

報告 大偏心外ケーブルPC 桁の載荷実験

佐々木 養一^{*1}

要旨：理論的最小重量の桁の耐荷性能を、3径間連続大偏心外ケーブルPC桁の自碇式吊橋のモデル桁構造（中央スパン122m）の1/24.4 縮小構造の実験により照査する。縮小供試体は外ケーブルPC構造のため安全機構が必要とされ装置・各部詳細・部品は、この要求性能にそって設計し、作成・加工したものを組み立てた。実験は、プレストレス導入、供用状態における理論との対照と終局状態までの挙動推移の確認を目的としている。今回は弾性範囲の載荷を行い、理論値との対比、直線性、再現性など、目標の精度の許容範囲内であった。

キーワード：大偏心外ケーブルPC、縮小構造、載荷実験、3径間連続桁

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、1/24.4縮小構造の実験により調べることを目的とする。また、理論的に本構造は従来の形式と比較して最小重量の桁といえる。ここでは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、装置の動作・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 0.400tf/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。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特徴および弾性範囲内の載荷実験結果を示す。

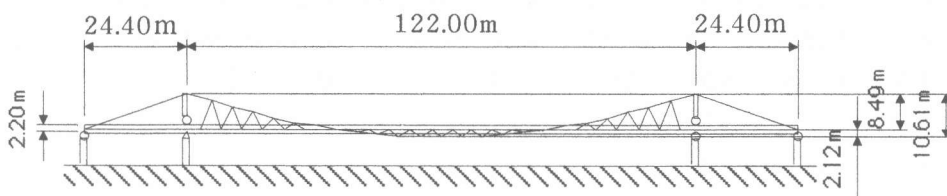


図-1 大偏心外ケーブルPC実大モデル構造 (122m)

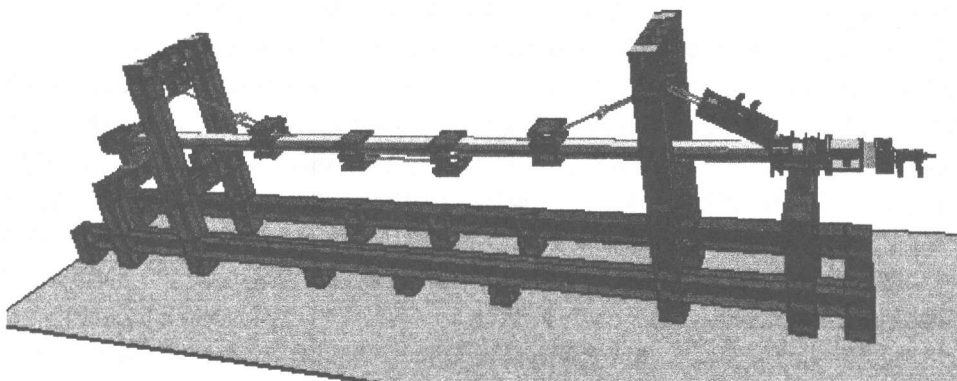


図-2 装置 および 供試体 (C.G 上橋信行)

* 1 日本鉄道建設公団 (正会員)

2. 実験計画

2. 1 実験で確かめるべき挙動

以下の項目を確かめる。

- (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)ロードバランスの可能性
- (b)活荷重によるたわみ
- (c)外ケーブルと桁の荷重の分担
- (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の挙動推移につき、次の4段階の荷重レベルにつき調べる。

