

大偏心外ケーブルPC鋼トラス複合桁のせん断力に起因する終局限界状態の実験

日本大学	大学院	正会員	○萩原 直樹
日本大学	理工学部	正会員	井戸 功誠
(株)ピー・エス			藤塚 大寿
日本大学	理工学部	正会員	山崎 淳

1. はじめに

大偏心外ケーブルPC桁のケーブルサグ・桁高等の諸元を最小とするように構造を決定する方法として、EL 設計理論を考えた¹⁾。力学的により効率的な構造を目指し、複合桁を取り入れた構造について検討している。今までに大偏心外ケーブルPC鋼トラス複合桁(自碇式吊橋形状)についてスパン180mのモデル構造を考え、その1/36縮小模型(スパン5m)を製作し(写真-1)、様々な検討を行ってきた^{2)~6)}。昨年は、縮小模型の概要とプレストレス導入実験について報告した⁶⁾。

本報告は、大偏心外ケーブルPC鋼トラス複合桁の破壊モードを確認する目的で行った載荷実験について報告する。この実験は、ロードバランス^{注1)}にある状態から載荷を開始し、破壊までの載荷実験を行なった。その結果、載荷点付近でのせん断力に起因するトラス材の座屈破壊が起こった。破壊挙動のひとつを確認した。

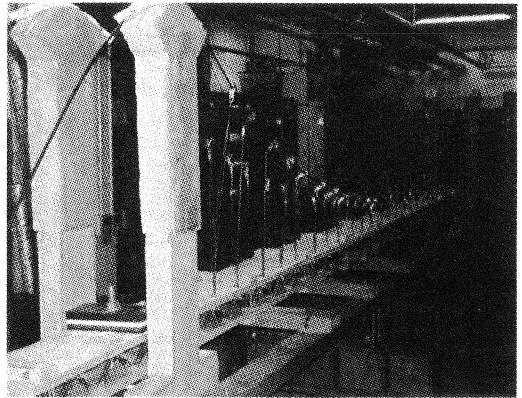


写真-1 実験装置全体図

注1) ロードバランス状態とは、上向き力(ケーブル張力による)が、下向き力(載荷ジャッキによる)+総自重(桁自重+載荷装置自重)と釣り合い、桁にモーメントが発生していない状態である。

2. 1/36縮小模型について

2.1 1/36縮小模型の概要

この実験で用いた実験装置及び1/36縮小模型について、全体写真を写真-1、側面図を図-1、2に示し、その構造諸元を表-1に示した。

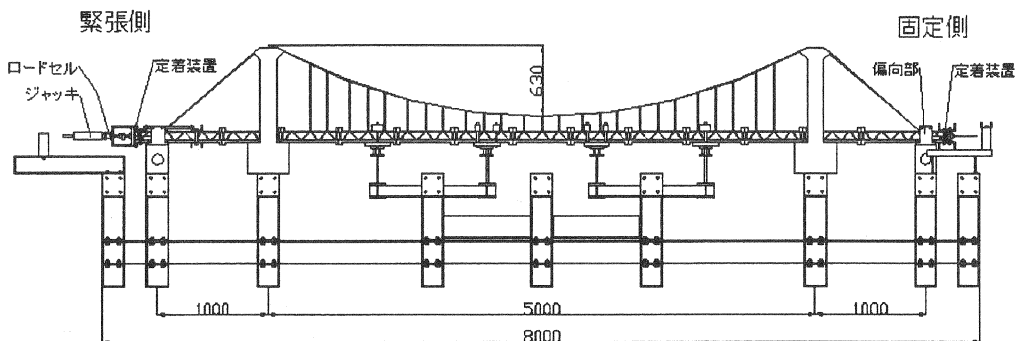


図-1 実験装置側面全体図

桁は上下床版と鋼トラスウェブからなる。桁を13個のセグメントに分割して制作し、3径間連続2面吊りの自碇式吊橋とした。主ケーブルによって発生する上向き力は、ハンガーケーブルを介して桁に伝えられる。また、主ケーブルを端部に定着することで桁にプレストレスを伝えられる構造である。縮小模型の主な諸元は、スパン5000mm、側径間1000mm、桁高100mm、幅員200mm、ケーブルサグ630mmである。(詳細については参考文献[6])

表-1 構造諸元

スパン(mm)	5000	コンクリート圧縮強度(N/mm ²)	40
幅員(mm)	200	主ケーブル(PC鋼線)	SWPD3
桁高(mm)	100	主ケーブル弾性係数(kN/mm ²)	200
ケーブルサグ(mm)	630	使用ハンガーケーブル	M3ネジ棒

