

(85) 大偏心外ケーブルPCモデル桁の載荷実験

日本大学	大学院	正会員	○佐々木養一
鹿島建設(株)	土木設計本部	正会員	山崎 啓治
水産庁	漁港部	正会員	高原 裕一
日本大学	理工学部	正会員	山崎 淳

1. はじめに

理論的最小断面を目指して設計した大偏心外ケーブルPC桁の自碇式吊橋のモデル桁構造(高原裕一ほか[1])の耐荷性能を、1/20縮小構造の実験により調べることを目的とし、この構造の成り立ちの特徴を記述し、実験方法の計画、装置設計の要求仕様、装置の作動・プレストレス導入・供用状態の耐荷挙動を報告する。対象の構造は、桁高、断面係数、プレストレス力、ケーブルサグのすべての最小化を目指す3径間連続桁である。ケーブルは全長連続で曲線配置、中央スパン122m、幅員10m、活荷重 $0.4\text{tf}/\text{m}^2$ の例の構造概要を図-1に、桁断面を図-3に示した。縮小モデル構造の概要は図-2に、また桁断面は図-4に、諸元は表-1に示している。供用状態におけるケーブルと桁の機能を次のように記述しておく。外ケーブルは曲率により上向き力を発生する。外ケーブルの軸力成分は桁の活荷重による曲げ引張り応力を消す。桁は無筋コンクリートとして外ケーブルからの軸力に耐え、特に、ロードバランス(Load Balance: 下向き荷重とプレストレスによる上向き荷重が等しい)により純圧縮部材となる。今回報告の範囲では、縮小構造とモデルとの相似と相違、および独自設計を行った装置各部のキャリブレーション結果も示した。

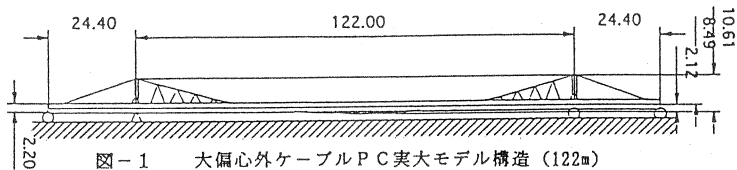


図-1 大偏心外ケーブルPC実大モデル構造 (122m)

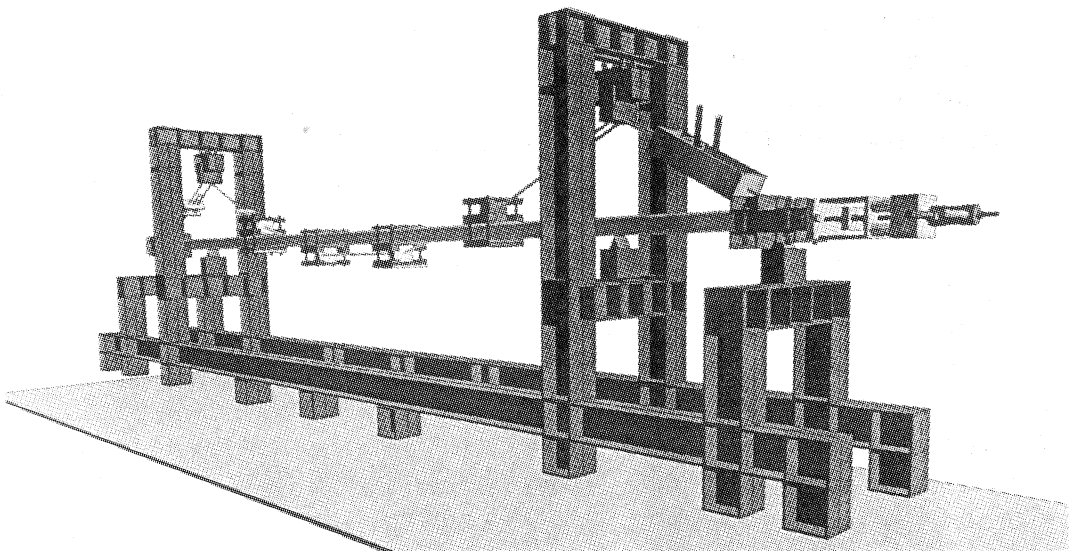


図-2 装置 および 供試体 (C.G. 上橋信行)