- ①支点部ひび割れ発生時
- ②スパン中央部のひび割れ発生時
- ③ケーブルの弾性限界時
- ④終局限界状態

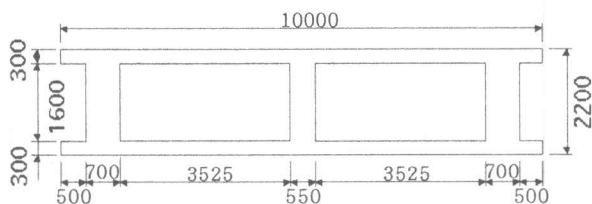


図-3 実大モデル構造・桁断面図

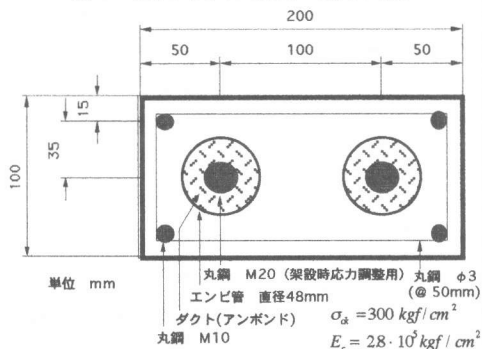


図-4 供試体桁断面図

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と考える。終局限界状態近傍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とする。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と考えた。計画中の終局までの載荷試験は、支点部鉄筋降伏・終局限界状態の2回の線形の載荷試験を予定している。この場合ケーブルの線形の剛性は一定とし、終局時は桁の耐力を低減させることによりケーブルの負担割合を大きくさせることにする。

2. 3 安全機構と精度の確保

実験は未熟練の学生が行うことを考慮し、装置にいくつかの安全対策を組み込んだ。外ケーブルPC構造の安全項目には、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。存在危険の要因は、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Pδが大であること(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を用いると断面積は、0.207cm²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カ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カ所である。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版で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、制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、PC鋼線とバネ付き鋼棒の材料特性値を図-7に示す。ケーブル張力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力所の支承は、活動・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。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。緊張材、支承、載荷ロッドには自製のロードセルを挿入している。活荷重は、L荷重（B活荷重）を基本とした。スパン122mにおいて発生する曲げモーメントを等分布荷重に換算すると 0.385 tf/m^2 となり 0.400 tf/m^2 の活荷重は実験の仕様を十分満たしたものとなっている。

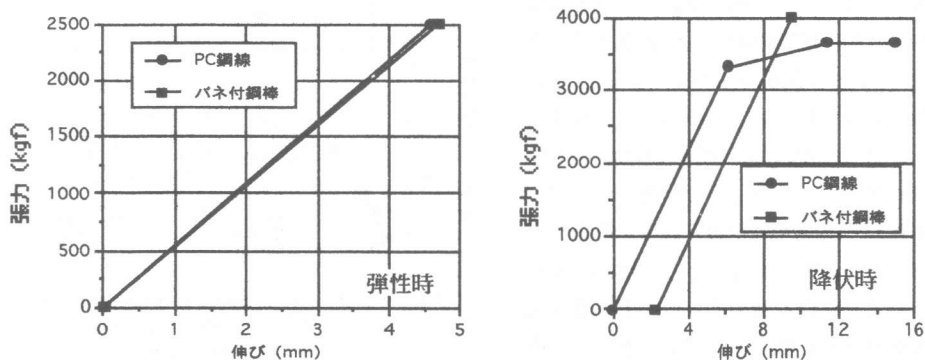
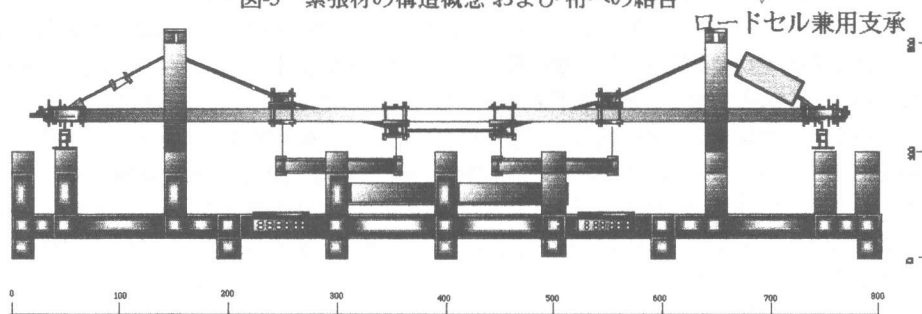
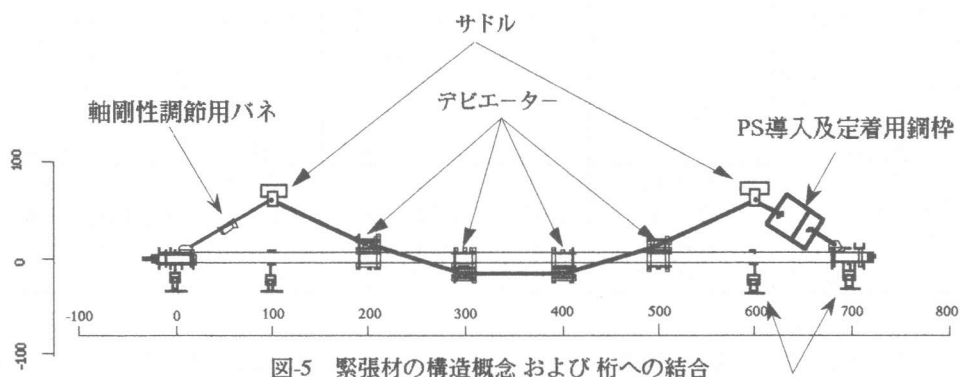