2.2 荷重装置

荷重装置側面図を図-2に示した。

中央スパンを5等分する4点に荷重点を設けた。スパン中央下側に設置した荷重ジャッキにより、4点にそれぞれ等しい荷重が荷重されるように、トーナメント形式とした。

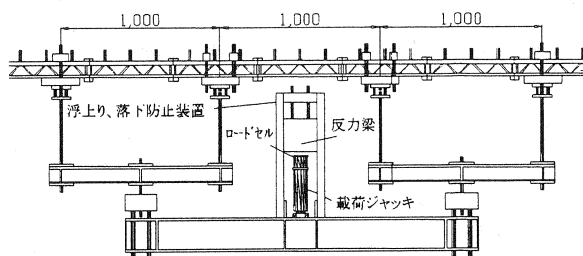


図-2 荷重装置側面図

3. 実験概要

3.1 実験目的

以下の目的のもと実験を行った。

- ・ 大偏心外ケーブルPC鋼トラス複合桁の破壊挙動と構造特性を確認する。
- ・ 桁を大きくたわませたときの状態を確認し、今後の改善点を見つけ出す。

3.2 初期状態

荷重実験開始時の荷重状態を初期状態とし、各実験における初期状態を表-2に示した。実験1における状態を初期状態1、実験2における状態を初期状態2とした。

模型の縮小化等により、実験では、23.15kNのケーブル張力(上向き力23.33kN)を導入した状態を想定していた。しかし、実験装置の問題により、今回は、ケーブル張力(16.33kN)まで導入した状態を初期状態として、実験を行った。

表-2 初期状態

	初期状態1	初期状態2
支間中央変位(mm)	0	0
ケーブル張力(kN)	16.33	18.02
上向き力(kN)	16.46	18.16
導入軸応力(N/mm ²)	2.15	2.25
総自重(kN)	5.9	5.9
下向き力(kN)	10.33	13.81

3.3 実験内容

実験1, 2ともに、初期状態から荷重した。以下に、各実験の内容について述べる。(以降、荷重荷重とは初期状態からの荷重量を示す。)

【実験1】: 桁の鉄筋の降伏まで(予測値計算、鉄筋降伏荷重27.83kN、変位33mm)を確認する実験とした。降伏荷重になる前にトラス材の変形が大きくなったため変位が36mmまでとした。その後、変位0~36mmの間で荷重-除荷を繰り返した。

【実験2】: 実験1で座屈したトラス材のあるセグメントを補強し (写真-2)、実験1より大きく桁を変形させた状態と破壊挙動を確認するための実験とした。中央変位が 56mm まで载荷したところで、桁がせん断力に起因する座屈破壊を起こし、実験終了とした。

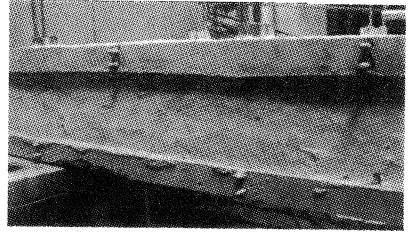


写真-2 補強したセグメント

3. 4 予測値

予測値計算の結果を表-3に示した。

荷重分担割合については、桁分担が 19%、ケーブル分担が 81%と常にほぼ一定の値となった。(ケーブルの分担割合は、載荷荷重とケーブル上向き力の増分の割合)

予測値計算を行うにあたり、ケーブル、桁については、次の仮定に基づいて行った。

- 仮定1: 載荷後の桁とケーブルのたわみは、スパン中央でのみ等しい値とし、桁は通常のたわみ曲線、ケーブルは2次放物線形状を維持する。
- 仮定2: 主塔の頭頂部 (サドル部) は、変位がない。
- 仮定3: 桁を連続体とした。

表-3 予測値計算結果

	変位 (mm)	載荷荷重 (kN)
床版内鉄筋降伏	33	27.83
主ケーブル降伏	77.4	60.11
コンクリート圧壊	114.9	63.95

4. 実験結果と考察

4. 1 載荷荷重-変位関係、荷重分担割合について

【実験1】

実験1における、載荷荷重-変位関係、荷重分担割合についてそれぞれ図-3、4に示した。

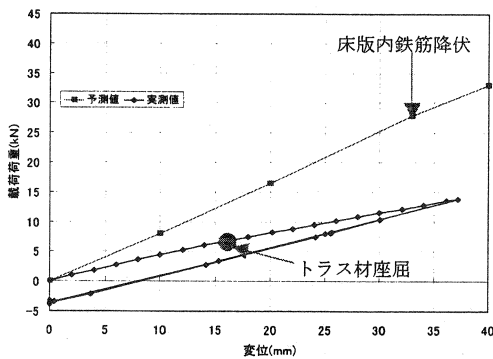


図-3 載荷荷重-変位関係図 (実験1)

