

外ケーブル定着突起の形状および配筋に関する研究

国土交通省 国土技術政策総合研究所

西川 和廣

同 上

正会員 廣松 新

(社)プレストレスト・コンクリート建設業協会

正会員 ○伊藤 公彦

1. はじめに

外ケーブル工法はP C鋼材を部材の外に配置するため、内ケーブル工法と比較し部材を薄くすることが可能であり、上部工の軽量化やプレキャストセグメント工法との併用による施工の省力化等が期待できる。また、完成後にケーブル状態を確認し易いため維持管理の面で注目を集め実績も増えてきている。しかし、外ケーブルを適用したP C橋の設計法は十分に確立されているとは言えず基準類の整備が求められていた。

そこで、国土交通省土木研究所（現国土技術政策総合研究所）と（社）プレストレスト

・コンクリート建設業協会は平成10年度から3年間の予定で、外ケーブルを適用したP C橋の合理化に関する共同研究に着手した。図-1に本共同研究の概要を示す。平成10年度は終局時の曲げ耐力を確認するために、モデル供試体による載荷試験を実施し、外ケーブル比率・偏向部間隔・引張鉄筋量・プレキャストセグメントが曲げ耐力に与える影響を確認した。¹⁾ 平成11年度には、せん断破壊に至るまでの挙動とせん断耐力を確認することを目的としたモデル供試体による載荷試験を実施し、外ケーブルを適用したP C橋のせん断耐力は内ケーブルと同等以上であることを確認した。²⁾ 平成12年度は、外ケーブル定着部に関する研究を行った。本論文は、平成12年度に行った外ケーブル定着突起に関する実験および検討結果の概要について述べるものである。

2. 実験概要

外ケーブルは、端支点横桁および中間横桁などの剛性の高い部分に定着するのが一般的であるが、断面形状や施工方法によっては、床版およびウェブに定着突起を用いて定着する場合も想定される。また、外ケーブルは内ケーブルに比べ大容量のケーブルを使用する 경우가多く、その場合の定着突起の形状や配筋方法などの設計法は十分に確立されていない。

そこで、本研究では、箱桁橋において外ケーブルを定着突起を設けて下床版付近に定着したケースを想定し、モデル供試体による載荷実験を行い、定着突起部の配置位置や長さおよび定着突起部付近の補強方法に関して検討を行った。

図-2に実橋における想定断面を示す。幅員10.0m、桁高3.0m、下床版幅5.0m、ウェブ厚0.4m、下床版

研究概要

外ケーブルを適用したP C橋の合理化に関する研究

国土交通省土木研究所 橋梁研究室
(社)プレストレスト・コンクリート建設業協会 共同研究

平成10年度 外ケーブルP Cげたの曲げに関する研究

平成11年度 外ケーブルP Cげたのせん断に関する研究

平成12年度 外ケーブル定着部に関する研究

外ケーブルに関する設計施工指針(案)

図-1 研究概要

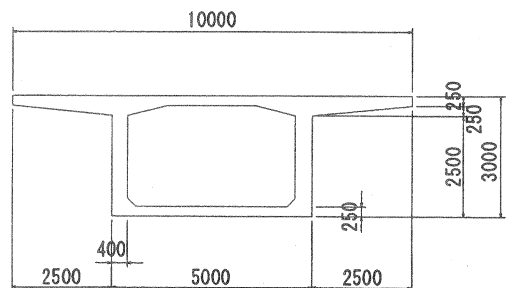


図-2 実橋における想定断面（単位 mm）

厚 0.25m の箱桁断面に、外ケーブルとして 19S15.2(SWPR7B)を使用したと想定した。実験供試体は、実橋の 1/2 スケールとし、断面寸法は下床版幅 2.5m、ウェブ厚 0.2m、下床版厚 0.125m とした。ここで、実験供試体を設定するにあたり、事前に FEM 解析を実施し、上床版の有無が実験に与える影響が少ないことを確認し、桁高は 1.25m の U 形断面とした。