図-7 PC鋼線 および バネ付き鋼棒の材料特性

3. 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。相似の維持の困難な点は、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 箱 桁	桁高	1/n	9 cm	9 cm	10 cm
	断面積	1/n ²	153 cm ²	75 cm ²	200 cm ²
	断面2次モーメント	1/n ⁴	1727 cm ⁴	842 cm ⁴	1666 cm ⁴
	断面係数	1/n ³	383 cm ³	187 cm	333 cm ³
	鉄筋比 圧縮側	1			0.8 %
	引張側	1			0.8 %
	自重補正	n	0.984 tf/m	0.480 tf/m	0.480 tf/m
ケ ー ブ ル	サグ	1/n	43.5 cm	43.5 cm	72.5 cm ⁽¹⁾
	断面積	1/n ²	0.708 cm ²	0.345 cm ²	M20 軸剛性補正 ⁽²⁾
	張力 初期	1/n ²	8.07 tf	3.94 tf	2.5 tf
	終局	1/n ²	11.70 tf	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整するならば、断面積を相似にする必要はないと考えている。3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-6,7)

4. 載荷実験と計測結果

載荷到達目標の設計荷重-たわみ関係の理論値を図-8に示す。載荷範囲は、設計ロードバランスから500 kgf(活荷重の1.2倍)とした。今回の実験結果は、外ケーブルのプレストレス力を1,800 kgfとしたが、弾性範囲の挙動に影響はない。ロードバランスとは、プレストレス力による上向き力と下向き力が釣り合う状態をいう。今回の実験では、桁が真っ直ぐな状態の時をロードバランスとした。諸値は、ロードバランス時の数値をゼロとしている。載荷荷重は、油圧ジャッキにより行う。

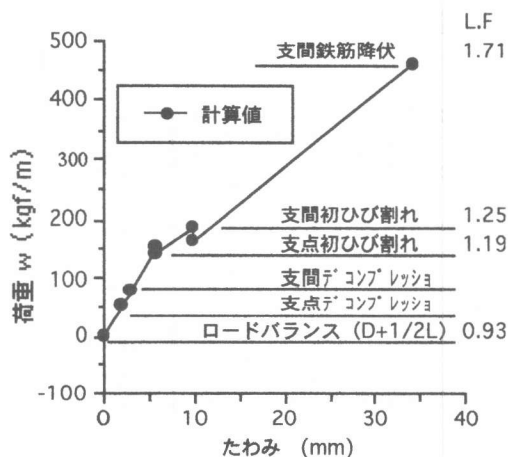


図-8 荷重-たわみ関係図(理論値)

外ケーブルのプレストレス導入結果を図-9に示す。ケーブル張力はプレストレス量の82%～110%で片引きにも関わらず良好な結果が得られた。ケーブル緊張時の摩擦損失は許容できる範囲であることが分かった。プレストレスによる上向き力は図-10に示すように理論値通りに発生したことを確認した。導入プレストレス1,800 kgf に対し上向き力1,584kgfが得られた。荷重-たわみ関係を図-11に示す。たわみがゼロのまま上向き荷重が増加しているのはジャッキによる縮小に対する自重補正の

