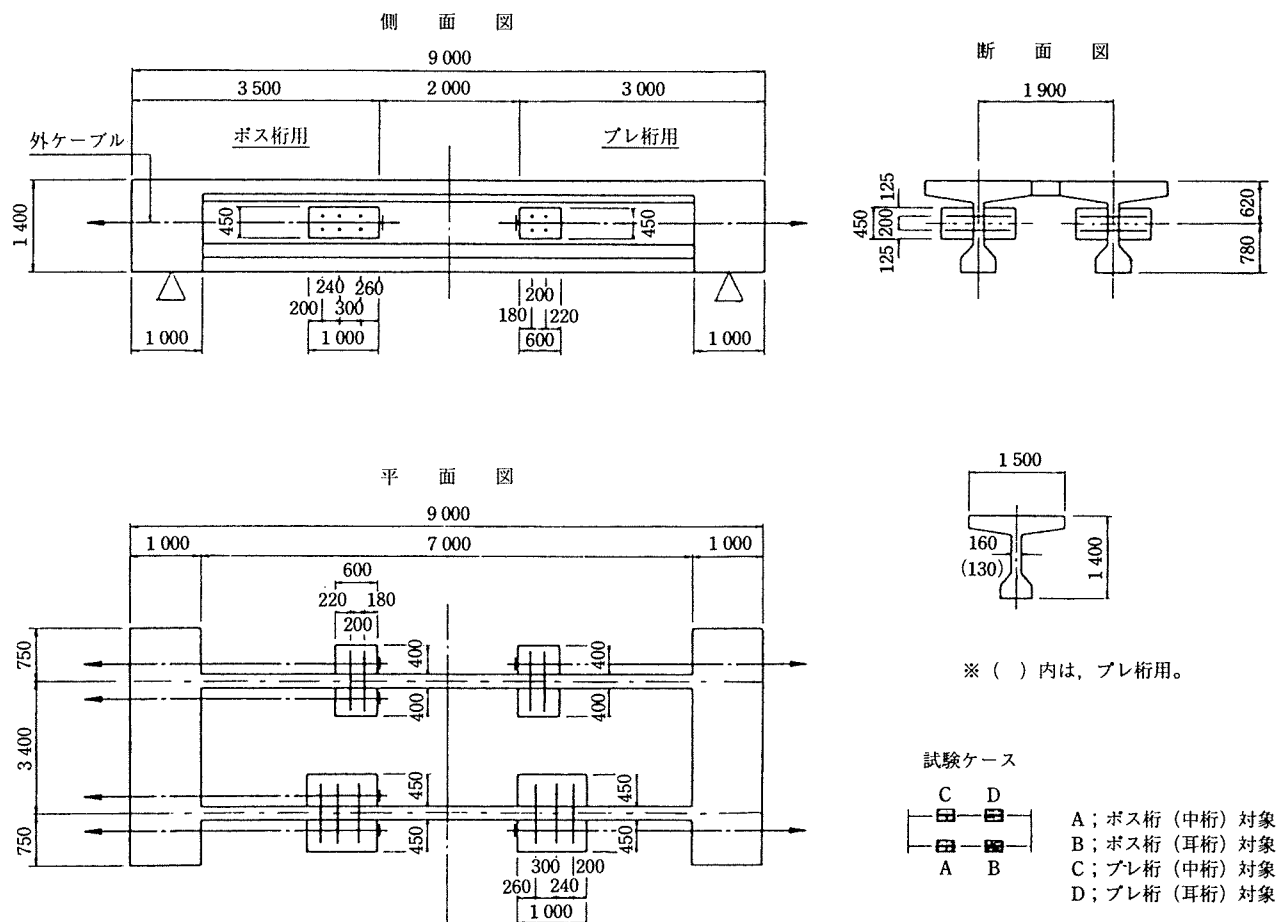


図-4 実験用供試体¹⁰⁾

4 外ケーブル方式橋梁のデビエータに関する実験

外ケーブル方式橋梁の場合、外ケーブルはデビエータにより偏向されます。デビエータ部分には外ケーブルの緊張力により大きな力が集中して作用します。したがって、デビエータの耐力性能ならびに補強方法を検討する必要があります。ここでは、R.J. Beaupre らが行ったプレキャストブロック工法のPC橋梁に外ケーブルを採用する場合を対象としたデビエータに関する実験¹³⁾を紹介します。研究の目的は、①デビエータの強度とダクティリティを調査すること、②実験結果から得られた知見によりデビエータを評価すること、③デビエータをモデル化すること、④エポキシ塗布鉄筋の使用上の効果を調査すること、⑤設計基準を確立すること、です。

