

複合吊構造形式コンクリート橋の大変形破壊解析

名古屋大学工学部 学生会員 安田 明人
名古屋大学大学院 学生会員 谷口 勝彦
名古屋大学大学院 正会員 中村 光
名古屋大学大学院 フェロ-会員 田邊 忠顕

1.はじめに

橋梁は、その建設材料により鋼橋とコンクリート橋に分けられていたが、近年、コンクリートと鋼の長所を生かした複合構造橋梁が建設されている。今後、複合構造橋梁の研究が進歩し、鋼、コンクリートの複合挙動がより明確になれば、さらなる長大スパンの橋梁の実現を可能にし、新たな構造形式も生まれると考えられる。そこで、本研究では、複合吊構造形式コンクリート橋の耐荷力解析を行い、その終局挙動を明らかにすることを目的とした。

2.解析理論

複合吊構造形式コンクリート橋の終局時までの挙動を明らかにするには、材料非線形性のみならず、幾何学的非線形要因をも慎重かつできるだけ正確に考慮する必要がある。そこで本研究では、ファイバーモデルによりモデル化した3次元12自由度を有するはり要素の非線形有限変形理論に基づく解析手法を用いた。

はり要素の仮想仕事方程式より、本研究で用いる剛性方程式は次式で与えられる。

$$([K]+[K_g])\{\delta d\}=\{\delta F\}+\{F_r\}$$
 (1)

ここで、 $[K]$ は構造物の剛性マトリクス、 $[K_g]$ は幾何剛性マトリクス、 $\{F_r\}$ は不平衡力である。解析は updated Lagrange 法に基づき逐次座標変換を行いながら、多点荷重を考慮できる変位増分法により行った。

一般の構造物は自重(死荷重)によって生じる変形を考慮した上で設計しているため、初期状態(初期座標)において、既に内部応力が発生している。一方、解析ではこの影響はしばしば無視されて扱われるが、本研究では実際の構造物の状態をより正確に表現するために以下に示す手順で初期応力の影響を考慮した。

自重による変形により構造物内に生じたひずみ $\{\epsilon_0\}$ を初期状態とし、仮想仕事の原理を用いると、剛性方程式は(2)式のように表される。

$$\{F\}=\iiint [B]^T [D] [B] \{\delta\} dV + \iiint [B]^T [D] \{\epsilon_0\} dV$$
 (2)

ここで、 $[B]$ は変位ひずみマトリクス、 $[D]$ は応力ひずみマトリクスである。

(2)式を用いれば、初期ひずみは構造物内に発生しているが、変形することなく外力と内力が釣り合っている状態を与えることができる。

3.解析対象および解析モデル

解析対象とした複合吊構造形式コンクリート橋を図-1に示す。主塔はRC構造、桁はコンクリートと鋼の複合構造である。コンクリート桁部は斜ケーブル、鋼桁部はハンガーロープによって支持され、構造的には斜張橋と吊橋を併用したものとなっている。解析は、図-2に示すように、主塔、桁、ケーブルをファイバーモデルでモデル化し、それぞれの材料に対応した材料モデルを用いた。また、荷重は、各節点の鉛直方向に

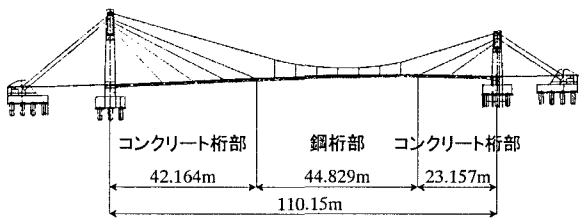


図-1 解析対象

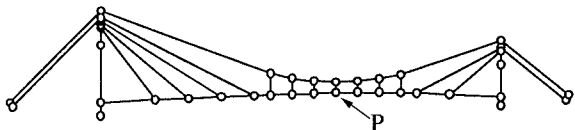


図-2 モデル化

自重の比を保持したまま、作用させた。境界条件は、橋脚は完全に固定し、アンカレッジ部は回転のみを許すこととした。

4.解析結果

図-3 に図-2 中の P 点の鉛直変位と、自重に対する荷重倍率の関係を示す。ここで、鉛直変位が 0 の位置で自重との比率が 1 になっているのは、解析理論で述べた初期ひずみの効果である。図より、鉛直荷重が自重の 4 倍程度になると、剛性が徐々に低下し始め、4.5 倍程度で最大耐荷力に到達することがわかり、対象とした複合吊構造形式のコンクリート橋は鉛直荷重に対し十分な安全余裕度を有していることがわかる。

