

鋼桁のせん断耐荷力評価

鋼構造研究室 Batkhuyag Baasanjargal

指導教官 宮下 剛

1. 研究背景

日本の道路橋に関する設計規定は、安全率をきめ細やかに設定でき、合理的な設計を可能とする限界状態設計法へと 2017 年に移行した。現在、道路橋示方書では、限界状態の設定が必要であり、これには耐荷力を適切に評価することが必要である。鋼桁の耐荷力評価には曲げやせん断、これらの連成があるが、本研究では鋼桁端部のせん断耐荷力に着目する。

2. 目的

本研究では、非線形有限要素法によるパラメータ解析を行い、Basler 式が成立するための前提条件を明確にすることを目的とする。本研究を通じて、各部材の寄与が明確となり、新設橋の限界状態の設定のみならず既設橋を補修・補強するうえで、有益なバックデータを与えることが期待される。

3. Basler 式

プレートガーダーにおいてせん断力により斜め張力場作用が生じ、腹板が断座屈した後、圧縮フランジの局部座屈あるいは桁の横座屈によって耐荷力が減少するまで、強度の上昇が期待できる後座屈強度を持つ。Basler 式は弾性座屈と後座屈の和として表される。

4. 鋼桁シェルモデル解析

a) 解析概要

解析では汎用有限要素解析ソフト Diana10.3 を使用し、非線形解析を行う。鋼桁を 8 節点シェル要素(CQ24S)、载荷プレートを 20 節点ソリッド要素(CHX60)でモデルした。メッシュの大きさは 15mm としている。フランジ及び補剛材の降伏応力度は 268.7MPa、ウェブの降伏応力度は 344.7 MPa である。桁および補剛材の弾性係数 200GPa、ポアソン比 0.3 とする。解析では Von Mises の降伏条件を用いる。境界条件は一方の支点をローラ支持、もう一方の支点をピン支持とした。载荷は、载荷点に鉛直下方向のみの強制変位を与える荷重である。対象とする腹板には、正弦半波の初期たわみを与えている。初期たわみの最大値は道路橋示方書で規定されている部材精度の制限値 $\delta_{y_{max}} = h_w/250$ とし、ウェブに次の初期たわみを導入する。

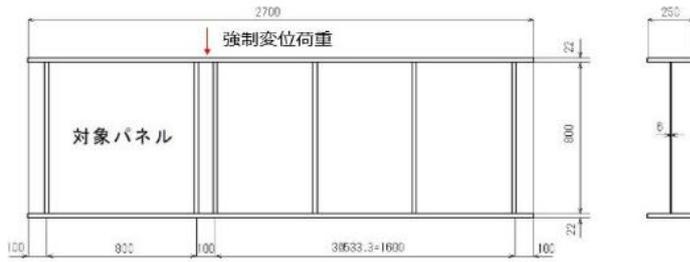
b) 解析結果（荷重-変位関係）

下図は荷重 P-载荷点直鉛直変位 δ 関係曲線を示したものである。せん断耐荷力評価値も同図に示す。図 A を見ても分かるように、解析モデル A の解析値 1117kN は評価値 1143kN より 2.3% 低くなった。また解析モデル C の解析値 1514kN は評価値 1523kN より 0.6% 低くなることが分かる。それに対して、解析モデル B の解析値 1532kN は評価値 1523kN より 0.5% 高くなる結果が得られた。参考文献 7) では、Basler 式と FEA の予測値に 10% 程度のばらつきが生じることが示されている。

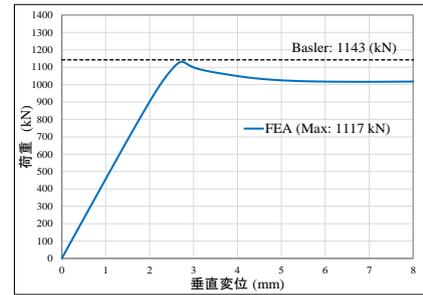
また、荷重のピークが明確に見られており、最大荷重は Basler 式による結果と近い。鋼桁モデル A, B では、最大荷重に達した後、せん断に対する抵抗力はあるところまで急激に下がり、ほぼ一定の状態が続いていることが分かる。

