

$$\sigma_I = \frac{1}{2} \left\{ (\sigma_x + \sigma_y) - \sqrt{(\sigma_x - \sigma_y)^2 + 4\tau^2} \right\} \quad (1)$$

$$S_{uc} = S_c + S_s + S_p + S_{spi} \quad (2)$$

$$S_{uc} = \tau_{max} \cdot b_w \cdot d + S_p \quad (3)$$

一方、斜圧縮破壊に対する耐力の照査においては、式(3)に示すようにコンクリートの平均せん断応力度の最大値を大きく出来ない限りプレストレスの効果を考慮できないため、終局荷重作用時の斜圧縮破壊耐力により部材厚さが決定される場合には、プレテンションウェブを適用することの効果を発揮できない。

本検討では、非線形解析を利用することにより、プレテンションウェブ橋設計施工ガイドライン(案)³⁾において、図-4に示すプレテンションウェブ橋の試設計として検討された3径間連続プレテンションウェブPC箱桁橋のモデルを対象として、終局破壊耐荷力を算定した。試設計においては、ウェブ厚を支点部において増厚しているが、今回の検討では、ウェブ厚さを全区間150mmとした場合の成立性の検討をプレストレス導入の有無に着目し行った。また、主要な使用材料および諸物理定数は以下に示すとおりである。