デビエータには、ダイヤフラム形式、リブ形式、サドル形式があります。ダイヤフラム形式とリブ形式は、コンクリートの圧縮ストラット作用により、ケーブルの緊張力による垂直方向分力に対して抵抗できる利点があります。この圧縮ストラットは、ダクト上の上床版までのコンクリートに形成されます。サドル形式は他の形式と比較して構造的に劣るものです。そこで、この実験ではサドル形式のデビエータを対象としています。

供試体は実橋の1/3モデル6体と1/5モデル4体であり、この縮小率は予想破壊荷重と試験機の許容能力から定めています。測定項目は、ひびわれ、鉄筋のひずみなどです。マイクロクラック発生時、ひびわれ発生時、鉄筋降伏時、終局時におけるそれぞれの荷重を限界荷重として検討しています。ここでは、マイクロクラック発生時は鉄筋ひずみの変化より最初の不連続点を示したとき、ひびわれ発生時はコンクリート表面にひびわれが発生したとき、鉄筋降伏時は鉄筋ひずみが降伏ひずみに達したとき、終局時は破壊したときとしています。

ケーブルを緊張させることにより、デビエータに外力を作用させています(図-5)。載荷方法は、①鉄筋の降

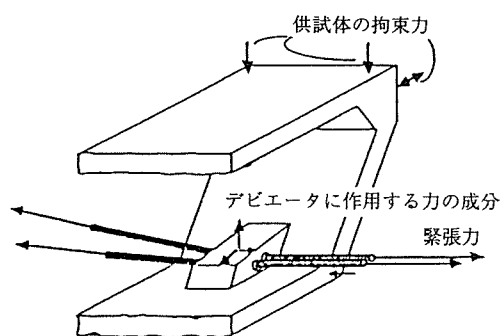


図-5 実験の概念図¹³⁾

伏まで載荷、その後除荷し、再び載荷して、②供試体の破壊まで載荷、の2段階で行っています。実験中のひびわれを目視により観察し、記録しています。

実験により次のことがわかりました。使用状態、終局状態に対しての安全性が確かめられました。ひびわれの形状と鉄筋ひずみの値から、デビエータには3つのメカニズムが存在することがわかりました。サドル形式のデビエータの耐力は、ストラット・タイモデルにより算定できることを示しています。

5 大偏心ケーブルなどを用いた主塔部に関する実験

外ケーブルの偏心距離を大きくしたエクストラードードPC橋^{14,15,16)}の建設が行われています。このような形式の橋梁の場合には、ケーブルが主塔に集中して配置されます。そのため、ケーブルの緊張力により主塔部に大きな力が作用し、局部応力を受けることになります。主塔部の安全性を確認するため、耐力性能実験ならびに主塔のケーブル用ダクト周辺部の補強方法などに関する実験を行うことがあります。

5.1 主塔のサドル部に関する実験

小田原ブルーウェイブリッジでは、以下に述べる(1)サドル部の定着機構の載荷実験と(2)サドル部の載荷実験について実物大の模型実験¹⁴⁾を行い、密に配置された斜材を支持して二重構造となっているサドル部の安全性を検証し、さらに、ケーブルの張力差を固定する定着機構の安全性も検証しています。実橋のサドル部は2次元FEM解析で設計され、コンクリートに発生する応力度が設計荷重時の許容値以下になるようPC鋼棒で補強しています。局所的な支圧応力については面接触問題のFEM解析を行っています。