構造物の挙動としては、A 点で左側主塔近傍の桁の上部コンクリート、B 点で右側主塔近傍の桁の上部コンクリートにひび割れが発生し、C 点で左側の主ケーブルが降伏した。また、D 点、E 点ではコンクリート桁の鉄筋が降伏した。図-4 に鉛直変位が 350cm の時の変形を示す。

図-5 は C 点、F 点における桁の断面力および曲率分布である。主ケーブルが降伏する C 点以前は桁には軸圧縮力が作用しているが、主ケーブル降伏後は、鋼桁部には大きな引張軸力が生じる挙動を示した。また、曲率分布によれば C 点以降接合部のコンクリート桁に変形が集中し、主ケーブルの降伏により明らかに挙動が変化したことがわかる。

ケーブル降伏後、構造物の挙動は大きく変化していることから、吊構造物の剛性はケーブルの強度に依存することがわかる。なお、鋼桁は、終局状態においても降伏することはなかった。

5.まとめ

複合吊構造形式コンクリート橋の破壊解析を行った結果、主ケーブル降伏後の構造物の挙動は大きく変化し、鋼桁とコンクリート桁の接合部に変形が集中することで破壊に至ることが示された。得られた結果を通して、解析上の問題点、または、構造物の問題点のより詳細な検討をしていきたい。

参考文献

- 1)川田忠樹ら：複合構造橋梁，技報堂出版，1994
- 2)中村光：コンクリート構造のポストピーク挙動に関する解析的研究，名古屋大学博士論文，1992

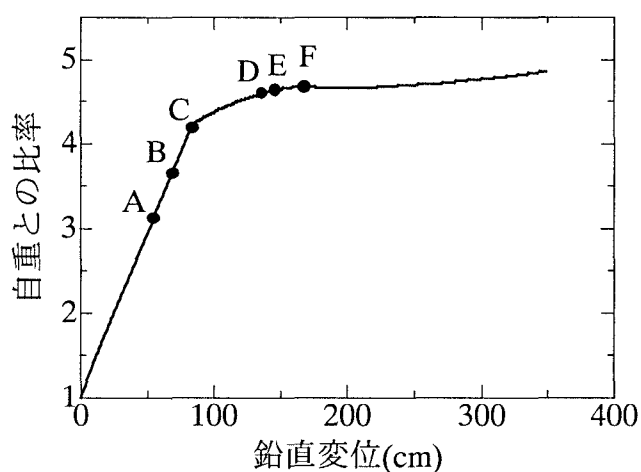


図-3 鉛直変位と自重に対する荷重の倍率



図-4 変形図(終局時)

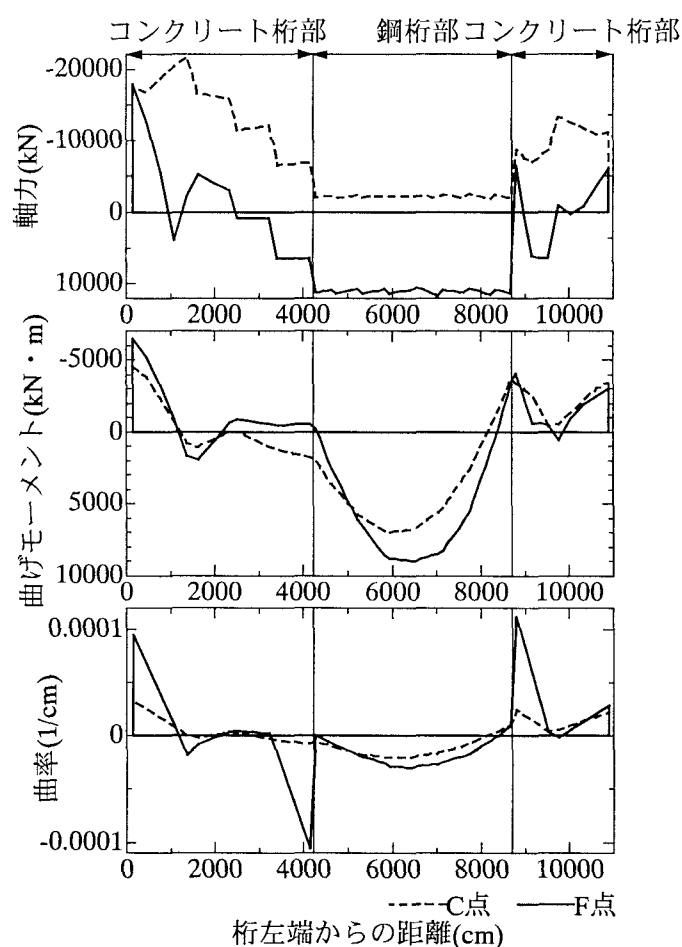


図-5 桁の断面力図および曲率分布