

報告 斜版付箱桁橋の終局挙動に関する解析的研究

若狭忠雄*¹・幸左賢二*²・岩永 巧*³・粟根 聡*⁴

要旨：斜版橋は、通常の箱桁橋に対し、斜材をコンクリートで被覆したPC部材を有する構造である。全体系の耐力が軸引張力によって支配される特殊な構造形式である。そこで、実験により得られた引張剛性曲線を用い、全体系としての耐荷力解析を行い、引張剛性が耐荷力に与える影響を評価した。検討の結果、この引張剛性を使用した場合、再配分が非常に大きく、耐荷力に与える影響が大きいことが判った。

キーワード：斜版付箱桁橋、終局挙動、全体系耐荷力、引張剛性、モーメント再配分

1. はじめに

斜版橋は、架設時は斜張橋と同様斜材を張りながら施工し、完成系は斜材をコンクリートで被覆したPC部材を有する構造であり、斜張橋の特殊形式とも考えられ主桁高を低くすることが可能である。また、部材をコンクリートで被覆することにより1) 斜材が腐食から保護でき、風に対する防振効果を有する、2) ケーブルの応力変動が小さいため疲労問題が少ない、3) 全体剛性が増すことから変形量が小さくなり、安定性を増す等の長所を持っている。

本報告は、阪神高速道路公団北神戸線に計画される奥山橋（3径間連続PC斜版付箱桁橋）に対して全体系耐荷力解析を実施し、その結果を報告する。

斜版橋において全体系耐荷力挙動を考えると、最初に、斜版付根部において曲げによる塑性ヒンジが生じ、荷重の増加と共に斜版部材において引張力による伸びひずみが増大し、引張剛性低下が生じる。この影響により主桁部材等他の部材が曲げ抵抗することにより、曲げモーメントの再配分が生じ、全体系の耐荷力が増加していく挙動を示すものと考えられる。従って、斜版橋の耐荷力がどの程度あるかの検討を行った。この場合、耐荷力の向上には、斜版の引張剛性の影響が大きいものと考えられ、PC部材の引張剛性低下の実験を行った。その結果、Collinsの引張コンクリートの応力-ひずみ曲線が適用できる結果となった。従って、この引張剛性を考慮した全体系耐荷力解析を行った。

2. 斜版橋の概要

2. 1 概要

本橋は、図-1に示すように、橋長が285mの3径間連続PC斜版橋（75+140+70m）である。主桁は断面形状が2室箱桁断面であり、主桁高は径間部で2.5m、中間支点部では3.5mとなっている。主塔は高さ10.5mの門型形式である。本橋の特徴である斜版については、これが主桁と連結される位置は、主塔中心から30m離れており、その取付長は20mである。この取付区間において、斜版は主桁の両外側ウェブ位置に設置され、左右2枚の斜版が主桁を吊る構造となっている。

-
- * 1 新構造技術株式会社 大阪支店 設計部長、(正会員)
 - * 2 阪神高速道路公団 工務部 設計係長、工博(正会員)
 - * 3 阪神高速道路公団 神戸第一建設部 設計係長
 - * 4 新構造技術株式会社 大阪支店 設計課、工修

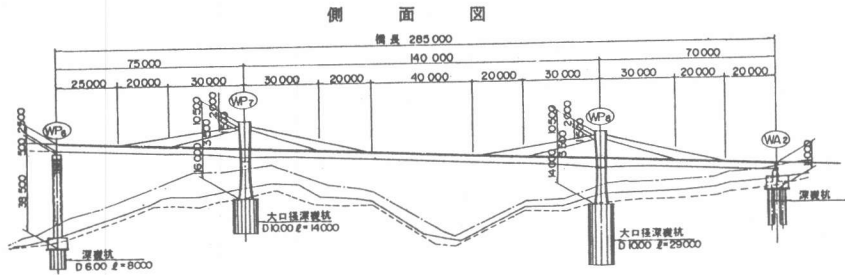


図-1. 奥山橋一般図

2. 2 主桁の断面力

主桁高は、前述の通り箱桁橋での中間支点高8.0mに比べて、大幅に桁高を縮小することができ、また、中間支点上における曲げモーメントは、死荷重時において約10,000tf・m程度が作用する〔2〕。