(1) サドル部の定着機構の載荷実験

実験の目的は、①FEM解析と現行の示方書で設計したサドル部ならびにサドル部の定着機能が十分な耐力を有していること、②実橋に採用する構造を選出すること、③実物大の供試体を施工・解体することによりその施工性や局所的な損傷具合を調べること、です。供試体の構造図は図-6のようです。緊張力は、両側のジャッキによりPC鋼より線に加えられます。載荷方法は、最初に左右のジャッキを同時に260tfまで緊張した後、内管のグラウトを行います。その後、左側を225tfまで緩めます。これは、クリープ、乾燥収縮による緊張力差を模擬したものです(Step 1)。次に、右側を260tfから270tfに増加・減少を10回繰り返す(Step 2)、右側だけ360tf ($0.9f_{pu}$)あるいは定着機構が破壊する最大緊張力差

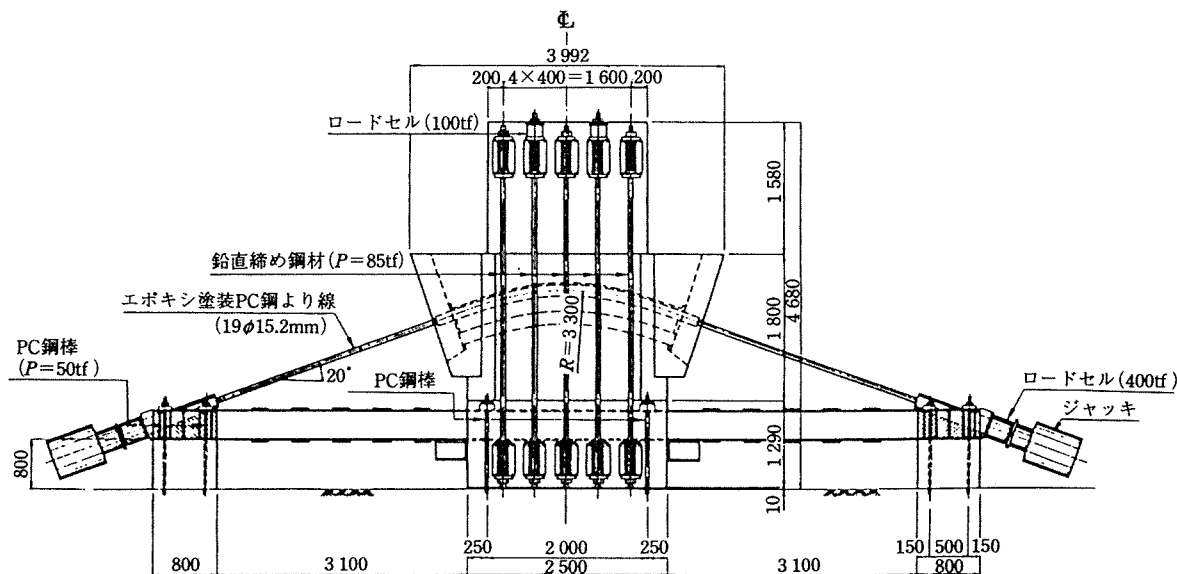


図-6 供試体の構造図¹⁴⁾

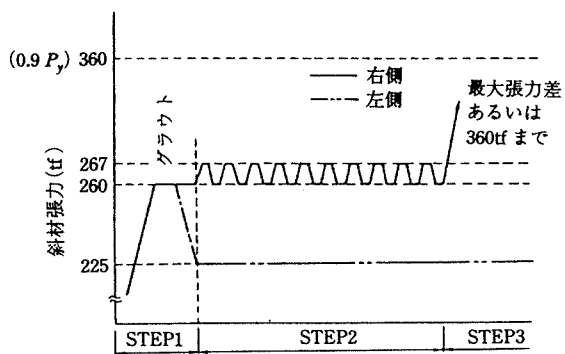
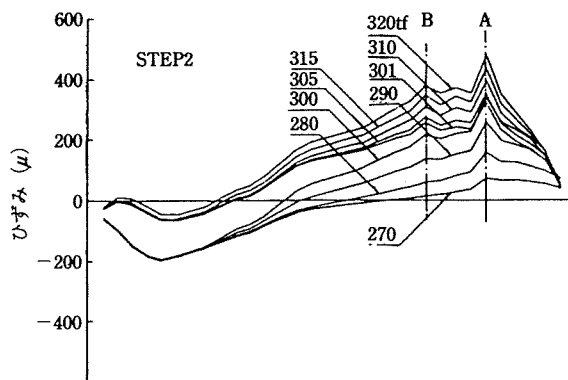


