

6. 弾塑性有限変位解析による全体座屈強度の検討

6-1. 検討方針

本節では、提案した新形式橋梁の全体座屈に対する安全性の照査を行う。解析は3次元の立体骨組みモデルによる弾塑性有限変位解析により行い、荷重を漸増させた時に対象橋梁がどのように塑性化し、最終的に崩壊するかを追跡した。設計荷重は、死荷重 (D) および活荷重 (L) とした。活荷重は道路橋示方書のB活荷重を用い、全橋面に固定載荷したケース (L1) および中央径間の左半分と右側側径間に固定載荷したケース (L2) を想定した (図 6-1)。部材断面は、ファイバー要素に分割し、その分割数は主桁およびアーチリブ共に 10 分割とした。また、鋼材の材料構成則はバイリニアとして材料非線形性を考慮した (図 6-2)。なお、鋼箱断面には十分な補剛材を配置し、局部座屈は生じないと想定した。

解析の手順は、橋梁が崩壊するまで死荷重と活荷重を漸増載荷する方法である。すなわち、載荷荷重は $P = k (D + L)$ と表すことができ、 k は荷重載荷係数と定義する。増分ピッチは、変形の増大に伴って変化させたが、最小ピッチは 0.01 である。各増分ステップで、弾塑性有限変位解析を実施し、3 橋梁の崩壊過程や最終耐力および最終変形状態の比較を実施した。なお、解析には汎用構造解析プログラムの Engineer's Studio (FORUM8) を使用した。

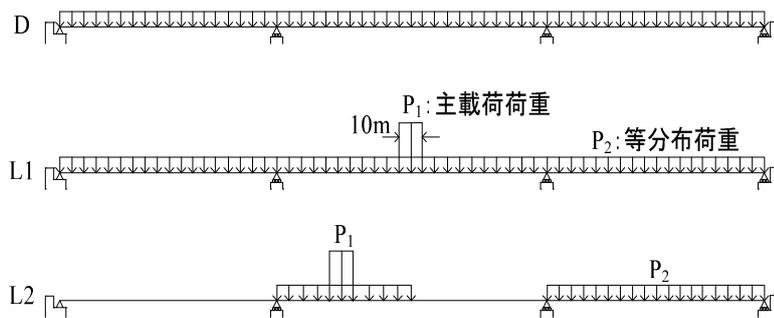


図 6-1 活荷重載荷パターン

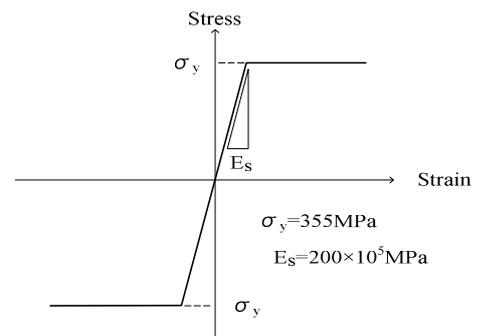


図 6-2 構成則

6-2. 検討結果と考察

(1) 活荷重全載ケース (L1) の終局強度

本節では、活荷重全載ケース (L1) において 3 種類の橋梁の弾塑性有限変位解析結果を示す (図 6-3、6-4、6-5)。なお、これらはアーチ面を鉛直面から $H/500$ (H : アーチライズ) だけ傾斜させた初期不整を考慮した結果である。初期不整に関しては後述する。

- モデル A は、 $k=2.50$ の時にアーチリブが発散的に増大し終局に至る (図 6-3)。すなわち、面外座屈が崩壊の直接原因である。最終の変形図を図 6-6 に示す。
- モデル B は、 $k=2.50$ の時にアーチリブが発散的に増大し終局に至る (図 6-4)。すなわち、面外座屈が崩壊の直接原因である。最終の変形図を図 6-7 に示す。
- モデル C は、 $k=2.40$ の時にアーチリブが発散的に増大し終局に至る (図 6-5)。すなわち、面外座屈が崩壊の直接原因である。最終の変形図を図 6-8 に示す。