表-1 に供試体一覧を示す。

実験因子は、①定着突起の配置位置、②定着突起長、③定着部補強筋量、④主桁との付着の有無を考慮し、合計 5 体の供試体を製作した。

供 試 体	定着突起の配置	定着突起長 L	主桁および定着突起配筋		コンクリート圧縮 強度 (N/mm ²)	備考
			左側定着突起	右側定着突起		
TYPE A-1	ウェブと下床版の隅角部に配置	1.00m	D10cta110	D10cta110	46.2	右側定着突起は後打ち
TYPE A-2		0.75m	D13cta125	D10cta110	50.4	長期計測(30日)
TYPE A-3		0.50m	D16cta90	D10cta110	42.9	
TYPE B-1	ウェブから離れた位置に配置	1.00m	D10cta110	D10cta110	52.2	
TYPE B-2		1.00m	D10cta110	D10cta110	48.9	

図-3 に供試体の形状寸法を示す。定着突起の配置は、ウェブと下床版の隅角部に配置した TYPE A とウェブから離れた位置に定着した TYPE B の 2 種類とした。定着突起長は、TYPE A について 3 種類設定した。実橋における定着突起長として 2.0m、1.5m、1.0m を想定し、実験供試体は 1.0m、0.75m、0.5m とした。TYPE B の実験供試体における定着突起長は両供試体ともに 1.0m とした。TYPE B については隔壁の影響を確認するために B-2 の定着突起前面に隔壁を設けた。