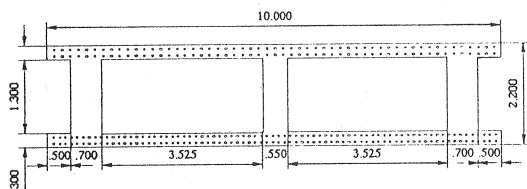


図-3 実大モデル構造・桁断面図

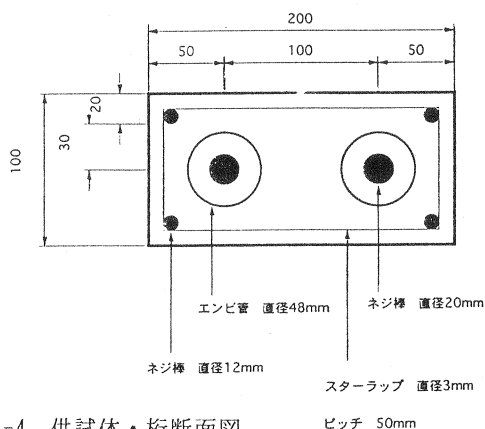


図-4 供試体・桁断面図

2. 実験計画

2.1 実験で確かめべき挙動

以下の各項を確かめる。

(1) プレストレスの導入。

(2) 供用状態における理論との対照：(a) ロードバランスができるか、(b) 外ケーブルと桁の荷重の分担、(c) 活荷重によるたわみ、(d) デコンプレッションに対する安全率。

(3) 設計荷重を越え終局限界状態まで：挙動推移につき、次の4段階の荷重レベルにつき調べる。① 支点部のひび割れ、② スパン中央部のひび割れ、③ ケーブルが弾性限界となるとき、④ 終局限界状態。

2.2 非線形挙動と線形への置換え

解析により、非線形性の強い終局限界状態までの挙動が予測されている(山崎啓治ほか[2])。しかし以下のような考察によりこれを線形に置換えることができる。

終局限界状態近傍でケーブルの応力は引張り強度 f_{pud} の 0.84 ~ 0.93 倍であり、これらとデコンプレッションとの間の区間で線形に置換えられる。コンクリート桁は、終局までの断面も降伏させないならば、こちらもデコンプレッションとの間の区間で線形にできる。

よって、前記(3)の①~④の4段階の荷重レベルにつき、個別に区間線形剛性に行うことができる。すなわち、終局までの載荷試験を、①~④の4回の個別の線形の載荷試験を行うこととする。この場合ケーブルの線形の剛性は、4段階の荷重レベル毎に定めることとする。

2.3 安全機構と精度の確保

安全機構と精度の確保に関して以下を考慮した。外ケーブルPC構造の安全の要目には、材料・応力・剛性・幾何形状・機構学・脱落飛散等に関するものがある。潜在危険の要因は、プレストレッシングおよび緊張材に関し、高応力・ひずみエネルギー・部材寸法が小であること・結合・定着・予期せぬ局部曲げ・偏心・ケーブルの桁外装着があり、コンクリート桁に関しては、高圧縮部材であること・スレンダーであること(細長比192)・終局時の $P\delta$ が大であること(全曲げモーメントの50%を占める)等がある。

緊張材は、上記によって特に留意を要し特殊な構造とした。実際のPC緊張材の材質のものを用いると断面積は 0.354cm^2 となり、断面積が小さすぎて取扱いが極めて困難になる。よって緊張材は7連の高剛性の鋼棒を両端を含め8個のヒンジで連結し、全体が8個の関節で曲がるようにし、荷重による緊張材と桁の変形に鋼棒自体の曲げを伴わずに追従できるようにした。位置決定の精度、容易さと載荷時の安全のために、桁の変形によって不測の移動をせぬように、上部デビエータ(サドル)2か所において外的支持とした。門型フレームをサドル支持の目的で設けた。桁と緊張材の結合箇所は、両端とスパンの4か所である。各ヒンジと桁の結合部で水平移動が容易なようヒンジ内蔵ブロックを

テフロン板を介して鋼板で挟む構造とした。装置・各部詳細・部品は、前記の要求性能に対して設計し、製作されたものを実験室で組み立てた。装置の全体図は図-2、図-6により示す。緊張材および緊張装置の原理は図-5により示す。図中に、コンクリート桁との結合方法(デビエータ)、外的支持のサドルを示す。緊張材の軸剛性調節のためにバネを挿入した状況も同図に示す。また、プレストレス導入は緊張材の中間点に設けた鋼棒にジャッキを挿入して行うものであり、同図に棒の位置を示している。図-5に示す4か所の支承は、滑動・回転は許すが浮上がりは拘束し、かつ受け台に鋼棒で吊り下げる方式で、圧縮力を引張り力に変換して荷重の検出をしやすくしている。