鋼桁モデル

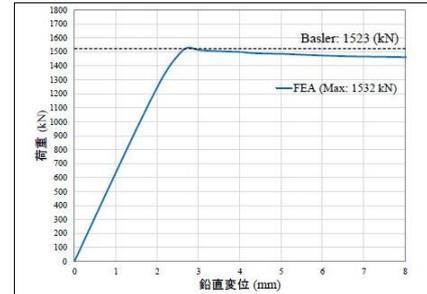
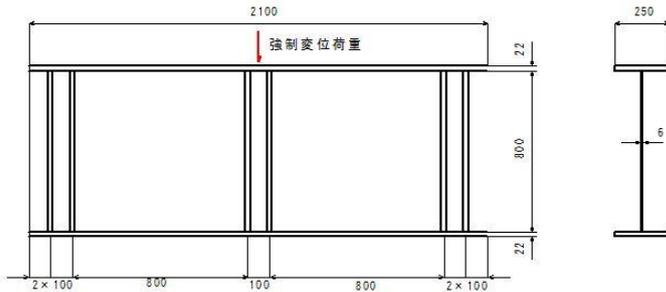
A.



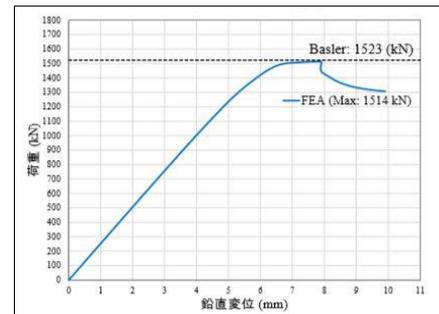
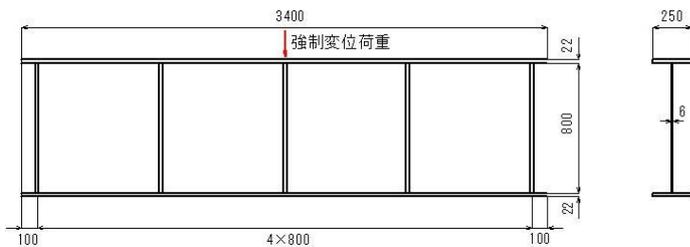
荷重 - 鉛直変位関係



B.



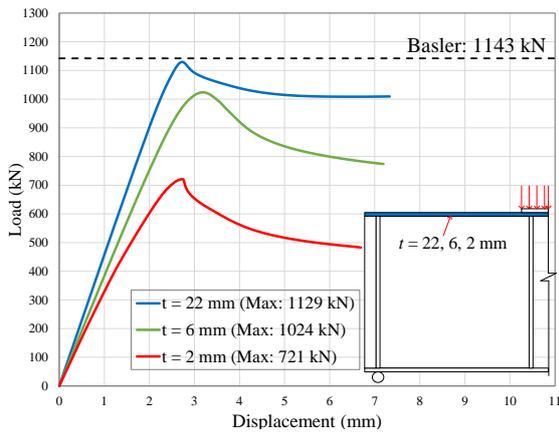
C.



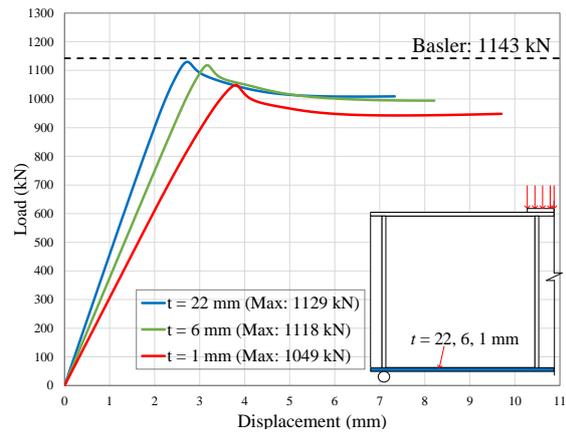
c) パラメータ解析

Basler 式が成立するための前提条件を明確にするために、各部材の影響を明らかにする必要がある。そのため、シェルモデルの補剛材やフランジの剛度を下げ、各部材のせん断耐荷力に対する影響を把握する。モデル A 及びモデル B において、図-1 に示す補剛材及びフランジの厚さ t をパラメータとし、22mm, 6mm, 2mm, 1mm で解析を行う。

