

論文 外ケーブルをデビエーター部で定着した PC 梁に関する研究

藤岡篤史 *¹・陸好宏史 *²・ARAVINIHAN Thiru *³・新津正義 *⁴

要旨：一般に外ケーブル式 PC 構造では、終局時におけるケーブルの張力増加は小さく、ボンド式 PC 梁に比べて耐力も小さくなる。本研究では、外ケーブル式 PC 構造のこのような問題点を解決するために、プレストレス導入後に外ケーブルをデビエーター部で定着する方法を開発し、載荷実験を行った。その結果、スパン長とデビエーター間隔の比がある範囲内であれば、外ケーブルの大きな張力増分を期待することができ、曲げ耐力も増大することが明らかとなり、本手法による効果は十分にあることが確認できた。

キーワード：外ケーブル式 PC、終局曲げ耐力、張力増加、デビエーター、定着

1. はじめに

一般に外ケーブル式 PC 梁はボンド式 PC 梁に比べて曲げ耐力が小さくなることが知られている。この原因の一つとして、終局時でのケーブルの張力増加がボンド式に比べて小さいことが挙げられる。すなわち、外ケーブル式 PC 梁では緊張材とコンクリートの間に付着が無いため、外ケーブルの歪みは同位置のコンクリートの歪みとは等しくならない。このため、終局時において外ケーブルの張力増加は小さくなり、ボンド式 PC 梁に比べて曲げ耐力は小さくなるのである。このことは、外ケーブルの高強度を有効に利用していないことを示唆している。このような問題点を解決するために外ケーブルをデビエーター部で定着する方法を開発した。すなわち、デビエーター間における外ケーブルの大きな張力増分を見込み、曲げ耐力の増大を期待しようとするものである。本研究は、外ケーブルをデビエーター部で定着した PC 梁と定着していない PC 梁の載荷実験を行い、その曲げ性状について実験及び解析により明らかにしたものである。

2. 実験概要

実験に用いた供試体は図-1に示すような梁長560cmのT型断面で、デビエーターを2個有する外ケーブル式 PC 単純梁である。デビエーターは梁製作時に梁と一体化して打設した。外ケーブルに用いた PC 鋼材の材料特性を表-1に示す。また、補強筋として引張鉄筋にD10を3本、圧縮鉄筋にD6を4本配置し、せん断補強筋にはD6を10cm間隔でせん断スパン内に配置した。プレストレス導入後の外ケーブルのデビエーター部での定着方法としては、図-1に示すように①楔式定着具のみによるもの（供試体No.A-1）と、②楔式定着を施すとともに、定着完了後デビエーター部のシース内にセメントペーストを注入しグラウトを行ったもの（供試体No.A-2）の2種類の方法を用いた。なお、グラウトに使用したセメントペーストの実験当日の圧縮強度は11.5MPaであった。また、デビエーター部には大きな力が作用することが予測できたので、フープ筋などを用いて耐力と剛性が高くなるようにした。

* 1 (株) ピー・エス、工修 (正会員)

* 2 埼玉大学教授 工学部建設工学科、工博 (正会員)

* 3 埼玉大学大学院 理工学研究科生産科学専攻、工修 (正会員)