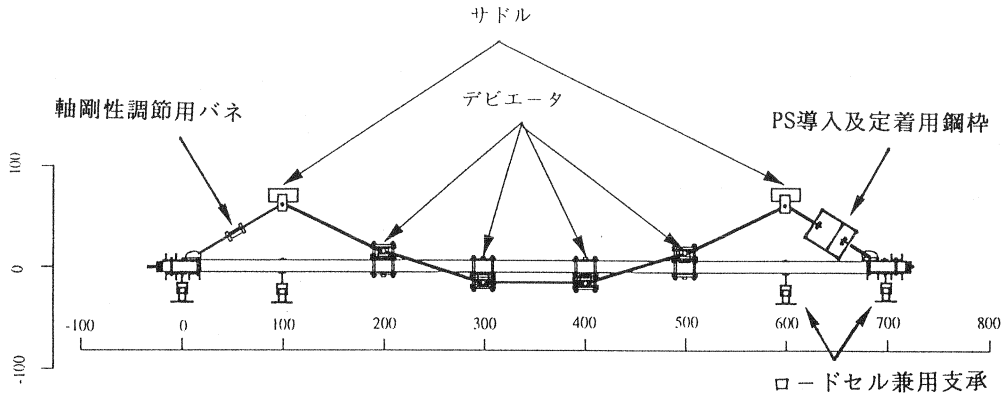


図-5 緊張材の構造概念 および 桁への結合

載荷装置は図-6のような4点載荷であり、下段の荷重分配梁を油圧ジャッキで底部の反力梁の中央部に設けた低い門型フレームに反力を取って押し下げることにより載荷する。4本の載荷ロードには自製のロードセルを挿入している。

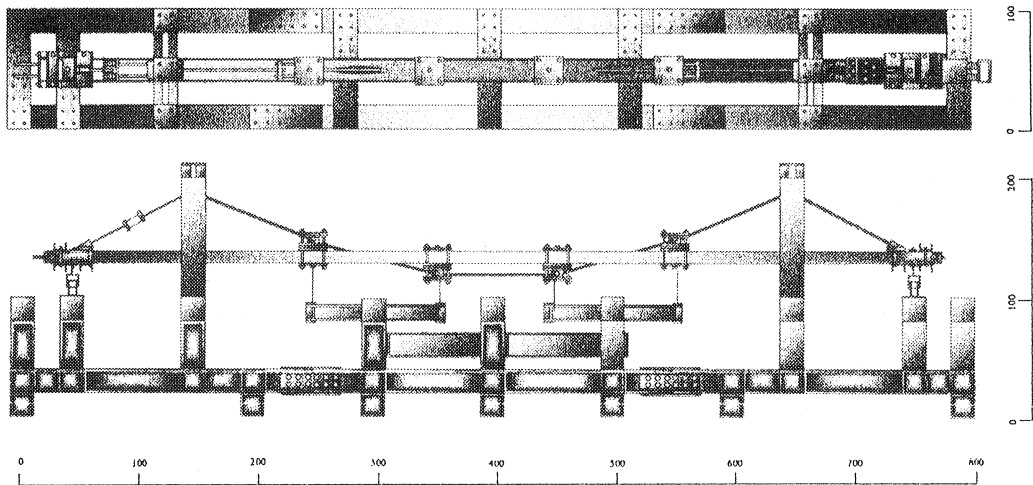


図-6 載荷装置・平面図(上)および正面図(下) (C.G. 上橋信行)

4. モデル構造と縮小供試体の相似と相違

スパン122mのモデル構造と1/24.4の縮小供試体の諸元との対比を表-1に示す。相似比1/24.4で先ず第一段階の縮小を行い、次いで幅を1/2.05に縮小した。断面積は、理論値の2倍強、断面係数および断面2次モーメントは理論値の約2倍となっている。相似の維持の困難点は、箱桁およびケーブルとの結合部の縮小が困難なことに起因する。このモデルとの相違のため、実験結果はモデル構造の挙動の忠実な再現としてではなく、理論と実験との対比として用いるべきものである。