2. 3 斜版

橋軸方向での斜版の断面力は主塔結合部が主桁結合部に比べて大きく、さらに主塔側部材断面(150×80cm)は、主桁側部材断面(350×50cm)に比べて小さいことから作用応力度が大きくなり、構造上留意すべき断面となっている。斜材ケーブルは、コンクリート打設後の設計荷重に対して720T型ケーブル(27S15.2)を使用した場合、4本程度必要となった。

3. 簡易耐荷力解析

本斜版橋において、線形解析による各断面における破壊安全度の最小値を与える箇所は、斜版部材付根部断面となった。斜版付根部断面(98)におけるN-M相関図を図-2に示す。中央載荷の場合、 $D + \alpha L$ における α 値は $\alpha = 5.7$ と最小値となっている。

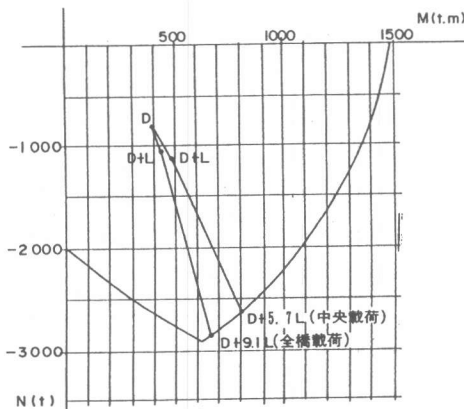


図-2. N-M相関図(98断面)

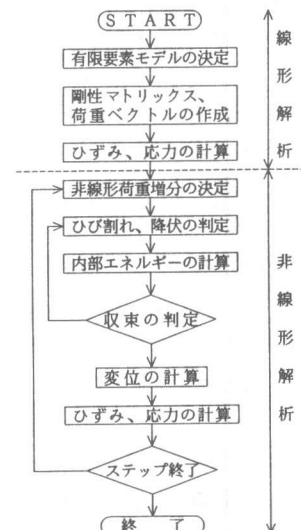


図-3. 非線形解析流れ図

4. 全体系耐荷力解析

4-1. 解析手法

(1) 解析プログラム

解析プログラムは、各材料の非線形性を考慮したプログラム DIANA であり、鋼部材、RC 部材、PC 部材、PC ケーブル材料等ほとんどの部材材料に対して解析可能である。解析の流れ図を図-3 に示す。

本解析における応力、ひずみ関係は図-4 に示す積分点において計算し、これら積分点の応力、ひずみと節点における力、変位との関係は補間関数を使用しており、ひび割れや降伏の判定もこの点で行っている。

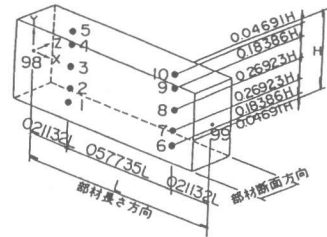


図-4. 梁要素の積分点位置図

(2) 解析モデル

解析モデルを図-5 に示す。部材長は部材高の 1.5～2.0 倍とし、全て非線形部材とした。斜版の付根部長は剛性低下の影響が大きく、全体系に与える影響が大きいため細分割とし、部材高の 1.0 倍程度とした。

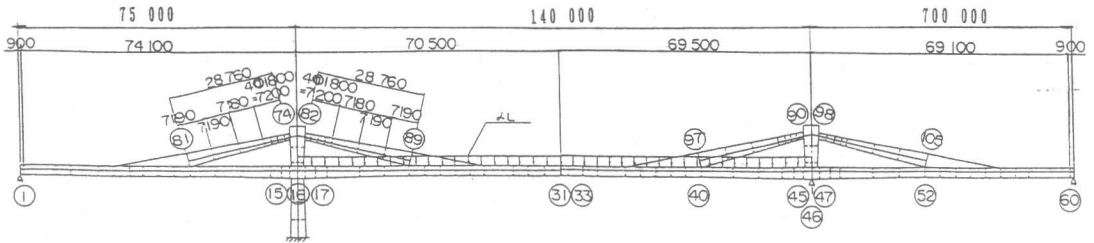


図-5. 解析モデル

(3) 初期荷重及び載荷荷重

初期荷重は主桁自重、プレストレスによる 2 次断面力及びクリープ、斜版自重、橋面工とし、載荷荷重は $D + \alpha L$ による載荷とし、活荷重を中央径間に α 倍で載荷した。