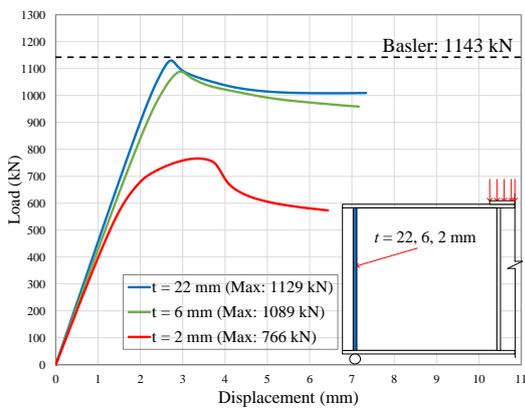
モデル A において、パラメータ解析で得られた荷重 - 変位関係曲線を図-1 に示す。図-1a から、上フランジの剛度を下げていくと最大荷重が低下し、せん断耐荷力に大きな影響をもたらすことが分かる。一方、図-1b では下フランジの剛度を下げてもせん断耐荷力に与える影響はわずかな程度にとどまる。それに、载荷点補剛材の剛度を下げてもせん断耐荷力がそれほど変化しない。また以下図から、支点上補剛材の厚さを 6mm にする際、せん断耐荷力が大きく変化しないが、厚さを 2mm にする場合せん断に対する抵抗力が急激に下がることが見られる。



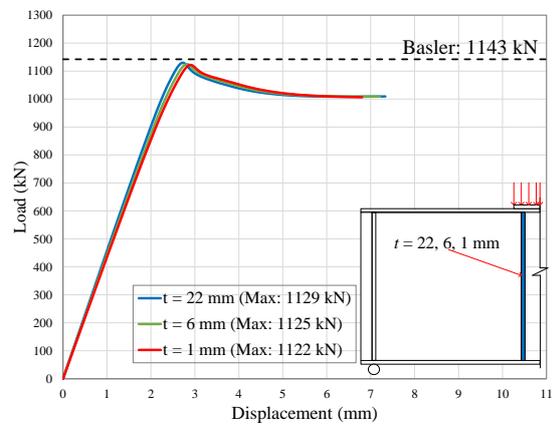
(a) 上フランジの厚さ



(b) 下フランジの厚さ



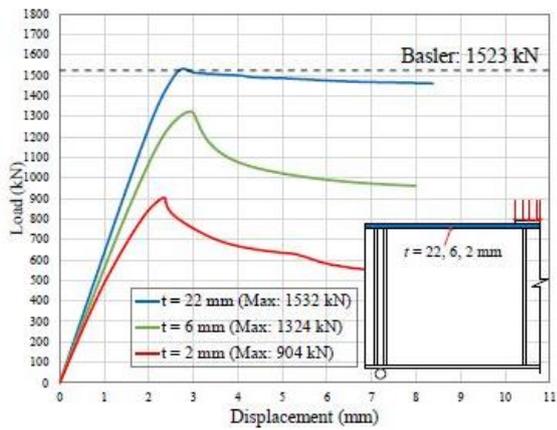
(c) 支点補剛材の厚さ



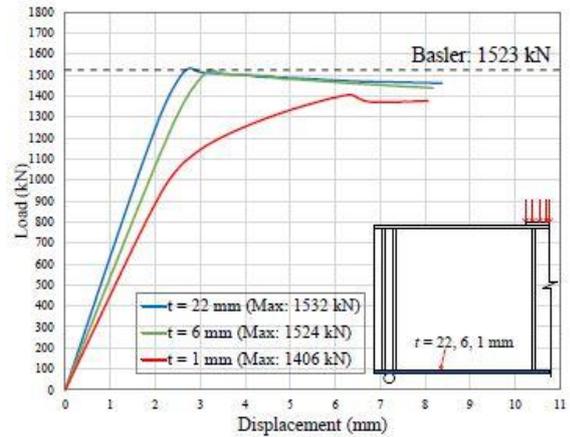
(d) 載荷点補剛材の厚さ

図-1 モデル A の荷重 - 鉛直変位関係曲線 (パラメータ解析)

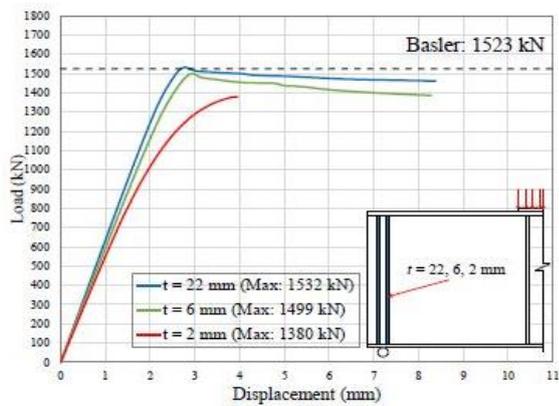
モデル B において、パラメータ解析で得られた荷重 - 変位関係曲線を図-2 に示す。図-2b から分かるように上フランジのせん断耐荷重に与える影響はモデル A とほぼ同じである。図-2b では、下フランジを 1mm にした場合最大荷重が高く得られましたが変位は大きくなっている。図-2c により、補剛材の厚さ 2mm の場合、最大荷重に達すると急激に降伏していることが分かる。さらに、図-2d では載荷点補剛材を薄くするとせん断に対する抵抗力が大きく下がっている。