表-1 断面諸元・相似

		実大モデル構造	縮小率	スケールモデル	幅縮小	供試体
スパン		122 m	1/n	500 cm	500 cm	500 cm
幅員		10 m	1/n	41 cm	20 cm	20 cm
R C 桁	桁高	2.2 m	1/n	9 cm	9 cm	10 cm
	断面積	9.1 m ²	1/n ²	153 cm ²	75 cm ²	200 cm ²
	断面2次モーメント	6.1 m ⁴	1/n ⁴	1727 cm ⁴	842 cm ⁴	1666 cm ⁴
	断面係数	5.6 m ³	1/n ³	383 cm ³	187 cm ³	333 cm ³
	鉄筋比 圧縮側	0.7 %	1			0.8 %
	引張側	0.5 %	1			0.8 %
自重補正		NA	n	0.984 tf/m	0.480 tf/m	0.480 tf/m
ケ ー ブ ル	サグ	10.6 m	1/n	43.5 cm	43.5 cm	72.5 cm ⁽¹⁾
	断面積	422cm ²	1/n ²	0.708 cm ²	0.345 cm ²	M20 軸剛性補正 ⁽²⁾
	張力 初期	4806 tf	1/n ²	8.07tf	3.94 tf	2.5 tf
	終局	6964 tf	1/n ²	11.70tf	5.71 tf	

注：

(1) ケーブルの形状をモデル構造と相似とするなら、サグは43.5cmとすべきであるが、今回の供試体では72.5cmとした。プレストレス力を、2.36tf (= 3.94 × 72.5/43.5) とすれば上向き力は同じである。数値を丸めて2.5tf を使用した。サグ最小の条件でモデルを設計したが(文献[1])、サグを大きくしプレストレスを減ずることの利点もあり、状況に応じて変化させるべきパラメータである。今回の実験では、プレストレスを減じて、破壊時の応力条件を緩和することも考え、このような条件に設定した。サグとプレストレスの最適組み合わせ条件の検討は今後の検討課題と考えている。

(2) ケーブルの軸剛性を調節するならば、断面積を相似にする必要はない。2.節で述べた考察により断面積にゆとりを持たせるため、M20の全ネジ棒を緊張材に用い、軸剛性はバネを挿入して調節した。(既述、図-5,6)

5. 載荷実験と計測結果

載荷到達目標の設計荷重(供用限界状態)および支点およびスパンでのひび割れ荷重でのたわみと緊張材の応力の理論値を表-2に示す。

表-2 目標荷重での構造の状態とたわみおよび外ケーブル応力理論値

構造の状態	荷重	たわみ		外ケーブルの応力増分	
	tf	mm	たわみ/ スパン	kgf/cm ²	$\Delta \sigma / f_{pud}$
設計活荷重	0.400	3.50	1/1,430	868	0.046
支点ひび割れ	0.554	4.85	1/1,030	1,203	0.063
スパン中央ひび割れ	0.924	8.08	1/ 620	2,203	0.105

注：ロードバランスを基準とした数値である。ロードバランス時の上向きプレストレスは2.5tf。下向き荷重は、桁自重0.25tfおよび補正死荷重2.25tf。よって荷重は、油圧ジャッキによる荷重のみであり、諸値は、ロードバランス時の数値をゼロとしている。

荷重-たわみ関係は図-7に、荷重による外ケーブルの張力増加は図-8に示すとおりであり、いずれも理論値との対比は良好である。

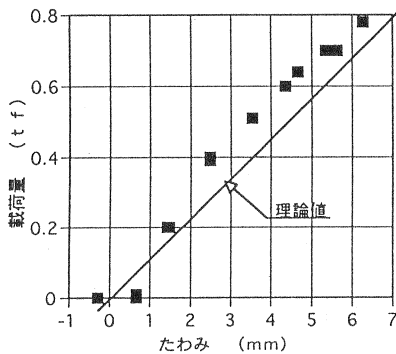


図-7 荷重-たわみ

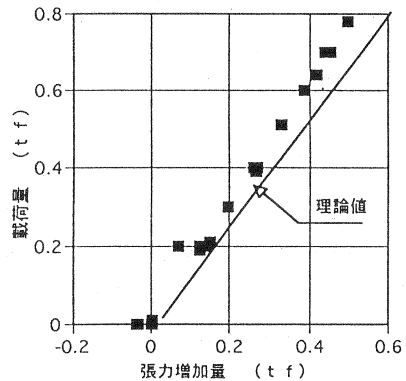


図-8 外ケーブル張力増加

図-9は外ケーブルのプレストレス導入結果を示すが、摩擦損失は許容できる範囲であった。

支承・載荷ロッド・外ケーブル・外ケーブルの軸剛性調節バネのキャリブレーション結果は図-10, 11, 12, 13（次頁）に示す通りであり、線形性があり、また同一部品の場所によるばらつきも許容できる範囲であることが確かめられた。