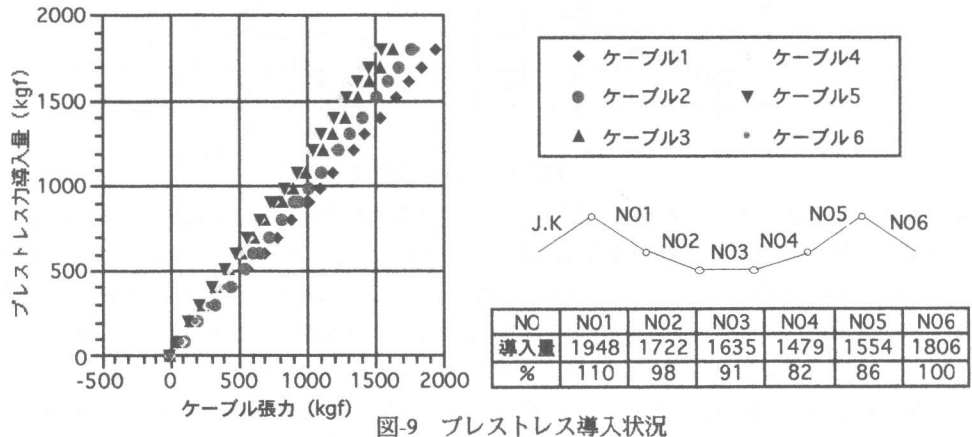


図-9 プレストレス導入状況

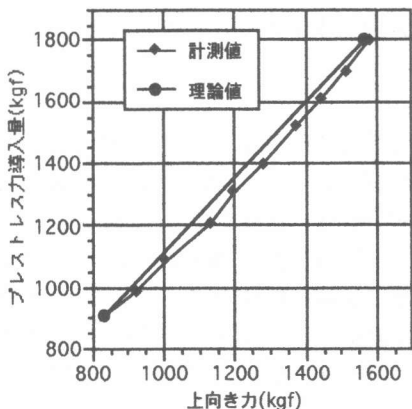


図-10 プレストレスと上向き力の関係

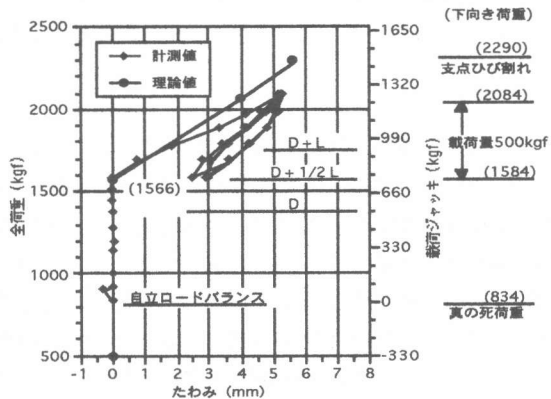


図-11 荷重-たわみ関係図 (実験値)