* 4 埼玉大学大学院 理工学研究科建設工学専攻

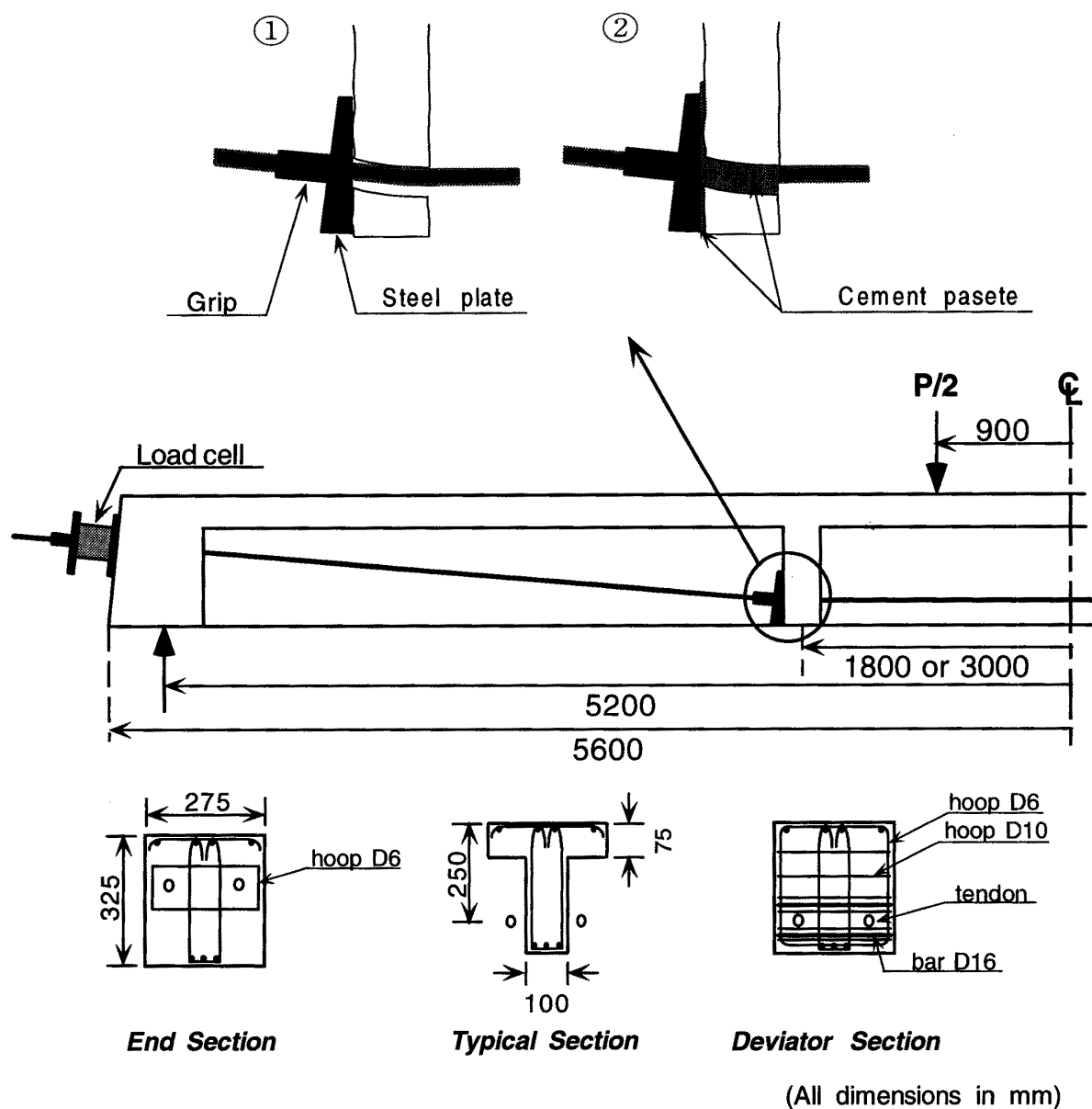


図-1 供試体形状及び配筋状況

表-1 P C鋼材の材料特性

Type of Tendons	Sectional Area (mm ²)	Yeilding load (kN)	Ultimate load (kN)	Young's Modulus (MPa)
SWPR7A ϕ 15.2mm	138.7	204	240	186200

載荷方法は油圧ジャッキによる静的2点載荷とし、等曲げモーメント区間を90cm、スパン長520cmとした。

実験要因は表-2に示すように、外ケーブルをデビエーター部で定着したものをシリーズA、定着していないものをシリーズBとし、さらにデビエーター間隔がこの効果に及ぼす影響を調べるため、シリーズA、Bにおいてデビエーター間隔(Sd)が300cmと180cmのものを製作した。なお、導入プレストレス量は全供試体ともに265kNとした。

3. 実験結果

ひび割れ状況を図-2に示す。シリーズBではデビエーター間隔の違う両者の間で、ひび割れ分布に大きな差は見られなかったものの、シリーズAでは $S_d=180\text{cm}$ に比べて $S_d=300\text{cm}$ の供試体の方が広い範囲でひび割れが発生した。また、シリーズA、Bで比較すると、 $S_d=300\text{cm}$ のものでは両者の間に明確な差は見られなかったが、 $S_d=180\text{cm}$ のものではシリーズAの供試体の方がひび割れ発生域が狭くなった。このことは、 $S_d=180\text{cm}$ の