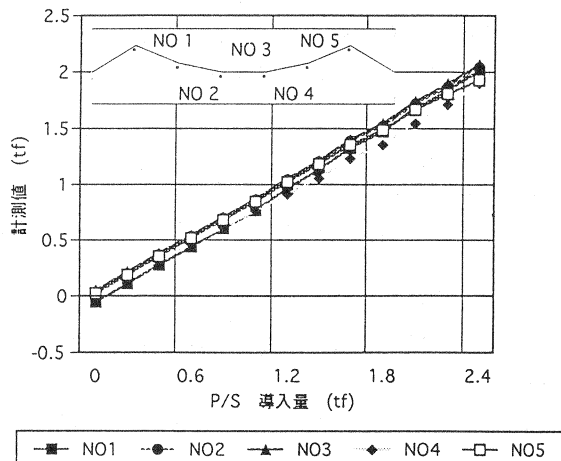


図-9 外ケーブル・P/S・伝達状況

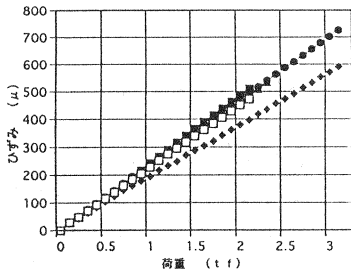


図-10 支承・仕上りレジン

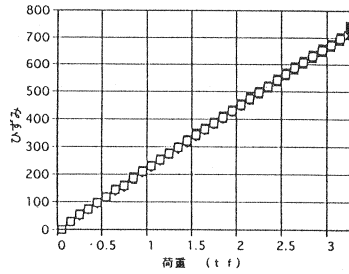


図-11 柱荷ロッド・仕上りレジン

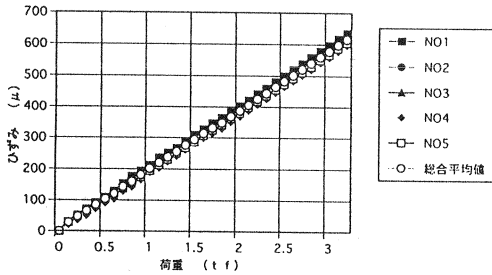


図-12 外ケーブル・仕上りレジン

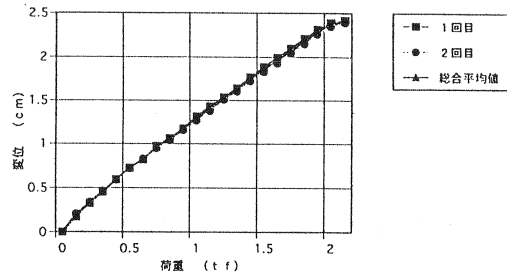


図-13 外プレート剛性調節パネル・仕上りレジン

6. まとめ

実験目的のうち、装置の作動・プレストレス導入・供用状態の挙動は、ほぼ予測に合っており満足できるものであった。供用限界状態での安全性要求が満たされる事が確認できた。終局限界状態の実験に進むための前提条件を満足できることが確認され、現在は終局限界状態の実験準備を進めている。

謝辞

装置組立および実験は日本大学理工学部土木工学科材料実験室で行った。装置および供試体の設計・製作は、山森勇三郎、長嶋太郎、後藤博、佐藤功一、柿田竜太郎、上田一雄(平成6年卒)、小石川隆太(平成6年修士)、供試体作成協力、載荷装置設計および載荷試験は、上橋信行、丸山伸孝、谷部哲男、内か島洋子、高田陽子(平成7年卒)の各氏の協力により行った。載荷装置鋼構造部品の設計製作は小池敏之氏(不二鉄鋼株式会社)の教示と協力に負うところが大きい。装置製作費用の一部は、住友建設株式会社の委託研究費によるものであり、上原精二博士(技術研究所長)、藤田学氏(主任研究員)、新井英雄氏(PC設計チームリーダー)、ならびに則武邦具博士(元設計部長、現(株)日本構造技術研究所)の御助力に対し厚く御礼申し上げる。

参考文献

1. 高原・山縣・藤田・山崎：大偏心外ケーブルPC桁の設計の合理性，PC技術協会第6回シンポジウム論文集，1996年10月
2. 山崎(啓)・高原・佐々木・山崎：大偏心外ケーブルPC桁の耐荷機構の解析，PC技術協会第6回シンポジウム論文集，1996年10月