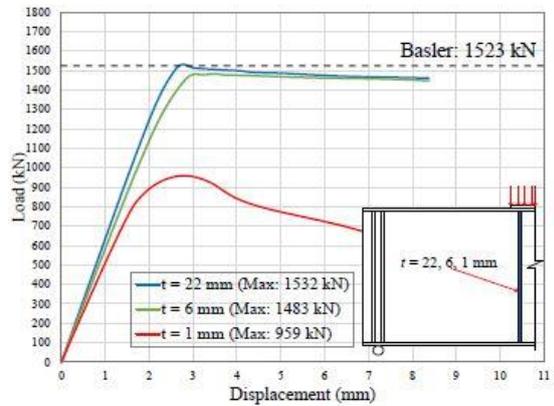
(a) 上フランジの厚さ



(b) 下フランジの厚さ



(c) 支点補剛材の厚さ



(d) 載荷点補剛材の厚さ

図-2 モデル B の荷重 - 鉛直変位関係曲線 (パラメータ解析)

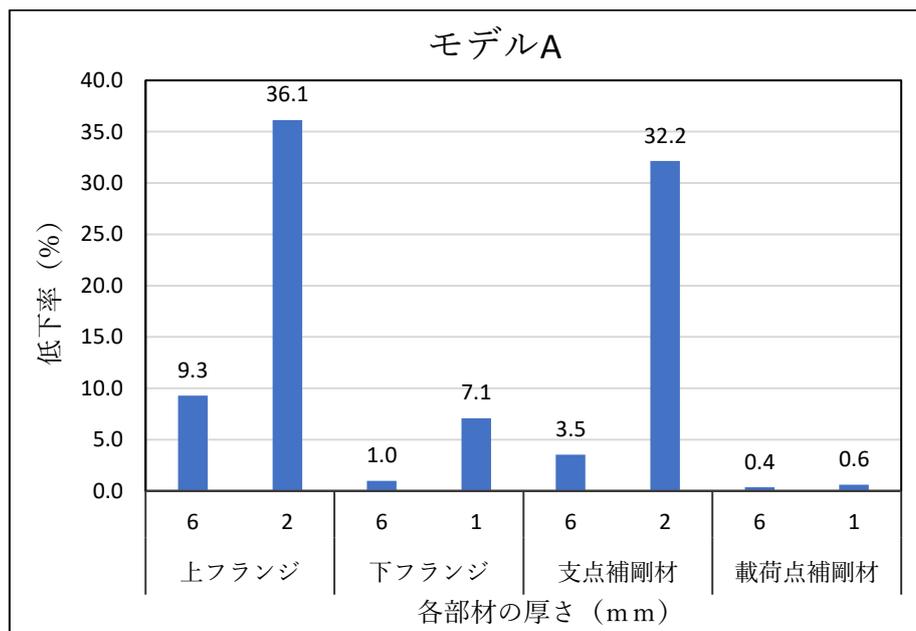


図-3 パラメータ解析に関するせん断耐荷力の低下率

5. 結論

本研究では、鋼桁のせん断耐荷力評価に関する Basler の理論、Basler 式が成立するための前提条件を明確にすることを目的とし、桁端部ウェブパネルおよび内部パネルにおいて FEM 解析を行い、せん断耐荷力、せん断に対する各部材の寄与を検討した。これにより得られた知見を以下に示す。

- せん断耐荷力評価式である Basler 式が、内部パネルと端部パネルのいずれにしても有効であることを確認した。
- 上フランジの剛度が下がると斜め張力場作用が発生しないことから、腹板は後座屈強度を持たない状態になる。したがって、せん断耐荷力が下がることにより、上フランジはせん断耐荷力に大きな影響を及ぼすことが分かる。
- 次に影響が大きいのは支点上補剛材である。モデル A 及びモデル B のパラメータ解析結果を比較すると、支点上に 2 つの補剛材をつけることで支点上でも斜張力場の水平力を十分に負担できることが分かる。
- 荷重 - 変位関係曲線から、下フランジのせん断耐荷力に与える影響が僅かな程度であることが分かる。下フランジの剛度を下げたにも関わらず、斜め張力場作用が発生する。しかし、モデル B のように支点上に補剛材を持たない鋼桁では下フランジの変形が過剰となることに注意する。
- 今回の解析結果から、斜め張力場作用が発生しないことにより腹板が後座屈強度を受け持てない状態になっていることがせん断耐荷力の低下する原因となっていることが分かる。