供試体では外ケーブルをデビエーター部で定着することにより、定着していない供試体に比べてデビエーター間でのケーブルの張力増加がかなり大きくなり、载荷の進行に伴いこの範囲内でのひび割れ耐力が増加したことを表している。

表-2 実験要因

No.	Distance between deviators, S_d (cm)	Condition of cables at deviators	Concrete strength (MPa)
A-1	300	fixed	35.3
A-2	180		35.9
B-1	300	not fixed	37.7
B-2	180		37.7

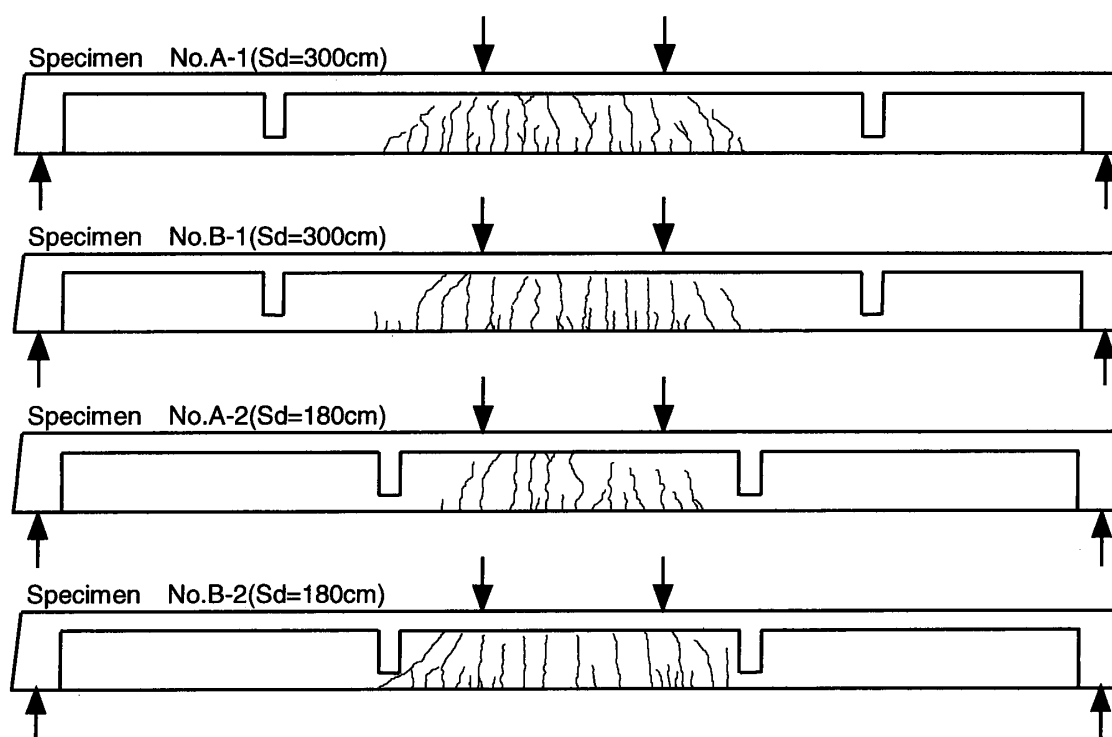


図-2 ひび割れ状況の比較

表-3 実験結果

No.	Distance between deviators, S_d (cm)	Tensile force in tendons between anchor and deviator (kN)	Tensile force in tendons between deviators (kN)	Deflection at ultimate (mm)	Load at ultimate (kN)
A-1	300	321.1	384.8	56	86.2
A-2	180	307.5	449.2	67	99.5
B-1	300	366.8	366.8	61	84.1
B-2	180	366.8	366.8	73	91.1