また、面外変位および主桁の変位に着目すると、面外変位の大きさが主桁たわみの大きさに比例している。これは、アーチリブおよび主桁間を剛結している鉛直材が機能しているためである。

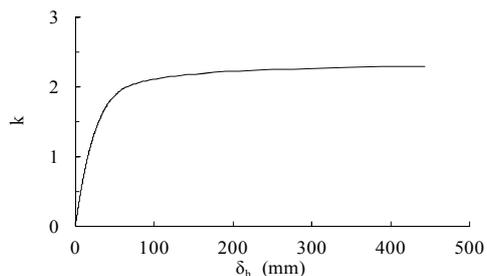


図 6-3 モデル A の面外変位図, k (D+L1)

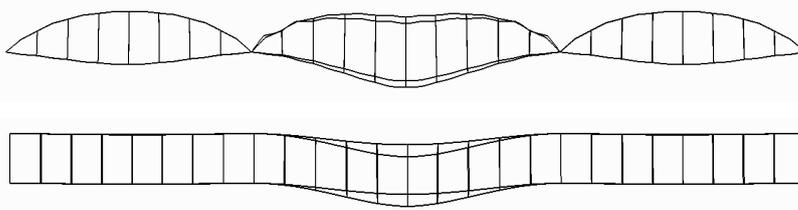


図 6-6 モデル A の終局時, 2.50 (D+L1)

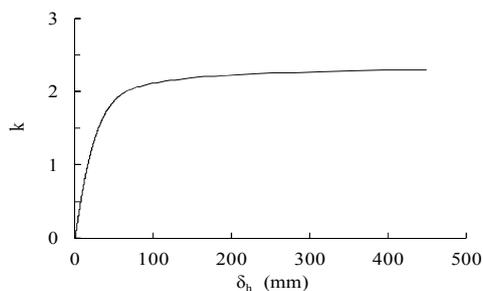


図 6-4 モデル B の面外変位図, k (D+L1)

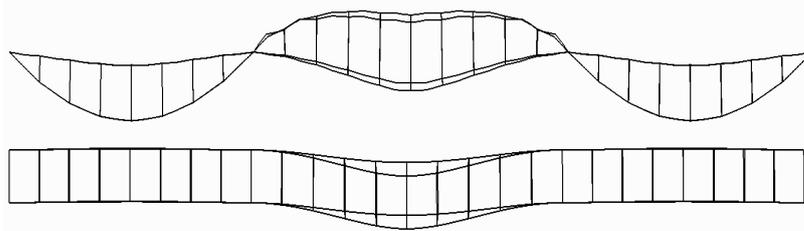


図 6-7 モデル B の終局時, 2.50 (D+L1)

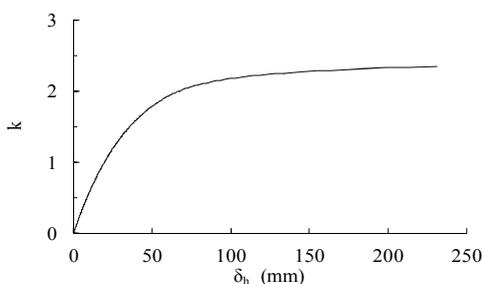


図 6-5 モデル C の面外変位図, k (D+L1)

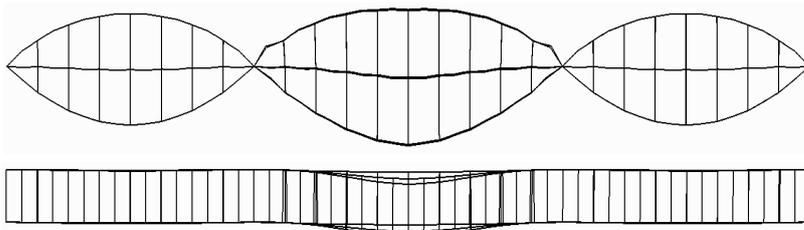


図 6-8 モデル C の終局時, 2.40 (D+L1)