図-7 荷重手順¹⁴⁾



まで緊張します (Step 3) (図-7 参照)。

実験結果は、内管に貼付したひずみゲージによる内管のひずみ分布 (図-8)、図-8中に示したA、B点のひずみ増加 (図-9) に整理し、ひずみが張力の増加にもないおおむね直線に変化していることから、内管とグラウトとの付着状態が健全であることがわかります。図-10に張力差と左側サドル部定着体の移動量の関係を示し、最大張力差の設計値に対する安全性を検討しています。なお、この実験ではグラウト材の力学的特性が重要であるため、グラウト材の圧縮強度、割裂強度、弾性係数を材料強度試験より求めています。

(2) サドル部の荷重実験

サドル部に発生する引張力に対してPC鋼棒により補強を行い、設計荷重時に許容値内におさまるようにしています。そこで、斜材張力 $0.9 f_{pv}$ に対してサドル部が健全であることを確認するために実験を行っています。2本の外管の中間に埋め込んで設置した3軸モールドゲージにて鉛直方向のコンクリート圧縮応力度を測定しています。Type 2の供試体において、荷重は斜材の張

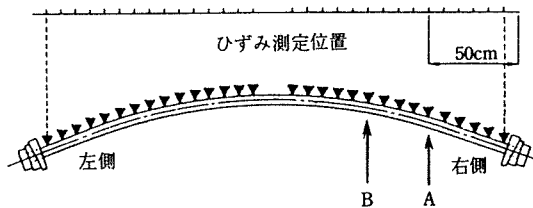


図-8 内管のひずみ分布¹⁴⁾

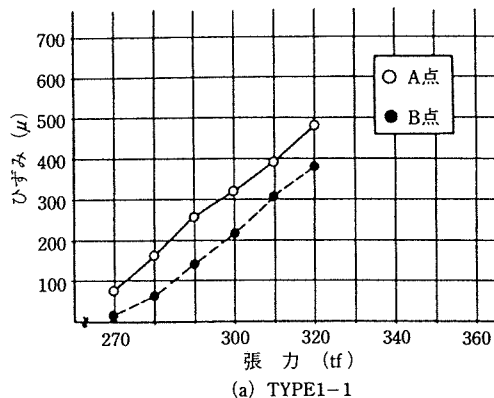
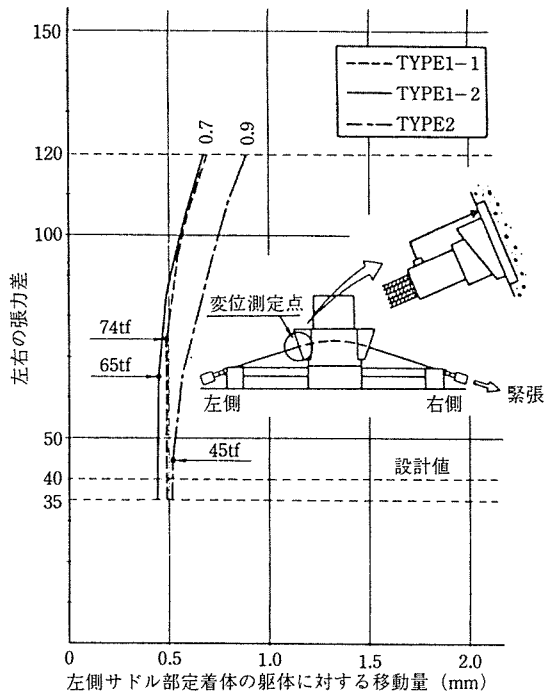