表-3に終局時におけるケーブル張力とスパン中央変位の実験結果を示す。ここで言う終局時とは最大耐力時のことである。破壊形式はどの供試体も圧縮部コンクリートの歪みが約0.4%に達した時点でのコンクリートの圧壊によるものであった。終局時において、梁端部の定着部とデビエーター間での緊張力はシリーズBの供試体の方が大きくなり、逆にデビエーター間での緊張力はシリーズAの供試体の方が大きい結果となった。特に $S_d=180\text{cm}$ の供試体ではその差が大きく、デビエーター部で外ケーブルを定着した影響が顕著にあらわれている。一方、終局時のスパン中央変位は $S_d=300\text{cm}$ 、 $S_d=180\text{cm}$ の両方でシリーズAの方がシリーズBのものより小さい結果となった。また終局耐力においては、いずれもシリーズAの方がシリーズBのものより大きくなった。シリーズAとシリーズBの耐力を比較すると、No.A-1($S_d=300\text{cm}$)はNo.B-1($S_d=300\text{cm}$)より若干大きくなったのに対し、供試体No.A-2($S_d=180\text{cm}$)は供試体No.B-2($S_d=180\text{cm}$)より約9%大きくなることから明らかとなった。これらの結果からデビエーター間隔が狭いほど本手法は効果的であると言える。

図-3は実験より得られた荷重-変位関係である。この結果から $S_d=300\text{cm}$ の供試体ではシリーズA、Bの間で荷重-変位関係に大きな相違は見られなかった。一方、 $S_d=180\text{cm}$ の供試体では、引張鉄筋が降伏するまでは両者の間に違いはほとんど見られなかったものの、鉄筋降伏後の剛性低下は供試体No.A-2に比べて供試体No.B-2の方が明らかに大きく、終局耐力にも大きな差が生じた。

図-4(a)は、実験より得られた荷重と梁端部の定着部とデビエーターの間でのケーブル応力の増加量との関係を、図-4(b)は荷重とデビエーター間のケーブル応力の増加量の関係を示したのである。これらの図から定着部とデビエーター部の間での応力増加量はシリーズBの方が大きく、逆にデビエーター間での応力増加量はシリーズAの方が大きくなるこ

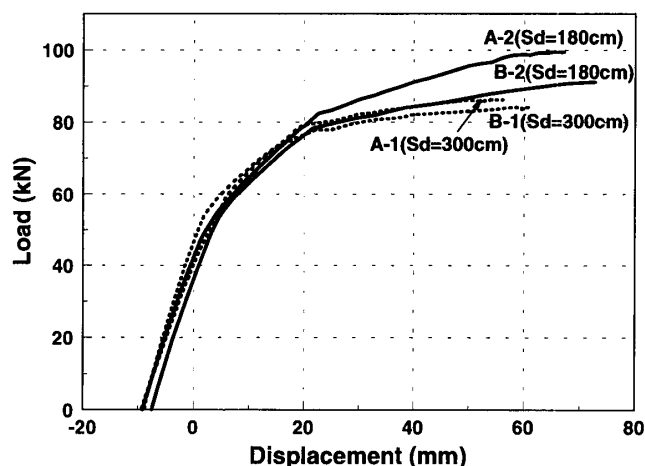
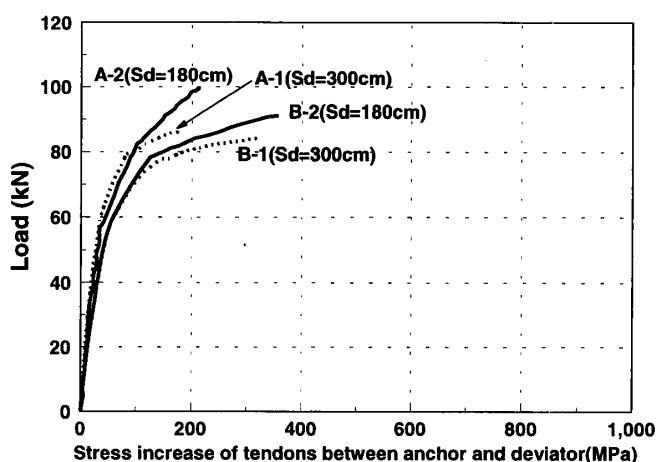
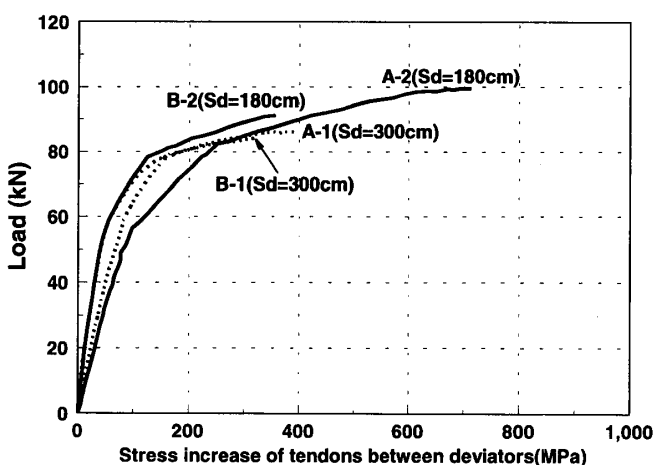