(2) 活荷重全載ケース (L2) の終局強度

本節では、活荷重全載ケース (L2) において 3 種類の橋梁の弾塑性有限変位解析結果を示す (図 6-9、6-10、6-11)。

- モデル A は、 $k=2.55$ の時にアーチリブが発散的に増大し終局に至る (図 6-9)。すなわち、面外座屈が崩壊の直接原因である。最終の変形図を図 6-12 に示す。
- モデル B は、 $k=2.54$ の時にアーチリブが発散的に増大し終局に至る (図 6-10)。すなわち、面外座屈が崩壊の直接原因である。最終の変形図を図 6-13 に示す。
- モデル C は、 $k=2.44$ の時にアーチリブが発散的に増大し終局に至る (図 6-11)。すなわち、面外座屈が崩壊の直接原因である。最終の変形図を図 6-14 に示す。

また、面外変位が主桁鉛直変位に比例していることは、活荷重全載ケース L1 の場合と同様である。

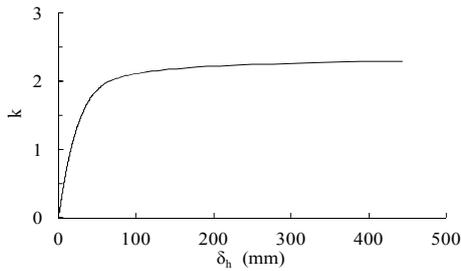


図 6-9 モデル A の面外変位図, k (D+L2)

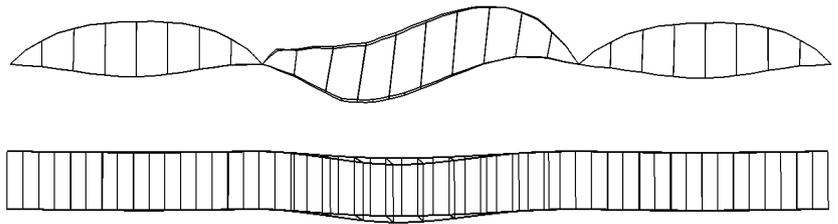


図 6-12 モデル A の終局時, 2.55 (D+L2)

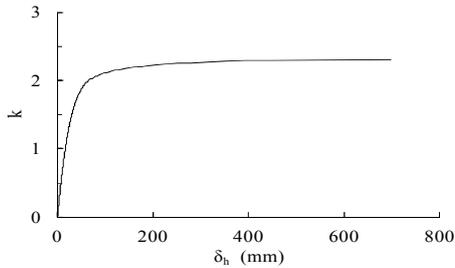


図 6-10 モデル B の面外変位図, k (D+L2)

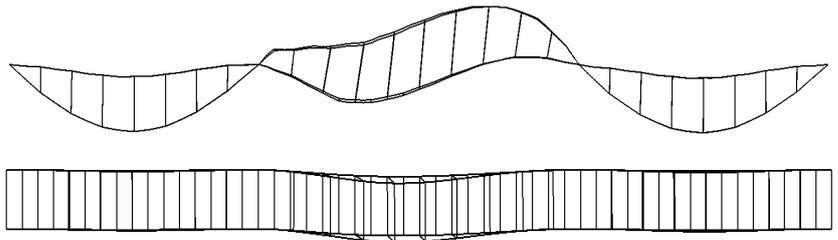


図 6-13 モデル B の終局時, 2.54 (D+L2)

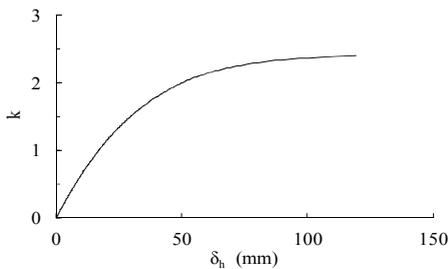


図 6-11 モデル C の面外変位図, k (D+L2)

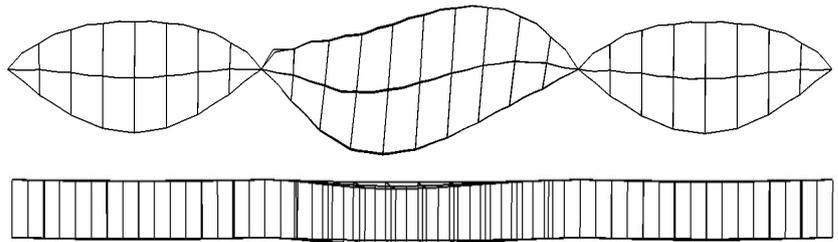


図 6-14 モデル C の終局時, 2.44 (D+L2)