図-9 A点、B点におけるひずみの増加量¹⁴⁾



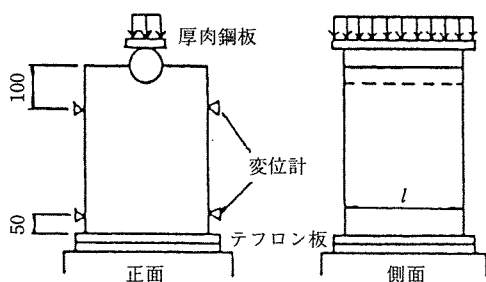
図一10 張力差と左側サドル部定着体の移動量の関係¹⁴⁾

力を左右 225 tf にした後、同時に 360 tf ($0.9 f_{pu}$) まで載荷しています。コンクリートに作用する圧縮応力度と FEM 解析値とを比較し、サドル部は $0.9 f_{pu}$ の張力に対して健全であることを確認しています。

6 サドル形式斜張橋のサドル部の実験

斜張橋の主塔のサドル部は、斜材のケーブルを小さな曲げ半径で配置するため、ケーブルの半径方向に作用する腹圧力により、コンクリートの割裂力が大きくなります。この腹圧力によるコンクリートの割裂力に対する設計方法に未解決な部分があるため、サドル部における支圧試験¹⁷⁾を行っています。

ここでは、サドル部の支圧性状に及ぼす支圧面積、供試体の形状、多段ダクトの影響を明らかにし、その補強方法について検討しています。実験は、PC 鋼棒を用いた基本モデルによる支圧試験で、荷重の載荷は図一11 のようです。供試体は、補強鉄筋量、支圧面積の大きさ、



図一11 載荷方法¹⁷⁾

供試体形状、空きダクトの有無などに着目したものです。

荷重の載荷は静的載荷であり、載荷荷重が供試体に均等に作用するように厚肉の載荷治具を用いています。供試体の底面には摩擦により変形が拘束されないように、テフロン板を 2 枚敷設しています。これは、供試体の底面がコンクリートと鋼製載荷板の間の摩擦により、横方向の変形が拘束され、この端面拘束が破壊荷重に影響を与える¹⁸⁾のを防ぐためです。測定項目は、横方向変位量と補強鉄筋ひずみです。

実験結果は、供試体の主な破壊状況を写真で示し、ひびわれ状況から破壊モードやどのようにして破壊していったかを示しています。支圧強度を求める式を提案し、実験値と提案式による計算値とを比較しています。

次に、多段にダクトを配置した場合の支圧強度の考え方について検討しています。実橋においては、PC 鋼材が多段に配置され、順次に緊張されます。そのため、上段のダクトからの荷重が累積され、下段のダクトに影響を与えることが考えられます。このような状態の応力性状を把握するため、2次元の弾性 FEM 解析を行い、計算結果と実験結果とを比較しています。丸鋼棒の下に空きダクトが存在する供試体の鉄筋ひずみと荷重との関係図から、各鉄筋の引張力の負担割合がわかります。

7 プレキャストブロック構造の継目部に関する実験

プレキャストブロック構造は、あらかじめ作製されたコンクリート部材をポストテンション方式でプレストレスを与え一体化するものです。ブロックの接合部は、コンクリート、モルタル、接着剤を用いて接合されます。接合部にはせん断力を負担するため、せん断キーや鋼製接合キーなどが用いられます。継目部におけるせん断抵抗に及ぼすこれらの効果について、実験が行われます。

せん断キーのせん断伝達に関する実験¹⁹⁾では、接合面の凹凸を考慮した実験を行い、せん断伝達耐力算定式の提案と接合面の凹凸の最も合理的な形状配置を考察しています。また、プレストレスレベル、接着剤の厚さ、せん断キーの形状、コンクリートの強度などが及ぼすせん断伝達への影響を調べた実験²⁰⁾もあります。

鋼製接合キーのせん断伝達に関する実験²¹⁾は、せん断力に対する継目部の挙動を実橋に近い形で把握するために、継目部をモデル化した供試体を作製して実験を行っています。プレストレス量、鋼製接合キーの有無および径、接着剤の状態、鋼製接合キーの設置位置を考慮した実験です。供試体を図一12 に示します。測定は、継目部の鉛直方向ずれ、コンクリート表面および内部のひずみなどです。実験結果は、ひびわれ発生荷重、荷重-変