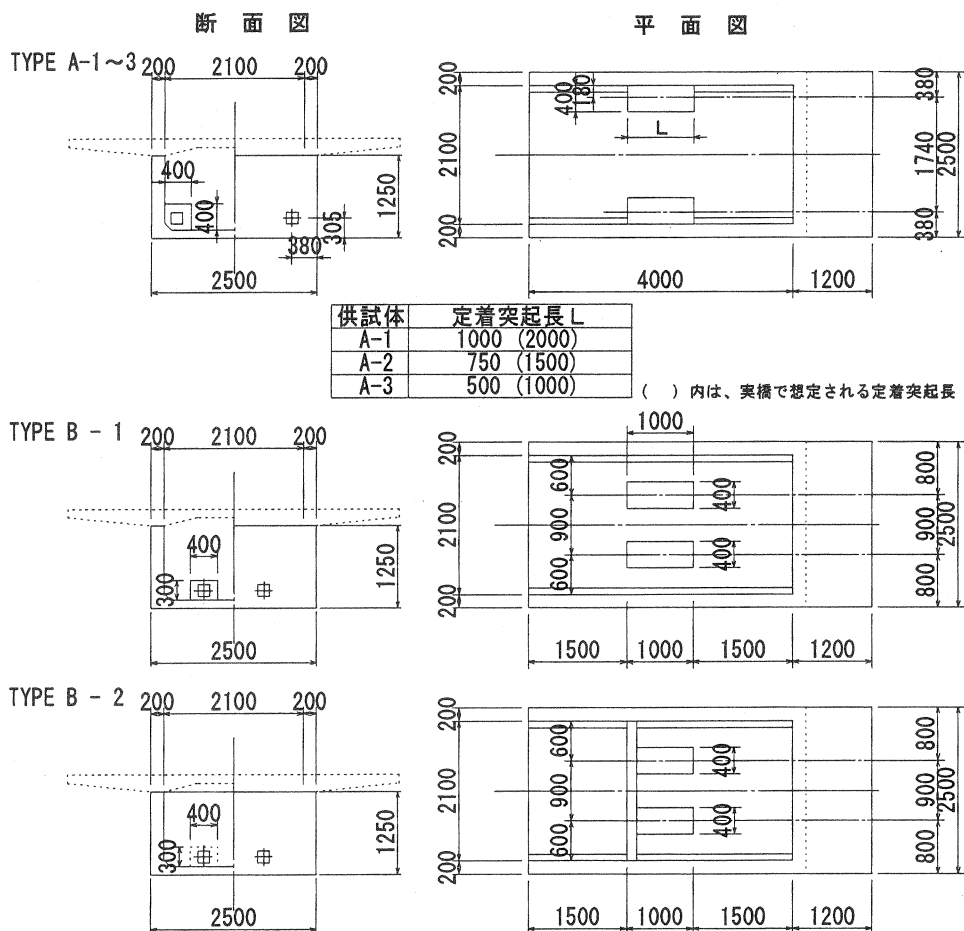


図-3 供試体形状寸法 (単位 mm)

定着突起部の配筋量は、表-1に示すとおり左右の配筋量を変化させ、配筋量の影響をみることにした。図-4に定着突起の配筋状況を示す。

TYPE A 供試体の左側定着突起部の補強筋は、以下の方針にて配筋を行った。

①引張力に対して

引張力に対しては、FEM 解析にて得られた引張力に対し鉄筋の引張応力度が 180N/mm^2 以内となるように鉄筋量を算出し、引張応力度の分布に応じて配筋を行った。

②せん断に対して

外ケーブルの緊張力により定着突起が水平方向にずれる可能性があるため、土木学会コンクリート標準示方書設計編³⁾の設計せん断伝達耐力式を用いて鉄筋量を算出し、定着突起内に均等に配筋を行った。右側の定着突起部および TYPE B 供試体に関しては、定着突起の配置および定着突起長さの影響を確認するため、A-1 供試体と同配筋とし、D10 を 110mm 間隔で配置した。

コンクリートは、設計基準強度 $\sigma_{ck}=40\text{N/mm}^2$ を使用し、鉄筋は SD295A とした。外ケーブルは、19S15.2 の $0.7 \sigma_{pu}$ 時緊張力 $P=3430\text{kN}$ を想定し、実験では F200T (SEEE 工法) を使用した。

図-5に載荷試験図を、写真-1に載荷試験状況を示す。実験は、供試体を支間約 4.0m 程度で単純支持し、緊張ジャッキにより外ケーブルに直接プレストレスを与える方法で行った。緊張力は、プレストレス導入直後 $0.7 \sigma_{pu}$ 相当の緊張力 ($P=868\text{kN}$)、PC 鋼材の第 2 降伏点である $0.93 \sigma_{pu}$ 相当の緊張力 ($P=1153\text{kN}$) を着目点とし、一旦 $0.93 \sigma_{pu}$ 相当 ($P=1153\text{kN}$) まで漸増させた後、緊張力を解放した。その後、破壊性状を確認するために緊張力を $1.1 \sigma_{pu}$ 相当 ($P=1350\text{kN}$) まで緊張力を漸増させた。

なお、A-1 供試体については、主桁と定着部の付着による影響を確認するため、右側の定着突起については主桁コンクリートを打設した後、定着突起部を後打ちした。また、A-2 供試体については、長期における性状を確認するため、 $0.7 \sigma_{pu}$ 相当 ($P=868\text{kN}$) の状態で 30 日間保持し、その後他供試体と同様に緊張力を与えた。

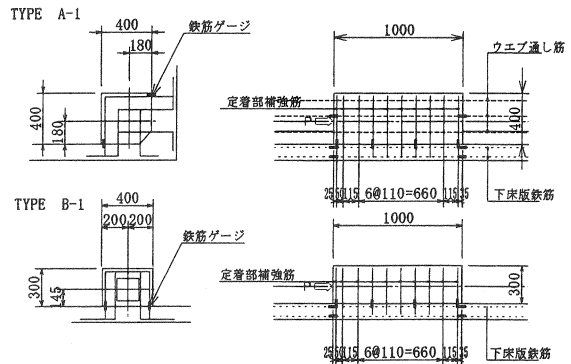


図-4 定着突起部配筋状況 (単位 mm)