図-3 荷重-変位関係

図-4(a) 荷重-ケーブル応力増加量関係
(定着部～デビエーター)図-4(b) 荷重-ケーブル応力増加量関係
(デビエーター間)

とが分かる。終局時におけるデビエーター間でのケーブルの応力増加の値は供試体No.A-1($S_d=300\text{cm}$)では供試体No.B-1($S_d=300\text{cm}$)の約1.2倍であったのに対し、供試体No.A-2($S_d=180\text{cm}$)では供試体No.B-2($S_d=180\text{cm}$)の約2倍となった。すなわち、デビエーター間隔についてのみ言えば、間隔が小さいものの方が本手法を施すことにより、デビエーター間での張力増加量をより大きくすることができ、外ケーブルの高強度を有効に利用できるのである。

4. 解析結果

今回行った実験の解析を変形の適合条件を考慮に入れた外ケーブル式P C梁の曲げ解析プログラム（精算法）¹⁴⁾を用いて行った。

図-5は供試体No.A-2($S_d=180\text{cm}$)と供試体No.B-2($S_d=180\text{cm}$)のデビエーター間でのケーブルの引張歪みとスパン中央変位の関係の実験値と解析値を示したものである。ケーブルを定着していない供試体No.B-2については実験値と解析値はほぼ一致しているものの、定着した場合の実験値は解析値に比べて、かなり小さい結果となった。これは楔式グリップのくい込みなどによりデビエーター部における外ケーブルの定着が完全ではなかったことが原因と考えられる。そこで実験及び解析結果からデビエーター部における外ケーブルの定着率、すなわち低減係数を求め、それを考慮して解析を行った結果、図-6に示すように実験値と解析値が良く一致した。この結果、精算法プログラムを用いてもこの種のP C梁の曲げ解析を十分に行えることが明らかになった。そこで外ケーブルをデビエーター部で定着

する手法がより効果的に働く梁の形状寸法を調べるため、精算法プログラムを用いた数値実験を行った。実験要因には、スパン長とケーブル有効高さの比(L/dps)と、デビエーター間隔とスパン長の比(S_d/L)を選び、これらを変化させて数値実験を行った。なお、解析は外ケーブルをデビ

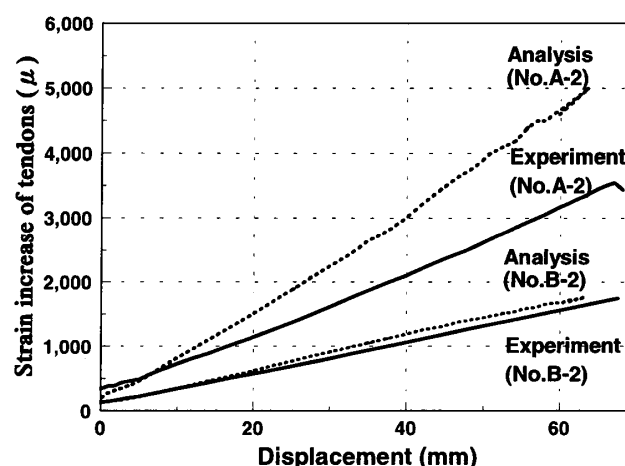


図-5 ケーブル歪みの増加量-変位関係 (デビエーター間)