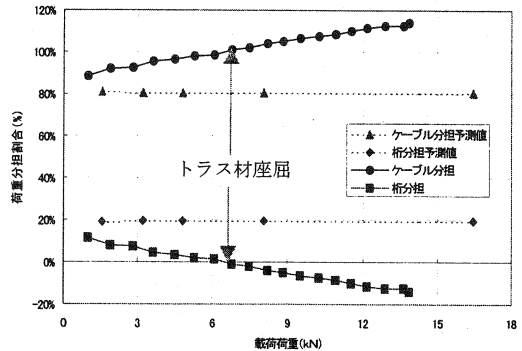


図-4 荷重分担割合 (実験1)

図-3より、載荷荷重-変位関係はほぼ直線的な挙動を示しているが、トラス材の座屈後に、やや傾きが緩やかになっていることがわかる。

図-4より、予測値は、この荷重範囲においては一定の値をしめしているが、実測値は変動していることがわかる。また、トラス材の座屈の時、ケーブル分担割合が 100%となり、以後、ケーブル分担割合は 100%を超える値を示した。トラス材の座屈以降、載荷荷重全てをケーブルで分担し、桁の抵抗は無くなった。し

かし、載荷荷重-変位関係では座屈後も直線的な挙動を示し、抵抗力がある構造であることを示している。

【実験 2】

実験 2 における、載荷荷重-変位関係、荷重分担割合についてそれぞれ図-5, 6 に示した。

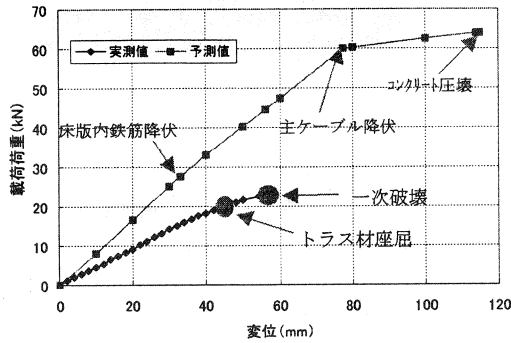


図-5 載荷荷重-変位関係図 (実験 2)

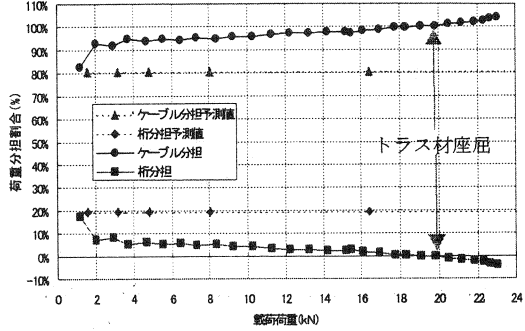


図-6 荷重分担割合 (実験 2)

図-5 より、載荷荷重-変位関係はトラス材の座屈まで、ほぼ直線的な挙動を示している。トラス材の座屈後、少し傾きが緩くなっていることがわかる。

図-6 より、トラス材の座屈の時、ケーブル分担割合が 100% となった。以後、ケーブル分担割合は 100% を超える値を示している。また、トラス材座屈後の分担割合の変動量が大きくなっていることがわかる。

実験 2 においても実験 1 同様に、荷重分担割合では、トラス材の座屈以降、載荷荷重全てをケーブルで分担し、桁の抵抗は無くなったのに対し、載荷荷重-変位関係では、桁の抵抗力があることを示していることがわかる。

以上、実験 1、2 から、トラス材の座屈後も、桁は粘りのある挙動を示し、抵抗力を持つことを確認した。トラス材の座屈とともに、ケーブル分担割合が 100% になることがわかった。