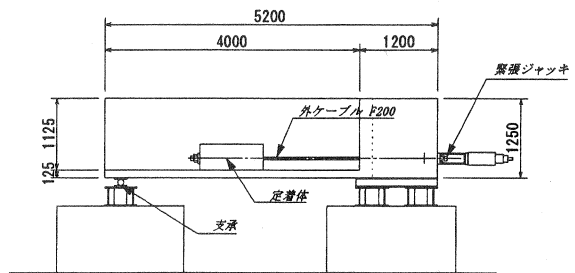


図-5 載荷試験図 (単位 mm)

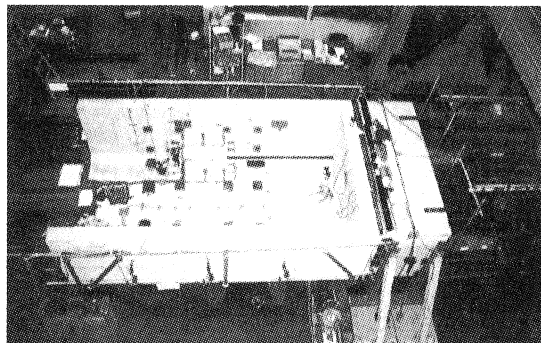


写真-1 載荷試験状況

3. 実験結果および考察

3.1 定着突起配置位置の影響

表-2に各時点での供試体の状態を、図-6に $0.7 \sigma_{pu}$ 相当 ($P=868\text{kN}$) 時の下床版のひび割れ状況を、図-7に B-1、B-2 供試体の $0.7 \sigma_{pu}$ 時における FEM 解析による主応力図を示す。

定着突起長が同じで配置位置が異なる A-1、B-1 および B-2 の3体について

$0.7 \sigma_{pu}$ 相当 ($P=868\text{kN}$) 時の状態を比較すると、定着突起をウェブと下床版の隅角部に配置した A-1 にはひび割れが確認されなかったのに対し、ウェブから離れた位置に定着突起を配置した B-1 は、 $P=200\text{kN}$ でひび割れが確認され、隔壁を配置した B-2 においても $P=650\text{kN}$ でひび割れが確認された。また、TYPE B の供試体については、図-6に示すとおり、定着突起からハンチに向かって下床版にひび割れが確認された。また、ひび割れの発生位置は、FEM 解析において引張応力が卓越している部分を中心に発生した。次に、 $0.93 \sigma_{pu}$ 相当 ($P=1153\text{kN}$) 時における状態を比較すると、A-1 供試体については、緊張力が $P=1000\text{kN}$ に達した時点でひび割れが確認されたが、ひび割れの進展は少なく $1.1 \sigma_{pu}$ 相当 ($P=1350\text{kN}$) 載荷時においてもひび割れ幅は 0.04mm 以下の微細なものであった。それに対して、B-1 供試体は緊張力の増加とともにひび割れが進展し、 $P=1020\text{kN}$ 載荷した時点で、下床版が剥離し、緊張力が降下した。B-2 については、ひび割れが発生した後荷重増加とともに下床版および隔壁にひび割れが広がり、 $1.1 \sigma_{pu}$ 相当 ($P=1350\text{kN}$) 時においては、最大ひび割れ幅が 0.65mm まで広がった。

これより、定着突起の配置位置がひび割れ性状に与える影響は非常に大きいことがわかった。また、ウェブから離れた位置に定着突起を配置した場合には、下床版や下床版とウェブのハンチ部分など今回配置した補強筋では対応不可能な範囲にひび割れが発生した。したがって、外ケーブルを定着突起を用いて定着する場合には、下床版とウェブの隅角部に配置するなどし、緊張力を主桁にスムーズに伝達できる構造とすることが良いことがわかった。