4-2 解析ケース

斜版橋の全体系非線形解析には、 $M-\phi$ 関係より曲げ剛性 $E I$ の評価を行い、斜版部材の $N-\epsilon$ 関係より軸引張剛性 $E A$ の評価を行った。

$N-\epsilon$ 関係については、実験を行った結果（別途発表予定）、Collins の方法が適していることが判った。従って、コンクリートの引張剛性をパラメーターとして次の 3 ケースで解析を行い、その影響を調べることにした（図-6 参照）。

ケース 1 ; コンクリートの引張強度までのひずみを考慮した場合（曲線 A）

ケース 2 ; コンクリートの引張最終ひずみを $\epsilon = 0.00167$ とした場合（曲線 B）

ケース 3 ; Collins のひずみ曲線を使用した場合（曲線 C）

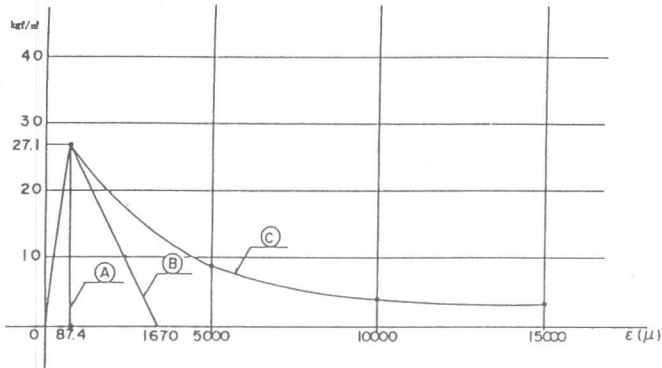


図-6. コンクリートの引張応力-平均ひずみ曲線

4-3 材料特性

コンクリートの圧縮強度は $\sigma_{ck} = 400 \text{ kgf/cm}^2$ とし、圧縮応力-ひずみ曲線は道路橋示方書〔1〕に示された曲線を使用した。また、斜版に使用されたP C鋼より線27T-15.2の応力-ひずみ曲線は、ミルシートの曲線に合わせ使用し、主桁に使用されたP C鋼棒 SBPR 930/1180 $\phi 32$ の応力-ひずみ曲線は、道示の曲線を使用した。鉄筋は、SD345 を使用しており、応力-ひずみ曲線は道示の値を使用した。

解析ケース3におけるP C部材に引張力が作用する場合のコンクリートの平均応力の減少曲線は、次式のCollinsの式〔3〕を使用した。

$$f_t = \frac{\alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot f_{cr}}{1 + \sqrt{500 \cdot \epsilon_{cf}}}$$

ここに、 f_t : コンクリートの平均引張応力

f_{cr} : コンクリートのひび割れ強度

ϵ_{cf} : コンクリートの平均ひずみ

α_1 : 鋼材のボンド特性に対する係数 ($\alpha = 0.7$ を使用)

α_2 : 持続または繰り返し荷重に対する係数 ($\alpha_2 = 1.0$ を使用)

なお、非線形解析の破壊荷重の定義としては次の場合とした。

- ① コンクリートの圧縮ひずみが3500 μ に達したとき。
- ② P C鋼材の引張ひずみが 6.7%に達したとき。
- ③ 鉄筋のひずみが20%に達したとき。

4-4 解析結果

(1) 耐荷力係数及び再配分率

各ケースにおける耐荷力係数及び再配分率を表-1に示す。表より解析結果をまとめると、

- ① 耐荷力については、ケース1~3の順で大きくなっており、斜版部材の引張剛性の影響が大きいことを示している。
- ② 再配分率は、ケース1, 2, 3の順で大きくなっており、Collinsの引張剛性低下曲線を考慮した場合、再配分率は50%にも達している。

表-1. 耐荷力係数

	耐荷力係数	再配分率
線形	5.70	1.00
ケース1	6.9	1.21
ケース2	7.8	1.38
ケース3	8.7	1.52

(2) N-M 相関曲線

解析結果、斜版付根(98)断面のN-M曲線は図-7に示す通りであり、相関曲線の特徴は次のようになる。

- ①線形の場合の耐荷重は、初期値から一定の勾配を有する直線とN-M曲線との交点 $\alpha = 5.7$ であり、耐荷力は曲げ圧縮で決定している。
- ②ケース1~ケース3共に曲げ圧縮で決定されず、引張りで決定される。
- ③ケース1~ケース3共に荷重の増大に伴い、軸力は増加し耐荷力は、増大していくが、曲げは途中より減少している。
- ④ケース1は、耐荷力相関曲線に到達する前に破壊に至っているが、これはコンクリートのひび割れ後のコンクリートの引張強度が急激に0になるように定義しており、収束性が悪化しているためと考えられる。