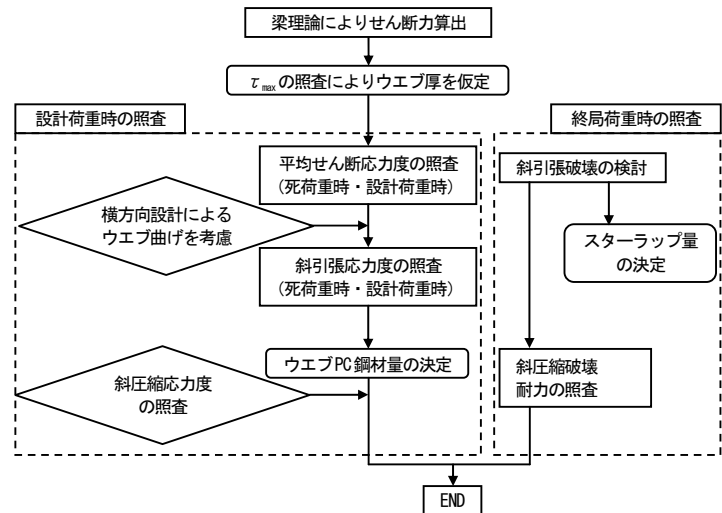


図-3 せん断に対する設計フロー

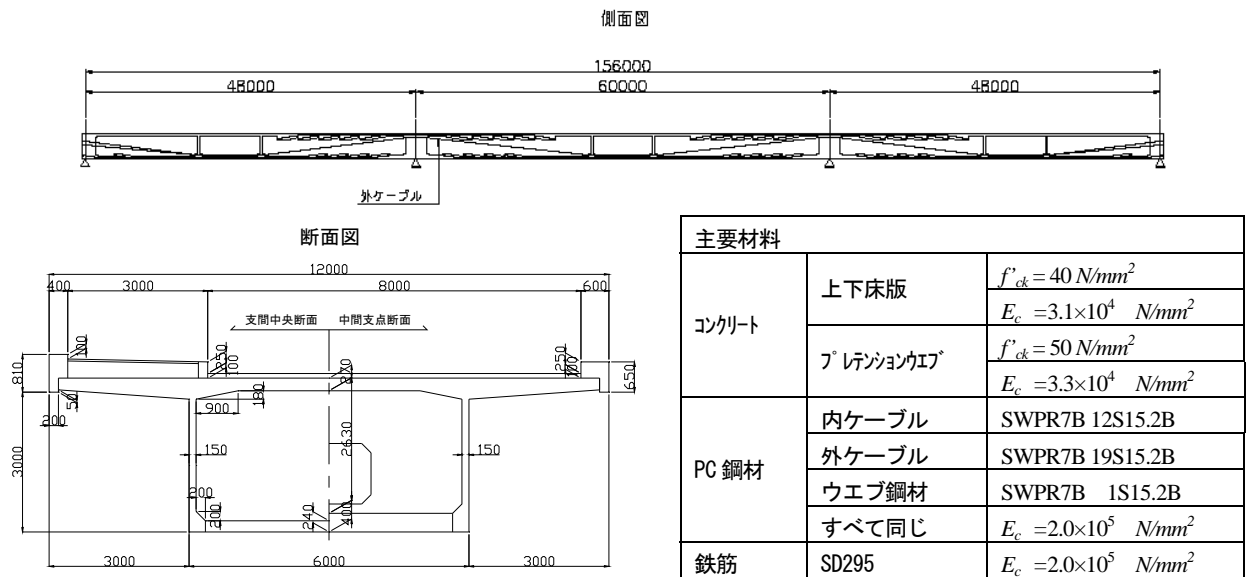


図-4 試設計モデルの概要図

4. 解析的検討

4. 1 解析モデルおよび荷重の載荷方法

解析モデルは、中央径間における支間中央を中心として、橋軸方向に対称構造であること、また地覆および舗装は無視して活荷重は偏載しない状態を仮定することにより、横断方向へも対称構造と考え、図-5に示すように1/4モデルとした。上下床版ならびにウェブコンクリート部材は、4節点のシェル要素でモデル化し、PC鋼材および鉄筋は、埋め込み鉄筋要素を用いてモデル化した。なお、同図には、後述する解析結果の着目点も図示しており、本解析での着目点は、たわみが最大となる中央径間における支間中央、および同径間における隔壁間中央とした。

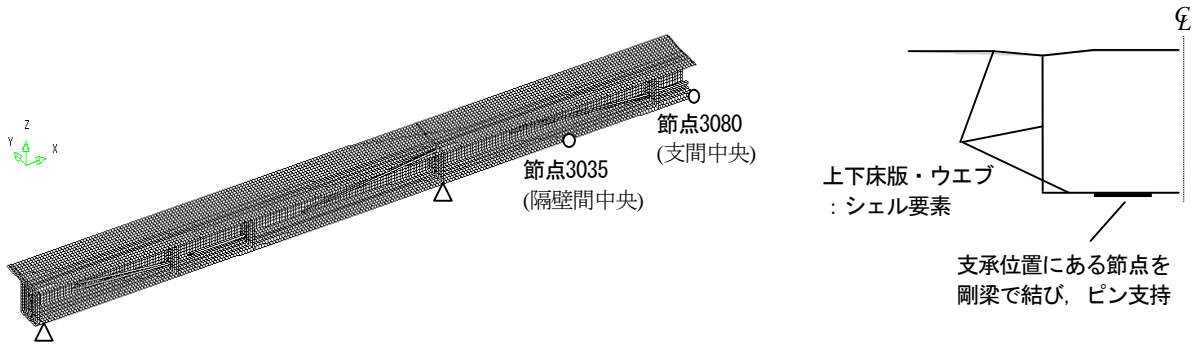


図-5 解析モデル図

本検討では、自重に加え活荷重を載荷した。活荷重の載荷にあたっては、図-6 に示すように3径間の橋梁において、ウェブせん断力が卓越するような荷重状態を想定し、p1 荷重は中間支点近傍に載荷させた。また、今回の解析は、ウェブに着目した解析であること、橋軸直角方向にもハーフモデルを採用していることから、p1 荷重の偏載は考慮できない。そのため、活荷重の載荷位置は、図-7 に示すように、ウェブ直上に線荷重的に載荷させることとした。境界条件は、橋軸方向へのハーフモデルの対称性から、支間中央側の全節点に対して X 方向を拘束し、さらに支点の支承位置の鉛直方向を拘束した。荷重の初期状態は、設計荷重を想定し、死荷重+活荷重(D+PS+L)とした。その後、死荷重と活荷重のみを漸増載荷して($\alpha(D+L)+PS$)，終局荷重時相当の荷重倍率 $1.7(D+L)+PS$ を載荷した。また、鉛直プレストレスの効果を確認するために、鉛直プレストレスを行わないモデルも作成し、終局耐力の比較を行った。