表-2 各緊張力における供試体の状態

緊張力 供試体	868kN $0.7 \sigma_{pu}$ 相当	1153kN $0.93 \sigma_{pu}$ 相当	1350kN $1.1 \sigma_{pu}$ 相当
	ひび割れ無し	1000kNでひび割れ確認	最大ひび割れ幅 0.04mm 以下
TYPE A-1	ひび割れ無し	868kN長期計測にてひび割れ確認	最大ひび割れ幅 0.04mm 以下
TYPE A-2	ひび割れ無し	700kNでひび割れ確認	定着突起本体にもひび割れ確認
TYPE A-3	200kNでひび割れ確認	1020kNで下床版が剥離(終了)	最大ひび割れ幅約 0.1mm
TYPE B-1	650kNでひび割れ確認	下床版および隔壁にひび割れ広がる	最大ひび割れ幅約 0.65mm
TYPE B-2			

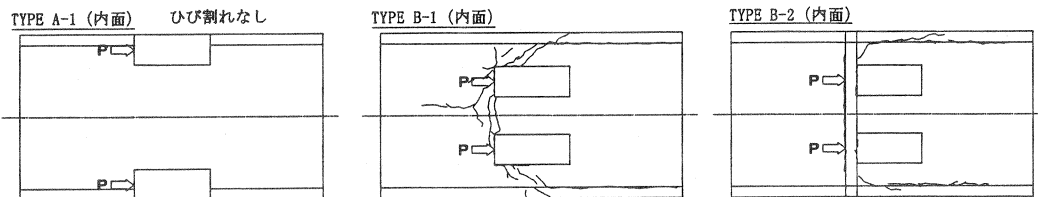


図-6 下床版ひび割れ状況 ($0.7 \sigma_{pu}$ 時)

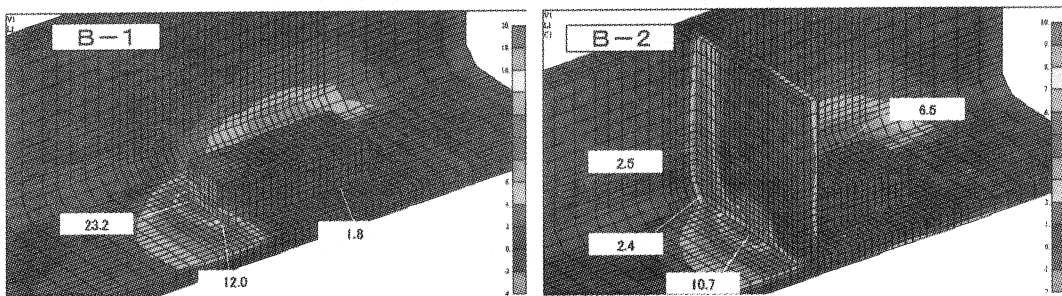


図-7 FEM解析における主応力図 ($0.7 \sigma_{pu}$ 時)

(単位 N/mm^2)

(B-1、B-2)