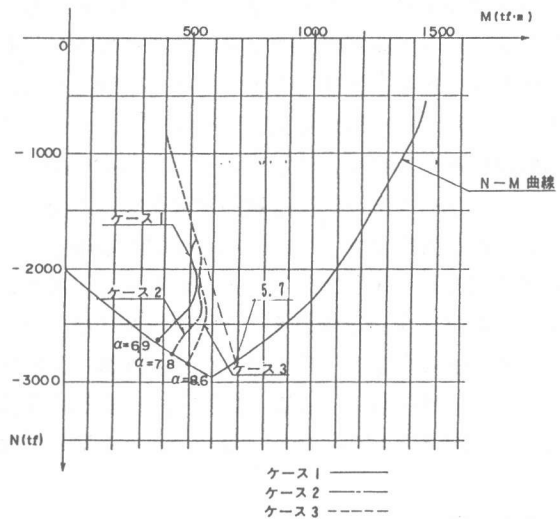


図-7. N-M相関曲線(98断面)

(3) 主桁の曲げ剛性低下

終局時における主桁の曲げ剛性を図-8に示すが、図より支間中央(33)断面においてケース1で0.25、ケース2で0.10、ケース3でその中間値0.15となっており、どのケースもかなり低い剛性となっている。

(4) 斜版の軸剛性低下

終局時における斜版の軸剛性を図-9に示すが、図より斜版付根(98)断面においてケース1で0.16、ケース2で0.20、ケース3で0.14となっており、どのケースもかなり低い剛性となっている。

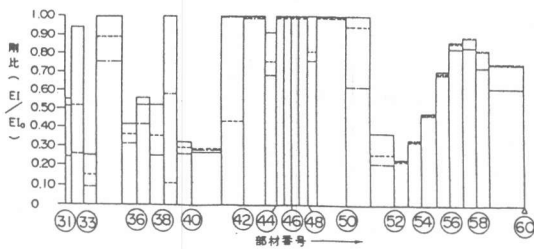


図-8. 主桁の曲げ剛性図(終局時)

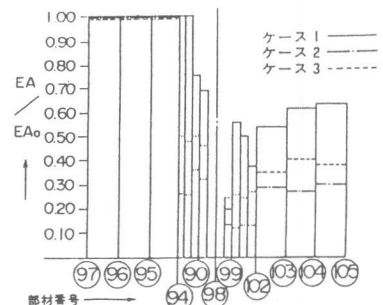


図-9. 斜版の軸剛性図(終局時)

5. まとめ

奥山橋をモデルとして、全体系耐荷力解析を行った結果をまとめると、次のようになる。

- ①全体系における耐荷力のクリティカル断面は、斜版付根(98)断面であり、2番目のクリティカルは支間中央(33)断面である。主桁の中間支点断面の曲げ破壊耐力はクリティカルとならない。これは斜版からの軸圧縮力が主桁に作用し、この圧縮力が増加していくためである。
- ②斜版付根において、曲げモーメントMの増加は小さく、軸引張の増加は、大きい。即ち、引張耐力が支配的であり、引張耐力が大きいほど全体の耐力は大きい。
- ③斜版の引張剛性としてCollinsの式を使用した耐荷力解析を行った結果、耐荷力は大きく再配分率は50%にも達していることがわかった。即ち、斜版橋の耐荷力に対して、斜版部材の引張剛性の影響が大きく寄与することが明らかになった。

最後に本論文をまとめるにあたり、貴重な助言を頂きました“阪神高速道路公団技術審議会コンクリート分科会”(主査：藤井 学 京都大学教授)の各委員及び実験・解析を実施するにあたって、指導頂きました小林和夫 大阪工業大学教授に深く謝意を表します。

参考文献

- 1) 日本道路協会 : 道路橋示方書・コンクリート編 1990, 2
- 2) 阪神高速道路公団 : 奥山橋(P C斜版付箱桁橋)の特性に関する研究 1994, 3
- 3) Collins, M. P. and Mitchell, D; Prestressed Concrete Structures, PRENTICE HALL 1991