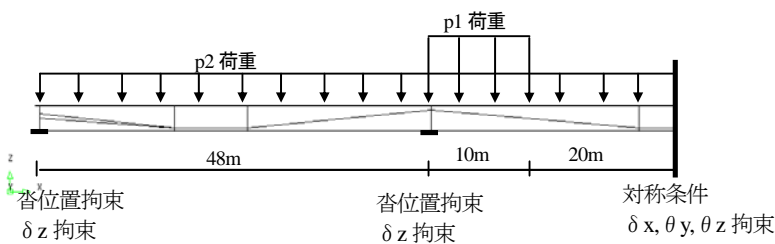


図-6 活荷重載荷状態および境界条件

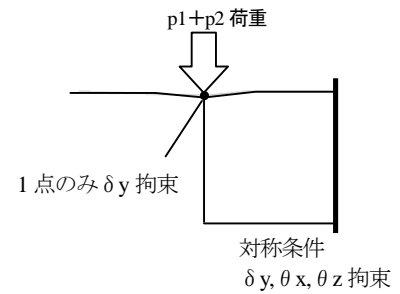


図-7 活荷重載荷状態位置図

4. 2 材料構成則

コンクリートの圧縮側の応力-ひずみ関係には、図-8 に示す圧縮軟化を考慮した Thorenfelt 型曲線⁴⁾を使用し、引張側については、図-9 に示す Hordijk 型引張軟化特性⁴⁾を使用した。ひび割れモデルは、回転ひび割れモデルを採用した。鉄筋およびPC鋼材の構成則は、トリリニア型の構成関係を用いてモデル化した。この際、引張強度時のひずみ量は、第2勾配を初期勾配の1/100 となるように構成関係を定めた。

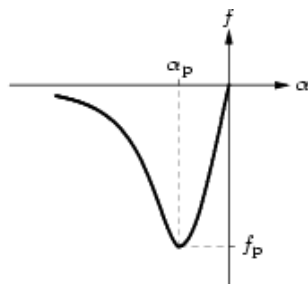


図-8 コンクリートの圧縮側構成則

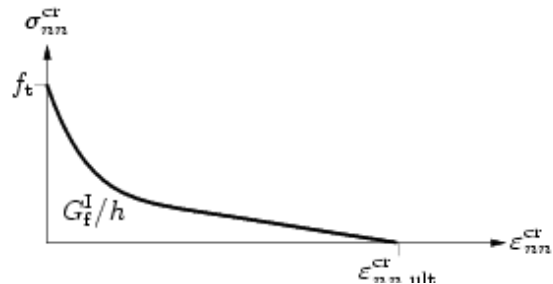


図-9 コンクリートの引張軟化特性

4. 3 解析結果

図-5 のモデル図中に示した，中央径間における支間中央ならびに隔壁間中央点での荷重-変位関係を図-10 に示す。この結果より，プレストレスを導入しているモデルは，終局荷重作用時の荷重倍率 1.7 を超える付近から荷重-変位関係が非線形的な挙動を示すのに対し，プレストレスを導入していないモデルでは，かなり低い荷重レベルから変形が増大することが確認できる。また，終局破壊耐力のプレストレスの効果は 11% 程度であった。

鉛直プレストレスが，せん断耐力の向上に対する効果を確認するために，図-12 に示す着目断面に発生する平均せん断応力度の比と荷重倍率の関係を図-11 に示す。

これにより，同一荷重倍率における平均せん断応力度は，後述するひび割れ角度の影響によって増加しており，終局荷重倍率の最終値の増加量は，圧縮劣化の影響により，荷重倍率 2.0 まで向上した。またせん断ひび割れの角度をひび割れひずみの矢線で表したものを図-12，図-13 に示す。これらにより，鉛直プレストレスによりひび割れ角度が立っていることがわかる。