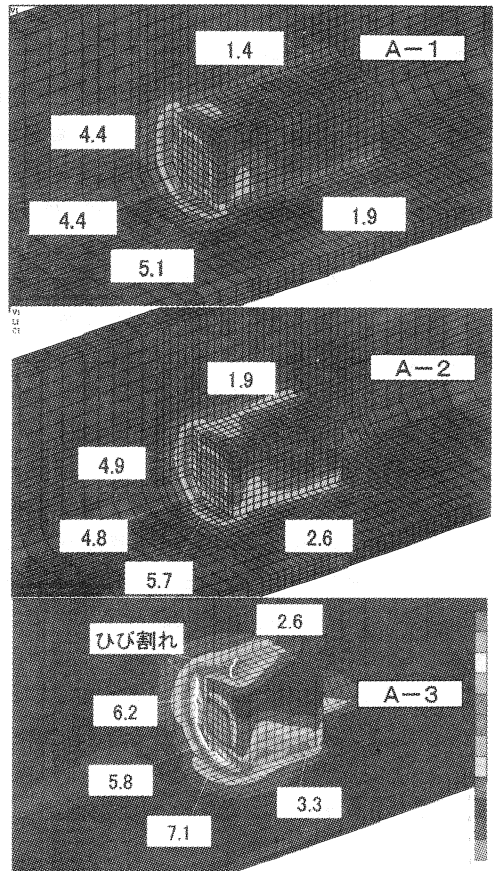
3.2 定着突起長について

TYPE A について、定着突起長を3種類変えて実験を行った。図-8に各供試体のFEM解析による $0.7 \sigma_{pu}$ 時における主応力図を示す。これより、定着突起長が短くなるにつれて定着突起と主桁の界面に作用する主応力が大きくなっているのがわかる。また、ウェブと下床版の隅角部に定着突起を設けた場合、引張応力が下床版およびウェブとの界面に集中していることがわかる。

実験においては、 $0.7 \sigma_{pu}$ 相当 ($P=868kN$) 時において定着突起長が一番短い A-3 のみにひび割れが確認された。また、A-1、A-2 供試体は $0.7 \sigma_{pu}$ を超えた荷重においてFEM解析において主応力が卓越している定着突起と主桁の界面部分にひび割れが発生したが、ひび割れ幅は $0.04mm$ 以下の微細なものであった。これより、外ケーブルを定着突起を用いて定着する場合には、ウェブと下床版の隅角部に定着すると同時に、ある程度定着突起長を確保することにより定着体と主桁の界面に発生するひび割れを抑制出来ることがわかった。また、定着突起の形状および長さを決定する場合には、FEM解析を用いることが有効であることがわかった。

3.3 長期における性状について

A-2 供試体については、 $0.7 \sigma_{pu}$ 相当 ($P=868kN$) の緊張力を作用させた状態で30日間長期計測を行った。図-9に経過日数と緊張力の推移を図-10に定着具直下の下床版鉄筋に配置した鉄筋のひずみを示す。これより、時間の経過とともにクリープ乾燥収縮などの影響により緊張力が減少しているのがわかる。それに対して、下床版の鉄筋ひずみについては緊張力保持後3日目位まで鉄筋ひずみが増加した後、ひずみが安定していることがわかる。A-2 供試体については、緊張力保持後1週間目の観測でひび割れが確認された。これより、外ケーブルの定着突起については緊張した時点よりも緊張が完了してから数日後の方が鉄筋のひずみが大きくなることがわかった。



(単位 N/mm^2)

図-8 FEM解析における主応力図 ($0.7\sigma_{pu}$ 時)
(A-1、A-2、A-3)