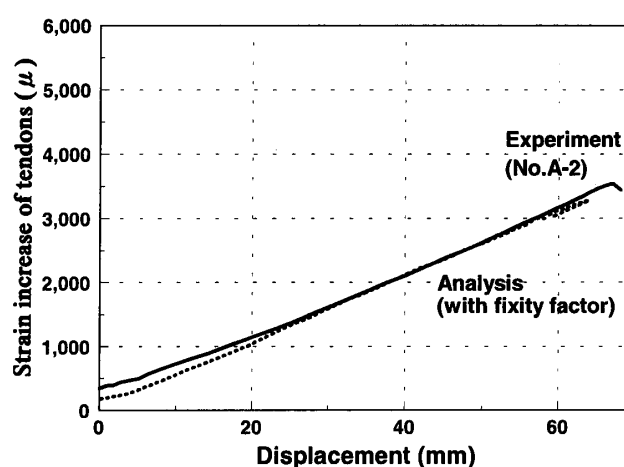


図-6 ケーブル歪みの増加量-変位関係 (デビエーター間) 付着率を考慮

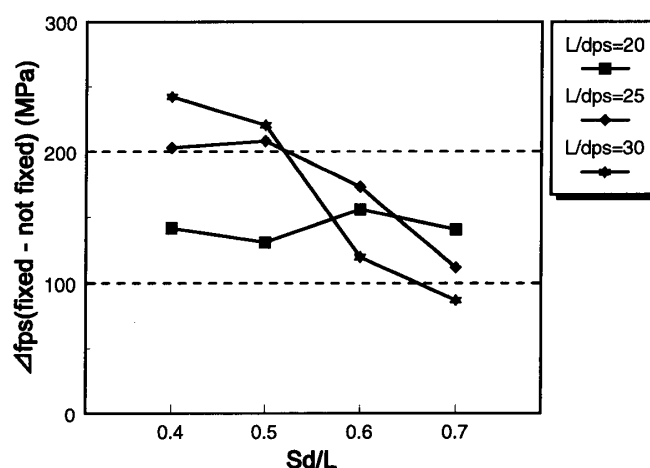


図-7 梁の形状寸法による効果の差

エーター部で定着した場合と定着していない場合について行い、その効果の大きさを検討することにした。その結果を図-7に示す。これから、スパン長とケーブル有効高さの比(L/dps)が25より大きく、デビエーター間隔とスパン長の比(Sd/L)が0.5より小さい場合、本手法がより効果的に働き、終局時における外ケーブルの応力増加をかなり改善できることが明らかとなった。

今後は如何に外ケーブルをデビエーター部で完全に定着するかということと、定着法などによる低減率を定量化することが課題である。

5. まとめ

以下、本研究で明らかになったことをまとめる。

1. スパン長とデビエーター間隔の比がある範囲内であれば、外ケーブルをデビエーター部で定着する方法は曲げ耐力の増大に有効であることが実験的に明らかとなった。
2. 外ケーブルをデビエーター部で定着した場合、外ケーブルの定着率を求めることによって、精算法を用いてもその曲げ性状を精度良く求められることが明らかとなった。
3. $L/dps \geq 25$ かつ $Sd/L \leq 0.5$ の外ケーブル式P C梁に対してケーブルをデビエーター部で定着する手法は、より効果的に働くことが解析的に明らかとなった。
4. 今後は外ケーブルをデビエーター部で完全に定着する方法の開発、あるいは定着方法による低減率を定量化することが必要である。

謝辞

本研究の遂行にあたり、(株)住友電工に協力を頂いた。ここに記して謝意を表する次第である。

参考文献

- [1] 土田一輝、睦好宏史、MATUPAYONT Songkiat、谷口裕史：外ケーブル式P C梁の曲げ性状に関する研究、コンクリート工学年次論文報告集第16巻2号、vol.16、No.2、pp.1009-1014、1994.
- [2] Songkiat MATUPAYONT、Hiroshi MITSUYOSHI、Kazuteru TSUCHIDA、Atsuhiko MACHIDA：Loss of Tendon's Eccentricity in External Prestressed Concrete Beam、vol.16、No.2、pp.1033-1038、1994.
- [3] 土田一輝、睦好宏史、MATUPAYON Songkiat、山口統央：第4回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.13-18、1994.10.
- [4] 睦好宏史、土田一輝、MATUPAYON Songkiat、町田篤彦：外ケーブルP C部材の曲げ性状および曲げ耐力算定法に関する研究、土木学会論文集 No508/V-26、pp.67-77、1995.2