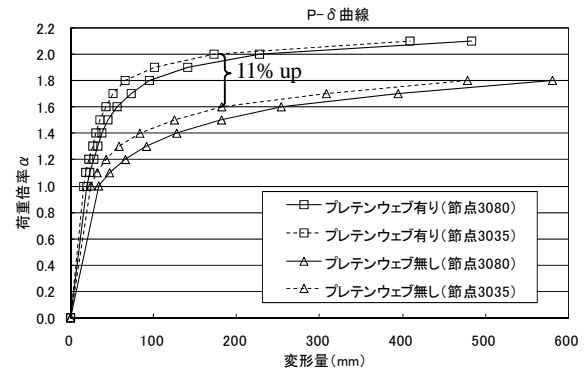


図-10 荷重-変位

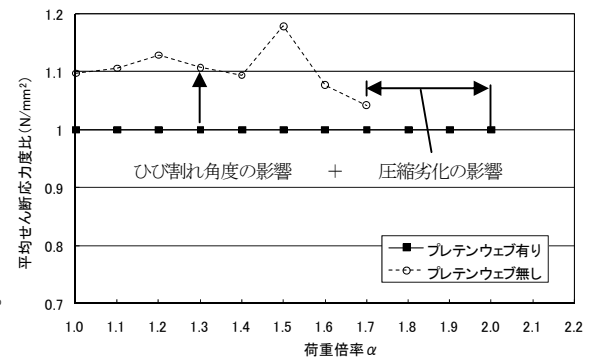


図-11 平均せん断応力度比-荷重倍率

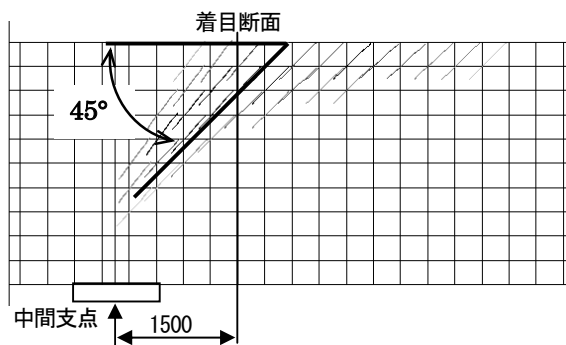


図-12 ひび割れ図(プレストレスあり)

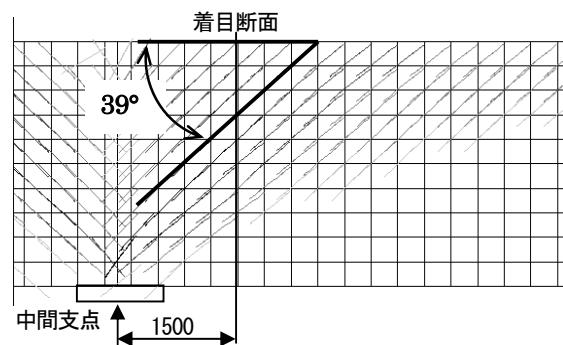


図-13 ひび割れ図(プレストレスなし)

5. まとめ

本検討では，部材のもつ性能を正しく評価する手段として非線形有限要素解析法を活用することにより，プレテンションウェブ橋の終局耐力評価を行った。その結果，通常の RC ウェブ現場打ちのウェブ厚 250～300mm を想定した PC 橋が，プレテンションウェブとすることにより 150mm で設計耐力を満足する結果となった。これは非線形解析技術の進歩と信頼性の向上により，構造物の特性に応じた合理的な設計が可能となることを一例として示している。ただし，今回の検討では，PC 橋の合理化の可能性について解析的に相対的な比較を行うことを目的としたので，今後結果の妥当性についての詳細な検討を加えていきたいと考えている。

【参考文献】

- 1) (社) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説 III コンクリート橋編，丸善，
- 2) 坂本健俊ら：第二名神高速道路 錐ヶ瀧橋（上り線）の設計，第 15 回プレストレストコンクリートの発展に関するシンポジウム論文集
- 3) (社)プレストレストコンクリート技術協会：プレテンションウェブ橋設計施工ガイドライン（案）
- 4) DIANA9 ユーザーマニュアル 日本語参考資料 <材料ライブラリー>