4. 2 時系列的挙動

ここでは、各実験について時系列的な挙動を写真とともに述べる。また、図-7 にそれぞれの実験での座屈・破壊箇所を示した。

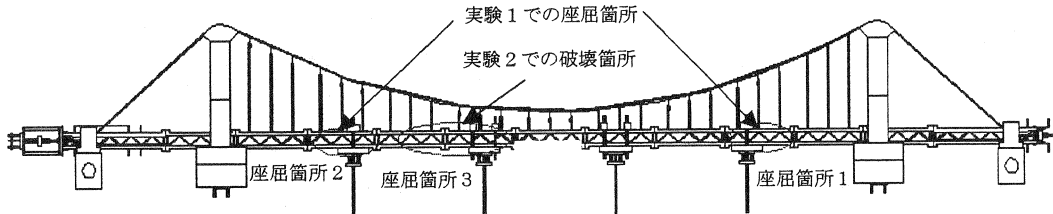


図-7 座屈・破壊箇所

【実験 1】

初期状態 1 から実験を始め、変位 16mm、載荷荷重 6.76kN の時、座屈箇所 1 の圧縮トラス材が、せん断力に起因する座屈を起こした (写真-3)。以後、載荷荷重の増加にともなって、座屈は座屈箇所 1 よりスバ

ン中央寄りの圧縮トラス材へと徐々に進行した。

変位 36mm、載荷荷重 13.62kNの時、これ以上載荷すると破壊に至るとして、実験 1 を終了した。この時、座屈箇所 2 でも座屈が発生していることを確認した。

トラス材の座屈の他に、大きな変化は見られなかった。

【実験 2】

初期状態 2 から載荷を始め、変位 16mm、載荷荷重 7.33kN の時、補強したセグメントの側面に斜めひび割れが発生した。

変位 44mm、載荷荷重 19.82kN の時、座屈箇所 3 で圧縮トラス材が座屈した。以後荷重の増加とともに座屈が進行した。

変位 56mm、載荷荷重 23.04kN、この状態がこの実験における最大変位時である (写真-4)。この時、引張りトラス材の断裂音と共に圧縮トラス材の座屈はさらに進んだ。ここで、載荷を止めた。

最大変位時から、およそ 30 秒後、座屈箇所 3 の床版が折れた (一次破壊、写真-5)。

さらに、その 30 秒後、一次破壊が発生した箇所の桁がプレストレス力により押し上げられ、床版は折れ、トラス材は押しつぶされた (二次破壊、写真-6、7)。

変位 44mm、載荷荷重 19.82kN でトラス材が座屈を起こし、変位 56mm、載荷荷重 23.04kN で桁が破壊に至った。この間の変位の増分は、12mm、載荷荷重の増分は、3.22kNであった。これは、座屈後、急激に破壊するのではなく、大きな変形性能を持つことがわかった。

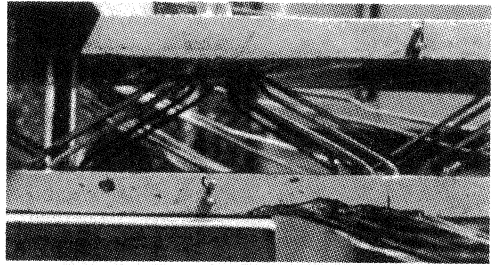


写真-3 トラス材の座屈
変位 19mm、載荷荷重 8.19kN

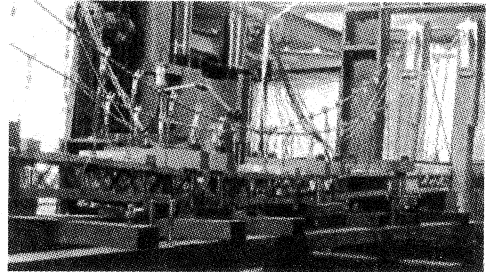


写真-4 実験 1, 2 における最大変位時
変位 56mm、載荷荷重 23.04kN

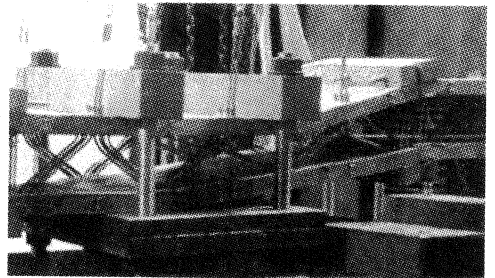


写真-5 一次破壊 (座屈箇所 3)
変位 56mm、載荷荷重 23.04kN

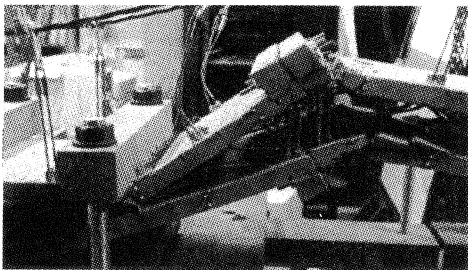


写真-6 二次破壊 (座屈箇所 3)