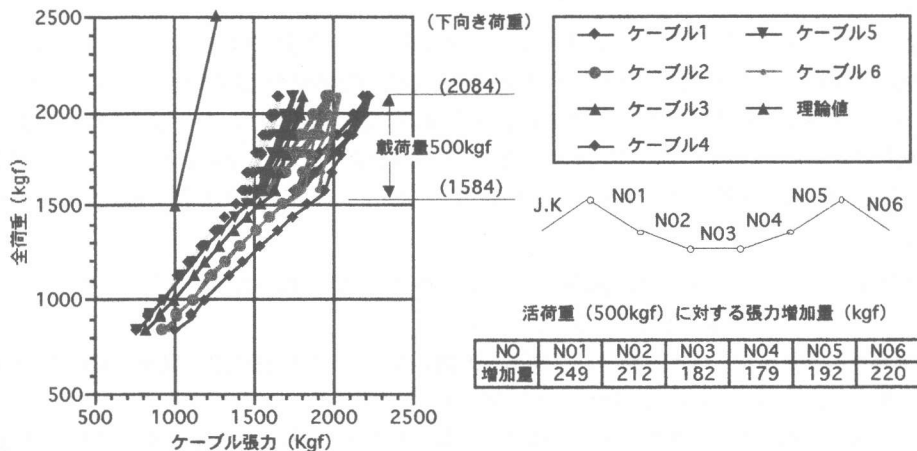


図-12 載荷による張力増加量

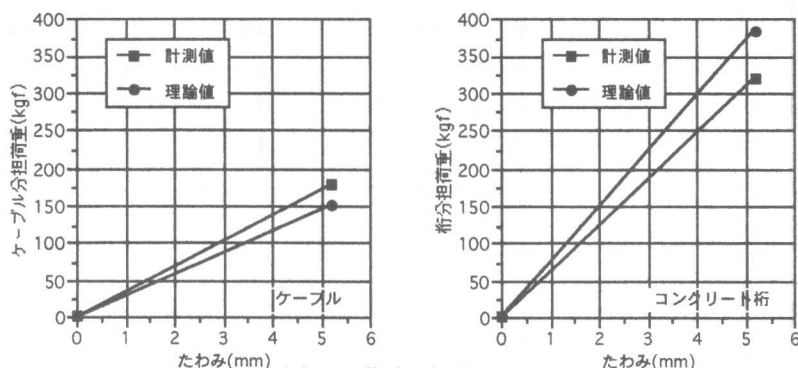


図-13 荷重分担割合

ための下向き荷重をかけ、バランスさせながらケーブル張力を緊張したことを示している。載荷範囲は設計ロードバランスから500kgf載荷と除荷を4サイクル行った。載荷量500 kgf に対したわみが5.2mmとなり理論値4.0mmに対し、やや大きな結果となった。除荷にさいし約2.5mmの残留たわみが確認され、除荷時にデビエータおよびサドル部で摩擦による抵抗があると考えられる。荷重による外ケーブルの張力増加は 図-12 に示したように、たわみ5.2mmに対し導入プレストレスから平均で11.4%増加した。理論値のたわみ5.2mmの時の張力増加は9.6%であり、良好な結果が得られた。荷重分担比を 図-13 に示す。ケーブル：桁が36：64とケーブルの分担が理論値 23：77 に対してやや大きい結果となっている。たわみが大きくでたことから桁の剛性が予想よりも低いと考えられる。

5. まとめ

プレストレス導入状況は82%～110%と片引きにも関わらず良好であった。プレストレスにより発生する上向力の誤差は1 % であり設計ロードバランスが確認できた。たわみが載荷量 500 kgf に対し5.2mmとなり理論値よりやや大きな結果となった。桁の剛性を検討する必要がある。荷重分担比、ケーブル：桁は理論値23：77に対し、36：64であった。プレストレスの導入・設計ロードバランスが確認できたことからモデルとしての機能を確認した。活荷重による除荷時に対する残留たわみが確認され、デビエータおよびサドル部での除荷に対する可動が滑らかでないことが考えられ今後の課題として上げられる。次の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

本稿は、日本大学理工学部土木工学科材料実験室において、平成6・7・8年度 学部・大学院生および卒業生の共同により行ってきた研究を平成8年度修士論文（指導教授山崎淳）にまとめたものに基づいている。装置制作費用の一部は、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、現在（株）日本構造技術研究所）の御協力に対し厚く御礼申し上げる。

参考文献

- [1] 高原裕一，山縣敬二，藤田 学，山崎 淳：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，pp.427 - 432、1996.10
- [2] 山崎啓治，高原裕一，佐々木養一，山崎淳：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，pp.433 - 438、1996.10
- [3] 佐々木養一，山崎啓治，高原裕一，山崎淳：大偏心外ケーブルPCモデル桁の載荷実験，PC技術協会第6回シンポジウム論文集，pp.439 - 444、1996.10