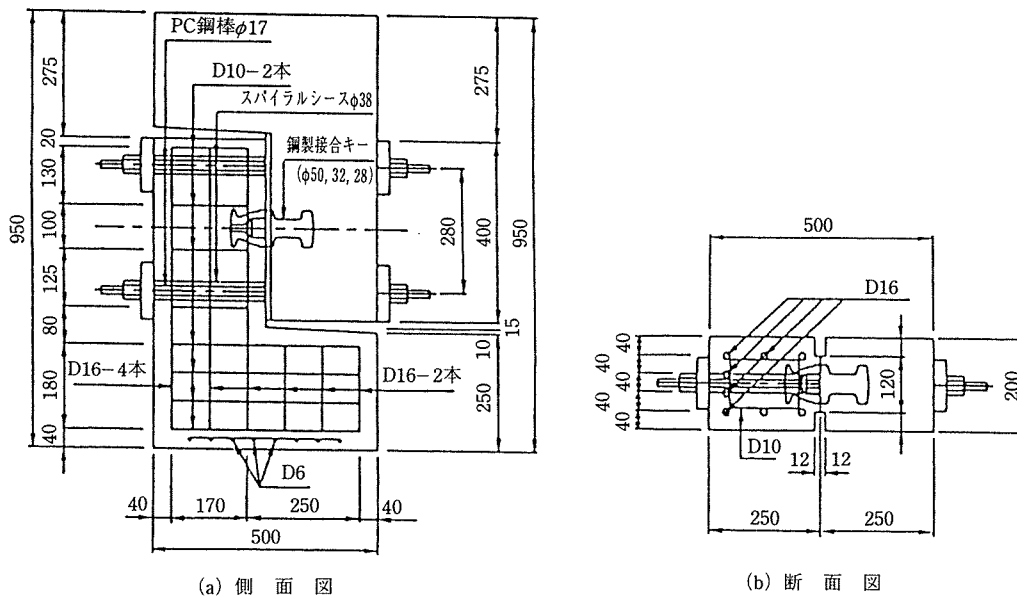


図-12 鋼製接合キー使用供試体²¹⁾

位の関係、破壊耐力、破壊に至るまでの過程、継目部の耐荷機構などについてまとめています。

一方、プレキャストブロック工法による橋梁の継目部の挙動に関する実物大の破壊実験²²⁾があります。これは、継目部に変位計を取り付け、継目部の開きを測定し、載荷荷重と継目部の開きの関係を示しています。また、破壊状況を調べ、継目部の応力状態、せん断耐力について考察しています。

プレキャストブロック工法による橋梁の継目部の設計に関して、各国規準による照査方法が文献²³⁾にまとめられていますので参照するとよいと思います。

8 おわりに

PC 構造物の局部応力に関する実験について述べました。ゲルバー桁のヒンジ部のような切欠きがあるため、桁部材の断面が急激に減少するような支承部付近の局部応力を受ける部材の実験については、紙面の都合で述べることができませんでした。これらについては文献²⁴⁾、²⁵⁾、²⁶⁾を参照されるとよいと思います。

本文が局部応力を受ける部材の実験を行ううえで参考になれば幸いです。

参考文献

- 1) 例えば、岡田清，六車熙 編集：コンクリート工学ハンドブック，朝倉書店，pp.1426-1431，1981.11
- 2) 土木学会：プレストレストコンクリート工法設計施工指針，コンクリートライブラリー 66，p.8-10，平成 3 年 3 月
- 3) 石橋忠良，高木芳光，大庭光商：PC 斜張橋斜材定着部模型実験，コンクリート工学年次論文報告集，10-3，1988