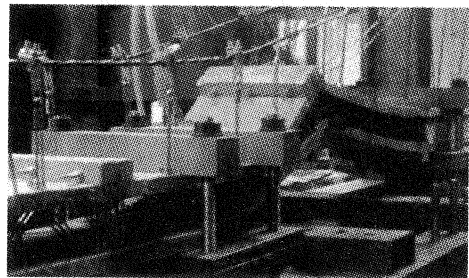


写真-7 二次破壊全体 (座屈箇所 3)

5. 今後の改善点

以下に実験から得られた、今後の改善点について述べる。

縮小模型のウィークポイント

実験後、セグメント接合部に多くのひび割れが確認された(写真-8)。桁を大変形させたときには、セグメント間に隙間が開くことが確認された。このことから、セグメント接合部の強化が必要であると考える。

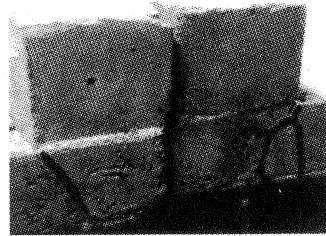


写真-8 接合部ひび割れ

予測値

実験1, 2ともに、実測値と予測値で大きな誤差が生じた。この誤差を無くすために、ケーブルと桁のモデル化について検討する必要がある。

曲げに対する破壊挙動を確認するための対策

4点荷重では、1点あたりの集中荷重が大きすぎ、座屈破壊を起こしてしまう。そこで、載荷荷重が等分布近い状態となるような載荷方法を考えることが必要である。また、床版とトラス材の格点部を補強するなど、座屈破壊を起こさないような対策も施す必要がある。

6. まとめ

大偏心外ケーブルPC鋼トラス複合桁の破壊モードを確認する目的で行った載荷実験について報告した。以下のことについて確認することができた。

- ・ 破壊挙動のひとつである、せん断力に起因する座屈破壊の挙動を確認した。
- ・ トラス材の座屈後、ケーブル分担割合が100%となり、桁分担割合は0%になる。その後も全体構造としては荷重に対して抵抗している。このことから、この構造は粘りのある挙動をすることを確認した。
- ・ 座屈を起こし始めてから破壊に至るまで、変位、載荷荷重ともに増加した。座屈後、急激に破壊するのではなく、大きな変形性能を持つことを確認できた。

今後、改善点について様々な検討を行い、曲げに対する破壊挙動の確認や高強度コンクリートを用いた場合等、様々な条件における載荷実験を行っていく。

謝辞

本論文は、第三著者藤塚が日本大学理工学部土木工学科に在学中に、下田健一(東京舗装工業株式会社)、稲田麻実(日本コムシス株式会社)他、平成12年度卒業研究生と協同して実施した実験に基づいている。実験の一部は住友建設株式会社の委託研究によった。PC鋼線および定着具は、神鋼鋼線工業株式会社に寄贈頂いた。上記の方々に厚く御礼申し上げます。

参考文献

- [1]: 井戸・河野・藤田・山崎: 大偏心外ケーブルPC桁の構造諸元に及ぼすスパンの影響
PC技術協会第7回シンポジウム論文集、1997年10月、pp575-580
- [2]: 井戸・大熊・張・山崎: 大偏心外ケーブル鋼トラス複合桁模型の設計・製作
PC技術協会第8回シンポジウム論文集、1998年10月、pp579-584
- [3]: 河野・井戸・張・山崎: 大偏心外ケーブル鋼トラス複合桁解析
PC技術協会第8回シンポジウム論文集、1998年10月、pp589-592
- [4]: 井戸・本田・大熊・山崎: 大偏心外ケーブル鋼トラス複合桁解析
PC技術協会第9回シンポジウム論文集、1999年10月、pp7-12
- [5]: 張・永島・井戸・山崎: 鋼トラスセグメント模型の製作と載荷実験
PC技術協会第8回シンポジウム論文集、1998年10月、pp585-588
- [6]: 萩原・本田・井戸・山崎: 大偏心外ケーブルPC鋼トラス複合桁の1/36縮小模型実験
PC技術協会第10回シンポジウム論文集、2000年10月、pp35-40
- [7]: 土木学会: コンクリート標準示方書、設計編、1996年