(3) 初期不整の影響の検討

本節では、初期不整の影響を検討する。前節までの検討結果により、本形式ではアーチリブの面外座屈が卓越することが明らかとなった。初期不整が座屈に影響を及ぼすことは知られているが、本橋の場合アーチリブ面が製作誤差により鉛直面から傾斜しているとより座屈しやすくなると推定される。そこで、L1 においてアーチリブが H/500、H/1000、H/2000 (H:アーチライズ高) の3種類の初期不整を与えたケース (Case-1、2、3) を対象にした (表 6-1)。すなわち、道路橋示方書⁸⁾に規定される最大の許容製作誤差を考慮し、アーチリブが鉛直面から若干傾いている影響を把握することを意図した。

- モデル A において、Case-1 は $k = 2.50$ の時に、Case-2 は $k = 2.50$ の時に、Case-3 は $k = 2.55$ の時に、アーチリブが発散的に増大し面外座屈により終局に至る (図 6-15)。
- モデル B において、Case-1 は $k = 2.50$ の時に、Case-2 は $k = 2.50$ の時に、Case-3 は $k = 2.53$ の時に、アーチリブが発散的に増大し面外座屈により終局に至る (図 6-16)。
- モデル C において、Case-1 は $k = 2.40$ の時に、Case-2 は $k = 2.43$ の時に、Case-3 は $k = 2.45$ の時に、アーチリブが発散的に増大し面外座屈により終局に至る (図 6-17)。

以上より、H/2000 (Case-3)、H/1000 (Case-2)、H/500 (Case-1) と初期不整の傾斜角が大きくなるにつれて面外変位は大きくなり、終局強度そのものも若干小さくなった。

また、道路橋示方書では終局強度が 1.70 (D+L) を上回ることが規定されているが、3 ケースともこれを満足しており、本形式は全体座屈に対して安全である。

表 6-1 アーチ・リブの初期不整

アーチ・リブの初期不整
Case1 : H/500
Case2 : H/1,000
Case3 : H/2,000

※H : アーチライズ高

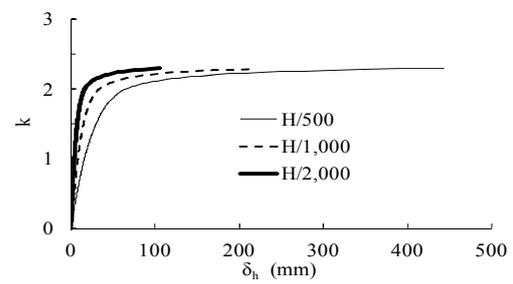


図 6-15 モデル A の面外変位図

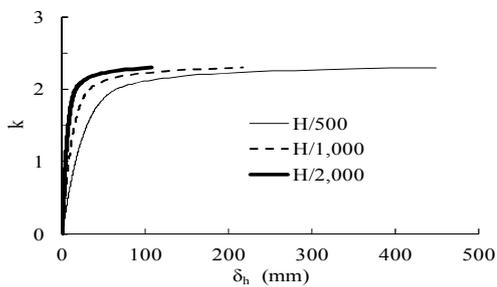


図 6-16 モデル B の面外変位図

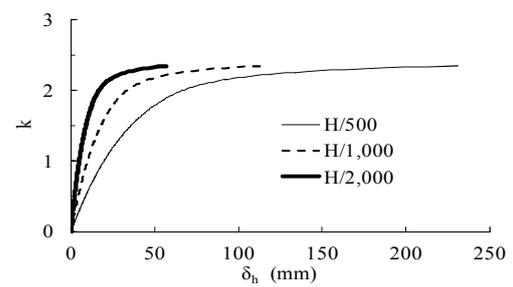


図 6-17 モデル C の面外変位図