- 4) 藤原亨，西本聡，梶川靖治，森田雄三：生口橋 PC 桁ケーブル定着部の設計について，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，pp.63-68，平成 2 年 10 月
- 5) 鈴木計夫，中塚侖：円形補強筋をもつ PC 鋼材定着部の強度および破壊機構に関する研究，日本建築学会論文報告集，第 315 号，pp.17-26，昭和 57 年 5 月
- 6) 鈴木計夫，中塚侖：円形補強筋をもつ PC 鋼材定着部の強度および破壊機構に関する研究—角形載荷板，角形支承部，円形補強筋の組み合わせの場合—，日本建築学会論文報告集，第 341 号，pp.19-25，昭和 59 年 7 月
- 7) 宮本征夫，小林明夫，渡辺忠朋，山住克巳：人工軽量骨材コンクリートを用いた PC 桁定着部の補強に関する実験的研究，コンクリート工学年次論文報告集，10-3，pp.189-194，1988
- 8) 土木学会：プレストレストコンクリート構造の現状と設計方法の動向，コンクリート技術シリーズ No.5，p.182，平成 6 年 5 月
- 9) 伊東昇，篠田誠，後藤精三，石川善信：首都高速道路湾岸線における外ケーブル併用 PC 橋の設計，コンクリート工学，Vol.32，No.10，pp.64-75，1994.10
- 10) 永井淳一，山口慶三，北川琢也，中井裕司：曾根高架橋ほか 2 橋の橋梁補強工事，プレストレストコンクリート，Vol.37，No.6，pp.42-51，1995
- 11) 吉川紀，瀬戸口嘉明，沢登善誠：アウトケーブルを用いた PC 桁の補強確認実験，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，pp.189-194，平成 2 年 10 月
- 12) 土木学会：コンクリート標準示方書[設計編]，p.60，昭和 61 年
- 13) R.J. Beaupre, L.C. Powell, J.E. Breen & M.E. Kreger : Deviator Behavior and Design for Externally Post-Tensioned Bridges, SP 120-12, pp.257-288
- 14) 木水隆夫，松井保幸，春日昭夫：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，

◇講座◇

- Vol.36, No.5, pp.7-15, 1994
- 15) 細野宏巳, 岡崎新太郎, 三原英之, 渡辺孝司: 蟹沢大橋(エクストラードードPC橋)におけるサドル部の性能試験, プレストレストコンクリート技術協会, 第5回シンポジウム論文集, pp.101-106, 1995.10
 - 16) 宮崎修輔, 森藤眞治, 古賀学, 前田晴人, 野永健二: 北陸新幹線屋代南・屋代北橋梁の斜材主塔部固定構造(貫通固定方式)の実物大試験について, プレストレストコンクリート, Vol.36, No.5, pp.54-63, 1994
 - 17) 大庭光尙, 築嶋大輔, 石橋忠良: 斜張橋のサドル定着部の研究, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.17, No.2, pp.685-690, 1995
 - 18) 岡田清, 六車熙 編集: コンクリート工学ハンドブック, 朝倉書店, pp.378-380, 1981.11
 - 19) 後藤祐司, 長瀧重義: コンクリート接合部のせん断耐力に関する基礎研究, 土木学会論文報告集, 第254号, pp.95-106, 1976.10
 - 20) O. Buyukozturk, M.M. Bakhoun & S.M. Beattie: Shear Behavior of Joints in Precast Concrete Segmental Bridges, J. of ASCE, Vol.116, No.12, pp.3380-3401, 1990
 - 21) 日本道路協会: プレキャストブロック工法によるプレストレストコンクリートTげた道路橋設計施工指針, pp.49-67, 平成4年10月
 - 22) 竹林稔雄, K. Deeprasertwong, Y.W. Leung: ドライジョイント・外ケーブル方式のプレキャストセグメント桁の実物大破壊試験, プレストレストコンクリート, Vol.36, No.5, pp.41-53, 1994
 - 23) 土木学会: プレストレストコンクリート構造の現状と設計方法の動向, コンクリート技術シリーズ, No.5, pp.138-143, 平成6年5月
 - 24) 日本道路協会: コンクリート道路橋設計便覧, pp.377-390, 平成2年8月
 - 25) 今井宏典, 藤井学, 和田的治, 中島裕之: PCゲルバーヒンジ部の構造と1設計計算法, 橋梁と基礎, 4-8, pp.13-20, 1970
 - 26) 野尻陽一, 秋山輝: ゲルバーヒンジ切欠き部の応力についての光弾性実験, コンクリート・ジャーナル, Vol.7, No.7, pp.11-20, 1969