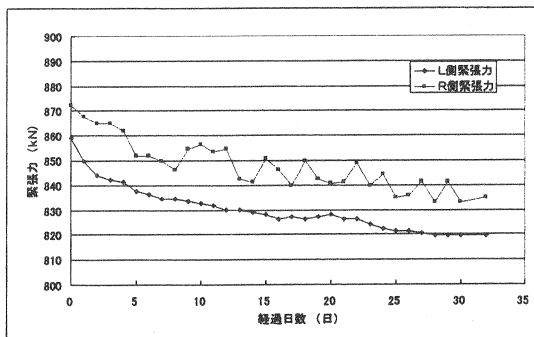


図-9 緊張力の推移

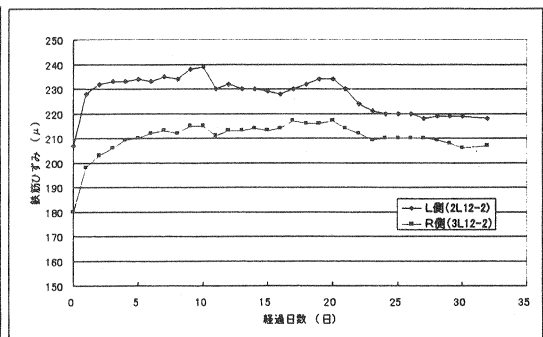


図-10 下床版鉄筋ひずみの推移

3.4 定着部の補強鉄筋について

図-11に着目する補強筋のひずみゲージを示す。図-12に A-1 および A-2 の最前列の補強筋における緊張力と鉄筋ひずみの関係を示す。これより、A-1 供試体においては定着突起を後打ちした右側定着突起の鉄筋ひずみが左側定着突起の鉄筋ひずみに比べてかなり大きくなった。ただし、主桁と定着突起間に付着の無い A-1 の右側突起部においても鉄筋ひずみが 400μ 程度であり、引張力に対する補強は十分であったといえる。A-2 供試体については、左側定着突起部と右側定着突起部とで鉄筋径を変化させたが、鉄筋ひずみはほぼ同等のものとなった。これは、着目鉄筋ゲージ付近にひび割れが入っていないため、鉄筋のひずみがコンクリートのひずみと同等のものとなり鉄筋ひずみに差がでなかったものと推測される。

また、定着突起のずれに関しては、補強筋の前面と背面のひずみの差は最大で 50μ 程度であり、補強筋に顕著な曲げは生じなかった。また、 $P=1350\text{kN}$ を作用させた場合にも、定着突起が水平方向にずれる挙動は確認されなかった。したがって、下床版およびウェブに定着した場合には、下床版およびウェブが変形することにより、引張力が卓越しせん断力によるずれは起こりにくことが分かった。逆に、補強筋を多く配置することにより下床版およびウェブの変形が大きくなり、補強されていない部分にひび割れが移行する可能性があるため、主桁と定着突起の界面の補強も重要であるが定着突起付近の主桁を十分補強しておくことが重要であると考えられる。

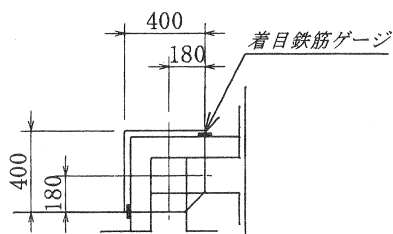


図-11 着目鉄筋ゲージ

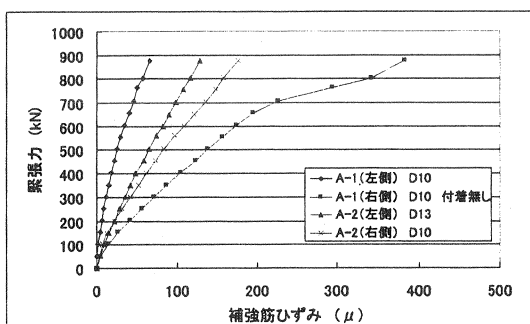


図-12 緊張力と補強筋ひずみの関係

4. おわりに

外ケーブルを定着突起により下床版付近に定着したケースを想定し、モデル供試体に対して載荷実験を行った結果、以下の知見を得た。

- (1) 外ケーブルを定着突起により定着する場合には、ウェブと下床版の隅角部に配置するなど外ケーブルの緊張力を主桁に円滑に伝達できる形状とするのがよい。
- (2) 定着突起の形状および長さを決定する手段として、FEM 解析は有効である。
- (3) 定着突起部の補強筋量は、FEM 解析で得られた引張力に応じて配置するのがよい。

最後に、本研究が外ケーブル定着突起の設計の一助となれば幸いである。

<参考文献>

- 1) 西川和廣、内田賢一、廣松新、管谷晃彦：外ケーブル方式PC桁の曲げ載荷実験、プレストレストコンクリート技術協会第9回シンポジウム論文集、pp.553-558、1999
- 2) 西川和廣、廣松新、伊藤公彦：外ケーブルを適用したPCげたのせん断挙動に関する実験、プレストレストコンクリート技術協会第10回シンポジウム論文集、pp.511-516、2000
- 3) (社) 土木学会：コンクリート標準示方書〔設計編〕平成8年度版